

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas

Mônica Pereira Rodrigues de Siqueira

**AVALIAÇÃO DE PROCEDIMENTOS APROXIMADOS DE DISTRIBUIÇÃO DAS
AÇÕES VERTICAIS EM EDIFÍCIOS DE ALVENARIA ESTRUTURAL
CONSIDERANDO A INTERAÇÃO COM A ESTRUTURA DE CONCRETO
ARMADO**

Belo Horizonte
2005

Mônica Pereira Rodrigues de Siqueira

**AVALIAÇÃO DE PROCEDIMENTOS APROXIMADOS DE DISTRIBUIÇÃO DAS
AÇÕES VERTICAIS EM EDIFÍCIOS DE ALVENARIA ESTRUTURAL
CONSIDERANDO A INTERAÇÃO COM A ESTRUTURA DE CONCRETO
ARMADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestra em Engenharia de Estruturas.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Márcio da Silva

Belo Horizonte
2005

S618a

Siqueira, Mônica Pereira Rodrigues de.

Avaliação de procedimentos aproximados de distribuição das ações verticais em edifícios de alvenaria estrutural considerando a interação com a estrutura de concreto armado [recurso eletrônico] / Mônica Pereira Rodrigues de Siqueira. - 2005.

1 recurso online (137 f. : il., color.) : pdf.

Orientador: Roberto Márcio da Silva.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Bibliografia: f. 137.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Engenharia de estruturas - Teses. 2. Alvenaria - Teses. 3. Concreto armado - Teses. 4. Vigas - Teses. I. Silva, Roberto Márcio da. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 624(043)



ESCOLA DE ENGENHARIA DA UFMG
Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas

ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE ESTRUTURAS Nº: 178 da aluna **Mônica Pereira Rodrigues de Siqueira**.

Às 14:00 horas do dia 26 do mês de outubro de 2005, reuniu-se, na Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, a Comissão Examinadora de Dissertação de Mestrado, indicada pelo Colegiado do Curso em 03 de outubro de 2005 para julgar, em exame final, o trabalho intitulado "**Avaliação de Procedimentos Aproximados de Distribuição das Ações Verticais em Edifícios de Alvenaria Estrutural Considerando a Interação com a Estrutura de Concreto Armado**", requisito final para a obtenção do Grau de MESTRE EM ENGENHARIA DE ESTRUTURAS na área de: ESTRUTURAS.

Abrindo a sessão, o Presidente da Comissão, **Prof. Dr. Roberto Márcio da Silva**, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares do Trabalho Final, passou a palavra à candidata para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa da candidata. Logo após, a Comissão se reuniu, sem a presença da candidata e do público, para julgamento e expedição do resultado final. Foram atribuídas as seguintes indicações:

(Aprov./Repr.)

Prof. Dr. Roberto Márcio da Silva - DEES - UFMG (Orientador)

Prof. Dr. Alcebiades de Vasconcellos Filho - DEES - UFMG

Profa. Dra. Rita de Cássia Silva Sant'ana Alvarenga - DEC-UFV

Aprovado
Aprovado
APROVADA

Pelas indicações acima, a candidata foi considerada APROVADA, conforme pareceres em anexo.

O resultado final foi comunicado publicamente à candidata pelo Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, o Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ATA, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora. Belo Horizonte, 26 de outubro de 2005.

[Handwritten signatures]

Obs.: Este documento não terá validade sem a assinatura e carimbo do Coordenador

[Handwritten signature]

PROF RICARDO HALLAL FAKURY
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em
Engenharia de Estruturas da E.E. UFMG

Dedico este trabalho a:

Meus pais André e Maria Lúcia, minha irmã Renata pelo incentivo, ao meu marido João pelo carinho e compreensão nas horas ausentes e em especial às minhas filhas Carolina e Luiza, presente que Deus colocou no meu caminho durante esta trajetória.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre comigo.

Ao professor Roberto Márcio da Silva, pela orientação deste trabalho, pelos conhecimentos, pela atenção, pela compreensão e pela paciência.

Ao professor Alcebiádes de Vasconcellos Filho, pelos conhecimentos e pela atenção, nas análises dos esforços da modelagem tridimensional.

Aos meus pais pelo constante apoio e incentivo sem os quais isso seria impossível.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia de Estruturas pelo apoio necessário à realização deste trabalho.

Aos amigos e amigas da pós-graduação, pela amizade, pelo companheirismo, pelas trocas de experiências e pelas horas de estudo sempre muito alegres.

À Jaquelma, pela amizade, pelo incentivo, pelo apoio, pelo carinho e pela ajuda com o programa SAP2000.

À Construtora Terrazzas pelo incentivo e apoio visando tornar melhor os projetos de engenharia.

Aos amigos do escritório que por tanto tempo fiquei ausente nos projetos.

À LPC- Lacerda Projetos e Consultoria pelo incentivo deste trabalho visando uma melhor qualidade dos projetos estruturais e que demonstrou grande compreensão concretizada através da licença para desenvolvimento do trabalho.

Ao CNPq pela bolsa de estudos para realizar este trabalho.

RESUMO

A análise estrutural de edifícios em alvenaria estrutural requer a utilização de modelos estruturais mais realistas e menos simplificados. Neste trabalho analisa-se uma estrutura de quatro andares composta por lajes que apoiam nas paredes estruturais e estas descarregam nas vigas (cintas). A estrutura foi analisada somente com as ações verticais. Para o dimensionamento das tensões nas paredes estruturais foram analisados três procedimentos de distribuição das ações verticais: paredes isoladas, grupos isolados de paredes e grupos de paredes com interação. De posse das ações atuantes no primeiro pavimento foram analisados os esforços nas vigas (cintas) através das ações provenientes do procedimento de paredes isoladas e grupos isolados de paredes utilizando um programa computacional comum nos escritórios de cálculos. Fez-se então uma comparação entre estes esforços e verificou-se que dependendo da maneira com que se distribuem as ações algumas vigas ficam super ou subdimensionadas. Para uma análise mais realista da estrutura, considerando o *efeito arco* e as aberturas de portas e janelas, foi modelado o mesmo edifício utilizando-se o método dos elementos finitos através do programa SAP2000 que possibilita a análise tridimensional de um modelo composto de elementos de paredes e vigas. Os elementos foram discretizados em barras para as vigas e cascas para as paredes e colocados os carregamentos em cada pavimento. Com os esforços provenientes da análise via elementos finitos, comparou-se, com os esforços devidos ao método aproximado de distribuição das ações verticais, tanto as paredes quanto as vigas de modo a se avaliar as características positivas e negativas de cada procedimento.

Palavras-chave: alvenaria; concreto armado; efeito arco; modelos estruturais.

ABSTRACT

Structural analysis of structural masonry buildings requires the use of more realistic and less simplified structural models. This paper examines whether a structure composed of 04 floors slabs that support the structural walls and beams in discharging these (braces). The structure was analyzed in vertical shares. Insulated walls, insulated walls and groups of groups of walls with interaction: for sizing of stresses in structural walls 03 procedures for distribution of vertical loads were analyzed. Tenure of the acting on the 1st floor action efforts in the rafters (braces) through the actions from the procedure of insulated walls and insulated walls using a common computer program offices calculations groups were analyzed. Then a comparison is made between these efforts and found that depending on the way in which distributed the shares some beams are over-or under-sized. For a more realistic assessment of the structure, considering the effect arch and the openings of doors and windows, the same building was modeled using the finite element method using the SAP2000 program that allows analysis of a three-dimensional model composed of wall elements and beams. The elements were discretized in bars, beams and bark for the walls and loads placed on each floor. With efforts from analysis via finite elements, we compared, with the forces due to the approximate method of distribution of vertical loads, both the walls as the beams so as to evaluate the positive and negative characteristics of each procedure.

Keywords: masonry; reinforced concrete; arch effect; structural models.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1	- Formação do efeito arco na parede apoiada sobre uma viga.....	23
FIGURA 2.2	- Distribuição de tensões no sistema parede-viga. (a) Concentrações de tensões na base da parede. (b) Tensões horizontais ao longo da linha média do sistema parede-viga.....	26
FIGURA 2.3	- Dois sistemas parede-viga com carregamento equivalente.....	27
FIGURA 3.1	- Corte esquemático do edifício piloto utilizado no estudo	30
FIGURA 3.2	- Arranjo arquitetônico do pavimento tipo do edifício.....	31
FIGURA 3.3	- Numeração e reações das lajes do pavimento tipo do edifício.....	34
FIGURA 3.4	- Reações das lajes do pavimento de cobertura do edifício.....	35
FIGURA 3.5	- Nomenclatura utilizada nas paredes e lintéis do pavimento tipo e de cobertura do edifício.....	36
FIGURA 3.6	- Configuração dos grupos de paredes do pavimento tipo e cobertura..	40
FIGURA 3.7	- Forma do pavimento de concreto armado que recebe as paredes.....	50
FIGURA 3.8	- Diagramas dos esforços nas cintas retirados do programa CAD-TQS®.....	51
FIGURA 4.1	- Sistema de coordenadas locais de um elemento SHELL quadrilateral de 4 nós.....	67
FIGURA 4.2	- Forças e tensões de membrana em um elemento SHELL quadrilateral de 4 nós.....	68
FIGURA 4.3	- Momentos fletores e torsores em um elemento SHELL quadrilateral de 4 nós.....	68
FIGURA 4.4	- Graus de liberdade de um nó do elemento SHELL.....	69
FIGURA 4.5	- Força axial P positiva e momento torsor T positivo no elemento FRAME	70
FIGURA 4.6	- Força cortante V2 positiva e momento fletor M3 positivo no elemento FRAME.....	71

FIGURA 4.7 - Força cortante V3 positiva e momento fletor M2 positivo no elemento FRAME.....	71
FIGURA 4.8 - Graus de liberdade do nó de um elemento FRAME nos sistemas de coordenadas global e local do nó.....	72
FIGURA 4.9 - Modelo tridimensional do edifício piloto	74
FIGURA 4.10 - Tensões verticais (kN/m ²) da parede sobre a cinta C1.....	75
FIGURA 4.11 - Tensões verticais (kN/m ²) da parede sobre a cinta C2.....	76
FIGURA 4.12 - Tensões verticais (kN/m ²) da parede sobre a cinta C3.....	77
FIGURA 4.13 - Tensões verticais (kN/m ²) da parede sobre a cinta C4.....	78
FIGURA 4.14 - Tensões verticais (kN/m ²) da parede sobre a cinta C5.....	79
FIGURA 4.15 - Tensões verticais (kN/m ²) da parede sobre a cinta C6.....	80
FIGURA 4.16 - Tensões verticais (kN/m ²) da parede sobre a cinta C7.....	81
FIGURA 4.17 - Tensões verticais (kN/m ²) da parede sobre a cinta C8.....	82
FIGURA 4.18 - Tensões verticais (kN/m ²) da parede sobre a cinta C9.....	83
FIGURA 4.19 - Tensões verticais (kN/m ²) da parede sobre a cinta C10.....	84
FIGURA 4.20 - Tensões verticais (kN/m ²) da parede sobre a cinta C11.....	85
FIGURA 4.21 - Tensões verticais (kN/m ²) da parede sobre a cinta C12.....	86
FIGURA 4.22 - Tensões verticais (kN/m ²) da parede sobre a cinta C13.....	87
FIGURA 4.23 - Tensões verticais (kN/m ²) da parede sobre a cinta C14.....	88
FIGURA 5.1 - Tensões verticais (kN/m ²) da parede sobre a cinta C14 com altura de 1,0 metro.....	122
FIGURA 5.2 - Tensões verticais (kN/m ²) da parede sobre a cinta C14 com altura de 3,0 metros.....	125
FIGURA 5.3 - Deformada da cinta C14 e da parede com 03 nós ligados e sem força normal.....	129
FIGURA 5.4 - Tensões verticais (kN/m ²) da parede sobre a cinta C14 ligando os 03 nós das extremidades.....	130

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1	-Carregamentos e características geométricas das lajes do pavimento tipo e cobertura.....	33
TABELA 3.2	-Carregamentos nas paredes do pavimento tipo e cobertura.....	37
TABELA 3.3	-Carregamentos nos lintéis do pavimento tipo e cobertura.....	37
TABELA 3.4	-Carregamentos totais nas paredes do pavimento tipo e cobertura...	38
TABELA 3.5	-Tensões nas paredes do pavimento tipo e cobertura.....	39
TABELA 3.6	-Carregamentos nos grupos de paredes de cada pavimento.....	41
TABELA 3.7	-Tensões normais nas paredes dos grupos sem interação.....	44
TABELA 3.8	-Tensões normais nas paredes dos grupos com interação.....	45
TABELA 3.9	-Comparação dos resultados das tensões normais nas paredes do 1º Pavto.....	46
TABELA 3.10	-Quadro comparativo dos esforços de momento fletor nas cintas retirados do programa CAD - TQS®.....	58
TABELA 3.11	-Quadro comparativo dos esforços de cisalhamento nas cintas retirados do programa CAD - TQS®.....	60

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
	1.1 Objetivos.....	17
	1.2 Conteúdo da dissertação.....	18
2	CONCEITOS FUNDAMENTAIS.....	20
	2.1 Interação das Paredes.....	20
	2.2 Procedimentos de Distribuição das Ações Verticais.....	21
	2.2.1 Paredes Isoladas.....	21
	2.2.2 Grupos Isolados de Paredes.....	21
	2.2.3 Grupos de Parede com Interação.....	22
	2.3 Ação Conjunta Parede-Viga.....	22
3	ESTUDO COMPARATIVO DA DISTRIBUIÇÃO DAS AÇÕES VERTICAIS	
	NO EDIFÍCIO PILOTO.....	29
	3.1 Características do Edifício.....	29
	3.2 Ações Verticais nas Paredes.....	32
	3.2.1 Ações Verticais devidas às Reações das Lajes.....	32
	3.2.2 Ações Verticais devido ao Peso Próprio da Alvenaria.....	35
	3.2.3 Ações Verticais nas Paredes (peso próprio + reações das lajes).....	36
	3.3 Tensões Normais Verticais nas Paredes do Edifício Piloto.....	38
	3.3.1 Paredes Isoladas.....	38
	3.3.2 Grupos Isolados de Paredes.....	39
	3.3.3 Grupos de Parede com Interação.....	45
	3.3.4 Comparação entre os procedimentos aproximados de distribuição das ações verticais nas paredes.....	46

3.4 Dimensionamento das cintas de Concreto Armado do Edifício Piloto a partir dos Carregamentos Aproximados de Distribuição das Ações Verticais.....	50
4	MODELAGEM TRIDIMENSIONAL VIA MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS DO EDIFÍCIO PILOTO.....
	63
4.1 Considerações Iniciais.....	63
4.2 O Elemento SHELL.....	65
4.3 O Elemento FRAME.....	69
4.4 Propriedades dos Materiais.....	72
4.5 Modelo Numérico.....	72
4.5.1 Considerações Gerais.....	72
4.5.2 Descrição do Modelo.....	73
5	AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS VIA PROCEDIMENTOS APROXIMADOS E MODELAGEM TRIDIMENSIONAL.....
	119
5.1 Análise das paredes.....	119
5.2 Análise das Estruturas de Concreto.....	120
5.3 Outras Considerações nas Modelagens.....	121
6	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....
	134
REFERÊNCIAS	137

1

INTRODUÇÃO

A alvenaria estrutural pode ser entendida como um sistema construtivo que serve simultaneamente como estrutura resistente e elemento de vedação.

Define-se a alvenaria como sendo o conjunto composto por blocos ou tijolos (unidades), executados em obra e ligados entre si por argamassa, tendo estruturalmente um comportamento monolítico.

A alvenaria estrutural é aquela em que a parede trabalha simultaneamente como elemento de vedação e estrutural, podendo ser armada ou não.

A alvenaria é um dos mais antigos métodos construtivos. A utilização de paredes de pedra e tijolos cerâmicos é conhecida desde a antiguidade e foi empregada na construção de edificações e monumentos como por exemplo a Pirâmide de Quéops, o Farol de Alexandria, o Coliseu, a Muralha da China, passando pelas pontes, castelos e catedrais, como a Catedral de Reims.

Todavia, as construções em alvenaria eram dimensionadas empiricamente e a concepção estrutural era intuitiva, daí o motivo de se encontrar nestas antigas construções paredes com espessuras que variam de 30cm a 2,50m.

Com o desenvolvimento industrial e o surgimento do aço e do concreto armado, o uso da alvenaria estrutural restringiu-se a obras de pequeno porte, reaparecendo, após inúmeras pesquisas, no início da década de 1950. Neste período, os métodos empíricos de dimensionamento da alvenaria estrutural começaram a dar lugar a princípios mais racionais, possibilitando um maior aproveitamento dos materiais e estruturas mais esbeltas.

Em países como a Inglaterra, França, Estados Unidos, Canadá e Austrália, a utilização da alvenaria estrutural está amplamente difundida, existindo há muito tempo um conjunto de normas técnicas sobre o cálculo e procedimentos construtivos. No Brasil, a alvenaria estrutural só começou a se desenvolver de forma concreta na década de 1970.

A partir de 1990 houve uma crescente conscientização de que se poderia aperfeiçoar a alvenaria estrutural no sentido de minimizar as suas patologias, aprimorar as técnicas construtivas e o cálculo estrutural, buscando conseguir um perfeito resultado final para a obra, com a redução de custos que este sistema alcança.

Nos últimos anos, o interesse pela alvenaria estrutural cresceu de forma notável, especialmente pelas condições nitidamente favoráveis que se obtêm em termos de economia. Por ser um sistema construtivo permite que se empregue uma maior racionalidade no projeto e na execução das obras; o consumo e o desperdício de materiais podem ser minimizados. Além disso, a rapidez que pode se atingir durante a construção também concorre para gerar economia e, dessa maneira, propiciar uma maior inserção no mercado.

Deve-se considerar, entretanto, que o projeto de edifícios de alvenaria estrutural necessita ainda de grandes avanços tecnológicos para se aproximar do desenvolvimento que se observa com relação às estruturas convencionais em concreto armado. A própria normatização nacional é pobre e um grande esforço precisa ser feito com o intuito de aprimorá-la para que se possa projetar e executar edifícios cada vez mais econômicos e seguros. Esse esforço traduz-se em pesquisas voltadas para a realidade brasileira, sem o que se tornará praticamente impossível desenvolver de forma satisfatória os procedimentos normativos nessa área.

Assim sendo, é imprescindível e urgente que haja uma concentração de esforços na implementação de um conjunto de pesquisas que possam permitir o desenvolvimento de tecnologias adequadas. Exatamente por se encaixar nesse objetivo geral é que se justifica a importância e a motivação para a elaboração do presente trabalho. Sua finalidade é,

principalmente, contribuir para a elucidação de detalhes significativos sobre esse processo construtivo de grande viabilidade econômica e interesse social.

Nesse aspecto, um dos pontos de grande importância que precisam ser mais bem estudados é exatamente a interação da estrutura de alvenaria estrutural com a estrutura de concreto armado. Por se tratar de um sistema estrutural com pequena ductilidade, a alvenaria sofre de forma notável a influência das estruturas sobre as quais ela se apoia.

As cargas verticais a serem consideradas em uma edificação dependem do tipo e da utilização desse edifício. Nas edificações construídas para atender à população de baixa renda utiliza-se a alvenaria não armada e as principais cargas a serem consideradas nas paredes são ações das lajes e peso próprio das paredes.

Neste trabalho serão consideradas apenas as ações verticais no edifício. A partir dos vários processos de distribuição dessas ações entre as paredes estruturais, chegar-se-á no pavimento em estruturas reticuladas de concreto armado com suas respectivas ações atuantes e, a partir destas, serão dimensionadas as estruturas de concreto armado utilizando o programa CAD-TQS. A partir dos resultados obtidos será feita uma análise mútua destes processos de distribuição das ações verticais.

Dentro do esforço de aprofundar ainda mais os conhecimentos a respeito da alvenaria estrutural, será também estudado o comportamento da parede de alvenaria não armada sobre uma estrutura de pilotis e/ou cintamento. O fenômeno que ocorre nesta interação dos elementos é chamado de *efeito arco*. Serão então analisadas as ações aplicadas pela alvenaria em vigas de concreto armado sobre apoios discretos, como pavimentos de pilotis e fundações sobre estacas. Estas ações tendem a ser muito diferentes dos valores uniformes, comumente adotados. Assim, pode-se superestimar os esforços nas estruturas de concreto armado, pela adoção incorreta do carregamento a que estarão submetidas. Por outro lado, existirão concentrações de tensões na alvenaria que deixarão de ser consideradas, podendo-se reduzir o coeficiente de segurança a níveis críticos. Para maior precisão deste estudo, será desenvolvida uma modelagem numérica utilizando o método dos elementos finitos, através do programa SAP 2000.

BASTOS [1989] faz um conjunto de análises visando auxiliar o projeto de edifícios em alvenaria estrutural, baseado no método das tensões admissíveis.

OLIVEIRA JR [1992] apresenta um estudo sobre edifícios em alvenaria estrutural executados com blocos de concreto, de acordo com as normas brasileiras, complementadas, quando necessário, pelas normas americanas.

TOMAZELA [1995] mostra o comportamento de uma parede de alvenaria apoiada sobre viga de concreto armado e solicitada por ações verticais. A alvenaria se comporta como um material elástico-linear e, segundo ele, os módulos de elasticidade longitudinal e transversal dependem das características do bloco e argamassa.

BARBOSA [2000] faz um estudo de diversos modelos numéricos possíveis de serem utilizados, inclusive com a consideração das não-linearidades de contato na interface parede-viga, por ocasião do *efeito arco*. É citado um parâmetro de “rigidez relativa”, que apesar de não possuir um valor exato e de ter um conceito bem mais qualitativo que quantitativo, é fundamental para fornecer indicações sobre a configuração deformada do sistema parede-viga.

CAPUZZO NETO [2000] fez estudos experimentais e teóricos (modelos matemáticos) do comportamento de diversos sistemas estruturais em concreto armado. Foram analisadas de duas formas a interação no dimensionamento estrutural: durante a distribuição das ações verticais ou na consideração do enrijecimento da parede.

CORRÊA E RAMALHO [2003] publicam livro que contempla uma atual e ampla cobertura dos vários aspectos do projeto estrutural refletindo o estado da arte do projeto e da prática de alvenaria no Brasil. Nesse trabalho é tratado o dimensionamento de alvenarias estruturais armadas e não armadas, segundo os preceitos da NBR 10837 [1989], que adota o método das tensões admissíveis para o dimensionamento das peças estruturais. Os autores afirmam que a alvenaria estrutural é adequada a prédios de no máximo quinze ou dezesseis pavimentos e que acima deste limite poderá haver a necessidade de um grauteamento generalizado nos primeiros pavimentos, podendo,

dependendo do número de pontos nessas condições, comprometer a economia da obra. Reiteram que a modulação das alvenarias estruturais é fundamental para o resultado econômico da obra, tendo em vista que a necessidade de se promover cortes nos blocos ou efetuar enchimentos levarão a uma perda de racionalidade da construção. Apresentam ainda critérios para distribuição das cargas verticais nas edificações, com comentários, citando em cada caso suas vantagens e desvantagens.

BICALHO [2003] realizou um estudo comparativo de deformações e de consumo de material nas estruturas-suporte das alvenarias estruturais em três prédios de pequeno porte. Em cada um desses prédios, foram adotadas soluções estruturais variadas. Em todas as soluções, foi mantido, para cada prédio, o número de pilares, para que as comparações de consumo e deformações fossem adequadas. Em função dos resultados obtidos, foi feita uma análise comparativa da deformação e do consumo de material, procurando justificar as diferenças encontradas. No final do trabalho, foi escolhida a estrutura que apresentou a deformação mais representativa e sobre ela foram colocados quatro andares de alvenaria, para uma análise por elementos finitos através do programa ANSYS, com o objetivo de avaliar a influência sobre essas paredes da deformação da estrutura.

SILVA [2005] propõe um procedimento numérico, baseado no método dos elementos finitos, para se considerar a interação entre as paredes de alvenaria e estruturas de concreto armado. Neste procedimento será considerado o efeito arco nesta interação.

1.1– Objetivos

Diante do exposto, fica claro que seria de grande importância um estudo do procedimento de distribuição das ações verticais entre as paredes, e seu efeito no dimensionamento da estrutura de concreto armado, constituintes de edifícios de alvenaria estrutural.

O objetivo deste trabalho, que é na linha tecnológica, é:

- Efetuar um estudo comparativo da distribuição das ações verticais nas paredes de edifícios de alvenaria estrutural, e verificar seu efeito no dimensionamento das estruturas de concreto armado; para isto, serão consideradas:
 - paredes isoladas;
 - grupos isolados de paredes;
 - grupos de paredes com interação;

- Efetuar a modelagem numérica tridimensional da estrutura de alvenaria e das estruturas de concreto armado sobre apoios discretos, visando analisar a interação entre estas estruturas, utilizando o método dos elementos finitos através do programa SAP2000;

- Comparar as duas etapas anteriores e verificar se os modelos estruturais que são utilizados nos escritórios de cálculo se aproximam do modelo analisado via Método dos Elementos Finitos e qual deles torna a estrutura mais econômica.

1.2– Conteúdo da dissertação

Esta dissertação está dividida em seis capítulos: introdução, conceitos fundamentais, estudo comparativo da distribuição das ações verticais no edifício piloto , considerando ou não a interação entre paredes, e seu efeito na estrutura de concreto que lhe serve de apoio, análise numérica, avaliação dos resultados e conclusão.

No primeiro capítulo, tem-se o histórico, a revisão bibliográfica, objetivos e esta descrição sumária do trabalho.

No segundo capítulo serão apresentados os conceitos necessários à compreensão do texto e entendimento dos capítulos 3 e 4.

No terceiro capítulo, é apresentado o edifício que será analisado, as ações verticais atuantes no mesmo, o dimensionamento das paredes pelos processos de parede isolada e

grupos de paredes com e sem interação. Também é feita uma comparação entre as tensões obtidas pelos procedimentos de dimensionamento das paredes. Faz-se ainda uma análise das cintas através do programa CAD-TQS→, considerando as cargas das paredes uniformemente distribuídas nas cintas.

No quarto capítulo é efetuada a modelagem numérica das paredes e cintas, discretizadas em elementos finitos através do programa SAP2000.

No quinto capítulo, são apresentadas as comparações dos resultados dos modelos analisados. São feitas também algumas outras modelagens variando as inércias das vigas e desligando alguns nós das paredes com as vigas.

No sexto capítulo apresentam-se a conclusão e recomendações para novas pesquisas.

Por fim, apresenta-se a bibliografia empregada e consultada para o desenvolvimento da presente pesquisa.

2

CONCEITOS FUNDAMENTAIS

2.1– Interação de Paredes

Numa parede de alvenaria, quando se coloca um carregamento localizado sobre apenas uma parte de seu comprimento, tende a haver um espalhamento dessa carga ao longo de sua altura. A NBR 10837 – Cálculo de Estruturas de Alvenaria de Blocos Vazados de Concreto, prescreve que esse espalhamento deve-se dar segundo um ângulo de 45°.

Se esse espalhamento pode ser observado em paredes planas, é de se supor que também possa ocorrer em cantos e bordas, especialmente quando a amarração é realizada intercalando-se blocos numa e noutra direção, ou seja, sem a existência de juntas a prumo.

Usualmente, considera-se que a existência de uma abertura também represente um limite entre paredes, ou seja, a abertura caracteriza a interrupção do elemento. Assim sendo, uma parede com aberturas normalmente é considerada como uma parede independente. Entretanto, também nesse caso, costuma haver forças de interação entre esses diferentes elementos e portanto, haverá espalhamento e uniformização de cargas.

Dessa forma, é importante deixar bem claro que o procedimento de distribuição de ações verticais somente pode ser definido após uma clara avaliação desses níveis de interação entre paredes, de modo a não se violar condições reais de trabalho da estrutura.

É de suma importância a uniformização das ações. Normalmente, as cargas verticais que atuam sobre as paredes, num determinado nível da edificação, apresentam valores que

podem ser muitos diferentes. Por exemplo, as paredes internas tendem a receber carregamentos bem maiores que as paredes externas.

Quanto maior for a uniformização das ações verticais ao longo da altura da edificação, maiores os benefícios em termos de economia, pois haverá uma tendência à redução das resistências dos blocos a serem especificados.

2.2 – Procedimentos de Distribuição das Ações Verticais

Para auxiliar a definição da distribuição das cargas verticais serão estudados neste trabalho 03 (três) procedimentos, recomendados por Corrêa e Ramalho (2003).

2.2.1– Paredes Isoladas

Neste procedimento considera-se cada parede como um elemento independente, não interagindo com os demais elementos da estrutura. É um procedimento simples e rápido. Para encontrar a carga numa parede, num determinado nível, basta somar todas as cargas atuantes nessa parede nos pavimentos que estão acima do nível considerado.

Este procedimento é indicado somente para edificações de alturas pequenas; tende a ser seguro e antieconômico.

2.2.2 – Grupos Isolados de Paredes

Um grupo é um conjunto de paredes que são supostas totalmente solidárias. Geralmente, os limites dos grupos são as aberturas, portas e janelas. Neste procedimento consideram-se as cargas totalmente uniformizadas em cada grupo de paredes considerado. Isso significa que as forças de interação em canto e bordas são consideradas suficientes para garantir um espalhamento e uma uniformização total em uma pequena altura. Por outro lado, desconsideram-se as forças de interação nas aberturas, limites dos grupos. Dessa forma, cada grupo definido trabalhará isolado dos demais.

Este procedimento é considerado adequado para qualquer altura de edificações. Entretanto, é de suma importância que se avalie corretamente a possibilidade de realmente ocorrerem as mencionadas forças de interação em cantos e bordas, condição fundamental para sua correta aplicação.

2.2.3 – Grupos de Paredes com Interação

Este procedimento é uma extensão do procedimento anterior, com a diferença que o anterior apenas considerava a interação de cantos e bordas, e neste também considera uma força de interação sobre as aberturas. Esta interação deve ser feita através de trechos de alvenaria (lintéis).

Este procedimento também é considerado adequado para qualquer altura de edificações. Entretanto, é de suma importância que se avalie corretamente a possibilidade de realmente ocorrerem as mencionadas forças de interação em cantos e bordas e também nas regiões das aberturas, condição fundamental para sua correta aplicação.

2.3 – Ação Conjunta Parede-Viga

A definição do sistema de apoio para o conjunto parede-viga é muito importante para que o dimensionamento destes esteja correto. Para uma parede de alvenaria sobre apoio contínuo, como por exemplo, sapata corrida, não há concentrações de tensões na sua base. O mesmo não ocorre para o conjunto parede-viga sobre apoios discretos, ou seja, sobre pilares, tubulões ou estacas.

Pode-se dizer que o conjunto básico de uma estrutura de alvenaria portante é constituído, principalmente, por dois elementos: a parede, elemento plano formada por blocos cerâmicos ou de concreto, unidos por camadas de argamassas, que tem como finalidade primordial receber as ações verticais e horizontais, aplicadas ao seu plano ou a ele perpendicular; a viga, elemento linear, tem como função estrutural receber as cargas provenientes da parede e transmiti-las à fundação ou a pilares.

Quando uma parede de alvenaria se encontra sobre uma base deformável, como é o caso de uma viga sobre apoios discretos, as tensões verticais na base da parede tendem a se concentrar nas proximidades dos apoios. Por sua vez, além de suportar a parede, a viga passa a se comportar também como um tirante, impedindo o deslocamento horizontal das extremidades inferiores da parede. Este fenômeno constitui o chamado *efeito arco*.

Um dos mais importantes efeitos de distribuição de tensões na alvenaria é o *efeito arco*. Uma parede sustentada por viga apoiada em pilares nas extremidades tende a distribuir a carga para estes pontos que apresentam maior rigidez vertical que o centro da viga. Este fenômeno acontece em uma altura equivalente a metade do vão ou até menos (ver figura 2.1).

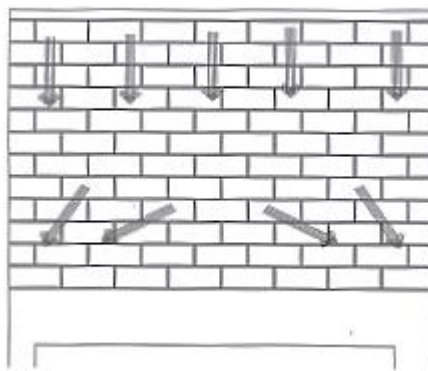


Figura 2.1 – Formação do *efeito arco* na parede apoiada sobre uma viga

O momento fletor em uma viga biapoiada, que suporta uma parede de alvenaria com carga uniformemente distribuída é menor que o apresentado se a viga estivesse recebendo, isolada e diretamente, a mesma carga. Isto se deve ao *efeito arco* que ocorre na base da parede, provocando concentrações de cargas próximas aos apoios.

Outros fatores também influenciam a distribuição de tensões no sistema parede-viga. Além da carga vertical, essas tensões podem ser influenciadas por fatores como a inércia e vão da viga, altura da parede, espessura da parede e razão entre os módulos de elasticidade da parede e da viga.

Estes fatores são analisados através do conceito de *rigidez relativa* que relaciona propriedades da parede e da viga. A *rigidez relativa* fornece indicações sobre a configuração deformada do sistema parede-viga. Quanto maior for o valor da *rigidez relativa* maior será a flexibilidade das vigas em relação às paredes, como consequência disto maiores serão as zonas de separação entre elas. E finalmente, quanto maior a zona de separação, mais acentuado será o *efeito arco*, maiores serão as concentrações de tensões na parede e menor será a parcela de carga vertical transmitida para a viga no meio do vão. Por outro lado, quando a rigidez relativa for menor, este valor pode estar bem próximo daquele obtido caso a carga estivesse uniformemente aplicada sobre a viga.

Desta forma, a rigidez relativa entre a parede e a viga é determinante para o grau de formação do efeito arco. Quanto mais deformável for a viga em relação à parede, maiores serão as concentrações de tensões nas proximidades dos apoios, e mais perceptível será o fenômeno. Por outro lado, vigas mais rígidas receberão uma maior parcela de carga proveniente da parede, acarretando maiores momentos fletores.

Segundo RIDDINGTON & STAFFORD SMITH (1978) *apud* BARBOSA (2000) e DAVIES & AHMED (1977) *apud* BARBOSA (2000), essa rigidez relativa é dada, respectivamente, pelas EQ.1.1 e EQ.1.2 abaixo:

$$K = \sqrt[4]{\frac{E_p \cdot t_p \cdot L^3}{E_v \cdot I_v}} \quad (1.1)$$

$$R = \sqrt[4]{\frac{E_p \cdot t_p \cdot H^3}{E_v \cdot I_v}} \quad (1.2)$$

Nessas equações:

- E_p e E_v são os módulos de elasticidade longitudinais da parede e da viga, respectivamente;

- I_v é o momento de inércia da viga de apoio;
- H e t_p são, respectivamente, a altura e a espessura da parede;
- L é a distância entre apoios.

Apesar de não serem idênticos, os valores obtidos através desses dois conceitos de rigidez relativa têm a mesma função: fornecer indicações sobre a configuração deformada do sistema parede-viga. Observa-se que valores de rigidez relativa altos implicam vigas flexíveis em relação às paredes. Assim têm-se, nos sistemas que apresentam vigas flexíveis, as zonas de separação entre a alvenaria e a viga são maiores.

Ao contrário, menores valores de rigidez relativa resultam em vigas rígidas em relação às paredes. Nesses casos, as zonas de separação são pequenas e resultam em menores concentrações de tensões nos apoios. Observa-se que, quanto menor a rigidez relativa, maior será o valor do momento máximo no meio do vão.

No sistema parede-viga podem surgir tensões verticais de tração na interface entre ambas. Quando essas tensões atingem valores superiores à máxima resistência à tração local, pode ocorrer separação entre a parede e a viga, acentuando ainda mais o *efeito arco*. A porção dessa interface que permanece em contato torna-se então um importante parâmetro em procedimentos simplificados de análise, já que é nessa região onde acontece a transferência de cargas.

Para a estimativa desse parâmetro, denominado *comprimento de contato*, RIDDINGTON & STAFFORD SMITH (1978) *apud* BARBOSA (2000) apresentaram a seguinte expressão, baseada em resultados de estudos teóricos:

$$\langle = \frac{BL}{K}$$

em que B é uma constante de calibração. Esse parâmetro é usado na estimativa dos valores máximos da tensão de compressão na parede ($B = 0,75$), do momento fletor na viga ($B = 1,5$) e da tensão de cisalhamento na interface parede-viga ($B = 1$).

Os valores das tensões atuantes no sistema variam segundo diversos fatores, porém, suas configurações típicas na base da parede podem ser representadas conforme as ilustrações da Figura 2.2, para a situação de uma parede sobre viga biapoiada. Segundo BARBOSA (2000), em casos usuais as tensões verticais e de cisalhamento são nulas na região central do vão. Com relação às tensões horizontais na linha vertical média do sistema, a linha neutra pode se localizar na viga ou na parede. No primeiro caso, tem-se uma configuração usual em vigas, em que a armadura inferior está tracionada, enquanto que a superior é comprimida. No segundo caso, a viga está trabalhando mais efetivamente como tirante do “arco”, com toda a armadura longitudinal submetida à tração. Nota-se neste caso a presença de tensões horizontais de tração também na base da parede.

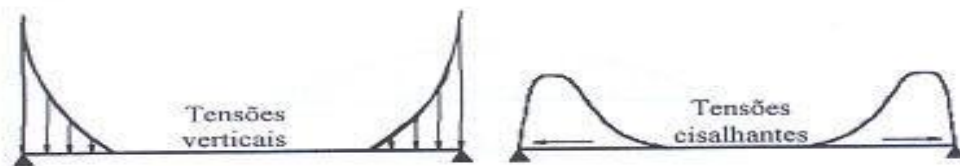


Figura 2.2 – Distribuição de tensões no sistema parede-viga. (a) Concentrações de tensões na base da parede. (b) Tensões horizontais ao longo da linha média do sistema parede-viga. (BARBOSA, 2000)

Com a finalidade de simplificar as análises, HENDRY et al. (1981) afirmaram que se pode assumir uma distribuição linear, quadrática ou cúbica para as tensões verticais na base da parede. A configuração a ser adotada depende do valor do parâmetro R. Com relação à força axial na viga, HENDRY et al. (1981) sugerem uma distribuição linear, com valor máximo no centro do vão e nulo nos apoios.

Fica evidente que uma condição importante e indispensável para que ocorra a formação do arco é a existência de aderência ao deslizamento na interface parede-viga, a fim de garantir a resistência necessária ao cisalhamento que irá ocorrer quando da sua formação.

Devemos sempre dimensionar a interface entre a alvenaria e o concreto para resistir a estes esforços localizados. Por essas razões, tenta-se evitar os apoios discretos, embora

nem sempre isso é possível. Muitas vezes, eles se tornam necessários para satisfazer imposições arquitetônicas (garagens, salão de festas ou local de lazer).

Geralmente, paredes mais altas implicam em maiores concentrações de tensões nos apoios. No entanto, à medida que a altura da parede vai aumentando, a sua influência na distribuições das tensões vai se tornando cada vez menor. Segundo TOMAZELA (1995), toda a carga aplicada ou peso próprio que estiver acima da região de formação do arco pode ser considerada simplesmente como uma carga uniformemente distribuída, atuando sobre o trecho inferior de altura $h = 0,7 L$, onde L é o vão da viga de apoio. (ver Fig.2.3).

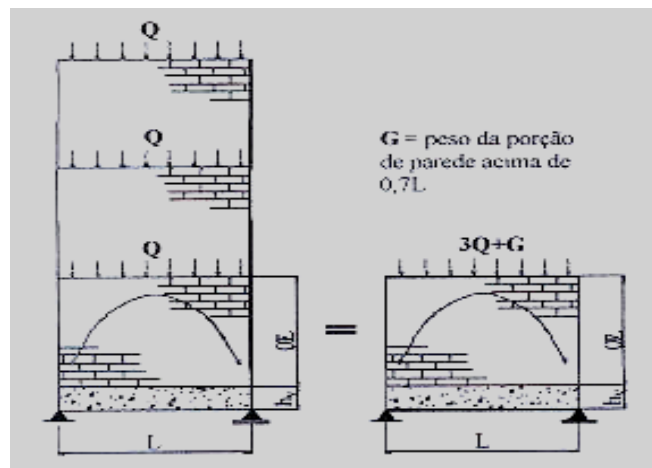


Figura 2.3 – Dois sistemas parede-viga com carregamento equivalente
(Márcio Ramalho e Márcio Corrêa – 2003)

O efeito arco também produz uma drástica redução no momento fletor máximo da viga, em relação ao momento que seria obtido caso a carga ($PL/2$) estivesse aplicada diretamente sobre a viga. Segundo TOMAZELA (1995), o *efeito arco* produz uma concentração de tensões que pode chegar a seis vezes a tensão normal vertical média, e também uma redução do momento fletor na viga que pode ser de até dez vezes. Esses valores dependem da rigidez relativa entre a parede e a viga.

Segundo os ensaios descritos em WOOD (1952), o valor do momento máximo na viga pode variar de $PL/20$ a $PL/274$, dependendo das características dos elementos. As flechas nestes sistemas são sempre muito pequenas; da ordem de $L/500$ a $L/1000$.

A presença de aberturas nos painéis de alvenaria pode ocasionar graves mudanças na configuração das tensões. São importantes tanto o tipo de abertura (portas ou janelas), quanto seu tamanho e sua localização. Por exemplo, aberturas de portas situadas próximas a um apoio podem acarretar grandes concentrações de tensões em uma de suas laterais, aumentando também os esforços na viga.

3

ESTUDO COMPARATIVO DA DISTRIBUIÇÃO DAS AÇÕES VERTICAIS NAS PAREDES DO EDIFÍCIO PILOTO

3.1 – Características do Edifício

Para o estudo das análises estruturais e o dimensionamento das estruturas de concreto armado, foi tomado como exemplo um edifício piloto real, da COHAB-MG (Companhia de Habitação do Estado de Minas Gerais), que é definido como padrão MG-15. O edifício é composto por 04 (quatro) pavimentos sendo que o primeiro pavimento é apoiado diretamente nas cintas de concreto armado que descarregam seus esforços no solo e os demais pavimentos em lajes de concreto armado, que se apoiam nas alvenarias estruturais de bloco de concreto. O edifício possui ainda um ático para apoio da caixa d'água em fibra de vidro.

Toda a caixa de escada do edifício é apoiada em uma estrutura de concreto armado, não descarregando seus esforços nas alvenarias estruturais. O ático, criado para apoio da caixa d'água, está apoiado nesta estrutura de concreto armado.

Como o edifício é quadrissimétrico será feito todo o cálculo somente para 01(um) quarto do projeto.

Para melhor compreensão do esquema estrutural do edifício será ilustrado na figura 3.1 um corte esquemático do mesmo.

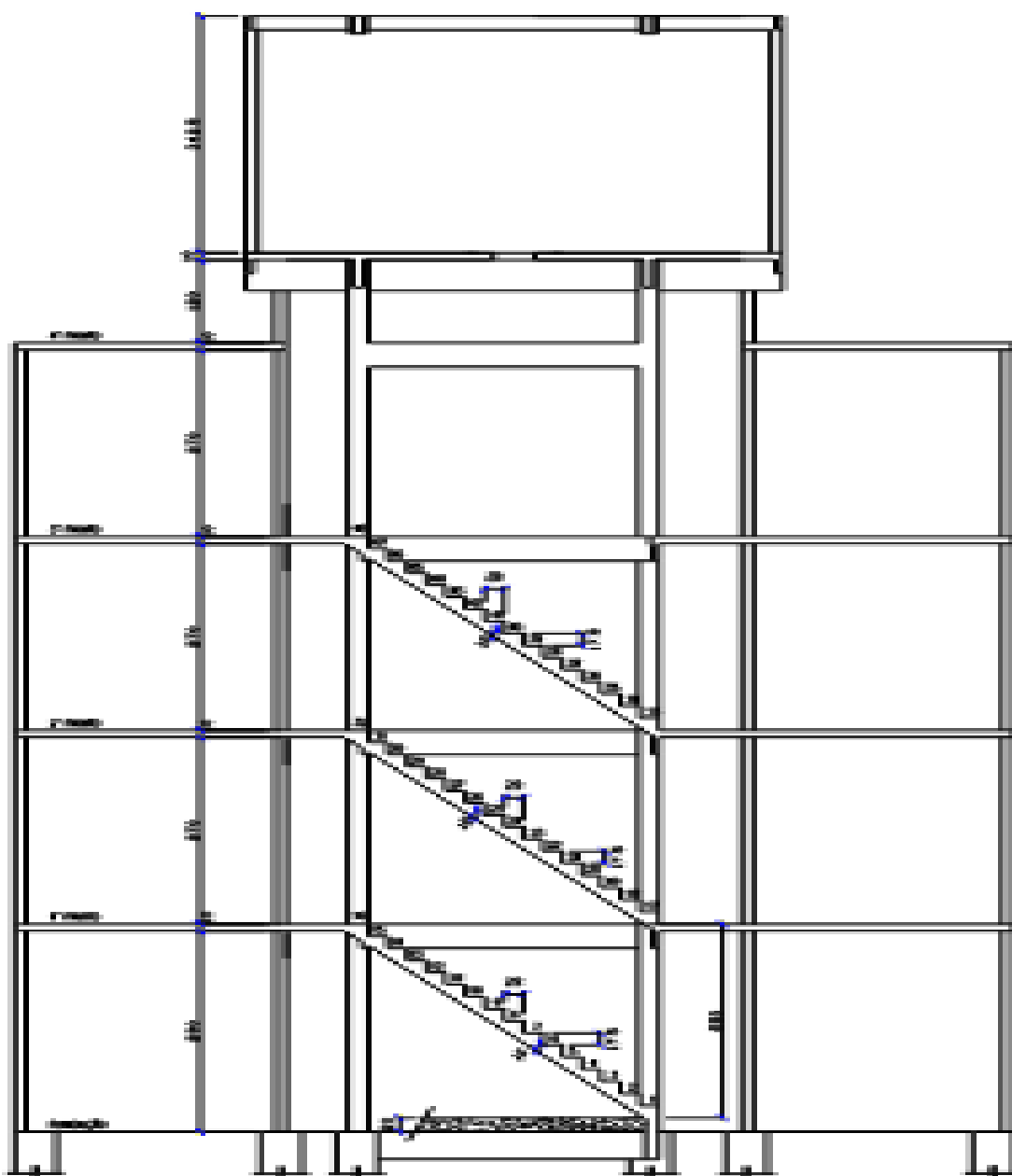
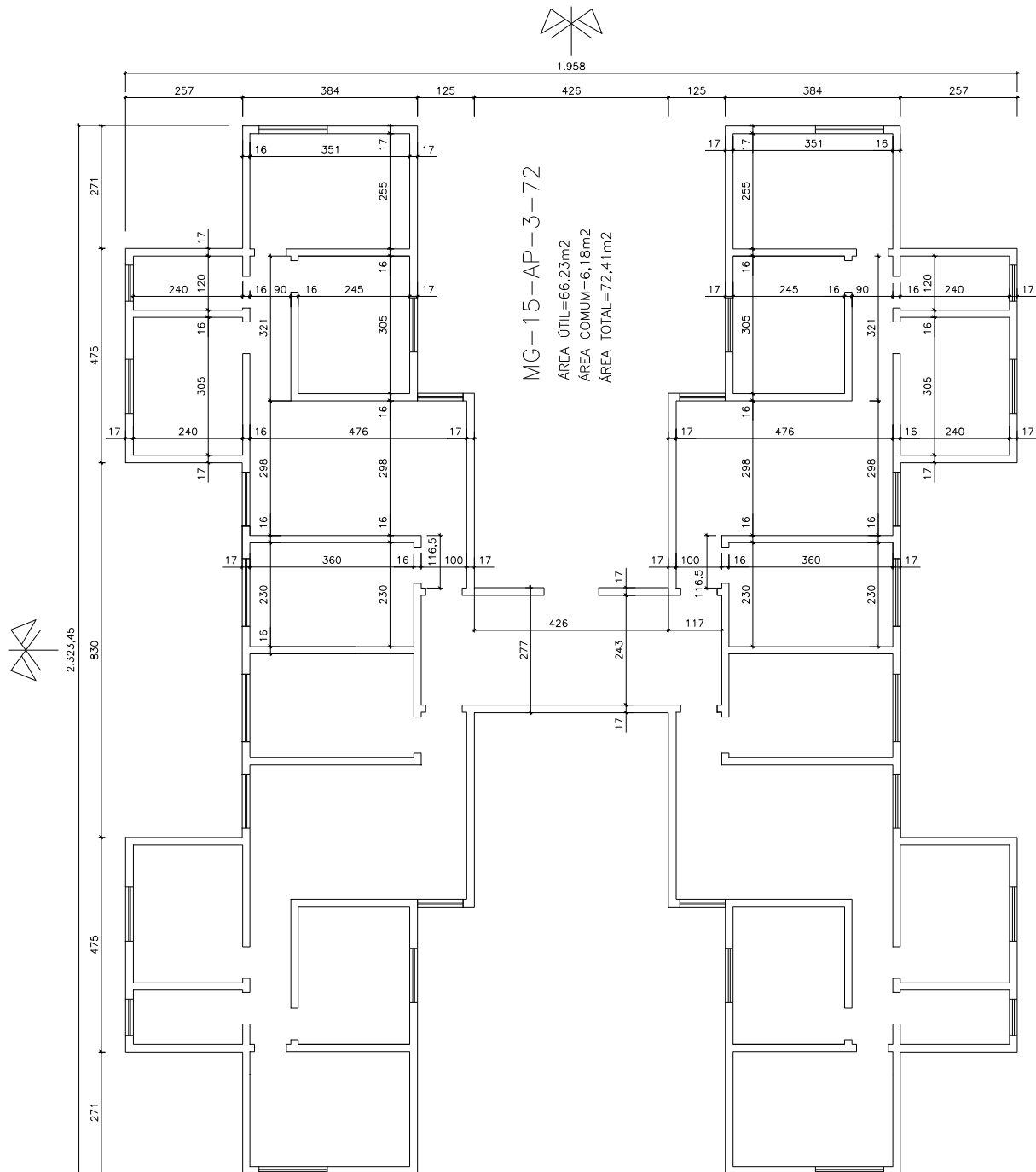


Figura 3.1 – Corte esquemático do edifício piloto utilizado no estudo.

Como pode ser observado, foi considerado que as lajes têm 10cm de espessura e as alvenarias, 2,70m de altura em cada pavimento.

O projeto arquitetônico do pavimento tipo será ilustrado conforme figura 3.2.



3.2– Ações Verticais nas Paredes

3.2.1 – Ações Verticais devidas às Reações das Lajes

Na análise das lajes de concreto armado foram utilizados os carregamentos baseados na NBR 6120 (1980):

a) Cargas Permanentes

a.1) Concreto armado

Para o concreto armado foi utilizado o peso específico de 25 kN/m^3 , que é o valor sugerido na TAB.1 – Peso Específico dos Materiais da NBR 6120 (1980), que deverá ser utilizado, conforme o item 2.1.3 da NBR 6120 (1980) “na falta de determinação experimental”.

a.2) Alvenaria

Para as paredes de alvenaria em blocos de concreto, foi utilizado o peso específico de 16 kN/m^3 que é o indicado na TAB.1 – Peso Específico dos Materiais da NBR 6120 (1980). Este valor é usualmente adotado nos escritórios de projeto e é superior aos valores obtidos experimentalmente.

a.3) Revestimento do Piso

Na prática adota-se um valor compreendido entre $0,5 \text{ kN/m}^2$ e $1,0 \text{ kN/m}^2$ para o peso do revestimento para as lajes de piso. Adotou-se para as lajes dos pavimentos tipos, $1,0 \text{ kN/m}^2$ e para as lajes da cobertura $0,5 \text{ kN/m}^2$.

b) Cargas Acidentais

Para as cargas acidentais verticais, a NBR 6120 (1980), em sua TAB. 2, item 2.2.1.2, indica o valor de $2,0 \text{ kN/m}^2$ para alguns cômodos e $1,5 \text{ kN/m}^2$ para outros nos pavimentos

tipos. Foram adotados para simplificação dos cálculos o valor de 1,5 kN/m² nas lajes do pavimento tipo e 0,5 kN/m² nas lajes de cobertura.

OBSERVAÇÃO:

Não foram consideradas, nesta análise, as chamadas “ações permanentes indiretas”, que são constituídas pelas deformações impostas por: retração do concreto; fluência do concreto; deslocamentos de apoio e imperfeições geométricas.

Para melhor compreensão dos esforços dimensionados nas lajes de concreto armado, foi elaborada uma planilha contendo o resumo dos carregamentos e características das lajes do pavimento tipo e da cobertura.

Tabela 3.1 – Carregamentos e características geométricas das lajes do pavimento tipo e cobertura.

Carregamentos e características geométricas das lajes do pavimento tipo								
Lajes	Características geométricas			Cargas (kN/m²)				
	Lx (cm)	Ly (cm)	Esp. (cm)	Sc.	Rev.	Pp.	Alv. Não-estrutural	Carga Total
L1	136,5	256,5	10	1,5	1,0	2,5	0,0	5,0
L2	321,5	256,5	10	1,5	1,0	2,5	0,0	5,0
L3	271,5	368	10	1,5	1,0	2,5	0,0	5,0
L4	321	367,5	10	1,5	1,0	2,5	1,77	6,77
L5	314	493	10	1,5	1,0	2,5	0,0	5,0
L6	246	376,5	10	1,5	1,0	2,5	0,0	5,0
L7	492	116,5	10	1,5	1,0	2,5	0,66	5,66

Carregamentos e características geométricas das lajes da cobertura								
Lajes	Características geométricas			Cargas (kN/m²)				Carga Total
	Lx (cm)	Ly (cm)	Esp. (cm)	Sc.	Rev.	Pp.	Telhado	
L1	136,5	256,5	10	0,5	0,5	2,5	0,7	4,2
L2	321,5	256,5	10	0,5	0,5	2,5	0,7	4,2
L3	271,5	368	10	0,5	0,5	2,5	0,7	4,2
L4	321	367,5	10	0,5	0,5	2,5	0,7	4,2
L5	314	493	10	0,5	0,5	2,5	0,7	4,2
L6	246	376,5	10	0,5	0,5	2,5	0,7	4,2
L7	492	116,5	10	0,5	0,5	2,5	0,7	4,2

O cálculo das lajes foi baseado no processo das linhas de ruptura e foi executado utilizando-se um programa computacional. A numeração das lajes e suas reações sobre as paredes de alvenaria estrutural estão apresentadas nas figuras 3.3 e 3.4.

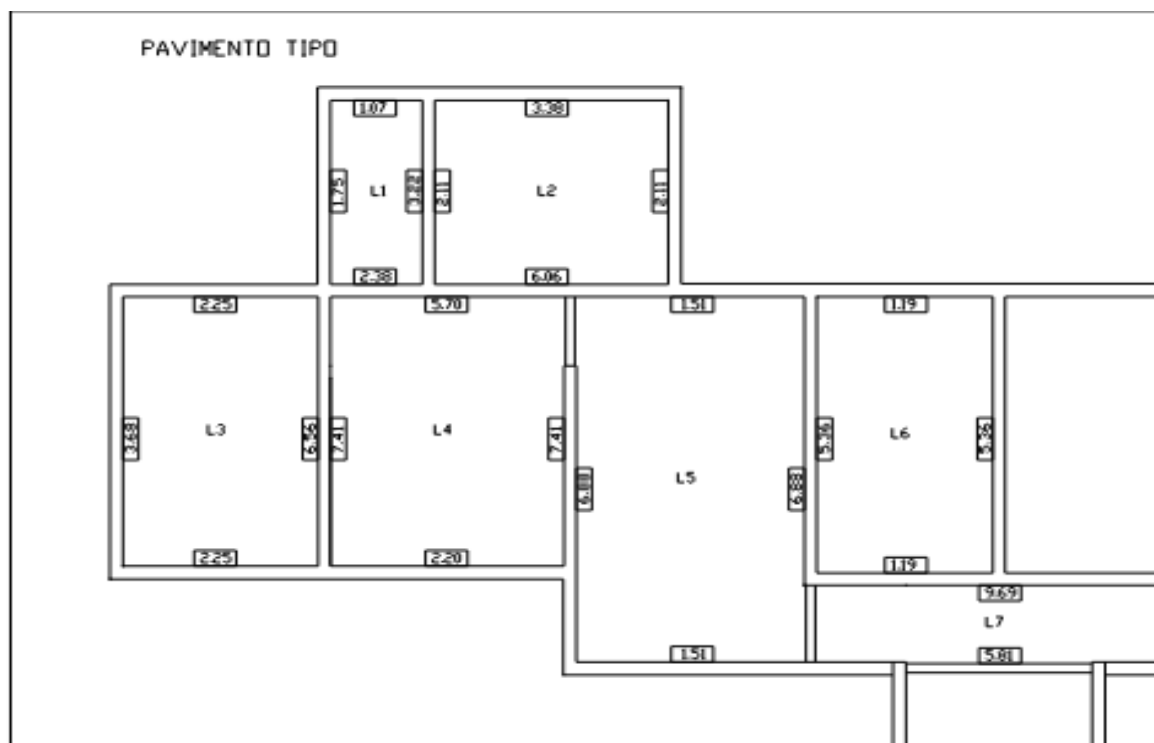


Figura 3.3 – Numeração e reações das lajes do pavimento tipo do edifício.

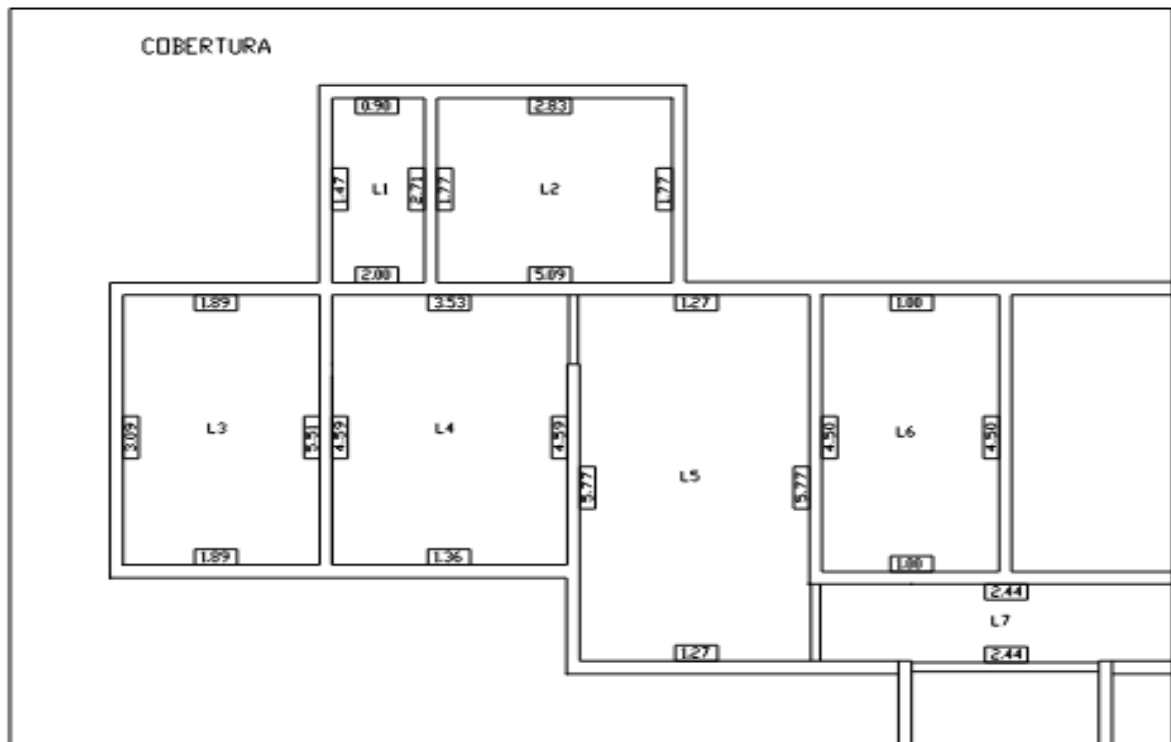


Figura 3.4 – Reações das lajes do pavimento de cobertura do edifício.

3.2.2 – Ações Verticais devidas ao Peso Próprio da Alvenaria

Para as paredes de alvenaria em blocos de concreto, foi utilizado o peso específico de 16 kN/m³ que é o indicado na TAB.1 – Peso Específico dos Materiais da NBR 6120 (1980). Este valor corresponde ao peso específico dos componentes bloco e revestimento.

No edifício não foram colocadas cintas de amarração nas paredes.

Para exemplificar, o peso próprio das paredes calculadas foi de:

- paredes internas:
 $0,16\text{m} \times 2,70\text{m} \times 16 \text{ kN/m}^3 = 6,912 \text{ kN/m}$
- paredes externas:
 $0,17\text{m} \times 2,70\text{m} \times 16 \text{ kN/m}^3 = 7,344 \text{ kN/m}$

3.2.3 – Ações Verticais nas Paredes (peso próprio + reação das lajes)

A figura 3.5 ilustra a nomenclatura adotada para as paredes (Px_i e P_y_i) e lintéis (Lx_i) do pavimento tipo e da cobertura.

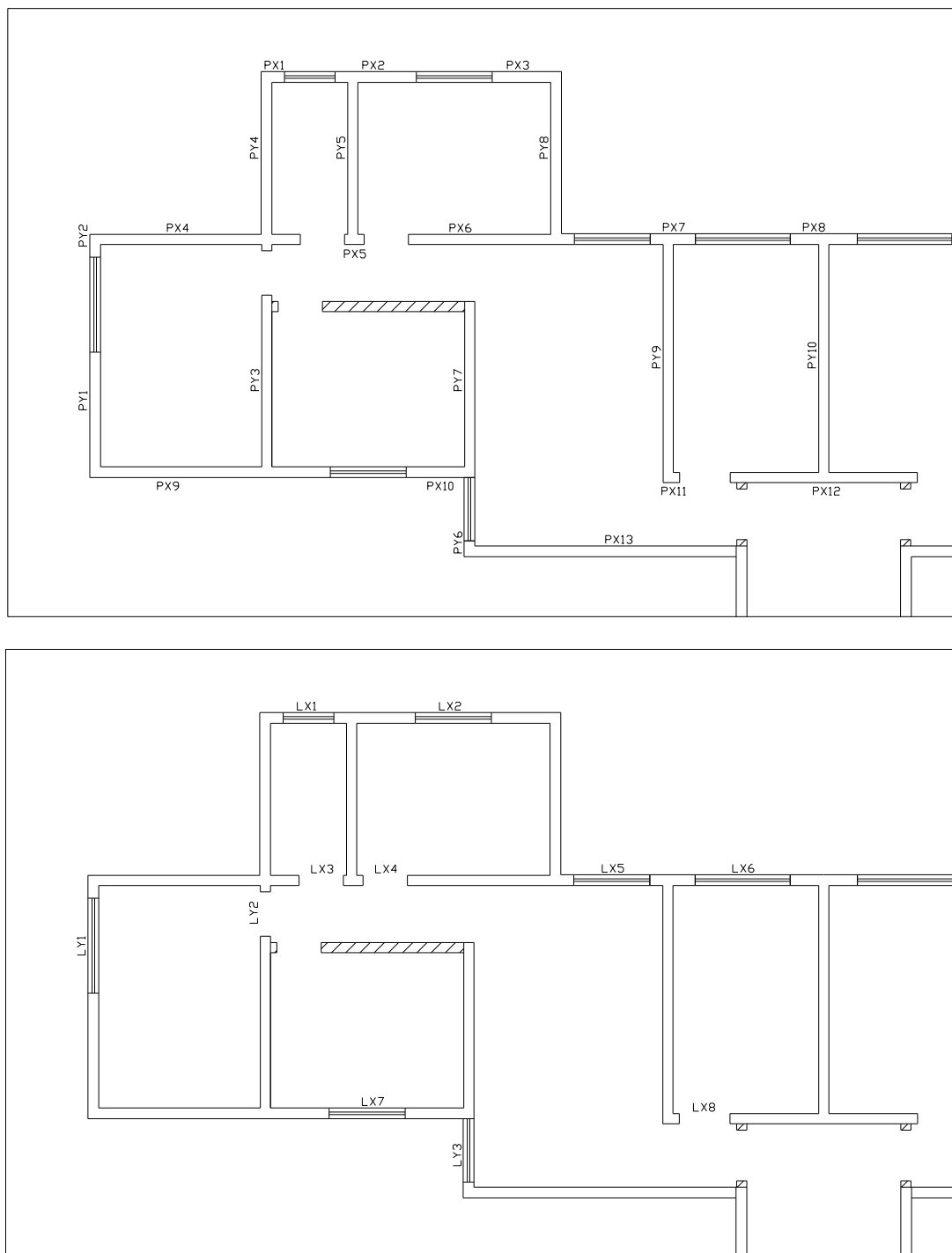


Figura 3.5 – Nomenclatura utilizada nas paredes e lintéis do pavimento tipo e de cobertura do edifício.

As tabelas 3.2 e 3.3 apresentam os valores das cargas atuantes em cada parede e em cada lintel, para um nível de pavimento tipo e para o nível da cobertura.

Tabela 3.2 – Carregamentos nas paredes do pavimento tipo e cobertura.

Paredes	Comp (m)	Reação das lajes (kN/m)		Peso Próprio (kN/m)
		Pavto tipo	Cobertura	
PX1	0,37	1,07	0,90	7,34
PX2	1,29	2,73	2,29	7,34
PX3	1,10	3,38	2,83	7,34
PX4	3,32	3,32	2,56	7,34
PX5	0,31	10,57	7,62	6,91
PX6	2,63	11,43	8,44	6,91
PX7	0,72	1,28	1,08	7,34
PX8	1,06	1,19	1,00	7,34
PX9	3,81	2,24	1,76	6,91
PX10	1,09	2,20	1,36	7,34
PX11	0,26	10,88	2,65	6,91
PX12	2,96	10,88	1,00	7,34
PX13	4,31	1,51	1,27	7,34
PY1	1,81	3,68	3,09	7,34
PY2	0,20	3,68	3,09	7,34
PY3	2,71	13,97	10,10	6,91
PY4	2,66	1,75	1,47	7,34
PY5	2,40	5,33	4,48	6,91
PY6	0,08	6,88	5,77	7,34
PY7	2,61	14,29	10,36	6,91
PY8	2,40	2,11	1,77	7,34
PY9	3,60	12,24	10,27	6,91
PY10	3,60	10,72	9,00	6,91

Tabela 3.3 – Carregamentos nos lintéis do pavimento tipo e de cobertura.

Paredes	Comp (m)	Reação das lajes (kN/m)		Peso Próprio (kN/m)	Carga vertical (kN/m)
		Pavto tipo	Cobertura		
LX1	0,80	1,07	0,90	5,20	7,17
LX2	1,20	3,38	2,83	4,08	10,29
LX3	0,70	8,08	5,53	1,54	15,15
LX4	0,70	11,76	8,62	1,54	21,92
LX5	1,20	1,51	1,27	4,08	6,86
LX6	1,50	1,19	1,00	4,08	6,27
LX7	1,20	2,20	1,36	4,08	7,64
LX8	0,80	10,88	3,44	1,54	15,86
LY1	1,50	3,68	3,09	4,08	10,85
LY2	0,70	13,97	10,10	1,54	25,61
LY3	1,00	6,88	5,77	4,08	16,73

3.3 – Tensões Normais Verticais nas Paredes do Edifício Piloto

Como não é objetivo deste trabalho apresentar o cálculo detalhado do dimensionamento das paredes, para cada tipo de distribuição das cargas verticais, é apresentada uma tabela contendo os resumos das cargas e tensão no nível do pavimento estruturado para todas as paredes ou grupos de paredes.

3.3.1 – Paredes Isoladas

Para a distribuição das cargas verticais por paredes isoladas, adotou-se a mesma nomenclatura utilizada na figura 3.5.

As cargas totais atuantes nas paredes estão mostradas na tabela 3.4. Está inclusa na tabela 3.4 a parte da carga relativa aos lintéis sobre as respectivas paredes.

Tabela 3.4 – Carregamentos totais nas paredes do pavimento tipo e cobertura.

Paredes	Comp (m)	Reação dos lintéis (kN/m)		Reação das lajes (kN/m)		Peso Próprio (kN/m)
		Pavto tipo	Cobertura	Pavto tipo	Cobertura	
PX1	0,37	6,78	6,60	1,07	0,90	7,34
PX2	1,29	5,42	5,11	2,73	2,29	7,34
PX3	1,10	4,07	3,77	3,38	2,83	7,34
PX4	3,32	1,02	0,74	3,32	2,56	7,34
PX5	0,31	25,90	17,23	10,57	7,62	6,91
PX6	2,63	3,05	2,57	11,43	8,44	6,91
PX7	0,72	10,14	9,75	1,28	1,08	7,34
PX8	1,06	7,45	7,19	1,19	1,00	7,34
PX9	3,81	0,99	0,86	2,24	1,76	6,91
PX10	1,09	3,46	2,99	2,20	1,36	7,34
PX11	0,26	19,11	7,65	10,88	2,65	6,91
PX12	2,96	3,36	1,34	10,88	1,00	7,34
PX13	4,31	-	-	1,51	1,27	7,34
PY1	1,81	3,22	2,97	3,68	3,09	7,34
PY2	0,20	29,10	26,90	3,68	3,09	7,34
PY3	2,71	2,00	1,50	13,97	10,10	6,91
PY4	2,66	2,04	1,53	1,75	1,47	7,34
PY5	2,40	-	-	5,33	4,48	6,91
PY6	0,08	68,50	61,63	6,88	5,77	7,34
PY7	2,61	2,10	1,89	14,29	10,36	6,91
PY8	2,40	-	-	2,11	1,77	7,34

PY9	3,60	-	-	12,24	10,27	6,91
PY10	3,60	-	-	10,72	9,00	6,91

De posse das cargas atuantes nos pavimentos foi calculada a tensão atuante nos respectivos andares sobre as paredes do edifício (tabela 3.5).

Tabela 3.5 – Tensões nas paredes do pavimento tipo e cobertura.

Paredes	4º Pavto		3º Pavto		2º Pavto		1º Pavto	
	Carga (kN/m)	Tensão (kN/m ²)	Carga (kN/m)	Tensão (kN/m ²)	Carga (kN/m)	Tensão (kN/m ²)	Carga (kN/m)	Tensão (kN/m ²)
PX1	14,84	87,318	30,04	176,718	45,24	266,118	60,44	355,518
PX2	14,74	86,702	30,23	177,836	45,72	268,970	61,22	360,105
PX3	13,94	82,024	28,74	169,047	43,53	256,071	58,33	343,094
PX4	10,64	62,581	22,32	131,294	34,00	200,007	45,68	268,720
PX5	31,76	186,843	75,15	442,036	118,53	697,230	161,91	1011,950
PX6	17,92	105,432	39,32	231,272	60,71	357,112	82,10	513,137
PX7	18,17	106,867	36,93	217,230	55,69	327,594	74,45	437,957
PX8	15,53	91,376	31,52	185,400	47,50	279,424	63,49	373,447
PX9	9,53	56,066	19,67	115,700	29,81	175,334	39,94	249,654
PX10	11,69	68,788	24,70	145,282	37,70	221,776	50,71	298,271
PX11	17,21	101,247	54,11	318,318	91,02	535,388	127,92	799,488
PX12	9,68	56,965	31,27	183,929	52,85	310,894	74,44	465,225
PX13	8,61	50,671	17,47	102,753	26,32	154,835	35,18	206,918
PY1	13,40	78,847	27,65	162,635	41,89	246,424	56,14	330,212
PY2	37,33	219,612	77,46	455,635	117,58	691,659	157,71	927,682
PY3	18,51	108,894	41,39	243,494	64,28	378,094	87,16	544,738
PY4	10,34	60,847	21,48	126,341	32,61	191,835	43,75	257,329
PY5	11,39	67,012	23,63	139,024	35,88	211,035	48,12	300,738
PY6	74,74	439,671	157,47	926,282	240,19	1412,894	322,92	1899,506
PY7	19,16	112,718	42,46	249,788	65,77	386,859	89,07	556,675
PY8	9,11	53,612	18,57	109,224	28,02	164,835	37,48	220,447
PY9	17,18	101,071	36,33	213,729	55,49	326,388	74,64	466,488
PY10	15,91	93,600	33,54	197,318	51,18	301,035	68,81	430,050

3.3.2 – Grupos Isolados de Paredes

Como os grupos são formados por um conjunto de paredes, a nomenclatura utilizada é a da figura 3.5. A distribuição dos grupos de paredes está indicada na figura 3.6.

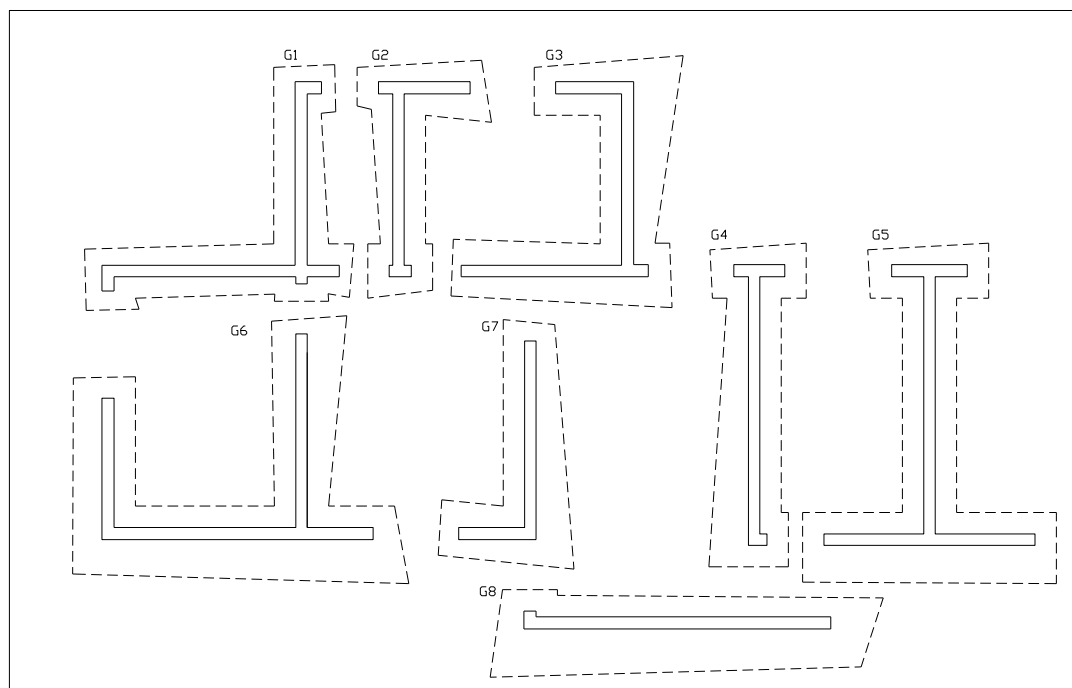


Figura 3.6 – Configuração dos grupos de paredes do pavimento tipo e cobertura.

Os grupos foram formados observando as aberturas das janelas e portas (lintéis). O cálculo apresentado consiste em se determinar as cargas totais de cada parede e, assim, a carga total de cada grupo. Ver tabela 3.6.

Carregamento do grupo no 4º Pavimento:

Tabela 3.6a – Carregamentos nos grupos de paredes de cada pavimento.

Grupo	Paredes	Comprimento (m)	Carga 4º Pavto (kN/m)	Carga Total 4º Pavto (kN)	Carga do Grupo (kN)
G1	PX1	0,37	14,84	5,491	75,786
	PX4	3,32	10,64	35,325	
	PY2	0,2	37,33	7,466	
	PY4	2,66	10,34	27,504	
G2	PX2	1,29	14,74	19,015	56,196
	PX5	0,31	31,76	9,846	
	PY5	2,4	11,39	27,336	
G3	PX3	1,1	13,94	15,334	84,328
	PX6	2,63	17,92	47,130	
	PY8	2,4	9,11	21,864	
G4	PX7	0,72	18,17	13,082	79,405
	PX11	0,26	17,21	4,475	
	PY9	3,6	17,18	61,848	
G5	PX8	1,06	15,53	16,462	102,391
	PX12	2,96	9,68	28,653	
	PY10	3,6	15,91	57,276	
G6	PX9	3,81	9,53	36,309	110,725
	PY1	1,81	13,4	24,254	
	PY3	2,71	18,51	50,162	
G7	PX10	1,09	11,69	12,742	62,750
	PY7	2,61	19,16	50,008	
G8	PX13	4,31	8,61	37,109	43,088
	PY6	0,08	74,74	5,979	

Carregamento do grupo no 3º Pavimento:

Tabela 3.6b – Carregamentos nos grupos de paredes de cada pavimento.

Grupo	Paredes	Comp (m)	Carga 3º Pavto (kN/m)	Carga Total 3º Pavto (kN)	Carga do Grupo (kN)
G1	PX1	0,37	30,04	11,115	157,846
	PX4	3,32	22,32	74,102	
	PY2	0,2	77,46	15,492	
	PY4	2,66	21,48	57,137	
G2	PX2	1,29	30,23	38,997	119,005
	PX5	0,31	75,15	23,297	
	PY5	2,4	23,63	56,712	
G3	PX3	1,1	28,74	31,614	179,594
	PX6	2,63	39,32	103,412	
	PY8	2,4	18,57	44,568	
G4	PX7	0,72	36,93	26,590	171,446
	PX11	0,26	54,11	14,069	
	PY9	3,6	36,33	130,788	
G5	PX8	1,06	31,52	33,411	246,714
	PX12	2,96	31,27	92,559	
	PY10	3,6	33,54	120,744	
G6	PX9	3,81	19,67	74,943	237,156
	PY1	1,81	27,65	50,047	
	PY3	2,71	41,39	112,167	
G7	PX10	1,09	24,7	26,923	137,744
	PY7	2,61	42,46	110,821	
G8	PX13	4,31	17,47	75,296	87,893
	PY6	0,08	157,47	12,598	

Carregamento do grupo no 2º Pavimento:

Tabela 3.6c – Carregamentos nos grupos de paredes de cada pavimento.

Grupo	Paredes	Comp (m)	Carga 2º Pavto (kN/m)	Carga Total 2º Pavto (kN)	Carga do Grupo (kN)
G1	PX1	0,37	45,24	16,739	239,877
	PX4	3,32	34	112,880	
	PY2	0,2	117,58	23,516	
	PY4	2,66	32,61	86,743	
G2	PX2	1,29	45,72	58,979	181,835
	PX5	0,31	118,53	36,744	
	PY5	2,4	35,88	86,112	
G3	PX3	1,1	43,53	47,883	274,798
	PX6	2,63	60,71	159,667	
	PY8	2,4	28,02	67,248	
G4	PX7	0,72	55,69	40,097	263,526
	PX11	0,26	91,02	23,665	
	PY9	3,6	55,49	199,764	
G5	PX8	1,06	47,5	50,350	391,034
	PX12	2,96	52,85	156,436	
	PY10	3,6	51,18	184,248	
G6	PX9	3,81	29,81	113,576	363,596
	PY1	1,81	41,89	75,821	
	PY3	2,71	64,28	174,199	
G7	PX10	1,09	37,7	41,093	212,753
	PY7	2,61	65,77	171,660	
G8	PX13	4,31	26,32	113,439	132,654
	PY6	0,08	240,19	19,215	

Carregamento do grupo no 1º Pavimento:

Tabela 3.6d – Carregamentos nos grupos de paredes de cada pavimento.

Grupo	Paredes	Comp (m)	Carga 1º Pavto (kN/m)	Carga Total 1º Pavto (kN)	Carga do Grupo (kN)
G1	PX1	0,37	60,44	22,363	321,937
	PX4	3,32	45,68	151,658	
	PY2	0,2	157,71	31,542	
	PY4	2,66	43,75	116,375	
G2	PX2	1,29	61,22	78,974	244,654
	PX5	0,31	161,91	50,192	
	PY5	2,4	48,12	115,488	
G3	PX3	1,1	58,33	64,163	370,038
	PX6	2,63	82,1	215,923	
	PY8	2,4	37,48	89,952	
G4	PX7	0,72	74,45	53,604	355,567
	PX11	0,26	127,92	33,259	
	PY9	3,6	74,64	268,704	
G5	PX8	1,06	63,49	67,299	535,358
	PX12	2,96	74,44	220,342	
	PY10	3,6	68,81	247,716	
G6	PX9	3,81	39,94	152,171	489,988
	PY1	1,81	56,14	101,613	
	PY3	2,71	87,16	236,204	
G7	PX10	1,09	50,71	55,274	287,747
	PY7	2,61	89,07	232,473	
G8	PX13	4,31	35,18	151,626	177,459
	PY6	0,08	322,92	25,834	

De posse das cargas distribuídas calculadas para cada grupo, foi feito o cálculo das tensões dos grupos por pavimento. Ver tabela 3.7.

Tabela 3.7 – Tensões normais nas paredes dos grupos sem interação.

PAVTO	GRUPO	Comprimento (m)	CARGA GRUPO (kN)	CARGA MÉDIA GRUPO (kN/m)	TENSÃO MÉDIA (kN/m ²)
4	G1	6,55	75,786	11,570	72,315
	G2	4,00	56,196	14,049	87,806
	G3	6,13	84,328	13,757	85,979
	G4	4,58	79,405	17,337	108,358
	G5	7,62	102,391	13,437	83,982
	G6	8,33	110,725	13,292	83,077
	G7	3,70	62,75	16,959	105,997
	G8	4,39	43,088	9,815	61,344
	G1	6,55	157,846	24,099	150,616
	G2	4,00	119,005	29,751	185,945
	G3	6,13	179,594	29,298	183,110

3	G4	4,58	171,446	37,434	233,960
	G5	7,62	246,714	32,377	202,357
	G6	8,33	237,156	28,470	177,938
	G7	3,70	137,744	37,228	232,676
	G8	4,39	87,893	20,021	125,132
2	G1	6,55	239,877	36,622	228,890
	G2	4,00	181,835	45,459	284,117
	G3	6,13	274,798	44,828	280,177
	G4	4,58	263,526	57,538	359,615
	G5	7,62	391,034	51,317	320,730
	G6	8,33	363,596	43,649	272,806
	G7	3,70	212,753	57,501	359,380
	G8	4,39	132,654	30,217	188,858
1	G1	6,55	321,937	49,151	307,192
	G2	4,00	244,654	61,164	382,272
	G3	6,13	370,038	60,365	377,282
	G4	4,58	355,567	77,635	485,217
	G5	7,62	535,358	70,257	439,106
	G6	8,33	489,988	58,822	367,638
	G7	3,70	287,747	77,769	486,059
	G8	4,39	177,459	40,423	252,647

3.3.3 – Grupos de Paredes com Interação

Os grupos utilizados foram os mesmos do item anterior (figura 3.5) porém levando-se em conta que entre estes grupos existirá uma força de interação de 20% (segundo Corrêa e Ramalho – 2003) provenientes dos lintéis. Com esta taxa de uniformização das cargas foram então dimensionadas as tensões atuantes nos pavimentos. (Tabela 3.8)

Tabela 3.8 – Tensões normais nas paredes dos grupos com interação.

PAVTO	CARGA MÉDIA (kN/m)	GRUPO	Comp (m)	CARGA MÉDIA GRUPO (kN/m)	20% CARGA (kN/m)	CARGA UNIF (kN/m)	TENSÃO (kN/m ²)
4	13,569	G1	6,55	11,570	0,400	11,970	74,813
		G2	4,00	14,049	0,096	14,145	88,406
		G3	6,13	13,757	0,038	13,794	86,213
		G4	4,58	17,337	0,754	18,091	113,069
		G5	7,62	13,437	0,026	13,463	84,147
		G6	8,33	13,292	0,055	13,348	83,423
		G7	3,70	16,959	0,678	17,638	110,235
		G8	4,39	9,815	0,751	10,566	66,036
3	29,523	G1	6,55	24,099	1,085	25,184	157,397
		G2	4,00	29,751	0,046	29,797	186,230
		G3	6,13	29,298	0,045	29,343	183,392

		G4	4,58	37,434	1,582	39,016	243,848
		G5	7,62	32,377	0,571	32,948	205,925
		G6	8,33	28,470	0,211	28,681	179,254
		G7	3,70	37,228	1,541	38,769	242,307
		G8	4,39	20,021	1,900	21,922	137,010
2	45,476	G1	6,55	36,622	1,771	38,393	239,957
		G2	4,00	45,459	0,003	45,462	284,139
		G3	6,13	44,828	0,130	44,958	280,987
		G4	4,58	57,538	2,412	59,951	374,693
		G5	7,62	51,317	1,168	52,485	328,031
		G6	8,33	43,649	0,365	44,014	275,090
		G7	3,70	57,501	2,405	59,906	374,411
		G8	4,39	30,217	3,052	33,269	207,932
1	61,429	G1	6,55	49,151	2,456	51,606	322,540
		G2	4,00	61,164	0,053	61,217	382,604
		G3	6,13	60,365	0,213	60,578	378,612
		G4	4,58	77,635	3,241	80,876	505,474
		G5	7,62	70,257	1,766	72,022	450,141
		G6	8,33	58,822	0,521	59,344	370,897
		G7	3,70	77,769	3,268	81,037	506,484
		G8	4,39	40,423	4,201	44,625	278,904

3.3.4 – Comparação entre os procedimentos aproximados de distribuição das ações verticais nas paredes

Comparando-se os resultados dos três procedimentos calculados anteriormente tem-se para o 1º Pavto as seguintes variações de tensões (tabela 3.9), em relação às paredes isoladas.

Tabela 3.9 – Comparação dos resultados das tensões normais nas paredes do 1º Pavto.

Grupo	Paredes	Procedimento	Tensão (kN/m ²)	Variação (%)
G1	PX1	parede isolada	355,518	
		grupo sem interação	307,192	-13,59
		grupo com interação	322,54	-9,28
	PX4	parede isolada	268,72	
		grupo sem interação	307,192	14,32
		grupo com interação	322,54	20,03
	PY2	parede isolada	927,682	

		grupo sem interação	307,192	-66,89
		grupo com interação	322,54	-65,23
	PY4	parede isolada	257,329	
		grupo sem interação	307,192	19,38
		grupo com interação	322,54	25,34
G2	PX2	parede isolada	360,105	
		grupo sem interação	382,272	6,16
		grupo com interação	382,604	6,25
	PX5	parede isolada	1011,95	
		grupo sem interação	382,272	-62,22
		grupo com interação	382,604	-62,19
	PY5	parede isolada	300,738	
		grupo sem interação	382,272	27,11
		grupo com interação	382,604	27,22
G3	PX3	parede isolada	343,094	
		grupo sem interação	377,282	9,96
		grupo com interação	378,612	10,35
	PX6	parede isolada	513,137	
		grupo sem interação	377,282	-26,48
		grupo com interação	378,612	-26,22
	PY8	parede isolada	220,447	
		grupo sem interação	377,282	71,14
		grupo com interação	378,612	71,75
G4	PX7	parede isolada	437,957	
		grupo sem interação	485,217	10,79
		grupo com interação	505,474	15,42
	PX11	parede isolada	799,488	
		grupo sem interação	485,217	-39,31
		grupo com interação	505,474	-36,78

G5	PY9	parede isolada	466,488	
		grupo sem interação	485,217	4,01
		grupo com interação	505,474	8,36
	PX8	parede isolada	373,447	
		grupo sem interação	439,106	17,58
		grupo com interação	450,141	20,54
	PX12	parede isolada	465,225	
		grupo sem interação	439,106	-5,61
		grupo com interação	450,141	-3,24
	PY10	parede isolada	430,05	
		grupo sem interação	439,106	2,11
		grupo com interação	450,141	4,67

G6	PX9	parede isolada	249,654	
		grupo sem interação	367,638	47,26
		grupo com interação	370,897	48,56
	PY1	parede isolada	330,212	
		grupo sem interação	367,638	11,33
		grupo com interação	370,897	12,32
	PY3	parede isolada	544,738	
		grupo sem interação	367,638	-32,51
		grupo com interação	370,897	-31,91
G7	PX10	parede isolada	298,271	
		grupo sem interação	486,059	62,96
		grupo com interação	506,484	69,81
	PY7	parede isolada	556,675	
		grupo sem interação	486,059	-12,69
		grupo com interação	506,484	-9,02

G8	PX13	parede isolada	206,918	
		grupo sem interação	252,647	22,10
		grupo com interação	278,904	34,79
	PY6	parede isolada	1899,506	
		grupo sem interação	252,647	-86,70
		grupo com interação	278,904	-85,32

Foi observado que a influência da forma de tratamento do sistema estrutural leva a diferenças nos valores de cargas e tensões muito significativas. Pode-se, às vezes, superdimensionar as alvenarias, como também pode-se subdimensionar.

Como conclusão, observa-se que o grupo de paredes isoladas é um procedimento seguro e anti-econômico, por isso só deverá ser utilizado em edifício de pequeno porte. O procedimento de dimensionamento das paredes por grupos isolados é seguro e levemente econômico, mas é preciso que haja as forças de interação nos cantos e bordas de modo que seja garantida a uniformização e um espalhamento das cargas. O dimensionamento por grupos de paredes com interação é o mais econômico, mas é preciso que haja as forças de interação nos cantos e bordas e também nas aberturas das portas e janelas (lintéis).

Quanto maior for a uniformização das cargas verticais ao longo da altura da edificação, maior será a economia obtida na resistência dos blocos especificados. Porém, se a suposta uniformização das cargas não ocorrer, a redução da segurança da edificação estará comprometida.

As análises mostradas neste item são de grande valia no estudo de casos que se desenvolve no trabalho, pois se podem perceber algumas diferenças consideráveis de carregamento para as estruturas de apoio, dependendo do procedimento utilizado para o cálculo das cargas verticais que se adota.

3.4 – Dimensionamento das Cintas de Concreto Armado do Edifício Piloto a partir dos Carregamentos Aproximados de Distribuição das Ações Verticais

Como não é objetivo deste trabalho apresentar o cálculo detalhado do dimensionamento das peças de concreto armado e, sim, dos seus esforços solicitantes provenientes dos carregamentos das paredes, serão mostrados os diagramas destes esforços. O carregamento é considerado como carga uniformemente distribuída nas cintas.

Os esforços nas cintas são provenientes das cargas uniformemente distribuídas das paredes, calculadas pelos processos de paredes isoladas e grupos de paredes isolados. Não foram analisados os esforços nas cintas provenientes dos grupos de paredes com interação, pois não se têm um número exato do fator de interação entre as paredes.

Não foi considerada a interação entre a estrutura das cintas e da parede, simplesmente considerou-se a parede como carregamento uniforme nas cintas.

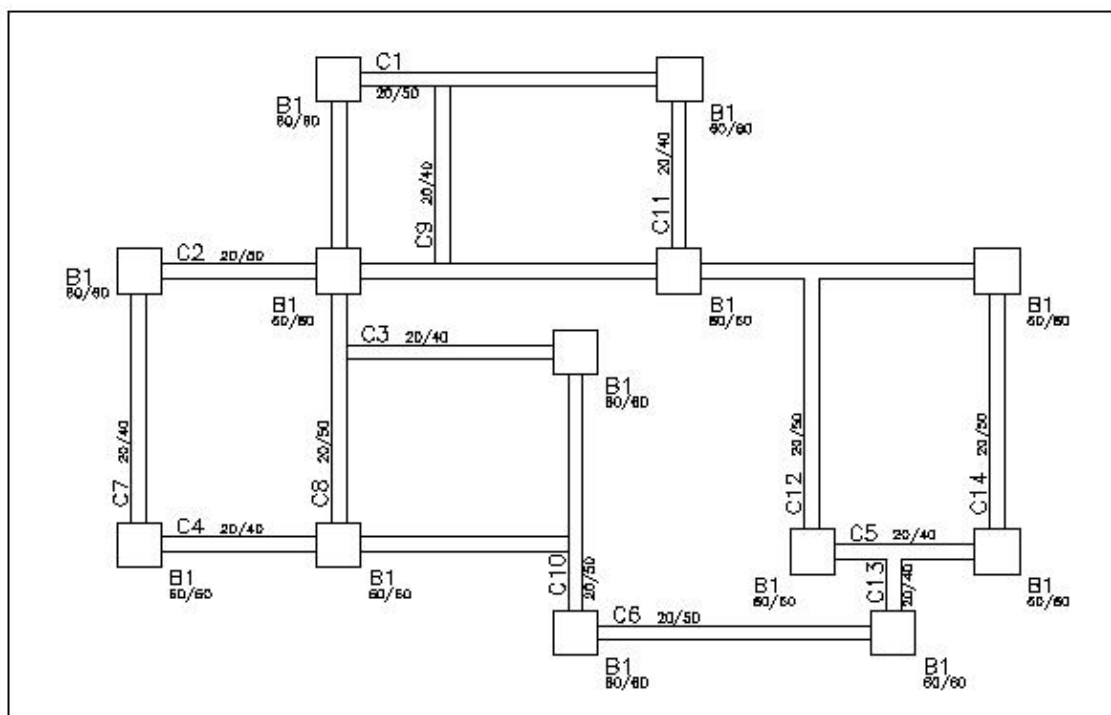
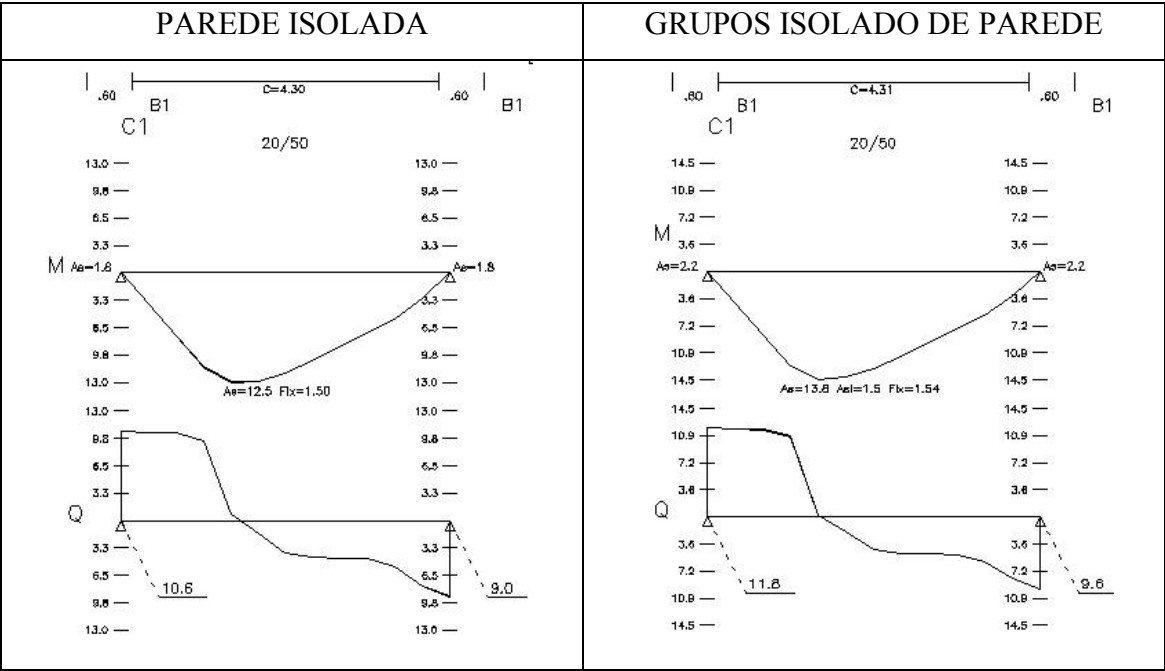


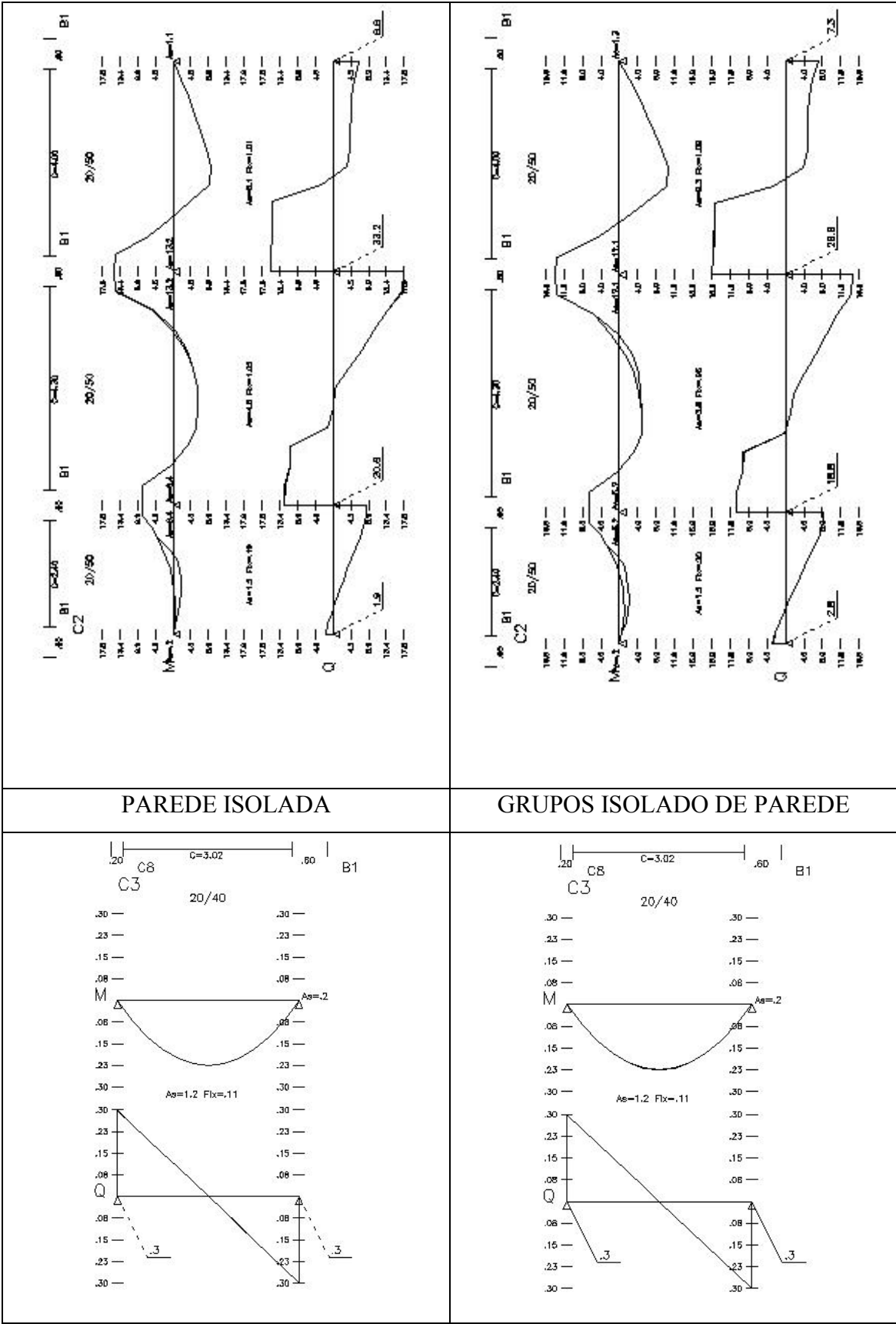
Figura 3.7 – Forma do pavimento de concreto armado que recebe as paredes.

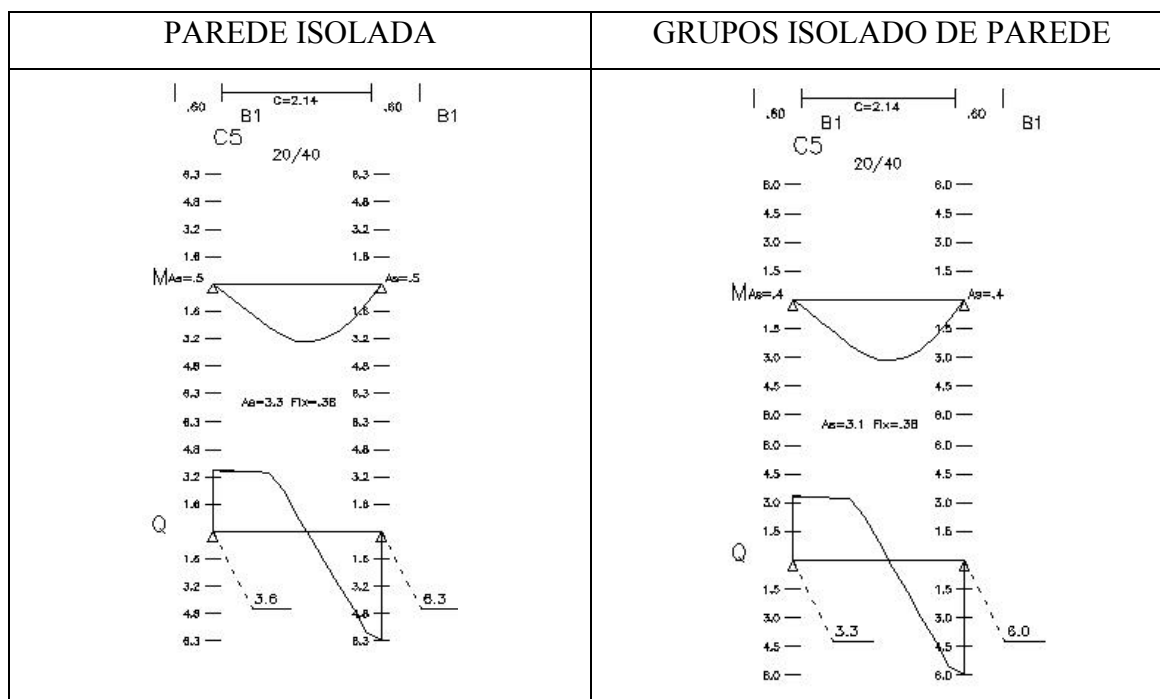
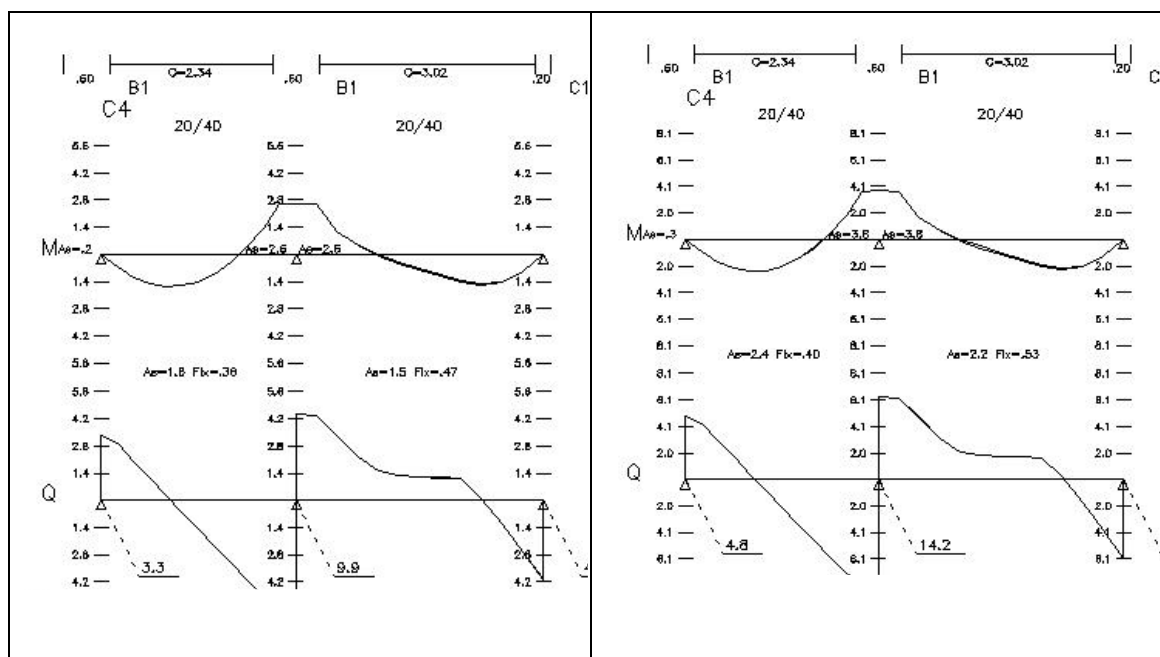
Para o concreto armado o valor do fck utilizado foi de 20MPa.

Após a entrada destes dados no programa, foram gerados os diagramas de esforços nas cintas (momento fletor e força cortante) para as cargas das paredes isoladas e grupos isolados de paredes, conforme figura 3.8. Não foi possível alterar na parametrização do programa as unidades de saída dos esforços, por isso o momento é dado em tf.m e força cortante em tf e não em kN.

Figura 3.8a –Diagramas dos esforços nas cintas, retirados do programa CAD-TQS®.







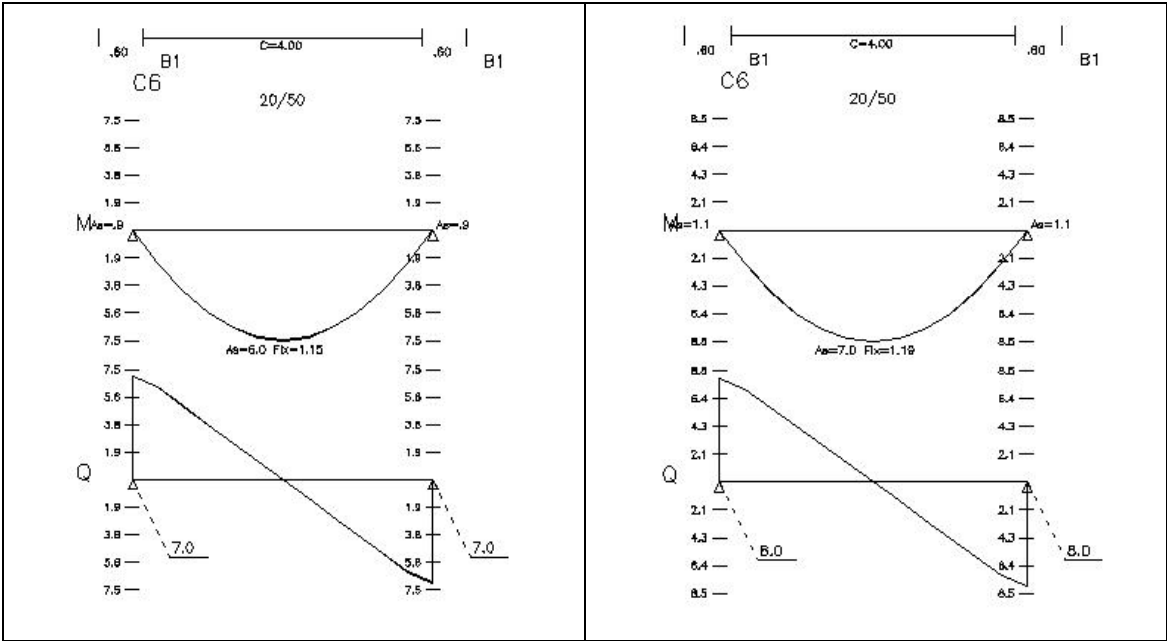
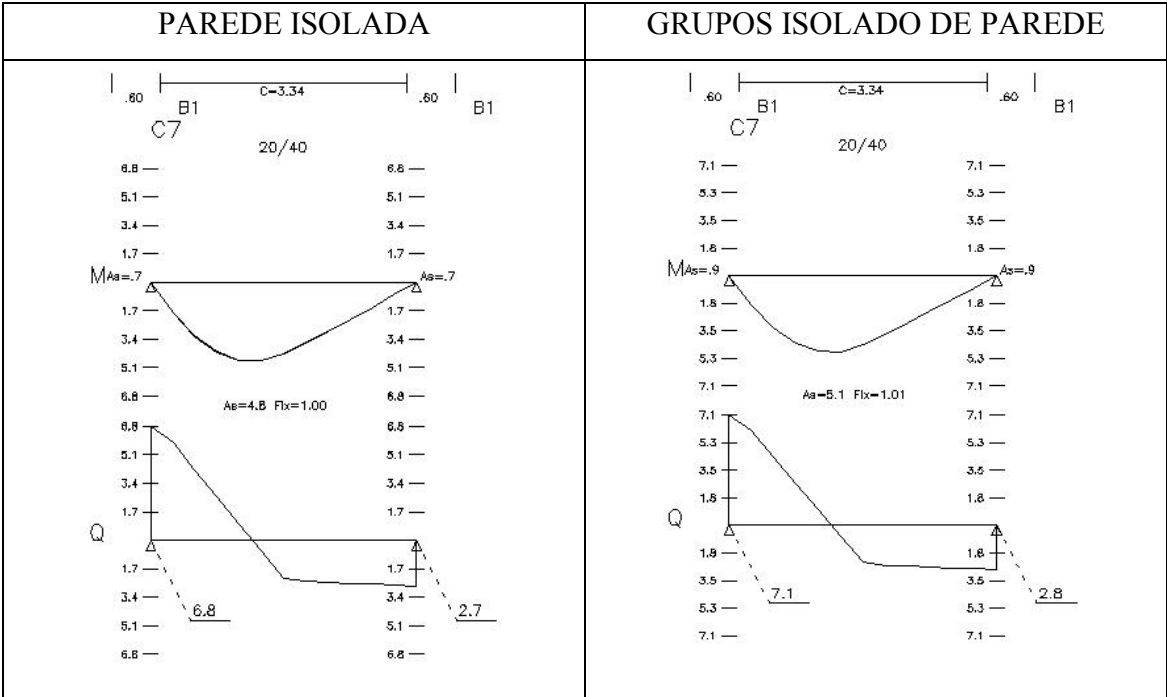


Figura 3.8c –Diagramas dos esforços nas cintas, retirados do programa CAD-TQS® .



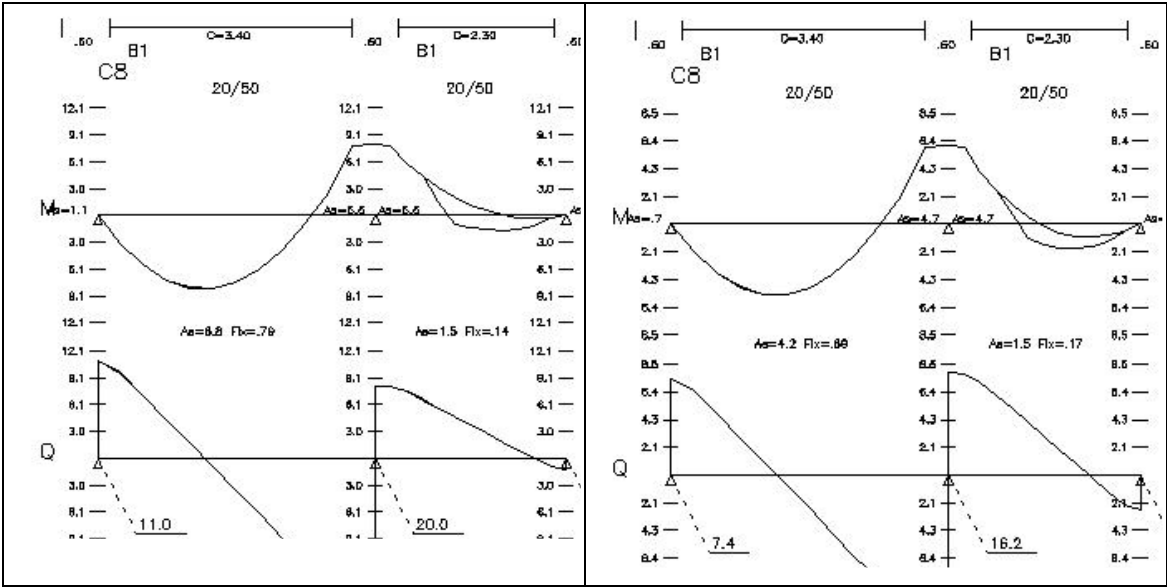
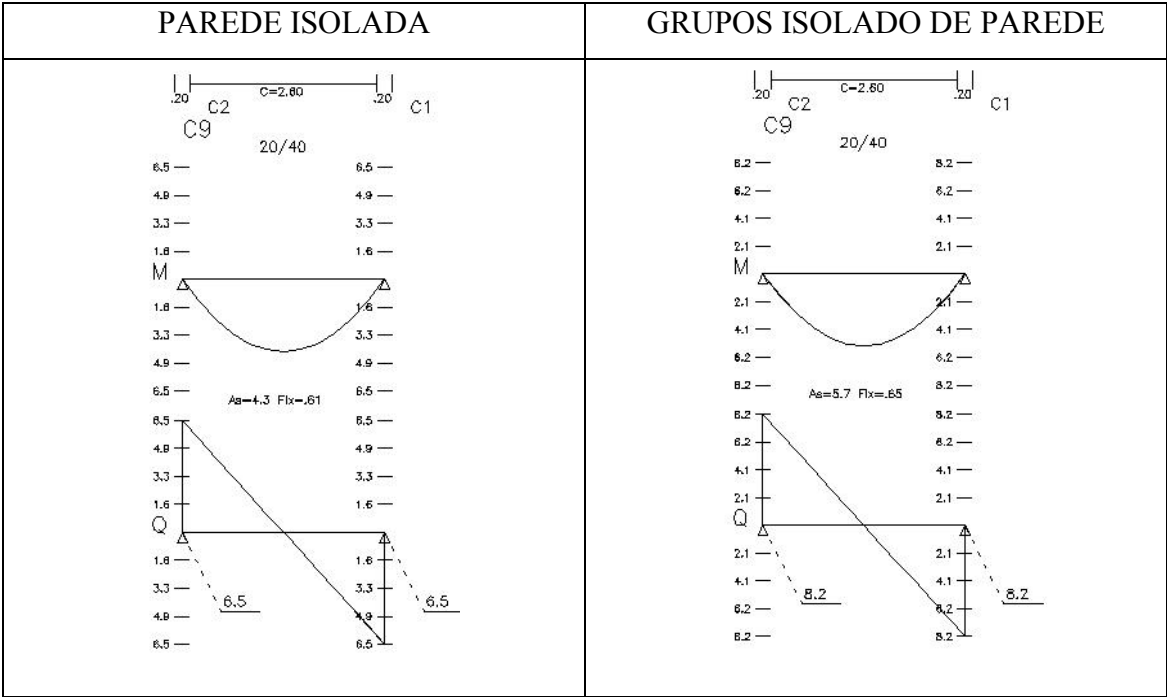


Figura 3.8d –Diagramas dos esforços nas cintas, retirados do programa CAD-TQS® .



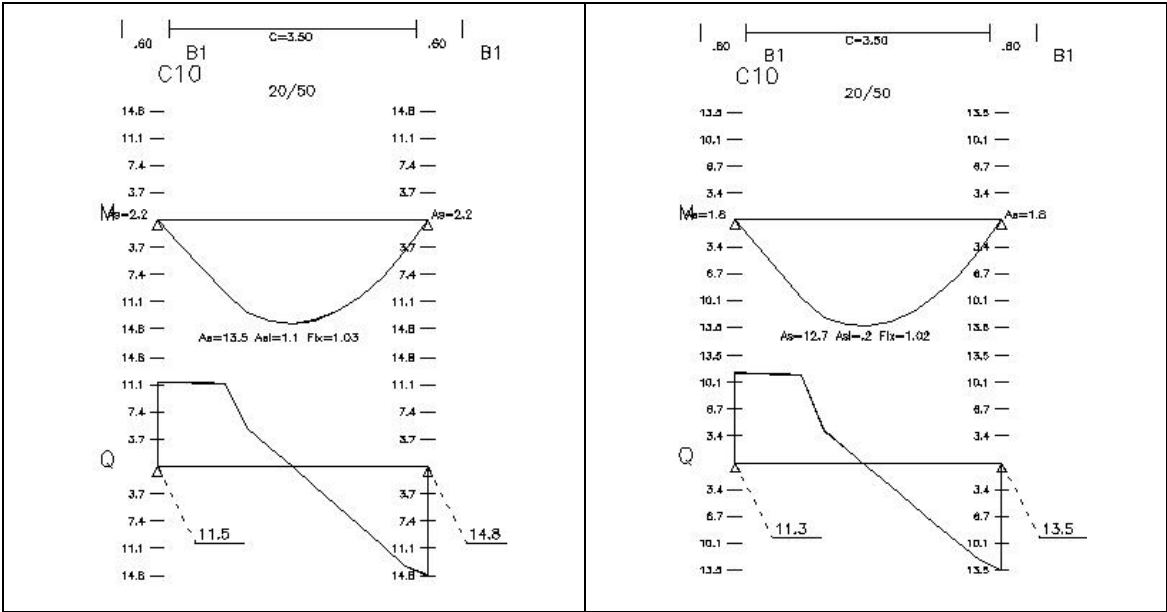
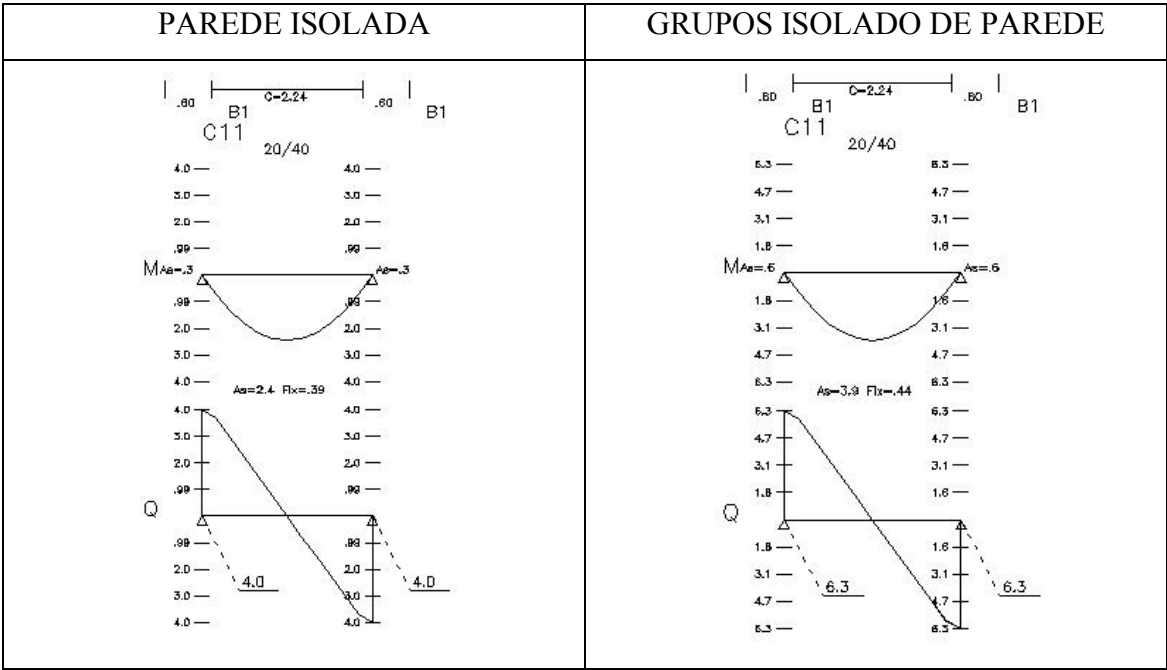


Figura 3.8e –Diagramas dos esforços nas cintas, retirados do programa CAD-TQS® .



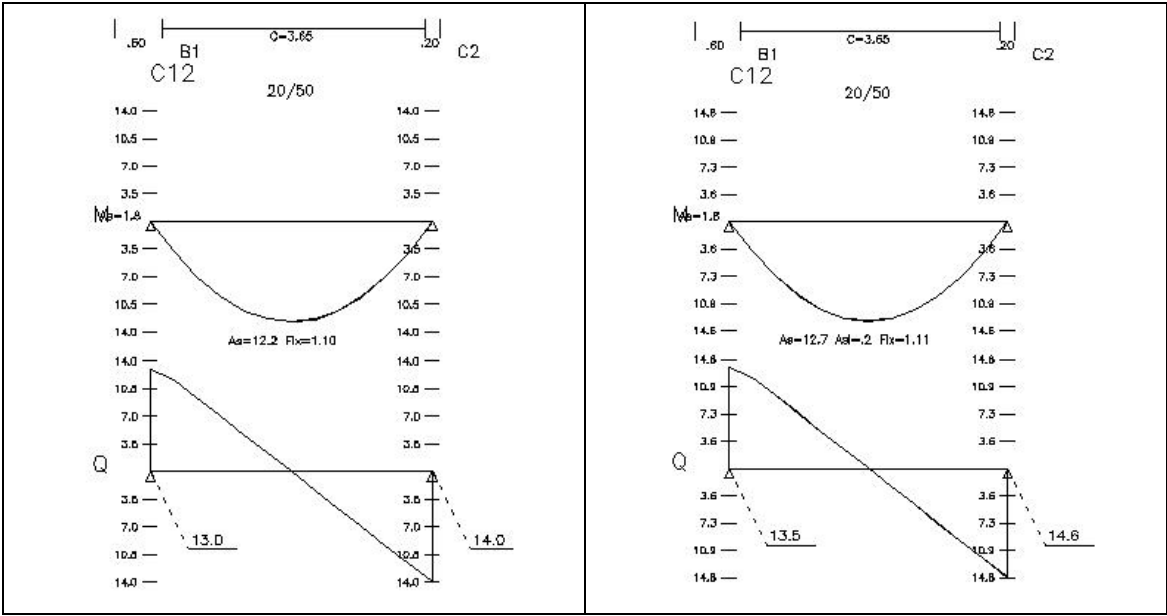
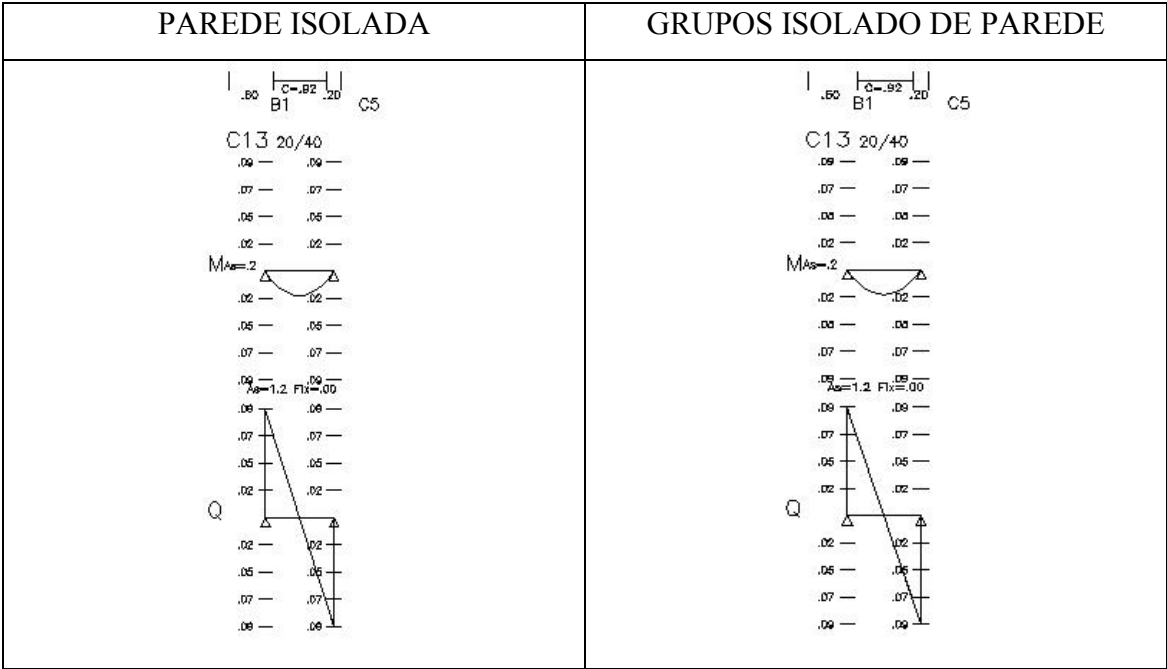


Figura 3.8f –Diagramas dos esforços nas cintas, retirados do programa CAD-TQS® .



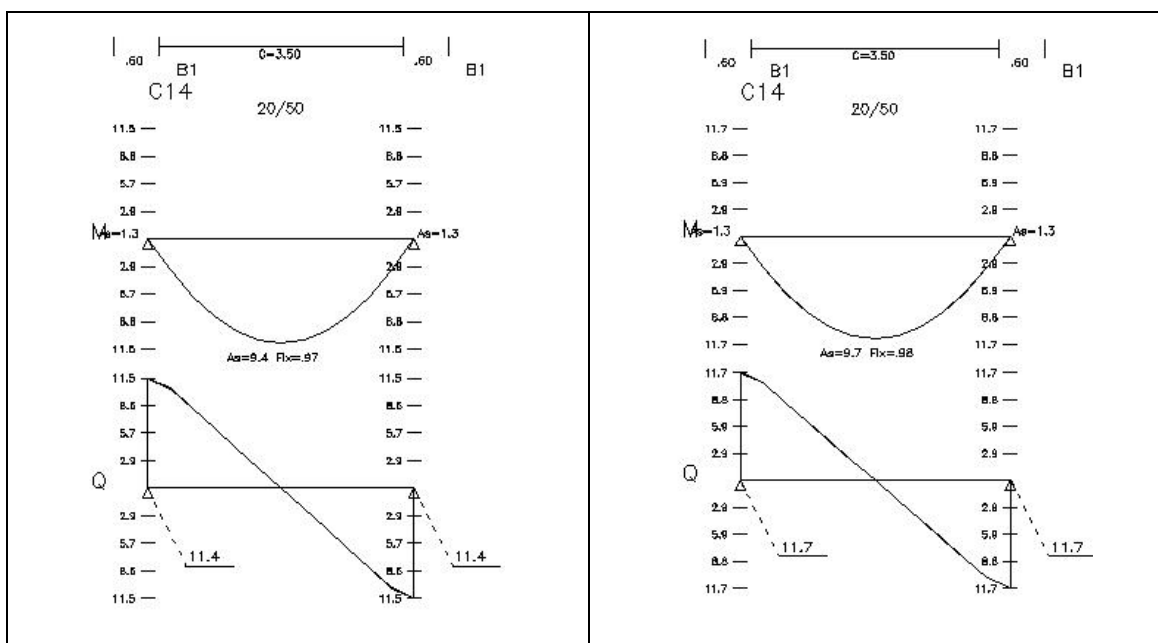


Figura 3.8g –Diagramas dos esforços nas cintas, retirados do programa CAD-TQS® .

Nota-se que os esforços nas cintas não são idênticos. Ora os esforços por parede isolada são maiores, ora menores que os esforços por grupo isolado de paredes. Mas, sabe-se que na realidade, quando as paredes são executadas interagindo entre si, e as cintas são dimensionadas por paredes isoladas, algumas cintas ficam superdimensionadas e outras subdimensionadas tornando o projeto anti-econômico.

Para melhor compreensão das diferenças entre os esforços, foi montado um quadro comparativo com as variações dos resultados do. (ver tabela 3.10).

Tabela 3.10 – Quadro comparativo dos esforços de momento fletor nas cintas retirados do programa CAD-TQS®. As paredes mais carregadas apresentam menores valores de momento, quando tratadas como grupo de paredes.

Vigas	Trecho	Procedimento	Momento (tf . m)	Variação (%)
C1	Vão 1	parede isolada	13	
		grupo sem interação	14,5	11,54
C2	Vão 1	parede isolada	1,9	
		grupo sem interação	2	5,26
	Apoio 1	parede isolada	7,9	
		grupo sem interação	6,6	-16,46

	Vão 2	parede isolada	6,2	
		grupo sem interação	5	-19,35
	Apoio 2	parede isolada	14,9	
		grupo sem interação	13,8	-7,38
	Vão 3	parede isolada	9,6	
		grupo sem interação	10,7	11,46
C3	Vão 1	parede isolada	0,2	
		grupo sem interação	0,2	0,00
C4	Vão 1	parede isolada	1,7	
		grupo sem interação	2,4	41,18
	Apoio 1	parede isolada	2,6	
		grupo sem interação	3,8	46,15
	Vão 2	parede isolada	2,6	
		grupo sem interação	3,8	46,15
C5	Vão 1	parede isolada	3,4	
		grupo sem interação	3,2	-5,88
C6	Vão 1	parede isolada	7,5	
		grupo sem interação	8,5	13,33
C7	Vão 1	parede isolada	4,7	
		grupo sem interação	4,9	4,26
C8	Vão 1	parede isolada	8,3	
		grupo sem interação	5,4	-34,94
	Apoio 1	parede isolada	8	
		grupo sem interação	6	-25,00
	Vão 2	parede isolada	1,7	
		grupo sem interação	1,9	11,76
C9	Vão 1	parede isolada	4,2	
		grupo sem interação	5,3	26,19
C10	Vão 1	parede isolada	14,1	

		grupo sem interação	13,3	-5,67
C11	Vão 1	parede isolada	2,5	
		grupo sem interação	3,9	56,00
C12	Vão 1	parede isolada	12,8	
		grupo sem interação	13,3	3,91
C13	Vão 1	parede isolada	0,015	
		grupo sem interação	0,015	0,00
C14	Vão 1	parede isolada	10,8	
		grupo sem interação	11,1	2,78

Tabela 3.11 – Quadro comparativo dos esforços de cisalhamento nas cintas retirados do programa CAD-TQS®.

Vigas	Trecho	Procedimento	Cortante (tf)	Variação (%)
C1	Vão 1	parede isolada	10,61	
		grupo sem interação	11,86	11,78
		parede isolada	9,03	
		grupo sem interação	9,63	6,64
C2	Vão 1	parede isolada	8,47	
		grupo sem interação	8,29	-2,13
	Vão 2	parede isolada	12,39	
		grupo sem interação	10,74	-13,32
		parede isolada	6,24	
		grupo sem interação	5,81	-6,89
		parede isolada	17,82	
		grupo sem interação	14,44	-18,97
	Vão 3	parede isolada	15,83	
		grupo sem interação	15,92	0,57
		parede isolada	12,19	
		grupo sem interação	12,21	0,16

		parede isolada	6,58	
		grupo sem interação	7,3	10,94
C3	Vão 1	parede isolada	0,3	
		grupo sem interação	0,3	0,00
C4	Vão 1	parede isolada	5,61	
		grupo sem interação	8,11	44,56
	Vão 2	parede isolada	4,44	
		grupo sem interação	6,33	42,57
C5	Vão 1	parede isolada	6,34	
		grupo sem interação	5,98	-5,68
C6	Vão 1	parede isolada	7,02	
		grupo sem interação	7,99	13,82
C7	Vão 1	parede isolada	6,76	
		grupo sem interação	7,07	4,59
C8	Vão 1	parede isolada	11,04	
		grupo sem interação	8,51	-22,92
		parede isolada	7,61	
		grupo sem interação	8,51	11,83
		parede isolada	12,11	
		grupo sem interação	8,51	-29,73
	Vão 2	parede isolada	8,21	
		grupo sem interação	7,9	-3,78
C9	Vão 1	parede isolada	6,52	
		grupo sem interação	8,23	26,23
C10	Vão 1	parede isolada	11,49	
		grupo sem interação	11,31	-1,57
		parede isolada	4,96	
		grupo sem interação	4,89	-1,41
		parede isolada	14,77	

		grupo sem interação	13,49	-8,67
C11	Vão 1	parede isolada	3,98	
		grupo sem interação	6,27	57,54
C12	Vão 1	parede isolada	11,49	
		grupo sem interação	13,5	17,49
		parede isolada	4,96	
		grupo sem interação	4,71	-5,04
		parede isolada	14,77	
		grupo sem interação	14,59	-1,22
C13	Vão 1	parede isolada	0,093	
		grupo sem interação	0,093	0,00
C14	Vão 1	parede isolada	11,46	
		grupo sem interação	11,7	2,09
		parede isolada	3,8	
		grupo sem interação	3,89	2,37
		parede isolada	11,44	
		grupo sem interação	11,69	2,19

Com isso, fica comprovada a importância da realização de uma análise muito bem fundamentada, para que os resultados colhidos venham a retratar o mais fielmente possível o verdadeiro comportamento do conjunto formado por estrutura de alvenaria apoiada em estrutura de concreto armado.

Para comparação do comportamento da estrutura, no capítulo seguinte, será analisado o mesmo edifício piloto tridimensionalmente via método dos elementos finitos.

4

MODELAGEM TRIDIMENSIONAL VIA MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS DO EDIFÍCIO PILOTO

4.1– Considerações Iniciais

Quando se considera a interação entre alvenaria e concreto armado, a grande maioria dos trabalhos encontrados na bibliografia trata de paredes de alvenaria estrutural sobre vigas biapoiadas.

Barbosa (2000) desenvolveu modelos numéricos de pavimentos completos empregando o software ANSYS 5.5. Neste trabalho será desenvolvido um modelo numérico tridimensional utilizando o programa SAP 2000.

Dependendo dos níveis de acuidade e simplicidade procurados, a alvenaria estrutural pode ser numericamente representada basicamente de três formas distintas. A *micro-modelagem detalhada*, a *micro-modelagem simplificada* e a *macro-modelagem*.

A *micro-modelagem detalhada* consiste na representação em separado das unidades (blocos, tijolos etc.) e das juntas de argamassa, ambas como elementos contínuos. A interface entre as unidades e a argamassa pode ser modelada como elementos descontínuos.

Na *micro-modelagem simplificada* as unidades são ainda representadas por elementos contínuos. As juntas por sua vez são representadas por elemento de contato. A alvenaria fica então modelada como um conjunto de unidades, com propriedades elásticas, unidas por elementos de contato não-lineares.

Na *macro-modelagem* não há distinção entre os blocos e a argamassa, mas trata-se a alvenaria como um compósito que, dependendo dos dados disponíveis, pode ser

considerado isotrópico ou anisotrópico. Essa modelagem global da alvenaria é adequada para a análise de estruturas de grande escala, em que as dimensões do painel de alvenaria são grandes em relação às dimensões das unidades e a espessura das juntas.

BARBOSA (2000) analisou casos de paredes sobre vigas biapoiadas por meio do método de elementos finitos, usando o programa ANSYS. Diversas modelagens foram comparadas, concluindo-se que a macro-modelagem da parede utilizando elementos planos em estado plano de tensão sobre elementos de barra representativos da viga produz bons resultados.

BARBOSA (2000) desenvolveu seus estudos baseado no comportamento não-linear, provocado pela não linearidade de contato, em virtude das mudanças nas condições de contorno durante o carregamento. Essas mudanças podem ocorrer em duas situações:

- a) quando duas superfícies perdem contato entre si (o que ocorre na região central da superfície de contato viga-parede).
- b) quando duas superfícies deslizam uma em relação à outra (o que pode ocorrer em pontos das regiões extremas da superfície contato viga-parede, próximo aos apoios).

Na sua modelagem numérica, a alvenaria é considerada como material homogêneo e isotrópico, e o concreto armado como material isotrópico. Para as estruturas planas, foram definidos cinco modelos utilizando os seguintes elementos: PLANE42 e SOLID45 para a discretização da parede e os elementos BEAM3, PLANE42 e SOLID45 para a discretização da viga, além daqueles utilizados para representar o contato, que não se pretende citar em função das conclusões que serão apresentadas mais à frente.

Comparando-se os modelos processados constatou-se que o modelo numérico que utiliza elemento de chapa para a parede (PLANE42) e elemento de barra para a viga (BEAM3) apresentou bons resultados. Conseqüentemente, esse foi o modelo utilizado para as demais paredes, sendo que foram consideradas duas hipóteses: uma com elementos de contato; outra, sem elementos de contato.

BARBOSA (2000) analisou também em seu trabalho o comportamento de “Paredes sobre pavimentos de concreto”, estudando casos completos de edifícios de alvenaria estrutural sobre pavimentos de concreto armado. Dessa forma, pôde comparar, para casos reais de

edificações, os resultados obtidos por meio de um procedimento tradicional, como feito no capítulo anterior, e mediante técnicas de modelagem mais sofisticadas no programa ANSYS.

Nesses estudos, não foram utilizados elementos de contato, uma vez que, “os modelos numéricos que utilizaram elementos de contato apresentaram resultados semelhantes àqueles nos quais não foram inseridos elementos de contato”.

No final de seu trabalho, BARBOSA (2000) concluiu:

Do que se encontra mencionado nos parágrafos anteriores, pode-se concluir que este procedimento é bastante interessante para ser utilizado na análise de pavimentos de pilotis de concreto armado sob estruturas de alvenaria estrutural. Trata-se de um processo relativamente seguro, pois todas as particularidades do sistema estrutural resultante são consideradas e, ao mesmo tempo, acaba produzindo alguns resultados que podem levar a uma economia significativa de materiais para a estrutura.

Entretanto, é importante ressaltar que não são apenas os esforços solicitantes nas peças de concreto, bem menores que os obtidos pelo procedimento tradicional, que devem ser levados em conta. Também a concentração de tensões sobre a parede precisa ser considerada, ou então este procedimento perde a consistência. Obviamente, o alívio produzido sobre as vigas vem de uma sobrecarga sobre as paredes, e os dois aspectos da questão devem ser levados em consideração no dimensionamento.

Portanto, neste trabalho, o edifício será analisado tridimensionalmente pelo método dos elementos finitos baseado no estudo de BARBOSA (2000) e utilizando o programa SAP2000 v 8.27. No programa SAP2000 foi utilizado o elemento SHELL para discretizar as paredes e o elemento FRAME para discretizar as vigas (cintas).

4.2– O Elemento SHELL

O elemento SHELL é utilizado para modelar cascas, membranas ou placas em estruturas espaciais ou planas. Neste estudo do edifício piloto, será usado nas paredes estruturais.

O elemento SHELL pode ter a forma quadrilateral ou triangular. O elemento quadrilateral é a mais precisa das duas formas. Seus lados podem ser curvos e os quatro vértices do elemento não precisam necessariamente ser coplanares. Uma pequena torção no elemento pode ser considerada pelo programa. O elemento triangular plano de 3 nós não é recomendável para a modelagem de estruturas. Seu uso é recomendável apenas para transições.

A geometria do elemento SHELL deve atender às seguintes condições:

- a) o ângulo interno em cada vértice deve ser inferior a 180° ; o elemento quadrilateral apresenta melhores resultados quando este ângulo é aproximadamente 90° ou quando seu valor se encontra entre 45° e 135° ;
- b) a relação de aspecto de um elemento não deve ser muito grande; para o quadrilátero esta relação é a razão entre a maior e a menor distância entre os pontos médios de lados opostos; os melhores resultados são obtidos para relações de aspecto próximas à unidade ou, pelo menos, menor do que 4. Estas relações não podem exceder a 10.

Cada elemento SHELL tem seu próprio sistema de coordenadas locais (figura 4.1) que é utilizado para definir propriedades do material, cargas e saída de resultados. Os eixos do sistema local são denominados eixos 1, 2 e 3. Os eixos 1 e 2 situam-se no plano do elemento e o eixo 3 é normal a este plano. Nos modelos em estudo, o sistema local de todos os elementos SHELL é orientado de forma que os eixos 1, 2 e 3 se encontram paralelos aos eixos X, Y e Z do sistema global, respectivamente.

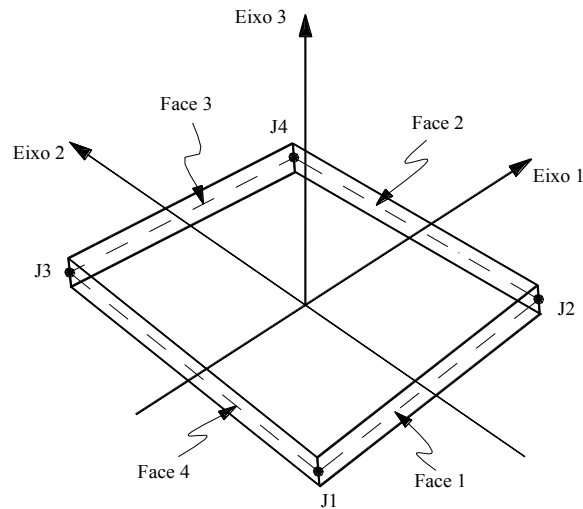


Figura 4.1 – Sistema de coordenadas locais de um elemento SHELL de 4 nós

Os esforços internos em um elemento SHELL são as forças F_{ij} e momentos M_{ij} (ambos por unidade de comprimento) decorrentes da integração das tensões ao longo da espessura do elemento. A figura 4.2 mostra a direção e o sentido positivo das forças normais de membrana F_{11} e F_{22} e da força de cisalhamento F_{12} . As tensões σ_{ij} têm as mesmas direções e sentidos das forças F_{ij} . As tensões $\sigma_{\text{máx}}$ e $\sigma_{\text{mín}}$ têm as mesmas direções e sentidos das forças F-MÁX e F-MÍN, respectivamente. A figura 4.3 mostra a direção e o sentido positivo dos momentos fletores M_{11} e M_{22} e dos momentos torsores M_{12} e M_{21} , que atuam em um elemento SHELL.

Para a determinação das tensões e dos esforços internos no sistema de coordenadas locais, é utilizada a integração numérica de Gauss com $n = 2$ (dois pontos em cada direção no sistema de coordenadas naturais). As tensões e esforços internos são avaliados nos pontos de Gauss e extrapolados para os nós do elemento. Pode-se estimar o erro nos resultados obtidos através da comparação dos valores das tensões e dos esforços internos dos diversos elementos que se conectam a um mesmo nó. Esta comparação de valores fornece um indicativo da eficiência da malha de elementos finitos ou da necessidade de um maior refinamento desta malha.

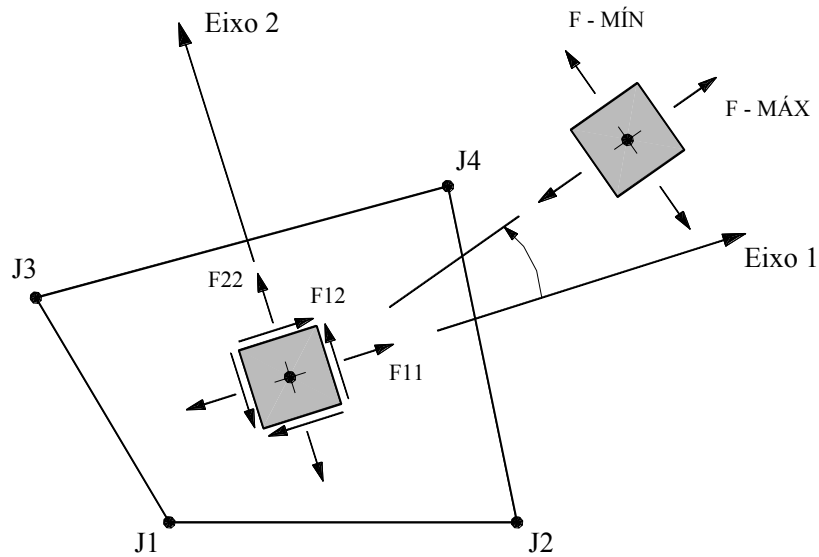


Figura 4.2 – Forças e tensões de membrana em um elemento SHELL de 4 nós

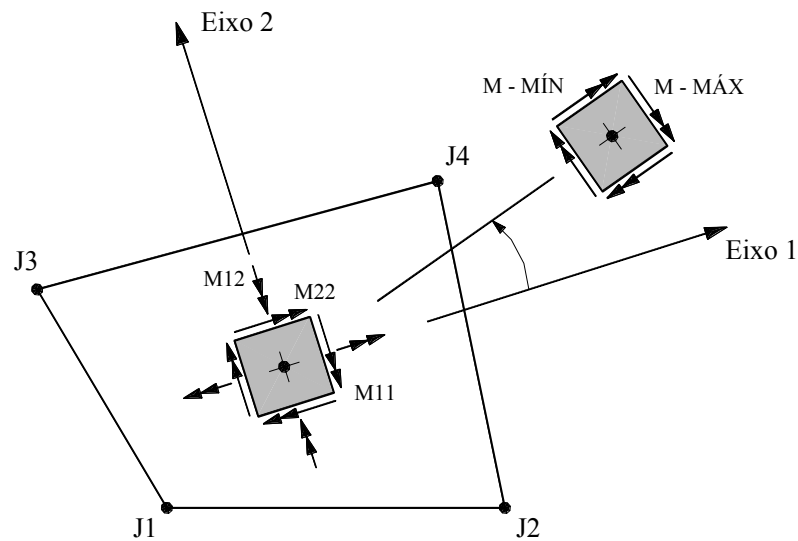


Figura 4.3 – Momentos fletores e torsões em um elemento SHELL de 4 nós

O elemento SHELL resulta da soma do elemento de membrana e do elemento de placa (figura 4.4). O elemento de membrana possui em cada nó três graus de liberdade: duas translações no plano do elemento e uma rotação em torno do eixo normal ao plano do elemento. O elemento de placa possui uma rotação em torno de cada eixo do plano do

elemento e uma translação no eixo normal ao plano do elemento. Para o elemento de placa é usada a formulação de placas finas de Kirchhoff, a qual despreza as deformações transversais de cisalhamento. Opcionalmente, pode-se usar a teoria de placas grossas de Mindlin/Reissner, a qual inclui os efeitos das deformações transversais de cisalhamento. Nos modelos analisados utiliza-se a teoria de placas finas. O elemento SHELL, portanto, possui sei graus de liberdade em cada nó (translações nas direções X, Y e Z e rotações em torno dos eixos X, Y e Z. (figura 4.4).

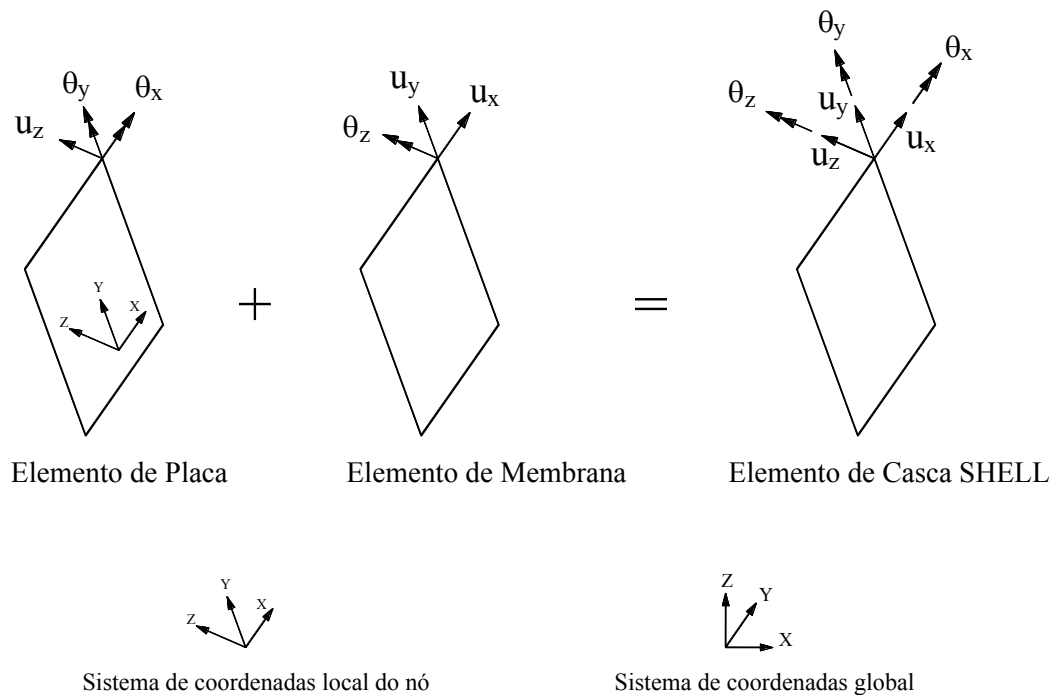


Figura 4.4 – Graus de liberdade de um nó do elemento SHELL

4.3– O Elemento FRAME

O elemento FRAME é utilizado para modelar barras de estruturas planas ou espaciais. Neste edifício piloto será usado para discretizar as cintas.

O elemento é modelado como uma linha reta conectando dois pontos que são identificados como nós I e J, respectivamente. Os nós I e J não devem ocupar a mesma localização no espaço.

Cada elemento tem seu próprio sistema de coordenadas locais que é utilizado para definir propriedades da seção transversal, cargas e esforços nas barras. Os eixos do sistema local são denominados eixos 1, 2 e 3. O eixo 1 coincide com o eixo do elemento e o seu sentido positivo é do nó I para o nó J. Os outros dois eixos situam-se no plano perpendicular ao eixo do elemento e suas direções e sentidos são definidos pelo usuário, obedecendo a regra da mão direita.

Os esforços internos, ou seja, forças e momentos, são determinados nas extremidades do elemento, podendo também ser requeridos em seções transversais igualmente espaçadas ao longo do elemento. Estes esforços são: força axial P , força cortante $V2$, força cortante $V3$, momento torsor T , momento fletor $M2$ e momento fletor $M3$.

A convenção de sinais para os esforços internos no elemento FRAME é ilustrada nas figura 4.5 a figura 4.7. A figura 4.5 mostra os sentidos positivos para a força axial P e o momento torsor T . A figura 4.6 mostra os sentidos positivos para a força cortante $V2$ e o momento fletor $M3$. A figura 4.7 mostra os sentidos positivos para a força cortante $V3$ e o momento fletor $M2$.

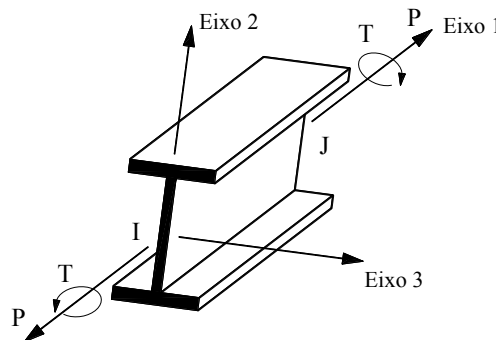


Figura 4.5 – Força axial P positiva e momento torsor T positivo no elemento FRAME

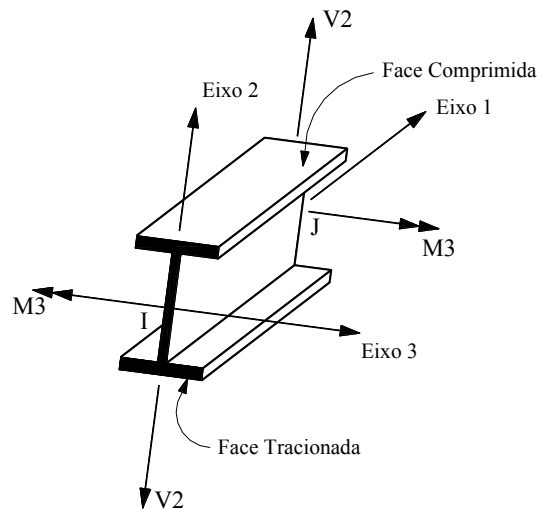


Figura 4.6 – Força cortante V_2 positiva e momento fletor M_3 positivo no elemento FRAME

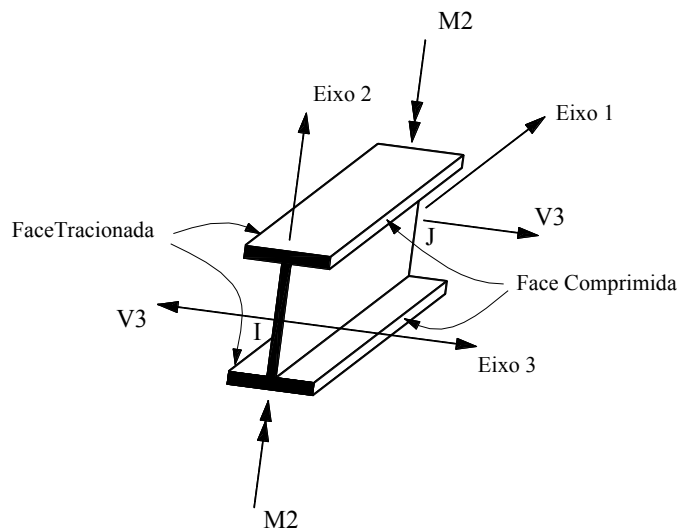


Figura 4.7 – Força cortante V_3 positiva e momento fletor M_2 positivo no elemento FRAME

Os nós I e J do elemento FRAME possuem cada um seis graus de liberdade, três translações e três rotações, as quais são denominadas no sistema local dos nós como U_1 , U_2 , U_3 e R_1 , R_2 , R_3 , respectivamente. Nos modelos analisados, o sistema local dos nós coincide com o sistema global X, Y, Z da estrutura, no qual os graus de liberdade são denominados U_X , U_Y , U_Z , R_X , R_Y e R_Z . A figura 4.8 mostra, nos sistemas global e local, os seis graus de liberdade do nó de um elemento FRAME.

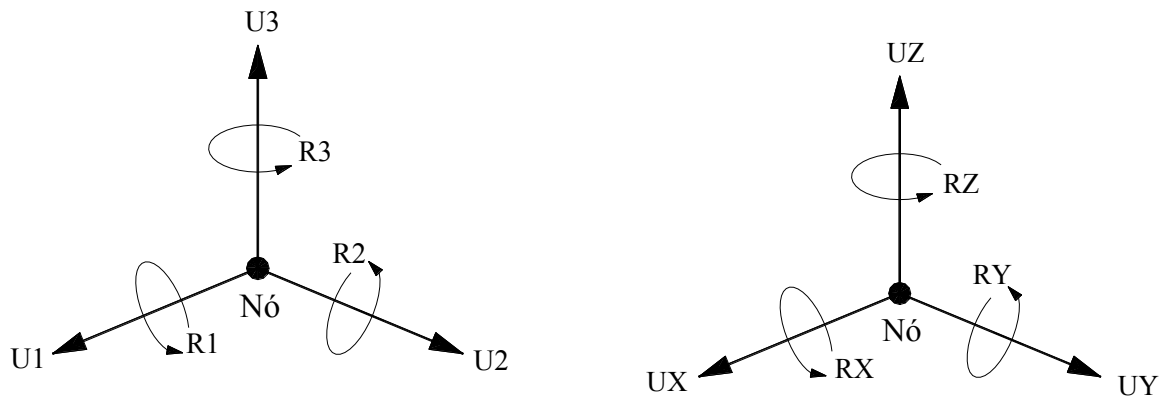


Figura 4.8 – Graus de liberdade do nó de um elemento FRAME nos sistemas de coordenadas global e local do nó

4.4 – Propriedades dos Materiais

Para o concreto armado:

- material elástico, linear e isotrópico;
- módulo de elasticidade longitudinal $E = 28.980.000 \text{ KN/m}^2$;
- coeficiente de Poisson $\nu = 0,2$;

Para a parede estrutural:

- material elástico, linear e isotrópico;
- módulo de elasticidade longitudinal $E = 2.880.000 \text{ KN/m}^2$;
- coeficiente de Poisson $\nu = 0,2$.

4.5 – Modelo Numérico

4.5.1 – Considerações Gerais

Segundo BARBOSA (2000) os modelos numéricos que não utilizaram elementos de contato apresentaram resultados semelhantes àqueles nos quais foram inseridos elementos de contato. Por isso, no modelo numérico apresentado neste capítulo não serão utilizados elementos de contato na interface parede-viga.

No modelo utilizado foram aplicadas, em cada andar, as cargas provenientes das lajes para analisar os esforços na estrutura considerando o *efeito arco*. Através da análise dos resultados é possível verificar se a consideração do *efeito arco* no cálculo dos esforços traz benefícios para o dimensionamento da estrutura parede-viga.

O carregamento aplicado foi calculado conforme descrito no capítulo 3 item 3.2.

4.5.2 – Descrição do Modelo

A modulação das alvenarias e vigas (cintas) estão indicadas nas figura 4.9. A parede foi discretizada em elementos de 10cm x 30cm x espessura (16 ou 17 cm); e a viga (cinta) em elementos de 10cm x altura x espessura, fazendo com que os nós das paredes e vigas coincidisse.

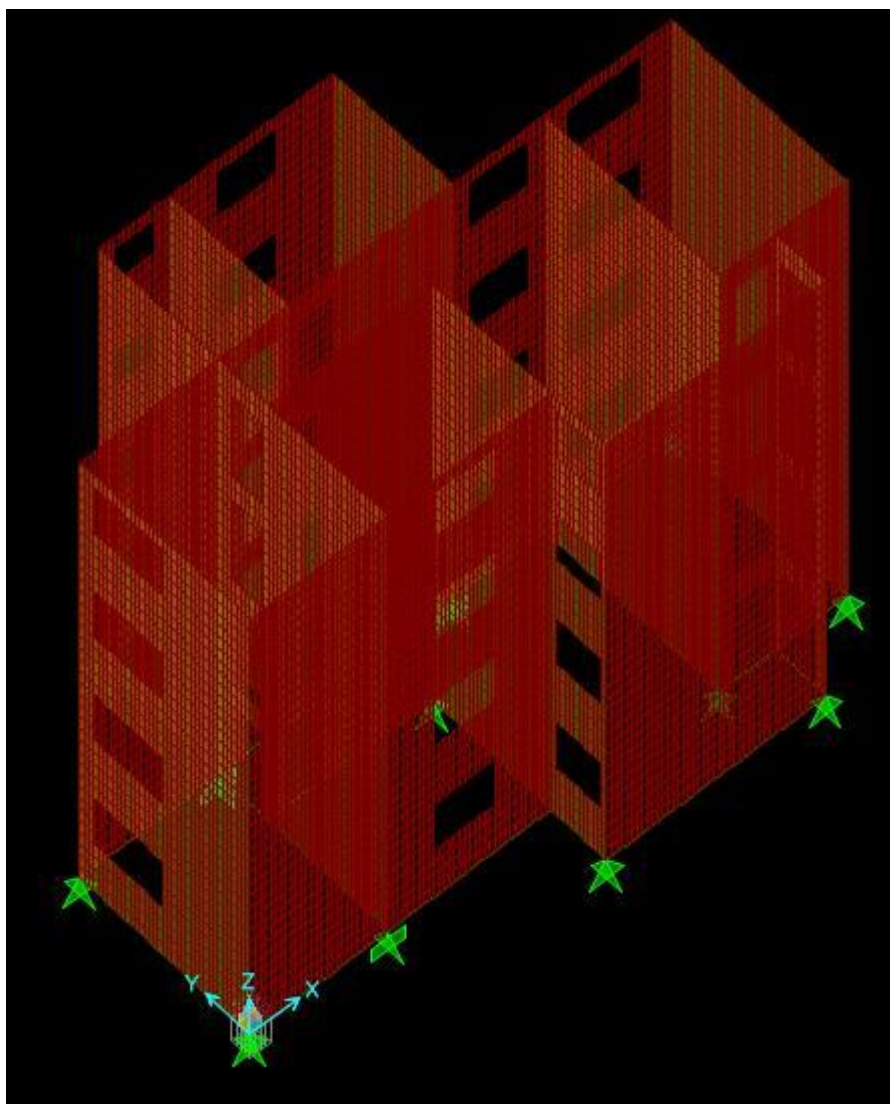


Figura 4.9 – Modelo tridimensional do edifício piloto.

Após a aplicação do carregamento, foi obtida a forma deformada do sistema parede-viga, bem como as tensões nas paredes. Será mostrado a seguir as tensões para cada parede do edifício piloto. Observa-se que na graduação cinza as tensões nas paredes são de tração e não de compressão.

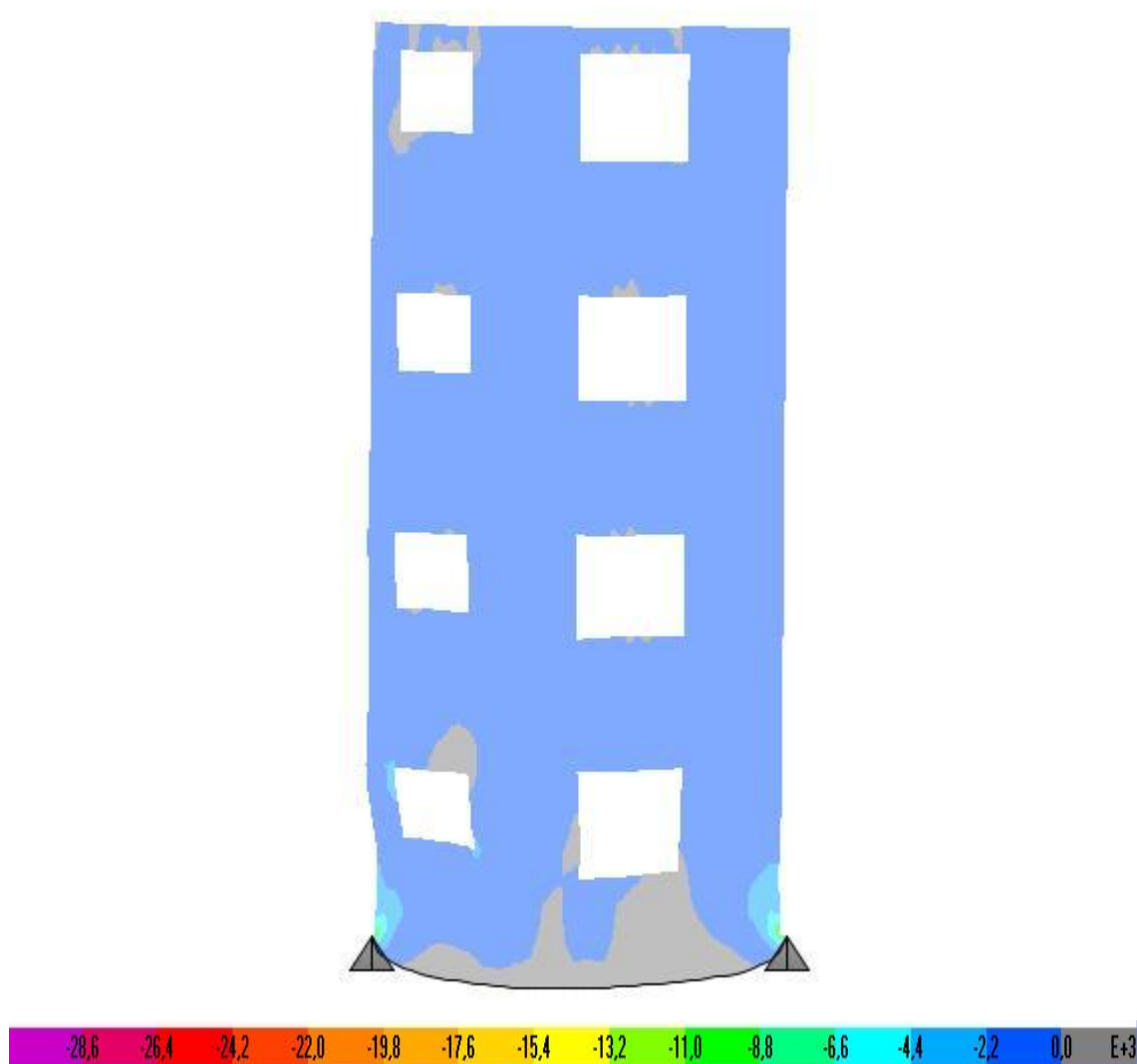


Figura 4.10 – Tensões verticais (kN/m^2) da parede sobre a cinta C1.

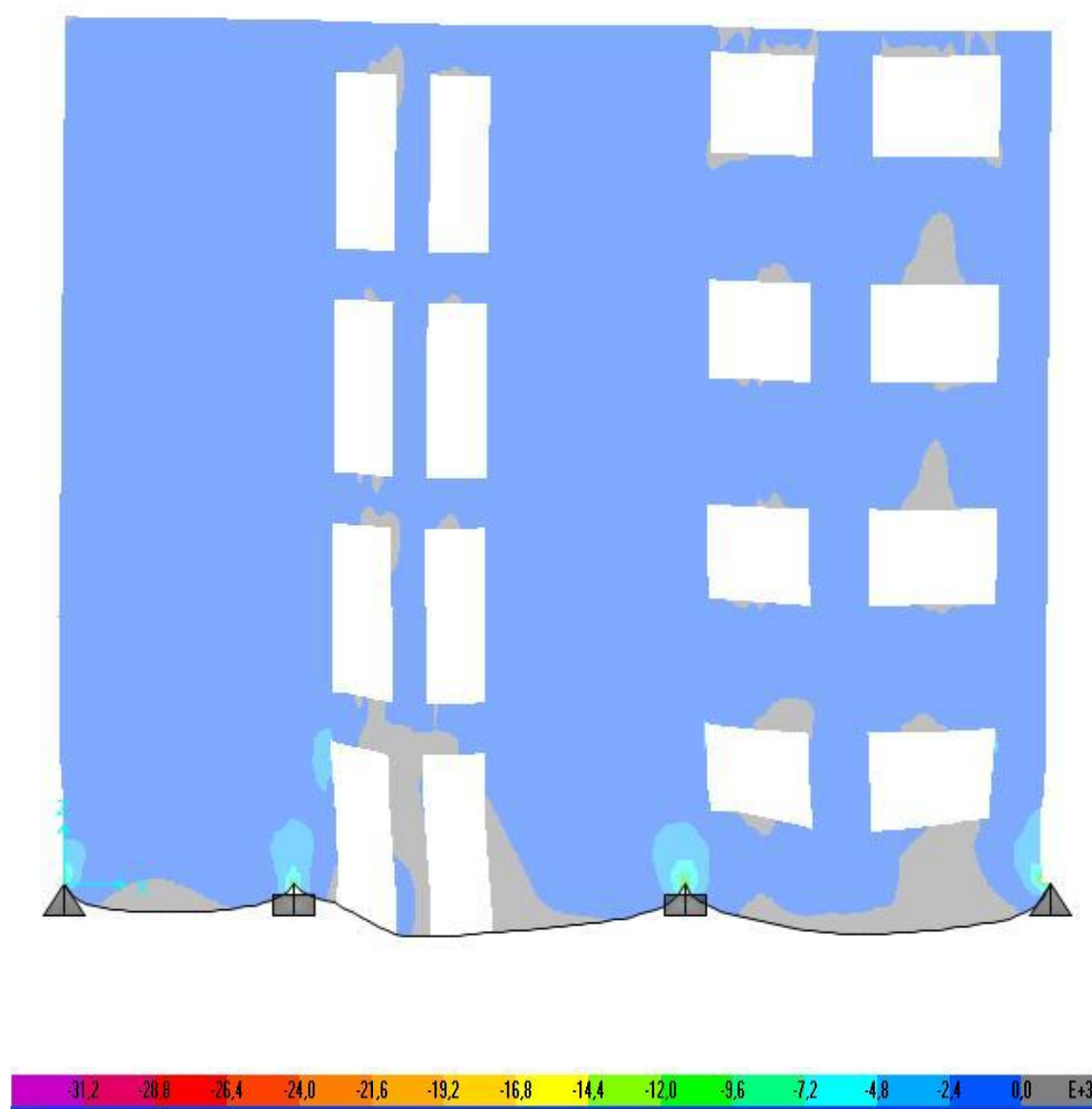


Figura 4.11 – Tensões verticais (kN/m²) da parede sobre a cinta C2.

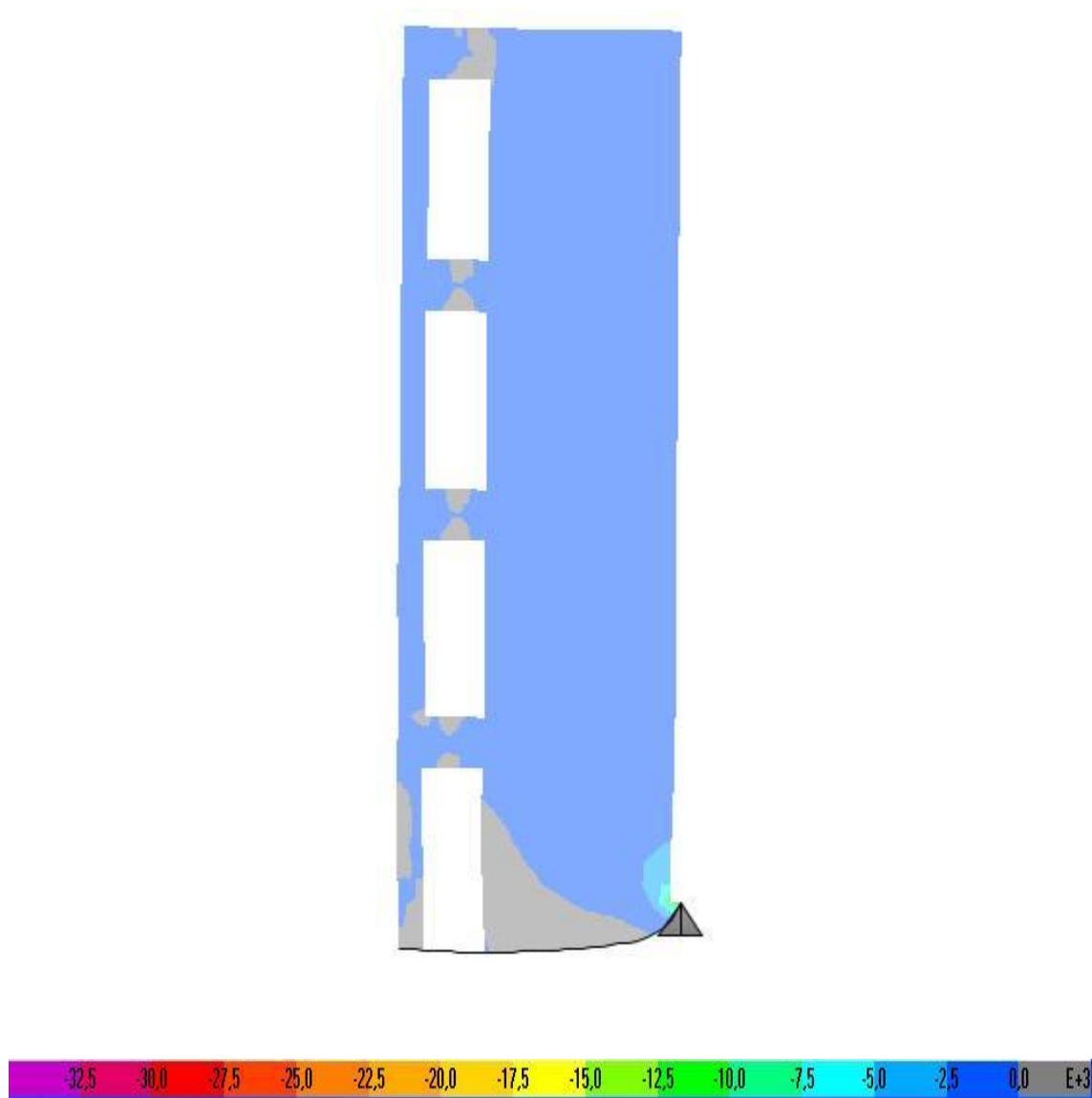


Figura 4.12 – Tensões verticais (kN/m^2) da parede sobre a cinta C3.

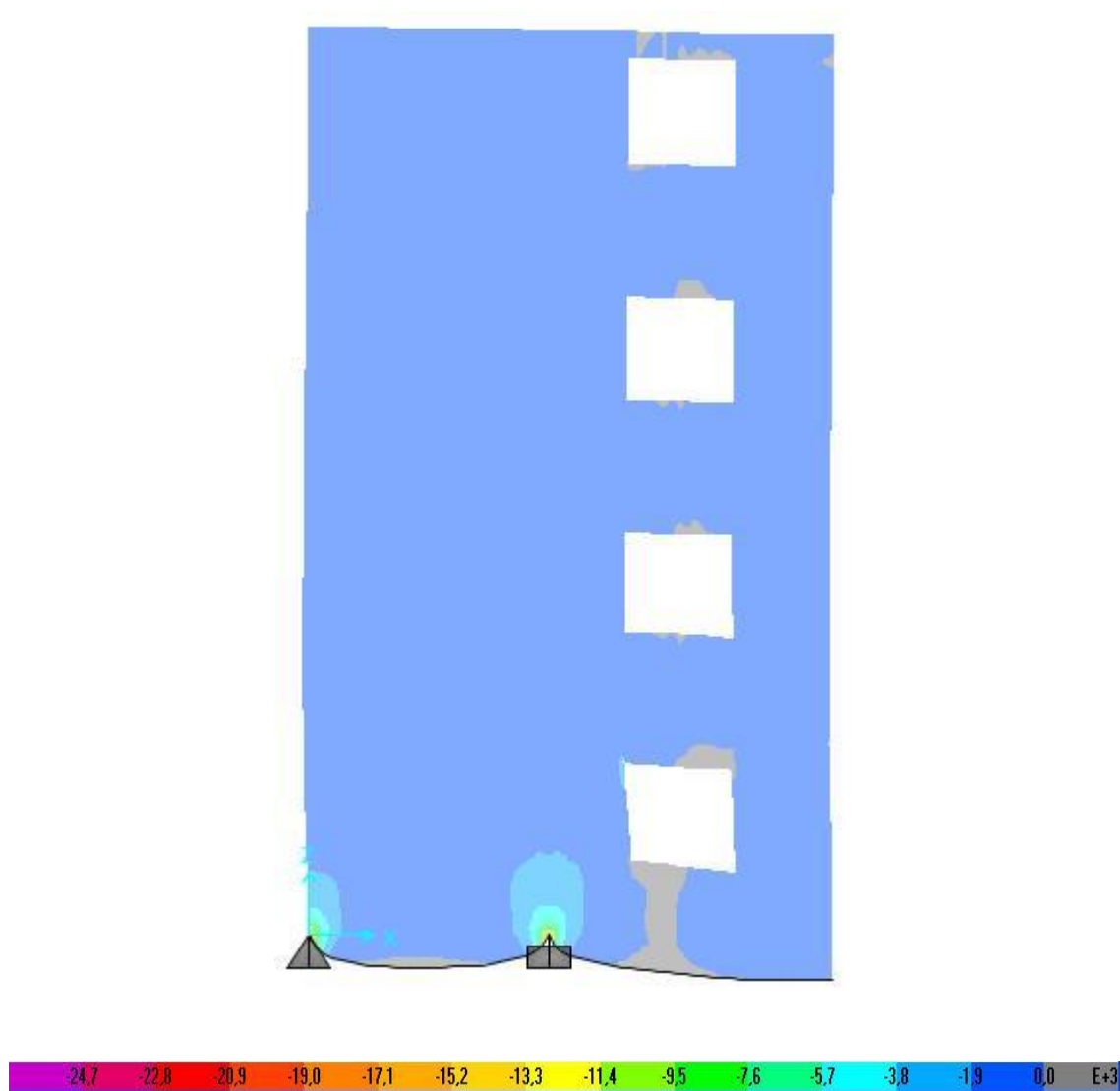


Figura 4.13 – Tensões verticais (kN/m^2) da parede sobre a cinta C4.

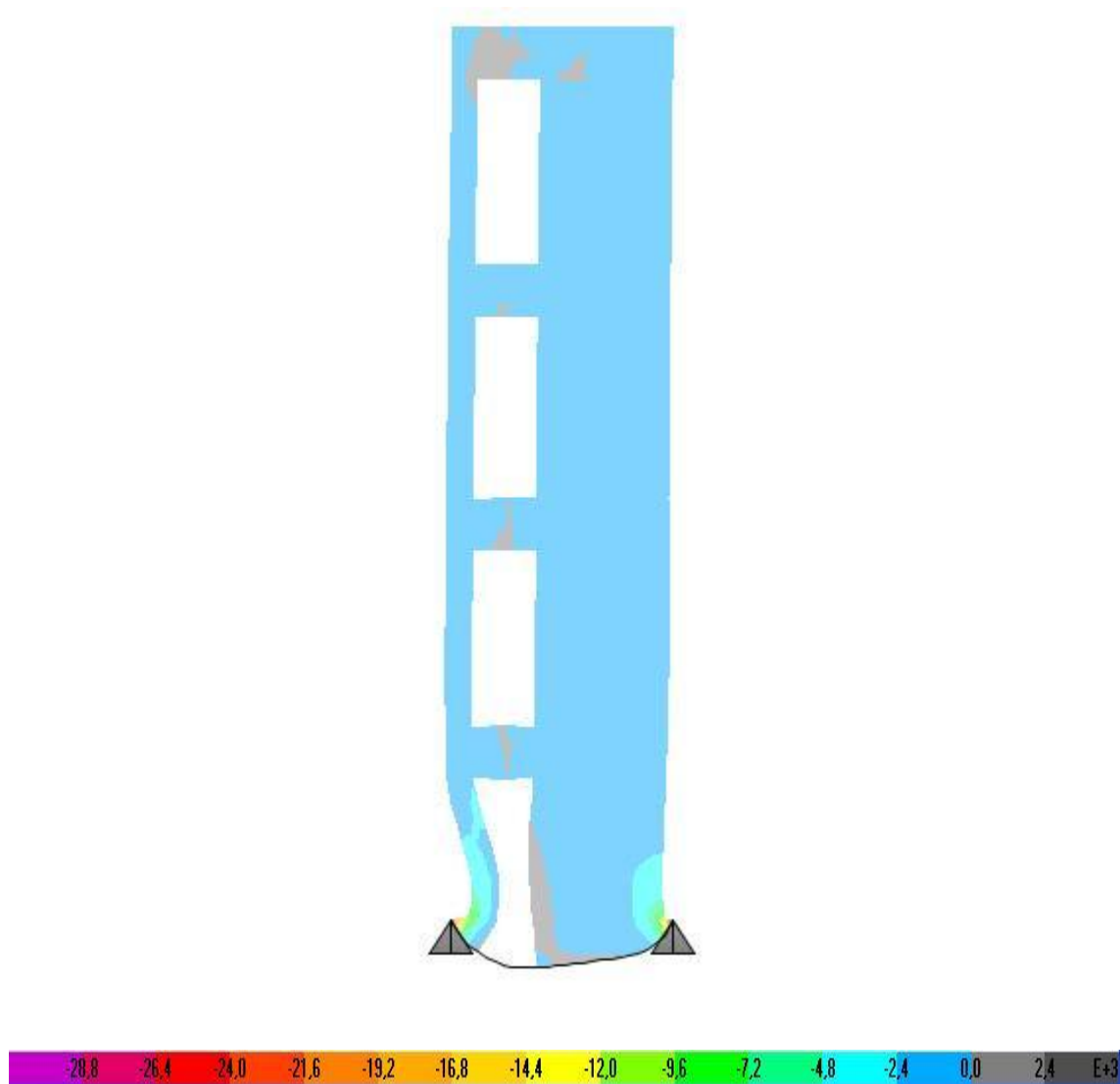


Figura 4.14 – Tensões verticais (kN/m^2) da parede sobre a cinta C5.

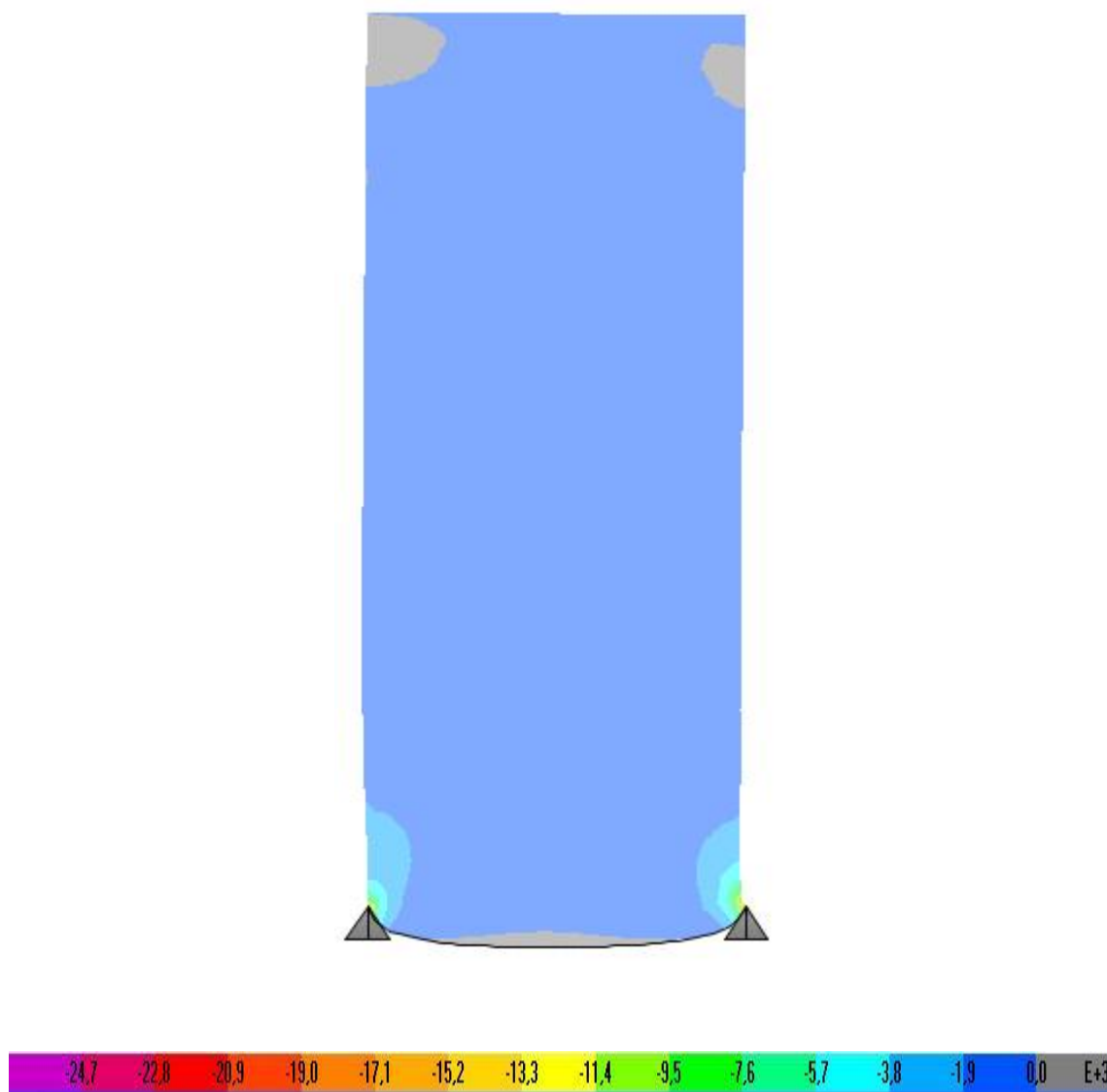


Figura 4.15 – Tensões verticais (kN/m²) da parede sobre a cinta C6.

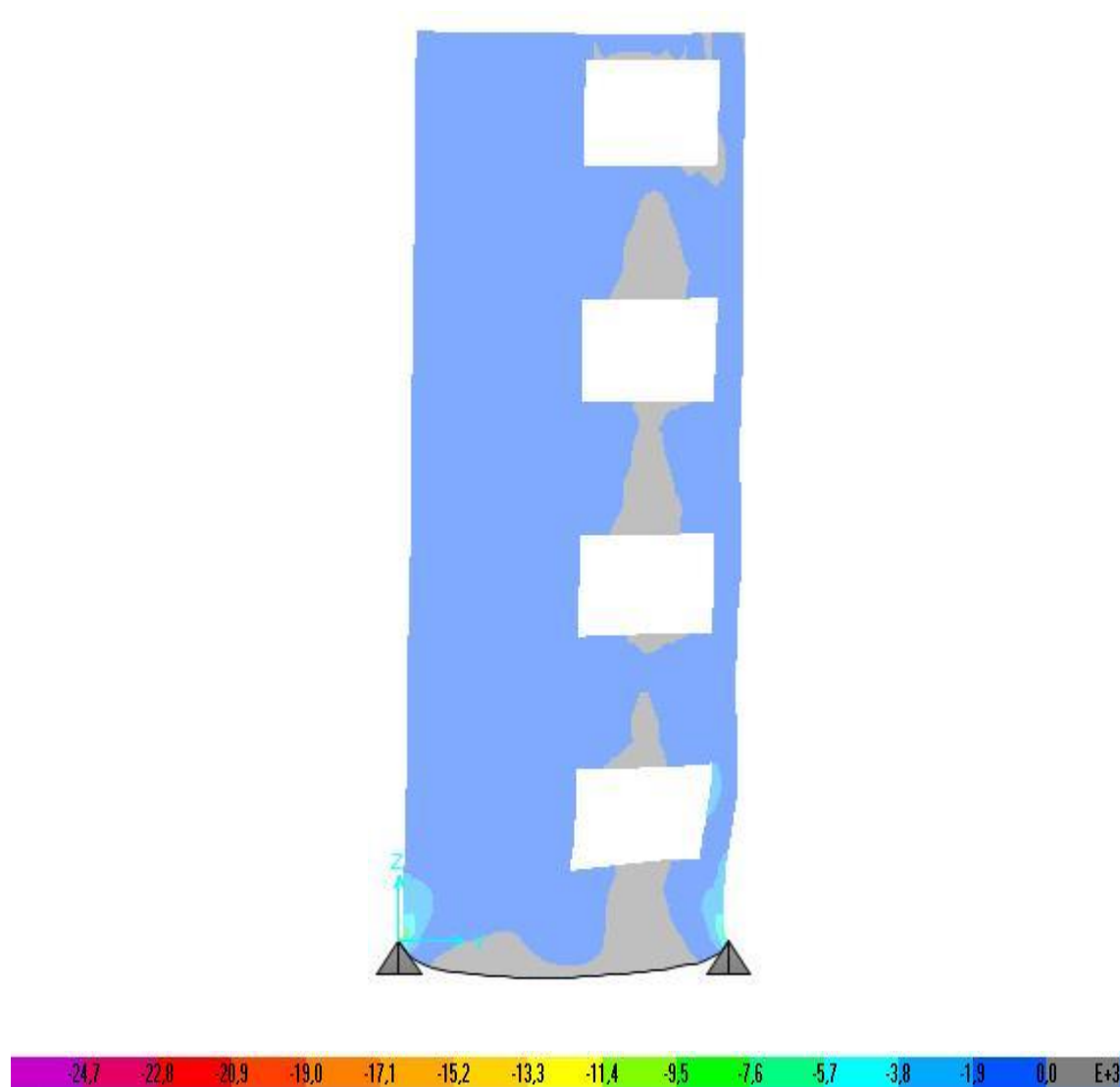


Figura 4.16 – Tensões verticais (kN/m^2) da parede sobre a cinta C7.

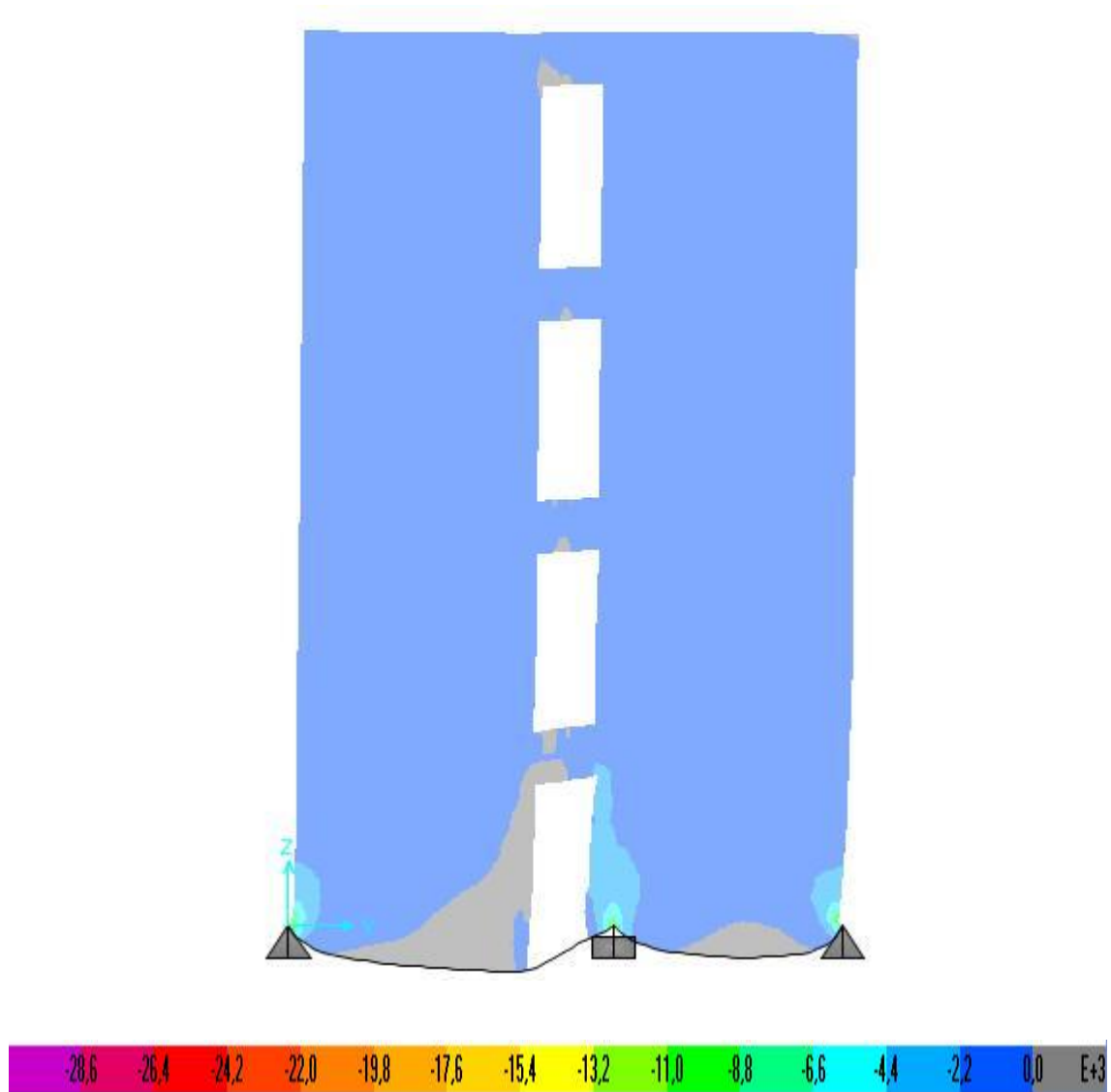


Figura 4.17 – Tensões verticais (kN/m^2) da parede sobre a cinta C8.

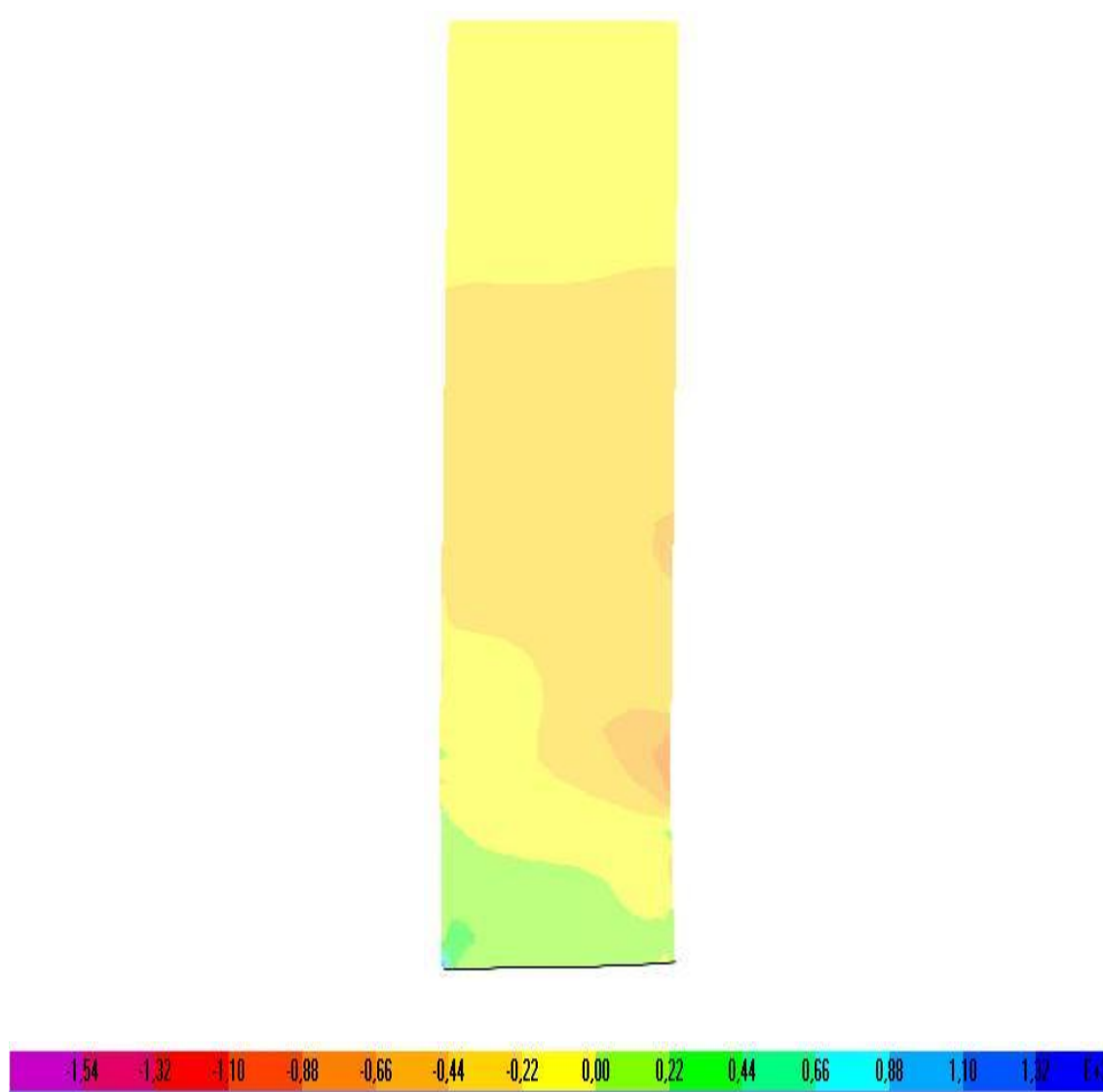


Figura 4.18 – Tensões verticais (kN/m^2) da parede sobre a cinta C9.

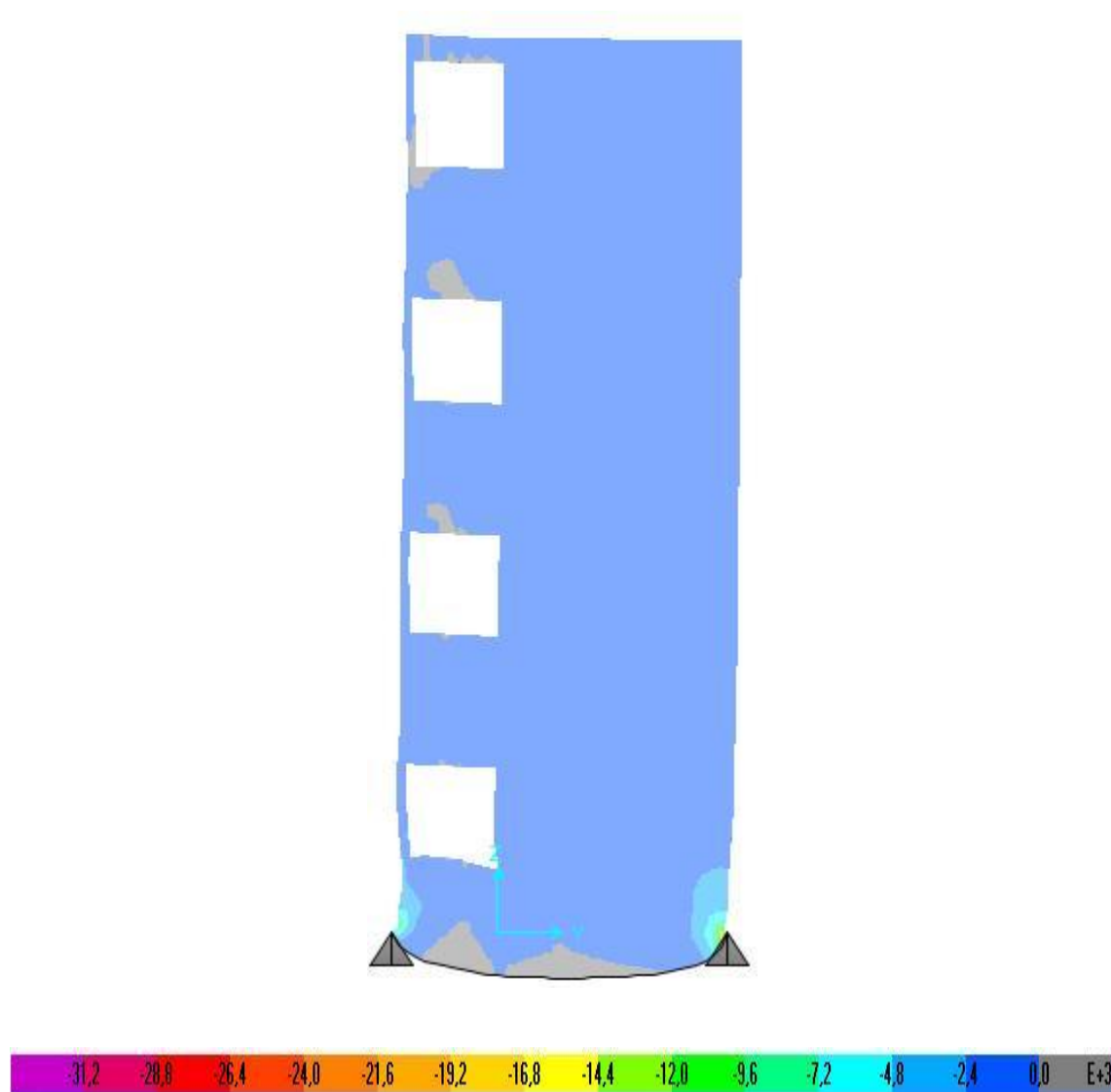


Figura 4.19 – Tensões verticais (kN/m^2) da parede sobre a cinta C10.

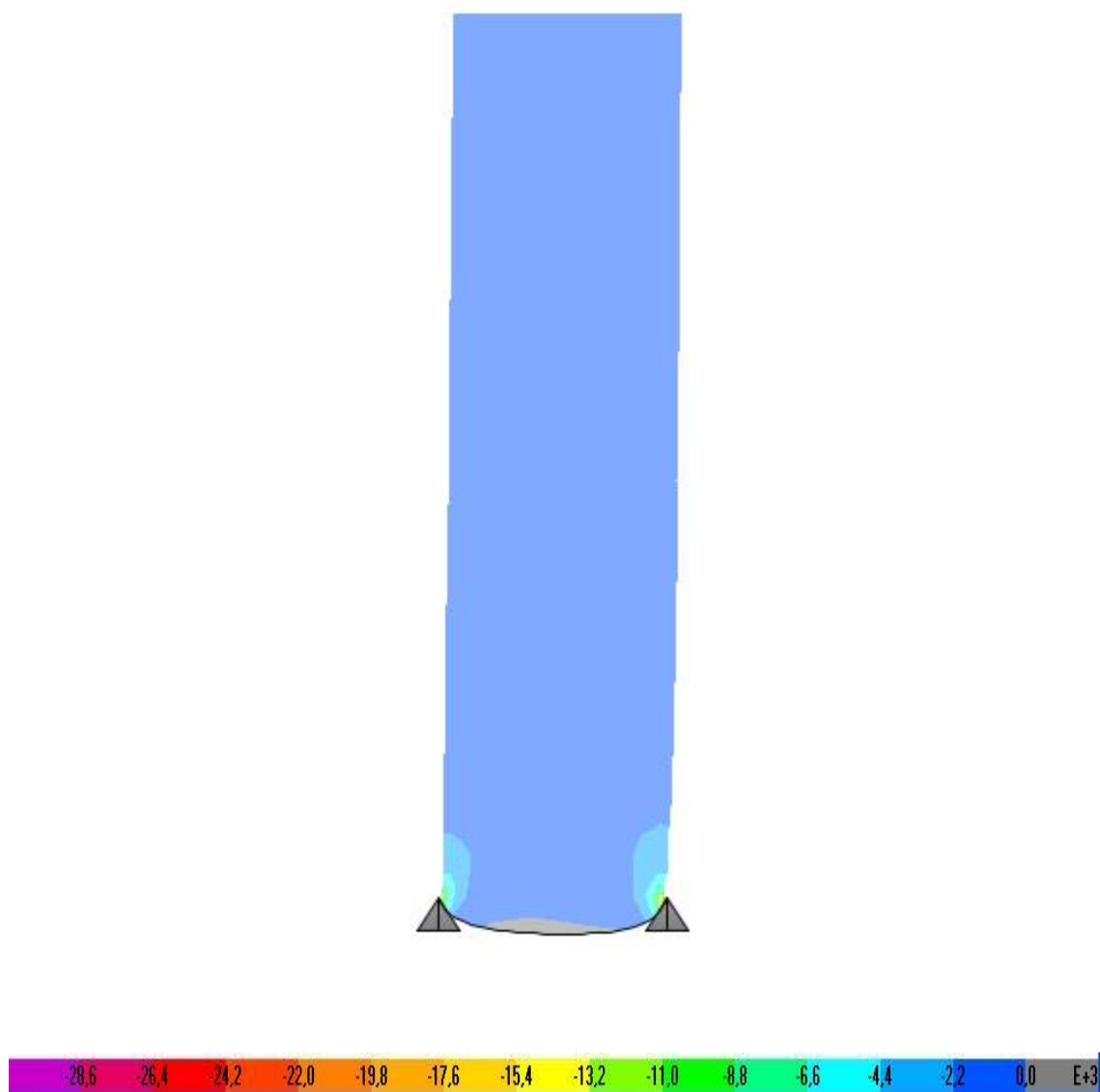


Figura 4.20 – Tensões verticais (kN/m²) da parede sobre a cinta C11.

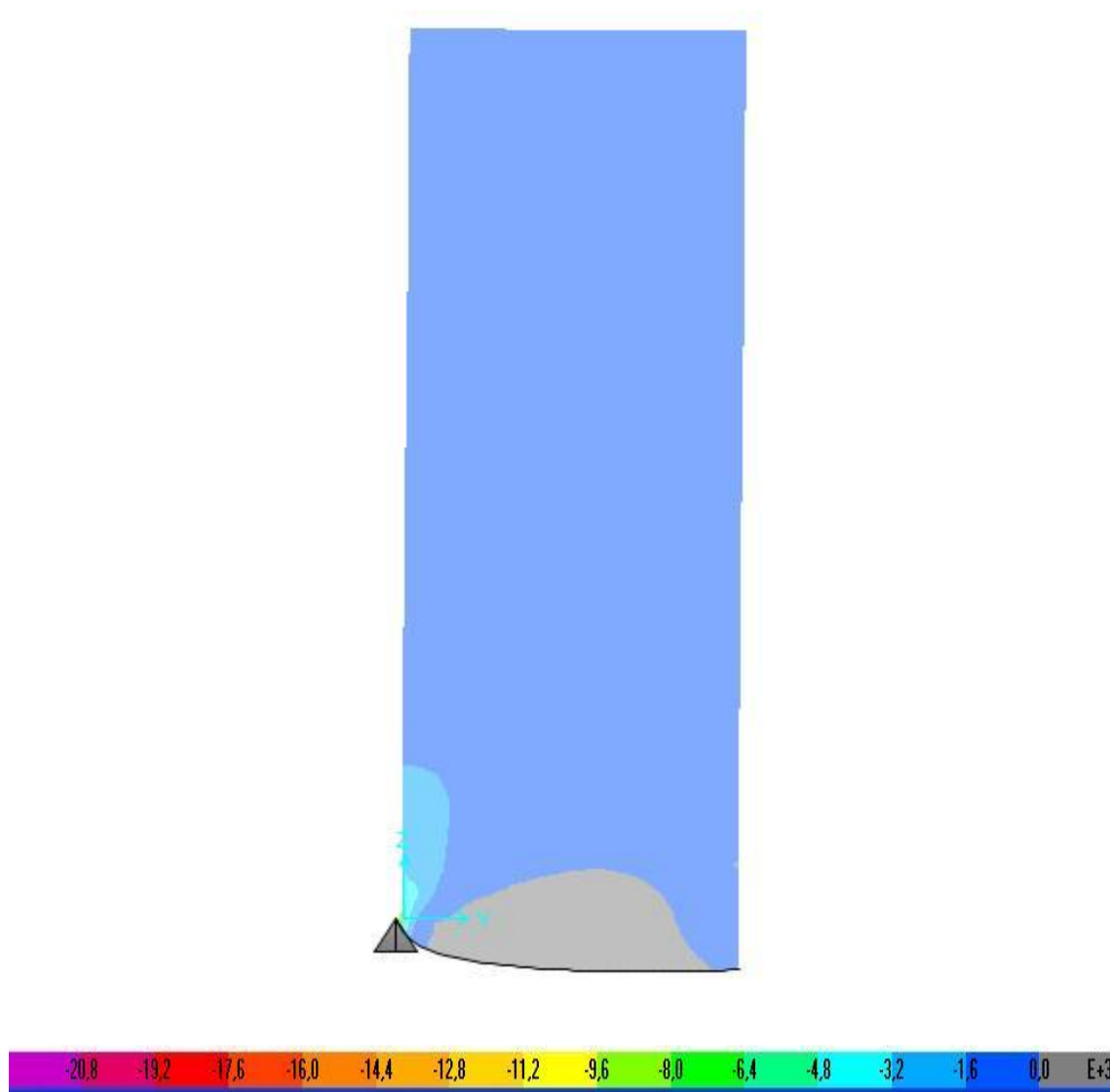


Figura 4.21 – Tensões verticais (kN/m²) da parede sobre a cinta C12.

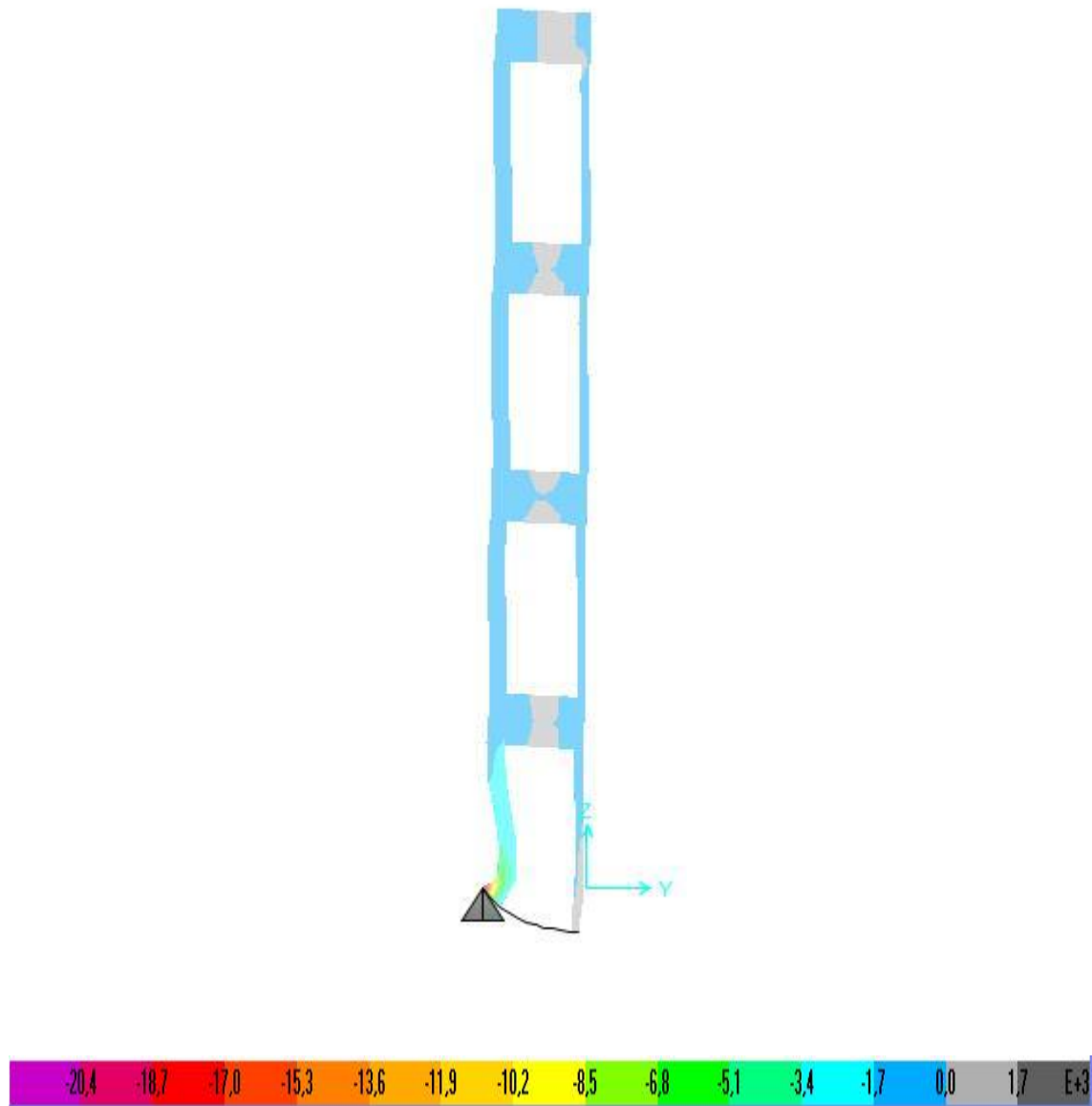


Figura 4.22 – Tensões verticais (kN/m²) da parede sobre a cinta C13.

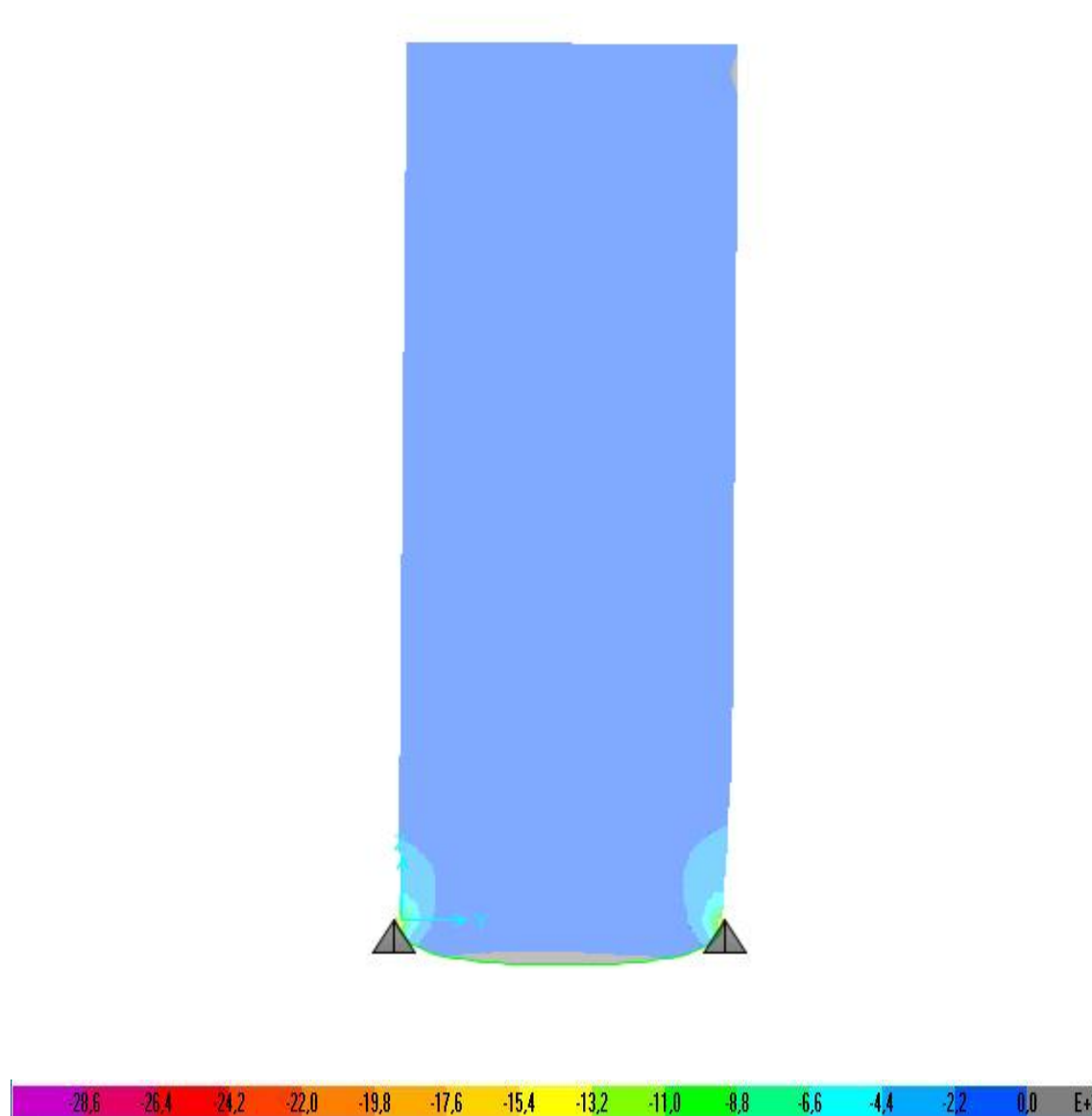


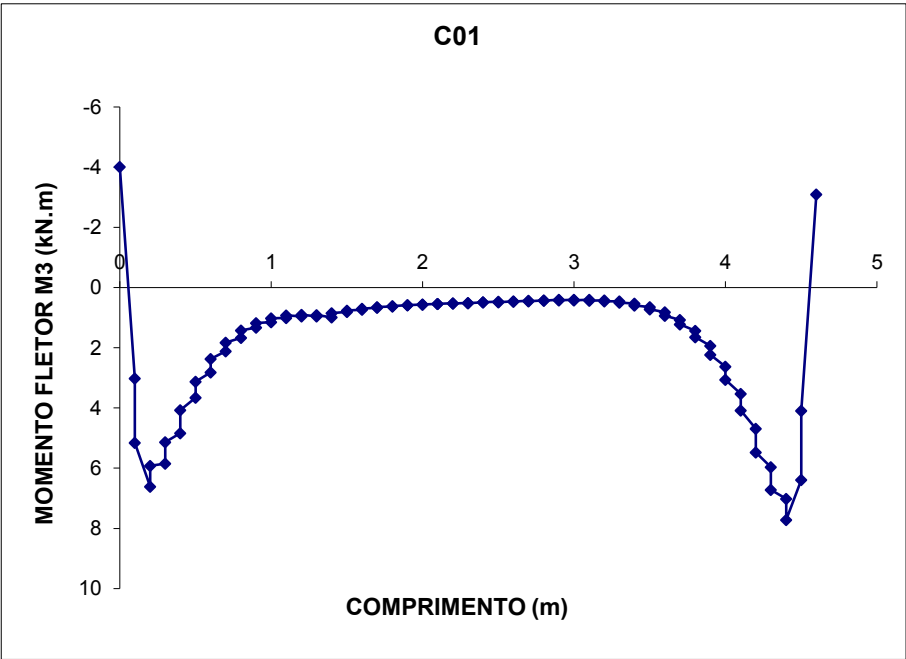
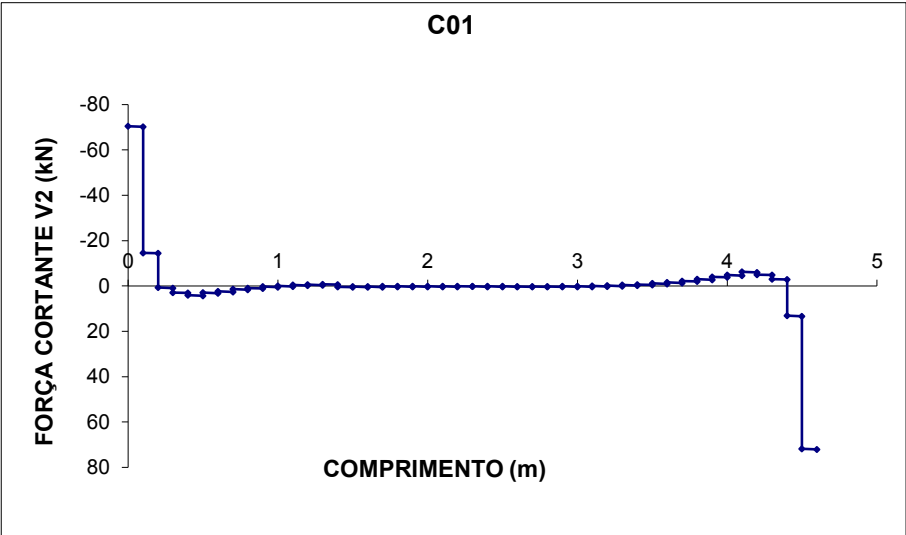
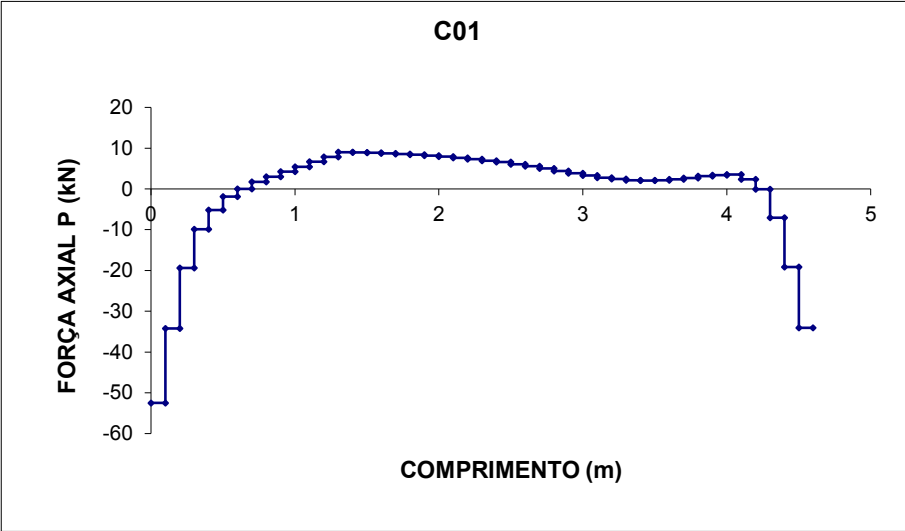
Figura 4.23 – Tensões verticais (kN/m^2) da parede sobre a cinta C14.

A seguir serão apresentados os resultados dos esforços (momento fletor, força cortante e carga axial) nas cintas. Em relação aos momentos fletores, percebe-se que a existência de janela e porta provocam alguns picos de momento fletor. Os esforços axiais somente podem ser vistos quando está analisando o efeito arco, pois quando se considera somente as cargas verticais as mesmas não aparecem.

Para cada cinta foram retirados os esforços do programa SAP 2000 e montados os gráficos utilizando o excel.

C01			
Comp.	P	V2	M3
m	KN	KN	KN.m
0,0	-52,5	-70,5	-4,0
0,1	-52,5	-70,2	3,0
0,1	-34,2	-14,6	5,2
0,2	-34,2	-14,4	6,6
0,2	-19,4	0,7	5,9
0,3	-19,4	0,9	5,8
0,3	-9,9	2,8	5,1
0,4	-9,9	3,1	4,8
0,4	-5,2	4,1	4,1
0,5	-5,2	4,3	3,7
0,5	-1,8	3,0	3,1
0,6	-1,8	3,2	2,8
0,6	0,0	2,4	2,4
0,7	0,0	2,6	2,1
0,7	1,7	1,4	1,8
0,8	1,7	1,7	1,7
0,8	3,0	0,9	1,4
0,9	3,0	1,1	1,3
0,9	4,2	0,2	1,2
1,0	4,2	0,4	1,1
1,0	5,4	0,0	1,0
1,1	5,4	0,2	1,0
1,1	6,7	-0,5	0,9
1,2	6,7	-0,2	1,0
1,2	7,8	-0,6	0,9
1,3	7,8	-0,4	1,0
1,3	9,0	-0,8	0,9
1,4	9,0	-0,6	1,0
1,4	9,0	0,3	0,9
1,5	9,0	0,6	0,8
1,5	8,9	0,3	0,8
1,6	8,9	0,5	0,7
1,6	8,8	0,2	0,7
1,7	8,8	0,5	0,7
1,7	8,6	0,2	0,6
1,8	8,6	0,4	0,6
1,8	8,4	0,1	0,6
1,9	8,4	0,4	0,6
1,9	8,2	0,1	0,6
2,0	8,2	0,3	0,6
2,0	7,9	0,1	0,6
2,1	7,9	0,3	0,5
2,1	7,7	0,1	0,5
2,2	7,7	0,3	0,5
2,2	7,3	0,1	0,5
2,3	7,3	0,3	0,5
2,3	7,0	0,1	0,5
2,4	7,0	0,4	0,5
2,4	6,6	0,1	0,5
2,5	6,6	0,3	0,5
2,5	6,1	0,2	0,5
2,6	6,1	0,4	0,5
2,6	5,6	0,2	0,5

C01 cont			
Comp.	P	V2	M3
m	KN	KN	KN.m
2,7	5,6	0,4	0,4
2,7	5,0	0,2	0,5
2,8	5,0	0,4	0,4
2,8	4,4	0,2	0,4
2,9	4,4	0,4	0,4
2,9	3,8	0,1	0,4
3,0	3,8	0,4	0,4
3,0	3,3	0,1	0,4
3,1	3,3	0,3	0,4
3,1	2,8	0,0	0,4
3,2	2,8	0,2	0,4
3,2	2,4	-0,2	0,5
3,3	2,4	0,1	0,5
3,3	2,1	-0,5	0,5
3,4	2,1	-0,2	0,5
3,4	2,0	-0,7	0,6
3,5	2,0	-0,4	0,6
3,5	2,1	-1,1	0,7
3,6	2,1	-0,9	0,8
3,6	2,3	-1,6	0,9
3,7	2,3	-1,3	1,1
3,7	2,7	-2,2	1,2
3,8	2,7	-2,0	1,4
3,8	3,2	-2,9	1,6
3,9	3,2	-2,7	1,9
3,9	3,4	-4,1	2,2
4,0	3,4	-3,8	2,6
4,0	3,5	-4,8	3,1
4,1	3,5	-4,6	3,5
4,1	2,3	-6,2	4,1
4,2	2,3	-6,0	4,7
4,2	0,0	-5,0	5,5
4,3	0,0	-4,8	6,0
4,3	-7,1	-3,1	6,7
4,4	-7,1	-2,8	7,0
4,4	-19,1	13,1	7,7
4,5	-19,1	13,4	6,4
4,5	-34,0	71,8	4,1
4,6	-34,0	72,1	-3,1



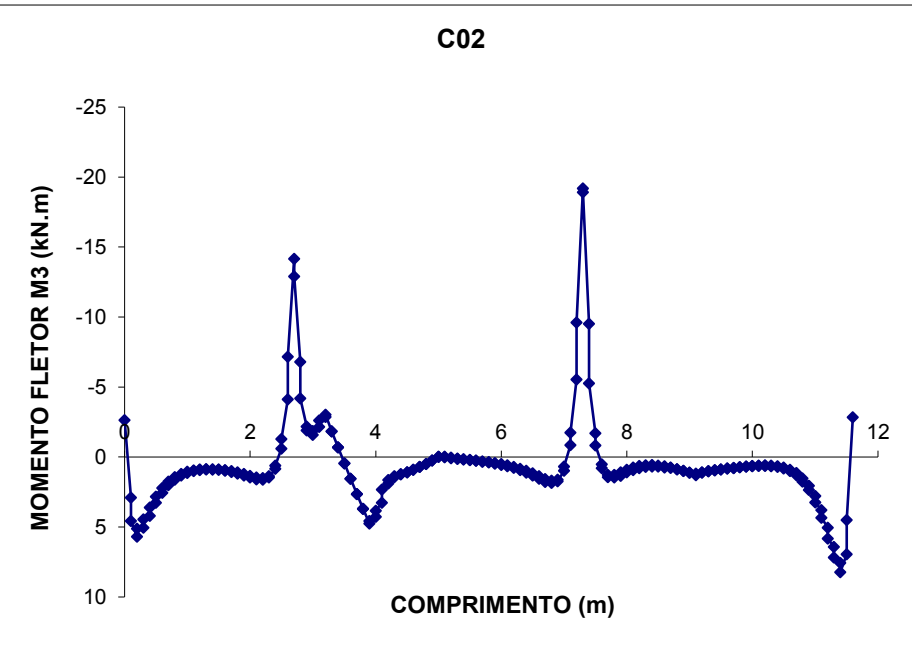
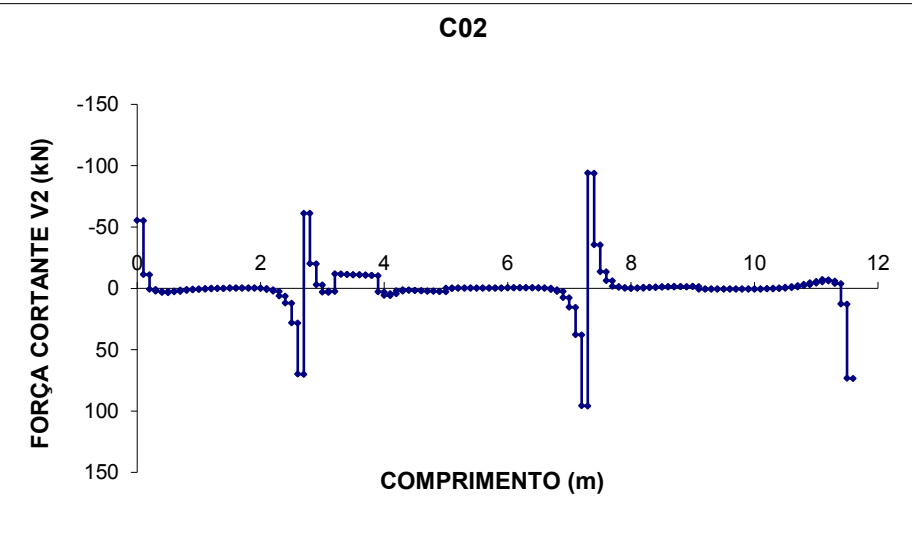
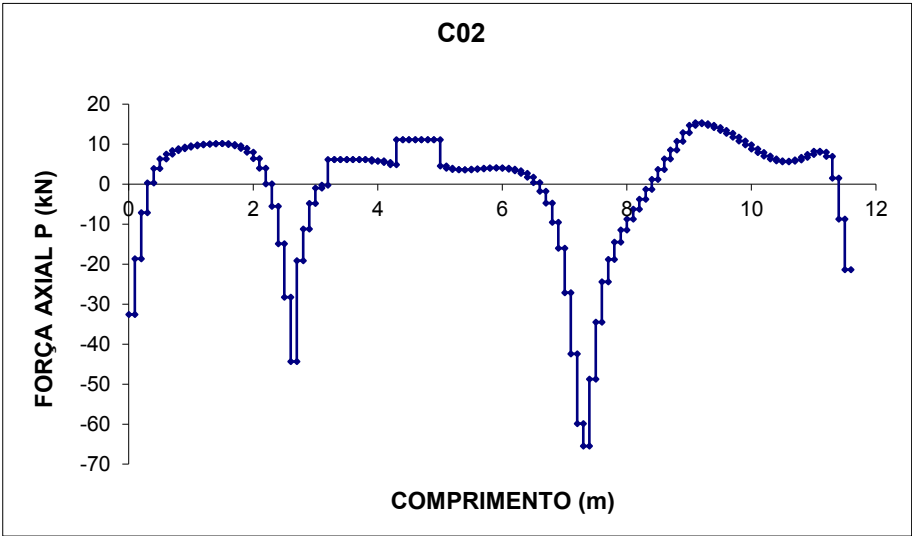
C02			
Comp.	P	V2	M3
m	KN	KN	KN-m
0,0	-32,5	-55,3	-2,6
0,1	-32,5	-55,1	2,9
0,1	-18,6	-11,4	4,6
0,2	-18,6	-11,1	5,7
0,2	-7,1	0,7	5,1
0,3	-7,1	1,0	5,0
0,3	0,3	2,3	4,5
0,4	0,3	2,6	4,2
0,4	3,9	3,4	3,6
0,5	3,9	3,6	3,2
0,5	6,3	2,5	2,8
0,6	6,3	2,7	2,6
0,6	7,5	2,1	2,2
0,7	7,5	2,3	2,0
0,7	8,4	1,6	1,6
0,8	8,4	1,4	1,8
0,8	8,9	1,0	1,4
0,9	8,9	1,2	1,3
0,9	9,3	0,6	1,2
1,0	9,3	0,8	1,1
1,0	9,6	0,4	1,0
1,1	9,6	0,6	1,0
1,1	9,8	0,4	0,9
1,2	9,8	0,1	0,9
1,2	10,0	0,2	0,9
1,3	10,0	0,0	0,9
1,3	10,1	-0,2	0,9
1,4	10,1	0,1	0,9
1,4	10,1	-0,3	0,9
1,5	10,1	0,0	0,9
1,5	10,1	-0,1	0,9
1,6	10,1	-0,3	0,9
1,6	9,9	-0,4	1,0
1,7	9,9	-0,2	1,0
1,7	9,6	-0,4	1,1
1,8	9,6	-0,2	1,1
1,8	9,0	-0,5	1,2
1,9	9,0	-0,2	1,2
1,9	8,0	0,0	1,3
2,0	8,0	-0,3	1,3
2,0	6,4	0,2	1,4
2,1	6,4	-0,1	1,4
2,1	4,0	0,9	1,6
2,2	4,0	1,1	1,5
2,2	0,1	2,2	1,6
2,3	0,1	2,4	1,4
2,3	-5,5	6,1	1,4
2,4	-5,5	6,3	0,8
2,4	-14,9	11,9	0,6
2,5	-14,9	12,2	-0,6
2,5	-28,3	28,3	-4,1
2,6	-28,3	28,1	-1,3
2,6	-44,4	69,8	-7,2

C02 cont			
Comp.	P	V2	M3
m	KN	KN	KN-m
2,7	-44,4	70,0	-14,1
2,7	-19,0	-61,3	-12,9
2,8	-19,0	-61,0	-6,8
2,8	-11,1	-20,1	-4,2
2,9	-11,1	-19,9	-2,2
2,9	-4,7	-3,1	-1,9
3,0	-4,7	-2,9	-1,6
3,0	-0,9	3,0	-1,8
3,1	-0,9	3,2	-2,1
3,1	-0,1	2,2	-2,6
3,2	-0,1	2,5	-2,8
3,2	6,4	-11,6	-1,8
3,3	6,4	-11,9	-3,0
3,3	6,4	-11,4	-0,7
3,4	6,4	-11,6	-1,8
3,4	6,4	-11,2	0,4
3,5	6,4	-11,4	-0,7
3,5	6,4	-10,9	1,6
3,6	6,4	-11,2	0,4
3,6	6,4	-10,9	1,6
3,7	6,4	-10,7	2,6
3,7	6,4	-10,5	3,7
3,8	6,4	-10,7	2,6
3,8	6,4	-10,2	4,7
3,9	6,4	-10,5	3,7
3,9	5,8	2,7	4,5
4,0	5,8	3,0	4,3
4,0	5,9	5,5	3,8
4,1	5,9	5,7	3,3
4,1	5,5	4,1	2,3
4,2	5,5	4,4	1,9
4,2	4,9	2,0	1,7
4,3	4,9	2,2	1,4
4,3	11,2	1,2	1,4
4,4	11,2	1,4	1,2
4,4	11,2	1,4	1,2
4,5	11,2	1,7	1,1
4,5	11,2	1,7	1,1
4,6	11,2	1,9	0,9
4,6	11,2	1,9	0,9
4,7	11,2	2,2	0,7
4,7	11,2	2,2	0,7
4,8	11,2	2,4	0,5
4,8	11,2	2,6	0,2
4,9	11,2	2,4	0,5
4,9	11,2	2,6	0,2
5,0	11,2	2,9	0,0
5,0	4,6	0,0	0,0
5,1	4,6	0,2	0,0
5,1	4,1	-0,4	0,0
5,2	4,1	-0,2	0,0
5,2	3,7	-0,2	0,1
5,3	3,7	-0,4	0,1

C02 cont			
Comp.	P	V2	M3
m	KN	KN	KN-m
5,3	3,6	-0,4	0,1
5,4	3,6	-0,2	0,1
5,4	3,6	-0,4	0,2
5,5	3,6	-0,2	0,2
5,5	3,7	-0,4	0,2
5,6	3,7	-0,2	0,2
5,6	3,9	-0,2	0,3
5,7	3,9	-0,5	0,3
5,7	4,0	-0,2	0,4
5,8	4,0	-0,5	0,3
5,8	4,0	-0,5	0,4
5,9	4,0	-0,3	0,4
5,9	4,0	-0,5	0,5
6,0	4,0	-0,3	0,5
6,0	3,9	-0,3	0,6
6,1	3,9	-0,5	0,6
6,1	3,7	-0,5	0,7
6,2	3,7	-0,3	0,7
6,2	3,3	-0,6	0,8
6,3	3,3	-0,4	0,8
6,3	2,6	-0,6	0,9
6,4	2,6	-0,4	1,0
6,4	1,6	-0,4	1,1
6,5	1,6	-0,6	1,1
6,5	0,1	-0,4	1,3
6,6	0,1	-0,2	1,3
6,6	-2,1	-0,2	1,5
6,7	-2,1	0,0	1,5
6,7	-5,1	0,9	1,7
6,8	-5,1	1,2	1,6
6,8	-9,9	2,5	1,8
6,9	-9,9	2,7	1,5
6,9	-16,5	7,5	1,7
7,0	-16,5	7,7	0,9
7,0	-27,5	15,1	0,6
7,1	-27,5	15,3	-0,9
7,1	-42,7	36,9	-1,8
7,2	-42,7	37,1	-5,5
7,2	-60,3	93,0	-9,4
7,3	-60,3	93,2	-18,8
7,3	-65,5	-91,5	-18,5
7,4	-65,5	-91,3	-9,4
7,4	-48,8	-34,6	-1,8
7,5	-48,8	-34,9	-5,2
7,5	-34,7	-13,5	-0,9
7,6	-34,7	-13,3	0,4
7,6	-24,7	-6,5	0,7
7,7	-24,7	-6,2	1,4
7,7	-19,1	-1,7	1,4
7,8	-19,1	-1,9	1,2
7,8	-14,7	-0,9	1,2
7,9	-14,7	-0,6	1,3
7,9	-11,7	-0,2	1,1

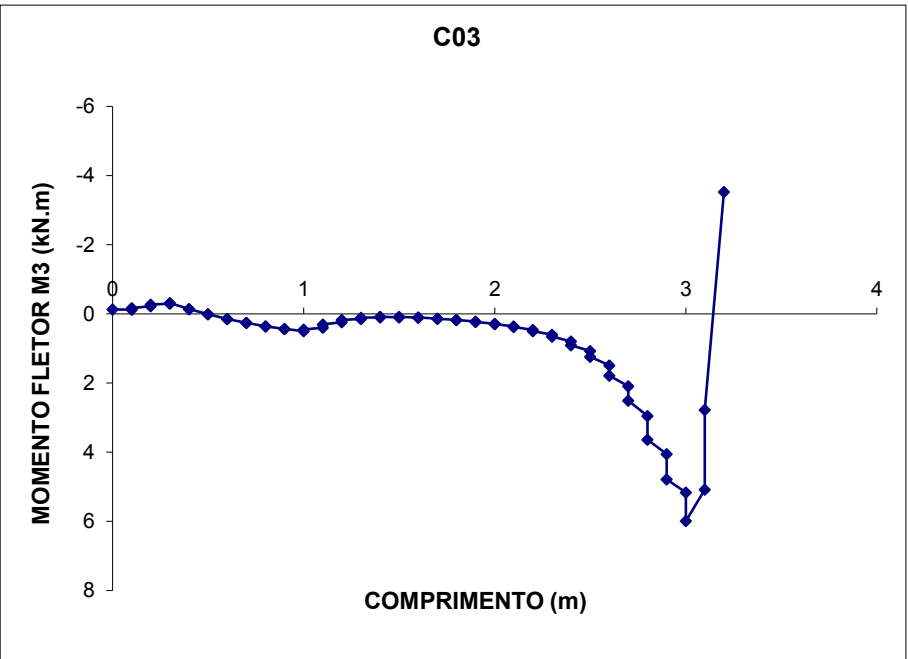
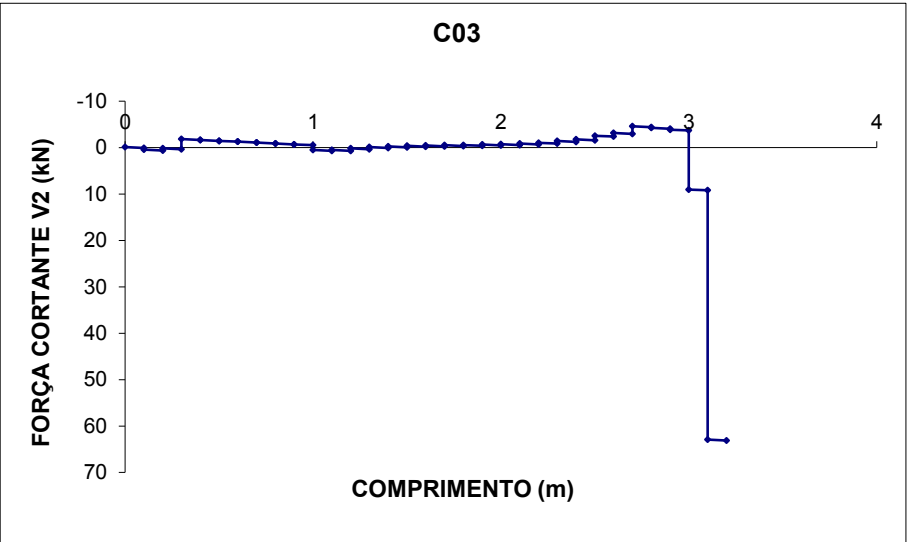
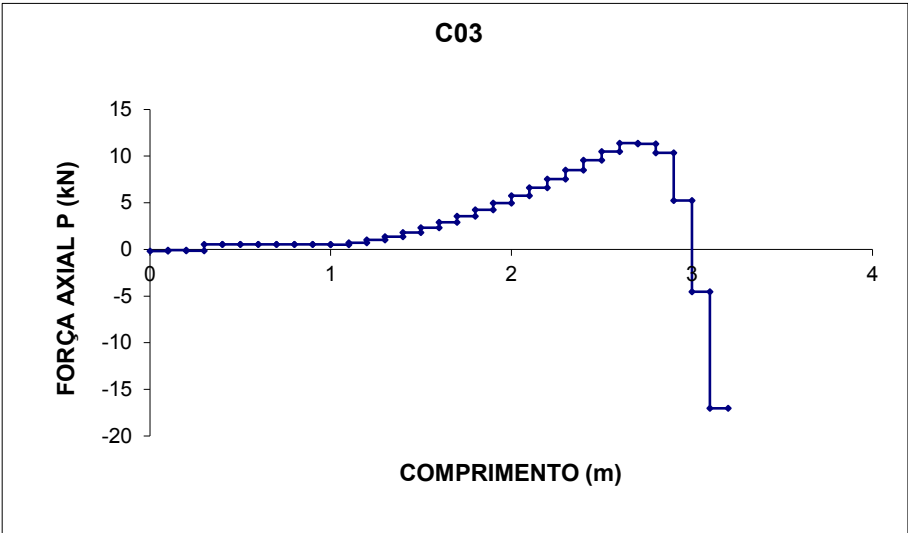
C02 cont			
Comp.	P	V2	M3
m	KN	KN	KN-m
8,0	-11,7	0,1	1,1
8,0	-8,9	-0,4	0,9
8,1	-8,9	-0,2	0,9
8,1	-6,4	-0,2	0,8
8,2	-6,4	-0,5	0,7
8,2	-3,9	-0,8	0,6
8,3	-3,9	-0,6	0,7
8,3	-1,3	-1,0	0,6
8,4	-1,3	-0,7	0,7
8,4	1,1	-1,3	0,6
8,5	1,1	-1,1	0,7
8,5	3,7	-1,4	0,6
8,6	3,7	-1,1	0,7
8,6	6,3	-1,1	0,8
8,7	6,3	-1,3	0,7
8,7	8,6	-1,6	0,7
8,8	8,6	-1,4	0,9
8,8	10,8	-1,5	0,9
8,9	10,8	-1,3	1,0
8,9	13,0	-1,6	1,0
9,0	13,0	-1,3	1,1
9,0	14,8	-1,5	1,3
9,1	14,8	-1,8	1,1
9,1	15,4	0,5	1,2
9,2	15,4	0,8	1,1
9,2	15,2	0,5	1,1
9,3	15,2	0,7	1,0
9,3	14,8	0,4	1,0
9,4	14,8	0,7	0,9
9,4	14,2	0,4	0,9
9,5	14,2	0,6	0,9
9,5	13,5	0,5	0,9
9,6	13,5	0,7	0,8
9,6	12,8	0,4	0,8
9,7	12,8	0,7	0,8
9,7	11,8	0,5	0,8
9,8	11,8	0,7	0,7
9,8	10,8	0,5	0,7
9,9	10,8	0,7	0,7
9,9	9,9	0,7	0,6
10,0	9,9	0,4	0,7
10,0	8,9	0,4	0,7
10,1	8,9	0,6	0,6
10,1	8,0	0,3	0,6
10,2	8,0	0,5	0,6
10,2	7,1	0,1	0,6
10,3	7,1	0,4	0,6
10,3	6,4	-0,1	0,6
10,4	6,4	0,1	0,6
10,4	5,9	-0,2	0,7
10,5	5,9	-0,5	0,7
10,5	5,7	-0,9	0,8
10,6	5,7	-0,7	0,9

C02 cont			
Comp.	P	V2	M3
m	KN	KN	KN-m
10,6	5,8	-1,5	1,0
10,7	5,8	-1,2	1,1
10,7	6,1	-2,3	1,3
10,8	6,1	-2,1	1,5
10,8	6,8	-3,2	1,7
10,9	6,8	-3,0	2,0
10,9	7,5	-4,5	2,3
11,0	7,5	-4,3	2,8
11,0	8,3	-5,3	3,8
11,1	8,3	-5,5	3,2
11,1	8,1	-7,1	4,3
11,2	8,1	-6,8	5,0
11,2	7,0	-6,0	5,8
11,3	7,0	-5,8	6,4
11,3	1,5	-4,0	7,2
11,4	1,5	-3,8	7,5
11,4	-8,7	12,7	8,2
11,5	-8,7	13,0	6,9
11,5	-21,3	73,1	4,5
11,6	-21,3	73,3	-2,8



C03			
Comp.	P	V2	M3
m	KN	KN	KN-m
0,0	-0,2	-0,1	-0,1
0,1	-0,2	0,1	-0,1
0,1	-0,1	0,4	-0,2
0,2	-0,1	0,6	-0,2
0,2	-0,1	0,2	-0,3
0,3	-0,1	0,3	-0,3
0,3	0,6	-1,8	-0,3
0,4	0,6	-1,6	-0,1
0,4	0,6	-1,6	-0,1
0,5	0,6	-1,4	0,0
0,5	0,6	-1,4	0,0
0,6	0,6	-1,3	0,1
0,6	0,6	-1,3	0,1
0,7	0,6	-1,1	0,3
0,7	0,6	-1,1	0,3
0,8	0,6	-0,9	0,4
0,8	0,6	-0,9	0,4
0,9	0,6	-0,7	0,4
0,9	0,6	-0,7	0,4
1,0	0,6	-0,5	0,5
1,0	0,5	0,5	0,5
1,1	0,5	0,7	0,4
1,1	0,7	0,5	0,3
1,2	0,7	0,7	0,2
1,2	1,0	0,2	0,2
1,3	1,0	0,4	0,1
1,3	1,4	-0,1	0,1
1,4	1,4	0,1	0,1
1,4	1,8	-0,3	0,1
1,5	1,8	-0,1	0,1
1,5	2,3	-0,4	0,1
1,6	2,3	-0,2	0,1
1,6	2,9	-0,4	0,1
1,7	2,9	-0,3	0,1
1,7	3,6	-0,5	0,1
1,8	3,6	-0,3	0,2
1,8	4,2	-0,6	0,2
1,9	4,2	-0,4	0,2
1,9	5,0	-0,6	0,2
2,0	5,0	-0,4	0,3
2,0	5,8	-0,7	0,3
2,1	5,8	-0,5	0,4
2,1	6,6	-0,9	0,4
2,2	6,6	-0,7	0,5
2,2	7,5	-1,0	0,5
2,3	7,5	-0,9	0,6
2,3	8,5	-1,4	0,7
2,4	8,5	-1,2	0,8
2,4	9,6	-1,8	0,9
2,5	9,6	-1,6	1,1
2,5	10,5	-2,6	1,2
2,6	10,5	-2,4	1,5
2,6	11,4	-3,1	1,8

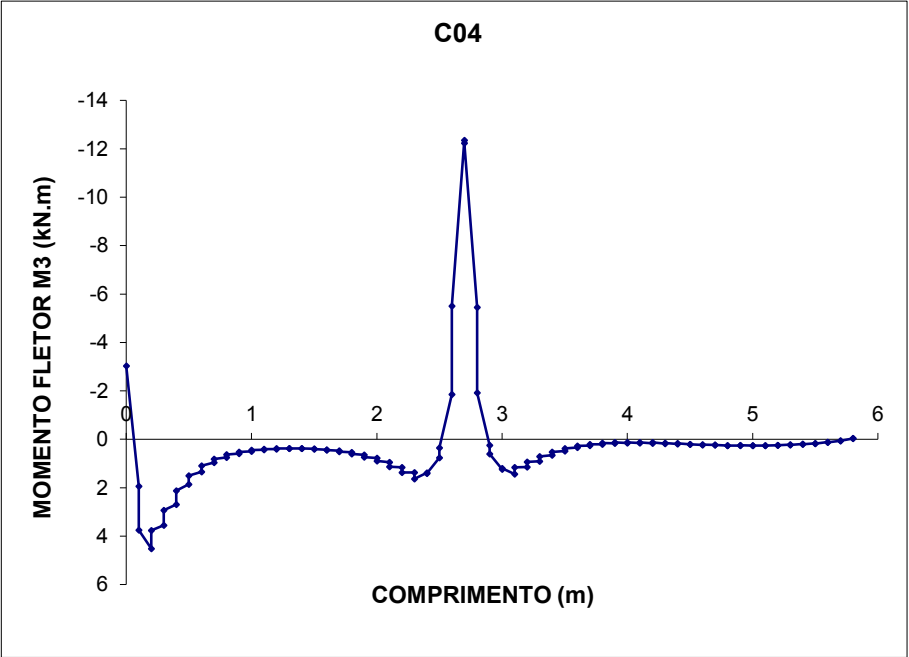
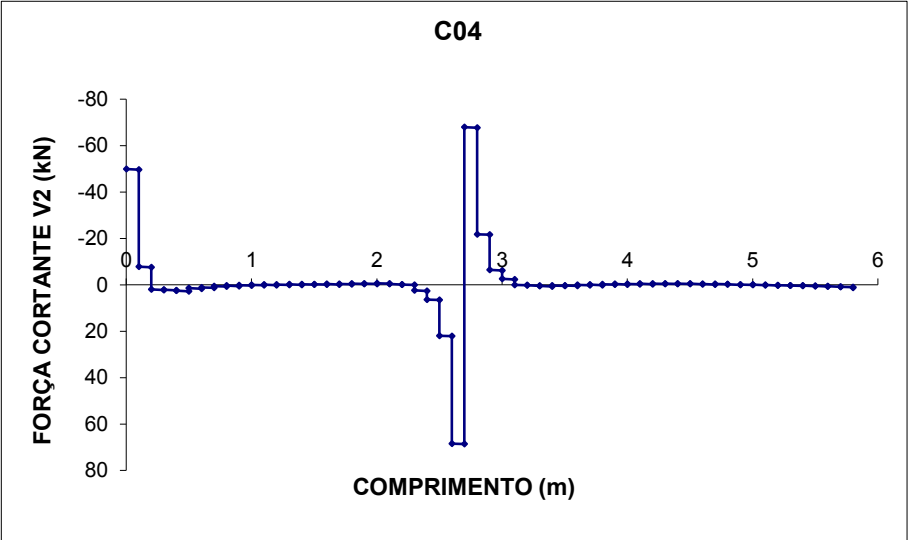
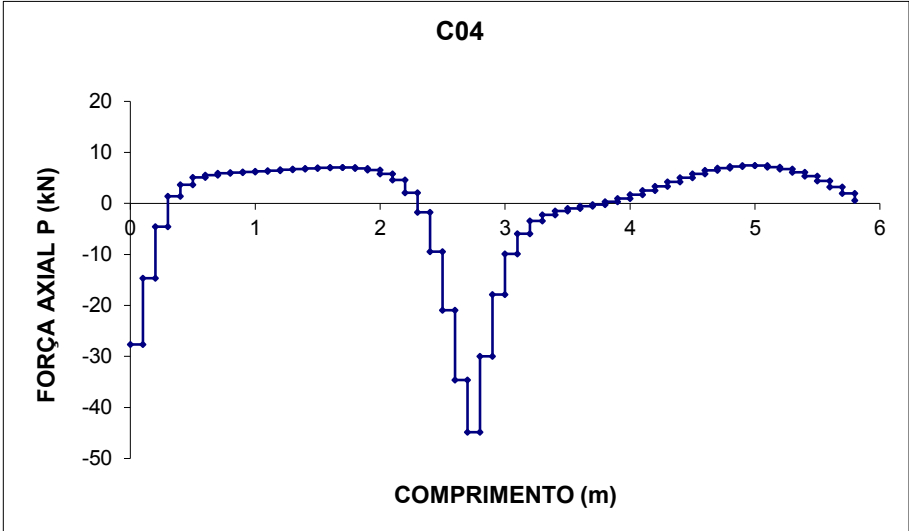
C03 cont			
Comp.	P	V2	M3
m	KN	KN	KN-m
2,7	11,4	-2,9	2,1
2,7	11,3	-4,6	2,5
2,8	11,3	-4,4	3,0
2,8	10,4	-4,2	3,6
2,9	10,4	-4,0	4,1
2,9	5,3	-3,9	4,8
3,0	5,3	-3,7	5,2
3,0	-4,5	9,0	6,0
3,1	-4,5	9,2	5,1
3,1	-17,0	62,9	2,8
3,2	-17,0	63,1	-3,5



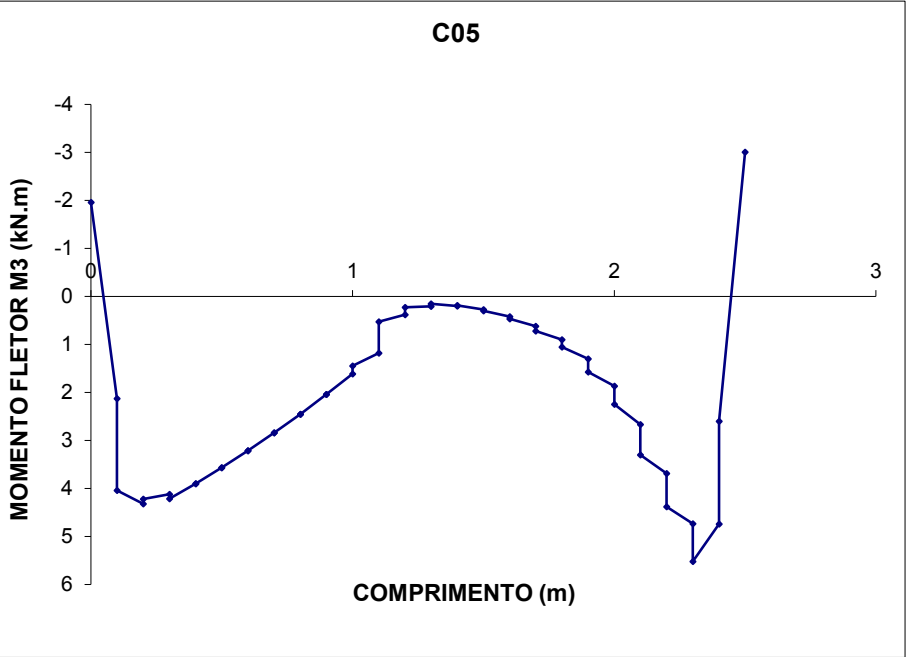
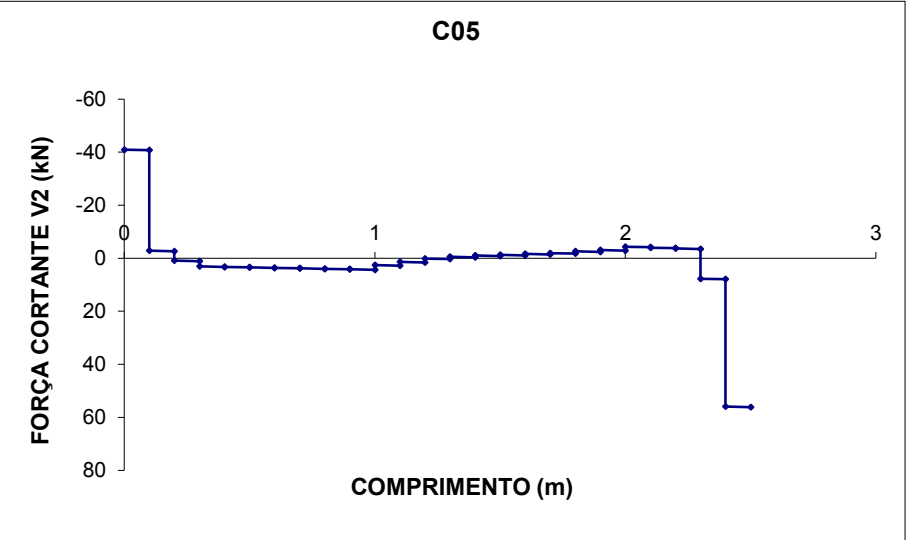
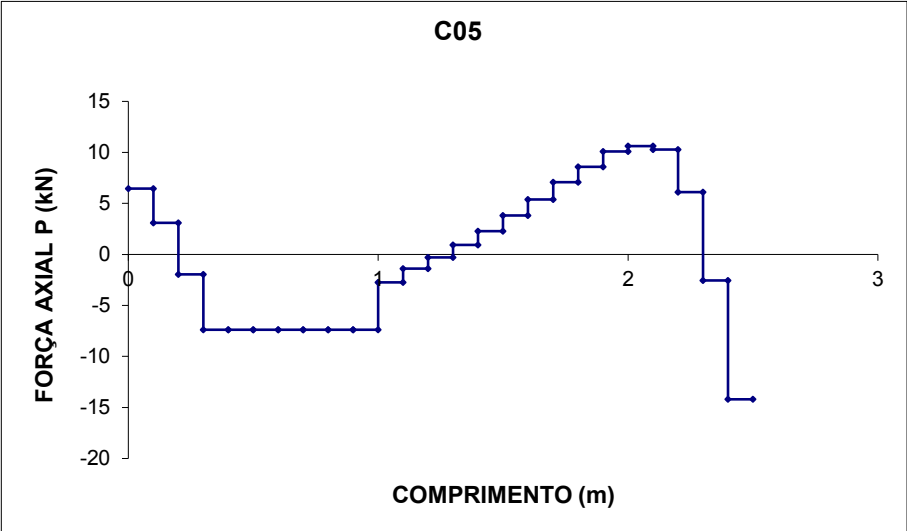
C04			
Comp.	P	V2	M3
m	KN	KN	KN-m
0,0	-27,6	-49,9	-3,0
0,1	-27,6	-49,7	1,9
0,1	-14,7	-7,8	3,7
0,2	-14,7	-7,6	4,5
0,2	-4,5	2,0	3,8
0,3	-4,5	2,2	3,6
0,3	1,4	2,2	2,9
0,4	1,4	2,4	2,7
0,4	3,7	2,6	2,1
0,5	3,7	2,7	1,9
0,5	5,1	1,5	1,5
0,6	5,1	1,7	1,3
0,6	5,5	1,2	1,1
0,7	5,5	1,4	1,0
0,7	5,9	0,6	0,8
0,8	5,9	0,8	0,7
0,8	6,0	0,4	0,6
0,9	6,0	0,6	0,6
0,9	6,2	0,2	0,5
1,0	6,2	0,3	0,5
1,0	6,3	0,2	0,4
1,1	6,3	0,1	0,4
1,1	6,5	-0,1	0,4
1,2	6,5	0,1	0,4
1,2	6,6	-0,1	0,4
1,3	6,6	0,1	0,4
1,3	6,7	-0,2	0,4
1,4	6,7	0,0	0,4
1,4	6,9	0,0	0,4
1,5	6,9	-0,2	0,4
1,5	7,0	-0,3	0,4
1,6	7,0	-0,1	0,4
1,6	7,0	-0,3	0,4
1,7	7,0	-0,1	0,5
1,7	7,0	-0,4	0,5
1,8	7,0	-0,2	0,5
1,8	6,9	-0,5	0,6
1,9	6,9	-0,3	0,6
1,9	6,6	-0,5	0,7
2,0	6,6	-0,3	0,8
2,0	5,8	-0,7	0,9
2,1	5,8	-0,5	1,0
2,1	4,6	-0,1	1,2
2,2	4,6	-0,3	1,1
2,2	2,1	-0,1	1,4
2,3	2,1	0,1	1,4
2,3	-1,8	2,4	1,6
2,4	-1,8	2,6	1,4
2,4	-9,4	6,3	1,4
2,5	-9,4	6,5	0,8
2,5	-20,9	22,0	0,4
2,6	-20,9	22,2	-1,9
2,6	-34,6	68,5	-5,5

C04 cont			
Comp.	P	V2	M3
m	KN	KN	KN-m
2,7	-34,6	68,6	-12,4
2,7	-44,8	-67,7	-5,5
2,8	-44,8	-67,9	-12,2
2,8	-30,0	-21,8	-1,9
2,9	-30,0	-21,6	0,3
2,9	-17,8	-6,4	0,6
3,0	-17,8	-6,2	1,2
3,0	-9,9	-2,5	1,2
3,1	-9,9	-2,3	1,4
3,1	-6,0	0,0	1,2
3,2	-6,0	0,2	1,1
3,2	-3,4	0,4	0,9
3,3	-3,4	0,2	0,9
3,3	-2,3	0,5	0,7
3,4	-2,3	0,7	0,7
3,4	-1,5	0,3	0,5
3,5	-1,5	0,5	0,5
3,5	-1,0	0,3	0,4
3,6	-1,0	0,5	0,3
3,6	-0,6	0,0	0,3
3,7	-0,6	0,2	0,3
3,7	-0,2	0,0	0,2
3,8	-0,2	0,1	0,2
3,8	0,4	-0,2	0,2
3,9	0,4	0,0	0,2
3,9	1,0	-0,1	0,2
4,0	1,0	-0,3	0,1
4,0	1,7	-0,4	0,1
4,1	1,7	-0,2	0,2
4,1	2,5	-0,5	0,1
4,2	2,5	-0,3	0,2
4,2	3,3	-0,5	0,1
4,3	3,3	-0,3	0,2
4,3	4,2	-0,5	0,2
4,4	4,2	-0,3	0,2
4,4	5,0	-0,3	0,2
4,5	5,0	-0,5	0,2
4,5	5,8	-0,5	0,2
4,6	5,8	-0,3	0,2
4,6	6,5	-0,3	0,2
4,7	6,5	-0,2	0,2
4,7	6,9	-0,4	0,2
4,8	6,9	-0,2	0,3
4,8	7,2	-0,2	0,3
4,9	7,2	0,0	0,3
4,9	7,4	-0,1	0,3
5,0	7,4	0,1	0,3
5,0	7,4	0,0	0,3
5,1	7,4	0,1	0,3
5,1	7,1	0,1	0,3
5,2	7,1	0,3	0,2
5,2	6,7	0,2	0,2
5,3	6,7	0,4	0,2

C04 cont			
Comp.	P	V2	M3
m	KN	KN	KN-m
5,3	6,1	0,3	0,2
5,4	6,1	0,5	0,2
5,4	5,4	0,4	0,2
5,5	5,4	0,6	0,2
5,5	4,4	0,5	0,2
5,6	4,4	0,7	0,1
5,6	3,2	0,7	0,1
5,7	3,2	0,8	0,1
5,7	1,9	0,8	0,1
5,8	1,9	1,0	0,0
5,8	0,6	1,5	-0,2
5,9	0,6	1,3	0,0

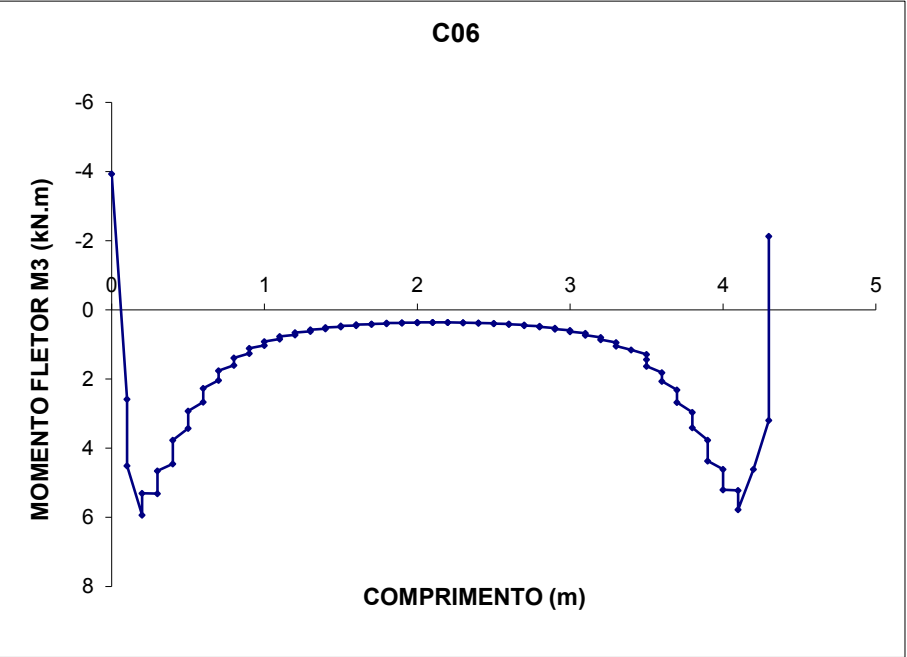
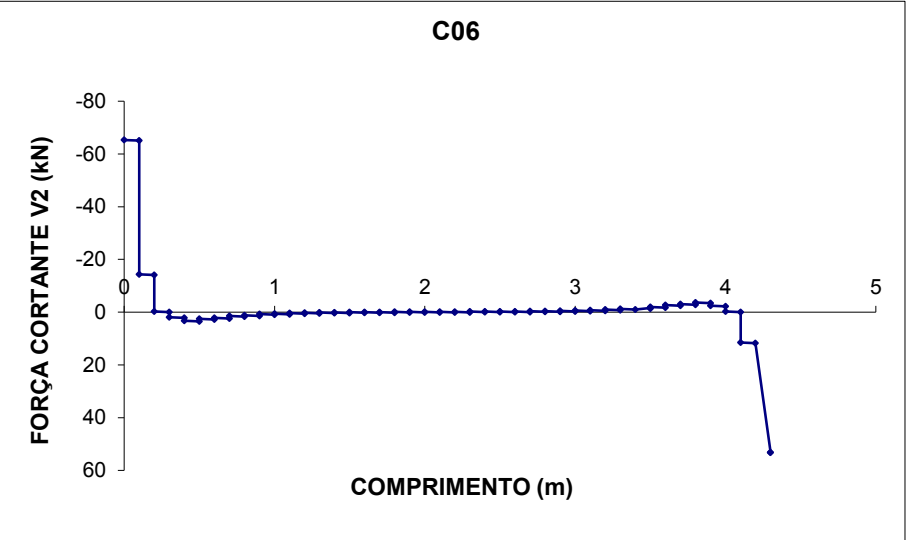
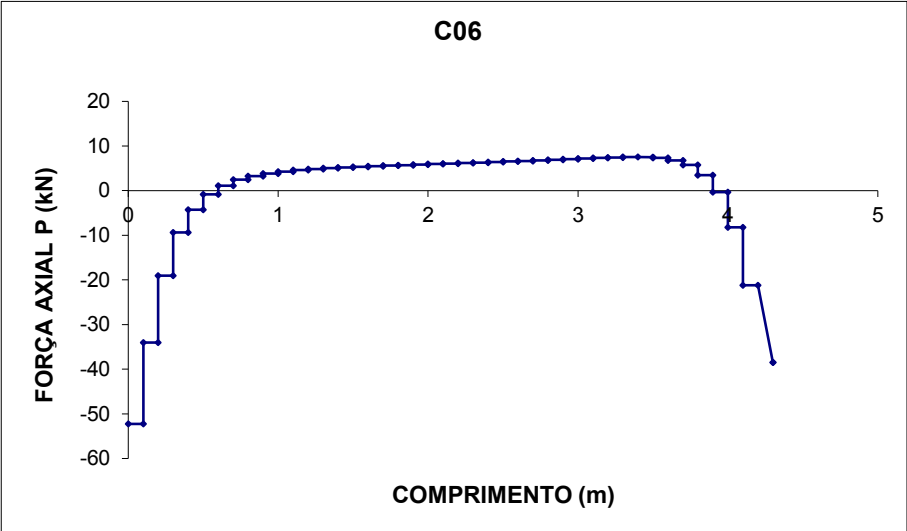


C05			
Comp.	P	V2	M3
m	KN	KN	KN-m
0,0	6,4	-40,9	-2,0
0,1	6,4	-40,8	2,1
0,1	3,1	-2,9	4,0
0,2	3,1	-2,7	4,3
0,2	-2,0	0,9	4,2
0,3	-2,0	1,1	4,1
0,3	-7,4	3,1	4,2
0,4	-7,4	3,2	3,9
0,4	-7,4	3,2	3,9
0,5	-7,4	3,4	3,6
0,5	-7,4	3,4	3,6
0,6	-7,4	3,6	3,2
0,6	-7,4	3,6	3,2
0,7	-7,4	3,8	2,8
0,7	-7,4	3,8	2,8
0,8	-7,4	4,0	2,5
0,8	-7,4	4,0	2,5
0,9	-7,4	4,2	2,0
0,9	-7,4	4,2	2,0
1,0	-7,4	4,4	1,6
1,0	-2,7	2,6	1,4
1,1	-2,7	2,8	1,2
1,1	-1,4	1,4	0,5
1,2	-1,4	1,6	0,4
1,2	-0,3	0,1	0,2
1,3	-0,3	0,3	0,2
1,3	0,9	-0,6	0,2
1,4	0,9	-0,4	0,2
1,4	2,3	-1,0	0,2
1,5	2,3	-0,8	0,3
1,5	3,8	-1,3	0,3
1,6	3,8	-1,1	0,4
1,6	5,4	-1,6	0,5
1,7	5,4	-1,4	0,6
1,7	7,1	-1,9	0,7
1,8	7,1	-1,7	0,9
1,8	8,6	-2,6	1,1
1,9	8,6	-2,4	1,3
1,9	10,1	-3,1	1,6
2,0	10,1	-2,9	1,9
2,0	10,6	-4,3	2,2
2,1	10,6	-4,1	2,7
2,1	10,3	-4,0	3,3
2,2	10,3	-3,8	3,7
2,2	6,1	-3,7	4,4
2,3	6,1	-3,5	4,7
2,3	-2,6	7,7	5,5
2,4	-2,6	7,9	4,7
2,4	-14,2	56,0	2,6
2,5	-14,2	56,2	-3,0



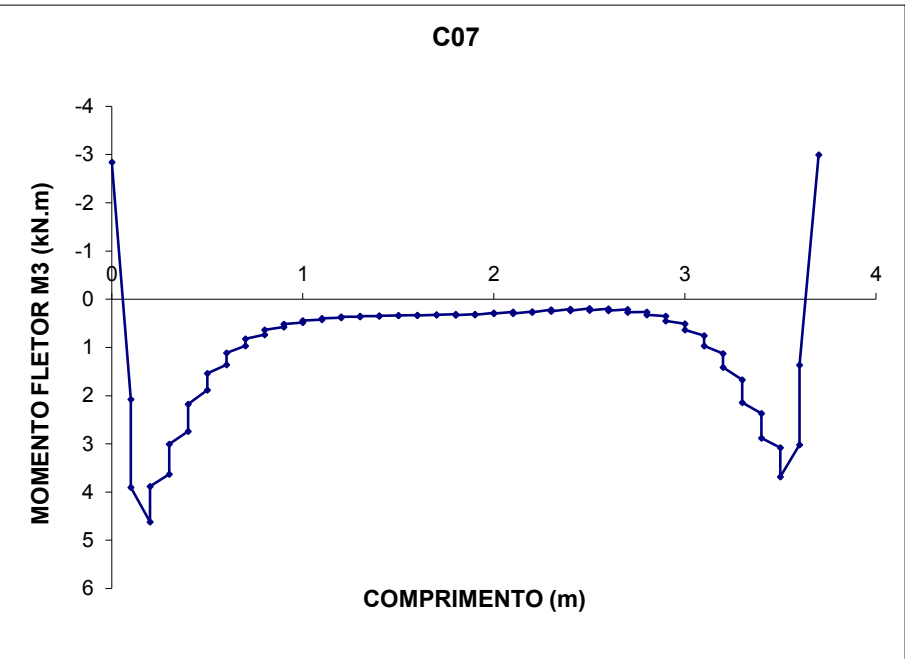
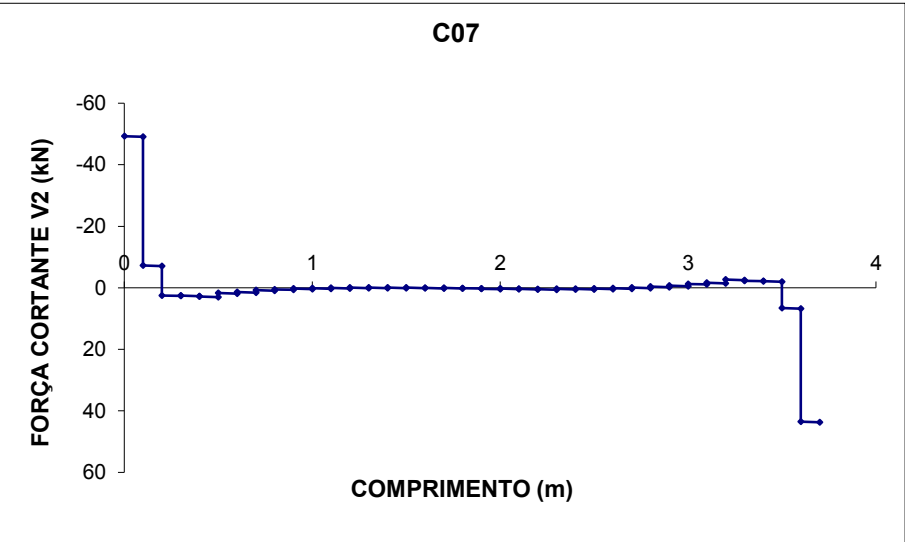
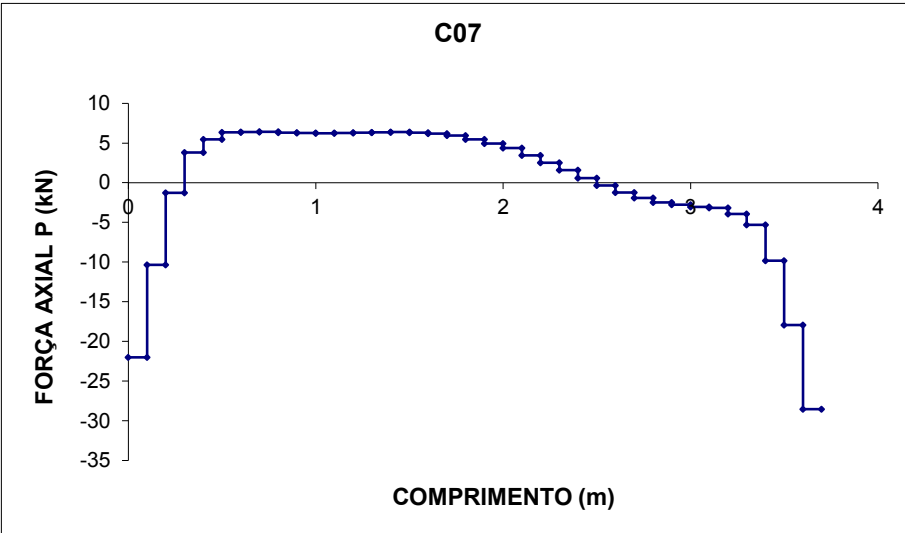
C06			
Comp.	P	V2	M3
m	KN	KN	KN-m
0,0	-52,3	-65,3	-3,9
0,1	-52,3	-65,0	2,6
0,1	-34,0	-14,4	4,5
0,2	-34,0	-14,1	5,9
0,2	-19,1	-0,2	5,3
0,3	-19,1	0,0	5,3
0,3	-9,3	1,9	4,7
0,4	-9,3	2,1	4,5
0,4	-4,3	3,5	3,4
0,5	-4,3	3,3	3,8
0,5	-0,8	2,5	2,9
0,6	-0,8	2,7	2,7
0,6	1,1	2,2	2,3
0,7	1,1	2,4	2,0
0,7	2,5	1,5	1,8
0,8	2,5	1,7	1,6
0,8	3,3	1,1	1,4
0,9	3,3	1,4	1,3
0,9	3,9	1,0	1,0
1,0	3,9	0,8	1,1
1,0	4,3	0,5	0,9
1,1	4,3	0,8	0,8
1,1	4,6	0,3	0,8
1,2	4,6	0,6	0,7
1,2	4,8	0,2	0,7
1,3	4,8	0,5	0,6
1,3	5,0	0,1	0,6
1,4	5,0	0,4	0,5
1,4	5,2	0,1	0,5
1,5	5,2	0,3	0,5
1,5	5,4	0,0	0,5
1,6	5,4	0,2	0,5
1,6	5,5	0,0	0,4
1,7	5,5	0,2	0,4
1,7	5,6	-0,1	0,4
1,8	5,6	0,2	0,4
1,8	5,7	-0,1	0,4
1,9	5,7	0,1	0,4
1,9	5,8	-0,1	0,4
2,0	5,8	0,1	0,4
2,0	6,0	-0,1	0,4
2,1	6,0	0,1	0,4
2,1	6,1	-0,2	0,4
2,2	6,1	0,1	0,4
2,2	6,2	-0,2	0,4
2,3	6,2	0,0	0,4
2,3	6,3	-0,2	0,4
2,4	6,3	0,0	0,4
2,4	6,4	-0,2	0,4
2,5	6,4	0,0	0,4
2,5	6,5	-0,3	0,4
2,6	6,5	0,0	0,4
2,6	6,7	-0,3	0,4

C06 cont			
Comp.	P	V2	M3
m	KN	KN	KN-m
2,7	6,7	-0,1	0,4
2,7	6,8	-0,4	0,5
2,8	6,8	-0,1	0,5
2,8	6,9	-0,2	0,5
2,9	6,9	-0,4	0,5
2,9	7,1	-0,5	0,6
3,0	7,1	-0,3	0,6
2,9	6,9	-0,4	0,5
2,9	7,1	-0,5	0,6
3,0	7,1	-0,3	0,6
3,0	7,2	-0,6	0,6
3,1	7,2	-0,4	0,7
3,1	7,3	-0,8	0,7
3,2	7,3	-0,5	0,8
3,2	7,4	-1,0	0,9
3,3	7,4	-0,7	0,9
3,3	7,5	-1,2	1,0
3,4	7,5	-1,0	1,2
3,5	7,5	-1,4	1,4
3,5	7,5	-1,6	1,3
3,5	7,3	-2,0	1,6
3,6	7,3	-1,8	1,8
3,6	6,8	-2,7	2,1
3,7	6,8	-2,4	2,3
3,7	5,8	-3,0	2,7
3,8	5,8	-2,8	3,0
3,8	3,5	-3,7	3,4
3,9	3,5	-3,4	3,8
3,9	-0,3	-2,5	4,4
4,0	-0,3	-2,3	4,6
4,0	-8,2	-0,3	5,2
4,1	-8,2	0,0	5,2
4,1	-21,2	11,6	5,8
4,2	-21,2	11,8	4,6
4,3	-38,5	53,1	3,2
4,3	-38,5	53,3	-2,1



C07			
Comp.	P	V2	M3
m	KN	KN	KN-m
0,0	-22,0	-49,3	-2,8
0,1	-22,0	-49,1	2,1
0,1	-10,3	-7,3	3,9
0,2	-10,3	-7,1	4,6
0,2	-1,3	2,5	3,9
0,3	-1,3	2,7	3,6
0,3	3,8	2,6	3,0
0,4	3,8	2,8	2,7
0,4	5,5	2,9	2,2
0,5	5,5	3,1	1,9
0,5	6,4	1,7	1,5
0,6	6,4	1,9	1,4
0,6	6,4	1,3	1,1
0,7	6,4	1,5	1,0
0,7	6,4	0,7	0,8
0,8	6,4	0,9	0,7
0,8	6,3	0,5	0,6
0,9	6,3	0,7	0,6
0,9	6,3	0,2	0,5
1,0	6,3	0,4	0,5
1,0	6,2	0,1	0,4
1,1	6,2	0,3	0,4
1,1	6,3	0,0	0,4
1,2	6,3	0,2	0,4
1,2	6,3	0,0	0,4
1,3	6,3	0,1	0,4
1,3	6,4	-0,1	0,3
1,4	6,4	0,1	0,3
1,4	6,4	-0,1	0,3
1,5	6,4	0,1	0,3
1,5	6,3	-0,1	0,3
1,6	6,3	0,1	0,3
1,6	6,2	0,0	0,3
1,7	6,2	0,2	0,3
1,7	5,9	0,1	0,3
1,8	5,9	0,3	0,3
1,8	5,5	0,1	0,3
1,9	5,5	0,3	0,3
1,9	5,0	0,3	0,3
2,0	5,0	0,5	0,3
2,0	4,4	0,2	0,3
2,1	4,4	0,4	0,3
2,1	3,5	0,4	0,3
2,2	3,5	0,5	0,3
2,2	2,5	0,4	0,3
2,3	2,5	0,6	0,2
2,3	1,6	0,4	0,3
2,4	1,6	0,5	0,2
2,4	0,6	0,4	0,2
2,5	0,6	0,6	0,2
2,5	-0,3	0,3	0,2
2,6	-0,3	0,5	0,2
2,6	-1,2	0,1	0,2

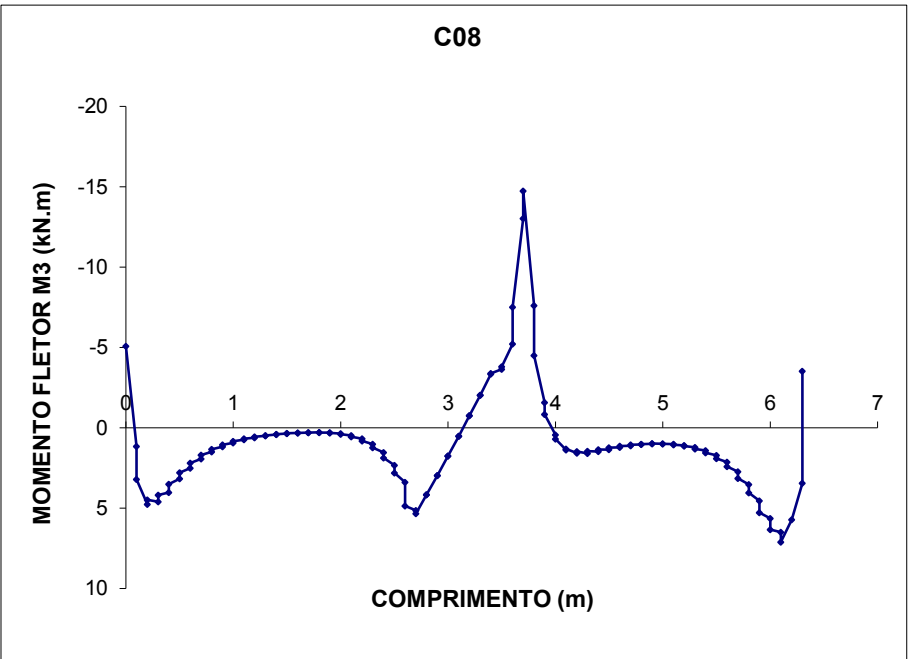
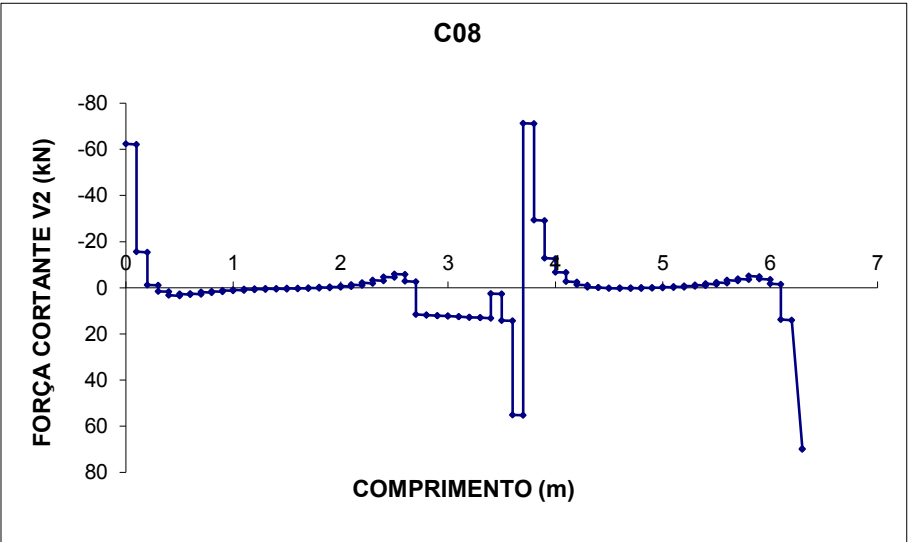
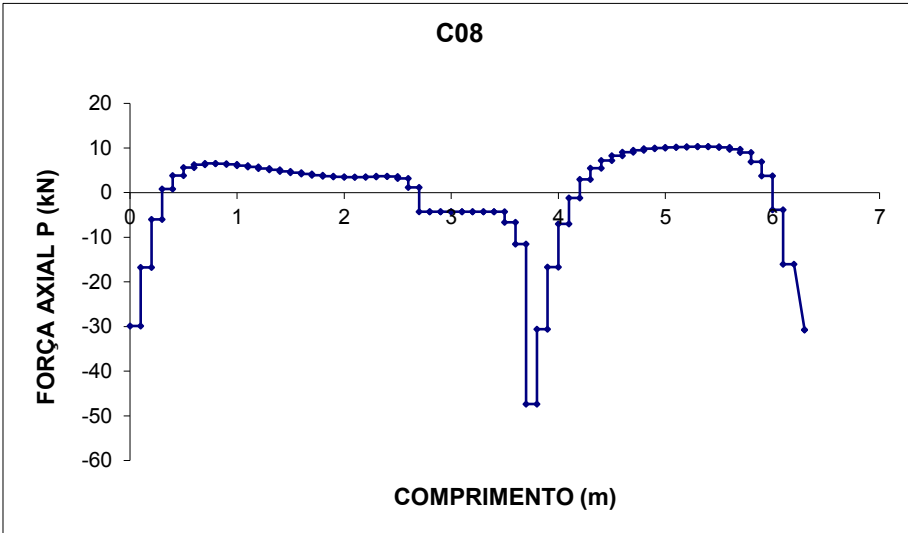
C07 cont			
Comp.	P	V2	M3
m	KN	KN	KN-m
2,7	-1,2	0,3	0,2
2,7	-1,9	0,0	0,3
2,8	-1,9	0,1	0,3
2,8	-2,5	-0,4	0,3
2,9	-2,5	-0,2	0,4
2,9	-2,8	-0,7	0,5
3,0	-2,8	-0,5	0,5
3,0	-3,0	-1,3	0,6
3,1	-3,0	-1,1	0,8
3,1	-3,2	-1,7	1,0
3,2	-3,2	-1,5	1,1
3,2	-3,9	-2,7	1,4
3,3	-3,9	-2,5	1,7
3,3	-5,3	-2,3	2,1
3,4	-5,3	-2,1	2,4
3,4	-9,8	-2,1	2,9
3,5	-9,8	-1,9	3,1
3,5	-17,9	6,6	3,7
3,6	-17,9	6,8	3,0
3,6	-28,5	43,5	1,4
3,7	-28,5	43,7	-3,0



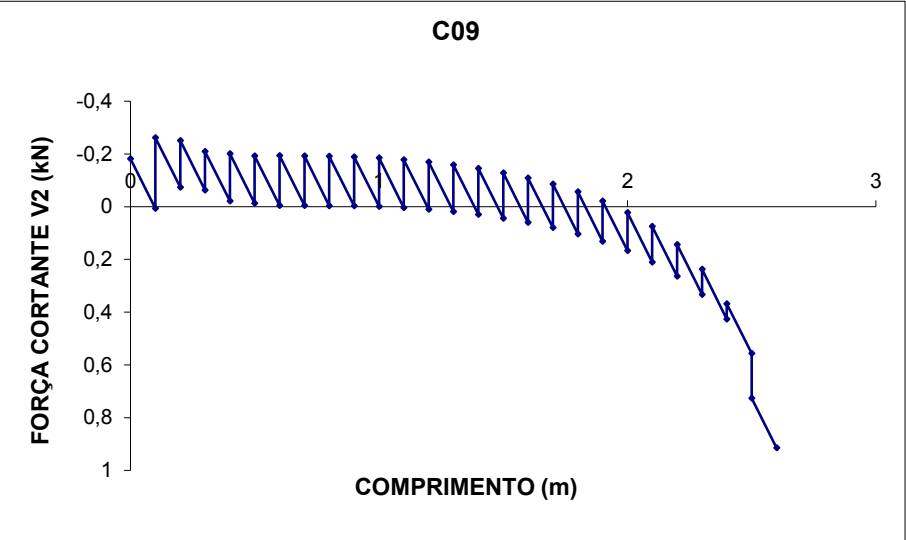
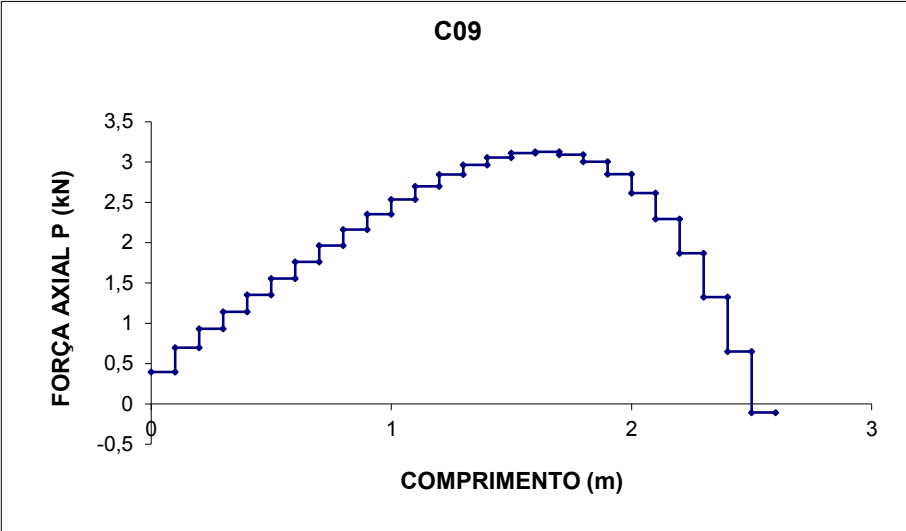
C08			
Comp.	P	V2	M3
m	KN	KN	KN-m
0,0	-29,9	-62,4	-5,1
0,1	-29,9	-62,1	1,2
0,1	-16,8	-15,6	3,2
0,2	-16,8	-15,4	4,8
0,2	-6,0	-1,0	4,6
0,3	-6,0	-1,3	4,5
0,3	0,8	1,5	4,2
0,4	0,8	1,8	4,0
0,4	3,8	3,3	3,5
0,5	3,8	3,5	3,2
0,5	5,7	2,7	2,8
0,6	5,7	3,0	2,5
0,6	6,3	2,5	2,2
0,7	6,3	2,7	1,9
0,7	6,6	1,9	1,7
0,8	6,6	2,1	1,5
0,8	6,5	1,5	1,3
0,9	6,5	1,7	1,2
0,9	6,3	1,1	1,1
1,0	6,3	1,3	0,9
1,0	6,1	0,9	0,8
1,1	6,1	1,1	0,7
1,1	5,8	0,6	0,7
1,2	5,8	0,9	0,6
1,2	5,4	0,5	0,6
1,3	5,4	0,7	0,5
1,3	5,1	0,4	0,5
1,4	5,1	0,6	0,4
1,4	4,8	0,3	0,4
1,5	4,8	0,5	0,4
1,5	4,5	0,2	0,3
1,6	4,5	0,4	0,3
1,6	4,2	0,1	0,3
1,7	4,2	0,3	0,3
1,7	3,9	0,0	0,3
1,8	3,9	0,2	0,3
1,8	3,7	-0,2	0,3
1,9	3,7	0,0	0,3
1,9	3,6	-0,4	0,3
2,0	3,6	-0,2	0,4
2,0	3,5	-0,8	0,4
2,1	3,5	-0,6	0,5
2,1	3,5	-1,3	0,6
2,2	3,5	-1,1	0,7
2,2	3,6	-2,2	0,8
2,3	3,6	-1,9	1,0
2,3	3,7	-3,3	1,2
2,4	3,7	-3,0	1,5
2,4	3,6	-4,8	1,9
2,5	3,6	-4,5	2,3
2,5	3,2	-6,0	2,8
2,6	3,2	-5,7	3,4
2,6	1,2	-2,9	4,9

C08 cont			
Comp.	P	V2	M3
m	KN	KN	KN-m
2,7	1,2	-2,6	5,1
2,7	-4,3	11,6	5,3
2,8	-4,3	11,8	4,2
2,8	-4,3	11,8	4,2
2,9	-4,3	12,1	3,0
2,9	-4,3	12,1	3,0
3,0	-4,3	12,3	1,8
3,0	-4,3	12,5	0,5
3,1	-4,3	12,3	1,8
3,1	-4,3	12,5	0,5
3,2	-4,3	12,8	-0,8
3,2	-4,3	12,8	-0,8
3,3	-4,3	13,0	-2,0
3,3	-4,3	13,0	-2,0
3,4	-4,3	13,2	-3,3
3,4	-4,3	2,5	-3,4
3,5	-4,3	2,7	-3,6
3,5	-6,7	14,4	-5,2
3,6	-6,7	14,1	-3,8
3,6	-11,5	55,0	-7,5
3,7	-11,5	55,3	-13,0
3,7	-47,3	-71,3	-14,7
3,8	-47,3	-71,1	-7,6
3,8	-30,6	-29,3	-4,5
3,9	-30,6	-29,1	-1,6
3,9	-16,7	-12,7	0,4
4,0	-16,7	-12,9	-0,8
4,0	-7,0	-6,8	0,7
4,1	-7,0	-6,6	1,4
4,1	-1,2	-2,7	1,3
4,2	-1,2	-2,5	1,6
4,2	3,0	-1,3	1,5
4,3	3,0	-1,1	1,6
4,3	5,5	-0,3	1,5
4,4	5,5	-0,1	1,5
4,4	7,2	0,2	1,3
4,5	7,2	-0,1	1,4
4,5	8,3	0,4	1,2
4,6	8,3	0,1	1,2
4,6	9,1	0,1	1,1
4,7	9,1	0,3	1,1
4,7	9,5	0,1	1,1
4,8	9,5	0,3	1,0
4,8	9,8	-0,1	1,0
4,9	9,8	0,2	1,0
4,9	10,0	-0,2	1,0
5,0	10,0	0,1	1,0
5,0	10,2	-0,1	1,0
5,1	10,2	-0,4	1,0
5,1	10,2	-0,5	1,0
5,2	10,2	-0,3	1,1
5,2	10,3	-0,9	1,1
5,3	10,3	-0,6	1,2

C08 cont			
Comp.	P	V2	M3
m	KN	KN	KN-m
5,3	10,3	-1,2	1,3
5,4	10,3	-0,9	1,4
5,4	10,3	-1,7	1,5
5,5	10,3	-1,5	1,7
5,5	10,2	-2,3	1,9
5,6	10,2	-2,1	2,1
5,6	9,7	-3,0	2,7
5,7	9,7	-3,3	2,4
5,7	9,0	-3,6	3,5
5,8	9,0	-3,9	3,1
5,8	7,0	-5,1	4,0
5,9	7,0	-4,8	4,5
5,9	3,8	-3,8	5,3
6,0	3,8	-3,6	5,6
6,0	-3,8	-1,8	6,3
6,1	-3,8	-1,5	6,5
6,1	-16,0	13,8	7,1
6,2	-16,0	14,0	5,7
6,3	-30,7	69,7	3,5
6,3	-30,7	70,0	-3,5

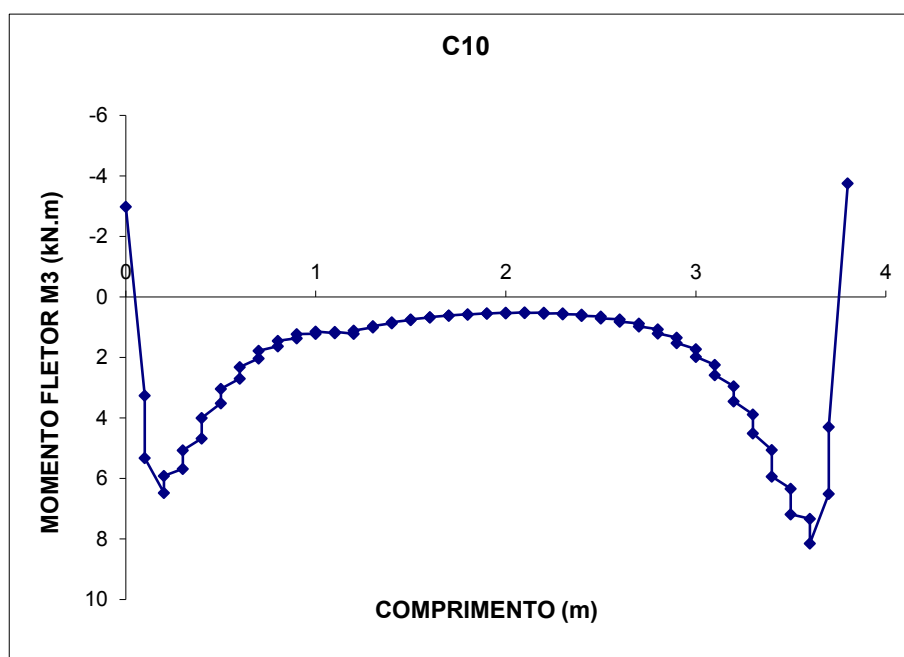
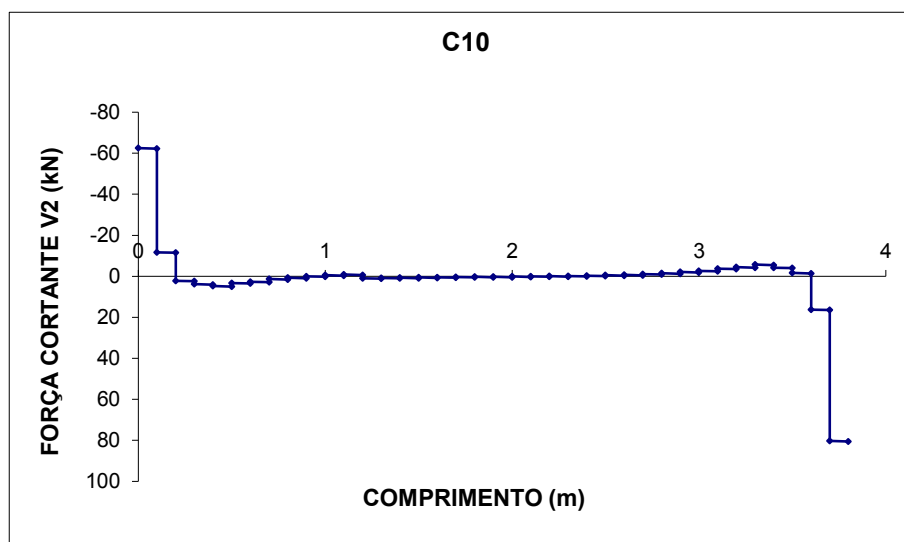
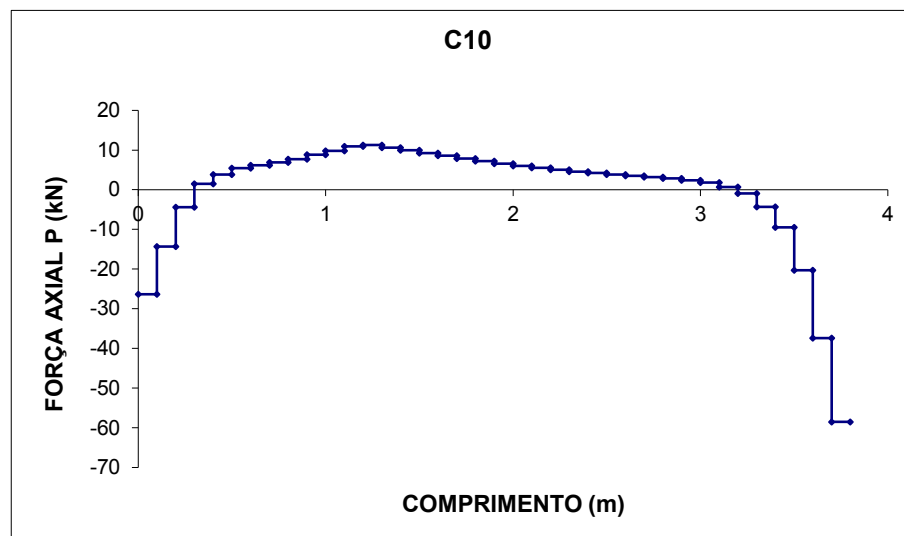


C09			
Comp.	P	V2	M3
m	KN	KN	KN-m
0,0	0,4	-0,2	0,0
0,1	0,4	0,0	0,0
0,1	0,7	-0,3	0,0
0,2	0,7	-0,1	0,0
0,2	0,9	-0,3	0,0
0,3	0,9	-0,1	0,0
0,3	1,1	-0,2	0,0
0,4	1,1	0,0	0,0
0,4	1,4	-0,2	0,0
0,5	1,4	0,0	0,0
0,5	1,6	-0,2	0,0
0,6	1,6	0,0	0,0
0,6	1,8	-0,2	0,0
0,7	1,8	0,0	0,0
0,7	2,0	-0,2	0,0
0,8	2,0	0,0	0,0
0,8	2,2	-0,2	0,0
0,9	2,2	0,0	0,0
0,9	2,4	-0,2	0,0
1,0	2,4	0,0	0,1
1,0	2,5	-0,2	0,0
1,1	2,5	0,0	0,1
1,1	2,7	-0,2	0,1
1,2	2,7	0,0	0,1
1,2	2,8	-0,2	0,1
1,3	2,8	0,0	0,1
1,3	3,0	-0,2	0,1
1,4	3,0	0,0	0,1
1,4	3,1	-0,1	0,1
1,5	3,1	0,0	0,1
1,5	3,1	-0,1	0,1
1,6	3,1	0,1	0,1
1,6	3,1	-0,1	0,1
1,7	3,1	0,1	0,1
1,7	3,1	-0,1	0,1
1,8	3,1	0,1	0,1
1,8	3,0	-0,1	0,1
1,9	3,0	0,1	0,1
1,9	2,8	0,0	0,1
2,0	2,8	0,2	0,1
2,0	2,6	0,0	0,1
2,1	2,6	0,2	0,1
2,1	2,3	0,1	0,1
2,2	2,3	0,3	0,1
2,2	1,9	0,1	0,1
2,3	1,9	0,3	0,1
2,3	1,3	0,2	0,1
2,4	1,3	0,4	0,0
2,4	0,6	0,4	0,1
2,5	0,6	0,6	0,0
2,5	-0,1	0,7	0,0
2,6	-0,1	0,9	-0,1

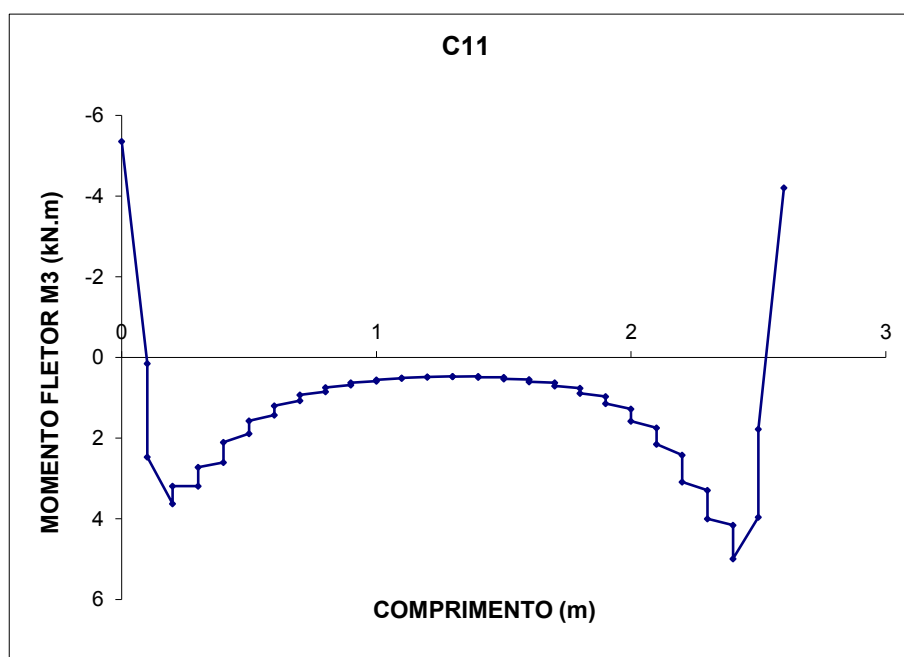
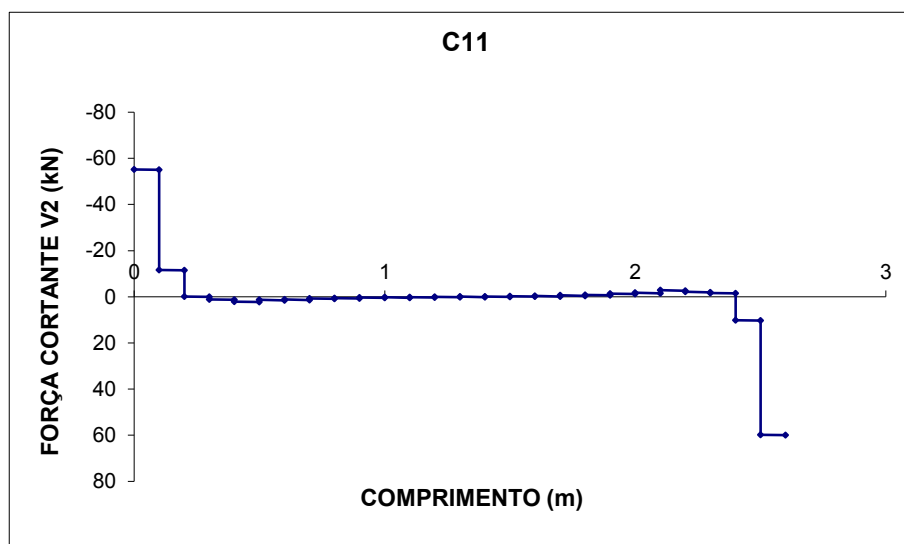
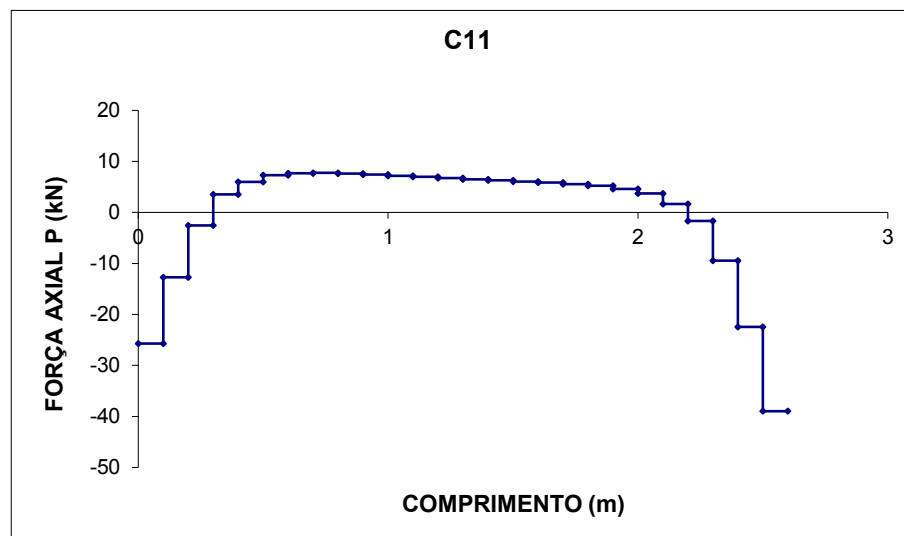


C10			
Comp.	P	V2	M3
m	KN	KN	KN-m
0,0	-26,3	-62,5	-3,0
0,1	-26,3	-62,3	3,3
0,1	-14,3	-11,7	5,3
0,2	-14,3	-11,5	6,5
0,2	-4,4	2,2	5,9
0,3	-4,4	2,4	5,7
0,3	1,5	3,8	5,1
0,4	1,5	4,1	4,7
0,4	3,8	4,8	4,0
0,5	3,8	5,0	3,5
0,5	5,4	3,3	3,0
0,6	5,4	3,5	2,7
0,6	6,1	2,7	2,3
0,7	6,1	2,9	2,0
0,7	6,9	1,4	1,8
0,8	6,9	1,6	1,6
0,8	7,7	0,7	1,4
0,9	7,7	1,0	1,4
0,9	8,8	0,0	1,2
1,0	8,8	0,3	1,2
1,0	9,8	-0,6	1,1
1,1	9,8	-0,3	1,2
1,1	11,0	-0,8	1,1
1,2	11,0	-0,6	1,2
1,2	11,3	1,0	1,1
1,3	11,3	1,2	1,0
1,3	10,6	0,8	1,0
1,4	10,6	1,0	0,9
1,4	9,9	0,7	0,8
1,5	9,9	0,9	0,8
1,5	9,3	0,5	0,7
1,6	9,3	0,8	0,7
1,6	8,6	0,4	0,7
1,7	8,6	0,7	0,6
1,7	7,9	0,4	0,6
1,8	7,9	0,6	0,6
1,8	7,2	0,3	0,6
1,9	7,2	0,5	0,5
1,9	6,6	0,2	0,5
2,0	6,6	0,4	0,5
2,0	6,0	0,1	0,5
2,1	6,0	0,4	0,5
2,1	5,5	0,0	0,5
2,2	5,5	0,3	0,5
2,2	5,0	-0,1	0,5
2,3	5,0	0,2	0,5
2,3	4,6	-0,2	0,6
2,4	4,6	0,0	0,6
2,4	4,2	-0,3	0,6
2,5	4,2	-0,1	0,6
2,5	3,8	-0,5	0,7
2,6	3,8	-0,3	0,7
2,6	3,5	-0,7	0,8

C10 cont			
Comp.	P	V2	M3
m	KN	KN	KN-m
2,7	3,5	-0,5	0,9
2,7	3,2	-1,1	1,0
2,8	3,2	-0,8	1,1
2,8	2,9	-1,4	1,2
2,9	2,9	-1,2	1,3
2,9	2,4	-2,1	1,5
3,0	2,4	-1,8	1,7
3,0	1,8	-2,7	2,0
3,1	1,8	-2,4	2,2
3,1	0,7	-3,8	2,6
3,2	0,7	-3,5	2,9
3,2	-0,9	-4,4	3,4
3,3	-0,9	-4,2	3,9
3,3	-4,3	-5,7	4,5
3,4	-4,3	-5,5	5,1
3,4	-9,5	-4,2	5,9
3,5	-9,5	-3,9	6,3
3,5	-20,3	-1,6	7,2
3,6	-20,3	-1,4	7,3
3,6	-37,4	16,2	8,1
3,7	-37,4	16,5	6,5
3,7	-58,5	80,3	4,3
3,8	-58,5	80,5	-3,8

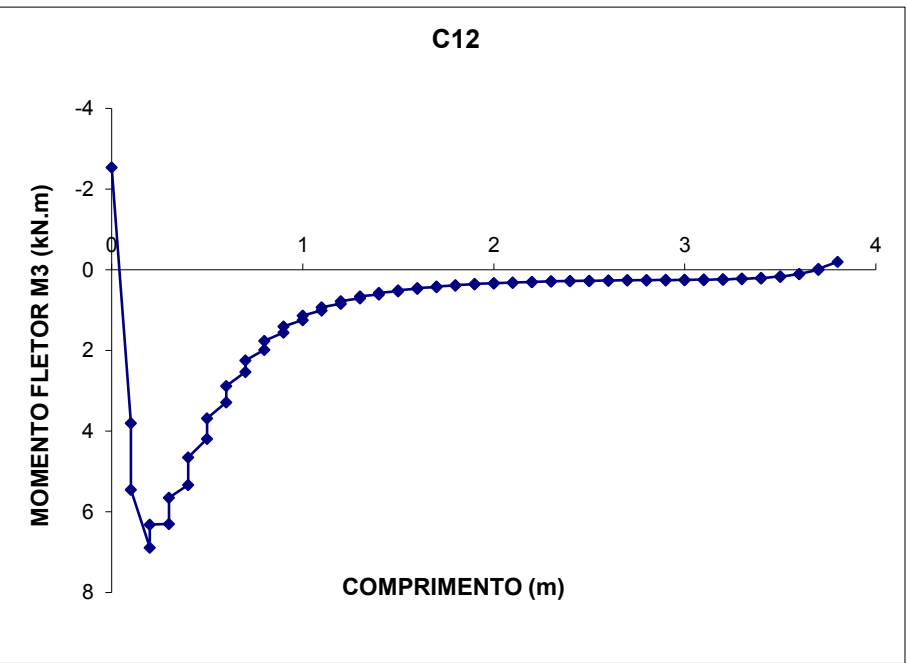
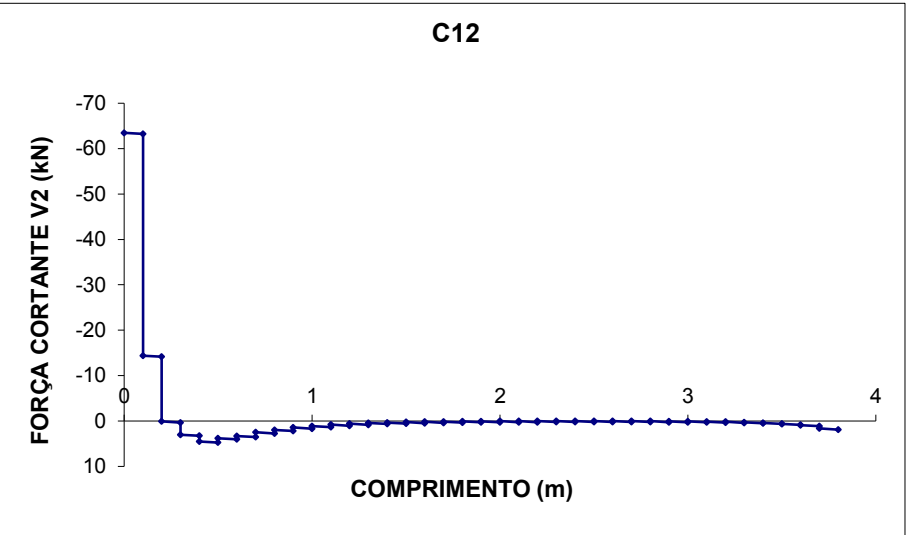
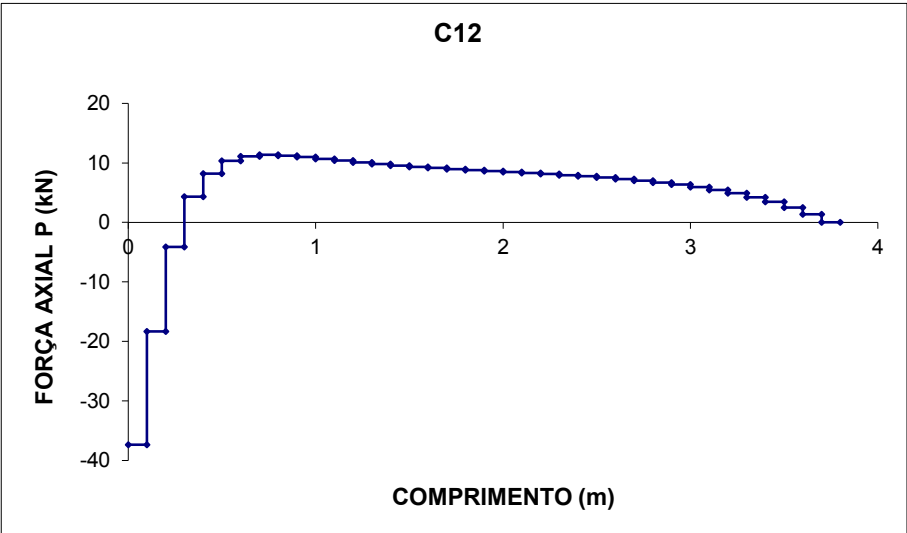


C11			
Comp.	P	V2	M3
m	KN	KN	KN-m
0,0	-25,7	-55,2	-5,4
0,1	-25,7	-55,0	0,1
0,1	-12,7	-11,7	2,5
0,2	-12,7	-11,5	3,6
0,2	-2,5	-0,1	3,2
0,3	-2,5	0,1	3,2
0,3	3,6	1,1	2,7
0,4	3,6	1,3	2,6
0,4	6,0	2,1	2,1
0,5	6,0	2,3	1,9
0,5	7,3	1,3	1,6
0,6	7,3	1,5	1,4
0,6	7,6	1,2	1,2
0,7	7,6	1,4	1,1
0,7	7,8	0,7	0,9
0,8	7,8	0,9	0,8
0,8	7,6	0,5	0,7
0,9	7,6	0,7	0,7
0,9	7,4	0,3	0,6
1,0	7,4	0,5	0,6
1,0	7,2	0,2	0,6
1,1	7,2	0,4	0,5
1,1	7,0	0,1	0,5
1,2	7,0	0,3	0,5
1,2	6,7	0,0	0,5
1,3	6,7	0,2	0,5
1,3	6,5	0,0	0,5
1,4	6,5	0,1	0,5
1,4	6,3	-0,1	0,5
1,5	6,3	0,1	0,5
1,5	6,0	-0,2	0,5
1,6	6,0	-0,1	0,5
1,6	5,8	-0,4	0,6
1,7	5,8	-0,2	0,6
1,7	5,5	-0,6	0,7
1,8	5,5	-0,4	0,8
1,8	5,2	-0,8	0,9
1,9	5,2	-0,6	1,0
1,9	4,6	-1,4	1,1
2,0	4,6	-1,2	1,3
2,0	3,7	-1,7	1,6
2,1	3,7	-1,5	1,7
2,1	1,6	-2,8	2,1
2,2	1,6	-2,6	2,4
2,2	-1,7	-2,2	3,1
2,3	-1,7	-2,0	3,3
2,3	-9,5	-1,7	4,0
2,4	-9,5	-1,5	4,2
2,4	-22,4	10,2	5,0
2,5	-22,4	10,4	4,0
2,5	-39,0	59,8	1,8
2,6	-39,0	60,0	-4,2

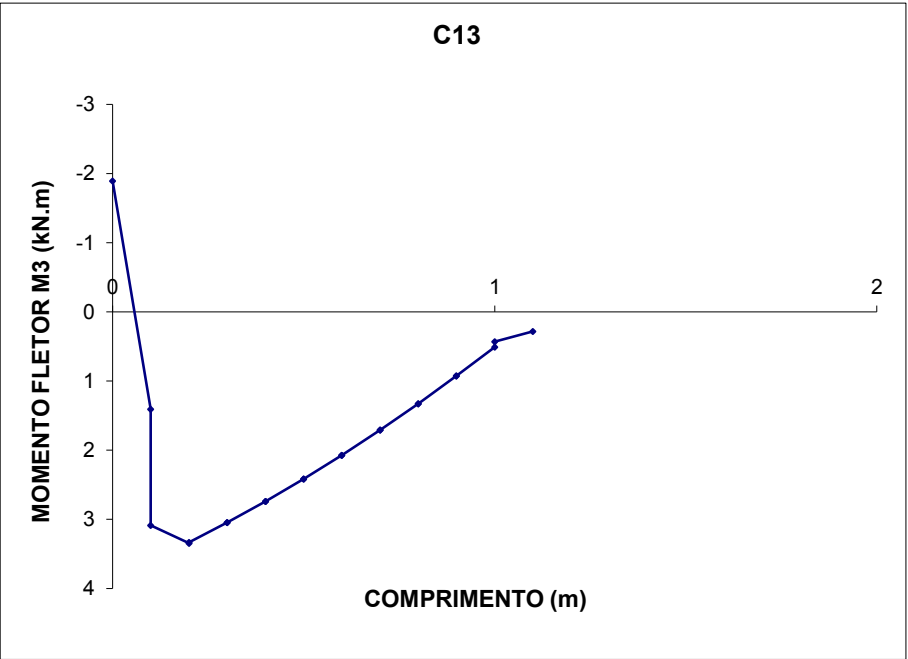
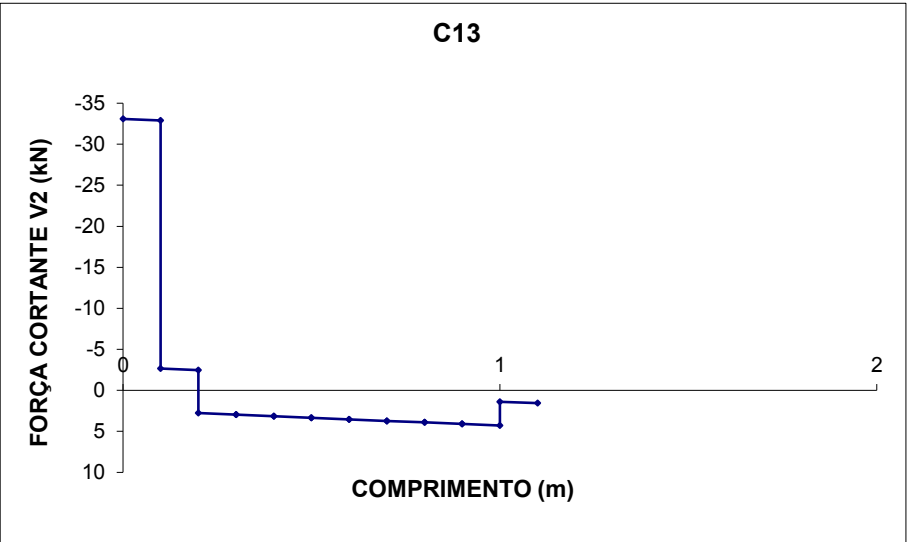
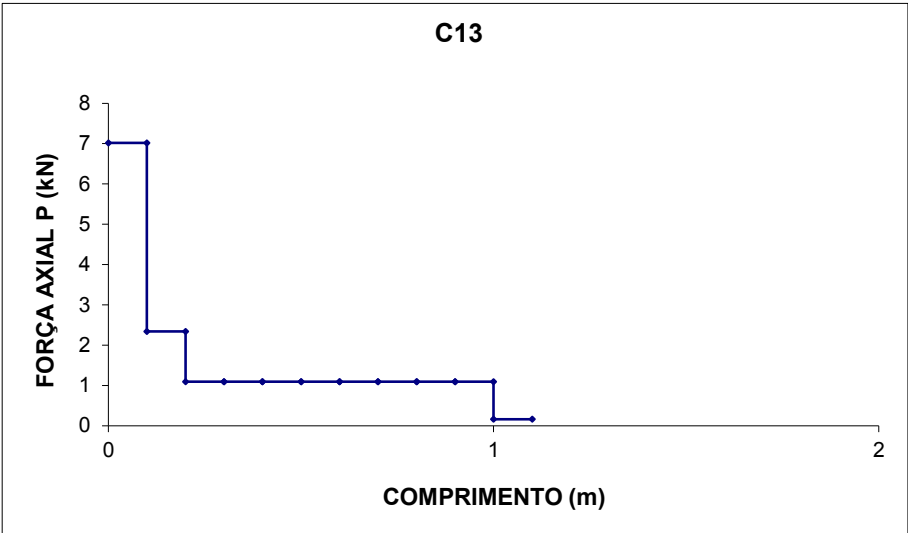


C12			
Comp.	P	V2	M3
m	KN	KN	KN-m
0,0	-37,3	-63,5	-2,5
0,1	-37,3	-63,2	3,8
0,1	-18,3	-14,4	5,5
0,2	-18,3	-14,2	6,9
0,2	-4,1	0,1	6,3
0,3	-4,1	0,3	6,3
0,3	4,3	3,0	5,6
0,4	4,3	3,3	5,3
0,4	8,2	4,5	4,6
0,5	8,2	4,8	4,2
0,5	10,4	3,8	3,7
0,6	10,4	4,0	3,3
0,6	11,1	3,3	2,9
0,7	11,1	3,6	2,5
0,7	11,4	2,5	2,2
0,8	11,4	2,7	2,0
0,8	11,2	2,0	1,8
0,9	11,2	2,2	1,6
0,9	11,0	1,4	1,4
1,0	11,0	1,7	1,2
1,0	10,7	1,1	1,1
1,1	10,7	1,3	1,0
1,1	10,4	0,8	0,9
1,2	10,4	1,0	0,8
1,2	10,1	0,6	0,8
1,3	10,1	0,8	0,7
1,3	9,8	0,4	0,7
1,4	9,8	0,7	0,6
1,4	9,6	0,3	0,6
1,5	9,6	0,6	0,5
1,5	9,3	0,2	0,5
1,6	9,3	0,5	0,5
1,6	9,1	0,2	0,5
1,7	9,1	0,4	0,4
1,7	9,0	0,1	0,4
1,8	9,0	0,4	0,4
1,8	8,8	0,1	0,4
1,9	8,8	0,3	0,4
1,9	8,6	0,1	0,4
2,0	8,6	0,3	0,3
2,0	8,5	0,0	0,3
2,1	8,5	0,3	0,3
2,1	8,3	0,0	0,3
2,2	8,3	0,2	0,3
2,2	8,1	0,0	0,3
2,3	8,1	0,2	0,3
2,3	7,9	0,0	0,3
2,4	7,9	0,2	0,3
2,4	7,8	0,0	0,3
2,5	7,8	0,2	0,3
2,5	7,5	0,0	0,3
2,6	7,5	0,2	0,3
2,6	7,3	0,0	0,3

C12 cont			
Comp.	P	V2	M3
m	KN	KN	KN-m
2,7	7,3	0,2	0,3
2,7	7,0	0,0	0,3
2,8	7,0	0,2	0,3
2,8	6,7	0,0	0,3
2,9	6,7	0,3	0,2
2,9	6,4	0,0	0,3
3,0	6,4	0,3	0,2
3,0	5,9	0,1	0,3
3,1	5,9	0,3	0,2
3,1	5,5	0,1	0,3
3,2	5,5	0,4	0,2
3,2	4,9	0,2	0,2
3,3	4,9	0,4	0,2
3,3	4,2	0,3	0,2
3,4	4,2	0,5	0,2
3,4	3,4	0,4	0,2
3,5	3,4	0,6	0,2
3,5	2,5	0,6	0,2
3,6	2,5	0,8	0,1
3,6	1,4	0,9	0,1
3,7	1,4	1,2	0,0
3,7	0,0	1,6	0,0
3,8	0,0	1,9	-0,2

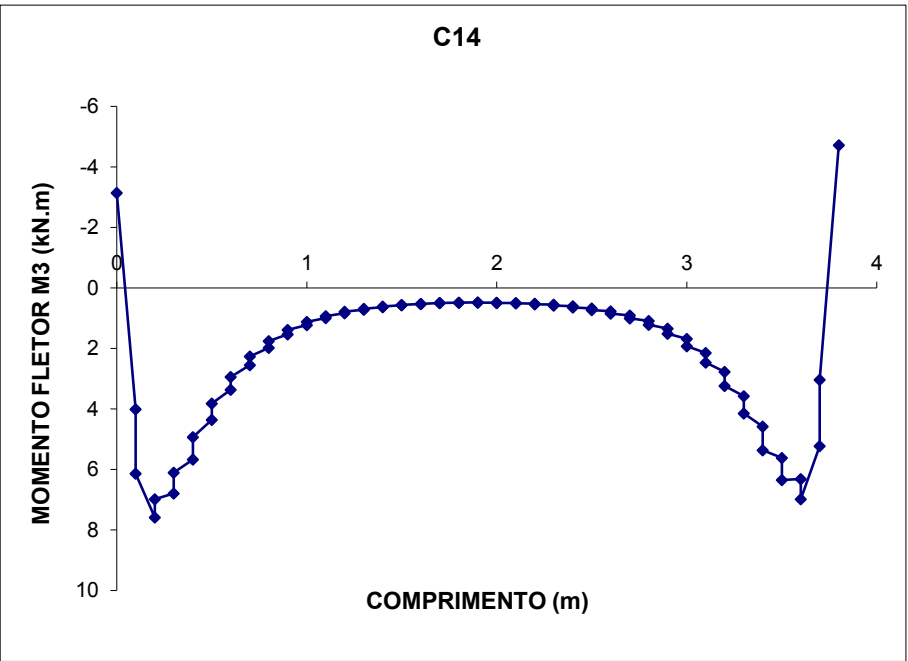
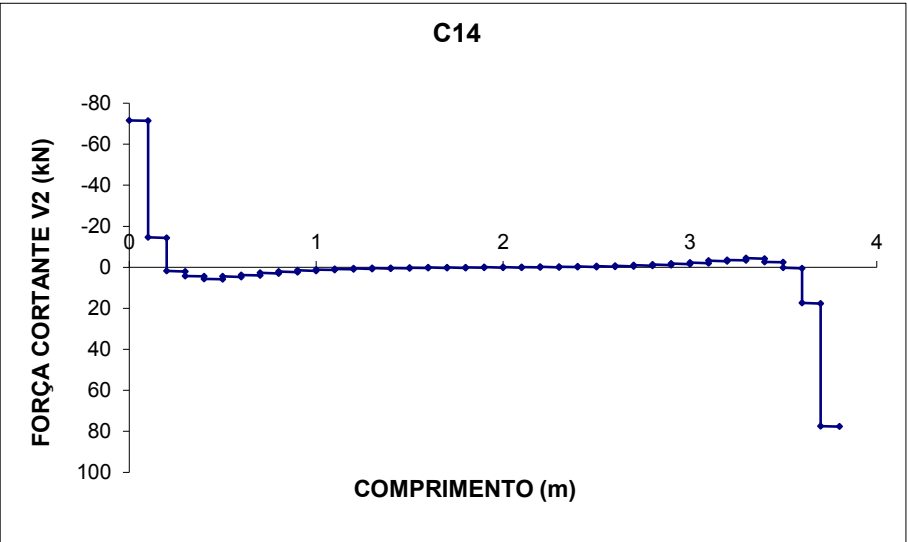
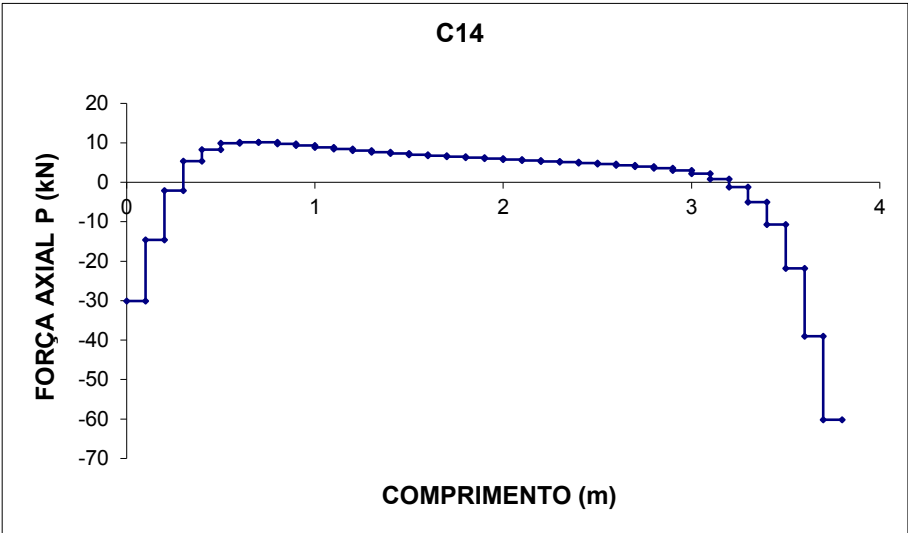


C13			
Comp.	P	V2	M3
m	KN	KN	KN-m
0,0	7,0	-33,1	-1,9
0,1	7,0	-32,9	1,4
0,1	2,3	-2,7	3,1
0,2	2,3	-2,5	3,3
0,2	1,1	2,8	3,3
0,3	1,1	3,0	3,0
0,3	1,1	3,0	3,0
0,4	1,1	3,2	2,7
0,4	1,1	3,2	2,7
0,5	1,1	3,3	2,4
0,5	1,1	3,3	2,4
0,6	1,1	3,5	2,1
0,6	1,1	3,5	2,1
0,7	1,1	3,7	1,7
0,7	1,1	3,7	1,7
0,8	1,1	3,9	1,3
0,8	1,1	3,9	1,3
0,9	1,1	4,1	0,9
0,9	1,1	4,1	0,9
1,0	1,1	4,3	0,5
1,0	0,2	1,4	0,4
1,1	0,2	1,6	0,3



C14			
Comp.	P	V2	M3
m	KN	KN	KN-m
0,0	-30,1	-71,6	-3,1
0,1	-30,1	-71,4	4,0
0,1	-14,6	-14,6	6,1
0,2	-14,6	-14,4	7,6
0,2	-2,1	1,8	7,0
0,3	-2,1	2,0	6,8
0,3	5,4	4,2	6,1
0,4	5,4	4,5	5,7
0,4	8,3	5,6	4,9
0,5	8,3	5,8	4,4
0,5	9,9	4,4	3,8
0,6	9,9	4,6	3,4
0,6	10,2	3,8	2,9
0,7	10,2	4,0	2,6
0,7	10,1	2,7	2,3
0,8	10,1	3,0	2,0
0,8	9,7	2,1	1,8
0,9	9,7	2,3	1,5
0,9	9,3	1,5	1,4
1,0	9,3	1,7	1,2
1,0	8,8	1,1	1,1
1,1	8,8	1,4	1,0
1,1	8,4	0,8	0,9
1,2	8,4	1,0	0,8
1,2	8,0	0,6	0,8
1,3	8,0	0,8	0,7
1,3	7,7	0,4	0,7
1,4	7,7	0,6	0,6
1,4	7,3	0,3	0,6
1,5	7,3	0,5	0,6
1,5	7,0	0,2	0,6
1,6	7,0	0,4	0,5
1,6	6,7	0,1	0,5
1,7	6,7	0,3	0,5
1,7	6,5	0,0	0,5
1,8	6,5	0,3	0,5
1,8	6,2	0,0	0,5
1,9	6,2	0,2	0,5
1,9	6,0	-0,1	0,5
2,0	6,0	0,2	0,5
2,0	5,8	-0,1	0,5
2,1	5,8	0,1	0,5
2,1	5,5	-0,2	0,5
2,2	5,5	0,1	0,5
2,2	5,3	-0,2	0,5
2,3	5,3	0,0	0,6
2,3	5,1	-0,3	0,6
2,4	5,1	-0,1	0,6
2,4	4,9	-0,4	0,6
2,5	4,9	-0,2	0,7
2,5	4,6	-0,6	0,7
2,6	4,6	-0,3	0,8
2,6	4,3	-0,7	0,8

C14 cont			
Comp.	P	V2	M3
m	KN	KN	KN-m
2,7	4,3	-0,5	0,9
2,7	4,0	-1,0	1,0
2,8	4,0	-0,8	1,1
2,8	3,6	-1,3	1,2
2,9	3,6	-1,1	1,3
2,9	3,0	-1,8	1,5
3,0	3,0	-1,6	1,7
3,0	2,2	-2,3	1,9
3,1	2,2	-2,1	2,1
3,1	0,8	-3,2	2,5
3,2	0,8	-2,9	2,8
3,2	-1,2	-3,6	3,2
3,3	-1,2	-3,3	3,6
3,3	-5,0	-4,5	4,1
3,4	-5,0	-4,2	4,6
3,4	-10,7	-2,7	5,4
3,5	-10,7	-2,4	5,6
3,5	-21,8	0,2	6,3
3,6	-21,8	0,4	6,3
3,6	-39,0	17,4	7,0
3,7	-39,0	17,7	5,2
3,7	-60,2	77,4	3,0
3,8	-60,2	77,7	-4,7



A análise mais realista de edifícios é de grande valia, pois permite a observação de situações não encontradas quando se estudam sistemas simples, como os de paredes sobre vigas biapoiadas encontrados na literatura. O estudo apresentado evidencia a complexidade do fenômeno denominado *efeito arco*. Demonstra a necessidade do uso de modelos de cálculo mais elaborados que permitam uma análise menos simplista deste efeito.

Não é muito simples definir parâmetros mais diretos para se analisar um sistema complexo. O que se percebeu foi uma grande influência da geometria das paredes nos resultados. Trechos com janelas, que na abordagem simplificada (sem a consideração do *efeito arco*) não carregam as vigas, agora contribuem na distribuição do carregamento.

5

AValiação dos Resultados Obtidos via Procedimentos Aproximados e Modelagem Tridimensional

5.1– Análise das Paredes

O estudo dos casos é fundamentado na comparação entre o modelo tradicionalmente desenvolvido em escritórios de projeto (cargas uniformemente distribuídas sobre as vigas do pavimento de concreto) com o modelo analisado tridimensionalmente, via método dos elementos finitos. Sendo assim, a análise permite verificar a influência do *efeito arco* nos resultados obtidos.

Quando foram obtidas as cargas verticais nas alvenarias, via procedimentos aproximados, apareceram somente esforços de compressão nas paredes. Nas análises das paredes considerando o *efeito arco* nota-se o aparecimento de esforços de tração e de compressão. Observou-se também que existe uma grande concentração de tensões verticais na região dos apoios, que é desprezada nos procedimentos aproximados.

Comparando-se os resultados obtidos para as paredes utilizando-se procedimentos aproximados com os resultados via método dos elementos finitos (análise tridimensional), percebe-se que os primeiros apresentam o dobro dos valores para as tensões. Mesmo assim, os procedimentos aproximados podem ser úteis em verificações rápidas da tensão máxima vertical em sistemas parede-viga. Pode-se sugerir que os valores determinados pelos procedimentos aproximados sejam menores que a tensão máxima de compressão da alvenaria.

5.2– Análise das Estruturas de Concreto

A maior vantagem ocasionada pela consideração do *efeito arco* ocorre no estudo dos momentos fletores. Com as paredes discretizadas como elementos de casca (placa + membrana), podem-se obter curvas de tensões na base das paredes. Apesar de não se ter calculado as armaduras, é bastante evidente a economia que se pode obter com a influência do *efeito arco*. Essa economia é bastante clara para o momento fletor positivo, embora também ocorram reduções no momento fletor negativo.

Os deslocamentos verticais encontrados se mostraram inferiores aos limites prescritos pela norma vigente (NBR 6118:2003). Observa-se que, na grande maioria das vigas, o *efeito arco* trabalha positivamente diminuindo os deslocamentos relativos.

Nos resultados obtidos para o esforço cortante, observou-se que a consideração do *efeito arco* pode promover diferenças significativas nos resultados. Na maioria dos casos, a consideração do *efeito arco* gerou, no meio do vão, valores de esforço cortante menores que os valores obtidos a partir dos modelos aproximados. Nos apoios, no entanto, as reações são semelhantes e por isso, não houve muita diferença nos valores de cortante nestes pontos. Considerando as reduções que a norma brasileira vigente (NBR 6118:2003) permite para o esforço cortante nos apoios para dimensionamento, o esforço cortante no meio do vão torna-se então, muito importante.

A análise desenvolvida levando em consideração o *efeito arco* permite verificar a aparição de esforços normais nas vigas, que é desprezado na análise simplificada.

Conforme exposto nos parágrafos anteriores, existem pontos favoráveis e desfavoráveis quando se considera o *efeito arco* na elaboração de modelos para alvenaria estrutural apoiada em pavimentos de concreto armado.

Torna-se evidente a necessidade de avaliar com mais atenção este tipo de estrutura, para que se possa dimensioná-la considerando os esforços reais, inclusive a concentração de tensões na alvenaria.

5.3– Outras Considerações nas Modelagens

Como neste exemplo numérico as paredes possuem os nós ligados aos nós das vigas (cintas) e não são considerados elementos de contato, foram realizados alguns modelos que consideram :

- a) rigidez relativa das vigas (figuras 5.1 e 5.2);
- b) desligamento das paredes com as cintas (figura 5.4).

Foi escolhida a cinta C14 com a sua respectiva parede, pois nesta parede não há aberturas e a cinta é biapoiada. Como abordado anteriormente no capítulo 3, o trecho de formação do *efeito arco* é na altura de 0,7 do vão, ou seja somente o primeiro pavimento seria necessário para mostrar a influência do mesmo na cinta.

Primeiramente, foi analisada a influência da rigidez da viga. Foram comparados os esforços para a cinta C14 com alturas de 1,0 (um) metro e de 3,0 (três) metros. Todos os parâmetros apresentados foram mantidos constantes, variando-se apenas a inércia da viga de apoio.

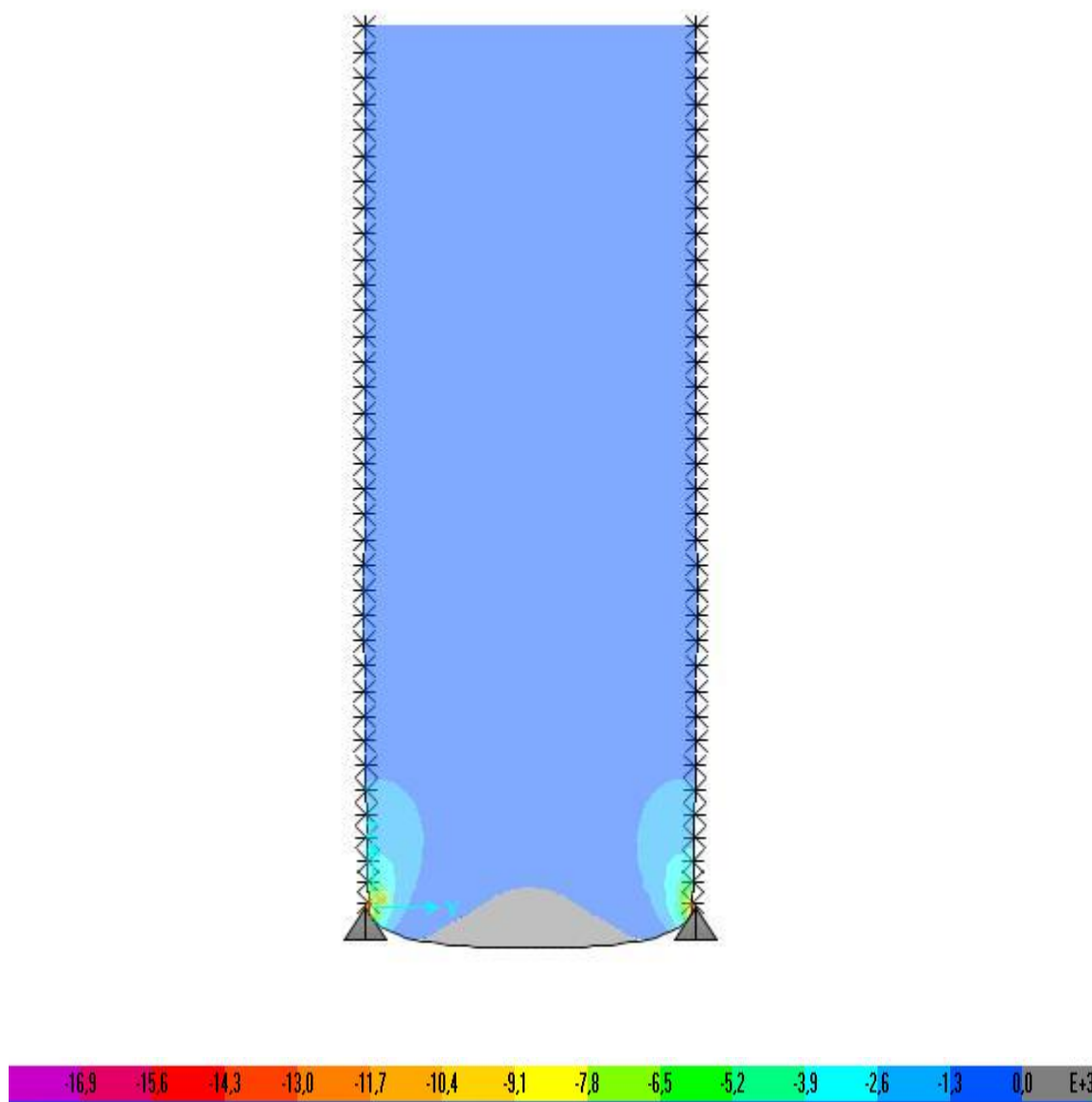
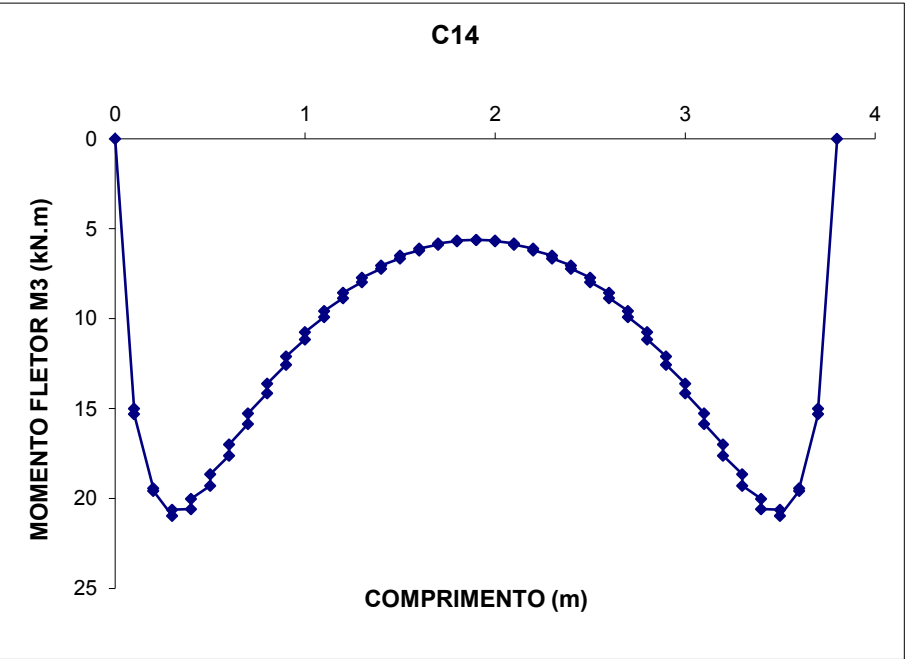
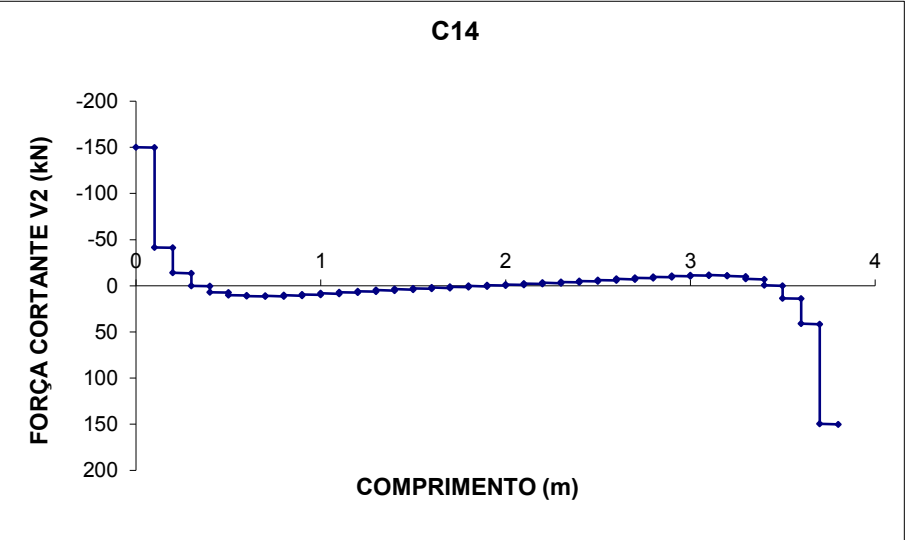
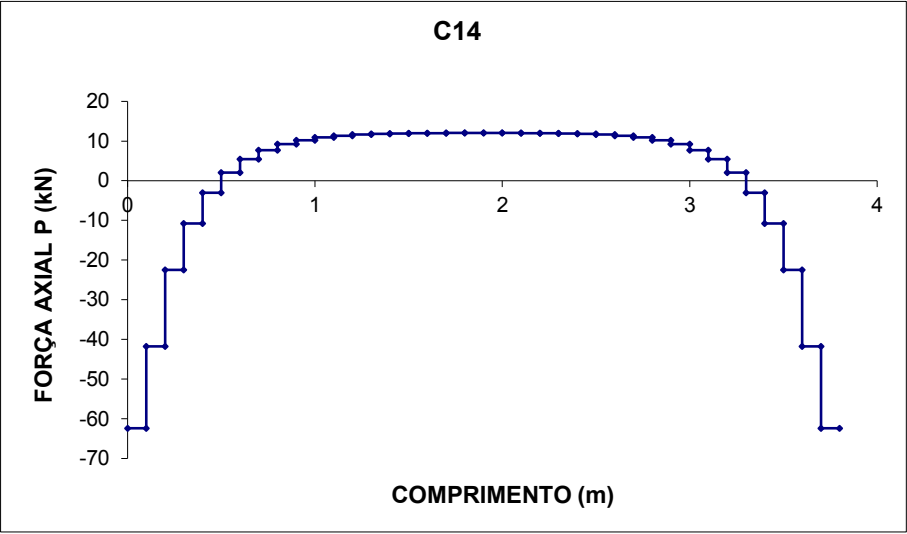


Figura 5.1 – Tensões verticais (kN/m^2) da parede sobre a cinta C14 com altura de 1,0m.

C14			
Comp.	P	V2	M3
m	KN	KN	KN-m
0,0	-62,4	-150,1	0,0
0,1	-62,4	-149,7	15,0
0,1	-41,7	-41,6	15,3
0,2	-41,7	-41,1	19,4
0,2	-22,5	-14,0	19,6
0,3	-22,5	-13,6	21,0
0,3	-10,7	0,1	20,6
0,4	-10,7	0,6	20,6
0,4	-3,0	7,0	20,0
0,5	-3,0	7,5	19,3
0,5	2,1	10,1	18,6
0,6	2,1	10,5	17,6
0,6	5,4	11,1	17,0
0,7	5,4	11,6	15,8
0,7	7,7	11,0	15,3
0,8	7,7	11,5	14,1
0,8	9,2	10,3	13,6
0,9	9,2	10,8	12,6
0,9	10,2	9,3	12,1
1,0	10,2	9,7	11,1
1,0	10,9	8,1	10,7
1,1	10,9	8,6	9,9
1,1	11,3	7,0	9,6
1,2	11,3	7,4	8,8
1,2	11,6	5,8	8,6
1,3	11,6	6,3	8,0
1,3	11,8	4,7	7,7
1,4	11,8	5,2	7,2
1,4	11,9	3,7	7,0
1,5	11,9	4,2	6,6
1,5	12,0	2,8	6,5
1,6	12,0	3,2	6,2
1,6	12,0	1,9	6,1
1,7	12,0	2,3	5,9
1,7	12,0	1,0	5,8
1,8	12,0	1,5	5,7
1,8	12,0	0,2	5,7
1,9	12,0	0,6	5,6
1,9	12,0	-0,6	5,6
2,0	12,0	-0,2	5,7
2,0	12,0	-1,5	5,7
2,1	12,0	-1,0	5,8
2,1	12,0	-2,3	5,9
2,2	12,0	-1,9	6,1
2,2	12,0	-3,2	6,2
2,3	12,0	-2,8	6,5
2,3	11,9	-4,2	6,6
2,4	11,9	-3,7	7,0
2,4	11,8	-5,2	7,2
2,5	11,8	-4,7	7,7
2,5	11,6	-6,3	8,0
2,6	11,6	-5,8	8,6
2,6	11,3	-7,4	8,8

C14 cont			
Comp.	P	V2	M3
m	KN	KN	KN-m
2,7	11,3	-7,0	9,6
2,7	10,9	-8,6	9,9
2,8	10,9	-8,1	10,7
2,8	10,2	-9,7	11,1
2,9	10,2	-9,3	12,1
2,9	9,2	-10,8	12,6
3,0	9,2	-10,3	13,6
3,0	7,7	-11,5	14,1
3,1	7,7	-11,0	15,3
3,1	5,4	-11,6	15,8
3,2	5,4	-11,1	17,0
3,2	2,1	-10,5	17,6
3,3	2,1	-10,1	18,6
3,3	-3,0	-7,5	19,3
3,4	-3,0	-7,0	20,0
3,4	-10,7	-0,6	20,6
3,5	-10,7	-0,1	20,6
3,5	-22,5	13,6	21,0
3,6	-22,5	14,0	19,6
3,6	-41,7	41,1	19,4
3,7	-41,7	41,6	15,3
3,7	-62,4	149,7	15,0
3,8	-62,4	150,1	0,0



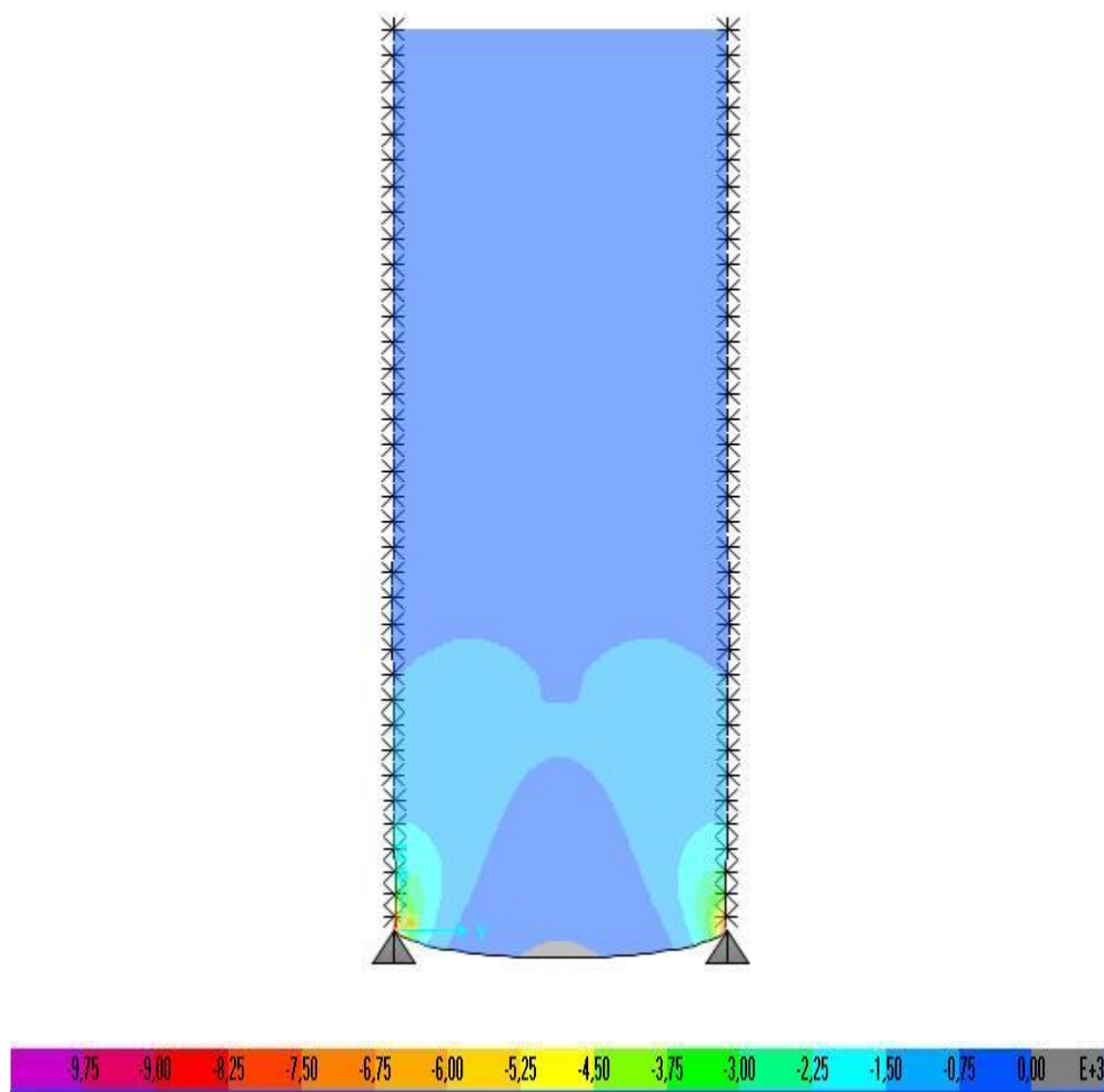
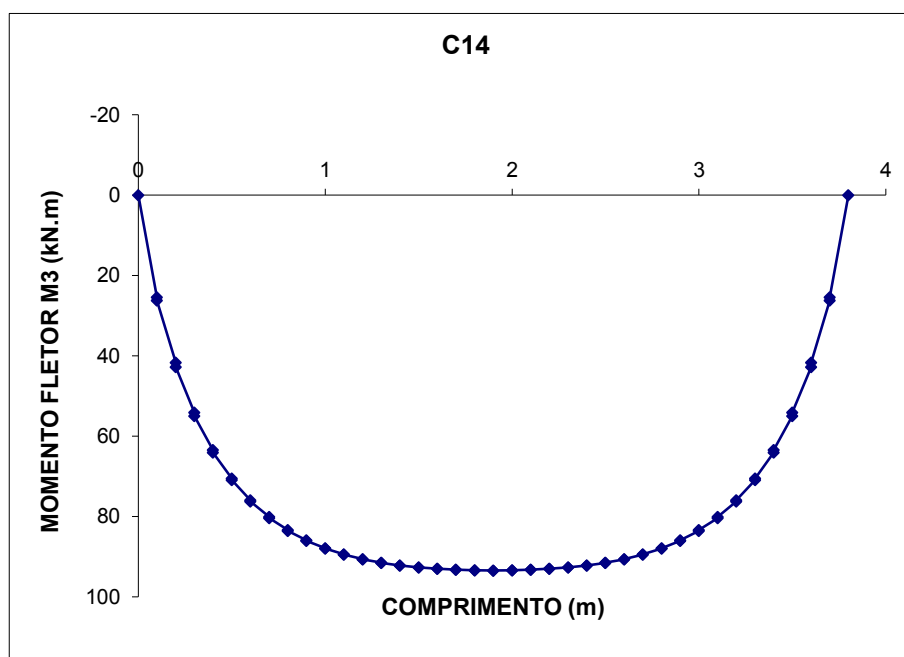
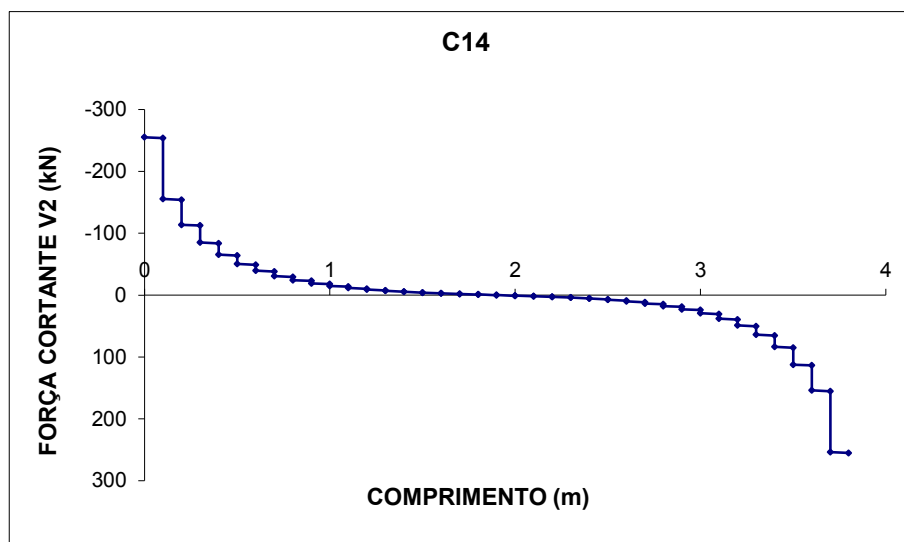
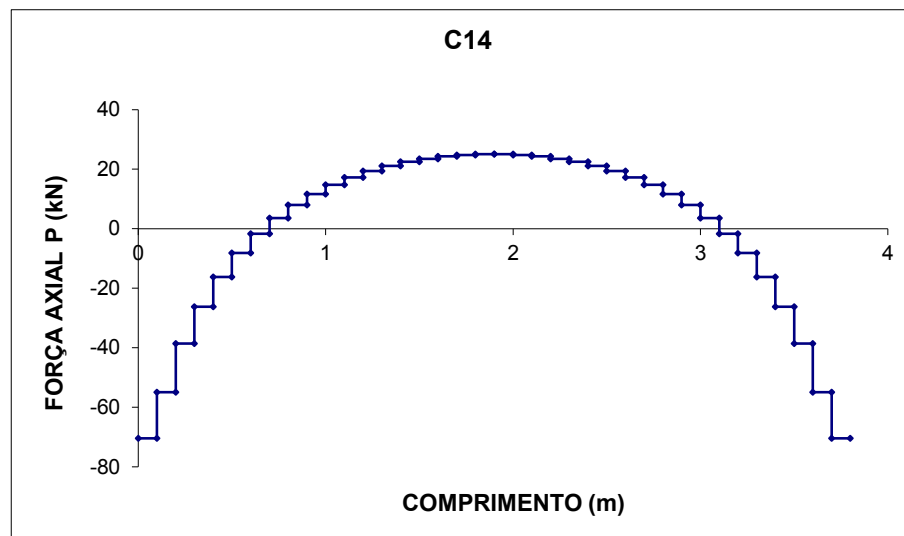


Figura 5.2 – Tensões verticais (kN/m²) da parede sobre a cinta C14 com altura de 3,0m.

C14			
Comp.	P	V2	M3
m	KN	KN	KN-m
0,0	-70,4	-255,1	0,0
0,1	-70,4	-253,7	25,4
0,1	-54,9	-155,3	26,2
0,2	-54,9	-153,9	41,7
0,2	-38,6	-113,8	42,8
0,3	-38,6	-112,4	54,1
0,3	-26,1	-85,2	55,0
0,4	-26,1	-83,8	63,4
0,4	-16,2	-65,2	64,0
0,5	-16,2	-63,8	70,5
0,5	-8,2	-50,4	70,9
0,6	-8,2	-49,0	75,9
0,6	-1,7	-39,4	76,3
0,7	-1,7	-37,9	80,1
0,7	3,6	-30,8	80,4
0,8	3,6	-29,4	83,4
0,8	8,0	-24,2	83,6
0,9	8,0	-22,8	85,9
0,9	11,7	-19,0	86,1
1,0	11,7	-17,6	87,9
1,0	14,8	-14,9	88,0
1,1	14,8	-13,5	89,4
1,1	17,3	-11,7	89,5
1,2	17,3	-10,3	90,6
1,2	19,4	-9,1	90,7
1,3	19,4	-7,7	91,5
1,3	21,1	-7,1	91,5
1,4	21,1	-5,7	92,2
1,4	22,5	-5,4	92,2
1,5	22,5	-4,0	92,7
1,5	23,5	-4,1	92,7
1,6	23,5	-2,7	93,0
1,6	24,3	-3,0	93,0
1,7	24,3	-1,6	93,3
1,7	24,8	-2,0	93,3
1,8	24,8	-0,6	93,4
1,8	25,1	-1,1	93,4
1,9	25,1	0,3	93,4
1,9	25,1	-0,3	93,4
2,0	25,1	1,1	93,4
2,0	24,8	0,6	93,4
2,1	24,8	2,0	93,3
2,1	24,3	1,6	93,3
2,2	24,3	3,0	93,0
2,2	23,5	2,7	93,0
2,3	23,5	4,1	92,7
2,3	22,5	4,0	92,7
2,4	22,5	5,4	92,2
2,4	21,1	5,7	92,2
2,5	21,1	7,1	91,5
2,5	19,4	7,7	91,5
2,6	19,4	9,1	90,7
2,6	17,3	10,3	90,6

C14 cont			
Comp.	P	V2	M3
m	KN	KN	KN-m
2,7	17,3	11,7	89,5
2,7	14,8	13,5	89,4
2,8	14,8	14,9	88,0
2,8	11,7	17,6	87,9
2,9	11,7	19,0	86,1
2,9	8,0	22,8	85,9
3,0	8,0	24,2	83,6
3,0	3,6	29,4	83,4
3,1	3,6	30,8	80,4
3,1	-1,7	37,9	80,1
3,2	-1,7	39,4	76,3
3,2	-8,2	49,0	75,9
3,3	-8,2	50,4	70,9
3,3	-16,2	63,8	70,5
3,4	-16,2	65,2	64,0
3,4	-26,1	83,8	63,4
3,5	-26,1	85,2	55,0
3,5	-38,6	112,4	54,1
3,6	-38,6	113,8	42,8
3,6	-54,9	153,9	41,7
3,7	-54,9	155,3	26,2
3,7	-70,4	253,7	25,4
3,8	-70,4	255,1	0,0



Observa-se que quanto menor for a inércia da viga, o valor da rigidez relativa aumenta e a influência do *efeito arco* é mais patente. Com isso, pode-se inferir que valores elevados de rigidez relativa indicam sistemas com vigas mais flexíveis em relação às paredes, havendo aumento das concentrações de tensões na parede, sendo menor a parcela de carga vertical que a viga recebe no meio do vão. Por outro lado, com valores mais baixos de rigidez relativa, são observadas vigas mais rígidas em relação às paredes, o que acarreta uma diminuição da concentração de tensões na parede, aumentando a carga no meio do vão da viga.

Segundo BARBOSA(2000) o comportamento do conjunto parede-viga considerando elementos de contato foi semelhante ao caso em que estes elementos não foram considerados. Sem os mesmos elementos, foi feita então uma análise desligando toda a parede da viga e também desligando alguns nós da parede com os nós das vigas.

Quando a parede é totalmente desligada da viga a parede deforma muito mais que a viga, o que não é real, por isso esta simulação esta errada. Ligando somente dois trechos (três nós) em cada trecho das vigas com as paredes em cada extremidade da viga, nota-se que o trecho em que não há ligação os esforços verticais das paredes são de tração. Esta é uma simulação onde os esforços de tração das paredes não são transmitidos às vigas, pois a argamassa não é capaz de transmitir estes esforços. Nota-se também que neste modelo há o aparecimento de esforços normais na viga.

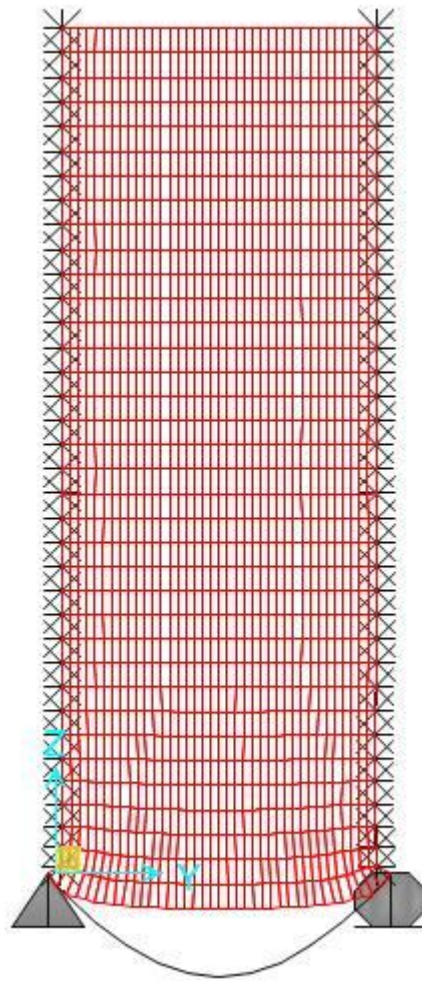


Figura 5.3 – Deformada da cinta C14 e da parede com 06 nós ligados (03 de cada lado).

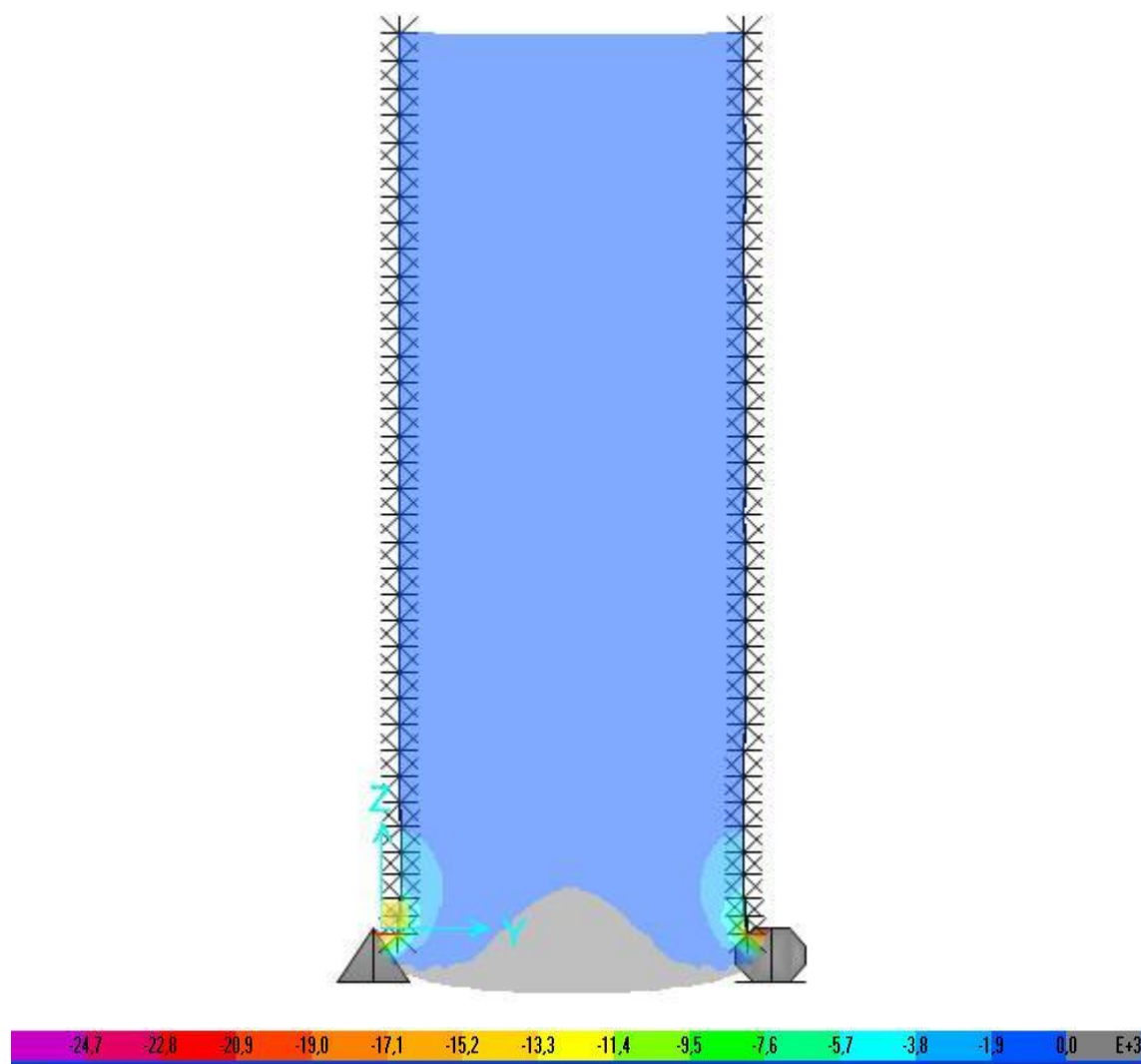
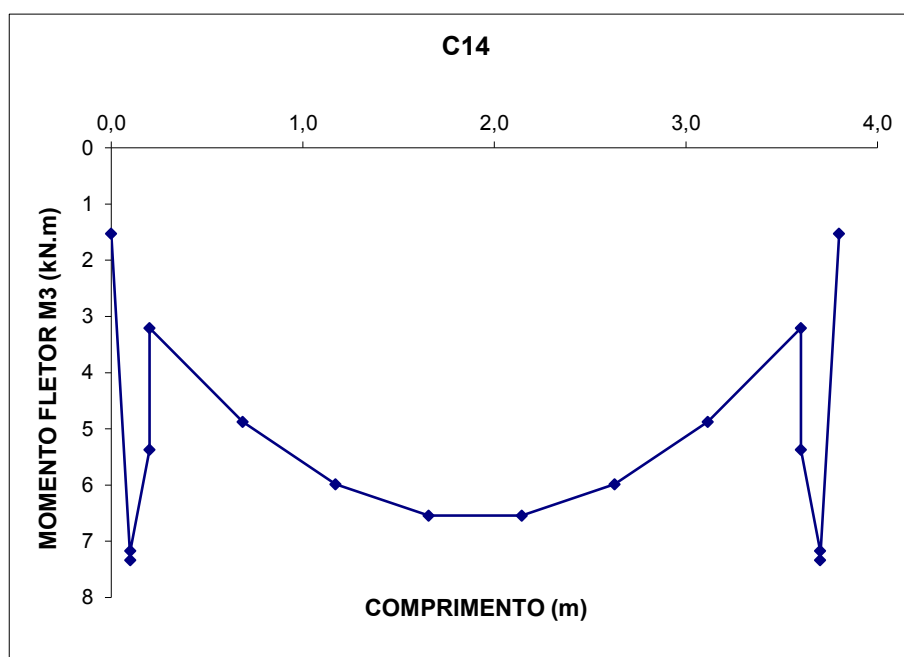
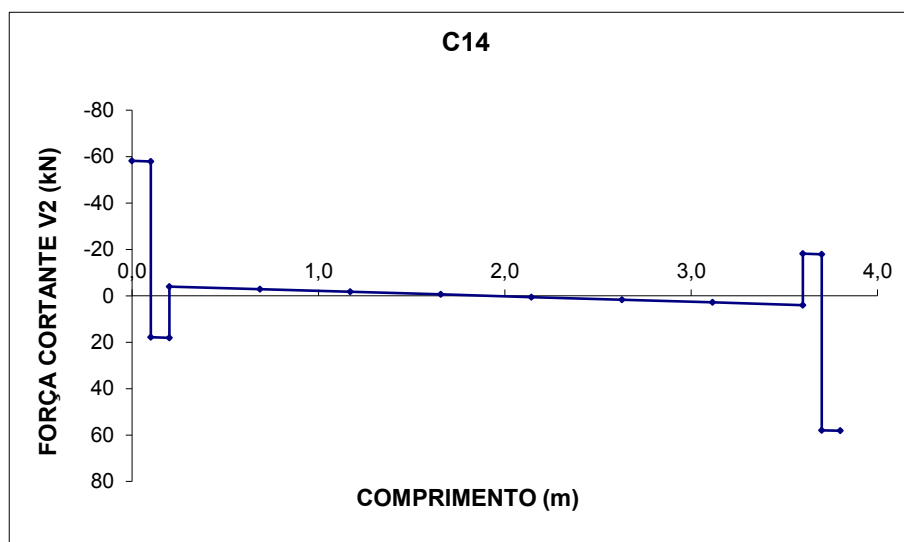
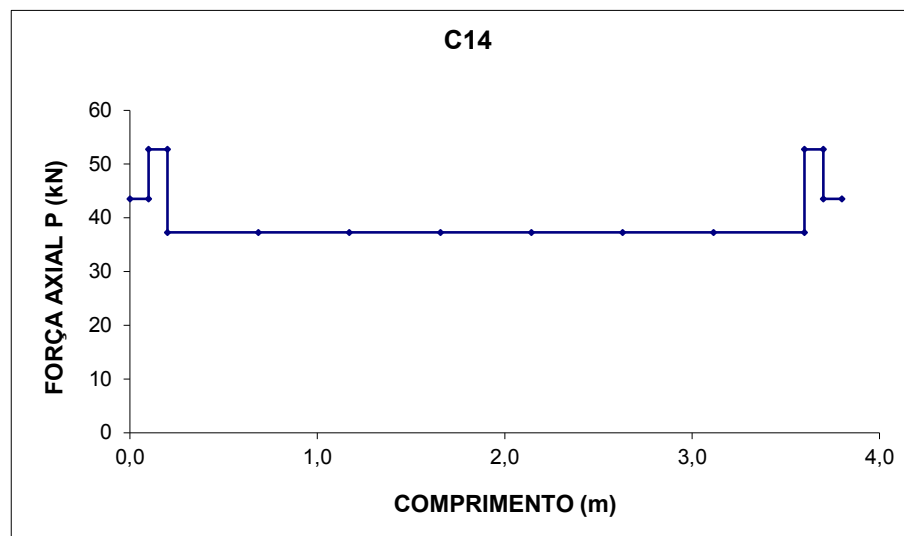


Figura 5.4 – Tensões verticais (kN/m²) da parede sobre a cinta C14 ligando 03 nós em cada extremidade.

Os diagramas da cinta considerando apenas três nós ligados em cada extremidade será mostrado abaixo:

C14			
Comp.	P	V2	M3
m	KN	KN	KN-m
0,0	43,5	-58,2	1,5
0,1	43,5	-57,9	7,3
0,1	52,7	17,9	7,2
0,2	52,7	18,1	5,4
0,2	37,3	-4,0	3,2
0,7	37,3	-2,9	4,9
1,2	37,3	-1,7	6,0
1,7	37,3	-0,6	6,5
2,1	37,3	0,6	6,5
2,6	37,3	1,7	6,0
3,1	37,3	2,9	4,9
3,6	37,3	4,0	3,2
3,6	52,7	-18,1	5,4
3,7	52,7	-17,9	7,2
3,7	43,5	57,9	7,3
3,8	43,5	58,2	1,5



Diante de todas estas verificações, torna-se evidente a necessidade de avaliar com mais atenção este tipo de estrutura, para que se possa dimensioná-la considerando os esforços reais, inclusive a concentração de tensões na alvenaria.

Como se pode observar, simulações numéricas são fundamentais para proporcionar compreensão do comportamento estrutural e auxiliar no desenvolvimento de formulações eficientes que otimizem o projeto. No entanto, para se conseguir modelos numéricos seguros é necessário uma descrição completa dos materiais e uma validação através de comparações com um número considerável de resultados experimentais.

6

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Foi observado que a influência da forma de tratamento do sistema estrutural leva a diferenças nos valores de cargas e tensões muito significativas. Pode-se tanto superdimensionar como também subdimensionar as alvenarias.

Como conclusão, observa-se que o caso de paredes isoladas é um procedimento seguro e anti-econômico, por isso só deverá ser utilizado em edifício de pequeno porte. O procedimento de dimensionamento das paredes por grupos isolados é seguro e levemente econômico, mas é preciso que haja as forças de interação nos cantos e bordas de modo que seja garantida a uniformização e um espalhamento das cargas. Já o dimensionamento das paredes por grupos de paredes com interação é o mais econômico, mas é preciso que haja as forças de interação nos cantos e bordas e também nas aberturas das portas e janelas (lintéis).

Quanto maior a uniformização das cargas verticais ao longo da altura da edificação, maior será a economia obtida na resistência dos blocos especificados. Porém, se a suposta uniformização das cargas não ocorrer, a segurança da edificação estará comprometida.

Quando foram obtidas as cargas verticais nas alvenarias via procedimentos aproximados, apareceram somente tensões de compressão nas paredes. Nas análises das paredes considerando o *efeito arco* nota-se o aparecimento de tensões de tração e de compressão.

Observou-se também que existe uma grande concentração de tensões verticais na região dos apoios, que é desprezada nos procedimentos aproximados.

A análise realista de edifícios é de grande valia, pois permite a observação de situações não encontradas quando se estudam sistemas simples, como os de paredes sobre vigas

biapoiadas encontrados na literatura. O estudo apresentado evidencia a complexidade do fenômeno denominado *efeito arco*. Demonstra a necessidade do uso de modelos de cálculo mais elaborados que permitam uma análise menos simplista deste efeito.

Não é muito simples definir parâmetros mais diretos para se analisar um sistema complexo. O que se percebeu foi uma grande influência da geometria das paredes nos resultados. Trechos com janelas, que na abordagem simplificada (sem a consideração do *efeito arco*) não carregam as vigas, agora contribuem na distribuição do carregamento.

A análise tridimensional considerando o *efeito arco* é um procedimento bastante interessante para ser utilizado na análise de pavimentos de concreto armado sob estruturas de alvenaria estrutural. Trata-se de um processo relativamente seguro, pois todas as particularidades do sistema estrutural resultante são consideradas e ao mesmo tempo acaba produzindo alguns resultados que podem levar a uma economia significativa de materiais para a estrutura.

A maior vantagem ocasionada pela consideração do *efeito arco* ocorre no estudo dos momentos fletores. Essa economia é bastante clara para o momento fletor positivo, embora também ocorram reduções no momento fletor negativo. Os deslocamentos verticais encontrados se mostraram inferior aos limites prescritos pela norma vigente (NBR 6118:2003). Observa-se que, na grande maioria das vigas, o *efeito arco* trabalha positivamente diminuindo os deslocamentos relativos.

Entretanto, é importante ressaltar que não são apenas os esforços solicitantes nas peças de concreto, bem menores que os obtidos pelos modelos aproximados, que devem ser levados em conta. Também a concentração de tensões sobre a parede precisa ser considerada, ou então este procedimento perde a consistência.

Para que seja possível aprimorar os modelos presentes na pesquisa e permitir uma maior flexibilidade no processamento dos resultados, propõem-se as seguintes pesquisas:

- Inclusão das não-linearidades física e geométrica;

-
- Inclusão de elementos de contato entre a parede e a estrutura de concreto;
 - Consideração das ações horizontais nas paredes e suas influências nas estruturas de concreto.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira da Construção Industrializada (1990), *Manual Técnico de Alvenaria*. São Paulo, ABCI, 274p;
- Barbosa, P. C (2000). *Estudo da Interação de Paredes de Alvenaria Estrutural com Vigas de Concreto Armado*; São Carlos. 110p. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos - USP
- Bastos, P. S. S. (1989), *Contribuição ao Projeto de Edifícios em Alvenaria Estrutural pelo Método das Tensões Admissíveis*, São Carlos. 120p. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos – USP
- Capuzzo Neto (2000). *Estudo Teórico e Experimental da Interação de Paredes de Alvenaria Estrutural Submetidas a Ações Verticais*; São Carlos. 111p. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – USP
- Corrêa & Ramalho, Márcio (2003). *Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural*; São Paulo, Editora PINI.
- Oliveira, JR., V. (1992), *Recomendações para Projetos de Edifícios em Alvenaria Estrutural*, São Carlos. 266p. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos - USP
- Oliveira, R. S. (1997), *Análise de Pavimentos de Edifícios de Concreto Armado com a Consideração da Não-linearidade*, São Carlos. 123p. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos - USP
- Page, A. W (1978) *Finite Element Model for Masonry*. Journal of the Structural Division, ASCE, v. 104, n8, p.267-1285, August
- Papia, M. (1989) *An Alternative Analysis Model for Composite Wall-beam Systems*. Computers and Structures, v. 32, n1, p.149-155
- Rodrigues. E.B.P. (2003) *Análise Comparativa de Deformações e Consumo em Estruturas de Pequeno Porte*; Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia – UFMG
- Tomazela, C. A. (1995). *Ação Conjunta Parede-Viga na Alvenaria Estrutural*; São Carlos. 110p. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – USP
- Silva, T.F.T. (2005). *Estudo da Interação entre edifícios de alvenaria estrutural e Pavimentos em Concreto Armado*; São Carlos. 106p. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – USP