



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

GUSTAVO ALVES RAPHAEL

**APLICAÇÃO DE FERRAMENTA DA QUALIDADE EM UMA
FÁBRICA DE POSTES E PRÉ-MOLDADOS: Um estudo de caso em
empresa situada na cidade de Petrolina - PE.**

JUAZEIRO – BA

2014

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Gustavo Alves Raphael

**APLICAÇÃO DE FERRAMENTA DA QUALIDADE EM UMA
FÁBRICA DE POSTES E PRÉ-MOLDADOS: Um estudo de caso em
empresa situada na cidade de Petrolina - PE.**

Monografia apresentada à Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, Campus Tecnológico, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: Prof. Dr. José Luiz Moreira de Carvalho

Juazeiro-Ba
2014

	Raphael, Gustavo Alves.
R217a	Aplicação de ferramenta da qualidade em uma fábrica de postes e pré-moldados: um estudo de caso em empresa situada na cidade de Petrolina – PE / Gustavo Alves Raphael. - - Juazeiro, 2014.
	xii, 78f. : il. ; 29 cm.
	Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro-BA, 2014.
	Orientador: Prof.Dr. José Luiz Moreira de Carvalho.
	1. Matemática estatística - controle de processo. 2. Postes de concreto 3. Controle de qualidade. I. Título. II. Universidade Federal do Vale do São Francisco
	CDD 519.5

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Integrado de Biblioteca SIBI/UNIVASF
Bibliotecário: Renato Marques Alves

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**FOLHA DE APROVAÇÃO
Para TFC**

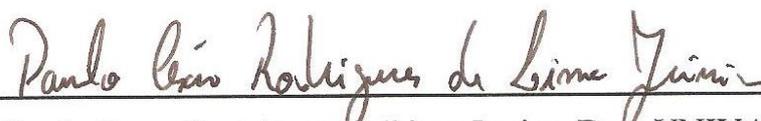
Gustavo Alves Raphael

**APLICAÇÃO DE FERRAMENTA DA QUALIDADE EM UMA
FÁBRICA DE POSTES E PRÉ-MOLDADOS: Um estudo de caso em
empresa situada na cidade de Petrolina - PE.**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do título de
Engenheiro de Produção, pela Universidade Federal do Vale do São
Francisco.



José Luiz Moreira de Carvalho, Dr – UNIVASF



Paulo Cesar Rodrigues de Lima Junior, Dr – UNIVASF



Anderson Henrique Barbosa, Dr - UNIVASF

Aprovado pelo Colegiado de Engenharia de Produção em 28/02/14

Dedico esse trabalho aos meus Pais, José Augusto Raphael Gomes e Marilene Alves da Silva Raphael, meus exemplos de vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me concedido a oportunidade e condições de estudar, vencer essa jornada e realizar este trabalho de conclusão de curso. A minha família, pelo apoio constante, esforço e dedicação. Ao meu pai, minha referência, que trabalha e sempre trabalhou com dignidade e honestidade para conseguir sustentar dois filhos fora de casa. À minha mãe, pessoa que amo demais, que sempre ajudou meu pai e nos indicou sempre buscar o melhor caminho com a cabeça erguida. Agradeço a meu irmão Leonardo por sempre querer o meu melhor, e por estar ao meu lado quando mais precisei. A minhas avós Maria e Julieta (*In memoriam*), tios, primos e agregados da família, por torcerem por mim e estenderem a mão sempre que precisei, além da minha namorada Vanessa que nunca deixou de estar ao meu lado juntamente com toda sua família.

Aos meus professores da graduação, especialmente aos Professores José Luiz do Colegiado de Engenharia de Produção, Paulo Cesar, Anderson Barbosa e Bruno Ceotto ambos do Colegiado de Engenharia Civil por sempre estarem dispostos a ouvir e ajudar no que fosse necessário.

Agradeço a empresa BARBOSA & BARBOSA CIA LTDA que concedeu espaço para que eu pudesse realizar esse trabalho. De maneira especial, agradeço ao gerente geral Marcos Andrade por acreditar em mim e contribuir de forma tão generosa em minha formação. Aos profissionais que dedicaram um pouco do seu tempo, como o meu supervisor Rodrigo pelos bons conselhos e por me acompanhar durante toda essa jornada, além de toda a equipe da filial Petrolina-PE que me deu suporte, destacando Rose, Ramon, Josélia, Michael e Gilmar.

A todos os meus familiares aqui presente, especialmente meu primos José Roberto e Edson Freitas, que me receberam de corpo e alma durante esse período em que estive na cidade de Juazeiro-BA (terra maravilhosa). Aos vários amigos que aqui fiz por me conhecerem bem e estarem sempre de braços e corações abertos quando precisei. Aos meus amigos da graduação, em especial Leandro Batista, Aduino Liberato, Emanuel Benevides, Bruno Michelena, Lucas Oliveira, Alexandre Ribeiro, Clóvis Barbosa, Paulo Henrique, por tornarem meus dias na faculdade melhores.

A todos que contribuíram na minha formação, direta ou indiretamente, Obrigado!.

“Em qualquer momento de decisão, a melhor coisa a ser feita é a certa; a outra melhor coisa a ser feita é a errada; a pior coisa a ser feita é nada.”

(Teddy Roosevelt)

RAPHAEL, Gustavo Alves. **Aplicação de Ferramenta da Qualidade em uma Fábrica de Postes e Pré-Moldados**: Um Estudo de Caso em uma Empresa Situada na Cidade de Petrolina (PE). Monografia. Juazeiro (BA). Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF. (2014)

RESUMO

Esta monografia procura analisar a importância da aplicação dos gráficos de controle em uma fábrica de postes e pré-moldados na cidade de Petrolina – PE. O Controle Estatístico do Processo (CEP) fornece uma descrição detalhada do comportamento do processo, identificando sua variabilidade e possibilitando que esta seja controlada ao longo do tempo, utilizando de cartas de controle que auxiliam na identificação de causas comuns e especiais de variação. A indústria de concreto armado, atualmente, está em constante crescimento devido à construção civil no País ter tido um aumento considerável. Esse estudo também foi desenvolvido com o objetivo de demonstrar como a aplicação dos gráficos de controle, durante todo o processo de fabricação do concreto (postes e pré-moldados), podendo auxiliar na análise dos dados e verificar quando alguma variável do processo sai do controle e assim fazer uma prevenção durante o processo. Desta forma, foi realizada uma pesquisa descritiva de todo o processo, através dos ensaios regulamentados por norma, obtendo-se a coleta de dados, sendo tratados e interpretados através das ferramentas Microsoft Excel e Minitab 16. Os resultados obtidos, através das cartas de controles individuais, mostraram que todos os processos estudados atendem aos requisitos de suas respectivas normas, entretanto buscou-se sempre a identificação de possíveis causas especiais que necessitam ser avaliadas e removidas dos processos para proporcionar uma redução na variabilidade dos processos. Também foi sugerida a implantação de novas práticas que possibilitem a evolução dos processos, dessa forma os resultados encontrados formaram a base para as conclusões e interpretações realizadas e podem vir a subsidiar algumas tomadas de decisões dos gestores da empresa.

Palavras-chave: Concreto, Controle Estatístico do Processo, Qualidade.

RAPHAEL, Gustavo Alves. **Aplicação de Ferramenta da Qualidade em uma Fábrica de Postes e Pré-Moldados**: Um Estudo de Caso em uma Empresa Situada na Cidade de Petrolina (PE). Monografia. Juazeiro (BA). Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF. (2014)

ABSTRACT

This monograph presents the importance of the application of control charts in a factory of precast pole in the city of Petrolina - PE. The Statics Process of Control (SPC) provides a detailed description of the process behavior, identifying your variability and allowing it to be controlled over time, using control charts to help identifying common and special causes of variation. The concrete industry is constantly growing because of construction in the country have had a considerable increase. This study was also carried out in order to demonstrate how the application of control charts throughout the manufacturing process of concrete (precast and poles) to assist in data analysis and checking when some process variable goes out of control and so make a prevention during the process. Thus, a descriptive survey of the whole process was conducted through regulated by standard tests, obtaining data collection, treated and interpreted using the tools Microsoft Excel and Minitab 16. The results obtained through the charts of individual controls, showed that all studied processes meet the requirements of the respective standards, however we have constantly sought to identify possible special causes that need to be evaluated and removed to provide a reduction in the variability processes. It was also suggested the implementation of new practices to enable the evolution of processes, thus the results formed the basis for the conclusions and interpretations made and can come to subsidize some decision-making of the managers of the company.

Keywords: Concrete, Statistical Process Control, Quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Estratégia para Melhorias no Controle Estatístico de Processos	24
Figura 2 - Exemplo de um Gráfico de Controle típico	25
Figura 3 - Percentuais associados à faixa de $\pm 1\sigma$, $\pm 2\sigma$, $\pm 3\sigma$ da média de uma distribuição normal com média 28,4 e $\sigma = 0,20$	30
Figura 4 - Processo Estável versus Processo Capaz	33
Figura 5 - Corpos de Prova em Cura	39
Figura 6 - <i>Slump Test</i>	41
Figura 7 - Produção do Corpo de Prova	42
Figura 8 - Prensa para Ruptura do Corpo de Prova.....	42
Figura 9 - Filiais Barbosa & Barbosa	49
Figura 10 - Matriz e Filiais B&B	50
Figura 11 - Setor de Armadura.....	51
Figura 12 - Agregados na Produção do Concreto.....	52
Figura 13 - Produção do Concreto em Betoneiras Estacionárias	52
Figura 14 - Concretagem das Formas.....	54
Figura 15 - Limpeza das Formas	55
Figura 16 - Movimentação do Poste.....	56
Figura 17 - Manuseio com Garras Pantográficas	57
Figura 18 - Sequenciamento de Processos na Produção do Concreto.....	59
Figura 19 - Variabilidade de Umidade na Areia (Litros)	62
Figura 20 - Variabilidade de Umidade na Brita (Litros)	62
Figura 21 - Quantidade de Água Adicionada ao Traço	63
Figura 22 - <i>Slump Test</i>	64
Figura 23 - Resistência adquirida pelo corpo de prova 14 dias.....	65
Figura 24 - Resistência adquirida pelo corpo de prova 28 dias.....	65
Figura 25 - Dados Estatísticos (CP - 3 dias em cura).....	69
Figura 26 - Gráfico de Controle para Corpo de Prova com 3 Dias em Cura.....	69
Figura 27 - Ganho de Resistência para 3 Idades Diferentes.....	71
Figura 28 - Ganho de Resistência do CP (60% para 03 dias em cura).....	73
Figura 29 - Ganho de Resistência do CP (70% para 03 dias em cura).....	73

LISTA DE EQUAÇÕES E TABELAS

Equação 1 - Resistência média à Compressão do Concreto (em t dias).....	45
Equação 2 - Evolução da Resistência com o Tempo.....	45
Tabela 1 - Quantidade de Água a ser Adicionada ao Traço	40
Tabela 2 - <i>Slump Test</i> e Tensão de Ruptura (MPa) para 14 e 28 Dias	43
Tabela 3 - Resistência Mecânica à Compressão em Relação a Equação 2.	46
Tabela 4 - Ganho Acumulado de Resistência previsto na NBR 6118:2007.....	46
Tabela 5 - Resistência Adquirida pelo Corpo de Prova - 03, 14, 28 dias.....	67
Tabela 6 - Resistência para três idades diferentes	70
Tabela 7 - Tensão Alcançada (%) com 3 idades diferentes.....	70
Tabela 8 - Dados Simulados para 3 idades Diferentes	72

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 Tema e Problemática	14
1.2 Objetivos	15
1.3 Justificativa	16
1.4 Estrutura da Monografia	17
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	18
2.1 Qualidade	18
2.2 Controle Estatístico do Processo - CEP.....	20
2.2.1 Conceitos.....	21
2.2.2 Princípios do Controle Estatístico do Processo.....	23
2.2.3 Cartas de Controle.....	24
2.2.4 Carta de Controle para Variáveis	26
2.2.5 Gráficos de Controle para Pequenos Desvios do Valor Nominal	26
2.2.6 Gráfico de Controle para Medidas Individuais	27
2.2.7 Curva Normal de Probabilidade.....	29
2.2.8 Interpretação da Estabilidade do Processo	30
2.2.9 Teste de Estabilidade.....	31
2.2.10 Interpretações da Capacidade do Processo.....	32
2.3 Tomada de Decisão.....	34
2.3.1 Classificação e Métodos de Decisão	34
2.3.2 Atuação da Gerência na Tomada de Decisão.....	35
2.4 Considerações	36
3. METODOLOGIA	37
3.1 Campo de Atuação.....	37
3.2 Tipo e Natureza da Pesquisa	37
3.3 Coleta de Dados	38
3.4 Avaliação da Resistência do Concreto.....	44
3.4.1 Variação e Evolução da Resistência à Compressão com a Idade	45
3.5 Análise de Dados	47
4. DESCRIÇÃO DA EMPRESA E PROCESSOS DE PRODUÇÃO.....	48
4.1 A Empresa.....	48
4.2 Processo de Produção de Postes e Pré-Moldados	50
4.2.1 Preparação de Componentes e Armadura	50
4.2.2 Produção do Concreto	51

4.2.3	Preparação das Formas e Concretagem.....	53
4.2.4	Desmoldagem, Identificação e Limpeza	54
4.2.5	Manuseio dos Postes de Concreto	55
4.2.6	Cura	57
4.2.7	Controle de Qualidade do Produto	58
4.2.8	Fluxo de Atividades	58
5.	DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	61
5.1	Gráficos de Controle	61
5.1.1	Umidade dos Agregados e Quantidade de Água Adicionada ao Traço.....	61
5.1.2	<i>Slump Test</i> e Resistência a Compressão.....	63
5.1.3	Projeção e Validação da Curva de Resistência do Concreto.....	66
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	74
6.1	Considerações Finais	74
6.2	Recomendações	75
	REFERÊNCIAS	76

1. INTRODUÇÃO

1.1 Tema e Problemática

No contexto atual, em que o mercado consumidor é caracterizado pela globalização, competitividade e pelo alto nível de exigência, a qualidade é um fator essencial para a sobrevivência das empresas (NAZÁRIO, 2008).

Quando um cliente compra produtos, o desejo é que nenhum produto chegue com defeito, porém dificilmente isso ocorre, seja no transporte do produto acabado, manuseio ou até nos problemas de produção, alguns produtos chegam com alguns defeitos, que podem ser oriundos de falha mecânica, humana, ou alguma outra situação. O Controle Estatístico do Processo (CEP) é usualmente o método preferido para controlar qualidade, porque a qualidade está sendo *construída* no processo em vez de ser inspecionada no final. É por isso que profissionais de praticamente todos os campos necessitam de várias ferramentas da estatística para visualizar e conseguir solucionar problemas em sua área de atuação (LEANDRO, 2003).

Uma das maneiras de se alcançar o controle desejado é através da utilização do Controle Estatístico do Processo – CEP, pois o mesmo proporciona o controle da qualidade em tempo real. Desta forma, previne-se a formação de defeitos ou não conformidades nos produtos acabados. O CEP privilegia uma estratégia *preventiva* de controle da qualidade, em detrimento de uma estratégia de inspeção e detecção de erros após a sua ocorrência (PIRES, 2000).

Em resumo, com o CEP é possível aproveitar melhor os equipamentos e máquinas, a mão-de-obra e os demais recursos, o que permite desenvolver competente ação gerencial para aperfeiçoar a qualidade e produtividade (ANDRADE et al., 2008).

O setor elétrico tem papel estratégico e fundamental para a economia de qualquer país, de forma que a energia elétrica é insumo básico de processos industriais, do comércio e da vida cotidiana das famílias. Trata-se de um setor em que os investimentos em projeto são grandiosos e demandam longo prazo para maturação e que, portanto, requer regras claras, estáveis e definidas com bastante antecedência.

Relacionando essa importância do setor elétrico, destacamos também o setor da construção civil, que oferece todas as condições para o desenvolvimento de projetos de novas ligações de energia elétrica. A área de construção civil, especificamente o setor de concreto

armado, funciona como base para a distribuição de energia, sejam elas por ligações subterrâneas ou através de postes e pré-moldados. E é justamente na base do processo, que devem ser tomadas as primeiras decisões importantes para obter qualidade nos produtos e/ou serviços prestados por uma fábrica do setor civil para a distribuição de energia elétrica.

Através das ferramentas do CEP e dos ensaios regidos por norma, o setor de Controle de Qualidade busca analisar e controlar todo o processo de produção, implementando melhorias, de modo a se ter condições de buscar soluções práticas e eficientes em relação a variabilidade dos processos produtivos.

Em estágio feito na empresa estudada, não foi possível constatar a utilização de forma sistemática das ferramentas estatísticas existentes para análise dos dados amostrais, utilizando apenas o controle de dados, fazendo dessa forma somente um controle de correção e não de prevenção. Como o concreto é um produto que durante o processo se tem uma grande preocupação com as variações da percentagem dos materiais que compõem o traço (estudo de dosagem), seria necessária a plotagem dos gráficos de controle, junto com outras ferramentas da qualidade (fluxograma, folhas de verificação, gráfico de Pareto, diagrama de causa e efeito, histograma) caso necessário para alguma atividade do processo.

Baseado nestas considerações coloca-se a questão principal a ser investigada neste trabalho:

Como o uso dos gráficos de controle, em conjunto com outras ferramentas estatísticas, pode ajudar no monitoramento do controle de qualidade do concreto, analisando o comportamento das variáveis do processo para o mesmo estudo de dosagem pré-determinado?

1.2 Objetivos

O objetivo desse trabalho é mostrar através da análise de gráficos de controle, como é possível controlar a qualidade no processo de produção de concreto, além de também sugerir a implantação de nova metodologia de controle que possibilite a evolução dos processos na empresa BARBOSA & BARBOSA Cia Ltda.

Dentro disso têm-se como objetivos específicos:

- Analisar o processo de produção de concreto.
- Avaliar quais são as variáveis com maior influência no processo.
- Identificar o gráfico de controle mais apropriado para controle das variáveis estudadas.

- Analisar os gráficos de acordo com o comportamento das variáveis no processo produtivo.
- Buscar ajudar na prevenção de possíveis falhas, e na tomada de decisão por parte dos Gestores.

1.3 Justificativa

Atualmente, com a concorrência entre as empresas é preciso melhorar a produtividade reduzindo custos de forma que não atinja a qualidade do produto. Existem diversas técnicas e ferramentas capazes de analisar e controlar um processo, podendo ele ser de qualquer natureza. Uma técnica que pode ser usada para auxiliar a manutenção da empresa no mercado competitivo é o *Controle Estatístico do Processo - CEP*. O uso das técnicas estatísticas garante exatidão eliminando palpites em favor da precisão, do conhecimento comprovado daquilo que se pesquisa (CANAVEZI, 2009).

A BARBOSA & BARBOSA controla todas as etapas de fabricação do concreto, desde inspeção das matérias prima, controle de dosagem, análise de resistência à compressão dos corpos de prova realizada em laboratório, além da inspeção do produto acabado. A empresa possui um laboratório completo para realizar ensaios descritos em cada norma regulamentadora para a produção do concreto, porém ainda não se tinha um entendimento claro sobre a real situação dos dados, também não havia nenhuma relação com as ferramentas de controle estatístico disponíveis na literatura.

Diversas são as variáveis no processo de produção do concreto, e a falta de controle leva a erros inerentes aos ensaios da qualidade, especificamente a resistência à compressão. Busca-se através das melhorias sugeridas, a facilidade e segurança na coleta de dados e análise dos resultados, realizadas pelo pessoal da Produção e Controle de Qualidade, além de facilitar a análise para o Inspetor de Qualidade.

Segundo Isaia (1988), de todos os parâmetros que influenciam na qualidade do concreto, tais como resistência mecânica, impermeabilidade, durabilidade e deformações, o mais sensível às variações intrínsecas e de produção e o mais fácil de ser quantificado é a resistência à compressão.

Este trabalho procura, então, mostrar a importância e eficácia da implantação de uma ferramenta da qualidade para análise do processo de resistência a compressão de um corpo de prova em cura determinada por Norma Técnica – NBR 12655:2006.

1.4 Estrutura da Monografia

Esse trabalho está estruturado em cinco capítulos além desse capítulo introdutório. Neste primeiro capítulo foram mostrados o tema e sua problemática, além dos objetivos e justificativa da monografia. No capítulo 2, apresenta-se um resumo teórico sobre o Controle Estatístico de Processo: conceitos, princípios e desenvolvimentos matemáticos. Bem como, serão abordados os temas: gráficos de controle individual e suas características, interpretação da estabilidade, capacidade do processo e tomada de decisão.

O capítulo 3 foi destinado a expor a metodologia de pesquisa através da coleta e análise dos dados durante um determinado período de tempo, método utilizado, além de mostrar o ambiente da pesquisa, mostra-se também uma avaliação para resistência adquirida pelo concreto que servirá de base para os capítulos seguintes. Já no capítulo 4 é feita a descrição da empresa, além de mostrar seu histórico e como é dado o fluxo da produção de alguns de seus produtos.

O capítulo 5 está destinado a mostrar a análise e discussão dos resultados, a partir do tipo de método escolhido, referencial teórico, e normas regulamentadoras. Para concluir o estudo de caso, o capítulo 6 mostra algumas sugestões de melhoria para a o Controle de Qualidade da empresa em questão.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Nesta etapa do estudo, serão mostrados conceitos importantes sobre o Controle Estatístico do Processo.

Inicialmente serão abordados conceitos de Qualidade para uma empresa, seguindo com relação ao Controle Estatístico da Qualidade e sua evolução histórica, conceitos, princípios e suas principais ferramentas, destacando-se os gráficos de controle. Dando continuidade, analisaremos as principais características e objetivos dos gráficos, bem como, a definição de seus dois tipos básicos, o gráfico de controle por variável e o gráfico de controle por atributo.

Ainda será possível conhecer o desenvolvimento matemático do gráfico de controle por variável. Será abordado também a importância dos gráficos de controle individual e da média móvel exponencialmente ponderada, importância da capacidade do processo, bem como analisar as prioridades necessárias para a tomada de decisão, de extrema importância para o crescimento e desenvolvimento de qualquer empresa. Será feito um embasamento teórico relacionado ao tipo de material produzido (pré-moldados) com enfoque no controle de qualidade do concreto e resistência adquirida em relação ao tempo.

2.1 Qualidade

A qualidade é entendida normalmente como um atributo de produtos ou serviços, mas pode referir-se a tudo que é feito pelas pessoas. De alguma forma, todos sabem o que se dizer quando se fala que algo foi feito com qualidade. Entretanto não é fácil definir com precisão que seja qualidade. Tradicionalmente, é costume falar em qualidade de conformação (relativa ausência de defeitos em relação ao padrão ou à especificação) e qualidade do projeto (características particulares do projeto de um produto).

A preocupação com a qualidade, no sentido mais amplo da palavra, começou com W.A. Shewhart, estatístico norte-americano que, já na década de 20, tinha um grande questionamento com a qualidade e com a variabilidade encontrada na produção de bens e serviços (LONGO,1996). Atualmente, a qualidade é ingrediente básico para qualquer empresa e/ou profissional que queiram sobreviver e crescer (SILVA, 2008).

Segundo Reis (2001) é preciso compreender os conceitos básicos de qualidade para que as pessoas que irão aplicar o Controle Estatístico da Qualidade (CEQ) tenham a plena consciência da abrangência e efeitos das técnicas que serão utilizadas.

Atualmente, a qualidade é ingrediente básico para qualquer empresa e/ou profissional que queira sobreviver e crescer (SILVA, 2008).

A qualidade segundo Paladini (1995, p.29), é uma definição que compromete e requer esforço de quem pretende adotá-la: o compromisso de sempre atender ao consumidor, da melhor forma possível e o esforço de otimizar todas as ações de processo que contribuem para este fim.

Para Nazário (2008), qualidade é uma relação da organização com o mercado. Dentro deste contexto, a qualidade é definida como uma relação de consumo.

Segundo Montgomery (2004) geralmente considera-se que “a Qualidade está relacionada a uma ou mais características que um produto ou serviço deveria apresentar”.

Garvin (1987) *apud* Montgomery (2004) fornece uma discussão de oito componentes ou dimensões da qualidade:

- 1) Desempenho: o produto ou serviço realmente corresponderá ao que dele se espera, e o quão bem fará isso.
- 2) Confiabilidade: com que frequência o produto ou serviço deixa a desejar (falha).
- 3) Durabilidade: por quanto tempo o produto ou serviço irá durar.
- 4) Manutenibilidade: facilidade para reparar o produto ou serviço.
- 5) Estética: qual é a aparência do produto ou serviço.
- 6) Características: o que o produto ou serviço faz, o que ele apresenta como diferencial.
- 7) Qualidade percebida: qual é a reputação da companhia responsável pelo produto ou serviço.
- 8) Conformidade com padrões: o produto ou serviço é exatamente igual ao que os projetistas pretendiam que fosse.

Um exemplo da busca pela conformidade está na aplicação de normas por parte das empresas, porém é necessário muito cuidado na adoção de normas, pois a empresa poderá gerar produtos não necessariamente com boa aceitação no mercado, mas que apenas atendam às especificações fixadas internamente na empresa (MARTINS e LAUGENI, 2003).

Por esse motivo, os mesmos autores afirmam que nos dias atuais, a qualidade está no conceito de gerenciamento das empresas, pois não há como sobreviver no mercado sem qualidade. A fábrica busca uma qualidade total dos produtos produzidos, relacionando as normas reguladoras com o produto modelo, que servem de referência para a produção de um modo geral.

2.2 Controle Estatístico do Processo - CEP

O desenvolvimento e utilização das técnicas e métodos estatísticos para a análise e solução de problemas passaram a ganhar importância no campo industrial a partir de 1924, quando o Dr. Walter A. Shewart desenvolveu pela primeira vez, os gráficos de controle. Com o desenvolvimento da produção em larga escala, tanto nos EUA e Europa, como principalmente no Japão, após 1944 o controle estatístico do processo surgiu como ferramenta ideal para o eficiente, seguro e rápido controle e aperfeiçoamento dos processos produtivos; eficiente por trabalhar com base na matemática aplicada; seguro pela sua aplicação no dia-a-dia das atividades industriais e rápidos por trabalhar com pequenas amostras representando toda população (FARIA *et al.*, 2008).

As ferramentas do CEP podem ser aplicadas a qualquer processo. Suas sete principais ferramentas contemplam o uso de histogramas, folhas de controle, gráfico de Pareto, diagrama de causa-e-efeito, diagrama de concentração de defeito, diagrama de dispersão e gráfico de controle. Cada uma das ferramentas é utilizada com o objetivo de analisar o processo sob o ponto de vista de identificar a causa de sua variabilidade, buscando evidências, como por exemplo, o acontecimento de causas especiais a partir de resultados obtidos após o uso adequado de cada uma delas (MONTGOMERY, 2004).

Segundo o próprio autor, para que essas ferramentas sejam uma parte importante, elas englobam apenas seus aspectos técnicos. O CEP constrói um ambiente no qual todos os indivíduos em uma organização desejam a melhoria continuada na qualidade e na produtividade, que é de suma importância, já que a qualidade é o principal objetivo nos produtos produzidos pela fábrica. Esse ambiente se desenvolve melhor quando a gerência se envolve em um processo contínuo de melhoria de qualidade, estando a administração próxima ao chão de fábrica. Uma vez estabelecido esse ambiente, a aplicação rotineira das sete ferramentas se torna parte usual da maneira de se fazerem negócios, e a organização se direciona para a obtenção de seus objetivos de melhoria de qualidade de todos os processos inerente à produção fabril.

O controle estatístico do processo é um conceito intrínseco ao próprio processo de produção, se relacionando com todas as fases da ação gerencial. Deve, portanto servir de base para as decisões em todos os níveis da empresa, desde o operário até o presidente. Através dessa inter-relação todos devem entender seus princípios e se comprometer na utilização coerente de seus resultados, buscando melhorias continuadas em relação ao processo. (FARIA *et al.*, 2008)

2.2.1 Conceitos

O CEP é um método preventivo de se comparar continuamente os resultados de um processo com um padrão, identificando, a partir de dados estatísticos, as tendências para variações significativas, e eliminando ou controlando estas variações com o objetivo de reduzi-las cada vez mais (SOMMER, 2000).

Sua existência justifica-se pela necessidade de avaliar a variabilidade (para obter, manter ou melhorar o nível da qualidade). Sempre que houver uma série de observações ou medidas obtidas de um processo, tais medidas não serão idênticas entre si. Haverá uma variação, produzindo um padrão flutuante: nenhum processo, por maior que seja a sua qualidade, poderá extinguir totalmente esta variabilidade.

Contudo, segundo Reis (2001) se nada perturbar o processo essa flutuação nas medidas permanecerá dentro de limites matemáticos definidos. Se a série for suficientemente grande as medidas tenderão a formar uma distribuição previsível, permitindo que seja possível antecipar qual será a variabilidade do processo e, portanto, avaliar sua qualidade.

Através disso, o CEP é importante para que os produtos sejam produzidos corretamente à primeira vez, reduzindo sistematicamente a variabilidade das características da qualidade com interesse para o processo produtivo, de modo a aumentar a confiabilidade do produto final. Estas ações são fundamentais para alcançar a estabilidade e melhorar a capacidade em qualquer processo de produção (ALVES, 2003).

Com isso, a implementação do CEP segundo Falcão (2001, p.35) deve levar em consideração alguns princípios básicos:

Os processos, produtos ou serviços devem ser avaliados quanto à capacidade de atender às necessidades e exigências dos consumidores; As informações sobre as características de qualidade devem ser obtidas tão próximas da fonte quanto possível; Os resultados de qualquer tarefa a ser realizada apresentam variação e essa 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.

Dessa forma, a utilização do CEP parte do princípio que a variabilidade está sempre presente em processos de produção (FALCÃO, 2001). 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). Com isso, 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 e CATEN, 2000).

Existem dois tipos de causas resultantes da variabilidade nos processos. O primeiro tipo de causa, designado por causas comuns e o segundo tipo de causas especiais.

As causas comuns atuam continuamente sobre o processo, sendo de natureza essencialmente aleatória e de difícil controle. Atuar sobre causas comuns normalmente requer investimentos na melhoria de equipamentos, troca de matérias-primas ou treinamento de operadores. Uma vez mantidas em níveis razoáveis, as causas comuns não afetam de maneira nociva a qualidade dos itens manufaturados (GRANT e LEAVENWORTH, 1996).

Já as causas especiais de variação são aquelas que não fazem parte do processo ou sistema. Exemplos incluem desregulagem de uma máquina ou irregularidades em uma matéria-prima. Causas especiais são anômalas ao processo, podendo ser prejudiciais à qualidade do produto manufaturado. O monitoramento e ação corretiva sobre as causas especiais são de responsabilidade da área operacional da empresa. Uma vez identificadas às causas especiais, pode-se atuar sobre elas, buscando a estabilização do processo (PIRES, 2000).

Com isso, em qualquer processo produtivo, independente de quão bom tenha sido projetada e quão boa seja sua manutenção haverá a presença de variabilidade. Embora as causas de variação sejam muitas e fique entre a matéria-prima utilizada e seu aspecto dimensional há um agregado de causas de variação. A variação presente no processo produtivo deverá ser reduzida continuamente num ambiente onde a busca pela excelência é uma atitude entremeada entre todos os agentes do processo produtivo. Se esta variabilidade se mantém, ou mesmo aumenta é certo o aumento de refugos e a consequência é a perda competitiva num mercado globalizado. Isto é um fator extremamente importante, porque mais do que maximizar seus lucros, as organizações visam minimizar suas perdas (FARIA *et al.*, 2008).

2.2.2 Princípios do Controle Estatístico do Processo

O principal elemento do CEP é a carta de controle de processo, que permite identificar o comportamento do processo ao longo do tempo, o monitoramento de variáveis ou atributos que determinam o desempenho do processo e detectar a incidência de causas especiais, permitindo delinear ações que previnam e bloqueiem sua reincidência. Além disso, possibilita um controle eficaz da qualidade, feito pelo próprio operador e em tempo real. Desta forma, promove-se um aumento do comprometimento do operador com a qualidade do que está sendo produzido pelo processo por ele controlado. Atividades de supervisão são, assim, reduzidas, permitindo à gerência centralizar seus esforços em ações que visem à melhoria dos processos (PIRES, 2000).

Com isso, as cartas de controle utilizam como dados de entrada medições realizadas de uma característica de qualidade ou parâmetro de processo que influencie na qualidade dos produtos manufaturados. As medições são realizadas em pontos espaçados de tempo e registradas graficamente nas cartas, sendo então comparadas com limites de controle. (MONTGOMERY, 2004).

O sucesso na implantação do CEP depende do grau de entendimento e compreensão da empresa acerca das cartas de controle por ela utilizadas. A Figura 1 permite identificar as etapas envolvidas na operacionalização do controle estatístico de processos. Bem como, a utilização de informações oriundas das cartas de controle na tomada de decisão sobre ações de melhoria, também é evidenciada.

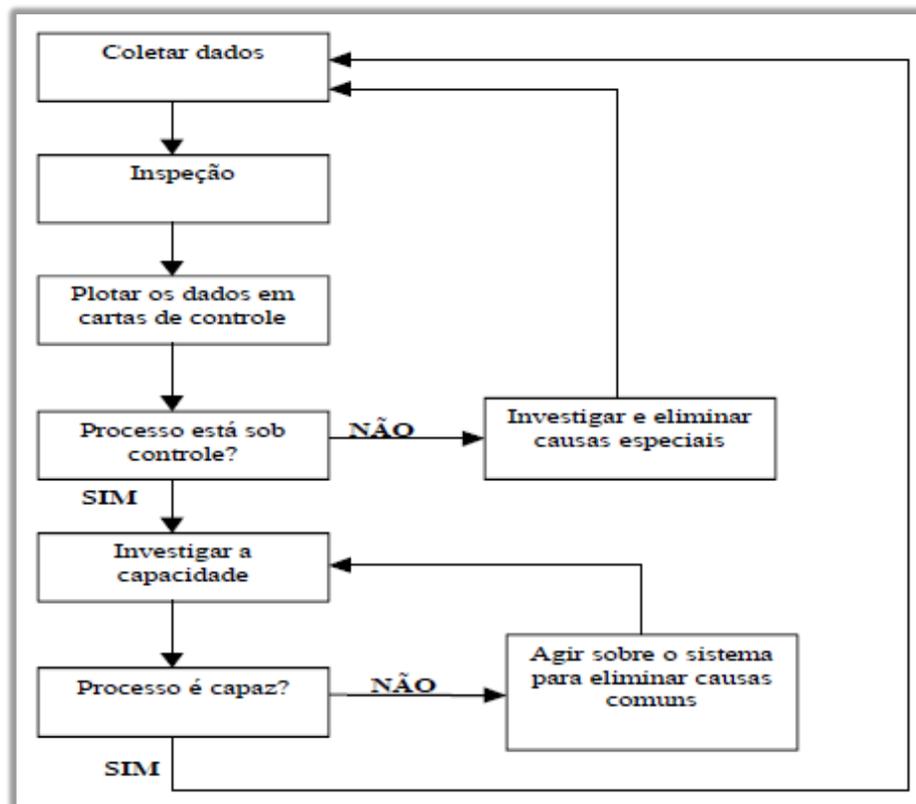


Figura 1- Estratégia para Melhorias no Controle Estatístico de Processos

Fonte: Ribeiro e Caten, 2000.

2.2.3 Cartas de Controle

As cartas de controle consistem em um gráfico formado por, uma linha central, um par de limites de controle, um dos quais se localiza abaixo e outro acima da linha central, e valores característicos marcados no gráfico representando o estado de um processo. Se todos esses valores marcados estiverem dentro dos limites de controle, sem qualquer tendência particular e a disposição dos pontos dentro dos limites for aleatório, o processo é considerado sob controle, como mostrado na Figura 2. Entretanto, se os pontos incidirem fora dos limites de controle ou apresentarem uma disposição atípica, o processo é julgado fora de controle. (KUME, 1993 *apud* VIEIRA, 1999).

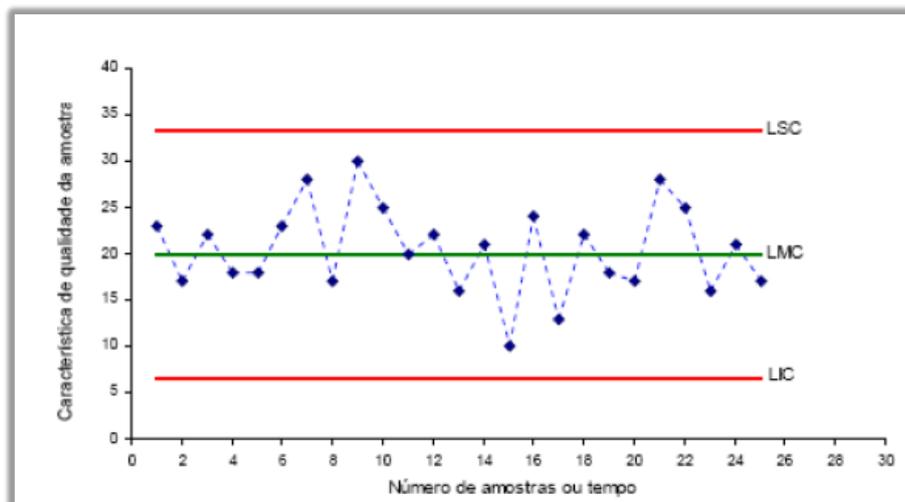


Figura 2 - Exemplo de um Gráfico de Controle típico

Fonte: Alves, 2003.

Através disso, os gráficos de controle são as ferramentas principais utilizadas no controle estatístico de processo e têm como objetivo detectar desvios de parâmetros representativos do processo, reduzindo a quantidade de produtos fora de especificações e os custos de produção. Sua utilização pressupõe que o processo seja estatisticamente estável, isto é, não haja presença de causas especiais de variação ou, ainda e de outra forma, que as sucessivas amostragens representem um conjunto de valores independentes ou não correlacionados. Este pressuposto quase sempre não é atendido e muitas vezes levam à utilização dos gráficos de controle com limites inadequados e com a frequente ocorrência de alarmes (pontos fora ou próximos aos limites da carta) sem que, necessariamente, representem a presença de uma causa especial (OGUNNAIKE e RAY, 1994 *apud* MONTGOMEY, 2004).

Para as cartas de controle implantadas na fábrica Barbosa & Barbosa, existe um limite mínimo pré-estabelecido para resistência a compressão do corpo de prova, de no mínimo 25 MPa para 14 dias em cura com água. Regularizado pela Norma Brasileira (ABNT NBR 12655:2006). Logo, as cartas implantadas para variabilidade da resistência serão desenvolvidas de modo que o LIC (Limite Inferior de Controle) seja de 25 MPa. As cartas para análise e controle de umidade nos agregados do concreto serão dadas pela média dos dados obtidos, tendo o limite inferior calculado pela média menos três vezes o desvio padrão da amostra, e o LSC (Limite Superior de Controle) com o três vezes o desvio padrão acima da média central.

2.2.4 Carta de Controle para Variáveis

As variáveis são avaliadas de um sistema de medição, podendo assumir quaisquer valores no domínio dos números reais. Características de qualidade expressas através de valores contínuos são denominadas variáveis.

O controle do comportamento temporal deste tipo de característica é realizado através das cartas de controle para variáveis. As cartas de controle mais utilizadas no monitoramento de variáveis são as cartas X e R, respectivamente, para média e amplitude, sendo cartas para valores individuais. Os dois primeiros tipos de cartas são detalhados na sequência.

Observações coletadas de variáveis de processo podem seguir diferentes distribuições de probabilidade. A determinação dos limites de controle utilizados nas cartas demanda o cálculo de probabilidades. Esse cálculo torna-se complexo à medida que as variáveis de interesse assumem distribuições de probabilidade assimétricas (por exemplo, distribuições de Weibull ou Exponencial) (ROSS, 1994).

Na maioria dos casos, a distribuição pressuposta para as variáveis monitoradas através das cartas de controle é a distribuição normal. Tal suposição nem sempre é verdadeira. No entanto trabalhando-se com médias ao invés de observações individuais da variável de interesse, o teorema do limite central garante a normalidade da distribuição da média das médias. A popularidade das cartas de controle para variáveis pode ser justificada, em grande parte, por essa propriedade (PIRES, 2000).

Através disso, o teorema do limite central estabelece que a soma (e, por conseguinte a média) de um grande número (n) de variáveis aleatórias independentes apresenta uma distribuição aproximadamente normal, independentemente da distribuição de probabilidade dos valores individuais. Esse teorema apresenta dois condicionantes: (a) todas as variáveis aleatórias consideradas devem seguir uma mesma distribuição (qualquer) de probabilidade; e (b) na medida em que a distribuição das variáveis aleatórias consideradas torna-se mais assimétrica, o valor de n aumenta. Em aplicações práticas das cartas de controle, tais suposições são, em regra, satisfeitas (MOOD *et al.*, 1974).

2.2.5 Gráficos de Controle para Pequenos Desvios do Valor Nominal

Segundo Alves (2003) os gráficos de controle de Shewhart são ferramentas estatísticas que proporcionam uma grande sensibilidade na detecção de causas identificáveis esporádicas ou intermitentes. Para casos onde há uma causa especial identificável no sistema que gera

uma pequena e constante variação na média ou na, variabilidade, o gráfico de controle de Shewhart apresentará uma tendência nos valores plotados para as amostras.

Uma das razões do sucesso dos gráficos de controle de Shewhart é a simplicidade da regra de decisão: basta examinar a posição do último ponto; se ele estiver na região de ação do gráfico, deve-se intervir no processo. Para detecção de grandes desvios da média do processo, ou de aumentos significativos da variância ou da fração defeituosa, os gráficos de Shewhart, ou seja, os gráficos da média, da amplitude do desvio-padrão, da fração defeituosa, são imbatíveis. Contudo, eles perdem rapidamente a eficiência à medida que os processos vão ficando mais robustos, no sentido de as causas especiais cada vez mais interferirem com menos profundidade, de modo que a magnitude dos desvios ou dos aumentos tende a diminuir (COSTA *et al.*, 2004).

De acordo com Montgomery (2004, p. 255) uma grande desvantagem de qualquer gráfico de controle de Shewhart é que ele usa apenas a informação sobre o processo contida no último ponto demarcado, e ignora qualquer informação dada pela seqüência inteira de pontos. Essa característica torna esse tipo de gráfico de controle relativamente insensível a pequenas mudanças no processo na ordem de $1,5 \sigma$ ou menos.

Duas alternativas, muito eficazes, ao gráfico de controle de Shewhart podem ser usadas quando pequenas mudanças são de interesse: o gráfico de controle da soma cumulativa (CUSUM) e o gráfico de controle de média móvel exponencialmente ponderada (EWMA). Quando um desses dispositivos está em uso, a decisão sobre o estado do processo é baseada na informação acumulada de diversas amostras, e não apenas na última delas. Acumulando dessa forma a “pequena evidência” que cada amostra fornece do estado do processo, consegue-se maior rapidez na sinalização de pequenos desajustes (MONTGOMERY, 2004).

2.2.6 Gráfico de Controle para Medidas Individuais

Em algumas situações, segundo Montgomery (2004, p. 154), o monitoramento de um processo é feito mediante observações individuais, ou seja, a partir de um processo de amostras sequenciais de tamanho $n=1$.

Exemplos de tais situações ocorrem quando:

- A tecnologia de mensuração do processo utilizada é a inspeção automatizada, onde toda unidade produzida é avaliada;

- Os dados demoram muito tempo para serem disponibilizados e, esperar por mais medições para se obter uma amostra de maior tamanho pode ser inapropriado, pois as ações corretivas pode não serem executadas no tempo adequado;
- As medidas repetidas no processo diferem apenas por erro de análise ou erro laboratorial situação bastante frequente em processos de substâncias químicas onde o tempo ou o custo necessário da medição de apenas uma observação é mais importante que não se justifica a repetição das observações principalmente quando os custos são elevados ou ainda quando os resultados dessas medições são aproximadamente iguais.

Nestas situações, é recomendável fundamentar o controle do processo através de observações individuais, ou seja, monitorar o processo a partir da utilização dos gráficos de controle para medidas individuais.

A habilidade destes gráficos de controle para detectar pequenas mudanças no processo é muito pobre. Por isso, se optarmos pela redução da extensão dos limites de controle para menos de 3σ é perigoso, porque com os limites de controle mais estreitos se diminui o número esperado de amostras até ser dado um sinal fora de controle. Isto é, aumenta a possibilidade de falsos alarmes e, por esta razão perde-se credibilidade. Além disso, nestes gráficos de controle cada valor é inserido no gráfico individualmente e a sua relação com os outros pontos é determinada apenas pelo gráfico, ou seja, não é utilizada nenhuma estatística que envolva todos os dados anteriores (COSTA et al, 2004).

Montgomery (2004) sugere que se a opção é detectar pequenas mudanças do processo se deve usar gráficos de controle para pequenos desvios do valor nominal tais como o gráfico de controle de soma acumulada (CUSUM) e/ou o gráfico de controle de média móvel exponencialmente ponderada (EWMA). O processo de decisão destes dois tipos de gráficos baseia-se nos resultados apresentados por um certo número de amostras, e não em observações isoladas de amostras, ou seja, a coordenada desses gráficos é um valor que é função do resultado atual e dos resultados anteriores. Com isso, é possível detectar pequenos e contínuos desvios do valor nominal com um número médio de amostras menor que qualquer outro tipo de gráfico de controle para variáveis.

Análogo aos gráficos de controle de Shewhart (X e R), os gráficos de controle para medidas individuais (Xi e RM) também são utilizados em pares, sendo que a função básica do gráfico de valores individuais (Xi) é monitorar o nível médio do processo e a do gráfico da amplitude móvel (MR) monitorar a variabilidade. Neste gráfico de controle, o procedimento

usado na obtenção dos limites de controle para estimar a variabilidade do processo geralmente é baseado numa medida de variação, obtida a partir da amplitude móvel de duas observações sucessivas. A amplitude móvel MR (Moving Range) é a diferença absoluta entre dois pares de medidas de uma série, ou seja, a diferença entre a segunda e a primeira medida, entre a terceira e a segunda medida, e assim sucessivamente (MONTGOMERY, 2004).

2.2.7 Curva Normal de Probabilidade

Em processos sob controle estatístico, a característica de qualidade de interesse (variável) apresenta uma distribuição de valores conhecida, considerada como distribuição de referência para aquela variável. A distribuição de referência é representada por uma curva, com um valor central de média e uma dispersão natural que corresponde ao desvio-padrão da variável de interesse.

Existem vários tipos de distribuição de probabilidade, com diferentes parâmetros e características. A distribuição mais frequentemente encontrada em aplicações do CEP é a distribuição Normal. Observações de uma característica de qualidade podem seguir uma distribuição Normal de pelo menos duas maneiras: (a) os valores individuais se ajustam à distribuição, ou (b) médias obtidas agrupando os valores individuais seguem a distribuição Normal (por força do teorema do limite central, apresentado anteriormente), segundo Kume (1993). A distribuição Normal é a base teórica do desenvolvimento das cartas de controle, podendo ser considerada a principal ferramenta do CEP (PITT, 1994).

A curva Normal apresenta três características: simetria em relação à média; curvatura em forma de sino e suavização dos pontos que a compõem. Estas características permitem verificar se observações de uma característica de qualidade, obtidas de um processo, seguem uma distribuição Normal (MONTGOMERY, 2004).

Para tanto, observações plotadas em um histograma de frequência devem exibir simetria, formato e suavidade similares à curva Normal. Histogramas ou papéis de probabilidade são as ferramentas mais utilizadas para verificar a distribuição de probabilidade apresentada por uma variável aleatória (FREUND e SIMON, 1997).

A área total sob a curva Normal acumula 100% da probabilidade associada à característica de qualidade de interesse. Como a curva é simétrica em relação à média, a probabilidade de observar-se um valor inferior ou superior à média é de 50%. Se uma variável segue uma distribuição Normal, cerca de 68,26% de seus valores encontram-se no intervalo

$[\mu+1\sigma; \mu-1\sigma]$; 95,44% no intervalo $[\mu+2\sigma; \mu-2\sigma]$ e 99,73% no intervalo $[\mu+3\sigma; \mu-3\sigma]$. Esta situação está representada na Figura 3.

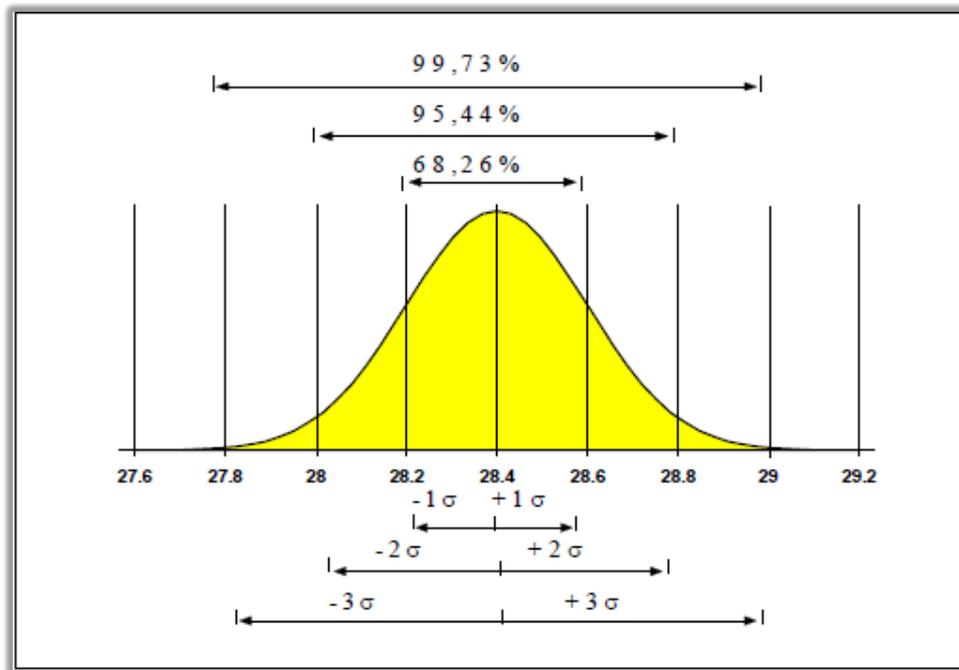


Figura 3 - Percentuais associados à faixa de $\pm 1\sigma$, $\pm 2\sigma$, $\pm 3\sigma$ da média de uma distribuição normal com média 28,4 e $\sigma = 0,20$

Fonte: Pitt, 1994.

2.2.8 Interpretação da Estabilidade do Processo

Todo processo apresenta variabilidade, parte dela sendo originada por elementos vitais ao processo, como matérias-primas, máquinas, métodos, gerenciamento e mão-de-obra. Esta variabilidade pode ser constatada através da análise das cartas de controle obtidas para as características de qualidade. As cartas auxiliam na verificação da estabilidade do processo gerador dos dados, além de o operador conseguir facilmente identificar causas especiais inerente a sua produção (PITT, 1994).

A presença de causas especiais em processos resulta em instabilidade operacional. Nessas condições, são esperados pontos fora dos limites de controle ou padrões não aleatórios na sequência de pontos na carta; ambos os casos apontam para uma provável presença de causas especiais. Assim, causas especiais devem ser identificadas e removidas para redução na variabilidade dos processos, é importante fazer um estudo de possíveis variáveis e que

possam alterar a variabilidade do processo produtivo, assim fica mais fácil identificar as causas dos problemas (PIRES, 2000).

Após atuar sobre causas especiais, as causas comuns de variação devem ser investigadas e modificadas para reduzir ainda mais a variabilidade do processo. Em geral, no início do monitoramento, os processos apresentam várias causas especiais. Uma vez tomadas ações corretivas através das cartas de controle, causas especiais vão sendo gradativamente identificadas e eliminadas (PITT, 1994).

A eliminação de causas comuns de variabilidade em processos gera mudanças no sistema gerencial como um todo, tais como: (a) verificação no projeto do produto e equipamentos, (b) análise das matérias-primas utilizadas em todo processo, (c) revisão das metodologias, política gerencial e ambiente de trabalho. Se apenas causas comuns estiverem presentes, o processo é considerado estável, sendo que a quase totalidade dos pontos plotados na carta devem localizar-se dentro dos limites de controle especificados (MONTGOMERY, 2004).

Segundo o próprio autor, além de verificar os pontos fora dos limites de controle (causas especiais), também é importante investigar no processo eventuais padrões na sequência de pontos. Eventos como sete pontos em sequência acima ou abaixo da linha central ou sete pontos em sequência ascendente ou descendente, podem indicar a presença de causas especiais. É importante investigar eventuais padrões como (i) padrões cíclicos, (ii) mudança na média e (iii) tendência linear na distribuição dos pontos na carta. Tais padrões são indícios de causas especiais e podem apontar para ações que favoreçam melhorias permanentes no processo.

2.2.9 Teste de Estabilidade

Qualquer processo de produção, independente de quão bem projetado ou mantido ele seja, sempre estará sujeito a uma variabilidade natural ou inerente, que é resultado do efeito cumulativo de muitas causas pequenas e inevitáveis, chamadas de causas comuns (MONTGOMERY, 2004).

Para verificar se o processo está sob controle estatístico existem 8 testes para a detecção de pontos fora de controle (NELSON, 1984 *apud* MINITAB, 2003):

- **Teste 1:** O ponto está localizado acima do Limite Superior de Controle - LSC ou abaixo do Limite Inferior de Controle - LIC;

- **Teste 2:** Presença de nove pontos consecutivos localizados acima ou abaixo do Limite Central - LC;
- **Teste 3:** Seis ou mais pontos consecutivos crescentes ou decrescentes;
- **Teste 4:** Catorze pontos alternados em uma linha;
- **Teste 5:** Dois de três pontos localizados no mesmo lado a dois desvios-padrão acima ou abaixo do LC;
- **Teste 6:** Quatro de cinco pontos localizados no mesmo lado a um desvio-padrão acima ou abaixo do LC;
- **Teste 7:** Quinze pontos consecutivos localizados, em qualquer lateral, a menos de um desvio-padrão do LC;
- **Teste 8:** Oito pontos consecutivos acima ou abaixo, em qualquer lateral, a mais de um desvio-padrão do LC.

Um ponto detectado em pelo menos um dos testes pode estar sob a influência de causas especiais, devendo ser investigado. Caso não existam pontos fora de controle, o processo está sob influência somente de causas comuns, podendo ser considerado como estando sob controle estatístico. Dessa forma, é possível fazer a análise de capacidade do processo (MONTGOMERY, 2004).

2.2.10 Interpretações da Capacidade do Processo

Segundo Montgomery (2004. P.72):

“o estudo da capacidade dos processos é um procedimento que evolui a partir do estudo das cartas de controle. Somente após a eliminação das causas especiais, avalia-se se o processo é capaz de atender às especificações de uma determinada característica de qualidade”. Os índices de capacidade do processo são úteis para verificar se o processo é capaz de atender às especificações do cliente ou da própria empresa quanto ao atendimento do valor alvo e da variabilidade. É importante salientar que um processo pode estar sob controle estatístico e não atender às especificações, sendo considerado como não capaz”.

Por esse motivo, os projetistas estabelecem especificações que definem não apenas o valor alvo de algo, mas também os limites aceitáveis sobre o alvo. Por exemplo, se o valor alvo de uma dimensão for igual a 10 polegadas, as especificações do projeto poderão ser 10 polegadas +/- 0,02 polegadas. Isso informaria ao departamento de manufatura que, embora ela

tivesse como objetivo exatamente as 10 polegadas, qualquer coisa entre 9,98 e 10,02 polegadas seria tolerável. Essas limitações no projeto são chamadas com frequência de limites inferior e superior de especificação ou de limites inferior e superior de tolerância (MONTGOMERY, 2004).

Segundo Pires (2000, p. 35) o estudo da capacidade do processo permite:

- i. Otimizar a produtividade e qualidade.
- ii. Determinar os novos padrões de tolerância.
- iii. Determinar se um novo equipamento é capaz de atender às especificações dos clientes.
- iv. Comparar o desempenho de diferentes equipamentos.

A capacidade dos processos provém da variabilidade existente nos processos; ou seja, de materiais, equipamentos, pessoas e métodos (PITT, 1994). Na análise de capacidade, é importante diferenciar um processo estável de um processo capaz. Processos sob controle estatístico podem não ser capazes de atender as especificações do cliente; esta situação está apresentada na Figura 4. Isso ocorre quando, apesar de estável, o processo apresenta uma variabilidade devido a causas comuns, maior do que a amplitude das especificações.

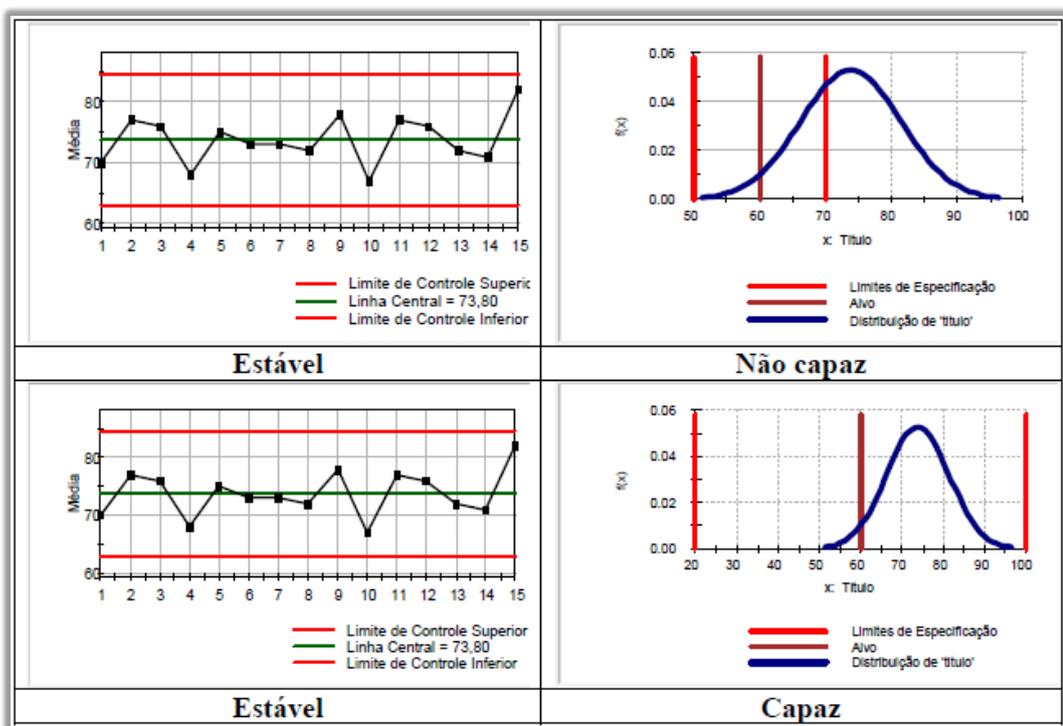


Figura 4 - Processo Estável versus Processo Capaz

Fonte: Ribeiro e Caten, 2000.

Segundo Ribeiro e Caten (2000) para analisar a capacidade do processo é necessário conhecer a distribuição de probabilidade da variável de interesse e estimar a média e a variabilidade dos valores individuais, para então determinar os limites naturais do processo. Se a variável de interesse seguir uma distribuição Normal, seus limites naturais são calculados como seis vezes o valor do desvio padrão (6σ). Em termos probabilísticos, estes limites representariam uma situação em que 99,73% das observações do processo estão dentro dos limites (Equações 14 e 15) e 0,27% estão fora dos limites naturais do processo.

2.3 Tomada de Decisão

Inicialmente a tomada de decisão caracteriza-se por uma situação de problema, onde é necessário verificar as alternativas para a solução. Miglioli (2006) define tomada de decisão “como sendo o ato escolher uma opção dentre diversas alternativas, seguindo critérios previamente estabelecidos de forma a obter uma solução que resolva ou não um dado problema”. A tomada de decisão é um esforço para tentar resolver problema(s) de objetivos conflitantes, cuja presença impede a existência da solução ótima e conduz à procura do melhor compromisso (ZELENY, 1994 *apud* GOMES e ALMEIDA, 2002).

Dessa forma os objetivos são importantes para determinar quais informações devem ser obtidas, para proporcionar justificativas relacionadas às decisões perante aos demais, para ressaltar a importância de uma escolha e estabelecer qual o tempo e os esforços necessários para o cumprimento da tarefa (RAIFFA, 1999 *apud* GOMES e ALMEIDA, 2002).

2.3.1 Classificação e Métodos de Decisão

O processo de tomada de decisão muitas vezes é caracterizado intuitivo. Porém, quando estas decisões são de grande importância para a sobrevivência de uma organização em um setor competitivo da economia, é necessário que ela disponha de uma ferramenta quantitativa de suporte a decisões de um modo mais abrangente, de modo que os dados referentes ao projeto acabem se tornando informações necessárias para servir de base na tomada de decisão.

O maior objetivo da Teoria da Decisão é de tentar minimizar a subjetividade e a componente intuitiva intrínseca neste processo, através de valores consistentes e lógicos que levem a uma ação decisiva corretamente.

Através disso, os gerentes têm sustentado deterministicamente suas decisões de forma científica e racional. Este método decisório se baseia na determinação de probabilidades associadas a cada evento possível, na valorização de cada um deles e, finalmente, na definição

quantitativa da melhor estratégia a ser seguida. Portanto, o agente decisório se defronta com uma realidade da qual ele não tem domínio completo, isto é, há o envolvimento de incertezas que são representadas pelas probabilidades (MARGUERON, 2003).

As decisões são divididas de acordo com os diferentes níveis administrativos: estratégico: as decisões englobam a definição de objetivos, políticas e critérios gerais para planejar o curso da organização; tático: as decisões são normalmente relacionadas ao controle administrativo e utilizadas para decidir sobre operações de controle, formulação de novas regras de decisão que serão aplicadas por parte do pessoal da operação; operacional: a decisão é um processo no qual se assegura que as atividades operacionais sejam bem desenvolvidas, utilizando-se procedimentos e regras de decisões preestabelecidas (FREITAS e KLADIS, 1995 apud MIGLIOLI, 2006).

Miglioli (2006. P54) aponta três métodos como a tomada de decisão pode ocorrer dentro de uma empresa:

Decisões individuais: pressupõe que o tomador tem informação e conhecimentos suficientes para tomar uma boa decisão; decisões consultivas: o tomador de decisões busca informações e conselhos com outras pessoas sobre o problema, e com base nas informações colhidas e em sua interpretação, escolhe a alternativa que julga ser melhor e decisões em grupo: o tomador pede ao grupo que tomem ou o ajudem a tomar a decisão final para a solução de um determinado problema.

2.3.2 Atuação da Gerência na Tomada de Decisão

Para Moreira (2004) a tomada de decisão é uma tarefa gerencial, onde se torna necessário buscar o maior número de dados referentes ao problema para gerar informações úteis a serem analisadas. É importante que essa análise tenha como foco os objetivos da empresa e os recursos disponíveis.

Segundo Miglioli (2006) as decisões gerenciais estão ligadas diretamente à sobrevivência da empresa e afetam diretamente todos agentes que giram em torno dela, sejam eles empregados, acionistas, fornecedores, clientes ou até mesmo a própria sociedade.

Montgomery (2004) assegura que o compromisso e envolvimento da gerência com o processo de melhoria da qualidade é o componente mais vital para a o sucesso do controle estatístico de um processo. Dessa forma, a gerência torna-se uma função modelo em relação aos demais na organização. Portanto é imprescindível uma abordagem em grupo para que as melhorias do processo sejam difundidas por toda a empresa.

2.4 Considerações

Conhecemos neste capítulo os conceitos relativos ao controle estatístico do processo na tomada de decisão e dessa forma ressaltar a importância da aplicação desses conhecimentos no Controle de Qualidade no concreto produzido, na busca de sempre aperfeiçoar os processos com o pensamento de melhoria contínua.

As informações expressas nesse capítulo estão ligadas a Qualidade de um modo geral, com enfoque no Controle Estatístico de Qualidade, a Análise da Capacidade, Tomada de Decisão. Tendo como o objetivo principal do estudo, avaliar a importância da utilização do CEP na produção do concreto para postes e pré-moldados em uma fábrica na cidade de Petrolina-PE. No próximo capítulo apresentaremos a metodologia do trabalho em questão.

3. METODOLOGIA

Em seu sentido mais geral, método é a ordem que se deve impor aos diferentes processos necessários para atingir certo fim ou um resultado desejado. Nas ciências, entende-se por método o conjunto de processos empregados na investigação e na demonstração da verdade (CERVO, 2007).

A técnica de análise adotada para este trabalho é o estudo de caso, pois de acordo com Gil (1988) apud Bertucci (2008, p. 52) “é caracterizado pelo estudo profundo e exaustivo de um ou de poucos objetos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento”. Ainda afirma que “estudos realizados em uma ou poucas empresas, quando se procura responder como e porque determinada situação ocorre, são as situações mais típicas em que se utilizam os estudos de caso nas ciências gerenciais”.

De acordo com, YIN (2004, p.32), “estudo de caso é uma pesquisa empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de um contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não são claramente definidos.” Dessa forma, no estudo de caso, o pesquisador tem pouco ou nenhum controle sobre um conjunto contemporâneo de acontecimentos. Geralmente, é utilizado quando se quer responder a questões do tipo “como” ou “por que”.

Assim, este capítulo tem por objetivo apresentar a metodologia que foi usada nessa pesquisa, informando o campo de atuação, o tipo, à natureza da pesquisa, juntamente com o procedimento para coleta e análise dos dados.

3.1 Campo de Atuação

A pesquisa foi realizada no setor de Controle de Qualidade da empresa Barbosa & Barbosa, localizada no Av. M. Lopes, Lotes 16/17/18 - Quadra E Distrito Industrial - Petrolina – PE.

3.2 Tipo e Natureza da Pesquisa

Gil (2002) aponta três grandes grupos de pesquisa: exploratórias, descritivas e explicativas. A pesquisa exploratória tem o objetivo de proporcionar maior familiaridade com o problema, de forma a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses. A pesquisa descritiva busca identificar as características de determinada população ou fenômeno, ou estabelecer

relações entre variáveis. Já a pesquisa explicativa busca identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos.

A pesquisa descritiva objetiva a descrição de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis. Esse tipo de estudo tem como característica mais significativa a utilização de técnicas padronizadas de coleta de dados, tais como o questionário e a observação sistemática. A pesquisa descritiva “tem como principal objetivo a descrição de algo”, um evento, um fenômeno ou um fato. Os termos: descritiva, descrição e descrever referem-se ao fato de esse tipo de pesquisa apoiar-se na estatística descritiva para realizar as descrições da população (mediante amostra probabilística) ou do fenômeno, ou relacionar variáveis. Assim, a pesquisa descritiva pura tem natureza quantitativa, mas pode ser quantitativa e qualitativa ao mesmo tempo, se representar descrição de amostra não probabilística (MALHOTRA, 2001).

Diante de tal conceituação, o estudo realizado demonstrou através de um estudo de caso realizado com a empresa Barbosa & Barbosa, de que forma o CEP pode auxiliar no monitoramento da qualidade dos produtos na tomada de decisão de gestores durante o processo de produção de postes e pré-moldados. Com isso, essa pesquisa foi classificada como do tipo descritiva.

A pesquisa na fábrica foi de natureza quantitativa, pois as variáveis estudadas para implantação do CEP foram medições colhidas ao longo do processo de controle de qualidade dos corpos de prova, oriundos da produção de concreto em betoneiras estacionárias. Logo, as cartas de controle utilizadas foram para variáveis, destacando a variabilidade da resistência à compressão, abatimento do tronco do cone (*Slump Test*), umidade na areia e brita, além do volume de água adicionado ao traço, tudo de acordo com o estudo de dosagem já existente na fábrica.

3.3 Coleta de Dados

Nesse trabalho foi utilizada a observação direta que segundo Marconi e Lakatos (2002, p. 88) “é uma técnica de coleta de dados para conseguir informações e utiliza os sentidos na obtenção de determinados aspectos da realidade. Não consiste apenas em observar, mas também examinar fatos ou fenômenos que se deseja estudar”.

A coleta de dados é uma das tarefas mais importantes na pesquisa, pois envolve diversos passos como a determinação da população a ser estudada, a elaboração do instrumento de coleta, a programação da coleta e também os tipos de dados da coleta.

Para o desenvolvimento do trabalho, serão realizados os seguintes instrumentos para o levantamento de dados:

- Pesquisa bibliográfica e documental;
- Coleta dos dados;
- Armazenamento de dados.

A pesquisa bibliográfica é o meio de formação por excelência e constitui o procedimento básico para os estudos monográficos pelos quais se busca o domínio do estado da arte sobre determinado tema (CERVO, 2007).

Os dados foram coletados no período compreendido entre os meses de Novembro e Dezembro/13. Para tanto foram realizadas amostras diárias junto a área de concretagem e laboratório, onde está localizado o controle de qualidade da empresa.

Os dados coletados e analisados foram correspondentes a umidade dos agregados (areia e brita), quantidade de água adicionada ao traço, *Slump Test*, ensaio de resistência à compressão, para corpos de prova submersos por 14 e 28 dias em tanques de cura regulamentada pela NBR 5738:2003. Os corpos de prova podem ser vistos em tanque de cura com água na Figura 5.



Figura 5 - Corpos de Prova em Cura

Fonte: Autor

No monitoramento de consistência do traço do concreto, o objetivo é sempre atingir a quantidade ideal de água no traço (51 litros) definido pelo estudo de dosagem da empresa, para isso serão analisadas as seguintes variáveis: umidade dos agregados (areia e brita) conforme NBR 7211:2009, e a quantidade de água adicionada ao traço para completar o volume de água ideal. Para o estudo de dosagem e controle tecnológico do concreto deve ser obedecida a ABNT NBR 12655:2006.

A Tabela 1 mostra como é controlado, pelo laboratorista e operador de betoneira, o volume de água adicionado ao traço determinado. O controle de umidade dos agregados é feito duas vezes por dia, sempre antes de começar a produção do concreto naquele turno, havendo a constante troca de informações entre os operadores em questão.

As amostras são representadas pelo dia do ensaio, volume de água (litros) para certa quantidade (estudo de dosagem) de areia, brita, e o volume de água a ser adicionado na mistura, para preparação do concreto. Os ensaios do dia 28/11 foram cancelados por conta da forte chuva, fazendo com que não houvesse produção no dia.

Tabela 1 - Quantidade de Água a ser Adicionada ao Traço

Água Adicionada ao traço do concreto.							
Mês - Novembro							
		Amostra 1 (manhã)			Amostra 2 (Tarde)		
N	Amostragem	Areia (L)	Brita (L)	Add ao Traço (L)	Areia (L)	Brita (L)	Add ao Traço (L)
1	01/11/2013	24,72	2,57	23,71	8,88	2,05	40,07
2	04/11/2013	28,12	0,42	22,46	26,64	1,07	23,29
3	05/11/2013	30,34	1,97	18,69	22,79	2,31	25,90
4	06/11/2013	26,64	1,71	22,65	17,46	1,88	31,66
5	07/11/2013	24,72	1,96	24,32	21,02	1,62	28,36
6	08/11/2013	26,05	3,16	21,79	31,82	2,57	16,61
7	11/11/2013	18,06	2,31	30,63	31,08	2,05	17,87
8	12/11/2013	28,12	2,57	20,31	14,95	2,31	33,74
9	13/11/2013	31,82	1,71	17,47	16,28	2,09	32,63
10	14/11/2013	25,46	1,79	23,75	23,53	1,62	25,85
11	18/11/2013	18,50	1,71	30,79	1,04	2,39	47,57
12	19/11/2013	4,29	3,00	43,71	6,66	1,88	42,46
13	20/11/2013	18,50	2,31	30,19	16,28	2,14	32,58
14	21/11/2013	19,24	1,71	30,05	3,11	2,99	44,90
15	22/11/2013	14,95	2,57	33,48	10,51	2,78	37,71
16	25/11/2013	5,18	2,14	43,68	2,66	1,88	46,46
17	26/11/2013	11,69	2,57	36,74	9,47	2,14	39,39
18	27/11/2013	6,66	1,62	42,72	5,18	1,97	43,85
19	28/11/2013	Não houve produção (Chuva)			Não houve produção (Chuva)		
20	29/11/2013	27,53	2,57	20,90	25,46	2,78	22,76
VALOR MÉDIO		20,56	2,12	28,32	15,52	2,13	33,35

O monitoramento da consistência do concreto será analisado a partir do *SLUMP TEST* regida pela NBR 7223:2007. A Figura 6 representa como é feito a medida para análise de abatimento do tronco do cone, sendo essa com limites superior e inferior de 40 mm e 20 mm respectivamente, pré-estipulados pelo corpo de Engenharia da empresa.



Figura 6 - Slump Test

Fonte: Autor

Esses dados são coletados antes da modelagem do corpo de prova, porém será analisado conjuntamente com a resistência adquirida, de acordo com o dia em que o corpo de prova foi moldado. Na moldagem do corpo de prova, são feitas quatro amostras (duas para 14 dias e duas para 28 dias) por dia, colocadas em cura com água no dia seguinte. O processo de moldagem do corpo de prova pode ser visto na Figura 7, esse processo antecede o tempo de cura e o ensaio de resistência à compressão.



Figura 7 - Produção do Corpo de Prova

Fonte: Autor

Para o monitoramento de resistência à compressão (medida em MPa – Mega Pascal), foram coletados dados relativos a ruptura dos corpos de prova com 14 e 28 dias, sendo que existe um limite inferior de controle determinado pela norma que estipula o ensaio de resistência a compressão, ABNT NBR 5739:2008. O procedimento de ruptura é feito por uma prensa manual como mostra a Figura 8.



Figura 8 - Prensa para Ruptura do Corpo de Prova

Fonte: Autor

Os dados referentes a essas variáveis, analisados conjuntamente de acordo com o dia de produção do mesmo, são mostrados na Tabela 02. Eles são representados pelo número da amostra no mês (N), data de modelagem, medida de abatimento do tronco do cone, e resistência atingida com 14 e 28 dias em cura. A coluna CP representa a numeração do corpo de prova, de acordo com a sequência de produção no ano.

Tabela 2 - Slump Test e Tensão de Ruptura (MPa) para 14 e 28 Dias

Corpos de prova modelados em NOVEMBRO/2013					
N	CP	Modelagem	Slump (mm)	Tensão 14 dias (MPa)	Tensão 28 dias (MPa)
1	292	01/11/2013	35	25,51	28,63
2	292	01/11/2013	35	25,39	29,70
3	295	04/11/2013	35	25,68	29,19
4	295	04/11/2013	35	25,43	29,58
5	296	05/11/2013	30	25,48	29,50
6	296	05/11/2013	30	25,28	29,80
7	297	06/11/2013	25	30,27	34,91
8	297	06/11/2013	25	30,54	35,02
9	298	07/11/2013	35	30,09	32,59
10	298	07/11/2013	35	29,60	32,04
11	299	08/11/2013	30	31,23	33,99
12	299	08/11/2013	30	31,41	33,63
13	302	11/11/2013	30	30,05	32,81
14	302	11/11/2013	30	29,30	34,31
15	303	12/11/2013	40	29,72	32,21
16	303	12/11/2013	40	30,45	30,79
17	304	13/11/2013	35	30,03	32,62
18	304	13/11/2013	35	30,15	30,90
19	305	14/11/2013	30	25,53	28,11
20	305	14/11/2013	30	26,40	30,25
21	309	18/11/2013	30	28,28	30,79
22	309	18/11/2013	30	28,25	30,29
23	310	19/11/2013	30	30,54	32,19
24	310	19/11/2013	30	31,29	31,79
25	311	20/11/2013	40	30,25	34,54
26	311	20/11/2013	40	30,85	34,31
27	312	21/11/2013	30	32,23	35,77
28	312	21/11/2013	30	30,32	35,49
29	313	22/11/2013	20	28,68	31,66
30	313	22/11/2013	20	28,17	32,61
31	316	25/11/2013	20	30,85	34,54
32	316	25/11/2013	20	30,54	36,06
33	317	26/11/2013	30	27,05	29,74
34	317	26/11/2013	30	26,48	30,53
35	318	27/11/2013	30	28,31	31,51
36	318	27/11/2013	30	27,36	30,29
37	320	29/11/2013	35	25,98	30,27
38	320	29/11/2013	35	26,39	30,77
VALOR MÉDIO			31,05	28,67	31,94

3.4 Avaliação da Resistência do Concreto

Concreto é o produto resultante de uma mistura homogênea, devidamente proporcionada, de cimento Portland, agregado miúdo, agregado graúdo e água de forma atender às especificações do projeto tanto no estado fresco como no estado endurecido. A resistência à compressão simples é a característica mais importante de um concreto. Esta característica é medida por meio de ensaios de corpos-de-prova, os quais dependem basicamente do tamanho e forma dos corpos-de-prova e da duração do carregamento.

A resistência de um material é definida como a capacidade de este suportar cargas sem romper. A ruptura é algumas vezes identificada com o aparecimento de fissuras. De qualquer modo, deve ser lembrado que, ao contrário da maioria das materiais estruturais, o concreto contém micro fissuras antes mesmo de ser submetidos a tensões externas. No concreto, a resistência é relacionada com a tensão requerida para causar a fratura e é sinônimo do grau de ruptura no qual a tensão aplicada alcança seu valor máximo. Na compressão, o corpo de prova é considerado rompido mesmo quando não há sinal de fratura externa visível, porém a fissuração interna é muito avançada, tal que o corpo de prova é incapaz de suportar uma carga maior sem fraturar-se. (Mehta e Monteiro, 1994)

Neville considera a resistência a propriedade mais importante do concreto. Ela dá uma idéia geral da qualidade do concreto, pois está diretamente relacionada com a estrutura da pasta de cimento hidratada. (Neville, 1997, p.278).

Para Mehta e Monteiro (1994, p.44) “A resistência é a propriedade geralmente especificada nos projetos de estruturas porque, comparada com a maioria das propriedades, a resistência é relativamente fácil de ser ensaiada. Contudo, muitas propriedades do concreto, como o modo de elasticidade, estanqueidade, impermeabilidade e resistências às intempéries incluindo águas agressivas, são diretamente relacionadas com as resistências e podem, portanto, ser deduzidas dos dados da resistência. Onde a resistência à compressão do concreto é muitas vezes maior que outros tipos de resistência, e a maioria das peças de concreto são projetados levando em conta a vantagem da alta resistência à compressão do material. Embora na prática o concreto seja submetido simultaneamente a uma combinação de compressão, cisalhamento e esforços de tração em duas ou mais direções, os ensaios de compressão uniaxial são de mais fácil execução no laboratório. A resistência à compressão aos 28 dias, determinada através de ensaio padrão de compressão uniaxial, é aceita universalmente como um índice geral da resistência do concreto”.

3.4.1 Variação e Evolução da Resistência à Compressão com a Idade

As propriedades do concreto, como o módulo de deformação longitudinal e as resistências à tração e à compressão, sofrem uma contínua variação no tempo em virtude das reações químicas decorrentes da hidratação do cimento. Esse fenômeno, denominado *envelhecimento*, ocorre durante praticamente toda a vida útil do material, sendo muito acentuado nos primeiros dias após a concretagem.

As propriedades do concreto em uma idade t dependem do tipo de cimento e das condições de cura (temperatura e umidade). De acordo com o CEB/90, para uma temperatura média de 20°C, a resistência média à compressão do concreto em uma idade t dias, $f_{cm}(t)$, pode ser obtida pela expressão:

Equação 1 - Resistência média à Compressão do Concreto (em t dias)

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) f_{cm}$$

Onde f_{cm} é a resistência média aos 28 dias de idade. A função $\beta_{cc}(t)$, que representa a evolução da resistência no tempo, é dada por:

Equação 2 - Evolução da Resistência com o Tempo

$$\beta_{cc}(t) = \exp\left\{s \left[1 - \left(\frac{28}{t}\right)^{1/2}\right]\right\}$$

Onde $s = 0,20$ para cimentos de alta resistência inicial, $s = 0,25$ para cimentos de endurecimento normal e $s = 0,38$ para cimentos de endurecimento lento. Essa expressão foi incorporada ao projeto de reformulação da NBR-6118:2007. De acordo com a classificação brasileira, o coeficiente s tem os seguintes valores:

- $s = 0,38$, para cimento de alto forno (CP III) e cimento pozolânico (CP IV);

- $s = 0,25$, para cimento Portland comum (CP I) e cimento composto (CP II);
- $s = 0,20$, para cimento de alta resistência inicial (CP V).

Com os parâmetros estabelecidos na NBR-6118:2007, construiu-se uma tabela relacionando os valores das resistências de diferentes idades, Tabela 3, considerando 25 MPa como a resistência característica aos 28 dias:

Tabela 3 - Resistência Mecânica à Compressão em Relação a Equação 2.

Cimento	Classe	Resistência Mecânica à Compressão Prevista Pela NBR 6118-2003 MPa		
		3 dias	7 dias	28 dias
CP I	32	15,0	19,5	25,0
CP II	32	15,0	19,5	25,0
CPIII/CPIV	32	11,4	17,1	25,0
CP V	-	16,6	20,5	25,0

Fonte: Associação brasileira de normas técnicas NBR 6118 (2003).

A partir dos valores calculados segundo a NBR 6118:2007, pode-se determinar o ganho percentual da resistência ao longo das idades consideradas, relacionando-se a idade ao relativo percentual acumulado de resistência. Esses percentuais encontram-se expostos na Tabela 4.

Tabela 4 - Ganho Acumulado de Resistência previsto na NBR 6118:2007.

Cimento	Classe	Ganho Percentual Acumulado (%) de Resistência Previsto Pela NBR 6118-2003.		
		3 dias	7 dias	28 dias
CP I	32	60	78	100
CP II	32	60	78	100
CPIII/CPIV	32	45,6	68,4	100
CP V	-	66,4	82	100

Fonte: Associação brasileira de normas técnicas NBR 6118 (2003).

Segundo Neville (1997, p. 282) “A dependência entre a resistência e a razão gel/espaco é o motivo mais importante para se explicar o efeito da idade sobre a resistência do concreto, pois a quantidade de gel presente na pasta de cimento em qualquer

tempo é uma função da idade e do tipo do cimento. A razão espaço/gel leva em conta o fato de que cimentos diferentes exigem tempos diferentes para produzir iguais quantidades de gel”.

3.5 Análise de Dados

Foram utilizados os softwares Excel e Minitab versão 16, que possuem ferramentas estatísticas capazes de analisar os dados retirados no processo de concretagem, observando o andamento do processo, com intuito de analisar se o mesmo encontra-se em controle estatístico ou não.

Através da interpretação desses dados foi possível avaliar quais processos estão operando de maneira controlada e quais não estão em controle. Justificando dessa forma a importância das cartas de controle para o conhecimento da variabilidade existente em cada processo. Existe um limite mínimo de resistência à compressão especificado, e esse não pode ser inferior a 25 MPa para o corpo de prova em cura por 28 dias, logo as cartas serão feitas com Limite Inferior de Controle (LIC) já determinado. O corpo de prova em cura por 14 dias também será analisado com o mesmo limite.

As cartas de controle tiveram em sua análise a verificação de controle estatístico ou não, e somente um teste dentre os oito possíveis, será avaliado nesse estudo de caso. Essa escolha se deu por conta de uma preocupação com o limite mínimo, buscando atingir o controle estatístico, utilizando assim o teste para identificação de possíveis pontos abaixo do Limite Inferior de Controle (LIC). No estudo de caso em questão, os dados estiveram prontos para serem analisados no final de Janeiro de 2014.

4. DESCRIÇÃO DA EMPRESA E PROCESSOS DE PRODUÇÃO

Este capítulo trata da descrição da empresa BARBOSA & BARBOSA Cia Ltda., junto com o seu histórico e suas unidades fabris.

Também foi feita a descrição do processo de produção de postes e cruzetas em todas as fases, regidas pelas NBR 8451:2011 e NBR 8453:2012 e por fim é realizado nesse estudo o controle de qualidade do concreto produzido em betoneiras próprias, regulamentada pela NBR 6118:2007.

4.1 A Empresa

A Barbosa & Barbosa faz parte de um grupo de empresas voltadas para o setor elétrico, em conjunto com outras empresas compõem a União Barbosa – Representações Comerciais. A União Barbosa está preparada para atender diversos tipos de clientes, como concessionárias, revendas, empreiteiros, construtoras, indústrias e prefeituras, nos estados da Bahia e Pernambuco, contando com estruturas locadas em pontos estratégicos desses estados.

A empresa Barbosa & Barbosa foi fundada em 1995 para atuar no campo industrial através da fabricação de postes de concreto, subestação de concreto e galpões pré-moldados. Atualmente a empresa possui três unidades Filiais em Barreiras-BA, Petrolina-PE, e Itororó-BA, sendo a matriz localizada em Amélia Rodrigues-BA. A Barbosa & Barbosa tem como foco a produção de produtos pré-moldados com qualidade e com um notório investimento em desenvolvimento tecnológico, desenvolvimento de novos processos de produção e controle de qualidade.

No ano de 1995 foi adquirida uma unidade industrial (fábrica de postes) na Bahia da Romagnole Produtos Elétricos Ltda. No mesmo ano de aquisição foi feito um planejamento, havendo uma recontração das equipes técnicas, administrativa e produtiva dos ex-funcionários da Romagnole Fábrica de Postes da Bahia. Além da recontração foi feita na unidade fabril uma reestruturação, com um maior investimento na qualidade e capacidade produtiva. No ano seguinte deu-se inicio a atividade de transporte de carga. Com a crescente demanda no mercado estadual, em 1997 foi criada a Filial Barreiras-BA e no ano seguinte a Filial Petrolina-PE. Por último, no ano de 2000 foi iniciada a produção na Filial Itororó-BA.

Assim como a última filial, no ano de 2000 ocorreu o desmembramento das atividades de indústria de pré-moldados, distribuidora de material elétrico e representações comerciais. Até o ano de 2002 a empresa não tinha uma central para produção do concreto, porém nesse mesmo ano foi implantada a central do concreto na matriz, sendo que cada filial também passou a produzir o concreto em betoneiras estacionárias no próprio local de produção. No ano de 2004 a matriz implantou o sistema de qualidade ISO 9001:2000, e é referência para a produção de postes nos estados da Bahia e Pernambuco. As filiais são representadas geograficamente na Figura 9.

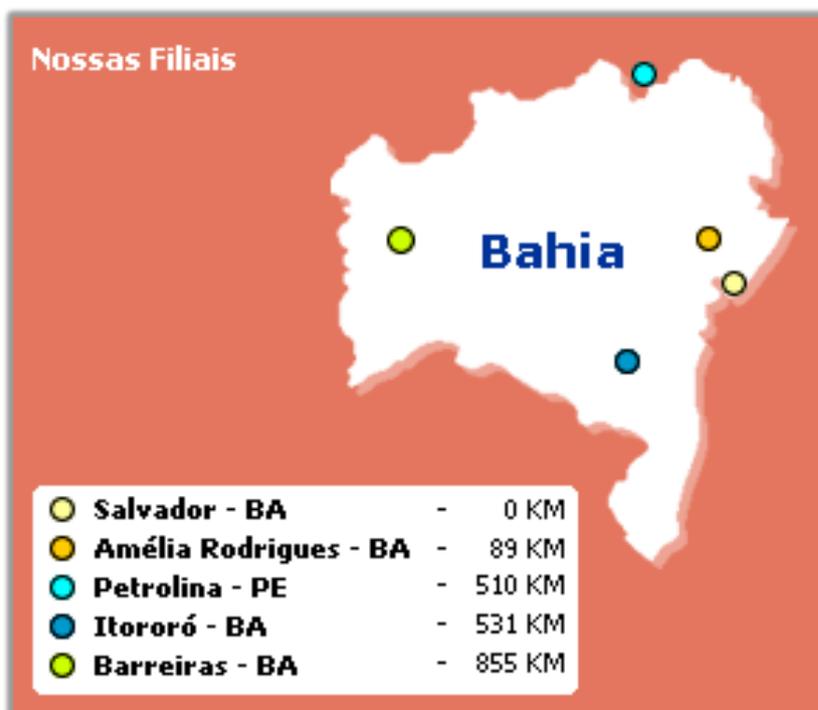


Figura 9 - Filiais Barbosa & Barbosa

Fonte: <http://www.barbosaebarbosa.com.br>

As filiais tem bastante importância para o crescimento do grupo como um todo, e contam com todo o apoio da matriz para que consigam suprir suas demandas, ofertando produtos com qualidade. A Figura 10 mostra a matriz e suas respectivas filiais.



Figura 10 - Matriz e Filiais B&B

Fonte: <http://www.barbosaebarbosa.com.br>

4.2 Processo de Produção de Postes e Pré-Moldados

O processo de produção será descrito a seguir em suas variadas etapas, seguindo as Normas Brasileiras de Regulamentação, e de acordo com o dia-a-dia em estágio feito na própria fábrica, situada em Petrolina – Pernambuco.

Uma estrutura feita em concreto pré-moldado é aquela em que os elementos estruturais, como pilares, vigas, lajes e outros, são moldados e adquirem certo grau de resistência, antes do seu posicionamento definitivo na estrutura. Por este motivo, este conjunto de peças é também conhecido pelo nome de estrutura pré-fabricada, neste caso para postes e cruzetas especificamente.

4.2.1 Preparação de Componentes e Armadura

O primeiro passo é a preparação de componentes para a armadura em si. Para que haja a armadura de um poste ou cruzeta, é necessário que componentes oriundos da matriz e outros componentes feitos na própria filial estejam prontos para uso. Dente esses componentes que antecedem a armadura, podemos destacar as arruelas, quadrados, zig, pastilhas, e outros elaborados. Todos eles são de bastante importância para que se atinja a qualidade necessária dos materiais.

O processo de armadura ocorre com esses componentes servindo de matéria prima. Os postes são montados por duplas e carregados com a ajuda da equipe (setor), sendo que para

cada tipo de poste existe uma demanda específica de matéria prima. Para postes com maior resistência, usa-se bitolas maiores, maior número de arruelas, quadrados, dentre outras especificações de projeto. Para cruzetas o processo de armadura é feito individualmente.

Após a montagem as estruturas armadas são estocadas, separadas de acordo com sua especificação, próxima às formas onde posteriormente ocorrerá a concretagem. O setor é de bastante importância, considerando que eles ditam ritmo da produção, uma vez que quando as armaduras estão montadas, elas servem de matéria prima para o próximo passo. Vale destacar que os operários do setor são bastante treinados, e possuem boa experiência de atuação na área. A Figura 11 mostra como é feita a montagem dos postes.



Figura 11 - Setor de Armadura

Fonte: Autor

4.2.2 Produção do Concreto

A produção do concreto consiste basicamente no resultado da mistura de cimento, água, pedra e areia, sendo que o cimento ao ser hidratado pela água forma uma pasta resistente e aderente aos fragmentos de agregados (pedra e areia), formando um bloco monolítico. O cimento utilizado é o cimento Portland comum, e não se adiciona aditivos na mistura. Os agregados da mistura são estocados próximos às betoneiras como pode ser identificado na Figura 12.



Figura 12 - Agregados na Produção do Concreto

Fonte: Autor

A produção na Barbosa & Barbosa é bastante controlada por sua equipe técnica, se destacando o controle de qualidade do concreto produzido em betoneiras estacionárias, com operários para reposição de matéria prima e manuseio das betoneiras. O processo de produção do concreto pode ser visto na Figura 13.



Figura 13 - Produção do Concreto em Betoneiras Estacionárias

Fonte: Autor

Um bom planejamento, baseado nas necessidades específicas de cada obra ou produto, na sua localização e nos recursos disponíveis para sua execução é que podem definir a melhor alternativa. A empresa possui um estudo criterioso que define o traço ideal, realizado pelo setor de engenharia, que indica a quantidade de água, areia, brita, e cimento adicionado na mistura. Os operadores de betoneira seguem esse traço, e todo ensaio de umidade, granulometria, dentre outros regidos por norma técnica são feitas em laboratório próprio para cada filial da empresa.

4.2.3 Preparação das Formas e Concretagem

As formas são moldadas com as armaduras já prontas, a própria equipe de concretagem montam as formas antes de completarem com o concreto. A ordem de produção é de acordo com o planejamento do setor de PCP (Planejamento e Controle da Produção) que visa atender o que foi demandado pelos clientes. Na moldura das formas, a armadura é encaixada e a forma é ajustada para que atenda as especificações do projeto do produto, diferenciados por padrão CELPE e padrão COELBA.

A preparação das formas antecede o processo de concretagem, neste ocorre a junção das armaduras já montadas com o concreto oriundo das betoneiras. O trabalho de concretagem é feito manualmente pelos operadores, com o auxílio de um carrinho para movimentar o concreto, pás para o enchimento, vibradores que tem a função de espalhar o concreto por toda a forma, e outros materiais para fazer o acabamento. Todos os operários da fábrica devem usar os equipamentos de segurança disponibilizados pela empresa, dentre eles destacam-se luvas, capacete, protetor auricular, óculos e máscara. A Figura 14 mostra o momento do processo de concretagem das formas.



Figura 14 - Concretagem das Formas

Fonte: Autor

4.2.4 Desmoldagem, Identificação e Limpeza

No dia seguinte após a concretagem, ocorre a desmoldagem das formas por parte dos operários deste setor. Após aberta a forma, uma equipe faz o acabamento da estrutura caso seja necessário, fazendo também a identificação do poste/cruzeta de acordo com data de produção, número de fabricação, peso de sustentação e tamanho da estrutura.

Após a identificação na estrutura, a mesma é removida através dos operadores da monovia, que retiram a estrutura e direcionam para o processo de cura. Logo após a estrutura ser retirada, outra equipe limpa toda a forma deixando-a pronta para o uso novamente. Essa limpeza ocorre com produtos de características desmoldantes. Essa limpeza pode ser vista na Figura 15.



Figura 15 - Limpeza das Formas

Fonte: Autor

4.2.5 Manuseio dos Postes de Concreto

O manuseio dos postes de concreto geralmente é realizado através de cabos de aço, garras pantográficas (“gatos”) ou balancins, os quais são necessariamente acoplados a equipamentos de movimentação vertical e horizontal. A empresa se preocupa muito com essa questão e faz um acompanhamento no que se diz respeito às capacidades máximas de carga dos equipamentos, para se evitar acidentes.

Os equipamentos, com acionamento elétrico-hidráulico ou mecânico, devem obrigatoriamente ter comandos que permitam movimentos precisos, contínuos e sem trancos. Todos os meios de movimentação para as estruturas produzidas são regulamentadas por norma técnica, mostrando ali, como deve ser feito o transporte interno e também como devem ser posicionados nos caminhões. A figura 16 mostra o momento em que o poste é retirado da forma, antes de ser direcionado para a cura.



Figura 16 - Movimentação do Poste

Fonte: Autor

Para o transporte interno, as garras pantográficas são os equipamentos mais indicados para movimentação dos postes. Os “gatos” são práticos e seguros no empilhamento, carga e descarga de carretas, ou seja, sempre que se trabalha com os postes na posição horizontal. São fáceis de manusear, não torcem, nem soltam farpas, proporcionando um apoio melhor para os postes. A Figura 17 mostra um exemplo de como é feito o manuseio dos postes de concreto.

Além dos postes, a movimentação de todas as outras estruturas é regulamentada por norma técnica, mostrando ali, como deve ser feito o transporte interno e também como devem ser posicionados nos caminhões.



Figura 17 - Manuseio com Garras Pantográficas

Fonte: Autor

4.2.6 Cura

Após a secagem dos postes nas formas, o poste ainda não é um produto acabado, ocorre a retirada do mesmo pelos operadores da monovia. Os postes, cruzetas, e outros pré-moldados são colocados em locais estratégicos (próximo de aspersores) onde passarão algum tempo em processo de cura, processo esse controlado pelo setor de qualidade da empresa.

O concreto, após a pega do cimento, continua a ganhar resistência desde que não falte água necessária para a continuidade das reações de hidratação. A cura tem influencia não só no desenvolvimento da resistência como também a durabilidade do concreto, logo é uma das etapas mais importantes. Após a desforma é iniciada a cura definitiva, no caso da empresa em estudo é realizada com água saturada de cal.

A cura com água é recomendada por sua facilidade executiva e grande eficiência, além de favorecer a dissipação superficial da temperatura, que se desenvolve na massa do concreto devido à hidratação do cimento. O estabelecimento período de duração da cura está intimamente ligado ao tipo de cimento utilizado na fabricação do concreto, devendo ter duração mínima de 3 dias, para o caso estudado.

4.2.7 Controle de Qualidade do Produto

Todo processo produtivo deve ser controlado para garantir a qualidade final do produto, e este produto final deve atender a alguns requisitos, evidenciados em documentos específicos. A qualidade do concreto deve atender ao prescrito na ABNT NBR 12655:2006. A durabilidade da estrutura do concreto deve resistir à ação de intempéries, ataques químicos, abrasão, ou seja, o material de concreto durável deve conservar a sua forma original, qualidade e capacidade de utilização quando exposto ao meio ambiente. Os materiais de concreto também devem atender aos teores de absorção de água, especificado para cada tipo de produto produzido.

No estudo em questão, será abordada a relação entre os setores de Controle de Qualidade e Produção do concreto. Nesta relação ocorre, diariamente, trocas de informações a respeito da umidade nos agregados, e resultados obtidos em ensaios inerentes ao controle de qualidade do concreto de um modo geral.

Outros ensaios são realizados, e todos devem atender os padrões existentes em Norma Técnica, dentre eles podemos destacar os ensaios de elasticidade, carga de ruptura, cobrimento e espaçamento dos postes, cruzetas, e outros. Para que ocorra a verificação do controle de qualidade, os consumidores podem solicitar a apresentação de relatórios dos ensaios de controle, e mediante acordo das partes, o consumidor pode presenciar a realização dos ensaios de controle de qualidade e acompanhar todas as fases de fabricação.

4.2.8 Fluxo de Atividades

O projeto das estruturas de concreto armado é feito por engenheiros especializados no assunto, conhecidos também como calculistas. São eles que determinam a resistência do concreto, a bitola do aço, o espaçamento entre as barras e a dimensão das peças que farão parte do projeto (postes, cruzetas, blocos, pilares, lajes, vigas, etc.).

Um bom projeto deve considerar todas as variáveis possíveis e não só os preços unitários do aço e do concreto. Ao se utilizar uma resistência maior no concreto, por exemplo, pode-se reduzir o tamanho das peças, diminuindo o volume final de concreto, o tamanho das formas, o tempo de desforma, a quantidade de mão de obra, ritmo de produção, entre outros.

Os processos de produção na empresa estudada são um conjunto de ações, realizadas por operários experientes e que vestem a camisa da empresa. A Figura 18 mostra como é

esquemático o sequenciamento das atividades realizadas. Nesta análise podemos mostrar a importância de cada funcionário e sua contribuição para o produto com qualidade.

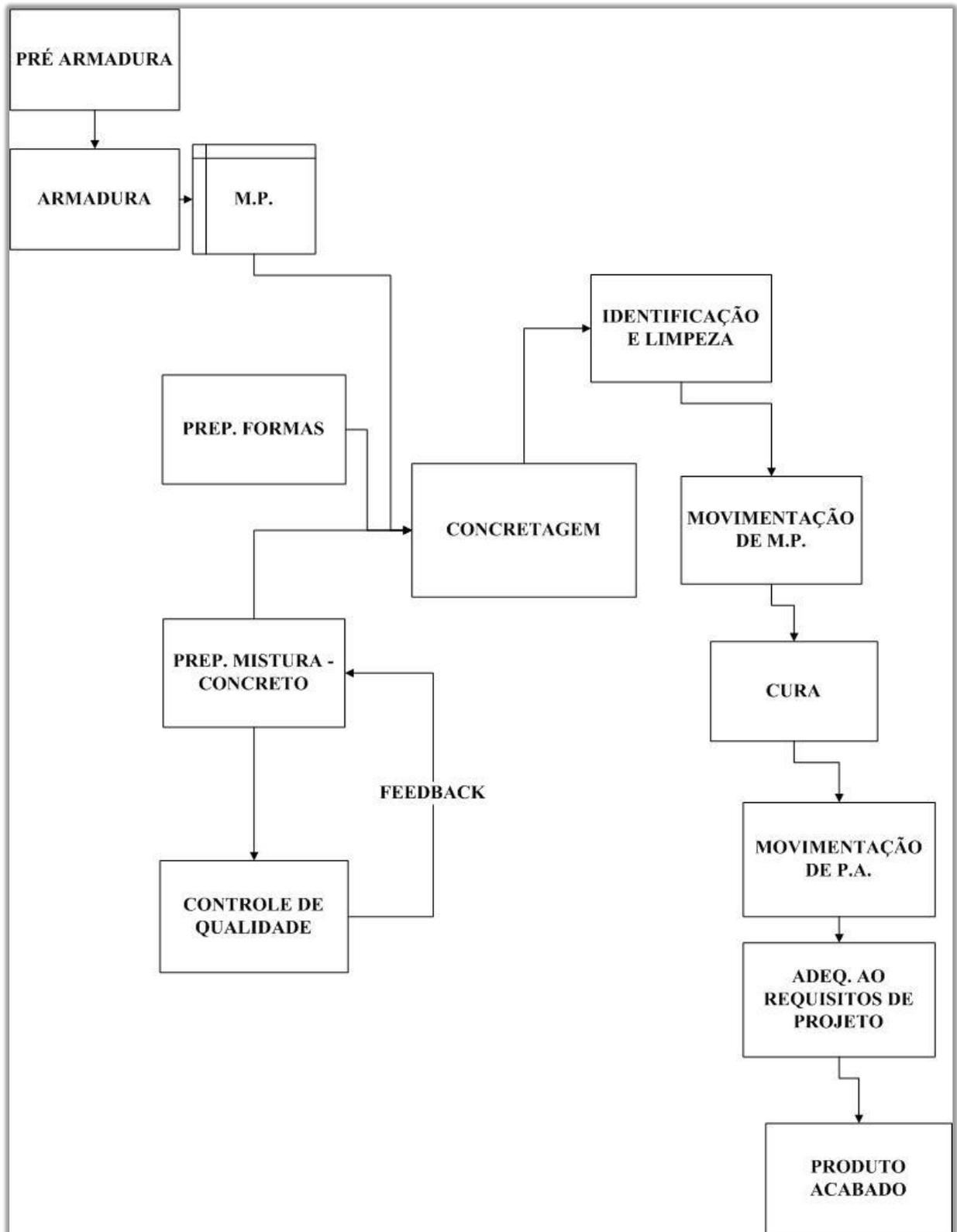


Figura 18 - Sequenciamento de Processos na Produção do Concreto

A filial da Barbosa & Barbosa em Petrolina – PE, conta com todo suporte da matriz localizada em Amélia Rodrigues – BA, e vem se destacando na região do Vale do São Francisco no que se diz respeito a postes e pré-moldados de qualidade.

Com toda demanda crescente, tanto para obras privadas ou projetos de governo, a empresa busca oferecer um produto com qualidade assegurada e que atenda as especificações de projeto estipuladas pela distribuidora de energia elétrica de cada estado.

5. DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão demonstrados os resultados obtidos pela análise das variáveis mencionadas anteriormente, de todo processo, através dos gráficos de controle para a produção do concreto e serão também discutidas para se obter um melhor entendimento do estudo em questão.

5.1 Gráficos de Controle

Primeiramente serão mostrados os gráficos referentes ao ensaio de umidade dos agregados e volume adicionado ao traço, para a produção do concreto, do mês de Novembro do ano de 2013. Em seguida mostram-se os valores obtidos nos ensaios de abatimento de tronco do cone e resistência à compressão, esses com corpos de prova modelados em novembro e cartas de controle feitas ao fim de dezembro.

As análises da curva de resistência à compressão para 03 dias em cura, e validação com 14 e 28 dias também foram mostradas, e serviram como recomendação para se obter respostas mais rápidas ao que se refere ao controle de qualidade do concreto produzido.

5.1.1 Umidade dos Agregados e Quantidade de Água Adicionada ao Traço.

Para montagem dos gráficos, foram utilizados os dados referentes a produção de Novembro, como relatado. O ensaio de umidade dos agregados é muito importante para decisão de quantidade de água a ser adicionada ao traço, seguindo o estudo de dosagem. O operador de betoneira está sempre em comunicação com o laboratorista que mostra os resultados dos ensaios antes de ser iniciado o processo. Analisar a variabilidade de água adicionada ao traço é de bastante importância no que se diz respeito a buscar causas especiais para possíveis problemas na preparação da mistura.

Os gráficos de controle a seguir mostram a variabilidade de quantidade de água na areia, e brita. Além de um gráfico mostrando a variabilidade de água a ser adicionada ao traço. São realizadas amostras antes dos turnos de produção, logo são seis cartas realizadas mensalmente, e será mostrado a seguir os ensaios realizados pela manhã. Para esses gráficos define-se o limite superior de controle como três vezes o desvio padrão mais a média, e a media menos três vezes o desvio padrão para encontrar o limite inferior de controle. Os valores dos gráficos a seguir, são referentes aos dados da Tabela 3 e são demonstradas na Figura 19, Figura 20, e Figura 21.

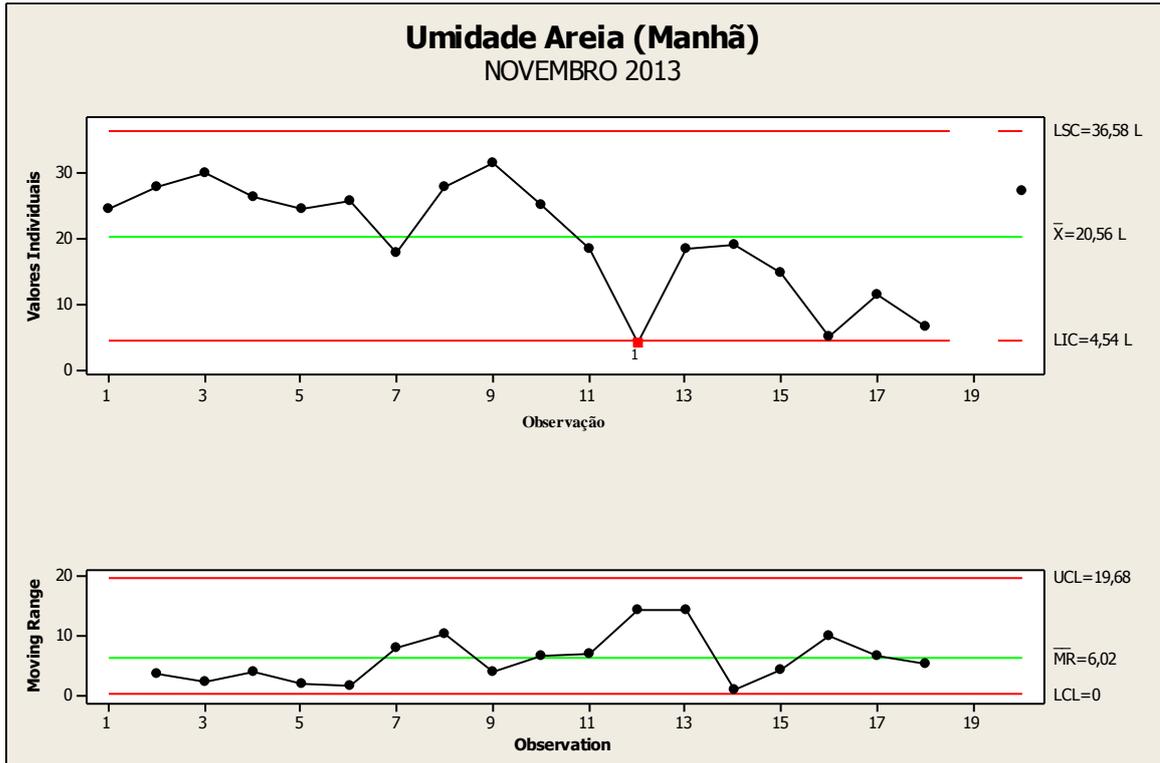


Figura 19 - Variabilidade de Umidade na Areia (Litros)

Fonte: Autor

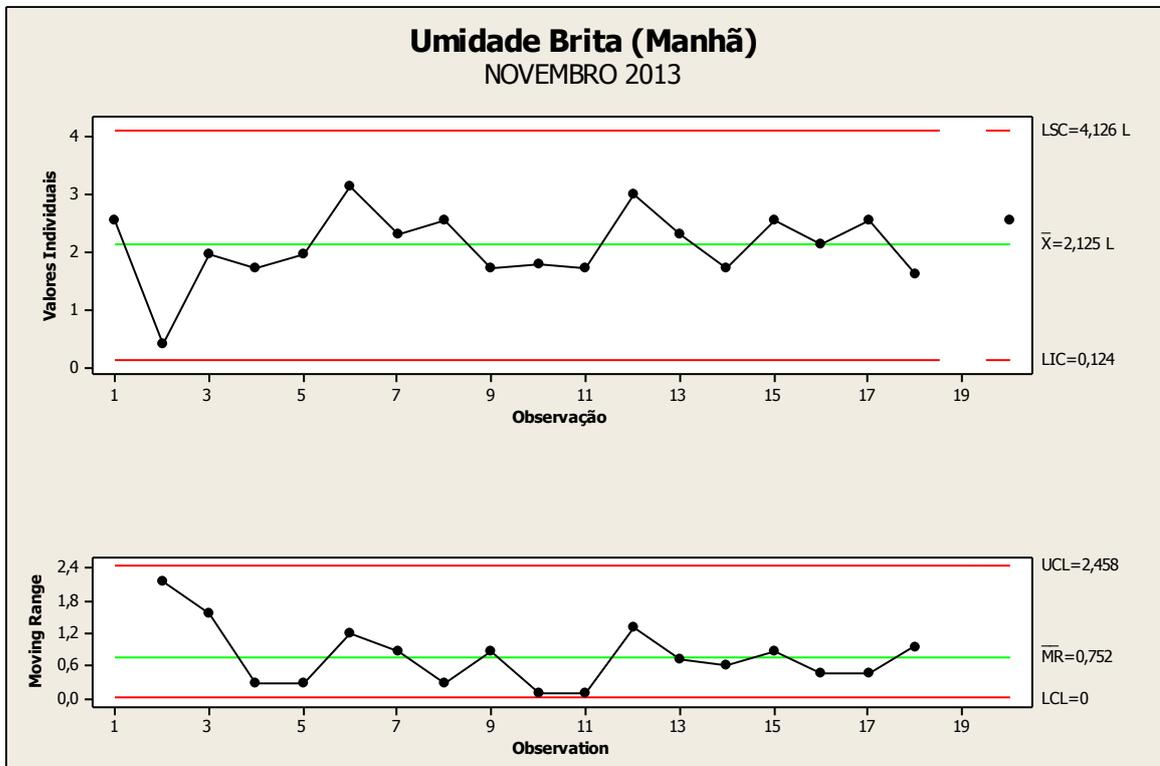


Figura 20 - Variabilidade de Umidade na Brita (Litros)

Fonte: Autor

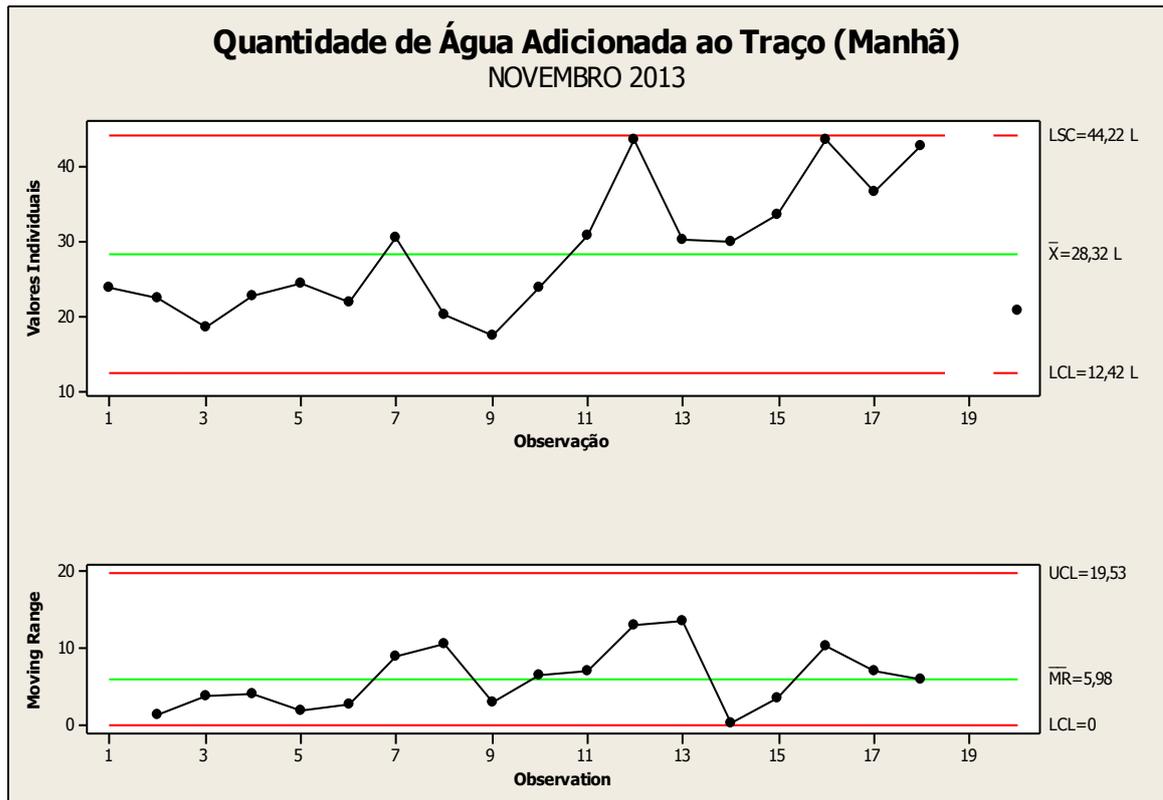


Figura 21 - Quantidade de Água Adicionada ao Traço

Fonte: Autor

Os gráficos se complementam de uma forma que quando a areia está muito seca, a quantidade de água adicionada ao traço é maior do que a média mensal, por exemplo. Para o caso contrário como na amostra 9, que como a areia está com bastante umidade, a quantidade de água adicionada é menor do que a média. A variação do processo ocorre, devido aos fatores climáticos (chuva, umidade relativa), areia oriunda da draga do rio, e até mesmo quando se molham a brita, procurando evitar o espalhamento do pó da mesma, fatores esses que devem ser analisados na rotina diária. Apesar de não ter sido mostrado acima, as amostras do turno da tarde, também tem a elaboração dos seus respectivos gráficos de controle.

5.1.2 Slump Test e Resistência a Compressão

Os gráficos da Figura 22, 23, e 24 têm seus dados explícitos na Tabela 4, com os corpos de prova sendo modelados em Novembro. Antes do corpo de prova ser elaborado, é realizado o ensaio de abatimento do tronco do cone (*Slump Test*), analisados dois a dois (produção de dois corpos de prova por dia para cada idade). Posteriormente são moldados 4 corpos de prova, sendo dois para 14 dias em cura e dois para 28 dias em cura, tendo o número de identificação do corpo de prova (CP) de acordo com o dia de produção.

Os limites de controle para o ensaio de abatimento do cone são de 40 mm para o Limite Superior de Controle, e 20 mm para o Limite Inferior de Controle, busca-se uma média de 30 mm de abatimento do concreto em relação ao cone.

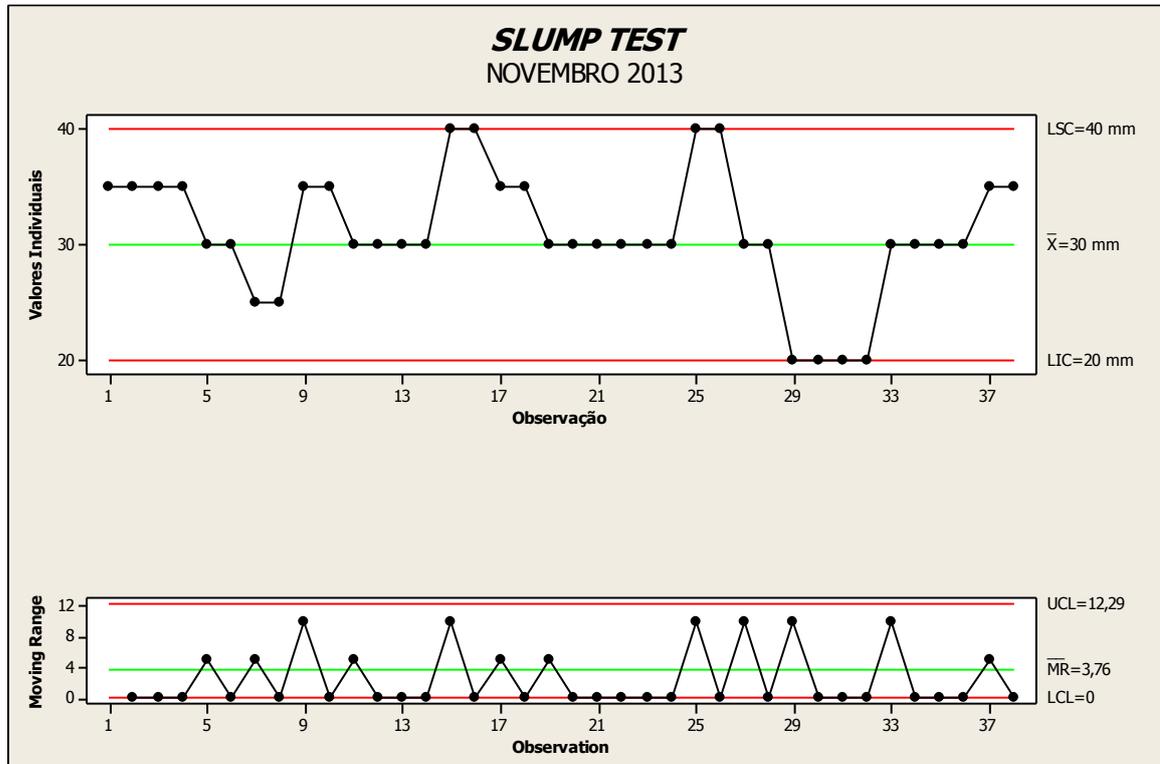


Figura 22 - Slump Test

Os gráficos das imagens 23 e 24, mostrados a seguir, representam a resistência adquirida pelo corpo de prova em cura, submersos por 14 e 28 dias em tanques com água. Como estratégia sugerida, foram determinados os limites de controle já estipulados, sendo 25 MPa para o limite mínimo e 35 MPa sendo o limite superior de controle, assim poderemos analisar o ganho de resistência do corpo de prova com o passar do tempo (14 dias de diferença). Resumindo, cada corpo de prova de 14 dias terá um correspondente para 28 dias, assim é interessante analisar os dois gráficos conjuntamente.

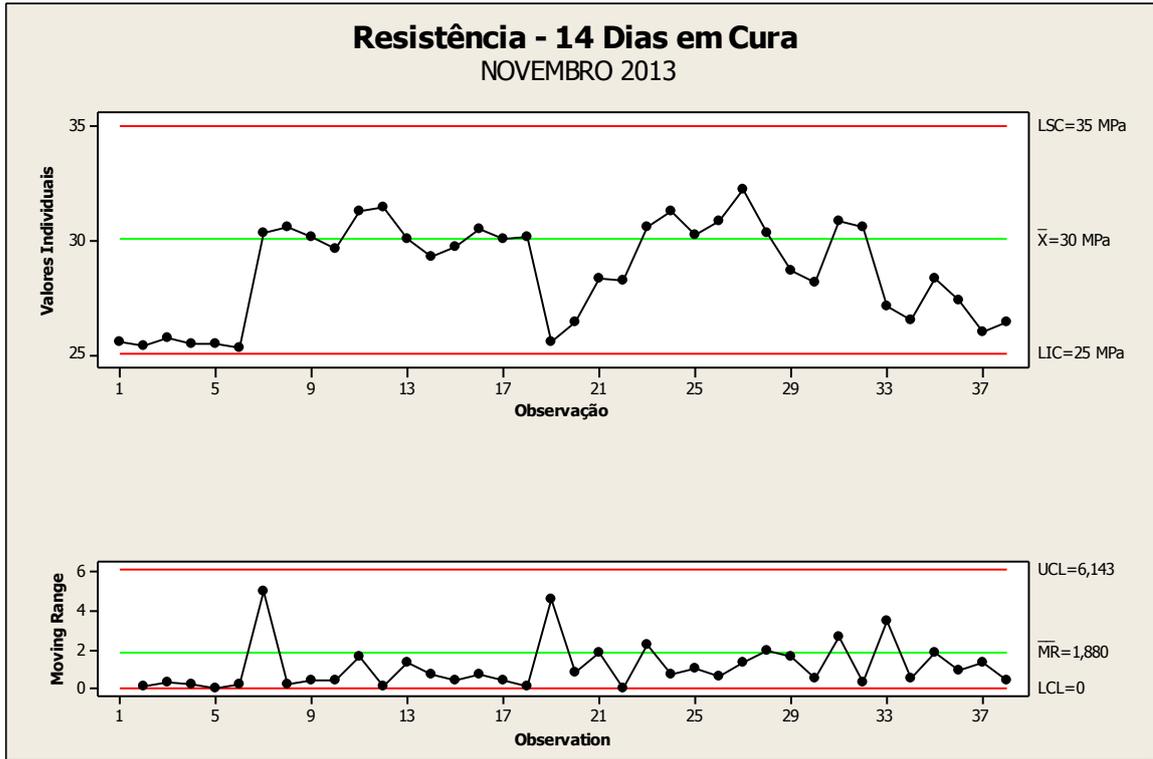


Figura 23 - Resistência adquirida pelo corpo de prova 14 dias.



Figura 24 - Resistência adquirida pelo corpo de prova 28 dias

Foi observado que o processo de um modo geral está sob controle, apesar de ultrapassar o limite superior de controle em alguns pontos, ele atende ao que diz a norma, que com 28 dias o corpo de prova não pode adquirir menos que 25MPa de resistência. Para o mês avaliado, observou-se que nenhum corpo de prova, mesmo que com 14 dias, esteve abaixo do limite inferior de controle.

Posteriormente foi sugerida a análise de resistência do corpo de prova para 03 dias em cura, sendo adicionados mais dois corpos de prova diariamente, e a partir deles analisar a projeção da curva de resistência à compressão do concreto, prevendo sua resistência para 14 e 28 dias em cura. Essa previsão foi validada de acordo com a resistência adquirida no ensaio para os respectivos corpos de prova com 14 e 28 dias em cura.

Tal análise procura se antecipar a alguma anormalidade na resistência adquirida pelos ensaios de qualidade da produção do concreto, visto que com três dias pode-se ter uma boa projeção da resistência adquirida com 14 e 28, o que facilita quando se fala em tomada de decisão. A busca pela melhoria contínua faz parte de uma equipe de engenharia capacitada, que através do conhecimento e da tecnologia, controla uma empresa de grande porte, como a empresa estudada.

5.1.3 Projeção e Validação da Curva de Resistência do Concreto

Com o largo tempo para análise dos dados e tomada de decisão, foi sugerida a proposta de fazer ensaios de resistência à compressão para corpos de prova submersos por 3 dias, e a partir da resistência obtida, fazermos a projeção da curva de resistência do concreto. Como estipulado pela NBR 6118:2007 os corpos de prova com três dias já chegam a cerca 60% do valor total de sua resistência, que se dará com 28 dias em cura. O estudo em questão visa seguir a norma, fazendo análises para 3, 14 e 28 dias, sendo que as duas últimas idades servirão para validação da curva de projeção de resistência, que foi projetada com corpos com 3 dias em cura. Tal análise busca mostrar a importância de se ter uma resposta mais rápida em relação a umas das variáveis de maior valor no que se diz respeito a qualidade do concreto produzido.

Na Tabela 5 é mostrado a resistência adquirida pelos corpos de prova em relação a idade dos mesmos. Na primeira coluna temos a identificação do corpo de prova, sendo que para cada número identificado são feitos seis corpos de prova, dois para cada idade, e analisando pela média dos mesmos. Logo para o CP 310, por exemplo, o valor a ser projetado será a média das duas amostras.

Na segunda coluna é mostrada a carga, dada em quilogramas, aplicada pelo operador da máquina de compressão. Ao multiplicar a carga aplicada com a aceleração da gravidade local (9,81 m/s²), encontraremos a Força de Ruptura que tem como unidade de medida de força o Newton. Para encontrarmos a Tensão adquirida (MPa – Mega Pascal), divide-se a Força de Ruptura encontrada, pela área de secção transversal do corpo de prova (7854 mm²). A sequência de cálculo é a mesma para os corpos com 14 e 28 dias em cura, e a resistência adquirida de cada idade é mostrada nas três últimas colunas.

Tabela 5 - Resistencia Adquirida pelo Corpo de Prova - 03, 14, 28 dias

Corpo de Prova - 3 dias na cura com água.					14 dias	28 dias
CP	Carga Aplicada (Kg)	Força de Ruptura (N)	Área de ST(mm²)	Tensão (3 dias) Mpa	Tensão (14 dias) MPa	Tensão (28 dias) MPa
299	19040	186782,4	7854	23,78	31,23	33,99
299	20260	198750,6	7854	25,31	31,41	33,63
302	18470	181190,7	7854	23,07	30,05	32,81
302	19130	187665,3	7854	23,89	29,30	34,31
303	19050	186880,5	7854	23,80	29,72	32,21
303	18250	179032,5	7854	22,80	30,45	30,79
304	18240	178934,4	7854	22,78	30,03	32,62
304	19190	188253,9	7854	23,97	30,15	30,90
305	16340	160295,4	7854	20,41	25,53	28,11
305	17780	174421,8	7854	22,21	26,40	30,25
309	16300	159903,0	7854	20,36	28,28	30,79
309	17520	171871,2	7854	21,88	28,25	30,29
310	18880	185212,8	7854	23,58	30,54	32,19
310	17930	175893,3	7854	22,40	31,29	31,79
311	20220	198358,2	7854	25,26	30,25	34,54
311	20460	200712,6	7854	25,56	30,85	34,31
312	19020	186586,2	7854	23,76	32,23	35,77
312	19480	191098,8	7854	24,33	30,32	35,49
313	16340	160295,4	7854	20,41	28,27	31,66
313	17370	170399,7	7854	21,70	28,17	32,61
316	20340	199535,4	7854	25,41	32,28	34,54
316	19980	196003,8	7854	24,96	30,54	36,06
317	17480	171478,8	7854	21,83	27,05	29,74
317	16570	162551,7	7854	20,70	26,82	30,53
318	16600	162846,0	7854	20,73	28,31	31,51
318	16600	162846,0	7854	20,73	27,36	30,29
320	18930	185703,3	7854	23,65	29,41	30,27
320	18670	183152,7	7854	23,32	32,17	30,77
323	16870	165494,7	7854	21,07	28,72	31,38
323	16370	160589,7	7854	20,45	27,88	31,17
324	18040	176972,4	7854	22,53	29,18	32,51
324	17220	168928,2	7854	21,51	27,08	31,92
325	15550	152545,5	7854	19,42	25,08	27,83
325	15480	151858,8	7854	19,34	25,34	28,21
326	17320	169909,2	7854	21,63	27,72	30,46
326	18930	185703,3	7854	23,65	28,22	31,76
327	17170	168437,7	7854	21,45	27,33	30,12
327	18250	179032,5	7854	22,80	28,01	31,44

Os dados foram coletados entre os meses de novembro e dezembro de 2013, sendo que a validade do ultimo corpo de prova se deu com 28 dias após a última moldagem. Diariamente foram feitas seis amostras, duas para cada idade, sempre acompanhando a rotina do laboratorista, que faz os ensaios, operadores de betoneira e supervisor de produção.

Foram elaborados gráficos de controle para as três idades, sendo que para 14 e 28 dias, existirá um limite mínimo de controle, como já foi mostrado anteriormente. Para os corpos de prova com 3 dias em cura, através do software Minitab, foi feita uma demonstração dos dados, com por exemplo a Média (*mean*), Desvio Padrão (*StDev*), Variância (*Variance*), dentre outros dados estatísticos que será mostrados na Figura 25.

Os limites superior e inferior irão depender do valor do desvio padrão, assim pode-se analisar, por exemplo, quando um valor estiver abaixo limite inferior de controle, isto indicará um sinal preocupante, já que esse valor projetado para 28 dias provavelmente fique abaixo de 25 MPa (não atende a norma). Por isso a importância de se analisar para 3 dias, podendo não ter que esperar 14 ou 28 dias para se tomar uma decisão como, por exemplo, a ruptura de outros corpos de prova como uma contraprova do resultado negativo anterior. O gráfico de controle para três dias é mostrada na Figura 26.

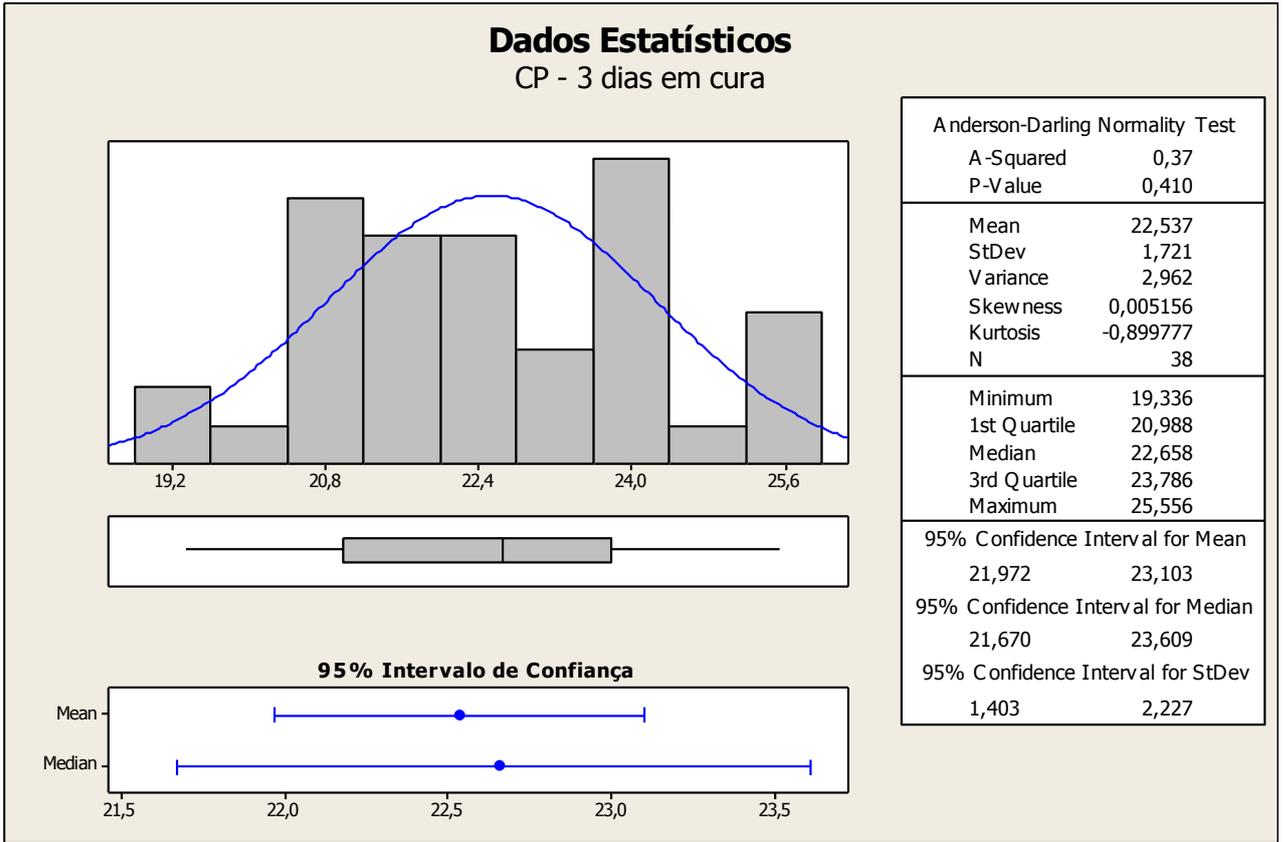


Figura 25 - Dados Estatísticos (CP - 3 dias em cura)

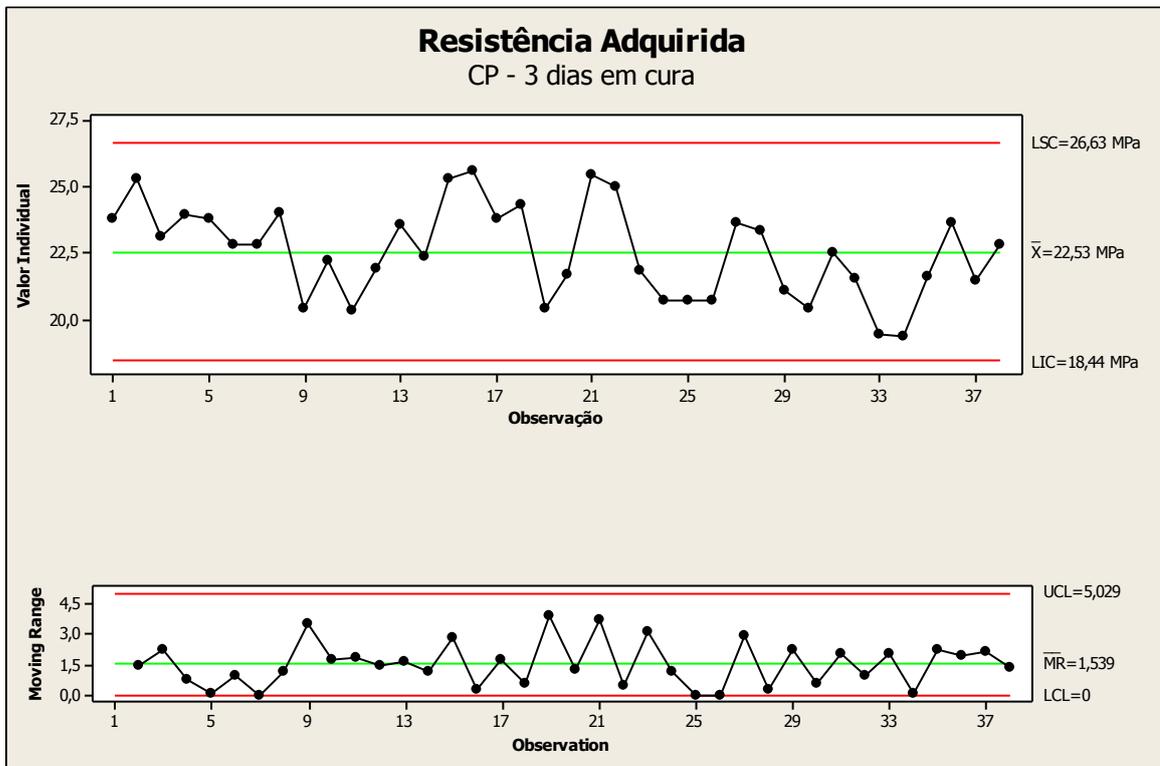


Figura 26 - Gráfico de Controle para Corpo de Prova com 3 Dias em Cura

Iremos analisar graficamente alguns dados, entre eles a média geral de cada idade, média dos dois corpos de prova número 325 (n = 33 e 34) e os dois do número 305 (n = 9 e 10), pois estes apresentam valores mais próximos ao limite inferior de controle. Os dados são representados na Tabela 6, em sequência o ganho percentual em relação ao ganho de resistência total (28 dias) na Tabela 7, e um gráfico que mostra a projeção das diferentes idades, visto na Figura 27.

Tabela 6 - Resistência para três idades diferentes

Curva de Resistência do Concreto (dados reais)			
	MPa		
CP	Tensão para 03 dias	Tensão para 14 dias	Tensão para 28 dias
Média	22,54	28,98	31,83
325	19,38	25,21	28,02
305	21,31	25,97	29,18

Tabela 7 - Tensão Alcançada (%) com 3 idades diferentes

	% tensão alcançada 3 dias	% tensão alcançada 14 dias	28 dias
Média	70,80%	91,04%	100%
325	69,16%	89,97%	100%
305	73,03%	88,98%	100%

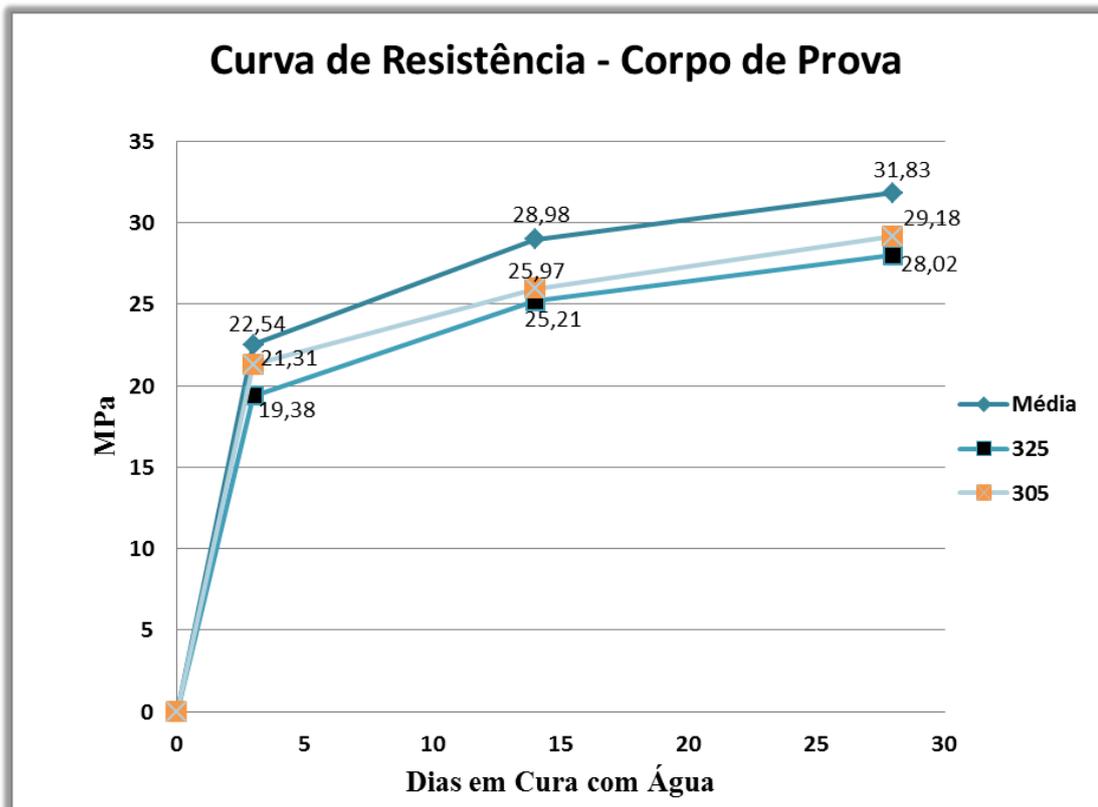


Figura 27 - Ganho de Resistência para 3 Idades Diferentes

Confrontando os dados acima com o que é prescrito em norma (NBR 6118:2007) a resistência adquirida com 3 dias pode ser maior até do que os 60% em relação ao total, estipulados pela norma para o tipo de cimento em questão e agregados utilizados na produção do concreto. Para o estudo em questão, obtivemos uma média de 70% de ganho de resistência para corpos de prova com 3 dias em cura, e cerca de 90% para 14 dias.

A partir dessa validação fizemos a projeção da curva de resistência para o limite inferior de controle da amostra e mais duas projeções com valores abaixo do mesmo. Na Tabela 8 são mostrados os dados a serem projetados, e será utilizado 60% para 3 dias como estipula a norma, e também para 70% como encontrado no estudo de caso. São considerados dois valores para cada caso, assim pode-se comparar o ganho de resistência para os dois valores com a tensão que já foi adquirida com 3 dias em cura. Para 14 dias será utilizado 90% de resistência adquirida pelo corpo de prova, valor esse encontrado também pelo presente estudo.

Tabela 8 - Dados Simulados para 3 idades Diferentes

Curva de Resistência do Concreto (dados simulados)			
	MPa		
	Tensão para 03 dias	Tensão para 14 dias	Tensão para 28 dias
Caso 1 - 60%	17,50	26,25	29,17
Caso 1 - 70%	17,50	22,5	25,00
Caso 2 - 60%	15,00	22,50	25,00
Caso 2 - 70%	15,00	19,29	21,43
Caso 3 - 60%	18,44	27,66	30,73
Caso 3 - 70%	18,44	23,71	26,34

Os dados para três dias foram simulados, e servem para eventuais situações do dia-a-dia, devendo ser tomada a decisão mais prudente para cada ocasião. Ações como essa, ajudam na prevenção de possíveis falhas na produção, como erros relacionados à matéria prima (umidade e granulometria dos agregados, quantidade de água adicionada ao traço, tipo do cimento) e erros inerentes ao processo de produção.

Com a comparação feita é importante destacar a confiança na resistência adquirida pelo corpo de prova de três dias, visto que, com certeza ela estará com um mínimo de 60% do seu ganho total, o que já é muito no que diz respeito a uma diferença tão grande de idade da cura. A projeção dos ganhos de resistência são mostrados nas Figuras 28 e 29.

Busca-se, através disso, obter uma mentalidade mais preventiva na tomada de decisão (quanto mais cedo se identifica um problema, mais fácil resolvê-lo) no que se diz respeito a qualidade de todos os processos produtivos, garantindo produtos de qualidade e que sejam referência no mercado de postes e pré moldados.

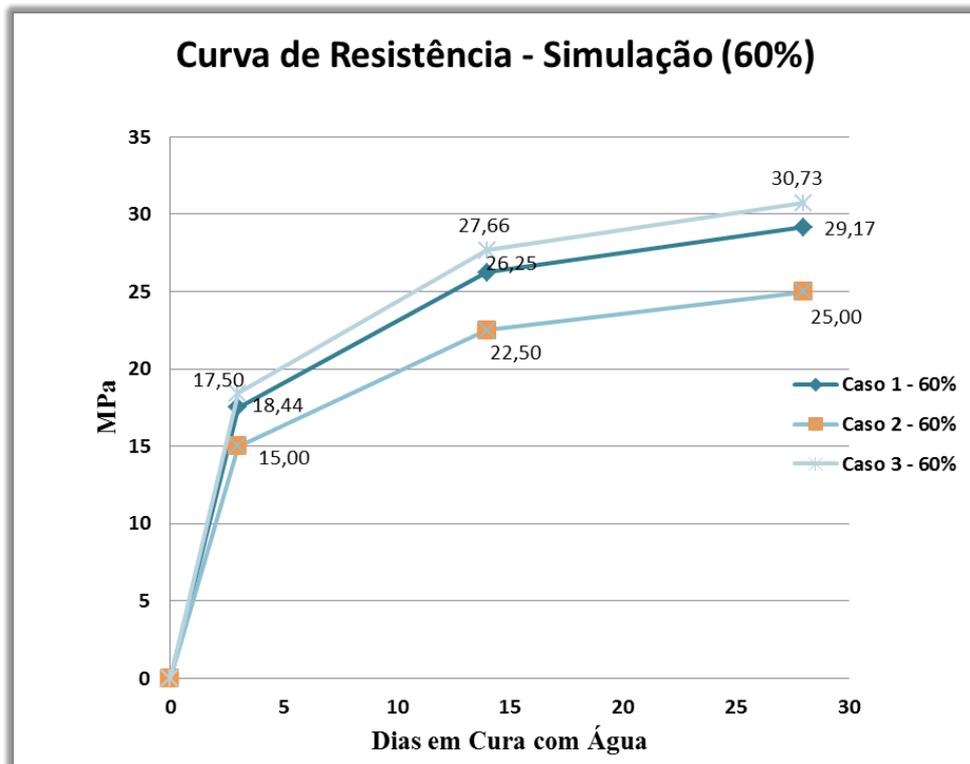


Figura 28 - Ganho de Resistência do CP (60% para 03 dias em cura)

Fonte: Autor

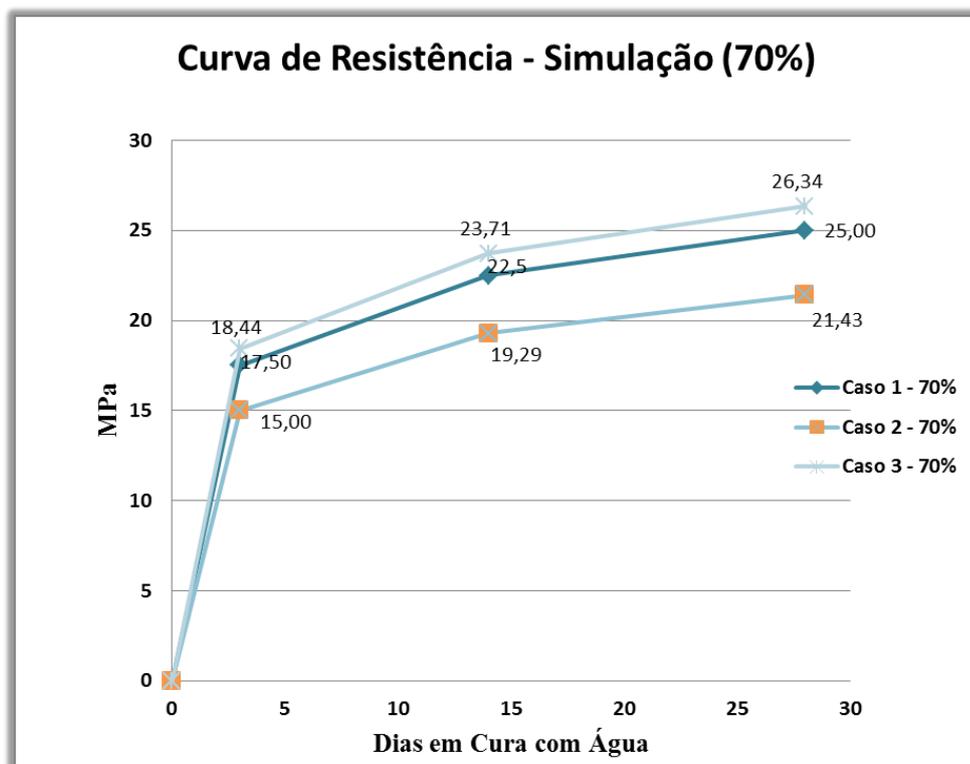


Figura 29 - Ganho de Resistência do CP (70% para 03 dias em cura)

Fonte: Autor

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

A pesquisa realizada, apoiada pela revisão bibliográfica, permitiu descrever e analisar os processos existentes na empresa BARBOSA & BARBOSA Cia LTDA. Bem como, aplicar ferramentas estatísticas, como as cartas de controle individuais, análise geral dos processos e ajuda na tomada de decisão, buscando reduzir o tempo de resposta de uma das variáveis mais importantes para a qualidade do concreto.

Este capítulo aborda os resultados dessa pesquisa, apresenta os fatores que a limitaram e sugere recomendações para outros trabalhos.

6.1 Considerações Finais

Através da utilização das cartas de controle individuais foi possível observar que todos os processos estudados atendem as requisições estipuladas por norma técnica, analisando também a importância das cartas para o controle estatístico, que busca apresentar causas especiais e que necessitam ser identificadas, avaliadas e removidas dos processos para proporcionar uma redução na variabilidade de um modo geral, o que, conseqüentemente, contribuirá para a redução dos custos de produção, aumento da produtividade e melhoria da qualidade.

Pela observação e análise dos resultados obtidos, a utilização das cartas de controle para monitorar e analisar os processos produtivos no setor industrial apresentou-se como uma ferramenta de uso essencial para analisar o comportamento das variáveis.

Entretanto, os gráficos não conseguem detectar onde estão as possíveis causas que fazem com que ocorram as variações dos dados. Essas causas, porém, podem ser identificadas e eliminadas pelas pessoas envolvidas diretamente no processo, utilizando-se de técnicas de análise e solução de problemas como o Diagrama de Ishikawa ou Diagrama de Causa-e-Efeito.

A partir desses conceitos, este trabalho buscou destacar a importância de se ter um controle estatístico de processos e a partir dele poder controlar o processo de forma a atender às necessidades da empresa bem como a satisfação de seus clientes.

Com isso, o controle estatístico de processos depende de vários fatores, dentre eles, destacam-se o apoio total da gerência, treinamento, desenvolvimento do quadro de funcionários, comprometimento das pessoas envolvidas nos processos, e principalmente, tomada de ações corretivas na ocorrência de causas especiais.

6.2 Recomendações

Como recomendações para trabalhos futuros, sugere-se:

- ❖ Implantar o Controle Estatístico do Processo, através das seguintes etapas, sugeridas por Montgomery (2004): definição do projeto, planejamento da implantação do CEP, treinamento, implantação efetiva, acompanhamento e consolidação;
- ❖ A etapa de definição do projeto envolve a definição dos objetivos, cronograma, equipe de trabalho e lançamento do projeto.
- ❖ A etapa de planejamento da implantação envolve o desdobramento da qualidade e dos processos, direcionamento das ações, identificação dos postos de controle e variáveis a serem monitorados em cada posto de trabalho, definição dos critérios de classificação dos produtos (filtros), detalhamento dos parâmetros e características de qualidade do processo, definição do procedimento de coleta de dados, avaliação do sistema de medição, definição das responsabilidades, além da definição da documentação necessária.
- ❖ A etapa de treinamento envolve gerentes, supervisores e operadores, e contempla duas etapas, uma teórica e outra prática, baseado no uso de software.
- ❖ A etapa de implantação efetiva envolve o início do monitoramento e definição dos limites de controle.
- ❖ A etapa de acompanhamento e consolidação envolve a identificação de possíveis melhorias nos processos produtivos.
- ❖ A sequência de etapas apresentadas para a implantação do controle estatístico de processos pode auxiliar a empresa na busca da satisfação do cliente através da otimização de seus processos, garantia de qualidade de seus processos produtivos e, com isso, qualidade dos produtos manufaturados.
- ❖ Organizar procedimentos para atuar no tratamento de anomalias (causas especiais) e gerenciamento de planos de ação (causas comuns), encontradas nas cartas de controle;
- ❖ Estudos de outras técnicas e ferramentas de otimização para processos contínuos, como, por exemplo, a inclusão do projeto para corpo de prova com 3 dias em cura, e projeção da curva de resistência do concreto seguindo a ABNT 6118:2007.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 5738:2003. Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova.

ABNT NBR 6118:2007. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento.

ABNT NBR 7211:2009. Agregados para concreto.

ABNT NBR 7223:2007. Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.

ABNT NBR 8451:2011. Postes de concreto armado e protendido para redes de distribuição e de transmissão de energia elétrica.

ABNT NBR 8453:2012. Cruzetas de concreto armado e protendido para redes de distribuição de energia elétrica.

ABNT NBR 12655:2006. Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento.

ALVES, Custodio da Cunha. **Gráficos de Controle CUSUM: um enfoque dinâmico para a análise estatística de processos.** 2003. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

ANDRADE et al. **o CEP como ferramenta de melhoria de qualidade e produtividade nas organizações.** Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. Resende – RJ, 2008.

BERTUCCI, Janete Lara de Oliveira. **Metodologia Básica para elaboração de trabalhos de conclusão de curso (TCC): ênfase na elaboração de TCC de pós graduação Latu Sensu.** São Paulo: Atlas, 2008.

CANAVEZI et al. **Diretrizes Básicas para Implantação do Controle Estatístico de Processos.** Belo Horizonte (MG), 2009.

CERVO, A. L.. **Metodologia científica.** 6. ed. São Paulo: Pearson, 2007.

COSTA, Antonio Fernando Branco *et al.* **Controle Estatístico de qualidade.** São Paulo: Atlas, 2005.

DANCEY, C. P.; REIDY, J. **Estatística sem Matemática para Psicologia: usando PSS para Windows.** [Tradução VIALI, L.]. Porto Alegre: Artmed, 2006.

FALCÃO, Antônio Sérgio Galindo. **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.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

FARIA, Evandro de Paula *et al.* **O CEP como ferramenta de melhoria de qualidade e produtividade nas organizações.** In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA. **Anais.** Rio de Janeiro, 2008.

FREUND, J.; SIMON, R. E. **Modern Elementary Statistics**, 9°. ed. New York: Prentice-Hall, 1997.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4 ed. – São Paulo : Atlas, 2002.

GOMES, L.F.A.M.; ALMEIDA, A.T., **Tomada de Decisão Gerencial: Enfoque Multicritério.** 1°. ed. São Paulo: Ed. Atlas S.A, 2002.

GRANT, E.L; LEAVENWORTH, R.S. **Statistical Quality Control**, 7th Ed. New York: McGraw-Hill, 1996.

ISAIA, Geraldo C. **Controle de qualidade das estruturas de concreto armado.** Santa Maria: Es. Da UFSM, 1988.

ISHIKAWA, K. **Guide to Quality Control.** Tokyo: Asian Prod. Organization, 1990.

LEANDRO, Flávio Luís. **A utilização da estatística como ferramenta na tomada de decisão: Estudo de caso em uma indústria de base.** (Monografia). Universidade Federal de Juiz de Fora. Minas Gerais, 2003.

LONGO, Rose Mary Juliano. **Gestão da Qualidade: Evolução Histórica, Conceitos Básicos e Aplicação na Educação.** SENAC, São Paulo, 1996.

MALHOTRA, Naresh K. **Pesquisa de marketing: uma orientação aplicada.** 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

MARCONI, Marina A.; LAKATOS, Eva M. **Técnicas de Pesquisa.** 5. Ed. São Paulo: Atlas, 2002.

MARGUERON, Marcus Vinicius Lourenço. **Processo de tomada de decisão sob incerteza em investimentos internacionais na exploração e produção de petróleo: uma abordagem multicritério.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2003.

MARTINS, Petrônio Garcia; LAUGENI, Fernando Piero. **Administração da Produção.** São Paulo: Saraiva, 2003.

MEHTA, Povindar Kumar; MONTEIRO Paulo José Melaragno. **CONCRETO: estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: PINI, 1994

MIGLIOLI, A. M. **Tomada de decisão na pequena empresa: Estudo multi caso sobre a utilização de ferramentas informatizadas de apoio à decisão.** Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

MINITAB. **Methods and Formulas.** MINITAB Programa Estatístico, versão 15 para Windows, Pennsylvania: State College, 2003.

MOOD, A.F. *et al.* **Introduction to the Theory of statistics.** 3°. ed. New York: McGraw-Hill, 1974.

MONTGOMERY, Douglas C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade.** 4ª. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004. 513 p.

MOREIRA, D. A. **Administração da Produção e Operações.** 1. ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

MINITAB. **Methods and Formulas.** MINITAB Programa Estatístico, versão 15 para Windows, Pennsylvania: State College, 2003.

NAZÁRIO, Leandro. **Proposta para Implantação de um Programa de Controle Estatístico de Processo na Fabricação de Painéis Termoisolantes Numa Empresa Industrial de Médio Porte do Ramo de Câmaras Frigoríficas.** (Monografia). Universidade Estadual de Santa Catarina. Joinville, 2008.

NEVILLE, Adam Matthew. **Propriedades do Concreto.** 2 edição, São Paulo: PINI 1997.

PALADINI, Edson Pacheco. **Gestão da qualidade no processo: a qualidade na produção de bens e serviços.** São Paulo: Atlas, 1995. 285p.

PIRES, Verônica Tassinari. **Implantação do Controle Estatístico de Processos em uma empresa de manufatura de óleo de arroz.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000.

PITT, H. **SPC for rest of us: a personal path to Statistical Process Control.** Massachusetts: Addison-Wesley, 1994.

REIS, Marcelo Menezes. **Um modelo para o ensino do controle estatístico da qualidade.** 2001. 51 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

RIBEIRO, José Luís Duarte; CATEN, Carla Ten. **Controle Estatístico de Processos.** 2000. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

ROSS, S. **A First Course in Probability.** 3. ed. New York: Mac Millan College, 1994.

SGARBOZA, B. C.; ANDRADE, J. R. A. - **Resultados históricos dos concretos utilizados na hidroelétrica de Água Vermelha.** Reunião do Ibracon de 1981, M33, 64 p., Ibracon, São Paulo, julho, 1981.

SILVA, Ramon Gustavo da. **Controle Estatístico de Não Conformidades na Instalação de Elevadores de Passageiros.** (Monografia). Universidade Estadual de Londrina – UEL. Londrina, 2008.

SOMMER, W. A. **Avaliação da qualidade.** Apostila da disciplina de Avaliação da Qualidade. Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

VIEIRA, S. **Estatística para a qualidade: como avaliar com precisão a qualidade em produtos e serviços.** Rio de Janeiro: Elsevier, 1999.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** São Paulo: Bookman, 2004.