



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

TEXTO SISTEMATIZADO DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA

1210001169



NRD 002/01 - Proc. 040/01

UNESP - "CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA"

SERVIÇO TÉCN. DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO

DATA DE CHEGADA

DATA DE TOMBO

31/03/01

REGISTRADO POR

TOMBO

lalia

1169

AQUISIÇÃO

CLASSIFICAÇÃO

Dodacat
R\$ 10,00
Autor

C172t

Texto sistematizado da produção científica apresentado à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira da Universidade Estadual "Júlio de Mesquita Filho", como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Livre-Docente em Engenharia Civil, no conjunto de disciplinas Concreto Armado I e Concreto Armado II do Departamento de Engenharia Civil do Campus de Ilha Solteira.

Jefferson Sidney Camacho

30/10/201 - Estruturas de concreto

MAIO - 2000



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1.1
2. A ALVENARIA ESTRUTURAL	
2.1. Definição.....	2.2
2.2. Breve histórico.....	2.2
3. AS PESQUISAS	
3.1. Pesquisas experimentais.....	3.2
3.1.1. Os modelos físicos reduzidos.....	3.4
3.2. Área de programação.....	3.9
3.2.1. A coordenação modular.....	3.10
3.2.2. A análise estrutural.....	3.10
4. TRABALHOS CONCLUÍDOS	
- Estudo da distribuição das ações verticais atuantes em edifícios de alvenaria estrutural.....	4.2
5. TRABALHOS EM DESENVOLVIMENTO	
Programação	
- Automatização gráfica e de procedimentos básicos para o cálculo de edifícios de alvenaria estrutural.....	5.2
- Avaliação do modelo de cálculo utilizado na distribuição das ações horizontais atuantes em edifícios de alvenaria estrutural.....	5.30
- Automatização da Análise de Edifícios de Alvenaria Estrutural de Blocos.....	5.45
Experimentais	
- Desenvolvimento de técnicas de produção de blocos de concreto para alvenaria estrutural na escala (1:4).....	5.48
- Avaliação da eficiência das ligações entre paredes de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos em escala reduzida sujeitas às ações verticais.....	5.58
6. CONTINUIDADE DOS TRABALHOS.....	6.1
7. DIVULGAÇÃO.....	7.1



1. INTRODUÇÃO

O presente texto tem por objetivo apresentar a contribuição do candidato no campo da ciência e da pesquisa na sua área de atuação, sobretudo após a obtenção do título de doutor, ocorrido em setembro de 1995.

Desde o desenvolvimento da dissertação de Mestrado, o candidato vem trabalhando na área: Engenharia Civil, sub-área: Estruturas e Especialidade: Alvenaria Estrutural. Portanto, todos os trabalhos aqui apresentados e os propostos estarão dentro dessa linha.

De modo a facilitar a visão de conjunto, o presente texto apresenta nos seus capítulos segundo e terceiro os conceitos básicos da alvenaria estrutural, sua definição, um rápido histórico, os problemas encontrados atualmente no campo das pesquisas e a direção das mesmas, com o objetivo de lançar mais luzes no entendimento e compreensão do comportamento da Alvenaria Estrutural.

No capítulo quarto, o texto apresenta de forma mais resumida os trabalhos já concluídos. São apresentados os objetivos do trabalho, a metodologia utilizada e os resultados obtidos.

No capítulo quinto são apresentados os trabalhos que estão sendo desenvolvidos atualmente. Este capítulo está subdividido em dois grupos principais: trabalhos desenvolvidos na *área experimental* e trabalhos desenvolvidos na *área de programação*. Também são apresentados os objetivos de cada trabalho, a metodologia proposta e, quando possível, os resultados parciais já obtidos.

Finalmente, no capítulo sexto, apresentam-se as idéias que deverão nortear os futuros trabalhos juntamente com a proposta de alguns temas que serão objetos de investigações.

CAPÍTULO 2

A ALVENARIA ESTRUTURAL

O objetivo deste capítulo é apresentar a conceituação da Alvenaria Estrutural e os tipos existentes em função dos materiais empregados na sua construção.

Apresenta-se também um rápido histórico da Alvenaria, de forma a situar o leitor e permitir a compreensão da lenta evolução do Processo ao longo do tempo, a competição com os materiais concreto armado e o aço no início desse século e a retomada de seu desenvolvimento, bem como sua introdução em nosso país.



2. A ALVENARIA ESTRUTURAL

2.1. DEFINIÇÃO

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo racionalizado, no qual os elementos que desempenham a função estrutural são de alvenaria, sendo oposto da alvenaria tradicional, projetada e construída empiricamente.

Em função da presença ou não de armaduras, ela pode ser dita de armada, parcialmente armada ou não armada. Em função do tipo de material empregado pode ser de concreto, cerâmica ou silício-calcário, podendo ainda ser de blocos ou tijolos, conforme o tipo da unidade utilizada.

2.2. BREVE HISTÓRICO

Até o final do século XIX, a alvenaria era um dos principais materiais de construção utilizados pelo homem. A alvenaria foi utilizada pelas civilizações assírias e persas desde 10.000 a.C. sendo empregados tijolos queimados ao sol. Por volta de 3.000 a.C. tijolos de barro queimados em fornos já estavam sendo utilizados.

Grandes obras foram construídas no decorrer dos séculos utilizando a alvenaria. As pirâmides do Egito (foto 2.1), de 4000 a.C., construídas em alvenaria de pedras; o Farol de Alexandria (foto 2.2), 280 a.C., com aproximadamente 165 metros de altura, notável na época por sua esbeltez, cujo objetivo era auxiliar a navegação dos barcos que chegavam a Ilha de Pharos, de onde se derivou o nome Farol e, finalmente, o Coliseu (foto 2.3), 82 d.C., que foi o mais importante monumento da Roma antiga, construído com aproximadamente 50 metros de altura, são exemplos destas belas e imponentes obras.

Entretanto, as construções desta época eram erguidas segundo regras puramente empíricas, baseadas nos conhecimentos adquiridos ao longo do tempo. Intuitivamente, projetistas e construtores compreendiam como as cargas eram transferidas pelas paredes resistentes para o solo.

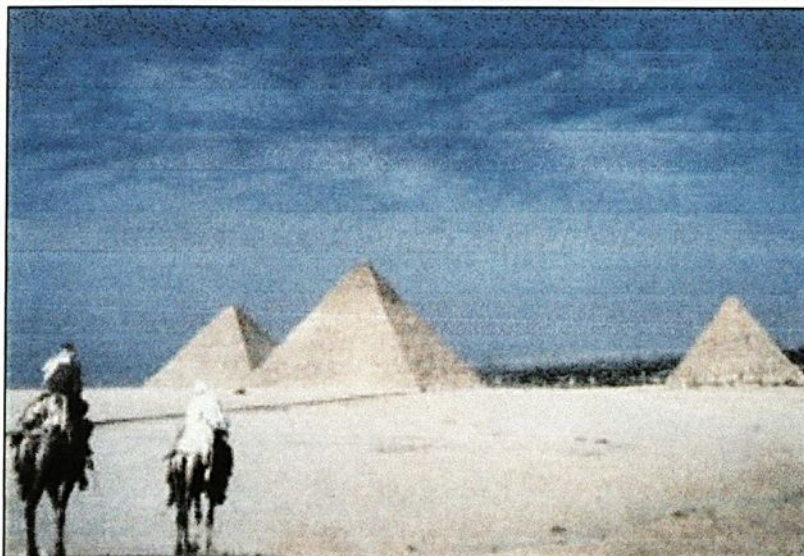


FOTO (2.1) - Pirâmides do Egito (4000 a.C).
[<http://www.geocities.com/Athens/2506/marav.html>]

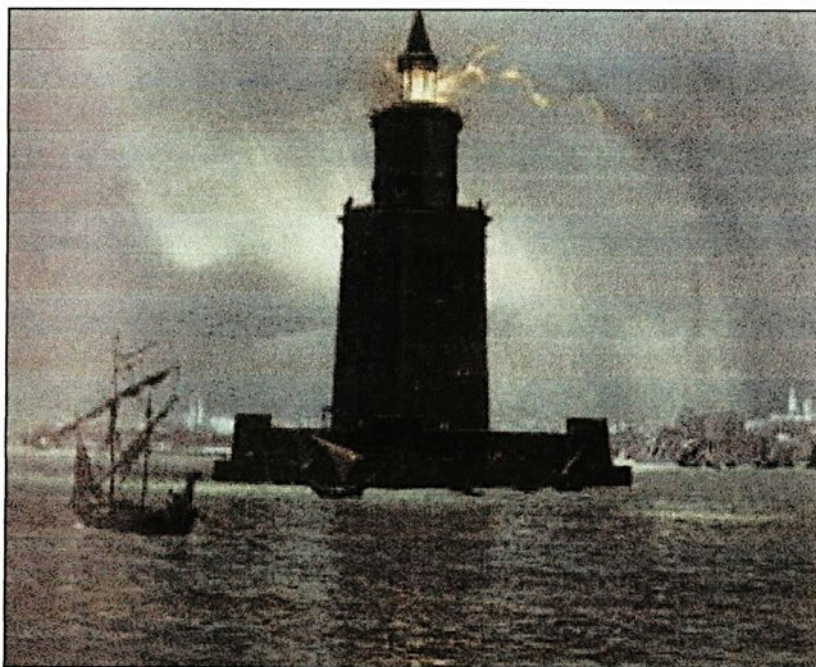


FOTO (2.2) - Farol de Alexandria (280 a.C), Ilha de Pharos.
[<http://www.geocities.com/Athens/2506/marav.html>]

Com o transcorrer do tempo, foram sendo criados modelos matemáticos que procuravam explicar racionalmente certos aspectos do comportamento estrutural dessas obras. Como exemplos, tem-se a teoria de Aristóteles, equacionando a resistência de arcos às cargas gravitacionais; Leonardo da Vinci, interpretando o mecanismo interno de ação entre os elementos de um arco; a teoria matemática de Euler, que equacionou a carga de flambagem de barras verticais.



Foto (2.3) - Coliseo (82 d.C).
[<http://www.geocities.com/Athens/Oracle/1866/colliseum>]

Entre os séculos XIX e XX, edifícios de maior porte já eram construídos, servindo como exemplo clássico o "Monadnock", construído em Chicago entre 1889 e 1891 com 16 pavimentos e 65 metros de altura, cujas paredes inferiores possuíam 1,80m de espessura.

A partir do início deste século, com o advento do concreto e do aço, que possibilitaram a construção de estruturas esbeltas e de grande altura, a alvenaria ficou relegada a construções de pequeno porte ou sendo utilizada como elemento de fechamento somente. Neste período, a alvenaria como estrutura não foi tratada como um sistema construtivo técnico, no mesmo nível que a construção de aço e de concreto. Em consequência, rarearam as pesquisas e o desenvolvimento da alvenaria estagnou.

No início da década de 50 uma revolução na concepção estrutural aconteceu. O engenheiro suíço Paul Haller dimensionou e construiu na Basileia, em 1951, um edifício de 13 andares em alvenaria não armada. Este edifício é considerado como um marco da alvenaria estrutural não armada.

A alvenaria estrutural começou a tornar-se reconhecida como uma estrutura racional e confiável, após 1967 quando foi realizado o primeiro congresso internacional sobre o tema, em Austin, Texas.

No Brasil, os primeiros prédios em alvenaria armada foram construídos em São Paulo, no Conjunto Habitacional “Central Parque da Lapa”, em 1966. Mas o marco mais importante foi a construção em 1972 de quatro edifícios de 12 pavimentos no mesmo conjunto.

A alvenaria estrutural não armada foi inaugurada no Brasil no ano de 1977, com a construção em São Paulo de um edifício de nove andares em blocos de silício-calcário. O início da década de 80 marca a introdução dos blocos cerâmicos na alvenaria estrutural, armada ou não.

Em nosso país, o emprego da alvenaria estrutural antecedeu as pesquisas que tiveram início no final da década de 70 em São Paulo e em 1984-85 em Porto Alegre. Esse fato gerou uma certa confusão no meio técnico, levando ao não completo entendimento da alvenaria estrutural. Como consequência, a nova técnica não foi bem empregada e foram seguidas algumas normas internacionais nem sempre adequadas à realidade brasileira, principalmente em se tratando da alvenaria estrutural armada.

Somente em 1989 foi editada uma norma nacional, a NB-1228, atualmente NBR-10837(1989), “Cálculo de Alvenaria Estrutural de Blocos Vazados de Concreto”, que trata do cálculo da alvenaria estrutural, armada ou não armada, de blocos vazados de concreto.

Além de tardia, essa norma foi altamente inspirada nos códigos americanos e elaborada ainda dentro do ultrapassado conceito das tensões admissíveis, tratando somente dos blocos de concreto. Portanto, nessa área praticamente não se dispõe de normas que possam atender a todas as necessidades ligadas ao projeto e construção de edifícios de alvenaria estrutural.

Entende-se que somente a partir de um conjunto de informações do comportamento dos materiais produzidos em nosso país, através de programas de ensaios confiáveis e comparáveis entre si, será possível a obtenção de normas voltadas para a nossa realidade.



CAPÍTULO 3

AS PESQUISAS

Neste capítulo são apresentadas as tendências das pesquisas atuais em Alvenaria Estrutural, através da citação sucinta dos programas de trabalho de alguns pesquisadores e Instituições. Portanto, não é objetivo uma revisão bibliográfica sobre o tema, mas sim dar uma idéia sobre a direção dos trabalhos desenvolvidos fora de nosso país e permitir uma avaliação com os trabalhos apresentados no capítulo quarto deste trabalho.

A apresentação foi dividida em Pesquisas **Experimentais**, onde se procurou enfatizar os trabalhos relacionados com a modelagem física reduzida, pela sua importância, e em Pesquisas na **Área de Programação**, comentando-se a necessidade de trabalhos nessa área e descrevendo os que estão em desenvolvimento.



3. AS PESQUISAS

3.1. PESQUISAS EXPERIMENTAIS

No campo experimental, o presente estágio do conhecimento da alvenaria estrutural está fundamentado, quase que integralmente, em resultados de ensaios em unidades, prismas e paredes. Os ensaios em unidades e argamassas já não podem mais acrescentar conhecimentos significativos em relação à alvenaria, sendo ainda permitidos por algumas normas com o objetivo de se estimar a resistência à compressão e ao cisalhamento.

Os ensaios em prismas são mais adequados do que os executados em unidades, contudo, esses elementos nem sempre conseguem representar satisfatoriamente as paredes estruturais, dependendo do fenômeno que se deseja reproduzir. Apesar disso, ainda são empregados no desenvolvimento de muitos estudos.

Ensaio em paredes reais, normalmente painéis de (1,20x2,60)m, apresentam como principais inconvenientes um custo maior, demanda mais tempo e a utilização de equipamentos especiais, nem sempre disponíveis nos laboratórios de pesquisas. Mesmo esses painéis apresentam restrições quando se deseja estudar o comportamento de um elemento estrutural mais complexo ou de um grupo de paredes resistentes.

Considerando as limitações dos ensaios citados anteriormente, alguns estudos têm sido conduzidos em estruturas reais, em escala natural. Exemplo clássico foi um pequeno edifício de cinco pavimentos construído por A. W. Hendry e outros, na década de 70, ao lado de uma encosta rochosa na Inglaterra, onde foram realizados vários estudos, dos quais a distribuição das cargas verticais entre grupos de paredes, a ação de cargas horizontais e a simulação do efeito de explosão interna, conforme mostra a foto (3.1).

Exemplos mais recentes podem ser encontrados nas pesquisas desenvolvidas pelo Building Research Institute, Ministry of Construction, no Japão, onde se vê na foto (3.2) um edifício de cinco pavimentos e na foto (3.3) parte dos equipamentos para a introdução dos carregamentos. No mesmo centro de pesquisas, através de convênios Japão/Estados Unidos, foram desenvolvidos outros estudos em escala natural, dentre os quais destacam-se: dois edifícios de quatro e sete pavimentos, no período de 1979 a

1982, com o objetivo de estudar o desempenho das paredes resistentes, e um edifício de três pavimentos em 1988, também para avaliação do desempenho estrutural.

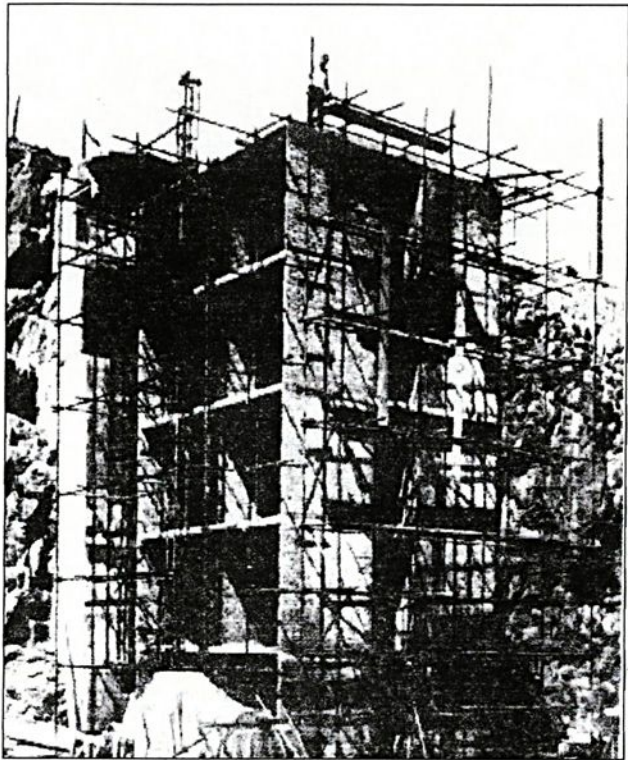


FOTO (3.1) - Ensaios em um edifício real (Hendry).

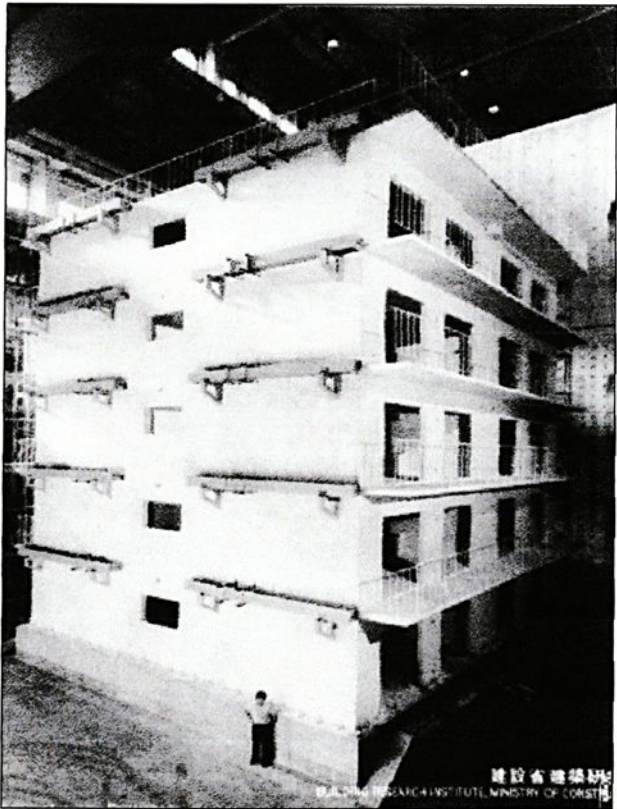


FOTO (3.2) - Ensaios em edifício real (Japão).

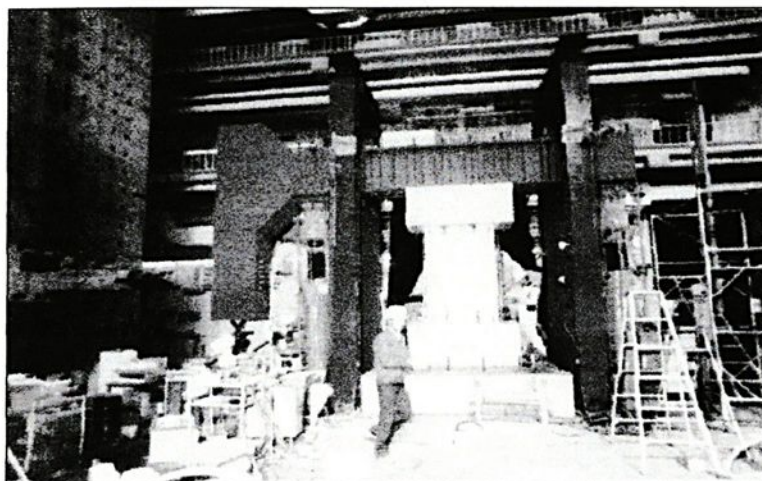


FOTO (3.3) - Equipamentos para introdução de carga.
Ensaio em escala real (Japão).

Mediante estas questões, ou seja, de um lado a pobreza da representatividade dos blocos, prismas e paredes em relação a elementos estruturais mais complexos, lançando mais interrogações do que luzes nas investigações de certos fenômenos, e de outro lado, todos os inconvenientes de ordem técnica, econômica e de tempo no tocante aos ensaios em estruturas reais, surge a possibilidade de se trabalhar com modelos físicos reduzidos de alvenaria, que, se eficientes, permitirão a realização de ensaios de maior complexidade a menor custo e tempo, exigindo sistemas de ensaios mais simples, possibilitando um melhor entendimento do complexo comportamento das estruturas de alvenaria.

3.1.1. OS MODELOS FÍSICOS REDUZIDOS

Apesar do fato de ser a alvenaria a mais antiga e a mais clássica forma de construção utilizada pelo homem, ao longo de sua história, a aplicação de técnicas de modelagem para o estudo de seu comportamento estrutural é bastante recente.

Conforme registro histórico, a primeira tentativa de se estudar a alvenaria estrutural por intermédio de modelos físicos reduzidos foi feito por VOGT em 1956. O autor trabalhou, inicialmente, com alvenaria de tijolos na escala (1:4) e utilizou, posteriormente, tijolos na escala (1:10). Esse estudo teve natureza somente exploratória, não tendo fornecido dados que permitissem a obtenção de resultados consistentes quanto ao comportamento daquele material.

No início da década de 60, na Universidade de Melbourne, SMITH e, posteriormente, TAYLOR e SPURGEON iniciaram estudos com modelos de alvenaria. Este trabalho alcançou somente sucesso limitado devido às dificuldades encontradas, naquela época, na fabricação dos tijolos em tamanho reduzido e na execução das paredes. Contudo, resultados melhores foram encontrados por MOHR, trabalhando na escala (1:6), utilizando técnicas melhoradas de produção e montagem da alvenaria. Ainda nos anos 60 teve início na Universidade de Edimburgo, o estudo da alvenaria através de modelos, tendo como pioneiros os trabalhos de HENDRY e MURTHY sobre paredes e colunas de tijolos nas escalas e (1:3) (1:6).

Posteriormente, SINHA e outros, investigaram a ação de cargas horizontais em paredes de contraventamento. Esse estudo foi conduzido em um edifício de cinco pavimentos em escala natural e em modelo reduzido na escala (1:6), tendo os autores concluído que apesar de algumas diferenças na rigidez entre modelo e protótipo, eles apresentaram um comportamento bastante semelhante.

Na década de 70, BAKER realizou com sucesso ensaios em paredes nas escalas (1:3) e (1:6), submetidas a cargas axiais e horizontais. Na mesma época, FIORATO e outros, também estudaram a interação entre paredes e pórticos de concreto na escala (1:4), tendo os resultados desses ensaios contribuído para um melhor entendimento do mecanismo de interação entre esses elementos.

É importante observar que todos os trabalhos citados anteriormente foram desenvolvidos utilizando a alvenaria de tijolos cerâmicos, dando-se bem menos atenção para a alvenaria de blocos de concreto e praticamente nenhum estudo com blocos cerâmicos.

O primeiro estudo com blocos de concreto ocorreu na década de 60, tendo sido realizado pelo National Bureau of Standards (NBS). O trabalho realizado na escala (1:4), segundo ABOUD, não forneceu resultados satisfatórios.

Na década de 70, HARRIS e BECICA retomaram os estudos do NBS, desenvolvendo na Universidade de Drexel metodologia e técnicas de trabalho com blocos na escala (1:4), concluindo que seria possível o estudo de modelos com esse material.



Trabalhos desenvolvidos na Universidade de Drexel

A partir de 1975 teve início um amplo programa de pesquisas na Universidade de Drexel, com modelos físicos de alvenaria estrutural de blocos de concreto, objetivando desenvolver tanto as técnicas de fabricação dos materiais, tais como, blocos, argamassas, grautes e armaduras, bem como as técnicas de montagem da alvenaria e a busca do conhecimento das correlações entre modelos e protótipos.

Essas pesquisas incluíram programas de estudos do comportamento de prismas submetidos à compressão axial, com e sem grautes, estudos de prismas submetidos a cargas em diferentes direções, para avaliação da resistência das juntas ao corte, estudos de resistência à compressão de paredes armadas, estudos do comportamento dos nós lajes/paredes e resistência à tração da alvenaria.

São apresentados aqui, de forma sucinta e com objetivo puramente ilustrativo, os resultados e conclusões de algumas pesquisas realizadas.

Parte dos resultados de um trabalho realizado por DRYSDALE e outros, onde se estudou o comportamento à compressão axial de prismas de três blocos, com e sem grautes, de diferentes resistências são apresentados na figura (3.1).

Em linhas gerais, segundo os autores, os resultados dos ensaios mostraram que:

- modelos e protótipos dos prismas, com e sem graute, apresentaram os mesmos modos de ruptura;
- o comportamento tensão-deformação foi semelhante, devendo-se observar que a resistência dos blocos na escala reduzida foi superior a dos blocos em escala natural, em média 32%;
- a utilização de grautes de maior resistência à compressão, teve como consequência um aumento moderado na resistência à compressão dos prismas;
- os resultados obtidos nos modelos apresentaram menor variabilidade do que o observado no protótipo;
- e, finalmente, a semelhança entre o comportamento e os modos de ruptura observados indicou que a técnica de modelagem física, nesse caso, pode ser perfeitamente capaz de permitir um melhor entendimento do complexo comportamento do sistema alvenaria.

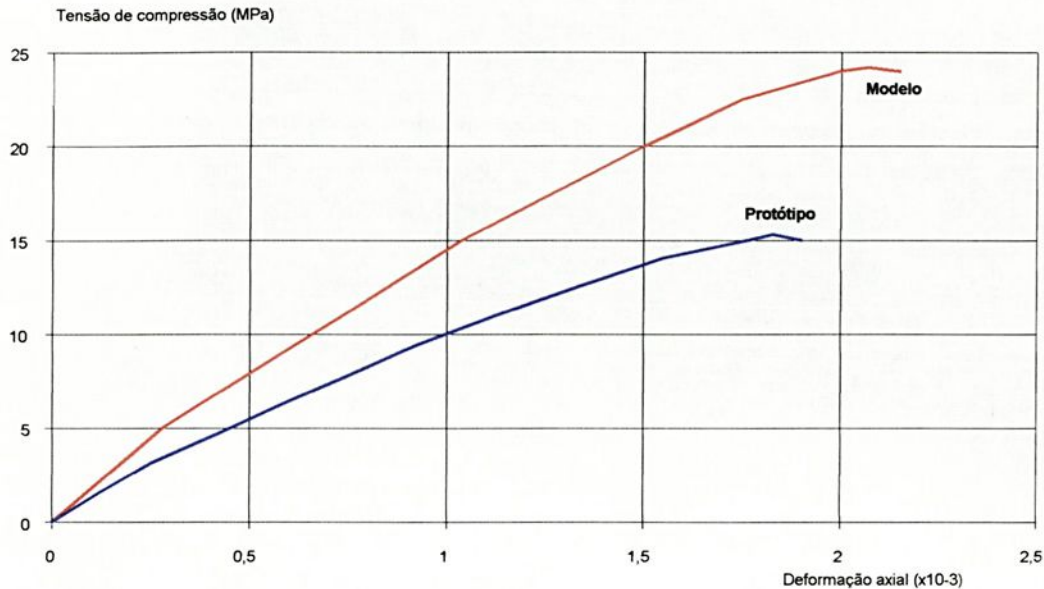


Figura (3.1) - Relação tensão-deformação para prismas com grautes (DRYSDALE).

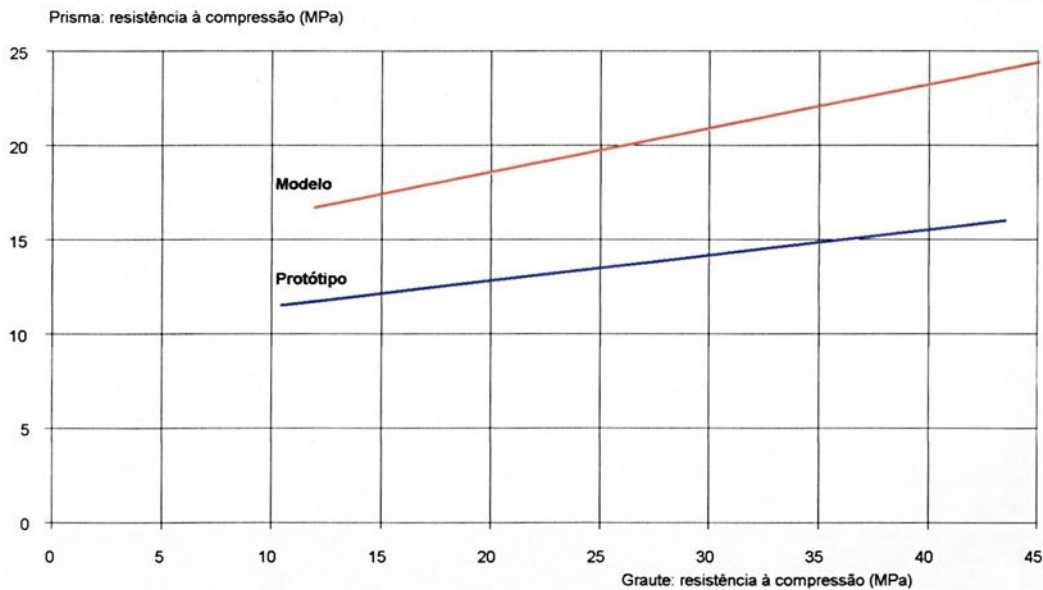


Figura (3.2) - Efeito da resistência do graute na resistência do prisma (DRYSDALE).

Mais recentemente, um amplo programa de pesquisa teve início na Universidade de Drexel, objetivando fornecer correlações entre modelos e protótipos, e desenvolver técnicas de modelagem para alvenaria protendida.

Universidades de Karlsruhe e Universidade de Bath

Um trabalho envolvendo as Universidades de Bath (Inglaterra) e Karlsruhe (Alemanha), foi levado a efeito por EGERMAN e outros, objetivando uma investigação sobre o comportamento de modelos reduzidos de paredes de alvenaria com tijolos cerâmicos nas escalas (1:4) e (1:2), buscando examinar as correlações de resistência e deformações e verificar quais os parâmetros que poderiam se mostrar afetados pelo fator escala.

Os autores concluíram, basicamente, que a alvenaria pode ser representada em escalas reduzidas, com relação ao modo de ruptura e resistências últimas (campo de investigação da pesquisa), quando forem utilizados materiais semelhantes entre modelos e protótipos.

Observaram os autores, entre outras coisas, que a relação (módulo de deformação/resistência à compressão) diminui conforme se reduz a escala. Os resultados dessa pesquisa, juntamente com os resultados de outros trabalhos citados pelos autores, são apresentados na figura (3.3).

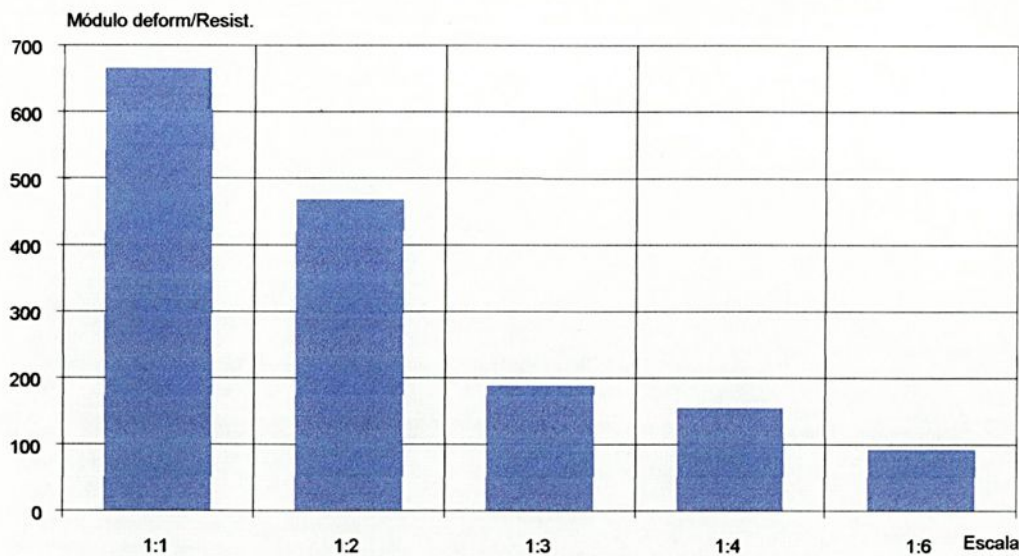


FIGURA (3.3) - Relação módulo de deformação/resistência à compr. para diferentes escalas (EGERMANN).

Os autores comentam que tal fato pode estar relacionado, em parte, ao grau de adensamento da argamassa no momento do assentamento das unidades, afirmando que o comportamento da argamassa é sensível ao peso das unidades logo após o

assentamento. Nesse caso, seria necessário introduzir um fator de correção para cada escala.

Na década de 80, HAMID e ABOUD deram continuidade aos estudos de modelos, trabalhando com o mesmo tipo de material usado por HARRIS e BECICA. Os resultados dos ensaios mostraram que o comportamento da alvenaria de blocos de concreto, com ou sem graute, poderia ser satisfatoriamente representado por modelos em escala (1:4). Contudo, comentam os autores, algumas variações entre respostas de modelo e protótipo foram observadas, acreditando-se que a causa principal de tal fato tenha sido imperfeições na geometria dos blocos reduzidos, somadas a problemas referentes à qualidade da mão-de-obra empregada.

CALDERONI desenvolveu na Universidade de Nápoli, na década de 80, um estudo em um pequeno edifício de quatro pavimentos de alvenaria de tijolos, procurando avaliar o efeito das ações horizontais e verticais.

No Brasil, não se têm notícias de programas de pesquisas que sejam direcionados para o desenvolvimento da técnica de modelagem em alvenaria estrutural. O primeiro trabalho dentro dessa linha foi desenvolvido por CAMACHO, 1995, na Escola Politécnica da USP, em uma pesquisa que investigou as correlações básicas entre protótipos e modelos reduzidos nas escalas (1:3) e (1:5) para blocos cerâmicos.

Atualmente, tem-se despendido um grande esforço no sentido de dar continuidade a essas investigações, desenvolvendo e consolidando essa frente de pesquisa tão importante e que, com certeza, abrirá um vasto campo para futuros trabalhos.

3.2. ÁREA DE PROGRAMAÇÃO

De um modo geral, o profissional da engenharia estrutural já incorporou o microcomputador como uma ferramenta corriqueira de trabalho, o que proporcionou um enorme impulso no desenvolvimento dos projetos em geral.

Existe atualmente um significativo número de programas desenvolvidos para auxiliar o projetista que trabalha com estruturas de concreto armado e de aço. Essa realidade, porém, não se verifica para o caso de projetos de alvenaria estrutural, onde, muitas



vezes, o projeto é ainda desenvolvido quase que artesanalmente, tanto na sua parte gráfica como nas rotinas de cálculo propriamente dita.

Dessa forma, estão sendo desenvolvidos trabalhos que possam atender às necessidades de automatização existentes na área do desenvolvimento de projetos de edifícios de alvenaria estrutural, cobrindo os aspectos gráficos e as rotinas de análise estrutural propriamente dita.

3.2.1. A COORDENAÇÃO MODULAR

Na fase de projeto, antecedendo a todas as rotinas de dimensionamento, verificações e detalhamentos construtivos, surge a etapa de coordenação modular do projeto arquitetônico. Essa técnica consiste, simplificada, em modular todas as dimensões da obra, verticais e horizontais, como múltiplo do módulo básico do bloco, prevendo as amarrações, necessidades estruturais e demais instalações, de modo a evitar cortes e desperdícios na execução da obra, constituindo-se em etapa fundamental da racionalização como um todo.

No entanto, a etapa de coordenação modular é feita muitas vezes através de um processo de tentativas, em função dos tipos de unidades a serem empregadas e das dimensões da obra, o que exige do projetista significativa parcela de tempo na busca da melhor solução no momento da execução da obra.

Essa técnica vem sendo automatizada há algum tempo em projetos com o apoio da FAPESP, encontrando-se atualmente próximo de sua conclusão com um trabalho de mestrado em desenvolvimento.

3.2.2. A ANÁLISE ESTRUTURAL

Após a etapa da coordenação modular e detalhamento do projeto arquitetônico segue-se a fase da análise estrutural, onde são quantificadas as ações verticais e horizontais atuantes na edificação, sua distribuição entre os elementos resistentes (paredes resistentes e de contraventamento), suas combinações mais desfavoráveis e a determinação das máximas tensões atuantes em todos os pontos da estrutura. Na sequência, são verificadas todas as recomendações das normas que tratam do assunto,



observando-se as cargas admissíveis, a existência de pontos de tração, corte e esmagamentos localizados.

Essa etapa caracteriza-se pela grande quantidade de rotinas de cálculo repetitivas, o que exige significativo dispêndio de tempo por parte do projetista, além de aumentar a probabilidade da ocorrência de erros. Quando algum ponto da estrutura não atende às prescrições de norma, faz-se necessárias novas definições estruturais e a quase total repetição do processo.

Além desses fatos, salienta-se que existem diferentes técnicas de análise da distribuição das ações verticais e horizontais e que eventualmente necessitem ser empregadas pelo projetista em algumas situações especiais, ou de falta de confiabilidade nos resultados obtidos.

Frente a esses fatos, o desenvolvimento de programas de computador que possibilitem efetuar vários testes de modulação com posterior saída gráfica da solução adotada, juntamente com os inúmeros detalhes construtivos complementares, além da automatização das rotinas básicas de cálculo e verificações segundo as normas que tratam do assunto, para projetos de edifícios de alvenaria estrutural de blocos, apresenta-se como necessidade imediata do meio técnico.

Dessa forma, encontra-se em desenvolvimento um programa de análise estrutural de edifícios de alvenaria estrutural, que quando concluído, deverá ser incorporado ao programa gráfico citado acima.



CAPÍTULO 4

TRABALHOS CONCLUÍDOS

Neste capítulo é apresentado um trabalho concluído, '**ESTUDO DA DISTRIBUIÇÃO DAS AÇÕES VERTICAIS ATUANTES EM EDIFÍCIOS DE ALVENARIA ESTRUTURAL**', que foi o estudo de um edifício de alvenaria estrutural através do programa SAP 2000, quando submetido a carregamento vertical devido o peso próprio.

Os resultados observados deverão auxiliar na proposição de um modelo de cálculo para a análise da distribuição dessas ações entre as paredes resistentes de um edifício, que deverá ser implementado nos programas de análise estrutural que estão em desenvolvimento.



ESTUDO DA DISTRIBUIÇÃO DAS AÇÕES VERTICAIS ATUANTES EM EDIFÍCIOS DE ALVENARIA ESTRUTURAL

1. INTRODUÇÃO

As ações verticais que atuam nos edifícios de Alvenaria Estrutural são as de natureza permanente e acidental, sendo os valores dessas ações previstas por normas que tratam do assunto.

O sistema estrutural de uma obra de alvenaria é de difícil análise teórica, pois trata-se de um sistema composto por placas e chapas, montado com um material não homogêneo e de comportamento não-linear.

No processo de análise do comportamento estrutural e nas etapas subseqüentes das verificações, é de fundamental importância que a distribuição dessas ações entre os elementos resistentes seja adequadamente estabelecida.

Em estruturas simples, tais como os sistemas de paredes transversais, a distribuição das cargas das lajes sobre as paredes resistentes é direta, pois geralmente se trabalha com lajes armadas numa direção, o que não se verifica para estruturas mais complexas.

A distribuição das ações verticais entre as várias paredes constitui um dos problemas mais importantes a ser enfrentado durante a realização do projeto de um edifício de alvenaria estrutural. Pelo menos dois pontos devem estar bem estabelecidos para que o projetista possa desenvolver a sua análise:

- a) Como tratar a ação das lajes sobre as paredes que lhe servem de apoio.
- b) Como simular a interação das paredes.

No caso de lajes armadas em cruz, em sistemas mais complexos, o procedimento mais usual é dividir as lajes em trapézios e triângulos, distribuindo as cargas dessas áreas para paredes correspondentes. A rigor, as lajes não carregam as paredes de maneira uniforme, conduzindo à existência de paredes com altos valores de carga enquanto as paredes vizinhas recebem menores valores de carga. Esse fato leva, geralmente, a um dimensionamento não uniforme da estrutura, acarretando na elevação dos custos da obra.

Contudo, sabe-se que as ações verticais entre as paredes tendem a se uniformizar à medida em que se encaminham para a base do edifício, e que esse gradiente de transferência entre as paredes depende essencialmente da eficiência das ligações entre as mesmas, sendo esse um ponto de grande importância no momento da análise estrutural.

Portanto, considera-se que seriam importantes, do ponto de vista do projeto, estudos que pudessem propor modelos que conduzissem a resultados mais próximos do comportamento real da estrutura, de modo a se obter um dimensionamento estrutural mais uniforme.

Frente a esse fato, o presente trabalho propõe um estudo comparativo dos resultados obtidos pelo método tradicional de se avaliar a distribuição das ações verticais entre as paredes resistentes, adotado nos projetos de um modo geral, com os resultados obtidos em modelos matemáticos mais complexos.

No desenvolvimento da análise estrutural serão utilizados procedimentos chamados de 'manuais' e a análise através do método dos elementos finitos, utilizando o programa SAP2000.

2. OBJETIVOS

Assim, pretende-se neste trabalho dar continuidade às atividades que já vêm sendo desenvolvidas dentro desse tema, propondo-se um estudo comparativo dos resultados obtidos pelos métodos tradicionais (manuais) de se avaliar a distribuição das ações



verticais entre as paredes resistentes, adotados nos projetos de um modo geral, com os resultados obtidos em modelos matemáticos de maior complexidade.

Propõe-se o desenvolvimento da análise estrutural de um edifício de alvenaria estrutural pelo processo manual e pelo método dos elementos finitos, através do SAP 2000, comparando-se os resultados obtidos de modo a estabelecer parâmetros que permitam a proposição de um novo modelo, intermediário, para a distribuição das cargas verticais.

Uma vez obtido e testado o modelo, deve-se fazer a implementação do mesmo em um programa que calcula e desenha edifícios de alvenaria estrutural de blocos, resultado de trabalhos que vêm sendo desenvolvidos com o apoio da FAPESP.

4. MODELO ESTUDADO

Para consecução dos objetivos propostos foi definido e analisado um edifício de 8 pavimentos, submetido à ação de peso próprio. Foram definidos três arranjos diferentes de função, conforme descritos adiante. A disposição das paredes e aberturas foram definidas de forma a facilitar a análise proposta.

Os dados foram coletados em diferentes níveis, previamente definidos, ao longo da altura do edifício, sendo posteriormente organizados e analisados.

4.1. CONCEPÇÃO DO MODELO

Na definição do edifício a ser utilizado como modelo, ateve-se aos objetivos a que se propõe o trabalho. Apresentam-se a seguir os principais aspectos e decisões que foram considerados na concepção do modelo.

Estrutura (geometria)	→	Típica de um pequeno edifício.
Tipo de análise	→	Estática.
Ações	→	Peso Próprio.
Elemento de análise	→	Shell.
Vinculação	→	Apoios rígidos (três soluções diferentes).

O elemento laminar quadrático, tipo shell, foi escolhido para o desenvolvimento da análise numérica do edifício de alvenaria estrutural em estudo. As paredes e as vigas baldrame foram discretizadas em elementos $(40 \times 40) \times 20$ cm e as lajes $(40 \times 40) \times 10$ cm. Essas dimensões foram definidas também levando em consideração a quantidade de elementos gerados e o esforço computacional necessário.

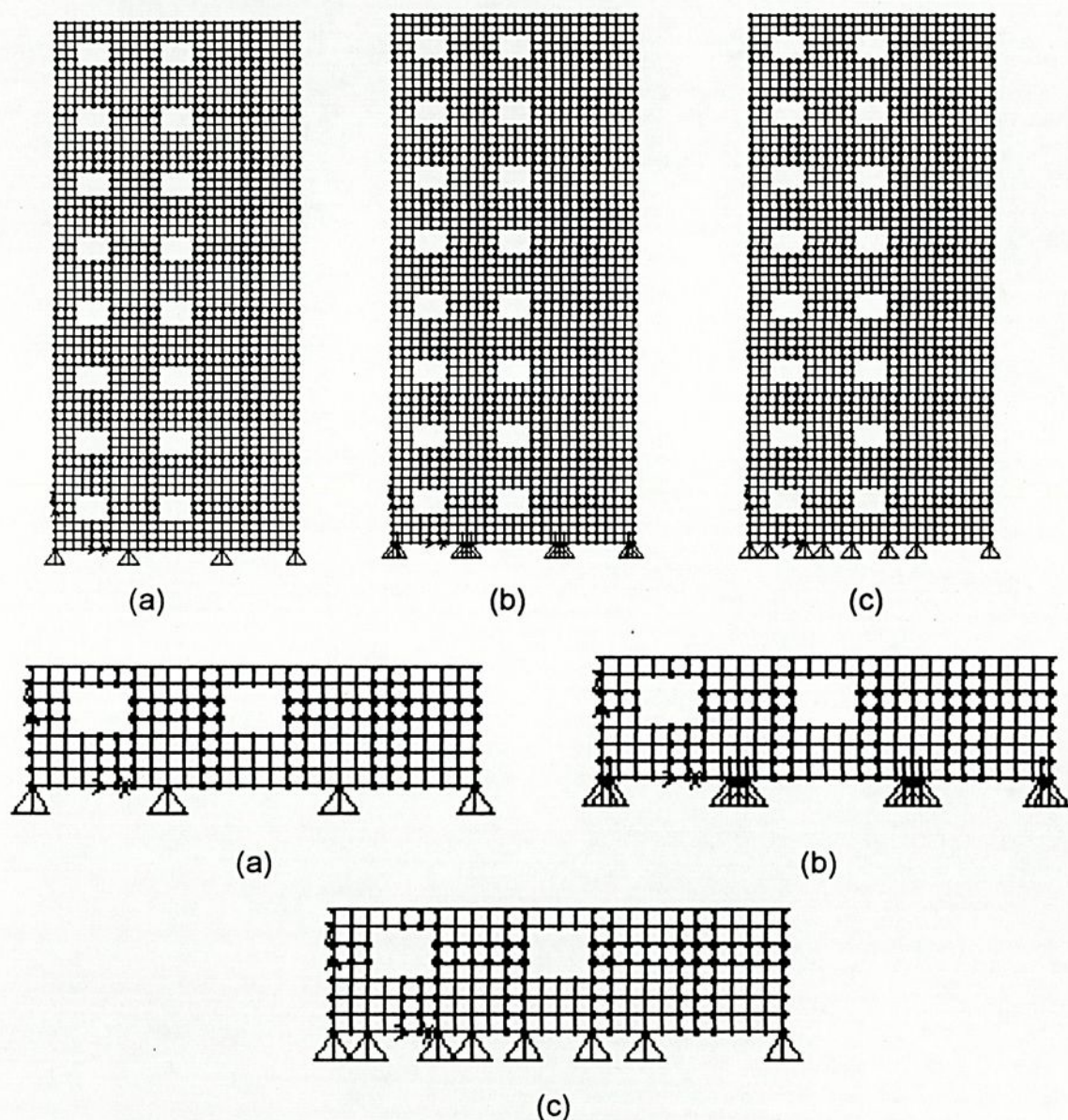


FIGURA 01 - Tipos de fundação: (a) fundação 1 - (b) fundação 2 - (c) fundação 3.

A análise da estrutura através do processo numérico (SAP 2000) foi realizada para três soluções distintas de fundação, a saber:

- Fundação 1: estacas nos encontros das paredes, simuladas por apoio simples, considerando um único ponto de apoio .
- Fundação 2: estacas distribuídas nos encontros das paredes, simuladas por vários apoios simples visando representar o diâmetro real das estacas.
- Fundação 3: estacas nos encontros das paredes (único ponto) e no alinhamento das aberturas, simuladas por apoio simples.

O processo 'manual' foi desenvolvido em duas etapas distintas: considerando que a distribuição das ações nas paredes ocorreria sobre as paredes isoladas e sobre grupos de paredes.

4.2. DEFINIÇÃO DO ESQUEMA ESTRUTURAL

Dados básicos adotados:

Características Gerais:

pé direito	→	280 cm
portas	→	(80 x 200) cm
janelas	→	(160 x 120) cm
lajes	→	10 cm
viga baldrame	→	(20x40) cm

Material:

$f_{ck} = 20 \text{ MPa}$	$E_{laje} = 31.995 \text{ MPa}$
$E_{bloco} = 8.000 \text{ MPa}$	$\gamma_{conc} = 25 \text{ kN/m}^3$
$\gamma_{bloco} = 10 \text{ kN/m}^3$	coef.poisson conc.= 0,2
coef. poisson bloco = 0,15	Blocos=(40x40x20) cm

Geometria:

Na definição da planta baixa procurou-se manter uma certa repetição das medidas dos ambientes. O posicionamento das aberturas foi definido de forma a possibilitar a formação dos grupos de paredes com diversas distribuições, bem como paredes isoladas com e sem aberturas, facilitando a variação no momento da análise estrutural (figura 02).

Todos os elementos estruturais: blocos, baldrames e lajes, foram discretizadas com base na medida dos blocos variando a espessura e as características dos materiais. A



discretização nas dimensões dos blocos foi adotada de modo a facilitar o processamento, bem como fornecer dados suficientes para análise compatível com a estrutural real. Foram gerados 11367 elementos, sendo:

- 7.472 elementos tipo bloco;
- 151 elementos tipo viga ;
- 3.744 elementos tipo laje.

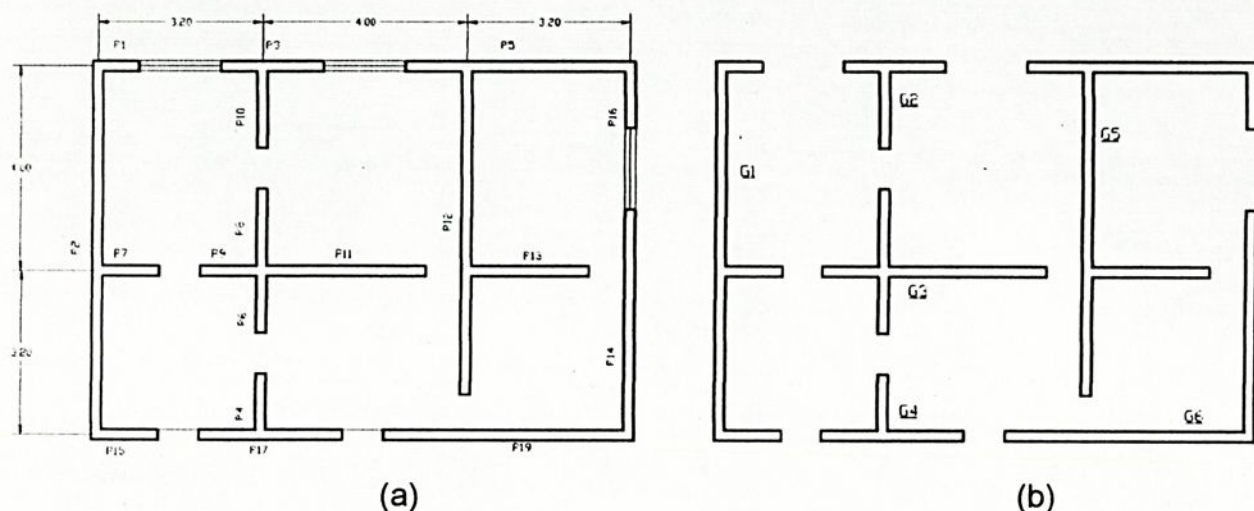


FIGURA 02 – (a) Planta baixa: paredes isoladas; (b) Planta baixa: grupo paredes.

A fim de facilitar a identificação, a análise e a comparação dos elementos foram enumerados os nós de uma fiada da planta base, mantendo-os fixos para cada nível analisado. A numeração adotada está apresentada na figura (03).

Ações:

Considerou-se como carregamento somente o peso próprio da estrutura. Foram obtidos separadamente para o modelo numérico e para o modelo convencional: o peso próprio da alvenaria, peso próprio da viga baldrame e as reações das lajes.

Os níveis definidos para a leitura da distribuição dos esforços, mostrados na figura 04, foram os seguintes:

- Acima da viga baldrame do 1º pavimento: $h=0\text{m}$ (1º piso);
- Nível 2m (aberturas);
- Nível 6m (3º piso);

- Nível 14m (6º piso);
- Nível 22,4m (cobertura).

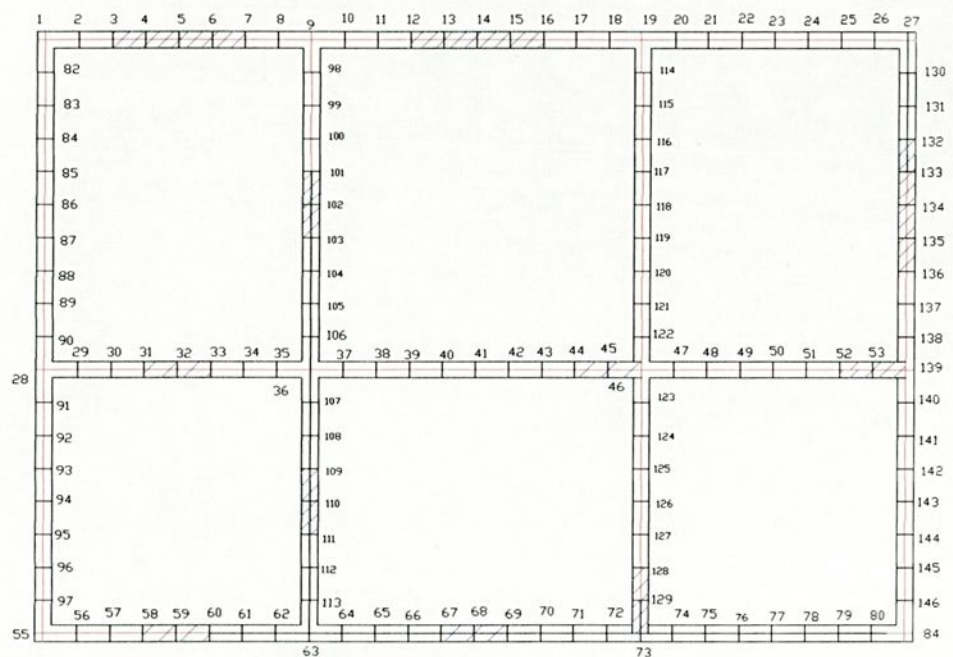


FIGURA 03 – Numeração dos nós.

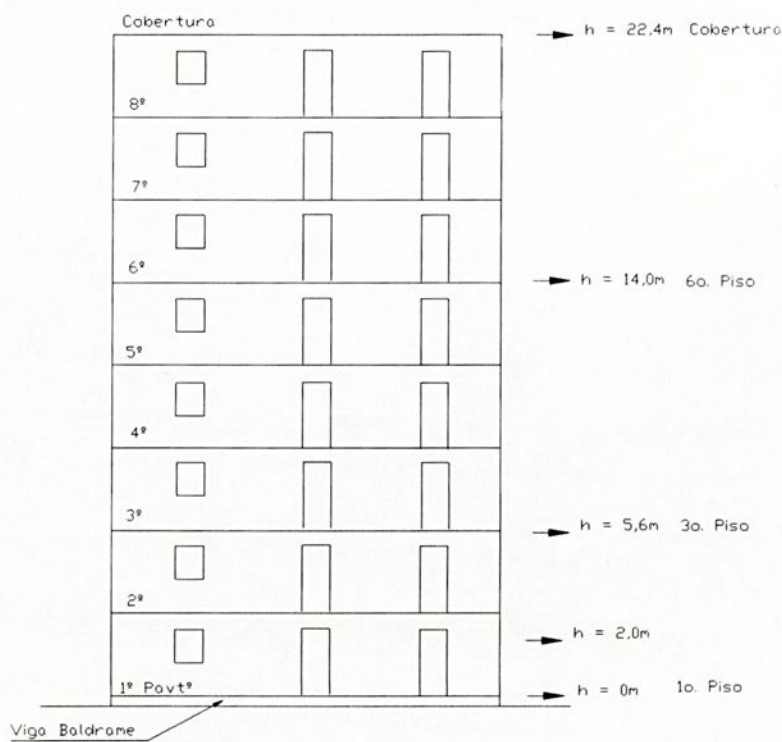


FIGURA 04 – Elevação Genérica.

4.3. PROCESSO MANUAL

O levantamento das reações das lajes foi baseado na divisão das áreas de contribuição da laje para as paredes em trapézios e triângulos até a face interna das paredes, conforme figura (05) e tabela (1). As reações foram calculadas através da expressão (01).

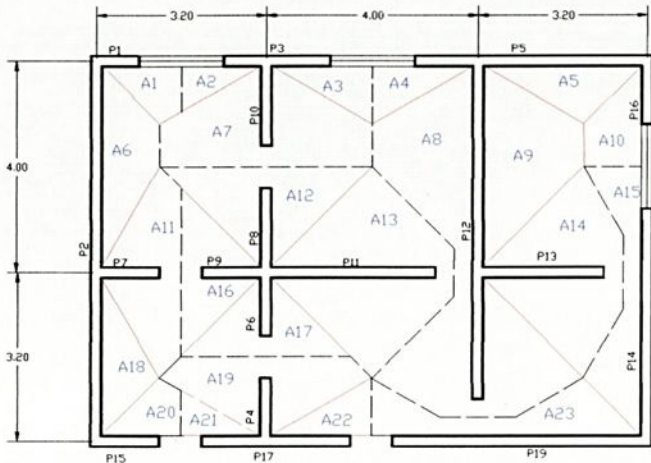


FIGURA 05 – Determinação das áreas de contribuição.

Tabela 1 – Áreas de contribuição

AREA DE CONTRIBUIÇÃO (m2)											
A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
1,00	0,65	1,04	1,04	1,65	2,53	5,52	11,8	4,74	1,48	3,76	4,00

A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	A21	A22	A23
7,80	6,02	2,97	2,55	2,55	1,65	3,76	1,00	0,65	1,05	2,97

Os valores das reações de apoio das lajes foram associados as paredes correspondentes, considerando-se seus comprimentos total e real, conforme figura (06) e tabela (2).

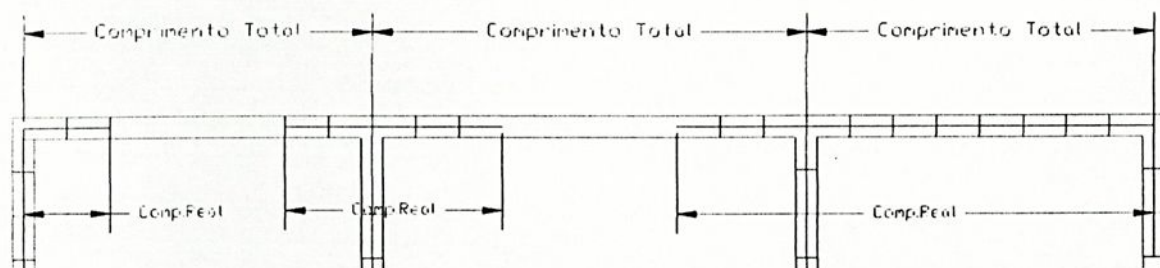


FIGURA 06 – Vista em planta consideração comprimento total e efetivo

Para a determinação do peso próprio das paredes, foram descontadas as áreas das aberturas existentes. O peso próprio da alvenaria (P.Pr.Alv.) foi obtido através da expressão:

$$PPr.Alv. = ((ct \times h \times e - Aa \times e) \times \gamma_{alv}) \text{ (kN)} \quad (01)$$

sendo:

- ct → comprimento total da parede (m)
- h → pé direito: 2,80(m)
- e → espessura da alvenaria: 0,20 (m)
- Aa → área das aberturas (m²)
- γ_{alv} → peso específico da alvenaria: 10 (kN/m³)

O peso próprio da laje (P.Pr.Laje) foi calculado em função da área de contribuição e obtido pela expressão:

$$P.Pr.Laje = Ac \times e \times \gamma_c \text{ (kN)} \quad (02)$$

sendo:

- Ac → área de contribuição (m²)
- e → espessura da laje: 0,10(m)
- γ_c → peso específico da concreto: 25(kN/m³)

4.4. PROCESSO NUMÉRICO

O edifício foi gerado seguindo a discretização apresentada na figura (03). Aos nós dos elementos de Shell não foi imposta nenhuma restrição quanto a deslocamento e rotação. As estacas foram simuladas como apoio fixo.

Processado cada tipo de fundação, foram registrados os valores das forças verticais atuantes na direção do eixo principal 2 (F22), sobre cada nó dos níveis pré-definidos conforme mostra a Figura (04).

As forças obtidas nas paredes resultam do valor médio das forças nos nós que as definem multiplicadas pelo comprimento total de cada parede, apresentadas na Tabela (6). Na determinação das forças em termos de comprimento total e real, dividiram-se as forças pelos respectivos comprimentos. Na obtenção das forças distribuídas em grupos, dividiram-se as somas das forças pelas somas dos comprimentos total e real.

A seguir apresenta-se um exemplo numérico da determinação da força média nas paredes e das forças quando distribuídas para o grupo1 (G1) (Tabela 6).

Grupo 1: Paredes= P1, P7, P15 e P2

$$\begin{aligned} P1 (1-5) * &= (-2,17 + 3,18 + 4,91 + 3,38 + 1,75)/5 \times 1,6 \\ &= 2,21 \times 1,6 = 3,54 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P7 (28-32)* &= (-0,81+3,64+8,18+9,29+6)/5 \times 1,6 \\ &= 5,26 \times 1,6 = 8,42 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P15 (55-59)* &= (-1,4 + 1,9 + 4,06 + 4,35 + 2,8)/5 \times 1,6 \\ &= 2,34 \times 1,6 = 3,74 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P2 (1-55)* &= (-2,09 + 1,71 + 3,24 + 3,84 + 4,15 + 4,19 + 4,01 + \\ &3,53 + 2,6 - 0,7 + 0,98 + 2,63 + 3,48 + 3,81 + \\ &3,69 + 3,13 + 1,83 + 1,35)/17 \times 7,2 \\ &= 2,19 \times 7,2 = 15,61 \text{ KN} \end{aligned}$$

Paredes consideradas em grupo (G1):

$$\text{Soma forças (G1)} = 3,54 + 8,42 + 3,74 + 15,61 = 31,31 \text{ KN}$$

$$\text{Soma comprimento total} = 12,00 \text{ m}$$

$$\text{Soma comprimento real} = 10,40 \text{ m}$$

$$\text{Carga comp.total} = 31,31/12,00 = 2,61 \text{ KN/m}$$

$$\text{Carga comp.real} = 31,31/10,40 = 3,01 \text{ KN/m}$$



5. RESULTADOS

Os resultados obtidos para os processos manual e numérico foram organizados em forma de tabelas, como se segue:

5.1. PROCESSO MANUAL

O primeiro dado a ser obtido para o cálculo das ações verticais no processo manual foi a determinação das áreas de contribuição (Tabela 1).

A Tabela (2) apresenta os resultados obtidos para o pavimento tipo quando as paredes são consideradas isoladamente , conforme Figura (02a).

Tabela 2 – Dados obtidos no processo manual - paredes isoladas

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	N	O	M	P
Paredes	Nós	Área Cont. (m2)	Compr. (m)		Aberturas (m)			Área Par. (m2)		P.Pr. Alv. (kN)	P.Pr. Laje (kN)	Carga Laje (kN/m)		Carga Pav. (kN/m)	
			Total	Real	Comp.	Altura	Área (m2)	Total	Real			Total	Real	Total	Real
P1	1-5	1,00	1,6	0,8	0,8	1,2	1,0	4,48	3,52	7,04	2,50	1,56	3,13	5,96	11,93
P3	5-14	1,69	3,6	2,0	1,6	1,2	1,9	10,08	8,16	16,32	4,23	1,17	2,11	5,71	10,27
P5	14-27	2,69	5,2	4,4	0,8	1,2	1,0	14,56	13,60	27,20	6,73	1,29	1,53	6,52	7,71
P7	28-32	3,76	1,6	1,2	0,4	2,0	0,8	4,48	3,68	7,36	9,40	5,88	7,83	10,48	13,97
P9	32-36	2,55	1,6	1,2	0,4	2,0	0,8	4,48	3,68	7,36	6,38	3,98	5,31	8,58	11,45
P11	36-46	7,80	4,0	3,2	0,8	2,0	1,6	11,20	9,60	19,20	19,50	4,88	6,09	9,68	12,09
P13	46-54	6,02	3,2	2,4	0,8	2,0	1,6	8,96	7,36	14,72	15,05	4,70	6,27	9,30	12,40
P15	55-59	1,00	1,6	1,2	0,4	2,0	0,8	4,48	3,68	7,36	2,50	1,56	2,08	6,16	8,22
P17	59-68	1,70	3,6	2,8	0,8	2,0	1,6	10,08	8,48	16,96	4,25	1,18	1,52	5,89	7,58
P19	68-81	2,97	5,2	4,8	0,4	2,0	0,8	14,56	13,76	27,52	7,43	1,43	1,55	6,72	7,28
P2	1-55	4,18	7,2	7,2	0,0	0,0	0,0	20,16	20,16	40,32	10,45	1,45	1,45	7,05	7,05
P4	63-110	3,76	1,6	1,2	0,4	2,0	0,8	4,48	3,68	7,36	9,40	5,88	7,83	10,48	13,97
P6	110-36	2,55	1,6	1,2	0,4	2,0	0,8	4,48	3,68	7,36	6,38	3,98	5,31	8,58	11,45
P8	36-102	4,00	2,0	1,6	0,4	2,0	0,8	5,60	4,80	9,60	10,00	5,00	6,25	9,80	12,25
P10	102-9	5,52	2,0	1,6	0,4	2,0	0,8	5,60	4,80	9,60	13,80	6,90	8,63	11,70	14,63
P12	73-19	15,76	7,2	6,4	0,8	2,0	1,6	20,16	18,56	37,12	39,40	5,47	6,16	10,63	11,96
P14	81-134	2,97	5,2	4,4	0,8	1,2	1,0	14,56	13,60	27,20	7,43	1,43	1,69	6,66	7,87
P16	134-27	1,48	2,0	1,2	0,8	1,2	1,0	5,60	4,64	9,28	3,70	1,85	3,08	6,49	10,82
Soma			60,0	48,8						298,88	178,50	59,60	77,82	146,39	192,87

A sequência para a obtenção dos resultados apresentados em cada uma das colunas da Tabela (2) apresenta-se a seguir:

- Coluna E = D-F
- Coluna J = K-H
- Coluna N = Cx0,1x25/D
- Coluna P = (K+L)/E
- Coluna H = FxG
- Coluna K = Jx0,2x10
- Coluna O = Cx0,1x25/E
- Coluna I = Dx2,8
- Coluna L = Cx0,1x25
- Coluna M = (K+L)/D

A Tabela (3) apresenta os resultados obtidos para as paredes consideradas em grupo, ou seja, obtém-se a soma das paredes pertencentes ao grupo em cada nível e divide-se pela soma do comprimento total e real de todas as paredes do grupo considerado.

Tabela 3 - Dados obtidos no processo manual – grupos de paredes

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
Grupos	Par.	Nós	Área Infil. (m ²)	Comprimento (m)		Aberturas (m)			Área Parede (m ²)		P. Pr. Alv. (kN)	Cobertura (kN)	Carga. total 1 pavto (kN)	6o.Fiso (kN)	3o.Fiso (kN)	1o.Fiso (kN)
				Total	Real	Comp.	Altura	Área	Total	Real						
G1	P1	1-5	1	1,60	0,80	0,80	1,20	0,96	4,48	3,52	7,04	2,50	9,54	28,62	57,24	76,32
	P7	28-32	3,76	1,60	1,20	0,40	2,00	0,80	4,48	3,68	7,36	9,40	16,76	50,28	100,56	134,08
	P15	55-59	1	1,60	1,20	0,40	2,00	0,80	4,48	3,68	7,36	2,50	9,86	29,58	59,16	78,88
	P2	1-55	4,18	7,20	7,20	0,00	0,00	0,00	20,16	20,16	40,32	10,45	50,77	152,31	304,62	406,16
Soma				12,00	10,40							24,85		260,79	521,58	695,44
Carga Comp.Total (kN/m)												2,07		21,73	43,47	57,95
Carga Comp.Real (kN/m)												2,39		25,08	50,15	66,87
G2	P3	5-14	1,69	3,60	2,00	1,60	1,20	1,92	10,08	8,16	16,32	4,23	20,55	61,64	123,27	164,36
	P10	102-9	5,52	2,00	1,60	0,40	2,00	0,80	5,60	4,80	9,60	13,80	23,40	70,20	140,40	187,20
Soma				5,60	3,60							18,03		131,84	263,67	351,56
Carga Comp.Total (kN/m)												3,22		23,54	47,08	62,78
Carga Comp.Real (kN/m)												5,01		36,62	73,24	97,66
G3	P9	32-36	2,55	1,60	1,20	0,40	2,00	0,80	4,48	3,68	7,36	6,38	13,74	41,21	82,41	109,88
	P11	36-46	7,8	4,00	3,20	0,80	2,00	1,60	11,20	9,60	19,20	19,50	38,70	116,10	232,20	309,60
	P6	110-36	2,55	1,60	1,20	0,40	2,00	0,80	4,48	3,68	7,36	6,38	13,74	41,21	82,41	109,88
	P8	36-102	4	2,00	1,60	0,40	2,00	0,80	5,60	4,80	9,60	10,00	19,60	58,80	117,60	156,80
Soma				9,20	7,20							35,88		257,31	514,62	686,16
Carga Comp.Total (kN/m)												3,90		27,97	55,94	74,58
Carga Comp.Real (kN/m)												4,98		35,74	71,48	95,30
G4	P17	59-68	1,7	3,60	3,20	0,40	2,00	0,80	10,08	9,28	18,56	4,25	22,81	68,43	136,86	182,48
	P4	63-110	3,76	1,60	1,20	0,40	2,00	0,80	4,48	3,68	7,36	9,40	16,76	50,28	100,56	134,08
Soma				5,20	4,40							13,65		118,71	237,42	316,56
Carga Comp.Total (kN/m)												2,63		22,83	45,66	60,88
Carga Comp.Real (kN/m)												3,10		26,96	53,96	71,95
G5	P5	14-27	2,69	5,20	4,40	0,80	1,20	0,96	14,56	13,60	27,20	6,73	33,93	101,78	203,55	271,40
	P13	46-54	6,02	3,20	2,40	0,80	2,00	1,60	8,96	7,36	14,72	15,05	29,77	89,31	178,62	238,16
	P12	73-19	15,76	7,20	6,80	0,70	2,00	1,40	20,16	18,76	37,52	39,40	76,92	230,76	461,52	615,36
	P16	134-27	1,48	2,00	1,20	0,80	1,20	0,96	5,60	4,64	9,28	3,70	12,98	38,94	77,88	103,84
Soma				17,60	14,80							64,88		460,79	921,57	1382,36
Carga Comp.Total (kN/m)												3,69		26,18	52,36	78,54
Carga Comp.Real (kN/m)												4,38		31,13	62,27	93,40
G6	P19	68-81	2,97	5,20	4,80	0,40	2,00	0,80	14,56	13,76	27,52	7,43	34,95	104,84	209,67	279,56
	P14	81-134	2,97	5,20	4,40	0,80	1,20	0,96	14,56	13,60	27,20	9,40	36,60	109,80	219,60	292,80
Soma				10,40	9,20							16,83		214,64	429,27	643,91
Carga Comp.Total (kN/m)												1,62		20,64	41,28	61,91
Carga Comp.Real (kN/m)												1,83		23,33	46,66	69,99

A sequência para a obtenção dos resultados apresentados em cada uma das colunas da Tabela (3) apresenta-se a seguir:

coluna I = $G \times H$
coluna M = $D \times 0,1 \times 25$
coluna P = $6 \times N$

coluna J = $E \times 2,80$
coluna N = $M + L$
coluna Q = $8 \times N$

coluna L = $K \times 0,2 \times 10$
coluna O = $3 \times N$



As Tabelas (4, 5, 7 e 8) apresentam os valores do Coeficiente de Variação por grupo (C.V.Grupo%), que representa a variação percentual dos esforços nos níveis analisados para cada grupo de parede e o Coeficiente de Variação por nível (C.V.Nível%), que representa a variação dos esforços de todos os grupos em um mesmo nível.

$$C.Varição.\% = \frac{\delta}{\mu} * 100$$

$\delta \rightarrow$ desvio padrão.
 $\mu \rightarrow$ média.

(03)

Tabela 4 - Processo manual – Grupo de Paredes – comprimento total.

Comprimento Total - Manual								
Grupo	Paredes	Cargas kN				Coeficiente de Variação		
		Cobertura	6o.Piso	3o. Piso	1o. Piso	δ	μ	C.V.Grupo%
G1	P(1;7;15;2)	2,07	21,73	43,47	57,95	24,52	31,31	78,3
G2	P(3;10)	3,22	23,54	47,08	62,78	26,18	34,16	76,6
G3	P(9;11;6;8)	3,90	27,97	55,94	74,58	31,07	40,60	76,5
G4	P(17;4)	2,63	22,83	45,66	60,88	25,58	33,00	77,5
G5	P(5;13;12;16)	3,69	26,18	52,36	78,54	32,39	40,19	80,6
G6	P(19;14)	1,62	20,64	41,28	61,91	26,02	31,36	83,0
C.V.Nível%		31,8	11,6	11,6	12,6			

Tabela 5 - Processo manual – Grupo de Paredes – comprimento real.

Comprimento Real - Manual								
Grupo	Paredes	Cargas kN				Coeficiente de Variação		
		Cobertura	6o.Piso	3o. Piso	1o. Piso	δ	μ	C.V.Grupo%
G1	P(1;7;15;2)	2,39	25,08	50,15	66,87	28,30	36,12	78,3
G2	P(3;10)	5,01	36,62	73,24	97,66	40,72	53,13	76,6
G3	P(9;11;6;8)	4,98	35,74	71,48	95,30	39,70	51,87	76,5
G4	P(17;4)	3,10	26,98	53,96	71,95	30,23	39,00	77,5
G5	P(5;13;12;16)	4,38	31,13	62,27	93,40	38,52	47,80	80,6
G6	P(19;14)	1,83	23,33	46,66	69,99	29,42	35,45	83,0
C.V.Nível%		37,8	18,7	18,7	17,3			

5.2. PROCESSO NUMÉRICO

Os dados resultados obtidos estão apresentados nas tabelas abaixo:

Tabela 6 – Processo numérico para Grupo de Paredes – comprimento total e real.

Grupo	Paredes	Nós	Área Infl.	Comprimento (m)		Forças kN			
			(m2)	Total	Efetivo	Cobertura	6o. Piso	3o. Piso	1o. Piso
G1	P1	1-5	1	1,60	0,80	3,54	22,89	54,57	98,66
	P7	28-32	3,76	1,60	1,20	8,42	28,69	71,86	108,53
	P15	55-59	1	1,60	1,20	3,74	29,31	66,91	111,79
	P2	1-55	4,18	7,20	7,20	15,61	211,67	402,54	399,98
Soma				12,00	10,40	31,31	292,56	595,88	718,96
Carga Comp.Total (kN/m)						2,61	24,38	49,66	59,91
Carga Comp.Real (kN/m)						3,01	28,13	57,30	69,13
G2	P3	5-14	1,69	3,60	2,00	7,81	59,02	132,08	148,00
	P10	102-9	5,52	2,00	1,60	11,64	54,64	107,22	116,86
Soma				5,60	3,60	19,45	113,66	239,30	264,86
Carga Comp.Total (kN/m)						3,47	20,30	42,73	47,30
Carga Comp.Real (kN/m)						5,40	31,57	66,47	73,57
G3	P9	32-36	2,55	1,60	1,20	5,93	32,75	78,42	108,66
	P11	36-46	7,8	4,00	3,20	19,10	94,83	205,94	273,32
	P6	110-36	2,55	1,60	1,20	6,20	40,09	78,03	112,27
	P8	36-102	4	2,00	1,60	10,11	52,82	104,42	122,68
Soma				9,20	7,20	41,34	220,49	466,81	616,93
Carga Comp.Total (kN/m)						4,49	23,97	50,74	67,06
Carga Comp.Real (kN/m)						5,74	30,62	64,83	85,68
G4	P17	59-68	1,7	3,60	3,20	8,03	75,50	160,63	162,36
	P4	63-110	3,76	1,60	1,20	8,57	36,23	72,32	98,48
Soma				5,20	4,40	16,60	111,73	232,95	260,84
Carga Comp.Total (kN/m)						3,19	21,49	44,80	50,16
Carga Comp.Real (kN/m)						3,77	25,39	52,94	59,28
G5	P5	14-27	2,69	5,20	4,40	12,38	131,09	285,32	316,21
	P13	46-54	6,02	3,20	2,40	13,02	70,21	156,91	252,77
	P12	73-19	15,76	7,20	6,80	34,61	196,83	376,24	415,82
	P16	134-27	1,48	2,00	1,20	4,68	41,53	78,88	118,18
Soma				17,60	14,80	64,69	439,66	897,35	1102,98
Carga Comp.Total (kN/m)						3,68	24,98	50,99	62,67
Carga Comp.Real (kN/m)						4,37	29,71	60,63	74,53
G6	P19	68-81	2,97	5,20	4,80	14,26	131,13	269,09	294,53
	P14	81-134	2,97	5,20	4,40	13,05	131,83	259,51	289,33
Soma				10,40	9,20	27,31	262,96	528,60	583,86
Carga Comp.Total (kN/m)						2,63	25,28	50,83	56,14
Carga Comp.Real (kN/m)						2,97	28,58	57,46	63,46

Tabela 7 – Processo numérico – Grupo de Paredes – comprimento total.

Comprimento Total - Programa								
Grupo	Paredes	Cargas kN				Coeficiente de Variação		
		Cobertura	6o.Piso	3o. Piso	1o. Piso	δ	μ	C.V.Grupo%
G1	P(1;7;15;2)	2,61	24,38	49,66	59,91	25,78	34,14	75,5
G2	P(3;10)	3,47	20,30	42,73	47,30	20,41	28,45	71,7
G3	P(9;11;6;8)	4,49	23,97	50,74	67,06	27,80	36,56	76,0
G4	P(17;4)	3,19	21,49	44,80	50,16	21,73	29,91	72,7
G5	P(5;13;12;16)	3,68	24,98	50,99	62,67	26,47	35,58	74,4
G6	P(19;14)	2,63	25,28	50,83	56,14	24,72	33,72	73,3
C.V.Nivel%		21,3	8,7	7,4	13,2			

Tabela 8 - Processo numérico – Grupo de Paredes – comprimento real.

Comprimento Real - Programa								
Grupo	Paredes	Cargas kN				Coeficiente de Variação		
		Cobertura	6o.Piso	3o. Piso	1o. Piso	δ	μ	C.V.Grupo%
G1	P(1;7;15;2)	3,01	28,13	57,30	69,13	29,75	39,39	75,5
G2	P(3;10)	5,40	31,57	66,47	73,57	31,75	44,25	71,7
G3	P(9;11;6;8)	5,74	30,62	64,83	85,68	35,52	46,72	76,0
G4	P(17;4)	3,77	25,39	52,94	59,28	25,68	35,35	72,7
G5	P(5;13;12;16)	4,37	29,71	60,63	74,53	31,47	42,31	74,4
G6	P(19;14)	2,97	28,58	57,46	63,46	27,94	38,12	73,3
C.V.Nivel%		28,0	7,5	8,5	13,1			

6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos através dos processos manual e numérico foram analisados e comparados, tanto em função do comprimento total como real das paredes ou grupos. Os gráficos a seguir apresentam:

- Reações de apoio das lajes de cobertura;
- Distribuição das ações verticais entre as paredes consideradas individualmente;
- Distribuição das ações verticais entre os grupos de paredes;
- Distribuição das ações verticais ao longo da altura do edifício;
- Distribuição das ações para os três tipos de fundações no processo numérico.

6.1. Reação de Apoio das Lajes - Processo Manual e Numérico – Paredes Isoladas

Os Gráficos (1 a 8) a seguir apresentam a distribuição dos esforços na cobertura, no 6º piso, no 3º piso e no 1º piso, para as paredes isoladas. A diferença percentual (Diferença%) e o coeficiente de variação percentual (C.V.%) foram apresentados em cada nível para o processo manual e numérico, comprimentos total e real das paredes.

O cálculo da diferença percentual entre as paredes através do processo numérico e manual foi obtido pela expressão (04):

$$Diferença\% = \frac{(Numérico - Manual)}{Numérico} * 100 \quad (04)$$

Dos gráficos abaixo, percebe-se que o processo numérico fornece valores mais uniformes das reações de apoio das lajes na cobertura. A diferença média entre os dois processos foi de aproximadamente 23%, sendo porém que a maior diferença chegou 48%.

Importante notar que nos pontos de maior valor das reações (P7, P4 e P10), o processo manual resultou em valores significativamente maiores do que o processo numérico, o que não é desejável do ponto de vista da economia.

Para as paredes menos carregadas, o processo manual resultou em valores abaixo do fornecido pelo numérico, fato que pode conduzir a erros de avaliação da distribuição das ações verticais. Essa diferença chegou a 48%, com valor médio de 39%.

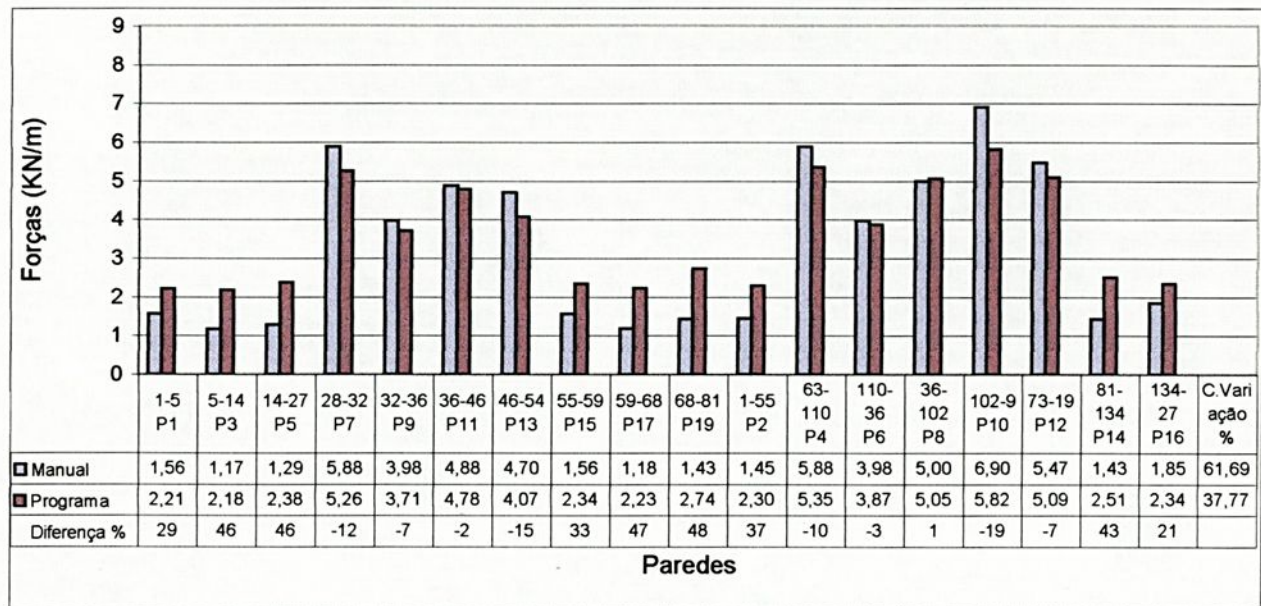


Gráfico 1 – Forças na cobertura utilizando comprimento total das paredes processos manual e numérico.

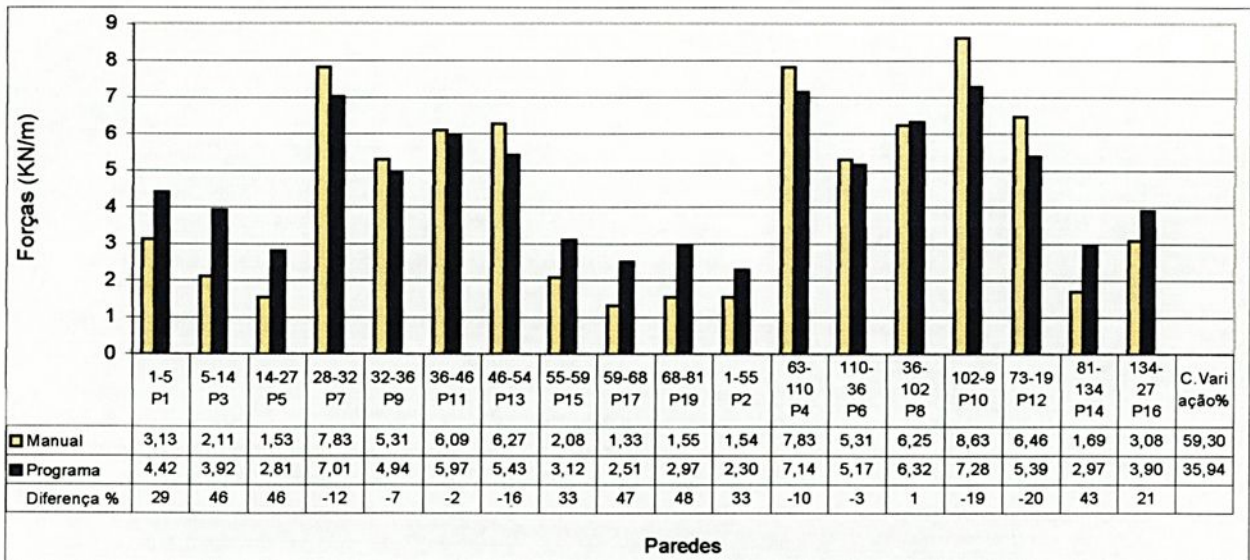


Gráfico 2 – Forças na cobertura utilizando comprimento real das paredes processos manual e numérico.

6.2. Distribuição das Ações nas Paredes Isoladas

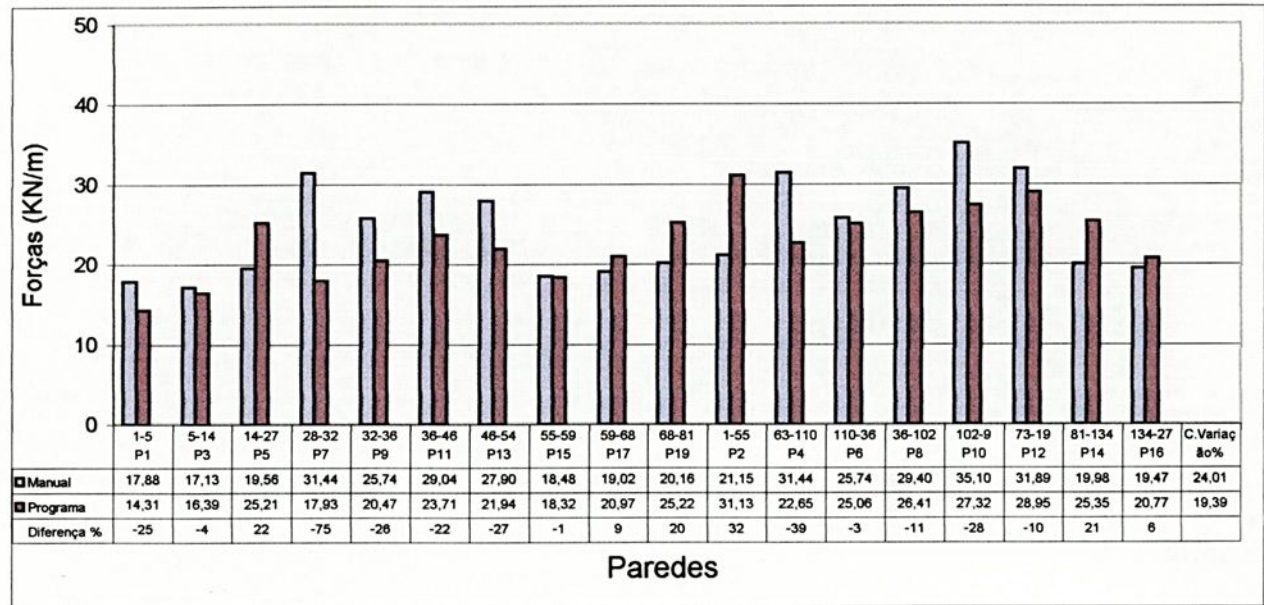


Gráfico 3 – Forças no 6º piso utilizando comprimento total das paredes processos manual e numérico.

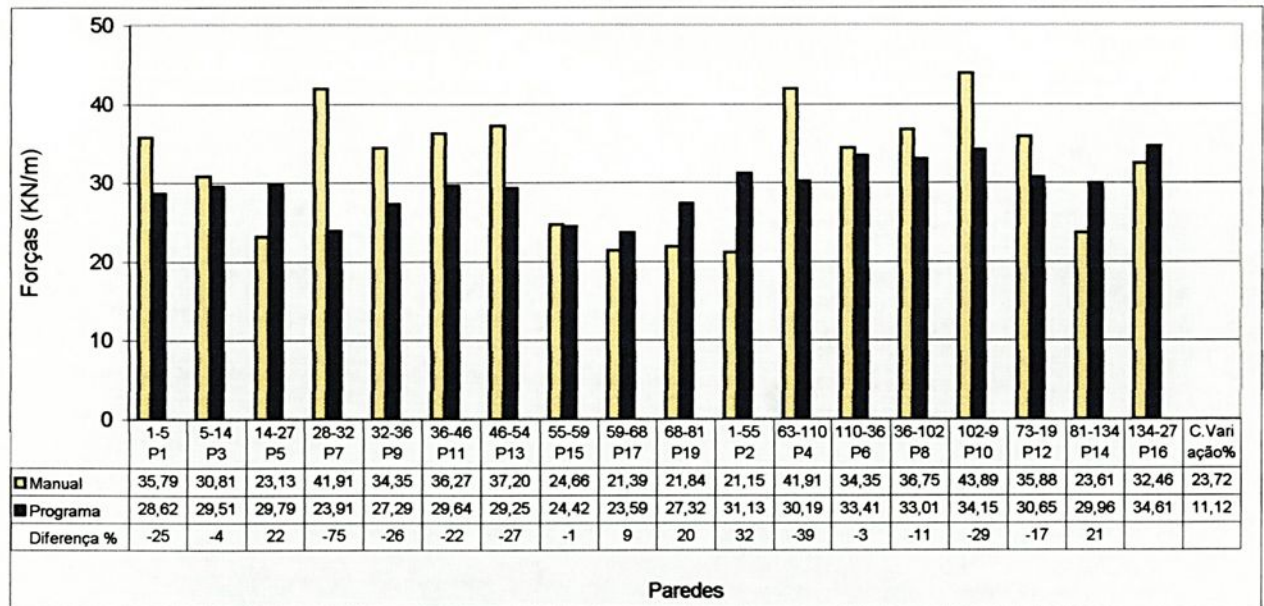


Gráfico 4 – Forças no 6º piso utilizando comprimento real das paredes processos manual e numérico.

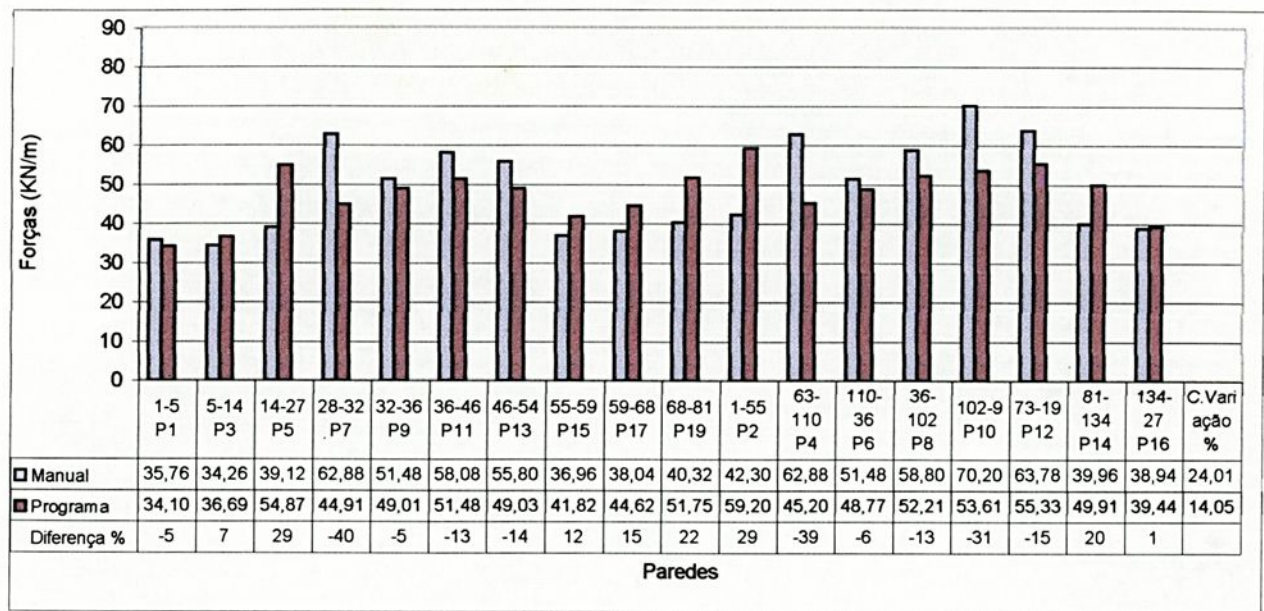


Gráfico 5 – Forças no 3º piso utilizando comprimento total das paredes processos manual e numérico.

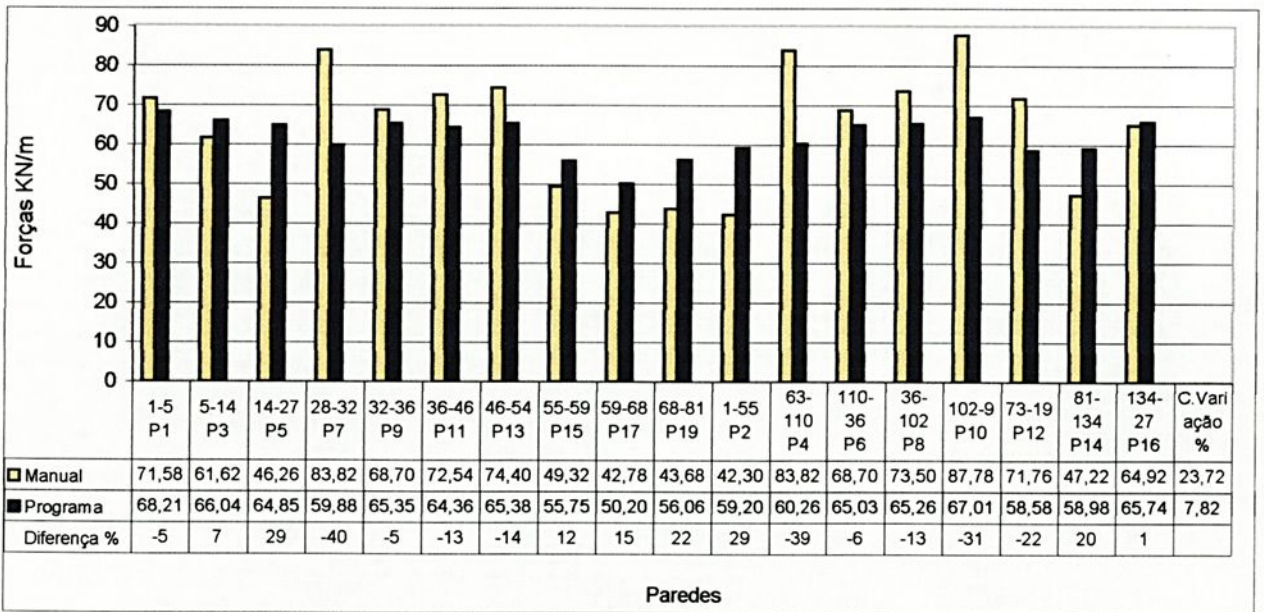


Gráfico 6 – Forças no 3º piso utilizando comprimento real das paredes processos manual e numérico.

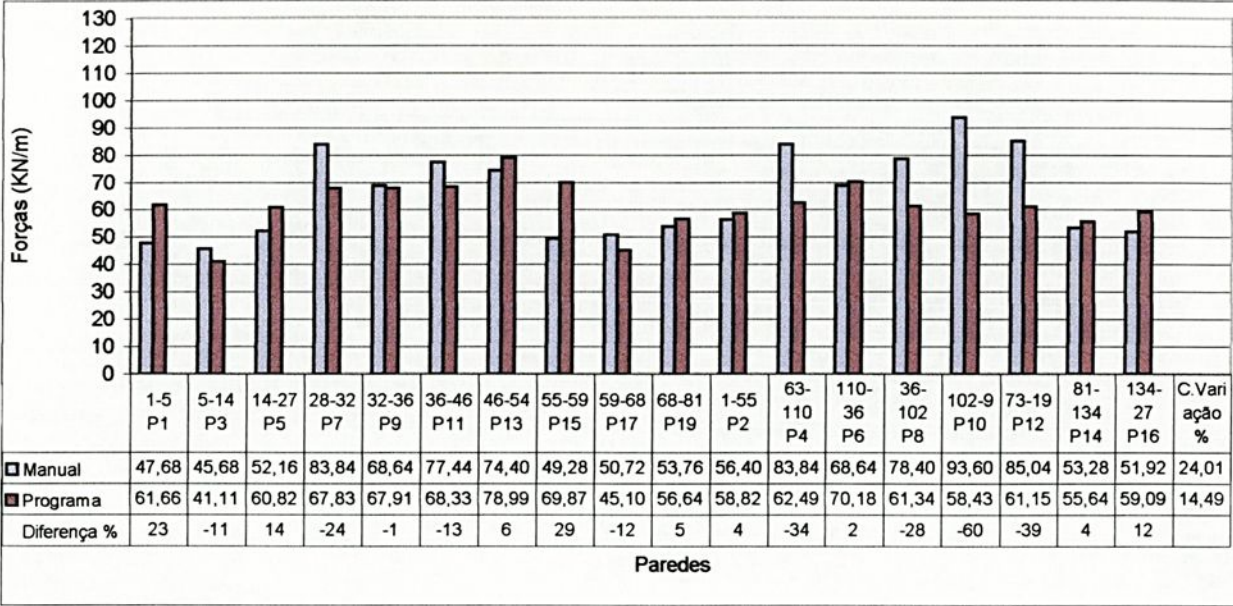


Gráfico 7 – Forças no 1º piso utilizando comprimento total das paredes processos manual e numérico.

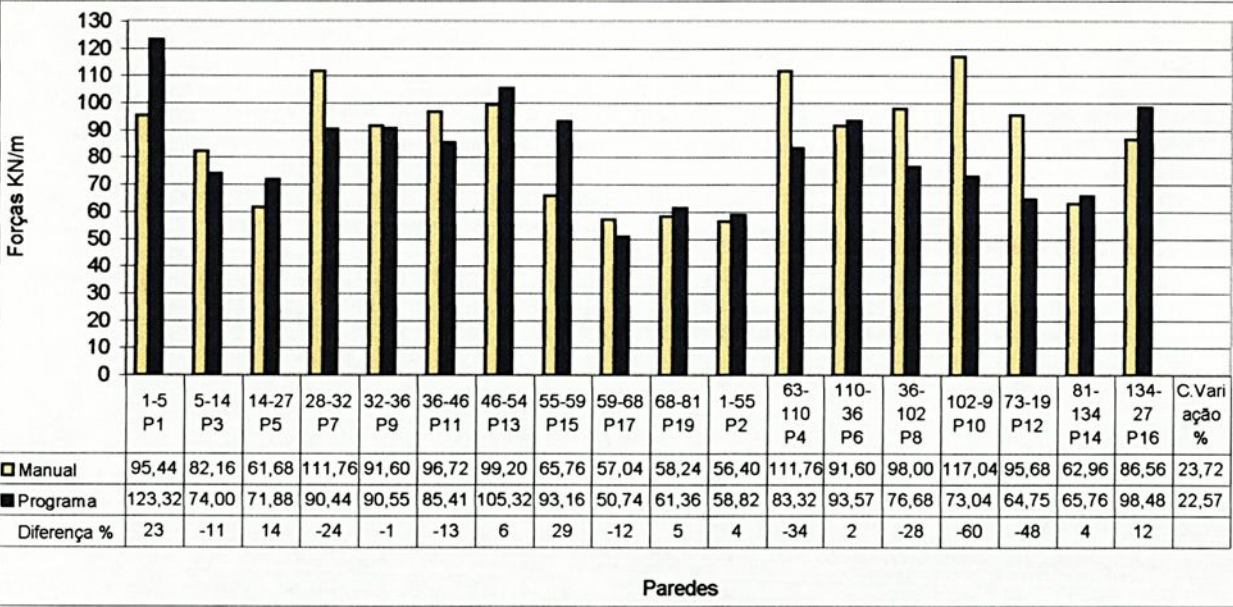


Gráfico 8 – Forças no 1º piso utilizando comprimento efetivo das paredes processos manual e numérico.

De forma semelhante ao observado anteriormente, os gráficos acima também mostram que o processo numérico apresenta melhor uniformização dos resultados e redução dos picos de máximo. Cabe ainda destacar a grande diferença na variabilidade para os dois processos e que mesmo no 6º piso já ocorre uma significativa redistribuição dos esforços para o processo numérico. No 6º piso, para a parede P7, o processo manual resultou em um valor 75% superior em relação ao processo numérico. Para o 1º piso, na parede P10, essa diferença chegou a 60%.

6.3. Distribuição das Ações entre os Grupos de Paredes

Os Gráficos de (9 a 12) apresentam a distribuição dos esforços na cobertura, 6º piso, 3º piso e 1º piso para os grupos de paredes, comprimentos total e real, processos numérico e manual. Obteve-se o coeficiente de variação ao longo da altura do grupo de paredes representado percentualmente (C.V.Grupo%) e o coeficiente de variação dos grupos no nível analisado (C.V.Nível%) conforme descrito anteriormente.

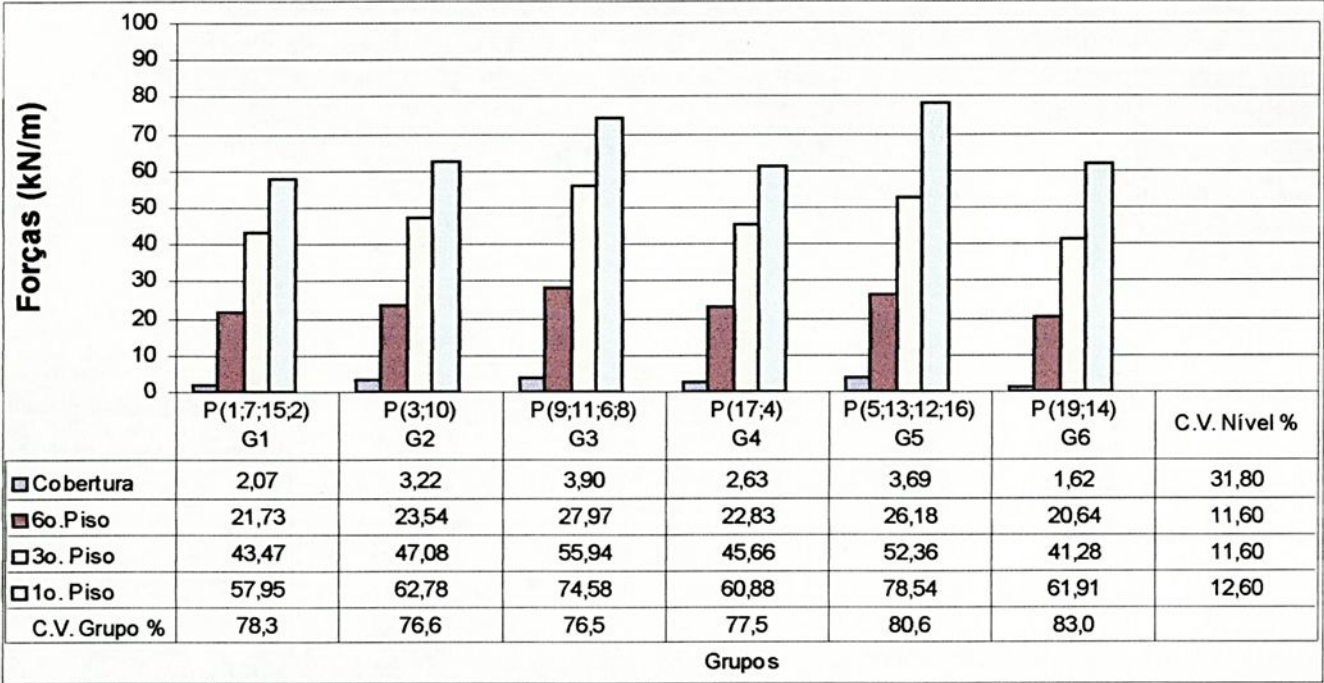


Gráfico 9 - Grupos de paredes utilizando processo manual comprimento total.

Os gráficos em referência mostram que as paredes quando analisadas como grupo têm significativa tendência de homogeneização das ações verticais, sendo que o coef. de variação, por nível, chegou a apresentar uma redução da ordem de 50%, para o processo manual.

Mesmo no processo numérico existe importante redução na variabilidade em relação ao sistema de paredes isoladas, sendo que já no 6º piso ocorre uma significativa uniformização de esforços.

Em relação ao sistema das paredes isoladas, no primeiro piso verificou-se uma redução de aproximadamente 16% no valor das máximas ações verticais, tanto para o processo manual como para o numérico.

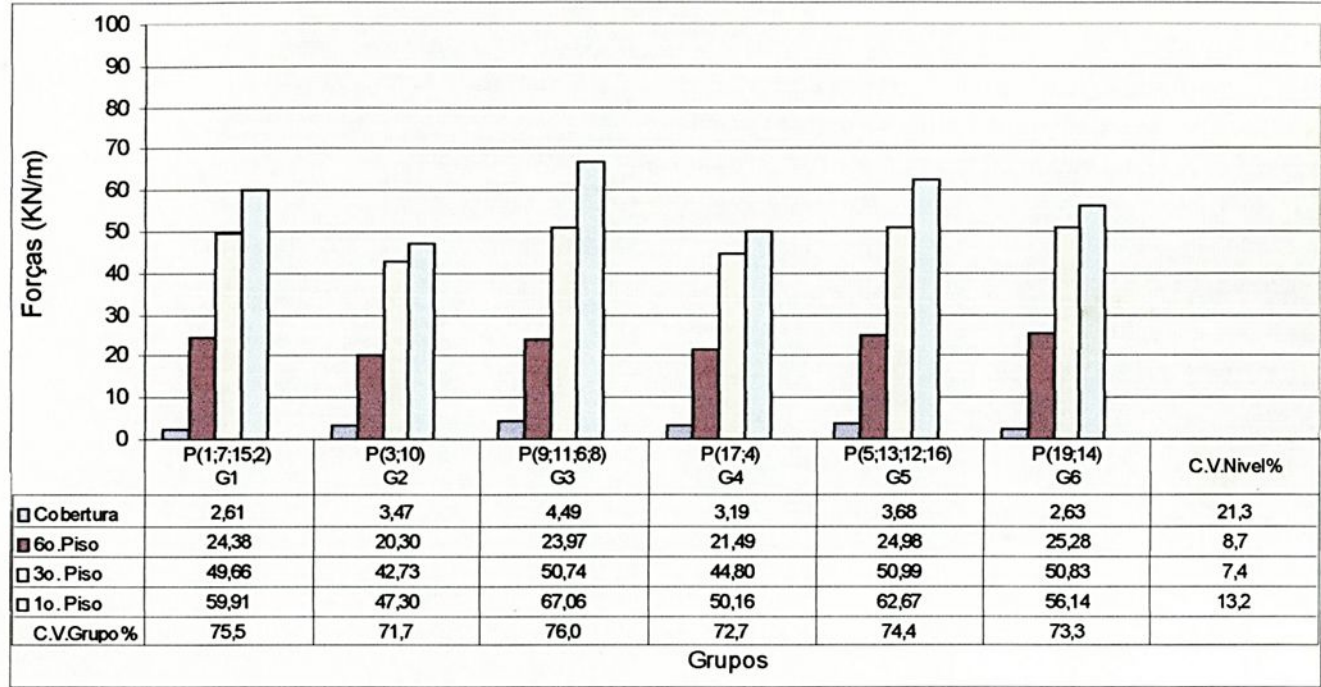


Gráfico 10 - Grupos de paredes utilizando processo numérico comprimento total.

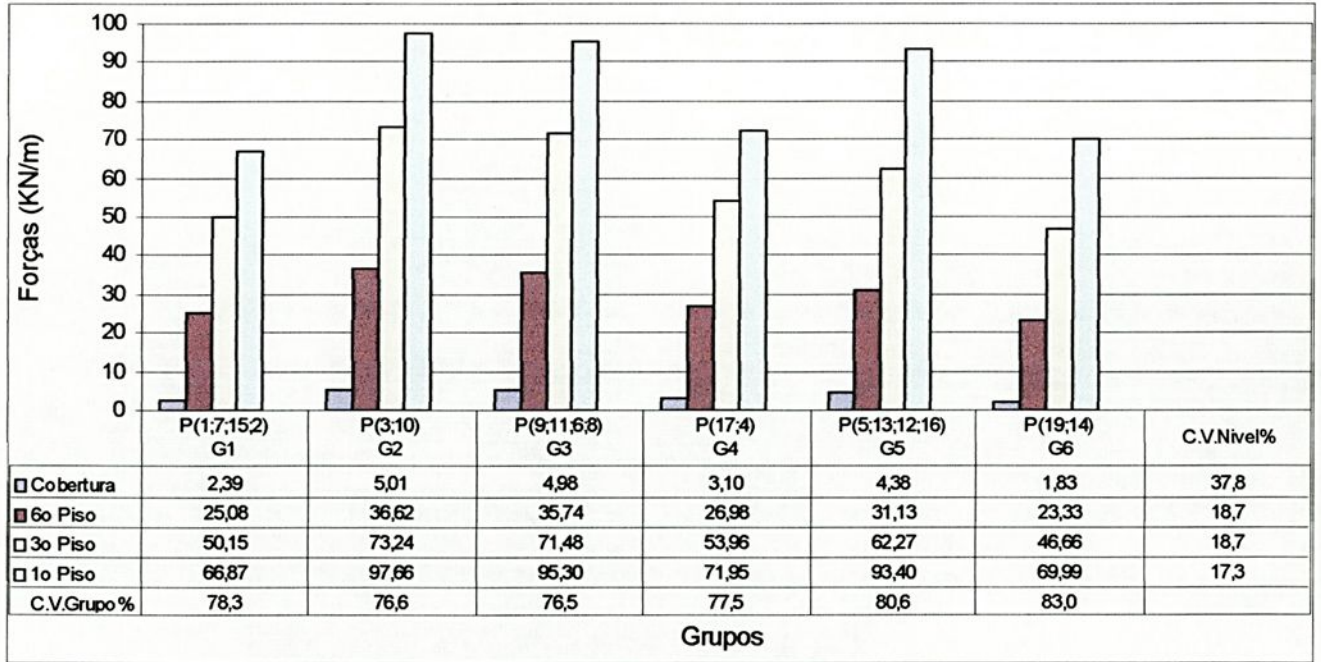


Gráfico 11 - Grupos de paredes utilizando processo manual comprimento real.

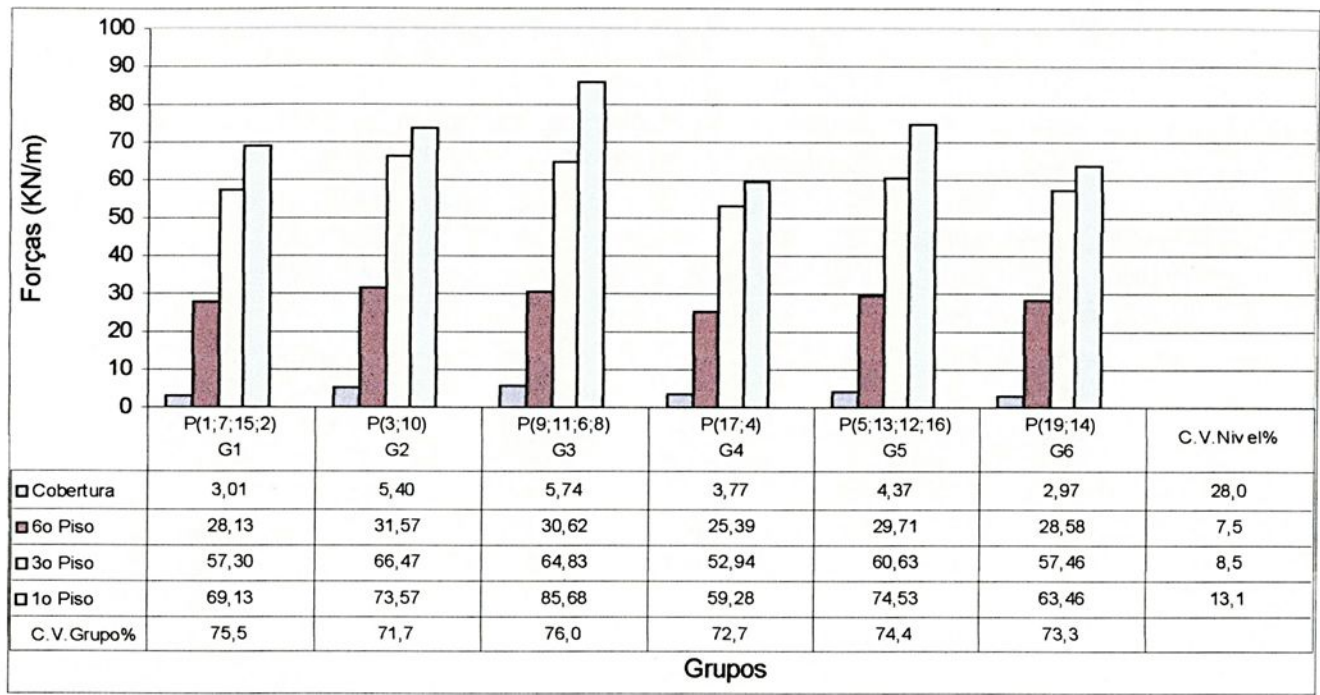


Gráfico 12 –Grupos de paredes utilizando processo numérico comprimento total.

6.4. Distribuição das Ações ao Longo da Altura do Edifício

Os Gráficos (13 a 16) apresentam a distribuição dos esforços na cobertura, 6º piso, 3º piso e 1º piso para as paredes isoladas, comprimentos total e real, processos numérico e manual.

Observa-se, novamente, considerável redução nos picos de máxima solicitação no processo numérico em relação ao manual. O coeficiente de variação diminui significativamente, tendendo a se manter estável após o 3º piso. Esse valor se reduz em torno de 40% para as paredes analisadas com seu comprimento total.

É importante chamar a atenção para os gráficos (13) e (14), onde a parede P15 apresentou um acréscimo de ~42% no processo numérico e a parede P1 um acréscimo de ~29%. Esse fato demonstra que o processo manual pode, em algumas situações, subestimar os esforços atuantes em alguns elementos.

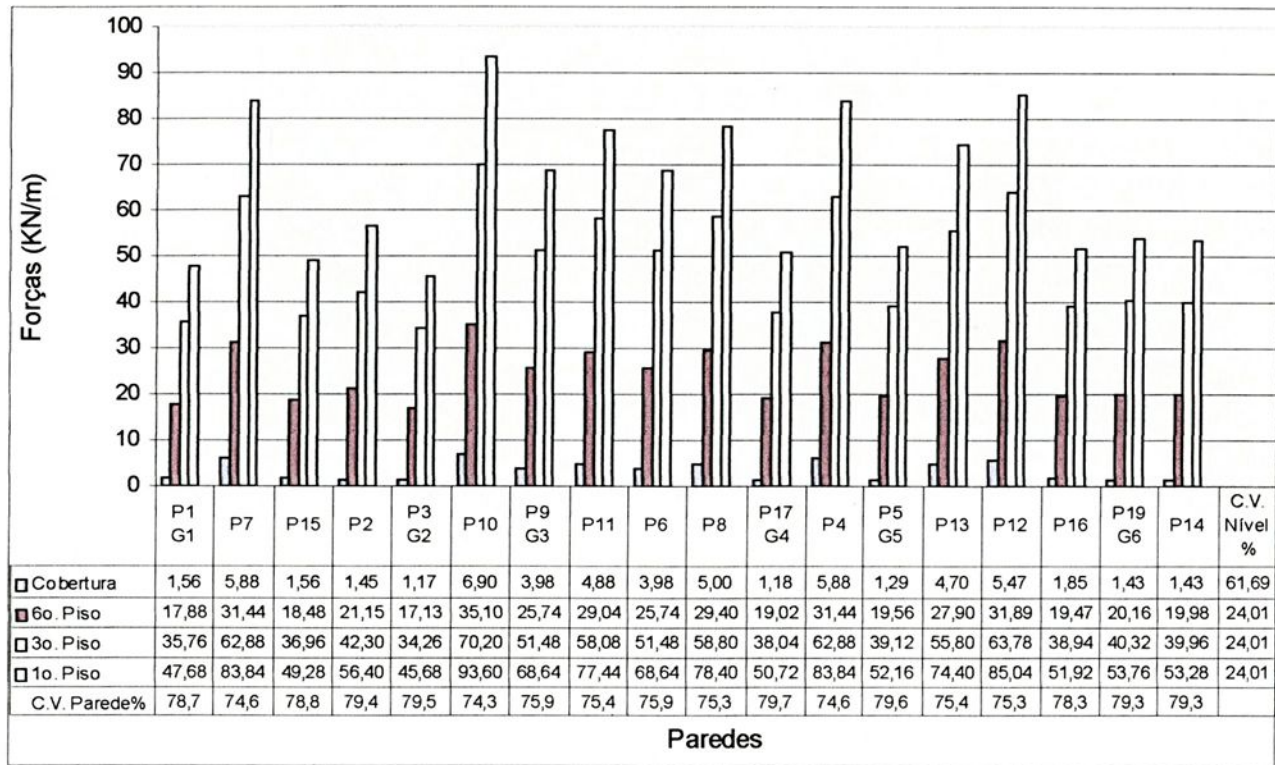


Gráfico 13 – Forças utilizando comprimento total das paredes através do processo manual.

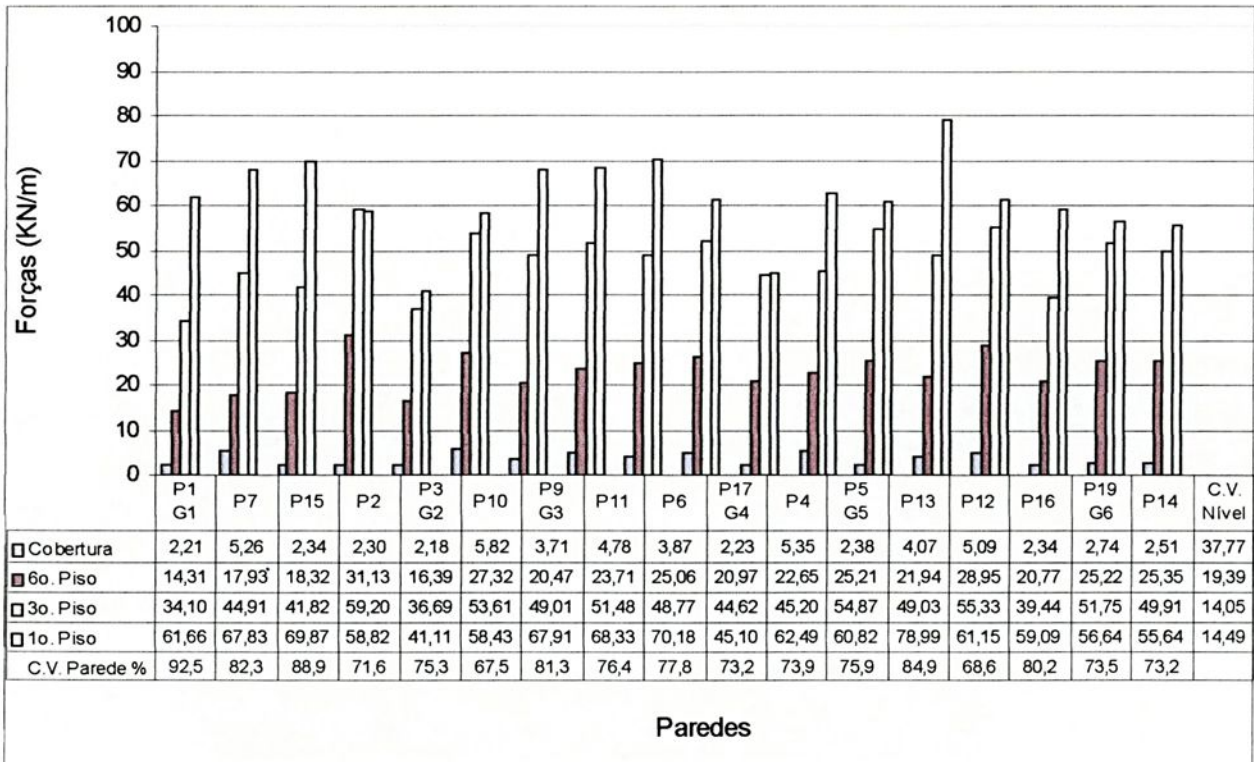


Gráfico 14 – Forças utilizando comprimento total das paredes através do processo numérico.

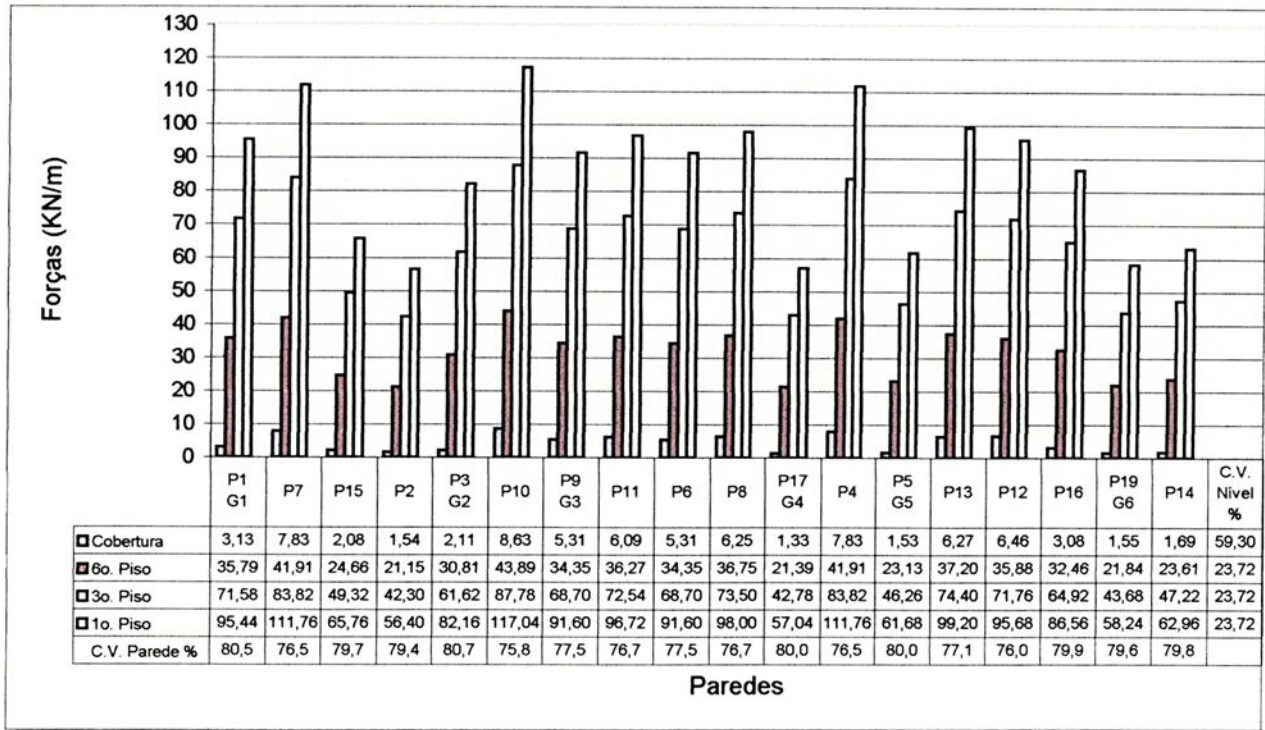


Gráfico 15 – Forças utilizando comprimento real das paredes a através do processo manual.

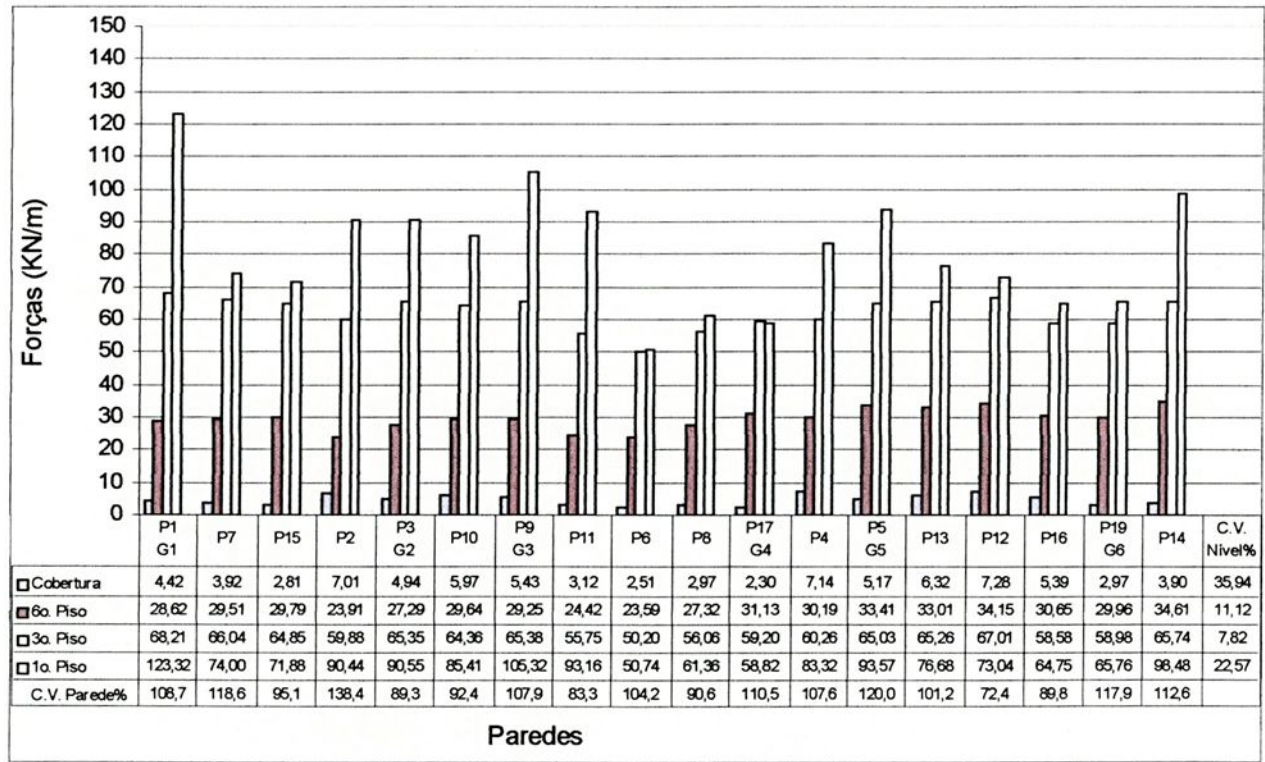


Gráfico 16 – Forças no utilizando comprimento real das paredes através do processo numérico.

6.5. DISTRIBUIÇÃO AÇÕES PARA TRÊS FUNDAÇÕES PROCESSO NUMÉRICO

Os Gráficos (17 a 34) apresentam os nós dos elementos, conforme figura (03), com as respectivas forças atuantes nas três soluções de fundações propostas. Os resultados abaixo, das forças verticais em cada um dos nós definidos na figura (03), são apresentados segundo a numeração definida nessa figura e que corresponde a um alinhamento de parede.

6.5.1. Parede Nós 1 a 27

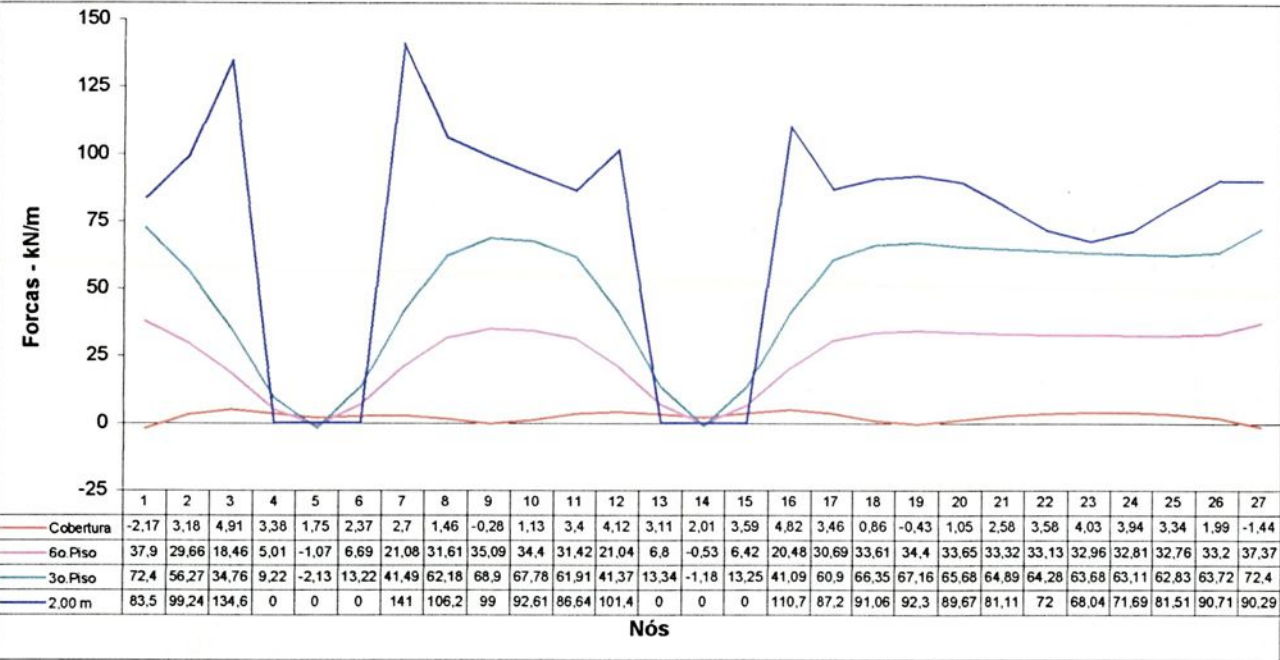


Gráfico 17 – Fundação 1 : estacas nos encontros das paredes.

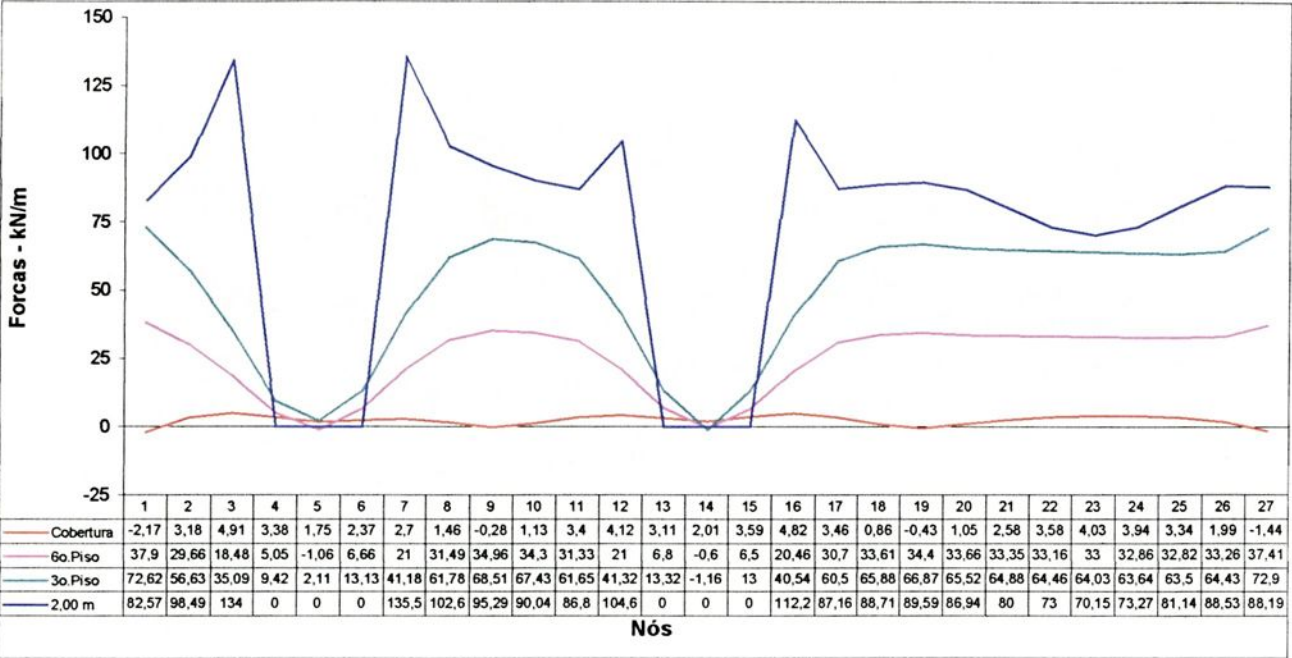


Gráfico 18 – Fundação 2 : estacas distribuídas nos encontros das paredes.

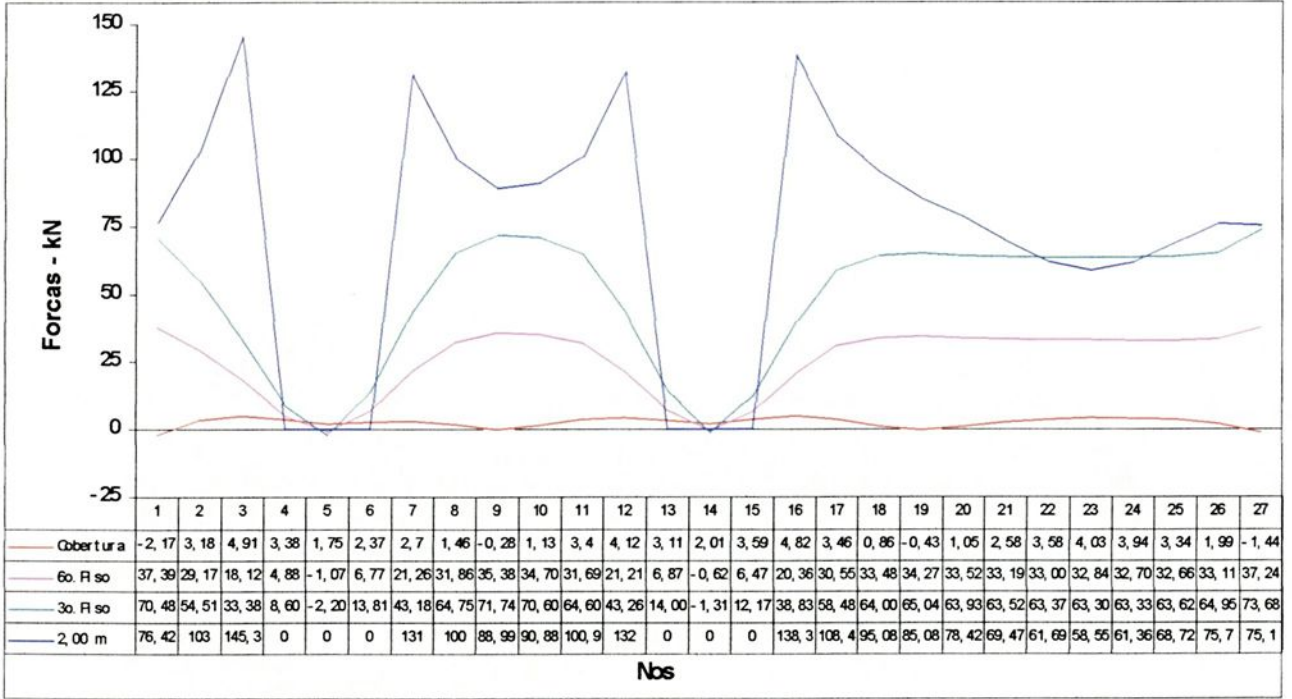
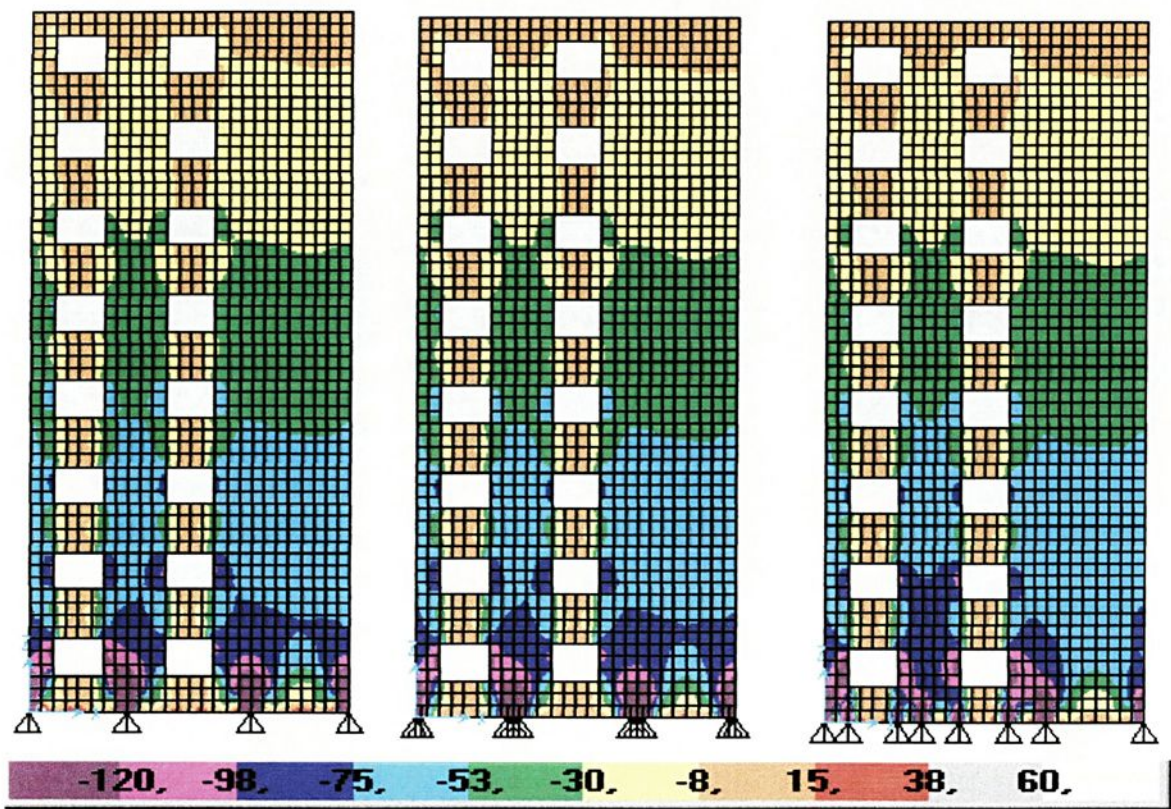


Gráfico 19 – Fundação 3 : estacas nos encontros das paredes e no alinhamento das aberturas.



Fundação 1

Fundação 2

Fundação 3

6.5.2. Parede Nós 28 a 54

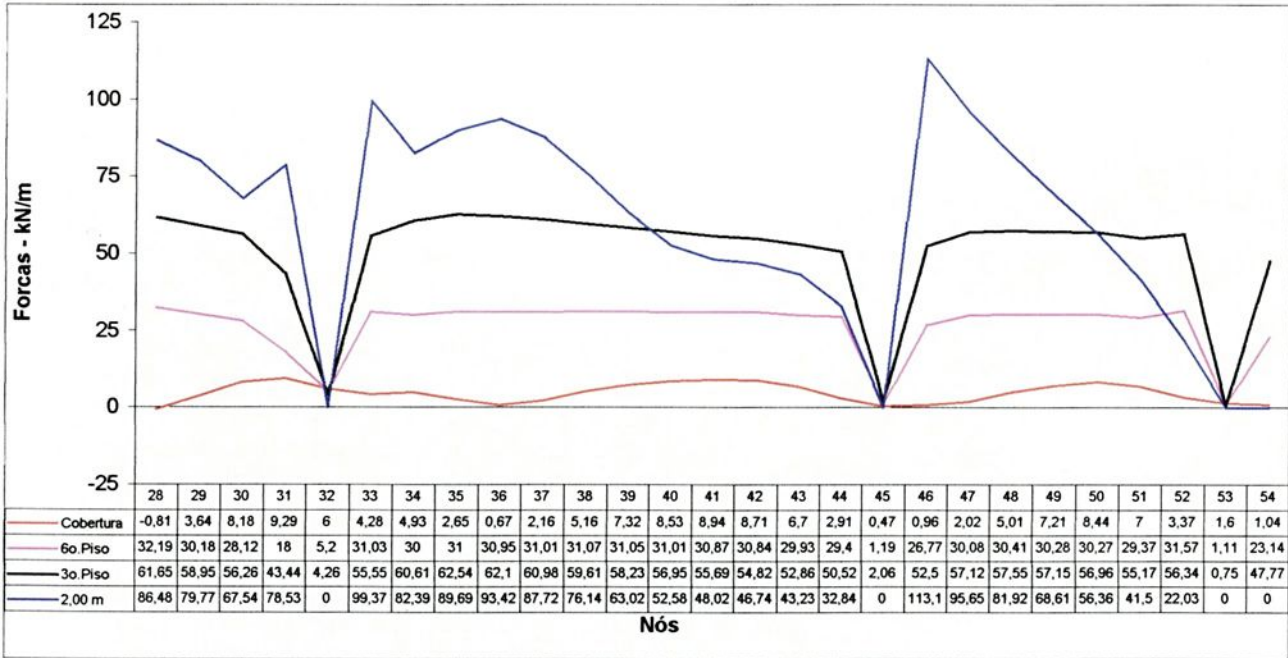


Gráfico 20 – Fundação 1 : estacas nos encontros das paredes.

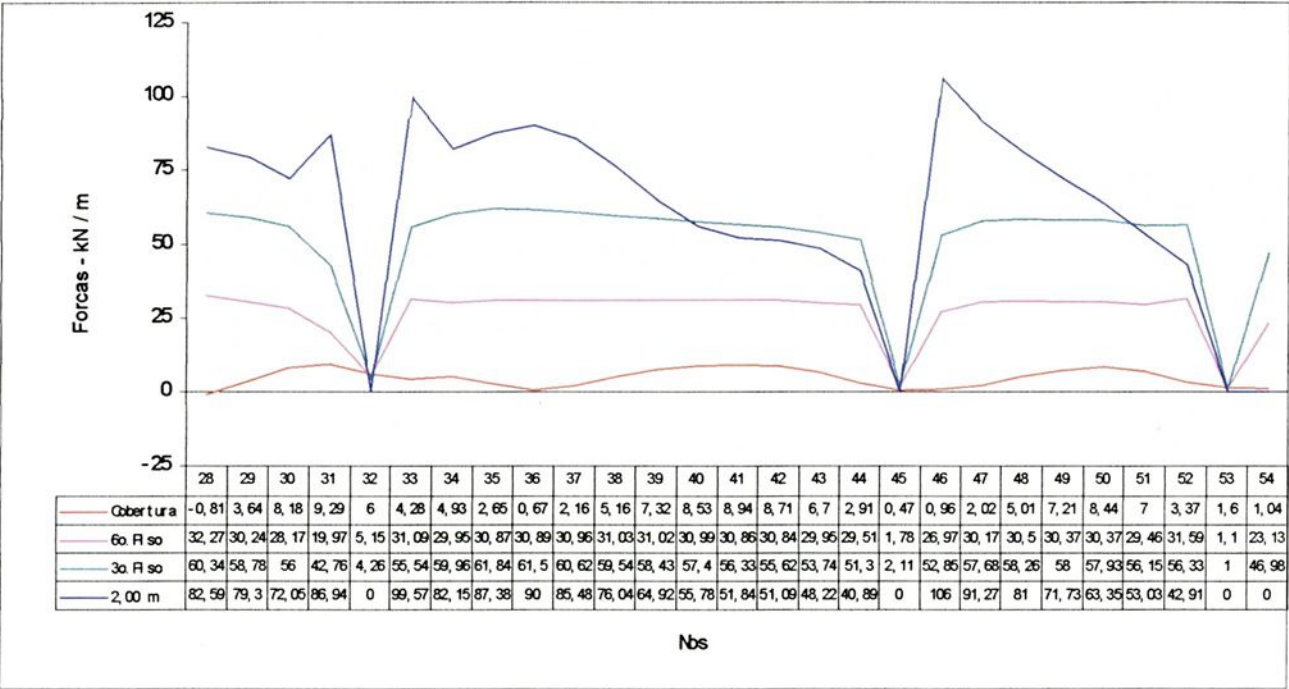


Gráfico 21 - Fundação 2 : estacas distribuídas nos encontros das paredes.

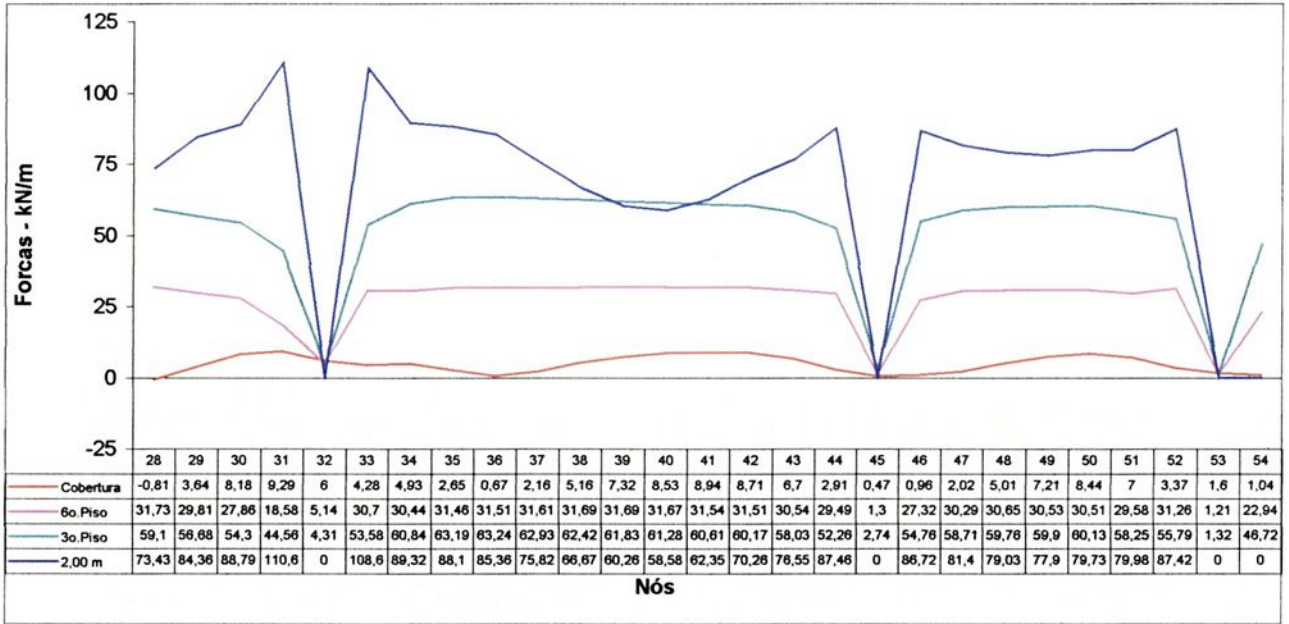
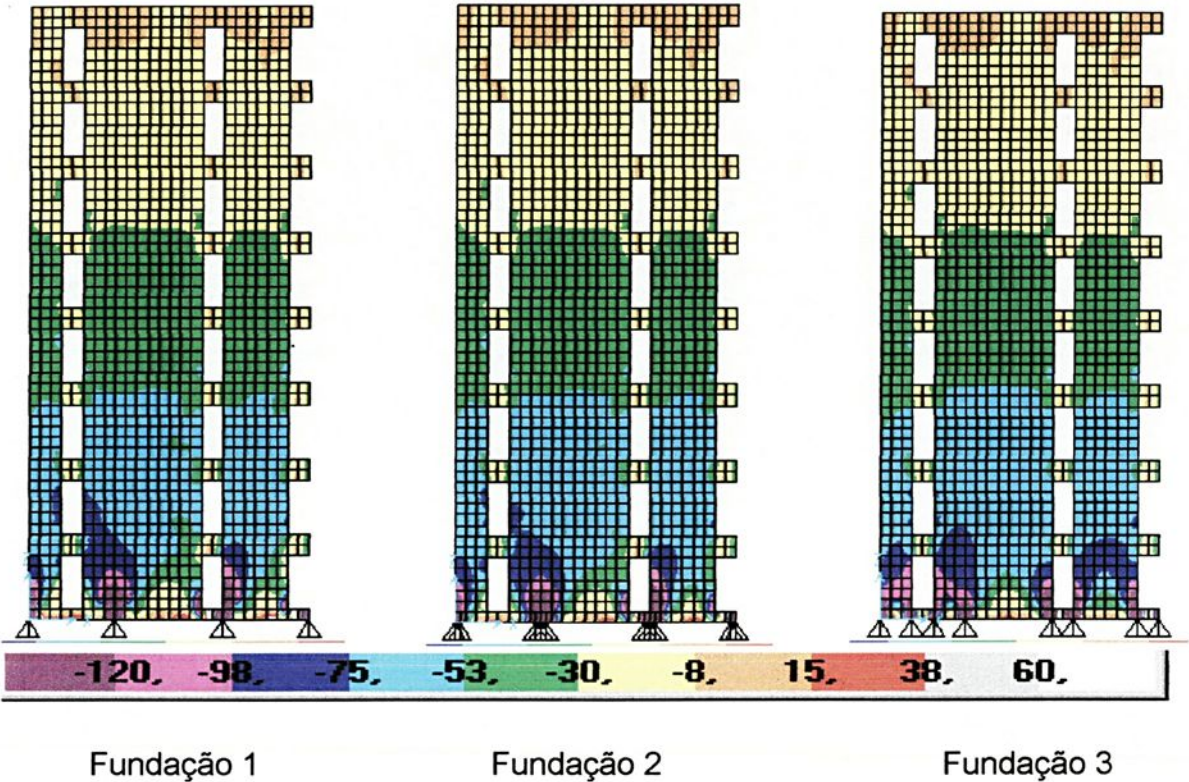


Gráfico 22 - Fundação 3 : estacas nos encontros das paredes e no alinhamento das aberturas.



6.5.3. Parede Nós 55 a 81

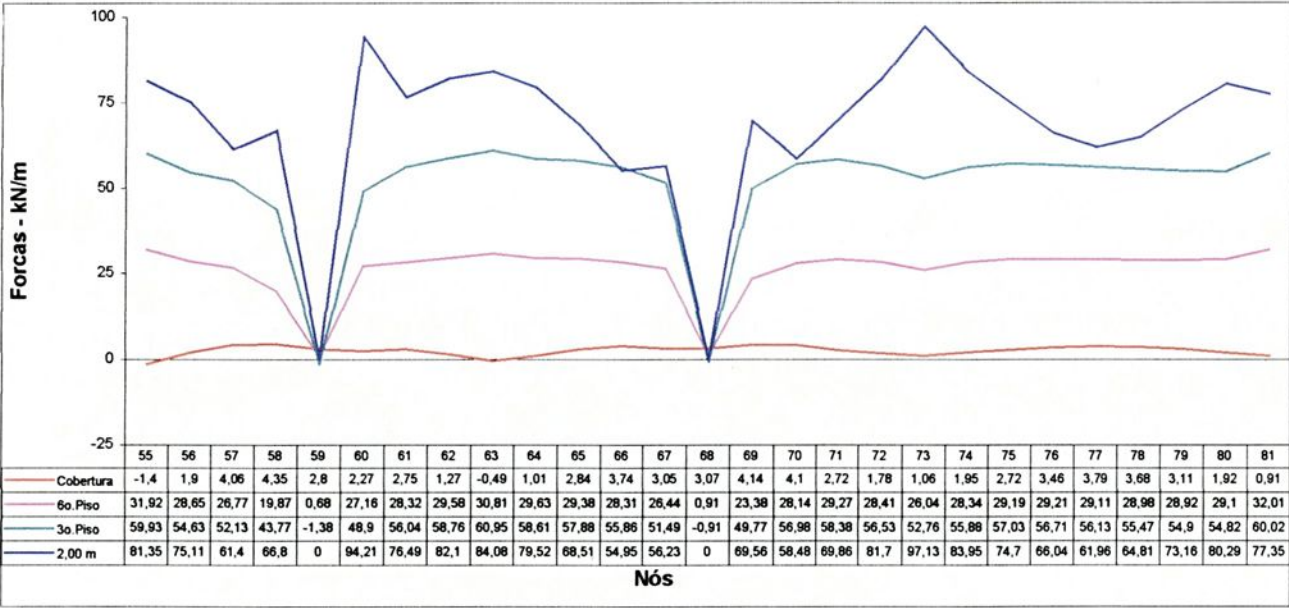


Gráfico 23 – Fundação 1 : estacas nos encontros das paredes.

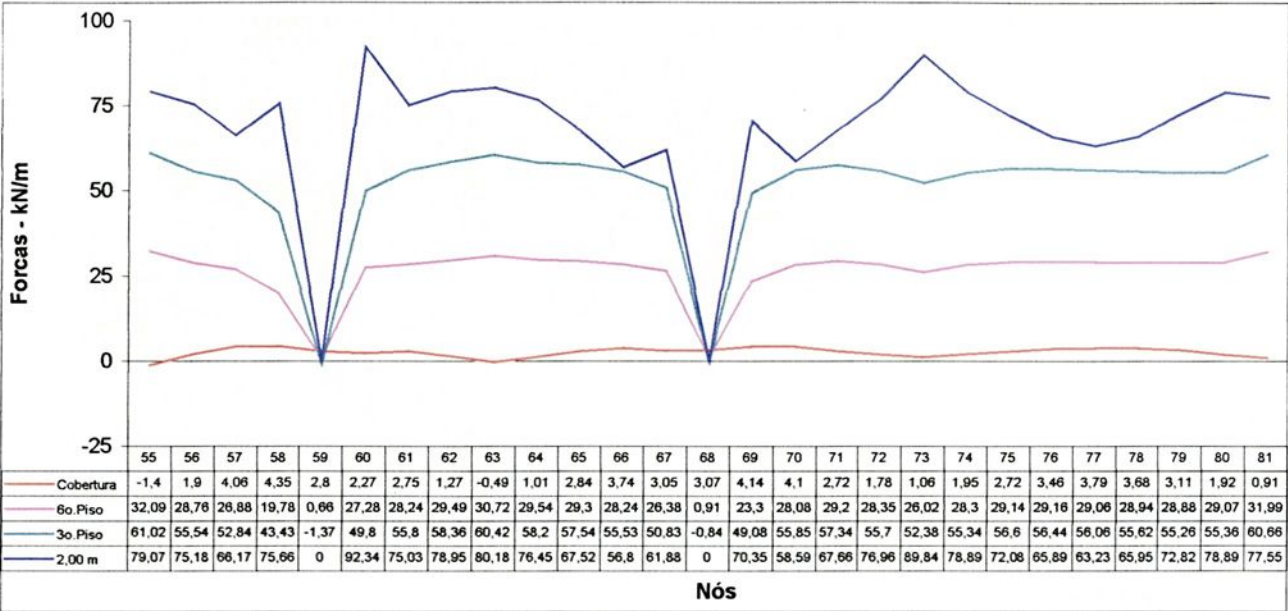


Gráfico 24 – Fundação 2 : estacas distribuídas nos encontros das paredes.

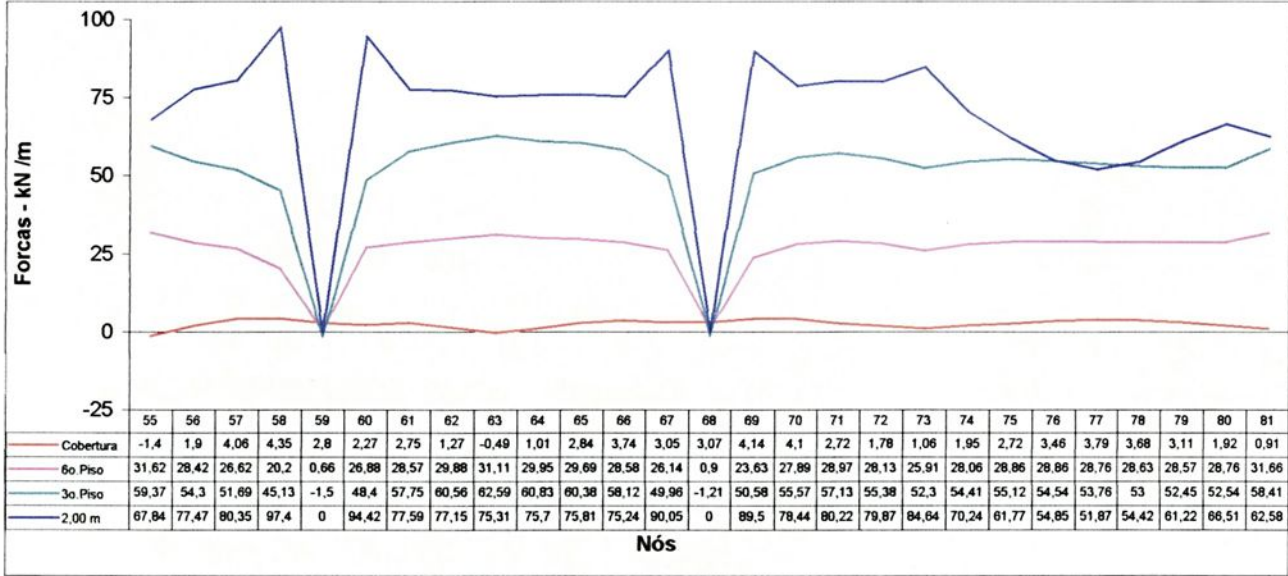
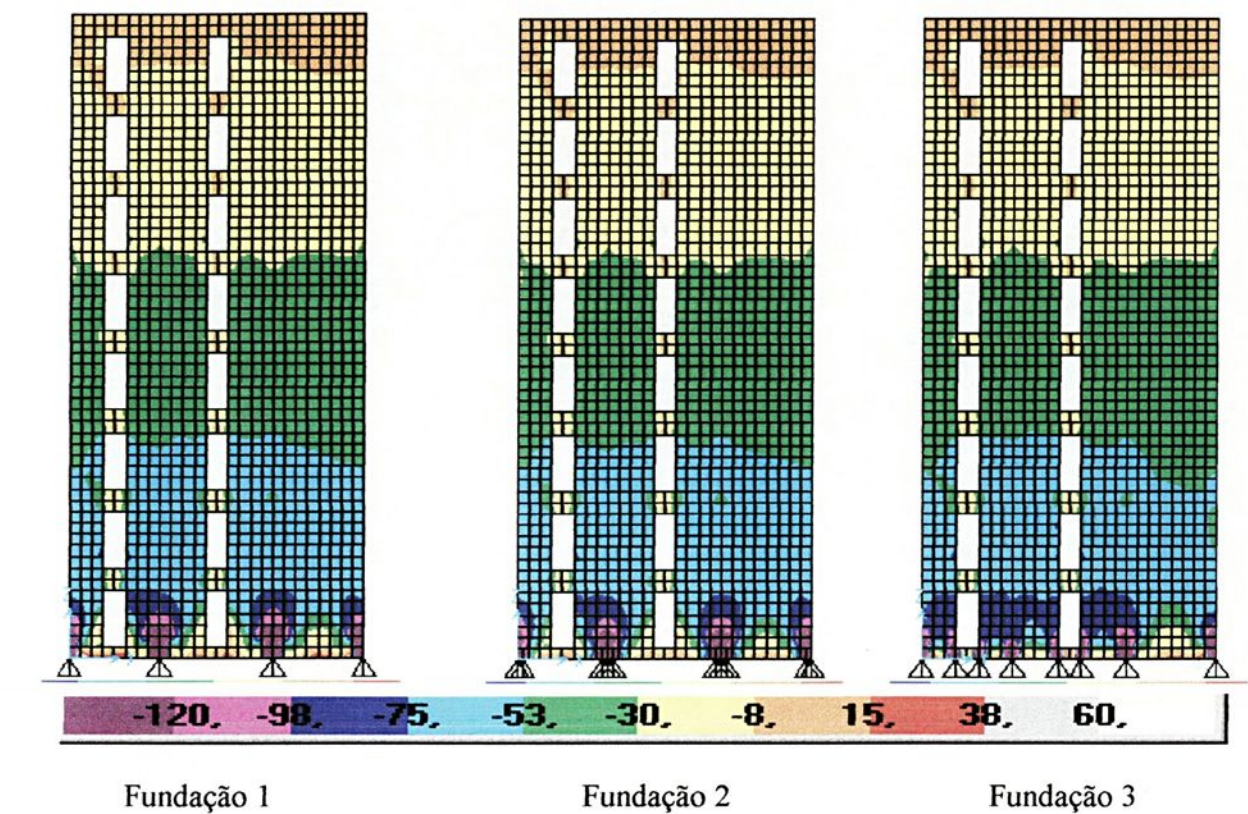


Gráfico 25 – Fundação 3 : estacas nos encontros das paredes e nos alinhamentos das aberturas.



6.5.4. Paredes Transversais

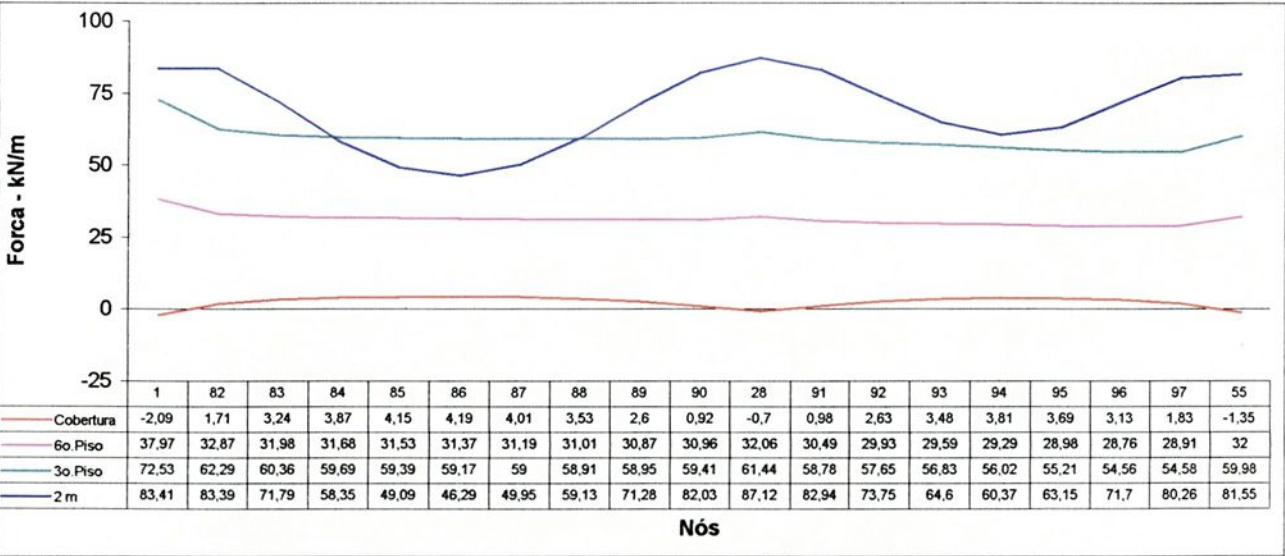


Gráfico 26 – Fundação 1 : estacas nos encontros das paredes.

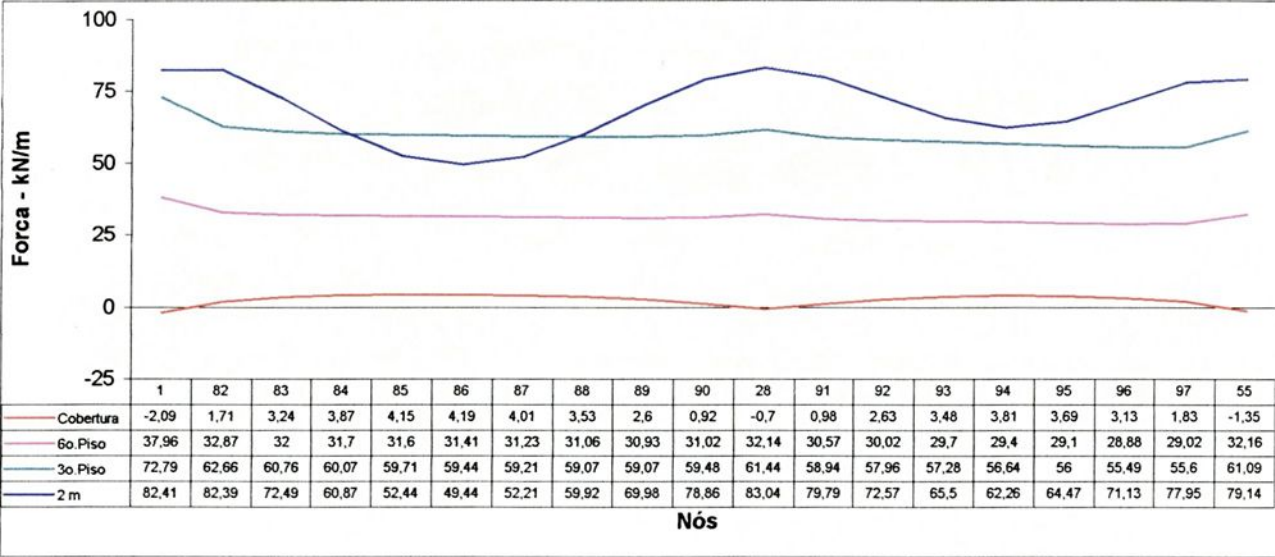


Gráfico 27 – Fundação 2 : estacas distribuídas nos encontros das paredes.

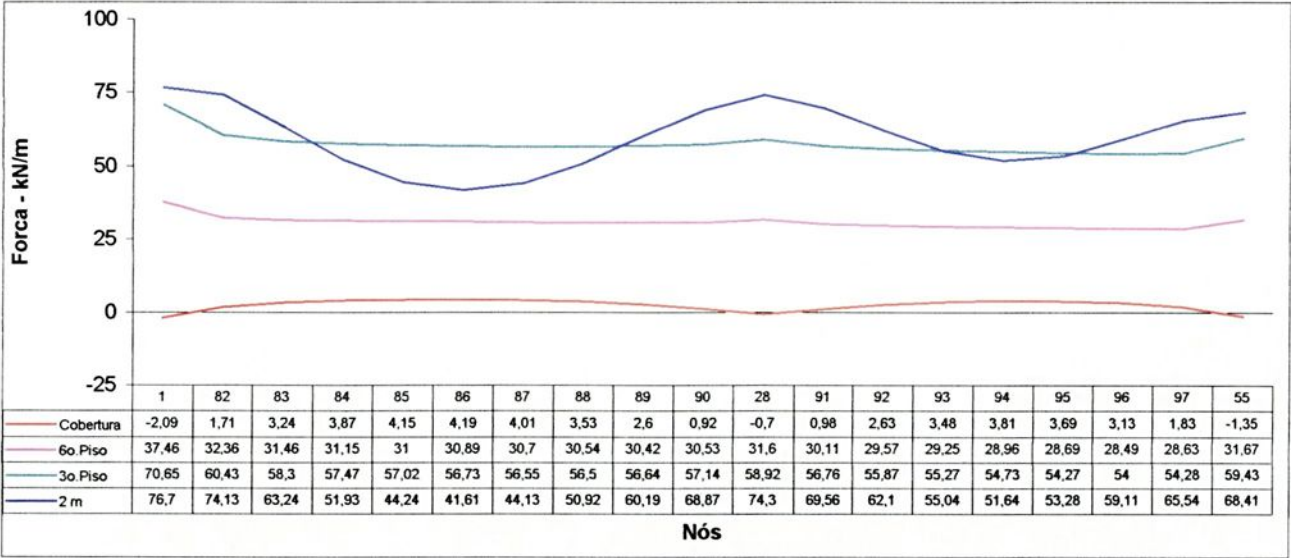


Gráfico 28 – Fundação 3 : estacas nos encontros das paredes e nos alinhamentos das aberturas.

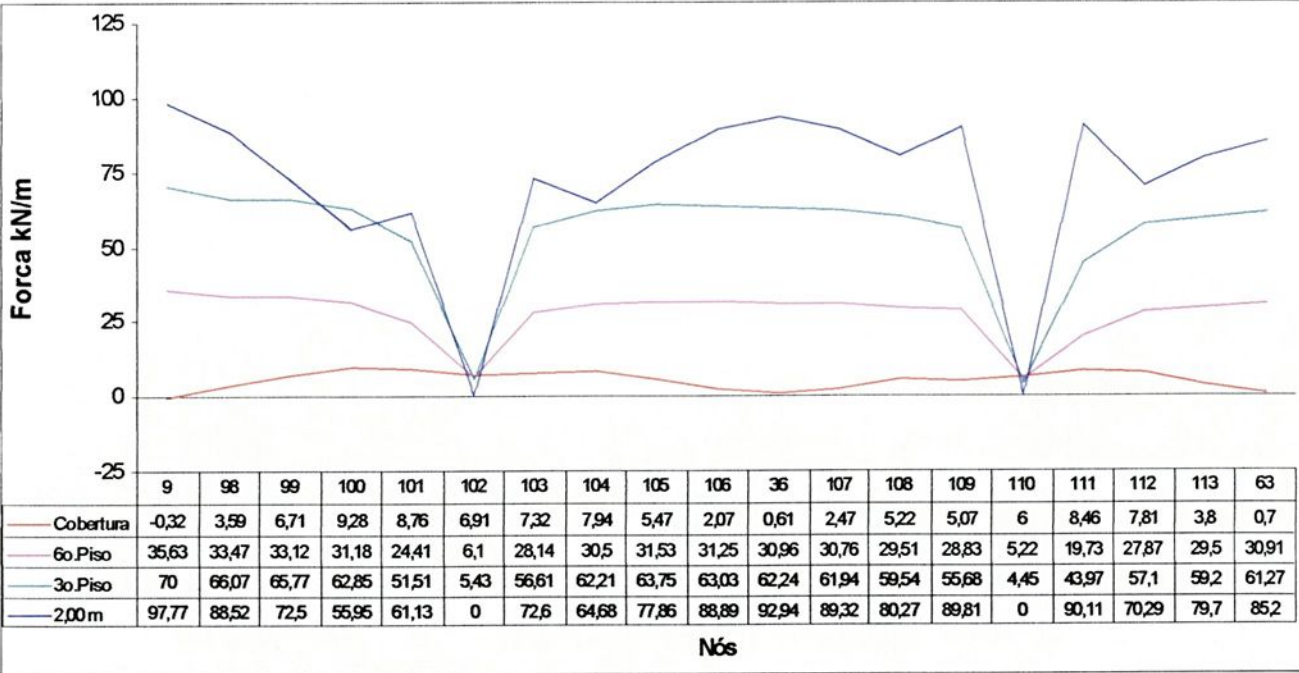
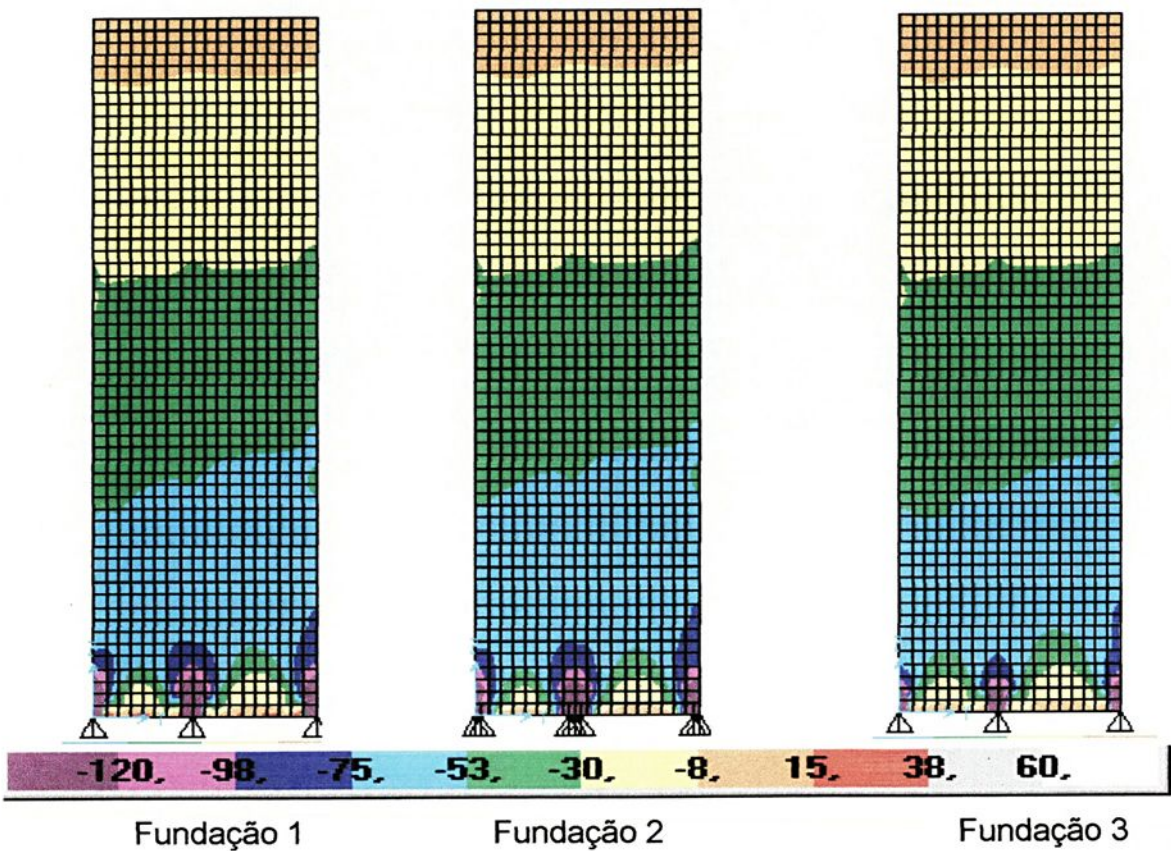


Gráfico 29 – Fundação 1 : estacas nos encontros das paredes.

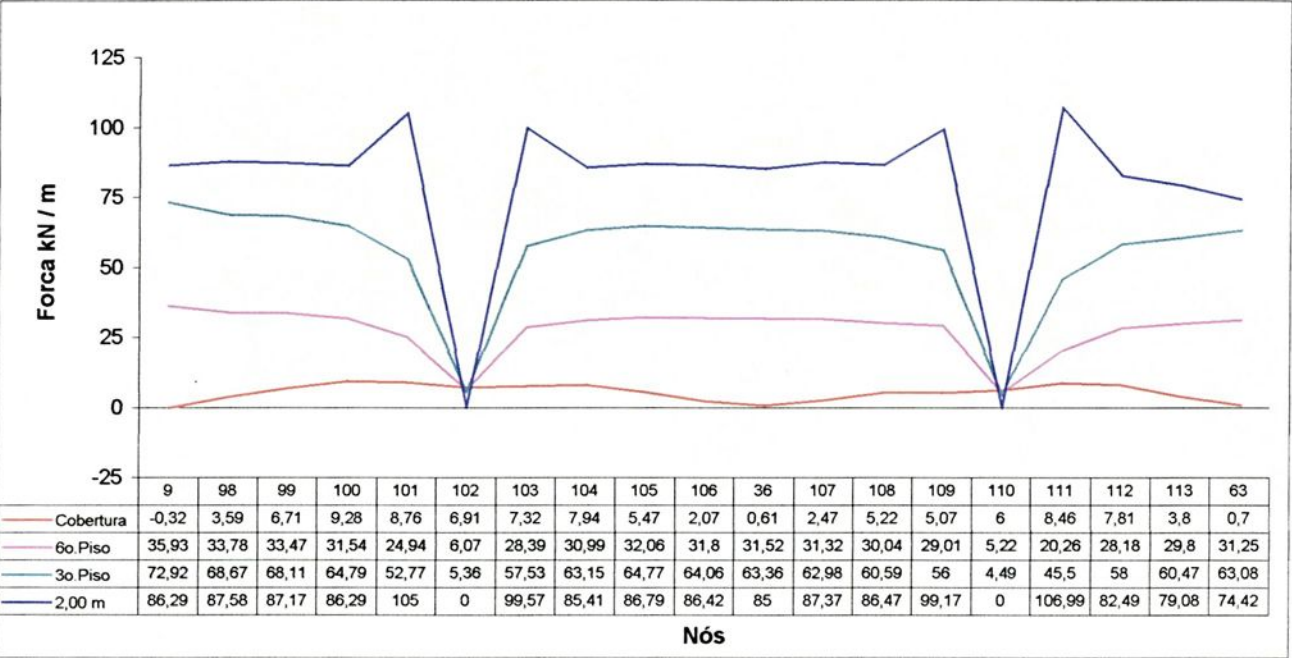


Gráfico 30 – Fundação 2 : estacas distribuídas nos encontros das paredes.

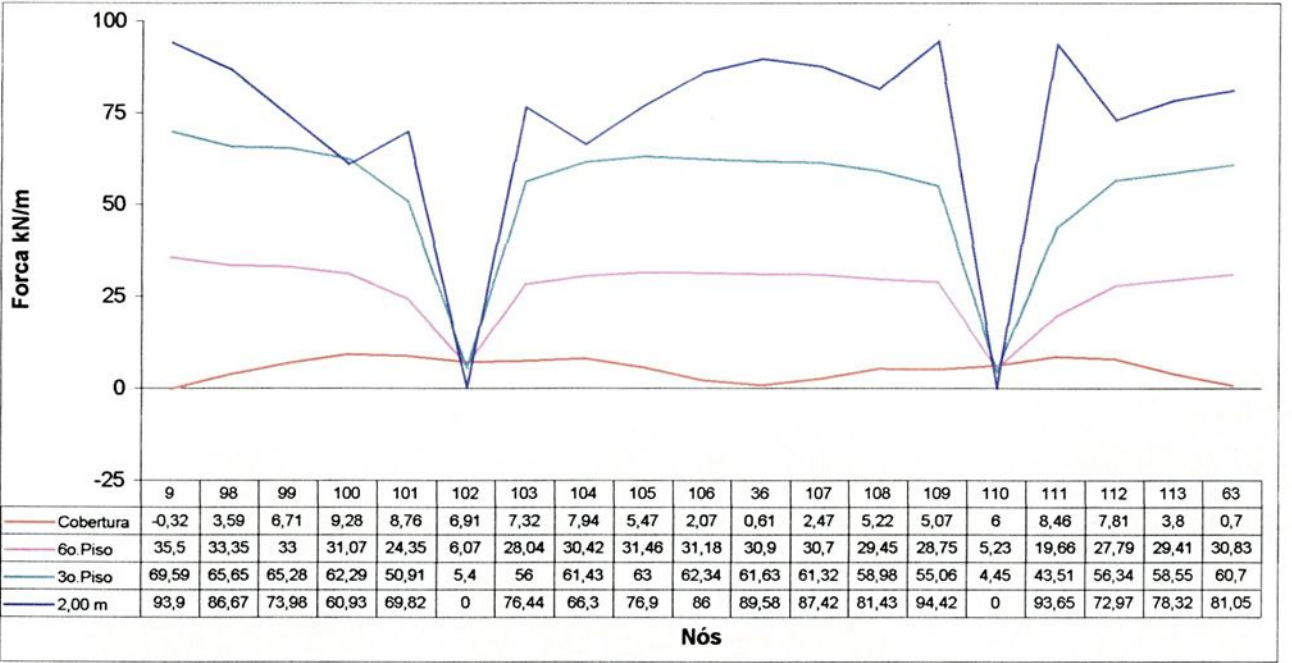


Gráfico 31 – Fundação 3 : estacas nos encontros das paredes e nos alinhamentos das aberturas.

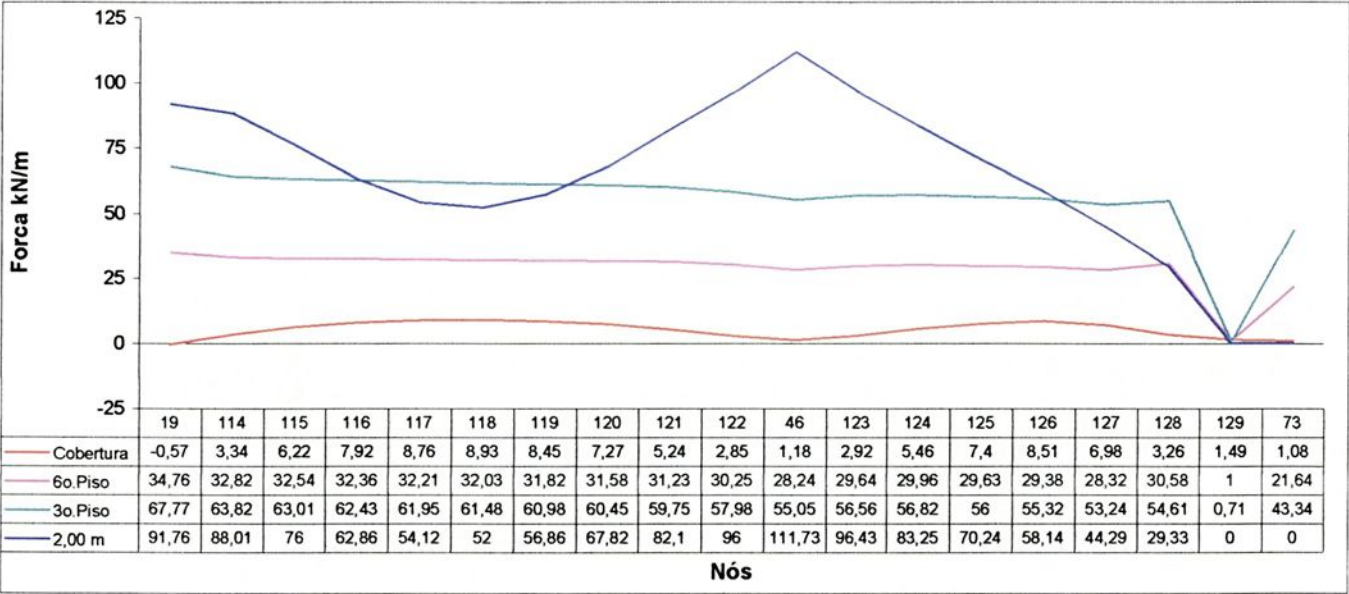
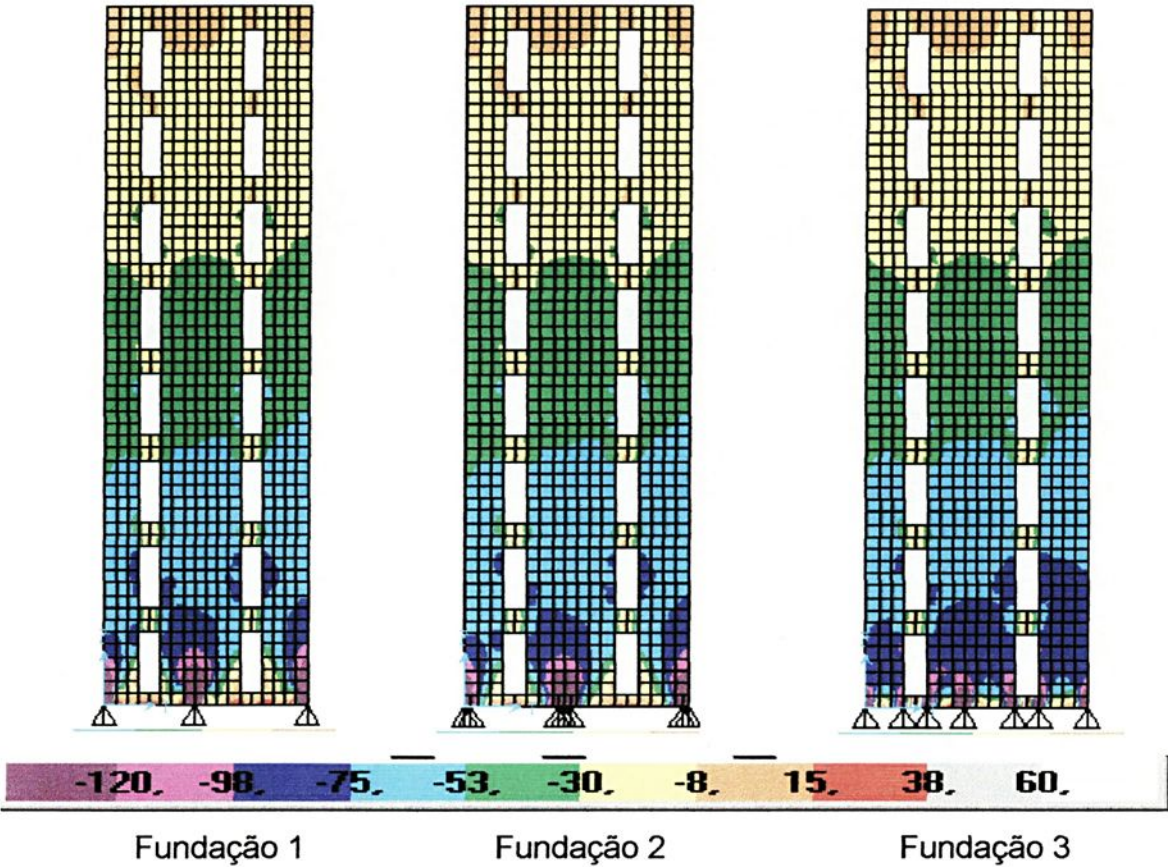


Gráfico 32 – Fundação 1 : estacas nos encontros das paredes.

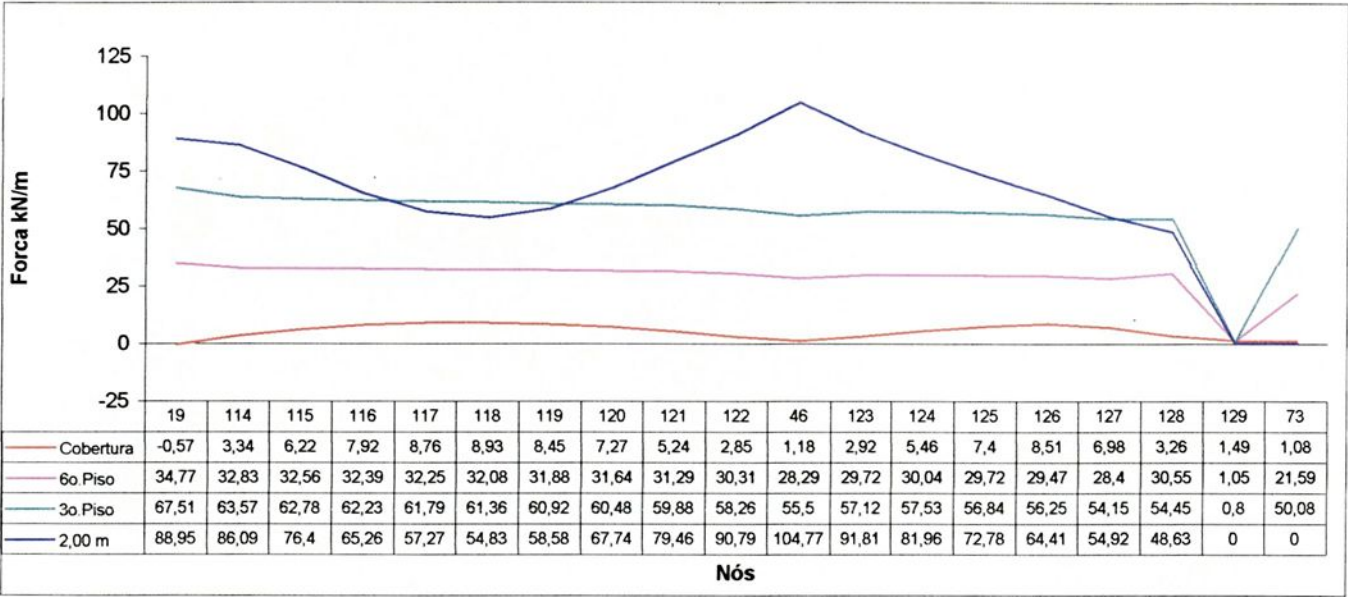


Gráfico 33 – Fundação 2 : estacas distribuídas nos encontros das paredes.

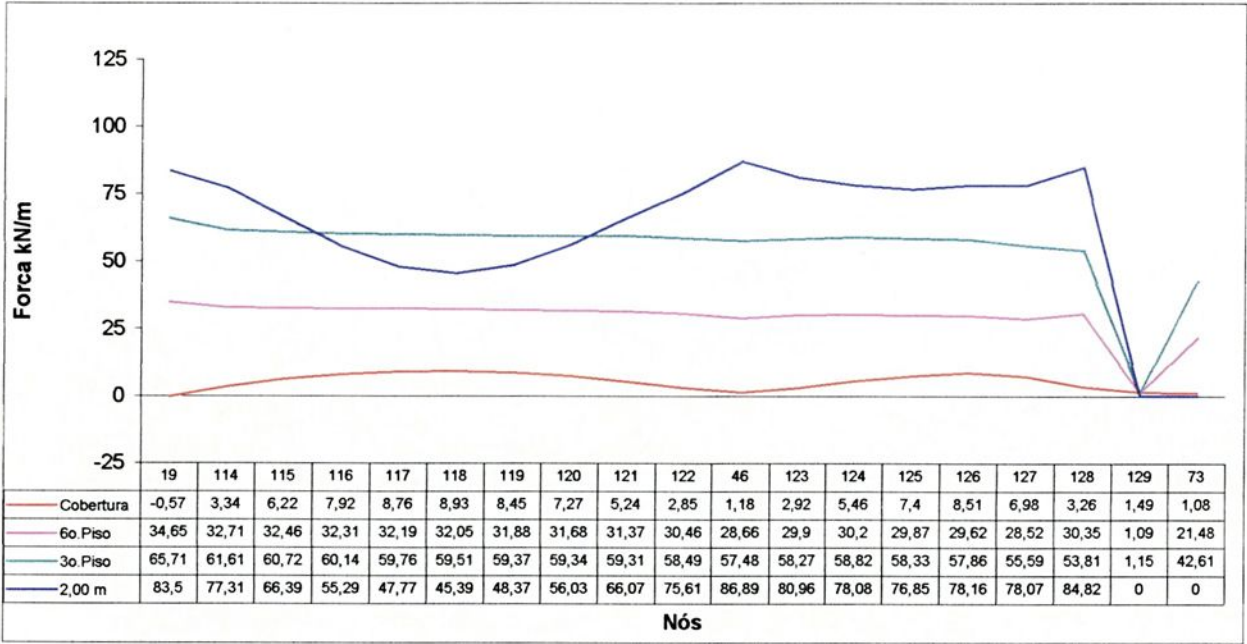


Gráfico 34 – Fundação 3 : estacas nos encontros das paredes e nos alinhamentos das aberturas.

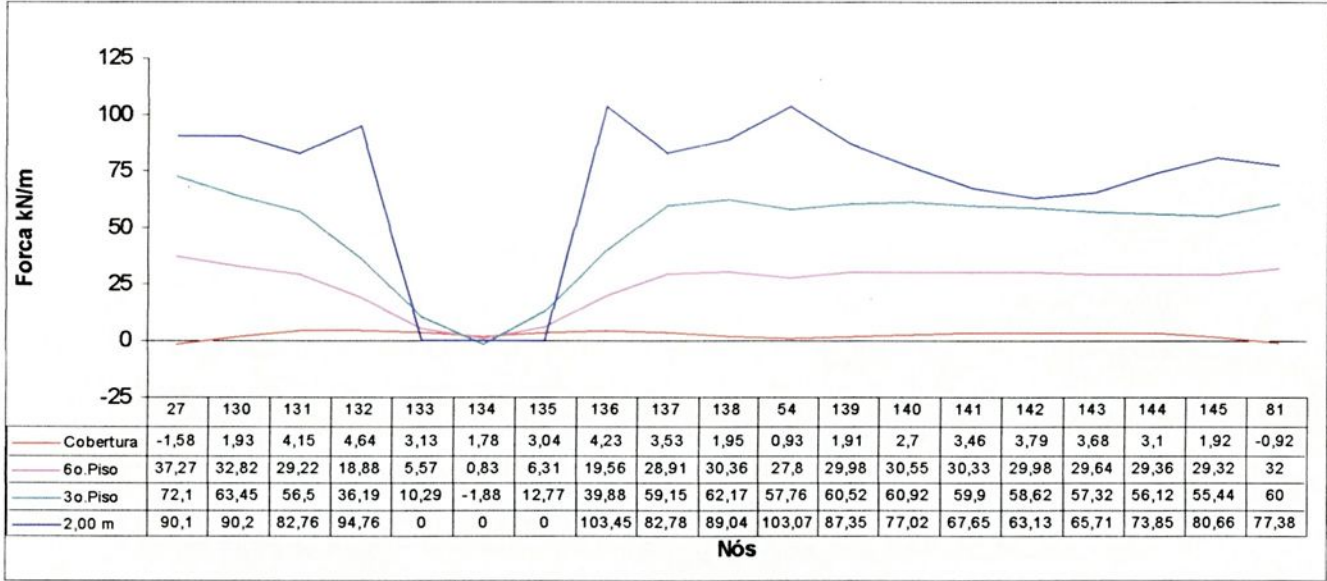
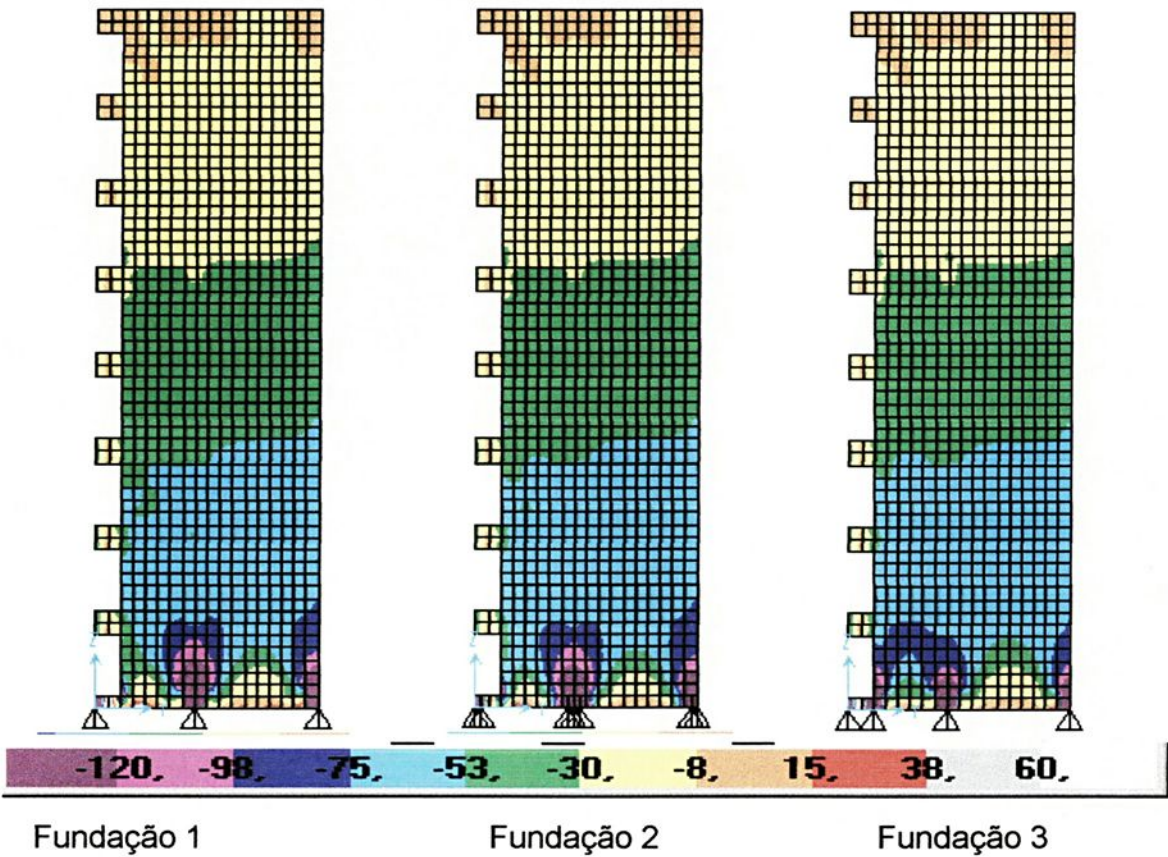


Gráfico 35 – Fundação 1 : estacas nos encontros das paredes.

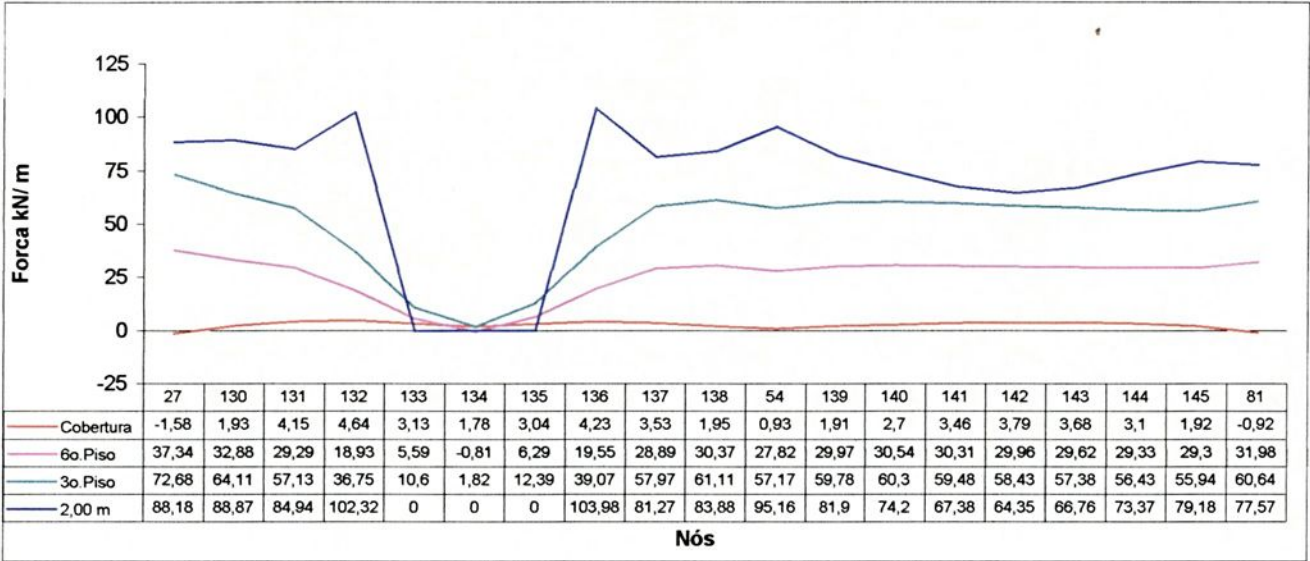


Gráfico 36 - Fundação 2 : estacas distribuídas nos encontros das paredes.

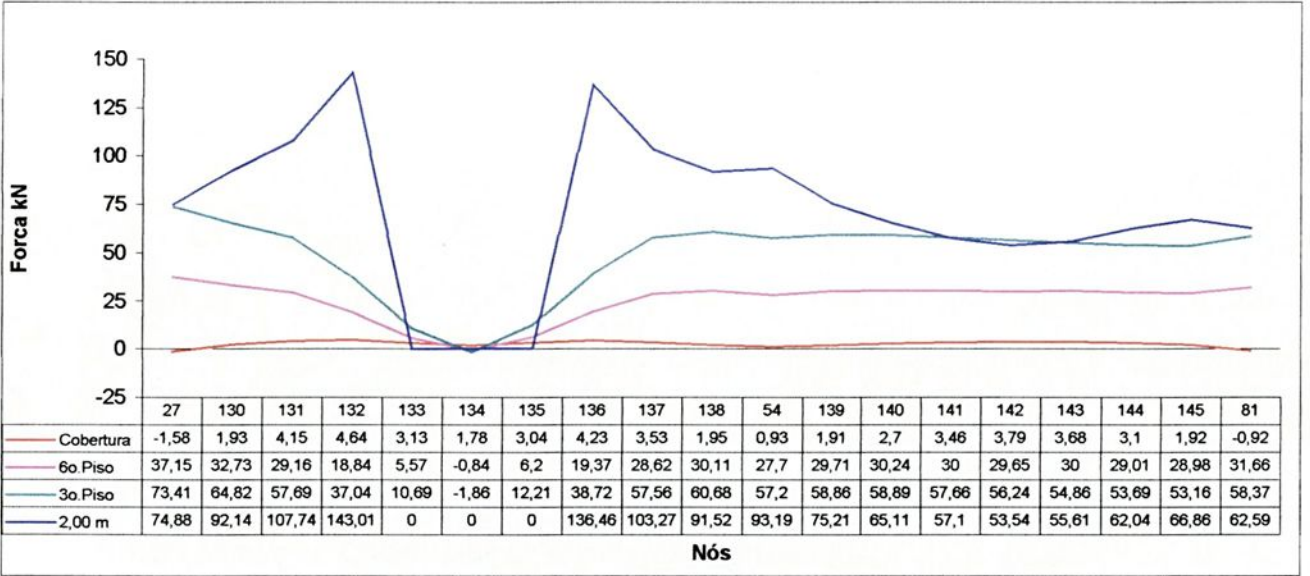
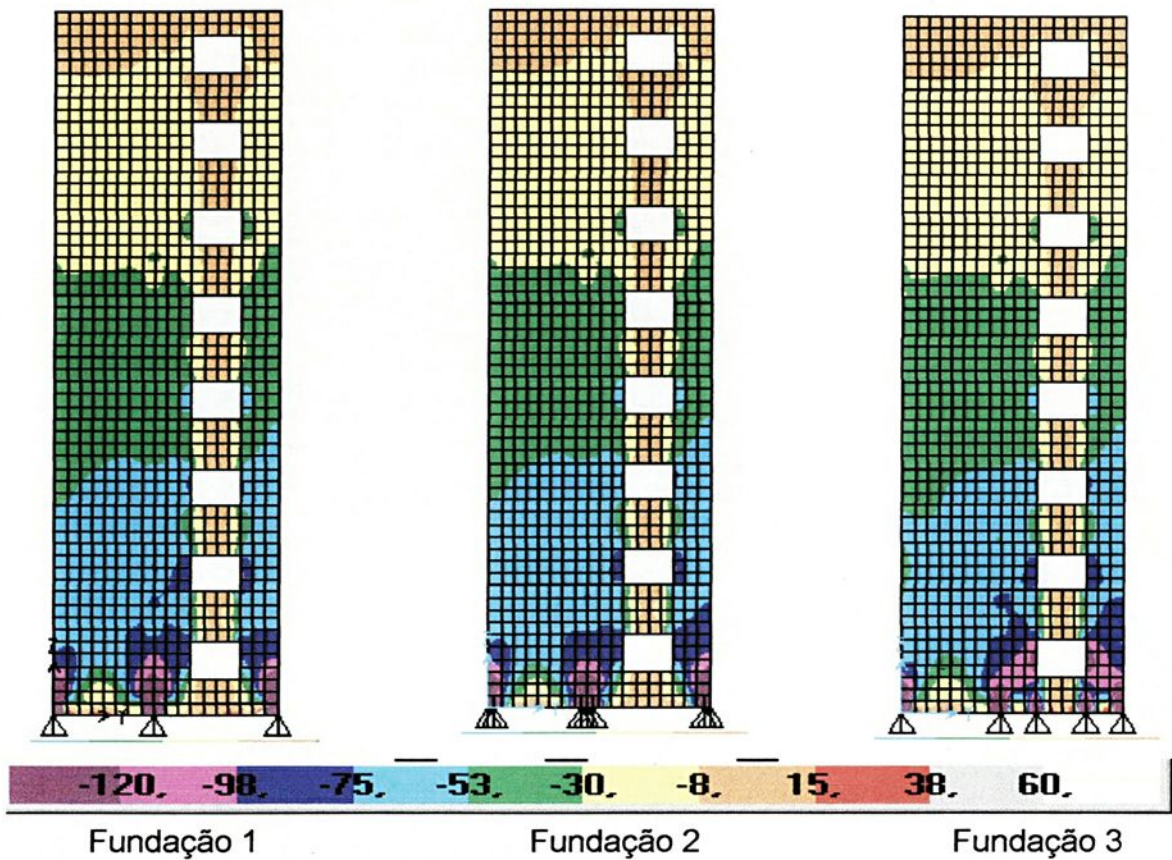


Gráfico 37 – Fundação 3 : estacas nos encontros das paredes e nos alinhamentos das aberturas.



7. CONCLUSÕES

O presente trabalho possibilitou a observação da distribuição das ações verticais entre as paredes resistentes de um edifício de alvenaria estrutural, através de processos simplificados, nomeados de ‘manual’, considerando as paredes isoladamente e em grupos. Foi efetuada também uma análise através da técnica dos elementos finitos, via programa SAP 2000.

Com relação ao levantamento das **reações de apoio das lajes** através das áreas de influência, pode-se observar diferenças significativas entre os processos manual e o numérico, que em média foram de 23%.

Para as paredes mais solicitadas, o processo numérico apresentou valores menores das ações verticais, o que é positivo do ponto de vista da economia. Importante observar que para as paredes menos solicitadas, o processo manual apresentou valores menores, o

que, nesse caso, pode conduzir a valores finais subestimados das ações verticais, fato que pode comprometer a segurança da estrutura.

Considerando as **paredes isoladas**, verificou-se que em relação ao processo numérico os valores das ações verticais apresentaram picos consideravelmente altos, o que tende a conduzir a estruturas de maior custo. Novamente é importante chamar a atenção para o fato de que no 1º piso, para a parede P1, o processo manual subestima significativamente o valor da ação vertical.

Considerando as **paredes em grupos**, percebe-se importante uniformização das ações verticais e as diferenças entre esse processo e o numérico diminuem bastante.

A variabilidade que para as paredes isoladas foi em torno de 24%, reduz-se nesse processo para aproximadamente 12%, sendo que o maior valor da ação vertical foi reduzido de ~16%. Também é importante notar que nesse caso não houve significativa inversão de valores para a parede P1.

Assim, percebe-se que a técnica de agrupar as paredes conduz a resultados bastante interessantes do ponto de vista da distribuição das ações verticais.

Com relação à uniformização das **ações verticais ao longo da altura** do edifício, os processos manuais não permitem tal avaliação. Porém, com o agrupamento das paredes, os valores se aproximam mais dos obtidos com o processo numérico. O processo numérico indica uma acentuada redução inicial na variabilidades dos resultados nos níveis, sendo que esta tende se tornar constante a partir do 3º piso. De qualquer forma, entende-se ainda a necessidade de maior investigação nesse comportamento.

Com relação à distribuição das ações verticais para diferentes soluções de fundações, não possível no presente trabalho chegar aos resultados esperados pelo autor. De forma a melhor poder concluir sobre o assunto, outras investigações se fazem necessárias.



CAPÍTULO 5

TRABALHOS EM DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo são apresentados os trabalhos que estão em desenvolvimento na área experimental e de programação.

Em cada um, apresenta-se o objetivo, descreve-se a metodologia, as etapas já alcançadas e, quando possível, são feitos comentários dos resultados já obtidos.

Inicialmente, são apresentados três trabalhos na área de programação:

- Automatização gráfica e de procedimentos básicos para o cálculo de edifícios de alvenaria estrutural;
- Avaliação do modelo de cálculo utilizado na distribuição das ações horizontais atuantes em edifícios de alvenaria estrutural;
- Automatização da Análise de Edifícios de Alvenaria Estrutural de Blocos

Em seguida, são apresentados dois trabalhos na área experimental:

- Desenvolvimento de técnicas de produção de blocos de concreto para alvenaria estrutural na escala (1:4);
- Avaliação da eficiência das ligações entre paredes de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos em escala reduzida sujeitas às ações verticais.



AUTOMATIZAÇÃO GRÁFICA E DE PROCEDIMENTOS BÁSICOS PARA O CÁLCULO DE EDIFÍCIOS DE ALVENARIA ESTRUTURAL

1. OBJETIVOS

O presente trabalho pretende desenvolver um programa, dentro do ambiente Autocad, cujo objetivo é automatizar a representação gráfica dos projetos de edifícios de alvenaria estrutural de blocos e os procedimentos básicos para a distribuição das ações verticais entre as paredes resistentes.

Prevê-se o desenvolvimento de ícones e caixas de diálogo de maneira a otimizar a interação usuário/programa. Dessa forma, o trabalho despendido no estudo da definição estrutural e na aplicação da técnica de coordenação modular, premissa básica nesse tipo de projeto, deverá ser consideravelmente reduzido, sendo também minimizada a probabilidade de ocorrência de erros dentro dos processos repetitivos de cálculo.

Ao final, o usuário deverá ter uma ferramenta que possibilite o desenvolvimento da representação gráfica de projetos de edifícios de alvenaria estrutural e todo um conjunto de detalhes complementares, tais como elevações, aberturas, encontros de elementos, regiões grauteadas, entre outros, com excelente qualidade e confiabilidade. Também é objetivo do presente trabalho permitir a quantificação automática de todos os tipos de blocos utilizados na obra.

2. JUSTIFICATIVA

O profissional da engenharia estrutural necessita incorporar o microcomputador como uma ferramenta de trabalho corriqueira, de modo a manter a qualidade e a competitividade de seu trabalho. Existe atualmente uma série de programas desenvolvidos para auxiliar o projetista que trabalha com estruturas de concreto armado e de aço. Essa realidade porém, não se verifica para o caso de projetos de alvenaria estrutural sendo que em muitas situações o projeto ainda é desenvolvido manualmente.



Nesse processo, a parte gráfica passa a exigir uma parcela significativa do tempo total despendido na execução do projeto.

Frente a esse fato, apresenta-se como necessidade imediata, o desenvolvimento de um programa de computador que possibilite efetuar vários testes de modulação com posterior saída gráfica da solução adotada, juntamente com os inúmeros detalhes construtivos complementares, além da automatização das rotinas básicas de cálculo para projetos de edifícios de alvenaria estrutural de blocos.

Com o auxílio da linguagem de programação *AutoLISP* pode-se resolver quase que totalmente estes problemas. Com utilização de ícones e caixas de diálogo otimiza-se a interação usuário/programa, minimizando a probabilidade de erros, tanto no que diz respeito à modulação, quanto à verificação do dimensionamento e detalhamento.

3. METODOLOGIA

Inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica a respeito dos assuntos que fazem parte deste trabalho. Destacam-se os trabalhos que utilizam a linguagem de programação *AutoLISP*, de onde pode-se subtrair idéias para solucionar os problemas propostos.

Após a realização da revisão bibliográfica, deu-se início ao desenvolvimento das rotinas que automatizam a aplicação da técnica da coordenação modular, a partir do projeto arquitetônico, alertando ao usuário quando da ocorrência de erros e impedindo a continuidade do desenvolvimento do projeto. Nessa etapa foram considerados os critérios básicos que monitoram a racionalização de um projeto. Esta etapa do programa deverá ser retomada após a montagem final do programa e a realização de testes, para uma calibração final, uma vez que se constitui em etapa fundamental no desenvolvimento de projetos de alvenaria estrutural de blocos.

Encontram-se em desenvolvimento no programa as rotinas de armazenamento dos dados que serão analisados e compilados para propor a distribuição das ações verticais sobre as paredes resistentes. Para tal, pretende-se utilizar uma interface numérica com um programa de computador que analise o problema pelo Método dos Elementos Finitos.



Definidas e armazenadas as tensões de cada parede, serão desenvolvidas rotinas na linguagem de programação *AutoLISP*, que automatiza a aplicação das recomendações de dimensionamento e verificação contidas nas normas que tratam do assunto, sobretudo a NBR-10837(1989).

Estão sendo desenvolvidas também rotinas que automatizam as apresentações finais de um projeto de alvenaria estrutural de blocos, como plantas baixas das diferentes fiadas, elevações de todas as paredes resistentes, bem como detalhes construtivos, relatórios de resultados de dimensionamento e quantitativos globais da obra.

E finalmente, com as rotinas prontas e calibradas, serão realizados vários testes para refinamento final, compondo um pacote em que se encontre automatizadas as rotinas básicas de cálculo e de desenho de projetos de alvenaria estrutural de blocos.

4. APRESENTAÇÃO DO PROGRAMA

Uma vez solucionados os problemas inicialmente surgidos e definida a plataforma de programação para cada item proposto, o andamento deste trabalho desenvolveu-se rapidamente, utilizando-se a linguagem de programação *AutoLISP*.

O programa para microcomputador deste trabalho é capaz de solucionar problemas de modulação para blocos com quaisquer dimensões encontrados no mercado e pode-se também criar blocos com dimensões quaisquer. O programa verifica a coordenação modular rapidamente, possibilitando ao usuário testar várias disposições na modulação.

No aspecto da análise estrutural este programa será capaz de, em um futuro próximo, dimensionar, verificar e detalhar um projeto de alvenaria estrutural de acordo com as normas que tratam do assunto, a fim de garantir a estabilidade da obra como um todo.

4.1. INÍCIO DE UM PROJETO

A utilização deste programa inicia-se acionando na barra de menu superior denominado "Alvenaria Estrutural", a opção "Novo Projeto" (Fig. 01). Logo, com apenas um clique nesta opção, o programa será executado automaticamente criando-se uma "Palheta de Ferramentas" denominada "Novo", com opções de "configurações iniciais", "definir formato



da prancha”, “escala do desenho”, “medidas do desenho” (de acordo com a prancha), “editar atribuições do carimbo”, “reeditar atribuições do carimbo” e “definir dados gerais do projeto”.

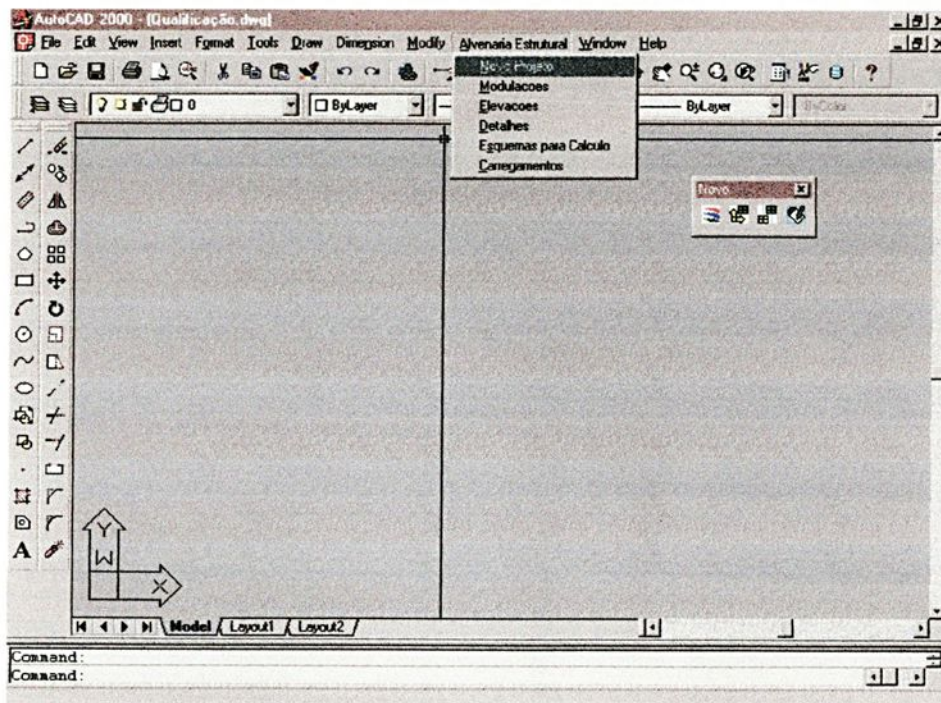


FIGURA 01 - Definições de um novo projeto.

4.1.1. Definições da prancha de desenho

O primeiro passo para utilização do programa é definir as dimensões da prancha de desenho, as atribuições do carimbo e a escala do desenho. Com um clique no ícone denominado “Define Formato da Prancha” (Fig. 02), o programa apresenta os formatos A0, A1, A2, A3 e A4 para a escolha e inserção da prancha escolhida no desenho (Fig. 03). A opção de escala deve ser informada sempre como um valor inteiro e o segundo número da notação usualmente conhecida (Ex: 1:50). As medidas do desenho apresentam-se na unidade metro (Fig. 03).

Assim que a prancha é definida, uma caixa de diálogos automaticamente aparece para que as atribuições do carimbo sejam preenchidas ou não. O carimbo pode ser preenchido completando-se as lacunas em branco das opções: data, escala, folha, ordem interessado, obra e assunto (Fig. 04). Então a prancha completa é inserida no desenho

(Fig. 05). Caso o preenchimento do carimbo não possa ser feito no instante, a caixa de diálogos pode ser cancelada com a opção “Cancel”.

4.1.2. Reeditar Atribuições do Carimbo

Ao cancelar a caixa de diálogos de atribuição do carimbo da prancha de desenho, o carimbo da prancha inserida permanece em branco. Assim quando for necessário reeditar estas atribuições basta clicar no ícone “Reeditar Atribuições do Carimbo” (Fig. 06) e selecionar a prancha na tela em que a caixa de diálogos de atribuições será mostrada novamente e os dados do carimbo poderão ser completados ou modificados. Na realidade estas alterações podem ser feitas em qualquer etapa do desenvolvimento do projeto.

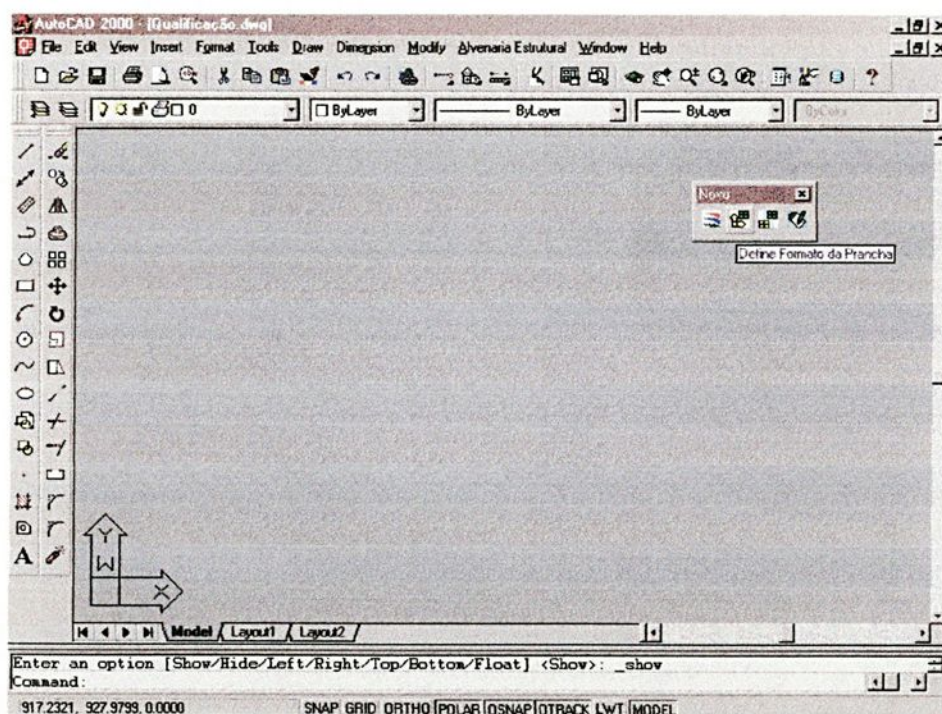


FIGURA 02 – Ícone para definir dimensões da prancha de desenho.

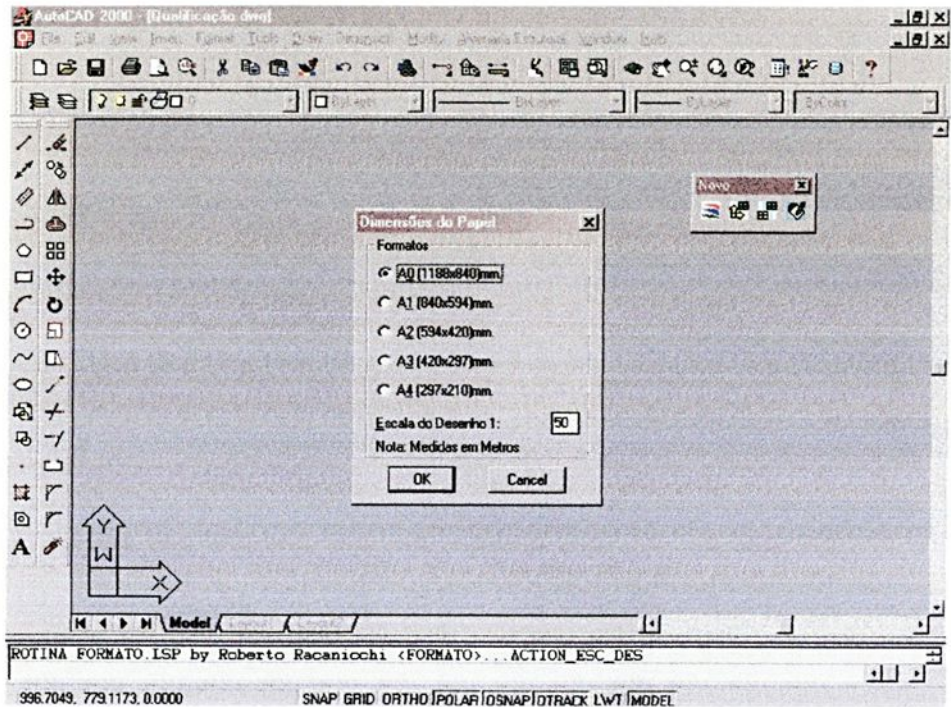


FIGURA 03 – Inserção da prancha com escala e medidas do desenho.

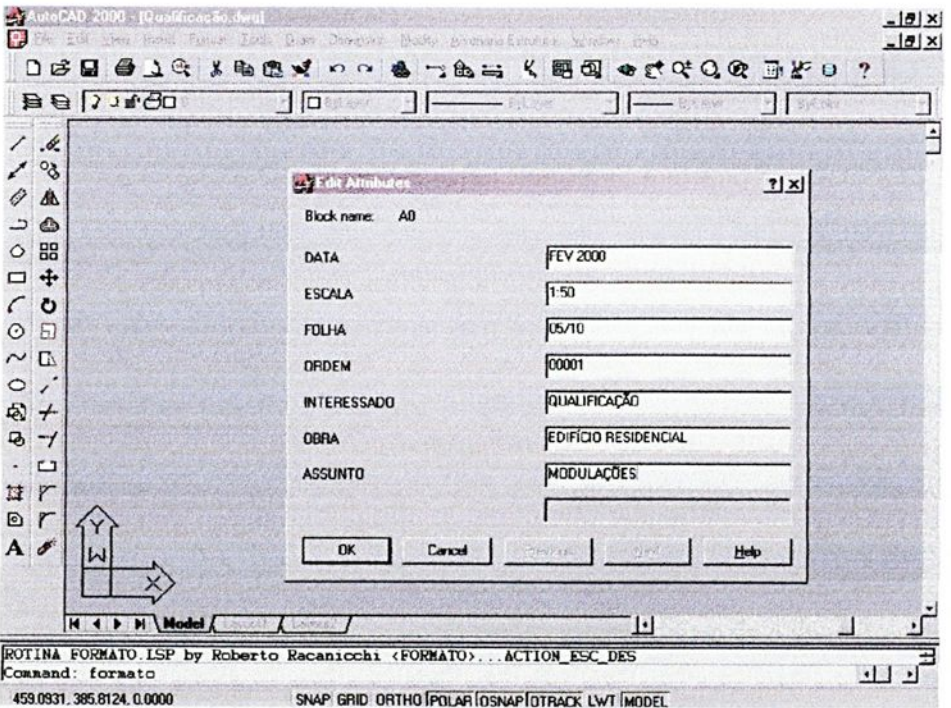


FIGURA 04 – Edita atribuições do carimbo.

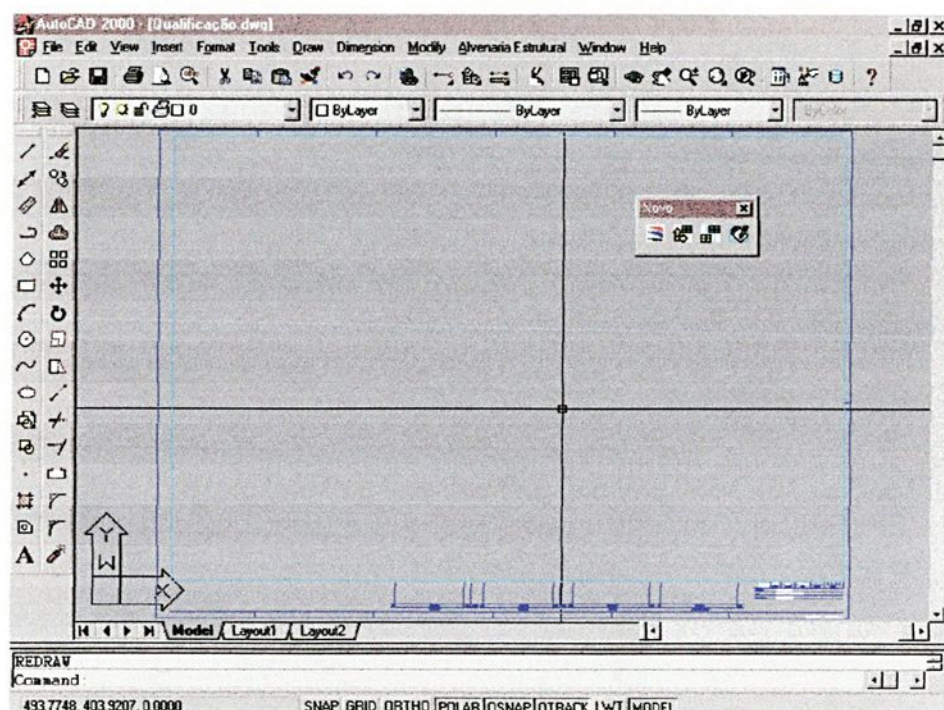


FIGURA 05 – Prancha definida e inserida no desenho.

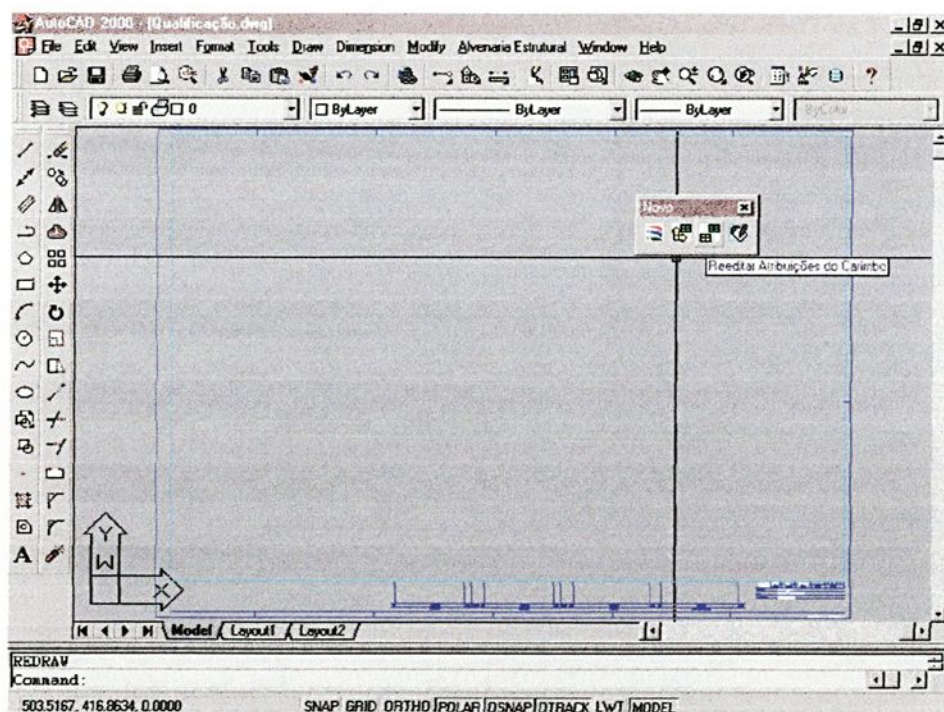


FIGURA 06 – Reeditar atribuições do carimbo.

Esta prancha de desenho é padrão deste programa, com dimensões pré-definidas de acordo com a NBR10068(1987) que trata deste assunto. Logo, o usuário pode personalizar sua prancha de desenho usando escalas e medidas compatíveis com as definidas anteriormente. Outro item importante deste assunto relaciona-se com o número

de pranchas inseridas. O usuário pode inserir quantas pranchas forem necessárias a qualquer etapa do desenvolvimento do projeto, logicamente que dependerá muito da capacidade de memória do equipamento a ser utilizado.

O carimbo completo na prancha de desenho que é preenchido automaticamente pelo programa é apresentado pela (Fig. 07). Nas pranchas inseridas são reservados espaços em branco para digitação de especificações, notas, revisões, verificações e aprovações, relacionadas ao projeto.

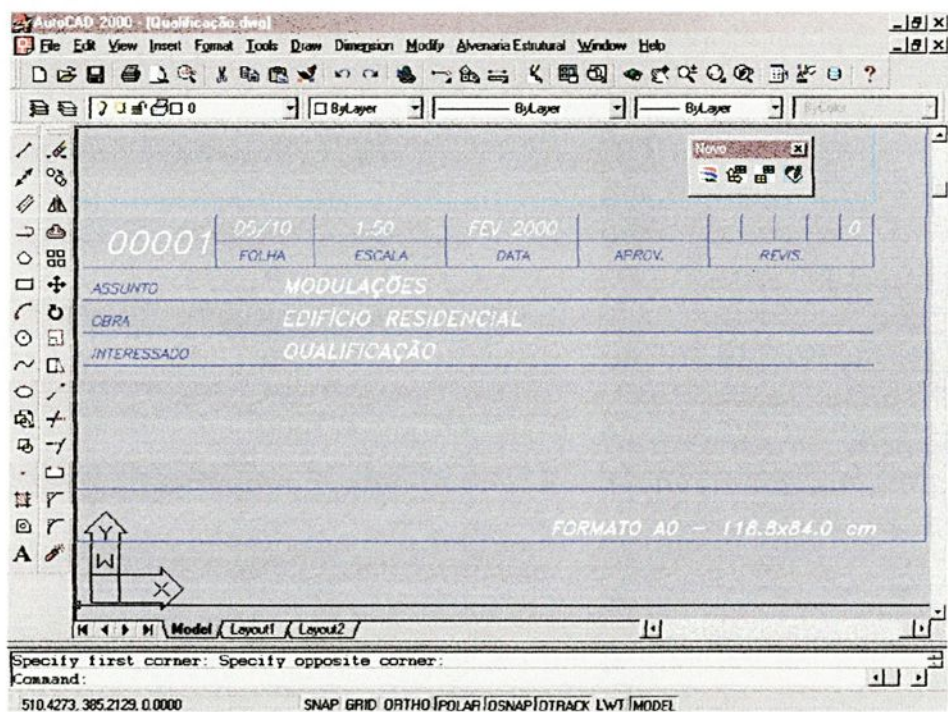


FIGURA 07 – Carimbo completo da prancha de desenho.

4.1.3. Dados gerais do projeto

Neste ícone, “Dados Gerais do Projeto” (Fig. 08), inicia-se as definições de projeto de maneira que o usuário deverá informar, como decisão de projeto, as características da laje (pré-fabricada ou maciça, espessura, cota vertical inicial do terreno, pé direito do pavimento térreo e pé direito do pavimento tipo).

As definições de projeto iniciam-se com a escolha do tipo de laje utilizada. Deve-se clicar na opção de laje desejada para que o tipo de laje escolhido seja armazenado para uso em todas as etapas do projeto.

De maneira análoga, o valor da espessura da laje, a cota inicial vertical, o pé direito do terreno e o pé direito do pavimento tipo serão definidos para todo o projeto e deverão ser expressos sempre em centímetros (Fig. 09).

Caso a opção de laje seja definida como laje pré-fabricada, o programa necessitará da informação da taxa que define a área de influência das lajes sobre os elementos resistentes. O valor *default* é de 35% na direção principal da laje pré-fabricada, em cada sentido (Fig. 10).

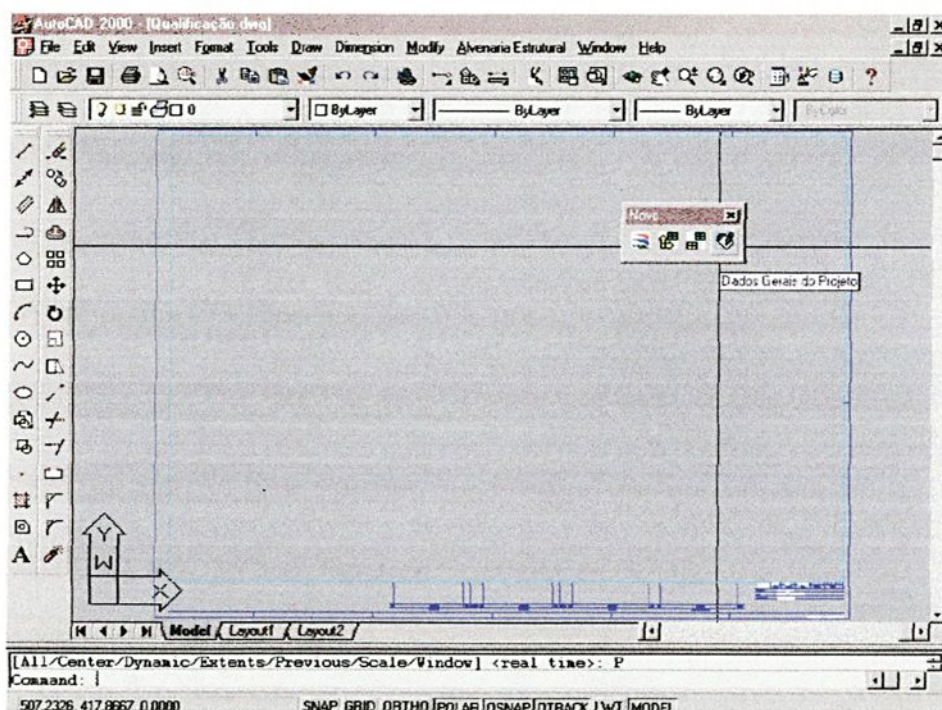


FIGURA 08 – Dados gerais do projeto.

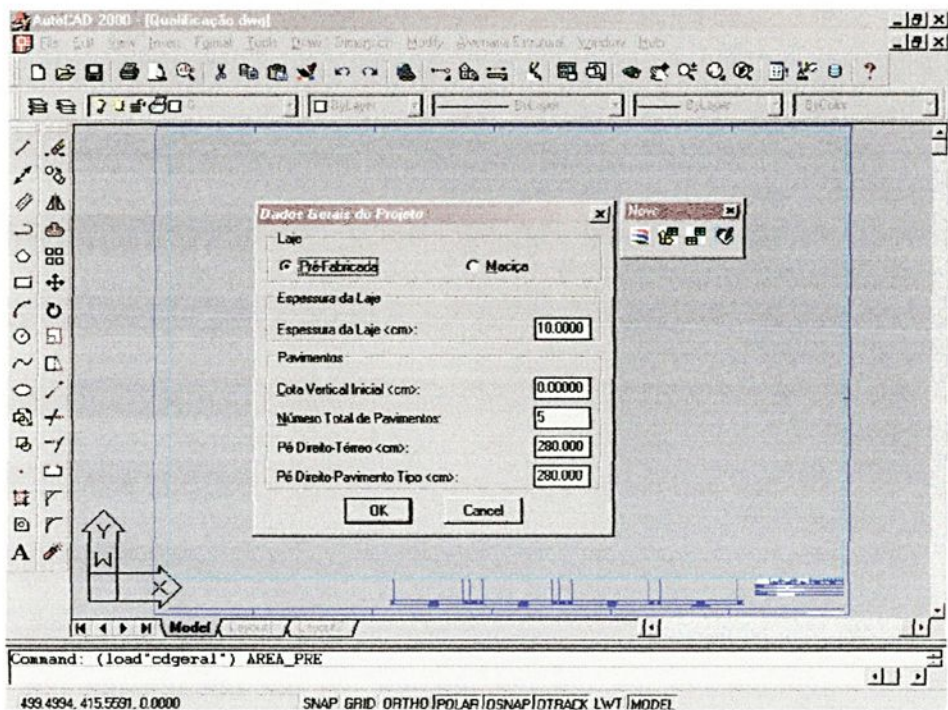


FIGURA 09 – Definições iniciais de projeto.

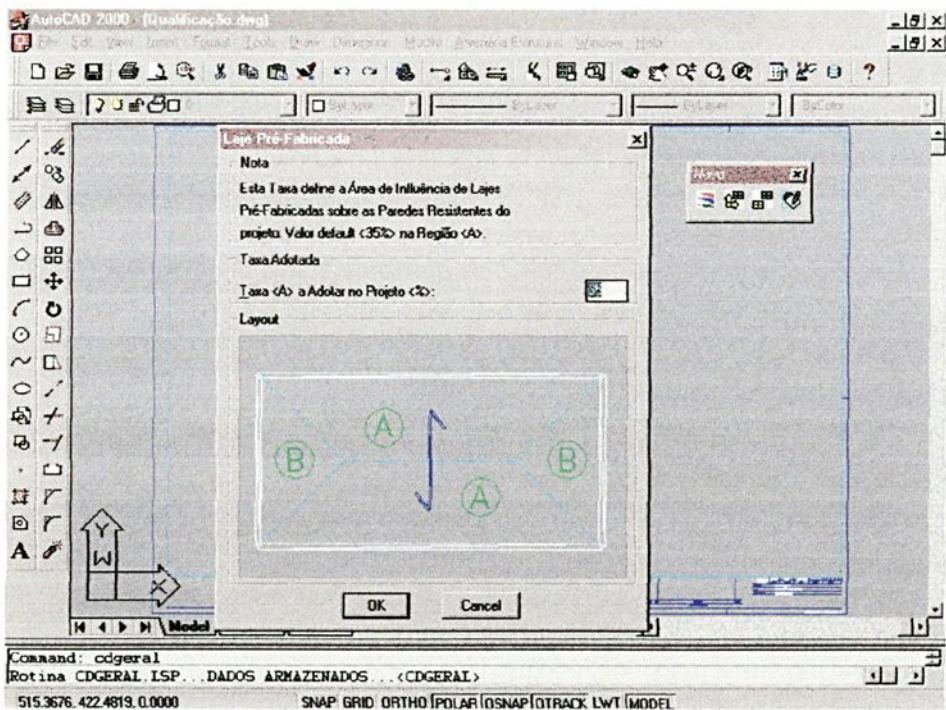


FIGURA 10 - Taxa de carga de lajes pré-fabricadas nos elementos resistentes.

4.2. MODULAÇÃO

A utilização desta rotina inicia-se com um clique na barra do menu superior denominado “Alvenaria Estrutural”, seguido da opção “Modulações” (Fig. 11).

Logo, com apenas um clique nesta opção, o programa será executado automaticamente criando-se uma “Palheta de Ferramentas” denominada “Modulação”, com opções de modulação da alvenaria, finalizar modulação, apagar parede e desfazer correção. Neste item é possível aplicar a técnica da coordenação modular na dimensão horizontal do projeto, executando-se os elementos estruturais como múltiplo do módulo básico do bloco, prevendo as armações, necessidades estruturais e demais instalações, de modo a evitar cortes e desperdícios na execução da obra.

4.2.1. Coordenação Modular

A aplicação da técnica da coordenação modular do projeto inicia-se acionando o ícone denominado “Alvenaria Estrutural” (Fig. 12). Primeiramente o usuário deve definir na caixa de diálogos apresentada, os tipos de blocos a serem utilizados no projeto (Fig. 13). Os blocos apresentados são os encontrados comercialmente, mas existe a opção de criar novos blocos.

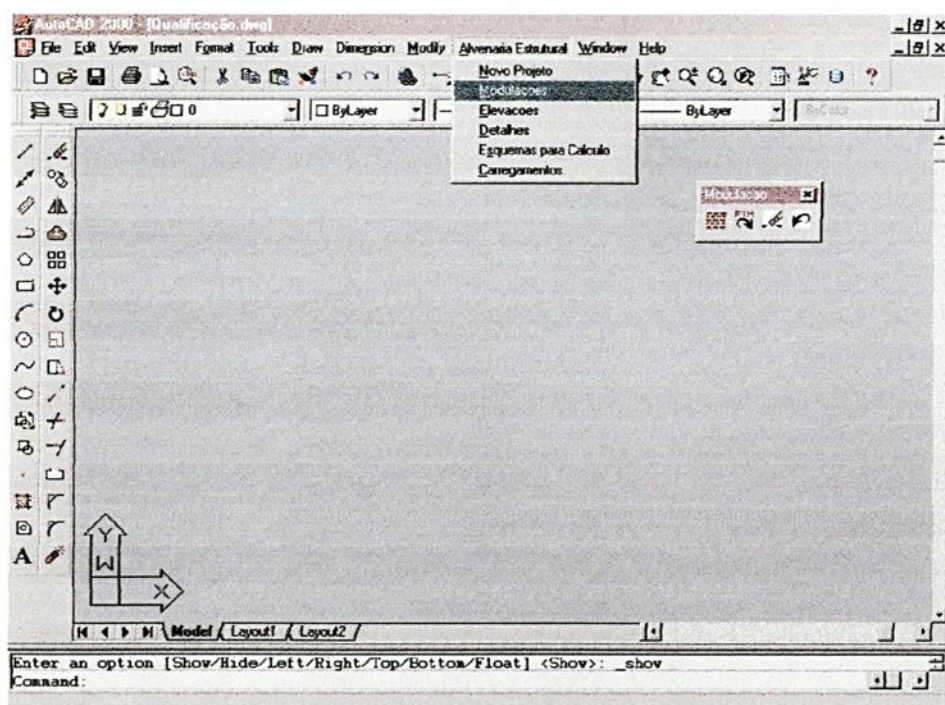


FIGURA 11 – Iniciar modulação do projeto.

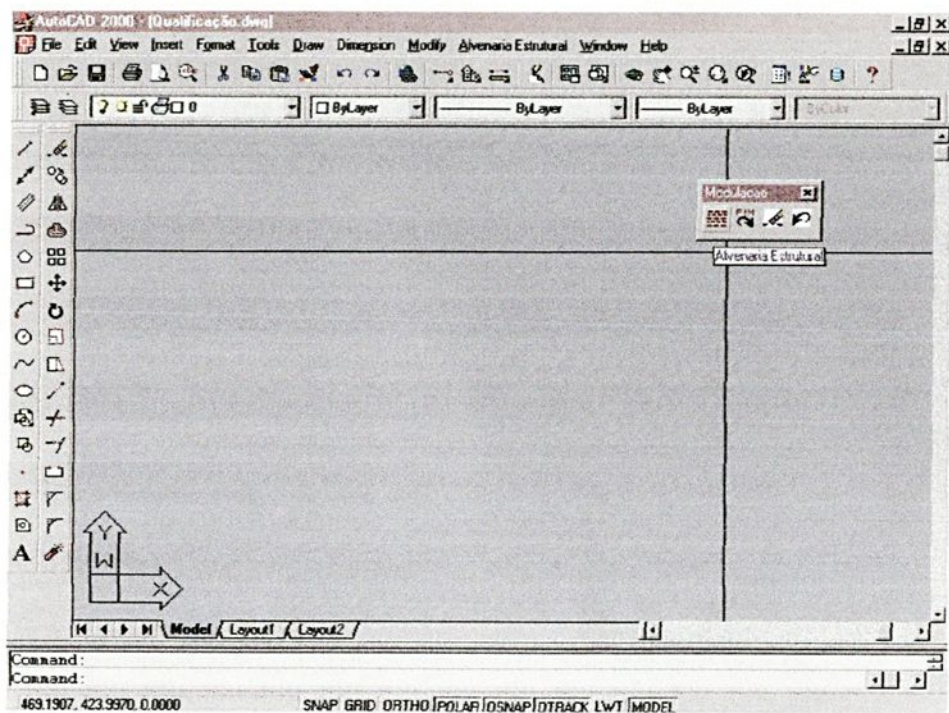


FIGURA 12 - Alvenaria estrutural – Início da modulação.

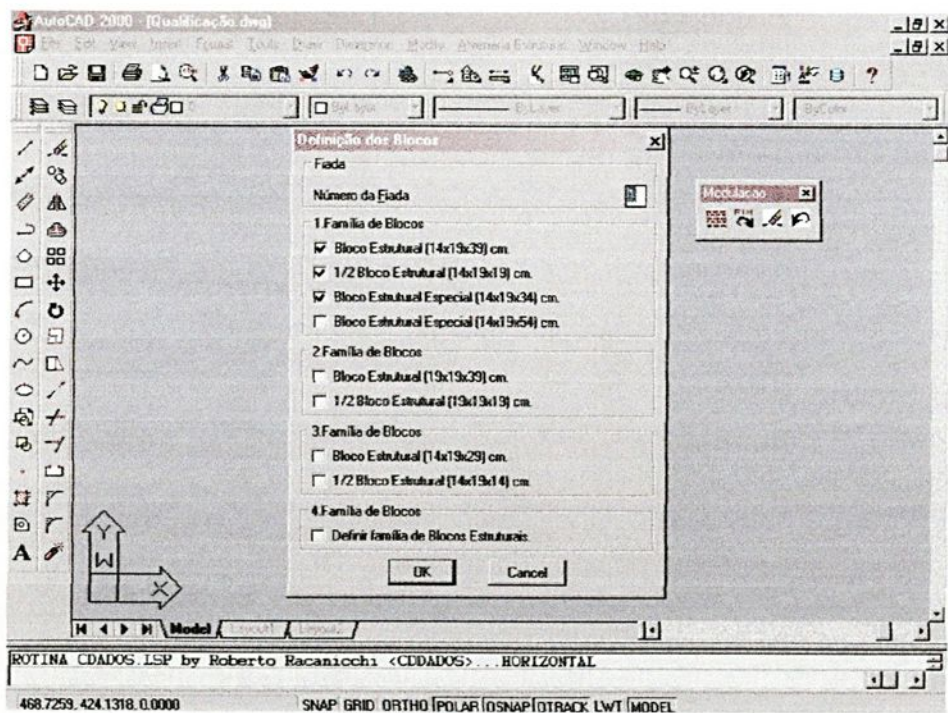


FIGURA 13 - Definição dos blocos.

Uma vez definidas as dimensões dos blocos e o número da fiada a se modular, (canto superior direito da caixa de diálogos da Fig. 13), pode-se iniciar a coordenação modular de um projeto escolhendo-se a direção da parede, “Palheta de Ferramentas” denominada “Direções”, a ser inserida (Fig. 14). Os pontos de inserção dos blocos aparecem

destacados nos ícones correspondentes a cada direção e sentido das paredes inseridas. Nota-se também que ao se inserir uma parede, o programa desenha uma linha amarela que ao final da modulação caracterizará o diagrama unifilar da modulação. Este diagrama será utilizado em todas as rotinas de cálculo, verificações e detalhamento do projeto.

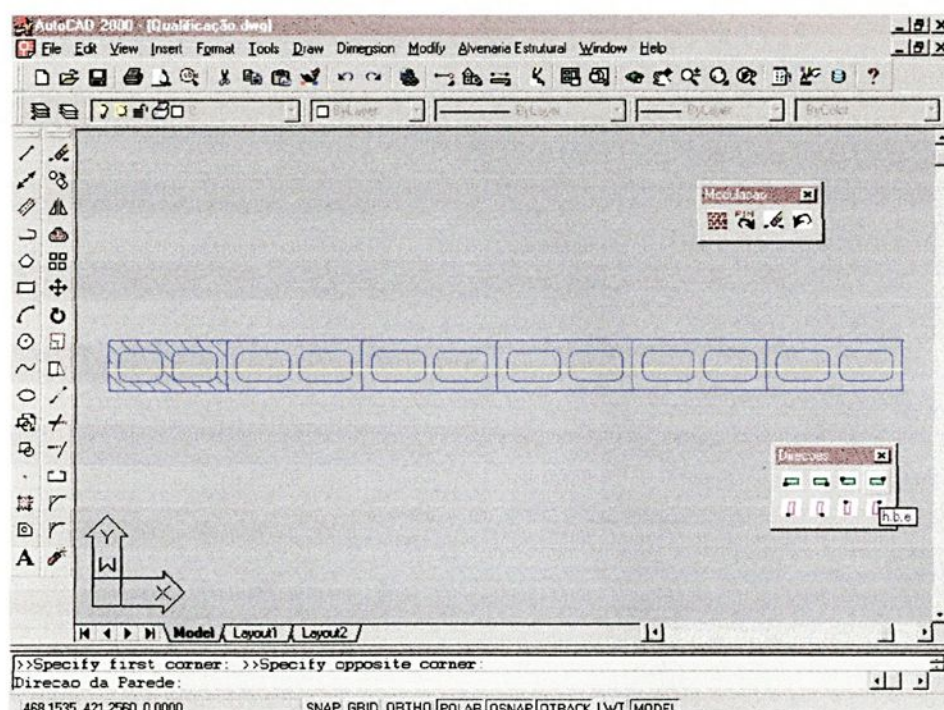


FIGURA 14 - Direção da parede.

O programa controla automaticamente a cor do desenho dos blocos de cada fiada, de acordo com o número da mesma, definida na caixa de diálogos citada anteriormente.

Quando fornecido o comprimento da parede, via teclado, a ser inserida no desenho (Fig. 14), pode-se modular a fiada especificada em função das dimensões dos blocos e comprimento da parede, com apenas um clique em um ponto da tela ou em um ponto extremo de uma parede desenhada.

Algumas “famílias de blocos” necessitam de blocos especiais para desenvolver a modulação, de maneira que se na dimensão das paredes haja necessidade, o programa verifica este problema e insere blocos especiais quando necessário. As dimensões dos blocos especiais devem ser selecionadas na caixa de diálogos “Definição dos Blocos”.

Entretanto, quando as relações entre blocos e comprimentos de paredes são incompatíveis, após verificações, o programa exibe uma mensagem informando a não modulação (Fig. 15). Este fato impossibilitará o prosseguimento da modulação com o valor do comprimento da parede inserido. Um novo valor deve ser informado para nova verificação da modulação.

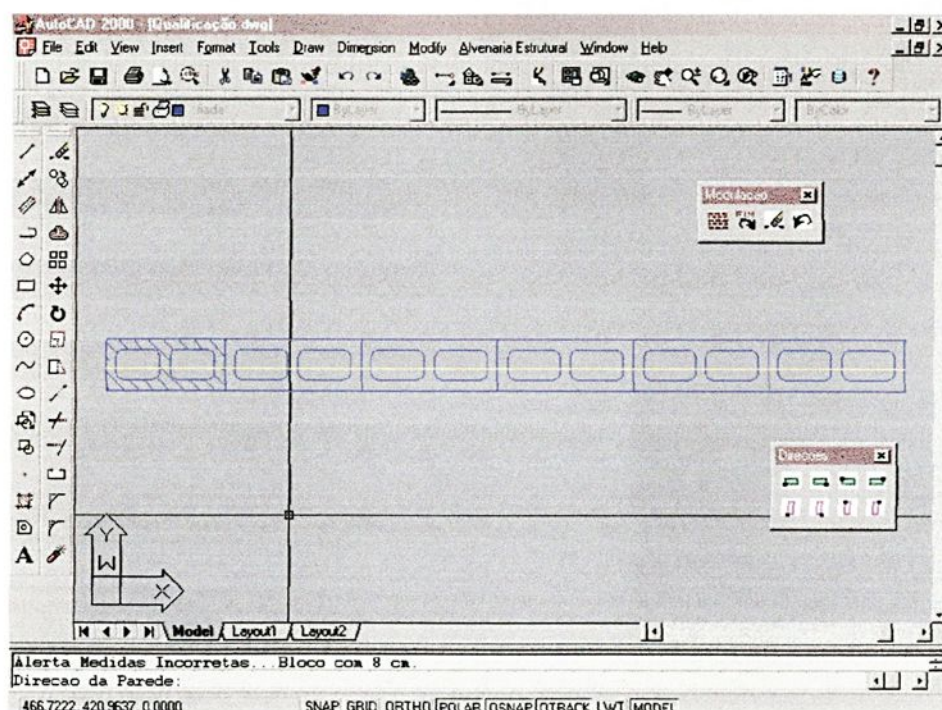


FIGURA 15 – Valores incompatíveis na modulação.

4.2.2. Apagar uma Parede

Uma parede pode ser apagada usando-se o ícone “Apagar Parede”. Quando se deseja apagar uma parede aciona-se o ícone em questão e seleciona-se a parede a ser apagada. Note-se que somente serão apagados os blocos que estiverem totalmente dentro das margens de seleção, como na opção “window” do AutoCAD (Fig. 16).

4.2.3. Desfazer uma Correção

Uma parede pode ser apagada usando-se o ícone “Apagar Parede”. Entretanto, desejando-se recuperar a parede apagada, aciona-se o ícone “Desfazer Correção” e os

blocos serão reconstituídos automaticamente, como no comando “undo” do AutoCAD (Fig. 17).

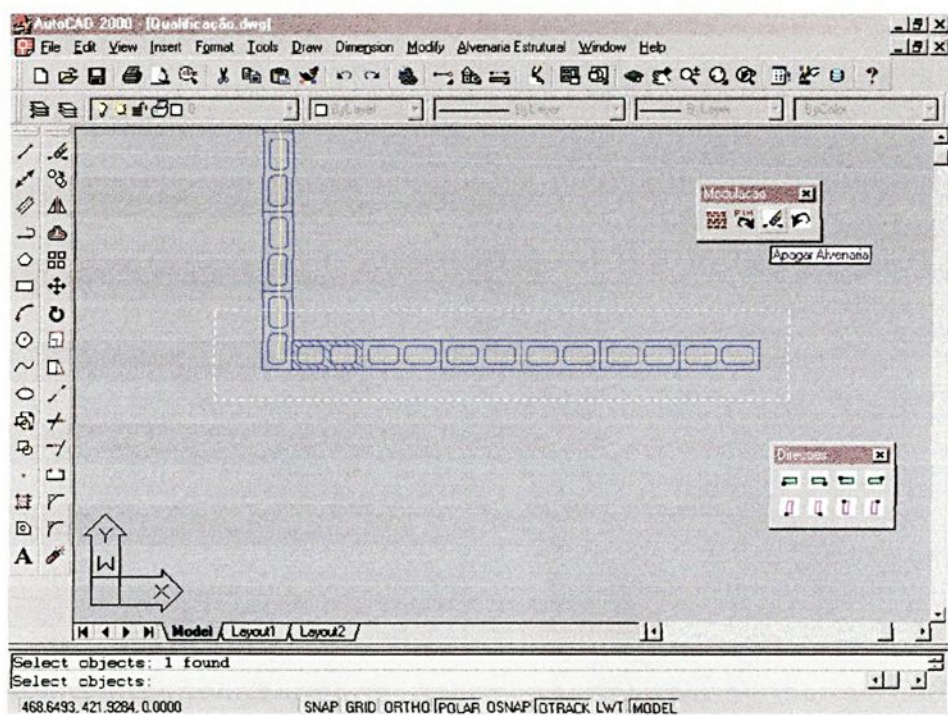


FIGURA 16 – Apagar uma parede.

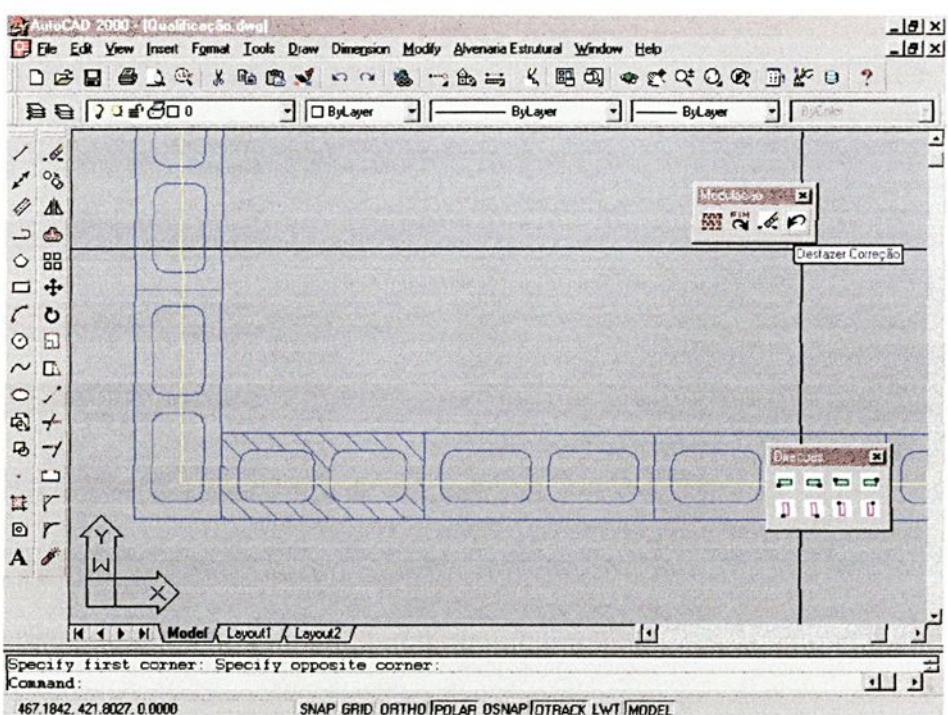


FIGURA 17 – Desfazer correção.

4.2.4. Apresentação da Modulação

Superados os problemas com a coordenação modular do projeto, a modulação final construída usando-se a técnica da coordenação modular é apresentada de acordo com a (Fig. 18). Note-se que nos encontros de paredes ocorre a junção do diagrama unifilar automaticamente. Vale ressaltar que daqui por diante este diagrama unifilar será a base para todas as verificações, dimensionamento e detalhamento.

Os blocos apresentados em vista tridimensional (Fig. 18) é uma ferramenta útil para a verificação final da modulação, pois os blocos podem ser observados com maior clareza.

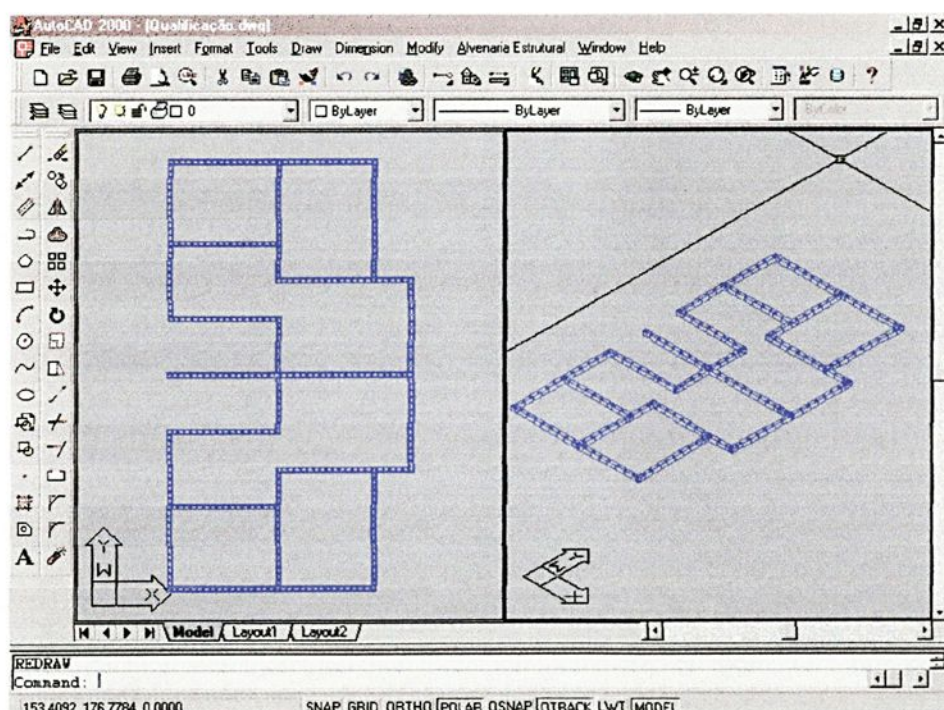


FIGURA 18 – Apresentação tridimensional e em planta da modulação.

Como observação final da etapa de utilização da técnica da coordenação modular, pode-se utilizar normalmente os comandos do programa *AutoCAD* para editar um desenho, apagar, conferir detalhes e outros mais. Porém um cuidado muito importante deve ser tomado no que se diz respeito as “layers” do desenho. Estas “layers” são previamente definidas quando o usuário aciona o ícone “configurações iniciais”, permitindo somente a mudança das cores, porém não dos nomes, pois estes são utilizados pelas rotinas freqüentemente.

A idéia em relação à impressão das pranchas é de também pré-definir as espessuras das cores para que a apresentação impressa obtenha melhor qualidade.

4.3. ELEVAÇÕES

Resolvido o problema da coordenação modular do projeto, propõe-se que o programa seja capaz de fornecer automaticamente as elevações (Fig. 19) necessárias em formas bidimensionais, necessitando o usuário selecionar a parede (ou paredes) a ser detalhada como elevação, além de apresentar os blocos canaletas, as aberturas, escolha das dimensões das portas e janelas, representação de vergas e contra-vergas, e representação de blocos compensadores.

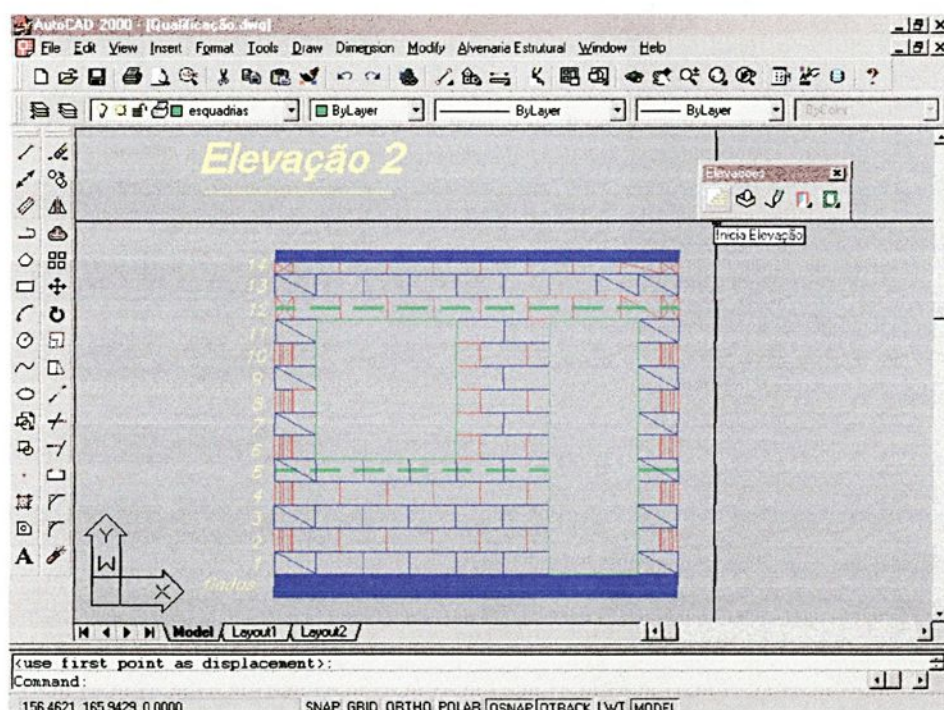


FIGURA 19 – Apresentação da elevação.

4.4. DETALHES

Na elaboração de um projeto real é comum o fornecimento do tipo e da quantidade de blocos que serão utilizados na execução do projeto. Para tal, uma ferramenta importante neste trabalho é a contagem dos blocos, tendo em vista que ao se desenvolver um projeto tem-se uma lista de blocos, com suas devidas resistências, e o seu quantitativo. A idéia é

inserir diretamente no desenho uma tabela com os tipos de bloco, além de suas dimensões, quantitativos e resistências requeridas (Fig. 20).

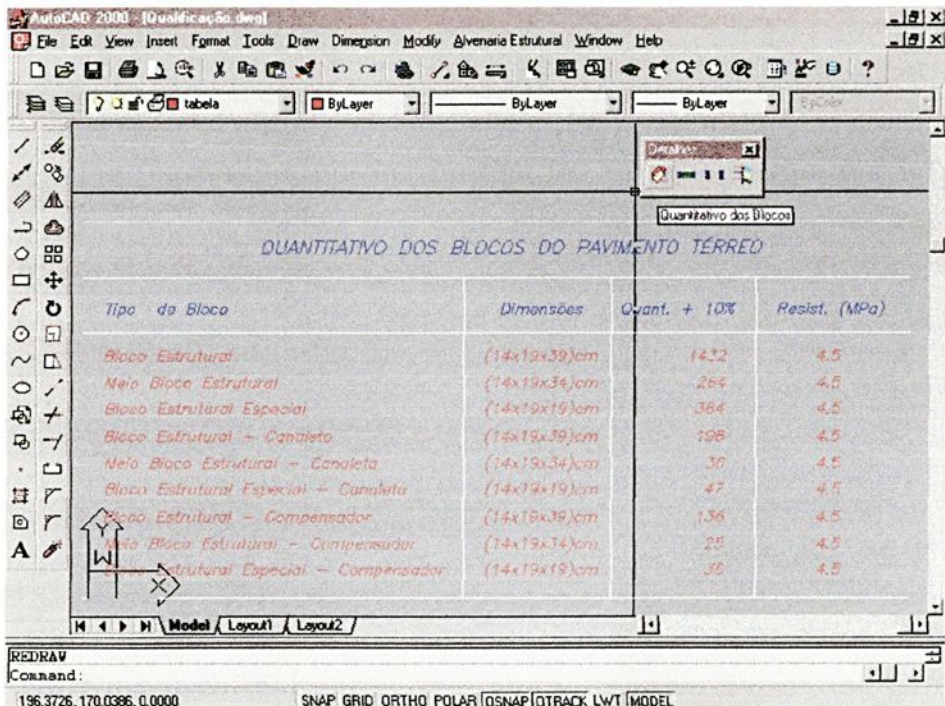


FIGURA 20 – Quantitativo dos blocos.

4.5. DEFINIÇÕES DO PROJETO PARA O DIMENSIONAMENTO

O próximo passo constitui em definir os esquemas de cálculo do edifício de alvenaria estrutural . As definições dos elementos estruturais e carregamentos gerais de projetos iniciam-se neste item. Para iniciar estas definições de projeto deve-se acionar no menu superior a opção “Esquemas para Cálculo” e o programa mostrará a “Palheta de Ferramentas” “Cálculo” (Fig. 21).

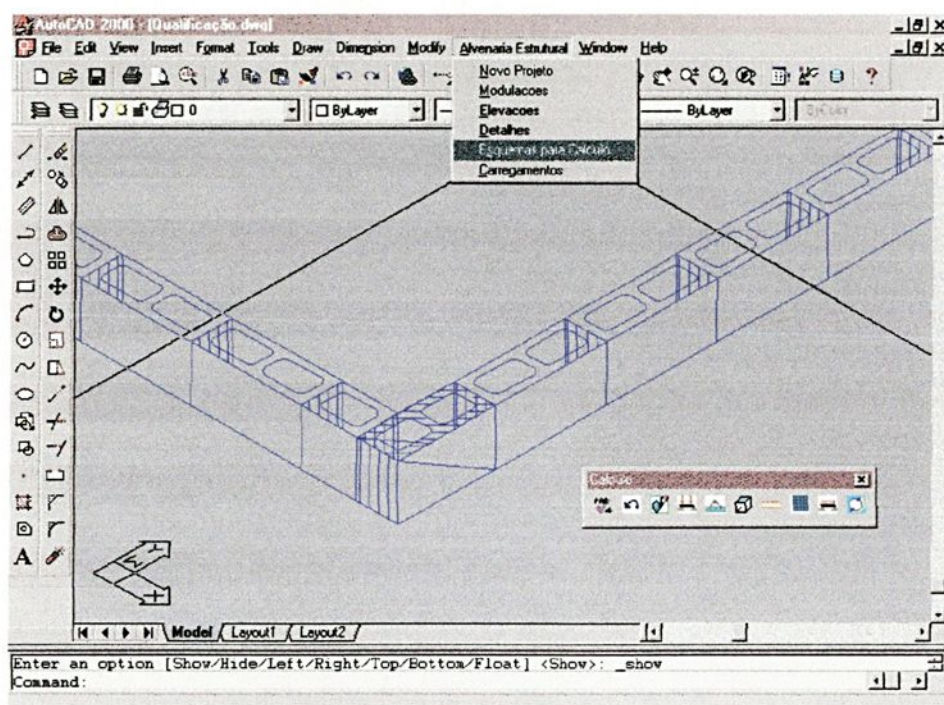


FIGURA 21 –Define os esquemas verticais e horizontais: elementos e carregamentos.

4.5.1. Posição e Numeração das Paredes Resistentes

O primeiro item desta nova etapa do trabalho, compreende em discriminar a posição de cada elemento (blocos) em coordenadas cartesianas e definir uma numeração básica das paredes em questão. Para tal, aciona-se o ícone denominado “Definições dos Esquemas de Cálculo” e conseqüentemente seleciona-se o diagrama unifilar da primeira fiada do projeto (Fig. 22). O modo de seleção do diagrama unifilar caracterizará a numeração das paredes resistentes. Caso a seleção das linhas do diagrama unifilar seja executada uma a uma, a seqüência em que as linhas foram selecionadas caracterizará a numeração da parede em ordem crescente. Caso a seleção executada ocorra de forma global o programa fornecerá uma numeração definida internamente pelo mesmo, ou seja, pela ordem em que a linha do diagrama unifilar foi desenhada.

Selecionado o diagrama unifilar da modulação o programa solicitará um prefixo de nomenclatura que será inserido no desenho automaticamente de acordo com a numeração escolhida (Fig. 23). Um nome de arquivo para armazenar dados que serão usados futuramente também será exigido, sendo que o mesmo poderá ter qualquer nome, com ou sem extensão (Fig. 24).

A partir desta etapa as informações das posições e características do bloco serão armazenadas e reservadas pelo programa. A numeração das paredes pode ser modificada desde que todo o processo de seleção se repita. No processo de seleção por “barras” do diagrama unifilar pode ser utilizado o ícone “Desfazer Seleção Unifilar” que possibilita ao usuário cancelar a última seleção e executar uma nova. Este ícone encontra-se logo à direita do ícone “Definições dos Esquemas de Cálculo” na “Palheta de Ferramentas” “Cálculo”. A numeração final é apresentada na (Fig. 25).

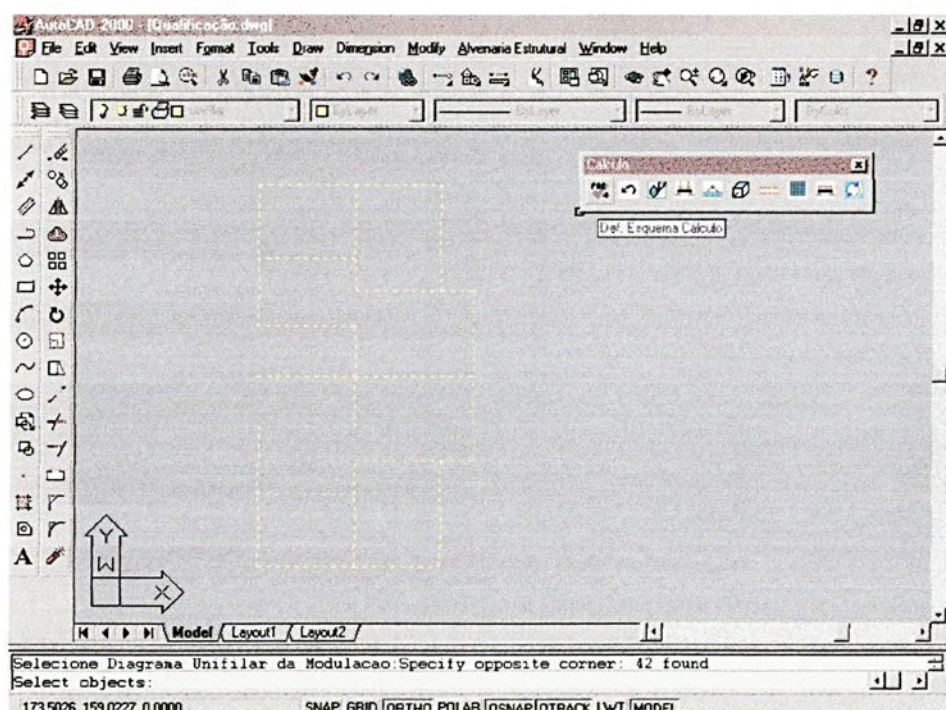


FIGURA 22 – Definições do esquema horizontal da alvenaria estrutural.

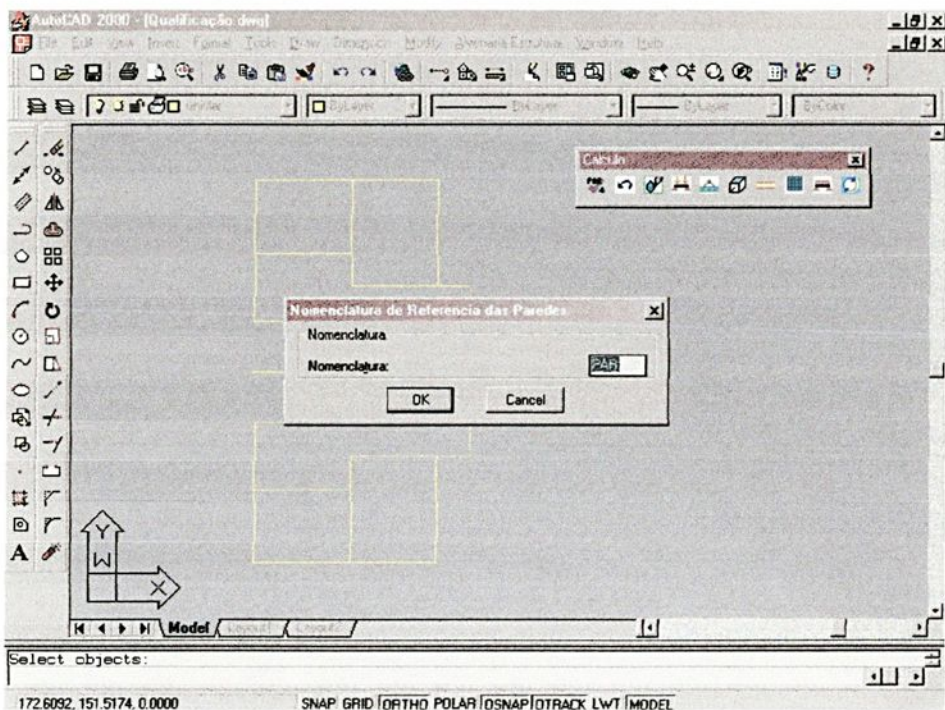


FIGURA 23 – Nomenclatura de referência das paredes do projeto.

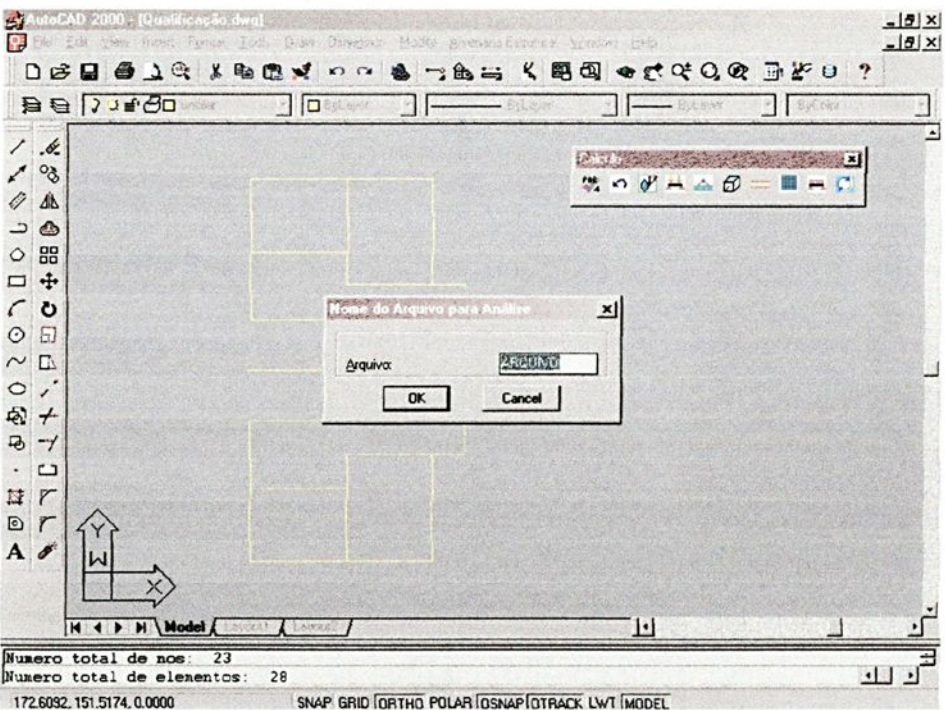


FIGURA 24 – Nome do arquivo para armazenamento de dados do projeto.

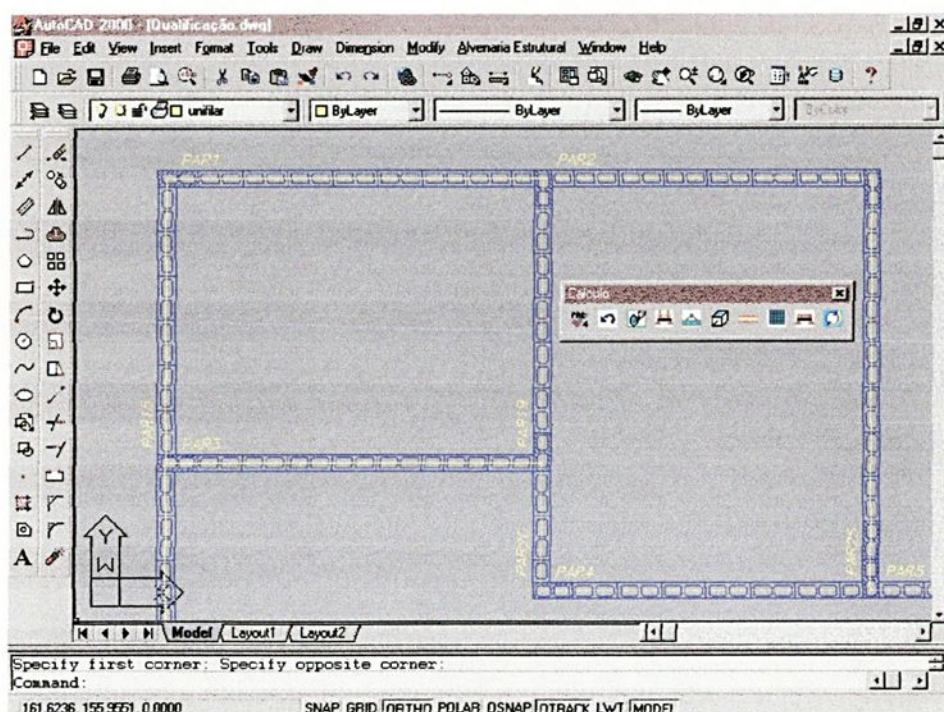


FIGURA 25 – Apresentação final da modulação com numeração.

4.5.2. Entrada de Dados para o Cálculo

O segundo item desta nova etapa do trabalho, compreende em discriminar via tela o esquema vertical da estrutura. Este programa mostra ao usuário um *layout* do esquema vertical acionando-se o ícone “Desenha Esquema de Cálculo Vertical” (Fig. 26). Deve-se marcar um ponto na tela e o desenho é inserido automaticamente.

Para execução deste desenho o programa utiliza dados definidos anteriormente no projeto, logo no início em “Dados Gerais do Projeto”. Baseado neste item, com as informações de espessura da laje, número de pavimentos, pé direito do pavimento térreo, pé direito do pavimento tipo e cota inicial do terreno, além de utilizar os limites laterais do diagrama unifilar, este *layout* é desenhado na escala pré-definida no item “Define Formato da Prancha” e pode ser utilizado normalmente na apresentação do projeto final (Fig. 27).

A apresentação do esquema vertical da edificação é apresentada seguindo uma configuração pré-definida de “*layers*”, cotas e “*polylines*”, e podem ser alteradas dentro do ambiente do programa *AutoCAD*.

Verificado a apresentação do esquema vertical, é possível alterar este esquema definindo-se novamente na caixa de diálogos “Dados Gerais do Projeto”, os valores em questão, além de selecionar novamente o diagrama unifilar caso este venha a ser modificado.

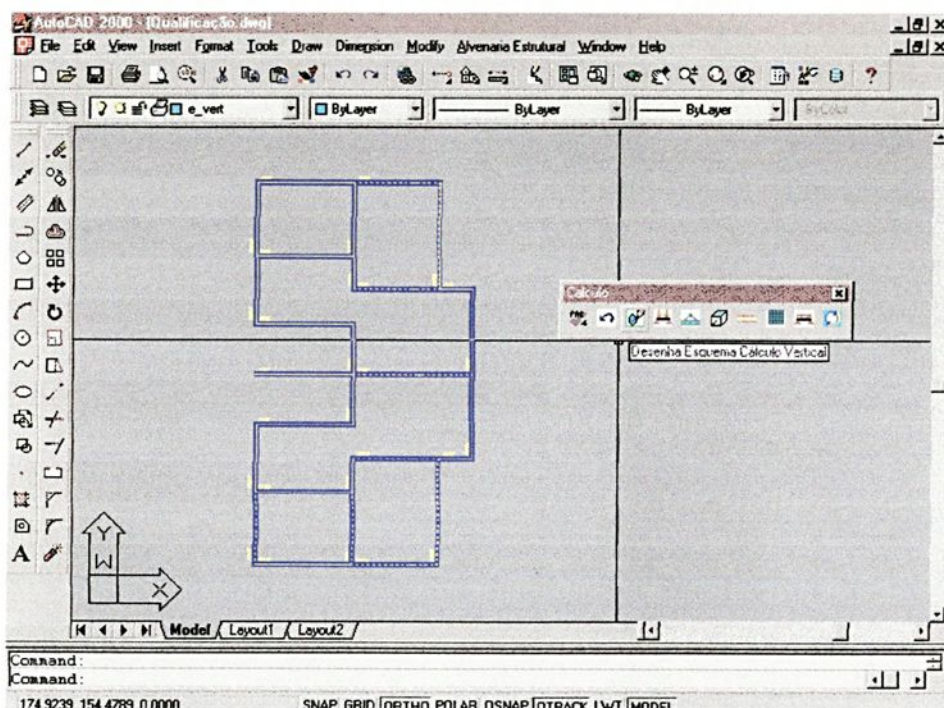


FIGURA 26 – Desenha esquema de cálculo vertical.

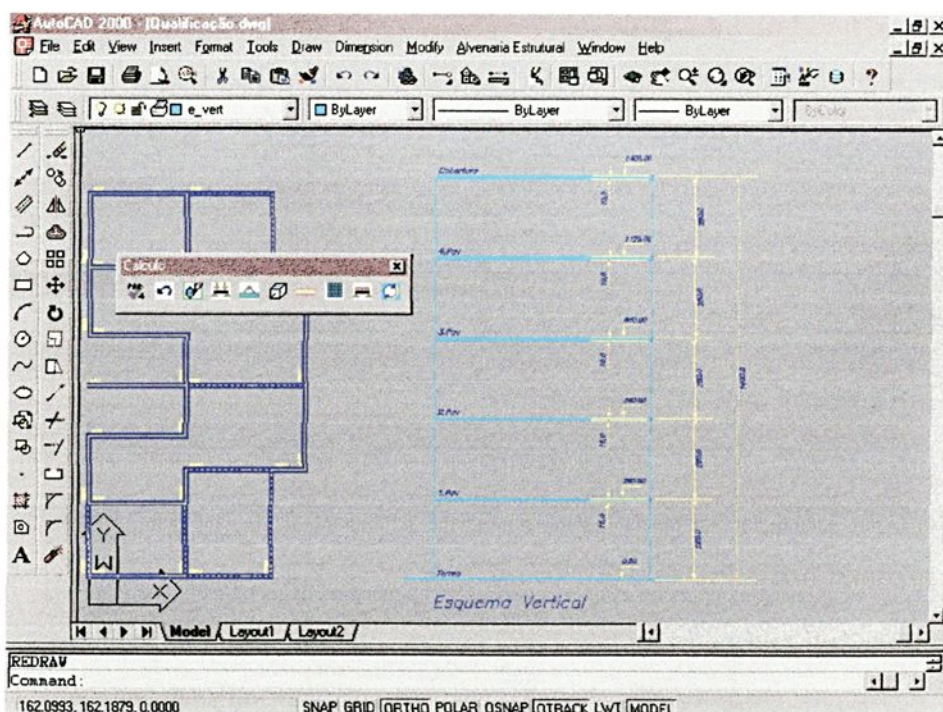


FIGURA 27 – Desenho final do esquema vertical da obra.

4.5.3. Definição dos Carregamentos Permanentes e Acidentais do Projeto

Nesta etapa do trabalho, pode-se definir todos os carregamentos atuantes na alvenaria estrutural. Este programa mostra ao usuário uma caixa de diálogos onde se pode definir diversos tipos de carregamento, acionando-se o ícone “Carregamentos de Projeto” (Fig. 28). A entrada de dados nesta caixa de diálogos é um item muito importante para um bom funcionamento do programa. O fato é que os carregamentos permanentes e acidentais são informados separadamente para lajes e paredes, facilitando a percepção do usuário.

No primeiro quadro interno da caixa de diálogos definem-se os carregamentos provenientes de lajes, iniciando-se com “peso próprio de lajes pré-fabricadas” (caso a laje utilizada no projeto seja definida como laje maciça, este programa calculará seu peso próprio e conseqüentemente o valor deste item deverá ser zero), “sobrecarga”, “revestimento” e “outros carregamentos”. O valor de cada carregamento sempre deverá ser inserido na unidade (kN/m^2).

Somente o valor da “sobrecarga” neste item é considerado como carregamento acidental, o item “outros carregamentos” é definido como carregamento permanente.

O segundo quadro interno da caixa de diálogos apresenta lacunas para informações dos carregamentos provenientes das paredes estruturais, iniciando-se com o “peso próprio dos blocos”, “revestimentos” e “outros carregamentos”. Todos os carregamentos deverão ser informados na unidade (kN/m^2) e todos itens são considerados como carregamento permanente.

No terceiro quadro interno da caixa de diálogos definem-se os carregamentos acidentais do projeto.

Definidos todos os itens propostos, o programa armazena os dados referentes aos carregamentos (permanentes e acidentais) do projeto (Fig. 29).



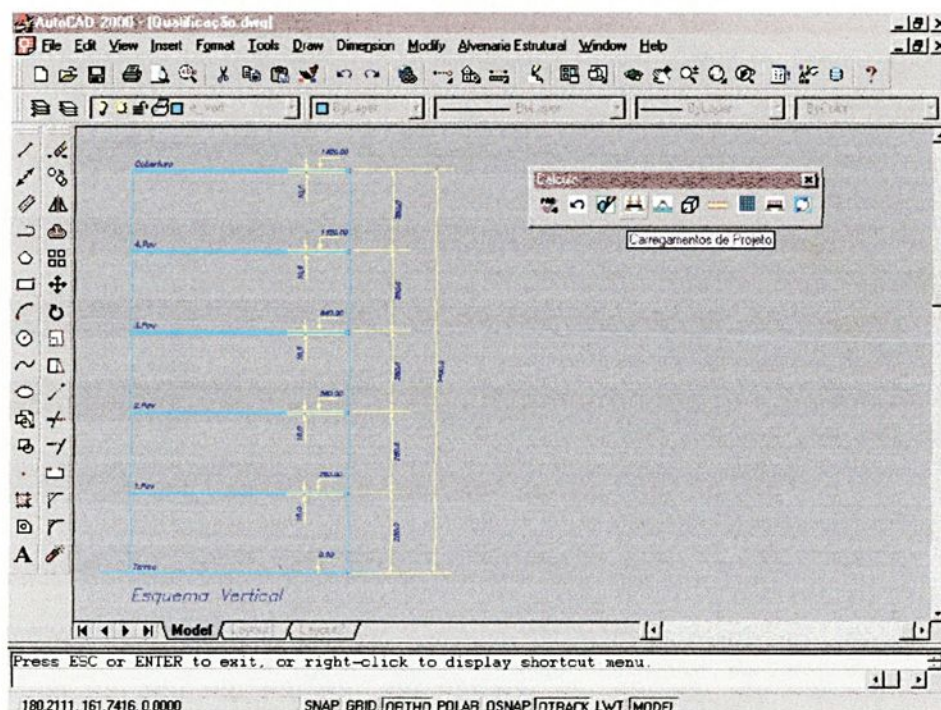


FIGURA 28 – Carregamentos de projeto.

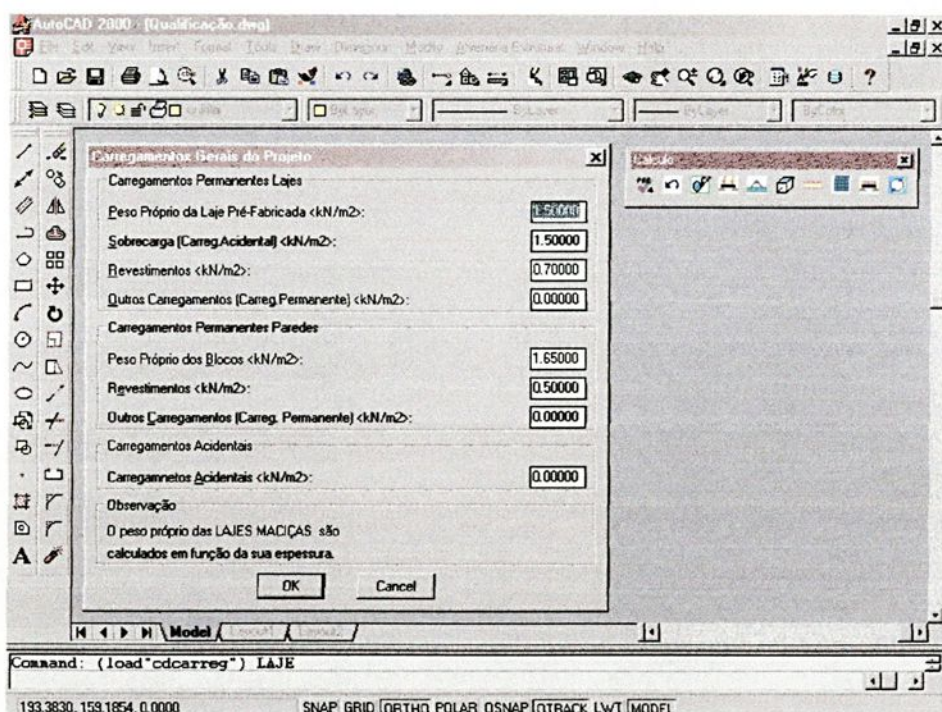


FIGURA 29 – Definição dos carregamentos permanentes e acidentais do projeto.

4.6 COMPLEMENTO DO PROGRAMA

4.6.1. Definição dos Painéis de Lajes Pré-Fabricadas

A primeira opção de laje é a mais utilizada atualmente em construções de edifícios, a laje pré-fabricada. A intenção é que ao acionar-se um determinado ícone o programa solicite ao usuário que selecione um ponto no diagrama unifilar que caracterize um ponto extremo do painel e em seguida outro ponto diagonal ao primeiro. A princípio o sentido do trilho será definido no menor vão, mas poderá ser alterado marcando um ícone e digitando-se o número de referência do painel (Fig. 30) a ser alterado.

De acordo com as definições prévias de carregamento e a taxa da área de influência de cada laje, neste item têm-se os carregamentos linearmente distribuídos sobre as paredes resistentes. A intenção é apresentar uma lista com os carregamentos em cada parede, para futuras análises com relação às tensões a que estas paredes estão sendo submetidas.

Estes carregamentos, expressos como cargas linearmente distribuídas, serão calculados através das áreas de influência de cada painel de laje sobre uma determinada parede.

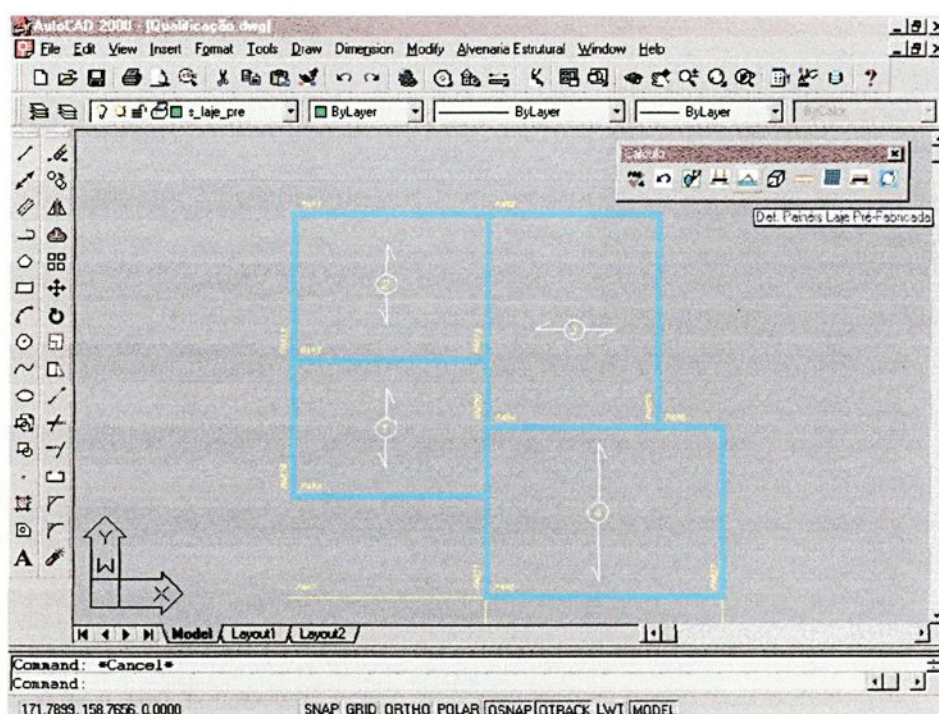


FIGURA 30 – Painéis de lajes pré-fabricadas.

4.6.2. Definição dos Painéis de Laje Maciça

A segunda opção é a laje maciça. Ao acionar um ícone o programa necessitará que o usuário selecione um ponto no diagrama unifilar que caracterize um ponto extremo do painel e em seguida outro ponto diagonal ao primeiro, como na inserção de lajes pré-fabricadas. Uma malha será definida dentro do espaço pré-definido (Fig. 31) e será utilizada pelo programa para o cálculo das reações de apoio sobre as paredes de contorno.

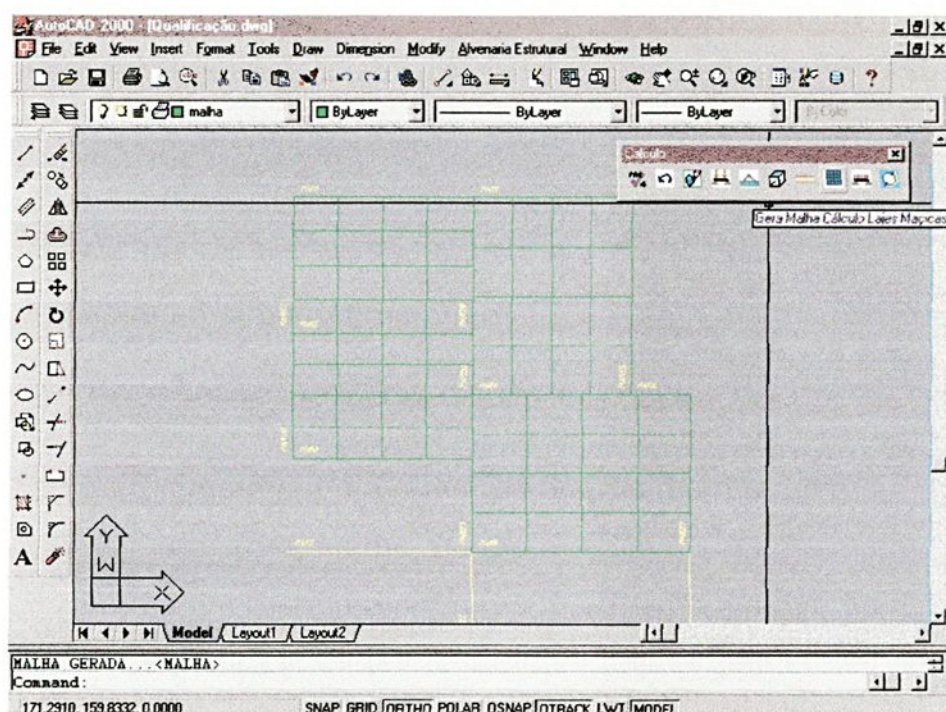


FIGURA 31 – Malha para cálculo de lajes maciças.

4.6.3. Carregamentos Lineares sobre as Lajes

Esta opção proporcionará ao usuário inserir um carregamento linearmente distribuído sobre as lajes do projeto acionando-se um ícone seguido do valor do carregamento na unidade (kN/m).

4.6.4. Dimensionamento e Verificação

Definidos todos os itens, pretende-se criar um ícone que iniciará o dimensionamento e a verificação do projeto em alvenaria estrutural, e armazenará dados que serão utilizados futuramente para detalhamento e saída de resultados da obra como um todo.

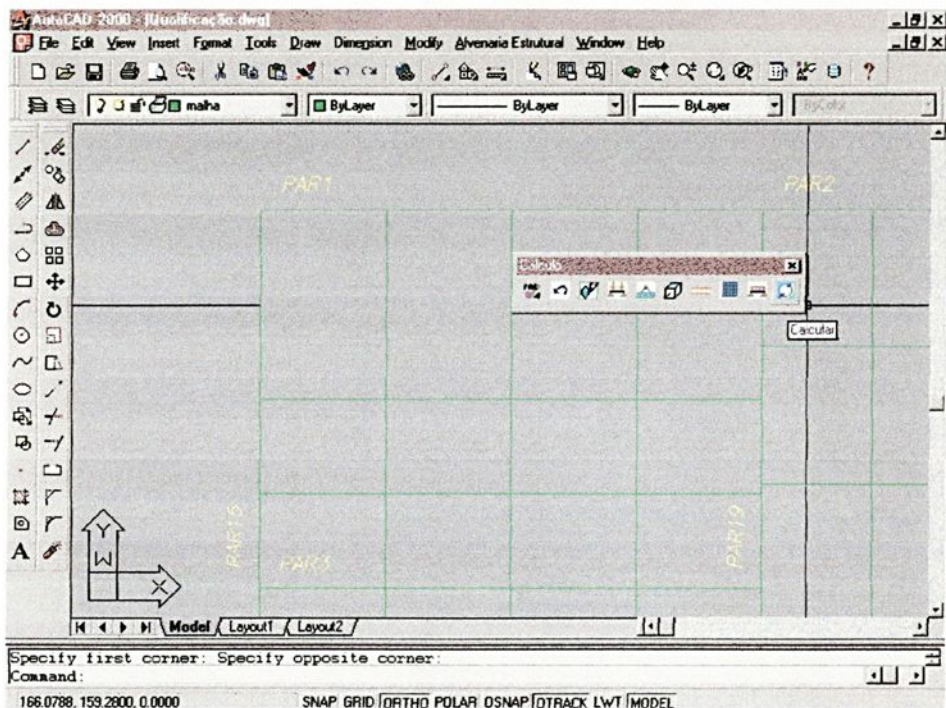


FIGURA 33 – Calcular.

AVALIAÇÃO DO MODELO DE CÁLCULO UTILIZADO NA DISTRIBUIÇÃO DAS AÇÕES HORIZONTAIS ATUANTES EM EDIFÍCIOS DE ALVENARIA ESTRUTURAL

1. OBJETIVOS

Neste trabalho pretende-se desenvolver um estudo comparativo dos resultados obtidos pelo método tradicional de se avaliar a distribuição das ações horizontais entre as paredes de contraventamento, adotado nos projetos de um modo geral, com os resultados obtidos em modelos matemáticos de maior complexidade.

Com os resultados desse estudo comparativo, deverá ser proposto um método intermediário de avaliação da distribuição dessas ações, que forneça melhores resultados do que os obtidos nos modelos mais simples e que ao mesmo tempo não exija um esforço computacional tão intenso.

Para tal, propõe-se o desenvolvimento da análise estrutural de um pequeno edifício sujeito à ação horizontal através dos seguintes métodos:

- Paredes articuladas (com e sem torção);
- Modelo dos pórticos comuns;
- Modelo dos pórticos de coluna larga;
- Método dos elementos finitos.

2. O PROBLEMA

As ações horizontais que atuam nos edifícios de Alvenaria Estrutural são provenientes das ações de ventos e das cargas de desaprumo da estrutura, sendo que os valores dessas ações estão previstos nas normas que tratam do assunto.

A distribuição das ações horizontais, agindo ao longo de uma parede de fachada constitui um dos problemas a ser enfrentado pelo projetista durante o desenvolvimento do projeto de um edifício de alvenaria estrutural, uma vez que cabe a ele a definição das paredes de contraventamento, que serão responsáveis pela estabilidade horizontal do edifício, proporcionando a segurança adequada.

No processo de análise do comportamento estrutural propriamente dito e nas etapas subseqüentes das verificações, é de fundamental importância que a distribuição dessas ações entre os elementos resistentes seja adequadamente estabelecida de modo a ficar garantida a economia e a segurança estrutural.

Nas rotinas de cálculo é freqüentemente considerado que a resultante das ações horizontais seja distribuída entre as paredes de contraventamento proporcionalmente à rigidez de cada uma delas. No entanto, quando essa resultante (w) não passar pelo centro de torção (cc) do conjunto de paredes de contraventamento, a estrutura estará sujeita a um momento torçor, sendo que seu efeito deverá ser considerado na distribuição das ações horizontais (fig. 01).

Adotar como hipótese a premissa de que a laje trabalhe como uma chapa com rigidez muito grande segundo o seu plano, permite que as ações horizontais possam ser distribuídas entre as paredes de contraventamento proporcionalmente à sua rigidez, pelo fato de estarem todas submetidas ao mesmo deslocamento horizontal, conforme mostra a figura (02).

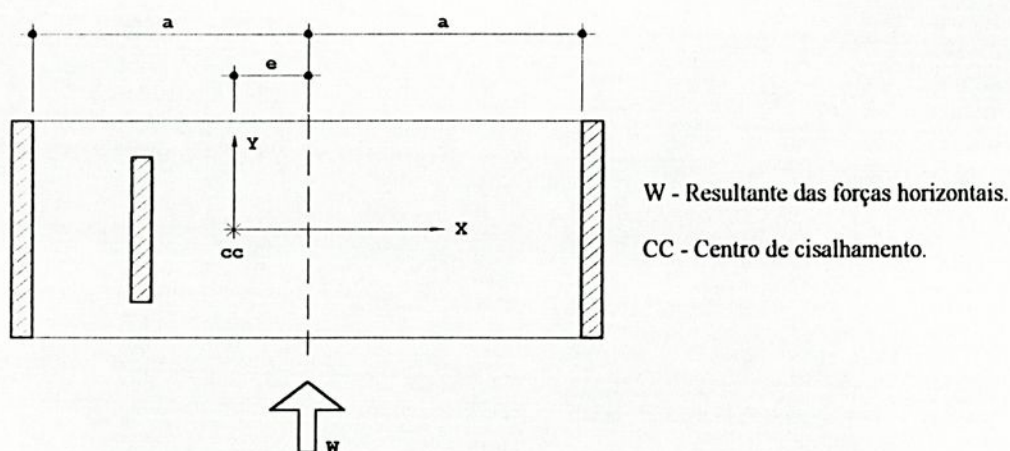


FIGURA 01 - Estruturas sujeitas a momento torçor.

Segundo Hendry, os resultados assim obtidos têm se mostrado muito conservadores quando comparados com valores verificados em ensaios experimentais e também fornecidos por outros métodos de análise estrutural. Esse fato pode levar o projetista a definir elementos estruturais robustos, o que aumenta os custos da obra.

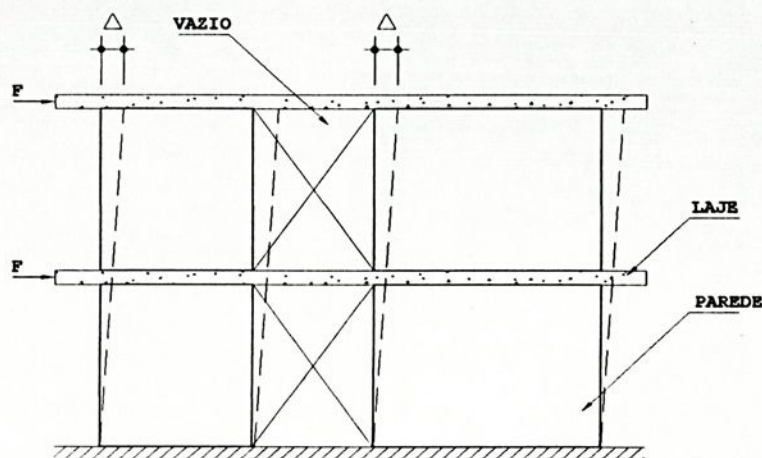


FIGURA 02 – Deslocamento uniforme no topo das paredes.

3. A PAREDE DE CONTRAVENTAMENTO

As paredes de contraventamento são os elementos estruturais que resistem às ações horizontais segundo seu próprio plano. São elas que dão estabilidade à obra, transmitindo às fundações as ações de vento que agem ao longo de uma parede de fachada.

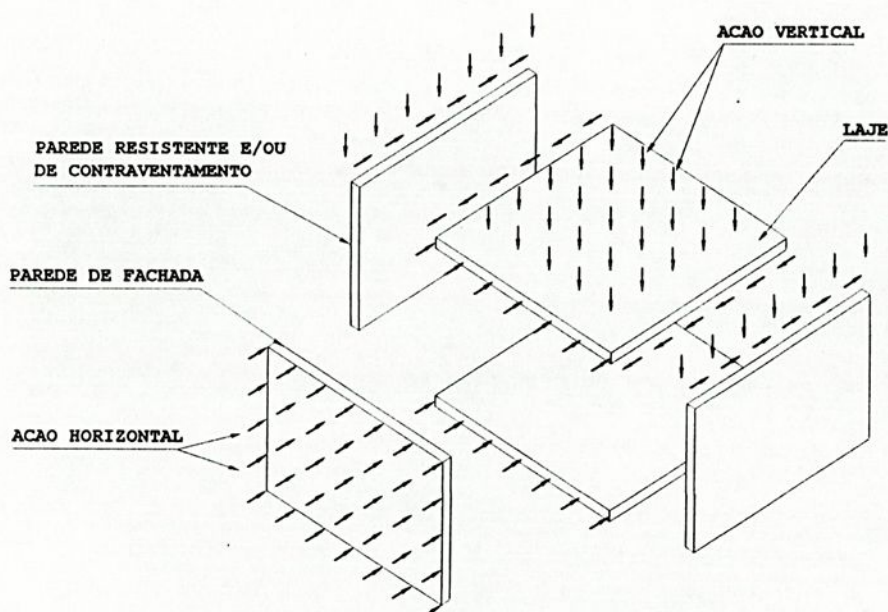


FIGURA 03 – Paredes de contraventamento.

As paredes perpendiculares à ação do vento, somente são consideradas quanto unidas à outras paredes, formando seções compostas (T, I, U, L, etc), mesmo assim sua contribuição é limitada. Como forma de expressar essa limitação, a norma inglesa (BS 5628) determina as dimensões máximas das abas de paredes de seção composta conforme a figura (5).

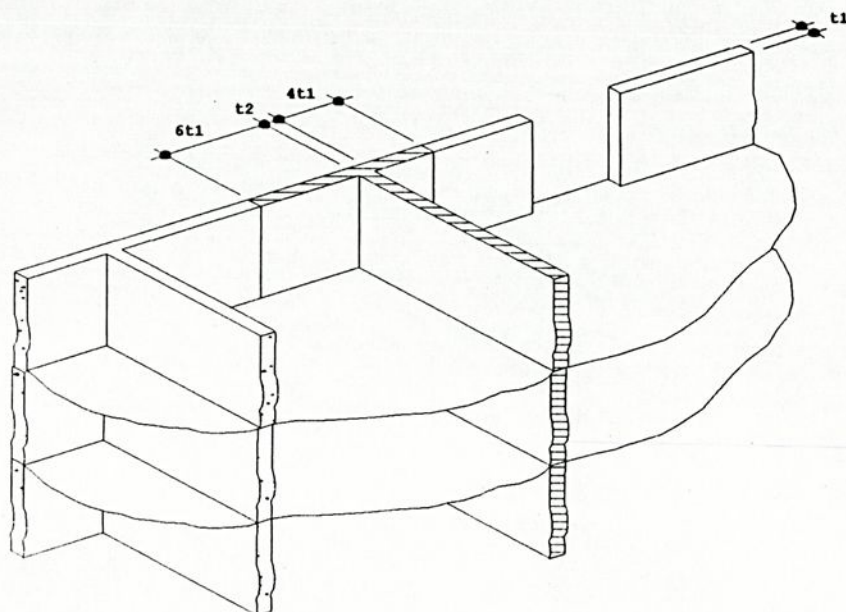


FIGURA 04 - Definição das paredes de contraventamento.

4. METODOLOGIA

Existem basicamente cinco métodos clássicos de análise da distribuição das ações horizontais em paredes de contraventamento com aberturas, que são:

- i) Método das paredes articuladas;
- ii) Cisalhamento contínuo;
- iii) Analogia de pórtico;
- iv) Pórtico de coluna larga;
- v) Elementos finitos.

No presente trabalho, será desenvolvida a análise estrutural de um pequeno edifício, carregado horizontalmente, através dos seguintes métodos:

- i) Método das paredes articuladas;
- iii) Analogia de pórtico;

iv) Pórtico de coluna larga;

v) Elementos finitos.

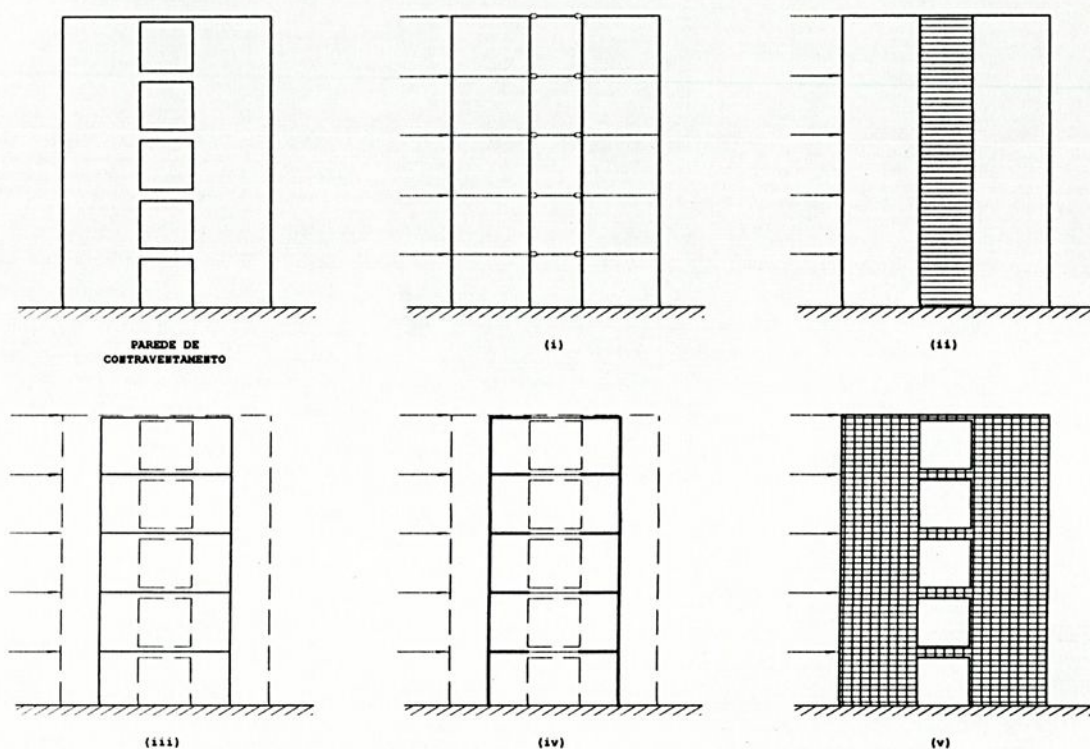


FIGURA 05 - Esquemas utilizados para distribuição das ações horizontais nas paredes de contraventamento.

5. O MODELO ESTUDADO

Para obtenção dos resultados, segundo os objetivos propostos, foi analisado um edifício de oito pavimentos. A análise foi feita pelo processo manual e numérico, através do programa SAP2000, utilizando-se o elemento tipo frame e a modelagem através de pórticos.

Na realidade, foi utilizado o mesmo edifício definido no estudo *distribuição das ações verticais atuantes em edifícios de alvenaria estrutural e implementação em programa de computador*.

5.1. ESQUEMA ESTRUTURAL

- Edifício de alvenaria não armada;
- Oito pavimentos;
- Laje maciça;
- Viga baldrame sobre estacas nos encontros das paredes.

Características gerais:

- pé direito = 2,8m
- abertura portas = (0,8 x 2,00)m
- abertura janelas = (1,6 x 1,20)m
- laje = 0,10 m
- viga baldrame = (0,2 x 0,4)m

Material:

- Ebloco = 8.000.000
- coef. Poisson concreto = 0,15

Geometria:

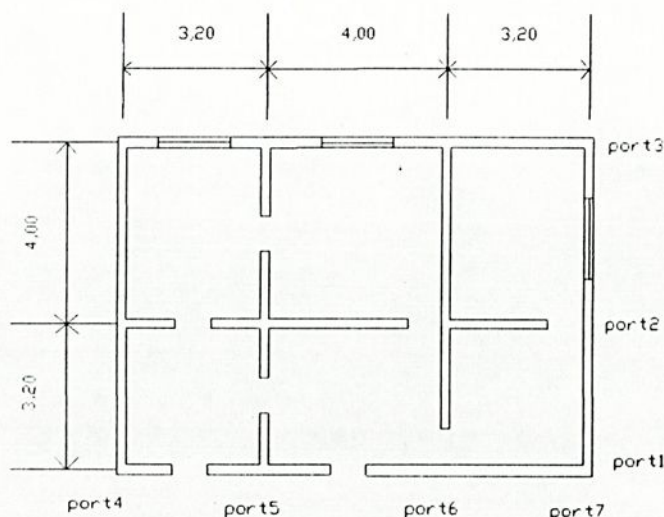


FIGURA 06 - Planta baixa com direção dos pórticos.

Definidas as paredes, foram montados pórticos unifilares coincidentes com a linha de eixo de cada parede, nas duas direções, para cada um dos três modelos em estudo (pórtico simples, pórtico de coluna larga e analogia de pórticos). Foram discretizados sete pórticos.

5.2. AÇÕES ATUANTES

Foi considerado como carregamento apenas ações horizontais (vento) atuando em cada uma das faces, como ação uniformemente distribuída de 1KN/m².

Para a determinação do quinhão de carga de cada uma das paredes de contraventamento, trabalhou-se com as áreas de influência das paredes de fachada, conforme figura (07) e tabela (01). Esses valores foram aplicados nos nós frontais de cada pórtico.

TABELA 01 - Áreas de contribuição (m²).

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
2,80	5,04	2,24	5,60	10,08	4,48	2,24
A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14
5,04	5,04	2,24	4,48	10,08	10,08	4,48

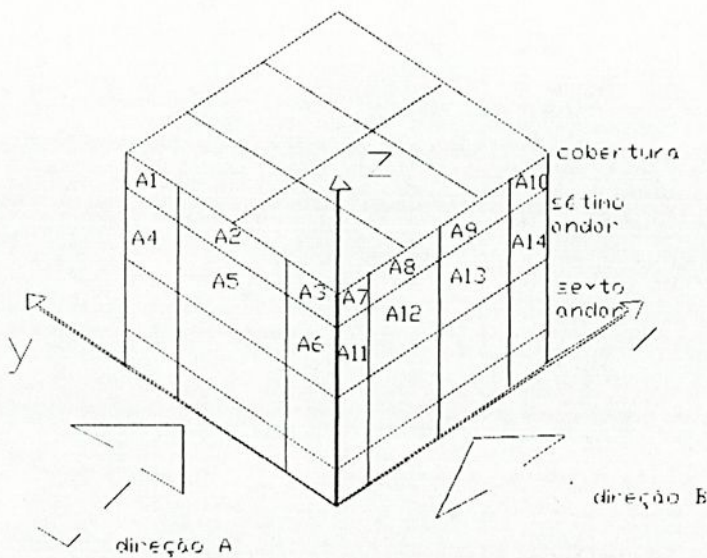


FIGURA 07 - Determinação das áreas de contribuição.

A figura (08) apresenta o carregamento esquemático atuante em cada um dos pórticos definidos para a estrutura em estudo.

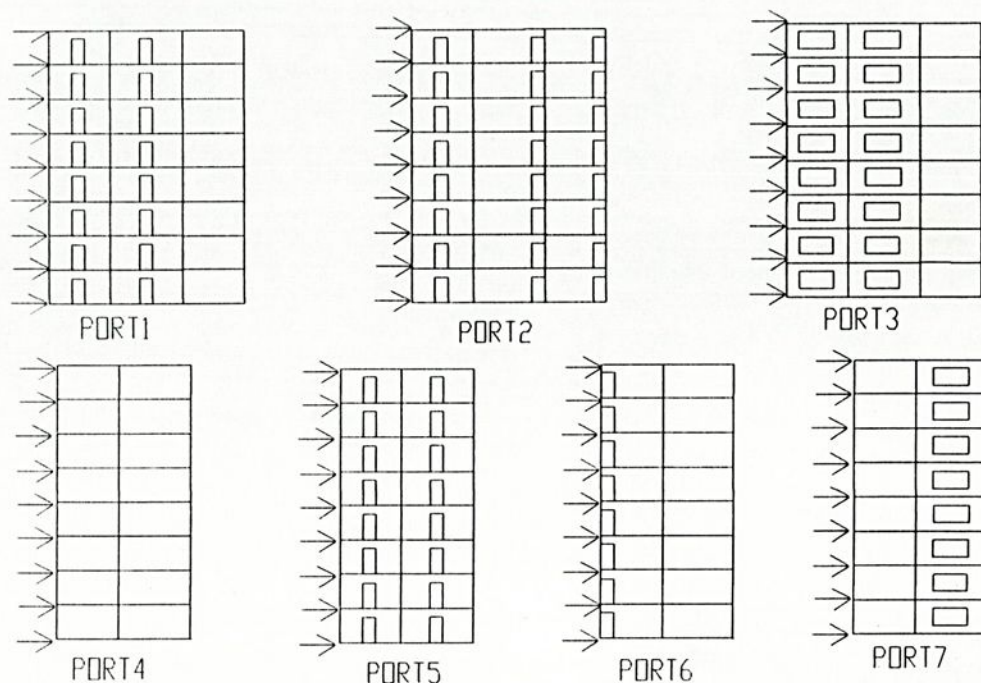


FIGURA 08 – Carregamento esquemático dos pórticos.

6. A ANÁLISE ESTRUTURAL

6.1. MÉTODOS NUMÉRICOS

6.1.1. Estrutura aporticada

Na modelagem através de pórticos, foram utilizadas duas soluções distintas, a saber:

- *Analogia de pórticos*: todas as barras foram definidas com dimensões (20x20)cm, sendo que as vigas (barras horizontais) foram localizadas nos níveis das lajes e os pilares (barras verticais) nos encontros das paredes.
- *Pórticos de coluna larga*: as barras verticais e horizontais mantiveram as mesmas posições. Para as barras verticais adotou-se uma inércia proporcional à seção da parede correspondente (20xcompr.)cm. Para as barras horizontais foram adotadas

diferentes inércias, correspondentes às alturas das alvenarias em cada trecho: parede cega, trechos entre janelas e entre as portas.

No processo manual foi analisada a distribuição dos esforços sobre as paredes de contraventamento, determinando a carga que corresponde a cada parede isolada, nas duas direções. O método de análise aplicado foi o método das paredes articuladas. Considera-se rotuladas as ligações existentes entre as paredes, permitindo assim somente a transmissão de forças (não de momentos). Determina-se então a resultante das ações horizontais em cada parede, proporcional à rigidez de cada uma.

Para estruturas simétricas, quando a resultante das ações horizontais coincidir com o centro de torção, as paredes de contraventamento receberão quinhões das ações horizontais que agem ao longo de uma parede de fachada, proporcional a rigidez de cada parede. Já as estruturas não simétricas podem estar sujeitas a um momento torçor que deverá ser considerado na distribuição das cargas horizontais.

6.1.2. Método dos elementos finitos - SAP2000

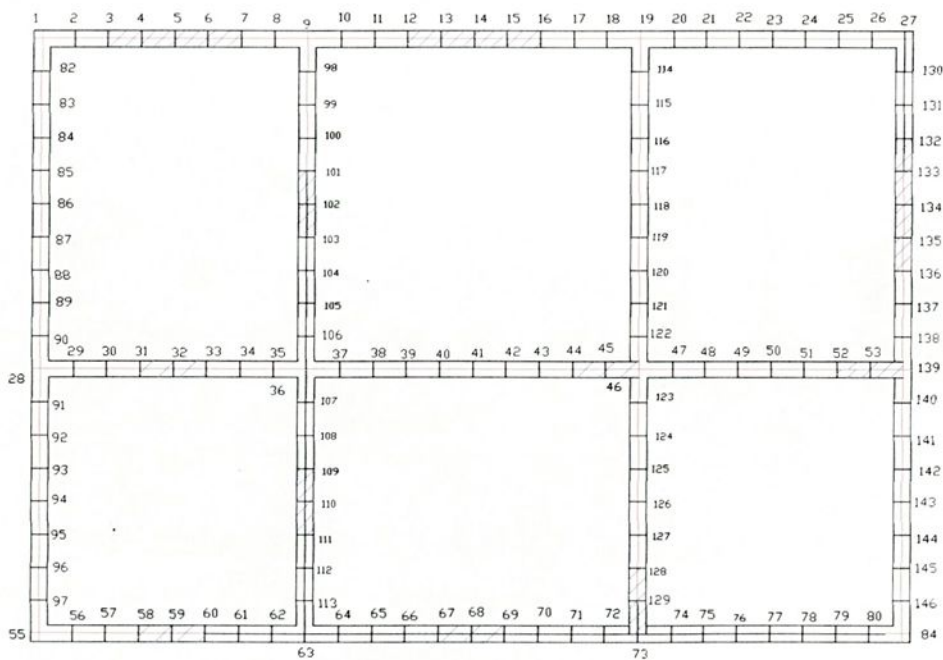


FIGURA 09 - numeração dos nós dos elementos discretizados.

6.2. PROCESSO MANUAL

O levantamento da ação horizontal (W_k) que atua sobre cada parede de contraventamento (k) é obtido a partir da resultante das ações horizontais (W), em cada direção, proporcionalmente ao momento de inércia da parede (I_k) e de sua distância ao centro de torção do conjunto (cc).

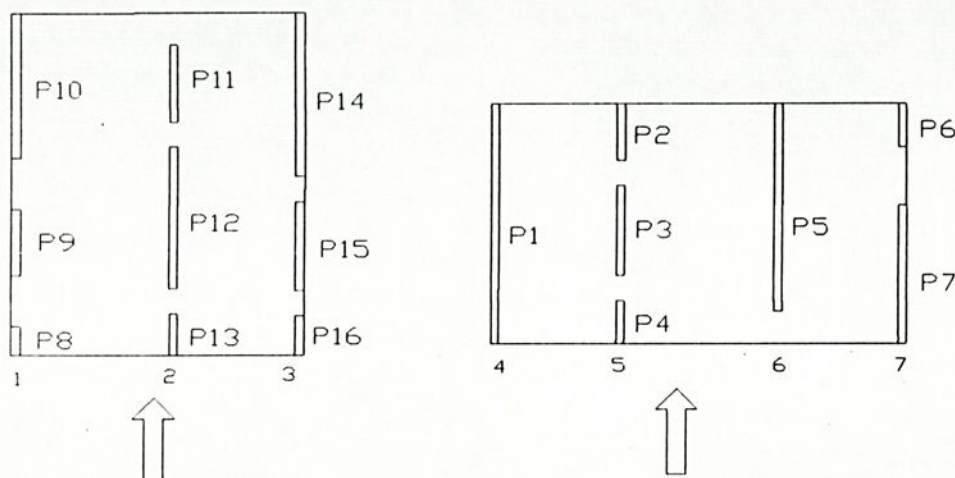


FIGURA 10 – Esquema das paredes isoladas em cada direção

Foram determinados os momentos de inércia das paredes e o centro de torção do conjunto, em cada direção. Foi estabelecido o eixo de referência na face externa da parede (ver figura 11).

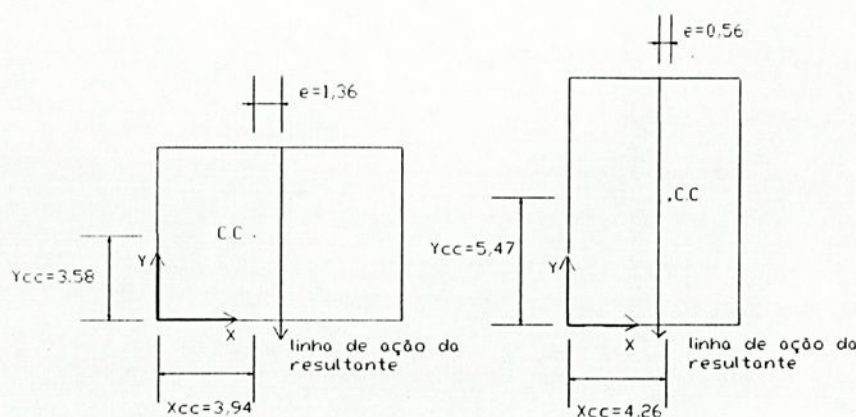


FIGURA 11 - Esquema do eixo de referência nas duas direções.

7. RESULTADOS

Os resultados obtidos para o processo manual e numérico foram organizados em forma de tabelas, apresentadas a seguir.

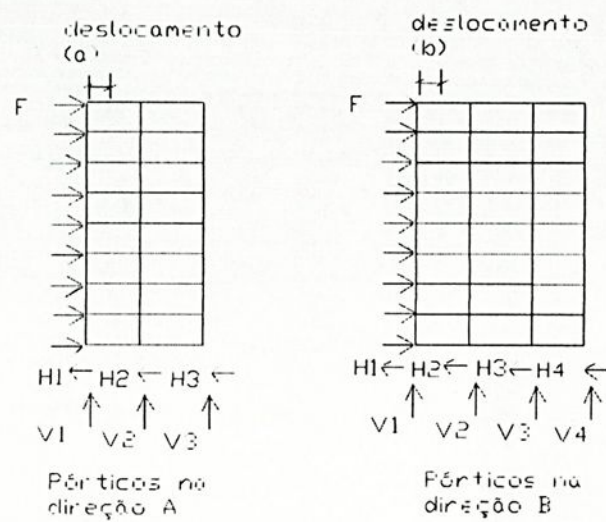


FIGURA 12- Esquema dos pórticos nas duas direções.

7.1. PROCESSO NUMÉRICO

7.1.1. Analogia de pórticos

TABELA 02 - Reações de apoio e deslocamentos (a) de cada pórtico.

Pórtico	Reações de apoio (KN)								a(mm)
	H1	H2	H3	H4	V1	V2	V3	V4	
PORT1	-9,73	-9,33	-9,32	-7,46	-38,60	14,50	-14,50	38,60	6,3
PORT2	-21,9	-20,97	-20,9	-16,8	-86,80	32,70	-32,70	86,80	14,21
PORT3	-12,2	-11,63	-11,6	-9,35	-48,20	18,15	-18,20	48,23	7,85
PORT4	-12,7	-13,40	-9,74	-	-56,80	16,90	39,89	-	9,26
PORT5	-28,5	-30,20	-21,9	-	-128	38,10	89,75	-	20,8
PORT6	-28,5	-30,20	-21,9	-	-128	38,10	89,75	-	20,8
PORT7	-12,7	-13,40	-9,73	-	-56,80	16,90	39,90	-	9,26

7.1.2. Pórtico de coluna larga

TABELA 03 - Reações de apoio e deslocamentos (a) de cada pórtico.

	Reações de apoio (KN)								
Pórtico	H1	H2	H3	H4	V1	V2	V3	V4	a(mm)
PORT1	-5,34	-12,20	-13,9	-4,39	-21,60	16,80	10,22	28,11	0,02
PORT2	-12,1	-51,62	-16,8	-0,09	-57,90	-27,80	67,08	18,74	0,04
PORT3	-5,10	-12,90	-19,5	-7,31	-23,80	-26,20	8,940	41,03	0,04
PORT4	-9,70	-16,80	-9,34	-	-46	-4,970	51,38	-	0,97
PORT5	-21,2	-37,80	-21,6	-	-101	-16,30	117,8	-	1,38
PORT6	-7,34	-50,30	-23,0	-	-35,40	-135	170	-	0,43
PORT7	-11,8	-16,80	-7,24	-	-54	8,72	45,30	-	1,03

7.1.2. Elementos finitos

Os resultados obtidos das reações de apoio e dos deslocamentos para as paredes da estrutura em estudo são apresentados nas tabelas abaixo:

TABELA 04 - Valores das reações de apoio para as duas direções de paredes de contraventamento, direção A e B respectivamente.

	direção B	direção A
Número nó	Reações (KN)	Reações (KN)
1	-25,548	-12,484
9	-15,865	-13,904
19	-19,486	-13,924
27	-27,426	-9,237
28	-3,579	-12,415
36	-4,52	-10,826
46	-7,103	-10,609
139	-5,464	-10,114
55	-28,743	-10,919
63	-18,367	-21,861
73	-30,768	-13,406
81	-20,491	-21,581

TABELA 05 - Valores dos deslocamentos para as paredes de contraventamento.

	a(mm)
P1	0,5047
P2	0,5147
P3	0,5095
P4	0,5046
P5	1,5271
P6	0,5147
P7	1,0134
P8	0,9368
P9	0,9484
P10	1,9298
P11	0,9611
P12	0,9487
P13	0,9371
P14	1,9303
P15	0,9492
P16	0,9368

7.2. PROCESSO MANUAL

TABELA 06 – Processo manual para as direções A e B respectivamente.
Reações de apoio (W): KN

Paredes	Ik(m ⁴)	Xk(m)	Xi2(m ²)	e(m)	li*Xi2(m ⁶)	W1(KN)	W2(KN)	W1+W2(KN)
P1	6,22	-3,84	14,75	1,36	203,67	115,84	-37,16	78,68
P2	0,07	-0,64	0,41			1,27	-0,061	1,209
P3	0,37	-0,64	0,41			6,81	-0,368	6,442
P4	0,03	-0,64	0,41			0,54	-0,029	0,511
P5	4,37	3,36	11,29			81,36	22,84	104,2
P6	0,03	6,56	43,03			0,54	0,306	0,806
P7	1,42	6,56	43,03			26,44	14,49	40,93
Σ	12,51	--	--			232,96	0	232,96
	Ik(m ⁴)	Xk(m)	Xi2(m ²)	e(m)	li*Xi2(m ⁶)	W1(KN)	W2(KN)	W1+W2(KN)
P8	0,01	-4,16	17,31	0,56	47,75	0,25	-0,787	-0,537
P9	0,13	-4,16	17,31			3,92	-1,023	2,897
P10	1,42	-4,16	17,31			41,78	-11,17	30,61
P11	0,23	-0,16	0,03			6,78	-0,696	6,084
P12	1,42	-0,16	0,03			41,78	-0,429	41,351
P13	0,03	-0,16	0,03			0,85	-0,009	0,841
P14	1,84	3,04	9,24			54,25	10,58	64,83
P15	0,37	3,04	9,24			10,77	2,127	12,89
P16	0,03	3,04	9,24			0,85	0,172	1,022
Σ	5,48	--	--			161,28	0	161,28

W→ KN ; l,X,e→metros

Adotando-se:

$$W1=W \cdot I_k / \sum I_i \quad \text{e} \quad W2=I_k \cdot X_k / \sum (I_i \cdot X_i^2)$$

TABELA 07- Resultados dos deslocamentos, para as duas direções de paredes de contraventamento (relacionados à figura 34), direção A e B respectivamente.

Parede	seção (cm)	Ik (m4)	q (KN)	q(KN/m)	a (mm)
P1	20x720	6,22	78,68	3,51	2,2
P2	20x160	0,07	1,209	0,054	3,0
P3	20x280	0,37	6,442	0,288	3,1
P4	20x120	0,03	0,511	0,023	3,0
P5	20x640	4,37	104,2	4,652	4,2
P6	20x120	0,03	0,806	0,036	4,7
P7	20x440	1,42	40,93	1,827	5,1
P8	20x80	0,01	-0,537	-0,024	-9,4
P9	20x200	0,13	2,897	0,129	3,9
P10	20x440	1,42	30,61	1,366	3,8
P11	20x240	0,23	6,084	0,272	4,6
P12	20x440	1,42	41,351	1,846	5,1
P13	20x120	0,03	0,841	0,038	4,9
P14	20x480	1,84	64,83	2,894	6,2
P15	20x280	0,37	12,89	0,575	6,1
P16	20x120	0,03	1,022	0,046	6,0

7.3. COMENTÁRIOS

Os gráficos abaixo mostram a distribuição das forças horizontais e dos deslocamentos em cada parede, para o processo manual e numérico.

Pode-se observar que o processo manual apresenta valores de forças que se afastam muito, para mais e para menos, em relação aos valores obtidos através dos pórticos. Esse fato pode conduzir a dimensionamentos contra a economia e, o que é mais grave, contra a segurança em algumas paredes.

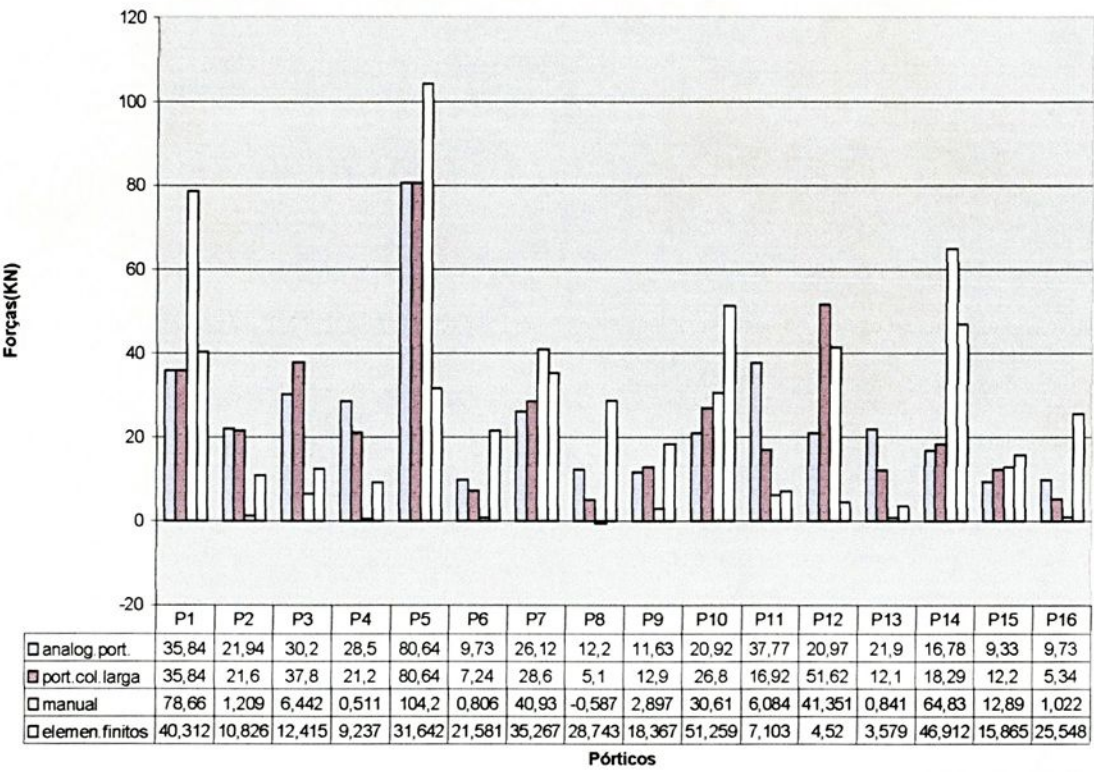


Gráfico 01 – Forças horizontais (KN) nas paredes para cada processo.

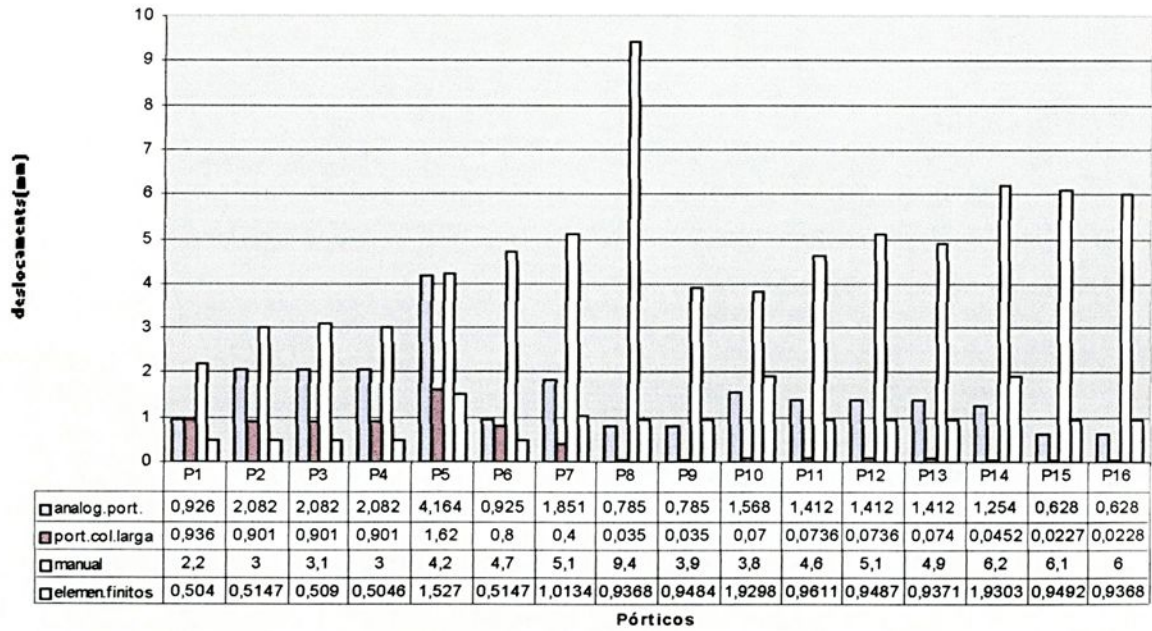


Gráfico 02 – Deslocamentos (mm) no topo do edifício.

AUTOMATIZAÇÃO DA ANÁLISE DE EDIFÍCIOS DE ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCOS

1. OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo principal automatizar as rotinas de análise estrutural que envolve o projeto e a construção de edifício de alvenaria estrutural.

A proposta é elaborar um programa que complemente o programa de automação gráfica de projetos de edifícios de alvenaria estrutural que vem sendo desenvolvido em um outro trabalho de mestrado e que se encontra em fase final de conclusão.

Esse programa fará o estudo das ações horizontais e verticais atuantes nos edifícios, sua distribuição e todas as verificações necessárias e recomendadas pelas normas que tratam do assunto, permitindo ao usuário optar pela norma de referência.

2. JUSTIFICATIVA

Após a etapa de coordenação modular e detalhamento do projeto arquitetônico, segue-se a fase da análise estrutural, onde são quantificadas as ações verticais e horizontais atuantes na edificação, sua distribuição entre os elementos resistentes (paredes resistentes e de contraventamento), suas combinações mais desfavoráveis e a determinação das máximas tensões atuantes em todos os pontos da estrutura. Na sequência, são verificadas todas as recomendações das normas que tratam do assunto, observando-se as cargas admissíveis, a existência de pontos de tração, corte e esmagamentos localizados.

Essa etapa caracteriza-se pela grande quantidade de rotinas de cálculo repetitivas, o que exige significativo dispêndio de tempo por parte do projetista além de aumentar a probabilidade da ocorrência de erros. Quando algum ponto da estrutura não atende às

prescrições de norma, faz-se necessárias novas definições estruturais e a quase total repetição do processo.

Além desses fatos, salienta-se que existem diferentes técnicas de análise da distribuição das ações verticais e horizontais e que eventualmente necessitem ser empregadas pelo projetista em algumas situações especiais ou de dúvidas da confiabilidade dos resultados obtidos.

O resultado final desse trabalho será um programa completo para o desenvolvimento dos projetos de edifícios de alvenaria estrutural, composto por um 'pacote gráfico' e um de "análise, dimensionamento e verificação estrutural", com inquestionáveis vantagens de tempo, custo e qualidade do produto final.

3. METODOLOGIA

Esse trabalho será uma continuidade do programa *Automatização Gráfica e de Procedimentos Básicos para o Cálculo de Edifícios de Alvenaria Estrutural* que vem sendo desenvolvido em ambiente Autocad e linguagem de programação AutoLisp.

Os procedimentos de cálculo e verificações prescritas pelas principais normas que tratam do assunto deverão ser inseridos no programa, cabendo ao usuário a opção por uma delas, segundo suas conveniências.

Com relação à distribuição das ações horizontais e verticais, deverá ser disponibilizado ao usuário mais de um método. Serão utilizados os resultados dos trabalhos que avaliam a distribuição das ações horizontais e verticais nos edifícios de alvenaria estrutural, além de modelos já propostos por alguns pesquisadores, após sua avaliação, cabendo novamente ao usuário a opção pelo método desejado.

Todas as rotinas serão desenvolvidas em linguagem de programação visual basic recentemente implantada no programa AutoCad 2000, por se tratar de uma ferramenta comprovadamente poderosa.



Em todas as etapas serão desenvolvidos ícones e caixas de diálogo, de maneira a facilitar a interação usuário/programa. Dessa forma, o trabalho despendido no desenvolvimento desses projetos poderá ser reduzido consideravelmente, dando maior liberdade e agilidade ao projetista, bem como oferecendo um pacote completo no estudo da alvenaria estrutural, minimizando a probabilidade de ocorrência de erros dentro dos processos repetitivos de cálculo, facilitando a introdução de modificações e fornecendo uma apresentação gráfica de alta qualidade.



DESENVOLVIMENTO DAS TÉCNICAS DE PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA ALVENARIA ESTRUTURAL NA ESCALA (1:4)

1. OBJETIVOS

O presente trabalho apresenta como objetivo principal o estudo e desenvolvimento das técnicas de produção de blocos de concreto na escala (1:4) para a alvenaria estrutural. Para a consecução desse objetivo, três etapas de trabalho são propostas:

- Desenvolvimento das técnicas e equipamento de produção dos blocos de concreto na escala (1:4);
- Avaliação de parâmetros como o grau de compactação, as relações entre agregados, o fator água/cimento e a idade de ruptura nas correlações entre protótipo e modelo para o bloco;
- Investigar as correlações entre protótipos e modelos para os ensaios básicos realizados na alvenaria estrutural, tais como ensaios em blocos, prismas e pequenas paredes.

2. JUSTIFICATIVA

No capítulo três deste trabalho foi rapidamente apresentada a evolução dos ensaios na Alvenaria Estrutural, que tiveram início com a caracterização de seus componentes: tijolos, blocos, argamassas e grautes, multiplicando-se posteriormente nos mais diversos tipos de ensaios em prismas e paredes.

Contudo, a necessidade crescente de melhor compreender o complexo comportamento da Alvenaria Estrutural, tem conduzido alguns centros de pesquisas a desenvolverem ensaios em estruturas de grandeza natural, uma vez que os ensaios iniciais, em elementos mais simples como prismas e paredes, não podem esclarecer o comportamento de elementos estruturais de maior complexidade.



Desnecessário seria comentar os aspectos relacionados a custos, tempo e complexidade dos equipamentos envolvidos na realização de programas de ensaios dessa natureza e, conseqüentemente, da impossibilidade de sua execução em nosso país.

Diante desses fatos, o presente trabalho tem como meta buscar desenvolver as técnicas de produção de blocos de concreto em escala reduzida, pois, uma vez atingido esse objetivo, abrir-se-á enorme campo de investigação do comportamento da Alvenaria Estrutural através da técnica dos modelos físicos reduzidos.

4. ESTÁGIO ATUAL DO TRABALHO

Uma investigação preliminar em relação a esse tema foi desenvolvida no Laboratório de Estruturas da FEIS/UNESP com o objetivo de fornecer subsídios para melhor se avaliar as reais possibilidades e dificuldades da presente proposta.

4.1. FABRICAÇÃO DOS BLOCOS

Para fabricação dos blocos na escala reduzida (1:4), foi utilizado um pequeno equipamento desenvolvido no Laboratório de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, como visto na foto (01). Por se tratar de um primeiro protótipo, empregou-se como material de base o PVC, que é um material de fácil manuseio. O aparato mecânico desenvolvido foi preso sobre uma mesa vibratória de modo a melhorar as condições de compactação.

O bloco original (1:1) foi produzido numa fábrica comercial, que forneceu todas as informações do traço utilizado. Todas as características geométricas dos blocos foram reduzidas linearmente, até mesmo os septos que apresentam características cônicas. A foto (02) mostra os dois modelos em ambas escalas.

Os blocos reduzidos foram produzidos com diferentes graus de compactação, relação água/cimento e granulometria, sendo posteriormente ensaiados à compressão axial. Apesar da prensa ser ainda uma primeira tentativa e o processo de produção bastante rudimentar, os resultados obtidos foram bastante animadores, tendo resultado inclusive na publicação de trabalhos em Congressos Internacionais.



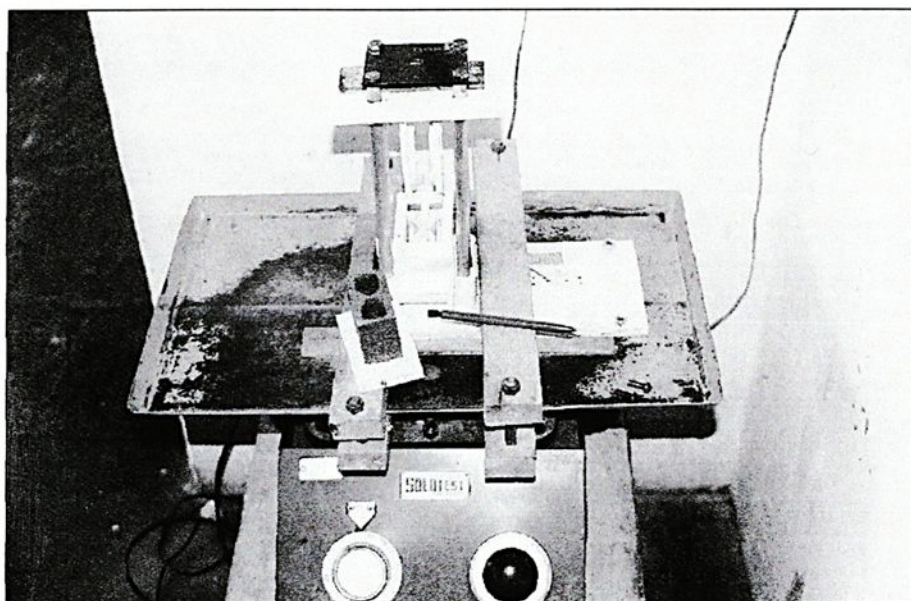


FOTO (01) – Prensa para fabricação dos blocos na escala (1:4).

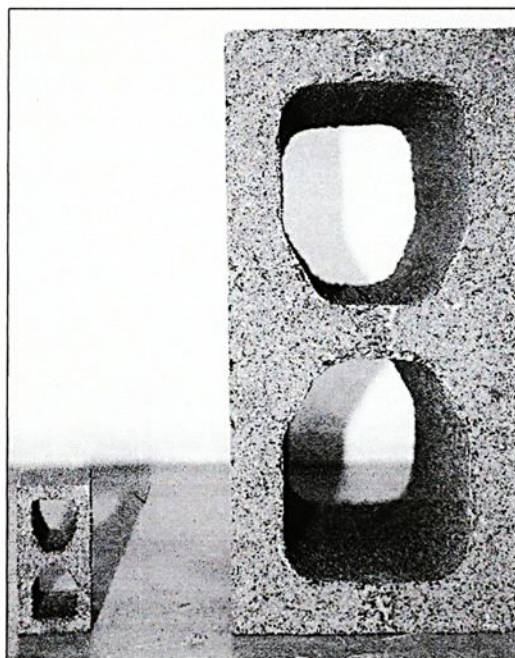


FOTO (02) – Blocos nas escalas (1:1) e (1:4).

4.2. CARACTERÍSTICAS DOS BLOCOS

No traço do bloco na escala (1:4) foi empregada areia passante na peneira #0,42mm e pedrisco passante na peneira #2,00mm e retido na peneira #1,19mm, procurando-se manter uma relação (1:4) no diâmetro dos agregados.

O cimento usado também foi o mesmo usado nos blocos em escala real, que foi o cimento ARI – de alta resistência inicial. A proporção entre os materiais empregados é apresentada abaixo:

$$\text{traço1:} \left\{ \begin{array}{l} \text{cimento: } 15\text{ml} \rightarrow 23\text{g} \\ \text{água: } 12\text{ml} \rightarrow 12\text{g} \\ \text{areia: } 81\text{ml} \rightarrow 108 \\ \text{pedrisco: } 54\text{ml} \rightarrow 76\text{g} \end{array} \right.$$

Como o processo de fabricação dos blocos foi manual, não foi possível utilizar o mesmo grau de compactação dos blocos naturais. Dessa forma, foram definidos os seguintes valores de massa:

- BL1-133: são os blocos com traço1 pesando inicialmente 133g.
- BL1-135: são os blocos com traço1 pesando inicialmente 135g.
- BL1-138: são os blocos com traço1 pesando inicialmente 138g.
- BL1-140: são os blocos com traço1 pesando inicialmente 140g.

4.3. MONTAGEM DOS PRISMAS

Com o objetivo de desenvolver um estudo inicial das correlações entre resistências à compressão, foram montados prismas de três blocos, nas duas escalas, ensaiados até a ruptura. No processo de montagem foram controlados todos os parâmetros relacionados à mão-de-obra que interferem nos resultados finais de resistência, tais como: prumo, espessura de juntas e nivelamento.

A argamassa utilizada na confecção dos prismas foi preparada com traço 1:1:6 (cimento, cal, areia). Foi utilizada areia de granulometria média nos prismas na escala (1:1) e areia fina na escala (1:4). Os corpos de prova para controle de resistência da argamassa foram retirados ao longo do período de montagem dos prismas. Foram adotadas juntas com espessura de 10,0mm nos prismas na escala (1:1) e de 2,5cm na escala (1:4).

4.4. OS ENSAIOS

Os ensaios foram realizados em prensas hidráulicas. Para os blocos na escala (1:4,) empregou-se uma prensa com capacidade máxima de 200 kN, trabalhando-se na escala de 10 kN, a foto (03) dá uma visão geral do ensaio. Para os blocos na escala (1:1) empregou-se uma prensa de 5000 kN, trabalhando-se na escala de 1000 kN. As fotos (04 e 05) dão uma visão geral do ensaio.

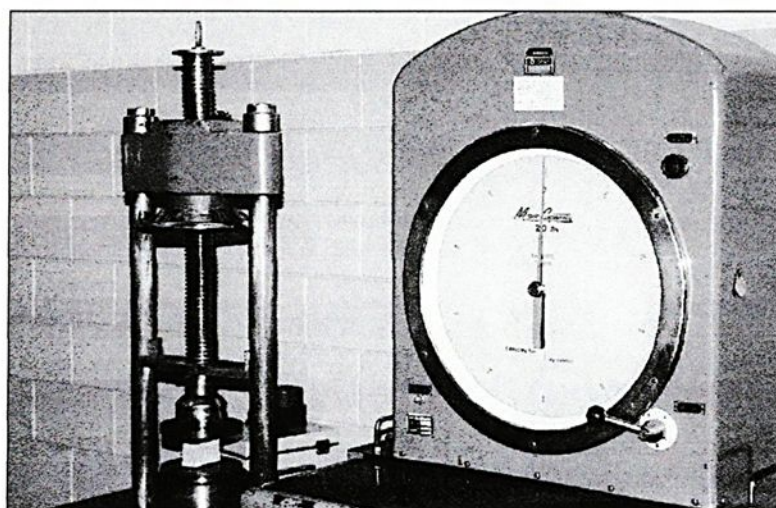


FOTO (03) - Ensaio de resistência à compressão nos blocos na escala reduzida.

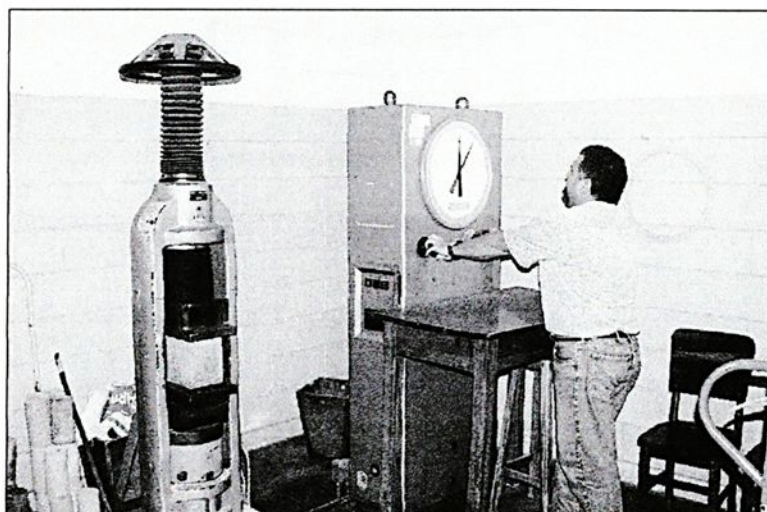


FOTO (04) - Ensaio de resistência à compressão nos blocos na escala real.

Os blocos ensaiados foram capeados com enxofre, seguindo-se sempre os métodos de ensaios preconizados pela NBR 7186. Nos ensaios dos blocos na escala real a

velocidade de carregamento foi de 203,0N/s e para os blocos em escala reduzida este valor foi de 12,7N/s.

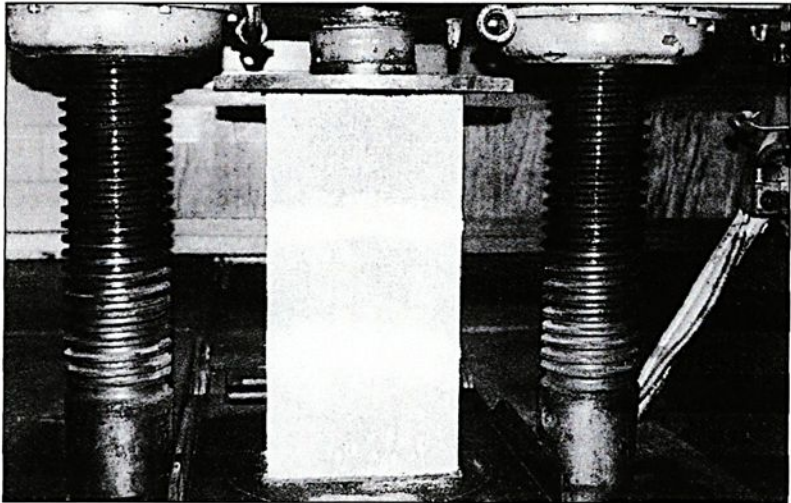


Foto (05) - Prismas de três blocos na escala real.

5. RESULTADOS OBTIDOS

Os resultado obtidos nos ensaios dos blocos, prismas e argamassa são mostrados em forma de tabelas e figuras dadas abaixo:

Tabela 1 – Resultados Obtidos nos Ensaios dos blocos.

Tipo	Carga de Ruptura (kN)	Resistência de Compressão (MPa)	Resistência Média de Compressão (MPa)	Média Final da Massa Seca (g)
BL1-133	3,20	1,26	1,58	130,3
	4,56	1,80		
	3,38	1,33		
	3,80	1,50		
	5,08	2,00		
BL1-135	4,60	1,81	1,88	132,3
	5,42	2,14		
	4,34	1,71		
	4,26	1,68		
	5,38	2,12		
	4,62	1,82		
BL1-138	3,94	1,55	2,08	134,7
	5,70	2,25		
	5,10	2,01		
	6,38	2,51		

Tipo	Carga de Ruptura (kN)	Resistência de Compressão (MPa)	Resistência Média de Compressão (MPa)	Média Final da Massa Seca (g)
BL1-140	5,52	2,18	2,55	136,6
	6,92	2,73		
	5,52	2,18		
	7,48	2,95		
	5,30	2,09		
	5,86	2,31		
	8,62	3,40		

A partir dos dados apresentados na tabela 1, foi plotado o gráfico 1 que fornece o ganho de resistência à compressão com relação ao aumento do grau de compacidade. Aos pontos obtidos, foi ajustada uma curva exponencial mostrada abaixo:

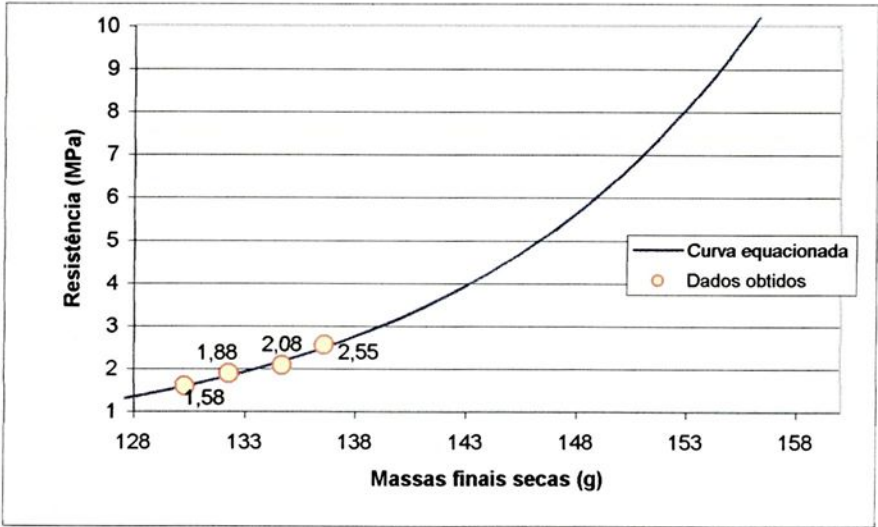


Gráfico 01: Relação entre resistência à compressão e compacidade dos blocos.

Tabela 2: Resistência à Compressão dos Blocos, Prismas e Argamassa.

Escala	Tipo	Carga de Ruptura (kN)	Resistência à Compressão (MPa)	Resistência Média à Compressão (MPa)
1:1	Bloco	627,00	15,44	13,66
		610,00	15,02	
		677,00	16,67	
		532,00	13,10	
		612,00	15,07	
		408,00	10,05	
		417,00	10,27	
	Prisma	336,00	8,28	8,14
		306,00	7,54	
		370,00	9,11	
		310,00	7,64	

Escala	Tipo	Carga de Ruptura (kN)	Resistência à Compressão (MPa)	Resistência Média à Compressão (MPa)
1:4	Argamassa	6,00	3,06	3,76
		5,68	2,89	
		10,44	5,32	
	Bloco	5,52	2,18	2,55
		6,92	2,73	
		5,52	2,18	
		7,48	2,95	
		5,86	2,31	
		5,30	2,09	
		8,62	3,40	
	Prisma	7,34	2,89	2,40
		6,44	2,54	
		6,20	2,44	
		5,80	2,29	
		4,66	1,84	
	Argamassa	8,80	4,48	3,92
		6,50	3,31	
		7,80	3,97	

6. CONCLUSÕES PARCIAIS

Iniciou-se o processo de fabricação dos blocos com uma mistura inferior a 130g. Para essa massa verificou-se que os blocos rompiam com frequência no processo de desforma, ficando assim definido esse valor como sendo o mínimo. Verificou-se também que para massas superiores a 140g não era possível nem a desforma manual nem a prensagem. Desse modo, passou-se a trabalhar com os valores de 130g, 132g, 135g e 137g.

Com relação aos dados obtidos nos ensaios, verificou-se, como mostra o gráfico (01), o aumento de resistência com o aumento da massa, ou seja, com o aumento do grau de compactidade, como era esperado. Acredita-se ainda que quando os blocos na escala (1:4) tiverem o mesmo grau de compactidade dos blocos na escala real, estes apresentarão valores de resistências entre 9 a 11 MPa, supondo-se que os pontos do gráfico (01) tenham um crescimento exponencial.

A resistência à compressão dos blocos na escala (1:1) apresentou um valor médio de 13,66 MPa, valor bem superior ao encontrado nos modelos reduzidos. Porém, deve-se

salientar que os blocos na escala reduzida foram ensaiados com apenas sete dias de idade, enquanto que os blocos na escala real apresentaram idade bem superior a esse valor. Isto pode ter sido um fator determinante na diferença verificada, além do diferente grau de compacidade.

Os prismas apresentaram valores menores que os encontrados nas unidades, como era esperado, sendo que o fator de eficiência ($\text{RESIST.PRISMA/RESIST.BLOCO}$) para os modelos reduzidos foi de 94% e para a escala natural foi de 60%, aproximadamente.

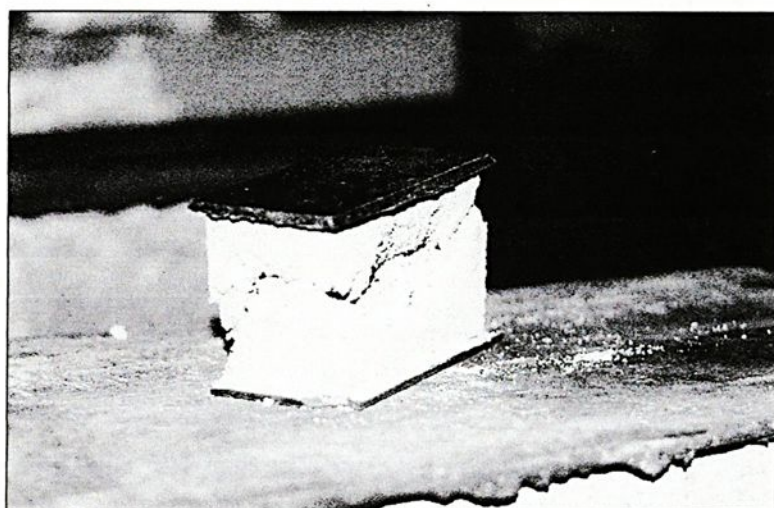


FOTO (06) - Modo de Ruptura Padrão Para os Blocos na Escala Reduzida.

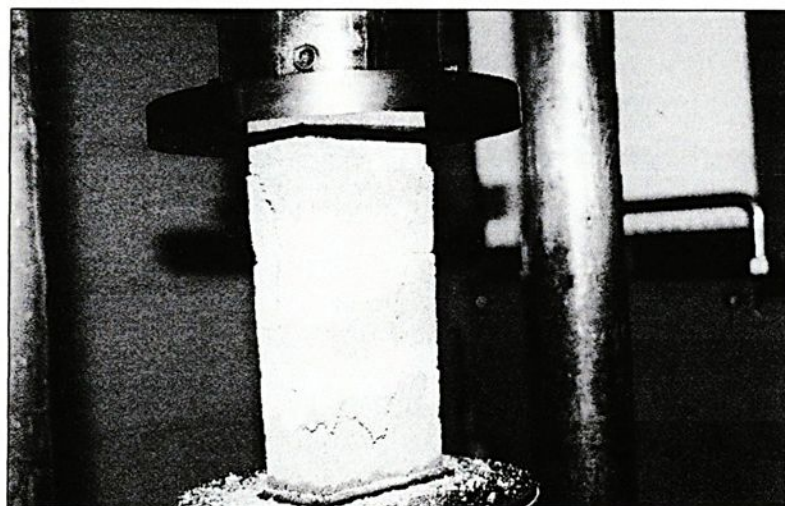


FOTO (07) - Modo de Ruptura Padrão Para os Prismas na Escala Reduzida.

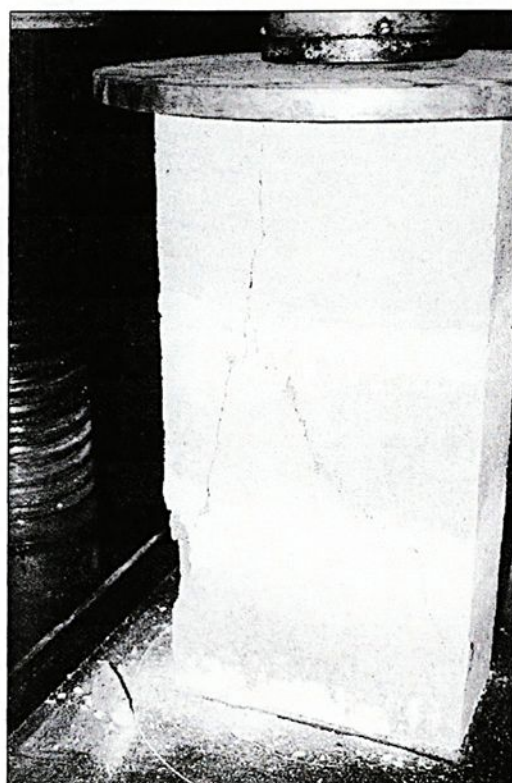


FOTO (08) - Modo de Ruptura Padrão Para os Prismas na Escala Real.

Conforme mostram as fotos (07) e (08), o modo de ruptura dos prismas, nas duas escalas, foi semelhante, fato que indica fortemente a possibilidade de se representar o comportamento da alvenaria estrutural através de modelos físicos reduzidos desenvolvidos em laboratórios de pesquisas.

Esta investigação inicial demonstrou a necessidade de se aprimorar o processo de fabricação dos blocos reduzidos, de modo a se alcançar um grau de compacidade próximo do verificado para os blocos na escala real. Uma vez vencida essa etapa, pretende-se realizar ensaios comparativos de blocos, prismas e paredes, estudando-se resistências, deformações e formas de rupturas.

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DAS LIGAÇÕES ENTRE PAREDES DE ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCOS CERÂMICOS EM ESCALA REDUZIDA SUJEITAS ÀS AÇÕES VERTICAIS

1. OBJETIVOS

Apresenta-se como objetivo principal do presente trabalho a realização de uma investigação experimental com a finalidade de avaliar a eficiência das ligações entre paredes construídas com blocos cerâmicos em escala reduzida (1:3) e (1:5), quando sujeitas à ações verticais.

Para tal, serão construídas paredes em formato de 'H', ligadas entre si de diferentes maneiras, conforme indicado abaixo, e carregadas verticalmente no septo central.

- Paredes com amarração direta (contrafiada), sem graute no encontro (PHCV);
- Paredes com amarração direta (contrafiada), com graute no encontro (PHCG);
- Paredes com amarração indireta através de grampos, com graute (PHTG);

Serão ainda construídos e ensaiados prismas de três blocos e em 'cavelete', além de ensaiados os blocos à compressão e ao corte, com objetivo de tentar relacionar a resistência desses elementos com a resistência das paredes.

Os resultados obtidos experimentalmente serão ainda comparados com valores teóricos, obtidos através da análise com elementos finitos e parâmetros elásticos obtidos a partir dos ensaios realizados em prismas e em paredes simples.

2. JUSTIFICATIVA

A análise teórica do sistema estrutural de uma obra de alvenaria apresenta uma série de dificuldades, considerando que se trata de um sistema estrutural de placas e chapas, composto por materiais não homogêneos e de comportamento não linear, que são as unidades e as argamassas.

No processo de análise do comportamento estrutural propriamente dito e nas etapas subseqüentes das verificações, é de fundamental importância que a distribuição das ações entre os elementos resistentes seja adequadamente estabelecida.

Quando em presença de sistemas estruturais mais complexos, o procedimento mais simples é subdividir as lajes em triângulos e trapézios, distribuindo as cargas dessas áreas para as paredes correspondentes, sem considerar as ligações existentes entre as mesmas. Esse procedimento normalmente apresenta como resultado final paredes com altos valores de cargas, vizinhas de paredes fracamente carregadas. Esse fato leva, via de regra, a um dimensionamento não uniforme da estrutura, tendo como resultado a elevação dos custos da obra.

Já em 1969, Sutherland, preocupado com esse comportamento, propunha que as paredes resistentes fossem subdivididas em grupos de paredes, tratados como um único elemento, com carga correspondente à área de influência do grupo, considerando-se também o efeito da excentricidade da resultante em relação ao centróide da área do grupo de paredes.

A experiência e os resultados de alguns estudos apontam para o fato de que nos pavimentos inferiores dos edifícios de maior altura, as cargas verticais tendem a se uniformizar entre as paredes pertencentes ao mesmo grupo (interligadas).

Apesar da importância do assunto, poucos estudos têm sido conduzidos nessa direção. Acredita-se que fora do Brasil esse fato seja justificado pela tradição de se construir edifícios de alvenaria estrutural de pequena altura, onde a distribuição das ações verticais não seria um fato relevante no projeto ou no custo da obra. Porém aqui, tem-se verificado a construção de edifícios relativamente altos (alguns com mais de vinte pavimentos), o

que evidencia a necessidade de melhor compreender a distribuição das ações verticais entre as paredes resistentes.

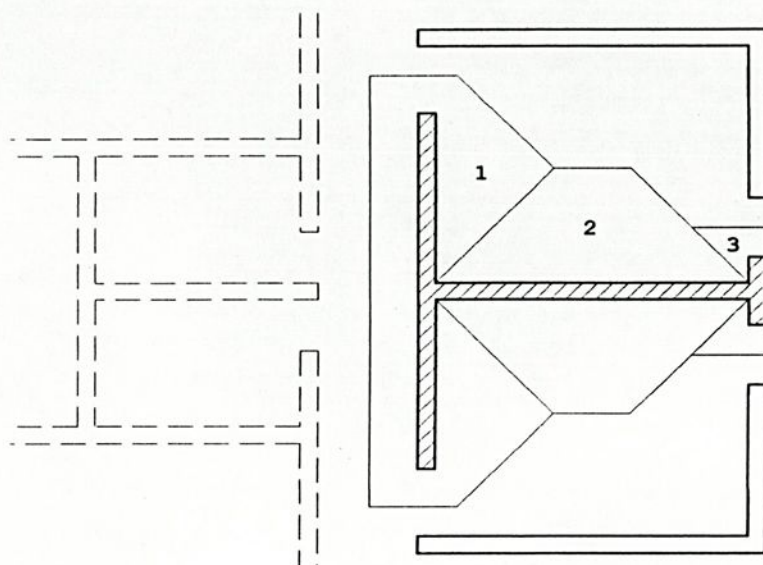


Figura (01) - Distribuição das cargas das lajes para as paredes resistentes.

Portanto, face ao exposto, considera-se importante o desenvolvimento de estudos que permitam compreender melhor o mecanismo da distribuição das ações verticais e, por conseqüência, que conduzam a modelos de cálculo mais próximos do comportamento real da estrutura, de modo a se obter um dimensionamento estrutural mais uniforme, resultando em diminuição de custos e maior confiabilidade nos resultados obtidos.

Para tal, é imprescindível o conhecimento da transferência das ações verticais entre as paredes resistentes, para diferentes níveis de solicitação presentes na estrutura, e para as diferentes formas de amarração usualmente utilizadas em nosso país.

3. METODOLOGIA

Visando a consecução dos objetivos inicialmente propostos para este trabalho, serão desenvolvidos os seguintes programas de ensaios, nas duas escalas em estudo:

- 1º) Ensaios em componentes: argamassas e grautes;
- 2º) Ensaios em blocos, prismas, e paredes simples (painéis);
- 3º) Ensaios em paredes compostas, tipo H.

Os dois primeiros programas de ensaios têm por objetivo levantar as propriedades mecânicas dos componentes e elementos e as correlações entre as deformações lidas na alvenaria e pontualmente no bloco.

O terceiro programa de ensaios, realizado com as paredes compostas, tem por finalidade estudar a transferência das ações verticais entre as paredes, ligadas entre si conforme indicado anteriormente, sendo que o carregamento vertical será introduzido somente na parede central, uniformemente distribuído ao longo de seu comprimento. Essa parede não será apoiada em sua base, de forma que todo o carregamento será transferido às paredes laterais através da ligação entre elas.

Ao longo de todo o programa de ensaios será utilizado apenas um traço para a argamassa de assentamento (1:1:6), em peso, e também para o graute. Nesse caso, será definindo aquele que apresente a resistência similar à da alvenaria (resistência básica). O capeamento dos corpos-de-prova será feito com gesso.

Durante a introdução das cargas nos prismas, paredes simples e compostas, serão feitas as leituras das deformações. Essas leituras serão feitas com o auxílio de extensômetros elétricos colados nos blocos, que fornecem valores pontuais, e com transdutores de deslocamentos, que permitem avaliar a deformação da alvenaria propriamente dita (blocos + juntas).

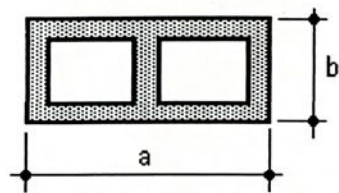
4. ESTÁGIO ATUAL DO TRABALHO

Até o presente momento, foram montados todos os corpos-de-prova que serão utilizados no programa de ensaios. Apresenta-se a seguir as fotos dessa etapa do trabalho.

4.1. OS BLOCOS

Os blocos cerâmicos empregados nos ensaios foram produzidos nas escalas (1:3) e (1:5), sendo baseados nos protótipos que têm como dimensões os seguintes valores reais: (14x19x29)cm. Foram produzidos em laboratório, em uma pequena extrusora, e queimados em forno elétrico. O seu formato e dimensões, em planta, são mostrados na figura (02).





Escala	a	b	altura
1:1	290	140	140
1:3	96	46	46
1:5	58	28	28

Figura (02) - Forma e dimensões (mm) dos blocos.

Nos blocos cerâmicos serão realizados ensaios de corte em um dispositivo desenvolvido para essa finalidade, conforme mostra a figura (03), na tentativa de relacionar a resistência do bloco ao corte com as resistências apresentadas pelas paredes tipo (PHCV) e (PHCG).

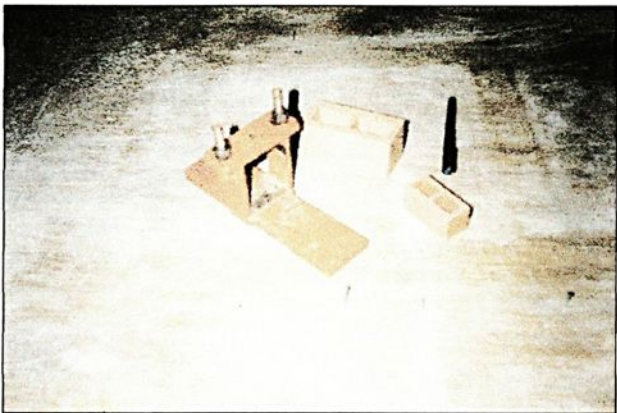


FIGURA (03) – Dispositivo para ensaio de corte nos blocos.

4.2. OS PRISMAS

Os prismas a serem utilizados nos ensaios foram construídos com três blocos e em forma de cavaletes, rejuntados com argamassa mista, com traço em peso de (1:1:6), sendo capeados com gesso.

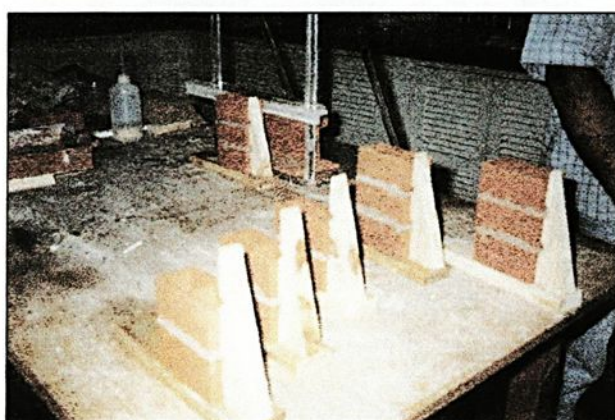
Os prismas de três blocos serão ensaiados para determinação da resistência a alvenaria e da relação tensão-deformação. Serão utilizados também para levantar a relação existente entre deformação medida no bloco, com extensômetros elétricos, e no prisma como um todo, medida através de transdutores de deslocamentos.

Os prismas na forma de cavalete serão ensaiados com o objetivo de determinar, se possível, uma correlação entre resistência ao corte do prisma e da parede do tipo PHTG.

A espessura das juntas foi reduzida proporcionalmente à escala. Foram executados com o auxílio de gabaritos especiais de acrílico e madeira, de modo a minimizar os efeitos da mão-de-obra, controlando assim, com maior eficiência, parâmetros como prumo e espessura de juntas. Após a montagem foram armazenados em câmara úmida.



Prisma cavalete (PRTG)



Prisma três blocos (PR3B)



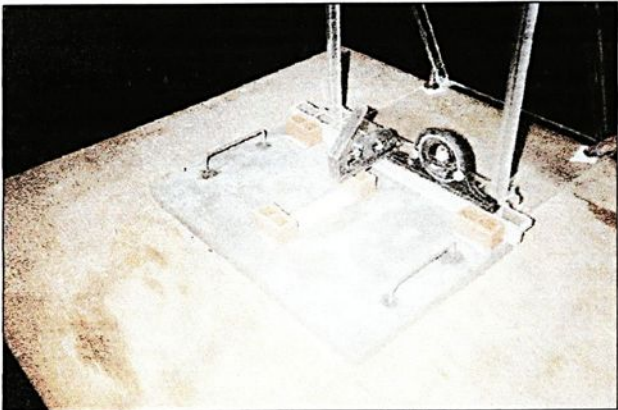
Prisma cavalete (PRTG)

FIGURA (04) – Montagem dos prismas.

4.3. PAREDES TIPO H

A construção das paredes compostas, com formato (H), está apresentada na figura (05). Todas elas foram montadas com os mesmos cuidados e procedimentos descritos para os prismas. Essas paredes foram construídas sobre bases de concreto com dois cm de espessura e armadas com tela. Previu-se nessas bases uma abertura na região central de modo que a parede central não fosse apoiada, sendo ligada somente às paredes laterais.

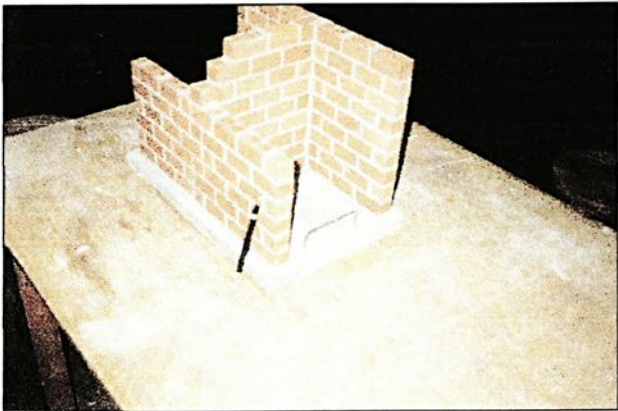
Nos ensaios a serem realizados, elas serão carregadas verticalmente com força uniformemente distribuída na parede central e conduzidas até a ruptura, sendo então registradas todas as informações necessárias, tais como deformações, fissuração, modos de ruptura e resistências máximas.



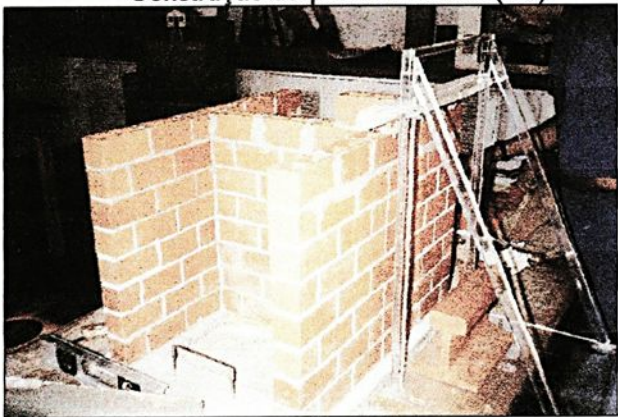
Base de concreto: escala (1:5).



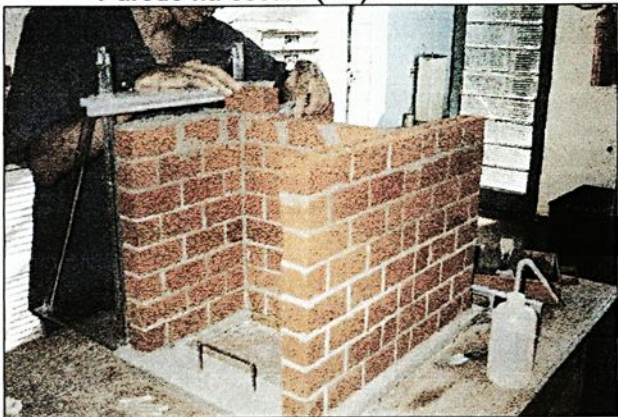
Construção da parede: escala (1:5).



Parede na escala (1:5).



Parede na escala (1:3).



Parede na escala (1:3).

FIGURA (05) – Montagem das paredes.

Para as paredes compostas, os pontos de leitura das deformações serão dispostos ao longo do comprimento das paredes laterais e central, em pelo menos três níveis

diferentes: próximo do topo, da base e na região central. Nesse caso, serão utilizados extensômetros elétricos.

5. PLANEJAMENTO DE EXECUÇÃO

Apresenta-se a seguir o número e tipo de ensaios a serem realizados nos componentes, blocos, prismas e paredes compostas tipo H, de forma a se obter a resistência à compressão, a distribuição de tensões, as deformações de ruptura, a relação tensão-deformação e as correlações desejadas:

Tabela (1) – Programação dos ensaios (escala 1:3).

Corpo-de-prova	Nº amostras	resistências	deformações
Argamassa	12	X	--
Graute	12	X	--
Bloco (compressão)	12	X	X
Bloco (corte)	12	X	X
Prisma PR3B	12	X	X
Prisma PRTG	12	X	X
Parede PHCV	2	X	X
Parede PHCG	2	X	X
Parede PHTG	2	x	x

Tabela (2) – Programação dos ensaios (escala 1:5).

Corpo-de-prova	Nº amostras	resistências	deformações
Argamassa	12	X	--
Graute	12	X	--
Bloco (compressão)	12	X	X
Bloco (corte)	12	X	X
Prisma PR3B	12	X	X
Prisma PRTG	12	X	X
Parede PHCV	2	X	X
Parede PHCG	2	X	X
Parede PHTG	2	x	x

Onde:

PHCV – Parede contrafiada vazia.

PHCG – Parede contrafiada com graute.

PHTG – Parede de topo com graute e armadura.

PR3B – Prisma vazio com três fiadas.

PRTG – Prisma tipo cavalete com graute e armadura.



6. CONTINUIDADE DOS TRABALHOS

Os trabalhos deverão ter continuidade nas duas linhas que vêm sendo desenvolvidas até o presente momento, que são: a área de Programação e a área Experimental. Contudo, na área de programação deverão ser feitas apenas as atualizações e otimizações dos programas quando concluídos, conforme as necessidades forem se apresentando. Maior ênfase deverá ser dada para os trabalhos experimentais, uma vez que existe enorme carência de informações e resultados de ensaios que permitam melhor compreender o comportamento estrutural da alvenaria.

Na área experimental, os esforços deverão estar concentrados para desenvolvimento de trabalhos com o emprego da técnica dos modelos físicos reduzidos, pelos motivos explicitados no início do presente texto, buscando estudar através desse caminho prioritariamente os seguintes temas:

- A distribuição das ações horizontais entre as paredes de contraventamento;
- A distribuição das ações verticais entre as paredes resistentes;
- A eficiência das ligações entre as paredes;
- O arqueamento dos esforços nas regiões de fundações e
- A contribuição do graute e das armaduras nas resistências das paredes.

Salienta-se também que têm sido despendidos esforços no sentido de aproximar os centros de pesquisas que trabalham com a alvenaria estrutural, no sentido de somar os esforços e, em conjunto, elaborar planos de trabalhos. Esse fato é de grande importância para o desenvolvimento da alvenaria, pois observa-se que os esforços isolados pouco têm contribuído para tal.

Em paralelo, tem-se buscado através das agências de financiamentos à pesquisa, a aquisição de materiais e equipamentos de modo a prover as condições mínimas para a realização dos trabalhos programados. Esse objetivo tem sido até o momento alcançado de forma satisfatória através de bolsas e aprovações de projetos.

Outro trabalho desenvolvido é a formação de parceria com a iniciativa privada que, apesar da localização geográfica de Ilha Solteira, tem apresentado resultados satisfatórios.

7. DIVULGAÇÃO

Entendendo que a divulgação dos trabalhos e dos resultados obtidos, juntamente com uma discussão dos mesmos é importante, tem-se trabalhado na divulgação das pesquisas desenvolvidas através da publicação em revistas e congressos. Neste ano deverão ser apresentados trabalhos em pelo menos três congressos internacionais.

Também com esse objetivo, tem-se buscado uma parceria com outros Centros, elaborando-se programas de pesquisas em conjunto e discutindo os trabalhos em desenvolvimento. Essa parceria com a Escola de Engenharia de São Carlos – USP, tem trazido uma série de benefícios para o desenvolvimento dos trabalhos de um modo geral, apontado para o acerto dessa iniciativa.

Na realidade, tem-se como meta a integração efetiva entre os principais Centros que trabalham com Alvenaria Estrutural, racionalizando dessa forma os esforços para o seu desenvolvimento e divulgação em nosso país. Assim, recentemente foi elaborada uma página na Internet que procura divulgar os grupos de pesquisas e os trabalhos realizados.