

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**PAULA TAIANE PASCOAL**

**INTERAÇÃO ENTRE AS PAREDES DE ALVENARIA ESTRUTURAL**

**Alegrete  
2016**

**PAULA TAIANE PASCOAL**

**INTERAÇÃO ENTRE AS PAREDES DE ALVENARIA ESTRUTURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Aldo Leonel Temp

Coorientador: André Lübeck

**Alegrete  
2016**

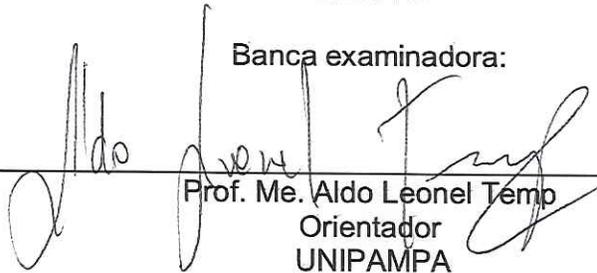
**PAULA TAIANE PASCOAL**

**INTERAÇÃO ENTRE AS PAREDES DE ALVENARIA ESTRUTURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 30 de novembro de 2016.

Banca examinadora:

  
Prof. Me. Aldo Leonel Temp  
Orientador  
UNIPAMPA

ANDRE LUBECK:96288302015

Assinado de forma digital por ANDRE LUBECK:96288302015  
DN: c=BR, o=ICP-Brasil, ou=Secretaria da Receita Federal do Brasil - RFB, ou=CORREIOS, ou=ARCORREIOS, ou=RFB e-CPF AS, cn=ANDRE LUBECK:96288302015  
Dados: 2016.12.03 15:55:32 -02'00'

Prof. Me. André Lübeck  
UNIPAMPA

  
Prof. Me. Alisson Simonetti Milani  
UNIPAMPA

  
Prof. Dr. Luis Eduardo Kostas  
UNIPAMPA

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos  
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do  
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

P324i Pascoal, Paula Taiane  
Interação entre as paredes de alvenaria estrutural / Paula  
Taiane Pascoal.  
88 p.  
  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Universidade  
Federal do Pampa, ENGENHARIA CIVIL, 2016.  
"Orientação: Aldo Leonel Temp".  
  
1. Alvenaria estrutural. 2. Método dos elementos finitos.  
3. Interação entre paredes. I. Título.

Dedico este trabalho aos meus pais, meus irmãos, minhas avós e ao meu namorado, por tudo que eles representam nas minhas conquistas e por serem meu porto seguro.

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço a Deus, que me confortou e me deu forças para chegar onde eu estou.

Agradeço também aos meus pais, Wirley e Leila, razões da minha vida, pela educação e oportunidade em estar aqui. Por me ensinarem a construir um caráter e a ser uma pessoa digna. Por todo amor, dedicação, incentivo no decorrer da minha vida e por acreditarem que este dia chegaria. Sem vocês, nada disso seria possível.

Aos meus irmãos, Leonardo e Victor, e a minha cunhada Jaíne, motivos de tantos sorrisos e orgulho, que sempre estiveram ao meu lado, independente da distância. Vocês são o maior presente da minha vida.

Agradeço as minhas avós, Nair e Rosália, pelas orações, preocupações, por todo amor e carinho que recebo de vocês, desde sempre. Ao restante da minha família, pessoas sensacionais e inspiradoras, que completam minha felicidade.

Ao Lucas, meu namorado e companheiro de todos os dias, a tantos anos. Agradeço a paciência, apoio incondicional, confiança e por me fazer tão feliz todos os dias.

Aos amigos que a universidade me proporcionou em conhecer: Bárbara, Fagner, Gabrielle, Hernane, João, Juliane, Juliano, Manoela, Paulo e outros, não menos especiais, que sempre estiveram ao meu lado, compartilhando as dificuldades e conquistas. E aos bons e velhos amigos: Aline, Daniela, Frederico, Laura, Luana, Priscila e Valmor, que a tantos anos fazem parte da minha família.

Aos meus orientadores, Aldo Leonel Temp e André Lubeck, por serem tão atenciosos e gentis, além de todo suporte e aprendizado compartilhado. E a todos os professores da Universidade Federal do Pampa por terem contribuído na minha formação.

## RESUMO

O presente trabalho aborda um estudo sobre a interação entre paredes em edificações de alvenaria estrutural de blocos de concreto submetidos a ações verticais. O objetivo consistiu em realizar uma análise numérica da interação de paredes de alvenaria estrutural submetidas a ações verticais para diferentes disposições de paredes em edificações, mas com mesma natureza de carregamento, altura e propriedades dos materiais constituintes. Foram realizadas análises em três edificações e em cada uma delas, avaliadas três paredes, levando em conta as resultantes de pavimentos agrupados e pavimentos isolados. Para isso, utilizou-se a rotina de faseamento construtivo do software SAP2000 V12, que emprega o Método dos Elementos Finitos. Os carregamentos na base das paredes do pavimento térreo das três edificações variaram de maneira não uniforme e a adoção de um valor único como taxa de interação pode resultar em carregamento não realistas em algumas situações.

Palavras-Chave: Alvenaria estrutural. Método dos elementos finitos. Interação entre paredes.

## **ABSTRACT**

The present work approaches a study about the interaction between walls on structural masonry buildings of concrete blocks submitted to vertical forces. The goal consists in to make a numerical analyses of the interaction of structural masonry submitted to vertical forces for different positions of walls in buildings, but with the same load nature, high and proprieties of the constituent materials. Were made analysis in three buildings and in each one of them, were evaluated three walls, taking in consideration the resultants of the grouped floors and isolated floors. For this were used the constructive phasing routine of the SAP2000 V12 software, that uses the method of finite elements. The loads in the base of the ground floors walls of the three buildings vary in a not uniform way and the adoption of a single value as interaction rate can result in not realistic loads in some situations.

Keywords: Structural masonry. Finite elements method. Interaction between walls.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Arranjos de paredes em alvenaria estrutural .....	15
Figura 2 – Amarração direta.....	17
Figura 3- Amarração indireta.....	17
Figura 4 – Espalhamento segundo a NBR 10837 .....	19
Figura 5 - Espalhamento do carregamento em paredes (a) e em paredes com interseções (b).....	20
Figura 6 – Estratégias de modelagem.....	25
Figura 7 – Elemento de superfície com quatro nós .....	30
Figura 8 – Elemento de superfície com três nós .....	30
Figura 9 – Esquema de carregamentos .....	31
Figura 10 – Dimensões e formas a serem ensaiadas .....	32
Figura 11 – Painéis de alvenaria analisados por Capuzzo Neto .....	33
Figura 12 – Planta baixa da edificação 1 .....	38
Figura 13 – Planta baixa da edificação 2 .....	39
Figura 14 – Planta baixa da edificação 3 .....	40
Figura 15 – Estrutura discretizada.....	42
Figura 16 – Paredes a serem analisadas na edificação 1 .....	45
Figura 17 – Edificação 1 modelada tridimensionalmente .....	46
Figura 18 – Nós da parede.....	46
Figura 19 – Distribuição de tensões conforme acréscimo de pavimentos.....	49
Figura 20 – Nós da parede.....	49
Figura 21 – Distribuição de tensões conforme acréscimo de pavimentos.....	51
Figura 22 – Nós da parede.....	52
Figura 23 – Distribuição de tensões conforme acréscimo de pavimentos.....	54
Figura 24 – Paredes a serem analisadas na edificação 2 .....	55
Figura 25 – Edificação 2 modelada tridimensionalmente .....	56
Figura 26 – Nós da parede.....	56
Figura 27 – Distribuição de tensões conforme acréscimo de pavimentos.....	58
Figura 28 – Nós da parede.....	58
Figura 29 – Distribuição de tensões conforme acréscimo de pavimentos.....	60
Figura 30 – Nós da parede.....	61
Figura 31 – Distribuição de tensões conforme acréscimo de pavimentos.....	62

Figura 32 – Paredes a serem analisadas na edificação 3.....	64
Figura 33 – Edificação 3 modelada tridimensionalmente .....	64
Figura 34 – Nós da parede.....	65
Figura 35 – Distribuição de tensões conforme acréscimo de pavimentos.....	66
Figura 36 – Nós da parede.....	67
Figura 37 – Distribuição de tensões conforme acréscimo de pavimentos.....	68
Figura 38 – Nós da parede.....	69
Figura 39 – Distribuição de tensões conforme acréscimo de pavimentos.....	70

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABCI – Associação Brasileira de Construção Industrializada

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACI – American Concrete Institute

BS – British Standards Institution

EUROCODE – European Committee for Standardization

MEF – Método dos Elementos Finitos

NBR – Norma Brasileira

SAP – Structural Analysis Program

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.1. Objetivo geral .....	12
1.2. Objetivo específico .....	12
1.3. Justificativa.....	12
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>13</b>
2.1. Sistema estrutural .....	14
2.2. Uniformização das cargas .....	18
2.3. Procedimento de distribuição .....	18
2.3.1. Paredes isoladas .....	19
2.3.2. Grupo de paredes.....	19
2.3.2.1. Grupos isolados de paredes .....	20
2.3.2.2. Grupos de paredes com interação.....	21
2.3.3. Modelagem tridimensional em elementos finitos.....	22
2.4. Normativas .....	22
2.5. Modelagem numérica.....	24
2.5.1 Macromodelagem.....	26
2.6. O Método dos Elementos Finitos e o Software SAP2000 V12.....	27
2.7. Pesquisas já realizados sobre interação em paredes.....	30
2.7.1. Ensaio realizado por Sinha e Hendry (1979) .....	31
2.7.2. Ensaio realizado por Camacho (1995) .....	32
2.7.3. Ensaio realizado por Capuzzo Neto (2000) .....	33
2.7.4. Análise numérica realizada por Ali, Sinha e Usmani (2000) .....	34
2.7.5. Ligações de paredes por Lissel et al. (2000).....	35
2.7.6. Ligações de paredes por Camacho et al. e Silva (2001) .....	35
2.7.7. Ensaio realizado por Signor e Roman (2002).....	36
2.7.8. Análise numérica realizada por Peleteiro (2002) .....	36
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>37</b>
3.1. Edificações analisadas .....	37
3.1.1. Edificação 1 .....	38
3.1.2. Edificação 2 .....	38
3.1.3. Edificação 3 .....	39
3.2. Propriedades das edificações .....	40

<b>3.3. Discretização .....</b>	<b>41</b>
<b>3.4. Carregamentos aplicados.....</b>	<b>42</b>
<b>3.5. Taxa de interação .....</b>	<b>43</b>
<b>4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>44</b>
<b>4.1. Edificação 1 .....</b>	<b>44</b>
<b>4.1.1. Análise 1.....</b>	<b>46</b>
<b>4.1.2. Análise 2.....</b>	<b>49</b>
<b>4.1.3. Análise 3.....</b>	<b>52</b>
<b>4.2. Edificação 2 .....</b>	<b>54</b>
<b>4.2.1. Análise 1.....</b>	<b>56</b>
<b>4.2.2. Análise 2.....</b>	<b>58</b>
<b>4.2.3. Análise 3.....</b>	<b>61</b>
<b>4.3. Edificação 3 .....</b>	<b>63</b>
<b>4.2.1. Análise 1.....</b>	<b>65</b>
<b>4.2.2. Análise 2.....</b>	<b>66</b>
<b>4.2.3. Análise 3.....</b>	<b>69</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>71</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>72</b>
<b>APÊNDICE A – Edificação 1 .....</b>	<b>76</b>
<b>APÊNDICE B – Edificação 2 .....</b>	<b>80</b>
<b>APÊNDICE C – Edificação 3 .....</b>	<b>84</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo racionalizado, no qual a alvenaria desempenha tanto a função estrutural quanto a de vedação, dispensando o uso de pilares e vigas, o que torna as construções, em muitos casos, mais econômicas. Desde a antiguidade a alvenaria tem sido usada como uma forma de construção que se mostrou eficaz e perene. O Farol de Alexandria, as Pirâmides do Egito, o Coliseu de Roma, a Catedral de Notre Dame, as catedrais góticas, pontes, castelos, entre outros, foram algumas das construções que marcaram a história da humanidade, todas utilizando alvenaria de blocos cerâmicos maciços ou de pedra, intertravados, com ou sem o uso de um material ligante.

O conhecimento empírico disponível na época, fazia com que os construtores idealizassem estruturas que trabalhavam essencialmente à compressão, adotando paredes de grande espessura, onde os maiores esforços eram do próprio peso da estrutura. O conhecimento adquirido foi repassado de geração em geração, até o início do século XX, quando o estudo da alvenaria passou a ser realizado de maneira racional.

Após a Segunda Guerra Mundial, o professor Paul Haller na Suíça, iniciou estudos através de uma série de testes em paredes de alvenaria, devido à escassez de aço e concreto. Uma edificação com 13 pavimentos e 42,0 metros de altura, a qual possuía paredes internas com espessura de 15,0 cm e paredes externas com 37,5 cm, significava um grande avanço e causou uma revolução. Isso porque em meados de 1890, edificações chegavam a ter paredes estruturais de 1,80 m de espessura no pavimento térreo.

No Brasil, a alvenaria estrutural passou a ser usada como técnica de construção racionalizada, apenas no ano de 1966, em São Paulo, onde alguns prédios de quatro pavimentos foram projetados. Segundo Camacho (1986), as construções antecederam às pesquisas na área e estavam concentradas em algumas regiões como São Paulo (década de 1970) e Porto Alegre (década de 1980).

Somente em 1977 foi formada a primeira comissão para criação de uma norma brasileira para o projeto de alvenaria estrutural. Criou-se então, a ABNT NBR 6136 (1980) referente a blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural, norma esta que veio a ser substituída posteriormente. Atualmente, conta-se com duas normas para dimensionamento de alvenaria estrutural, a ABNT NBR 15812 (2010)

refere-se à alvenaria estrutural de blocos cerâmicos e a ABNT NBR 15961 (2011) que trata de alvenaria estrutural de blocos de concreto.

Esse sistema construtivo é extensivamente utilizado em todas as regiões do Brasil, variando algumas características e técnicas em decorrência de especificidades regionais, principalmente em relação aos blocos. Os blocos mais utilizados no país são os cerâmicos de paredes maciças ou vazadas e os blocos de concreto.

As exigências arquitetônicas de acomodar vagas de garagem nos pavimentos inferiores acabam por levar os projetistas a utilizar a alvenaria estrutural de forma mista com o concreto armado, principalmente. No pavimento térreo e subsolos, empregam-se pilares e vigas de maneira a garantir os espaços de estacionamento e circulação e nos demais pavimentos utiliza-se a alvenaria. Com isso, ocorrem as transições das cargas dos pavimentos em alvenaria estrutural para o pavimento de concreto armado, através das lajes e vigas deste pavimento. Em função da continuidade das paredes e da existência de lajes que ligam os diferentes conjuntos de paredes de um mesmo pavimento, há uma tendência de ocorrer a transmissão dos carregamentos de uma parede para outra, com uniformização dos carregamentos ao longo da altura da edificação, fenômeno conhecido como interação entre paredes.

De acordo com Ramalho e Corrêa (2003), um carregamento localizado em parte do comprimento da parede tende a se espalhar ao longo da sua altura e, por isso, há a tendência de haver a transmissão de carregamentos entre as paredes. Os níveis de interação entre a parede devem ser avaliados para que possa observar o procedimento de distribuição dos carregamentos verticais. Se ocorrer forças de interação significativas, resulta em um espalhamento do carregamento e diante disso, a uniformização das cargas entre as paredes.

Segundo Capuzzo Neto (2005), uma questão ainda não completamente caracterizada é o comportamento da interação entre as paredes sob as forças verticais. De acordo com a NBR 15812-1 (ABNT, 2010, p.20), “a interação de elementos adjacentes deve ser considerada quando houver garantia de que as forças de interação possam se desenvolver entre esses elementos e que haja resistência suficiente para transmiti-las [...]”. No entanto, essa norma não dá outras recomendações a respeito da consideração de interação entre paredes, ficando a cargo do projetista definir se e como a interação se processa.

As pesquisas encontradas sobre o tema apontam que a interação entre as paredes para as cargas verticais é diretamente dependente da forma e arranjo das

paredes em planta, tipo de amarração entre paredes e altura da edificação. Porém, os estudos que abordam a influência da forma das paredes sobre a interação entre os carregamentos trabalham com painéis pequenos, normalmente em forma de H, avaliando as deformações na base do painel quando aplica-se um carregamento concentrado no topo do conjunto. Nesses estudos, não se aborda a influência da disposição das paredes (arquitetura) da edificação sobre essa interação.

Diante disso, o presente trabalho visa analisar a interação de paredes de alvenaria estrutural submetidas a ações verticais. Essa análise será realizada para três edificações com geometrias distintas, porém, com mesmo material, mesmas propriedades e submetidas aos mesmos carregamentos.

### **1.1. Objetivo geral**

O objetivo geral deste trabalho consiste em realizar uma análise teórica da interação de paredes de alvenaria estrutural submetidas a ações verticais para diferentes disposições de planta baixa de edificações.

### **1.2. Objetivo específico**

Para que se torne possível alcançar o objetivo geral desta pesquisa, definiu-se alguns objetivos específicos, como:

- Modelar via método dos elementos finitos (MEF) três edificações com arquitetura distintas, porém com mesma altura e mesma natureza de carregamento, de maneira a medir a diferença entre os carregamentos na base das paredes;
- Avaliar a interação das cargas verticais com o acréscimo de pavimentos.

### **1.3. Justificativa**

Hoje, no Brasil, verifica-se uma quantidade expressiva de edificações executadas em alvenaria estrutural, devido as suas vantagens técnicas e econômicas, como prazos de execução, qualidade, desempenho, potencial elevado de racionalização de materiais, entre outros. Apesar do avanço da utilização da alvenaria

estrutural, o desenvolvimento das normas, procedimentos de cálculo e pesquisas ainda precisam de maior aprofundamento.

A interação entre as paredes que resulta na redistribuição dos carregamentos verticais é citada nas bibliografias e pesquisas, disponível em softwares comerciais, como o CAD/Alvest da empresa TQS), mas ainda carece de esclarecimentos. Por exemplo, qual o grau ou coeficiente de interação entre as paredes? Esse coeficiente de interação é só uma característica do material ou depende da forma da edificação. Perguntas como essas precisam ser respondidas para que o dimensionamento da alvenaria estrutural seja da mesma forma, seguro e econômico. Assim, o presente trabalho justifica-se por procurar acrescentar conhecimento neste tema, mesmo que de forma sucinta e limitada.

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

O sistema construtivo em alvenaria estrutural tem crescido nos últimos anos devido ao fato da estabilização econômica no Brasil, o que gera uma preocupação nas empresas em buscar técnicas econômicas e utilização de novos materiais. Com isso, a alvenaria estrutural ganha força no mercado, onde se destaca a alvenaria não armada de blocos vazados de concreto, devido à economia proporcionada e a facilidade de encontrar o produto.

Esse sistema construtivo é composto por componentes e elementos. Os componentes consistem nos blocos (ou unidades), argamassa, graute e armadura. Já os elementos, são formados por pelo menos dois componentes, por exemplo as cintas, vergas, paredes, entre outros.

Consiste em um material heterogêneo e anisotrópico, o qual apresenta uma resistência à compressão elevada. O principal responsável pela resistência da estrutura são os blocos. Esses podem ser de concreto, cerâmico ou sílico-calcáreos, podem ser vazados ou maciços e podem ter função tanto vedação quanto estrutural. Entretanto, a resistência a tração é reduzida e determinada pela adesão entre argamassa e a unidade.

Segundo Mohamad (2015), os blocos de concreto são compostos por areia, pedra, cimento, água e aditivos. As resistências obtidas variam entre 4,0 MPa e 20,0 MPa. Já a alvenaria de blocos cerâmicos, o ingrediente básico é argila. Essa argila é

comporta por sílica, silicato de alumínio e óxidos ferrosos, e pode ser calcária ou não calcária.

A argamassa é composta por areia, cimento, água e cal e possui a função de solidarizar as unidades, transmitir e uniformizar as tensões entre blocos, além de absorver pequenas deformações e prevenir a entrada d'água e vento na estrutura. Deve proporcionar boa trabalhabilidade, plasticidade, durabilidade e resistência, para que seja possível desempenhar suas funções.

O graute tem como função promover a solidarização dos blocos com eventuais armaduras posicionadas entre os blocos vazados, além de propiciar o aumento da seção transversal dos blocos, preenchendo os vazios. É composto por um concreto com agregados de pequenas dimensões, que apresente uma certa fluidez para que seja possível o preenchimento dos vazios. Já as armaduras consistem em barras de aço utilizadas nos grautes, com função de garantir o trabalho em conjunto com os demais componentes da alvenaria.

Segundo Ramalho e Corrêa (2003) se comparado às estruturas convencionais de concreto a esse sistema, a alvenaria estrutural proporciona alguns pontos positivos, sendo eles: economia de fôrmas, redução significativa nos revestimentos, redução nos desperdícios de material e mão de obra, flexibilidade no ritmo de execução da obra, entre outros. Porém, proporcionam alguns pontos negativos, como: dificuldade de se adaptar a arquitetura para um novo uso, interferência entre os projetos arquitetônico/estrutural/elétrico/hidráulico, a necessidade de uma obra qualificada, entre outros.

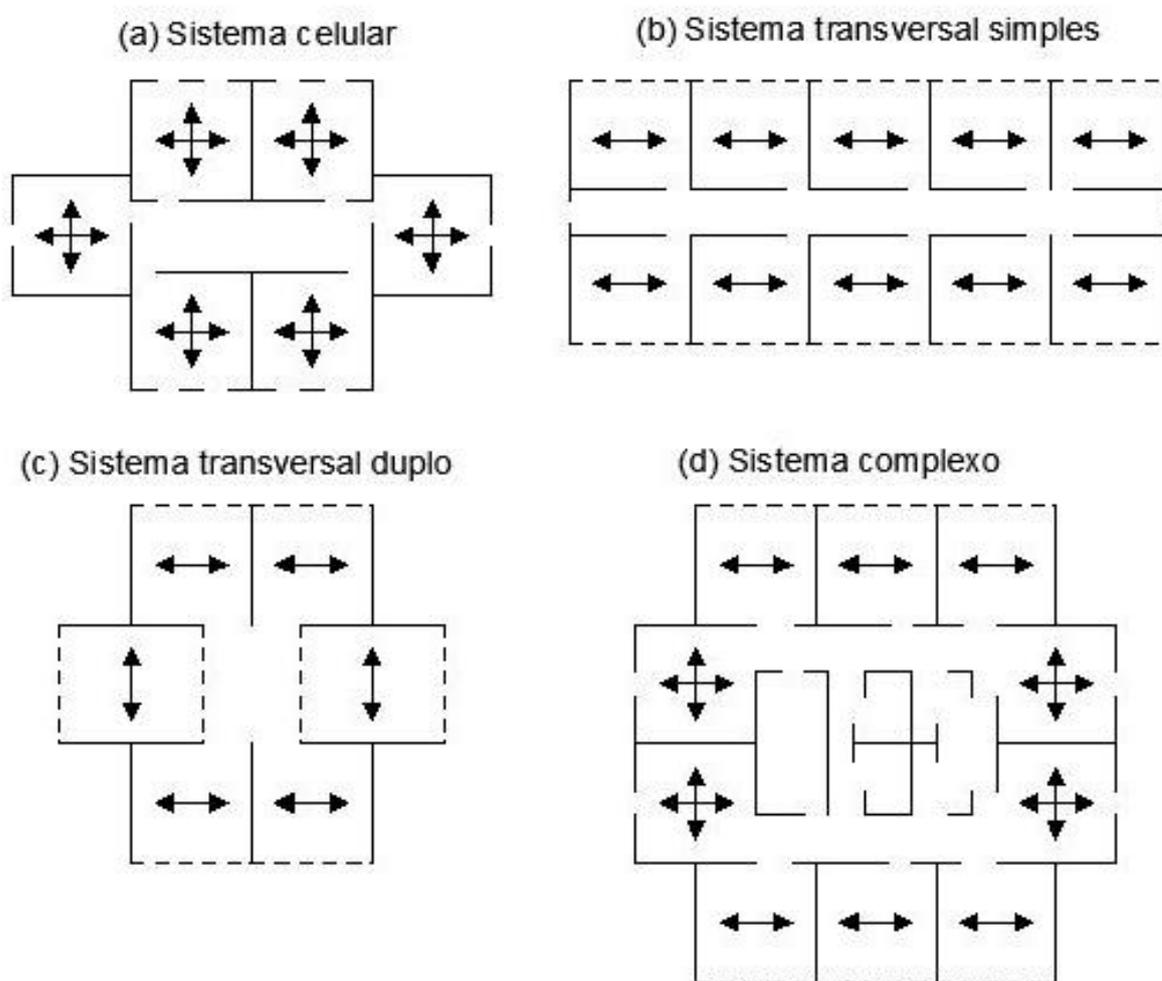
## **2.1. Sistema estrutural**

Os principais sistemas estruturais podem ser dispostos em três sistemas. Hendry (1981) criou uma classificação que pode ser considerada clássica para os sistemas estruturais, onde os mesmos podem ser nomeados de acordo com a disposição das paredes estruturais, podendo ser transversais, celulares ou complexas.

As paredes transversais são utilizadas em edifícios de planta retangular e alongadas, onde as paredes externas na direção do maior comprimento não são estruturais. As lajes são armadas em uma direção e são apoiadas nas paredes estruturais. Este sistema pode ser considerado simples ou duplo, conforme a Figura

1 (b) e 1 (c). Já as paredes celulares consistem num sistema onde todas paredes são estruturais e as lajes podem ser armadas em duas direções, conforme visto na figura 1 (a). E o sistema complexo engloba os dois sistemas já citados, onde é utilizado paredes transversais e celulares, conforme necessitado, como pode-se observar na Figura 1 (d).

Figura 1 - Arranjos de paredes em alvenaria estrutural



Fonte: Hendry, Sinha e Davies (1997) apud de Mohamad (2015, p. 45)

Se tratando de carregamento vertical, as cargas a serem consideradas dependem do tipo e da utilização da edificação. Deve-se ter conhecimento da utilização da edificação para que seja possível fazer o levantamento das cargas e diante disso, analisar a interação entre as paredes. As principais cargas a serem consideradas nas paredes são as ações das lajes e o peso próprio das paredes. Para

isso, realiza-se o levantamento das cargas e verifica-se se os mesmos estão de acordo com a ABNT NBR 6120/1980.

Nas ações provenientes da laje deve-se considerar o peso próprio, o contra piso, revestimento ou piso, paredes não estruturais, além das cargas variáveis devido à utilização, entre outros. Além disso, deve-se definir como as lajes descarregam, podendo ser armada em uma direção ou armada em duas direções.

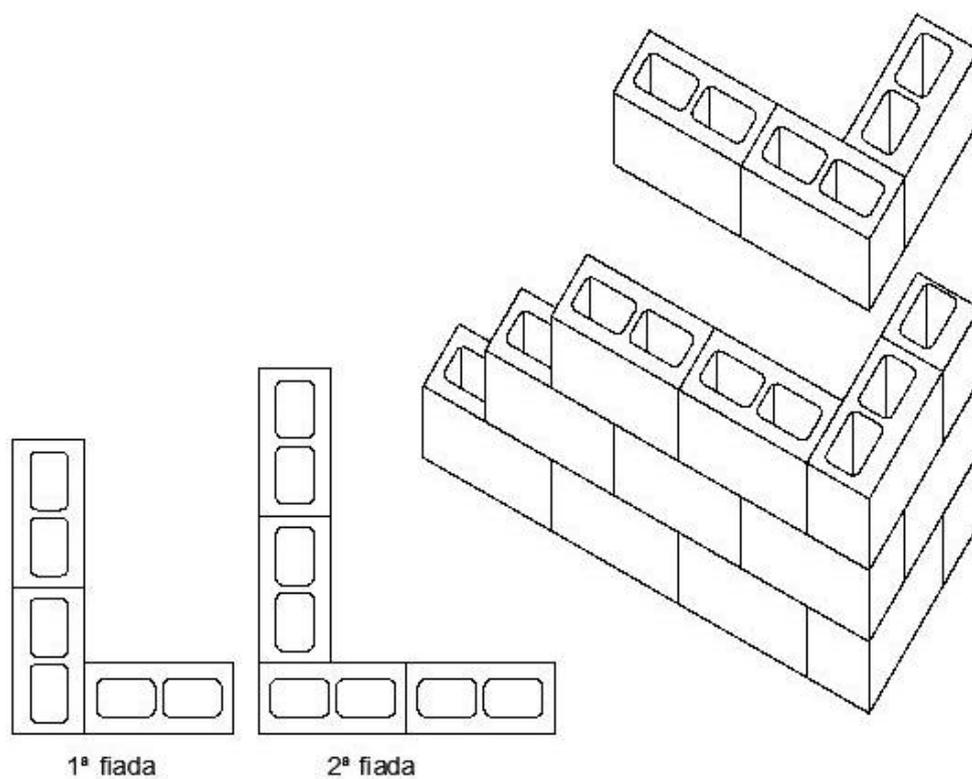
Já o peso próprio das paredes é obtido através do peso específico da alvenaria, da espessura da parede e da altura da parede, onde o peso específico da alvenaria varia conforme o bloco utilizado.

A distribuição das ações verticais é a parcela mais influente no dimensionamento estrutural, devido ao fato da trajetória das tensões ao longo da altura de um edifício de alvenaria estrutural, depender da interseção entre as paredes.

Essa distribuição pode ocorrer de duas formas, onde uma não considera a possibilidade de interação, sendo as paredes tratadas isoladamente e considerando a amarração direta, e da outra forma, as paredes são consideradas como grupos, onde existem variações na forma de considerar a interação além de considerar amarração indireta.

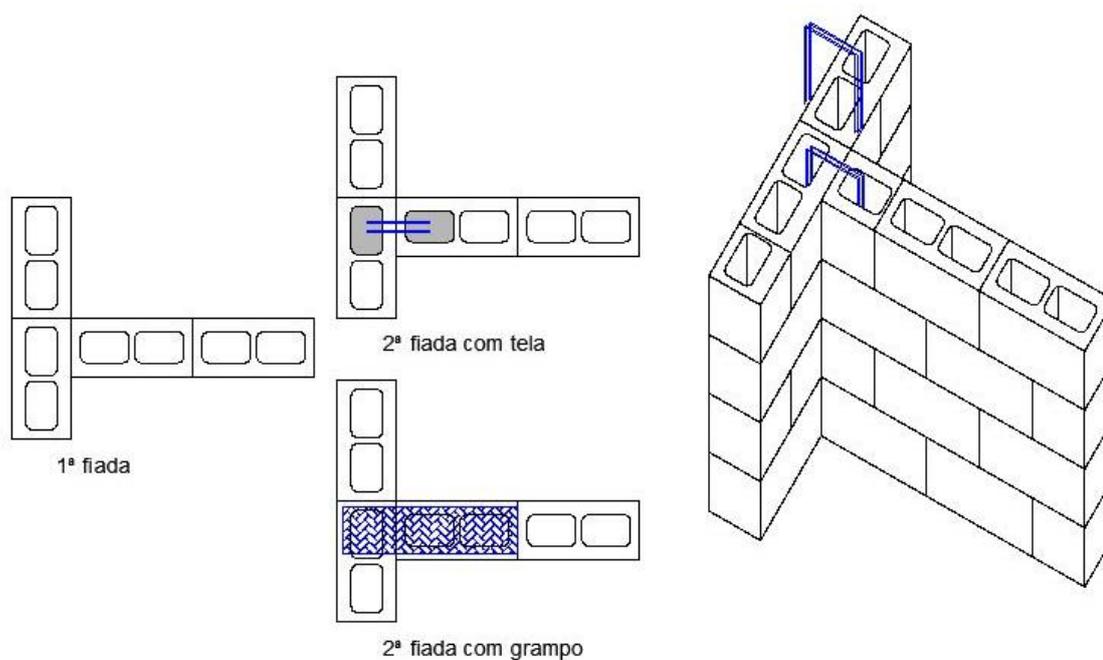
Para Corrêa (2003), espera-se maior eficiência para a interação, quando utilizada à amarração direta, que ocorre quando 50% dos blocos penetram alternadamente a parede interceptada, conforme a Figura 2. Já a amarração indireta ocorre em interfaces que são juntas a prumo e os blocos são solidarizados através de telas ou treliças metálicas, como mostrado na Figura 3. Em ambas figuras, pode-se observar a vista isométrica de quatro fiadas de blocos e a vista em planta baixa da primeira e da segunda fiada.

Figura 2 – Amarração direta



Fonte: Adaptado de Tauil e Nese (2010, p. 95)

Figura 3- Amarração indireta



Fonte: Adaptado de Tauil e Nese (2010, p. 97 e 98)

## 2.2. Uniformização das cargas

É mais comum considerar a interação em paredes submetidas a carregamento horizontal. Entretanto, é de extrema importância considerar as paredes interconectadas carregadas verticalmente, para uniformização das ações ao longo da altura do edifício.

Os carregamentos verticais que atuam sobre as paredes em determinado nível da edificação apresentam valores distintos. As paredes internas tendem a receber carregamentos maiores que as paredes externas. Por questões de segurança e para que não ocorram erros e troca de resistência durante o processo executivo, não se recomenda a utilização de blocos com diferentes resistências em um mesmo pavimento.

A parede mais carregada do pavimento define a resistência do bloco a ser utilizado no determinado pavimento. Conforme Corrêa e Ramalho (2003, p. 30) “[...] quanto maior uniformização das cargas verticais ao longo da altura da edificação, maiores os benefícios para a economia, pois haverá uma tendência a uma redução das resistências dos blocos a serem especificados [...]”. Além da economia, a homogeneização das tensões também facilita no controle da obra. Entretanto, caso essa uniformização não ocorra, pode gerar uma redução na segurança da edificação.

## 2.3. Procedimento de distribuição

O procedimento de distribuição das ações verticais gera maior influência da interação no dimensionamento estrutural, pois a trajetória das tensões ao longo da altura do edifício é dependente dessa interação. Conforme a escolha do procedimento adotado, a distribuição das ações verticais atuantes pode apresentar consideráveis diferenças na estimativa da ação das paredes.

Em uma 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 [...]” (CORRÊA; RAMALHO, 2003, p.28).

### 2.3.1. Paredes isoladas

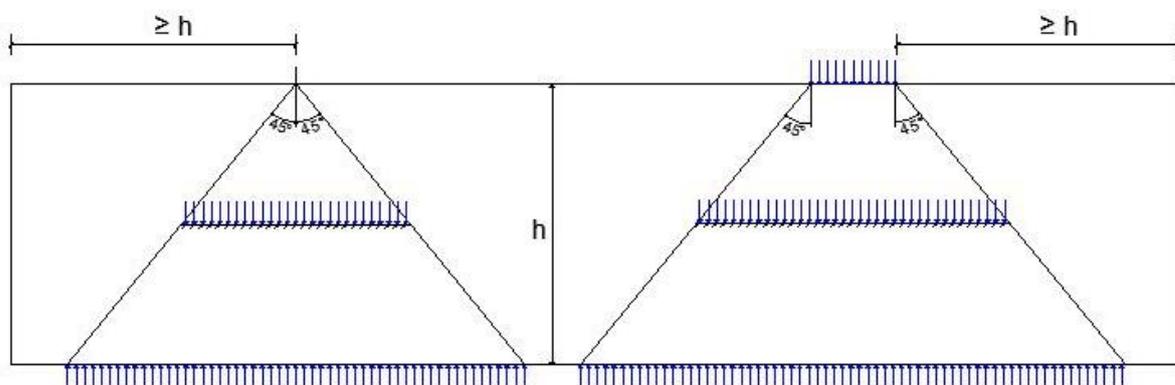
As paredes são consideradas isoladas quando não há interação com os demais elementos da estrutura de alvenaria. Cada parede é tratada como um elemento independente. Nesse procedimento, o acúmulo das cargas acima do que está sendo analisado é o que determina o carregamento atuante em cada parede. Não representa a uniformização das tensões, pois não considera a interação entre as paredes.

Para Hendry (1981), esse é um procedimento usual onde a subdivisão das lajes em áreas de contribuição, vem a formar triângulos e trapézios, que vão distribuir as ações para as paredes correspondentes. Consiste em um procedimento seguro, prático e rápido, contudo pode-se tornar inviável economicamente devido ao fato de que a parede mais carregada define a resistência do bloco.

### 2.3.2. Grupo de paredes

Alguns procedimentos de distribuição das ações verticais, quando consideradas paredes interligadas, se comportam como grupo de paredes. Segundo a norma britânica BS 5628 (1992), a americana ACI 530 (1999) e a brasileira ABNT NBR 10837 (1989), o espalhamento das forças verticais em uma parede ocorre a  $45^\circ$ , como mostra a figura 4.

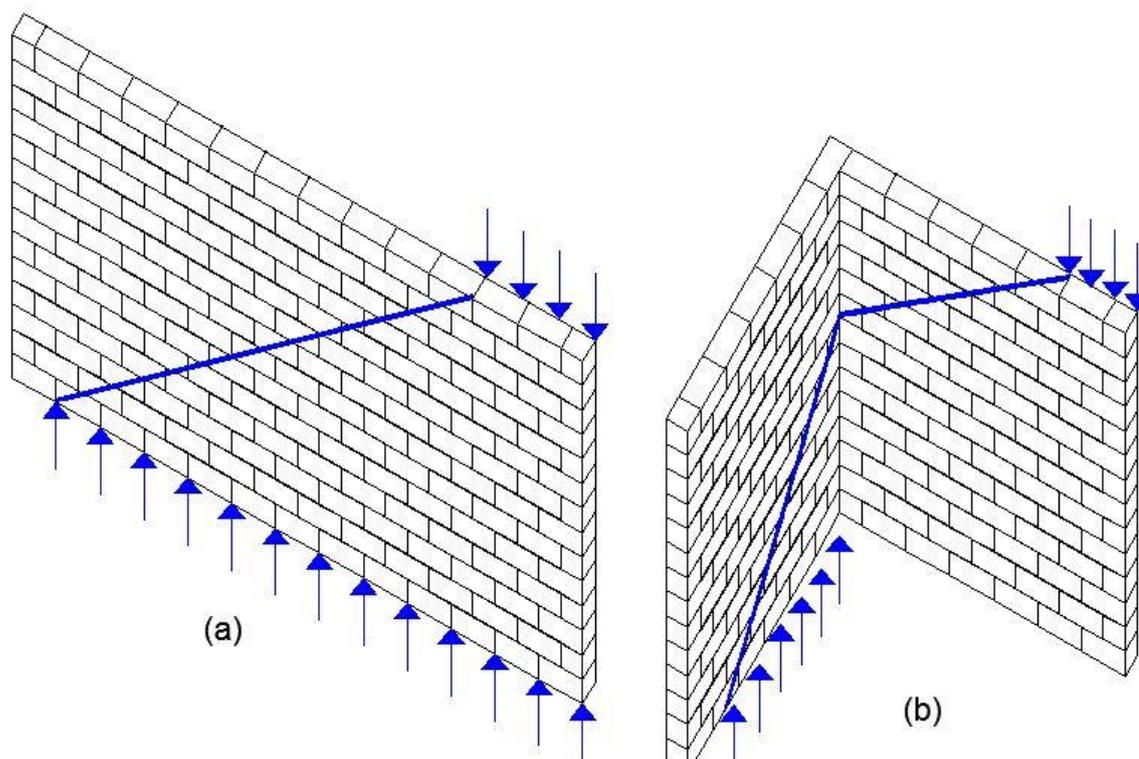
Figura 4 – Espalhamento segundo a NBR 10837



Fonte: ABNT (15961-1, p. 18)

Sabendo que o espalhamento deve-se dar a um ângulo de  $45^\circ$ , observado em parede planas, supõem-se que o mesmo ocorre em cantos e bordas, especialmente em casos de amarração direta, como pode-se observar na Figura 5.

Figura 5 - Espalhamento do carregamento em paredes (a) e em paredes com interseções (b)



Fonte: Capuzzo Neto (2005, p. 12)

Observa-se na figura 5 (a) o espalhamento de uma força parcialmente distribuída a  $45^\circ$  com a vertical. Quando a ligação entre as paredes é contínua (amarração direta), a força transfere-se de uma parede a outra, como na figura 5 (b).

### 2.3.2.1. Grupos isolados de paredes

São grupos compostos por paredes que trabalham de forma solidária, sem interação com os demais elementos, delimitados por aberturas de portas e janelas. Segundo Oliveira (2009), a força atuante no grupo consiste na soma das forças que atuam em cada uma das paredes que a compõem. É necessário que ocorra uniformização para garantir que ocorra as forças de interação entre as paredes. E

como essas tensões são uniformizadas, os blocos necessitam de resistências menores, se comparadas caso a uniformização não ocorresse.

Inicialmente, os grupos são definidos empiricamente. De acordo com Oliveira (2009), a divisão dos grupos basicamente consiste em limitá-los pelas aberturas de portas e janelas ou interrompê-los em grandes lances de paredes. A homogeneização das ações verticais consiste em somar as ações distribuídas e as ações concentradas que atuam no grupo. Capuzzo Neto (2005) definiu a seguinte Equação:

$$q = \frac{\sum(q_{oi}l_i + p_i)}{\sum l_i} \quad \dots (1)$$

Onde:

$q$ : ações homogeneizadas uniformemente distribuídas no nível considerado;

$q_{oi}$ : ações uniformemente distribuídas nas paredes do grupo no nível considerado;

$p_i$ : ações concentradas nas paredes do grupo no nível considerado;

$l_i$ : comprimento da parede  $i$  que constitui o grupo.

### 2.3.2.2. Grupos de paredes com interação

Esse grupo é semelhante ao grupo isolado de paredes, com uma adição onde os próprios grupos de parede se interagem entre eles. Nesse procedimento, além de se considerar a interação em canto e bordas, considera-se também as forças de interação sobre as aberturas, mediante a definição de taxas de interação, formando um macrogrupo.

Consiste em um procedimento seguro e econômico se for bem utilizado. Contudo, a aplicação é dificultada se comparada aos outros métodos, devido à existência das forças de interação. É conveniente definir uma taxa de interação que representa a diferença de cargas entre grupos que interagem a cada nível. Corrêa e Ramalho (1994) definiram a taxa de interação entre 0 e 1 (0% a 100%) o que representa a porcentagem de força que deve ser uniformizada.

Deve-se especificar quais grupos de paredes estão interagindo para facilitar o controle do projetista sobre o projeto. O algoritmo implementado por Corrêa e Ramalho (1994), faz uma distribuição através das Equações 2,3 e 4.

$$q_m = (q_1 + q_2 + \dots + q_n)/n \quad \dots (2)$$

$$d_i = (q_i - q_m)(1 - t) \quad \dots (3)$$

$$q_i = q_m + d_i \quad \dots (4)$$

Onde:

$n$ : número de grupos interagindo;

$q_i$ : carregamento do grupo no nível considerado;

$q_m$ : carregamento médio do macrogrupo no nível considerado;

$d_i$ : diferencial de carregamento no nível considerado;

$t$ : taxa de interação.

### 2.3.3. Modelagem tridimensional em elementos finitos

Esse método trata-se em “[...] modelar a estrutura discretizada com membrana ou barras, colocando-se os carregamentos ao nível de cada pavimento [...]”. (CORRÊA; RAMALHO, 2003, p.35). A uniformização dos carregamentos se dá mediante compatibilização dos deslocamentos em cada nó.

## 2.4. Normativas

As divergências nos estudos tanto nacionais quanto internacionais, fazem com que seja necessário aprofundar-se nos estudos do comportamento da alvenaria estrutural. Curtin et al. (1984) admitem a interação de paredes adjacentes, por meio de transferência de força de uma parede para outra. Já para Sinha e Hendry (1979), as paredes ortogonais, mesmo com amarração direta, trabalham isoladamente. Lissel et al (2000) verificaram que existe uma influência do tipo e amarração das interseções de paredes, no comportamento da alvenaria, após observarem diferenças nos ensaios de paredes diafragmas com diferentes ligações.

Considera-se que nas paredes estruturais “[...] a dispersão de qualquer ação vertical concentrada ou distribuída sobre um trecho de um elemento se dará segundo uma inclinação de 45°, em relação ao plano horizontal [...]”. (ABNT, 15812-1, p. 17). Essa definição da normativa brasileira pode ser utilizada para definição de um

elemento que trabalha para resistir uma ação ou para um carregamento que atua sobre o elemento.

As normativas ABNT NBR 15961-1, que trata da alvenaria estrutural de blocos de concreto, e a ABNT NBR 15812-1, que se refere à alvenaria estrutural de blocos cerâmicos, mencionam que a análise estrutural de um elemento deve ser realizada considerando o equilíbrio da estrutura num todo. Deve-se estar bem definidos o ponto de aplicação e o caminho descrito das ações horizontais e verticais.

Ainda referente às normativas citadas acima, deve-se considerar a interação de elementos quando houver garantia que as forças de interação possam se desenvolver no elemento, além da resistência ser suficiente para que transmita essas forças. Sempre que se considerar a ação das paredes, verificar e garantir a resistência de cisalhamento das interfaces.

Se tratando de interação para cargas verticais, a NBR 15961-1 (ABNT, 2011) define que quando se tratar de borda ou canto com amarração direta deve-se considerar que existe interação. Em situações de ligação que não foram em amarração direta, somente deverá considerar a interação se for comprovado a sua eficiência através de experimentos. Já as interações de paredes através das aberturas devem ser desconsideradas, exceto quando houver comprovação experimental. Essas definições da norma brasileira de alvenaria estrutural em blocos de concreto, também são válidas para blocos cerâmicos.

Segundo a EUROCODE 6 (2003), ao analisar paredes submetidas a cargas verticais, deve-se verificar as cargas aplicadas diretamente à parede, além dos efeitos gerados por elas, a disposição das paredes e a interação delas com o reforço, bem como as diferenças nas propriedades dos materiais componentes.

Ainda segundo a EUROCODE 6 (2003) as paredes submetidas a uma carga de cisalhamento, as cargas aplicadas sobre elas podem ser distribuídas igualmente sobre as paredes de suporte. No caso de pavimentos superiores, a carga gerada por eles propaga a  $45^\circ$  nos andares inferiores. Enquanto nas paredes submetidas a cargas concentradas, essa propagação ocorre a  $60^\circ$ .

Já a BS 5628-1 (1992) a carga concentrada pode ser considerada como uniformemente distribuída sobre a área e dispersa em dois planos, onde se espalha a  $45^\circ$  a partir das áreas do carregamento.

Desta forma, percebe-se que tanto as normas brasileiras quanto europeias consideram a existência da interação entre paredes, no entanto, não há disposições

a respeito da interação entre grupos diferentes de paredes ao longo da altura de uma edificação.

## **2.5. Modelagem numérica**

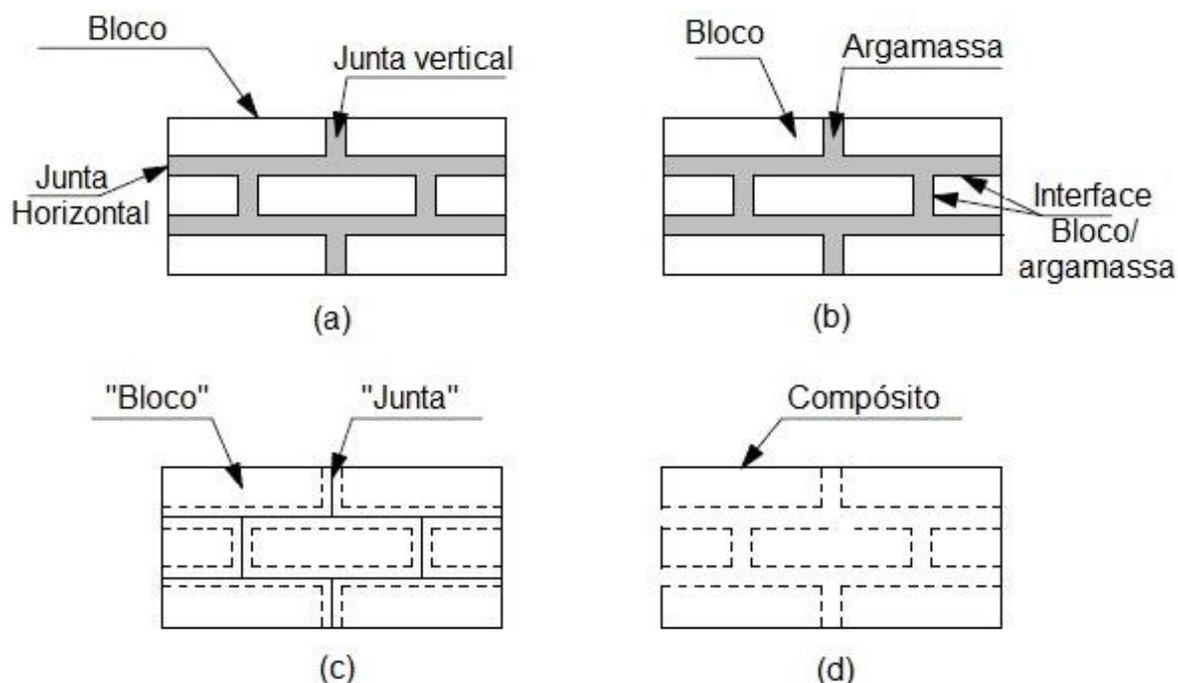
Alguns fatores influenciam diretamente nas propriedades da alvenaria, como a anisotropia e dimensão das unidades, a espessura das juntas, as propriedades da argamassa e das unidades, a qualidade da mão de obra utilizada no processo de construção, o arranjo das juntas verticais e horizontais, entre outros (PELETEIRO, 2002). Devido ao grande número de fatores que envolvem e influenciam nesse sistema construtivo, torna-se trabalhosa a simulação numérica em alvenaria estrutural.

Entre os métodos numéricos disponíveis, o método dos elementos finitos (MEF) é um dos métodos utilizados para modelar o comportamento estrutural da alvenaria. Isso se dá pelo fato do método ser flexível em representar qualquer geometria, condição de contorno ou carregamento (MATA, 2011). O primeiro estudo utilizando um modelo tridimensional foi realizado no ano de 1976, onde ainda eram limitados os recursos computacionais.

Lourenço (1996) define a existência de duas grandes estratégias de modelagem para simular numericamente a alvenaria, a macro e a micromodelagem. Na macromodelagem desconsidera-se a diferença de comportamento entre as juntas de argamassa e blocos, utilizando uma lei constitutiva que represente o comportamento do material como um todo, ou seja, a alvenaria é considerada como um compósito.

Já a micromodelagem consiste em modelar juntas, blocos e até mesmo, interfaces de maneira separada, de forma a alcançar a simulação do comportamento do material a nível de junta. As micromodelagens são utilizadas no estudo de pequenas regiões de alvenaria, buscando simular os efeitos localizados, já as macromodelagens são utilizadas em análises de maior escala, onde o importante são as tensões e deformações a nível de escala das paredes (LOURENÇO, 1996). A Figura 6 apresenta essas estratégias de modelagens propostas por Lourenço (1996), onde a escolha da modelagem a ser utilizada se dá dependendo do nível de precisão e da simplicidade desejada. Em (a), tem-se um exemplar de alvenaria.

Figura 6 – Estratégias de modelagem



Fonte: Traduzida de Lourenço (1996, p. 12)

Em (b) representa-se a micromodelagem detalhada onde as unidades e as argamassas são representadas por elementos contínuos, e a interface (área de adesão entre bloco/argamassa) é representada com elementos descontínuos. Nesse caso, as características físicas da unidade e da argamassa, como o coeficiente de Poisson, o módulo de elasticidade e as propriedades não lineares, são levados em conta. Essa modelagem possibilita estudar a ação combinada entre a unidade, a argamassa e a área de adesão. Para isso, é necessária uma malha altamente refinada, onde se dê ênfase nas juntas horizontais e verticais. (LOURENÇO, 1996)

Segundo Lourenço (1996), em (c) tem-se a micromodelagem simplificada onde as unidades são representadas por elementos contínuos e as dimensões são expandidas, além do comportamento das juntas e da interface serem considerados descontínuos. Nesse caso, perde-se um pouco da precisão devido ao efeito de Poisson na argamassa ser desprezado. A micromodelagem é indicada para prever o comportamento da estrutura, por exemplo, como as tensões se distribuem em aberturas de portas e janelas.

Pode-se ainda acrescentar um segundo tipo de micromodelagem simplificada, onde considera-se que as unidades e a argamassa são representadas por elementos

contínuos, além de considerar a ligação entre bloco/unidade como perfeita e com isso, desprezando a interface (CAPUZZO NETO, 2005).

Na macromodelagem, representada por (d), a unidade, a argamassa e a interface são consideradas dispersas no meio contínuo, onde leva-se em consideração a alvenaria como meio contínuo e com propriedades homogêneas. Esse modelo é aplicado quando a estrutura é composta por paredes sólidas e suas dimensões grandes o suficiente para que as tensões possam ser consideradas uniformes. Esse método é o mais prático, além de ser eficiente e preciso (LOURENÇO, 1996).

### **2.5.1 Macromodelagem**

De acordo com Mohamad (2008), se tratando de paredes em alvenaria estrutural, não se deve considerar as características de seus materiais isoladamente. Logo, considera-se o material como um compósito formado entre a argamassa e a unidade.

Como já abordado anteriormente, na macromodelagem os materiais são considerados compósitos, formando regiões suficientemente grandes para que possam ser considerados como contínuos. Isso faz com que esses compósitos possam ser considerados homogêneos e, no caso da alvenaria, ortotrópicos, onde as propriedades mecânicas em cada uma das direções são diferentes.

As propriedades da alvenaria são dependentes das propriedades de seus constituintes. Logo, é de extrema importância o conhecimento das propriedades físicas e mecânica dos blocos. Diante disso, têm-se que as principais características mecânicas dos blocos são: resistência à compressão, resistência a tração, coeficiente de Poisson ( $\nu$ ), módulo de elasticidade longitudinal ( $E$ ) e o módulo de elasticidade transversal ( $G$ ).

A propriedade mais importante a ser determinada é a resistência a compressão do bloco. Os fatores que influenciam essa resistência são: os materiais utilizados na produção do bloco, sua proporção e a eficiência de sua moldagem (IZQUIERDO, 2011). A determinação da resistência pode ocorrer através de ensaios de resistência à compressão uniaxial de prisma, onde deve-se utilizar fatores de correção devido aos efeitos de restrições das placas e do tipo de capeamento. Outra forma de determinar essa resistência se dá através do ensaio de paredes em tamanho real. Lourenço

(1996) afirma que a razão entre a resistência uniaxial à compressão na direção paralela e na direção normal à junta de assentamento, pode ter variações entre 0,20 e 0,80, dependendo da forma, do tipo e do material da unidade.

Além disso, o comportamento da alvenaria na tração uniaxial também deve ser observado, pois os blocos também recebem esforços a tração. No momento que a alvenaria é carregada a compressão e dependendo da rigidez dos materiais, ocorrerá tensões de tração no bloco e tensão de compressão lateral na argamassa. Como o ensaio de tração direta é de execução muito laboriosa, usam-se outras formas de medição da resistência à tração, como a resistência à tração na flexão, por exemplo. Para obter a máxima tração na flexão, o ensaio ocorre em dimensões reais. A ruptura é obtida entre a junta horizontal e a unidade, devido à perda de aderência. Diante disso, a resistência à tração da alvenaria pode ser estimada através da aderência entre a unidade/argamassa.

Visto que a alvenaria é um material anisotrópico, o estado biaxial não pode ser descrito apenas em relação as tensões principais. Faz-se necessário uma superfície tridimensional para que seja possível observar a resistência biaxial. O comportamento biaxial da alvenaria é outra propriedade mecânica a ser considerada.

Segundo a NBR 15812-1 (ABNT, 2010), o coeficiente de Poisson considerado para blocos cerâmicos é de 0,15. Já o módulo de elasticidade deverá estar limitado ao valor máximo de 12 GPa e pode ser obtido considerando  $600f_{pk}$ , onde  $f_{pk}$  consiste na resistência característica de compressão simples do prisma.

Entretanto, na NBR 15961-1 (ABNT, 2011), o coeficiente de Poisson a ser considerado para os blocos de concreto deve ser de 0,20. O módulo de deformação longitudinal máximo não deve ultrapassar 16 GPa e pode ser obtido considerando  $800f_{pk}$ .

## 2.6. O Método dos Elementos Finitos e o Software SAP2000 V12

O método dos elementos finitos (MEF) é uma aproximação matemática, ou numérica, que visa discretizar o meio contínuo em elementos discretos de maneira a permitir que sejam encontradas soluções aproximadas para problemas de solução analítica impossível ou muito complexa. Assan (2010) afirma que o MEF não consiste apenas em dividir o meio contínuo em elementos discretos e admitir a compatibilidade

e equilíbrio entre os elementos, mas também em adotar funções contínuas que permitam descrever o comportamento de determinada grandeza mecânica ao longo de todo o domínio, por exemplo, as tensões e deformações.

Kim e Sankar (2011) afirmam que o princípio do MEF é dividir ou discretizar um sistema contínuo em elementos menores, denominados elementos finitos, identificando os seus graus de liberdade ou deslocabilidades que descrevam o seu comportamento e depois escrever as equações. Normalmente são polinômios simples, que descrevem o comportamento de cada elemento e sua interação com os elementos vizinhos. Segundo Soriano (2003), o comportamento de cada elemento é arbitrado de forma aproximada, onde o conjunto ou malha de elementos, se comportam de forma semelhante a original.

As equações a nível de elemento são reunidas e organizadas de maneira a obter equações globais para o problema, que quando resolvidas fornecem as respostas dos graus de liberdade desconhecidos. Existe uma gama de elementos finitos com equações ou funções de interpolação já descritas, com usos específicos para diferentes problemas de engenharia. Vaz (2011) entende que o MEF é uma evolução natural do método dos deslocamentos via matricial. Sendo que há termos comuns aos dois métodos como matriz de rigidez local e global, vetor de carga e vetor de deslocamentos, montagem ou "*assembly*" das matrizes, entre outros. Faz-se então a escolha do elemento finito e da malha cuja a solução do sistema de equações de equilíbrio venha a ser adequada.

A utilização desse método para análise de estruturas em alvenaria estrutural se dá pelo fato de obter resultados com aproximação ao comportamento real, além de facilitar o entendimento dos mecanismos de sustentação e transmissão de cargas da alvenaria. Com isso, obtêm-se as deformações e tensões atuantes ao longo da estrutural, favorecendo a análise global e localizada da mesma. Além disso, pode-se identificar as possíveis falhas de um painel e avaliar o desempenho referente a segurança estrutural.

Devido ao fato de trabalhar com centenas ou milhares de elementos finitos e da utilização de um número elevado de dados referentes a estrutura, o emprego desse método só é possível utilizando softwares computacionais de análise. Um dos softwares que pode ser utilizado é o SAP 2000.

O SAP2000 V12 é um software comercial para análise estrutural que utiliza o método dos elementos finitos. A interface gráfica do programa é 3D o que permite de

maneira relativamente simples, realizar a modelagem, a análise e o dimensionamento de diversos problemas de engenharia de estruturas. O programa permite que a modelagem seja realizada utilizando nós, barras, superfícies e sólidos, adotando os mais variados modelos constitutivos para os materiais.

A vantagem de utilizar esse programa para análise de estrutural em alvenaria estrutural, é que ele permite de maneira simples, simular carregamento e obter os diagramas de esforços, análise dos deslocamentos, diagramas de trabalho virtual, entre outros.

Esse programa permite criar qualquer forma arbitrária e definir qualquer material para ele, calculando automaticamente as propriedades da seção. O software trabalha com objetos, elementos e grupos. Inicialmente, insere-se a geometria a ser analisada ou “desenha-se” a mesma na interface gráfica. Com isso, faz-se as atribuições das propriedades e insere-se os carregamentos. Após, é realizada a conversão do objeto para um ou mais elementos.

Entre os diferentes elementos que esse software disponibiliza, um deles é o “shell element”. Esse elemento de superfície é um objeto de área utilizado para modelar a estruturas bi e tridimensionais. É um elemento de três ou quatro nós, onde pode realizar duas formulações distintas: homogêneo ou em camadas ao longo da espessura.

Cada elemento de superfície possui seu próprio sistema de coordenadas local para que seja possível a definição das propriedades do material e das cargas. Os elementos podem ser carregados pela gravidade e por cargas uniformes em qualquer direção, além de considerar a pressão superficial em todas as faces (superior, inferior e lateral) e as cargas devido à mudança de temperatura.

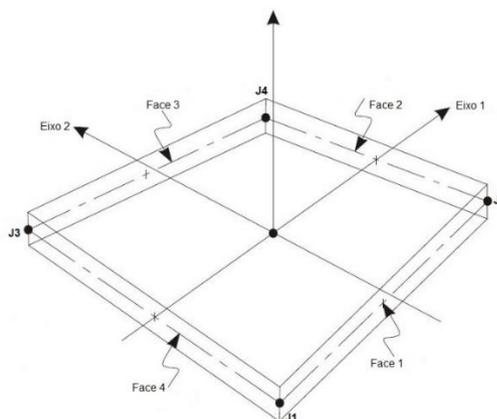
Esses elementos de superfície podem ser quadriláteros, pois possuem quatro nós (J1, J2, J3 e J4), como apresentado na Figura 7, ou triangulares, possuindo três nós (J1, J2 e J3), conforme apresentadas na Figura 8. Entre eles, o elemento de superfície quadrilátero é o mais preciso, além de poder ser utilizado para várias geometrias e transições.

Algumas propriedades dos materiais devem ser especificadas para a utilização da “shell”, sendo elas:

- O módulo de elasticidade longitudinal;
- O módulo de elasticidade transversal;
- Coeficiente de Poisson;

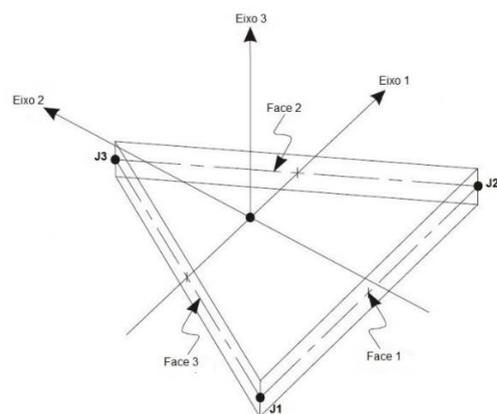
- Coeficientes de expansão térmica;
- A densidade de massa e densidade de peso.

Figura 7 – Elemento de superfície com quatro nós



Fonte: Traduzida de CSI (2008, p. 150)

Figura 8 – Elemento de superfície com três nós



Fonte: Traduzida de CSI (2008, p. 150)

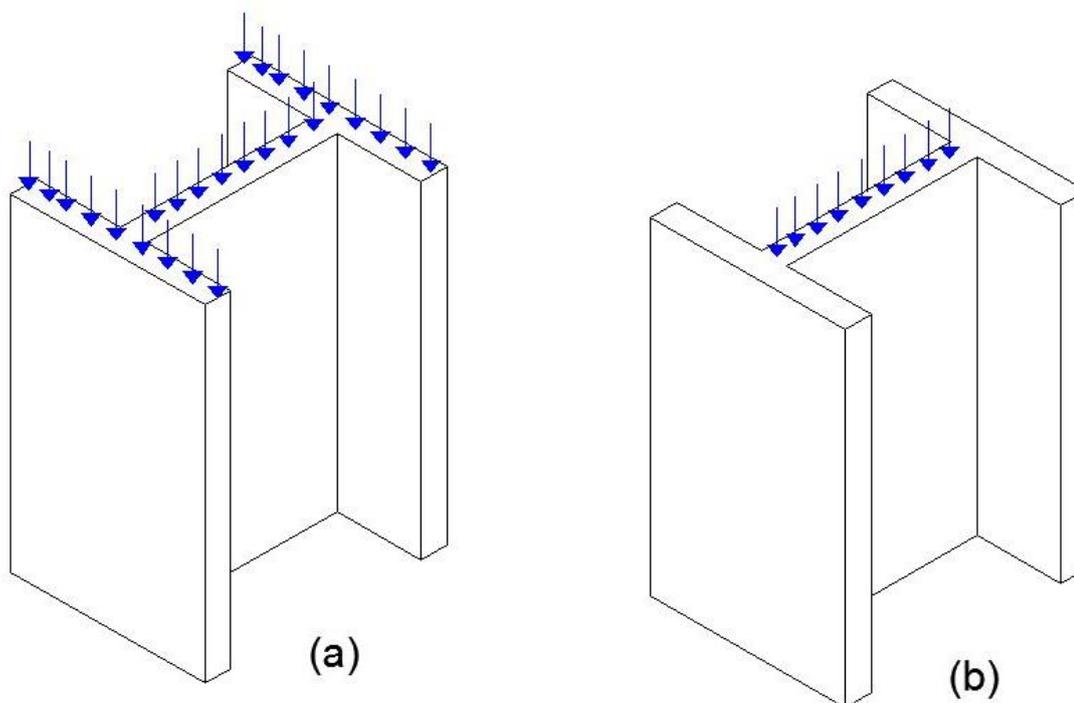
## 2.7. Pesquisas já realizadas sobre interação em paredes

Segundo Capuzzo Neto (2005), a primeira pesquisa sobre a interação de paredes foi realizada por Stockbridge em 1967, onde medições de deformações foram tomadas em um edifício de cinco pavimentos. Com esse estudo, puderam concluir que em edifícios altos, principalmente, há uma tendência das tensões se uniformizarem nos pavimentos inferiores, tanto nas paredes isoladas quanto nos grupos de paredes interligadas.

### 2.7.1. Ensaio realizado por Sinha e Hendry (1979)

Sinha e Hendry (1979) compararam a capacidade de carga entre paredes isoladas e paredes enrijecidas, levando em conta os coeficientes de enrijecimento segundo a BS 5628 (1992). Realizaram ensaios com diferentes valores de esbeltezes, com proporções entre altura e comprimento, além de dois tipos de carregamento. Na Figura 9 apresenta-se o esquema dos carregamentos utilizados para os estudos de Sinha e Hendry (1979).

Figura 9 – Esquema de carregamentos



Fonte: Capuzzo Neto (2005, p. 24)

Na figura 9 (a), o carregamento está distribuído ao longo da seção. Já na figura 9 (b), apenas alma está recebendo os carregamentos. Para esse procedimento utilizou-se três escalas distintas de blocos cerâmicos. Duas delas foram ensaiadas utilizando com um carregamento distribuído aplicado por macacos hidráulicos ligados a uma bomba. O outro foi realizado aplicando a força centralizada.

Com esses procedimentos, pode-se concluir que o enrijecimento não aumenta a resistência do painel. O tipo de amarração pode influenciar os resultados, porém os resultados não representam bem a situação de um painel em um edifício de múltiplos andares, pelo fato de nos ensaios o carregamento total é aplicado em um único nível.

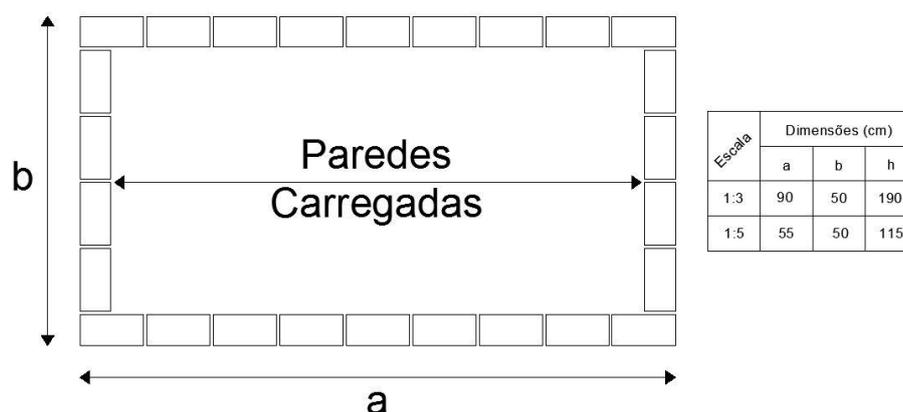
Já a deformação nas paredes com flanges é menor que no caso de paredes não enrijecidas.

### 2.7.2. Ensaio realizado por Camacho (1995)

O ensaio de torres em alvenaria estrutural realizado por Camacho (1995) teve como objetivo verificar o comportamento das torres, realizando medidas de deformação em vários pontos ao longo da seção e da altura da torre, além de avaliar a distribuição das ações verticais.

Camacho (1995) realizou o experimento em duas escalas: (1:3) e (1:5). O esquema das dimensões e de quais paredes são carregadas estão apresentados na Figura 10.

Figura 10 – Dimensões e formas a serem ensaiadas



Fonte: Adaptado de Capuzzo Neto (2005, p. 28)

Com o experimento, pode-se concluir que independente da escala utilizada a relação entre as deformações é praticamente a mesma. Além disso, a fissuração e a ruptura são iguais para as duas escalas. As fissuras têm início na primeira fiada nas paredes menores e nos cantos (considerando que a primeira fiada está na parte superior da parede). Conforme o carregamento aumenta, essas fissuras se prolongam para baixo.

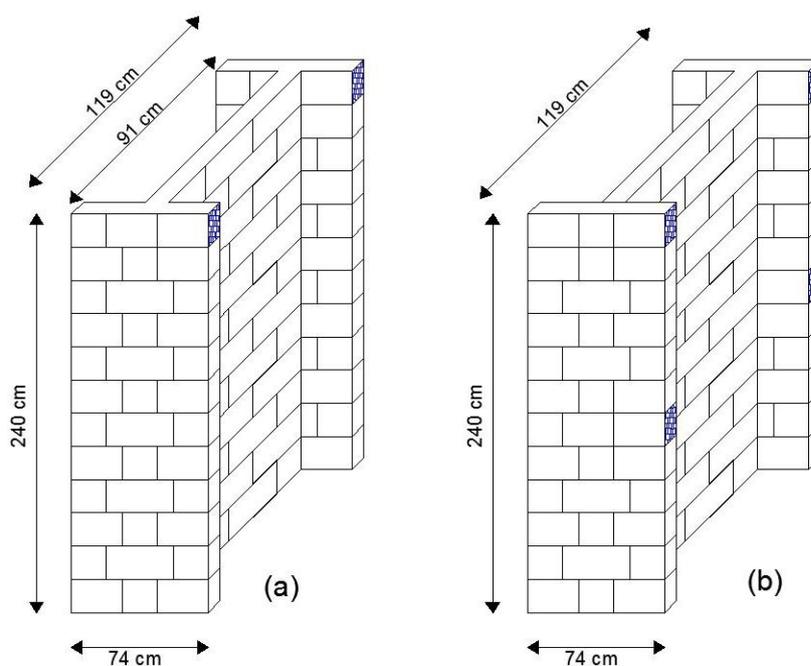
Após esses ensaios, o autor concluiu que poderia ter esperado uma maior homogeneização das deformações. Além disso, afirmou que é necessário a realização de mais ensaios, com presença de lajes intermediárias, com diversos tipos e

dimensões e de um estudo mais preciso, para que seja possível concluir sobre o assunto com mais segurança.

### 2.7.3. Ensaio realizado por Capuzzo Neto (2000)

Capuzzo Neto (2000) realizou ensaios de painéis de alvenaria em escala natural, onde o objetivo era estudar a interação entre as paredes, visando observar a influência da cinta de amarração à meia altura. A Figura 11 apresenta as duas séries analisadas pelo autor.

Figura 11 – Painéis de alvenaria analisados por Capuzzo Neto



Fonte: Capuzzo Neto (2005, p. 30)

A figura 11 (a) consiste em um painel em formato de H com cinta de amarração apenas na última fiada. Já na figura 11 (b), a amarração é intermediária e na última fiada. Ambos são constituídos de amarração direta, onde utilizou-se blocos cerâmicos. O ensaio consiste numa força distribuída aplicada apenas na alma da estrutura, onde a transferência do carregamento até os flanges é observada.

A força de ruptura média dos painéis é igual e o valor corresponde à resistência a compressão na parede central. Em relação à forma de ruptura, ela ocorre geralmente no bloco da cinta de amarração ou logo abaixo dela. As fissuras iniciam

na parede central e conforme o aumento do carregamento, as mesmas se propagam fazendo com que os flanges se separem da parede central. Em (a), o comportamento linear em média é 68% do valor da tensão máxima de compressão, já em (b), em média 82 % dessa tensão.

Capuzzo Neto (2000) realizou também uma modelagem em elementos finitos das paredes, onde fez-se a simulação de blocos com juntas argamassadas e cintas de amarração. O objetivo era analisar a interação entre as paredes, onde a relação entre a altura e o comprimento em planta do painel é o principal parâmetro a ser analisado. O carregamento foi aplicado na parede central para que posteriormente pudesse se realizar a comparação com os resultados experimentais. Com essa modelagem verificou-se resultados idênticos aos modelos com e sem cinta de amarração.

O autor variou também as dimensões em planta, com intuito de verificar a distribuição do carregamento. Além disso, variou o número de pavimentos, o que se torna inviável de realizar in loco, mas sem considerar uma laje entre eles. Nesse caso, o carregamento foi dividido pelo número de pavimentos simulados e aplicado no topo de cada um. Como resultado, concluiu que o comportamento linear com e sem cinta são praticamente iguais para diversos pavimentos.

#### **2.7.4. Análise numérica realizada por Ali, Sinha e Usmani (2000)**

Ali et al. (2000) realizaram uma análise numérica onde o objetivo era verificar os coeficientes de enrijecimento indicados por normas estrangeiras como BS 5628, EUROCODE 6, entre outras. Esses coeficientes permitem considerar que uma parede enrijecida possui resistência maior que uma parede isolada. Utilizaram o programa de elementos finitos ABAQUS. Analisaram paredes enrijecidas em formato de H e paredes isoladas. Além disso, investigaram a influência da altura, da localização do carregamento e do comprimento da parede.

Os pesquisadores concluíram através das análises numérica que as paredes enrijecidas onde o carregamento é aplicado apenas na alma possuem uma resistência menor que no caso de paredes isoladas (carregamento aplicado em toda área). O fato da resistência ser menor se justifica pelo fato da concentração de tensões normais e cisalhantes na região onde o carregamento foi aplicado. Ainda, nas paredes enrijecidas o efeito de esbeltez é maior o que contribuiu na redução da resistência.

Concluíram também que para as paredes com excentricidade, os valores de resistência são inferiores que para as paredes com carregamento axial. Logo, quanto maior a excentricidade, menor a resistência da parede, para ambos tipos de paredes.

#### **2.7.5. Ligações de paredes por Lissel et al. (2000)**

Lissel, Shrive e Page (2000) realizaram ensaios em corpos de prova com seção transversal em H e tinham como objetivo analisar a influência da amarração na resistência da ligação entre a alma e a flange. Utilizaram nos corpos de prova, dois tipos de fibra de vidro polimérica que são utilizados como conectores para amarração indireta. O ensaio consistiu em aplicar uma força de compressão nos flanges, equivalente à força normal de um pavimento. Fez-se ensaio para os dois tipos de amarração: direta e indireta.

Como resultado, comprovou-se que o travamento gerado pela amarração direta da alma-flange, gera uma vantagem estrutural significativa em relação a amarração indireta. A amarração direta suportou três vezes mais do que a força aplicada na amarração indireta.

#### **2.7.6. Ligações de paredes por Camacho et al. e Silva (2001)**

Camacho et al. (2001) e Silva (2003) realizaram pesquisas em painéis em H e em cavaletes, onde o objetivo era analisar a transferência das ações verticais em paredes com amarrações distintas. Camacho et al. (2001) utilizou amarração direta sem graute no encontro (PHCV), amarração direta com graute no encontro (PHCG) e amarração indireta através de grampos e graute (PHTG). Já Silva (2003) utilizou amarrações do tipo PHCV e PHTG.

Em todos ensaios, o carregamento vertical é aplicado uniformemente distribuído na parede central. Utilizou-se escala distintas, sendo elas: 1:1 e 1:3. Camacho et al. (2001) concluíram que para a escala reduzida, a amarração indireta com grampos é mais vantajosa se comparada a amarração direta. Já Silva (2003), concluiu que na escala natural, a amarração direta é 50% superior a indireta.

### **2.7.7. Ensaio realizado por Signor e Roman (2002)**

Signor e Roman (2002) também realizam um ensaio em um painel em H, de alvenaria estrutural com blocos cerâmicos, em escala (1:3,33) com amarração direta. Esse ensaio tinha por objetivo verificar a transferência das ações verticais nas paredes. O carregamento é aplicado distributivamente apenas na parede central através de uma prensa que mantém o topo da parede articulado.

Mediu-se as deformações e verificou-se as transferências de força para os flanges. Identificou-se uma excentricidade do carregamento, onde veio a causar tração em um flange e com isso, compressão maior em outro flange.

Com esse experimento, os autores concluíram que: “[...] a adoção de processos que levam em conta a interação de paredes é bastante razoável [...]”. (CAPUZZO NETO, 2005, p.35). Além disso, se considerada a boa qualidade de execução e a existência de bloco de amarração e cinta de respaldo, a cinta contribui na distribuição do carregamento.

### **2.7.8. Análise numérica realizada por Peleteiro (2002)**

Peleteiro (2002) realizou uma modelagem numérica de painéis de alvenaria no software ABAQUS, com o objetivo de verificar a transferência das forças entre as paredes. Considerou o comportamento não-linear e linear dos materiais, o que difere da modelagem numérica realizada por Capuzzo Neto (2000). O carregamento foi aplicado no topo da parede central e espalhado para toda estrutura através da cinta de amarração superior.

Com essa análise, conclui-se que o comportamento não-linear dos materiais apresenta resultados consistentes se comparados com os experimentos de Capuzzo Neto (2000) citados no item 2.5.3. Para maior precisão da representação se faz necessário analisar a separação das paredes através de uma modelagem numérica mais complexa.

### **3. METODOLOGIA**

Nesse item apresenta-se a metodologia adotada para a realização da análise comparativa da interação entre paredes de três edificações submetidas a ações verticais.

Após a escolha do modelo construtivo, realizou-se a modelagem de três edificações submetidas à mesma natureza de carregamento, mesmo número de pavimentos e altura. O que diferiu nessas edificações foi apenas o arranjo de paredes no projeto arquitetônico.

Realizou-se a verificação das reações obtidas nos apoios, primeiramente, considerando apenas um pavimento da edificação. Após, acrescentou-se os pavimentos seguintes, um por vez, considerando os efeitos construtivos ou não, a fim de avaliar a variação da interação das cargas verticais nas paredes estruturais em função da altura.

Todas essas análises foram realizadas através do método de elementos finitos em conjunto ao software SAP2000 V12. A metodologia apresentada não se deteve em discriminar os comandos a serem utilizados no programa, apenas destacaram-se os recursos utilizados para a análise do problema proposto.

#### **3.1. Edificações analisadas**

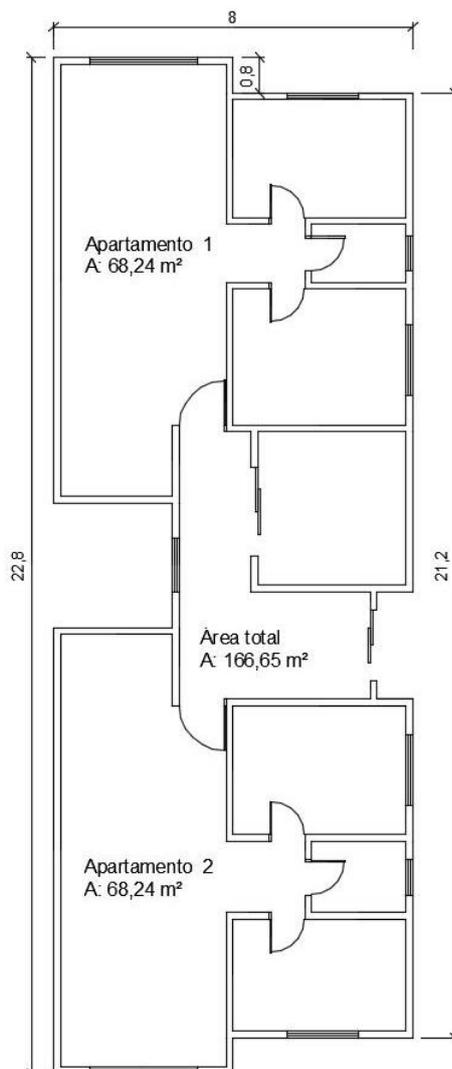
As edificações possuem a mesma altura e são dispostas de quatro pavimentos de alvenaria estrutural. As lajes da edificação são maciças de concreto armado com 0,15 m de espessura. A altura da edificação é de 12,00 metros, 4 pavimentos com distância de entrepiso de 3,0 m, cada. O pavimento de cobertura foi considerado exatamente igual aos demais, para facilitar a análise.

A estrutura da edificação é apoiada sobre uma viga baldrame com 0,20 de largura e 0,60 cm de altura e considerou-se apoios rotulados, indeslocáveis, espaçados a cada 40 cm, igual a distância da malha de elementos finitos adotada, a fim de evitar que ocorresse o efeito arco na estrutura. As edificações a serem analisadas estão apresentadas na sequência.

### 3.1.1. Edificação 1

A edificação 1 possui dois apartamentos e área por pavimento de 166,65 m<sup>2</sup>. Observa-se na Figura 12, a planta baixa dessa edificação, bem como as respectivas dimensões em metros.

Figura 12 – Planta baixa da edificação 1

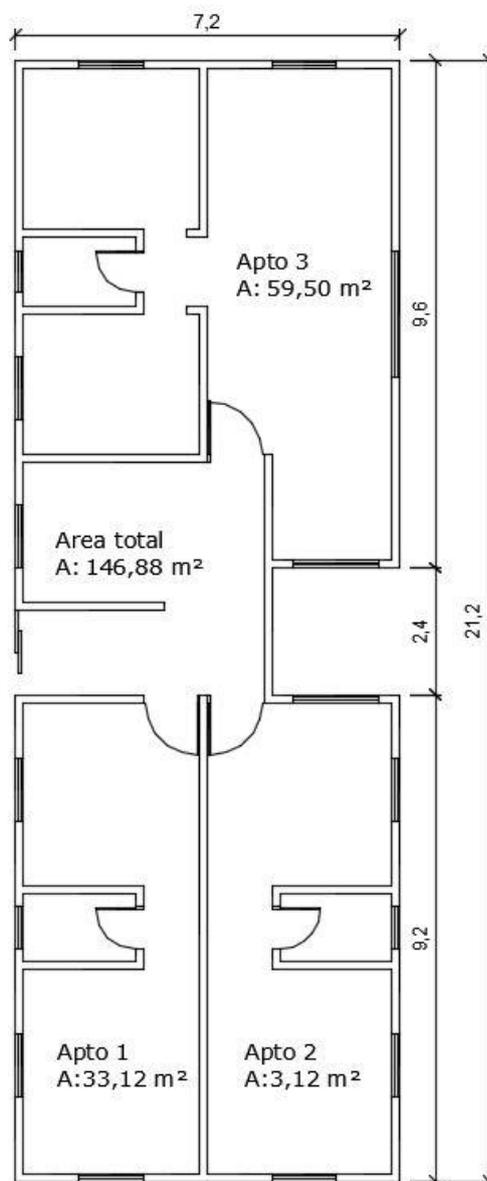


Fonte: Próprio autor

### 3.1.2. Edificação 2

A edificação 2 possui três apartamentos e área de 146,88 m<sup>2</sup> por pavimento. A Figura 13 apresenta a planta baixa dessa edificação. A unidade de medidas é metros.

Figura 13 – Planta baixa da edificação 2

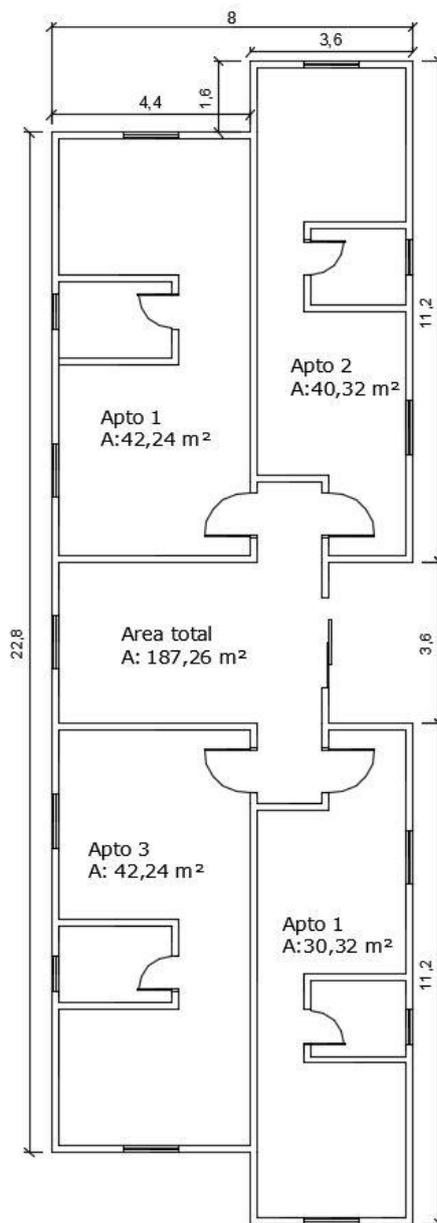


Fonte: Próprio autor

### 3.1.3. Edificação 3

Já a edificação 3 possui quatro apartamentos e área de 187,26 m² por pavimento. Essa edificação também se difere das anteriores devido ao arranjo de paredes. A Figura 14 apresenta a planta baixa da edificação com suas dimensões em metros.

Figura 14 – Planta baixa da edificação 3



Fonte: Próprio autor

### 3.2. Propriedades das edificações

As edificações analisadas são compostas por blocos de concreto de paredes vazadas, com dimensões nominais de 14x19x29cm e resistência à compressão nominal na área bruta de 6 MPa, atendendo os requisitos impostos pela NBR 15961 (ABNT, 2011).

As propriedades da alvenaria consideradas nessa análise, seguiram as normativas impostas. Segundo a NBR 15961-1 (ABNT,2011), o módulo de elasticidade longitudinal (E) deve ter valor máximo de 16 GPa ou  $800f_{pk}$ , onde  $f_{pk}$  consiste na resistência característica de compressão simples do prisma. Considerou-se a alvenaria de blocos de concreto com um módulo de elasticidade 4,0 GPa, além de uma densidade de 1400,0 kg/m<sup>3</sup>. O coeficiente de Poisson ( $\nu$ ) considerado foi de 0,20. Considerou-se um módulo de cisalhamento (G) de 1,67 GPa.

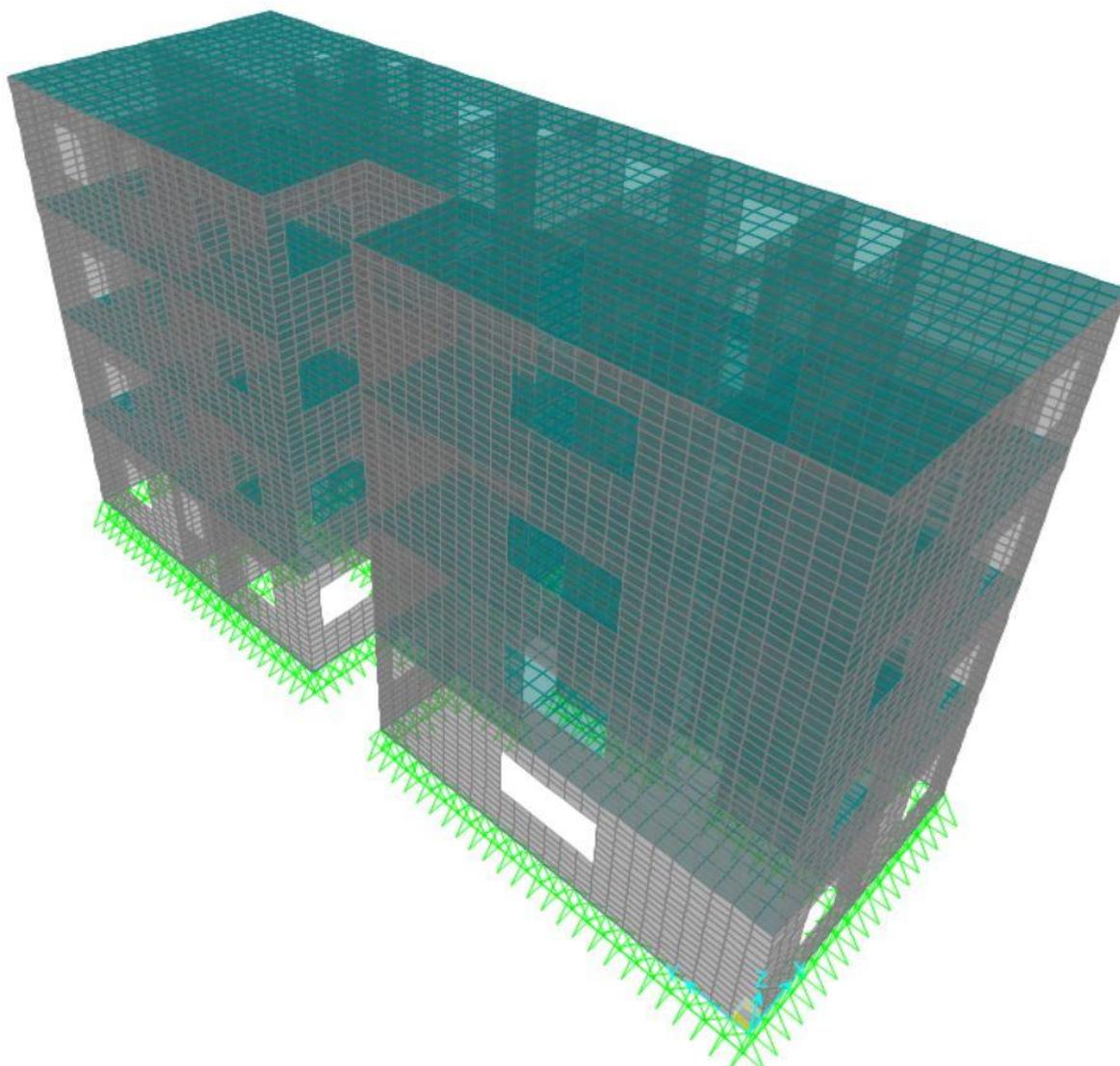
Já o concreto utilizado para as lajes, possui com uma densidade de 2500 kg/m<sup>3</sup>, módulo de elasticidade de 28,0 GPa, coeficiente de Poisson de 0,20 e módulo de cisalhamento de 1,167 GPa.

### 3.3. Discretização

Quanto maior o refinamento da malha de elementos finitos adotada, melhores serão os resultados, contudo, a malha não pode ser tão refinada a ponto de tornar o cálculo computacional proibitivo em termos de tempo. Diante disso, a discretização das paredes da edificação com elementos carregados no próprio plano foram realizados de maneira que os elementos tivessem a mesma ordem de grandeza que os módulos da alvenaria. Da mesma forma, as lajes, foram discretizadas com elementos carregados perpendiculares ao plano e com mesma ordem de grandeza que as paredes. Para ambos os caso, utilizou-se o elemento “shell”, onde foi considerado o elemento quadrilátero, conforme apresentado no item 2.6 e na Figura 7.

A Figura 15 mostra uma das edificações analisadas com a sua estrutura discretizada. A malha utilizada para as lajes possui 40 x 40 cm e a malha adotada para as paredes de alvenaria estrutural, 20 x 40 cm, ambas semelhantes às utilizadas por Diz et al. (2015).

Figura 15 – Estrutura discretizada



Fonte: Próprio autor

### 3.4. Carregamentos aplicados

Para as três edificação considerou-se um carregamento permanente aplicado nas lajes de  $150 \text{ kgf/m}^2$  e um carregamento acidental de  $150 \text{ kgf/m}^2$ . O peso-próprio da estrutura é considerado automaticamente pelo software SAP2000.

Consideraram-se duas combinações, uma no estado limite último (ELU) e uma no estado limite de serviço (ELS). A combinação considerando os ELU leva em conta o carregamento permanente e o carregamento acidental, utilizado o mesmo coeficiente de ponderação de 1,40, para ambos. Já a combinação considerando o ELS utiliza um coeficiente de ponderação de 1,0 para o carregamento permanente e 0,4 para o carregamento acidental.

### 3.5. Taxa de interação

Para que fosse possível analisar a interação entre as paredes, fez-se a escolha de três paredes em cada edificação. A escolha das paredes analisadas se deu em função da localização das mesmas, sendo pelo menos uma parede externa com aberturas para esquadria.

A fim de obter a taxa de interação entre as paredes das edificações, verificaram-se as reações nos apoios da estrutura, sem considerar o peso próprio da viga baldrame e do contrapiso do pavimento térreo. Assim, todos os pavimentos possuíam a mesma geometria e carregamento.

Foi adotada a rotina de faseamento construtivo disponível no software SAP 2000. Nessa, o carregamento de cada pavimento é aplicado de maneira individual e a malha se deforma antes da aplicação do próximo pavimento. Assim, busca-se reproduzir os efeitos reais que acontecem na estrutura. A interação entre as paredes foi avaliada através da diferença entre os carregamentos nos nós obtidos com a consideração dos efeitos construtivos e a soma dos pavimentos isolados.

As reações analisando o comportamento dos pavimentos isolados, foram calculadas levando em conta a reação apenas do primeiro pavimento da estrutura e considerando que todos os pavimentos comportam-se da mesma maneira. Logo, as reações nos nós para a fase 1 foi utilizada para toda a estrutura, multiplicando-a pelo número de pavimentos.

A taxa de interação representa o quanto da diferença de cargas entre grupos que interagem deve ser uniformizada em cada nível. Para isso, utilizou-se como base os estudos de Corrêa e Ramalho (1994), apresentados anteriormente no item 2.3.2.2, levando em conta as Equações 3 e 4.

Para calcular essa taxa de interação, obtiveram-se as reações em todos os nós da base das paredes da edificação, a fim de encontrar a carga distribuída média nas paredes do pavimento térreo. Além disso, obteve-se a carga distribuída média considerando os pavimentos como agrupados e como isolados. Essa carga isolada foi calculada como sendo a carga medida para apenas um único pavimento multiplicado pelo número de pavimentos. Esse carregamento dos pavimentos isolados foi denominado de "média isolada". Chamou-se de "diferença das cargas" a subtração entre a carga média da parede agrupada e a carga média da edificação.

A Equação 5 demonstra a maneira em que foram consideradas as equações de Corrêa e Ramalho (1994) para essas análises.

$$\text{Diferença das Cargas} = (\text{Média Isolada} - \text{Média Edificação}) \times (1 - \text{Taxa de Interação}) \dots (5)$$

Isolando a incógnita da equação, têm-se a Equação 6, utilizada para obtenção para a taxa de interação.

$$\text{Taxa de Interação} = - \frac{\text{Diferença das Cargas}}{(\text{Média Isolada} - \text{Média da Edificação})} + 1 \dots (6)$$

#### 4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A apresentação dos resultados de cada uma das edificações e suas respectivas análises estão dispostas a seguir.

##### 4.1. Edificação 1

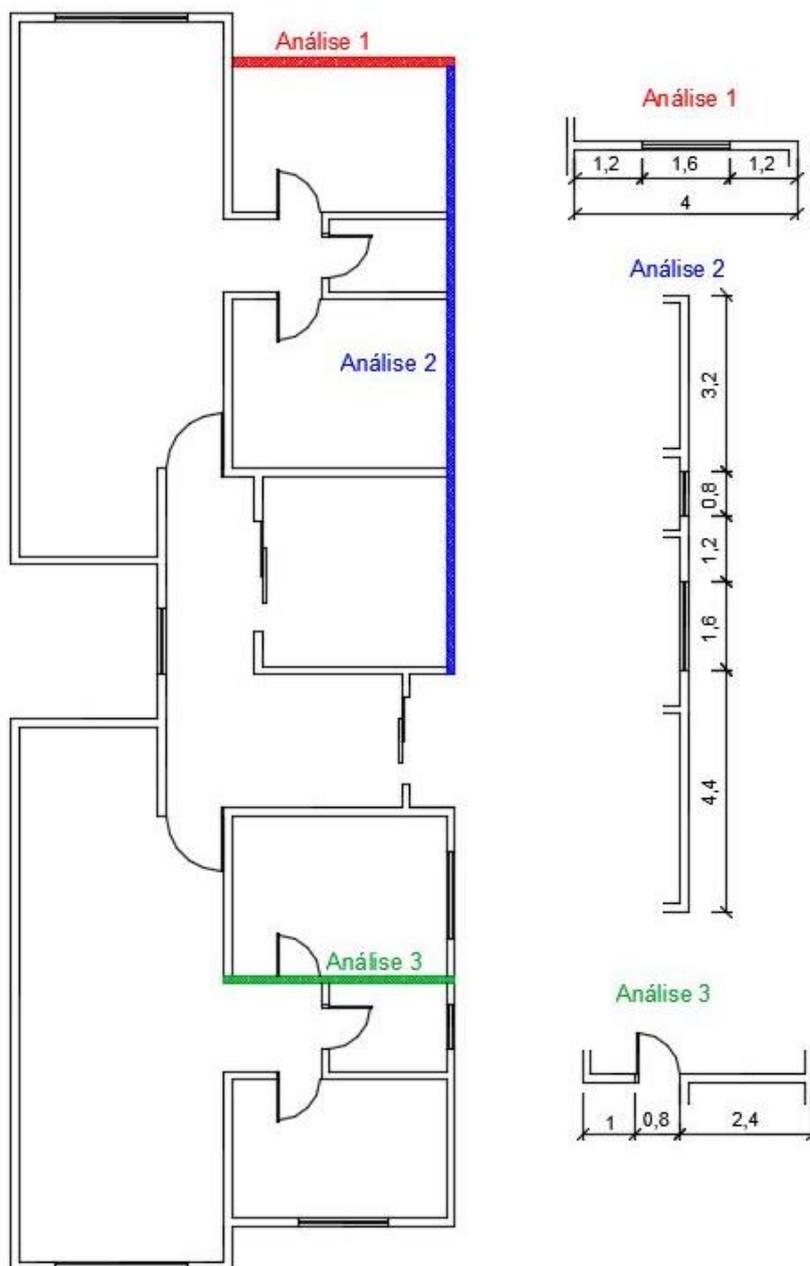
Neste item, serão apresentados os resultados obtidos para três paredes pertencentes à edificação 1. A Figura 16 apresenta quais paredes foram analisadas nessa edificação.

A análise 1 se dá em uma parede externa da edificação, que possui 4,00 m de comprimento, 3,00 m de altura para cada pavimento. Possui uma abertura de 1,60 m de largura por 1,20 m de altura. Essa abertura está a 1,20 m das extremidades e a 1,20 m da laje inferior.

A análise 2 se refere a uma parede externa, com duas aberturas e comprimento total de 11,20 m. Uma das aberturas possui 0,80 m de comprimento, 1,20 de altura e está localizada a 1,60 m da laje inferior. A outra abertura possui 1,60 m de largura, 1,20 de altura e está localizada a 1,20 m da laje inferior. Essa parede recebe ações de outras cinco paredes em que está amarrada.

Por fim, a análise 3 se dá a uma parede interna de 4,00 m que está amarrada em outras três paredes. Possui uma abertura para porta, com 2,20 m de altura e 0,80 m de largura.

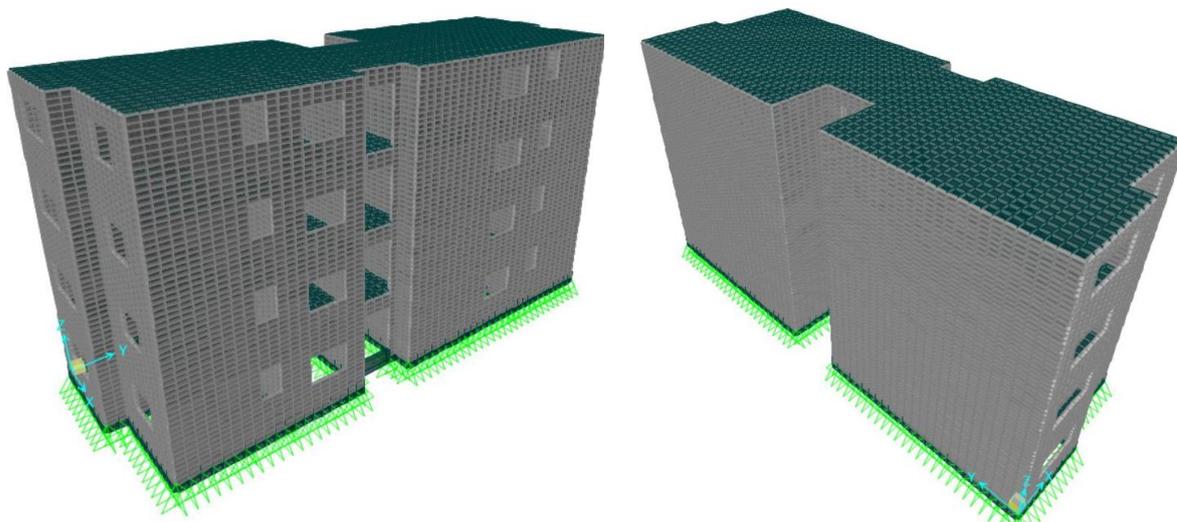
Figura 16 – Paredes a serem analisadas na edificação 1



Fonte: Próprio autor

A Figura 17 apresenta a edificação 1 modelada tridimensionalmente no software SAP2000, onde é possível observar as paredes em alvenaria estrutural com sua malha de 20 por 40 cm e as lajes com a malha de 40 por 40 cm. Além disso, observa-se a viga baldrame bem como os apoios da estrutura.

Figura 17 – Edificação 1 modelada tridimensionalmente



Fonte: Próprio autor

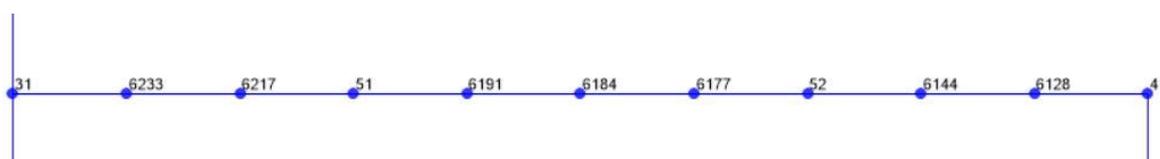
O carregamento total nas paredes dessa edificação, considerando os quatro pavimentos, é de 1092195,94 kgf. Contabilizando todas as paredes da edificação, a mesma possui 119,20 m de comprimento, determinando uma média de 9162,71 kgf/m de carga linearmente distribuída na base das paredes do primeiro pavimento.

No Apêndice A encontram-se todas as reações dos apoios necessárias para análise dessa edificação, obtidas através do software SAP2000.

#### 4.1.1. Análise 1

A análise 1 se refere a uma parede externa da edificação a qual possui onze nós na sua extremidade inferior. Esses nós estão apresentados na Figura 18.

Figura 18 – Nós da parede



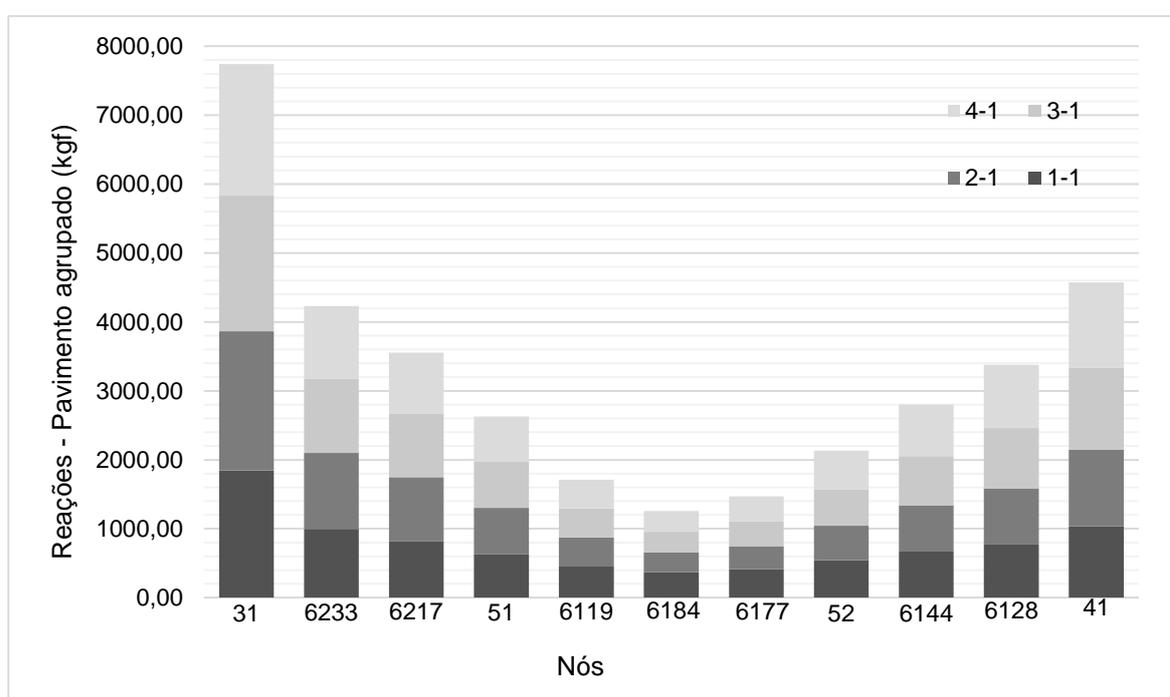
Fonte: Próprio autor

O Gráfico 1 apresenta as reações em cada um dos nós dessa parede, considerando a estrutura com pavimentos agrupados. Cada um dos trechos das colunas, representa a adição de um pavimento na análise. Inicialmente, considera-se

apenas a fase 1, onde leva-se em conta as reações geradas pelo primeiro pavimento da estrutura. Na medida em que se acrescentam pavimentos, têm-se novas fases e, em função da deformação das paredes já executadas, essas reações aumentam de maneira não uniforme.

No Gráfico 1, o “1-1” refere-se a fase construtiva, considerando apenas o primeiro pavimento. Já o “2-1” se refere a fase construtiva em que o segundo pavimento é adicionado e assim, respectivamente aos outros pavimentos.

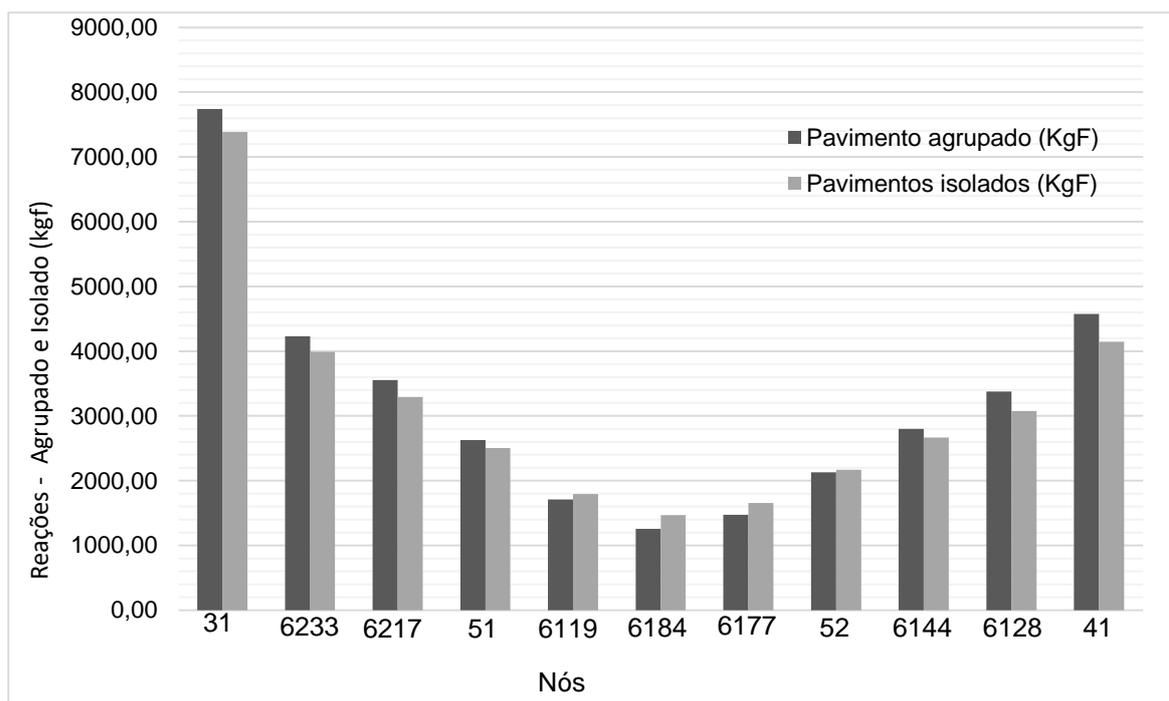
Gráfico 1 - Reação em cada nó considerando acréscimo de pavimento



Fonte: Próprio autor

Sabe-se que essas reações se comportam de maneira não uniforme, conforme análise do Gráfico 2, que apresenta uma comparação das reações considerando os pavimentos agrupados e pavimentos isolados. Nas extremidades da parede, os nós são mais carregados na análise por pavimentos agrupados, indicando que há transmissão de cargas entre os planos de parede adjacentes. No centro, acontece o contrário, o carregamento por pavimentos isolados é maior.

Gráfico 2 – Comparação entre pavimento agrupado e pavimento isolado



Fonte: Próprio autor

O carregamento total dessa parede considerando pavimentos agrupados é de 35473,0 kgf. Como essa parede possui um comprimento de 4,0 m, a carga média na parede é de 8868,33 kgf/m. Para os pavimentos isolados, o carregamento total é de 34137,61 kgf, gerando uma média de 8536,90 kgf/m. Utilizando a Equação 6 apresentada no item 3.5, conclui-se que a taxa de interação para essa parede é de 0,53.

$$\text{Taxa de Interação} = -\frac{\text{Diferença das Cargas}}{(\text{Média Isolada} - \text{Média da Edificação})} + 1$$

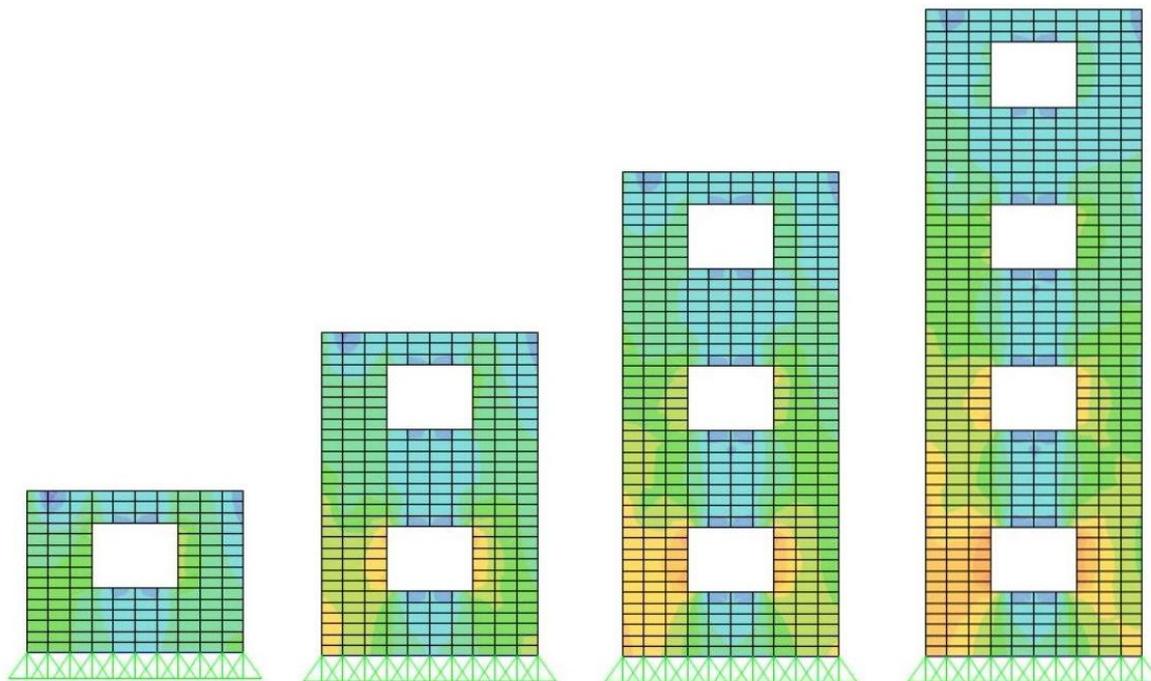
$$\text{Taxa de Interação} = -\frac{(8868,33 - 9162,72)}{(8536,90 - 9162,72)} + 1$$

$$\text{Taxa de Interação} = 0,53$$

A Figura 19 apresenta a vista frontal da parede em questão. Observa-se que conforme são adicionados pavimentos na estrutura, os carregamentos se dissipam e as maiores tensões se concentram nas extremidades da estrutura, regiões mais rígidas. Abaixo de aberturas, a concentração de tensões é baixa, se comparada com

as extremidades da estrutura ou com a lateral das aberturas. As regiões azuis indicam valores menores de tensão de compressão, enquanto as regiões amarelas e laranjas, as regiões com maiores tensões.

Figura 19 – Distribuição de tensões conforme acréscimo de pavimentos

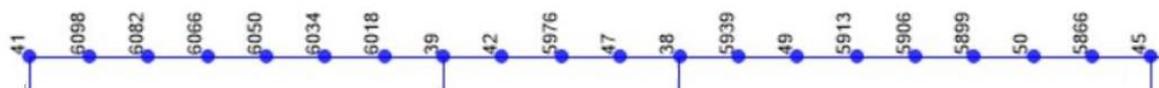


Fonte: Próprio autor

#### 4.1.2. Análise 2

A análise 2 se refere a outra parede externa da edificação. Essa parede possui vinte nós e a sua malha discretizada é apresentada na Figura 20.

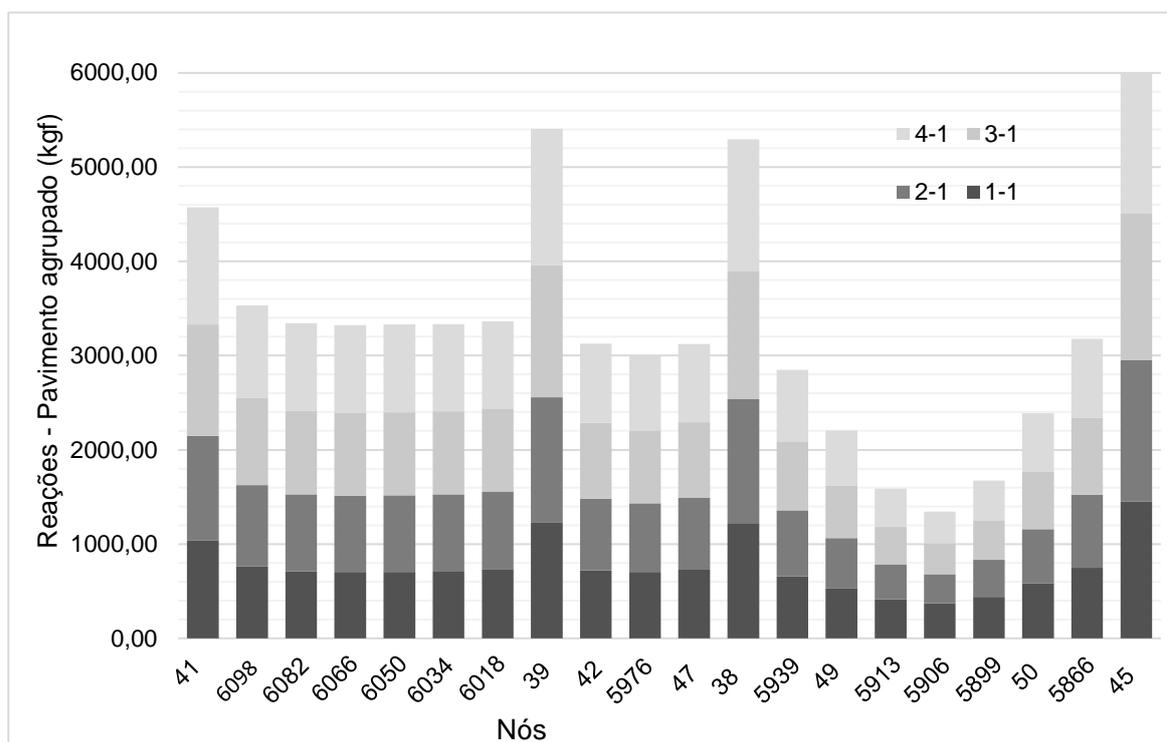
Figura 20 – Nós da parede



Fonte: Próprio autor

O Gráfico 3 apresenta as reações em cada um dos nós dessa parede, considerando a estrutura com pavimentos agrupados. Mais uma vez percebe-se que o acréscimo de carregamento nos nós da base da parede não foi uniforme.

Gráfico 3 - Reação em cada nó considerando acréscimo de pavimento

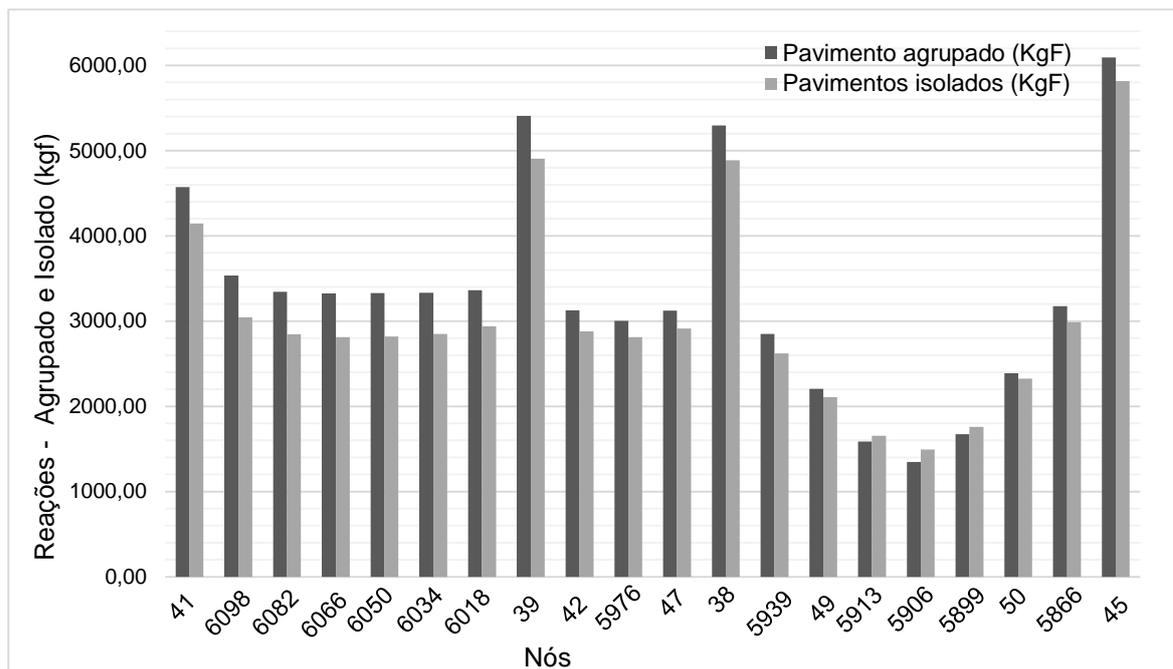


Fonte: Próprio autor

Assim como para a análise 1, sabe-se que essas reações se comportam de maneira desuniforme, conforme apresentado no Gráfico 2, que representa uma comparação das reações considerando os pavimentos agrupados e pavimentos isolados. Nota-se que em apenas três nós, sendo eles 49, 5913 e 5905, as reações do pavimento isolado foram superiores ao pavimento agrupado. Os picos de carga nos nós 39 e 38 são resultado da chegada de paredes transversais na parede.

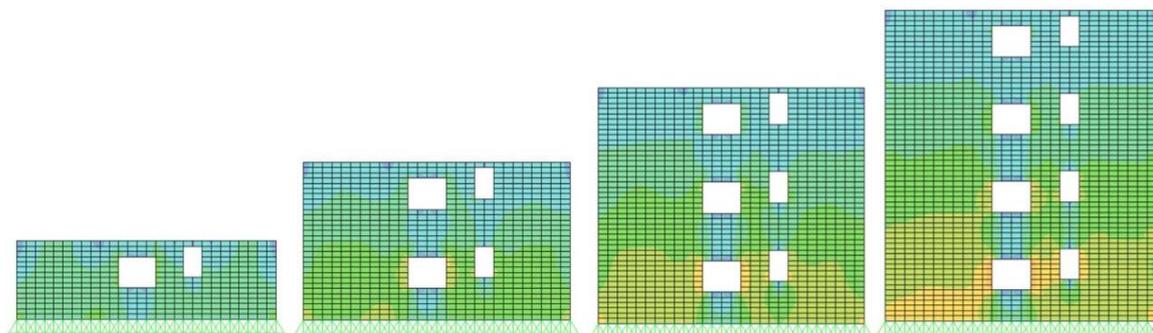
A Figura 21 apresenta a vista frontal da parede em questão, conforme acréscimo de pavimento das fases construtivas. As maiores tensões se concentram nas extremidades da parede e nas laterais das aberturas.

Gráfico 4 – Comparação entre pavimento agrupado e pavimento isolado



Fonte: Próprio autor

Figura 21 – Distribuição de tensões conforme acréscimo de pavimentos



Fonte: Próprio autor

Para o modelo com pavimentos isolados, o carregamento total é de 60624,86 kgf. Como essa parede possui 11,20 m de comprimento, têm-se uma média de 5412,93 kgf/m. Já o carregamento total dessa parede considerando pavimentos agrupados é de 66067,61 kgf e a carga média na parede é de 5898,89 kgf/m. Utilizando as Equações 6, obtêm-se uma taxa de interação de 0,13 para a parede em questão.

### 4.1.3. Análise 3

A análise 3 refere-se a uma parede interna da edificação que possui dez nós, apresentados na Figura 22.

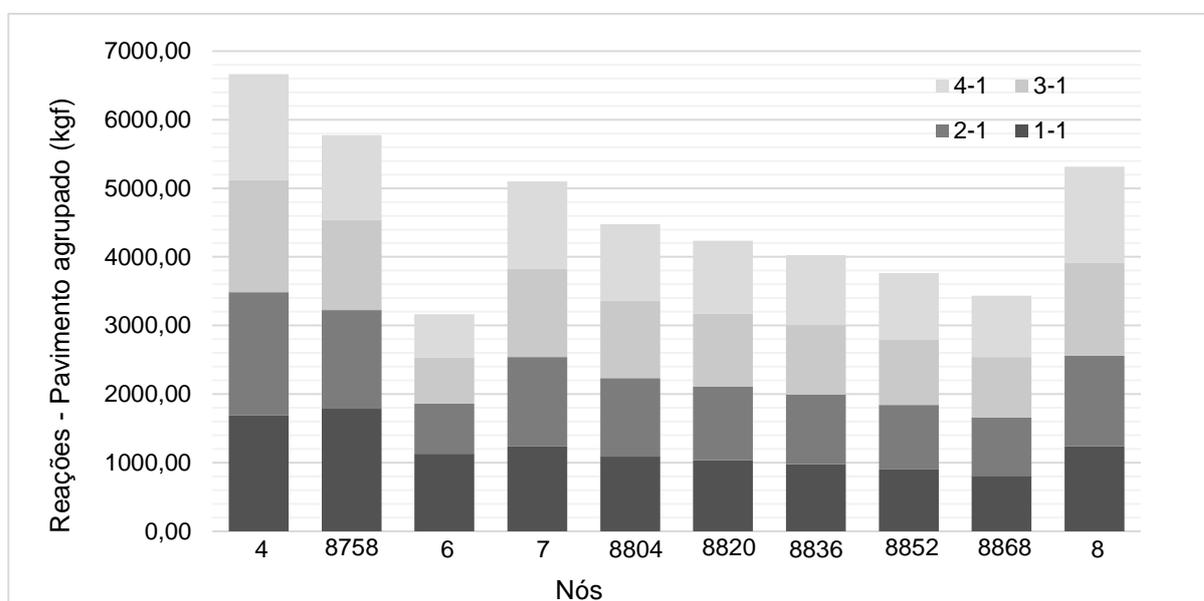
Figura 22 – Nós da parede



Fonte: Próprio autor

O Gráfico 5 apresenta as reações em cada um dos nós dessa parede, considerando a estrutura com pavimentos agrupados. Consideram-se inicialmente as reações geradas pelo primeiro pavimento da estrutura. Após, os outros pavimentos são adicionados um por vez, gerando uma nova reação nos nós. Na medida em que se acrescentam esses pavimentos, essas reações aumentam de maneira não uniforme.

Gráfico 5 - Reação em cada nó considerando acréscimo de pavimento

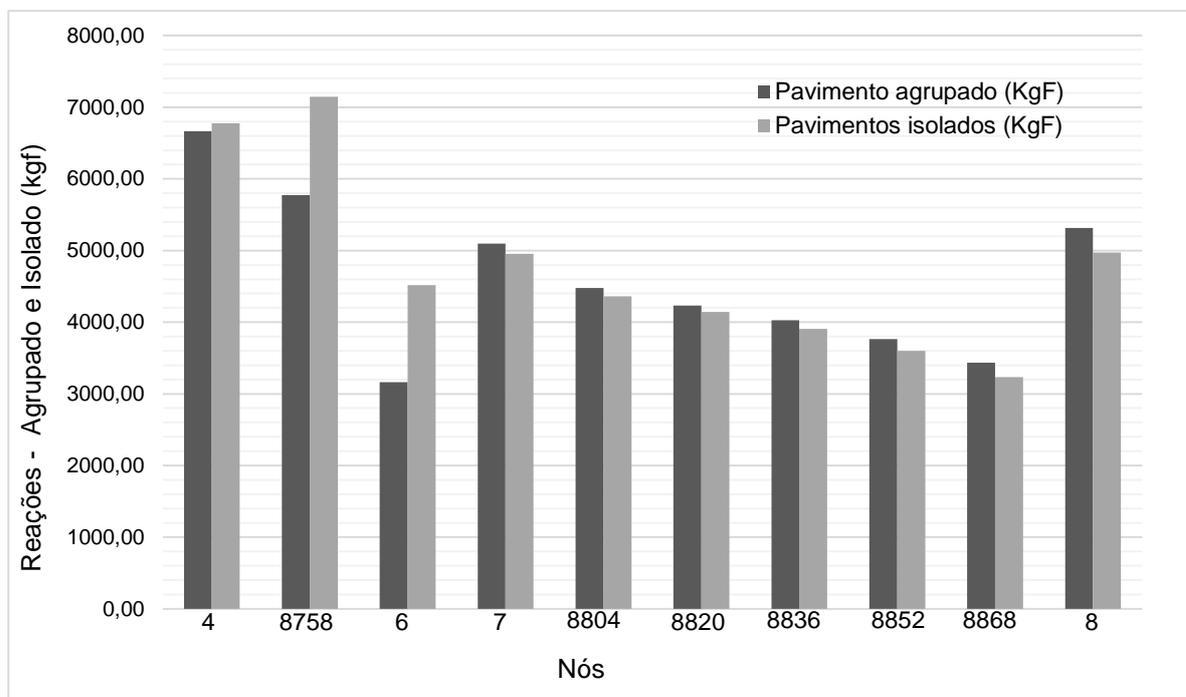


Fonte: Próprio autor

Sabe-se que essas reações se comportam de maneira não uniforme, conforme demonstrado no Gráfico 6. Esse gráfico apresenta uma comparação das reações dos

pavimentos agrupados e pavimentos isolados. Em três nós as reações do pavimento isolado foram superiores ao pavimento agrupado. Nos nós restantes, as reações do agrupado foram maiores que dos isolados.

Gráfico 6 – Comparação entre pavimento agrupado e pavimento isolado

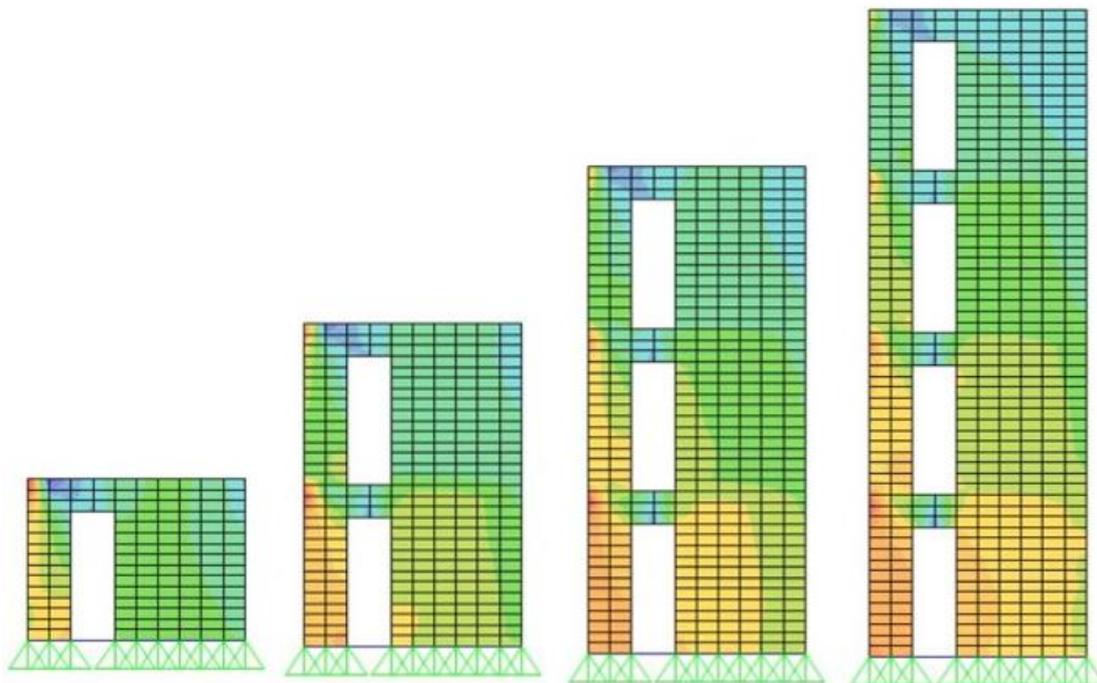


Fonte: Próprio autor

Para os pavimentos agrupados, o carregamento total dessa parede é de 45950,31 kgf. Essa parede possui 4,0 m de comprimento, obtendo-se uma média de 11487,58 kgf/m. Já o carregamento total dessa parede considerando pavimentos isolados é de 47613,49 kgf e a carga média na parede é de 11903,37 kgf/m. Levando em conta a Equações 6, a taxa de interação da parede em questão é de 0,15.

A Figura 23 apresenta a vista da parede em questão, conforme a adição dos pavimentos. As maiores tensões se concentram nas extremidades da estrutura, no nó 4, que compõem uma amarração em T.

Figura 23 – Distribuição de tensões conforme acréscimo de pavimentos



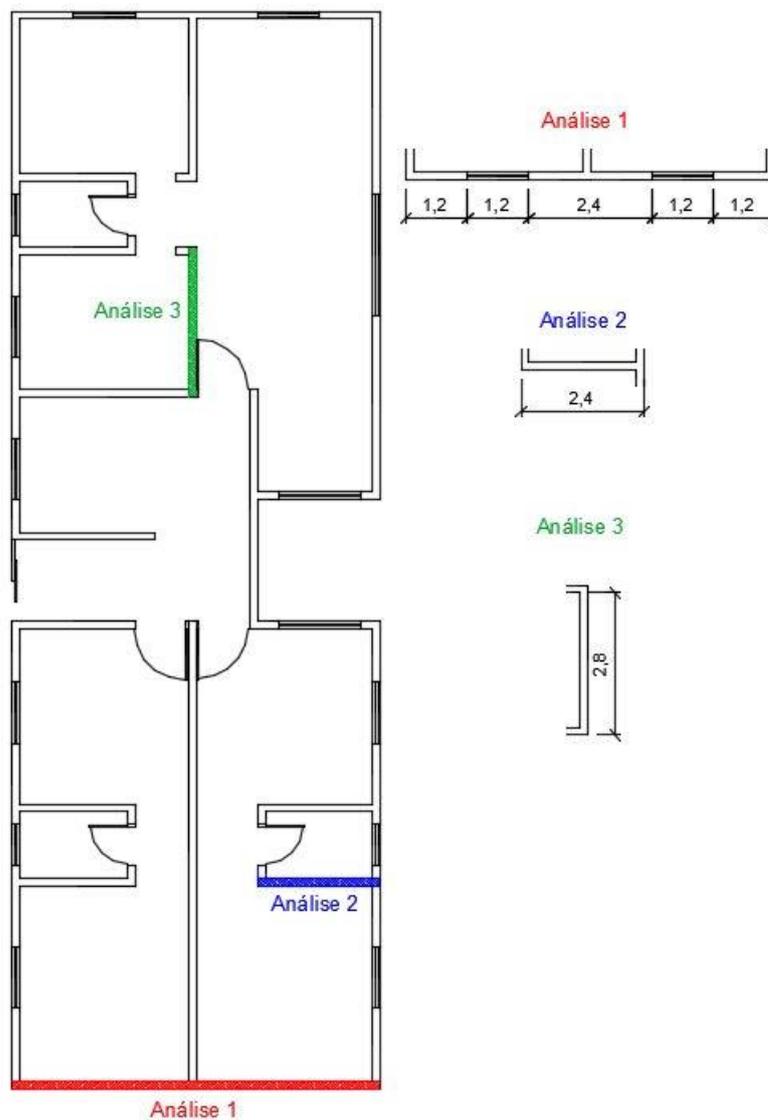
Fonte: Próprio autor

Para esta edificação, os três casos analisados estão com taxas de interação dentro do proposto por Corrêa e Ramalho (1994), que é de 0 a 1. Na análise 1, essa taxa de interação é de 0,53. Na análise 2, obteve-se uma taxa de interação de 0,13 e na análise 3, 0,15.

#### 4.2. Edificação 2

A Figura 24 apresenta quais paredes foram analisadas nessa edificação. A análise 1 se dá em uma parede externa da edificação, que possui 7,20 m de comprimento e 3,0 m de altura para cada pavimento. Possui duas aberturas de 1,20 m de largura por 1,20 m de altura, ambas a 1,20 m da laje inferior. A análise 2 se refere a uma parede interna com comprimento total de 2,40 m. Já a parede da análise 3, possui 2,8 m de comprimento.

Figura 24 – Paredes a serem analisadas na edificação 2

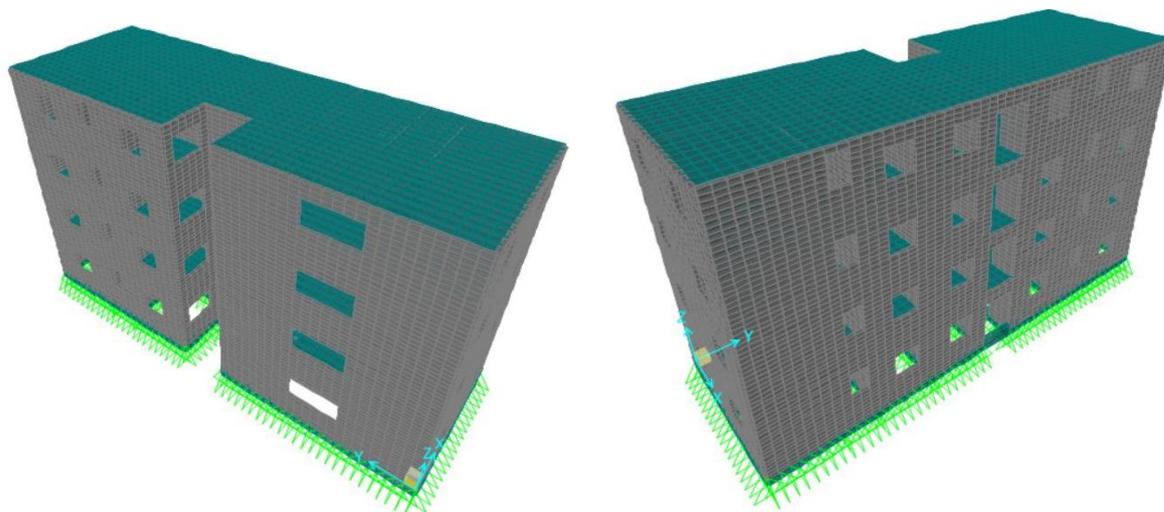


Fonte: Próprio autor

A Figura 25 apresenta a edificação 2 modelada tridimensionalmente no software SAP2000, onde é possível observar a viga baldrame bem como os apoios da estrutura, além das paredes em alvenaria estrutural com malha de 20 por 40 cm e as lajes com a malha de 40 por 40 cm.

No Apêndice B encontram-se todas as reações dos apoios necessárias para análise dessa edificação, obtidas através do software SAP2000.

Figura 25 – Edificação 2 modelada tridimensionalmente



Fonte: Próprio autor

O carregamento total nas paredes dessa edificação é de 990512,69 kgf. Contabilizando todas as paredes da edificação, a mesma possui 112,80 m de comprimento em cada pavimento, determinando uma média de 8781,14 kgf/m.

#### 4.2.1. Análise 1

A análise 1 se refere a uma parede externa da edificação a qual possui dezenove nós ao longo do comprimento. Esses nós estão apresentados na Figura 26.

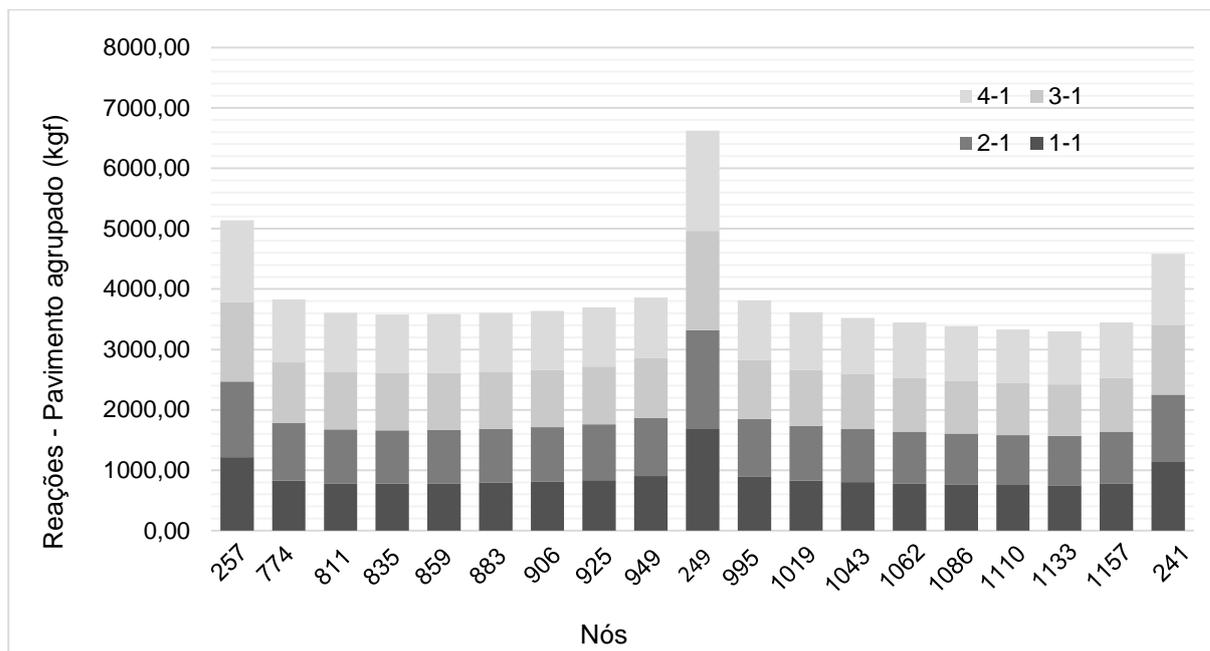
Figura 26 – Nós da parede



Fonte: Próprio autor

O Gráfico 7 apresenta as reações em cada um dos nós dessa parede, considerando a estrutura com pavimentos agrupados. Considerou-se apenas as reações geradas pelo primeiro pavimento da estrutura. Na medida em que acrescenta pavimento, têm-se novas reações que aumentam de maneira não uniforme.

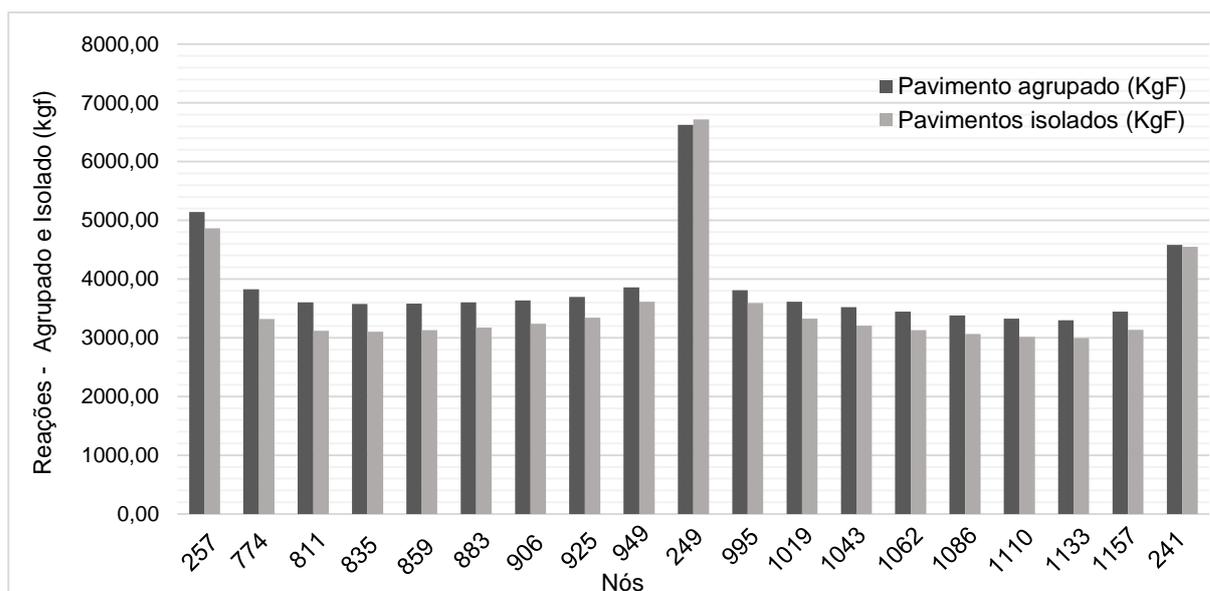
Gráfico 7 - Reação em cada nó considerando acréscimo de pavimento



Fonte: Próprio autor

Sabe-se que essas reações se comportam de maneira desuniforme devido a análise do Gráfico 8, que apresenta uma comparação das reações considerando os pavimentos agrupados e pavimentos isolados.

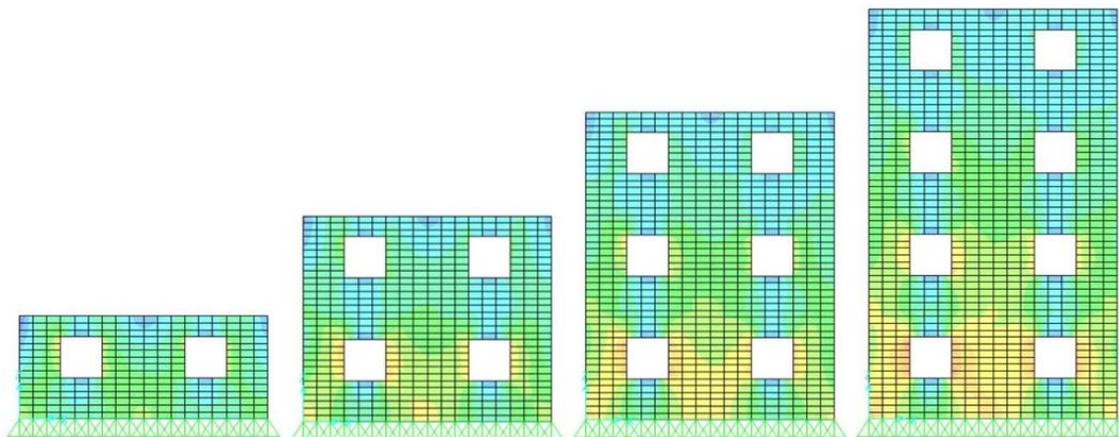
Gráfico 8 – Comparação entre pavimento agrupado e pavimento isolado



Fonte: Próprio autor

A Figura 27 apresenta a vista frontal da parede em questão, conforme acréscimo dos pavimentos. Observa-se que as maiores tensões se concentram nas extremidades da parede e nas laterais das aberturas.

Figura 27 – Distribuição de tensões conforme acréscimo de pavimentos



Fonte: Próprio autor

Considerando os pavimentos agrupados, o carregamento total da parede é de 73586,81 kgf. Essa parede possui 7,20 m de comprimento, obtendo-se um carregamento médio de 10220,39 kgf/m. Já o carregamento total dessa parede considerando pavimentos isolados é de 67634,85 kgf e a carga média na parede é de 9393,73 kgf/m. Seguindo os estudos de Corrêa e Ramalho (1994) e utilizando as Equações 6, a taxa de interação dessa parede é de 1,35.

#### 4.2.2. Análise 2

A análise 2 se refere a uma parede interna da edificação a qual possui sete nós na sua extremidade inferior, apresentados na Figura 28.

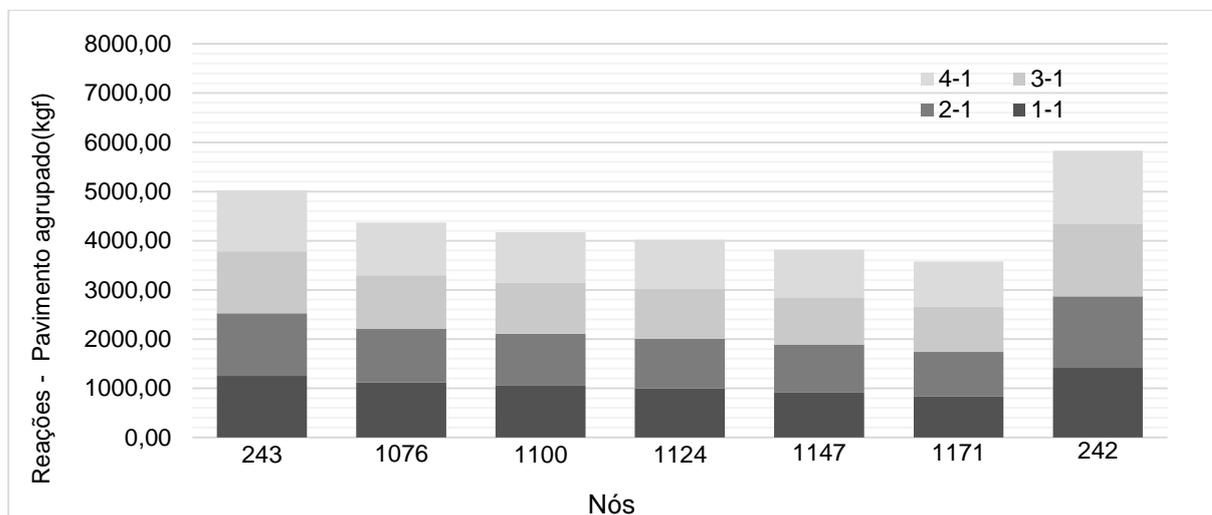
Figura 28 – Nós da parede



Fonte: Próprio autor

O Gráfico 9 apresenta as reações em cada um dos nós dessa parede, considerando a estrutura com pavimentos agrupados.

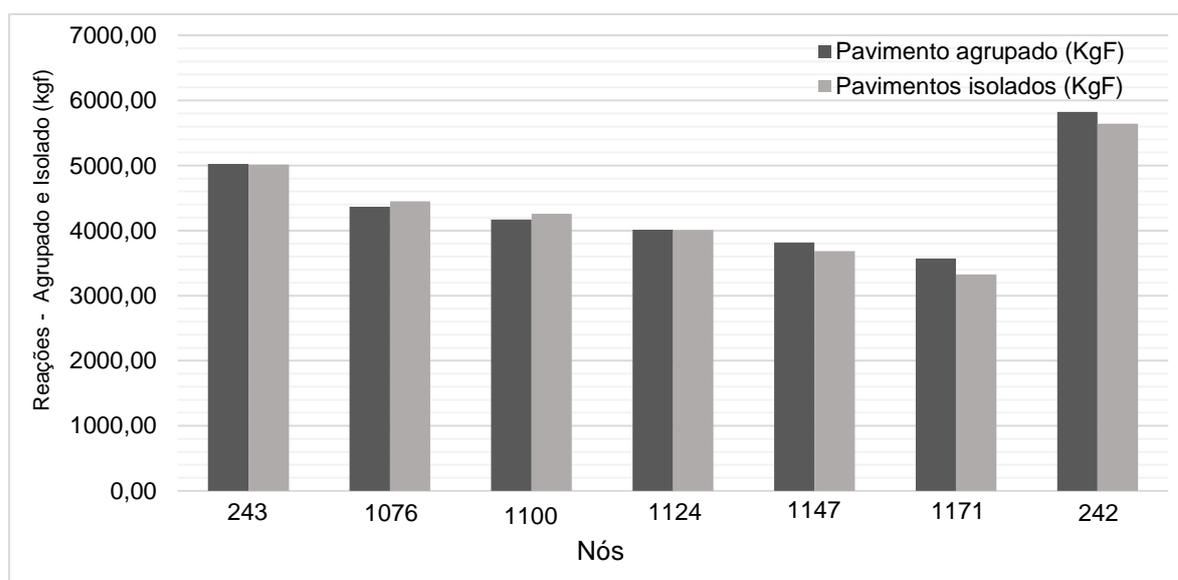
Gráfico 9 - Reação em cada nó considerando o acréscimo de pavimento



Fonte: Próprio autor

Analisando o acréscimo dos pavimentos, verifica-se que as reações aumentam de maneira não uniforme. O Gráfico 10 apresenta a comparação das reações dos pavimentos agrupados e pavimentos isolados.

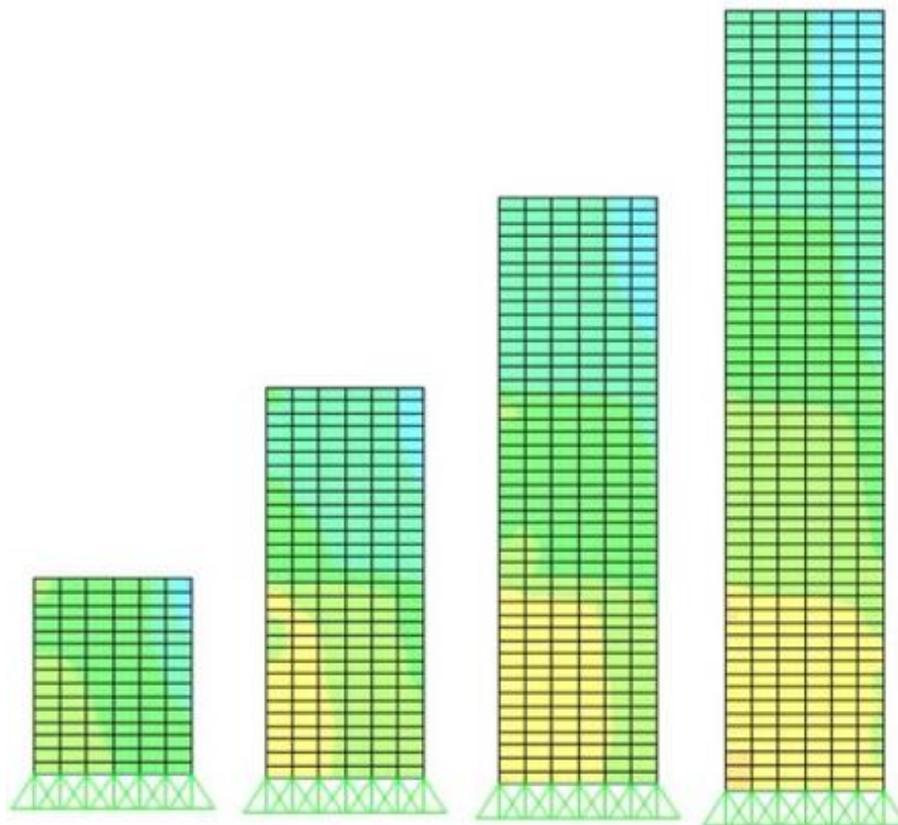
Gráfico 10 – Comparação entre pavimento agrupado e pavimento isolado



Fonte: Próprio autor

Praticamente não houve variação entre os carregamentos dos pavimentos isolados e agrupados. A Figura 29 apresenta a distribuição das tensões no decorrer da parede em questão, conforme acréscimo de pavimento.

Figura 29 – Distribuição de tensões conforme acréscimo de pavimentos



Fonte: Próprio autor

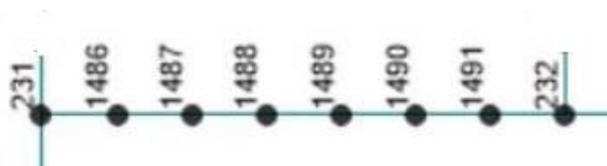
Considerando os pavimentos isolados, o carregamento total da parede é de 30387,11 kgf. Como essa parede possui 2,40 m de comprimento, obtém-se um carregamento médio de 12661,30 kgf/m. Já o carregamento total dessa parede considerando pavimentos agrupados é de 30790,98 kgf e a carga média na parede é de 12829,57 kgf/m.

Segundo os estudos de Corrêa e Ramalho (1994) e utilizando a Equações 6, a taxa de interação dessa parede é de 0,04, verificando que praticamente não houve interação nesse caso.

### 4.2.3. Análise 3

A análise 3 se refere a uma parede interna da edificação a qual possui dezessete oito nós, apresentados na Figura 30.

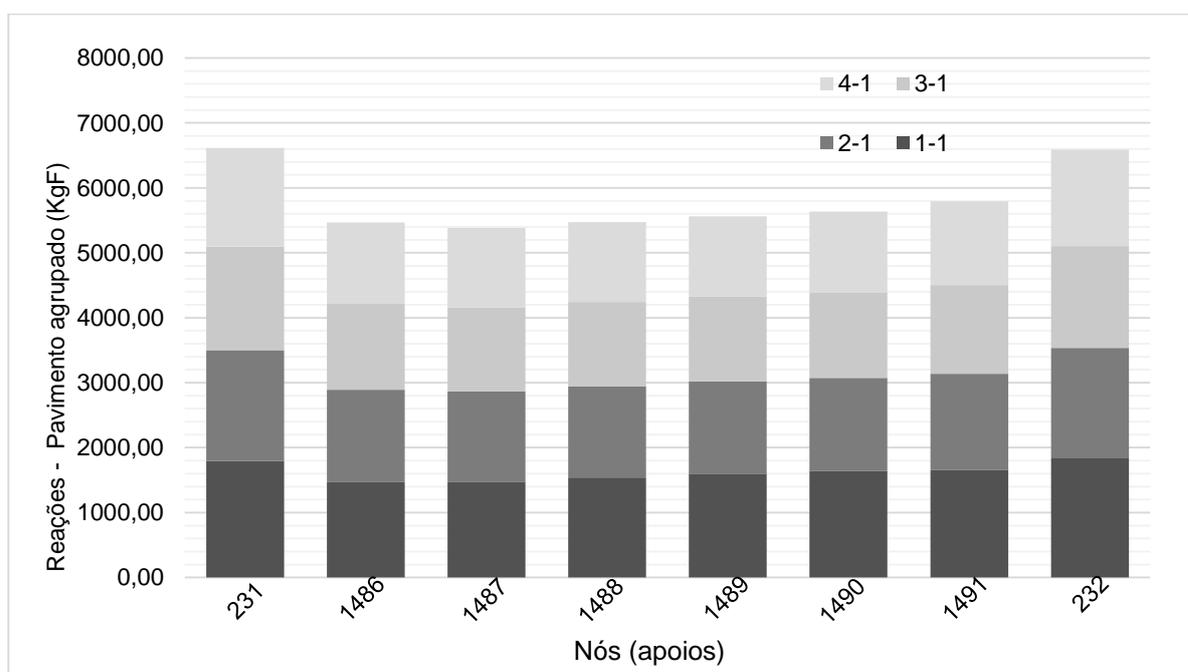
Figura 30 – Nós da parede



Fonte: Próprio autor

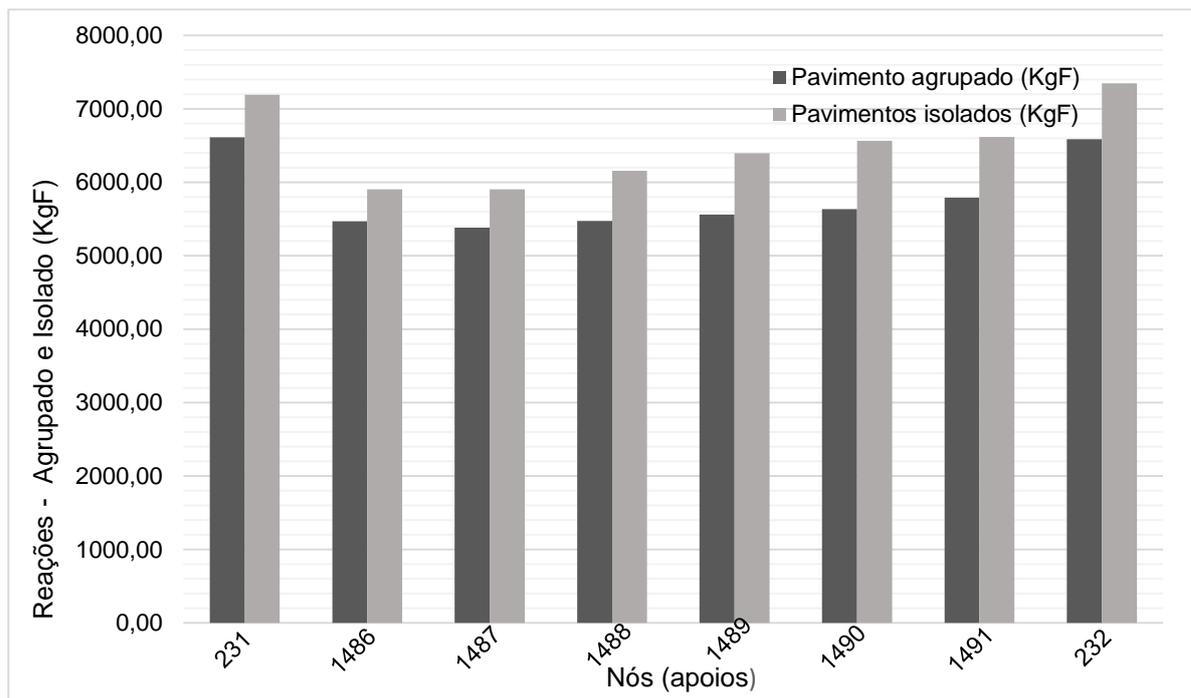
O Gráfico 11 apresenta as reações em cada um dos nós da parede em questão, considerando a estrutura com pavimentos agrupados. Analisando o acréscimo dos pavimentos, verifica-se que as reações aumentam de maneira desuniforme. Sabe-se que essas reações se comportam de maneira não uniforme, analisando também o Gráfico 12, que apresenta uma comparação das reações dos pavimentos agrupados e pavimentos isolados.

Gráfico 11 - Reação em cada nó considerando o acréscimo de pavimentos.



Fonte: Próprio autor

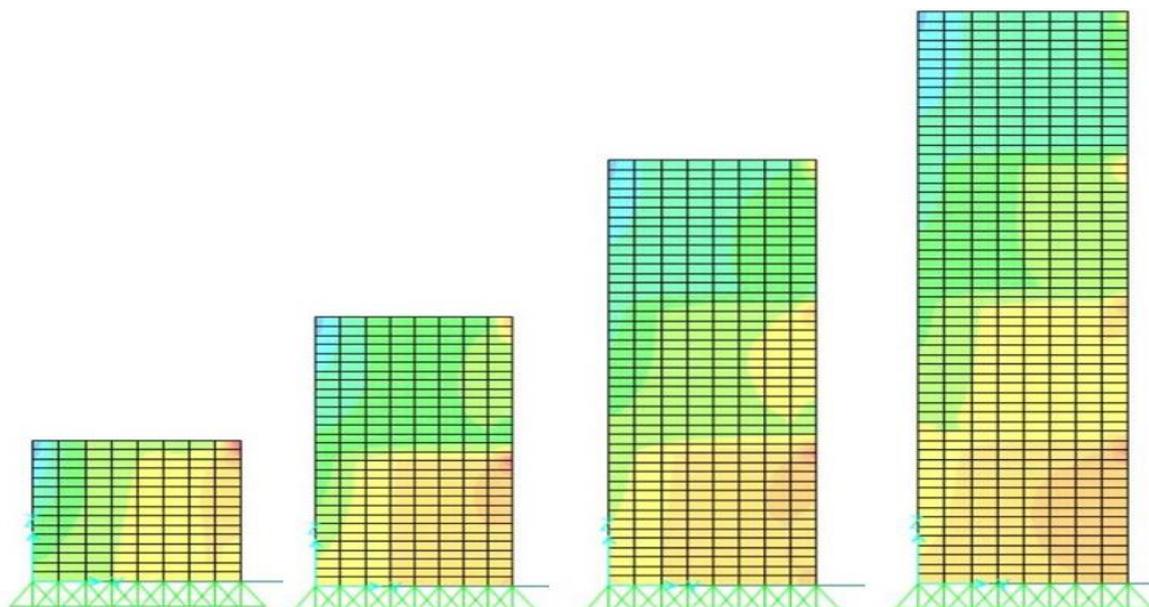
Gráfico 12 – Comparação entre pavimentos agrupados e pavimentos isolados.



Fonte: Próprio autor

A Figura 31 apresenta a vista da parede, conforme são acrescidos os pavimentos. As maiores tensões se concentram nas extremidades da parede e nas laterais da abertura central.

Figura 31 – Distribuição de tensões conforme acréscimo de pavimentos



Fonte: Próprio autor

Para os pavimentos agrupados, o carregamento total da parede é de 46509,93 kgf. Como essa parede possui 2,80 m de comprimento, obtém-se um carregamento médio de 16610,69 kgf/m. Já o carregamento total dessa parede considerando pavimentos isolados é de 52071,11 kgf e a carga média na parede é de 18596,83 kgf/m. Utilizando a Equação 6, a taxa de interação dessa parede é de 0,20.

Para os casos analisados na edificação 2, em dois deles obteve-se taxas de acordo com as importas por Corrêa e Ramalho (1994), sendo a análise 2 e 3. Já para a análise 1, a taxa de interação foi de 1,35, o que indica que o carregamento considerando os pavimentos agrupados é significativamente maior que considerando os pavimentos como isolados.

### **4.3. Edificação 3**

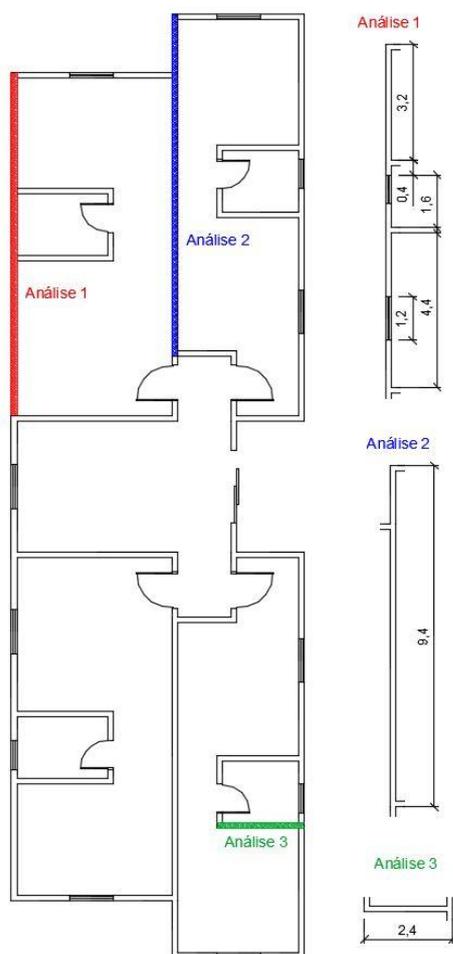
Neste item, serão apresentados os resultados obtidos para três paredes pertencentes a edificação 3. O carregamento total nas paredes dessa edificação é de 1260740,02 kgf, calculada usando pavimentos isolados. Contabilizando todas as paredes da edificação, a mesma possui 139,20 m de comprimento, determinando uma média de 9057,04 kgf/m

A Figura 32 apresenta as paredes que foram analisadas nessa edificação, onde a análise 1 se dá em uma parede externa da edificação, que possui 9,60 m de comprimento. Possui duas aberturas sendo uma de 1,20 m de largura e a outra com 0,80 m de largura, ambas com 1,20 m de altura. A análise 2 se refere a uma parede interna com comprimento total de 9,40 m. Já a parede interna da análise 3, possui 2,40 m de comprimento.

No Apêndice C encontram-se as reações dos apoios necessárias para análise dessa edificação, obtidas através do software SAP2000.

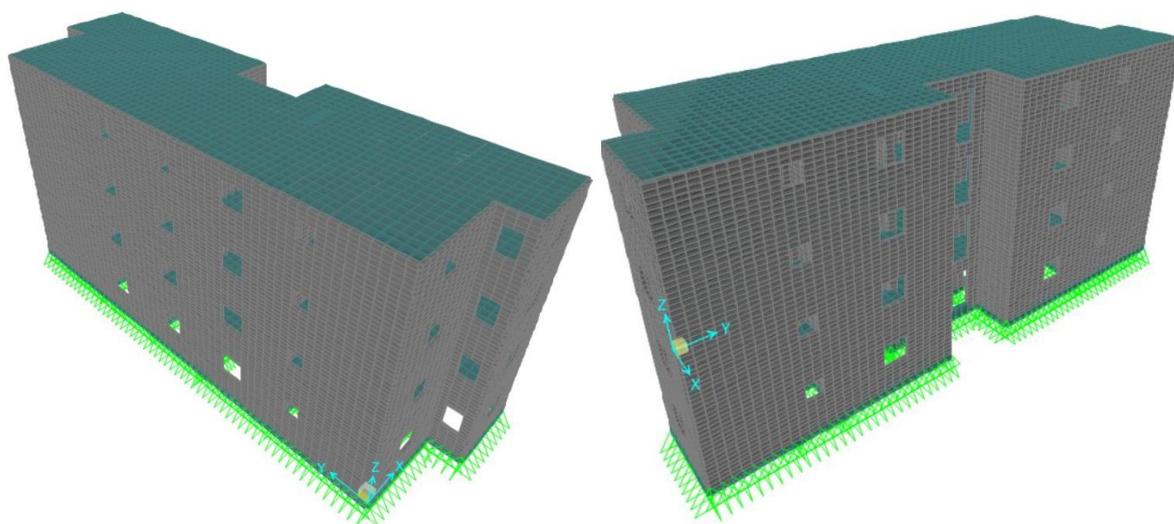
A Figura 32 apresenta a edificação 3 modelada tridimensionalmente no software SAP2000. É possível observar a viga baldrame e os apoios da estrutura, além das paredes em alvenaria estrutural com malha de 20 por 40 cm e as lajes com a malha de 40 por 40 cm.

Figura 32 – Paredes a serem analisadas na edificação 3



Fonte: Próprio autor

Figura 33 – Edificação 3 modelada tridimensionalmente



Fonte: Próprio autor

#### 4.2.1. Análise 1

A Figura 34 apresenta os nós considerados para análise da parede.

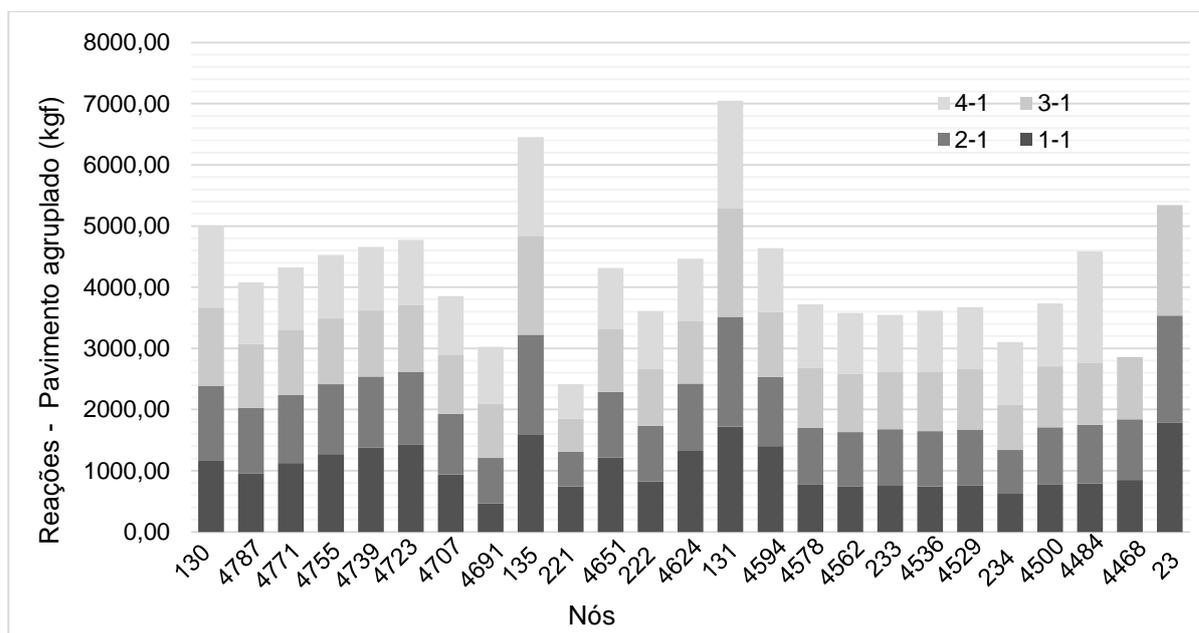
Figura 34 – Nós da parede.



Fonte: Próprio autor

O Gráfico 13 apresenta as reações em cada um dos nós da parede, considerando a estrutura com pavimentos agrupados. Nota-se que nos nós que tem encontro com outras paredes o carregamento é maior. Conforme acrescenta-se os pavimentos, as reações aumentam de maneira não uniforme.

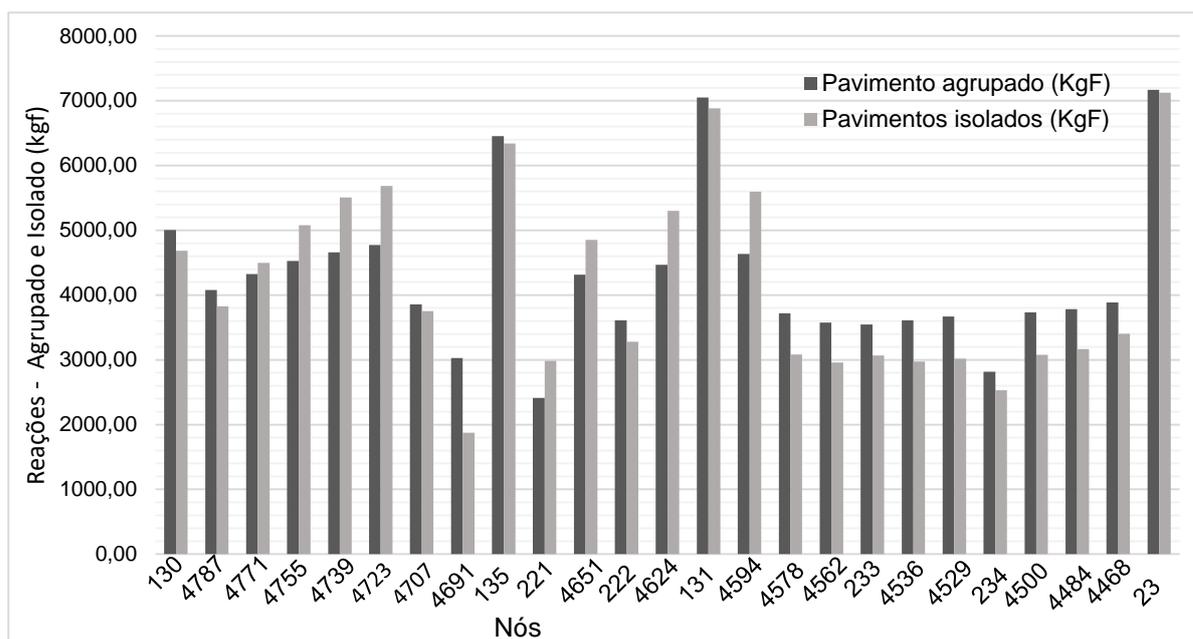
Gráfico 13 - Reação em cada nó considerando acréscimo de pavimento



Fonte: Próprio autor

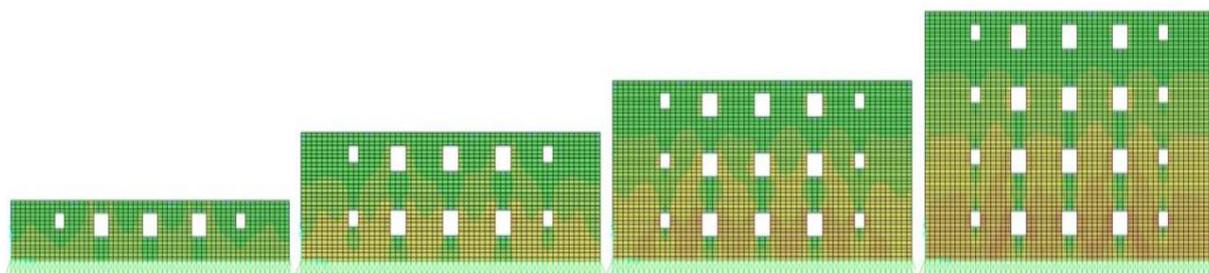
O Gráfico 14 apresenta uma comparação entre as reações dos pavimentos agrupados e dos pavimentos isolados. A Figura 35 apresenta a distribuição de tensões conforme se acrescenta as fases construtivas.

Gráfico 14 – Comparação entre pavimento agrupado e pavimento isolado



Fonte: Próprio autor

Figura 35 – Distribuição de tensões conforme acréscimo de pavimentos



Fonte: Próprio autor

Para os pavimentos agrupados, o carregamento total dessa parede é de 106.690,92 kgf. Essa parede possui 9,60 m de comprimento, obtendo-se um carregamento médio de 11.113,64 kgf/m. Já o carregamento total dessa parede considerando pavimentos isolados é de 104.555,80 kgf e a carga média na parede é de 10.891,23 kgf/m. A taxa de interação é de 0,12, conforme a Equação 6.

#### 4.2.2. Análise 2

A Figura 36 apresenta os nós da parede a ser analisada.

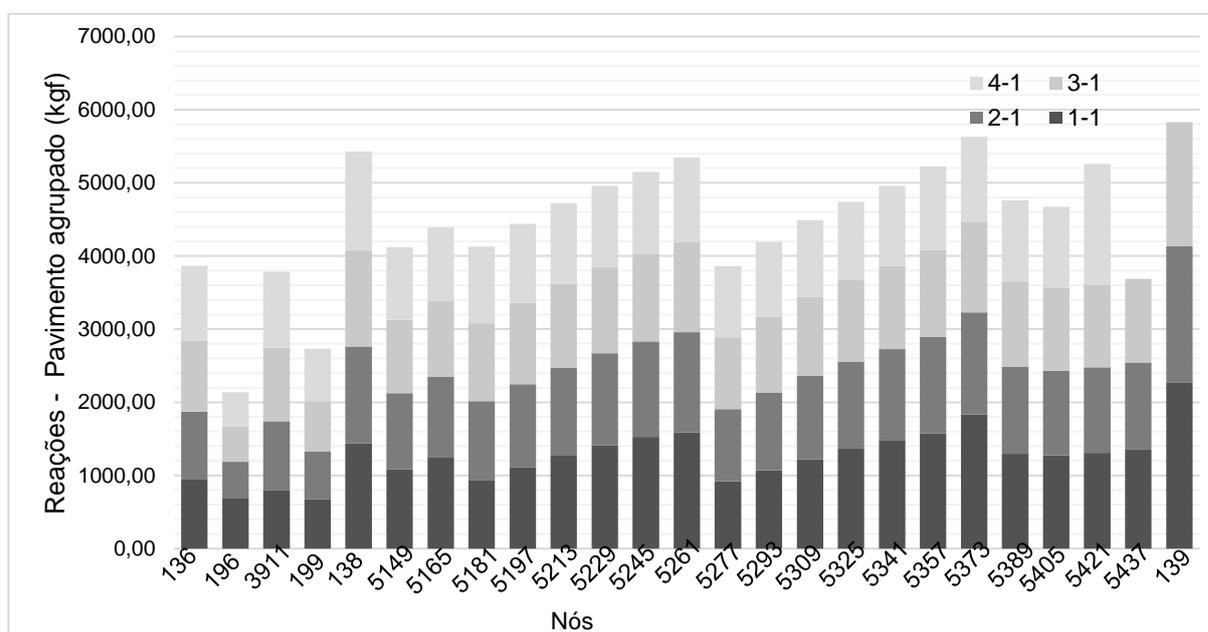
Figura 36 – Nós da parede



Fonte: Próprio autor

O Gráfico 15 apresenta as reações em cada nó considerando a estrutura com pavimentos agrupados. Conforme se acrescenta os pavimentos, as reações aumentam de maneira não uniforme.

Gráfico 15 – Reação em cada nó considerando acréscimo de pavimento

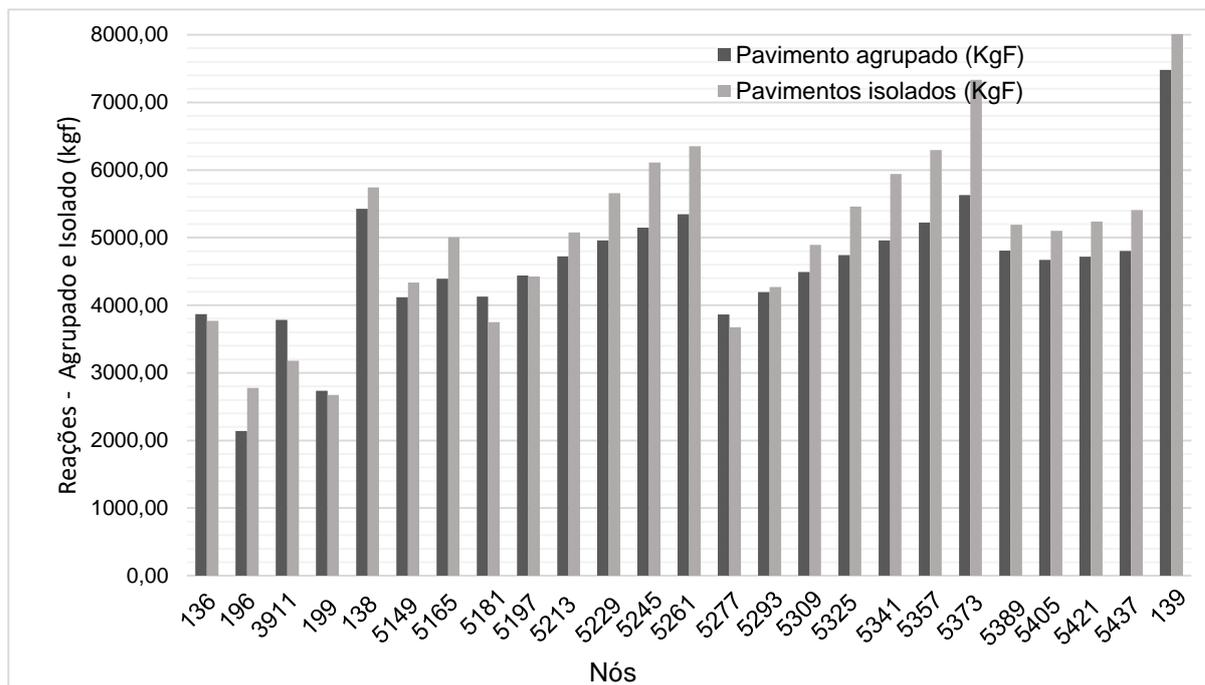


Fonte: Próprio autor

O Gráfico 16 apresenta um comparativo entre as reações obtidas nos nós, considerando a estrutura com pavimentos isolados e pavimentos agrupados.

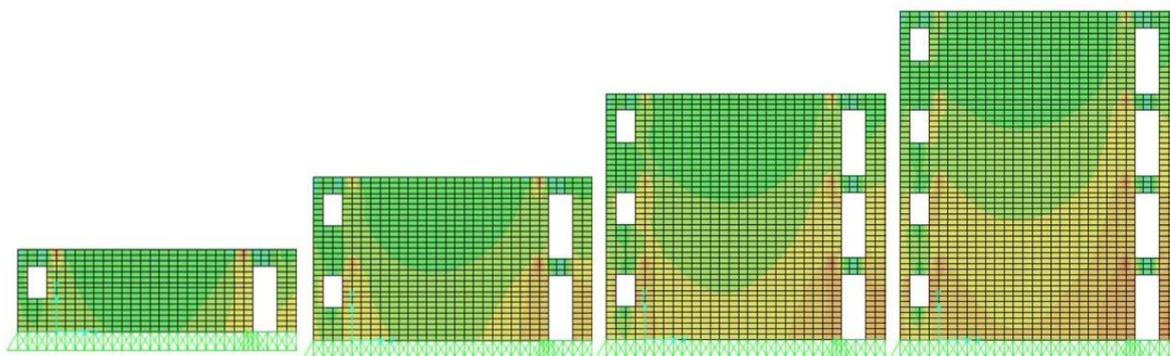
A Figura 37 demonstra como as tensões se distribuem na parede em questão, conforme acrescentado mais pavimentos. A maior concentração de tensões localiza-se nas extremidades da edificação e próximas a abertura.

Gráfico 16 – Comparação entre pavimento agrupado e pavimento isolado



Fonte: Próprio autor

Figura 37 – Distribuição de tensões conforme acréscimo de pavimentos



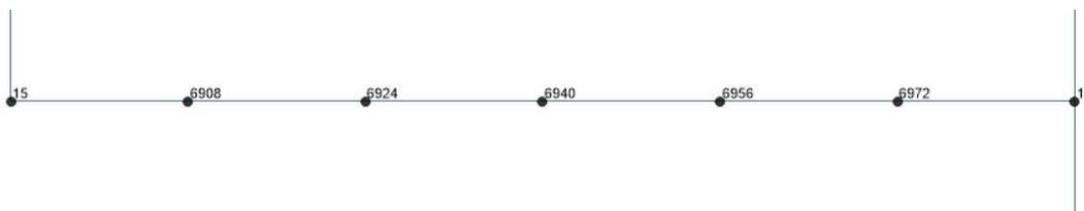
Fonte: Próprio autor

Para os pavimentos isolados, o carregamento total dessa parede é de 126.768,16 kgf. Essa parede possui 9,40 m de comprimento, obtendo-se um carregamento médio de 13.485,97 kgf/m para este caso. Já o carregamento total dessa parede considerando pavimentos agrupados é de 114.784,44 kgf e a carga média na parede é de 12.211,11 kgf/m. Utilizando a Equação 6, obtêm-se uma taxa de interação de 0,29 para essa parede.

### 4.2.3. Análise 3

A Figura 38 apresenta os nós da parede a ser analisada neste item.

Figura 38 – Nós da parede

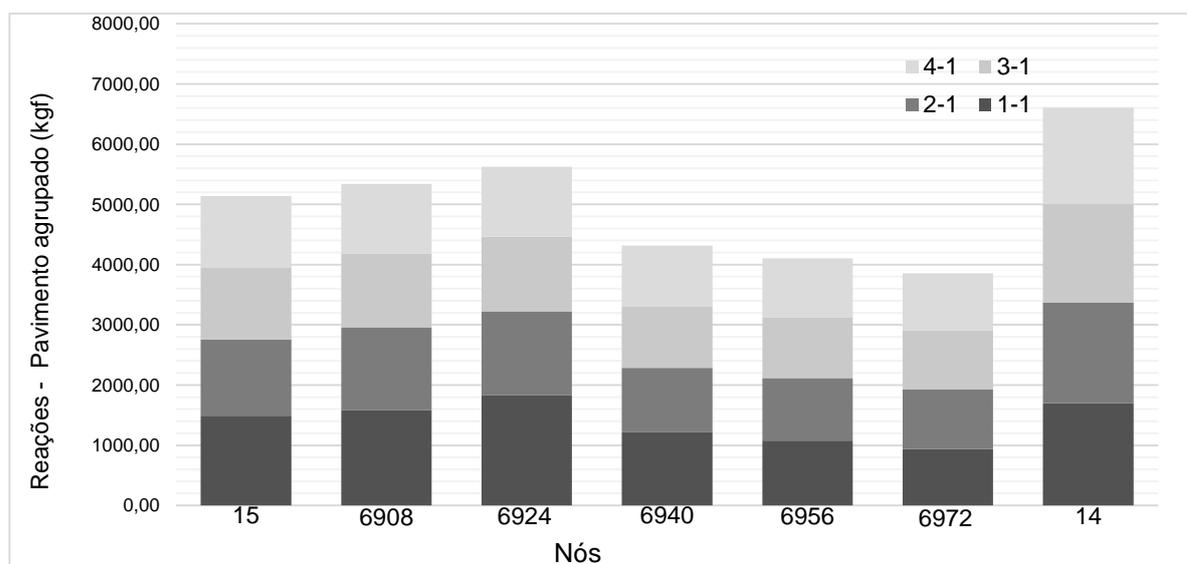


Fonte: Próprio autor

O Gráfico 17 apresenta as reações em cada um dos nós da parede, considerando a estrutura com pavimentos agrupados. Analisando o acréscimo dos pavimentos, verifica-se que as reações aumentam de maneira não uniforme.

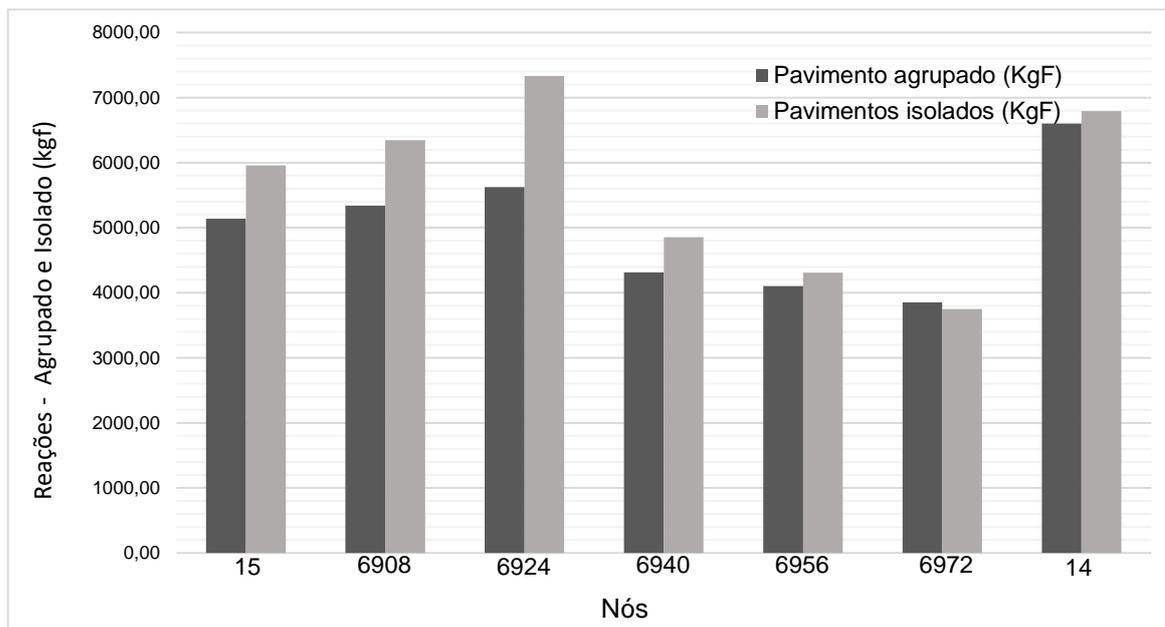
Sabe-se que essas reações se comportam de maneira não uniforme, analisando também o Gráfico 12, que apresenta uma comparação das reações dos pavimentos agrupados e pavimentos isolados.

Gráfico 17 – Reação em cada nó considerando acréscimo de pavimento



Fonte: Próprio autor

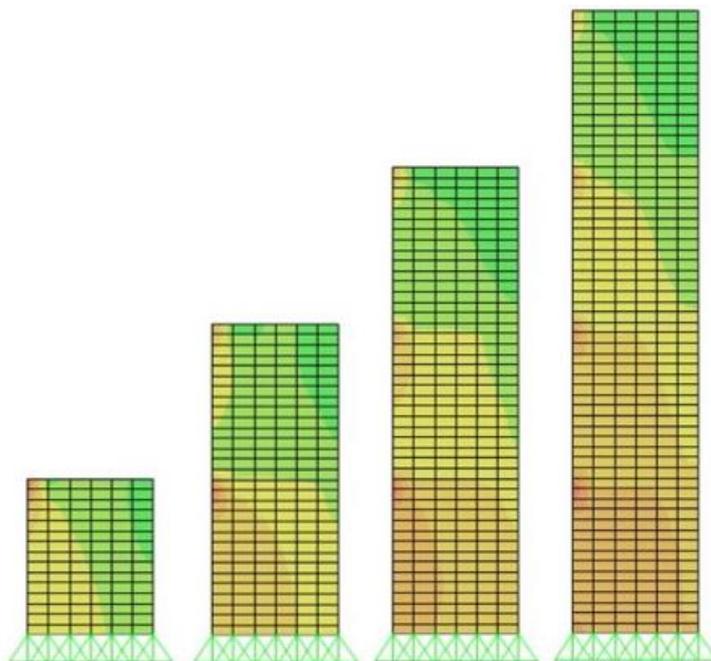
Gráfico 18 – Comparação entre pavimento agrupado e pavimento isolado



Fonte: Próprio autor

A Figura 39 apresenta a distribuição das tensões conforme acréscimo de pavimentos, onde verifica-se que as maiores tensões se concentram nos pavimentos inferiores e nas suas extremidades.

Figura 39 – Distribuição de tensões conforme acréscimo de pavimentos



Fonte: Próprio autor

Para os pavimentos isolados, o carregamento total dessa parede é de 39.351,72 kgf. Essa parede possui 2,40 m de comprimento, obtendo-se um carregamento médio de 16396,55 kgf/m para este caso. Já o carregamento total dessa parede considerando pavimentos agrupados é de 34979,69 kgf e a carga média na parede é de 14574,87 kgf/m. Utilizando a Equação 6, obtêm-se uma taxa de interação de 0,25 para essa parede.

Para esta edificação, os três casos analisados estão com taxas de interação dentro do proposto por Corrêa e Ramalho (1994). Para a análise 1, taxa de interação foi de 0,12. Na análise 2, obteve-se uma taxa de interação de 0,29 e na análise 3, 0,25.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este trabalho apresentou um estudo referente a interação entre paredes de edificações em alvenaria estrutural com lajes maciças e apoiadas sobre vigas baldrame. Fez-se a análise, via método de elemento finitos, de três edificações com arranjo de paredes distintas, verificando a interação em três casos de paredes em cada uma das edificações, com auxílio de uma rotina que considera o faseamento construtivo.

Como o objetivo específico deste trabalho foi avaliar a variação da interação conforme acréscimo de pavimentos, conclui-se que os carregamentos nas paredes da estrutura variam de forma não uniforme.

Verificou-se também que as tensões maiores tendem a se localizar próximo às extremidades das paredes, nas adjacências das aberturas e nas regiões de encontro com outras paredes, e as menores tensões estão abaixo das aberturas.

Para Corrêa e Ramalho (1994), a taxa de interação varia entre 0 e 1 (0% a 100%), o que representa a porcentagem de força que deve ser uniformizada. Uma das paredes analisada resultou em coeficiente de interação superior a 1. Da mesma forma, entre as diferentes paredes da mesma edificação, houve grande variação entre os coeficientes de interação, indicando que a adoção de um valor único pode resultar em carregamento não realistas.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 530: Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures and Companion Commentaries**. Detroit, Michigan, 1999.

ASSAN, Aloisio Ernesto. **Método dos elementos Finitos: primeiros passos**. Campinas: Unicamp, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15812: Alvenaria estrutural – blocos cerâmicos – parte 1: projeto**. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 15961: Alvenaria estrutural – blocos de concreto – parte 1: projeto**. Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 10837: Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto**. Rio de Janeiro, 1989.

\_\_\_\_\_. **NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 1980.

\_\_\_\_\_. **NBR 15270: Componentes cerâmicos – parte 2: blocos cerâmicos para alvenaria estrutural**. Rio de Janeiro, 2005.

BRITISH STANDARD INSTITUTION. **BS 5628: Code of practice for structural use of masonry: part 1**. Londres, 1992.

CAMACHO, Jefferson Sidney. **Alvenaria Estrutural Não Armada: parâmetros básicos a serem considerados no projeto dos elementos resistentes**. 1986. 180 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Porto Alegre, UFRGS, 1986.

CAMACHO, J. S. **Contribuição ao estudo de modelos físicos reduzidos de alvenaria estrutural cerâmica**. 1986. 175p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia Curso de Engenharia Civil, São Paulo, USP, 1995.

CAPUZZO NETO, Valentim. **A theoretical and experimental study of intereseecting bonded walls under vertical loads**. In: INTERNATIONAL BRICK/BLOCK MASONRY CONFERENCE, 12, Madrid, Espanha, 25-28 Junho, 2000. Madrid, Universidad Politécnica de Madrid, v.2, p. 1493-1508.

CAPUZZO NETO, Valentim. **Interação de paredes em alvenaria estrutural cerâmica sob ações verticais**. 2005. 321P. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, USP, 2005.

CORRÊA, M. R. S. **Fluxo de forças em edifícios de alvenaria estrutural**. 2003. 156p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, USP, 2003.

CORRÊA, M. R. S.; RAMALHO, M. A. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini LTDA, 2003.

CORRÊA, M. R. S.; RAMALHO, M. A. **Projeto para análise de edifícios de alvenaria estrutural submetidos a ações verticais**. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 5, Florianópolis, Brasil, 21-24 agosto, 1994. Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, p. 305-314.

COMPUTERS & STRUCTURES INC. **Analysis reference manual for SAP2000, ETABS and SAFE**. Berkeley – USA, 2008.

CURTIN, W.G.; SHAW, G.; BECK, J.K.; PARKINSON, G.I. **Structural masonry detailing**. Londres: Granada Publishing, 1984.

DIZ, S.; COSTA, ANÍBAL; COSTA, ALEXANDRE A. **Efficiency of strengthening techniques assessed for existing masonry buildings**. ENGINEERING STRUCTURES, Elsevier, Volume 101, 15-outubro, 2015, p. 205-2015.

EUROCODE 6. **Design of masonry structures: Part 1 -1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures**. Madrid – Espanha, 1997.

\_\_\_\_\_. **Design of masonry structures: Part 1 -1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures**. Madrid – Espanha, 2003.

HENDRY, A.W. **Structural Brickwork**. Londres: The Macmillan Press Ltd, 1981.

HENDRY, A. W.; SINHA, B.P.; DAVIES, S.R. **Design of Masonry Structures**. Londres: CRC Press, 1997.

IZQUIERDO, Orieta Soto. **Influência do tipo de argamassamento e da utilização de peças de ajuste tridimensional na resistência à compressão da alvenaria de blocos de concreto**. 2011. 179p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, USP, 2011.

KIM, N. H.; BHAVANI, V.S. **Introdução à análise e ao projeto em elementos finitos**. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

LISSEL, S.L.; SHRIVE, N.G.; PAGE, A.W. **Shear in plain, bed joint reinforced, and posttensioned masonry**. In: Canadian Journal of Civil Engineering, v. 27. p. 1021-1030, 2000.

LOURENÇO, P. B. **Computational Strategies for Masonry Structures**. 1996. 210p. Tese (Doutorado) – Civil engineering and geosciences, Netherlands, Delft University of Technology, 1996.

MATA, Rodrigo Carvalho da. **Análise experimental e numérica do comportamento de junta em painéis de contraventamento de alvenaria estrutural**. 2011. 174p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, USP, 2011.

MOHAMAD, Gihad. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto à compressão: deformabilidade e modo de ruptura**. Revista Sul-Americana de Engenharia Estrutural, Passo Fundo, volume 4, n. 3, p. 81-97, set./dez. 2008.

MOHAMAD, Gihad. **Construções em Alvenaria Estrutural: materiais, projeto e desempenho**. São Paulo: Blucher, 2015.

OLIVEIRA, Luciane M. F. de. **Cisalhamento nas interfaces verticais de paredes de edifícios de alvenaria estrutural**. 2009. 270p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, USP, 2009.

PAES, Marta Silveira. **Interação entre edifício de alvenaria estrutural e pavimento em concreto armado considerando-se o efeito arco com a atuação de cargas verticais e ações horizontais**. 2008. 162p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, USP, 2008.

PELETEIRO, Suzana Campana. **Contribuições à modelagem numérica de alvenaria estrutural**. 2002. 143p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, USP, 2002.

PORTELLA, Rafael Pires. **Fator de eficiência da resistência prima/bloco cerâmico de paredes vazadas**. 2015. 98p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Santa Maria, UFSM, 2015.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini, 2003.

SINHA, B.P.; HENDRY, A.W. **Compressive strength of axially loaded brick walls stiffened along their vertical edges**. In: INTERNATIONAL BRICK MASONRY CONFERENCE, Washington, EUA, 05-10 outubro 1979. Washington, Brick Institute of America, p. 254-261.

SORIANO, Humberto L. **Métodos de elementos finitos em análise de estruturas**. São Paulo: editora USP, 2003.

VAZ, Luiz Eloy. **Método dos elementos finitos em análise de estruturas**. Rio de Janeiro: Campus, 2011.

## APÊNDICE A – Edificação 1

EDIFICAÇÃO 1 - ANÁLISE 1			
Nó/Apoio	Estágio	Pavimentos agrupados (kgf)	Pavimentos isolados (kgf)
31	1-1	1846,27	7385,09
	2-1	3862,58	
	3-1	5832,54	
	4-1	7742,71	
6233	1-1	996,88	3987,52
	2-1	2098,46	
	3-1	3180,70	
	4-1	4231,50	
6217	1-1	822,85	3291,39
	2-1	1748,66	
	3-1	2662,80	
	4-1	3552,35	
51	1-1	626,30	2505,18
	2-1	1301,46	
	3-1	1972,12	
	4-1	2626,13	
6191	1-1	448,49	1793,98
	2-1	869,89	
	3-1	1293,53	
	4-1	1709,32	
6184	1-1	367,29	1469,16
	2-1	656,61	
	3-1	956,02	
	4-1	1257,23	
6177	1-1	414,19	1656,76
	2-1	748,95	
	3-1	1104,08	
	4-1	1472,04	
52	1-1	542,74	2170,96
	2-1	1042,16	
	3-1	1573,71	
	4-1	2130,05	
6144	1-1	667,10	2668,42
	2-1	1338,25	
	3-1	2052,31	
	4-1	2802,09	
6128	1-1	768,60	3074,39
	2-1	1587,17	
	3-1	2458,85	
	4-1	3376,17	
41	1-1	1036,19	4144,76
	2-1	2148,05	
	3-1	3329,99	
	4-1	4573,72	

### EDIFICAÇÃO 1 - ANÁLISE 2

Nó/Apoio	Estágio	Pavimentos agrupados (kgf)	Pavimentos isolados (kgf)
41	1-1	1036,19	4144,76
	2-1	2148,05	
	3-1	3329,99	
	4-1	4573,72	
6098	1-1	760,82	3043,28
	2-1	1625,20	
	3-1	2552,96	
	4-1	3533,12	
6082	1-1	711,60	2846,40
	2-1	1527,95	
	3-1	2409,98	
	4-1	3342,86	
6066	1-1	703,33	2813,31
	2-1	1515,13	
	3-1	2394,35	
	4-1	3323,70	
6050	1-1	705,22	2820,89
	2-1	1518,68	
	3-1	2399,08	
	4-1	3328,20	
6034	1-1	712,67	2850,66
	2-1	1527,70	
	3-1	2406,68	
	4-1	3331,98	
6018	1-1	734,39	2937,57
	2-1	1558,69	
	3-1	2440,23	
	4-1	3364,15	
39	1-1	1226,47	4905,88
	2-1	2557,86	
	3-1	3955,37	
	4-1	5406,66	
42	1-1	720,19	2880,75
	2-1	1481,17	
	3-1	2286,10	
	4-1	3125,28	
5976	1-1	703,15	2812,59
	2-1	1433,48	
	3-1	2203,39	
	4-1	3004,60	
47	1-1	728,52	2914,07
	2-1	1492,84	
	3-1	2292,74	
	4-1	3121,40	
38	1-1	1221,95	4887,81
	2-1	2537,72	
	3-1	3898,40	
	4-1	5296,13	

5939	1-1	655,60	2622,41
	2-1	1357,45	
	3-1	2090,40	
	4-1	2847,67	
49	1-1	526,81	2107,23
	2-1	1061,59	
	3-1	1622,84	
	4-1	2203,74	
5913	1-1	413,49	1653,96
	2-1	786,78	
	3-1	1180,38	
	4-1	1588,05	
5906	1-1	373,63	1494,51
	2-1	681,86	
	3-1	1007,66	
	4-1	1345,10	
5899	1-1	439,85	1759,41
	2-1	831,93	
	3-1	1244,65	
	4-1	1671,70	
50	1-1	580,93	2323,74
	2-1	1158,36	
	3-1	1763,33	
	4-1	2388,57	
5866	1-1	747,03	2988,11
	2-1	1525,69	
	3-1	2338,37	
	4-1	3176,52	
45	1-1	1454,38	5817,51
	2-1	2953,17	
	3-1	4503,82	
	4-1	6094,45	

**EDIFICAÇÃO 1 - ANÁLISE 3**

Nó/Apoio	Estágio	Pavimentos agrupados (kgf)	Pavimentos isolados (kgf)
4	1-1	1694,19	6776,75
	2-1	3483,56	
	3-1	5121,20	
	4-1	6665,19	
8758	1-1	1786,66	7146,66
	2-1	3224,47	
	3-1	4541,76	
	4-1	5774,61	
6	1-1	1129,79	4519,17
	2-1	1861,57	
	3-1	2536,85	
	4-1	3164,42	
7	1-1	1238,06	4952,25
	2-1	2541,26	
	3-1	3826,24	
	4-1	5099,01	
8804	1-1	1090,04	4360,15
	2-1	2231,38	
	3-1	3357,71	
	4-1	4475,28	
8820	1-1	1036,06	4144,26
	2-1	2107,52	
	3-1	3172,22	
	4-1	4233,82	
8836	1-1	976,84	3907,37
	2-1	1989,63	
	3-1	3005,83	
	4-1	4026,20	
8852	1-1	900,45	3601,78
	2-1	1841,67	
	3-1	2796,37	
	4-1	3762,70	
8868	1-1	808,24	3232,95
	2-1	1663,11	
	3-1	2539,93	
	4-1	3434,92	
8	1-1	1243,04	4972,15
	2-1	2561,23	
	3-1	3920,19	
	4-1	5314,15	

## APÊNDICE B – Edificação 2

EDIFICAÇÃO 2 - ANÁLISE 1			
Nó/Apoio	Estágio	Pavimentos agrupados (kgf)	Pavimentos isolados (kgf)
257	1-1	1215,73	4862,91
	2-1	2468,30	
	3-1	3784,83	
	4-1	5140,01	
774	1-1	830,22	3320,86
	2-1	1781,02	
	3-1	2786,93	
	4-1	3826,28	
811	1-1	779,56	3118,24
	2-1	1673,13	
	3-1	2622,06	
	4-1	3603,87	
835	1-1	775,63	3102,50
	2-1	1662,25	
	3-1	2603,68	
	4-1	3577,46	
859	1-1	782,10	3128,38
	2-1	1670,58	
	3-1	2611,53	
	4-1	3583,63	
883	1-1	793,39	3173,57
	2-1	1688,48	
	3-1	2632,08	
	4-1	3604,96	
906	1-1	809,32	3237,26
	2-1	1714,61	
	3-1	2662,81	
	4-1	3637,83	
925	1-1	836,19	3344,75
	2-1	1757,67	
	3-1	2714,65	
	4-1	3695,24	
949	1-1	903,05	3612,20
	2-1	1866,52	
	3-1	2854,53	
	4-1	3861,26	
249	1-1	1679,84	6719,36
	2-1	3318,44	
	3-1	4963,71	
	4-1	6623,71	
995	1-1	898,09	3592,35
	2-1	1849,29	
	3-1	2821,62	
	4-1	3811,96	
1019	1-1	831,20	3324,81
	2-1	1733,88	
	3-1	2664,12	
	4-1	3615,40	

1043	1-1	802,14	3208,56
	2-1	1679,95	
	3-1	2588,76	
	4-1	3520,41	
1062	1-1	782,78	3131,12
	2-1	1640,70	
	3-1	2531,66	
	4-1	3446,81	
1086	1-1	766,69	3066,78
	2-1	1607,42	
	3-1	2482,05	
	4-1	3381,86	
1110	1-1	753,52	3014,08
	2-1	1580,54	
	3-1	2441,25	
	4-1	3327,85	
1133	1-1	747,96	2991,82
	2-1	1568,17	
	3-1	2420,90	
	4-1	3299,96	
1157	1-1	783,35	3133,39
	2-1	1640,78	
	3-1	2529,32	
	4-1	3445,28	
241	1-1	1137,98	4551,91
	2-1	2251,11	
	3-1	3400,21	
	4-1	4583,03	

### EDIFICAÇÃO 2 - ANÁLISE 2

Nó/Apoio	Estágio	Pavimentos agrupados (kgf)	Pavimentos isolados (kgf)
243	1-1	1253,35	5013,41
	2-1	2525,97	
	3-1	3783,04	
	4-1	5023,22	
1076	1-1	1112,72	4450,90
	2-1	2210,82	
	3-1	3295,62	
	4-1	4367,13	
1100	1-1	1064,48	4257,92
	2-1	2106,83	
	3-1	3143,50	
	4-1	4170,15	
1124	1-1	1001,82	4007,27
	2-1	2007,64	
	3-1	3015,00	
	4-1	4015,63	
1147	1-1	921,43	3685,72
	2-1	1881,93	

	3-1	2850,51	
	4-1	3815,60	
1171	1-1	831,93	3327,71
	2-1	1737,05	
	3-1	2655,16	
	4-1	3572,77	
242	1-1	1411,05	5644,19
	2-1	2867,17	
	3-1	4345,83	
	4-1	5826,47	

### EDIFICAÇÃO 2 - ANÁLISE 3

Nó/Apoio	Estágio	Pavimentos agrupados (kgf)	Pavimentos isolados (kgf)
231	1-1	1797,69	7190,78
	2-1	3503,41	
	3-1	5095,85	
	4-1	6613,16	
1486	1-1	1475,27	5901,09
	2-1	2894,51	
	3-1	4215,10	
	4-1	5467,35	
1487	1-1	1475,94	5903,76
	2-1	2869,97	
	3-1	4161,88	
	4-1	5383,23	
1488	1-1	1538,44	6153,78
	2-1	2946,54	
	3-1	4246,35	
	4-1	5472,90	
1489	1-1	1598,79	6395,18
	2-1	3019,86	
	3-1	4327,22	
	4-1	5559,48	
1490	1-1	1640,47	6561,89
	2-1	3075,81	
	3-1	4393,55	
	4-1	5635,26	
1491	1-1	1654,32	6617,29
	2-1	3138,58	
	3-1	4503,30	
	4-1	5791,21	
232	1-1	1836,84	7347,35
	2-1	3536,45	
	3-1	5105,47	
	4-1	6587,34	
221	1-1	1780,40	7121,62
	2-1	3260,03	

	3-1	4595,57	
	4-1	5879,82	
1495	1-1	1642,48	6569,90
	2-1	2969,63	
	3-1	4158,62	
	4-1	5297,29	
1496	1-1	1633,15	6532,61
	2-1	2924,94	
	3-1	4084,77	
	4-1	5194,56	
1497	1-1	1572,71	6290,82
	2-1	2846,09	
	3-1	4002,72	
	4-1	5113,09	
1498	1-1	1475,08	5900,31
	2-1	2723,46	
	3-1	3875,24	
	4-1	4986,50	
1499	1-1	1354,52	5418,09
	2-1	2570,61	
	3-1	3713,20	
	4-1	4822,29	
1500	1-1	1217,01	4868,02
	2-1	2390,67	
	3-1	3515,58	
	4-1	4614,90	
1501	1-1	1076,56	4306,22
	2-1	2205,66	
	3-1	3308,26	
	4-1	4392,69	
220	1-1	1913,16	7652,64
	2-1	3846,02	
	3-1	5726,56	
	4-1	7572,70	

### APÊNDICE C – Edificação 3

<b>EDIFICAÇÃO 3 - ANÁLISE 1</b>			
Nó/Apoio	Estágio	Pavimentos agrupados (kgf)	Pavimentos isolados (kgf)
130	1-1	1170,85	4683,40
	2-1	2385,65	
	3-1	3667,06	
	4-1	5003,38	
4787	1-1	957,29	3829,16
	2-1	2029,99	
	3-1	3069,45	
	4-1	4078,19	
4771	1-1	1123,73	4494,92
	2-1	2234,91	
	3-1	3296,19	
	4-1	4323,09	
4755	1-1	1269,62	5078,48
	2-1	2413,47	
	3-1	3488,29	
	4-1	4525,84	
4739	1-1	1376,88	5507,52
	2-1	2541,67	
	3-1	3619,73	
	4-1	4659,21	
4723	1-1	1421,85	5687,40
	2-1	2617,54	
	3-1	3712,94	
	4-1	4771,02	
4707	1-1	938,54	3754,16
	2-1	1928,88	
	3-1	2900,03	
	4-1	3854,71	
4691	1-1	468,94	1875,76
	2-1	1209,15	
	3-1	2088,48	
	4-1	3026,29	
135	1-1	1585,62	6342,48
	2-1	3221,42	
	3-1	4841,65	
	4-1	6453,49	
221	1-1	746,44	2985,76
	2-1	1307,54	
	3-1	1850,01	
	4-1	2414,37	
4651	1-1	1213,57	4854,28
	2-1	2287,97	
	3-1	3310,90	
	4-1	4314,07	
222	1-1	819,91	3279,64
	2-1	1737,88	
	3-1	2672,07	
	4-1	3607,75	

4624	1-1	1325,39	5301,56
	2-1	2423,67	
	3-1	3455,12	
	4-1	4466,36	
131	1-1	1720,73	6882,92
	2-1	3514,80	
	3-1	5296,38	
	4-1	7048,83	
4594	1-1	1399,37	5597,48
	2-1	2536,12	
	3-1	3595,17	
	4-1	4634,95	
4578	1-1	770,12	3080,48
	2-1	1699,53	
	3-1	2688,02	
	4-1	3720,53	
4562	1-1	740,06	2960,24
	2-1	1629,79	
	3-1	2583,71	
	4-1	3576,51	
233	1-1	766,77	3067,08
	2-1	1676,50	
	3-1	2612,10	
	4-1	3546,80	
4536	1-1	743,46	2973,84
	2-1	1644,48	
	3-1	2611,05	
	4-1	3612,11	
4529	1-1	754,22	3016,88
	2-1	1674,41	
	3-1	2657,65	
	4-1	3670,52	
234	1-1	632,14	2528,56
	2-1	1340,97	
	3-1	2077,52	
	4-1	2815,24	
4500	1-1	769,57	3078,28
	2-1	1710,78	
	3-1	2708,93	
	4-1	3731,19	
4484	1-1	792,10	3168,40
	2-1	1752,27	
	3-1	2758,97	
	4-1	3783,37	
4468	1-1	850,84	3403,36
	2-1	1840,91	
	3-1	2859,05	
	4-1	3886,41	
23	1-1	1780,94	7123,76
	2-1	3535,94	
	3-1	5341,34	
	4-1	7166,69	

### EDIFICAÇÃO 3 - ANÁLISE 2

Nó/Apoio	Estágio	Pavimentos agrupados (kgf)	Pavimentos isolados (kgf)
136	1-1	942,53	3770,12
	2-1	1870,01	
	3-1	2844,14	
	4-1	3868,41	
196	1-1	694,85	2779,40
	2-1	1186,48	
	3-1	1664,20	
	4-1	2139,91	
3911	1-1	795,12	3180,48
	2-1	1739,20	
	3-1	2749,07	
	4-1	3784,53	
199	1-1	668,94	2675,76
	2-1	1329,73	
	3-1	2014,51	
	4-1	2733,00	
138	1-1	1436,22	5744,88
	2-1	2763,51	
	3-1	4073,75	
	4-1	5428,66	
5149	1-1	1083,39	4333,56
	2-1	2124,77	
	3-1	3128,57	
	4-1	4120,57	
5165	1-1	1251,40	5005,60
	2-1	2350,24	
	3-1	3381,23	
	4-1	4390,39	
5181	1-1	938,01	3752,04
	2-1	2013,57	
	3-1	3082,04	
	4-1	4130,20	
5197	1-1	1106,54	4426,16
	2-1	2248,04	
	3-1	3358,45	
	4-1	4437,25	
5213	1-1	1269,79	5079,16
	2-1	2473,91	
	3-1	3619,00	
	4-1	4720,67	
5229	1-1	1414,90	5659,60
	2-1	2672,36	
	3-1	3842,57	
	4-1	4958,18	
5245	1-1	1528,01	6112,04
	2-1	2832,90	
	3-1	4022,83	
	4-1	5148,08	

5261	1-1	1588,15	6352,60
	2-1	2959,52	
	3-1	4189,18	
	4-1	5345,47	
5277	1-1	918,66	3674,64
	2-1	1907,35	
	3-1	2888,95	
	4-1	3861,62	
5293	1-1	1067,65	4270,60
	2-1	2134,91	
	3-1	3173,11	
	4-1	4192,39	
5309	1-1	1222,78	4891,12
	2-1	2358,63	
	3-1	3440,26	
	4-1	4492,60	
5325	1-1	1364,61	5458,44
	2-1	2555,86	
	3-1	3667,96	
	4-1	4740,90	
5341	1-1	1485,10	5940,40
	2-1	2727,65	
	3-1	3867,59	
	4-1	4959,09	
5357	1-1	1573,27	6293,08
	2-1	2891,30	
	3-1	4086,77	
	4-1	5225,12	
5373	1-1	1833,87	7335,48
	2-1	3228,30	
	3-1	4470,52	
	4-1	5629,67	
5389	1-1	1297,16	5188,64
	2-1	2483,90	
	3-1	3650,94	
	4-1	4805,87	
5405	1-1	1275,26	5101,04
	2-1	2430,86	
	3-1	3559,23	
	4-1	4671,66	
5421	1-1	1309,20	5236,80
	2-1	2477,65	
	3-1	3608,14	
	4-1	4716,44	
5437	1-1	1351,79	5407,16
	2-1	2544,52	
	3-1	3687,98	
	4-1	4802,16	
139	1-1	2274,84	9099,36
	2-1	4132,05	
	3-1	5832,36	
	4-1	7481,60	

---

**EDIFICAÇÃO 3 - ANALISE 3**


---

Nó/Apoio	Estágio	Pavimentos agrupados (kgf)	Pavimentos isolados (kgf)
15	'	1490,35	5961,40
	2-1	2756,92	
	3-1	3954,20	
	4-1	5137,46	
6908	1-1	1587,31	6349,24
	2-1	2957,28	
	3-1	4185,44	
	4-1	5340,74	
6924	1-1	1833,09	7332,36
	2-1	3226,29	
	3-1	4467,31	
	4-1	5625,64	
6940	1-1	1214,00	4856,00
	2-1	2288,59	
	3-1	3311,45	
	4-1	4314,45	
6956	1-1	1076,96	4307,84
	2-1	2114,98	
	3-1	3118,48	
	4-1	4103,58	
6972	1-1	938,03	3752,12
	2-1	1928,05	
	3-1	2898,89	
	4-1	3853,23	
14	1-1	1698,19	6792,76
	2-1	3375,05	
	3-1	5006,71	
	4-1	6604,59	

---