**ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL**
**Área de Concentração: Engenharia de Construção Civil e Urbana**

**EDUARDO OLIVEIRA BARROS**

# CONTROLE GEOMÉTRICO DA ESTRUTURA DE CONCRETO DE EDIFÍCIOS COMO FERRAMENTA DA RACIONALIZAÇÃO CONSTRUTIVA

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Engenharia

Área de concentração:
Tecnologia de Construção Civil e Urbana

**Orientador:**
**Prof. Dr. Jonas Silvestre Medeiros**

**São Paulo**
**2001**

Barros, Eduardo Oliveira
O controle geométrico da estrutura de concreto de edifícios como ferramenta da racionalização construtiva, São Paulo, 2001.
137p.

Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1. Construção de edifícios – Racionalização 2. Controle geométrico I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II. t.

À meu avô José de Barros, por um dia  ter sonhado, com as letras e os
números num abôio pelas chapadas do Maranhão,
À meu pai Antonio de Barros, por ter acreditado que o sonho era possível,
À minha mãe Antonia Alves, pela fortaleza nas horas
sombrias atravessadas,
À meus irmãos, Luisa , Romão, Francisca, Raimundo, Adriano, e Hélder,
parceiros nessa lida de tantos anos,
Às mulheres da minha vida: Edeilda Maria, Liliane e Viviane.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Jonas Silvestre de Medeiros, pela orientação segura na elaboração desta dissertação.

À professora Silvia Selmo, pela força e sabedoria ao nos conduzir.

A UNICAP pelo apoio e pela oportunidade.

Ao professor Sérgio Dias, pela colaboração e pelas cobranças.

Aos professores Luiz Sérgio Franco e Nícola Paciléo Netto pelas valiosas contribuições dadas.

Ao professor Cheng Liang Yee pelo apoio e compreensão.

Aos colegas e diretores da ASTEP engenharia ltda, pela amizade, contribuição e apoio.

Ao amigo Fernando Botelho, parceiro de tantas lutas, pelo apoio irrestrito e sugestões para o trabalho.

Aos colegas de Mestrado Andréia, Heloisa, Feliz, Zé do Pajéu, Angelo, Tibério, Ze´ Roberto , Marta e Lúcia pela colaboração e amizade.

À engenheira Ana Lúcia, a estagiária Malú e ao mestre Índio pela paciência e boa vontade.

Ao “mestre” Valdemar pela colaboração irrestrita.

# SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS i
LISTAS DE TABELAS iii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS iv
RESUMO vi
ABSTRACT vii

**1. INTRODUÇÃO**
1.1 Contexto geral 01
1.1.1 Aspectos econômicos do setor da construção 03
1.1.2 Peculiaridades do subsetor de construção de edifícios 05
1.1.3 Estratégias das empresas de construção 08
1.1.4 O controle geométrico na execução da estrutura de concreto de edifícios como ferramenta da racionalização construtiva 09
1.2 Justificativa do tema 12
1.3 Objetivos do trabalho 15
1.4 Método empregado 16

**2. A NECESSIDADE DO CONTROLE GEOMÉTRICO**
2.1 Conceitos 18
2.2 Definição de controle geométrico 19
2.3 Necessidade do controle 20
2.3.1 O controle geométrico e o desperdício na construção 21
2.3.2 O controle geométrico e o conceito de construção sêca 23

3. **TRABALHOS TOPOGRÁFICOS ENVOLVIDOS NO CONTROLE GEOMÉTRICO DA ESTRUTURA (CGE)**
3.1 Conceitos básicos 26

3.2 Métodos e instrumentos usuais 29
3.2.1 Levantamento topográfico 30
3.2.2 Etapas de locação topográfica do CGE 31
3.2.2.1 Locação planimétrica 32
3.2.2.2 Definição de superfícies horizontais 34
3.2.2.3 Definição de superfícies verticais 34
3.3 Automação e novos instrumentos de topografia 37
3.3.1 Nível laser 39
3.3.2 Nível alemão 42
3.3.3 Estação Total 44
3.4 Normas vigentes e tolerâncias 46

**4. SITUAÇÃO ATUAL NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE (RMR)**
4.1 Contexto regional 63
4.2 Amostragem 64
4.3 Características das obras pesquisadas 65
4.3.1 Iniciativas de melhoria em andamento 65
4.3.2 Tipo de obras 66
4.3.3 Tipologias das estruturas dos edifícios 67
4.3.4 Tipologias de revestimentos 69
4.3.5 Sistemas de controle geométrico utilizados 71

**5. PROPOSTA DE UM MÉTODO PARA CONTROLE GEOMÉTRICO DA ESTRUTURA - CGE**
5.1 Necessidade de integração entre as etapas do controle 76
5.2 Locação planimétrica com transferência vertical de eixos 78
5.2.1 Locação planimétrica 79
5.2.2 Transferência vertical de eixos 82
5.3 Nivelamento de lajes 85

5.4 Alinhamento vertical de pilares 87
5.5 Mapeamento de fachada com estação total 89
5.5.1 Aplicação piloto do método proposto para o mapeamento 92
5.5.2 Resultados obtidos 94

**6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**
6.1 Aspectos gerais 103
6.2 Comentários sobre o método proposto 104
6.3 Propostas para implantação e disseminação do método proposto 105
6.4 Sugestões para estudos futuros 106
6.5 Conclusões 107

**ANEXO A** Formulário utilizado na pesquisa de campo 109

**ANEXO B** Exemplo de formulário preenchido na pesquisa de campo 112

**ANEXO C** Planilhas com os dados obtidos no mapeamento da fachada com a estação total 116
Planilhas com os dados obtidos no mapeamento da fachada com o uso de balancim e fio de prumo 122
Composições de custos de mapeamento de fachada com o uso de estação total e com o uso de balancim e fio de prumo 124

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS** 126

## LISTA DE FIGURAS


| | | |
|---|---|---|
| Figura 3.1 | Nível laser armado sobre tripé | 41 |
| Figura 3.2 | Nível Alemão | 43 |
| Figura 3.3 | Estação total com tripé e prismas | 45 |
| Figura 4.1 | Iniciativas de melhoria em andamento | 65 |
| Figura 4.2 | Tipos de obras | 66 |
| Figura 4.3 | Tipos de contratos | 67 |
| Figura 4.4 | Origens do concreto utilizado | 68 |
| Figura 4.5 | Tipos de lajes | 68 |
| Figura 4.6 | Tipos de alvenaria utilizadas nas vedações | 68 |
| Figura 4.7 | Local de fabricação das formas utilizadas | 69 |
| Figura 4.8 | Tipos de escoramento utilizados | 69 |
| Figura 4.9 | Materiais utilizados para contrapiso | 70 |
| Figura 4.10 | Tipos de revestimentos do piso | 70 |
| Figura 4.11 | Tipos de revestimentos de fachada | 70 |
| Figura 4.12 | Tipos de revestimentos interno | 71 |
| Figura 4.13 | Tipos de locação planimetrica empregados | 73 |
| Figura 4.14 | Etapas de nivelamento da laje | 74 |
| Figura 4.15 | Métodos de nivelamento das lajes | 74 |
| Figura 4.16 | Fase de prumo dos pilares | 74 |
| Figura 4.17 | Métodos para prumo dos pilares | 75 |
| Figura 4.18 | Realização de mapeamento de fachada | 75 |
| Figura 4.19 | Processamento dos dados do mapeamento de fachada | 75 |

| | | |
|---|---|---|
| Figura 5.1 | Modelo de caderneta de locação | 80 |
| Figura 5.2 | Locação de pontos por coordenadas polares | 81 |
| Figura 5.3 | Locação de pontos por coordenadas polares | 82 |
| Figura 5.4 | Transferência vertical de eixos com uso de teodolito | 84 |
| Figura 5.5 | Transferência vertical de eixos através de abertura na laje e uso de prumo ótico de teodolito ou estação total | 85 |
| Figura 5.6 | Alinhamento vertical de pontalete guia usando nível laser autonivelante | 88 |
| Figura 5.7 | Alinhamento vertical de painéis de forma com nível laser autonivelante | 89 |
| Figura 5.8 | Esquema para mapeamento de fachada com uso de estação total | 91 |
| Figura 5.9 | Esquema em planta do mapeamento de fachada com estação total | 92 |
| Figura 5.10 | Limite de altura para mapeamento de fachada com estação total LEICA modelo TCR 307 | 95 |
| Figura 5.11 | Superfícies do 2º pano da fachada com curvas de nível obtidas a partir de dados coletados pela estação total (a) e pelo sistema convencional (b) | 99 |
| Figura 5.12 | Deformações medidas no 2 º pano da fachada, utilizando o método convencional (balancim e fio de prumo) e a estação total | 100 |
| Figura 5.13 | Fachada do edifício onde foram realizados os mapeamentos | 101 |
| Figura 5.14 | Medição da distância entre o ponto da fachada e o fio de prumo durante o mapeamento da fachada pelo método convencional (balancim e fio de prumo) | 102 |
| Figura 5.15 | Realização de mapeamento de fachada com estação total | 102 |

# LISTA DE TABELAS


| | | |
|---|---|---|
| Tabela 3.1 | Espessuras mínimas de recobrimento segundo SOUZA, R. ( 1996). | 36 |
| Tabela 3.2 | Comparação entre tolerâncias fixadas nas normas NBR-6118 e ISO 7976-1 para largura e comprimento de elementos da estrutura de concreto | 48 |
| Tabela 3.3 | Tolerâncias fixadas pela ISO 7976-1 para desvio no plano horizontal | 50 |
| Tabela 3.4 | Tolerâncias fixadas pela ISO 7976-1 para desvio de níveis e altura | 51 |
| Tabela 3.5 | Tolerâncias fixadas pela ISO 7976-1 para desvios de verticalidade | 52 |
| Tabela 3.6 | Tolerâncias fixadas pela ISO 7976-1 para excentricidade de elementos da estrutura de concreto. | 53 |
| Tabela 3.7 | Tolerâncias fixadas pela ISO 7976-1 para desvio posicional em relação a outro componente erguido | 54 |
| Tabela 3.8 | Tolerâncias fixadas pela ISO 7976-1 para desvio de retidão e contraflecha projetada | 55 |
| Tabela 3.9 | Tolerâncias fixadas pela ISO 7976-1 para planicidade e inclinação de componentes | 57 |
| Tabela 3.10 | Tolerâncias fixadas pela ISO 7976-1 para outros desvios importantes | 57 |
| Tabela 3.11 | Tolerâncias fixadas pela norma ISO 7976-1 para largura, comprimento e espessuras de componentes | 61 |
| Tabela 5.1 | Precisão nominal da estação total LEICA modelo TCR 307 para medida de distância sem uso de prisma. | 93 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---|---|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ACI | *American Concrete Institute* |
| ADEMI | Associação dos Incorporadores de Pernambuco |
| ASTM | *American Society for Testing and Materials* |
| CBIC | Câmara Brasileira da Industria da Construção |
| CGE | Controle Geométrico da Estrutura |
| CREA | Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura |
| EPUSP | Escola Politécnica da Universidade de São Paulo |
| GPS | *Global Position System* |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IPT | Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo |
| ISO | *International Organisation for Standardisation* |
| PIB | Produto Interno Bruto |
| PROCON | Serviço de Proteção ao Consumidor |
| QUALIHAB | Programa da Qualidade na Construção Civil |
| RMR | Região Metropolitana do Recife |
| SENAI | Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial |
| SINDUSCON | Sindicato da Indústria da Construção Civil |
| SUDENE | Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste |

| | |
|---|---|
| UNICAP | Universidade Católica de Pernambuco |
| NBR | Norma Brasileira Registrada |
| USP | Universidade de São Paulo |

## RESUMO

Nos últimos anos, o setor da construção civil no Brasil, notadamente o subsetor de edificações, tem sido pressionado por uma série de fatores externos e internos no sentido de melhoria da qualidade dos seus produtos. As características próprias do setor, aliadas às diversidades regionais, têm direcionado a busca de qualidade para o melhoramento dos sistemas tradicionais de construção através de metodologias de racionalização construtiva.

Neste contexto, tem havido uma "redescoberta" da importância de certas etapas do processo construtivo como agregadores de qualidade, tornando-os caminhos possíveis do processo de racionalização. No presente trabalho propõe-se uma metodologia para uma dessas etapas: o controle geométrico da produção de estrutura de concreto. O ponto de partida do estudo foi a situação atual desta atividade nos canteiros de obras da Região Metropolitana do Recife (RMR), através da caracterização de como este controle é exercido e a sua inserção no processo construtivo. O problema é abordado visando uma atualização tecnológica em termos de procedimentos e equipamentos utilizados para esta finalidade.

O método proposto se firma em duas vertentes: a integração entre as diversas etapas do controle geométrico e a sua adequação à realidade atual dos canteiros de obras. Os resultados obtidos mostram a viabilidade técnica e econômica da proposta e suas vantagens com relação aos procedimentos tradicionais de controle.

## ABSTRACT

Building industry is passing through important changes in recent years in Brazil. Local market particularities are guiding the majority of quality improvement efforts through out rationalization of traditional methods of construction.

Based on this approach different implementations are taking place. Is can said that the importance of certain parts of building construction methods and techniques is passing through a period of “rediscovering”.

Considering this point of view, the present work proposes a method to geometric control of cast-in-place concrete structure. The starting point of the method was the actual practices of building construction in the city of Recife.

The method aims technologic actualization by means of improving construction techniques and using adequate tools. Initiatives take into consideration how cast-in-place concrete structures are built and how construction sites are organised for that.

First results not only show that the proposal can promote integration of controlling techniques but also that it can be effective and cheaper relating to traditional method in local conditions.

# 1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo procura-se situar o trabalho no contexto atual do setor de construção de edifícios no Brasil, e em especial na Região Metropolitana do Recife, expondo as bases de sua motivação e justificativa.

## 1.1 Contexto geral

Na última década, o Brasil tem passado por profundas transformações nos aspectos econômicos, sociais e culturais, que entre outras coisas, expuseram setores antes à sombra, aos ditames de um mercado competitivo e sobretudo exigente com empresas que não se adaptarem a estes novos tempos.

Dentre estes setores, a indústria da construção civil foi um dos mais atingidos, notadamente a de construção de edifícios, que segundo SABBATINI (1989)[1] "*apresenta no país, um absurdo desperdício de recursos, traduzido por uma produtividade destacadamente inferior, quando comparada à de outros segmentos industriais*".

---

[1] As referências bibliográficas neste trabalho serão indicadas pelo nome do autor ou sigla da entidade, seguida do ano da publicação. Os dados completos das referências são encontrados no fim do trabalho, organizados em ordem alfabética.

Além disso, este setor, de acordo com PICCHI (1993), é caracterizado ainda, por apresentar inúmeros problemas e deficiências, como a alta incidência de patologias, elevados índices de desperdícios e baixa produtividade, além de, na maioria das vezes, priorizar prazos e custos em detrimento da qualidade.

Apesar deste quadro, CARDOSO (1996) afirma que esta nova situação levou a uma reavaliação da postura empresarial adotada no setor, no sentido de atender às exigências vigentes, visando atingir uma posição favorável no ambiente de concorrência instalado.

Ainda nesta direção, MEDEIROS (1999) afirma que "*a indústria de construção de edifícios vem buscando, nos últimos anos a implementação de novas tecnologias para o aumento da eficiência e qualidade".* Esta busca também é percebida por FRANCO (1992) que afirma que "*muitas são as pressões para que os diversos setores produtivos do país aumentem o nível de eficiência tanto dos processos de produção, quanto dos produtos elaborados, visando o aumento de satisfação dos consumidores*".

Para o construtor de edificações hoje no país, o direcionamento da busca da qualidade parece claro, no entanto, as peculiaridades do setor, seu estágio tecnológico atual e a forma de organização e atuação das empresas são grandes fatores inerciais nesta busca.

Os caminhos desta busca passam pelo melhoramento dos sistemas tradicionais de construção, pela redescoberta da importância de certas etapas do construir na agregação de qualidade para o edifício como um todo.

Dentre estas "redescobertas" está o Controle Geométrico de Edificações (CGE), prática comum em todas as obras de construção de edifícios, presente em todas as fases de construção do edifício e cuja otimização pode torná-la uma ferramenta da racionalização construtiva de importante eficácia.

### 1.1.1 Aspectos econômicos do setor da construção

De acordo com dados do SENAI (1995) o subsetor de edificações caracteriza-se como o mais representativo do setor de construção, abarcando em 1995, cerca 90,29% dos estabelecimentos existentes.

No ano de 1997, segundo o IBGE (IBGE, 1997), o setor de Construção de Edifícios e Obras de Engenharia Civil no Brasil contava com 1.910 empresas. Neste número, cerca de 70% dos estabelecimentos (1341), eram do subsetor de edificações, o que, apesar redução, ainda ratifica a importância e a representatividade deste subsetor.

Por outro lado, segundo a CBIC (1999), citando como fonte o mesmo IBGE, o setor da construção em todas as suas modalidades teve

em 1.990 uma participação de 7,76% no PIB. Esta participação ao longo da década de 90 apresentou crescimento, chegando em 1.998 a 10,26%. Este valor coloca o setor de construção entre os cinco setores mais expressivos dentro do PIB do país, perdendo apenas para a indústria de transformação (20,30%), administração pública (15,48%), alugueis (15,34%) e outros serviços (12,59 %) (CBIC, 1999).

Em Pernambuco, de acordo com o IBGE (1997), o setor contava em 1.997 com 115 empresas, empregando diretamente 15.422 pessoas. Os dados da SUDENE (1999), mostram que em 1.995, o setor tinha uma participação de 4,35 % no PIB do Estado. Um dado peculiar são as taxas de crescimento do setor na Região Nordeste, sempre maiores que as outras regiões do país. Por exemplo, no período 1.997/1.998, de acordo com a SUDENE (1999), o setor cresceu no país 1,7 % e 16,7 % na Região Nordeste.

Estes dados consolidam a importância do setor na economia da região e em especial no Estado de Pernambuco, ao mesmo tempo em que, caracterizam um estágio e um potencial de crescimento diferenciado das demais regiões do país. Isto reforça a necessidade do desenvolvimento de trabalhos visando incrementar a produtividade operacional e a evolução tecnológica, adaptados à realidade local, corroborando as afirmações de SABBATINI (1989) de que "*só é possível evoluir sadia e constantemente se houver contínua capacitação tecnológica no país, fundada em um aprendizado regular e resultante de*

*uma dinâmica coerente com as necessidades regionais*" ou seja "*só é possível solucionar os problemas na construção de edifícios se os seus condicionantes forem buscados na sociedade que os gerou (os problemas) e analisados segundo a particular ótica desta sociedade."*

### 1.1.2 Peculiaridades do subsetor de construção de edifícios

O setor de construção civil, notadamente o subsetor de construção de edifícios, possui certas características que segundo MESEGUER (1991) o tornam peculiar, quais sejam:

- *caráter nômade, com dificuldade de constância de materiais e processos;*
- *produtos geralmente únicos e não seriados;*
- *produtos fixos e operários móveis, dificultando a organização e o controle;*
- *indústria muito tradicional, com grande inércia às alterações;*
- *uso de mão-de-obra pouco qualificada, com possibilidades de promoção escassas;*
- *trabalho sujeito a intempéries;*
- *longo ciclo de aquisição-uso-reaquisição, com pouca repercussão posterior da experiência do usuário;*
- *emprego de especificações complexas, quase sempre contraditórias e muitas vezes confusas;*
- *responsabilidades pouco definidas; e*
- *grau de acuracidade quanto a orçamentos, prazos, características, etc., muito menor que outras industrias.*

Estas características, segundo ainda SOUZA (1997), dificultam a transposição de conceitos e ferramentas da qualidade, aplicados na indústria seriada, para este subsetor.

LIMA (1995) destaca ainda, que uma outra peculiaridade do subsetor é "*a criação de empresas ou consórcios para a execução de um único produto ou poucas unidades deste, ou ainda a formação de grupos de pessoas interessadas na construção de edificações sob a forma de condomínio, às quais desenvolvem em conjunto todas as atividades necessárias, da escolha do terreno ao término do empreendimento, dissolvendo-se após a distribuição das unidades construídas ou o rateio dos resultados gerados com a venda das mesmas.*"

Ainda como características próprias do setor, pode-se acrescentar que é um setor heterogêneo, com empresas de variados portes e estágios tecnológicos, onde o caráter regional de atuação ainda é muito forte.

MACIEL (1997) afirma que o subsetor de edificações é freqüentemente caracterizado como atrasado, corroborando com SCARDOELLI (1994), que enumera algumas características deste atraso, a saber:

- *emprego de método e gestão ultrapassados;*
- *predominância de mão-de-obra sem qualificação profissional, com baixo grau de instrução formal;*

- *excessivo esforço físico e condições adversas no processo de trabalho e nas relações capital-trabalho;*
- *falta de incorporação de uma nova base de organização do trabalho a partir de métodos informatizados;*
- *resistências às inovações tecnológicas;*
- *ineficácia dos mecanismos das interfaces entre as fases do processo (concepção, projeto, produção de materiais e componentes, produção no canteiro e uso) e baixa integração na cadeia produtiva;*
- *Elevada incidência de não conformidades de materiais, componentes sistemas construtivos e serviços; e*
- *baixa produtividade quando comparada à indústria congênere de outros países.*

Parte da percepção deste atraso está na falsa idéia de inércia total do setor, conforme estabelece SABBATINI (1989), ao afirmar, "*que por diversas razões, a construção civil tem uma velocidade (em todos os países) menor que as outras atividades industriais, mas no entanto, evolui constantemente*".

Por sua vez, MACIEL (1997), afirma que o setor no país não ficou estagnado, e que o desenvolvimento tecnológico se dá de forma diluída entre todas as atividades, além de que, a natureza das inovações não é revolucionária e visível como aquelas que ocorrem em outros setores.

As características expostas por MESEGUER (1991), LIMA (1995) e SCARDOELLI (1994), mostrando o setor como peculiar e atrasado, na

verdade expõem a necessidade da adoção de estratégias para uma evolução endógena e sistemática, calcadas como afirma SABBATINI (1989) na criação de novos métodos, processos e sistemas construtivos e no aperfeiçoamento dos já existentes, coerentes com as necessidades regionais e passíveis de serem absorvidas por uma sociedade despreparada para tal. É dentro deste contexto e filosofia de pensamento que se insere o presente trabalho.

### 1.1.3 Estratégias das empresas de construção

Neste cenário, de acordo com PICCHI (1993), "*percebe-se que há uma conscientização do subsetor e um movimento do mesmo no caminho da qualidade total*". As estratégias das empresas na busca desta qualidade, para o setor, tem se dado através de dois caminhos: o primeiro através da implantação de programas de gestão de qualidade e posterior certificação pelas normas da série ISO 9000 e o segundo através da implantação de programas de racionalização construtiva.

O primeiro caminho de acordo com SOUZA; MEKBRKIAN (1996) se assenta sobre os seguintes pontos:

- *padronização dos procedimentos de execução e inspeção dos serviços de obras, de modo a documentar a tecnologia construtiva da empresa e possibilitar a sua repetição na execução e no padrão de qualidade das várias obras da construtora;*
- *treinamento de equipes e operários responsáveis pela condução dos serviços, seja, mão-de-obra própria ou de empreiteiros contratados;*

- *definição das responsabilidades da equipe de gestão da obra, com relação ao sistema da qualidade e sua implantação prática: quem treina, quem verifica, quem implementa ações corretivas, quando e como são conduzidos os processos de execução e inspeção dos serviços; e*
- *retroalimentação do sistema, permitindo a correção de falhas na execução dos serviços, a qualificação dos fornecedores de serviços e a adoção de novas tecnologias de processos construtivos.*

Já o segundo caminho, a racionalização construtiva, tem se mostrado mais curto na medida que ao escolher uma etapa ou um sistema do edifício para a implantação de uma metodologia de racionalização construtiva, situação denominada por SABBATINI (1989) de tática de racionalização parcial, pode-se obter resultados palpáveis e ao mesmo tempo em que se expõe a necessidade de melhoria em toda a cadeia produtiva, extrapolando o sistema ou a etapa escolhida, além de não provocar uma ruptura brusca no sistema construtivo utilizado.

### 1.1.4 O controle geométrico na execução da estrutura de concreto de edifícios como ferramenta da racionalização construtiva

Segundo SABBATINI (1989) a racionalização construtiva pode ser entendida como uma ação ou um conjunto de ações praticadas com o objetivo de tornar racional a atividade construtiva, ou seja, é o processo composto pelo conjunto de todas as ações que tenham por objetivo otimizar o uso dos recursos humanos, materiais, organizacionais,

energéticos, tecnológicos, temporais e financeiros disponíveis na construção em todas as suas fases.

Em termos históricos, FARAH (1992) afirma que o conceito de racionalização no Brasil, começou na década de 70 com o paradigma da produção fabril seriada e organização do trabalho fordista, esta modalidade pressupunha a existência de escala, condição que deixou de existir com a crise no setor da construção a partir da década de 80.

Com a crise no setor, a partir dos anos 80, novas formas de racionalização ganharam impulso, uma delas baseada na incorporação de mudanças tecnológicas com novos componentes e equipamentos de construção, produzidos por diversos fabricantes no mercado, deslocando-se parte das atividades para fora do canteiro e induzindo a subcontratação e a especialização da mão-de-obra.

Outra tendência, também identificada por FARAH (1992), foi àquela baseada sobre as atividades do projeto e o planejamento da execução. A ênfase neste caso foi dada sobre a definição antecipada de métodos, materiais e componentes, planejamento cuidadoso do andamento da obra e das atividades de apoio.

O que se observa nos dias atuais é a adaptação destas tendências, com o aparecimento de variações, ora centradas na busca de ganhos de produtividade através da introdução de modificações na

organização do trabalho, ora associado à absorção maciça de componentes industrializados. No primeiro caso se busca o melhoramento dos sistemas tradicionais de construção, sem uma ruptura brusca, no segundo o corte é mais radical.

PICCHI (1993) apontava, no início da década de 90, como tendência da construção de edifícios no Brasil a priorização da racionalização construtiva, propondo inclusive um patamar intermediário entre a construção convencional e a industrializada denominada "construção convencional racionalizada", permitindo às empresas do setor menores investimentos, possibilidades de atuar em pequena escala, eliminação da dependência de grandes concentrações de unidades e maior flexibilidade diante de oscilações de demanda.

Dentro das várias vertentes atuais da racionalização construtiva, pode-se utilizar o que SABBATINI (1989) chamou de táticas de racionalização parcial, estratégia na qual a racionalização do todo é buscada através da racionalização das partes.

Uma dessas táticas, que pode ser utilizada, é o Controle Geométrico das Edificações (CGE). A definição acurada e o controle dos planos verticais e horizontais do edifício, durante a sua execução, pode ser um fator que agrega qualidade, ao mesmo tempo em que funciona como auto-indutor das melhorias, na medida que torna palpável os resultados obtidos. Além dos aspectos citados acima, a necessidade do

CGE extrapola as etapas de execução da estrutura do edifício, devendo ter suas diretrizes incorporadas desde o projeto, estando presente desde o início até o final da obra.

Como tática de racionalização parcial, o CGE terá como objetivo num primeiro instante, a garantia da correlação entre o terreno e o edifício projetado e em etapas seguintes, a inserção do edifício no terreno, a definição geométrica dos elementos estruturais do edifício e por fim a verificação da conformidade geométrica dos elementos construídos em relação ao projetado. Esta amplitude de objetivos do CGE e a sua distribuição temporal no ciclo da obra permitirão uma visão sistêmica, expondo as inter-relações e as necessidades de melhorias nas diversas etapas da obra.

## 1.2 Justificativa do tema

Diversos autores como IOSHIMOTO (1988), ABRANTES (1995) e LEE (1987) ao levantaram as ocorrências de patologias nas edificações enumeram como causas principais, as deficiências de projeto e a má execução da obra, secundadas por uso inadequado, manutenção, materiais e outros.

As constatações feitas por estes autores, reiteram a importância do projeto como elemento essencial para a boa condução do processo construtivo, dentro da ótica estabelecida por MEDEIROS (1999) de que

projetar implica no pensar antes, antecipar a tomada de decisões para dar soluções técnicas exeqüíveis aos problemas com uma relação custo-benefício otimizada.

Para SOUZA (1995), as definições feitas na fase de projeto geram grande influência sobre a produtividade, os custos de produção e os custos ao longo da vida útil das obras. No entanto, segundo a mesma autora, ainda não é marcante entre as empresas de construção de edifícios a preocupação com o projeto, haja vista que essas empresas, normalmente, iniciam o seu processo de evolução tecnológica através de alterações na etapa de execução da obra.

Esta fase de execução da obra, além de ser considerada como origem de muitas patologias, se mostra como crítica para a ocorrência de desperdícios, outro fator de não qualidade na produção de edifícios.

Caracterizando este problema, PICCHI (1993) afirma que "é *freqüente na construção de edifícios a utilização de espessuras de argamassa bastante acima do projetado, para correção de imperfeições de prumo, nivelamento e alinhamento da estrutura e alvenarias, sendo este, juntamente com o entulho um dos maiores fatores de desperdícios de materiais*".

Na fase de construção, notadamente na execução da estrutura do edifício, uma etapa comum em todas as suas fases é a definição

geométrica dos elementos estrutural, normalmente realizada dentro de cada fase e caracterizada como condição pré-existente para a fase seguinte, se constituindo num elo entre estas fases e os subsistemas do edifício. Apesar da sua aparente invisibilidade em certas fases, a definição geométrica dos elementos do edifício, feita de forma adequada, é um fator de agregação de qualidade e de redução de desperdícios.

A precisa definição geométrica como uma qualidade da estrutura produzida, deve ser resultado de atividades técnicas planejadas e executadas conforme este planejamento.

A importância desta atividade não é traduzida hoje, na maioria dos casos, na existência de métodos adequados, que incorporem os avanços tecnológicos, ou de métodos mais simples, e mais adequados com situação dos canteiros.

**O que se vê, nos dias atuais, é uma convivência de práticas empíricas baseadas em instrumentos rudimentares e a subtilização de equipamentos modernos pelo desconhecimento de metodologias de uso ou manuseio.**

## 1.3 Objetivos do trabalho

O objetivo principal do trabalho é mostrar a necessidade da realização do controle geométrico da estrutura de edifícios com metodologias e instrumentos adequados ao estágio tecnológico atual, resgatando a sua importância e indicando-o como uma tática viável para a racionalização construtiva.

A consecução deste objetivo passa pelo conhecimento do contexto atual da construção de edifícios, o conhecimento da realidade na área de abrangência do estudo (Região Metropolitana do Recife) e a proposição de métodos para o controle de superfícies verticais e horizontais dos elementos constituintes da estrutura do edifício.

Os métodos propostos englobam as seguintes etapas:

- Locação com transferência vertical de eixos;
- Nivelamento de lajes;
- Alinhamento vertical de pilares; e
- Mapeamento de fachada

Dentro da idéia de juntar o saber disperso, os métodos propostos não tem, exceto o mapeamento de fachada, o caráter de ineditismo, busca-se ordenar atividades já consagradas pelo uso, visando documentá-las e ordená-las num contexto maior, o CGE. No caso do mapeamento de fachada propõe-se um método inédito, baseado no uso de Estação Total com recurso de medida de distância sem prisma. Neste caso, são

apresentadas planilhas, com dados obtidos em estudo de casos e uma análise expondo a sua aplicação prática.

## 1.4 Método empregado

Para o atendimento ao objetivo do trabalho foi adotado um método de desenvolvimento englobando três fases:

- revisão bibliográfica;
- pesquisa de campo; e
- proposição de métodos.

A primeira etapa consistiu no levantamento bibliográfico dos diversos aspectos conceituais sobre tema, (nas bibliotecas da UNICAP e da USP), utilizando os bancos de dados disponíveis.

A segunda fase foi executada, através de uma pesquisa de campo, nos canteiros de obras da Região Metropolitana do Recife, com a utilização de um questionário padrão para o levantamento da situação atual do controle geométrico empregado nessas obras. As obras visitadas consistiram em edifícios residenciais ou comerciais, apresentando estrutura em concreto armado moldada "in loco" com vedação vertical em blocos de concreto ou cerâmico.

Precedendo a aplicação do questionário foi feito um levantamento junto ao CREA-PE e ao SINDUSCON-PE visando à definição do universo

a ser pesquisado. Esta fase foi concluída com a tabulação dos dados coletados, consolidados num diagnóstico mostrado no capítulo 4.

Na última fase, de acordo com as informações obtidas, foi feita uma proposta para um sistema de controle geométrico da estrutura que pode ser utilizado em todas as fases da construção, englobando métodos e instrumentos existentes, adaptáveis à realidade dos canteiros de obras da Região Metropolitana do Recife. Ainda nesta fase fez-se a validação da parte inédita do sistema proposto, com a realização de trabalhos em campo.

# 2. A NECESSIDADE DO CONTROLE GEOMÉTRICO

Neste capítulo é analisada com base em uma revisão bibliográfica, a necessidade do controle geométrico, explicitando os conceitos envolvidos e fazendo os contrapontos com desperdícios de materiais e os estágios tecnológicos vivenciados hoje na construção de edifícios no Brasil.

## 2.1 Conceitos

Em termos de inserção conceitual o CGE está afeto ao projeto para produção entendido segundo MELHADO (1995) como "*um conjunto de elementos de projeto, elaborados de forma simultânea ao detalhamento do projeto executivo, para utilização no âmbito das atividades de produção da obra e frentes de serviços, contendo as definições de disposição das seqüências de atividades de obra e frentes de serviços; uso de equipamentos e evolução do canteiro.*"

FRANCO (1992) clareia esta ligação quando analisa a elaboração de procedimentos construtivos, inerentes ao projeto de produção, dizendo que estes como normas internas da empresa, são os responsáveis pelo estabelecimento de referências para o controle e a verificação dos serviços. Nestes casos os métodos de controle estão inseridos e disseminados nos procedimentos relacionados à

materialização geométrica do edifício projetado, estabelecendo métodos e procedimentos para :

- inserção do edifício como ente geométrico no chamado "*building site*";
- definição geométrica dos elementos estruturais do edifício; e
- verificação da conformidade geométrica dos elementos estruturais construídos em relação ao projetado.

## 2.2 Definição de controle geométrico

A definição de controle geométrico inicialmente pode parecer simples, mas a abrangência de significado dos termos conduz a uma série de possibilidades de entendimento. Segundo FERREIRA (1993), controle pode ser entendido como "*ato ou poder de controlar*" ou "*a fiscalização exercida sobre as atividades de pessoas, órgãos, departamentos ou sobre produtos, para que tais atividades ou produtos não desviem das normas preestabelecidas*".

O termo geométrico segundo o mesmo autor, é "*relativo ou pertencente à geometria ou próprio dela*".

HELENE; TERZIAN, (1992) estabelecem o conceito de controle como o conjunto de atividades técnicas e planejadas, através das quais, se pode alcançar uma meta e assegurar um nível predeterminado de qualidade, segundo estes autores, controla-se uma qualidade.

No contexto da construção de edifícios, o controle geométrico está relacionado com a definição da geometria projetada, mas deve ir além, podendo ser entendido como ***o conjunto de atividades que visam assegurar num primeiro instante a locação do edifício no " building site," a execução dos elementos constituintes do edifício na geometria projetada e em uma etapa seguinte medir os desvios entre a geometria projetada de cada elemento e a realmente executada.***

Estes desvios medidos, são comparados com as tolerâncias, que segundo PACILÉO (1989) é um valor de erro convencionado, cuja probabilidade de ser excedido é muito pequena. No caso de valores acima desta tolerância, estabelecem-se as situações de não conformidades.

## 2.3 Necessidade do controle

No caso da execução de estruturas de concreto, consoante com o conceito estabelecido por HELEN; TERZIAN (1992) para controle, a qualidade buscada através do controle geométrico é a execução dos elementos dentro da geometria projetada e assentados no terreno no local previsto pelo projeto.

Segundo o manual "QUALIDADE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO DA ENCOL", em qualquer fase da obra, desde a

locação até o acabamento final, esta qualidade é controlada através das verificações de prumos, esquadros, níveis e alinhamentos das diversas etapas de serviço inerentes ao sistema construtivo.

Na definição dada por SABBATINI (1989) para sistema construtivo consta que o mesmo é "*constituído por um conjunto de elementos e componentes inter-relacionados e completamente integrados pelo processo".* Nesta linha, o CGE é um dos caminhos para este inter-relacionamento na medida que ao permitir a materialização seqüenciada das partes do edifício se torna a base palpável em torno da qual se dá a integração entre estes elementos e componentes.

### 2.3.1 O controle geométrico e o desperdício na construção

De acordo com BORNIA (1995) "*o efetivo controle das atividades produtivas é condição indispensável para qualquer empresa possa competir em igualdade de condições com seus oponentes, hoje em dia".* E que sem este controle, ou seja "*sem esta capacidade de avaliar o desempenho de suas atividades e de intervir rapidamente para correção e melhoria dos processos, a empresa estará em desvantagem frente à competição mais eficiente."*

Por outro lado, GARRIDO (1999) ao comentar uma pesquisa coordenada pela EPUSP sobre desperdícios na construção civil, realizada em 85 canteiros de obras em 12 estados da federação, diz, que

no caso da estrutura de concreto, "*fica claro que quanto mais se cuidar da geometria da estrutura, menor será o consumo excessivo do material*".

As afirmações acima clareiam uma das razões para a redescoberta do CGE como um dos instrumentos mais eficazes para o controle do desperdício de materiais na construção de edifícios, na medida que ele não só permite a quantificação das não conformidades, mas possibilita o fazer conforme o projeto e torna palpável o resultado de metas atingidas.

A velha prática de "tirar na massa" como solução para os problemas da geometria das partes estruturais do edifício já não se sustenta, pois espessuras maiores que as projetadas não significam só desperdício de material mas também o risco de problemas patológicos oriundos de fissuração de revestimentos e cargas adicionais na estrutura.

MEDEIROS (1999) situa bem este problema ao afirmar, que "*a fissuração de revestimentos e o conseqüente descolamento em fachadas são especialmente críticos, devido aos riscos de acidentes envolvidos na queda de placas ou de partes das camadas".*

Um outro aspecto é a preocupação crescente, entre os construtores que buscam diferenciais de qualidade, com a quantidade de resíduos resultantes das obras. Isto está ligado diretamente ao

desperdício de materiais e neste caso, a definição geométrica dos elementos estruturais do edifício, de acordo com o previsto no projeto, permitindo a consolidação das etapas seguintes sem a incompatibilização dimensional entre subsistemas e os próprios elementos construtivos, é um fator preponderante para a redução das perdas de material.

### 2.3.2 O controle geométrico e o conceito de construção seca

PICCHI (1993), enumera três estágios tecnológicos na construção de edifícios no Brasil:

- **construção tradicional** - onde os elementos do edifício são predominantemente obtidos no canteiro, a partir de materiais naturais (pedra, argila, madeira, etc.), com uso intensivo de mão de obra;
- **construção convencional** - onde os elementos são obtidos através da reunião de materiais e componentes produzidos em série e fornecidos pela industria de materiais de construção. Os insumos produzidos se destinam ao mercado e não a uma obra em particular. O uso de mão-de-obra ainda é intenso, mas já são utilizados equipamentos mecânicos em intensidades variáveis; e
- **construção industrializada** - onde os principais elementos do edifício são produzidos fora do canteiro, através de procedimentos industriais, há menor uso da mão de obra em comparação aos outros estágios.

Na atualidade no Brasil, em especial na Região Metropolitana do Recife, há predominância do segundo estágio.

Para MAWAKDIYE (1998) a produtividade brasileira no setor de construção residencial representa apenas 35% da produtividade alcançada pelos americanos. Este número é oriundo de uma pesquisa realizada entre janeiro e novembro de 1997 em quartoze canteiros de obras nas cidades do Rio de Janeiro e São Paulo no Brasil e Miami e Houston nos Estados Unidos.

Em uma primeira análise este número parece inquestionável, mas alguns aspectos logo são percebidos como por exemplo os custos diferenciados das obras, no Brasil e nos Estados Unidos.

Estabelecido o número, o autor cita como preponderantes neste hiato o uso em menor número de equipamentos e ferramentas pelos brasileiros, a ausência de projetos para a produção, a falta de competição entre as empresas, além da baixa penetração dos materiais pré-fabricados nos canteiros. Estas condições hoje, já não são absolutas, tendo surgido no país obras no terceiro estágio, onde os conceitos de pré-fabricação, montagem, coordenação e compatibilização de projetos, modulação, afinidade entre projeto estrutural e de vedação vertical são preponderantes.

Nestes casos o CGE se destaca, na medida em que a precisão dimensional é uma diretriz básica para o sucesso desta modalidade construtiva. A transformação do canteiro de obra num espaço de

montagem de peças produzidas externamente requer uma perfeita definição dos alinhamentos e planos do edifício de modo a permitir o encaixe das peças e módulos dentro de tolerâncias aceitáveis. Uma característica destas obras é o uso intenso das metodologias de locação e conferência.

KISS (2000) comentando a construção de um hotel em São Paulo, onde foram empregados os conceitos de construção seca, afirma que "*a cada laje executada foi realizado um novo levantamento topográfico*" e que o passo seguinte foi "*checar os pontos previamente determinados em projeto para levantamento comparativo.*"

# 3. TRABALHOS TOPOGRÁFICOS ENVOLVIDOS NO CONTROLE GEOMÉTRICO DA ESTRUTURA (CGE)

Neste capítulo são expostos os conceitos de topografia inerentes aos trabalhos de controle geométrico, analisados os métodos empregados, as normas vigentes e os direcionamentos advindos com o uso de novos instrumentos.

## 3.1 Conceitos básicos

A inserção do CGE como uma parte ou etapa da topografia não é claramente definida tanto nos compêndios que tratam desta disciplina como CARDÃO (1990), LOCH (1995) ou BORGES (1992) nem em textos que se referem à construção propriamente dita, como SOUZA, R, (1996), SOUZA, A. L. R (1996) e FRANCO (1992).

Isto pode ser atribuído em um primeiro instante à dispersão, dentro dos conteúdos da topografia, dos conceitos e métodos empregados no CGE e também da pequena importância que é dada aos trabalhos envolvidos no controle, dentro do processo de produção do edifício.

De acordo com as definições clássicas de topografia, o seu objetivo primordial é a representação no "papel" de uma porção limitada da superfície terrestre. Nesta definição está implícito o caráter geodésico

da topografia, haja vista existir apenas como elemento diferenciador da Geodésia a restrição quanto ao tamanho da sua área de atuação.

De acordo com CARDÃO (1990) "*a finalidade utilitária da Topografia consiste, fundamentalmente, no conhecimento dos instrumentos e dos métodos que se destinam a efetuar a representação do terreno sobre uma superfície plana*".

Para LOCH (1995) a topografia "*é a ciência aplicada, baseada na geometria e na trigonometria plana, que utiliza medidas de distâncias horizontais, de diferenças de níveis, de ângulos e de orientação, com o fim de obter a representação, em projeção ortogonal sobre um plano de referência, dos pontos que definem a forma, as dimensões e a posição relativa de uma porção limitada do terreno, sem considerar a curvatura da Terra*".

Ainda dentro desta linha geodésica de conceituação, GARCIA TEJERO (1978) define Topografia como "*o estudo dos métodos necessários para chegar a representar um terreno com todos os seus detalhes naturais ou criados pela mão do homem, bem como o conhecimento e manejo dos instrumentos que se necessitam para tal fim.*".

MOFFIT e BOUCHARD (1975) afirmam que topografia "*é o processo de determinação da posição, na superfície da terra, das*

*características naturais e artificiais de um determinado local e da configuração do terreno.*"

Extrapolando um pouco esta abordagem, CINTRA (1993) diz que "*A topografia preocupa-se fundamentalmente com o levantamento do relevo (curvas de nível), edificações (casas, pontes, rodovias) e dos recursos naturais (rede de drenagem, cobertura vegetal) visando à elaboração de uma peça gráfica que sirva como base para futuros projetos (urbanísticos, arquitetônicos, agrícolas). Posteriormente preocupa-se também com a implantação efetiva desses projetos, sendo portanto dupla a sua função: do campo ao projeto e do projeto ao campo".*

É nesta preocupação com a implantação efetiva dos projetos, estabelecida por CINTRA (1983), que se insere o CGE, não como uma parte em separado, com fundamentos teóricos próprios, mas visto como uma aplicação das metodologias e instrumentos da topografia visando à obtenção de uma planta do terreno que permita a elaboração do projeto do edifício, a inserção do edifício projetado neste terreno, a execução da estrutura de concreto dentro da geometria projetada e a medição dos desvios entre a geometria projetada e aquela efetivamente executada.

Neste contexto, os trabalhos relativos ao CGE são abordados tanto dentro de levantamento topográfico como de locação. BORGES (1992) clareia a relação existente entre ambos ao afirmar que a locação "*é a operação inversa do levantamento, sendo que no levantamento*

*também chamado de medição, o profissional vai ao terreno obter medidas de ângulos e distâncias para, no escritório calcular e desenhar. Na locação, também chamada de marcação, os dados foram elaborados no escritório através de um projeto que deverá ser implantado no terreno".*

CINTRA (1993) insere a locação de obras como um tipo de levantamento que "*em pequenas obras utilizam-se método mais simples e seguros que consistem em materializar eixos, constituídos por armações de madeira, onde se demarcam todos elementos necessários ao posicionamento dos blocos, pilares etc. e em obras de maior vulto requer o uso de instrumentos topográficos que permitem o posicionamento através de ângulos e distâncias.*"

## 3.2 Métodos e instrumentos usuais

Como visto anteriormente, no CGE são utilizados os mesmos métodos empregados para a elaboração da representação gráfica da porção limitada da superfície da terra, ou seja, na execução do controle geométrico se utiliza os mesmos métodos e instrumentos utilizados no levantamento topográfico, que por sua vez, também estão presentes nos trabalhos de locação.

O ponto básico diferenciador entre o que COMASTRI (1992) define como levantamento topográfico e CINTRA (1993) chama de locação de obras é a existência do projeto.

O levantamento, na essência, visa o conhecimento de uma porção da superfície, com o objetivo, de quase sempre, permitir a elaboração de um projeto. Já na locação, definida por BORGES (1992) como *a operação inversa do levantamento*, parte-se dos dados constantes no projeto para a materialização no terreno. Assim pode-se entender que o controle geométrico engloba o levantamento e a locação e vai além, na medida que permite estabelecer comparações entre a geometria projetada e aquela realmente executada.

### 3.2.1 Levantamento topográfico

De acordo com COMASTRI (1992) "*deve-se entender por levantamento topográfico, o conjunto de operações realizadas no campo e no escritório, a fim de se obter os dados necessários á reprodução geométrica de determinada área de terreno estudada topograficamente*".

Nesta linha, a etapa de levantamento do CGE envolve as seguintes fases:

- reconhecimento da área;
- implantação dos alinhamentos básicos; e
- realização das medições.

Na primeira fase, de acordo com o objetivo do levantamento, a área a ser levantada é percorrida, escolhendo-se os pontos definidores

da superfície e das benfeitorias existentes, bem como dos locais para a implantação dos alinhamentos básicos do levantamento (poligonais).

Na segunda fase, são materializados no campo os alinhamentos a partir dos quais serão feitas as medições dos pontos de interesse do levantamento. A escolha destes pontos é feita em função do objetivo do levantamento e a posição dos alinhamentos básicos depende da localização dos pontos a serem levantados e da metodologia empregada nas medições.

Na terceira fase, após a implantação dos alinhamentos básicos, são feitas as medições de ângulos, distâncias e outras grandezas que relacionam os pontos de interesse aos alinhamentos básicos implantados. As grandezas medidas em cada levantamento é função do seu objetivo e da metodologia de levantamento empregada.

### 3.2.2 Etapas de locação topográfica do CGE

Na sua etapa de locação, o CGE é feito através da materialização de pontos e alinhamentos (planimétrica) e de planos verticais e horizontais. De acordo com SOBRINHO (1985), alinhamento *é "uma linha representativa da projeção horizontal de uma linha do terreno".* Os planos verticais e horizontais se estabelecem nas superfícies internas e externas das edificações.

#### 3.2.2.1 Locação planimétrica

Partindo-se do projeto, a locação planimétrica, basicamente é feita usando-se dois sistemas de coordenadas universais: retangulares e polares. De acordo com BORGES (1992), "*as coordenadas retangulares (cartesianas) são melhores para locar alinhamentos e as coordenadas polares (direção e distância) para locar pontos.*"

SOUZA (1996) estabelece um método executivo para locação de um edifício em um terreno qualquer, baseado nas seguintes etapas:

- limpeza e arrasamento do terreno até as cotas de fundação;
- definição da referência de nível, e da referência de locação planimétrica (lateral do terreno ou pontos topográficos);
- conferência de eixos e divisas da obra em relação ao terreno;
- marcação a partir da referência escolhida, de um polígono de lados ortogonais (gabarito) circunscrevendo a edificação a ser locada, a uma distância de pelo menos 1,50m dela;
- materialização do gabarito, com a fixação de pontaletes aprumados e concretados no solo, espaçados de no máximo 2,00m - após o endurecimento do concreto de fixação, os pontaletes devem ser cortados de maneira que seus topos formem uma linha horizontal perfeitamente nivelada a uma altura do solo na faixa de 1,00 a 1,20m - na face interna dos pontaletes pregar tábuas também niveladas formando a chamada "tabeira" ou bancada - o nivelamento das tábuas deve ser feito com nível *laser.*
- verificação dos esquadros nos cantos do gabarito;

- marcação dos eixos X e Y, na bancada, com *topografia* (teodolito e trena), a partir de um ponto monumentado no terreno - para cada eixo deve ser cravado, no terreno, testemunhos em marcos de concreto com prego;
- marcação dos eixos dos pilares, a partir dos eixos X e Y, com trena metálica, esquadro e lápis de carpinteiro - na interseção dos eixos com a bancada devem ser fixados pregos - cada eixo e os pilares correspondentes devem ser identificados através de pintura no gabarito;
- conferência de esquadro, alinhamento e nível do gabarito e marcação de todos os pilares e estacas – o cruzamento dos arames de cada eixo definirá a posição no terreno do elemento estrutural a ser locado - para elementos de seção circular descer um prumo pelo centro do elemento, para elementos de seção não circular, descer um prumo em cada lateral para a definição da posição das faces - nos pontos definidos pelo prumo devem ser cravados piquetes.

O método acima descrito é bastante utilizado, na pesquisa de campo realizada, foi encontrado em 29% das obras. As restrições ao seu emprego estão na ausência de garantia prévia de que o edifício projetado cabe no terreno, a baixa precisão na marcação dos pontos de posição e a materialização dos eixos apenas no plano das fundações. Um outro aspecto é o uso de teodolito e trena apenas na marcação dos eixos sobre a bancada.

#### 3.2.2.2 Definição de superfícies horizontais

No caso das superfícies horizontais do edifício o CGE envolve métodos de nivelamento geométrico referenciados a pontos de controle. Os principais métodos estão intrinsecamente ligados a diversos tipos de equipamentos.

SOUZA, A. L. R. (1996) cita para o caso de lajes racionalizadas dois tipos destes equipamentos: nível "laser" e nível d'água (alemão) e afirma que "*a diferença entre eles consiste basicamente na precisão e no sistema utilizado para o nivelamento.*" Além destes instrumentos ainda são usados o nível de mangueira e o nível de luneta.

Todos os métodos usados, envolvem a definição de uma referência de nível no local onde será definida a superfície horizontal, a partir daí esta referência é transferida com auxílio do equipamento utilizado para os pontos definidores da superfície. No caso de lajes, o nivelamento pode ser feito tanto por cima como por baixo das fôrmas, e os ajustes na definição da superfície são feitos no escoramento.

#### 3.2.2.3 Definição de superfícies verticais

No caso das superfícies verticais, o CGE envolve métodos que também estão relacionados intrinsecamente aos equipamentos. No edifício estas superfícies são controladas através da verificação da

verticalidade de pilares e fachadas. Na verticalidade dos pilares são usados esquadros metálicos, prumos com bolhas ou fios de prumo.

Uma variação neste processo é o emprego de métodos de nivelamento geométrico para a locação dos painéis de forma dos pilares: em todos painéis há uma superfície que deve ficar num mesmo plano horizontal, a colocação desta superfície neste plano garante diretamente a altura projetada dos pilares e indiretamente a verticalidade desejada.

No caso das fachadas, há dois momentos onde é feito o controle e nos casos mais comuns se empregam métodos diferenciadas em cada caso.

No primeiro caso, na execução da alvenaria de vedação, a verticalidade é controlada através de prumo de bolha d'água e esquadros. No segundo caso, no controle após execução da alvenaria, o chamado mapeamento de fachada, método mais utilizado envolve a fixação, nos pontos definidores dos planos da fachada, de fios de prumo construídos com arames e cilindros de concreto. A medida das diferenças entre o plano vertical, definido pelos fios e a fachada construída são realizada manualmente, com acesso por balancim ou andaimes, e são referenciadas a pontos fixados na extremidade superior da fachada.

SOUZA, R. (1996) estabelece a seqüência deste trabalho nas seguintes etapas:

- transferência dos eixos de locação do edifício para a cobertura;
- locação dos arames na fachada, afastados cerca de 10 cm da platibanda e espaçados a uma distância máxima de 1,50 a 1,80m - os arames devem estar perfeitamente alinhados em relação aos eixos principais do edifício, garantindo-se o esquadro entre os panos ortogonais - obrigatoriamente devem ser colocados arames nas quinas externas e nos cantos internos, nas laterais das janelas e nos eixos das juntas estruturais;
- medição das distâncias entre os arames e a fachada em pontos localizados nas vigas, nos pilares e na alvenaria - nos pilares e na alvenaria as medidas devem ser feitas à meia altura em relação ao pé-direito do andar;
- análise do mapeamento, e definição do revestimento aprumado, através de uma distância fixa, considerando o edifício como um todo e a espessuras mínima de recobrimento de 25 mm e utilizando os critérios da tabela abaixo para pontos localizados:

| Tipo de base | Espessura mínima do revestimento (mm) |
|---|---|
| Estruturas de concreto em pontos localizados | 10 |
| Vigas e pilares em regiões extensas | 15 |
| Alvenaria em regiões extensas | 20 |
| Alvenaria em pontos localizados | 15 |

Tabela 3.1 **Espessuras mínimas de recobrimento segundo SOUZA, R.(1996).**

## 3.3 Automação e novos instrumentos de topografia

De acordo com CINTRA (1993) "*a topografia vem sofrendo acentuadas transformações nos últimos 20 anos, em função de novos equipamentos de campo que incorporam tecnologias eletrônicas*".

SILVA (1996) completa, ao afirmar que, "*nos casos dos instrumentos, nota-se que os teodolitos mecânicos foram substituídos pelos teodolitos eletrônicos, apareceram os medidores eletrônicos de distâncias (distânciometros), que mais recentemente foram incorporados aos teodolitos eletrônicos formando as estações totais. Os níveis mecânicos estão sendo substituídos pelos níveis digitais e os níveis a laser estão, aos poucos, ganhando o seu devido espaço na construção civil e na agricultura*".

Para este mesmo autor, o avanço mais marcante, entretanto, ocorreu com o aparecimento do sistema de medição por satélites ou Global Positioning System (GPS), que revolucionou completamente a área de levantamentos. Mas o avanço na área de medições foi muito além da modernização dos instrumentos: o aparecimento de programas aplicativos, do sistema de informações georeferênciadas (SIG) e da modelagem digital do terreno, junto com os instrumentos novos tem estabelecido novas fronteiras e novas condutas na coleta, no tratamento e na apresentação dos resultados.

CINTRA (1993) explica este avanço na automação do registro de dados, enfocando que no processo dito tradicional há toda uma mística ao redor da caderneta de campo, que com as novas tecnologias se torna obsoleta, na medida que o registro dos dados é feito eletronicamente nos novos instrumentos, com posterior transferência para microcomputadores através de ligação via cabo do instrumento com o microcomputador, evitando-se os erros de anotação ou leitura além de dispensar a necessidade de digitação.

Na área de locação, o avanço está diretamente relacionado aos novos equipamentos e uso de softwares, uma vez que o processo topográfico, os métodos envolvidos e as seqüências de operações continuam as mesmas, chegando inclusive a impor a manutenção de certos equipamentos. No caso de marcação de distâncias no terreno a partir do projeto, o uso de réguas ou trenas ainda é mais simples que com a utilização de medidores eletrônicos de distâncias.

Na definição de planos horizontais os avanços recentes estão relacionados à popularização dos instrumentos de nivelamento a laser e dos níveis eletrônicos.

Já na definição de alinhamentos ou até mesmo na medida de distancias, o aparecimento de estações totais (ST) com aplicativos para locação, grande capacidade de armazenamento de dados e sobretudo a

medida de distâncias com laser visível e sem o auxílio de prismas, tem estabelecido novos parâmetros para a realização destes trabalhos.

Entretanto, baseado nos dados obtidos na pesquisa de campo, pode-se afirmar que a disponibilidade destes equipamentos no país não tem se traduzido ainda, na presença deles nos canteiros de obras de edifícios na RMR. O uso intensivo desses equipamentos e seus recursos esbarra na falta de uma visão de conjunto dos trabalhos de locação e controle, na pouca difusão de métodos para o seu emprego e até mesmo na falta de conhecimento para manuseio e uso de suas ferramentas.

### 3.3.1 Nível laser

De acordo com BORGES (1997) o nível laser "*é composto de uma caixa que pode ser fixada sobre um tripé ou sobre uma mesa (uma base horizontal). A caixa tem dois parafusos calantes que permitem o nivelamento em duas direções perpendiculares (X e Y). Através destes parafusos são centrados dois tubos de bolha. Quando as bolhas estão no centro de cada tubo, o aparelho está perfeitamente nivelado.*"

SOUZA (1996), lembra que há também aparelhos com sistemas de nivelamento eletrônico (autonivelamento) ou de pêndulo metálico com níveis de bolha para o pré-nivelamento.

Quando ligamos o aparelho, ele emite um raio laser perfeitamente horizontal e o movimento de rotação deste raio estabelece um plano horizontal visível. O aparelho pode ser colocado, através de uma base, com um giro de 90º com a vertical, ficando o eixo de rotação na horizontal, de tal forma que ao girar se estabelece um plano vertical. O eixo de rotação pode ser colocado com uma determinada inclinação em relação a vertical, materializando-se planos inclinados.

A maioria dos aparelhos, hoje disponíveis no mercado, possuem além da saída do raio na horizontal, uma saída de raio na vertical, perpendicular à primeira, permitindo a materialização de linhas ortogonais (esquadros). O raio emitido, além de visível, pode ser percebido através de sensores acoplados a réguas marcadas, ou miras falantes. Estes sensores podem emitir sinais sonoros indicando a materialização do plano horizontal ou o sentido do deslocamento do sensor para esta materialização.

A precisão é dependente do tipo de sensor. "*para os sensores numéricos a precisão é da ordem de 2,4 mm e para os sensores sonoros fica em torno de 1,5 mm para distancias da ordem de 30 m ou de 3,0 mm para distâncias da ordem de 100 m.*" (SOUZA, 1996).

No uso do nível laser nos canteiros de obras de edifícios são percebidas duas limitações: a primeira, na definição de superfícies horizontais, é a limitação do alcance por conta de obstáculos existentes

como pilares, escoramentos, etc. Neste caso o seu emprego é dificultado, exigindo mudanças de estação para nivelamento de um mesmo plano. A segunda, quando empregado na definição de alinhamentos verticais ou horizontais, é a dificuldade de centragem do aparelho em pontos preestabelecidos por falta de um dispositivo de prumo ótico. Na Figura 3.1 é mostrado um exemplar deste equipamento

Figura 3.1 **Nível laser armado sobre tripé.**

### 3.3.2 Nível alemão

De acordo com SOUZA, A. L. R. (1996) o nível alemão compõe-se de uma mangueira de nível transparente com comprimento e diâmetro variável, acoplada em uma extremidade, a um recipiente de água de aproximadamente 5,0 litros e na outra a uma haste de alumínio de 1,70m de altura; o recipiente de água se apóia em um tripé metálico com 1,0m de altura e a haste de alumínio possui um cursor graduado em escala métrica com variação de –25/0/25cm.

Conceitualmente pode-se situar o nível alemão com uma evolução do nível de mangueira, na medida que utilizando o mesmo princípio, incorporou melhoramentos que facilitaram o seu manuseio e melhoraram a sua precisão.

As grandes vantagens do seu uso estão no seu baixo custo, manuseio por apenas um operador, o alcance limitado, apenas, pelo comprimento da mangueira e a simplicidade de manuseio. Como desvantagem, se comparado com o nível laser, é a limitação de materializar apenas planos horizontais.

Na Figura 3.2 é mostrado um exemplar deste equipamento.

Figura 3.2 **Nível alemão.**

### 3.3.3 Estação total

De acordo com BORGES (1997) a estação total "*é um complemento do teodolito eletrônico, por que, além de fornecer as leituras dos círculos horizontal e vertical automaticamente, também lê a distância direta, já que é também um distanciômetro.*"

CINTRA (1993) por sua vez, define estação total como o instrumento que permitem medir ângulos e distâncias, integrando, num só aparelho, um teodolito eletrônico e um medidor eletrônico de distância.

Tanto uma definição como outra, estabelece nas entrelinhas o sentido de evolução e de aperfeiçoamento das funções básicas do teodolito: medir ângulos e distâncias, mas no conceito estabelecido por BORGES (1997) a ênfase é menor, ao afirmar que a estação total é um complemento do teodolito eletrônico, e não uma evolução deste, além de falar em medida direta de distância, daquela obtida por meio de velocidade de onda e tempo.

Pode-se considerar as estações totais uma evolução do teodolito eletrônico na medida que estas permitem a equiparação em termos de precisão das medidas diretas de ângulos e as indiretas de distâncias. Os aparelhos atuais fornecem as leituras dos ângulos e de distâncias com grande precisão, permitem a gravação interna de dados com

posterior transferência para um microcomputador via cabo, além de fazerem a materialização da linha de colimação[2] através da emissão de raios visíveis e medirem distância na faixa de 80 m sem o auxílio de prismas.

Outro avanço são os *softwares* pré-instalados que permitem a realização de cálculos, saídas personalizadas de dados e locação de pontos por coordenadas polares.

Na Figura 3.3 é mostrado um exemplar deste equipamento.

Figura 3.3 **Estação total com tripé e prismas.**

[2] Linha de visada

## 3.4 Normas vigentes e tolerâncias

No Brasil a única norma vigente relacionada à topografia é a NBR 13133 – Execução de Levantamento Topográfico (ABNT, 1994).

No entanto, está em elaboração na ABNT, uma norma referente à Mensuração e Locação de Edificações. Na versão de março de 2000, como Projeto 02:133.17-007/2 (ABNT, 2000). são explicitados seus dois objetivos básicos:

- posicionamento da edificação, ou seja a sua locação conforme determinada em seu projeto; e
- mensuração das partes integrantes de uma edificação já construída para a elaboração do "*As Built*"

Este projeto de norma tem um caráter mais geral e trata desde o planejamento e a organização da locação até as condições de aceitação e rejeição dos trabalhos, passando pela escolha de equipamentos e procedimentos para medida de ângulos, distâncias e nivelamento, o que pode ser considerado uma evolução significativa com relação à limitação da normalização existente.

O projeto de norma citado é baseado quase integralmente na norma ISO– 4463–1 – *Measurement methods for building – setting-out and measurem*ent (ISO, 1989). O autor entende que reside justamente na adoção direta desta norma a maior virtude e o maior defeito do da

versão nacional: ser abrangente suficiente para permitir o uso das ferramentas de controle geométrico na produção de edificações e ao mesmo tempo não adequada à realidade dos canteiros de obras do país, respectivamente.

Na NBR -13133 (1994) não há menção direta aos trabalhos de locação ou controle geométrico de edifícios, uma vez que, como o próprio nome diz, a norma fixa as condições exigíveis para a execução de levantamento topográfico. Neste caso os objetivos são obter:

- conhecimento geral do terreno: relevo, limites, confrontantes, área, localização, amarração e posicionamento;
- informações sobre o terreno destinadas a estudos preliminares de projetos;
- informações sobre o terreno destinadas a anteprojetos ou projetos básicos; e
- informações sobre o terreno destinadas a projetos executivos.

No entanto, como mencionado anteriormente, neste norma os trabalhos topográficos envolvidos nos trabalhos de locação não são uma parte em separado, com fundamentos teóricos e aplicação específicos, mas vistos como uma aplicação dos métodos e adoção de instrumentos da topografia. Neste contexto, os trabalhos relativos ao CGE, na parte que envolve locação, não são abordados objetivamente.

Na norma NBR 6118 – Projeto e execução de obras de concreto armado (ABNT, 1982), por usa vez, é fixada a tolerância para qualquer

medida linear $\underline{a}$ (em cm) relativa às dimensões externas de peça de concreto, através da seguinte expressão matemática:

$$\mathbf{0{,}25\sqrt[3]{\underline{a}}}$$

No caso de uma dimensão de 1,00 m, por exemplo, a tolerância seria de 1,2 cm. O autor observa que além de não constar na norma o instrumento de medição, os valores obtidos pela tolerância proposta são bem maiores se comparados, por exemplo, àqueles fixados pela norma ISO 7976-1 (1989) na parte que trata de largura e comprimento de elementos da estrutura. Mantendo-se os mesmos intervalos de medição pode construir o quadro comparativo mostrado na Tabela 3.2.

| INTERVALO DE MEDIÇÃO | TOLERÂNCIA | |
|---|---|---|
| | NBR 6118 | ISO 7976-1 |
| < 1 m | ± 12 mm | ± 3 mm |
| < 3 m | ± 17 mm | ± 3 mm |
| 3 a 10 m | ± 25 mm | ± 5 mm |

Tabela 3.2 **Comparação entre tolerâncias fixadas nas normas NBR 6118 e ISO 7976 –1 para largura e comprimento de elementos da estrutura de concreto.**

Nos Estados Unidos, o ACI fixa as tolerâncias para as construções de concreto através da norma ACI 117-90 – *Standard Specification for Tolerances for Concrete Constrution and Materials* (ACI, 1990). Esta norma é bastante abrangente, fixando não só tolerâncias para parâmetros geométricos como também para uma série de propriedades do concreto.

Na Europa, as principais normas que tratam do assunto são a ISO 4463 (ISO, 1989), referida anteriormente, e a ISO 7976 (ISO, 1989), que estabelece as tolerâncias para a construção de edificações dentro de duas partes: na primeira, ISO 7976-1, são mostradas as tolerâncias da geometria dos componentes e na segunda, ISO 7976-2, são estabelecidas as tolerâncias para a geometria da obra propriamente dita. Nestas normas são mostrados os métodos de medição e as várias opções de equipamentos e ferramentas que podem ser utilizados nos trabalhos de verificação.

Com relação às tolerâncias para a geometria da obra, a norma ISO 7976-2 (ISO, 1989) as divide em sete categorias, a saber:

- posição no plano horizontal;
- desvio de nível;
- verticalidade;
- excentricidade;
- posição em relação a outros componentes;
- planicidade, retidão e contraflecha projetada; e
- outros desvios importantes.

Em todos os casos, os valores são fixados em função da abrangência da medição e dos instrumentos ou ferramentas utilizadas e das características próprias de cada categoria.

No caso da posição no plano horizontal, as tolerâncias são fixadas em relação a três sistemas de eixos ou linhas, conforme mostra a Tabela 3.3.

| OPERAÇÃO DE MEDIÇÃO | TOLERÂNCIA | ABRANGÊNCIA DA MEDIÇÃO | INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO OU FERRAMENTA |
|---|---|---|---|
| Desvio no plano horizontal: Das linhas da malha estrutural(eixos da estrutura) | ± 5 mm<br>± 10 mm<br>± 15 mm<br>± 20 mm | < 10 m<br>de 10 a 20m<br>de 20 a 30m<br>de 30 a 50m | Teodolito e régua ou trena de aço retrátil |
| Das linhas secundárias paralelas à construção | ± 5 mm | < 40 m<br>desde que o ângulo de elevação seja < 45 graus | Teodolito e régua (< 1m) |
| Das linhas secundárias perpendiculares à construção | ± 5 mm<br>± 10 mm<br>± 15 mm<br>± 20 mm | < 10 m<br>de 10 a 20m<br>de 20 a 30m<br>de 30 a 50m | Trena de aço calibrada |
| | ± 5 mm<br>± 10 mm<br>± 15 mm<br>± 20 mm | < 10 m<br>de 10 a 20m<br>de 20 a 30m<br>de 30 a 50m | Trena de aço calibrada e esquadro |
| | ± 5 mm<br>± 10 mm<br>± 15 mm<br>± 20 mm | < 10 m<br>de 10 a 20m<br>de 20 a 30m<br>de 30 a 50m | Teodolito, régua de medição e trena de aço calibrada |

Tabela 3.3 **Tolerâncias fixadas pela ISO 7976-1 para desvio no plano horizontal.**

No caso de desvios no plano horizontal, fica patente o grande rigor da norma da ISO, mas não se pode fazer um paralelo com a norma brasileira, pois esta última refere-se ás dimensões externas das peças, o que necessariamente não provoca um desvio no eixo das mesmas.

Outro aspecto é que para certas categorias, dependendo da abrangência de medição a tolerância é a mesma independente do equipamento utilizado.

No caso dos desvios de nível das superfícies horizontais, a norma preconiza que as medições podem ser feitas nos pisos e tetos com pontos distribuídos numa malha, com pelo menos duas referências de níveis por andar e com distâncias de visadas menores que 40 m.

Nestes casos, as tolerâncias são fixadas em função do equipamento utilizado conforme a Tabela 3.4.

| OPERAÇÃO DE MEDIÇÃO | TOLERÂNCIA | ABRANGÊNCIA DA MEDIÇÃO | INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO OU FERRAMENTA |
|---|---|---|---|
| Desvio de níveis e alturas | ± 2 mm | < 30m | Nível com micrometro de placa paralela |
| | ± 4 mm | < 30 m | Nível e mira |
| | ± 10 mm | < 10 m | Indicador de superfície laser |
| | ± 15 mm | de 10 a 30m | |
| | ± 2 0 mm | de 30 a 70m | |

Tabela 3.4 **Tolerâncias fixadas pela norma ISO 7976-1 para desvio de níveis e altura.**

Para a verificação da verticalidade a norma ISO prevê o uso dos seguintes instrumentos:

- teodolito;
- prumo ótico;
- inclinômetro; e

- fio de prumo.

Para estes casos, as tolerâncias fixadas pela norma ISO são as mostradas na Tabela 3.5.

| OPERAÇÃO DE MEDIÇÃO | TOLERÂNCIA | ABRANGÊNCIA DA MEDIÇÃO | INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO OU FERRAMENTA |
|---|---|---|---|
| Desvio de verticalidade: Teodolito/prumo ótico | ± 0,5 mm | < 100m | Prumo ótico |
| | ± 0,8 mm<br>± 1,2 mm | $\alpha$ < 50 grados<br>$\alpha$ = 50 a 70 grados | Teodolito e eixo marcado |
| | ± 1 mm<br>± 1,5 mm | $\alpha$ < 50 grados<br>$\alpha$ = 50 a 70 grados | Teodolito e régua ou trena |
| | ± 3 mm | < 2 m | |
| Clinômetro | ± 8 mm | < 2 m | Clinômetro |
| Fio de Prumo | ± 15 mm | 2 a 6 m | Fio de prumo e régua ou trena |

Onde:

$\alpha$ = angulo de elevação

Tabela 3.5 **Tolerâncias fixadas pela norma ISO 7976-1 para desvios de verticalidade.**

Para a excentricidade, a norma ISO define como sendo considerados, os casos onde um componente estrutural ou parte da construção está situado num plano vertical diferente daquele do elemento abaixo ou acima dele. Este conceito, ainda segundo a mesma norma, pode ser usado para indicar a posição assimétrica involuntária de um elemento em relação a dois eixos de locação da estrutura.

As tolerâncias são fixadas em função dos instrumentos utilizados nas medições e mostradas na Tabela 3.6.

| OPERAÇÃO DE MEDIÇÃO | TOLERÂNCIA | ABRANGÊNCIA DA MEDIÇÃO | INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO OU FERRAMENTA |
|---|---|---|---|
| Excentricidade | ± 0,5 mm/m | < 100m | Prumo ótico e régua |
| | ± 0,8 mm/m<br>± 1,2 mm/m | $\alpha$ < 50 grados<br>$\alpha$ = 50 a 70 grados | Teodolito e régua |
| | ± 5 mm<br>± 10 mm<br>± 15 mm | < 10m<br>10 a 20 m<br>20 a 30m | Trena de aço calibrada e esquadro |

Onde:

$\alpha$ = angulo de elevação

Tabela 3.6 **Tolerâncias fixadas pela ISO 7976-1 para excentricidade de elementos da estrutura de concreto.**

Segundo a norma, a posição em relação a outros elementos da estrutura se refere às aberturas e espaços, medida tanto na vertical como na horizontal e com as tolerâncias fixadas em função do instrumento utilizado e abrangência da medição conforme a Tabela 3.7.

Um aspecto que merece ser observado na Tabela 3.7 diz respeito aos valores iguais para os desvios na horizontal, com mesma abrangência de medição e empregando equipamentos diferentes. Para pequenas distâncias a escolha do equipamento pode ser irrelevante, no entanto, para distâncias acima de 30 m, o uso apenas da trena está sujeito a maiores condições de erro, como a materialização do alinhamento, a catenária e a falta de verticalidade das balizas. Este fato deve ser considerado quando da adoção destas tolerâncias.

| OPERAÇÃO DE MEDIÇÃO | TOLERÂNCIA | ABRANGÊNCIA DA MEDIÇÃO | INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO OU FERRAMENTA |
|---|---|---|---|
| Desvio posicional em relação a outro componente erguido: | | | |
| Horizontal | ± 5 mm | < 5 m | Régua telescópica de medição |
| | ± 5 mm<br>± 10 mm<br>± 15 mm<br>± 20 mm | < 10 m<br>10 a 20m<br>20 a 30m<br>30 a 50m | Trena de aço calibrada e régua ou trena de aço retrátil |
| | ± 5 mm<br>± 10 mm<br>± 15 mm<br>± 20 mm | < 10 m<br>10 a 20m<br>20 a 30m<br>30 a 50m | Teodolito, régua de medição e trena de aço calibrada |
| | ± 5 mm<br>± 10 mm<br>± 15 mm<br>± 20 mm | < 10 m<br>10 a 20m<br>20 a 30m<br>30 a 50m | Trena de aço calibrada |
| | ± 5 mm<br>± 1 0 mm<br>± 15 mm<br>± 20 mm | < 10 m<br>10 a 20m<br>20 a 30m<br>30 a 50m | Trena de aço calibrada e esquadro |
| Vertical | ± 5 mm | < 5m | Régua telescópica de medição ou trena de aço retrátil |
| | ± 5 mm | < 5m | Nível e mira |
| | ± 8 mm | < 100m | Medidor eletrônico de distância ( EDM ) |
| | ± 5 mm<br>± 10 mm<br>± 15 mm<br>± 20 mm | < 10 m<br>10 a 20m<br>20 a 30m<br>30 a 50m | Trena de aço calibrada |

Tabela 3.7 **Tolerâncias fixadas pela ISO 7976-1 para o desvio posicional em relação a outro componente erguido.**

Para a ISO 7976 –1 (ISO, 1989), o desvio de retidão pode ser descrito como a diferença entre a forma atual de uma linha e uma linha reta. As tolerâncias são estabelecidas tanto para a retidão como para a contraflecha, em função dos equipamentos de medição utilizados conforme a Tabela 3.8.

| OPERAÇÃO DE MEDIÇÃO | TOLERÂNCIA | ABRANGÊNCIA DA MEDIÇÃO | INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO OU FERRAMENTA |
|---|---|---|---|
| Desvio de retidão e contraflecha projetada | ± 2 mm | < 3 m | Cunha de medição(<30 mm), esquadros e peças de cantos |
| | ± 3 mm | < 3 m | Régua, esquadro e peças de canto |
| | ± 2 mm<br>± 4 mm<br>± 8 mm | < 2m<br>2 a 5m<br>5 a 10m | Cunha de medição(30 mm) fio de aço ou nylon(<10 m) e peças de canto |
| | ± 3 mm<br>± 5 mm<br>± 10 mm | < 2 m<br>2 a 5 m<br>5 a 10m | Régua, fio de nylon ou aço e peças de canto |

Tabela 3.8 **Tolerâncias fixadas pela ISO 7976-1 para o desvio de retidão e contraflexa projetada.**

De acordo com a ISO 7976-1, o desvio de Planicidade (*Flatness,* em inglês) pode ser definido como a diferença entre a atual forma da superfície e a forma da superfície plana, podendo ser medido tanto no plano horizontal como no plano vertical. Para a determinação deste desvio é necessária a definição de um plano de referência em relação ao

qual serão medido os desvios. A definição deste plano pode ser feita de varias maneiras, entre as quais:

- plano médio entre quatros pontos de cantos;
- plano determinado com ajuda do método dos mínimos quadrados;
- em relação a uma certa linha reta (planicidade local);
- em relação a uma caixa (principio da caixa); e
- plano que passe por três pontos de canto (inclinação)

As tolerâncias são estabelecidas em função dos equipamentos utilizados e do plano de referência utilizado, como mostra a Tabela 3.9.

Como outros desvios importantes a norma ISO 7976-1 enumera o comprimento de apoio, largura de junta e defasagem de junta. As tolerâncias são fixadas em função dos equipamentos de medição utilizados e amplitude de medição como mostra a Tabela 3.10.

Diferentemente das normas ISO, a norma americana ACI 117-90 não faz referência aos métodos ou instrumentos de medição e fixa as tolerâncias, num primeiro instante, não em função de categorias geométricas, mas em função do tipo de obra, etapa ou forma de execução da estrutura de concreto.

| OPERAÇÃO DE MEDIÇÃO | TOLERÂNCIA | ABRANGÊNCIA DA MEDIÇÃO | INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO OU FERRAMENTA |
|---|---|---|---|
| Determinação da planicidade | ± 2 mm | < 3 m | Régua e cunha (30 mm) |
| | ± 3 mm | < 3 m | Régua e esquadro |
| | ± 2 mm | < 2 m | Fio (< 10m) e cunha (30 mm) |
| | ± 4 mm | de 2 a 5 m | |
| | ± 2 mm | < 3 m a 6 m | Nível ou Teodolito e suporte com micrômetro de placas paralelas |
| | ± 4 mm | < 3 m a 6 m | Nível ou Teodolito e suporte |
| | ± 3 mm | < 2 m | Fio (< 10 m) e régua ou trena de aço retrátil |
| | ± 5 mm | 2 a 5 m | |
| Determinação da inclinação | ± 4 mm | < 3 m a 6 m | Teodolito ou nível |
| | ± 5 mm | < 3 m a 6 m | Fio (< 10m) e cunha ( 30 mm) |
| Princípio da caixa | ± 3 mm | 10 a 200 mm entre a estrutura e o componente | Estrutura de aço e indicador de medidas ou réguas |

Tabela 3.9 **Tolerâncias fixadas pela ISO 7976-1 para planicidade e inclinação de componentes.**

| OPERAÇÃO DE MEDIÇÃO | TOLERÂNCIA | ABRANGÊNCIA DA MEDIÇÃO | INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO OU FERRAMENTA |
|---|---|---|---|
| Comprimento de junta | ± 6 mm | < 200 mm | Trena |
| Largura de junta | ± o,5 mm | todo tamanho | Paquímetro |
| | ± 2 mm | junta < 30 mm | Cunha de medição |
| | ± 2 mm | junta < 30 mm | *Go/No GO gauge* |
| | ± 5 mm | junta < 30 mm | Trena |
| Defasagem de junta | ± 5 mm | junta < 30 mm | Régua graduada |

Tabela 3.10 **Tolerâncias fixadas pela norma ISO 7976-1 para outros desvios importantes.**

Assim, de acordo com a norma ACI 117-90, a parte referente à estrutura de edifícios esta inserida na Seção 4, aquela que trata de concreto moldado "in loco" para construções. Neste caso as tolerâncias são fixadas para seis categorias:

- alinhamento vertical;
- alinhamento lateral;
- nivelamento;
- dimensões da seção transversal;
- alinhamento relativo; e
- abertura através de componentes.

Para alinhamento vertical, a norma ACI 117-90 fixa as seguintes tolerâncias:

**a) Para alturas até 30,48m (100 pés) ou menos**

- Linhas, superfícies e convergências – 2,54 cm.
- Cantos externos de colunas de canto expostas e aberturas de juntas de controle em concreto aparente – 1,25 cm;

**b) Para alturas maiores que 30,48m (100 pés)**

- Linhas, superfícies, e convergências - 1/1000 da altura limitado a 15,24 cm;
- Cantos externos de colunas de canto expostas e aberturas de juntas de controle em concreto - 1/2000 da altura limitado a 7,62 cm.

Em termos comparativos, de uma maneira geral, os valores fixados na norma ACI 117-90 são maiores que àqueles fixados na norma da ISO 7976-1 para alinhamento vertical ou desvio de verticalidade. No entanto

em certas situações, dependendo do instrumento utilizado, a situação se inverte, como por exemplo, no caso do uso do fio de prumo previsto na norma da ISO, a tolerância esta na faixa de 15 mm. Se a medição fosse feita num canto externo de uma coluna externa de concreto aparente com altura menor que 30,48 m (100 pés), a tolerância pela norma da ACI seria de 1,27 cm (1/2 polegada).

Para alinhamento lateral, definido na norma ACI 117-90, como a localização relativa para uma determinada linha ou ponto num plano horizontal, são fixadas as seguintes tolerâncias:

- Elementos. – 2,54 cm;
- em lajes, eixos de aberturas de 30,48 cm ou menor e bordas de aberturas maiores – 1,27 cm;
- Juntas serradas e planos enfraquecidos inseridos em lajes – 1,91 cm.

No caso de alinhamento lateral, equivalente ao que a norma ISO 7976-1 chama de desvio no plano horizontal, a norma ACI 117-90 não faz menção aos instrumentos ou abrangência de medição, nem aos sistemas de eixos de referencia para as medições. Isto dificulta as comparações. Entretanto, nos casos mais extremos a norma da ISO apresenta valores menores que a norma da ACI (20 mm).

Para nivelamento de superfícies de lajes a norma ACI 117-90 fixa as seguintes tolerâncias:

**a) Superficie superior de lajes**

- Elevação de lajes – 1,91 cm;
- Elevação de superfícies de topo de lajes executadas antes da remoção do escoramento – 1,91 cm;
- Elevação de superfícies executadas antes da remoção
- das escoras – 1,91 cm;
- Vergas, soleiras, parapeitos, aberturas horizontais e outras linhas expostas – 1,91 cm.

Comparando estas tolerâncias com aquelas fixadas pela ISO – 7976-1 (ISO, 1989), vê-se que estas são maiores e que apenas para os casos de medição com nível laser com distâncias maiores que 10 m, há uma equivalência de valores.

Para as dimensões da seção transversal a norma ACI 117 90 fixa as tolerâncias em função das dimensões das peças.

a)**Para componentes como colunas, vigas, pilares, paredes (apenas espessura) e lajes (apenas espessura)**

- dimensão de 30,48 cm ou menos - + 0.95 cm ou – 0,64 cm;
- dimensão maior que 30,48 cm, mas não maior que a dimensão de 91,4cm - +1,27cm. ou – 0,95 cm;
- dimensão maior que 91,4 cm – 2,54 cm ou 0,95 cm.

A norma ISO 7976-1 (ISO, 1989) apresenta as tolerâncias para as larguras, comprimento e espessuras de componentes, fixadas em

função dos métodos, ferramentas e das dimensões das peças, como mostra a Tabela 3.11.

| OPERAÇÃO DE MEDIÇÃO | TOLERÂNCIA | ABRANGÊNCIA DA MEDIÇÃO | INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO OU FERRAMENTA |
|---|---|---|---|
| Comprimento e largura de componentes | ± 3 mm<br>± 3 mm<br>± 3 mm | < 1 m<br>< 3 m<br>3 a 10m | Trena de aço retrátil<br>Trena de aço calibrada<br>Trena de aço calibrada |
| Espessura de componentes | ± 0,5 mm<br>± 1 mm<br>± 2 mm<br>± 3 mm<br>± 5 mm | < 0,1 m<br>0,1 a 0,5 m<br>0,5 a 2 m<br>< 1 m<br>< 0,5 m | Compasso<br>Compasso<br>Compasso<br>Trena de aço calibrada<br>Régua graduada |

Tabela 3.11 **Tolerâncias fixadas pela norma ISO 7976-1 para largura,comprimento e espessuras de componentes.**

Como se pode observar, as tolerâncias fixadas na norma da ISO são bem menores que aquelas da norma ACI 117-90, muito embora, nas duas normas, o tamanho dos elementos seja considerado.

Outro aspecto relevante é o fato da norma americana não fixar o instrumento ou método de medição, isto se mostra inadequado na medida que há instrumentos com precisão nominal bastante diferenciada que podem ser usados nas medidas.

Por outro lado, a norma da ISO, ao fixar as tolerâncias em uma relação direta com o instrumento utilizado, limita a sua aplicação, pois não dá a opção para o uso de equipamentos alternativos para medição dos desvios.

O alinhamento relativo é definido na norma ACI 117-90 como a distância entre dois ou mais elementos em um plano qualquer, ou como a distância entre elementos adjacentes ou ainda como a distância entre um elemento e um ponto ou plano definido.

As tolerâncias são fixadas para escadarias, aberturas, superfícies que podem inclinar em relação a um plano específico, recuo entre peças adjcentes de faces de fôrma e também para acabamentos de pisos. Não há uma correspondência direta na norma da ISO para as tolerâncias fixadas.

Com relação a aberturas através de elementos, a norma ACI 117-90 fixa as seguintes tolerâncias:

- tamanho de seção transversal da abertura – 0,85 ou + 2,54 cm;
- localização do eixo da abertura –1,25 cm.

Da mesma forma com reação ao alinhamento relativo, não há correspondência direta na norma ISO 7976-2 (ISO. 1989) para as tolerâncias fixadas na norma ACI 117-90. No entanto, se mantém a característica básica desta norma de não especificar os instrumentos ou métodos de medição a serem utilizados.

# 4. SITUAÇÃO ATUAL NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE (RMR)

Neste capítulo, a partir da análise de dados do estudo de campo, será mostrada a situação atual do CGE na construção de edifícios na Região Metropolitana do Recife, com a descrição dos instrumentos e métodos empregados

## 4.1 Contexto regional

A Região Metropolitana do Recife (RMR) é formada por 14 municípios[3], mas a maior parte dos edifícios em construção hoje estão concentrados em áreas dos municípios de Recife, Olinda e Jaboatão.

Estes edifícios estão sendo executados, dentro do que SABBATINI (1989) denomina tecnologia tradicional ou seja, são tecnologias já sedimentadas, desenvolvidas ao longo do tempo na região. O edifício padrão em construção na RMR, de acordo com os dados obtidos, é residencial, está sendo construído por incorporação[4], tem estrutura de concreto moldada "in loco", com peças moldadas com fôrmas de madeira feitas no canteiro e escoradas com peças serradas de madeira.

---

[3] Recife, Olinda, Jaboatão, Paulista, Abreu e Lima, Igarassú, Itapissuma, Itamaracá, Araçoiaba, Camaragibe, São Lourenço da Mata, Cabo de Santo Agostinho , Ipojuca e Moreno

[4] A obra é construída com recursos do construtor, que incorpora o edifício no seu patrimônio e o vende diretamente.

A vedação vertical é feita com alvenaria de bloco cerâmico vazado, o concreto é usinado e são usados preponderantemente revestimentos cerâmicos nas fachadas e nos pisos.

Neste contexto há uma grande diversidade nos métodos para o CGE e o seu uso como caminho de racionalização construtiva ainda é incipiente.

O que se vê são iniciativas isoladas de alguns construtores, que lançando mão de equipamentos novos como o nível laser rotativo, buscam a simples substituição de metodologias anteriormente empregadas sem vislumbrar o alcance que esta mudança poderia ter dentro do seu processo construtivo no que se refere à redução de desperdícios e a prevenção de patologias.

## 4.2 Amostragem

A pesquisa de campo foi realizada, através de visitas aos canteiros, no período de Outubro/99 a Março/2000, de 42 obras, de 32 construtoras diferentes, nos municípios de Recife, Olinda e Jaboatão dos Guararapes, integrantes da Região Metropolitana do Recife (RMR). O número de edifícios em construção na RMR em Janeiro/2000 segundo informação verbal do SINDUSCON – PE era de cerca de 300.

## 4.3 Características das obras pesquisadas

### 4.3.1 Iniciativas de melhoria em andamento

No universo pesquisado constatou-se que em cerca de 89% das obras está em andamento alguma iniciativa de melhoria, com destaque para aquelas voltadas para a área de segurança do trabalho, presentes em cerca de 30% das obras. Este destaque se deve a uma intensa campanha desenvolvida no âmbito do SIDUSCON–PE com vistas à redução do número de acidentes nos canteiros de obras da RMR.

Por outro lado já é visível a preocupação de alguns construtores com a qualidade das obras, estampada na preocupação com padronização de processos (17%) e na busca da certificação pelas normas da série ISO 9000 (9%). Uma visão completa da distribuição das iniciativas de melhorias é mostrada no gráfico abaixo:

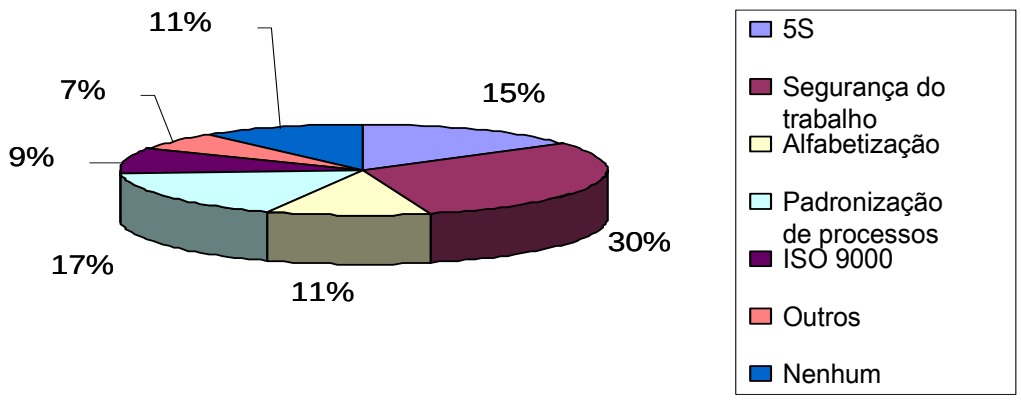


Figura 4.1 **Iniciativas de melhoria em andamento.**

### 4.3.2 Tipos de obras

De acordo com a pesquisa a maioria dos edifícios em construção hoje, na Região Metropolitana do Recife, tem por finalidade o uso residencial (90%), está sendo construído dentro de um contrato de incorporação (94%), possui uma área média por pavimento tipo de 391,4m², com variação entre 150 e 1.800m² e será construído com uma média de 20 pavimentos, com variações entre 9 e 36.

Os números apontam para a concentração dos construtores num nicho de mercado e o esgotamento do modelo de construção por condomínios, além de ressaltar a verticalização em curso nas áreas nobres das cidades pólos da RMR. Abaixo são mostrados gráficos esquemáticos mostrando a distribuição dos tipos de obras e dos contratos no universo pesquisado.

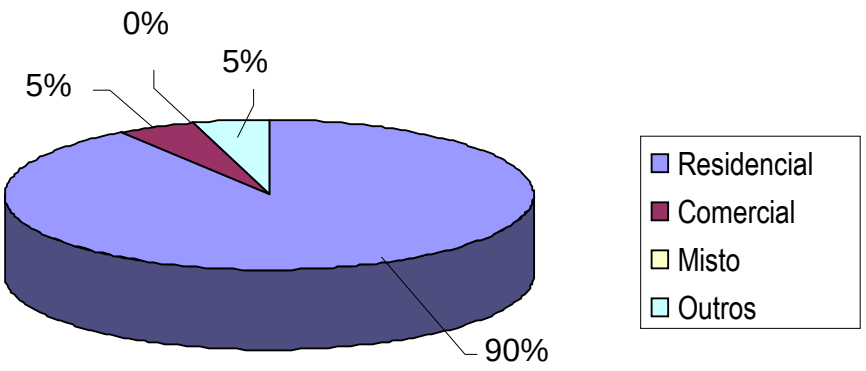


Figura 4.2 **Tipos de obras.**

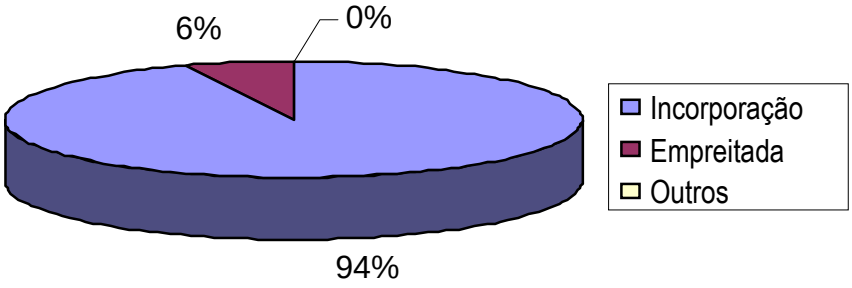


Figura 4.3 **Tipos de contratos.**

### 4.3.3 Tipologias das estruturas dos edifícios

Com relação aos sistemas estruturais, a pesquisa apontou na maioria dos casos para estruturas de concreto armado, com elementos moldados "in loco", com formas de madeira produzidas no canteiro e escoramento também de madeira com pontaletes serrados.

Foi constado o uso intensivo de concreto usinado na execução da estrutura e o de alvenaria de bloco cerâmico vazado nas vedações verticais.

Apesar do uso intensivo do concreto produzido fora dos canteiros, os números mostram o caráter tradicional dos sistemas construtivos empregados, com poucas inovações e muito espaço para metodologias de racionalização construtiva. Abaixo são mostrados gráficos com os diversos parâmetros das estruturas no universo pesquisado.

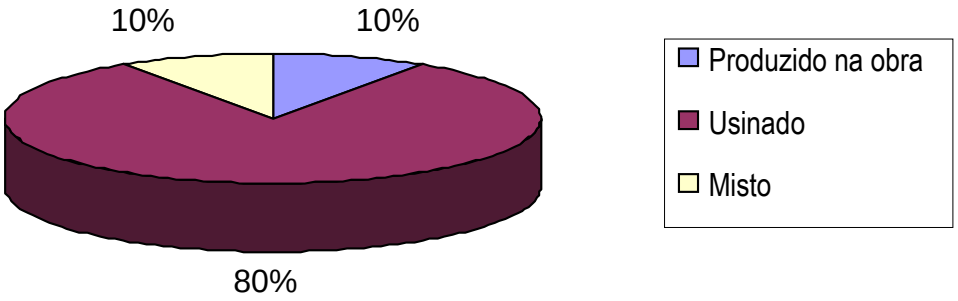


Figura 4.4 **Origens do concreto utilizado.**

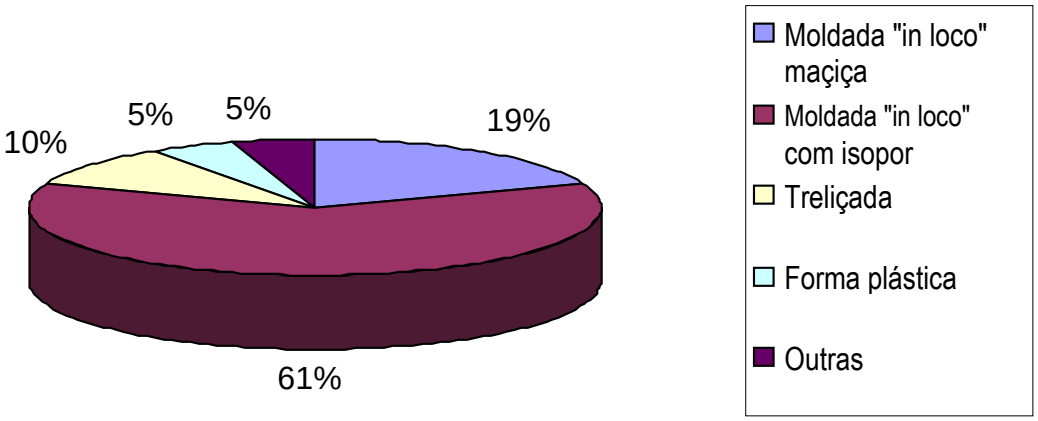


Figura 4.5 **Tipos de lajes**

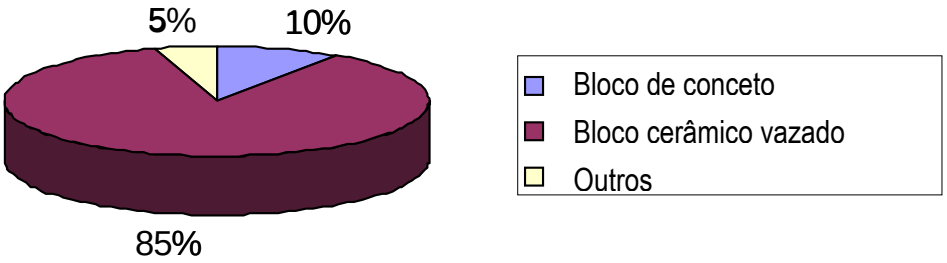


Figura 4.6 **Tipos de alvenaria utilizadas nas vedações.**

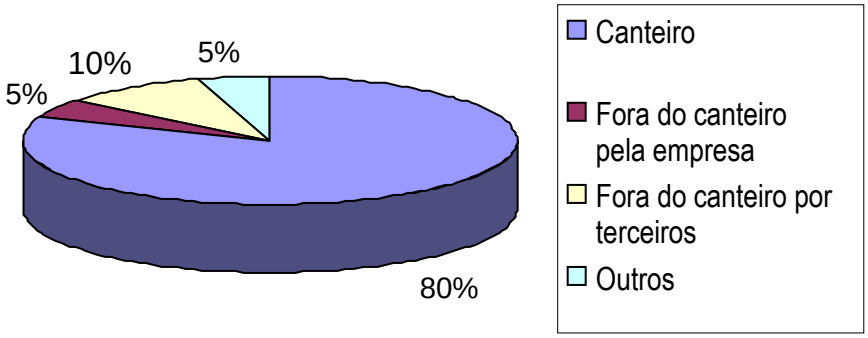


Figura 4.7 **Local de fabricação das formas utilizadas.**

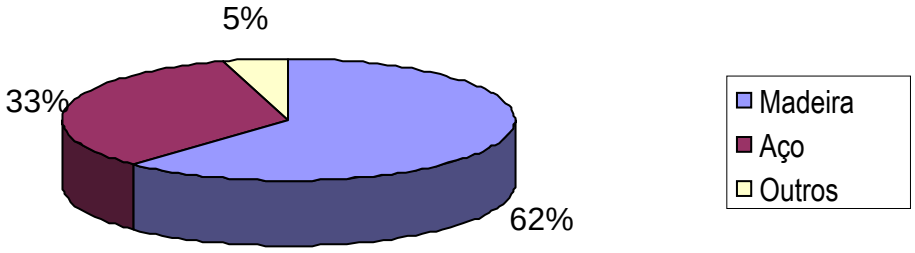


Figura 4.8 **Tipos de escoramento utilizados.**

### 4.3.4 Tipologias de revestimentos

Com relação aos revestimentos a pesquisa mostrou o predomínio de argamassas produzidas na obra para execução de contrapiso, mas alguns construtores já utilizam argamassa industrializada e não foi detectada em nenhuma obra a dispensa do contrapiso (*laje zero*).

Com relação aos revestimentos de piso e fachada se constatou na pesquisa uma característica típica dos edifícios da RMR: o uso intensivo

dos revestimentos cerâmicos, sendo que, nos revestimentos internos verificou-se uma maior variação de materiais, mas tudo através do

assa, cerâmica ou

variações de cada

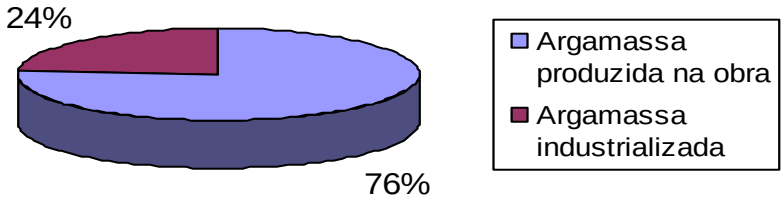


Figura 4.9 **Materiais utilizados para contrapiso.**

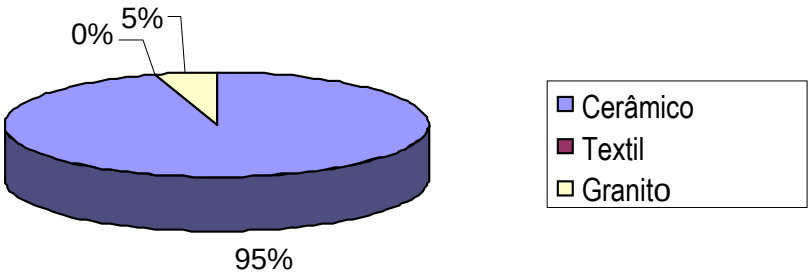


Figura 4.10 **Tipos de revestimentos de piso.**

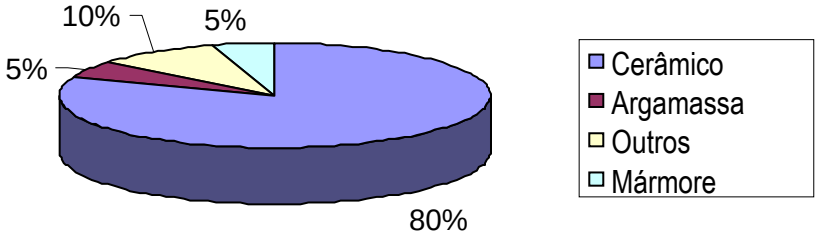


Figura 4.11 **Tipos de revestimentos de fachada.**

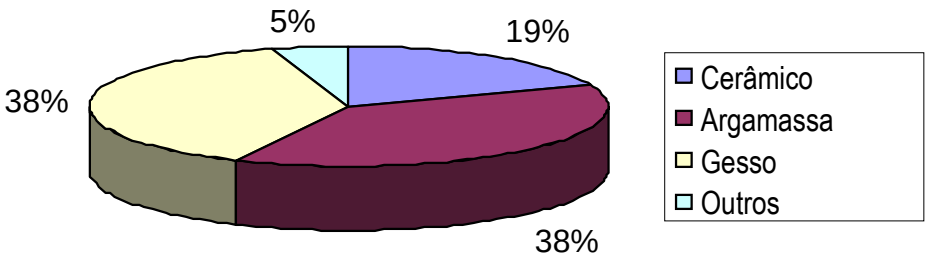


Figura 4.12 **Tipos de revestimentos interno.**

### 4.3.5 Sistemas de controle geométrico utilizados

Com relação aos trabalhos de CGE empregados, constatou-se na pesquisa uma grande diversidade de métodos nas diversas fases de obra, com a convivência de equipamentos modernos e rudimentares.

Um outro aspecto constatado é a falta de uma visão global do CGE, ao longo do desenvolvimento da obra. Não há a percepção clara de que a definição geométrica de um elemento pode depender de outro, e que os desvios constatados numa etapa, não foram necessariamente provocados quando da sua execução. Um outro aspecto constatado é uso de tolerâncias empíricas para os diversos desvios constatados.

Com relação aos valores dos desvios, nas lajes, foram apuradas espessuras adicionais da ordem de 4,5 cm na média. Classificando os valores de espessuras médias de acordo com os equipamentos empregados, têm-se a seguinte situação:

| | |
|---|---|
| Nível de mangueira | 5,9 cm |
| Nível laser | 4,3 cm |

Nível alemão 3,3 cm

Além de se mostrarem muito acima do que especifica a norma ISO 7976-1, os valores não se mostram coerentes com a expectativa de precisão de cada instrumento, ressaltando o mau uso do equipamento, a falta de uma metodologia adequada ou até mesmo uma limitação do método de produção e materiais utilizado na execução das lajes. Um aspecto que reforça esta afirmativa, é que nas obras onde foi feito o nivelamento durante a concretagem não foi observada uma redução significativa das espessuras adicionais, que neste caso foi de 4,0 cm.

Com relação ao prumo dos pilares, os desvios apurados na pesquisa variam de acordo com o equipamento utilizado:

- Teodolito 2,5 cm
- Esquadro e régua 2,6 cm
- Nível laser 2,0 cm
- Fio de prumo 2,6 cm

Igualmente ao desvio dos níveis das lajes, estes valores são bem maiores que aqueles estabelecidos na norma ISO 7976-1, além de ressaltarem a grande diversidade de métodos. Uma peculiaridade notada foi o uso do nível laser não só usado na definição de um plano vertical mas fazendo nivelamento de painéis de formas dos pilares, através da materialização de um plano horizontal.

Nas fachadas, os desvios de verticalidade, apurados em todas as obras e medido segundo as informações, com o emprego do método descrito por SOUZA, R. (1996b), apresentaram uma grande dispersão de valores, com variações entre 3 e 14 cm, sem influência da altura dos edifícios. A média apurada foi de 6,7 cm, muito acima de qualquer tolerância especificada na norma ISO 7976-1, nesta norma o maior valor especificado é de 15mm.

Como este desvio, normalmente, só é medido após a conclusão da alvenaria de fechamento externo, ele é altamente influenciado pelos outros controles exercidos ao longo da execução das etapas anteriores. A grande dispersão encontrada retrata fielmente a grande diversidade de métodos e sobretudo a falta de uma visão global do CGE nas obras pesquisadas. Na seqüência são mostrados gráficos com os diversos parâmetros apurados na pesquisa para as diversas etapas do CGE empregadas nas obras.

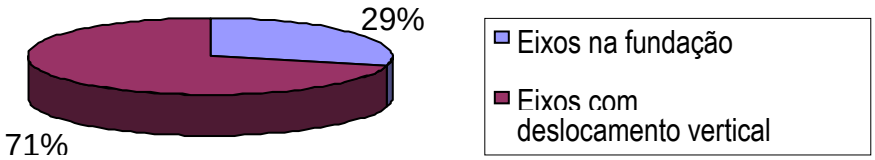


Figura 4.13 **Tipos de locação planimétrica empregados.**

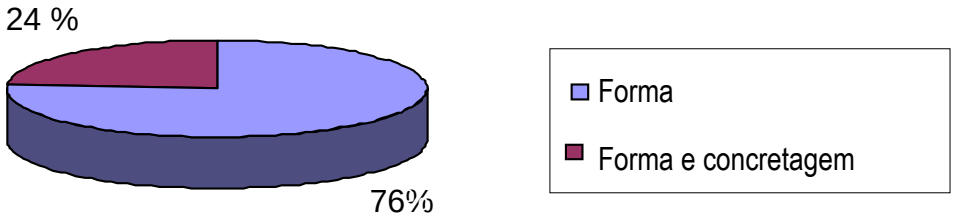


Figura 4.14 **Etapas de nivelamento da laje**

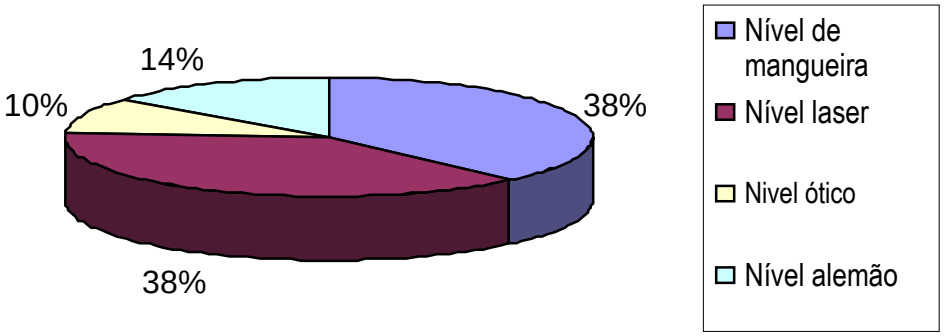


Figura 4.15 **Métodos de nivelamento de lajes.**

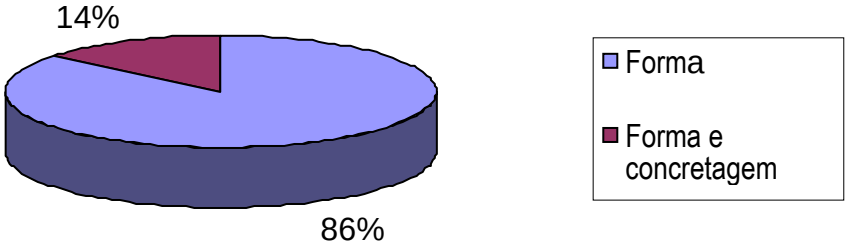


Figura 4.16 **Fase de prumo dos pilares.**

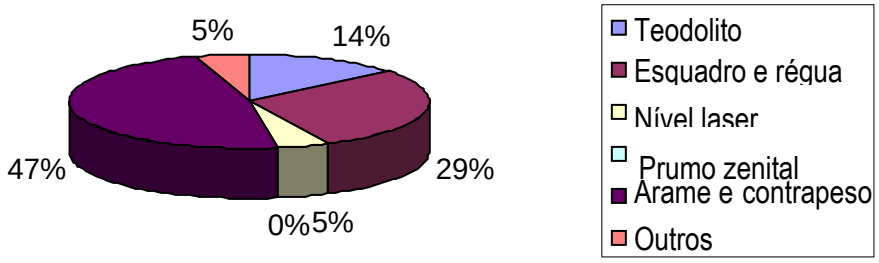


Figura 4.17 **Métodos para prumo dos pilares.**

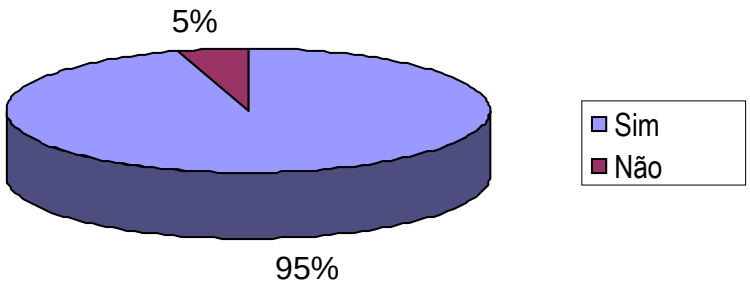


Figura 4.18 **Realização de mapeamento de fachadas.**

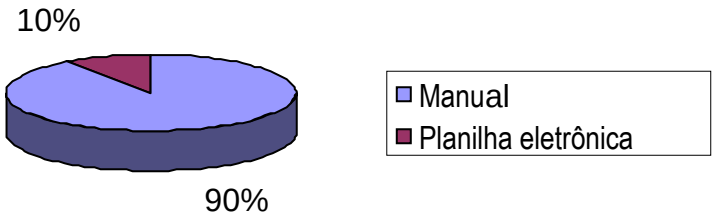


Figura 4.19 **Processamento dos dados do mapeamento de fachadas.**

# 5. PROPOSTA DE UM MÉTODO PARA CONTROLE GEOMÉTRICO DA ESTRUTURA – CGE

Neste capítulo, consoante com todas as informações obtidas na revisão bibliográfica e na análise da pesquisa de campo, elabora-se a proposta de um método para o controle geométrico da estrutura de concreto de edifícios. A proposta se consubstancia no desenvolvimento das seguintes etapas:

- locação com transferência vertical de eixos;
- nivelamento das superfícies horizontais (lajes);
- alinhamento vertical de pilares; e
- mapeamento de fachadas.

Nos itens que se seguem são discutidos os principais aspectos relativos ao método proposto, bem as etapas mencionadas na seqüência anterior.

## 5.1 Necessidade de integração entre as etapas do controle

Um dos pontos mais importantes constatado na pesquisa de campo realizada foi a ausência de uma visão global do CGE. Pode-se perceber facilmente nas obras estudadas a ausência do entendimento de que as etapas de locação, nivelamento de lajes, prumo de pilares e o próprio mapeamento da fachada, são partes da mesma atividade - o CGE - e não etapas estanques ou independentes entre si.

Esta falta de entendimento, se deve em parte, à distribuição temporal do CGE ao longo de todo o ciclo de edificação da obra e a variedade de métodos, pessoal e instrumentos utilizados em cada etapa.

Por outro lado, a falta de visão sistêmica do CGE se contrapõe à dependência seqüencial da qualidade final da estrutura executada. Isto sinaliza para a necessidade de integração entre as atividades do CGE, de modo que seu conjunto possa ser visto como uma atividade única, apesar das várias possibilidades assumidas.

Dentro do enfoque estabelecido por SABBATINI (1989) de que se pode adotar como premissa de trabalho, a racionalização construtiva de partes nas quais se divide o processo, a escolha do CGE como uma tática de racionalização parcial facilita esta compreensão, na medida que a clara definição de suas metas e por conseguinte, dos caminhos para atingi-las, tornam mais explícitos os métodos, o sequenciamento das etapas e o pessoal envolvido em cada uma delas. A adoção desta visão sistêmica – definida por SABBATINI (1989) como o modo de enfocar e conduzir a resolução de um problema com a visão de conjunto – pode ser facilitada pela adoção do CGE como estratégia de racionalização construtiva prevista desde a fase de projeto do edifício.

Na fase de projeto, deve-se inicialmente assegurar a correlação entre o terreno e o edifício projetado, fornecendo os elementos definidores desta

correlação em dois momentos distintos: na realização do levantamento planialtimétrico da área, com a monumentação de pontos da poligonal básica e na elaboração dos projetos arquitetônico e estrutural com a definição dos sistemas de eixos e das coordenadas de referência.

Apresentado um conjunto de elementos elaborados de forma simultânea ao detalhamento do projeto executivo para dar apoio às atividades em obra, os projetos passam a ser configurados como projetos para produção, como esclarece MELHADO (1994).

O projeto para produção deve apresentar pois, um plano de controle geométrico da estrutura a ser edificada, contemplando:

- documentação necessária para a locação e verificação dos desvios;
- métodos e instrumentos utilizados em cada uma das etapas do controle;
- tolerâncias e critérios de aceitação para cada desvio verificado;
- quando e onde será realizada cada etapa de locação e verificação de desvios; e
- o pessoal envolvido e a definição das responsabilidades por cada etapa.

## 5.2 Locação planimétrica com transferência vertical de eixos

O método proposto para a locação planimétrica com transferência vertical de eixos não tem o caráter inédito, se constituindo na verdade na reunião organizada do saber disperso sobre o assunto. Este conjunto de informações foi ordenando de forma a permitir sua inserção no conjunto das atividades do CGE. Desta forma, o método proposto tem por pressupostos básicos as seguintes condições:

- a realização de levantamento planialtimétrico da área onde será construído o edifício e a monumentação de pelo menos três pontos da poligonal utilizada no levantamento;
- posicionamento no projeto dos pontos locáveis do edifício (pontos de posição), referidos ao sistema de coordenadas da poligonal utilizada no levantamento;
- a utilização de estação total com recursos de software ou teodolito para marcação dos pontos de posição, usando coordenadas retangulares; e
- escolha dos eixos a serem transferidos verticalmente.

O método executivo se comporá, portanto, de duas etapas, sendo a primeira de locação planimétrica dos pontos de posição e a segunda de transferência vertical de eixos, como se discute na seqüência.

### 5.2.1 Locação planimétrica

A locação planimétrica visa à materialização no terreno dos pontos de posição, definidos pela ABNT (2000) como sendo "os pontos que dão a localização dos detalhes do edifício, como colunas e paredes". O método aqui proposto se desenvolve através das seguintes etapas:

- localização na obra dos pontos monumentados[5] no levantamento - um desses pontos será instalada a estação total ou teodolito e outro definirá o alinhamento de partida;
- instalação da estação total ou teodolito no primeiro ponto e zeragem do angulo horizontal no instrumento;
- locação dos pontos de posição[6] que no caso do uso da estação, deve ser feita a partir de coordenadas armazenadas na memória do equipamento;

---

[5] Pontos materializados no terreno com marcos de concreto.
[6] Pontos que definem na obra elementos individuais como colunas e paredes.

- com a digitação do número do ponto, será fornecido pelo aparelho o ângulo de visada - com o giro da luneta o ângulo mostrado no *"display"* se altera e chegará na direção certa quando atingir o zero;
- definida a direção, volta-se aos botões da estação e pressiona-se aquele relativo à distância, utilizando–se uma baliza com prisma e percorrendo-se a direção já definida - o valor mostrado no instrumento tenderá a zero na medida que o prisma se aproxima do ponto a ser locado - definido o ponto de posição, este deverá ser materializado;
- no caso do emprego de teodolito e trena de aço, os pontos de posição devem ser marcados a partir de coordenadas polares, obtidas através da transformação das coordenadas retangulares fornecidas no projeto - os dados obtidos podem ser organizados em uma caderneta de locação como a mostrada na Figura 5.1, extraída de CINTRA (1997);

| ESTAÇÃO | REFERÊNCIA | PONTO VISADO | ANGULO | DISTÂNCIA |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

Figura 5.1 **Modelo de caderneta para locação.**

- a marcação dos pontos de posição deverá ser feita, instalando-se o instrumento na estação e zerando-o na referência – estes pontos são previamente definidos na caderneta de locação;
- com a marcação da direção através do giro da luneta do aparelho, o ponto será localizado através do emprego de trena de aço e balizas metálicas postadas na direção fixada; e
- com a marcação dos pontos de posição, os eixos que passam por estes pontos podem ser materializados em marcos de concreto, sobre cavaletes ou bancadas (com pregos) com o

uso da estação total ou teodolito - esta etapa visa à fixação de referências para conferências rápidas dos pontos de posição com o emprego de linhas e fio de prumo e para a transferência vertical de eixos - neste caso deve-se instalar o aparelho sobre um ponto, visar um outro contido no mesmo alinhamento, fixar a alidade[7] e estender a visada até o local onde será feita a materialização - para o prolongamento nos dois sentidos deve ser usado o basculamento[8] da luneta.

Nas Figuras 5.2 e 5.3 são mostrados os esquemas para locação de pontos de posição através de coordenadas polares:

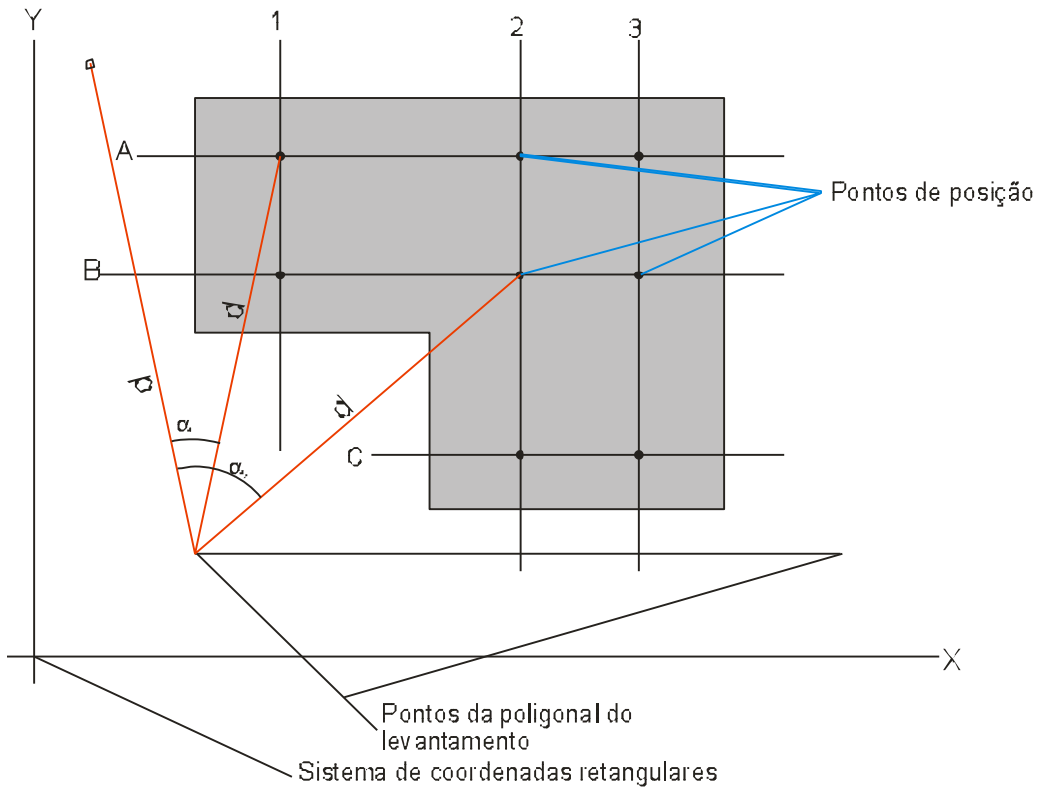


Figura 5.2 **Locação de pontos por coordenadas polares.**

[7] Parte teodolito que contém a luneta.
[8] Movimento vertical da luneta em torno do eixo horizontal.

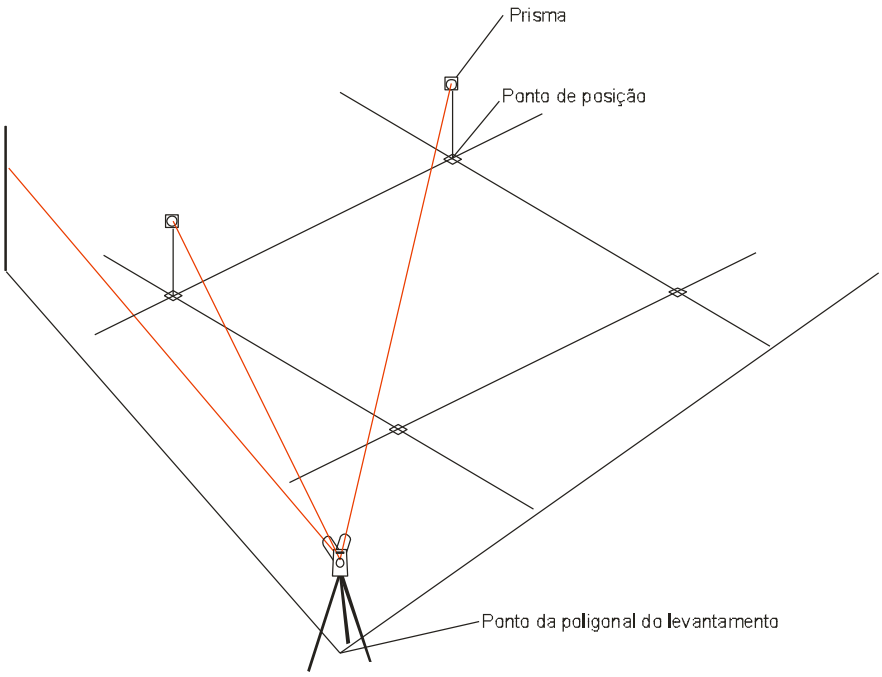


Figura 5.3 **Locação de pontos por coordenadas polares.**

### 5.2.2 Transferência vertical de eixos

A transferência vertical de eixos visa à materialização de pontos definidores dos eixos - chamados secundários pela ABNT (2000) - em outros níveis do edifício para que se tenha em cada laje a materialização de alinhamentos para marcação dos arranques dos pilares, alinhamentos de alvenarias e posicionamento de posição variados.

O método proposto para isso possui duas variações básicas: na primeira a transferência será feita externamente, com as marcações materializadas no contorno das lajes do edifício, na segunda os pontos

serão transferidos internamente através de aberturas na laje. O primeiro caso envolve as seguintes duas etapas:

- colocação do instrumento sobre um ponto, materializado na locação planimétrica, para a transferência e visada em um ponto de referência contido no mesmo alinhamento a ser transferido.
- esta parte se completa com visada a partir de dois pontos situados em lados opostos do edifício - a obstrução de linhas visadas pode ser contornada com a materialização de linhas paralelas aos eixos a serem transferidos, realizada na locação planimétrica;
- com o uso do movimento vertical da luneta - podendo ser usada uma ocular de cotovelo - visa-se o bordo da laje para onde se deseja transferir o eixo;
- a materialização do ponto pode ser feita com pregos colocados em traves de madeiras fixadas nos gastalhos das fôrmas das vigas quando a transferência for feita antes da concretagem da laje;
- para a fixação com a laje já concretada deve-se colocar, quando da armação da mesma, goleiras de aço nos bordos em posição interceptada pelo eixo a ser transferido;
- a materialização neste caso será feita com ranhuras feitas com o emprego de arco de serra.

A Figura 5.4 ilustra esquematicamente método proposto para esta finalidade.

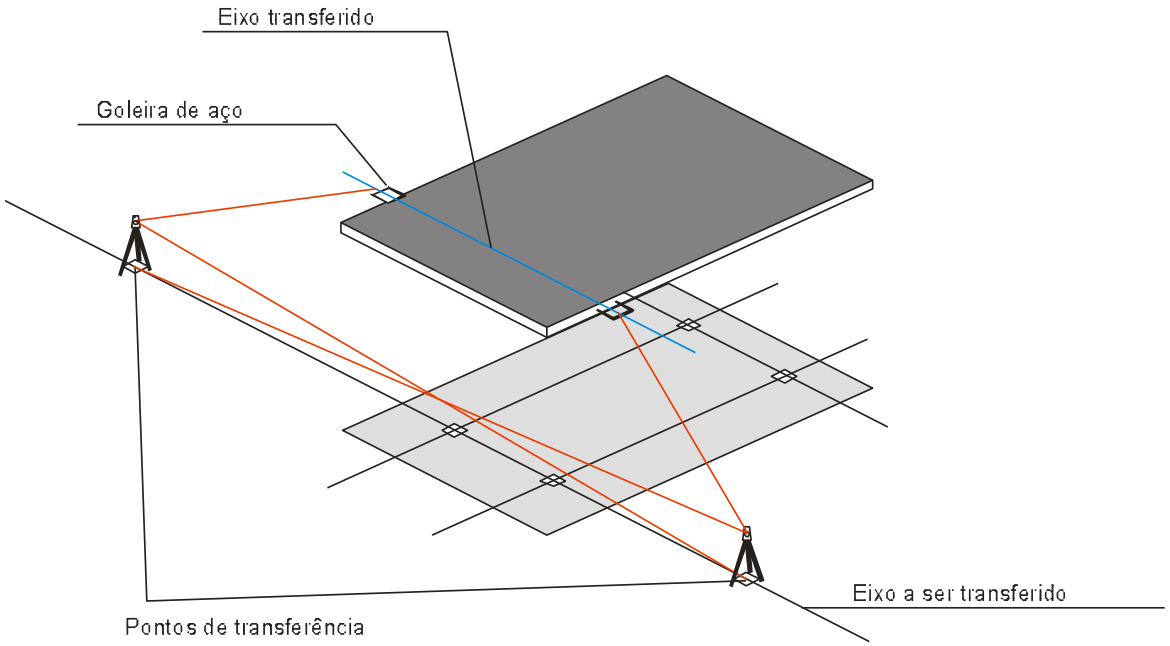


Figura 5.4 **Transferência vertical de eixos com uso de teodolito.**

O segundo caso pode ser empregado onde a número de pilares existentes, contornos da fachada ou afastamentos laterais do edifício obstruem as linhas de visada, impedindo a marcação. Neste caso pode-se transferir os eixos usando as seguintes etapas:

- colocação na laje superior de tubos de PVC com diâmetro de 40 ou 50 mm nas prumadas dos pontos de posição definidores dos eixos a serem transferidos e materializados previamente com marcos e pregos - os tubos são fixados na laje durante a concretagem;
- concluída a concretagem da laje, posiciona-se um teodolito ou estação total sobre o furo e com o prumo ótico visa-se o ponto na laje inferior;
- após a visada tampa-se o furo e materializa-se sobre um tampão de madeira o ponto; e
- com a materialização dos pontos definidores dos eixos pode se locar os pontos de posição para arranque dos pilares, ou alvenaria utilizando as etapas da locação planimétrica descritas no item 5.2.1.

Na figura 5.5 pode-se visualizar esquematicamente o método proposto para transferência de eixos através de aberturas ou furos deixados nas lajes.

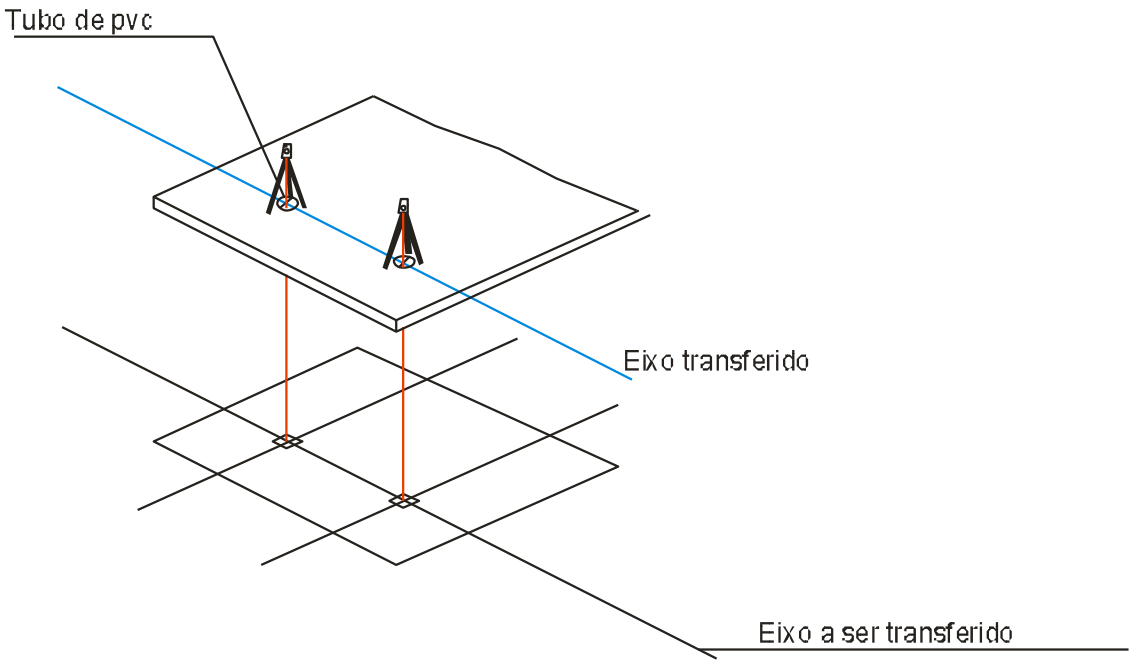


Figura 5.5 **Transferência vertical de eixos através de abertura na laje e uso de prumo ótico de teodolito ou estação total.**

## 5.3 Nivelamento de lajes

Para realizar o nivelamento de lajes da estrutura de concreto procura-se inserir soluções utilizadas no conjunto de métodos dos CGE. Diversos autores já sistematizaram as diretrizes para o nivelamento de lajes como mostram os trabalhos de SOUZA (1996a) e SOUZA (1996b).

Esta assunto também é tratado nas normas ISO – 7976 (1989), ISO 4461-1 (1989) e no projeto de norma brasileira 02:133.17-007/2 (ABNT, 2000).

Neste trabalho procura-se a inserir tais diretrizes e procedimentos no conjunto de métodos que consolidam o CGE de modo que as seguintes condições sejam atendidas:

- a referência de nível básica deve ser materializada no levantamento planialtimétrico da área em local protegido;
- a existência de pelo menos dois pontos de referência em cada plano nivelado;
- a realização do nivelamento antes, durante e após a concretagem da laje;
- posicionamento do equipamento em local protegido e escolhido em função da maior abrangência ou alcance para as visadas.

O nivelamento pode ser feito com nível de luneta, nível a laser ou nível alemão. Os pontos podem ser locados em cada laje por quadriculação com espaçamento de 0,5 a 3,00 m. Como propõe SOUZA (1996b). deve ser nivelado pelo menos um ponto a cada 7 $m^2$ de laje, incluindo:

- um ponto no centro de cada pano de laje;
- um ponto nas áreas de rebaixo com área inferior a 3 $m^2$, ou dois pontos quando a área de rebaixo superar este valor;
- um ponto a cada cruzamento de viga;
- um ponto onde houver grande concentração de portas;
- dois pontos no patamar da escada contíguo à laje;

- um ponto no *hall* de elevadores, com área inferior a 3 $m^2$, ou dois pontos quando a área do *hall* superar este valor;
- um ponto próximo a cada pilar de extremidade; e
- um ponto próximo a cada pilar interno do pavimento, quando a área de seção do pilar for superior a 0,22 $m^2$.

## 5.4 Alinhamento vertical de pilares

O método aqui proposto visa o controle da verticalidade das superfícies externas dos pilares. Como nas outras etapas do CGE também não trata-se de algo inovador. Porém procurou-se contribuir de modo a organizar o método destinado à esta atividade. É apresentado o procedimento de alinhamento utilizando o nível laser como alternativa principal para o controle do prumo dos pilares. O método apresentado se baseia nas seguintes condições:

- uso do nível laser autonivelante e com saída de feixes ortogonais;
- transferência vertical de eixos;
- realização do trabalho durante a montagem das fôrmas; e
- colocação de um sarrafo de controle em todos os painéis de fôrma, paralelo à superfície inferior do painel e com altura na faixa de 1,20m.

Para consecução deste método de alinhamento vertical é previsto o desenvolvimento das seguintes etapas:

- locação planimétrica do pilar a partir dos eixos transferidos;
- locação e colocação dos gastalhos e pontaletes guias;

- prumo dos pontaletes guias com o nível laser colocado sobre a laje, próximo ao pontalete, nivelado e com o feixe vertical ligado, e com auxilio de um esquadro e régua para a tomada das distâncias entre o feixe e o pontalete;
- prumo dos painéis de forma semelhante ao realizado nos pontaletes; e
- nivelamento da superfície do sarrafo de controle em todos os painéis e ao longo de toda a extensão do sarrafo, com o nível laser sobre um tripé.

Na Figura 5.6 e Figura 5.7 é mostrado esquematicamente o método proposto, com o nível laser, principais ferramentas e componentes a serem utilizados.

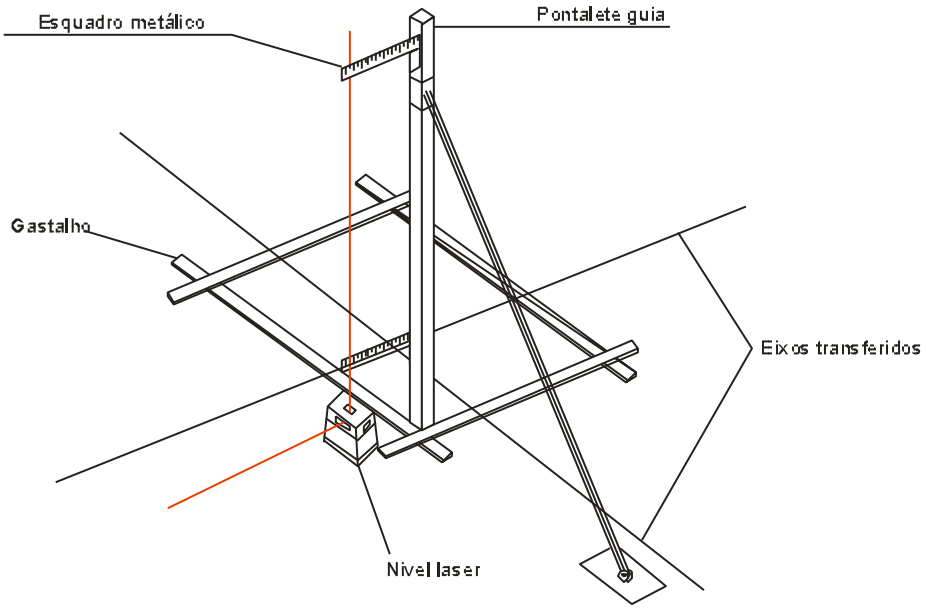


Figura 5.6 **Alinhamento vertical de pontalete guia usando nível laser autonivelante.**

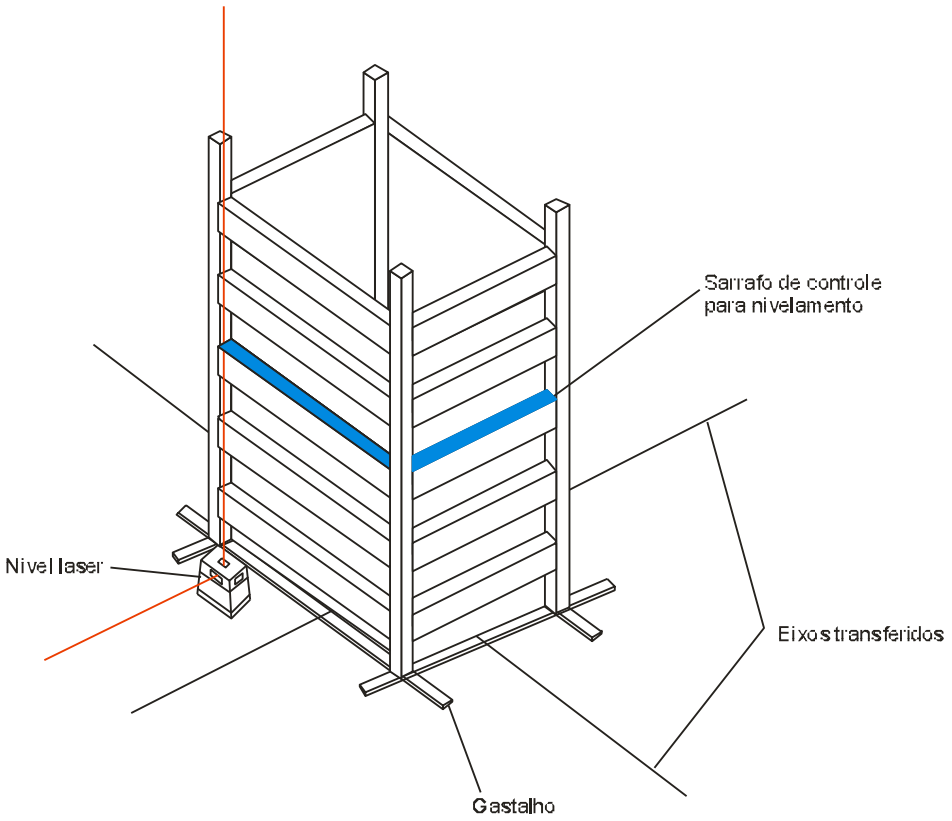


Figura 5.7 **Alinhamento vertical de painéis de forma com nível laser autonivelante.**

## 5.5 Mapeamento de fachada com estação total

No caso do mapeamento de fachadas procure-se oferecer uma alternativa com o emprego de estação total para melhorar os resultados obtidos com os métodos convencionais que utilizam fios de prumo.

Este método pode ser considerado uma contribuição inovadora para a realização deste serviço, pois ainda não foi registrado seu uso no país. Sua implantação baseia-se em duas premissas principais:

- uso de estação total dotada de ocular de cotovelo e com recursos para a medida de distância sem o uso de prisma; e
- posicionamento da estação em qualquer ponto, em frente à fachada a ser mapeada - a distância horizontal entre a estação e a fachada é função da existência de obstáculos e da altura da fachada.

Para a consecução do mapeamento de fachadas segundo as premissas colocadas anteriormente, propõe-se a realização do seguinte procedimento em obra:

- estacionamento do instrumento em frente à fachada a ser mapeada a uma distância mínima que permita visada com ângulo vertical menor que 60º de modo a alcançar o topo da fachada ou platibanda;
- definição, por tentativa, da menor distância horizontal entre o instrumento e a fachada - visa-se um ponto na fachada e mede-se a distância horizontal – visa-se mais dois pontos: um a direita, outro a esquerda do primeiro ponto e compara os valores – se a distância do ponto central for a menor diminui-se o afastamento dos pontos laterais e faz-se novas leituras, mantendo-se a mesma condição, reduz-se o afastamento dos pontos laterais até se encontrar a menor distância, quando o ponto central não o for o de menor distância, muda-se a leitura central para o ponto lateral que apresentá-la
- adoção do eixo de visada de menor distância como o eixo base (N) e a estação, como origem de um sistema de coordenadas NEH, como mostrado esquematicamente na Figura 5.8 e Figura 5.9;
- medição das coordenadas dos pontos previamente definidos e armazenamento automático dos valores e/ou anotação em caderneta;

- cálculo dos desvios pela diferença entre os valores de N de cada ponto e a menor distância medida.

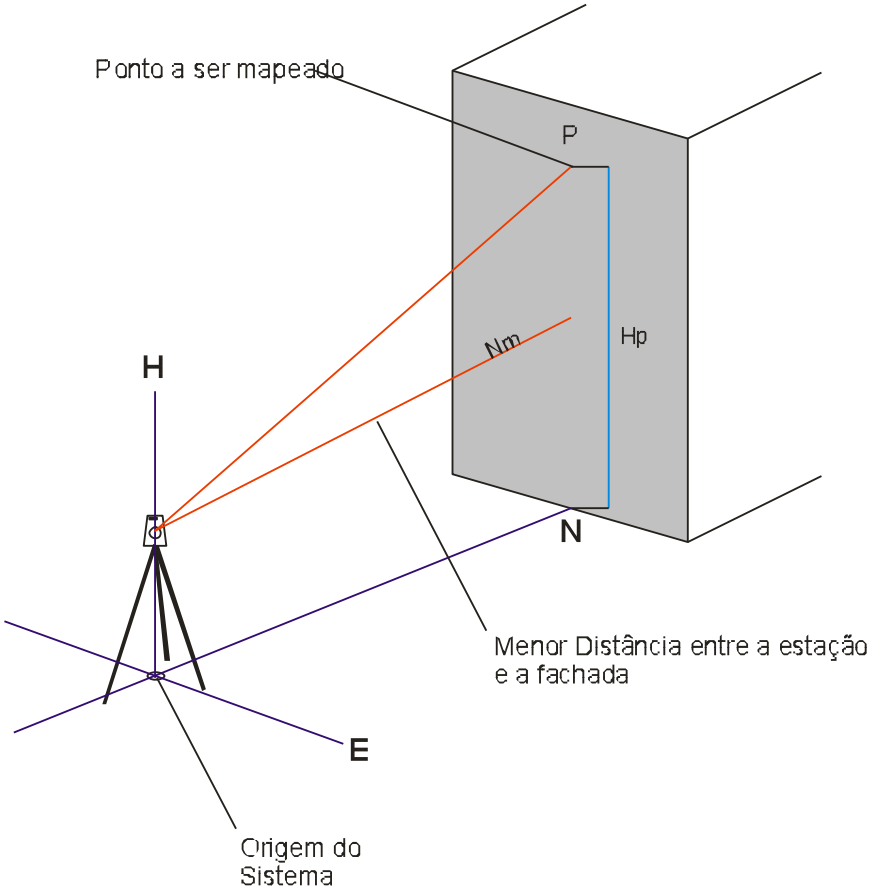


Figura 5.8 **Esquema para mapeamento de fachada com uso de estação total.**

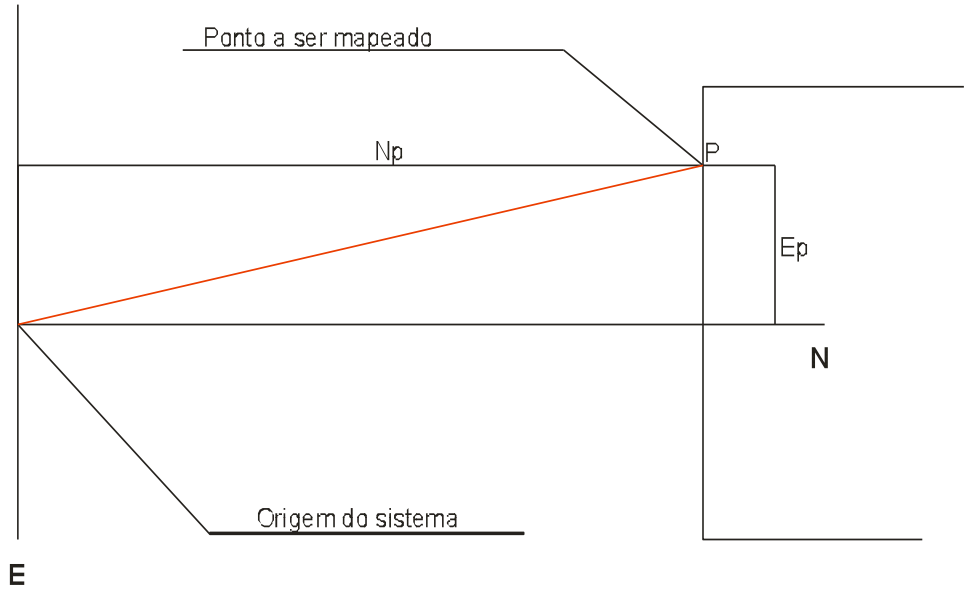


Figura 5.9 **Esquema em planta do mapeamento de fachada com estação total.**

### 5.5.1 Aplicação piloto do método proposto para o mapeamento

Para verificação da aplicabilidade do método proposto foram realizados mapeamentos de fachada empregando uma estação total da marca LEICA, modelo TCR 307, pertencente ao Departamento de Engenharia da UNICAP. Este equipamento permite a medição de distâncias sem prisma refletor com um alcance de medição, segundo o manual do fabricante, de 30 a 80 m, dependendo da cor da superfície e das condições atmosféricas.

O raio utilizado nestas medições é um laser visível. A precisão nominal, para a medida de distâncias, de acordo com o fabricante do equipamento, depende do formato de medição, como mostra a Tabela 5.1.

| FORMATO DE MEDIÇÃO | PRECISÃO |
|---|---|
| Curto | 3 mm + 2 ppm |
| Prisma | 5 mm + 2 ppm |
| Rastreio | 5 mm + 2 ppm |

Tabela 5.1 **Precisão nominal da estação total LEICA modelo TCR 307 para medida de distância sem uso de prisma.**

Os trabalhos foram realizados em duas obras de edifícios residenciais nas cidades de Recife e Olinda e em um edifício do campus da UNICAP.

Foram realizadas medições no edifício do campus da UNICAP e na obra situada em Olinda visando à verificação prática da variação do alcance de visada em função da cor do alvo e das condições atmosféricas. Foi verificada também a precisão das medidas em função do formato de medição e o ângulo vertical máximo para as visadas.

Na obra de Recife foi realizado o mapeamento de uma fachada empregando o método proposto e um outro utilizando o método convencional descrito por SOUZA (1996b). Foram feitas apropriações dos equipamentos e mão-de-obra utilizada em cada um dos trabalhos visando uma análise comparativa dos custos das duas alternativas. Os resultados obtidos com estas aplicações pilotos são discutidos no item que se segue.

### 5.5.2 Resultados obtidos

Nos estudos preliminares, realizados no campus da UNICAP e na obra de Olinda variou-se o formato de medição (curto e rastreio), a cor e textura da superfície (tijolos cerâmicos, blocos de concreto, concreto e pastilhas cerâmicas), condições de iluminação (irradiação direta do sol e sombra) e o ângulo vertical das visadas.

As observações realizadas permitiram verificar que o alcance da medição é influenciado pelas condições atmosféricas e cor do alvo, confirmando as informações constantes no manual do fabricante. No entanto não foram detectadas diferenças significativas, nas mesmas condições de luminosidade, para as cores dos materiais das fachadas verificadas (tijolo cerâmico, blocos de concreto e concreto).

As experiências também mostraram que o parâmetro de maior influência detectado é o ângulo vertical das visadas e a conseqüente inclinação na incidência do raio nas fachadas.

Para valores até 45°, podem ser feitas leituras nas condições mais adversas: formato de rastreio, fachada com incidência direta do sol e alvo cinzento. Para valores entre 45 e 60°, as leituras podem ser feitas nas condições mais favoráveis para o alcance: formato curto, fachada na sombra e alvo mais claro. Para valores acima de 60°, em todas as superfícies foram registradas situações de não leitura.

Para alcance de visada de 80 m e ângulo de vertical de 45°, pode ser mapeada uma fachada com cerca de 56,50 m de altura, com a estação situada a uma distância mínima de 56,50 m da fachada. A Figura 5.10 ilustra esta situação.

O alcance nominal de 80 m previsto no manual do fabricante foi ultrapassado em pelo menos 10%, nas condições ideais de visada: alvo branco, fachada a sombra e leitura em formato curto. Nesta situação e usando um ângulo máximo de visada de 60º, pode ser mapeada uma fachada com até 76m de altura.

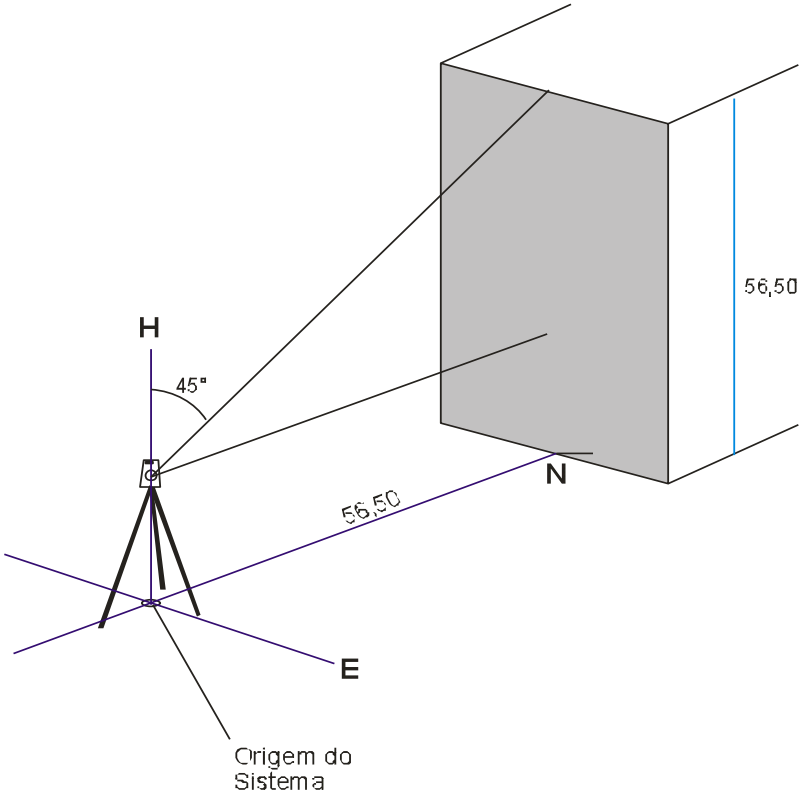


Figura 5.10 **Limite de altura para mapeamento de fachada com estação total LEICA modelo TCR 307.**

Na obra de Recife, foi mapeada a fachada sul com cerca de 52,50 m de altura, formada por dois panos distintos. O primeiro com 4,25 m de largura e o segundo com 6,45 m. A Figura 5.13 mostra esta fachada.

No primeiro pano da fachada, foram realizados mapeamentos com a utilização de balancim e fios de prumo (Figura 5.14) e com a estação total (Figura 5.15), com medições nos mesmos pontos.

Os resultado mostraram que a espessura média obtida no mapeamento com a estação total (3,957 cm), foi cerca de 17,4% superior àquela obtida pelo processo convencional (3,37 cm).

A análise ponto a ponto, exibida na Figura 5.12, mostra que 94,4% dos valores obtidos com a estação total são superiores àqueles obtidos pelo processo convencional.

Uma comparação entre as curvas de níveis nas superfícies, apresentadas na Figura 5.11, mostra características de superfícies quase paralelas.

Os dados e constatações listadas acima indicam que as diferenças observadas podem ter origem na definição do ponto base e do plano vertical para o mapeamento com o processo convencional. No caso em discussão foi adotado um ponto situado a 12,5 cm do plano vertical definido pelos fios de prumo estendidos na fachada.

A locação destes fios e a conseqüente definição do plano vertical, feita no topo da fachada, pressupõe o alinhamento horizontal do topo da mesma, sendo necessária a transferência vertical de eixos para a laje de cobertura. No caso em estudo isto não foi feito e a existência de qualquer deformação nos locais de posicionamento dos fios pode ter sido origem de erros relativos nas medições.

Outra fonte de erro detectada foi a ausência de esquadros na medição das deformações, inclusive, na definição do ponto base.

A precisão nominal da estação utilizada e a definição do plano vertical a partir de um único ponto (ponto base), indicam que os resultados obtidos com a estação total são mais precisos e mais próximos das distorções geométricas reais existentes na fachada.

No segundo pano da fachada, também foram realizados mapeamentos com processos distintos, no entanto, os pontos medidos não foram coincidentes, buscou-se mapear pontos nas mesmas linhas horizontais mas com espaçamento verticais diferenciados.

O espaçamento vertical utilizado no método com a estação total foi de 2,00 m, buscando mapear pontos críticos de deformação, como nos locais de encunhamento de alvenaria (no topo superior do bloco da última fiada) e superfícies de pilares. No processo convencional foram

mapeados em cada pavimento pontos na viga inferior e na alvenaria, a cerca de 1,40m do piso.

Os resultados mostraram que a média da deformação encontrada no processo que utilizou a estação total (3,521 cm) é 36,4% superior àquela encontrada no processo convencional (2,58 cm). Esta diferença é mais que o dobro daquela encontrada no primeiro pano da fachada, onde foram mapeados os mesmos pontos empregando processos diferentes, mas manteve a mesma tendência de valores superiores para o mapeamento com a estação total. A causa para esta diferença, além daquelas relatadas na análise do primeiro pano da fachada, foi a medição com a estação total em pontos críticos de deformação.

Baseado nas apropriações feitas dos equipamentos, pessoal e tempo utilizado para o mapeamento do primeiro pano foram elaboradas composições de preços unitários para cada alternativa, considerando-se ainda o aluguel da estação total e do balancim e o custo de mão-de-obra consoante com os valores praticados na RMR em fevereiro de 2001.

O resultado das composições, apresentadas no Anexo 02, mostra que com o uso da estação total o custo unitário para o mapeamento (R$ 0,27/m$^2$) é cerca de 45% do custo empregando o método convencional (R$ 0,60/m$^2$). Esta diferença ocorre basicamente devido ao menor número de pessoas empregadas e sobretudo na produtividade horária alcançada e mostra a viabilidade econômica do método proposto.

Figura 5.11 **Superfícies do 2º pano da fachada com curvas de nível obtidas a partir de dados coletados pela estação total (a) e pelo sistema convencional (b).**

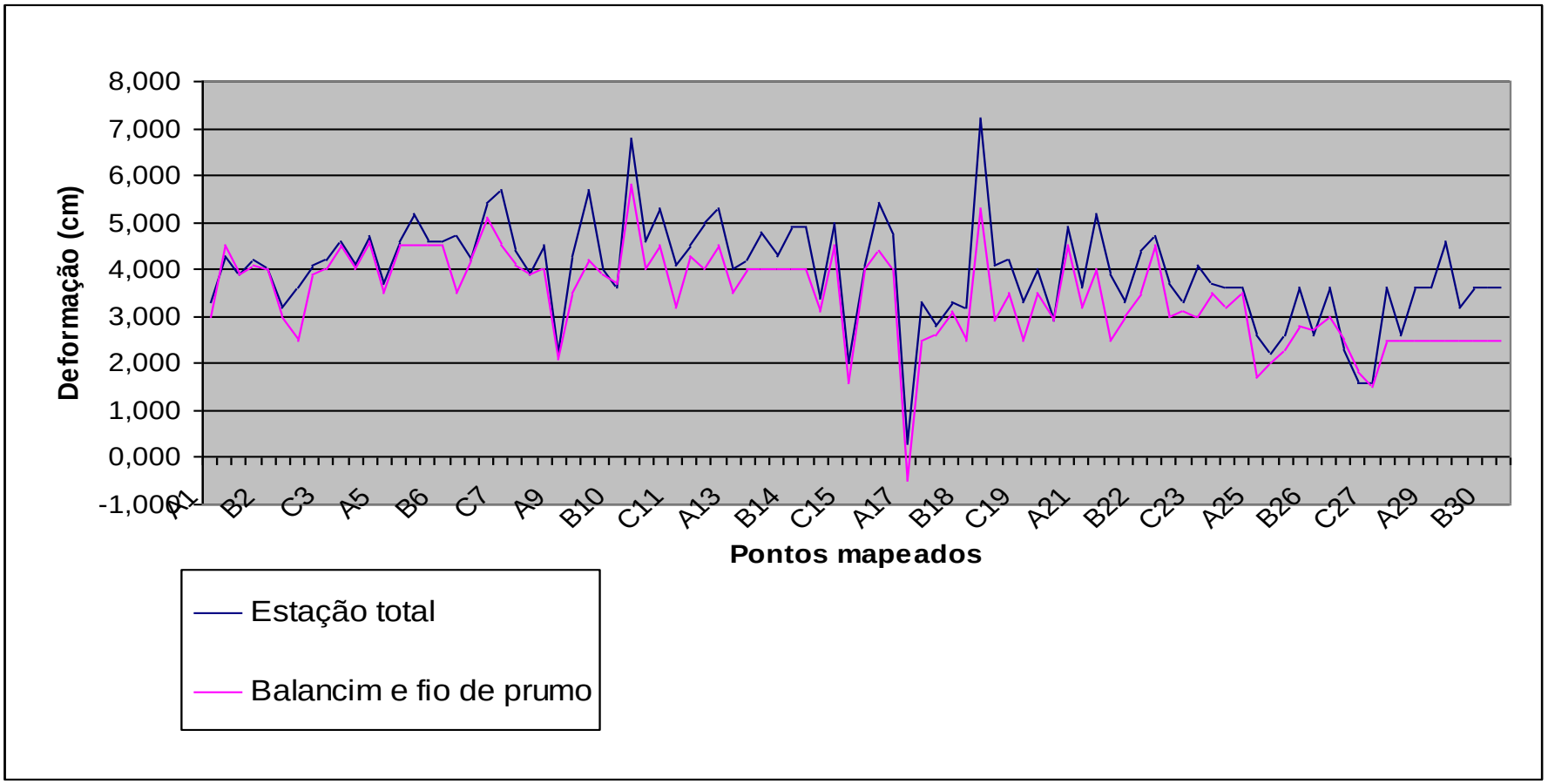


Figura 5.12 **Deformações medidas no 2º pano da fachada, utilizando o método convencional (balacim e fio de prumo) e a estação total.**

Figura 5.13 **Fachada do edifício onde foram realizados os mapeamentos.**

Figura 5.14 **Medição de distância entre o ponto da fachada e o fio de prumo durante o mapeamento da fachada pelo método convencional (balancim e fio de prumo).**

Figura 5.15 **Realização de mapeamento de fachada com estação total.**

# 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo são apresentadas as considerações finais, incluindo os aspectos gerais, sugestões para estudos futuros, propostas para a disseminação do método proposto e as conclusões do trabalho.

## 6.1 Aspectos gerais

A importância econômica do setor de construção civil no Brasil é indiscutível. No entanto, se por um lado, este setor é um dos cinco mais expressivos dentro do PIB do país, por outro, ele possui características que o tornam peculiar e muitas o caracterizam como defasado, apresentando inúmeros problemas e deficiências.

No subsetor de construção de edifícios esta situação é agravada ainda segundo pela ausência de uma visão global do processo de produção e a pouca compreensão do comportamento das interfaces entre suas partes constituintes. Em qualquer caminho que se busque a melhoria dos processos de produção de edifícios, o resgate desta visão sistêmica é essencial, sendo necessário sobretudo, que se busque a otimização do todo e não apenas das partes consideradas isoladamente., como explica MEDEIROS (1999).

Desenvolver e implantar estratégias e tecnologias que facilitem esta visão de conjunto deve ser, no nosso entender o caminho mais

curto para o sucesso das iniciativas de melhoria, como a que se propõe neste trabalho.

## 6.2 Comentários sobre o método proposto

Buscando se tornar uma tática de racionalização parcial, como aponta SABBATINI (1989), entende-se que o método proposto para o CGE se torna uma alternativa viável na medida que engloba atividades realizadas atualmente nos canteiros de obras do país, independente do estágio tecnológico em que se encontrem e permite vislumbrar a importância da visão do conjunto ao longo de todo o ciclo da obra.

O estágio tecnológico e a insipiência do uso de táticas de racionalização construtiva na construção de edifícios, detectada na pesquisa de campo, abre um amplo espaço para a implementação do método proposto nos canteiros de obras.

Destaca-se ainda como produto do CGE, o resgate da importância de certas etapas do construir que passam agregar qualidade ao produto final do edifício, em particular devido à incorporação de avanços tecnológicos em substituição a equipamentos rudimentares, imprecisos e de baixa produtividade.

## 6.3 Propostas para implantação e disseminação do método proposto

A diretriz norteadora do CGE de juntar o saber disperso e ordená-lo de modo a obter um conjunto de atividades que objetive em um primeiro instante, garantir a implantação do edifício projetado em seu terreno e posteriormente o controle da execução da estrutura de concreto, não pode ser caracterizada como inovadora.

Por outro lado, na medida em que se engloba o método de mapeamento da fachada, o CGE adquire uma conotação mais completa e integrada que deve servir de orientação de melhorias ao longo do tempo, tornando um plano global de controle geométrico racionalizado.

A implementação plena do método proposto, entretanto, requer o conhecimento e manuseio de equipamentos ainda com presença restrita nos canteiros de obras - nível laser, o nível alemão e a estação total - em particular aqueles da RMR, restringindo os resultados setoriais a médio prazo.

Acredita-se ainda que entre as estratégias de disseminação do CGE enteja o papel do ensino profissional das universidade e escolas técnicas que podem incorporar de imediato este conhecimento aos cursos e disciplinas.

Empresas construtoras, consultorias e prestadoras de serviços topográficos podem e devem, em parcerias com as instituições de ensino, realizar programas de treinamento no uso de equipamentos, através de cursos e *workshops*.

## 6.4 Sugestões para estudos futuros

Diversos aspectos correlatos foram detectados ao longo do trabalho como merecedores de estudos mais apurados, entre os quais o autor destaca os seguintes:

- desenvolvimento de *software* que permita a partir dos dados coletados com a estação total no mapeamento da fachada, a elaboração do projeto de revestimento da fachada, fornecendo a geometria dos planos projetados, volume do revestimento e seus materiais, necessidade de áreas de tela e enchimentos para sobrespessuras;
- revisão e melhoria da normalização relativa ao controle geométrica das estruturas de concreto de edifícios, principalmente através da adoção de tolerâncias adequadas e compatíveis com métodos de medição e ferramental disponível;
- adoção das premissas, diretrizes e procedimentos do CGE para o controle geométrico de outras partes do edifícios;
- estudo comparativo da precisão de instrumentos utilizados em nivelamentos de laje como o nível laser, nível alemão e nível ótico;
- estudo para o estabelecimento de tolerâncias para os métodos e instrumentos de medição usuais nos canteiros de obras do país; e
- estudos sobre metodologia para inserção do edifício construído e o terreno no sistema oficial de coordenadas.

## 6.5 Conclusões

O presente trabalho procurou contribuir para o desenvolvimento da tecnologia de produção de edifícios na medida que apontou um caminho, a partir do ordenamento e organização de um conjunto atividades hoje desenvolvidas de forma pouco sistematizada.

Partindo do conhecimento do estágio tecnológico atual da construção de edifícios na RMR, o método proposto se insere no tempo como um caminho para a evolução e melhoramento do processo de produção de edifícios, adequado à realidade regional.

O método proposto se mostra viável na medida que potencializa uma espécie de *redescoberta* de certas etapas da produção, resgatando a importância do controle geométrico para a qualidade do edifício construído.

Entende-se que a evolução dos métodos para definição e controle geométrico dos edifícios continuará ocorrendo, sendo necessário, para uma evolução adequada a correta compreensão, a substituição progressiva de métodos rudimentares e tolerâncias adotadas aleatoriamente.

Outro aspecto relevante diz respeito ao atual momento que atravessa o subsetor de construção de edifícios no país e em particular

na RMR e que ampla receptividade e crescente valorização das atividades do CGE.

Este conjunto de fatores leva o autor a acreditar que o presente trabalho pode contribuir diretamente para a melhoria da construção de edifícios no país.

# ANEXO A

## Formulário utilizado na pesquisa de campo

# ANEXO B

## Exemplo de formulário preenchido na pesquisa de campo

# ANEXO C

- **Planilhas com os dados obtidos no mapeamento da fachada com a estação total.**
- **Planilhas com dados obtidos no mapeamento da fachada com o uso de balancim e fio de prumo.**
- **Composições de custos de mapeamento de fachada com o uso da estação total e com o uso do balancim e fio de prumo.**

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


ABRANTES, V. Construção em bom português. São Paulo, **Techné**, n. 14 p. 27-31, jan/fev. 1995.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test method for determining $F_f$ floor flatness and $F_l$ floor levelness numbers[ metric] - E 1155M – 96.** Detroit, USA, 1996.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Standard specifications for tolerances for concrete construction and materials - ACI 117-90.** Detroit, USA, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Execução de levantamento topográfico - NBR 13133.** Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Mensuração e locação de edificações - PN 02:133.17-007/2.** Rio de Janeiro, 2000.

BAÍA, J.L. **Sistema de gestão de qualidade em empresas de projeto:** aplicação ao caso dos escritórios de arquitetura. São Paulo. EPUSP, 1998. 244p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

BARROS, M.M.B. Contrapisos para áreas internas de edifícios. **Téchne**, São Paulo, n. 13, nov\dez. 1994. encarte como construir.

BORGES, A.C. **Topografia aplicada à engenharia civil.** São Paulo, Edgard Blucher, 1997. vol. 1.

_____. **Topografia aplicada à engenharia civil.** São Paulo, Edgard Blucher, 1992. vol. 2.

CARDÃO, C. **Topografia.** Belo Horizonte, EDIÇÕES ENGEHHARIA E ARQUITETURA, 1990.

BORNIA, A.C. **Mensuração de perdas dos processos produtivos:** uma abordagem metodológica de controle interno. Florianópolis, 1995 232p. Tese (Doutorado)- Universidade Federal de Santa Catarina.

CARDOSO, F.F. Estratégias empresariais e novas formas de racionalização da produção no setor de edificações no Brasil e na França. **Estudos Econômicos da Construção**. n. 2, p.97-156. 1996.

CARNEIRO, A.M.P. Sistemas de eixos: o ajuste da verticalidade. **Téchne**, n 17, p.26 – 7, Jul/Ago. 1995.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Organização e dinâmica do segmento de edificações no Brasil**. Belo Horizonte, 2000. Disponível em: <http://www.cbic.org.br.>. Acesso em 12.02.2000

_____. **Importância do setor de construção civil na economia Brasileira**, Belo Horizonte, 2000, Disponível em: <http://www.cbic.org.br.>. Acesso em 12.02.2000

_____. **Produto Interno Bruto do Brasil e da Construção**. Belo Horizonte, 2000. Disponível em: <http://www.cbic.org.br.>. Acesso em 12.02.2000

CINTRA, J.P. **Automação topográfica:** do campo ao projeto. São Paulo. 1993, 120p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

COUTINHO, A. **Topografia básica**. Recife, W COPY, 1997.

DIAS, E. M. et. al. **Norma de projeto e montagem de formas para estruturas de concreto armado.** Goiânia, DITEC ( ENCOL),1990, .

DOMINGUES, F.A.A. **Topografia e astronomia de posição**. São Paulo, McGraw Hill do Brasil, 1979.

FARAH, M.F.S. Formas de racionalização do processo de produção na indústria da construção. **Construção Norte Nordeste**, Recife, n. 226, p.21-4.

FERREIRA, A.B.H. **Novo dicionário Aurélio.** Rio de Janeiro, Nova Fronteira, 1992.

FRANCO, L. S. **Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural não armada.** São Paulo. 1992. 319p. Tese ( Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

GARRIDO, J. **A verdade sobre o desperdício**. in: Qualidade na construção. São Paulo, sd.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional da Industria da Construção Civil: Dados gerais das empresas – Brasil (Agregação – Grupos e classes da construção)** Brasília, 2000. Disponível em: <http://www.cbic.org.br.>. Acesso em 12.02.2000

_____. **Pesquisa Nacional da Industria da Construção Civil: Dados gerais das empresas – Brasil (Agregação – Região e unidades da Federação)** Brasília, 2000. Disponível em: <http://www.cbic.org.br.>. Acesso em 12.02.2000

IOSHIMOTO, E. **Incidência de manifestações patológicas em edificações habitacionais**. In: Tecnologia de Edificações, São Paulo, Pini/IPT, 1988. n. 48, p. 545-48.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Tolerances for building – Methods of measurement of. buildings and building products. Part 1: methods e instruments - ISO 7976-1.** Switzerland, 1989.

_____. **Building construction – tolerances - vocabulary – Part 1: general terms - ISO 1803 –1.** Switzerland, 1985.

_____. **Building construction – tolerances - vocabulary – Part 2: Derived terms - ISO 1803–2**. Switzerland, 1985.

_____. **Tolerances for building – Part 8: Dimensional inspection and control of. Construction work - ISO 3443 – 8.** Switzerland, 1989.

_____. **Measurement methods for building – setting-out and measurement - Part 1: planning and organization, measuring procedures, acceptance criteria - ISO 4461-1.** Switzerland, 1989.

_____. **Tolerances for building – Relationship between the different types de deviations e tolerances used for specification - ISO 4464**. Switzerland, 1980.

_____. **Tolerances for building – Methods of measurement of buildings and building products. Part 2: position of measuring points - ISO 7976-2** Switzerland, 1989.

_____. **Building construction – measuring instruments – procedures for determining accuracy in use – Part 3: optical leveling instruments - ISO 8322-3**. Switzerland, 1985.

LEE. R. **Building maintenance management**, Great Britain, 1987. Willians Collins Sons.

KISS, P. Recepção a novos hóspedes. **Techné**, n. 38, jan/fev. 1999 p. 20-3.

LIMA, I.S. **Qualidade de vida no trabalho na construção civil de edificações:** avaliação do nível de satisfação dos operários de

empresas de pequeno porte. Florianópolis, 1995. 182p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina.

LOCH, C.; CORDINI, J. **Topografia contemporânea.** Florianópolis, UFSC, 1995.

MACIEL, L.L. **O projeto e a tecnologia construtiva na produção dos revestimentos de argamassa de fachada.** São Paulo. 1997. 372p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

MASCARENHAS, A. C. **Formas para concreto.** Salvador, Centro Editorial e Didático da UFBA, 1993.

MAWAKDIYE, A. Brasil perde feio. **Construção**, São Paulo n. 2326, ago. 1998.

MESEGUER, G.A. **Controle e garantia da qualidade na construção,** São Paulo, SINDUSCON, 1991.

NOVAES, C.C. **Diretrizes para garantia da qualidade do projeto na produção de edifícios.** São Paulo. 1996. 389p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

PACILÉO, N. **Aplicação da teoria dos erros na topografia.** São Paulo. EPUSP, 1993.

PICCHI, F.A. **Sistemas de qualidade:** uso em empresas de construção de edifícios. São Paulo. 1993. 2v. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

RIBEIRO, F. C. **Automação topográfica**. Curitiba, Espaço GEO 1998, Notas de aula.

SABBATINI, F.H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos:** Formulação e aplicação de uma metodologia. São Paulo. 1989. 336p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SCARDOELLI. L. S.; et. al. **Melhorias de qualidade e produtividade:** iniciativas das empresas de construção civil. Porto Alegre, s.ed., 1994.

SENAI. **Estudo setorial da construção civil:** características estruturais do setor. Rio de Janeiro, 1995.

SILVA , I. **Uma proposta para a remodelação do ensino de topografia nos cursos de engenharia civil**. São Carlos, artigo avulso.

SOBRINHO, A.S.A. **Topografia.** Rio de Janeiro, UFRJ, 1985.

SOUZA, A.L.R.; BARROS, M.M.B.; MELHADO, S.B. **Projeto de inovação tecnológica na construção de edifícios:** Implantação no processo tradicional e em processos inovadores. São Paulo, EPUSP, 1995 Boletim Técnico do Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/145.

SOUZA, A. L. R.; MELHADO, S.B. A qualidade do processo construtivo e as lajes de concreto armado de edifícios. **Techné**, São Paulo, n. 35, encarte como construir.

SOUZA, A. L. R.; **O projeto para a produção das lajes racionalizadas de concreto armado de edifícios** São Paulo, 1996, 367p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SOUZA, R. ; MEKBEKIAN G. **Qualidade na aquisição de materiais e execução de obras.** São Paulo, PINI, 1996.

SOUZA, R. **Metodologia para desenvolvimento e implantação de sistemas de gestão da qualidade em empresas pequeno e médio porte.** São Paulo, 1997, 335p. Tese (Doutorado), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SUDENE, **Agregados econômicos regionais:** Nordeste do Brasil, Recife, 1999.