

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Escola de Engenharia de São Carlos

**Análise de estrutura de edifícios altos por meio da
Técnica do Meio Contínuo considerando a flexão global dos
pilares.**

GABRIEL DANTAS DE MENEZES

Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Engenharia de Estruturas) da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

GABRIEL DANTAS DE MENEZES

**Análise de estrutura de edifícios altos por meio da Técnica do Meio
Contínuo considerando a flexão global dos pilares**

VERSÃO CORRIGIDA

(A versão original encontra-se na Escola de Engenharia de São Carlos)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Engenharia de Estruturas) da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. José Elias Laier

São Carlos - SP

2024

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

M541a Menezes, Gabriel Dantas de
Análise de estrutura de edifícios altos por meio da Técnica do Meio Contínuo considerando a flexão global dos pilares / Gabriel Dantas de Menezes; orientador José Elias Laier. São Carlos, 2024.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Engenharia de Estruturas) e Área de Concentração em Estruturas -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2024.

1. Técnica do Meio Contínuo. 2. Painéis. 3. Flexão Global. 4. Deformada. 5. Forças Internas. I. Título.

Eduardo Graziosi Silva - CRB - 8/8907

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Bacharel **GABRIEL DANTAS DE MENEZES**.

Título da dissertação: "Análise de estrutura de edifícios altos por meio da Técnica do Meio Contínuo considerando a flexão global dos pilares. "

Data da defesa: 07/02/2024.

Comissão Julgadora

Prof. Jose Elias Laier
(Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos - EESC/USP)

Prof. Dr. José Benaque Rubert
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

Prof. Assoc. Jefferson Lins da Silva
(Escola de Engenharia de São Carlos - EESC/USP)

Resultado

Aprovado

APROVADO

APROVADO

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Engenharia de Estruturas):

Prof Associado **Ricardo Carrazedo**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:

Prof. Titular **Carlos De Marqui Junior**

Dedico carinhosamente este trabalho à toda minha família, em especial: meus pais, Wagner e Amélia, meus queridos avós, Josefa, Celina e José Menezes, minha tia Iara, minha namorada, Luana; e todos que me apoiaram que incentivaram e que estiveram ao meu lado durante esta jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus que me conduziu, me proporcionou todas as condições necessárias para realização deste trabalho e me protegeu diante de tantas dificuldades, incertezas e medos.

Aos meus queridos pais, Amélia e Wagner, por todo o amor incondicional, carinho, investimento em minha educação e por acreditarem na minha capacidade e nos meus sonhos. Eu os amo muito.

Aos meus mais que especiais avós Josefa Pereira Dantas, Celina Sales de Menezes e José Vieira de Menezes que são meu porto seguro e meus exemplos de dignidade, comprometimento e amor. Sem vocês meu mundo estaria incompleto.

À minha tia Iara Dantas e ao meu primo Waldjer Dantas, que sempre foram meus apoiadores e incentivadores em todos os momentos da minha vida. Sou grato por tê-los.

À minha namorada e grande companheira, Luana Rocha, que me incentivou, apoiou e me fez se sentir amado, mesmo com toda a distância que sempre foi meramente física. O nosso amor move montanhas.

Aos meus amigos Herbert Melo e Thiago Costa que dividiram não só a caminhada no mundo acadêmico como o apartamento, o eterno “171-B”. Suportar toda uma mudança de cidade só foi possível graças a vocês, que confiaram e tornaram tudo mais fácil com suas amizades.

Às minhas irmãs, Rayna, Larissa e Letícia. À minha “madrasta” e “avodраста”, Verônica e Lúcia. Aos meus padrinhos, Bianca e Marcelo. Ao meu primo Victor Menezes. Vocês são presentes da minha vida.

Ao meu orientador, Dr. José Elias Laier, que me acolheu, confiou e se empenhou para que tudo ocorresse da melhor maneira possível.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

” Existem muitas hipóteses em ciência que estão erradas. Isso é perfeitamente aceitável, elas são a abertura para achar as que estão certas.”

Carl Sagan

RESUMO

MENEZES, G. D. **Análise de estrutura de edifícios altos por meio da Técnica do Meio Contínuo considerando a flexão global dos pilares.** 2024. 139 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2024.

Os edifícios altos são cada vez mais comuns na sociedade devido à necessidade de residir o maior número de pessoas nas zonas de atividade econômica, e com os avanços das tecnologias, de maneira segura e eficiente. No entanto do ponto de vista estrutural, o processo de cálculo torna-se cada vez mais complexo, custosos financeiramente e em tempo, à medida que se cresce verticalmente os edifícios. O que justifica a necessidade de técnicas que permitam uma análise global e aproximada sem grandes custos a fim de fornecer um direcionamento para etapas mais específicas de projeto. Neste projeto é estudado a Técnica do Meio Contínuo (TMC) em estruturas de edifícios altos formados por painéis paredes, pórticos e núcleos de seção aberta de parede delgada considerando a flexão global dos pilares submetidos às ações laterais, força constante no topo do edifício ou carregamento uniformemente distribuído. A utilidade e aproximação desta técnica é realizada por meio de três exemplos numéricos através da comparação com o emprego do método dos elementos finitos obtidas por softwares de análise numérica. Neles são obtidos os deslocamentos das lajes que são consideradas como diafragmas rígidos, os deslocamentos principais dos painéis e os esforços internos, cortante e fletor. Os resultados obtidos mostraram-se eficientes para a fase de projetos preliminares e a inclusão da flexão global dos pilares dos pórticos trouxe ganhos no comportamento nos primeiros pavimentos e sua influência ficou perceptível ao analisar a sequência de cada exemplo proposto. Além disso, foi realizado a implementação computacional da TMC na linguagem FORTRAN a fim de tornar ainda mais eficiente sua utilização. Portanto, é notório que a grande virtude da TMC é a sua simplicidade, devido às suas hipóteses simplificadoras, e por isso serve de direcionamento e auxílio para outros métodos como o dos elementos finitos.

Palavras-chave: edifícios altos; técnica do meio contínuo; painéis; deformada; flexão global.

ABSTRACT

MENEZES, G. D. **Structure analysis of tall buildings using the Continuous Medium Technique considering the global bending of the columns.** 2024. 139 p. Dissertation (M. Sc. In Structural Engineering) – Department of Structural Engineering, School of Engineering of São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2024.

Tall buildings are increasingly common in society due to the need to accommodate as many people as possible in areas of economic activity, and with advances in technology, in a safe and efficient way. However, from a structural point of view, the calculation process becomes increasingly complex, costly financially and in time, as buildings grow vertically. This justifies the need for techniques that allow a global and approximate analysis without large costs to provide guidance for more specific project stages. In this project, the Continuous Medium Technique (TMC) is studied in tall building structures formed by wall panels, frames and thin wall open section cores considering the global flexion of the pillars subjected to lateral actions, constant force at the top of the building or loading evenly distributed. The usefulness and approximation of this technique is carried out through three numerical examples through comparison with the use of the finite element method obtained by numerical analysis software. They obtain the displacements of the slabs that are considered as rigid diaphragms, the main displacements of the panels and the internal, shear and bending forces. The results obtained proved to be efficient for the preliminary design phase and the inclusion of global flexion of the frame pillars brought gains in behavior on the first floors and its influence was noticeable when analyzing the sequence of each proposed example. Furthermore, the computational implementation of TMC was carried out in the FORTRAN language to make its use even more efficient. Therefore, the great virtue of TMC is its simplicity, due to its simplifying assumptions, and therefore serves as guidance and assistance for other methods such as finite elements.

Keywords: tall buildings; continuous medium technique; panels, deformed, global flexure.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Verticalização das Edificações (Camboriú)	20
Figura 2 – Subsistemas Verticais	22
Figura 3 – Carregamento externo no pilar parede, elástica e elemento isolado com convenção de sinais.....	36
Figura 4 – Carregamento externo no pórtico e elástica.....	38
Figura 5 – Pórtico com vigas de $J= \infty$	39
Figura 6 – Flexão Local e Global das colunas dos pórticos	41
Figura 7 – Configuração de deflexão.	42
Figura 8 – Configuração de equilíbrio.....	44
Figura 9 – Núcleo de seção aberta de parede delgada isolada e em planta.	47
Figura 10 – Tensões de cisalhamento uniformes na seção delgada.	51
Figura 11 – Associação plana de parede e pórtico em série.....	54
Figura 12 – Deslocamentos Horizontais u da associação plana em série de parede e pórticos	56
Figura 13 – Plano Estrutural.....	58
Figura 14 – Mudança dos eixos de referência para diagonalizar a matriz de rigidez dos pilares paredes.	60
Figura 15 – Planta térrea do edifício do exemplo 1 formado pela associação de pilares paredes e pórticos.	70
Figura 16 – Deslocamentos principais do edifício do exemplo 1.	72
Figura 17 – Planta térrea do edifício do exemplo 2 formado pela associação de pilar parede e pórticos.	73
Figura 18 – Deslocamentos do Pórtico 1 e da rotação do painel genérico do edifício do exemplo 2.....	75
Figura 19 – Momento Fletor na Parede 1 e Força Cortante no Pórtico 4 do edifício do exemplo 2.....	76

Figura 20 – Edifício em visualização tridimensional contendo apenas pórticos do exemplo 3.....	77
Figura 21 – Planta térrea do edifício do exemplo 3 formado apenas por pórticos.....	78
Figura 22 – Deslocamento do Pórtico 1 do edifício do exemplo 3.	81
Figura 23 – Deslocamento do Pórtico 1 do edifício do exemplo 3 incluindo a análise numérica considerando a deformação axial dos pilares.	82
Figura 24 – Força Cortante no Pórtico 1 e 2 do edifício do exemplo 3.	83
Figura 25 – Fluxograma do código computacional.....	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Hipóteses de rigidez das lajes do edifício.....	30
Tabela 2 – Características geométricas e mecânicas dos pilares paredes do exemplo 1.	70
Tabela 3 – Características geométricas e mecânicas dos pórticos do exemplo 1.....	70
Tabela 4 – Características de rigidez e vetor unitário dos pilares paredes do exemplo 1.	71
Tabela 5 – Características de rigidez e vetor unitário dos pórticos do exemplo 1.	71
Tabela 6 – Deslocamentos e giro do diafragma genérico do exemplo 1.....	72
Tabela 7 – Características geométricas e mecânicas do pilar parede do exemplo 2.	74
Tabela 8 – Características geométricas e mecânicas dos pórticos do exemplo 2.....	74
Tabela 9 – Características de rigidez e vetor unitário do pilar parede do exemplo 2.....	74
Tabela 10 – Características de rigidez e vetor unitário dos pórticos do exemplo 2.	75
Tabela 11 – Seções Transversais dos Pilares do exemplo 3.....	79
Tabela 12 – Características geométricas, mecânicas e vetores unitários dos pórticos do exemplo 3.....	80

LISTA DE ALGORITMOS

Algoritmo 1 Dados de entrada para o exemplo 3	91
Algoritmo 2 Dados de entrada para o exemplo 3 (CONTINUAÇÃO)	92
Algoritmo 3 Dados de entrada para o exemplo 3 (CONTINUAÇÃO)	93
Algoritmo 4 Declaração de Variáveis, Abertura de Arquivos e Programa Principal	94
Algoritmo 5 Declaração de Variáveis, Abertura de Arquivos e Programa Principal (Continuação).....	95
Algoritmo 6 Declaração de Variáveis, Abertura de Arquivos e Programa Principal (Continuação).....	96
Algoritmo 7 Sub-rotina INPUT_TMC	97
Algoritmo 8 Sub-rotina INPUT_TMC (CONTINUAÇÃO)	98
Algoritmo 9 Sub-rotina INPUT_TMC (CONTINUAÇÃO)	99
Algoritmo 10 Sub-rotina VETORES_UNIT	100
Algoritmo 11 Sub-rotina VETORES_UNIT (CONTINUAÇÃO)	101
Algoritmo 12 Sub-rotina RIGIDEZ.....	101
Algoritmo 13 Sub-rotina RIGIDEZ (CONTINUAÇÃO).....	102
Algoritmo 14 Sub-rotina RIGIDEZ (CONTINUAÇÃO).....	103
Algoritmo 15 Sub-rotina MATRIZ_RIGIDEZ	103
Algoritmo 16 Sub-rotina MATRIZ_RIGIDEZ (CONTINUAÇÃO)	104
Algoritmo 17 Sub-rotina SISTEMA_PORTICO	105
Algoritmo 18 Sub-rotina SISTEMA_PORTICO (CONTINUAÇÃO)	106
Algoritmo 19 Sub-rotina SISTEMA_PORTICO (CONTINUAÇÃO)	107
Algoritmo 20 Sub-rotina SISTEMA_PORTICO (CONTINUAÇÃO)	108
Algoritmo 21 Sub-rotina SISTEMA_PORTICO (CONTINUAÇÃO)	109
Algoritmo 22 Sub-rotina SISTEMA_PAREDE	110
Algoritmo 23 Sub-rotina SISTEMA_PAREDE (CONTINUAÇÃO)	111
Algoritmo 24 Sub-rotina SISTEMA_PAREDE (CONTINUAÇÃO)	112

Algoritmo 25	Sub-rotina SISTEMA_PAREDE (CONTINUAÇÃO)	113
Algoritmo 26	Sub-rotina SISTEMA_PAREDE (CONTINUAÇÃO)	114
Algoritmo 27	Sub-rotina SISTEMA_SINGULAR	114
Algoritmo 28	Sub-rotina SISTEMA_SINGULAR (CONTINUAÇÃO)	115
Algoritmo 29	Sub-rotina SISTEMA_SINGULAR (CONTINUAÇÃO)	116
Algoritmo 30	Sub-rotina SISTEMA_SINGULAR (CONTINUAÇÃO)	117
Algoritmo 31	Sub-rotina SISTEMA_SINGULAR (CONTINUAÇÃO)	118
Algoritmo 32	Sub-rotina SISTEMA_SINGULAR (CONTINUAÇÃO)	119
Algoritmo 33	Sub-rotina EIXO	120
Algoritmo 34	Sub-rotina EIXO (CONTINUAÇÃO)	121
Algoritmo 35	Sub-rotina SISTEMA_GERAL	122
Algoritmo 36	Sub-rotina SISTEMA_GERAL (CONTINUAÇÃO)	123
Algoritmo 37	Sub-rotina SISTEMA_GERAL (CONTINUAÇÃO)	124
Algoritmo 38	Sub-rotina SISTEMA_GERAL (CONTINUAÇÃO)	125
Algoritmo 39	Sub-rotina SISTEMA_GERAL (CONTINUAÇÃO)	126
Algoritmo 40	Sub-rotina SISTEMA_GERAL (CONTINUAÇÃO)	127
Algoritmo 41	Sub-rotina SISTEMA_GERAL (CONTINUAÇÃO)	128
Algoritmo 42	Sub-rotina SISTEMA_GERAL (CONTINUAÇÃO)	129
Algoritmo 43	Sub-rotina OUTPUT_TMC	130
Algoritmo 44	Sub-rotina OUTPUT_TMC (CONTINUAÇÃO)	131
Algoritmo 45	Arquivo OUTPUT_TMC.txt.....	132

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
1.1	Justificativa	23
1.2	Objetivos	24
1.3	Metodologia.....	24
1.4	Organização da dissertação	25
2	TÉCNICA DO MEIO CONTÍNUO (TMC)	27
2.1	Critérios de classificação dos processos de análise tridimensional	27
2.1.1	Processos contínuos.....	28
2.1.2	<i>Processos discretos simplificados</i>	30
2.1.3	<i>Processos discretos refinados</i>	32
2.2	Técnica do Meio Contínuo	33
3	PAÍNEIS DE CONTRAVENTAMENTO	36
3.1	Parede	36
3.2	Pórtico	37
3.3	Núcleos de seções abertas de paredes delgadas	46
3.3.1	<i>Flexo-torção</i>	48
4	ASSOCIAÇÃO PLANA E TRIDIMENSIONAL	53
4.1	Associação plana	53
4.1.1	<i>Parede e pórtico em série</i>	53
4.1.2	<i>Pórticos em série considerando a deformação axial</i>	56
4.2	Associação tridimensional	57
4.2.1	<i>Equação de equilíbrio</i>	59
4.2.2	<i>Desacoplamento da equação de equilíbrio do caso geral</i>	60
4.2.3	<i>Desacoplamento da equação de equilíbrio em casos singulares</i>	65
5	EXEMPLOS DE APLICAÇÃO	69

5.1	Exemplo 1	69
5.2	Exemplo 2	73
5.3	Exemplo 3	77
6	CONCLUSÃO	84
	APÊNDICE A – Apresentação do programa tmc	87
A.1	Visão Geral.....	87
A.2	Dados de Entrada	87
A.3	Programa Principal	93
A.4	Sub-Rotinas	96
<i>A.4.1</i>	<i>INPUT_TMC.....</i>	<i>96</i>
<i>A.4.2</i>	<i>VETORES_UNIT.....</i>	<i>99</i>
<i>A.4.3</i>	<i>RIGIDEZ</i>	<i>101</i>
<i>A.4.4</i>	<i>MATRIZ RIGIDEZ.....</i>	<i>103</i>
<i>A.4.5</i>	<i>EVCSF</i>	<i>104</i>
<i>A.4.6</i>	<i>SISTEMA_PÓRTICO.....</i>	<i>105</i>
<i>A.4.7</i>	<i>SISTEMA_PAREDE.....</i>	<i>109</i>
<i>A.4.8</i>	<i>SISTEMA_SINGULAR.....</i>	<i>114</i>
<i>A.4.9</i>	<i>EIXO</i>	<i>120</i>
<i>A.4.10</i>	<i>SISTEMA_GERAL</i>	<i>121</i>
<i>A.4.11</i>	<i>OUTPUT_TMC.....</i>	<i>129</i>
A.3	Dados de Saída	131
	REFERÊNCIAS	133

1 INTRODUÇÃO

Os edifícios altos não surgiram de uma hora para outra, sua evolução é resultado de inovação, desenvolvimento científico ao longo da história, movimentações da sociedade e disciplinados por políticas urbanas. Aliado a necessidade de aproveitar cada vez mais o espaço escasso em situações com alta concentração humana nos centros urbanos, resultado de atividades econômicas crescentes. Assim a intensa verticalização das construções surge como um marco da paisagem urbana como ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Verticalização das Edificações (Camboriú)



Fonte: CTBUH (2022).

Na literatura não há uma definição precisa do termo “Edifício Alto”, a qual a CTBUH (2018) designa como subjetiva de acordo com a classificação em algumas categorias como a altura em relação às demais dimensões, ou ao contexto de sua localização, como altura do edifício em relação aos demais existentes naquela cidade; proporção entre altura e área dos pavimentos; envolvimento de tecnologias relevantes para edifícios altos como, por exemplo, demanda de tecnologias de transporte vertical, bem como o emprego necessário de contraventamento estrutural em razão de sua altura, podendo ser classificados de edifícios “Supertall”, aqueles com mais de 300 metros de altura e “Megatall” com mais de 600 metros de altura. Atualmente no Brasil, o edifício mais alto apresenta 290 metros de altura, localizado em Balneário Camboriú, com nome de “One Tower”, representado em destaque na Figura 1.

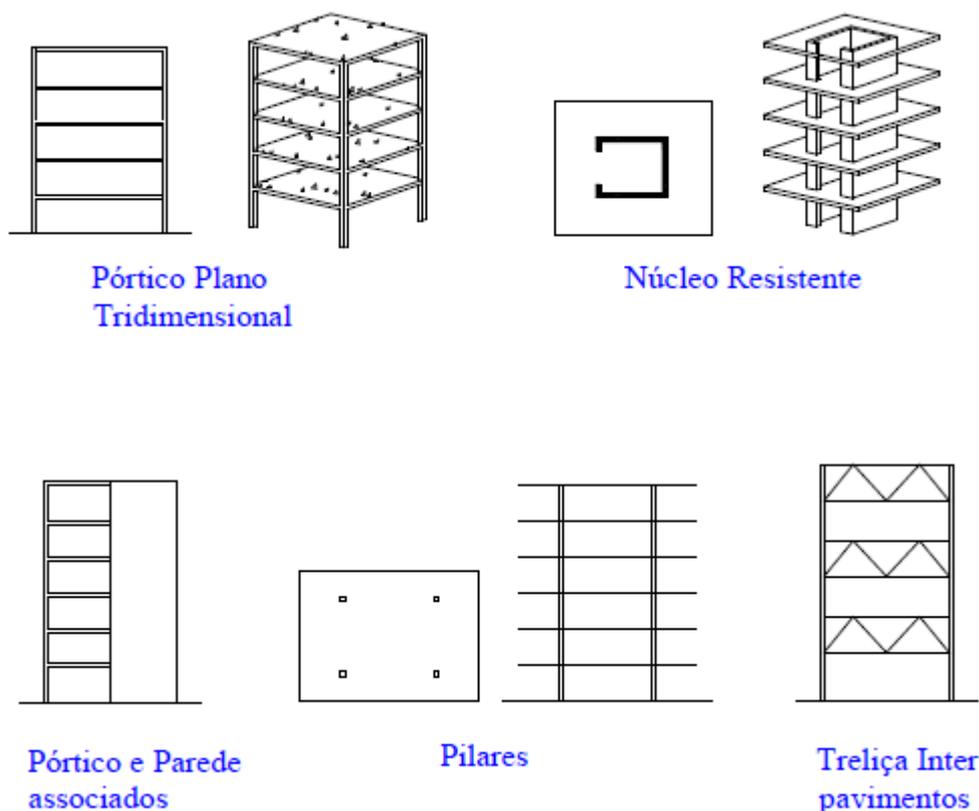
Segundo Taranath (1988), não há nenhum conceito que possa classificar uma estrutura como alta conforme relações de altura, número de pavimentos ou proporções. Diante dessa divergência de definições, do ponto de vista estrutural, será considerado edifício alto aquele com estruturas esbeltas que apresentam sensibilidade às ações laterais que não podem ser desprezadas, merecendo uma análise estrutural mais apropriada. Portanto, um edifício de 60 m de altura pode ser considerado alto, a depender das dimensões em planta dos seus andares.

À medida que crescem verticalmente os edifícios, sua sensibilidade às ações laterais, como ventos e sismo, vão aumentando os deslocamentos e movimentos relativos determinantes a serem considerados para fins de projeto. Antes, o destaque era dado apenas para o conforto humano como principal critério de escolha de sistemas e modelagens estruturais, porém com as construções cada vez mais ousadas e os materiais mais leves e esbeltos, os efeitos estruturais secundários ganham também cada vez mais relevância em razão dos fenômenos de instabilidade.

A complexidade de se projetar um edifício alto de maneira segura requer grandes conhecimentos do engenheiro para tomada de decisões, antes e ao longo do processo de cálculo, como a escolha dos elementos que participarão do arranjo estrutural e a adoção dos modelos utilizados para simular o seu comportamento, de extrema importância para a obtenção de êxito nos resultados de cálculo a serem fornecidos (Pereira, 2000).

Os sistemas estruturais de contraventamento são os grandes responsáveis pela segurança das estruturas sendo formados por painéis em arranjos adequados, e estes dividem-se em categorias como pórticos planos ou tridimensionais, painéis treliçados, painéis paredes, núcleos resistentes e pilares isolados, ou ainda os chamados subsistemas verticais de contraventamento como ilustrado na Figura 2. As lajes e as vigas dos pisos integram este grupo, sendo denominadas de elementos horizontais de contraventamento (Pereira,2000).

Figura 2 – Subsistemas Verticais



Fonte: Pereira (2000)

A determinação dos deslocamentos e esforços atuantes nos elementos estruturais dos edifícios é de extrema importância para a análise estrutural bem como a escolha da técnica de cálculo. Quanto maior o porte dos edifícios, mais elementos estruturais acham-se envolvidos e, conseqüentemente, tem-se aumento do número das variáveis envolvidas, tornando-se o processo de cálculo cada vez mais trabalhoso, mediante o concurso de um grande número de sistemas de equações lineares.

Os programas computacionais de cálculo estrutural são excelentes para auxiliar o engenheiro com produtividade de qualidade e segura. Todavia, é necessário conhecer as formulações e simplificações adotadas pelos programas, para que o procedimento seguido pelo profissional seja o mesmo que o computador irá processar, levando-se assim ao resultado esperado (Bueno,2009). Essas análises em edifícios altos por meio de softwares são custosas financeiramente, sendo até visto como arriscado sob a perspectiva econômica de investimento neste tipo de obra. Com isso, tornou-se necessário o aprimoramento dos sistemas estruturais e das técnicas de análise das estruturas, de forma a proporcionarem maior economia, rapidez e segurança (Martins, 2001).

Nesse cenário é que se insere a Técnica do Meio Contínuo (TMC), a qual consiste em um método que reduz o número de variáveis, e permite obter de maneira simples e rápida a deformada e as forças internas dos diferentes painéis de edifício alto em fases iniciais de projeto. Sendo de extrema importância para se obter uma ideia de maneira aproximada das dimensões dos diversos elementos estruturais.

Em virtude do que foi exposto, é notório que os edifícios altos são amplamente utilizados no Brasil e no mundo, e projetá-los acaba sendo algo complexo, custoso e demorado, gerando-se um certo receio no investimento. Portanto, reduzir seu tempo nos períodos iniciais, projetos básicos, fornecendo uma visão mais geral do seu comportamento estrutural é de crucial importância para as fases seguintes de construção. Dessa maneira, no presente trabalho é desenvolvida a formulação da Técnica do Meio Contínuo, ratificando-se sua eficiência nas fases preliminares dos projetos.

1.1 Justificativa

O projeto e construção de edifícios altos e esbeltos nas grandes cidades brasileiras aumentaram significativamente nas últimas décadas. Essa tendência arquitetônica produziu mudanças significativas nos sistemas estruturais que apresentaram flexibilidade resultando-se baixas frequências naturais, logo, suscetíveis a vibrações e sensibilidade a ações laterais.

De acordo com Rahgozar, Ahmadi e Sharifi (2010), os efeitos de forças laterais em um edifício aumentam exponencialmente com o aumento de sua altura, em contraste com a carga vertical. Aliado com os sistemas estruturais e materiais de alta resistência, reduzindo bastante o peso da construção e aumento da esbeltez, torna estas forças dominantes nas considerações de projeto e o deslocamento lateral dos edifícios estritamente controlado para além do conforto e segurança dos usuários, mas também para controlar os efeitos estruturais secundários decorrentes do chamado efeito $P \times \Delta$.

Dessa maneira, a necessidade de se obter uma análise estrutural adequada e eficiente deve ocorrer desde as fases iniciais de projeto, propiciando benefícios como viabilidade técnica e econômica, estimativa de custo e prazo de execução de maneira segura e hábil.

Diante do exposto, a Técnica do Meio Contínuo (TMC) é um modelo matemático que permite realizar uma análise estrutural de maneira simplificada já que considera apenas 3 parâmetros de interesse que são duas funções que descrevem as translações

horizontais e a outra uma rotação da laje. Essa simplificação permite o estudo e controle do comportamento estrutural e, portanto, é de suma importância para as fases iniciais de projeto, principalmente em estruturas de grande porte como edifícios altos que envolvem muitas incógnitas como deslocamentos, solicitações internas e tensões.

Portanto, o presente trabalho busca ratificar a eficiência da TMC em projetos básicos de edifícios altos com estruturas reais, fornecendo uma aproximação segura, simples e rápida, pois na literatura se apresenta apenas exemplos de edifícios com arranjos estruturais didáticos.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar a eficiência da técnica do meio contínuo para edifícios altos por meio da realização de análises comparativas com os resultados fornecidos pelo processamento nos softwares de análise numérica.

Como objetivos específicos podem ser citados:

- Realizar uma revisão bibliográfica da Técnica do Meio Contínuo aplicada nos Edifícios Altos;
- Evidenciar a utilização da Técnica do Meio Contínuo como ferramenta auxiliar nos projetos de edifícios altos de uma maneira didática;
- Analisar a influência da flexão global dos pilares dos pórticos na deformada e esforços internos da estrutura e precisão da técnica;
- Automatizar os processos de cálculos por meio de um código computacional em FORTRAN 90.

Espera-se com este trabalho contribuir com a engenharia de estruturas, trazendo-se em destaque uma técnica de análise estrutural (TMC) que, apesar de antiga e consolidada, merece relevância neste novo cenário caracterizado pelo alto desenvolvimento computacional dos microprocessadores e ferramentas de modelagem CAD, como um auxiliar para o entendimento do comportamento dos sistemas estruturais em edifícios altos, quanto à deslocabilidade lateral e à distribuição de esforços.

1.3 Metodologia

A primeira etapa do trabalho consiste na fundamentação teórica realizada por meio de uma revisão bibliográfica. Nesta etapa do trabalho são apresentadas as considerações e as formulações referentes ao tema e necessárias para o cumprimento dos objetivos. Os

trabalhos utilizados como referência para o desenvolvimento da formulação da Técnica do Meio Contínuo (TMC) são Stamato (1972a); Stamato e Mancini (1973); Murashev, Sigalov e Baikov (1972); Coelho (1987); Laier (2008,2021) e Espezua (2009).

Em seguida, é realizado o desenvolvimento de exemplos de aplicação encontrado na literatura de referência, considerando a flexão local e global com o objetivo de consolidar o aprendizado da técnica e compará-los entre si, avaliando-se o ganho de precisão e processo de cálculo.

Posteriormente, é desenvolvido um projeto estrutural básico de edifício com pavimento tipo criado pelo autor com base em uma planta real de edifício, a fim de ratificar a eficiência, nas fases iniciais do projeto, da técnica em estudo confrontando com os resultados obtidos nos softwares de modelagem numérica.

Por fim, será realizada a implementação computacional com o uso da linguagem de programação FORTRAN a fim de automatizar o processo de cálculo e tornar a técnica ainda mais prática e usual.

1.4 Organização da dissertação

Além deste capítulo introdutório que aborda de conceitos gerais sobre o tema, a justificativa e os objetivos do trabalho e metodologia, constam mais cinco capítulos descritos a seguir:

Capítulo 2 – Revisão bibliográfica acerca dos processos de análises estruturais em edifícios altos e da Técnica do Meio Contínuo, enunciando alguns trabalhos importantes na área.

Capítulo 3 – Estudo da Técnica do Meio Contínuo é ampliado com o estudo dos painéis isolados. São abordados três tipos básicos de painéis como a Parede, Pórtico e Núcleos de Seções Abertas de Parede Delgada.

Capítulo 4 – Associação plana e tridimensional dos painéis, bem como uma descrição detalhada do processo de desacoplamento das equações diferenciais resultantes no caso tridimensional.

Capítulo 5 – Resolução de exemplos de aplicação para consolidar as expressões desenvolvidas nos Capítulos 3 e 4, discutindo os resultados com os encontrados na literatura e softwares de análise numérica, a fim de avaliar a correção da consideração da

flexão global e a eficiência da TMC. São apresentados três exemplos de edifícios altos, sendo dois de outros autores e um desenvolvido para esta dissertação.

Capítulo 6 – Principais considerações das análises apresentadas no Capítulo 5 e sugestões para possíveis trabalhos.

Por fim, apresentam-se as referências bibliográficas e o APÊNDICE A demonstrando a implementação computacional na linguagem FORTRAN com a automatização das soluções propostas.

2 TÉCNICA DO MEIO CONTÍNUO (TMC)

Antes de se aprofundar sobre a Técnica do Meio Contínuo, é importante entender as maneiras de análise elástica estrutural tridimensional dos edifícios elevados sob a ação de cargas horizontais supostas estáticas. Serão descritas as classificações dos processos numéricos, contínuos ou discretos, com as hipóteses assumidas para a rigidez das lajes e com o comportamento característico dos diferentes tipos de painéis de contraventamento as quais são considerados em regime elástico-linear.

A revisão bibliográfica da seção 2.1 foi toda baseada no material do Stamato (1972b) na qual faz uma pesquisa descritiva do estado atual da análise de estruturas tridimensionais de edifícios altos indicando-se referências sobre os assuntos que foram citados nesta seção.

2.1 Critérios de classificação dos processos de análise tridimensional

Os processos de análise tridimensional podem ser classificados de acordo com dois critérios que se referem à consideração da rigidez transversal das lajes, bem como ao tratamento por processos numéricos.

O primeiro critério, referente à consideração da rigidez transversal e no plano das lajes, decorrente da capacidade computacional disponível, pois o número de incógnitas essenciais já é elevado, e, de acordo com o modelo escolhido, pode aumentar consideravelmente. Os processos mais usuais de análise tridimensional consideram como hipótese simplificadora, a rigidez das lajes como sendo nula transversalmente e infinita em seus próprios planos. Já os mais sofisticados consideram os valores efetivos da rigidez fazendo uso da técnica dos elementos finitos.

O segundo critério de classificação referente ao modo de tratamento por processos contínuos ou discretos. Nos processos contínuos, os elementos horizontais, que ligam os elementos estruturais resistentes às forças verticais, são substituídos por um meio contínuo de rigidez equivalente, continuamente distribuída ao longo da altura do edifício, conduzindo a um sistema de poucas equações diferenciais, que depois de integradas, fornecem deslocamentos e esforços em toda a estrutura.

Já os processos discretos são mais gerais, permitindo tratar estruturas de geometria mais variada, em planta ou elevação, através de técnicas matriciais conhecidas, como, por exemplo, o método dos deslocamentos. Esses processos conduzem a um sistema de

muitas equações lineares, elevados número de parâmetros e variáveis, dificultando a percepção do comportamento do conjunto, e a maneira como a variação dos parâmetros influi nos resultados. Resolvendo esses sistemas de equações lineares, obtém-se os deslocamentos e os esforços em toda a estrutura.

Os processos contínuos são mais simplificados, admitem regularidade da estrutura em planta e em elevação, e descrevem o comportamento macroscópico da estrutura em função de um número reduzido de parâmetros elásticos e geométricos. Além de seus erros serem amenizados à medida que aumenta o número de andares nos edifícios elevados, ao contrário dos processos discretos cujos erros de arredondamento são maiores para número muito grande de incógnitas. Vale ressaltar que a uniformidade da estrutura ocorre com frequência nos mais variados edifícios elevados por proporcionarem mais eficiência nas fases construtivas.

2.1.1 Processos contínuos

Todo elemento resistente vertical (parede, pórtico ou treliça) que recebe as cargas horizontais aplicadas às lajes e as transmite à fundação é chamado de Painei. Em analogia com um consolo vertical que recebe cargas no plano da alma, os painéis paralelos ao vento serão chamados de “painéis de alma” e os transversais de “painéis de flange”.

Os processos contínuos de solução de estruturas planas associadas por pilares-paredes entre si ou com pórticos são amplamente conhecidos na literatura como em Rosenblueth e Holtz (1960); Cardan (1961); Albigés e Goulet (1960); Franco (1960); Beck (1962); Coull e Choudhury (1967), e Rosman (1963,1967). A técnica de Albigés e Goulet (1960), que considera as deformações axiais dos pilares, foi estendida por Franco (1966) a fim de resolver estrutura de planta retangular, com dois eixos de simetria, formada por três ou quatro pórticos de alma, cada um com dois ou três pilares ou pilares-paredes, e mais dois pórticos de flange. Como ocorre nas aplicações do processo contínuo nas estruturas tridimensionais, as lajes são rígidas em seus planos e têm rigidez transversal desprezível. Bem como as seções de paredes, pilares e vigas que são constantes ao longo da altura do edifício.

A técnica de Rosman (1963) simplifica radicalmente a associação plana de um pórtico e uma parede admitindo que a parede só se deforma por momento fletor no painel sendo rígida às forças cortantes no painel, o pórtico só se deforma por força cortante no painel sendo rígido aos momentos fletores no painel, as seções transversais de parede,

pilares e vigas são constantes ao longo da altura e os elementos horizontais de ligação da parede com o pórtico são barras biarticuladas que só transmitem forças horizontais, e estão distribuídas continuamente ao longo da altura do edifício. Essas hipóteses foram estendidas para estruturas tridimensionais por Stamato (1971a), substituindo as barras biarticuladas por diafragmas rígidos em seus planos, mas sem rigidez transversal, tendo como incógnitas as duas translações u , v e a rotação θ dos diafragmas. A solução é obtida por um sistema de três equações diferenciais lineares de 4ª ordem em u , v , θ , com coeficientes constantes.

No processo desenvolvido por Stamato (1971a) demonstra-se que um conjunto de mais de três paredes pode ser substituído por três paredes elasticamente equivalentes, e o mesmo ocorrendo com um conjunto de mais de três pórticos, elasticamente equivalente a três pórticos convenientemente dispostos. Esse processo é estendido em Stamato (1972a), com pequeno trabalho adicional, de modo a considerar a rigidez à torção de painéis de seção celular em L, U ou caixão, por exemplo, que consistem em núcleos estruturais, cuja torção pode ser modelada pela teoria de SAINT-VENANT, da torção uniforme.

A rigidez à torção, segundo SAINT-VENANT, de paredes com eixos principais paralelos, foi investigada por Courbon (1966), e de maneira mais abrangente por paredes de eixos principais não paralelos, e comportamento à flexo-torção em Stiller (1965). Posteriormente, Stiller (1967) inclui paredes com aberturas cuja solução deve ser complementada com resultados obtidos em ensaios fotoelásticos. E prossegue-se com diversos pesquisadores como Michael (1969); Rosman (1971); Boudakian (1971); até ser generalizado em Laredo (1967,1969) e Gluck (1970), como no caso da associação tridimensional de pórticos e paredes ligadas com lintéis (barras engastadas em ambas as extremidades, com capacidade de resistir a momento fletor e a força cortante reduzindo-se ainda os deslocamentos verticais relativos entre paredes), levando-se em conta o empenamento na torção.

Há um cuidado especial com os processos contínuos ao se incorporar processos muito gerais, como o efeito da flexo-torção, associação dos painéis com lintéis, consideração dos efeitos dinâmicos, para não perder uma de suas vantagens frente aos discretos, que vem a ser sua simplicidade e eficiência.

2.1.2 Processos discretos simplificados

Há diversas hipóteses quanto a rigidez das lajes do edifício. A fim de facilitar a compreensão, são reunidos na Tabela 1 os tipos de lâmina-plana e suas rigidezes no plano e transversal.

Tabela 1 – Hipóteses de rigidez das lajes do edifício

Tipo de Lâmina - Plana	Rigidez Transversal	Rigidez no plano da lâmina
Diafragma	nula	infinita
Chapa	nula	finita
Placa	finita	infinita
Laje	finita	finita

Fonte: Stamato (1972b)

Os processos discretos simplificados admitem as lajes como diafragmas e são classificados em: a) Processos estimativos; b) Processos que desprezam as interações verticais dos painéis; c) Processos que consideram as interações verticais dos painéis; e estes serão apresentados nas seções seguintes.

2.1.2.1 Processos estimativos

Admitindo existir apenas uma única laje, é possível definir por um único escalar a rigidez do painel como sendo a força horizontal capaz de provocar deslocamento unitário ao nível da laje considerada. Como admite-se que a laje se comporta como um diafragma, existem apenas três deslocamentos de incógnitas, duas translações horizontais e uma rotação em torno de um eixo vertical. Os quinhões de carga recebidos em cada painel serão proporcionais à sua rigidez e o seu deslocamento que é combinação linear dos três deslocamentos do diafragma.

Há dois tipos de grupo de processos estimativos:

a) Supõem os andares carregados com cargas proporcionais e admite ser suficiente um único escalar para exprimir a rigidez de cada painel. Dessa maneira, a carga é dividida

proporcionalmente à rigidez de cada painel, como se existisse uma única laje e um único andar carregado;

b) Estruturas que só contém painéis do “tipo – cortante” carregadas com qualquer carga horizontal podendo se exprimir por um único escalar a rigidez de cada andar, e ainda que as distorções de um andar só dependem da força cortante nesse andar, sendo independentes das distorções nos demais andares, gerando-se assim n sistemas de 3 equações a 3 incógnitas, proporcionando-se resultados aceitáveis em anteprojetos mesmo com os painéis apresentando variações não proporcionais de rigidez ao longo da altura. O mesmo acontece para apenas painéis do “tipo-flexão”, aproximadamente proporcionais, para qualquer carregamento horizontal.

Ambos os grupos de processos estimativos sofrem com o uso de tipos diferentes de painéis, ou variações de seções não-simultâneas ou não proporcionais dos painéis do “tipo-flexão”, cometendo-se erros grosseiros, principalmente na base e no topo dos edifícios devido às fortes perturbações no problema real.

Alguns autores fornecem estimativas da rigidez do andar para diversos painéis do “tipo-cortante” (pórticos, treliças e pórticos com mãos francesas) como o Spurr (1930); Grinter (1953); Ricaldoni (1958); Cestelli Guidi e Giuffré (1963). Lin (1951); Stamato (1965) e Gomes dos Santos (1970) consideram painéis ortogonais com rigidez à torção (segundo SAINT-VENANT) e Lin (1951); Vickers (1962); Stamato (1965,1966) e Medwadowski (1969) aplicam a painéis dispostos em direções oblíquas.

2.1.2.2 Processos que desprezam as interações verticais dos painéis

As incógnitas do processo em questão são as mesmas três, já mencionadas, ou seja, duas translações horizontais e uma rotação. O que muda é que agora são considerados as interações de cada andar com os demais, resultando-se em um sistema de $3n$ equações lineares, onde n é o número de andares e o andar só interfere no andar acima ou abaixo dele.

Estes processos permitem, portanto, resolver estruturas com painéis de tipos até bem diferentes. Em quase todos, despreza-se a rigidez à torção das barras dos painéis conduzindo-se a resultados razoáveis quando existem pilares nas intersecções dos painéis e quando a altura do edifício é moderada. Se o edifício é muito alto e as deformações axiais dos pilares são importantes e as intersecções dos painéis ocorrem nas extremidades de vigas podem ser transmitidas forças verticais significativas de um painel para o outro.

Nestes casos, apresenta-se erros maiores. Quando os painéis não se interceptam, a aproximação é boa.

Vários pesquisadores desenvolveram trabalhos aprimorando esse processo como o Ricaldoni (1958); Clough, King e Wilson (1964); Clough e King (1964); Stamato (1966,1971b); Trigo (1968); Webster (1967); Ferry Borges e Ravara (1967); Winokur e Gluck (1966,1968); Gluck (1969,1970); Coull e Irwin (1968,1970); Laredo (1967,1969).

2.1.2.3 *Processos que consideram as interações verticais dos painéis*

Weaver e Nelson (1966) desenvolvem uma solução bastante geral para uma estrutura de edifício cujo andar-tipo é formado por uma malha retangular de vigas que se interceptam nos eixos verticais dos pilares, incluindo os efeitos de todos os deslocamentos dos nós e de todas as componentes de rigidez das barras (momento fletor, força axial, torção e força cortante). Se p é o número de pilares, existem p nós em cada andar e, devido a rigidez do diafragma, cada nó tem três graus de liberdade independentes (um deslocamento vertical e duas rotações em torno de eixos horizontais) aos quais se somam os três deslocamentos horizontais do diafragma, comum a todos os nós do mesmo andar. Resultando em $3p + 3$ incógnitas por andar ao total.

Stamato e Stafford-Smith (1969) só consideram em cada andar os deslocamentos verticais das intersecções dos painéis, além dos três deslocamentos horizontais do diafragma já que a rigidez transversal das lajes é quase sempre mais importante que a rigidez à torção das vigas. Reduzindo o número de incógnitas por andar para $i+3$, em que i são as intersecções entre painéis.

Diversos pesquisadores continuaram desenvolvendo os processos dessa técnica como Soriano (1971); Heidebrechet e Swift (1971); Naka, Kato e Nakao (1968); Coull e Subedi (1971); Mazzeo e Fries (1971).

2.1.3 *Processos discretos refinados*

O número de incógnitas cresce bastante quando se considera as deformações da laje como chapa, e mais ainda quando se leva em consideração as deformações de placa segundo o método dos elementos finitos. Nesses casos a demanda computacional exigida é altíssimo, principalmente em estruturas com muitos andares ou em casos de geometria complexa.

2.1.3.1 Processos que assimilam as lajes a chapas

A hipótese de as lajes serem rígidas em seus próprios planos, em geral não introduz erros muito elevados, principalmente quando o comprimento e a largura, em planta, são da mesma ordem de grandeza, e ambas pequenas em relação à altura do edifício. A aproximação também é boa, mesmo em edifício de flange bastante alongada, sendo a carga horizontal uniforme e os painéis da alma são do mesmo tipo, e têm rigidez da mesma ordem de grandeza, de modo a resultarem pequenas deformações nos planos das lajes. Nos processos dessa seção, só é considerado as deformações das lajes e paredes em seus planos, desprezando-se a rigidez transversal desses elementos bidimensionais (deformações de chapas).

Esses processos foram pesquisados por diversos autores com o objetivo de verificar a influência ao se considerar as lajes como chapas ou diafragmas, assim como das deformações causadas pelas cargas verticais excêntricas na distribuição das forças horizontais entre os diversos painéis em edifícios alongados ou não. Alguns desses trabalhos são: Goldeberg (1967); Majid e Croxton (1970); Dickson e Nilson (1970); Zienkiewicz, Parekh e Teply (1971).

2.1.3.2 Processos que assimilam as lajes a placas

Em edifícios com dimensões horizontais da mesma ordem de grandeza, a hipótese de as lajes serem rígidas em seus planos é muito útil. Se, além disso, as lajes do edifício não têm vigas (edifícios que só possuem pilares, paredes e lajes) e principalmente quando as lajes atuam como lintéis associando paredes, é mais importante considerar as deformações de placa do que as de chapa.

O tratamento das lajes como placas é sempre feito por meio de elementos finitos. Autores como Zienkiewicz, Parekh e Teply (1971); Jenkins e Harrison (1967); Harrison (1967); Choudhury (1968); Taranath (1968).

2.2 Técnica do Meio Contínuo

A Técnica do Meio Contínuo (TMC) proporciona uma análise aproximada que gera uma correlação satisfatória, levando-se em conta sua praticidade; sendo indicada para as fases iniciais de projeto. Sua primeira formulação aparece no trabalho de Chitty (1947) descrevendo o comportamento de colunas interligadas por barras transversais sujeitas a um carregamento uniformemente distribuído. Posteriormente aplicou-se a técnica para problemas de autovalores como no caso de vibração livre e análise de segunda ordem

(Meftah, Tounsi e El Abbas (2007)). Apresenta-se uma descrição detalhada em Murashev, Sigalov e Baikov (1972); e em Stamato e Mancini (1973) é mostrado uma análise tridimensional das estruturas de edifícios altos formadas pela associação de estruturas de paredes planas e o empenamento de paredes de seção aberta.

Nas últimas décadas, a técnica do meio contínuo foi utilizada em trabalhos como do Rahgozar, Ahmadi e Sharifi (2009) com um modelo matemático simples para determinação da localização de um sistema de reforço de treliça em edifícios altos, de maneira que os deslocamentos, devido às cargas laterais, gerem menores tensões e deformações nos membros estruturais do edifício. Em Carpinteri, Lacidogna e Puzzy (2010) é apresentada uma abordagem global para análise tridimensional de edifícios altos; e em Carpinteri, Lacidogna e Cammarano (2016) com um método analítico prático de análise tridimensional para avaliar a distribuição de forças laterais em edifícios altos. Zalka (2013) realizou uma análise de torção em estruturas de edifícios de vários andares. E mais recentemente Xia, Shu e Stanciulescu (2019); Kazacz e Gulkan (2012); Park, Kim e Lee (2014) desenvolveram modelos eficientes para sistemas estruturais de estrutura de paredes.

Depois de determinar as cargas externas aplicadas nos elementos estruturais horizontais, seja pelo vento ou sismo atuando em um plano vertical, aplica-se a TMC que consiste na formulação de equações diferenciais do equilíbrio estático dos vários elementos estruturais do edifício, obtendo-se os deslocamentos. Esses elementos são considerados como uma coluna vertical engastada na base com rigidez uniforme em toda a altura do edifício, e vinculadas no mesmo nível de base.

A TMC substitui o número finito de lajes por um meio contínuo, com rigidez equivalente, uniformemente distribuída ao longo da altura do edifício, que conduz a um sistema de equações diferenciais, cujos coeficientes dependem de um número reduzido de parâmetros elásticos e geométricos (Coelho, 1987).

De acordo com Murashev, Sigalov e Baikov (1972), a TMC não representa bem o comportamento estrutural da estrutura próximo à base. E isso é devido aos momentos nulos nos pilares do primeiro pavimento se aproximarem do nó do pavimento superior e não no meio do pilar como simplifica a técnica, e podem levar a um erro considerável.

Outro ponto importante que cabe destacar é a consideração ou não da deformação axial dos pilares na TMC. Mancini e Battistelle (1989,1990,1991,1995); Battistelle

(1991) estudaram a influência da não consideração dos deslocamentos axiais. Assim como Stamato e Stafford-Smith (1969); Murashev, Sigalov e Baikov (1972). Em Laier (2021) é apresentado o processo de cálculo pela TMC em edifícios altos ao considerar a deformação axial, introduzindo-se um sistema de equações diferenciais com um grande número de parâmetros o que tornava a técnica pouco prática. Para contornar essa situação são feitas hipóteses quanto as rigidezes ao cisalhamento e flexão a fim de simplificar o processo da resolução das equações diferenciais provocada pelo acréscimo do grau de liberdade de rotação dos pilares.

As simplificações dessa técnica ajudam aos engenheiros estruturais a compreender o complexo comportamento tridimensional da estrutura e permite a manipulação das rigidezes e localização dos painéis de modo a garantir uma otimização do arranjo estrutural. Além de fornecer um subsídio para os resultados da análise de elementos finitos já que este possui uma quantidade enorme de dados de entrada, obtendo-se uma maior probabilidade de erros na inserção desses dados.

3 PAÍNEIS DE CONTRAVENTAMENTO

O comportamento das estruturas de edifícios altos é agora formulado por meio da Técnica do Meio Contínuo (TMC), que consiste no desenvolvimento das equações diferenciais do equilíbrio estático isolado dos vários painéis do edifício segundo as incógnitas deslocamento.

Os painéis de contraventamento são elementos estruturais que conferem rigidez aos esforços horizontais necessários, além de suportar também os esforços relativos às ações verticais. Neste trabalho, são abordados três tipos básicos de painéis: Parede, Pórtico e Núcleos de Seções Abertas de Parede Delgada.

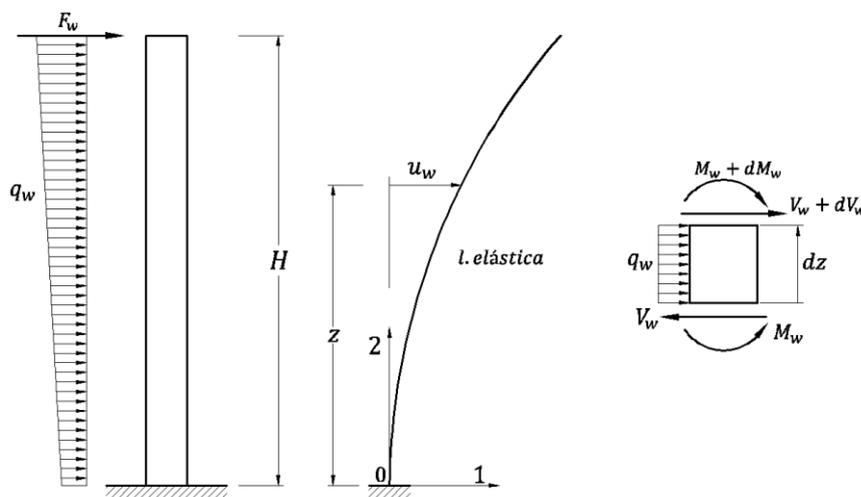
A formulação do comportamento de cada painel, seguindo a TMC, está presente em Stamato (1972a). Portanto, serão utilizados como referência nas seções seguintes deste capítulo.

3.1 Parede

Segundo Stamato (1972a), parede são painéis planos sem rigidez transversal, extremamente rígidos à força cortante e deformáveis apenas ao momento fletor.

O carregamento externo considerado consiste num carregamento distribuído, segundo a vertical, em forma trapezoidal e uma força concentrada no topo, conforme mostrado na Figura 3 juntamente com os sentidos positivos indicados dos esforços internos. O subíndice w indica se tratar de parede.

Figura 3 – Carregamento externo no pilar parede, elástica e elemento isolado com convenção de sinais.



Fonte: Stamato (1972a)

As equações relativas de equilíbrio do elemento diferencial dz são:

$$\frac{dV_w}{dz} = -q_w \quad (3.1)$$

$$\frac{dM_w}{dz} = -V_w \quad (3.2)$$

onde V_w , M_w e q_w são, respectivamente a força cortante, momento fletor e carregamento horizontal linearmente distribuído. Da teoria de flexão sabe-se que (relação momento-curvatura):

$$M_w = E_w I_w u_w'' = j_w u_w'' \quad (3.3)$$

na qual j_w é o produto de rigidez à flexão do pilar parede, e u_w'' a curvatura do eixo. Assim, a elástica e derivada terceira da deformada são obtidas nas equações (3.4) e (3.5), ou seja:

$$u_w'' = \frac{M_w}{j_w} \quad (3.4)$$

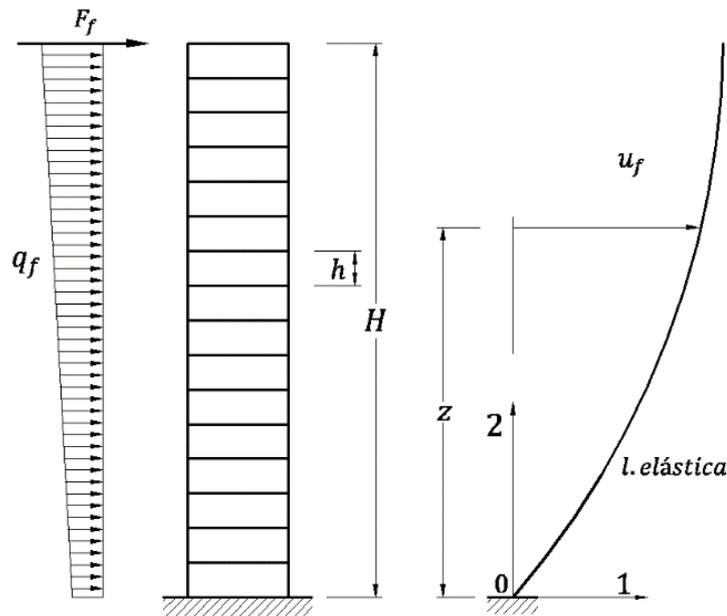
$$u_w''' = -\frac{V_w}{j_w} \quad (3.5)$$

3.2 Pórtico

Stamato (1972a) define pórtico como painéis planos sem rigidez transversal, extremamente rígidos ao momento fletor e deformáveis apenas à força cortante. Admite-se rigidez constante ao longo da altura z do pórtico.

Na Figura 4 estão representadas os carregamentos externos e a elástica do pórtico, assumindo que as direções positivas dos esforços são idênticas as apresentadas no caso do painel parede.

Figura 4 – Carregamento externo no pórtico e elástica.



Fonte: Espezua (2009)

Da mesma maneira que os pilares paredes, as equações de equilíbrio do elemento diferencial dz do pórtico são semelhantes às equações (3.6) e (3.7) já que independem do comportamento elástico da estrutura, ou seja:

$$\frac{dV_f}{dz} = -q_f \quad (3.6)$$

$$\frac{dM_f}{dz} = -V_f \quad (3.7)$$

onde os subíndices f indica se tratar do pórtico. A equação diferencial da linha elástica é expressa como:

$$u_f'' = \frac{cV_f}{GS} = \frac{V_f}{s_f} \quad (3.8)$$

onde c é uma constante que depende da forma da seção S , G é o módulo de elasticidade transversal e s_f é a rigidez constante do pórtico à força cortante.

A Figura 5 mostra a deformação do pórtico que pode ser entendida como a de um pórtico de pé-direito constante com pilares, de seção transversal igual, ligados por uma viga infinitamente rígida.

$$s_f = \frac{12E}{h} \sum_{n.a.} \left[k_{p.n.} \frac{\sum_{v.n.} k}{\sum_{b.n.} k} \right] \quad (3.11)$$

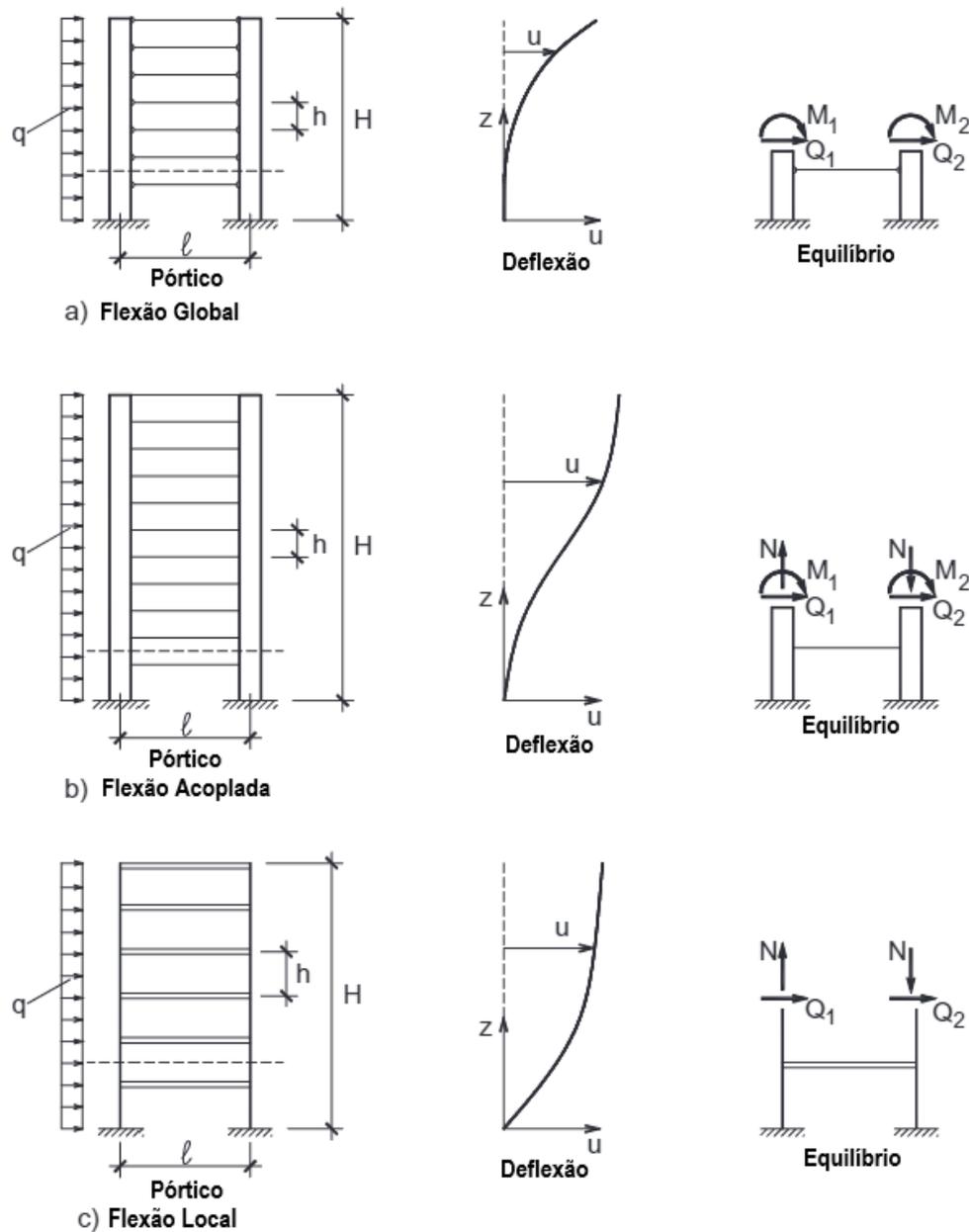
onde:

- h = Pé-direito do andar.
- k = Relação I/l do tramo de viga ou pilar considerado
- n.a. = Somatória estendida a todos os nós do andar considerado.
- $k_{p.n.}$ = Relação I/l para o tramo de pilar logo abaixo do nó considerado.
- v.n. = Somatória que se estende aos tramos (1 ou 2) de vigas que concorrem no nó considerado.
- b.n. = Somatória que se estende aos trechos (2, 3 ou 4) de todas as barras que concorrem ao nó considerado.

Na base e no topo a suposta rigidez constante s_f sofrerá uma variação mais sensível já que a base está próxima do engastamento rígido e no topo pela falta de pilares acima dos nós do último andar. Mesmo assim, segundo Stamato (1972a) esse fator não afeta o desempenho total do painel.

O comportamento estrutural do pórtico pode ser caracterizado basicamente em termos de flexão do pilar, conforme ilustrado na Figura 6. Os pórticos com rigidez desprezível da viga que se comportam como uma viga em balanço vertical, bem como a flexão global da coluna, estão representados na Figura 6 a). As deformações de flexão caracterizam a deformação do pórtico neste caso. O pórtico ideal, o qual foi descrito anteriormente nesta seção considera a rigidez da viga como infinita, mostrado na Figura 6 c), e seus pilares apresentam apenas flexão local, já que não há interações de momentos fletores entre os pavimentos. Na Figura 6 b), mostra-se o pórtico usual que contém a flexão local e global.

Figura 6 – Flexão Local e Global das colunas dos pórticos



Fonte: Laier (2008)

Segundo Laier (2008), com o objetivo de levar em conta a flexão global dos pilares do pórtico, sugeriu modificar a (3.8), obtendo a seguinte equação:

$$V_f = s_f u_f' - j_w u_f''' \quad (3.12)$$

Em que o último termo da (3.12) resolve eficientemente o erro dos momentos nulos nas colunas do primeiro pavimento que se aproximam da articulação superior e pode levar

e o momento aplicado de uma viga biapoiada de comprimento $l/2$ da resistência dos materiais, ou seja:

$$\begin{aligned} M_{AB} &= 6k_c (\beta - \alpha) \\ M_{AD} &= 6k_c (\beta - \alpha) \\ M_{AC} &= 6k_v (\alpha - \theta) \end{aligned} \quad (3.14)$$

onde $k_c = EI_c / h$ representa a rigidez do pilar, $k_v = EI_v / l$ a rigidez da viga, l a distância entre colunas, $\beta = \delta_h / h$ é a rotação do pilar e $\theta = \delta_v / l$ é a rotação da viga.

O equilíbrio dos momentos atuando sobre o nó como ilustrado na Figura 7 b) resulta em:

$$\alpha = \frac{2k_c}{2k_c + k_v} u_f' + \frac{k_v}{2k_c + k_v} \theta \quad (3.15)$$

onde β é substituído pela primeira derivada do deslocamento u como previsto pelo método da conexão contínua de Chitty (1947).

Levando em conta o momento M_{AC} da (3.14), a força de cisalhamento γh que atua sobre a viga é dada por:

$$\gamma h = \frac{2M_{AC}}{l} = \frac{12k_v}{l} \frac{2k_c}{2k_c + k_v} (u_f' - \theta) \quad (3.16)$$

Considerando a relação de compatibilidade entre a rotação θ e a deformação axial da coluna devido a força normal N , deriva-se a seguinte relação:

$$\theta = \frac{2}{l} \int_0^z \frac{N}{ES} dz \quad (3.17)$$

onde z é a coordenada vertical.

Agora, pegando-se a derivada de ambos os lados da (3.17) e o equilíbrio de momentos (Figura 6 b)):

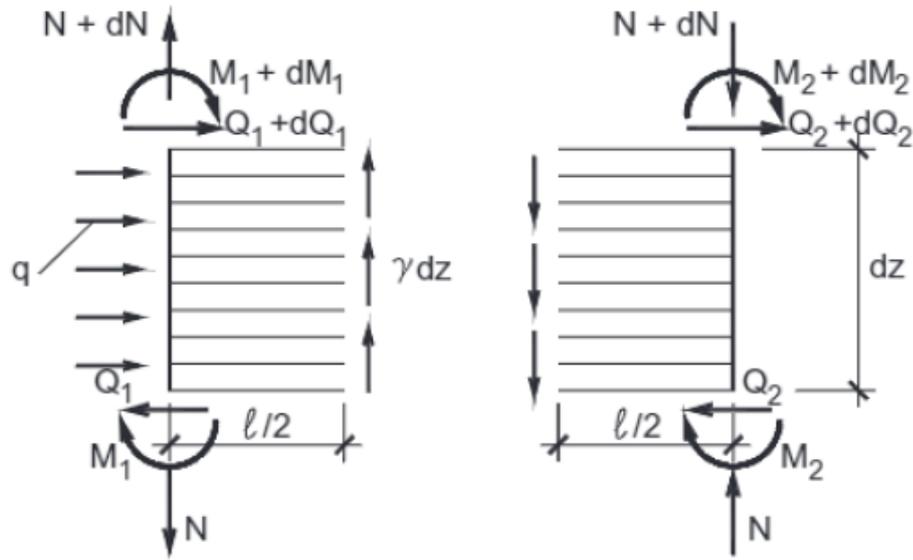
$$M = M_1 + M_2 + Nl \quad (3.18)$$

onde M é momento de flexão agindo sobre a estrutura como um todo, M_1 e M_2 são os momentos de flexão atuando sobre as colunas 1 e 2, respectivamente, tem-se:

$$\theta' = \frac{2N}{lES} = \frac{2[M - (M_1 + M_2)]}{l^2 ES} \quad (3.19)$$

Na Figura 8 apresenta-se a configuração de equilíbrio das colunas dos pórticos com seus esforços internos representados, em que q é a carga horizontal distribuída atuando na estrutura.

Figura 8 – Configuração de equilíbrio.



Fonte: Laier (2008)

O equilíbrio de forças agindo na direção ascendente, indicado na Figura 8, resulta em:

$$N' + \gamma = 0 \quad (3.20)$$

Agora, levando-se em conta a (3.16) e (3.18), a relação entre a derivada do momento de flexão e a força cortante Q (esforço cortante agindo sobre a estrutura como um todo), tem-se:

$$M' = (M_1 + M_2 + Nl)' = -(Q_1 + Q_2) = -Q \quad (3.21)$$

e ainda:

$$(M_1 + M_2)' + Q - \gamma l = 0 \quad (3.22)$$

Por sua vez, a derivada do equilíbrio da força de cisalhamento resulta em:

$$Q' = (Q_1 + Q_2)' = -q \quad (3.23)$$

Equações (3.16), (3.18) e (3.19), a derivada da (3.22), fornecem:

$$(M_1 + M_2)'' - q - s_f u'' + \frac{s_f}{K_0} M - \frac{s_f}{K_0} (M_1 + M_2) = 0 \quad (3.24)$$

onde:

$$\begin{aligned} K_0 &= EI_0 \\ I_0 &= \frac{S}{2} l^2 \\ s_f &= \frac{12k_c}{h} \frac{2k_v}{2k_c + k_v} \end{aligned} \quad (3.25)$$

sendo que K_0 representa a rigidez a flexão do pórtico, S a área das colunas e s_f a rigidez de cisalhamento do pórtico.

Agora, considerando a (3.15), o momento de flexão global das colunas pode ser expresso por:

$$M_1 + M_2 = k_1 \alpha' = K_1 (R_1 u'' + (1 - R_1) \theta') \quad (3.26)$$

onde:

$$\begin{aligned} K_1 &= EI_1 + EI_2 \\ R_1 &= \frac{2k_c}{2k_c + k_v} \end{aligned} \quad (3.27)$$

sendo que EI_1 e EI_2 são a rigidez de flexão das colunas 1 e 2, respectivamente. A parcela $(1 - R_1) \theta'$ representa a relação consistente entre o momento fletor global do pilar e a derivada das rotações dos nós, a novidade na formulação, ao se considerar o deslocamento axial dos pilares na flexão global. Essa relação global da curvatura do momento de flexão da coluna é desprezada nas formulações clássicas da técnica do meio contínuo.

A modelagem presente pode ser expressa em termos do deslocamento horizontal, mesmo com o grau adicional de liberdade θ , considerando as equações (3.19) e (3.26), ou seja, a equação de equilíbrio (3.24) transforma-se em:

$$\begin{aligned} K_1 R_1 u^{IV} - s_f \frac{K_0 + K_1}{K_0} u'' + \frac{s_f}{K_0} M - q &= 0 \\ j_w u^{IV} - s_f \mu_f^2 u'' + \frac{s_f}{K_0} M - q &= 0 \end{aligned} \quad (3.28)$$

As condições geométricas e mecânicas de contorno são:

$$\begin{aligned}
 u(z=0) &= 0 \\
 u'(z=0) &= 0 \\
 \theta(z=0) &= 0 \\
 N(z=H) &= 0 \\
 M(z=H) &= 0
 \end{aligned} \tag{3.29}$$

A primeira condição de contorno natural é deduzida por meio da (3.22) e a derivada da (3.26) resulta em:

$$u'''(z=0) = -\frac{qH}{j_w} \tag{3.30}$$

Como o momento e o esforço normal são nulos no topo ($z=H$), a condição de contorno natural é dada por (ver (3.18), (3.19) e (3.26)):

$$u''(z=H) = 0 \tag{3.31}$$

A partir das condições de contorno para uma carga uniformemente distribuída, pode-se resolver a equação diferencial (3.28), sendo a solução dada por:

$$\begin{aligned}
 u = & \frac{A_1}{r^2} e^{rH\eta} + \frac{A_2}{r^2} e^{-rH\eta} + \frac{qH^2}{r^2 j_w} \left[-\frac{\eta^2}{2} + \frac{\lambda_0}{r^2 H^2} \left(\frac{r^2 H^2}{2} + 1 \right) \frac{\eta^2}{2} - \frac{\lambda_0 \eta^3}{6} + \frac{\lambda_0 \eta^4}{24} \right] + \\
 & \left[-\frac{A_1 H}{r} + \frac{A_2 H}{r} \right] \eta - \frac{A_1}{r^2} - \frac{A_2}{r^2}
 \end{aligned} \tag{3.32}$$

Onde

$$\begin{aligned}
 A_1 &= \frac{q}{2r^2 j_w \cosh(rH)} \left[1 - \frac{\lambda_0}{r^2 H^2} + \left(-rH + \frac{\lambda_0}{rH} \right) e^{-rH} \right] \\
 A_2 &= \frac{q}{2r^2 j_w \cosh(rH)} \left[1 - \frac{\lambda_0}{r^2 H^2} + \left(rH - \frac{\lambda_0}{rH} \right) e^{rH} \right] \\
 r &= \sqrt{\frac{s_f \mu_f^2}{j_w}} \\
 \lambda_0 &= \frac{s_f H^2}{K_0} \\
 \eta &= \frac{z}{H}
 \end{aligned} \tag{3.33}$$

3.3 Núcleos de seções abertas de paredes delgadas

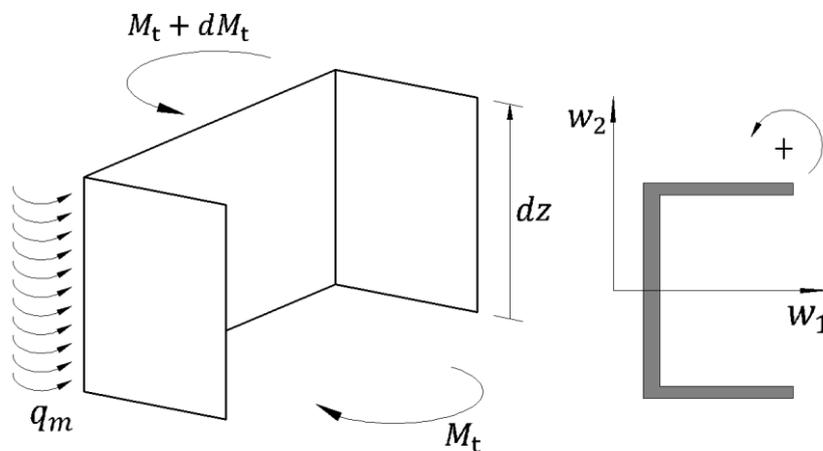
Os elementos estruturais de eixo vertical capazes de resistir somente a torção são chamados de núcleos de seções abertas de parede delgada e seguem a teoria de SAINT

VENANT que tem como consequência direta a ausência de normal, cortante e momento fletor ao longo do seu eixo longitudinal, e deve possuir as seguintes condições:

- As barras devem ser prismáticas já que sua seção necessita ser constantes e retas ao longo do seu eixo longitudinal;
- O momento de torção M_t deve ser constante, por trecho, ao longo do eixo longitudinal da barra;
- A barra não deve possuir vínculos que impeçam possíveis deslocamentos longitudinais denominados empenamentos, que devem ser livres de quaisquer restrições.

Assume-se que todos os núcleos de seções abertas de parede delgada possuem rigidez constante ao longo da altura e as direções positivas do momento de torção concentrado no topo (M_t), da carga de torção distribuída (q_m) e das rotações u_m das seções horizontais do núcleo m seguem a regra da mão direita conforme mostrado na Figura 9.

Figura 9 – Núcleo de seção aberta de parede delgada isolada e em planta.



Fonte: Espezua (2009)

A equação geral da rotação da seção transversal por unidade de comprimento é dada pela seguinte equação:

$$u_m' = \frac{du_m}{dz} = \frac{M_t}{GI_t} \quad (3.34)$$

onde u_m é o giro relativo entre duas seções, M_t o momento torçor, G o módulo de elasticidade transversal do material e I_t o momento de inércia à torção.

Sabendo que a derivada do momento torçor resulta na carga de torção distribuída, pode-se obter a rotação em função apenas da carga distribuída q_m como:

$$u_m'' = \frac{-q_m}{GI_t} \quad (3.35)$$

O núcleo de seção aberta de parede delgada pode aparecer ao existir parede de seção poligonal, geralmente U, L ou caixão como mostrado em planta na Figura 9. Essa parede múltipla será equivalente a duas paredes planas independentes, segundo os eixos principais Cw_1 e Cw_2 de rigidez EI_1 e EI_2 , respectivamente e mais a rotação de rigidez GI_t .

A simplificação do comportamento das paredes múltiplas pela teoria de SAINT VENANT acaba sendo falha, já que na base real é engastada, logo os empenamentos são impedidos ao contrário do que se considera que os empenamentos são livres. Portanto, é necessário realizar um estudo de flexo-torção ou flexão não uniforme para abordar, de maneira mais eficiente, estruturas complexas constituídas por diversos pórticos e paredes planas e múltiplas.

3.3.1 Flexo-torção

A flexo-torção ou flexão não uniforme ocorre para elementos estruturais em que simultaneamente há esforços de flexão e de torção submetidas a determinadas condições de carregamento e de vinculação. Neste trabalho, é considerado a Teoria de Vlasov apresentada em Mori e Neto (2009) e que é aplicada para barras com seção aberta e paredes delgadas.

A parede delgada utilizada como elemento estrutural propicia uma redução do peso próprio das estruturas que permite o uso de barras com paredes reduzidas, barras com seção delgada, e são frequentemente aplicadas em estruturas metálicas, no cálculo de elementos pré-fabricados de argamassa armada e no cálculo de núcleos de edifícios elevados.

As barras delgadas de seção aberta são mais suscetíveis ao fenômeno de instabilidade e, portanto, exigindo-se mais atenção ao fenômeno de flexo torção em relação as barras de seção delgada fechada. Para ser considerada delgada, a relação entre dimensões, espessura e dimensão de interesse ou dimensão de interesse e comprimento da barra, deve ser da ordem de grandeza igual ou menor que 0,1 (um décimo).

As hipóteses básicas simplificadoras para análises de elementos submetidos à flexo torção são:

- Após a deformação da barra, a seção transversal se projeta indeformada no seu plano (xy), comportando-se como rígida nesse plano;
- A linha do esqueleto que é uma superfície média perpendicular à seção transversal não sofre distorção.

A partir dessas hipóteses, admite-se uma nova hipótese de análise de barras submetidas à flexo torção dada pela seguinte equação:

$$u = \omega u_m' \quad (3.36)$$

onde u é o deslocamento longitudinal denominado empenamento e ω é a área setorial principal da seção transversal.

A derivada do ângulo de rotação (u_m) não é mais constante como na (3.34), que considera torção livre de SAINT VENANT, sendo agora função da coordenada z e, portanto, o empenamento irá variar de seção ao longo do eixo vertical Oz.

Devido a essa variação do empenamento, a deformação específica na mesma direção é diferente de zero e com base na (3.36), obtém-se:

$$\varepsilon_z = \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} (\omega u_m') = \omega u_m'' \quad (3.37)$$

Pela lei de Hooke sabe-se que a relação entre tensões e deformações no estado plano de tensões é dada por:

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} (\sigma_z - \nu \sigma_s) \quad (3.38)$$

onde σ_z e σ_s representam as tensões normais na direção do eixo z e da linha de esqueleto, respectivamente, enquanto ν é o coeficiente de Poisson e E o módulo de elasticidade longitudinal.

Sabendo-se que a linha do esqueleto não sofre distorção, $\varepsilon_s = 0$, encontra-se a seguinte relação entre as tensões:

$$\varepsilon_s = \frac{\sigma_s - \nu \sigma_z}{E} = 0 \rightarrow \sigma_s = \nu \sigma_z \quad (3.39)$$

Substituindo a equação (3.39) na (3.38), tem-se:

$$\varepsilon_z = \frac{(1-\nu^2)\sigma_z}{E} \quad (3.40)$$

Reorganizando a (3.40), e desprezando-se o valor de ν^2 em comparação com a unidade, e considerando (3.37), resulta em:

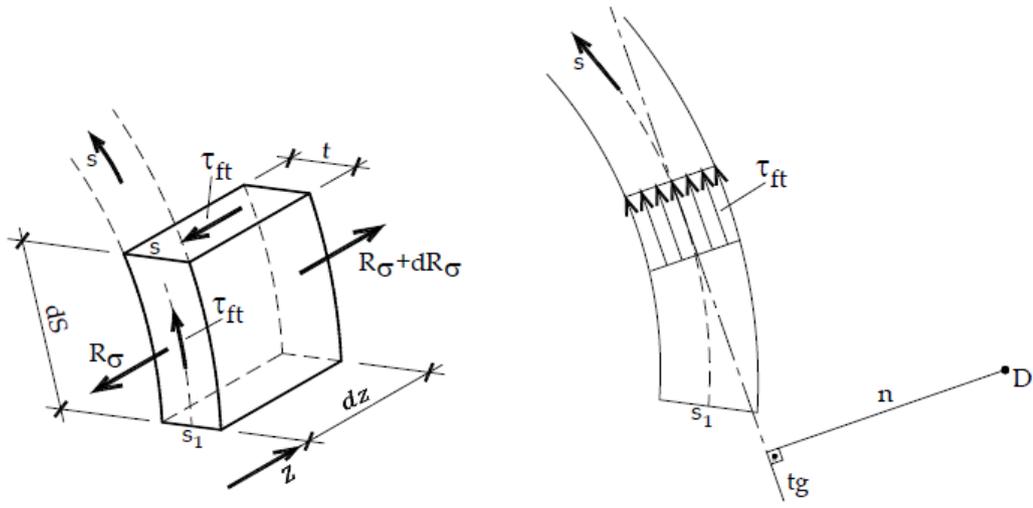
$$\sigma_z = E\varepsilon_z = E\omega u_m'' \quad (3.41)$$

Como visto na torção livre, a derivada do ângulo de rotação é constante, e logo a tensão σ_z será nula, em conformidade com as suas considerações, podendo ser observada pela (3.41). Porém, no caso de flexão simples, os esforços de normal e momentos serão nulos devido as resultantes de σ_z , e dessa forma um novo esforço solicitante foi denominado por Vlasov de bimomento, que contempla os efeitos provocados pela tensão normal na flexo torção.

O bimomento é um esforço auto equilibrado, que desempenha na flexo-torção o mesmo papel que o momento fletor desempenha na flexão simples, e dessa maneira consegue-se determiná-lo mediante tal analogia.

Como visto, as tensões σ_z variam ao longo do eixo Z de uma seção para outra, e, para fins de equilíbrio, surgem as tensões de cisalhamento τ_{ft} consideradas distribuídas uniformemente ao longo da espessura t da parede da seção transversal, conforme mostra Figura 10.

Figura 10 – Tensões de cisalhamento uniformes na seção delgada.



Fonte: Mori e Neto (2009)

A força resultante das tensões σ_z (R_σ) que atuam na no elemento de área ($dA = tds$) da seção transversal é obtida por meio da integração na área, assim:

$$R_\sigma = \int_A \sigma_z dA = \int_{s_1}^s \sigma_z t ds \quad (3.42)$$

Substituindo a (3.41) na (3.42), tem-se:

$$R_\sigma = Eu_m^{II} \int_A \omega dA \rightarrow \frac{dR_\sigma}{dz} = Eu_m^{III} \int_A \omega dA = Eu_m^{III} \int_{s_1}^s \omega t ds \quad (3.43)$$

Analisando-se o equilíbrio na direção longitudinal como indicado na Figura 10, obtém-se:

$$\tau_{ft}(tdz) = dR_\sigma \rightarrow \tau_{ft} = \frac{1}{t} \frac{dR_\sigma}{dz} = \frac{Eu_m^{III}}{t} \int_A \omega dA = \frac{Eu_m^{III}}{t} \int_{s_1}^s \omega ds \quad (3.44)$$

em que $S_w = \int_A \omega dA = \int_{s_1}^s \omega t ds$ é definido como o momento estático setorial e pode-se reorganizar a (3.44) da seguinte forma:

$$\tau_{ft} = \frac{Eu_m^{III}}{t} S_\omega \quad (3.45)$$

A existência da tensão de cisalhamento τ_{ft} na linha de esqueleto implicaria na invalidação da (3.36), porém as tensões de cisalhamento da torção livre (τ_l) em seções delgadas são muito maiores em relação as tensões da flexo torção (τ_{ft}), e dessa maneira

continua sendo válida a relação do empenamento com a área setorial principal e a derivada do ângulo de rotação.

Entretanto, apesar de $\tau_l \gg \tau_{ft}$, os esforços solicitados pela flexo torção são maiores que os de torção livre, já que são multiplicados por distâncias n , maiores que as que multiplicam na torção livre, conforme mostrado na Figura 10, que representam o menor comprimento do centro de torção (D) até a tangente do plano de ação das tensões.

Dessa maneira, o momento de torção a flexo-torção (M_{ft}) é resultado da contribuição de τ_{ft} , transformado em forças elementares e multiplicados por n , ao longo de toda a linha de esqueleto, sendo:

$$M_{ft} = \int_A \tau_{ft} dA \cdot n = \int_s \tau_{ft} n t ds \quad (3.46)$$

Substituindo a (3.44) na (3.46), tem-se:

$$M_{ft} = E u_m''' \int_{s_1}^{s_2} \left[\int_{s_1}^s \omega ds \right] n t ds \quad (3.47)$$

e integrando por partes, obtém-se:

$$M_{ft} = -E u_m''' \int_{s_1}^{s_2} (\omega \cdot \omega) t ds = -E u_m''' \int_A \omega^2 dA \quad (3.48)$$

sendo que $I_\omega = \int_A \omega^2 dA$ é o momento de inércia setorial. Portanto, o momento de torção a flexo-torção (M_{ft}) é escrito como:

$$M_{ft} = -E I_\omega u_m''' \quad (3.49)$$

4 ASSOCIAÇÃO PLANA E TRIDIMENSIONAL

A associação dos painéis de contraventamento é feita em busca de agregar características complementares de comportamento dos painéis isolados e formar um conjunto estrutural mais eficiente. Além disso, a análise global do edifício pode ser do tipo plana ou tridimensional, a depender do arranjo estrutural dos painéis ser simétrico ou não.

A seguir serão apresentados os tipos de associações planas dos painéis em série sem e com consideração da deformação axial das colunas, e as associações tridimensionais com sua equação de equilíbrio e técnicas de desacoplamento das equações resultantes.

4.1 Associação plana

A associação plana de painéis de contraventamento é uma estratégia comumente utilizada na concepção de edifícios altos para melhorar a sua estabilidade estrutural. Essa técnica envolve a disposição de painéis de contraventamento em um mesmo plano. Geralmente utilizada em estrutura de edifícios como geometria simétrica e regular em planta, como num arranjo retangular, sendo modular na construção.

O painel plano, resistente às ações laterais, é obtido pelas combinações de painéis que podem ser em paralelo ou em série. As combinações em paralelo são feitas entre painéis cujo plano médio é paralelo à ação lateral e as em série ligadas por barras biarticuladas que garantem o comportamento conjunto dos painéis.

4.1.1 Parede e pórtico em série

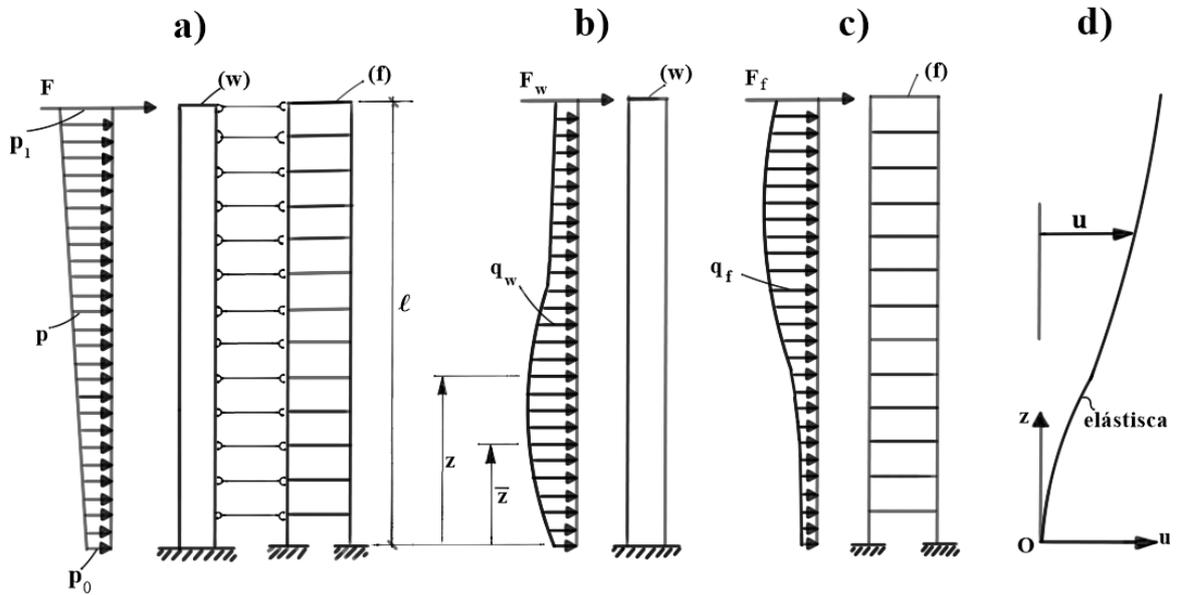
Este modelo serve apenas para estruturas simétricas e consiste em modelar uma série de painéis de contraventamento na direção considerada, e ligá-las por barras articuladas de grande inércia nas extremidades, que simulam o diafragma rígido, garantindo o comportamento acoplado do conjunto dos painéis.

Conforme mostrado na

Figura 11, o carregamento é constituído pela carga distribuída linear p , variando de p_0 a p_1 , e uma força F concentrada no topo. Além disso, os pórticos e as paredes recebem a parcela de carga q_w , q_f , F_w e F_f de modo a apresentarem deslocamentos horizontais idênticos. Por isso, a importância das altas rigidezes das barras articuladas para garantir

que não se deformem axialmente, transferindo-se as ações laterais para os pórticos e paredes a fim de resistir a esses esforços.

Figura 11 – Associação plana de parede e pórtico em série.



Fonte: Stamato (1972a)

As equações de equilíbrio são então expressas por:

$$F = F_w + F_f \quad (4.1)$$

$$p = q_w + q_f \quad (4.2)$$

Tendo-se em conta que as elásticas são iguais, manipulando as equações da elástica da parede e do pórtico em função da carga distribuída juntamente com a (4.2), tem-se:

$$q_w = j_w u_w^{IV} = j_w u^{IV} \quad (4.3)$$

$$p = q_w + q_f \quad (4.4)$$

$$u^{IV} - k^2 u'' = \frac{p}{j_w} \quad (4.5)$$

onde:

$$k^2 = \frac{S_f}{j_w} \quad (4.6)$$

$$p = p_o + (p_1 - p_o) \frac{z}{l} \quad (4.7)$$

A solução geral da (4.5) é expressa por:

$$u = \frac{1}{k^4 j_w} [C_1 + C_2 kz + C_3 e^{kz} + C_4 e^{-kz} - p_o \frac{k^2 z^2}{2} - (p_1 - p_o) \frac{k^2 z^3}{6l}] \quad (4.8)$$

Onde os coeficientes C_i são determinados por meio das condições de contorno (4.9), que, juntamente com as equações de equilíbrio (4.1), assim se expressam:

Base Engastada

$$u(0) = 0$$

$$u'(0) = 0$$

Topo livre

$$u''(l) = 0, \text{ pois } M_w = 0$$

$$u'(l) = \frac{F_f}{s_f}, \text{ pois } Q_f = F_f$$

$$u'''(l) = \frac{-F_w}{j_w}, \text{ pois } Q_w = F_w$$

(4.9)

Em Stamato (1972a), apresenta-se o desenvolvimento da equação da elástica para os casos particulares de apenas carga uniformemente distribuída, e também carga concentrada no topo, exibindo-se um exemplo numérico da associação de pórtico e parede em série admitindo-se apenas carga uniformemente distribuída.

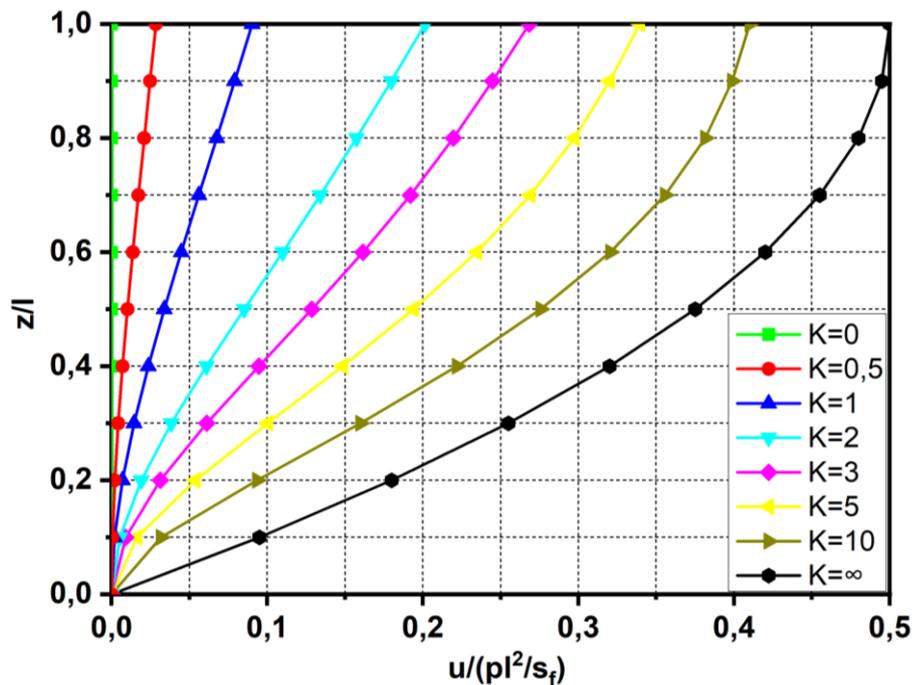
Neste exemplo, pôde-se concluir que a associação em série resultou em deslocamentos menores do que nos casos em que estivessem isolados, possuindo-se uma elevada força concentrada de interação no topo entre os painéis conferindo-se o caráter complementar, já que as regiões de rigidez ou deformabilidade se alternam, ou seja, enquanto a parede é mais rígida na base, o pórtico é mais deformável e o contrário ocorre no topo.

Também foi apresentado gráfico adimensionalizado das linhas elásticas das associações em série da parede com o pórtico sob o efeito da carga distribuída uniformemente (p) em função do parâmetro K que indica a relação entre a rigidez do pórtico e a da parede, conforme expresso por:

$$K = k \cdot l = \sqrt{\frac{s_f}{j_w}} \cdot l \quad (4.10)$$

A Figura 12 mostra as variadas configurações das associações em série das paredes e pórticos em função dos valores de K , submetidas a um carregamento uniforme. No caso de valores pequenos de K , configuração típica de parede, conforme mostrado na Figura 3. Valores elevados de K são os casos de parede pouco rígidas e com K tendendo-se ao infinito, ausência de rigidez da parede, o conjunto comporta-se apenas como pórtico de acordo com a elástica representada na Figura 4. Em valores intermediários de K , percebe-se a presença de concavidade voltada para sotavento na base, característica das paredes, e para barlavento no topo, características dos pórticos, sendo o conjunto uma associação em série equilibrada.

Figura 12 – Deslocamentos Horizontais u da associação plana em série de parede e pórticos



Fonte: Elaborada pelo autor.

4.1.2 Pórticos em série considerando a deformação axial

A associação plana de pórticos em série, considerando a deformação axial, consiste num sistema de equações diferenciais de acordo com a (3.28) e mais duas equações adicionais:

$$\begin{aligned}
j_{w1}u^{IV} - s_{f1}\mu_{f1}^2u'' + \frac{s_{f1}}{K_{01}}M_1 - q_1 &= 0 \\
j_{w2}u^{IV} - s_{f2}\mu_{f2}^2u'' + \frac{s_{f2}}{K_{02}}M_2 - q_2 &= 0 \\
M_1 + M_2 &= M \\
q_1 + q_2 &= q
\end{aligned} \tag{4.11}$$

Caso tenha uma parede associada a esses dois pórticos, pode-se incluir a rigidez à flexão da parede no j_{w2} .

Se a condição da (4.12) for satisfeita, o processo de resolução torna-se o mesmo que o de um pórtico isolado levando em conta a deformação axial. Entretanto, se não for satisfeita, deve ser resolvida uma equação diferencial de sexta ordem, que foi resultante da redução do sistema de equações, por meio de processos matemáticos em Murashev, Sigalov e Baikov (1971).

$$\frac{s_{f1}}{K_{01}} = \frac{s_{f2}}{K_{02}} \tag{4.12}$$

A equação diferencial de sexta ordem é:

$$b_1u^{VI} - b_2u^{IV} + b_3u'' - b_4M + b_5q - q'' = 0 \tag{4.13}$$

onde:

$$\begin{aligned}
b_1 = j_{w1} + j_{w2} \quad b_2 = \psi_1s_{f1} + \psi_2s_{f2} \quad b_4 = \frac{s_{f1}s_{f2}}{K_{01}K_{02}} \quad b_3 = b_4(K_{01} + K_{02}) \\
b_5 = \frac{s_{f1}}{K_{01}} + \frac{s_{f2}}{K_{02}} \quad \psi_1 = 1 + \frac{b_1}{K_{01}} \quad \psi_2 = 1 + \frac{b_1}{K_{02}}
\end{aligned} \tag{4.14}$$

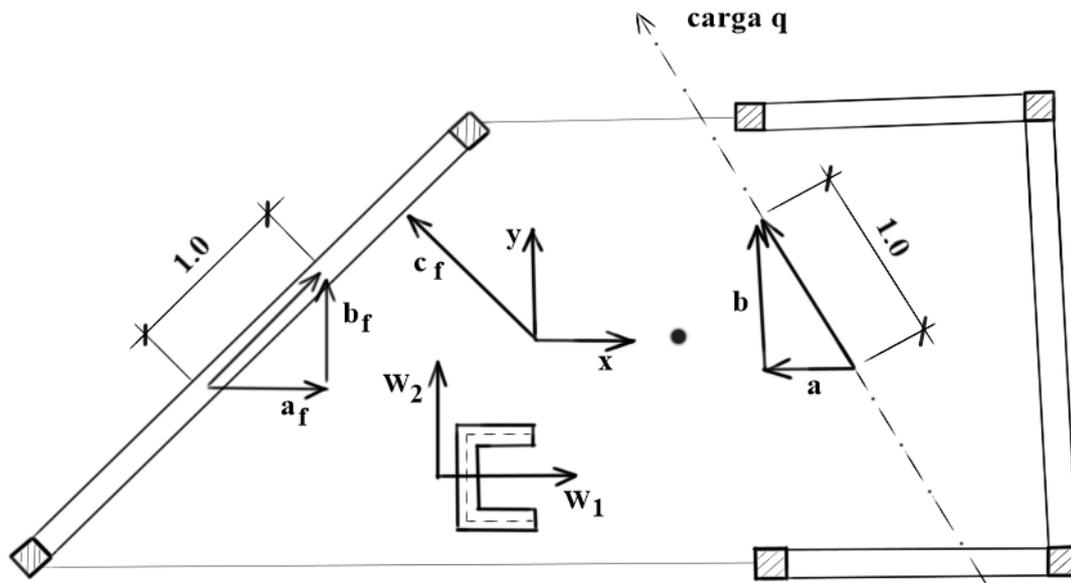
4.2 Associação tridimensional

A associação tridimensional é caracterizada quando a estrutura apresenta uma geometria mais complexa ou quando são necessárias maiores capacidades de resistência a cargas horizontais como exibe-se na Figura 13. Nessa abordagem, os painéis de contraventamento são dispostos em diferentes planos e direções, criando-se um sistema tridimensional acoplado. Isso permite uma distribuição mais uniforme das cargas horizontais em todos os elementos da estrutura, aumentando-se a resistência global contra esforços laterais. A associação tridimensional é especialmente benéfica para edifícios com formas irregulares, torres ou com elementos arquitetônicos distintos.

Os carregamentos externos são horizontais, atuam em um plano vertical constituído por uma carga uniformemente distribuída, q , ao longo da altura H do edifício, mais uma força concentrada F aplicada no topo. O sentido positivo da carga é definido por um vetor unitário horizontal daquele plano vertical, cujas coordenadas a , b , e c são seus componentes ao longo dos eixos horizontais Ox , Oy , e seu momento ao redor do eixo vertical, Oz , respectivamente, obedecendo o sinal pela regra da mão direita.

Da mesma maneira são definidas as posições das paredes e pórticos planos pelas componentes a , b e c representadas com os subscritos w e f para representar, respectivamente, as paredes e pórticos planos conforme a Figura 13.

Figura 13 – Plano Estrutural



Fonte: Laier (2021)

O núcleo de seção aberta de parede delgada pode ser substituída por duas paredes planas equivalentes e independentes, passando pelo centro de torção O , e orientadas de acordo com os eixos principais Ow_1 e Ow_2 , com rigidez EJ_1 e EJ_2 (J_1 e J_2 são momentos de inércia em relação aos eixos Ow_1 e Ow_2) como mostrado na Figura 13. Além de adicionar a estas duas paredes planas a rigidez à torção de Saint Venant, GJ_t , tem-se a rigidez a flexo-torção de Vlasov, EJ_ω , demonstrado na seção 3.3.1.

4.2.1 Equação de equilíbrio

No sistema global de referência Oxyz, as componentes de deslocamento dos diafragmas rígidos em função de z são:

- u = Deslocamento segundo o eixo Ox;
- v = Deslocamento segundo o eixo Oy;
- θ = Rotação em torno do eixo Oz.

Os deslocamentos da parede plana, u_w , e de um pórtico típico, u_f , são obtidos como funções lineares de u , v e θ como se segue:

$$\begin{aligned} u_w &= a_w u + b_w v + c_w \theta \\ u_f &= a_f u + b_f v + c_f \theta \end{aligned} \quad (4.15)$$

O equilíbrio da parte do edifício acima deste nível admitindo-se deslocar sem atrito entre os diafragmas imediatamente superior e inferior, dá as seguintes equações:

$$\begin{aligned} \sum_1^{nw} V_w a_w + \sum_1^{nf} V_f a_f &= Va \\ \sum_1^{nw} V_w b_w + \sum_1^{nf} V_f b_f &= Vb \\ \sum_1^{nw} V_w c_w + \sum_1^{nf} V_f c_f + \sum_1^{nt} M_T &= Vc \end{aligned} \quad (4.16)$$

Onde nw é o número de paredes planas, nf é o número de pórticos e nt é o número de paredes de seção aberta.

Levando em conta a (4.15) e as equações constitutivas (3.5), (3.8), (3.34) e (3.49), obtém-se as seguintes equações:

$$\begin{aligned} V_w &= -j_w (a_w u''' + b_w v''' + c_w \theta''') \\ V_f &= s_f (a_f u' + b_f v' + c_f \theta') \\ M_T &= M_t + M_{ft} = GI_t \theta' - EI_o \theta''' \end{aligned} \quad (4.17)$$

que substituída na (4.16), pode ser organizada da seguinte forma matricial:

$$- \begin{bmatrix} J_{aa} & J_{ab} & J_{ac} \\ J_{ab} & J_{bb} & J_{bc} \\ J_{ac} & J_{bc} & J_{cc} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u \\ v \\ \theta \end{Bmatrix}''' + \begin{bmatrix} S_{aa} & S_{ab} & S_{ac} \\ S_{ab} & S_{bb} & S_{bc} \\ S_{ac} & S_{bc} & S_{cc} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u \\ v \\ \theta \end{Bmatrix}' = V \begin{Bmatrix} a \\ b \\ c \end{Bmatrix} \quad (4.18)$$

na qual,

$$\begin{aligned}
 J_{de} &= \sum_1^{nw} j_w d_w e_w \\
 S_{de} &= \sum_1^{nf} s_f d_f e_f \\
 J_{cc} &= J_{de} + \sum_1^{nt} EI_{\omega} \\
 S_{cc} &= S_{de} + \sum_1^{nt} EI_t
 \end{aligned}
 \tag{4.19}$$

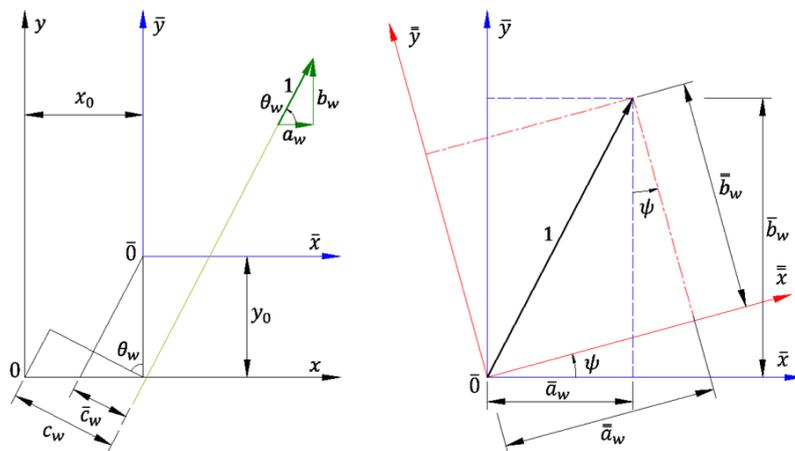
onde d e e representam qualquer uma das coordenadas a, b e c.

A equação de equilíbrio pode apresentar diversas configurações de acordo com os tipos e disposições dos painéis que compõem o edifício. Há casos nos quais existem apenas pilar parede com rigidez na direção Ox ou Oy que são chamados de casos singulares, já que apresentam determinante da matriz de rigidez das paredes iguais a zero (singularidade de rotação). E também os casos gerais, não singulares, que é formado pela associação múltipla dos painéis, apresentando determinante da matriz de rigidez das paredes diferente de zero.

4.2.2 Desacoplamento da equação de equilíbrio do caso geral

No caso de uma estrutura formada por uma associação múltipla de pórticos, pilares paredes e núcleos de seções abertas de parede delgada com carregamento no eixo vertical em qualquer direção, é necessário desacoplar a matriz de pilares paredes $[J_{de}]$ efetuando-se duas translações e uma rotação dos eixos de referência do sistema global. As operações envolvidas são mostradas na Figura 14.

Figura 14 – Mudança dos eixos de referência para diagonalizar a matriz de rigidez dos pilares paredes.



Fonte: Espezua (2009)

O lado esquerdo da Figura 14 representa as duas translações realizadas nas direções de x e y que anulam os termos $\overline{J_{ac}}$ e $\overline{J_{bc}}$, resultando em:

$$\overline{c_w} = c_w - x_0 b_w + y_0 a_w \quad (4.20)$$

E dessa maneira:

$$\begin{aligned} \overline{J_{ac}} &= \sum_w j_w a_w \overline{c_w} = J_{ac} - x_0 J_{ab} + y_0 J_{aa} = 0 \\ \overline{J_{bc}} &= \sum_w j_w b_w \overline{c_w} = J_{bc} - x_0 J_{bb} + y_0 J_{ab} = 0 \end{aligned} \quad (4.21)$$

Resolvendo-se o sistema de equações (4.21), as coordenadas deste novo sistema global de referência, que anulam os termos $\overline{J_{ac}}$ e $\overline{J_{bc}}$, são dadas por:

$$\begin{aligned} x_o &= \frac{J_{aa} J_{bc} - J_{ab} J_{ac}}{J_{aa} J_{bb} - J_{ab}^2} \\ y_o &= \frac{-J_{bb} J_{ac} + J_{ab} J_{bc}}{J_{aa} J_{bb} - J_{ab}^2} \end{aligned} \quad (4.22)$$

Agora, rotacionando esse novo eixo de referência de um ângulo Φ , mostrado ao lado direito da Figura 14, do plano $\overline{x\overline{y}}$ em torno do eixo $\overline{0\overline{z}}$ é possível anular-se o termo $\overline{J_{ab}}$. E, portanto os valores de a_w e b_w são alterados, sendo:

$$\begin{aligned} \overline{\overline{a_w}} &= \overline{a_w} \cos \Phi + \overline{b_w} \sin \Phi \\ \overline{\overline{b_w}} &= -\overline{a_w} \sin \Phi + \overline{b_w} \cos \Phi \end{aligned} \quad (4.23)$$

Para a novo sistema de referência, tem-se:

$$\begin{aligned} \overline{\overline{J_{ab}}} &= \sum_w j_w \overline{\overline{a_w}} \overline{\overline{b_w}} = j_w \left[\overline{a_w} \overline{b_w} (\cos^2 \Phi - \sin^2 \Phi) + (\overline{b_w}^2 - \overline{a_w}^2) \cos \Phi \sin \Phi \right] = 0 \\ \overline{\overline{J_{ab}}} &= J_{ab} \cos 2\Phi + \frac{(J_{bb} - J_{aa})}{2} \sin 2\Phi = 0 \end{aligned} \quad (4.24)$$

e a rotação é expressa por:

$$\tan(2\Phi) = \frac{2J_{ab}}{J_{aa} - J_{bb}} \quad (4.25)$$

A (4.22) representa a posição do centro do eixo principal e a (4.25), a direção principal do tensor.

De maneira semelhante, pode-se diagonalizar a matriz $[S_{de}]$, sendo que se as coordenadas dadas nas equações (4.22) e (4.25) forem coincidentes com a matriz $[J_{de}]$, a (4.18) simplifica a solução. Este caso ocorre em estruturas com dois planos verticais de simetria.

No caso de associação contendo apenas paredes ou apenas pórticos, é necessário apenas diagonalizar a matriz de rigidez do pilar parede ou pórtico que já estará desacoplado em todas as direções.

Após as rotações e translações dos eixos, a matriz $[S_{de}]$ apresentará novos valores de acordo com seu novo eixo, sendo representada por $[S]$.

A matriz $[J]$ depois do desacoplamento realizado da matriz $[J_{de}]$ resulta:

$$[J] = \begin{bmatrix} \overline{\overline{J_{aa}}} & 0 & 0 \\ 0 & \overline{\overline{J_{bb}}} & 0 \\ 0 & 0 & \overline{\overline{J_{cc}}} \end{bmatrix} \quad (4.26)$$

De agora em diante, todos os processos matemáticos serão realizados em relação ao eixo de referência já transladado e rotacionado, cuja matriz de rigidez à flexão das paredes resulta diagonal. Portanto, as variáveis referem-se a esse eixo.

O desacoplamento das equações de equilíbrio no caso geral é realizado pela seguinte transformação:

$$\begin{Bmatrix} u \\ v \\ \theta \end{Bmatrix} = [k] \begin{Bmatrix} u \\ v \\ \theta \end{Bmatrix}_1 \quad (4.27)$$

Em que o subscrito 1 representa a primeira transformação realizada para o desacoplamento, e a matriz $[k]$ fica então expressa por:

$$[k] = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{\overline{\overline{J_{aa}}}}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{\overline{\overline{J_{bb}}}}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{\overline{\overline{J_{cc}}}}} \end{bmatrix} \quad (4.28)$$

A matriz $[E]$ é definida e formada pelo seguinte produto:

$$[E] = [k]^T [S] [k] = \begin{bmatrix} \frac{S_{aa}}{J_{aa}} & \frac{S_{ab}}{\sqrt{J_{aa}}\sqrt{J_{bb}}} & \frac{S_{ac}}{\sqrt{J_{aa}}\sqrt{J_{cc}}} \\ \frac{S_{ab}}{\sqrt{J_{aa}}\sqrt{J_{bb}}} & \frac{S_{bb}}{J_{bb}} & \frac{S_{bc}}{\sqrt{J_{bb}}\sqrt{J_{cc}}} \\ \frac{S_{ac}}{\sqrt{J_{aa}}\sqrt{J_{cc}}} & \frac{S_{bc}}{\sqrt{J_{bb}}\sqrt{J_{cc}}} & \frac{S_{cc}}{J_{cc}} \end{bmatrix} \quad (4.29)$$

Sendo que o fato de as matrizes $[J]$ e $[S]$ serem simétricas e positivas resultam, portanto, em autovalores reais e autovetores ortogonais.

A equação (4.18), depois de desacoplada a matriz $[J_{de}]$, é multiplicada pela transformação realizada no desacoplamento geral mostrada na (4.28), de maneira que se obtém:

$$-[k]^T \cdot [J] \cdot [k] \cdot \begin{Bmatrix} u \\ v \\ \theta \end{Bmatrix}_1'' + [k]^T \cdot [S] \cdot [k] \cdot \begin{Bmatrix} u \\ v \\ \theta \end{Bmatrix}_1' = V [k]^T \begin{Bmatrix} a \\ b \\ c \end{Bmatrix}$$

$$-[I] \cdot \begin{Bmatrix} u \\ v \\ \theta \end{Bmatrix}_1'' + [E] \cdot \begin{Bmatrix} u \\ v \\ \theta \end{Bmatrix}_1' = V \begin{Bmatrix} \frac{a}{\sqrt{J_{aa}}} \\ \frac{b}{\sqrt{J_{bb}}} \\ \frac{c}{\sqrt{J_{cc}}} \end{Bmatrix} \quad (4.30)$$

onde $[I]$ é a matriz identidade.

Para desacoplar a equação (4.30) é realizada a decomposição de Jordan em que é necessário encontrar os autovalores e autovetores da matriz $[E]$, e portanto a última transformação é dada por:

$$\begin{Bmatrix} u \\ v \\ \theta \end{Bmatrix}_2 = [R] \cdot \begin{Bmatrix} u \\ v \\ \theta \end{Bmatrix}_1 \quad (4.31)$$

que levando-se em conta que os autovetores são ortogonais devido à simetria, definição positiva da matriz envolvida, a (4.30) pode ser escrita como:

$$\begin{aligned}
& -[R]^T \cdot [I] \cdot [R] \cdot \begin{Bmatrix} u \\ v \\ \theta \end{Bmatrix}_2''' + [R]^T \cdot [E] \cdot [R] \cdot \begin{Bmatrix} u \\ v \\ \theta \end{Bmatrix}_2' = V [R]^T \cdot \begin{Bmatrix} \frac{a}{\sqrt{J_{aa}}} \\ \frac{b}{\sqrt{J_{bb}}} \\ \frac{c}{\sqrt{J_{cc}}} \end{Bmatrix} \\
& - \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} u \\ v \\ \theta \end{Bmatrix}_2''' + \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} u \\ v \\ \theta \end{Bmatrix}_2' = V \begin{bmatrix} \{l & m & n\}_1 \\ \{l & m & n\}_2 \\ \{l & m & n\}_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \frac{a}{\sqrt{J_{aa}}} \\ \frac{b}{\sqrt{J_{bb}}} \\ \frac{c}{\sqrt{J_{cc}}} \end{Bmatrix}
\end{aligned} \tag{4.32}$$

onde $[R]$ é a matriz de rotação com os autovetores, $\{l \ m \ n\}_i$, e σ_1, σ_2 e σ_3 são os autovalores.

A equação (4.32) mostra que o sistema está desacoplado em cada uma das direções e que cada equação desacoplada pode ser expressa como:

$$-\varphi_i''' + \sigma_i \varphi_i' = V_i \tag{4.33}$$

onde

$$\begin{aligned}
& i = 1, 2 \text{ e } 3 \\
& \varphi_1 = u \quad \varphi_2 = v \quad \varphi_3 = \theta \\
& V_i = V \left(l_i \frac{a}{\sqrt{J_{aa}}} + m_i \frac{b}{\sqrt{J_{bb}}} + n_i \frac{c}{\sqrt{J_{cc}}} \right)
\end{aligned} \tag{4.34}$$

Levando agora em consideração que as condições de contorno geométrica na base ($Z=0$), quais sejam:

$$\begin{aligned}
& u = v = 0 \\
& u' = v' = \theta = 0 \\
& \theta' = 0
\end{aligned} \tag{4.35}$$

e no topo ($Z=H$), como o momento de flexão é nulo, portanto:

$$\begin{aligned}
& u'' = v'' = 0 \\
& \theta'' = 0
\end{aligned} \tag{4.36}$$

resultando-se finalmente que as equações de contorno para equação (4.33) são

$$\begin{aligned}
\varphi_i(z=0) &= 0 \\
\varphi_i'(z=0) &= 0 \\
\varphi_i''(z=H) &= 0
\end{aligned} \tag{4.37}$$

Com as condições de contorno do edifício (4.37), a resolução da equação diferencial (4.33) para uma carga uniforme ($V = q(H - z)$) é obtida

$$\begin{aligned}
\varphi_i &= \frac{qe^{-z\sqrt{\sigma_i}}}{2(1+e^{2H\sqrt{\sigma_i}})\sqrt{J_{aa}J_{bb}J_{cc}}\sigma_i^2} \\
&\left(al_i\sqrt{J_{bb}J_{cc}} + \sqrt{J_{aa}}(b\sqrt{J_{cc}}m_i + c\sqrt{J_{bb}}n_i) \right) \\
&\left(\begin{aligned} &2e^{H\sqrt{\sigma_i}} - 4e^{(H+z)\sqrt{\sigma_i}} + 2e^{(H+2z)\sqrt{\sigma_i}} + 2e^{2H\sqrt{\sigma_i}}H\sqrt{\sigma_i} \\ &- 2e^{2z\sqrt{\sigma_i}}H\sqrt{\sigma_i} + e^{(2H+z)\sqrt{\sigma_i}}(-2H\sqrt{\sigma_i} + (2H-z)z\sigma_i) + \\ &e^{z\sqrt{\sigma_i}}(-z^2\sigma_i + 2H(\sqrt{\sigma_i} + z\sigma_i)) \end{aligned} \right)
\end{aligned} \tag{4.38}$$

Considerando a equação (4.27) e (4.31), a solução geral da equação de equilíbrio é pois:

$$\begin{Bmatrix} u \\ v \\ \theta \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{J_{aa}}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{J_{bb}}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{J_{cc}}} \end{bmatrix} \cdot \left[\begin{Bmatrix} l \\ m \\ n \end{Bmatrix}_1 \quad \begin{Bmatrix} l \\ m \\ n \end{Bmatrix}_2 \quad \begin{Bmatrix} l \\ m \\ n \end{Bmatrix}_3 \right] \cdot \begin{Bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \end{Bmatrix} \tag{4.39}$$

4.2.3 Desacoplamento da equação de equilíbrio em casos singulares

Como abordado anteriormente, os casos singulares ocorrem quando o determinante da matriz $[J]=0$ ou quando $[S]=0$. Tratando-se dos casos em que o determinante $[J]$ é nulo, no caso de $[S]$ nulo é similar, as situações possíveis são:

- Somente pilar parede com rigidez na direção paralela ao eixo Oy e sistema de referência coincidente com o pilar parede, ou seja, apenas $J_{bb} \neq 0$.
- Somente pilar parede com rigidez na direção paralela ao eixo Ox e sistema de referência coincidente com o pilar parede, ou seja, apenas $J_{aa} \neq 0$.
- Somente pilar parede na direção paralela ao eixo Oy, ou seja, apenas $J_{aa} = 0$.

- Somente pilar parede na direção paralela ao eixo Ox, ou seja, apenas $J_{bb} = 0$.

Será trabalhado os casos de desacoplamento na qual se tem apenas um pilar parede com rigidez na direção paralela ao eixo Oy e sistema de referência coincidente com o pilar parede; e somente pilar parede na direção paralela ao eixo Oy. Os outros dois casos singulares são bastante semelhantes nos procedimentos matemáticos, não sendo demonstrados.

Pilar parede com rigidez na direção paralela ao eixo Oy e sistema de referência coincidente com o pilar parede

As matrizes da equação (4.18) são escritas como:

$$-\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & J_{bb} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u \\ v \\ \theta \end{Bmatrix}^{III} + \begin{bmatrix} S_{aa} & S_{ab} & S_{ac} \\ S_{ab} & S_{bb} & S_{bc} \\ S_{ac} & S_{bc} & S_{cc} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u \\ v \\ \theta \end{Bmatrix}^I = V \begin{Bmatrix} a \\ b \\ c \end{Bmatrix} \quad (4.40)$$

com:

$$\begin{aligned} S_{aa}u^I + S_{ab}v^I + S_{ac}\varphi^I &= Va \\ S_{ac}u^I + S_{bc}v^I + S_{cc}\varphi^I &= Vc \\ -J_{bb}v^{III} + S_{ab}u^I + S_{bb}v^I + S_{bc}\varphi^I &= Vb \end{aligned} \quad (4.41)$$

As duas primeiras equações podem ser escritas assim:

$$\begin{bmatrix} S_{aa} & S_{ac} \\ S_{ac} & S_{cc} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u \\ \varphi \end{Bmatrix}^I = \begin{Bmatrix} S_{ab} \\ S_{bc} \end{Bmatrix} v^I + V \begin{Bmatrix} a \\ b \end{Bmatrix} \quad (4.42)$$

resultando em:

$$\begin{Bmatrix} u \\ \varphi \end{Bmatrix}^I = \frac{1}{S_{aa}S_{cc} - S_{ac}^2} \begin{bmatrix} S_{cc} & -S_{ac} \\ -S_{ac} & S_{aa} \end{bmatrix} \left[-\begin{Bmatrix} S_{ab} \\ S_{bc} \end{Bmatrix} v^I + V \begin{Bmatrix} a \\ b \end{Bmatrix} \right] \quad (4.43)$$

Dessa maneira, u^I e φ^I podem ser representados como função de v^I , resultando na seguinte forma:

$$\begin{aligned} u^I &= \frac{S_{bc}S_{ac} - S_{ab}S_{cc}}{S_{aa}S_{cc} - S_{ac}^2} v^I + \frac{aS_{cc} - cS_{ac}}{S_{aa}S_{cc} - S_{ac}^2} V \\ \varphi^I &= \frac{S_{ab}S_{ac} - S_{bc}S_{aa}}{S_{aa}S_{cc} - S_{ac}^2} v^I + \frac{cS_{aa} - aS_{ac}}{S_{aa}S_{cc} - S_{ac}^2} V \end{aligned} \quad (4.44)$$

A equação diferencial geral para este caso fica da seguinte forma:

$$-J_{bb}v^{III} + \mathcal{G}v^I = \chi V \quad (4.45)$$

onde:

$$\begin{aligned} \mathcal{G} &= S_{bb} + S_{ab} \frac{S_{bc}S_{ac} - S_{ab}S_{cc}}{S_{aa}S_{cc} - S_{ac}^2} + S_{bc} \frac{S_{ba}S_{ac} - S_{cb}S_{aa}}{S_{aa}S_{cc} - S_{ac}^2} \\ \chi &= b - S_{ab} \frac{aS_{cc} - cS_{ac}}{S_{aa}S_{cc} - S_{ac}^2} - S_{bc} \frac{cS_{aa} - aS_{ac}}{S_{aa}S_{cc} - S_{ac}^2} \end{aligned} \quad (4.46)$$

A equação diferencial (4.45) tem o mesmo formato que a (4.33), logo segue o mesmo procedimento de resolução. As outras direções, u e φ , são obtidas por meio de integração simples das equações (4.44).

Pilar parede com rigidez na direção paralela ao eixo Oy

As matrizes da equação (4.18) são escritas como:

$$-\begin{bmatrix} J_{bb} & J_{bc} \\ J_{bc} & J_{cc} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v \\ \varphi \end{Bmatrix}^{III} + \begin{bmatrix} \tilde{S}_{bb} & \tilde{S}_{bc} \\ \tilde{S}_{bc} & \tilde{S}_{cc} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v \\ \varphi \end{Bmatrix}^I = V \begin{Bmatrix} \tilde{b} \\ \tilde{c} \end{Bmatrix} \quad (4.47)$$

onde

$$\begin{aligned} \tilde{S}_{bb} &= \frac{S_{aa}S_{bb} - S_{ab}^2}{S_{aa}} \\ \tilde{S}_{bc} &= \frac{S_{aa}S_{bc} - S_{ab}S_{ac}}{S_{aa}} \\ \tilde{S}_{cc} &= \frac{S_{aa}S_{cc} - S_{ac}^2}{S_{aa}} \\ \tilde{b} &= \frac{bS_{aa} - aS_{ab}}{S_{aa}} \\ \tilde{c} &= \frac{cS_{aa} - aS_{ac}}{S_{aa}} \end{aligned} \quad (4.48)$$

A relação de eliminação do deslocamento u é dado por:

$$u^I = \frac{-S_{ab}v^I - S_{ac}\varphi^I + aV}{S_{aa}} \quad (4.49)$$

O desacoplamento da equação (4.47) é o mesmo realizado no item 4.2.2, mudando-se apenas a ordem das matrizes envolvidas, sendo necessário desacoplar a matriz de rigidez da parede e posteriormente fazer as manipulações algébricas com os

autovalores/autovetores para desacoplar em cada uma das direções. O deslocamento da direção u é obtido por simples integração da equação (4.49).

5 EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

A Técnica do Meio Contínuo (TMC) foi avaliada por meio de estruturas de edifícios retiradas de dissertações, que aplicaram esta técnica, a fim de verificar a robustez da formulação estudada nos capítulos anteriores. Além disso, foi implementado a flexão global dos pilares para analisar a sua influência no comportamento das estruturas de contraventamento de edifícios altos.

Nas seções abaixo foram desenvolvidos alguns exemplos de plantas térreas de edifícios retiradas de Coelho (1987) e Espezua (2009), submetidas a um carregamento externo uniforme, aplicando a TMC, com e sem flexão global dos pilares. Também foi desenvolvido um exemplo de uma estrutura somente com pórticos e implementada no ANSYS para comparar com os resultados obtidos.

Os resultados discutidos são os deslocamentos obtidos dos painéis das estruturas de contraventamento bem como os esforços internos, cortante e momento fletor. Com uma comparação com os softwares de análise numérica, avalia-se a precisão da técnica de acordo com suas hipóteses, fornecendo uma visão geral de seus benefícios e limitações com o uso da técnica.

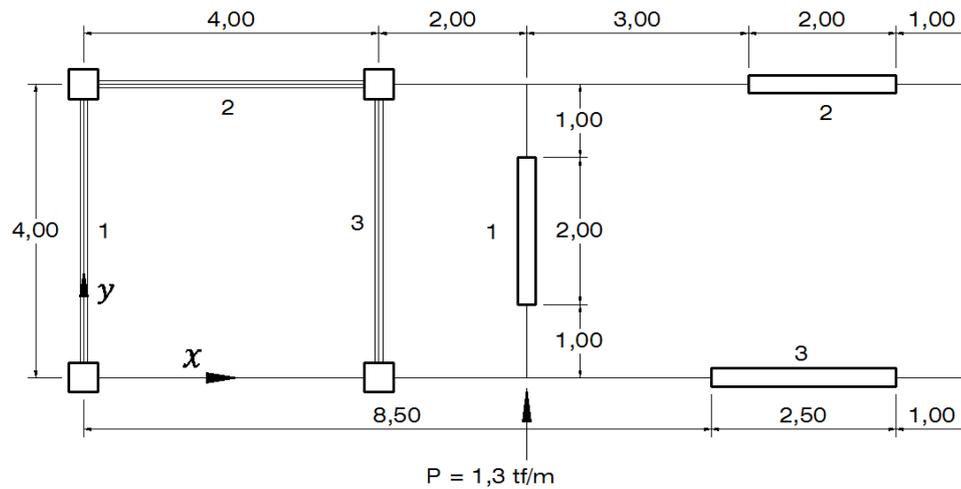
A implementação da TMC na linguagem FORTRAN 90 é realizada no APÊNDICE A e seu funcionamento é demonstrado com o uso do exemplo do edifício composto apenas por pórticos mostrado no último exemplo deste capítulo.

5.1 Exemplo 1

O edifício é formado por 10 andares e pé direito constante $h = 3\text{m}$, submetido a um carregamento uniformemente distribuído na direção y no meio de um edifício com um valor de $P = 1,3 \frac{tf}{m}$. Analisando a distribuição de painéis mostra que se trata de um caso em que o determinante das matrizes de rigidez da parede $[J_{de}]$ e do pórtico $[S_{de}]$ é diferente de zero, sendo um caso não singular.

A planta térrea do edifício é mostrada na Figura 15 com uma associação de 3 pilares paredes e 3 pórticos com módulo de elasticidade de $2000000 \frac{tf}{m^2}$. As paredes possuem espessura de 0,25 m e colunas e vigas com seção transversal quadrada de 0,4 m x 0,4 m. Os dados dos painéis deste edifício estão reunidos nas Tabela 2 e Tabela 3.

Figura 15 – Planta térrea do edifício do exemplo 1 formado pela associação de pilares paredes e pórticos.



Fonte: Espezia (2009)

Tabela 2 – Características geométricas e mecânicas dos pilares paredes do exemplo 1.

Pilar Parede	E_w (tf / m^2)	Número de Andares	Comprimento (m)	Espessura (m)
1	2000000	10	2,00	0,25
2	2000000	10	2,00	0,25
3	2000000	10	2,50	0,25

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Tabela 3 – Características geométricas e mecânicas dos pórticos do exemplo 1.

Pórtico	E_f (tf / m^2)	Número de Andares	h_i (m)	Número de Pilares	Seção Transversal do Pilar (m x m)	Seção Transversal da viga (m x m)
1	2000000	10	3,00	2	0,4 x 0,4	0,4 x 0,4
2	2000000	10	3,00	2	0,4 x 0,4	0,4 x 0,4
3	2000000	10	3,00	2	0,4 x 0,4	0,4 x 0,4

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Primeiramente, foram calculados as características de rigidez dos painéis e os parâmetros correspondentes ao vetor unitário associado a cada painel, em relação ao sistema de referência da Figura 15, e são apresentadas nas Tabela 4 e Tabela 5, pilar parede e pórtico, respectivamente. O carregamento é linearmente distribuído, apresentando cortante $V = 1,3(30 - z)$ tf e vetores unitários $a = 0, b = 1$ e $c = 6$ m.

Tabela 4 – Características de rigidez e vetor unitário dos pilares paredes do exemplo 1.

Pilar Parede	a_w	b_w	c_w (m)	J_w (tf / m^2)
1	0	1	6	333.333,33
2	1	0	-4	333.333,33
3	1	0	0	651.041,67

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Tabela 5 – Características de rigidez e vetor unitário dos pórticos do exemplo 1.

Pórtico	a_f	b_f	c_f (m)	s_f (tf)	J_w (tf / m^2)
1	0	1	0	3.103,03	6.206,06
2	1	0	-4	3.103,03	6.206,06
3	0	1	4	3.103,03	6.206,06

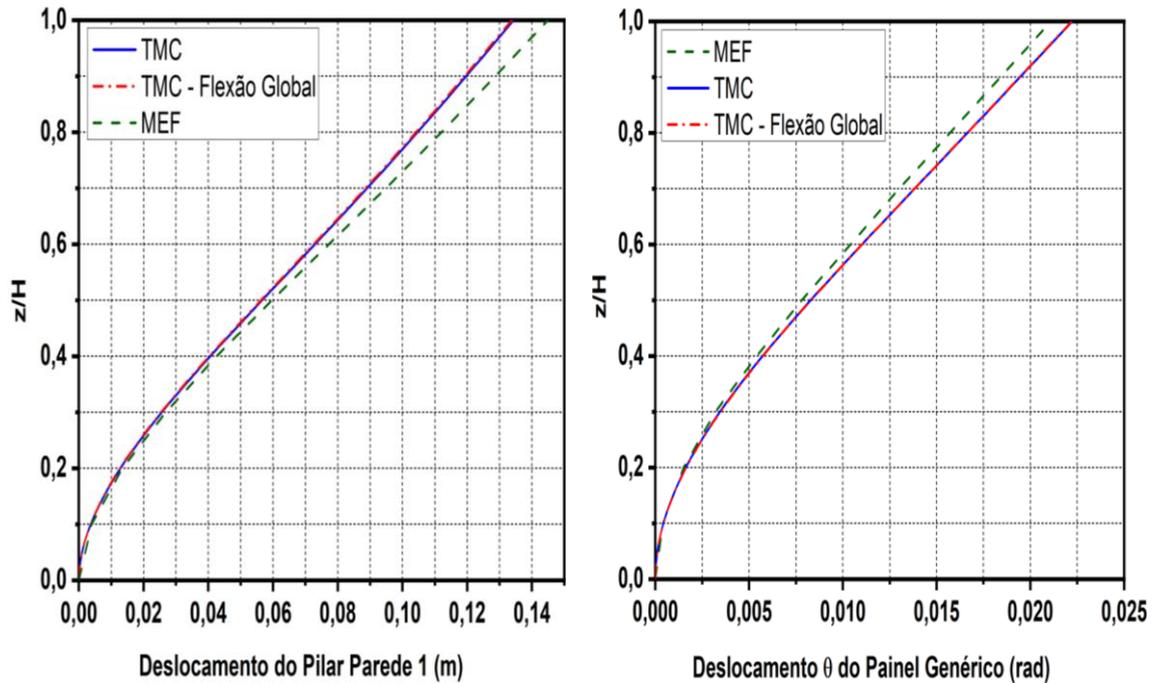
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Assim, é possível determinar a matriz de rigidez à flexão dos pilares paredes, considerando ou não a influência da flexão global dos pilares do pórtico, e a matriz de rigidez de cisalhamento do pórtico. Com a equação de equilíbrio definida e notando que se enquadra no caso geral, realiza-se o desacoplamento da matriz de rigidez à flexão por meio das duas translações e rotação dos eixos de referência e em seguida desacopla em todas as direções por meio dos autovalores/autovetores.

Os deslocamentos do diafragma rígido são encontrados por meio da resolução da equação diferencial de cada direção desacoplada e através de uma combinação linear dos três deslocamentos do diafragma é determinado os deslocamentos de cada painel.

Na Figura 16 é apresentado o deslocamento do pilar parede 1 na sua direção principal e o giro do painel genérico através da TMC, com e sem flexão global. Além do método dos elementos finitos (MEF) obtidos do software SAP2000 retirados de Espezua (2009).

Figura 16 – Deslocamentos principais do edifício do exemplo 1.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Na Tabela 6 apresenta-se os deslocamentos nas três direções principais de cada andar do edifício com a técnica do meio contínuo, com e sem flexão global das colunas, e o MEF obtidos de Espezua (2009).

Tabela 6 – Deslocamentos e giro do diafragma genérico do exemplo 1.

Andar	TMC			TMC (Flexão Global)			MEF*		
	u	v	φ	u	v	φ	u	v	φ
	(m)	(m)	(rad)	(m)	(m)	(rad)	(m)	(m)	(rad)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0,0004	0,0036	0,0004	0,0004	0,0035	0,0004	1,31 E-04	0,0039	0,0004
2	0,0016	0,0128	0,0016	0,0016	0,0125	0,0016	5,50E-04	0,0134	0,0015
3	0,0035	0,0256	0,0034	0,0035	0,0249	0,0035	0,0013	0,0268	0,0032
4	0,0061	0,0405	0,0057	0,0061	0,0395	0,0057	0,0024	0,0425	0,0054
5	0,0093	0,0566	0,0083	0,0092	0,0550	0,0083	0,00385	0,0596	0,0078
6	0,0129	0,0729	0,0110	0,0128	0,0709	0,0110	0,00564	0,0772	0,0104
7	0,0169	0,0890	0,0138	0,0167	0,0866	0,0138	0,00773	0,0948	0,0130
8	0,0211	0,1046	0,0166	0,0209	0,1018	0,0166	0,01007	0,1120	0,0157
9	0,0255	0,1196	0,0194	0,0252	0,1164	0,0194	0,01259	0,1286	0,0184
10	0,0300	0,1343	0,0222	0,0297	0,1306	0,0222	0,01521	0,1449	0,0211

*Dados obtidos em Espezua (2009)

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

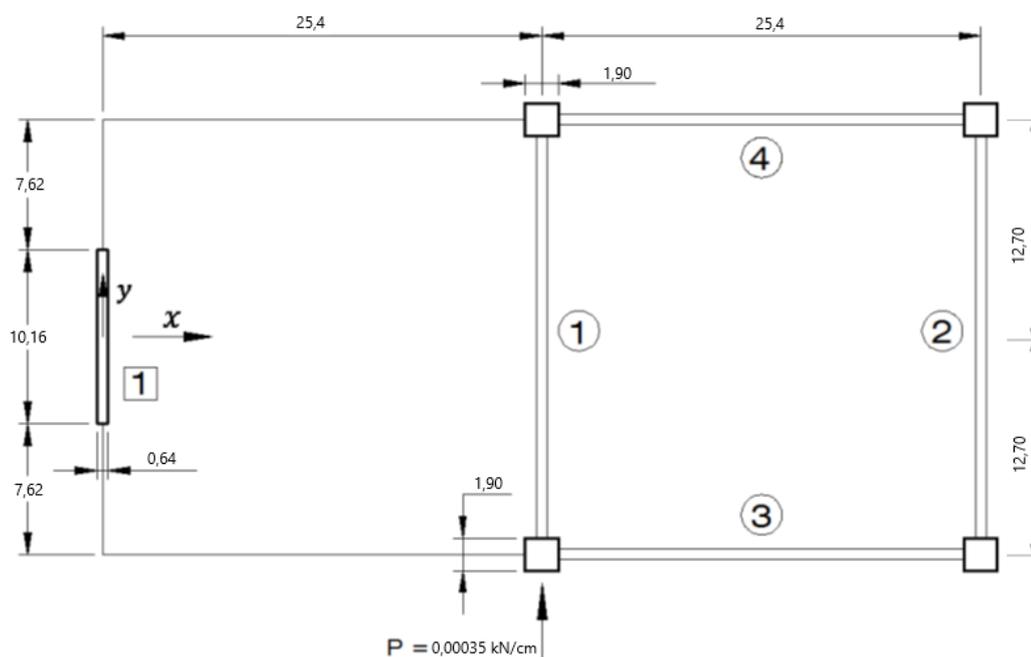
A diferença entre a técnica do meio contínuo e o método dos elementos finitos, mostrado na Figura 16 e Tabela 6, é pequena e fornece uma aproximação eficiente

considerando a praticidade de cálculo da TMC, com maior erro em torno de 7%. A direção u apresenta valores próximos a zero já que não está na direção da carga aplicada e, portanto, apresentaram erros maiores em alguns pontos o que não significa imprecisão da técnica. Além disso, nesta composição de arranjo estrutural, ficou evidente a não influência da consideração ou não da flexão global dos pilares dos pórticos já que a rigidez à flexão dos pilares paredes predominam no comportamento.

5.2 Exemplo 2

Neste exemplo, a planta térrea do edifício apresentado na Figura 17 foi desenvolvido por Stamato (1972a) nos laboratórios do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Southamton, Inglaterra. Em virtude disso as unidades foram expressas em unidades inglesas e suas dimensões não são de um edifício real, mas sim de um protótipo. Entretanto, aqui foram transformados para as unidades no sistema internacional de unidades (SI). Apresenta 10 andares de pé direito constante de $h = 12,7$ cm.

Figura 17 – Planta térrea do edifício do exemplo 2 formado pela associação de pilar parede e pórticos.



Fonte: Adaptado de Espezua (2009).

O módulo de elasticidade é de 290 kN/cm^2 para todos os elementos estruturais e as seções transversais dos pilares são $1,9 \text{ cm} \times 1,9 \text{ cm}$, das vigas $0,64 \text{ cm} \times 3,2 \text{ cm}$ e do pilar parede de comprimento de $10,16 \text{ cm}$ com espessura de $0,64 \text{ cm}$. Apresentam um pilar parede e quatro pórticos, em que os eixos principais de referência do edifício se situam no único pilar parede na direção y . A força distribuída na direção y , $P = 0,00035 \text{ kN/cm}$,

atuando no meio do edifício. Os dados dos painéis deste edifício estão reunidos nas Tabela 7 e Tabela 8.

Tabela 7 – Características geométricas e mecânicas do pilar parede do exemplo 2.

Pilar Parede	E_w (kN / cm^2)	Número de Andares	Comprimento (cm)	Espessura (cm)
1	290	10	10,16	0,64

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Tabela 8 – Características geométricas e mecânicas dos pórticos do exemplo 2.

Pórtico	E_f (kN / cm^2)	Número de Andares	h_i (cm)	Número de Pilares	Seção Transversal do Pilar (cm x cm)	Seção Transversal da viga (cm x cm)
1	290	10	12,7	2	1,9 x 1,9	0,64 x 3,2
2	290	10	12,7	2	1,9 x 1,9	0,64 x 3,2
3	290	10	12,7	2	1,9 x 1,9	0,64 x 3,2
4	290	10	12,7	2	1,9 x 1,9	0,64 x 3,2

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

As características de rigidez dos painéis e os parâmetros correspondentes ao vetor unitário associado a cada painel, em relação ao sistema de referência da Figura 17, são apresentadas nas Tabela 9 e Tabela 10, pilar parede e pórtico, respectivamente. O carregamento é linearmente distribuído, apresentando cortante $V = 0,00035(127 - z)$ kN e vetores unitários $a = 0, b = 1$ e $c = 25,4$ cm .

Tabela 9 – Características de rigidez e vetor unitário do pilar parede do exemplo 2.

Pilar Parede	a_w	b_w	c_w (cm)	J_w (kN / cm^2)
1	0	1	0	16.221,01

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Tabela 10 – Características de rigidez e vetor unitário dos pórticos do exemplo 2.

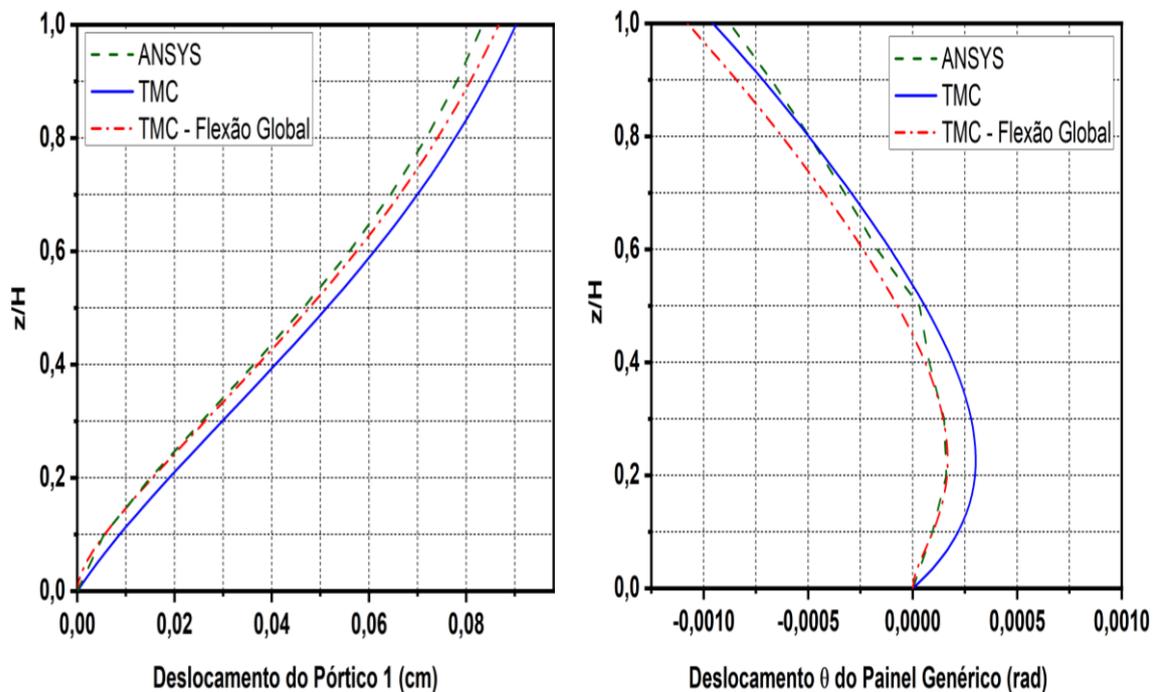
Pórtico	a_f	b_f	c_f (cm)	s_f (kN)	J_w (kN / cm ²)
1	0	1	25,4	13,446	449,178
2	0	1	50,8	13,446	449,178
3	1	0	12,70	13,446	449,178
4	1	0	-12,70	13,446	449,178

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Este exemplo pode ser considerado um caso singular e não singular. Ao passo em que não se considera a flexão global dos pilares dos pórticos, apresenta apenas um pilar parede com rigidez à flexão na direção y, logo o determinante da matriz de rigidez à flexão é zero e o método de resolução segue o apresentado na seção 4.2.3. Agora, ao considerar à flexão global, o processo se torna o caso geral e é resolvido conforme a seção 4.2.2.

O deslocamento principal do pórtico 1 e rotação do diafragma rígido resultante da análise da técnica do meio contínuo, com e sem flexão global das colunas, e da análise numérica de elementos finitos através do ANSYS estão apresentados na Figura 18.

Figura 18 – Deslocamentos do Pórtico 1 e da rotação do painel genérico do edifício do exemplo 2.

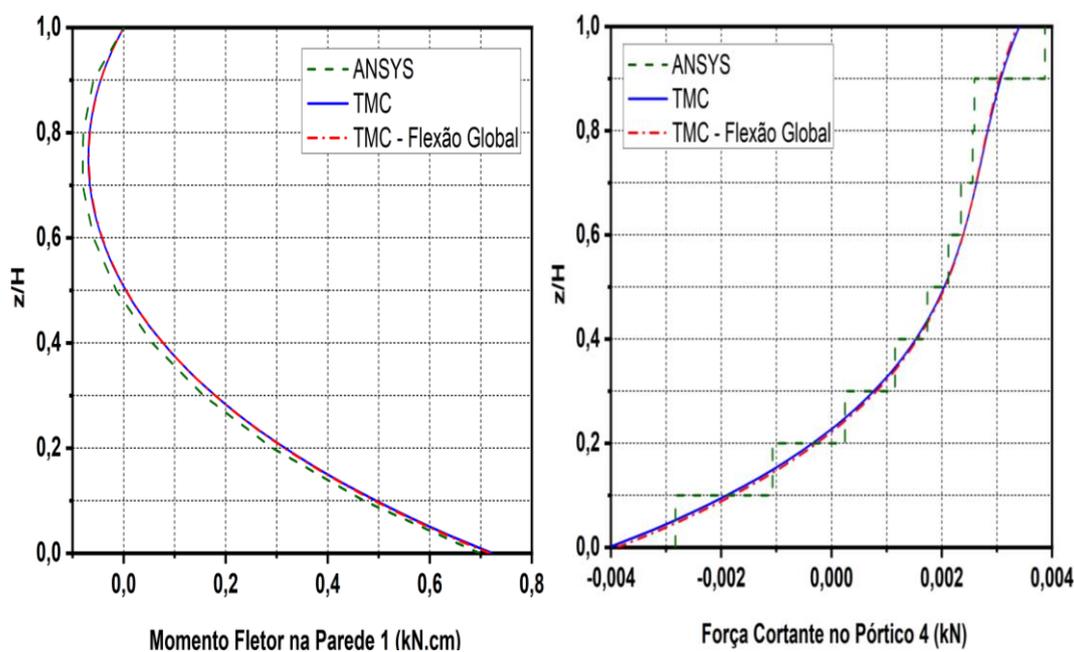


Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Na Figura 18, mostra-se que para o arranjo estrutural do exemplo 2, a consideração da flexão global das colunas do pórtico apresenta maior precisão nos primeiros andares, principalmente, devido à correção da localização dos momentos nulos nos pilares do primeiro pavimento, frente a não consideração desta flexão. Este fato deve-se a presença da carga distribuída na direção do plano do vertical do pórtico 1, além da presença de apenas um pilar parede. No deslocamento do pórtico 1 em comparação com o MEF obtido no ANSYS, apresentando maior divergência no topo de 4% para o caso da flexão global e de 58% na base e 8% no topo na flexão local. Já na rotação do diafragma rígido, na flexão global apresentou-se na base, erros de 2% e de 23% no topo, e sem considerar a flexão global, erros de 140% na base e no topo chega a 9,40%. Há pontos de instabilidade, nesse caso no quinto andar, porém é normal por serem valores muito pequenos.

Os esforços internos de cada um dos painéis do edifício são calculados e alguns são apresentados na Figura 19 juntamente com o obtido no software ANSYS. Em relação a força cortante, os valores referentes ao MEF são obtidos do meio dos pilares de cada pavimento já que há descontinuidades nas juntas de cada andar.

Figura 19 – Momento Fletor na Parede 1 e Força Cortante no Pórtico 4 do edifício do exemplo 2.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Na Figura 19, os esforços internos apresentaram também uma boa precisão em relação ao MEF de acordo com o objetivo da técnica do meio contínuo. Em relação aos modelos com e sem flexão global, percebe-se que são semelhantes, indicando que a

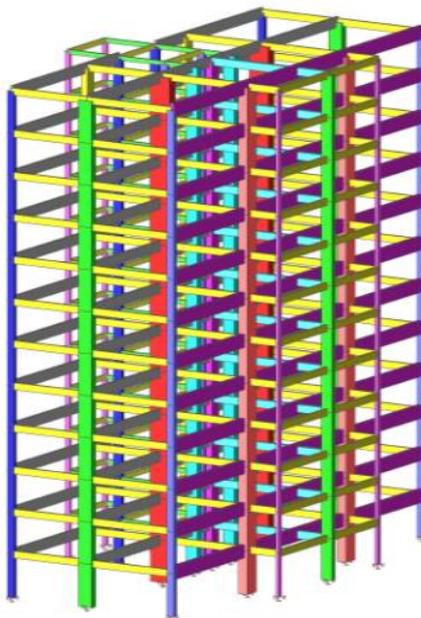
distribuição de esforços não é significativamente afetada ao considerar a flexão global dos pilares.

5.3 Exemplo 3

O edifício deste exemplo apresentado na Figura 20 foi desenvolvido pelo autor com o objetivo de enriquecer as análises em relação a TMC com e sem flexão global. Sua elaboração foi realizada com base em um edifício real que contém apenas pórticos, com um pé direito $h=3,00$ m e 12 andares, totalizando uma altura de $H= 36$ m, submetido a um carregamento uniforme de $q = 23,324$ kN/m na direção y no meio do edifício.

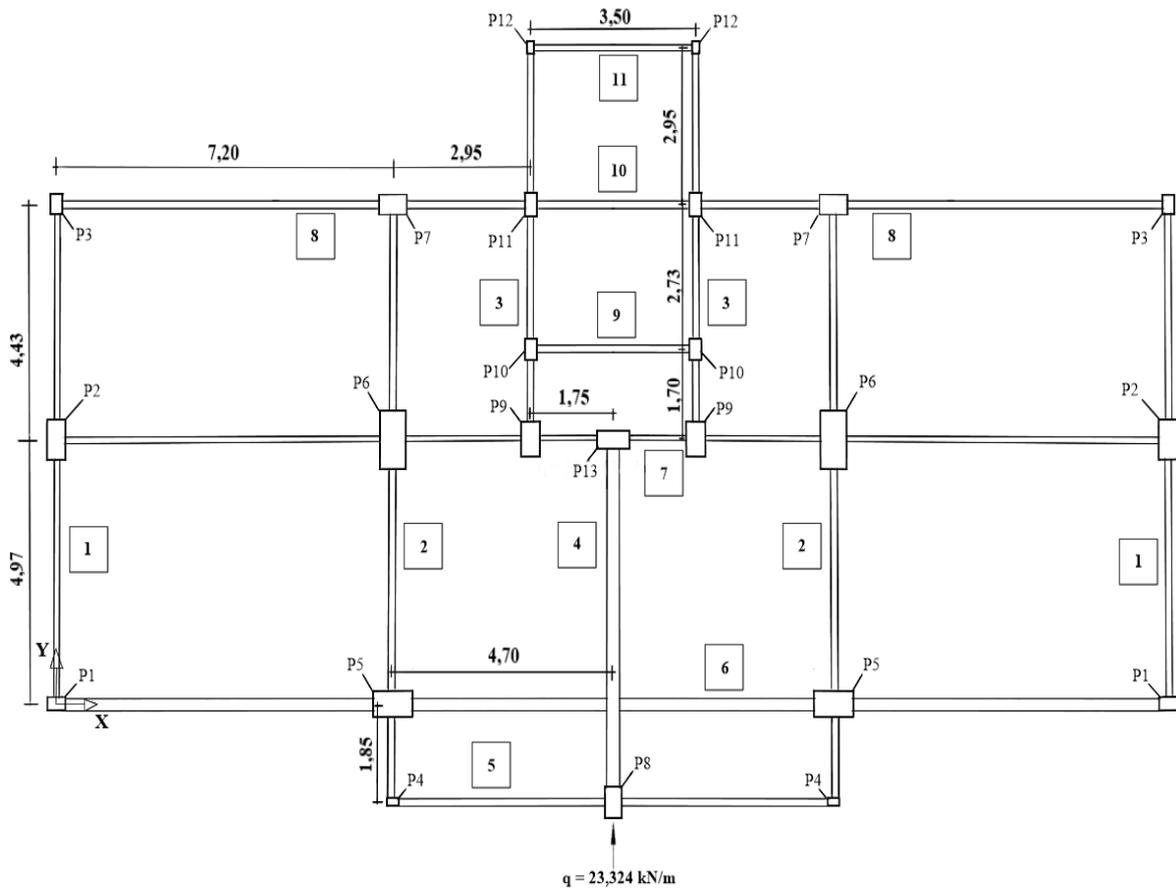
A partir da planta do pavimento tipo realizou-se a disposição dos pilares e vigas mostrados na Figura 21. O número que aparece em quadrados se refere aos pórticos, tendo um total de 15 pórticos, porém devido a simetria do edifício em relação ao eixo y , são 11 pórticos diferentes. Já os que aparecem ao lado da letra P indicam os pilares que ao total são 24.

Figura 20 – Edifício em visualização tridimensional contendo apenas pórticos do exemplo 3.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Figura 21 – Planta térrea do edifício do exemplo 3 formado apenas por pórticos.



Fonte: Elaborado pelo próprio Autor

Todos os elementos estruturais apresentam módulo de elasticidade de $E = 25 \text{ GPa}$ e foi realizado um pré-dimensionamento para obter as seções dos pilares e vigas de cada pórtico. As seções transversais dos pilares e das vigas dos pórticos estão presentes, respectivamente, nas Tabela 11 e Tabela 12.

Tabela 11 – Seções Transversais dos Pilares do exemplo 3.

Pilar	Seção Transversal (cm x cm)
P1	25 x 40
P2	40 x 75
P3	25 x 35
P4	15 x 25
P5	50 x 85
P6	55 x 110
P7	35 x 60
P8	30 x 60
P9	40 x 65
P10	25 x 40
P11	25 x 45
P12	15 x 25
P13	35 x 65

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A rigidez dos pórticos ao cisalhamento é calculada pela equação (3.11) já que é de conhecimento do módulo de elasticidade e seções transversais das vigas e pilares. No caso da consideração da flexão global, calcula-se pela equação (3.13). Estas informações estão reunidas na Tabela 12, bem como os vetores unitários dos pórticos com relação ao sistema de referência apresentado na Figura 21.

Tabela 12 – Características geométricas, mecânicas e vetores unitários dos pórticos do exemplo 3.

Pórtico	Pilares	E_f (GPa)	Seção Transversal da viga (cm x cm)	a_f	b_f	c_f (m)	s_f (kN)	j_w ($10^6 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$)
1	P1-P2-P3	25	12 x 50	0	1	0 (23,80)*	42112	0,355
2	P4-P5-P6-P7	25	12 x 50	0	1	7,2(16,60)*	80378	1,742
3	P9-P10-P11-P12	25	12 x 30	0	1	10,15(13,65)*	28693	0,293
4	P8-P13	25	24 x 55	0	1	11,9	40033	0,163
5	P4-P8-P4	25	12 x 50	1	0	1,85	25458	0,024
6	P1-P5-P5-P1	25	24 x 95	1	0	0	588309	1,61
7	P2-P6-P9-P13- P9-P6-P2	25	12 x 75	1	0	-4,97	990678	0,593
8	P3-P7-P11	25	12 x 75	1	0	-9,4(-9,4)*	93453	0,113
9	P10-P10	25	12 x 35	1	0	-6,67	9055,3	0,019
10	P11-P11	25	12 x 35	1	0	-9,4	9325,5	0,022
11	P12-P12	25	12 x 35	1	0	-12,35	3390,2	0,00097

*Valores em parênteses referentes aos pórticos simétricos

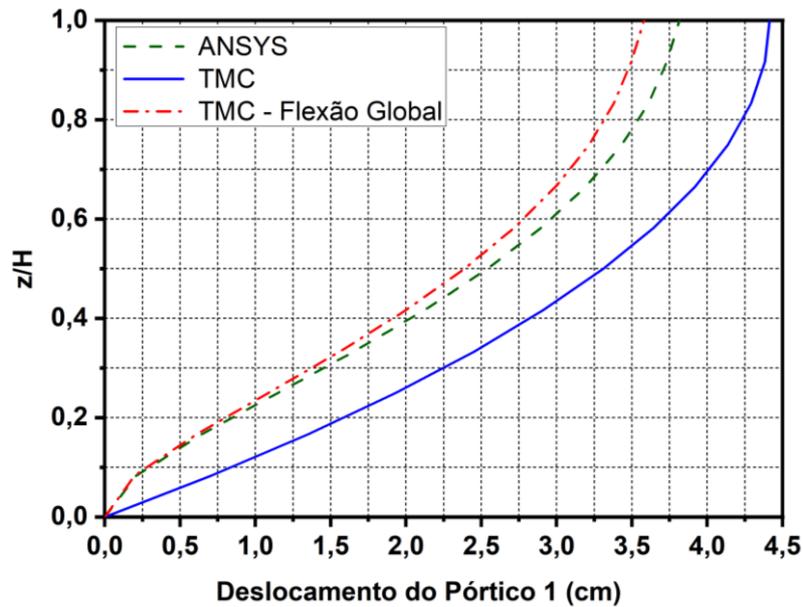
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Neste exemplo, ao não se considerar a flexão global e devido à ausência de pilares paredes e núcleos de seção aberta de parede delgada, possui apenas rigidez ao cisalhamento, fazendo com que tenha somente a matriz de rigidez dos pórticos diferente de zero. Dessa forma é necessário transladar e rotacionar os eixos de referência para diagonalizar, desacoplando o sistema em cada direção e resolvendo a equação diferencial com as condições de contorno já citadas.

Agora ao se considerar a flexão global dos pilares dos pórticos, é necessário transladar e rotacionar os eixos de referência e fazer as duas transformações com o auxílio dos autovalores/autovetores a fim de desacoplar em cada uma das direções.

O deslocamento principal do pórtico 1 resultante da análise da técnica do meio contínuo, com e sem flexão global das colunas, e da análise numérica de elementos finitos através do ANSYS estão apresentados na Figura 22. Como neste exemplo não apresenta rotação do diafragma rígido para este carregamento, todos os painéis na direção desta força apresentarão os mesmos deslocamentos.

Figura 22 – Deslocamento do Pórtico 1 do edifício do exemplo 3.

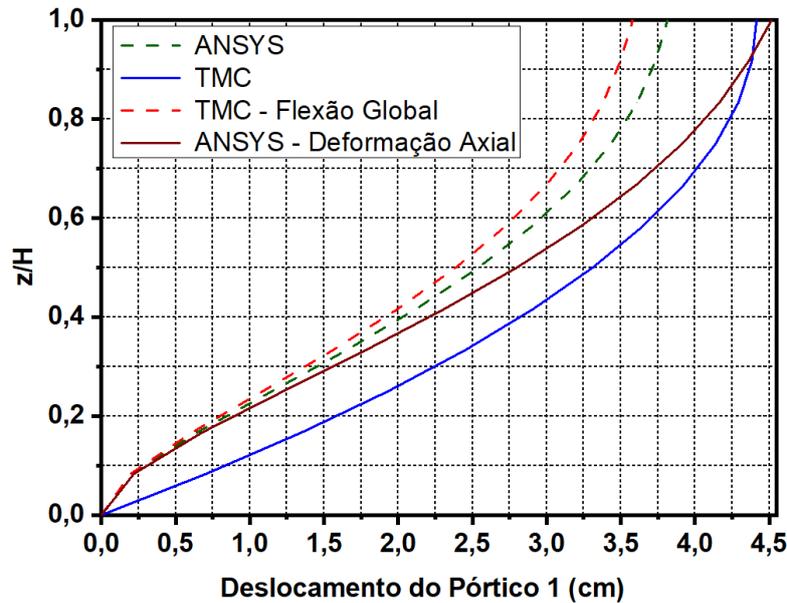


Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Na Figura 22, nota-se que a flexão global apresenta grande precisão nos primeiros andares, como esperado, e com isso faz com que os deslocamentos nos andares superiores continuem próximos ao método dos elementos finitos realizado no ANSYS, apresentando uma acurácia aceitável levando em conta a praticidade da técnica e que sua maior divergência está em cerca de 6%. Já sem a consideração da flexão global dos pilares, o edifício apresenta comportamento de um pórtico, pois sua estrutura é composta apenas por pórticos e é notório que possui uma discrepância grande em relação a análise numérica do ANSYS.

Outro ponto que vale destacar é o cuidado em relação a modelagem da estrutura nos softwares de análise numérica que deve ser condizente com as hipóteses da TMC, para fins de comparação, que são as lajes que se comportam como diafragmas rígidos e a não deformação axial dos pilares. Esse processo está demonstrado na Figura 23 ao modelar o edifício considerando a deformação axial dos pilares ao invés do modelado na Figura 22 que está condizente com a TMC.

Figura 23 – Deslocamento do Pórtico 1 do edifício do exemplo 3 incluindo a análise numérica considerando a deformação axial dos pilares.

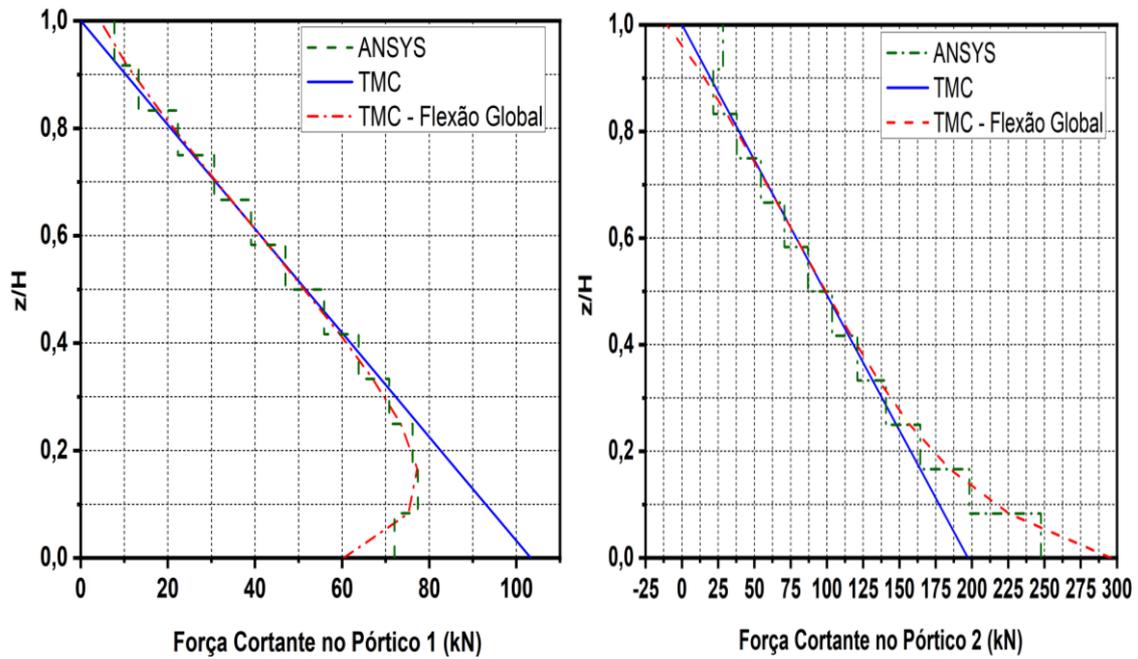


Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Na Figura 23 pode-se ver que ao considerar a deformação axial dos pilares, na modelagem numérica, a análise da TMC acaba não sendo tão representativa. Isto revela dois fatos importantes: primeiro que a forma como se é modelado influencia nos resultados e tendo o objetivo de verificar se a técnica empregada está em conformidade, deve-se modelar com as hipóteses adequadas; segundo que é possível perceber a influência das simplificações, neste caso a não consideração da deformação axial dos pilares, de modo a identificar a real necessidade de modificações ou campo de validade.

Os esforços internos de cada um dos pórticos são calculados e alguns são apresentados nas Figura 24 e juntamente com o obtido no software ANSYS. Em relação a força cortante, a comparação entre os métodos discretos e contínuos deve ser feita na metade da altura dos pilares já que nas intersecções de cada pavimento apresenta-se descontinuidades nos métodos discretos.

Figura 24 – Força Cortante no Pórtico 1 e 2 do edifício do exemplo 3.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Neste exemplo em que o edifício é composto apenas por pórticos, fica evidente que a análise realizada considerando à flexão global trouxe ganho na precisão na base do edifício em relação ao esforço cortante, assim como nos deslocamentos e rotações. No topo do edifício, ambos os modelos são semelhantes, indicando que a distribuição de esforços não é afetada. A TMC apresenta uma boa precisão para os esforços internos e neste caso a inclusão da flexão global mostrou-se relevante na descrição do comportamento na base, razão pela qual foi desenvolvida.

6 CONCLUSÃO

A Técnica do Meio Contínuo (TMC) na análise estrutural de edifícios altos mostrou-se bastante simples e eficiente nas fases iniciais de projeto. A simplicidade é oriunda das hipóteses de regime elástico-linear, uniformidade dos parâmetros elásticos e geométricos e consideração de um meio contínuo de rigidez equivalente, continuamente distribuída ao longo da altura do edifício, conduzindo a um sistema de poucas equações diferenciais. Além disso, promoveu-se a melhoria da técnica, sem perder sua praticidade, com a consideração da flexão global que trouxe ganhos nos resultados nos primeiros pavimentos.

Os painéis utilizados que formam o edifício são os pilares paredes, pórticos e núcleos de seções abertas de parede delgada que tiveram suas equações constitutivas desenvolvidas e associadas tridimensionalmente. Essas associações foram definidas tanto para os casos gerais (sem singularidade), nas quais usou-se técnicas de desacoplamento para solução, como para os casos de degeneração (singulares) que tiveram tratamentos de soluções específicos.

A consideração da flexão global nos pilares dos pórticos trouxe melhorias significativas no comportamento estrutural nos primeiros andares e seus efeitos são mais notáveis nos casos em que os pórticos exercem uma maior influência no desempenho geral dos edifícios. Esse fato pode ser visto ao avaliar a sequência dos exemplos: No primeiro exemplo, o edifício é composto por 3 pilares paredes o que faz a influência da consideração da flexão global quase não surtir efeito nenhum; no segundo exemplo, o edifício passa a possuir apenas um pilar parede e já há uma melhor descrição do comportamento do edifício ao considerar a flexão global; e no terceiro exemplo, que é composto apenas por pórticos, a atuação da flexão global é imprescindível.

Os resultados da análise da TMC foram comparados com os obtidos do método dos elementos finitos e estes se mostraram bem próximos e representativos levando em conta as simplificações da técnica. Neste tópico é importante destacar que a modelagem realizada nos programas de elementos finitos foram feitos de acordo com as hipóteses da TMC com o objetivo de ratificar a formulação apresentada. Observou-se também a maior velocidade de processamento e a facilidade na inserção de dados da TMC, menor chance de erro, em comparação com o método dos elementos finitos.

O desenvolvimento de um código computacional facilitou a aplicação da TMC em estruturas de edifício alto, permitindo uma inserção de dados simples e com um tempo de análise muito rápido devido ao baixo custo de processamento já que possui apenas três deslocamentos de incógnita.

Há possíveis áreas de aprimoramento da TMC, mas que esbarram na perda da sua praticidade e simplicidade que seriam a modelagem de materiais não lineares, consideração de efeitos localizados, variações de rigidezes e interações entre diferentes sistemas estruturais, consideração da deformação axial dos pilares, análise dinâmica dos edifícios altos e explorar a aplicação na parte de otimização estrutural.

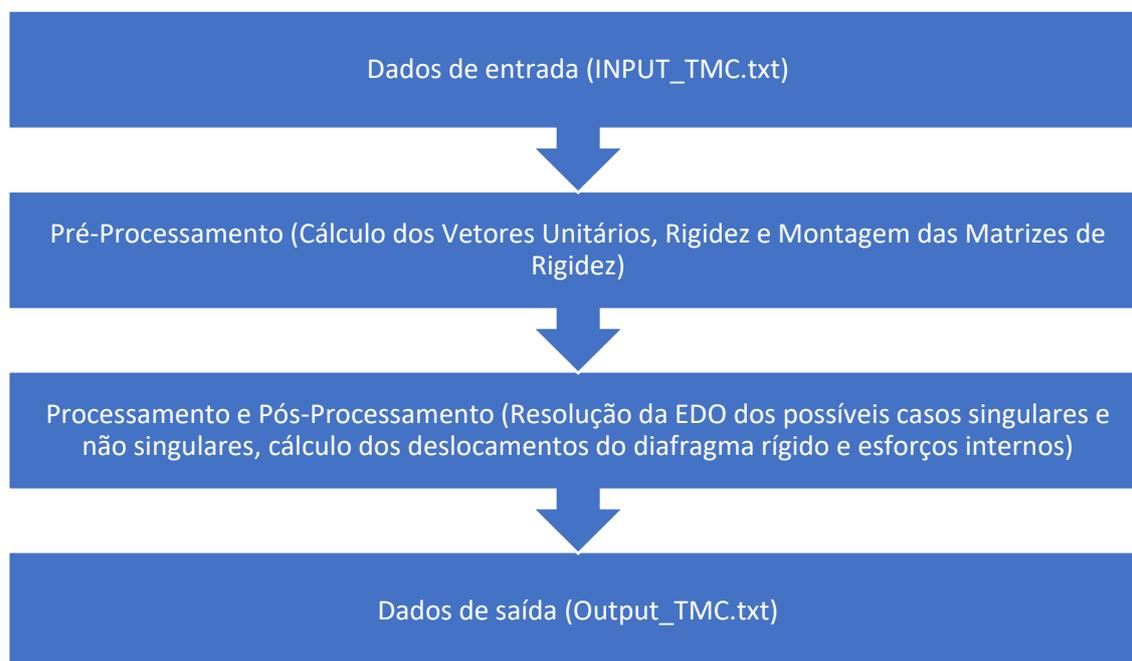
APÊNDICE A – APRESENTAÇÃO DO PROGRAMA TMC

A.1 Visão Geral

A Técnica do Meio Contínuo (TMC) para análise estrutural de edifícios altos em etapas preliminares é implementada na linguagem FORTRAN (FORMula TRANSLation) que é amplamente utilizada nos trabalhos científicos para aplicações matemáticas e programação na engenharia. Dessa forma, permite que uma técnica simples se torne ainda mais eficiente e auxilie na tomada de decisões nas fases preliminares de projeto.

O programa resolve uma estrutura de um edifício alto composto por pilares paredes, pórticos e núcleos de seção aberta de parede delgada obtendo os deslocamentos nas direções x, y e giro do edifício bem como de cada elemento estrutural na sua direção principal juntamente com os esforços de cortante e momento fletor. De forma didática, o algoritmo desenvolvido pode ser resumido em 4 grandes grupos (Figura 25), sendo abordados nos tópicos seguintes.

Figura 25 – Fluxograma do código computacional.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A.2 Dados de Entrada

Esta etapa consiste em transmitir para o programa desenvolvido todas as informações necessárias do problema, como altura e pé-direito do edifício, número de pilares paredes, pórticos, núcleos de seções abertas de paredes delgadas bem como suas

propriedades geométricas e mecânicas, ações externas e outras, para realização dos cálculos inclusos no código computacional. Estas informações são chamadas de dados de entrada do programa e são fornecidas pelo usuário do programa.

Para este trabalho, todos os dados de entrada foram reunidos em um arquivo INPUT_TMC.txt que será lido pelo programa. A estrutura do arquivo de entrada deve ser mantida para que o problema faça a leitura corretamente. Além de facilitar o trabalho de usuário, já que basta alterar os dados de entrada no arquivo .TXT.

As informações consideradas como dados de entrada para o programa são:

- Título: Identificação em caracteres alfanuméricos para o problema;
- Altura Total: A altura total do edifício;
- Pé-Direito: A Altura de cada andar;
- Número de Pórticos: Quantidade de pórticos que compõem o edifício;
- Número de Pilares-Parede: Quantidade de pilares-parede que compõem o edifício;
- Número de Núcleos de Seção Aberta de Parede Delgada: Quantidade de núcleos de seção aberta de parede delgada que compõem o edifício;
- Tipo de Análise: Número inteiro em que o valor zero (0) indica a escolha de uma análise apenas da flexão local, valor um (1) inclui a flexão global;
- Número de Pilares: Quantidade de Pilares que compõem os pórticos do edifício;
- Coordenadas dos Pilares e Seção Transversal (A X B): Indicação de cada pilar com as coordenadas x e y do centro da seção e suas dimensões sendo A na direção do eixo x e B do y. Além de seu módulo de elasticidade;
- Número de Vigas: Quantidade de Vigas que compõem os pórticos do edifício.
- Seção Transversal das Vigas (B X H): Indicação de cada viga com sua espessura (B) e altura (H) bem como seu módulo de elasticidade;
- Composição (0=Inércia em X,1=Inércia em Y): Informar a quantidade de pilares e o número da viga correspondente que compõem os pórticos bem como a sua inércia considerada, sendo que o valor zero (0) corresponde à inércia na direção X e o valor um (1) na direção Y;
- Incidências: Indicar quais os pilares que compõem os pórticos;

- Coordenadas dos Pilares-Paredes, Espessura (T) e Módulo de Elasticidade (1=Nó Inicial,2=Nó Final): As coordenadas x e y dos pilares-paredes são informadas em dois pontos sendo que o valor um (1) refere-se ao ponto inicial e o valor dois (2) ao ponto final, bem como sua espessura e módulo de elasticidade;
- Geometria do Núcleo de Seção Aberta: Informar o núcleo de seção aberta com as coordenadas do centro de cisalhamento (CW1 e CW2), os momentos de inércia em relação ao centro de cisalhamento, as inércias à flexo-torção (Iw) e de torção-livre (It) bem como seu módulo de elasticidade e módulo de cisalhamento;
- Número de forças: Informar a quantidade de ações laterais que atuam sobre o edifício;
- Tipo de Força (0=Concentrada no Topo,1=Distribuída Linearmente): Informar qual o tipo de força, valor igual a zero (0) para concentrada no topo e igual a um (1) para distribuída linearmente, sua intensidade e direções atuantes no edifício;
- Pós-Processamento: Informar qual o pórtico ou parede que deseja obter informações de cortante se o valor indicado for zero (0) ou de fletor se for um (1);

As unidades de grandeza do problema devem ser compatíveis, por isso cabe ao usuário atenção já que os resultados sairão em termos das unidades impostas pelo usuário.

Para ilustrar o processo de atribuição dos dados, foi escolhido o exemplo 3 desta dissertação. O arquivo de entrada preenchido é apresentado no Algoritmo 1, 2 e 3 e **Algoritmo 1 Algoritmo 1 Algoritmo 1 Algoritmo 1** a análise escolhida foi a de flexão global.

Algoritmo 1 Dados de entrada para o exemplo 3

```

-----DADOS GERAIS DO EDIFÍCIO-----
TÍTULO (TITULO):
-----
EXEMPLO 3
-----
ALTURA TOTAL (H):
-----
36
-----
PÉ-DIREITO (h):
-----
3
-----
NÚMERO DE PÓRTICOS (NPOR):
-----
15
-----
NÚMERO DE PILARES-PAREDE (NPP):
-----
0
-----
NÚMERO DE NÚCLEOS DE SEÇÃO ABERTA DE PAREDE DELGADA (NNSA):
-----
0
-----
-----ANÁLISE DA TMC-----
TIPO DE ANÁLISE: 0-FLEXÃO LOCAL;1-FLEXÃO GLOBAL
-----
1
-----
-----GEOMETRIA DOS PÓRTICOS-----
NÚMERO DE PILARES (NP):
-----
24
-----
COORDENADAS DOS PILARES E SEÇÃO TRANSVERSAL (A X B):
PILAR COORD.X COORD.Y A B MÓD.ELAST
-----
1 0 0 0.40 0.25 2500000000
2 0 4.97 0.40 0.75 2500000000
3 0 9.4 0.25 0.35 2500000000
4 7.2 -1.85 0.25 0.15 2500000000
5 7.2 0 0.85 0.50 2500000000
6 7.2 4.97 0.55 1.10 2500000000
7 7.2 9.4 0.60 0.35 2500000000
8 11.90 -1.85 0.30 0.60 2500000000
9 10.15 4.97 0.40 0.65 2500000000
10 10.15 6.67 0.25 0.40 2500000000
11 10.15 9.40 0.25 0.45 2500000000
12 10.15 12.35 0.15 0.25 2500000000
13 11.90 4.97 0.65 0.35 2500000000
14 23.8 0 0.40 0.25 2500000000
15 23.8 4.97 0.40 0.75 2500000000
16 23.8 9.4 0.25 0.35 2500000000
17 16.6 -1.85 0.25 0.15 2500000000
18 16.6 0 0.85 0.50 2500000000
19 16.6 4.97 0.55 1.10 2500000000
20 16.6 9.4 0.60 0.35 2500000000
21 13.65 4.97 0.40 0.65 2500000000
22 13.65 6.67 0.25 0.40 2500000000
23 13.65 9.40 0.25 0.45 2500000000
24 13.65 12.35 0.15 0.25 2500000000
-----
NÚMERO DE VIGAS (NV):
-----
11
-----

```

Algoritmo 2 Dados de entrada para o exemplo 3 (CONTINUAÇÃO)

SEÇÃO TRANSVERSAL DAS VIGAS (B X H):

VIGA B H MOD.ELAST

```

-----
1 0.12 0.50 25000000000
2 0.12 0.50 25000000000
3 0.12 0.30 25000000000
4 0.24 0.55 25000000000
5 0.12 0.50 25000000000
6 0.24 0.95 25000000000
7 0.12 0.75 25000000000
8 0.12 0.75 25000000000
9 0.12 0.35 25000000000
10 0.12 0.35 25000000000
11 0.12 0.35 25000000000
-----

```

COMPOSIÇÃO (0=INERCIA EM X,1=INERCIA EM Y)

PÓRTICO NUM.PILARES VIGA INÉRCIA

```

-----
1 3 1 1
2 4 2 1
3 4 3 1
4 2 4 1
5 3 5 0
6 4 6 0
7 7 7 0
8 3 8 0
9 2 9 0
10 2 10 0
11 2 11 0
12 3 1 1
13 4 2 1
14 4 3 1
15 3 8 0
-----

```

INCIDÊNCIAS:

PÓRTICO. P1 P2 P3 ... PX

```

-----
1 1 2 3
2 4 5 6 7
3 9 10 11 12
4 8 13
5 4 8 17
6 1 5 18 14
7 2 6 9 13 21 19 15
8 3 7 11
9 10 22
10 11 23
11 12 24
12 14 15 16
13 17 18 19 20
14 21 22 23 24
15 16 20 23
-----

```

```

-----GEOMETRIA DO PILAR-PAREDE-----
COORD.PILARES-PAREDES, ESPESSURA(T) E MÓDULO DE ELASTICIDADE (1=NÓ INICIAL,2=NÓ
FINAL):

```

PILAR-PAREDE COORD.X1 COORD.X2 COORD.Y1 COORD.Y2 T MÓD.ELAST

```

-----
1 0.00000000 0.00000000
-----

```

```

-----GEOMETRIA DO NÚCLEO DE SEÇÃO ABERTA-----
NÚCLEO CW1 CW2 ICW1 ICW2 IW IT MOD.ELAST MOD.CISLHAMENTO

```

```

-----
1
-----

```

Algoritmo 3 Dados de entrada para o exemplo 3 (CONTINUAÇÃO)

```

-----AÇÕES EXTERNAS-----
NÚMERO DE FORÇAS (NF)
-----
1
-----
TIPO DE FORÇA (0=CONCENTRADA NO TOPO,1=DISTRIBUÍDA LINEARMENTE)
TIPO F X1 Y1 Z1 X2 Y2 Z2
-----
1 23324 11.90 -1.85 0 11.90 12.35 36
-----PÓS-PROCESSAMENTO-----
ESFORÇOS (0=CORTANTE;1=FLETOR)
PÓRTICO ESFORÇO
-----
1 0
-----
ESFORÇOS (0=CORTANTE;1=FLETOR)
PAREDE ESFORÇO
-----
-----

```

A.3 Programa Principal

O programa principal para análise estrutural pela Técnica do Meio Contínuo de edifícios altos submetidos às ações laterais reúne todas as sequências lógicas do procedimento de cálculo de uma maneira macro, ou seja, contém todas as variáveis utilizadas e dita todo o processo por meio de sub-rotinas as quais incluem os códigos solicitados pelo programa principal.

Inicialmente declarou-se as bibliotecas utilizadas a fim de tornar o código mais prático e em seguida todas as variáveis utilizadas em todas as etapas como dados de entrada, procedimentos de cálculos e dados de saída.

Os dados de entrada e os de saída necessários para o programa são apresentados em arquivos de formato .TXT e devem ser associados a unidade lógica pelo programa. Essa conexão entre o arquivo e a unidade lógica se dá através do comando “OPEN”.

O código da declaração de variáveis, abertura dos arquivos e as sub-rotinas, que estão inseridas em módulo, são apresentadas no Algoritmo 4, 5 e 6. Em ordem de solicitação pelo programa principal, as sub-rotinas são: INPUT_TMC, VETORES_UNIT, RIGIDEZ, MATRIZ_RIGIDEZ, SISTEMA_PORTICO, SISTEMA_PAREDE, SISTEMA_SINGULAR, EIXO, MATRIZ_RIGIDEZ, SISTEMA_GERAL, OUTPUT_TMC.

Algoritmo 4 Declaração de Variáveis, Abertura de Arquivos e Programa Principal

```

PROGRAM TMC
!-----
!PROGRAMA DA TÉCNICA DO MEIO CONTÍNUO PARA EDIFÍCIOS ALTOS
!-----
INCLUDE 'link_fnl_static.h'
USE EVCSF_INT
USE CONTINUO
IMPLICIT NONE
!*****
!DECLARAÇÃO DAS VARIÁVEIS
!*****
CHARACTER(LEN=100)::TITULO !Titulo do problema
INTEGER(8)::NPOR,NPP,NNSA !Variáveis dos Dados Gerais Do Edifício
INTEGER(8)::ANL !Tipo de Análise
REAL(8)::H,HP !Altura do Edifício e Pé Direito
INTEGER(8)::NP,NV !Numero de Pilares e Numero de Vigas
REAL(8),ALLOCATABLE::PILAR(:, :) !Coordenadas dos Pilares e Seção Transversal
REAL(8),ALLOCATABLE::VIGA(:, :) !Características das Vigas
REAL(8),ALLOCATABLE::PORTICO(:, :) !Características dos Porticos
INTEGER(8),ALLOCATABLE::INC(:, :) !Incidência dos Pilares dos Porticos
INTEGER (8):: I,K,A !Auxiliares de Loop
REAL(8),ALLOCATABLE::PILARPAREDE(:, :) !Características dos Pilares-Paredes
REAL(8),ALLOCATABLE::NSA(:, :) !Características dos Nucleos de Secao Aberta
INTEGER(8)::NF !Número de forças
REAL(8),ALLOCATABLE::FP(:, :) !Forças Prescritas
INTEGER(8)::NODE_PORTICO,SOL_PORTICO,NODE_PAREDE,SOL_PAREDE !Solicitacoes para
processamento de Portico e Parede
REAL(8),ALLOCATABLE::DPF(:, :) !Distancia entre Pilares dos Porticos
REAL(8),ALLOCATABLE::Af(:) !Vetor Unitário do Pórtico na Direção X
REAL(8),ALLOCATABLE::Bf(:) !Vetor Unitário do Pórtico na Direção Y
REAL(8),ALLOCATABLE::Cf(:) !Distância do seu Plano ao eixo Oz
REAL(8),ALLOCATABLE::Aw(:) !Vetor Unitário do Pilar Parede na Direção X
REAL(8),ALLOCATABLE::Bw(:) !Vetor Unitário do Pilar Parede na Direção Y
REAL(8),ALLOCATABLE::Cw(:) !Distância do Plano do Pilar Parede ao eixo Oz
REAL(8),ALLOCATABLE::Lw(:) !Comprimento do Pilar Parede
REAL(8),ALLOCATABLE::Ac(:) !Vetor Unitário da Carga na Direção X
REAL(8),ALLOCATABLE::B(:) !Vetor Unitário da Carga na Direção Y
REAL(8),ALLOCATABLE::C(:) !Distância do Plano da Carga ao eixo Oz
REAL(8),ALLOCATABLE::D(:) !Comprimento do Pilar Parede
REAL(8),ALLOCATABLE::An(:) !Vetor Unitário do Núcleo na Direção X
REAL(8),ALLOCATABLE::Bn(:) !Vetor Unitário da Núcleo na Direção Y
REAL(8),ALLOCATABLE::Cn(:) !Distância do Núcleo ao eixo Oz
REAL(8),ALLOCATABLE::A1f(:) !Vetor Unitário do Pórtico na Direção X Transladado
REAL(8),ALLOCATABLE::B1f(:) !Vetor Unitário do Pórtico na Direção Y Transladado
REAL(8),ALLOCATABLE::C1f(:) !Distância do Plano do Pórtico ao eixo Oz Transladado
REAL(8),ALLOCATABLE::A1w(:) !Vetor Unitário do Pilar Parede na Direção X Transla-
dado
REAL(8),ALLOCATABLE::B1w(:) !Vetor Unitário do Pilar Parede na Direção Y Transla-
dado
REAL(8),ALLOCATABLE::C1w(:) !Distância do Plano do Pilar Parede ao eixo Oz Trans-
ladado
REAL(8),ALLOCATABLE::A1n(:) !Vetor Unitário do Núcleo na Direção X Transladado
REAL(8),ALLOCATABLE::B1n(:) !Vetor Unitário da Núcleo na Direção Y Transladado
REAL(8),ALLOCATABLE::C1n(:) !Distância do Núcleo ao eixo Oz Transladado
REAL(8),ALLOCATABLE::A2f(:) !Vetor Unitário do Pórtico na Direção X Rotacionado
REAL(8),ALLOCATABLE::B2f(:) !Vetor Unitário do Pórtico na Direção Y Rotacionado
REAL(8),ALLOCATABLE::C2f(:) !Distância do Plano do Pórtico ao eixo Oz Rotacionado
REAL(8),ALLOCATABLE::A2w(:) !Vetor Unitário do Pilar Parede na Direção X Rotacio-
nado
REAL(8),ALLOCATABLE::B2w(:) !Vetor Unitário do Pilar Parede na Direção Y Rotacio-
nado

```

Algoritmo 5 Declaração de Variáveis, Abertura de Arquivos e Programa Principal
(Continuação)

```

REAL(8),ALLOCATABLE::C2w(:) !Distância do Plano do Pilar Parede ao eixo Oz Rota-
cionado

REAL(8),ALLOCATABLE::A2n(:) !Vetor Unitário do Núcleo na Direção X Rotacionado
REAL(8),ALLOCATABLE::B2n(:) !Vetor Unitário da Núcleo na Direção Y Rotacionado
REAL(8),ALLOCATABLE::C2n(:) !Distância do Núcleo ao eixo Oz Rotacionado
REAL(8),ALLOCATABLE::A2c(:) !Vetor Unitário da Carga na Direção X Transladado e
Rotacionado
REAL(8),ALLOCATABLE::B2(:) !Vetor Unitário da Carga na Direção Y Transladado e
Rotacionado
REAL(8),ALLOCATABLE::C2(:) !Distância do Plano da Carga ao eixo Oz Transladado e
Rotacionado
REAL(8),ALLOCATABLE::Iv(:) !Inércia da Viga
REAL(8),ALLOCATABLE::Ip0(:) !Inércia do Pilar na Direção X
REAL(8),ALLOCATABLE::Ip1(:) !Inércia do Pilar na Direção Y
REAL(8),ALLOCATABLE::Kv(:) !Rigidez da Viga
REAL(8),ALLOCATABLE::Kp0(:) !Rigidez do Pilar na Direção X
REAL(8),ALLOCATABLE::Kp1(:) !Rigidez do Pilar na Direção Y
REAL(8),ALLOCATABLE::Sf(:) !Rigidez do Pórtico ao Cisalhamento
REAL(8),ALLOCATABLE::Jwf(:) !Rigidez do Pórtico a Flexão
REAL(8),ALLOCATABLE::Ipp(:) !Inércia do Pilar Parede
REAL(8),ALLOCATABLE::Jw(:) !Rigidez do Pilar Parede a Flexão
REAL(8),ALLOCATABLE::S(:, :) !Matriz de Rigidez ao Cisalhamento
REAL(8),ALLOCATABLE::J(:, :) !Matriz de Rigidez a Flexão
REAL(8),ALLOCATABLE::u(:) !Deslocamento u do Diafragma Rígido
REAL(8),ALLOCATABLE::v(:) !Deslocamento v do Diafragma Rígido
REAL(8),ALLOCATABLE::teta(:) !Rotação Teta do Diafragma Rígido
REAL(8),ALLOCATABLE::uf(:, :) !Deslocamento do Pórtico na Direção Principal
REAL(8),ALLOCATABLE::Qf(:, :) !Cortante do Pórtico
REAL(8),ALLOCATABLE::Mf(:, :) !Momento Fletor do Pórtico
REAL(8),ALLOCATABLE::uw(:, :) !Deslocamento da Parede na Direção Principal
REAL(8),ALLOCATABLE::Qw(:, :) !Cortante da Parede
REAL(8),ALLOCATABLE::Mw(:, :) !Momento Fletor da Parede
ALLOCATE(S(1:3,1:3))
ALLOCATE(J(1:3,1:3))

!-----INÍCIO-----
OPEN(UNIT=100,FILE='INPUT_TMC.TXT',FORM='FORMATTED') !ARQUIVO DE DADOS DE ENTRADA
OPEN(UNIT=200,FILE='OUTPUT_TMC.TXT',FORM='FORMATTED') !ARQUIVO DE DADOS DE SAÍDA

CALL INPUT_TMC (TITULO,H,HP,NPOR,NPP,NNSA,ANL,NP,NV,PILAR,VIGA,PORTICO,INC,PILAR-
PAREDE,NSA,NF,FP,NODE_PORTICO,SOL_PORTICO,NODE_PAREDE,SOL_PAREDE)
CALL VETORES_UNIT (NPOR,NPP,NNSA,NF,PORTICO,PILAR,PILARPA-
REDE,FP,INC,NSA,DPF,Af,Bf,Cf,Aw,Bw,Cw,Lw,Ac,B,C,D,An,Bn,Cn)
CALL RIGIDEZ (ANL,HP,NPOR,NP,NPP,NV,PILAR,PILARPAREDE,Lw,VIGA,POR-
TICO,INC,DPF,Kv,Kp0,Kp1,Sf,Jwf,Jw)
CALL MATRIZ_RIGIDEZ
(ANL,NPOR,NPP,NNSA,NSA,Sf,Jwf,Jw,Af,Bf,Cf,Aw,Bw,Cw,An,Bn,Cn,S,J)
IF(J(1,1)==0 .AND. J(1,2)==0 .AND. J(1,3)==0 .AND. J(2,2)==0 .AND. J(2,3)==0
.AND. J(3,3)==0) THEN
    CALL SISTEMA_PORTICO (H,HP,NPOR,NF,Af,Bf,Cf,Ac,B,C,FP,Sf,S,u,v,teta,Qf,Mf,uf)
ELSE IF (S(1,1)==0 .AND. S(1,2)==0 .AND. S(1,3)==0 .AND. S(2,2)==0 .AND.
S(2,3)==0 .AND. S(3,3)==0) THEN
    CALL SISTEMA_PAREDE (H,HP,NPP,NF,Aw,Bw,Cw,Ac,B,C,FP,J,Jw,u,v,teta,Qw,Mw,uw)
ELSE IF (DET(J)==0) THEN
    CALL SISTEMA_SINGULAR
(H,HP,NF,NPP,NPOR,NNSA,ANL,Aw,Bw,Cw,Af,Bf,Cf,An,Bn,Cn,Ac,B,C,FP,Sf,Jw,S,J,u,v,tet
a,uf,Qf,Mf,uw,Qw,Mw)
ELSE

```

Algoritmo 6 Declaração de Variáveis, Abertura de Arquivos e Programa Principal
 (Continuação)

```

CALL EIXO
(NPOR, NPP, NNSA, NF, ANL, J, Af, Bf, Cf, Aw, Bw, Cw, An, Bn, Cn, Ac, B, C, A2f, B2f, C2f, A2w, B2w, C2w
, A2n, B2n, C2n, A2c, B2, C2)
CALL MATRIZ_RIGIDEZ
(ANL, NPOR, NPP, NNSA, NSA, Sf, Jwf, Jw, A2f, B2f, C2f, A2w, B2w, C2w, A2n, B2n, C2n, S, J)
CALL SISTEMA_GE-
RAL(H, HP, ANL, NPOR, NPP, NF, FP, Sf, Jwf, Jw, S, J, A2f, B2f, C2f, A2w, B2w, C2w, A2c, B2, C2, u, v, t
eta, uf, uw, Qf, Mf, Qw, Mw)
END IF
CALL OUTPUT_TMC (TITULO, H, Hp, NPOR, NPP, NNSA, ANL, NODE_PORTICO, NODE_PAREDE, SOL_POR-
TICO, SOL_PAREDE, u, v, teta, uf, uw, Qf, Mf, Qw, Mw)
END PROGRAM

```

A.4 SUB-ROTINAS

As sub-rotinas criadas e utilizadas no programa serão descritas separadamente nos tópicos subsequentes. As variáveis utilizadas em cada sub-rotina são as mesmas do programa principal, as que forem específicas da sub-rotina serão mostrados nos algoritmos.

A.4.1 INPUT_TMC

A primeira sub-rotina utilizada corresponde a leitura dos dados de entrada. Ela consiste em ler linha por linha dos dados inseridos pelo usuário no arquivo .TXT devidamente padronizado, para haver a compatibilidade entre o arquivo de entrada e o programa.

Portanto, representa a etapa que irá salvar em variáveis todas as informações necessárias para resolução do edifício alto pela Técnica do Meio Contínuo que servirão de base para os procedimentos das próximas sub-rotinas.

O seu código está apresentado no Algoritmo 7, 8 e 9. Observe que para a leitura de algumas variáveis foram utilizados comandos de “Loop” (ou de repetição), pois a quantidade de dados varia de acordo com o problema.

Algoritmo 7 Sub-rotina INPUT_TMC

```

SUBROUTINE INPUT_TMC (TITULO,H,HP,NPOR,NPP,NNSA,ANL,NP,NV,PILAR,VIGA,POR-
TICO,INC,PILARPAREDE,NSA,NF,FP,NODE_PORTICO,SOL_PORTICO,NODE_PAREDE,SOL_PAREDE)
IMPLICIT NONE
! [...]DECLARAÇÃO DAS VARIÁVEIS
!LEITURA DE DADOS DE ENTRADA

READ(100,*) !-----DADOS GERAIS DO EDIFICIO-----
-----
READ(100,*) !TÍTULO (TITULO):
READ(100,*) !-----
-----
READ(100, '(A80)')TITULO
READ(100,*) !-----
-----
READ(100,*) !Altura Total (H)
READ(100,*) !-----
-----
READ(100,*)H
READ(100,*) !-----
-----
READ(100,*) !PÉ-DIREITO (h):
READ(100,*) !-----
-----
READ(100,*)HP
READ(100,*) !-----
-----
READ(100,*) !NÚMERO DE PÓRTICOS (NPOR):
READ(100,*) !-----
-----
READ(100,*)NPOR
READ(100,*) !-----
-----
READ(100,*) !NÚMERO DE PILARES-PAREDE (NPP):
READ(100,*) !-----
-----
READ(100,*)NPP
READ(100,*) !-----
-----
READ(100,*) !NÚMERO DE NÚCLEOS DE SEÇÃO ABERTA DE PAREDE DELGADA (NNSA):
READ(100,*) !-----
-----
READ(100,*)NNSA
READ(100,*) !-----ANÁLISE DA TMC-----
-----
READ(100,*) !TIPO DE ANÁLISE: 0-FLEXÃO LOCAL;1-FLEXÃO GLOBAL
READ(100,*) !-----
-----
READ(100,*)ANL
READ(100,*) !-----GEOMETRIA DOS PÓRTICOS-----
-----
READ(100,*) !NÚMERO DE PILARES (NP):
READ(100,*) !-----
-----
READ(100,*)NP
READ(100,*) !-----
-----
READ(100,*) !COORDENADAS DOS PILARES E SEÇÃO TRANSVERSAL (A X B):
READ(100,*) !PILAR COORD.X COORD.Y A B MOD.ELAST
READ(100,*) !-----
-----
ALLOCATE(PILAR(1:NP,1:6))
DO I=1,NP

```

Algoritmo 8 Sub-rotina INPUT_TMC (CONTINUAÇÃO)

```

      READ(100,*)PILAR(I,:)
END DO
READ(100,*) !-----
-----
READ(100,*) !NÚMERO DE VIGAS (NV):
READ(100,*) !-----
-----
READ(100,*)NV
READ(100,*) !-----
-----
READ(100,*) !SEÇÃO TRANSVERSAL DAS VIGAS (B X H):
READ(100,*) !VIGA B H MOD.ELAST
READ(100,*) !-----
-----
ALLOCATE(VIGA(1:NV,1:4))
DO I=1,NV
  READ(100,*)VIGA(I,:)
END DO
READ(100,*) !-----
-----
READ(100,*) !COMPOSIÇÃO (0=INERCIA EM X,1=INERCIA EM Y)
READ(100,*) !PÓRTICO NUM.PILARES VIGA INÉRCIA
READ(100,*) !-----
-----
ALLOCATE(PORTICO(1:NPOR,1:4))
DO I=1,NPOR
  READ(100,*)PORTICO(I,:)
END DO
READ(100,*) !-----
-----
READ(100,*) !INCIDÊNCIAS:
READ(100,*) !PÓRTICO. P1 P2 P3 ... PX
READ(100,*) !-----
-----
ALLOCATE(INC(1:NPOR,1:INT(MAXVAL(PORTICO(:,2)))))
INC=0.D0
DO I=1,NPOR
  K=PORTICO(I,2)
  READ(100,*)A,INC(I,1:K)
END DO
READ(100,*) !-----GEOMETRIA DO PILAR-PAREDE-----
-----
READ(100,*) !COORD.PILARES-PAREDES,ESPESSURA(T) E MÓDULO DE ELASTICIDADE(1=NÓ
INICIAL,2=NÓ FINAL):
READ(100,*) !PILAR-PAREDE COORD.X1 COORD.X2 COORD.Y1 COORD.Y2 T MÓD.ELAST
READ(100,*) !-----
-----
IF (NPP>0) THEN
  ALLOCATE(PILARPAREDE(1:NPP,1:7))
  DO I=1,NPP
    READ(100,*)PILARPAREDE(I,:)
  END DO
ELSE
  READ(100,*)
END IF
READ(100,*) !-----GEOMETRIA DO NÚCLEO DE SEÇÃO ABERTA-----
-----
READ(100,*) !NÚCLEO XW1 YW2 ICW1 ICW2 IW IT MOD.ELAST MOD.CISLHAMENTO
READ(100,*) !-----
-----
IF (NNSA>0) THEN
  ALLOCATE(NSA(1:NNSA,1:9))

```

Algoritmo 9 Sub-rotina INPUT_TMC (CONTINUAÇÃO)

```

    READ(100,*)((NSA(A,K),K=1,9),A=1,NNSA)
  ELSE
    READ(100,*)
  END IF
  READ(100,*) !-----AÇÕES EXTERNAS-----
  -----
  READ(100,*) !NÚMERO DE FORÇAS (NF)
  READ(100,*) !-----
  -----
  READ(100,*)NF
  READ(100,*) !-----
  -----
  READ(100,*) !TIPO DE FORÇA (0=CONCENTRADA,1=DISTRIBUÍDA LINEARMENTE)
  READ(100,*) !TIPO F X1 Y1 Z1 X2 Y2 Z2
  READ(100,*) !-----
  -----
  ALLOCATE (FP(1:NF,1:8))
  READ(100,*)((FP(A,K),K=1,8),A=1,NF)
  READ(100,*) !-----PÓS-PROCESSAMENTO-----
  -----
  READ(100,*) !ESFORÇOS (0=CORTANTE;1=FLETOR)
  READ(100,*) !PÓRTICO ESFORÇO
  READ(100,*) !-----
  -----
  READ(100,*)NODE_PORTICO, SOL_PORTICO
  READ(100,*)!-----
  -----
  READ(100,*)!ESFORÇOS (0=CORTANTE;1=FLETOR)
  READ(100,*)!PAREDE ESFORÇO
  READ(100,*)!-----
  -----
  IF (NPP>0) THEN
    READ(100,*)NODE_PAREDE, SOL_PAREDE
  ELSE
    READ(100,*)
  END IF
  READ(100,*)!-----
  -----
  END SUBROUTINE INPUT_TMC

```

A.4.2 VETORES_UNIT

Esta sub-rotina é responsável por calcular os vetores unitários ($a, b e c$) das paredes, pórticos, núcleos de seção aberta e carga através das coordenadas informadas das paredes, pilares. Seu código está presente no Algoritmo 10 e 11.

Algoritmo 10 Sub-rotina VETORES_UNIT

```

SUBROUTINE VETORES_UNIT (NPOR,NPP,NNSA,NF,PORTICO,PILAR,PILARPA-
REDE,FP,INC,NSA,DPF,Af,Bf,Cf,Aw,Bw,Cw,Lw,Ac,B,C,D,An,Bn,Cn)
IMPLICIT NONE
! [...]DECLARAÇÃO DAS VARIÁVEIS
ALLOCATE(DPF(1:NPOR,1:INT(MAXVAL(PORTICO(:,2)))-1))
DPF=0.D0
DO I=1,NPOR
  DO K=1,PORTICO(I,2)-1
    DPF(I,K)=SQRT((PILAR(INC(I,K+1),2)-PILAR(INC(I,K),2))**2 + (PI-
LAR(INC(I,K+1),3)-PILAR(INC(I,K),3))**2)
  END DO
END DO
ALLOCATE(Af(1:NPOR))
Af=0.D0
ALLOCATE(Bf(1:NPOR))
Bf=0.D0
ALLOCATE(Cf(1:NPOR))
Cf=0.D0
DO I=1,NPOR
  Af(I)=(PILAR(INC(I,2),2)-PILAR(INC(I,1),2))/DPF(I,1)
  Bf(I)=(PILAR(INC(I,2),3)-PILAR(INC(I,1),3))/DPF(I,1)
  Cf(I)=PILAR(INC(I,1),2)*Bf(I)-PILAR(INC(I,1),3)*Af(I)
END DO
ALLOCATE(Aw(1:NPP))
Aw=0.D0
ALLOCATE(Bw(1:NPP))
Bw=0.D0
ALLOCATE(Cw(1:NPP))
Cw=0.D0
ALLOCATE(Lw(1:NPP))
Lw=0.D0
DO I=1,NPP
  Lw(I)=SQRT((PILARPAREDE(I,3)-PILARPAREDE(I,2))**2+(PILARPAREDE(I,5)-PILARPA-
REDE(I,4))**2)
  Aw(I)=(PILARPAREDE(I,3)-PILARPAREDE(I,2))/Lw(I)
  Bw(I)=(PILARPAREDE(I,5)-PILARPAREDE(I,4))/Lw(I)
  Cw(I)=PILARPAREDE(I,2)*Bw(I)-PILARPAREDE(I,4)*Aw(I)
END DO

ALLOCATE(Ac(1:NF))
Ac=0.D0
ALLOCATE(B(1:NF))
B=0.D0
ALLOCATE(C(1:NF))
C=0.D0
ALLOCATE(D(1:NF))
D=0.D0
DO I=1,NF
  D(I)=SQRT((FP(I,6)-FP(I,3))**2+(FP(I,7)-FP(I,4))**2)
  Ac(I)=(FP(I,6)-FP(I,3))/D(I)
  B(I)=(FP(I,7)-FP(I,4))/D(I)
  C(I)=FP(I,3)*B(I)-FP(I,4)*Ac(I)
END DO

```

Algoritmo 11 Sub-rotina VETORES_UNIT (CONTINUAÇÃO)

```

ALLOCATE(An(1:NNSA))
An=0.D0
ALLOCATE(Bn(1:NNSA))
Bn=0.D0
ALLOCATE(Cn(1:2*NNSA))
Cn=0.D0
K=0
DO I=1,NNSA
  An(I)=1
  Bn(I)=1
  Cn(I+K)=-NSA(I,3)
  Cn(I+K+1)=NSA(I,2)
  K=K+1
END DO

END SUBROUTINE VETORES_UNIT

```

A.4.3 RIGIDEZ

A partir das características geométricas dos pilares, pórticos, paredes e núcleos de parede aberta de seção delgada informadas no arquivo de entrada, são calculados as rigidezes ao cisalhamento no caso dos pórticos e à flexão quando forem paredes ou pórticos ao se considerar a flexão global. Seu código está presente no Algoritmo 12,13 e 14.

Algoritmo 12 Sub-rotina RIGIDEZ

```

SUBROUTINE RIGIDEZ (ANL,HP,NPOR,NP,NPP,NV,PILAR,PILARPADEDE,Lw,VIGA,POR-
TICO,INC,DPF,Kv,Kp0,Kp1,Sf,Jwf,Jw)
IMPLICIT NONE
! [...]DECLARAÇÃO DAS VARIÁVEIS
ALLOCATE(Iv(1:NV))
Iv=0.D0
ALLOCATE(Kv(1:NV))
Kv=0.D0
DO I=1,NV
  Iv(I)=VIGA(I,2)*VIGA(I,3)**3/12
  Kv(I)=VIGA(I,4)*Iv(I)
END DO
ALLOCATE(Ip0(1:NP))
Ip0=0.D0
ALLOCATE(Ip1(1:NP))
Ip1=0.D0
ALLOCATE(Kp0(1:NP))
Kp0=0.D0
ALLOCATE(Kp1(1:NP))
Kp1=0.D0
DO I=1,NP
  Ip0(I)=PILAR(I,5)*(PILAR(I,4)**3)/12
  Ip1(I)=PILAR(I,4)*(PILAR(I,5)**3)/12
  Kp0(I)=(1/HP)*PILAR(I,6)*Ip0(I)
  Kp1(I)=(1/HP)*PILAR(I,6)*Ip1(I)
END DO

ALLOCATE(Sf(1:NPOR))
Sf=0.D0

```

Algoritmo 13 Sub-rotina RIGIDEZ (CONTINUAÇÃO)

```

DO I=1,NPOR
  IF ((PORTICO(I,4))==0) THEN
    DO K=1,PORTICO (I,2)
      IF (K==1) THEN
        Sf(I)=Sf(I)+Kp0(INC(I,K))*(Kv(POR-
TICO(I,3))/DPF(I,K))/(2*Kp0(INC(I,K))+Kv(PORTICO(I,3))/DPF(I,K))
      ELSE IF (K==PORTICO (I,2)) THEN
        Sf(I)=Sf(I)+Kp0(INC(I,K))*(Kv(PORTICO(I,3))/DPF(I,K-
1))/(2*Kp0(INC(I,K))+Kv(PORTICO(I,3))/DPF(I,K-1))
      ELSE
        Sf(I)=Sf(I)+Kp0(INC(I,K))*(Kv(PORTICO(I,3))/DPF(I,K-1)+Kv(POR-
TICO(I,3))/DPF(I,K))/(2*Kp0(INC(I,K))+Kv(PORTICO(I,3))/DPF(I,K-1)+Kv(POR-
TICO(I,3))/DPF(I,K))
      END IF
    END DO
  ELSE
    DO K=1,PORTICO (I,2)
      IF (K==1) THEN
        Sf(I)=Sf(I)+Kp1(INC(I,K))*(Kv(POR-
TICO(I,3))/DPF(I,K))/(2*Kp1(INC(I,K))+Kv(PORTICO(I,3))/DPF(I,K))
      ELSE IF (K==PORTICO (I,2)) THEN
        Sf(I)=Sf(I)+Kp1(INC(I,K))*(Kv(PORTICO(I,3))/DPF(I,K-
1))/(2*Kp1(INC(I,K))+Kv(PORTICO(I,3))/DPF(I,K-1))
      ELSE
        Sf(I)=Sf(I)+Kp1(INC(I,K))*(Kv(PORTICO(I,3))/DPF(I,K-1)+Kv(POR-
TICO(I,3))/DPF(I,K))/(2*Kp1(INC(I,K))+Kv(PORTICO(I,3))/DPF(I,K-1)+Kv(POR-
TICO(I,3))/DPF(I,K))
      END IF
    END DO
  END IF
END DO
Sf=Sf*(12/Hp)
IF (ANL==1) THEN
  ALLOCATE(Jwf(1:NPOR))
  Jwf=0.D0
  DO I=1,NPOR
    IF ((PORTICO(I,4))==0) THEN
      DO K=1,PORTICO (I,2)
        IF (K==1) THEN

Jwf(I)=Jwf(I)+Kp0(INC(I,K))*(2*Kp0(INC(I,K)))/(2*Kp0(INC(I,K))+Kv(POR-
TICO(I,3))/DPF(I,K))
          ELSE IF (K==PORTICO (I,2)) THEN

Jwf(I)=Jwf(I)+Kp0(INC(I,K))*(2*Kp0(INC(I,K)))/(2*Kp0(INC(I,K))+Kv(POR-
TICO(I,3))/DPF(I,K-1))
          ELSE

Jwf(I)=Jwf(I)+Kp0(INC(I,K))*(2*Kp0(INC(I,K)))/(2*Kp0(INC(I,K))+Kv(POR-
TICO(I,3))/DPF(I,K-1)+Kv(PORTICO(I,3))/DPF(I,K))
          END IF
        END DO
      ELSE
        DO K=1,PORTICO (I,2)
          IF (K==1) THEN

Jwf(I)=Jwf(I)+Kp1(INC(I,K))*(2*Kp1(INC(I,K)))/(2*Kp1(INC(I,K))+Kv(POR-
TICO(I,3))/DPF(I,K))
          END IF
        END DO
      END IF
    END DO
  END IF

```

Algoritmo 14 Sub-rotina RIGIDEZ (CONTINUAÇÃO)

```

ELSE IF (K==PORTICO (I,2)) THEN

Jwf(I)=Jwf(I)+Kp1(INC(I,K))*(2*Kp1(INC(I,K)))/(2*Kp1(INC(I,K))+Kv(POR-
TICO(I,3))/DPF(I,K-1))
ELSE

Jwf(I)=Jwf(I)+Kp1(INC(I,K))*(2*Kp1(INC(I,K)))/(2*Kp1(INC(I,K))+Kv(POR-
TICO(I,3))/DPF(I,K-1)+Kv(PORTICO(I,3))/DPF(I,K))
END IF
END DO
END IF
END DO
END IF
Jwf=Hp*Jwf
ALLOCATE(Ipp(1:NPP))
Ipp=0.D0
ALLOCATE(Jw(1:NPP))
Jw=0.D0
DO I=1,NPP
  Ipp(I)=PILARPAREDE(I,6)*(Lw(I)**3)/12
  Jw(I)=PILARPAREDE(I,7)*Ipp(I)
END DO
END SUBROUTINE RIGIDEZ

```

A.4.4 MATRIZ RIGIDEZ

A montagem da matriz rigidez é realizada nesta sub-rotina com base nos vetores unitários e rigidezes calculadas anteriormente. Esta sub-rotina é solicitada duas vezes pelo programa principal, porque nos casos gerais para realizar o desacoplamento é necessário rotacionar os eixos, o que faz os vetores unitários mudarem e conseqüentemente sua matriz de rigidez. O código computacional está presente no Algoritmo 15 e 16.

Algoritmo 15 Sub-rotina MATRIZ_RIGIDEZ

```

SUBROUTINE MATRIZ_RIGIDEZ
(ANL,NPOR,NPP,NNSA,NSA,Sf,Jwf,Jw,Af,Bf,Cf,Aw,Bw,Cw,An,Bn,Cn,S,J)
IMPLICIT NONE
![...]DECLARAÇÃO DAS VARIÁVEIS
S=0.D0
DO I=1,NPOR
  S(1,1)=S(1,1)+sf(I)*Af(I)*Af(I)
  S(1,2)=S(1,2)+sf(I)*Af(I)*Bf(I)
  S(1,3)=S(1,3)+sf(I)*Af(I)*Cf(I)
  S(2,1)=S(1,2)
  S(2,2)=S(2,2)+sf(I)*Bf(I)*Bf(I)
  S(2,3)=S(2,3)+sf(I)*Bf(I)*Cf(I)
  S(3,1)=S(1,3)
  S(3,2)=S(2,3)
  S(3,3)=S(3,3)+sf(I)*Cf(I)*Cf(I)
END DO

```

Algoritmo 16 Sub-rotina **MATRIZ_RIGIDEZ** (CONTINUAÇÃO)

```

J=0.D0
IF (ANL==1) THEN
  DO I=1,NPOR
    J(1,1)=J(1,1)+Jwf(I)*Af(I)*Af(I)
    J(1,2)=J(1,2)+Jwf(I)*Af(I)*Bf(I)
    J(1,3)=J(1,3)+Jwf(I)*Af(I)*Cf(I)
    J(2,1)=J(1,2)
    J(2,2)=J(2,2)+Jwf(I)*Bf(I)*Bf(I)
    J(2,3)=J(2,3)+Jwf(I)*Bf(I)*Cf(I)
    J(3,1)=J(1,3)
    J(3,2)=J(2,3)
    J(3,3)=J(3,3)+Jwf(I)*Cf(I)*Cf(I)
  END DO
END IF
DO I=1,NPP
  J(1,1)=J(1,1)+Jw(I)*Aw(I)*Aw(I)
  J(1,2)=J(1,2)+Jw(I)*Aw(I)*Bw(I)
  J(1,3)=J(1,3)+Jw(I)*Aw(I)*Cw(I)
  J(2,1)=J(1,2)
  J(2,2)=J(2,2)+Jw(I)*Bw(I)*Bw(I)
  J(2,3)=J(2,3)+Jw(I)*Bw(I)*Cw(I)
  J(3,1)=J(1,3)
  J(3,2)=J(2,3)
  J(3,3)=J(3,3)+Jw(I)*Cw(I)*Cw(I)
END DO
K=0
DO I=1,NNSA
  J(1,1)=J(1,1)+NSA(I,8)*NSA(I,5)*An(I)*An(I)
  J(1,3)=J(1,3)+NSA(I,8)*NSA(I,5)*An(I)*Cn(I+K)
  J(2,2)=J(2,2)+NSA(I,8)*NSA(I,4)*Bn(I)*Bn(I)
  J(2,3)=J(2,3)+NSA(I,8)*NSA(I,4)*Bn(I)*Cw(I+K+1)
  J(3,1)=J(1,3)
  J(3,2)=J(2,3)
  J(3,3)=J(3,3)+NSA(I,8)*NSA(I,5)*Cn(I+k)*Cn(I+k)
  J(3,3)=J(3,3)+NSA(I,8)*NSA(I,4)*Cn(I+k+1)*Cn(I+k+1)
  J(3,3)=J(3,3)+NSA(I,8)*NSA(I,6)
  K=K+1
  S(3,3)=S(3,3)+NSA(I,9)*NSA(I,7)
END DO
END SUBROUTINE MATRIZ_RIGIDEZ

```

A.4.5 EVCSF

Essa sub-rotina faz parte do uso da base de dados da Biblioteca IMSL do Fortran para obtenção dos autovalores e autovetores necessários para o desacoplamento dos deslocamentos em cada direção. Com a montagem das matrizes de rigidez na sub-rotina “MATRIZ_RIGIDEZ”, utiliza-se como argumentos a matriz de rigidez que se tem interesse em diagonalizar, a matriz com os autovalores e a matriz com os autovetores que se deseja descobrir. Está presente nas sub-rotinas subsequentes para auxiliar no processo de resolução da equação diferencial.

Não há detalhamento da sub-rotina pelo fato de ela ser um procedimento de cálculo interno na biblioteca IMSL do Fortran, porém vale se ressaltar que só aceita como argumento matrizes com dupla precisão, real 8.

A.4.6 SISTEMA_PÓRTICO

Esta sub-rotina serve para calcular os deslocamentos do diafragma rígido, do pórtico na direção principal bem como seus momentos fletores e cortantes para a associação de apenas pórticos sem considerar a flexão global. Os casos singulares tratados são os de apenas pórticos paralelos ao eixo y ou x coincidentes ou não com o sistema de referência. Além do caso geral em que seu determinante é diferente de zero.

Seu código computacional está presente no Algoritmo 17,18,19,20 e 21.

Algoritmo 17 Sub-rotina SISTEMA_PORTICO

```

SUBROUTINE SISTEMA_PORTICO
(H,HP,NPOR,NF,Af,Bf,Cf,Ac,B,C,FP,Sf,S,u,v,teta,Qf,Mf,uf)
IMPLICIT NONE
! [...]DECLARAÇÃO DAS VARIÁVEIS
ALLOCATE (u(1:int(H/Hp+1)))
u=0.D0
ALLOCATE (v(1:int(H/Hp+1)))
v=0.D0
ALLOCATE (teta(1:int(H/Hp+1)))
teta=0.D0
ALLOCATE (uf(1:NPOR,1:int(H/Hp+1)))
uf=0.D0
ALLOCATE (Qf(1:NPOR,1:int(H/Hp+1)))
Qf=0.D0
ALLOCATE (Mf(1:NPOR,1:int(H/Hp+1)))
Mf=0.D0
IF (S(1,1)==0 .AND. S(1,2)==0 .AND. S(1,3)==0 .AND. S(2,3)==0 .AND. S(3,3)==0)
THEN !Apenas Pórtico paralelo ao eixo Oy e Coincidente com o Sistema de Referên-
cia
DO I=1,NF
K=0
A=1
DO WHILE (K<=H)
IF (FP(I,1)==1) THEN
v(A)=v(A)+B(I)*FP(I,2)*((2*H-K)*K)/(2*S(2,2))
ELSE IF (FP(I,1)==0) THEN
v(A)=v(A)+B(I)*FP(I,2)*(K)/(S(2,2))
END IF
K=K+Hp
A=A+1
END DO
END DO
DO L=1,NPOR
DO I=1,NF
K=0
A=1
DO WHILE (K<=H)
IF (FP(I,1)==1) THEN
Qf(L,A)=Qf(L,A)+B(I)*FP(I,2)*Sf(L)*(H-K)/S(2,2)
Mf(L,A)=Mf(L,A)+B(I)*FP(I,2)*Sf(L)*(H-K)**2/(2*S(2,2))

```

Algoritmo 18 Sub-rotina SISTEMA_PORTICO (CONTINUAÇÃO)

```

ELSE IF (FP(I,1)==0) THEN
    Qf(L,A)=Qf(L,A)+B(I)*FP(I,2)*Sf(L)/S(2,2)
    Mf(L,A)=Mf(L,A)+B(I)*FP(I,2)*Sf(L)*(H-K)/S(2,2)
    END IF
    K=K+Hp
    A=A+1
    END DO
END DO
ELSE IF (S(2,2)==0 .AND. S(1,2)==0 .AND. S(1,3)==0 .AND. S(2,3)==0 .AND.
S(3,3)==0) THEN !Apenas Pórtico paralelo ao eixo Ox e Coincidente com o Sistema
de Referência
    DO I=1,NF
        K=0
        A=1
        DO WHILE (K<=H)
            IF (FP(I,1)==1) THEN
                u(A)=u(A)+Ac(I)*FP(I,2)*((2*H-K)*K)/(2*S(1,1))
            ELSE IF (FP(I,1)==0) THEN
                u(A)=u(A)+Ac(I)*FP(I,2)*K/(S(1,1))
            END IF
            K=K+Hp
            A=A+1
        END DO
    END DO
    DO L=1,NPOR
        DO I=1,NF
            K=0
            A=1
            DO WHILE (K<=H)
                IF (FP(I,1)==1) THEN
                    Qf(L,A)=Qf(L,A)+Ac(I)*FP(I,2)*Sf(L)*(H-K)/S(1,1)
                    Mf(L,A)=Mf(L,A)+Ac(I)*FP(I,2)*Sf(L)*(H-K)**2/(2*S(1,1))
                ELSE IF (FP(I,1)==0) THEN
                    Qf(L,A)=Qf(L,A)+Ac(I)*FP(I,2)*Sf(L)/S(1,1)
                    Mf(L,A)=Mf(L,A)+Ac(I)*FP(I,2)*Sf(L)*(H-K)/S(1,1)
                END IF
                K=K+Hp
                A=A+1
            END DO
        END DO
    END DO
ELSE IF (S(1,1)==0 .AND. S(1,2)==0 .AND. S(1,3)==0 ) THEN !Apenas Pórtico par-
alelo ao eixo Oy
    DO I=1,NF
        K=0
        A=1
        DO WHILE (K<=H)
            IF (FP(I,1)==1) THEN
                v(A)=v(A)+FP(I,2)*k*((C(I)*S(2,3)-B(I)*S(3,3))*(2*H-
K))/(2*(S(2,3)**2-S(2,2)*S(3,3)))
                teta(A)=teta(A)+FP(I,2)*k*((C(I)*S(2,2)-B(I)*S(2,3))*(2*H-K)/(-
2*(S(2,3)**2-S(2,2)*S(3,3)))
            ELSE IF (FP(I,1)==0) THEN
                v(A)=v(A)+FP(I,2)*k*(C(I)*S(2,3)-B(I)*S(3,3))/((S(2,3)**2-
S(2,2)*S(3,3)))
                teta(A)=teta(A)+FP(I,2)*k*((C(I)*S(2,2)-B(I)*S(2,3))/((-
S(2,3)**2+S(2,2)*S(3,3)))
            END IF
            K=K+Hp
            A=A+1
        END DO
    END DO

```

Algoritmo 19 Sub-rotina SISTEMA_PORTICO (CONTINUAÇÃO)

```

END DO
DO L=1,NPOR
  DO I=1,NF
    K=0
    A=1
    DO WHILE (K<=H)
      IF (FP(I,1)==1) THEN
        Qf(L,A)=Qf(L,A)+FP(I,2)*sf(L)*(H-K)*(-
C(I)*Cf(L)*S(2,2)+C(I)*Bf(L)*S(2,3)+B(I)*Cf(L)*S(2,3)-
B(I)*Bf(L)*S(3,3))/(S(2,3)**2-S(2,2)*S(3,3))
        Mf(L,A)=Mf(L,A)+FP(I,2)*sf(L)*((H-K)**2)*(C(I)*Cf(L)*S(2,2)-
C(I)*Bf(L)*S(2,3)-B(I)*Cf(L)*S(2,3)+B(I)*Bf(L)*S(3,3))/(-2*(S(2,3)**2-
S(2,2)*S(3,3)))
      ELSE IF (FP(I,1)==0) THEN
        Qf(L,A)=Qf(L,A)+FP(I,2)*sf(L)*(-
C(I)*Cf(L)*S(2,2)+C(I)*Bf(L)*S(2,3)+B(I)*Cf(L)*S(2,3)-
B(I)*Bf(L)*S(3,3))/(S(2,3)**2-S(2,2)*S(3,3))
        Mf(L,A)=Mf(L,A)+FP(I,2)*sf(L)*(H-K)*(-
C(I)*Cf(L)*S(2,2)+C(I)*Bf(L)*S(2,3)+B(I)*Cf(L)*S(2,3)-
B(I)*Bf(L)*S(3,3))/(S(2,3)**2-S(2,2)*S(3,3))
      END IF
      K=K+Hp
      A=A+1
    END DO
  END DO
  END DO
  ELSE IF (S(2,2)==0 .AND. S(1,2)==0 .AND. S(2,3)==0 ) THEN!Apenas Pórtico paralelo
  ao eixo Ox
    DO I=1,NF
      K=0
      A=1
      DO WHILE (K<=H)
        IF (FP(I,1)==1) THEN
          u(A)=u(A)+FP(I,2)*k*((C(I)*S(1,3)-Ac(I)*S(3,3))*(2*H-
K))/(2*(S(1,3)**2-S(1,1)*S(3,3)))
          teta(A)=teta(A)+FP(I,2)*k*((C(I)*S(1,1)-Ac(I)*S(1,3))*(2*H-K))/(-
2*(S(1,3)**2-S(1,1)*S(3,3)))
        ELSE IF (FP(I,1)==0) THEN
          u(A)=u(A)+FP(I,2)*k*(C(I)*S(1,3)-Ac(I)*S(3,3))/((S(1,3)**2-
S(1,1)*S(3,3)))
          teta(A)=teta(A)+FP(I,2)*k*((C(I)*S(1,1)-Ac(I)*S(1,3)))/((-
S(1,3)**2+S(1,1)*S(3,3)))
        END IF
        K=K+Hp
        A=A+1
      END DO
    END DO
  END DO
  DO L=1,NPOR
    DO I=1,NF
      K=0
      A=1
      DO WHILE (K<=H)
        IF (FP(I,1)==1) THEN
          Qf(L,A)=Qf(L,A)+FP(I,2)*sf(L)*(H-K)*(-
C(I)*Cf(L)*S(1,1)+C(I)*Af(L)*S(1,3)+Ac(I)*Cf(L)*S(1,3)-
Ac(I)*Af(L)*S(3,3))/(S(1,3)**2-S(1,1)*S(3,3))
          Mf(L,A)=Mf(L,A)+FP(I,2)*sf(L)*((H-K)**2)*(C(I)*Cf(L)*S(1,1)-
C(I)*Af(L)*S(1,3)-Ac(I)*Cf(L)*S(1,3)+Ac(I)*Af(L)*S(3,3))/(-2*(S(1,3)**2-
S(1,1)*S(3,3)))
        ELSE IF (FP(I,1)==0) THEN

```

Algoritmo 20 Sub-rotina SISTEMA_PORTICO (CONTINUAÇÃO)

```

      Qf(L,A)=Qf(L,A)+FP(I,2)*sf(L)*(-
C(I)*Cf(L)*S(1,1)+C(I)*Af(L)*S(1,3)+Ac(I)*Cf(L)*S(1,3)-
Ac(I)*Af(L)*S(3,3))/(S(1,3)**2-S(1,1)*S(3,3))
      Mf(L,A)=Mf(L,A)+FP(I,2)*sf(L)*(H-K)*(-
C(I)*Cf(L)*S(1,1)+C(I)*Af(L)*S(1,3)+Ac(I)*Cf(L)*S(1,3)-
Ac(I)*Af(L)*S(3,3))/((S(1,3)**2-S(1,1)*S(3,3)))
      END IF
      K=K+Hp
      A=A+1
      END DO
    END DO
  ELSE IF (DET(S)/=0) THEN
    ALLOCATE(EVAL(1:3))
    EVAL=0.D0
    ALLOCATE(EVEC(1:3,1:3))
    EVEC=0.D0
    CALL EVCSF(S,EVAL,EVEC)
    DO I=1,NF
      K=0
      A=1
      DO WHILE (K<=H)
        IF (FP(I,1)==1) THEN
          u(A)=u(A)+FP(I,2)*K*(2*H-
K)/(2*EVAL(1)*EVAL(2)*EVAL(3))*(EVAL(1)*EVAL(2)*EVEC(1,3)*(Ac(I)*EVEC(1,3)+B(I)*E
VEC(2,3)+C(I)*EVEC(3,3))+EVAL(1)*EVAL(3)*EVEC(1,2)*(Ac(I)*EVEC(1,2)+B(I)*EVEC(2,2
)+C(I)*EVEC(3,2))+EVAL(2)*EVAL(3)*EVEC(1,1)*(Ac(I)*EVEC(1,1)+B(I)*EVEC(2,1)+C(I)*
EVEC(3,1)))
          v(A)=v(A)+FP(I,2)*K*(2*H-
K)/(2*EVAL(1)*EVAL(2)*EVAL(3))*(EVAL(1)*EVAL(2)*EVEC(2,3)*(Ac(I)*EVEC(1,3)+B(I)*E
VEC(2,3)+C(I)*EVEC(3,3))+EVAL(1)*EVAL(3)*EVEC(2,2)*(Ac(I)*EVEC(1,2)+B(I)*EVEC(2,2
)+C(I)*EVEC(3,2))+EVAL(2)*EVAL(3)*EVEC(2,1)*(Ac(I)*EVEC(1,1)+B(I)*EVEC(2,1)+C(I)*
EVEC(3,1)))
          teta(A)=teta(A)+FP(I,2)*K*(2*H-
K)/(2*EVAL(1)*EVAL(2)*EVAL(3))*(EVAL(1)*EVAL(2)*EVEC(3,3)*(Ac(I)*EVEC(1,3)+B(I)*E
VEC(2,3)+C(I)*EVEC(3,3))+EVAL(1)*EVAL(3)*EVEC(3,2)*(Ac(I)*EVEC(1,2)+B(I)*EVEC(2,2
)+C(I)*EVEC(3,2))+EVAL(2)*EVAL(3)*EVEC(3,1)*(Ac(I)*EVEC(1,1)+B(I)*EVEC(2,1)+C(I)*
EVEC(3,1)))
        ELSE IF (FP(I,1)==0) THEN
          u(A)=u(A)+FP(I,2)*K/(EVAL(1)*EVAL(2)*EVAL(3))*(EVAL(1)*EVAL(2)*EVEC(1,3)*(Ac(I)*E
VEC(1,3)+B(I)*EVEC(2,3)+C(I)*EVEC(3,3))+EVAL(1)*EVAL(3)*EVEC(1,2)*(Ac(I)*EVEC(1,2
)+B(I)*EVEC(2,2)+C(I)*EVEC(3,2))+EVAL(2)*EVAL(3)*EVEC(1,1)*(Ac(I)*EVEC(1,1)+B(I)*
EVEC(2,1)+C(I)*EVEC(3,1)))
          v(A)=v(A)+FP(I,2)*K/(EVAL(1)*EVAL(2)*EVAL(3))*(EVAL(1)*EVAL(2)*EVEC(2,3)*(Ac(I)*E
VEC(1,3)+B(I)*EVEC(2,3)+C(I)*EVEC(3,3))+EVAL(1)*EVAL(3)*EVEC(2,2)*(Ac(I)*EVEC(1,2
)+B(I)*EVEC(2,2)+C(I)*EVEC(3,2))+EVAL(2)*EVAL(3)*EVEC(2,1)*(Ac(I)*EVEC(1,1)+B(I)*
EVEC(2,1)+C(I)*EVEC(3,1)))
          teta(A)=teta(A)+FP(I,2)*K/(EVAL(1)*EVAL(2)*EVAL(3))*(EVAL(1)*EVAL(2)*EVEC(3,3)*(A
c(I)*EVEC(1,3)+B(I)*EVEC(2,3)+C(I)*EVEC(3,3))+EVAL(1)*EVAL(3)*EVEC(3,2)*(Ac(I)*E
VEC(1,2)+B(I)*EVEC(2,2)+C(I)*EVEC(3,2))+EVAL(2)*EVAL(3)*EVEC(3,1)*(Ac(I)*EVEC(1,1
)+B(I)*EVEC(2,1)+C(I)*EVEC(3,1)))
        END IF
        K=K+Hp
        A=A+1
      END DO
    END DO
  DO L=1,NPOR
    DO I=1,NF
      K=0

```

Algoritmo 21 Sub-rotina SISTEMA_PORTICO (CONTINUAÇÃO)

```

A=1
DO WHILE (K<=H)
  IF (FP(I,1)==1) THEN
    Qf(L,A)=Qf(L,A)+FP(I,2)*Sf(L)*(H-
K)/(EVAL(1)*EVAL(2)*EVAL(3))*((Ac(I)*EVEC(1,1)+B(I)*EVEC(2,1)+C(I)*EVEC(3,1))*(Af
(L)*EVEC(1,1)+Bf(L)*EVEC(2,1)+Cf(L)*EVEC(3,1))*EVAL(2)*EVAL(3)+(Ac(I)*EVEC(1,2)+B
(I)*EVEC(2,2)+C(I)*EVEC(3,2))*(Af(L)*EVEC(1,2)+Bf(L)*EVEC(2,2)+Cf(L)*EVEC(3,2))*E
VAL(1)*EVAL(3)+(Ac(I)*EVEC(1,3)+B(I)*EVEC(2,3)+C(I)*EVEC(3,3))*(Af(L)*EVEC(1,3)+B
f(L)*EVEC(2,3)+Cf(L)*EVEC(3,3))*EVAL(1)*EVAL(2))
    Mf(L,A)=Mf(L,A)+FP(I,2)*Sf(L)*((H-
K)**2)/(2*EVAL(1)*EVAL(2)*EVAL(3))*((Ac(I)*EVEC(1,1)+B(I)*EVEC(2,1)+C(I)*EVEC(3,1)
))*(Af(L)*EVEC(1,1)+Bf(L)*EVEC(2,1)+Cf(L)*EVEC(3,1))*EVAL(2)*EVAL(3)+(Ac(I)*EVEC(
1,2)+B(I)*EVEC(2,2)+C(I)*EVEC(3,2))*(Af(L)*EVEC(1,2)+Bf(L)*EVEC(2,2)+Cf(L)*EVEC(3
,2))*EVAL(1)*EVAL(3)+(Ac(I)*EVEC(1,3)+B(I)*EVEC(2,3)+C(I)*EVEC(3,3))*(Af(L)*EVEC(
1,3)+Bf(L)*EVEC(2,3)+Cf(L)*EVEC(3,3))*EVAL(1)*EVAL(2))
  ELSE IF (FP(I,1)==0) THEN
    Qf(L,A)=Qf(L,A)+FP(I,2)*Sf(L)/(EVAL(1)*EVAL(2)*EVAL(3))*(EVAL(1)*EVAL(2)*(Af(L)*E
VEC(1,3)+Bf(L)*EVEC(2,3)+Cf(L)*EVEC(3,3))*(Ac(I)*EVEC(1,3)+B(I)*EVEC(2,3)+C(I)*EVE
C(3,3))+EVAL(1)*EVAL(3)*(Af(L)*EVEC(1,2)+Bf(L)*EVEC(2,2)+Cf(L)*EVEC(3,2))*(Ac(I)
)*EVEC(1,2)+B(I)*EVEC(2,2)+C(I)*EVEC(3,2))+EVAL(2)*EVAL(3)*(Af(L)*EVEC(1,1)+Bf(L)
)*EVEC(1,1)+Cf(L)*EVEC(3,1))*(Ac(I)*EVEC(1,1)+B(I)*EVEC(2,1)+C(I)*EVEC(3,1)))
    Mf(L,A)=Mf(L,A)+FP(I,2)*Sf(L)*(H-
K)/(EVAL(1)*EVAL(2)*EVAL(3))*((Ac(I)*EVEC(1,1)+B(I)*EVEC(2,1)+C(I)*EVEC(3,1))*(Af
(L)*EVEC(1,1)+Bf(L)*EVEC(2,1)+Cf(L)*EVEC(3,1))*EVAL(2)*EVAL(3)+(Ac(I)*EVEC(1,2)+B
(I)*EVEC(2,2)+C(I)*EVEC(3,2))*(Af(L)*EVEC(1,2)+Bf(L)*EVEC(2,2)+Cf(L)*EVEC(3,2))*E
VAL(1)*EVAL(3)+(Ac(I)*EVEC(1,3)+B(I)*EVEC(2,3)+C(I)*EVEC(3,3))*(Af(L)*EVEC(1,3)+B
f(L)*EVEC(2,3)+Cf(L)*EVEC(3,3))*EVAL(1)*EVAL(2))
  END IF
  K=K+Hp
  A=A+1
END DO
END DO
END IF
DO I=1,NPOR
  DO A=1,int(H/Hp+1)
    uf(I,A)=Af(I)*u(A)+Bf(I)*v(A)+Cf(I)*teta(A)
  END DO
END DO
END SUBROUTINE SISTEMA_PORTICO

```

A.4.7 SISTEMA_PAREDE

Esta sub-rotina serve para calcular os deslocamentos do diafragma rígido, da parede na direção principal bem como seus momentos fletores e cortantes para a associação de apenas paredes. Os casos singulares tratados são os de apenas paredes paralelas ao eixo y ou x coincidentes ou não com o sistema de referência. Além do caso geral em que seu determinante é diferente de zero.

Seu código computacional está presente no Algoritmo 22,23,24,25 e 26.

Algoritmo 22 Sub-rotina SISTEMA_PAREDE

```

SUBROUTINE SISTEMA_PAREDE (H,HP,NPP,NF,Aw,Bw,Cw,Ac,B,C,FP,J,Jw,u,v,teta,Qw,Mw,uw)
IMPLICIT NONE
! [...]DECLARAÇÃO DAS VARIÁVEIS
ALLOCATE (u(1:int(H/Hp+1)))
u=0.D0
ALLOCATE (v(1:int(H/Hp+1)))
v=0.D0
ALLOCATE (teta(1:int(H/Hp+1)))
teta=0.D0
ALLOCATE (uw(1:NPP,1:int(H/Hp+1)))
uw=0.D0
ALLOCATE (Qw(1:NPP,1:int(H/Hp+1)))
Qw=0.D0
ALLOCATE (Mw(1:NPP,1:int(H/Hp+1)))
Mw=0.D0
!ASSOCIAÇÃO CONTENDO UNICAMENTE PAREDES (CASO SINGULAR)
IF (J(1,1)==0 .AND. J(1,2)==0 .AND. J(1,3)==0 .AND. J(2,3)==0 .AND. J(3,3)==0)
THEN !Apenas Parede paralelo ao eixo Oy e Coincidente com o Sistema de Referência
DO I=1,NF
K=0
A=1
DO WHILE (K<=H)
IF (FP(I,1)==1) THEN
v(A)=v(A)+B(I)*FP(I,2)*(K**2)*(6*(H**2)-4*H*K+K**2)/(24*J(2,2))
ELSE IF (FP(I,1)==0) THEN
v(A)=v(A)+B(I)*FP(I,2)*(K**2)*(3*H-K)/(6*J(2,2))
END IF
K=K+Hp
A=A+1
END DO
END DO
DO L=1,NPP
DO I=1,NF
K=0
A=1
DO WHILE (K<=H)
IF (FP(I,1)==1) THEN
Qw(L,A)=Qw(L,A)-B(I)*Jw(L)*FP(I,2)*((H-K)**2)/(2*J(2,2))
Mw(L,A)=Mw(L,A)-B(I)*Jw(L)*FP(I,2)*((H-K)**3)/(6*J(2,2))
ELSE IF (FP(I,1)==0) THEN
Qw(L,A)=Qw(L,A)+B(I)*Jw(L)*FP(I,2)*(-H+K)/J(2,2)
Mw(L,A)=Mw(L,A)-B(I)*Jw(L)*FP(I,2)*((H-K)**2)/(2*J(2,2))
END IF
K=K+Hp
A=A+1
END DO
END DO
END DO
ELSE IF (J(2,2)==0 .AND. J(1,2)==0 .AND. J(1,3)==0 .AND. J(2,3)==0 .AND.
J(3,3)==0) THEN !Apenas Parede paralelo ao eixo Ox e Coincidente com o Sistema de
Referência
DO I=1,NF
K=0
A=1
DO WHILE (K<=H)
IF (FP(I,1)==1) THEN
u(A)=u(A)+Ac(I)*FP(I,2)*(K**2)*(6*(H**2)-4*H*K+K**2)/(24*J(1,1))

```

Algoritmo 23 Sub-rotina SISTEMA_PAREDE (CONTINUAÇÃO)

```

ELSE IF (FP(I,1)==0) THEN
    u(A)=u(A)+Ac(I)*FP(I,2)*(K**2)*(3*H-K)/(6*J(1,1))
    END IF
    K=K+Hp
    A=A+1
END DO
END DO
DO L=1,NPP
    DO I=1,NF
        K=0
        A=1
        DO WHILE (K<=H)
            IF (FP(I,1)==1) THEN
                Qw(L,A)=Qw(L,A)-Ac(I)*Jw(L)*FP(I,2)*((H-K)**2)/(2*J(1,1))
                Mw(L,A)=Mw(L,A)-Ac(I)*Jw(L)*FP(I,2)*((H-K)**3)/(6*J(1,1))
            ELSE IF (FP(I,1)==0) THEN
                Qw(L,A)=Qw(L,A)+Ac(I)*Jw(L)*FP(I,2)*(-H+K)/J(1,1)
                Mw(L,A)=Mw(L,A)-Ac(I)*Jw(L)*FP(I,2)*((H-K)**2)/(2*J(1,1))
            END IF
            K=K+Hp
            A=A+1
        END DO
    END DO
END DO
ELSE IF (J(1,1)==0 .AND. J(1,2)==0 .AND. J(1,3)==0 ) THEN!Apenas Parede paralelo
ao eixo Oy
    DO I=1,NF
        K=0
        A=1
        DO WHILE (K<=H)
            IF (FP(I,1)==1) THEN
                v(A)=v(A)+FP(I,2)*(k**2)*((C(I)*J(2,3)-B(I)*J(3,3))*(6*H**2-
4*H*K+K**2))/(24*(J(2,3)**2-J(2,2)*J(3,3)))
                teta(A)=teta(A)-FP(I,2)*(k**2)*((C(I)*J(2,2)-
B(I)*J(2,3))*(6*H**2-4*H*K+K**2))/(24*(J(2,3)**2-J(2,2)*J(3,3)))
            ELSE IF (FP(I,1)==0) THEN
                v(A)=v(A)+FP(I,2)*(k**2)*((C(I)*J(2,3)-B(I)*J(3,3))*(3*H-
K))/(6*(J(2,3)**2-J(2,2)*J(3,3)))
                teta(A)=teta(A)-FP(I,2)*(k**2)*((C(I)*J(2,2)-B(I)*J(2,3))*(3*H-
K))/(6*(J(2,3)**2-J(2,2)*J(3,3)))
            END IF
            K=K+Hp
            A=A+1
        END DO
    END DO
END DO
DO L=1,NPP
    DO I=1,NF
        K=0
        A=1
        DO WHILE (K<=H)
            IF (FP(I,1)==1) THEN
                Qw(L,A)=Qw(L,A)+((C(I)*Cw(L)*J(2,2)-Bw(L)*C(I)*J(2,3)-
B(I)*Cw(L)*J(2,3)+B(I)*Bw(L)*J(3,3))*Jw(L)*FP(I,2)*((H-K)**2)/(2*J(2,3)**2-
2*J(2,2)*J(3,3))
                Mw(L,A)=Mw(L,A)+((C(I)*Cw(L)*J(2,2)-Bw(L)*C(I)*J(2,3)-
B(I)*Cw(L)*J(2,3)+B(I)*Bw(L)*J(3,3))*Jw(L)*FP(I,2)*((H-K)**3)/(6*J(2,3)**2-
6*J(2,2)*J(3,3))
            END IF
        END DO
    END DO
END DO

```

Algoritmo 24 Sub-rotina SISTEMA_PAREDE (CONTINUAÇÃO)

```

      ELSE IF (FP(I,1)==0) THEN
        Qw(L,A)=Qw(L,A)+(C(I)*Cw(L)*J(2,2)-Bw(L)*C(I)*J(2,3)-
        B(I)*Cw(L)*J(2,3)+B(I)*Bw(L)*J(3,3))*FP(I,2)*(H-K)*Jw(L)/(J(2,3)**2-
        J(2,2)*J(3,3))
        Mw(L,A)=Mw(L,A)+(C(I)*Cw(L)*J(2,2)-Bw(L)*C(I)*J(2,3)-
        B(I)*Cw(L)*J(2,3)+B(I)*Bw(L)*J(3,3))*FP(I,2)*((H-K)**2)*Jw(L)/(2*J(2,3)**2-
        2*J(2,2)*J(3,3))
      END IF
      K=K+Hp
      A=A+1
    END DO
  END DO
ELSE IF (J(2,2)==0 .AND. J(1,2)==0 .AND. J(2,3)==0 ) THEN !Apenas Parede paralelo
ao eixo Ox
  DO I=1,NF
    K=0
    A=1
    DO WHILE (K<=H)
      IF (FP(I,1)==1) THEN
        u(A)=u(A)+FP(I,2)*(k**2)*((C(I)*J(1,3)-Ac(I)*J(3,3))*(6*H**2-
        4*H*K+K**2))/(24*(J(1,3)**2-J(1,1)*J(3,3)))
        teta(A)=teta(A)-FP(I,2)*(k**2)*((C(I)*J(1,1)-
        Ac(I)*J(1,3))*(6*H**2-4*H*K+K**2))/(24*(J(1,3)**2-J(1,1)*J(3,3)))
      ELSE IF (FP(I,1)==0) THEN
        u(A)=u(A)+FP(I,2)*(k**2)*((C(I)*J(1,3)-Ac(I)*J(3,3))*(3*H-
        K))/(6*(J(1,3)**2-J(1,1)*J(3,3)))
        teta(A)=teta(A)-FP(I,2)*(k**2)*((C(I)*J(1,1)-Ac(I)*J(1,3))*(3*H-
        K))/(6*(J(1,3)**2-J(1,1)*J(3,3)))
      END IF
      K=K+Hp
      A=A+1
    END DO
  END DO
  DO L=1,NPP
    DO I=1,NF
      K=0
      A=1
      DO WHILE (K<=H)
        IF (FP(I,1)==1) THEN
          Qw(L,A)=Qw(L,A)+((C(I)*Cw(L)*J(1,1)-Aw(L)*C(I)*J(1,3)-
          Ac(I)*Cw(L)*J(1,3)+Ac(I)*Aw(L)*J(3,3))*Jw(L)*FP(I,2)*((H-K)**2)/(2*J(1,3)**2-
          2*J(1,1)*J(3,3))
          Mw(L,A)=Mw(L,A)+((C(I)*Cw(L)*J(1,1)-Aw(L)*C(I)*J(1,3)-
          Ac(I)*Cw(L)*J(1,3)+Ac(I)*Aw(L)*J(3,3))*Jw(L)*FP(I,2)*((H-K)**3)/(6*J(1,3)**2-
          6*J(1,1)*J(3,3))
        ELSE IF (FP(I,1)==0) THEN
          Qw(L,A)=Qw(L,A)+(C(I)*Cw(L)*J(1,1)-Aw(L)*C(I)*J(1,3)-
          Ac(I)*Cw(L)*J(1,3)+Ac(I)*Aw(L)*J(3,3))*FP(I,2)*(H-K)*Jw(L)/(J(1,3)**2-
          J(1,1)*J(3,3))
          Mw(L,A)=Mw(L,A)+(C(I)*Cw(L)*J(1,1)-Aw(L)*C(I)*J(1,3)-
          Ac(I)*Cw(L)*J(1,3)+Ac(I)*Bw(L)*J(3,3))*FP(I,2)*((H-K)**2)*Jw(L)/(2*J(1,3)**2-
          2*J(1,1)*J(3,3))
        END IF
        K=K+Hp
        A=A+1
      END DO
    END DO
  END DO
ELSE IF (DET(J)/=0) THEN
  ALLOCATE(EVAL(1:3))
  EVAL=0.D0

```

Algoritmo 25 Sub-rotina SISTEMA_PAREDE (CONTINUAÇÃO)

```

ALLOCATE (EVEC(1:3,1:3))
EVEC=0.D0
CALL EVCSF(J,EVAL,EVEC)
DO I=1,NF
  K=0
  A=1
  DO WHILE (K<=H)
    IF (FP(I,1)==1) THEN
      u(A)=u(A)+(FP(I,2)*(K**2))/(24*EVAL(1)*EVAL(2)*EVAL(3))*(6**H**2-
4**H*K+K**2)*(EVEC(1,3)*(Ac(I)*EVEC(1,3)+B(I)*EVEC(2,3)+C(I)*EVEC(3,3))*EVAL(1)*EVAL(2)+EVEC(1,2)*(Ac(I)*EVEC(1,2)+B(I)*EVEC(2,2)+C(I)*EVEC(3,2))*EVAL(1)*EVAL(3)+EVEC(1,1)*(Ac(I)*EVEC(1,1)+B(I)*EVEC(2,1)+C(I)*EVEC(3,1))*EVAL(2)*EVAL(3))
      v(A)=v(A)+(FP(I,2)*(K**2))/(24*EVAL(1)*EVAL(2)*EVAL(3))*(6**H**2-
4**H*K+K**2)*(EVEC(2,3)*(Ac(I)*EVEC(1,3)+B(I)*EVEC(2,3)+C(I)*EVEC(3,3))*EVAL(1)*EVAL(2)+EVEC(2,2)*(Ac(I)*EVEC(1,2)+B(I)*EVEC(2,2)+C(I)*EVEC(3,2))*EVAL(1)*EVAL(3)+EVEC(2,1)*(Ac(I)*EVEC(1,1)+B(I)*EVEC(2,1)+C(I)*EVEC(3,1))*EVAL(2)*EVAL(3))

teta(A)=teta(A)+(FP(I,2)*(K**2))/(24*EVAL(1)*EVAL(2)*EVAL(3))*(6**H**2-
4**H*K+K**2)*(EVEC(3,3)*(Ac(I)*EVEC(1,3)+B(I)*EVEC(2,3)+C(I)*EVEC(3,3))*EVAL(1)*EVAL(2)+EVEC(3,2)*(Ac(I)*EVEC(1,2)+B(I)*EVEC(2,2)+C(I)*EVEC(3,2))*EVAL(1)*EVAL(3)+EVEC(3,1)*(Ac(I)*EVEC(1,1)+B(I)*EVEC(2,1)+C(I)*EVEC(3,1))*EVAL(2)*EVAL(3))
    ELSE IF (FP(I,1)==0) THEN
      u(A)=u(A)+(FP(I,2)*(K**2))/(6*EVAL(1)*EVAL(2)*EVAL(3))*(3**H-
K)*(EVEC(1,3)*(Ac(I)*EVEC(1,3)+B(I)*EVEC(2,3)+C(I)*EVEC(3,3))*EVAL(1)*EVAL(2)+EVEC(1,2)*(Ac(I)*EVEC(1,2)+B(I)*EVEC(2,2)+C(I)*EVEC(3,2))*EVAL(1)*EVAL(3)+EVEC(1,1)*(Ac(I)*EVEC(1,1)+B(I)*EVEC(2,1)+C(I)*EVEC(3,1))*EVAL(2)*EVAL(3))
      v(A)=v(A)+(FP(I,2)*(K**2))/(6*EVAL(1)*EVAL(2)*EVAL(3))*(3**H-
K)*(EVEC(2,3)*(Ac(I)*EVEC(1,3)+B(I)*EVEC(2,3)+C(I)*EVEC(3,3))*EVAL(1)*EVAL(2)+EVEC(2,2)*(Ac(I)*EVEC(1,2)+B(I)*EVEC(2,2)+C(I)*EVEC(3,2))*EVAL(1)*EVAL(3)+EVEC(2,1)*(Ac(I)*EVEC(1,1)+B(I)*EVEC(2,1)+C(I)*EVEC(3,1))*EVAL(2)*EVAL(3))
      teta(A)=teta(A)+(FP(I,2)*(K**2))/(6*EVAL(1)*EVAL(2)*EVAL(3))*(3**H-
K)*(EVEC(3,3)*(Ac(I)*EVEC(1,3)+B(I)*EVEC(2,3)+C(I)*EVEC(3,3))*EVAL(1)*EVAL(2)+EVEC(3,2)*(Ac(I)*EVEC(1,2)+B(I)*EVEC(2,2)+C(I)*EVEC(3,2))*EVAL(1)*EVAL(3)+EVEC(3,1)*(Ac(I)*EVEC(1,1)+B(I)*EVEC(2,1)+C(I)*EVEC(3,1))*EVAL(2)*EVAL(3))
    END IF
    K=K+Hp
    A=A+1
  END DO
END DO
DO L=1,NPP
  DO I=1,NF
    K=0
    A=1
    DO WHILE (K<=H)
      IF (FP(I,1)==1) THEN
        Qw(L,A)=Qw(L,A)+FP(I,2)*Jw(L)*((H-
K))/(EVAL(1)*EVAL(2)*EVAL(3))*((Aw(L)*EVEC(1,3)+Bw(L)*EVEC(2,3)+Cw(L)*EVEC(3,3))*
(Ac(I)*EVEC(1,3)+B(I)*EVEC(2,3)+C(I)*EVEC(3,3))*EVAL(1)*EVAL(2)+(Aw(L)*EVEC(1,2)+
Bw(L)*EVEC(2,2)+Cw(L)*EVEC(3,2))*((Ac(I)*EVEC(1,2)+B(I)*EVEC(2,2)+C(I)*EVEC(3,2))*
EVAL(1)*EVAL(3)+(Aw(L)*EVEC(1,1)+Bw(L)*EVEC(2,1)+Cw(L)*EVEC(3,1))*((Ac(I)*EVEC(1,1)+
B(I)*EVEC(2,1)+C(I)*EVEC(3,1))*EVAL(2)*EVAL(3))
        Mw(L,A)=Mw(L,A)+FP(I,2)*Jw(L)*((H-
K)**2)/(2*EVAL(1)*EVAL(2)*EVAL(3))*((Aw(L)*EVEC(1,3)+Bw(L)*EVEC(2,3)+Cw(L)*EVEC(3,3))*
(Ac(I)*EVEC(1,3)+B(I)*EVEC(2,3)+C(I)*EVEC(3,3))*EVAL(1)*EVAL(2)+(Aw(L)*EVEC(1,2)+Bw(L)*EVEC(2,2)+Cw(L)*EVEC(3,2))*
(Ac(I)*EVEC(1,2)+B(I)*EVEC(2,2)+C(I)*EVEC(3,2))*EVAL(1)*EVAL(3)+(Aw(L)*EVEC(1,1)+Bw(L)*EVEC(2,1)+Cw(L)*EVEC(3,1))*
(Ac(I)*EVEC(1,1)+B(I)*EVEC(2,1)+C(I)*EVEC(3,1))*EVAL(2)*EVAL(3))
      END IF
    END DO
  END DO
END DO

```

Algoritmo 26 Sub-rotina SISTEMA_PAREDE (CONTINUAÇÃO)

```

ELSE IF (FP(I,1)==0) THEN
  Qw(L,A)=Qw(L,A)+FP(I,2)*Jw(L)/(EVAL(1)*EVAL(2)*EVAL(3))*((Aw(L)*EVEC(1,3)+Bw(L)*E
  VEC(2,3)+Cw(L)*EVEC(3,3))*(Ac(I)*EVEC(1,3)+B(I)*EVEC(2,3)+C(I)*EVEC(3,3))*EVAL(1)
  *EVAL(2)+(Aw(L)*EVEC(1,2)+Bw(L)*EVEC(2,2)+Cw(L)*EVEC(3,2))*(Ac(I)*EVEC(1,2)+B(I)*
  EVEC(2,2)+C(I)*EVEC(3,2))*EVAL(1)*EVAL(3)+(Aw(L)*EVEC(1,1)+Bw(L)*EVEC(2,1)+Cw(L)*
  EVEC(3,1))*(Ac(I)*EVEC(1,1)+B(I)*EVEC(2,1)+C(I)*EVEC(3,1))*EVAL(2)*EVAL(3))
  Mw(L,A)=Mw(L,A)+FP(I,2)*Jw(L)*((H-
  K)/(EVAL(1)*EVAL(2)*EVAL(3))*((Aw(L)*EVEC(1,3)+Bw(L)*EVEC(2,3)+Cw(L)*EVEC(3,3))*
  (Ac(I)*EVEC(1,3)+B(I)*EVEC(2,3)+C(I)*EVEC(3,3))*EVAL(1)*EVAL(2)+(Aw(L)*EVEC(1,2)+
  Bw(L)*EVEC(2,2)+Cw(L)*EVEC(3,2))*(Ac(I)*EVEC(1,2)+B(I)*EVEC(2,2)+C(I)*EVEC(3,2))*
  EVAL(1)*EVAL(3)+(Aw(L)*EVEC(1,1)+Bw(L)*EVEC(2,1)+Cw(L)*EVEC(3,1))*(Ac(I)*EVEC(1,1)
  )+B(I)*EVEC(2,1)+C(I)*EVEC(3,1))*EVAL(2)*EVAL(3))
  END IF
  K=K+Hp
  A=A+1
  END DO
  END DO
  END IF
DO I=1,NPP
  DO A=1,int(H/Hp+1)
    uw(I,A)=Aw(I)*u(A)+Bw(I)*v(A)+Cw(I)*teta(A)
  END DO
END DO

END SUBROUTINE SISTEMA_PAREDE

```

A.4.8 SISTEMA_SINGULAR

Esta sub-rotina serve para calcular os deslocamentos do diafragma rígido, da parede e pórtico na direção principal. Os casos singulares tratados são os de apenas paredes paralelas ao eixo y ou x coincidentes ou não com o sistema de referência e os pórticos com determinantes diferentes de zero. Seu código computacional está presente no Algoritmo 27,28,29,30,31 e 32.

Algoritmo 27 Sub-rotina SISTEMA_SINGULAR

```

SUBROUTINE SISTEMA_SINGULAR
(H,HP,NF,NPP,NPOR,NNSA,ANL,Aw,Bw,Cw,Af,Bf,Cf,An,Bn,Cn,Ac,B,C,FP,Sf,Jw,S,J,u,v,tet
a,uf,Qf,Mf,uw,Qw,Mw)
IMPLICIT NONE
![...]DECLARAÇÃO DAS VARIÁVEIS
ALLOCATE (u(1:int(H/Hp+1)))
u=0.D0
ALLOCATE (v(1:int(H/Hp+1)))
v=0.D0
ALLOCATE (teta(1:int(H/Hp+1)))
teta=0.D0
ALLOCATE (uf(1:NPOR,1:int(H/Hp+1)))
uf=0.D0
ALLOCATE (Qf(1:NPOR,1:int(H/Hp+1)))
Qf=0.D0
ALLOCATE (Mf(1:NPOR,1:int(H/Hp+1)))
Mf=0.D0
ALLOCATE (uw(1:NPP,1:int(H/Hp+1)))
uw=0.D0

```

Algoritmo 28 Sub-rotina SISTEMA_SINGULAR (CONTINUAÇÃO)

```

ALLOCATE (Qw(1:NPP,1:int(H/Hp+1)))
Qw=0.D0
ALLOCATE (Mw(1:NPP,1:int(H/Hp+1)))
Mw=0.D0

IF (J(1,1)==0 .AND. J(1,2)==0 .AND. J(1,3)==0 .AND. J(2,3)==0 .AND. J(3,3)==0)
THEN !Apenas Parede paralelo ao eixo Oy e Coincidente com o Sistema de Referência
  cth=S(2,2)+S(1,2)*((S(2,3)*S(1,3)-S(1,2)*S(3,3))/(S(1,1)*S(3,3)-
S(1,3)**2))+S(2,3)*((S(2,1)*S(1,3)-S(3,2)*S(1,1))/(S(1,1)*S(3,3)-S(1,3)**2))
  ALLOCATE (xi(1:NF))
  xi=0.D0
  DO L=1,NPP
    DO I=1,NF
      xi(I)=B(I)-S(1,2)*(Ac(I)*S(3,3)-C(I)*S(1,3))/(S(1,1)*S(3,3)-
(S(1,3))**2)-S(2,3)*(C(I)*S(1,1)-Ac(I)*S(1,3))/(S(1,1)*S(3,3)-(S(1,3))**2)
      K=0
      A=1
      DO WHILE (K<=H)
        IF (FP(I,1)==1) THEN
          v(A)=v(A)+(xi(I)*FP(I,2)*exp((-
K*sqrt(cth))/(sqrt(J(2,2)))))/(2*(cth**2)*(1+exp(2*H*sqrt(cth/J(2,2)))))*((2*J(2,
2)*exp(H*sqrt(cth/J(2,2))))-
(4*J(2,2)*exp((H+K)*sqrt(cth/J(2,2))))+(2*J(2,2)*exp((H+2*K)*sqrt(cth/J(2,2))))+(
2*H*sqrt(cth*J(2,2))*exp((2*H)*sqrt(cth/J(2,2))))-
(2*H*sqrt(cth*J(2,2))*exp((2*K)*sqrt(cth/J(2,2))))+exp((2*H+K)*sqrt(cth/J(2,2)))*
(-2*H*sqrt(cth*J(2,2))+K*cth*(2*H-
K))+exp(K*sqrt(cth/J(2,2))))*(2*H*sqrt(cth*J(2,2))+K*cth*(2*H-K)))
          teta(A)=teta(A)+(FP(I,2))/(2*(S(1,3)**2-
S(1,1)*S(3,3)))*(C(I)*S(1,1)*K*(-K+2*H)+Ac(I)*S(1,3)*K*(K-
2*H)+(xi(I)*(S(1,2)*S(1,3)-S(1,1)*S(3,3))*exp(-
K*sqrt(cth/J(2,2)))/(cth**2*(1+exp(2*H*sqrt(cth/J(2,2))))))*-
((2*J(2,2)*exp(H*sqrt(cth/J(2,2))))-
(4*J(2,2)*exp((H+K)*sqrt(cth/J(2,2))))+(2*J(2,2)*exp((H+2*K)*sqrt(cth/J(2,2))))+(
2*H*sqrt(cth*J(2,2))*exp((2*H)*sqrt(cth/J(2,2))))-
(2*H*sqrt(cth*J(2,2))*exp((2*K)*sqrt(cth/J(2,2))))+exp((2*H+K)*sqrt(cth/J(2,2)))*
(-2*H*sqrt(cth*J(2,2))+K*cth*(2*H-
K))+exp(K*sqrt(cth/J(2,2))))*(2*H*sqrt(cth*J(2,2))+K*cth*(2*H-K)))
          u(A)=u(A)+(FP(I,2))/(2*(S(1,3)**2-
S(1,1)*S(3,3)))*(C(I)*S(1,3)*K*(-K+2*H)+Ac(I)*S(3,3)*K*(K-
2*H)+(xi(I)*(S(1,3)*S(2,3)-S(1,2)*S(3,3))*exp(-
K*sqrt(cth/J(2,2)))/(cth**2*(1+exp(2*H*sqrt(cth/J(2,2))))))*-
((2*J(2,2)*exp(H*sqrt(cth/J(2,2))))-
(4*J(2,2)*exp((H+K)*sqrt(cth/J(2,2))))+(2*J(2,2)*exp((H+2*K)*sqrt(cth/J(2,2))))+(
2*H*sqrt(cth*J(2,2))*exp((2*H)*sqrt(cth/J(2,2))))-
(2*H*sqrt(cth*J(2,2))*exp((2*K)*sqrt(cth/J(2,2))))+exp((2*H+K)*sqrt(cth/J(2,2)))*
(-2*H*sqrt(cth*J(2,2))+K*cth*(2*H-
K))+exp(K*sqrt(cth/J(2,2))))*(2*H*sqrt(cth*J(2,2))+K*cth*(2*H-K)))
          Qw(L,A)=Qw(L,A)+FP(I,2)*Jw(L)/(S(1,3)**2-
S(1,1)*S(3,3))*(C(I)*(Cw(L)*S(1,1)-Aw(L)*S(1,3))+Ac(I)*(-
Cw(L)*S(1,3)+Aw(L)*S(3,3))-
(2*exp(((3*H+K)*sqrt(cth))/(2*sqrt(J(2,2)))))/((1+exp(2*H*sqrt(cth/J(2,2))))*sqrt
(J(2,2))*cth*(-Cw(L)*S(1,3)*S(1,2)-
Aw(L)*S(1,3)*S(2,3)+Cw(L)*S(1,1)*S(2,3)+Aw(L)*S(1,2)*S(3,3)+Bw(L)*(S(1,3)**2-
S(1,1)*S(3,3)))*xi(I)*sin(((H-K)*sqrt(cth))/(2*sqrt(J(2,2))))*(sqrt(J(2,2)))*(-
1+exp(-(H-K)*sqrt(cth/J(2,2))))+H*sqrt(cth)*exp(-H*sqrt(cth/J(2,2)))+exp(-
K*sqrt(cth/J(2,2))))))
          Mw(L,A)=Mw(L,A)+FP(I,2)*Jw(L)/(S(1,3)**2-
S(1,1)*S(3,3))*(C(I)*(Cw(L)*S(1,1)-Aw(L)*S(1,3))*(H-K)-Ac(I)*(Cw(L)*S(1,3)-
Aw(L)*S(3,3))*(H-K)-(exp(-
((2*H+K)*sqrt(cth))/(sqrt(J(2,2)))))/((1+exp(2*H*sqrt(cth/J(2,2))))*(cth**(3/2)))
*(-Cw(L)*S(1,3)*S(1,2)-
Aw(L)*S(1,3)*S(2,3)+Cw(L)*S(1,1)*S(2,3)+Aw(L)*S(1,2)*S(3,3)+Bw(L)*(S(1,3)**2-

```

Algoritmo 29 Sub-rotina SISTEMA_SINGULAR (CONTINUAÇÃO)

```

S(1,1)*S(3,3))*xi(I)*(exp(3*H*sqrt(cth/J(2,2)))*sqrt(J(2,2))-
exp((3*H+2*K)*sqrt(cth/J(2,2)))*sqrt(J(2,2))-
exp((2*H+K)*sqrt(cth/J(2,2)))*(sqrt(J(2,2)))+(H-
K)*sqrt(cth))+exp((4*H+K)*sqrt(cth/J(2,2)))*(sqrt(J(2,2)))+(H-
H+K)*sqrt(cth))+exp((4*H)*sqrt(cth/J(2,2)))*H*sqrt(cth)+exp(2*(H+K)*sqrt(cth/J(2,
2)))*H*sqrt(cth)-2*exp((3*H+K)*sqrt(cth/J(2,2)))*H*sqrt(cth)))

ELSE IF (FP(I,1)==0) THEN
    v(A)=v(A)+FP(I,2)*K*xi(I)/cth-FP(I,2)*xi(I)*sqrt(J(2,2))*(-
1+exp(2*H*sqrt(cth/J(2,2)))-exp((2*H-
K)*sqrt(cth/J(2,2)))+exp(K*sqrt(cth/J(2,2))))/((1+exp(2*H*sqrt(cth/J(2,2))))*cth*
*(3/2))

    teta(A)=teta(A)+(FP(I,2))/(S(1,3)**2-S(1,1)*S(3,3))*(-
C(I)*S(1,1)*K+Ac(I)*S(1,3)*K+(xi(I)*(S(1,2)*S(1,3)-S(1,1)*S(2,3))*exp(-
K*sqrt(cth/J(1,1)))*(-
sqrt(J(2,2))*exp(2*H*sqrt(cth/J(2,2))+sqrt(J(2,2))*exp(2*K*sqrt(cth/J(2,2))))+(sq
rt(J(2,2))-K*sqrt(cth))*exp((2*H+K)*sqrt(cth/J(2,2)))-
(sqrt(J(2,2)+K*sqrt(cth))*exp((K)*sqrt(cth/J(2,2))))/((cth**(3/2))*(1+exp(2*H*sq
rt(cth/J(2,2)))))))

    u(A)=u(A)+(FP(I,2))/(S(1,3)**2-S(1,1)*S(3,3))*(C(I)*S(1,3)*K-
Ac(I)*S(3,3)*K+(xi(I)*(S(1,3)*S(2,3)-S(1,2)*S(3,3))*exp(-K*sqrt(cth/J(1,1)))*(-
sqrt(J(2,2))*exp(2*H*sqrt(cth/J(2,2))+sqrt(J(2,2))*exp(2*K*sqrt(cth/J(2,2))))+(sq
rt(J(2,2))-K*sqrt(cth))*exp((2*H+K)*sqrt(cth/J(2,2)))-
(sqrt(J(2,2)+K*sqrt(cth))*exp((K)*sqrt(cth/J(2,2))))/((cth**(3/2))*(1+exp(2*H*sq
rt(cth/J(2,2)))))))

    Qw(L,A)=Qw(L,A)+(Jw(L)*FP(I,2))*(-
Bw(L)*S(1,3)**2+Cw(L)*S(1,3)*S(1,2)+Aw(L)*S(1,3)*S(2,3)-
Cw(L)*S(1,1)*S(2,3)+Bw(L)*S(1,1)*S(3,3)-
Aw(L)*S(1,2)*S(3,3))*xi(I)*(1/cosh(H*sqrt(cth/J(2,2))))*sinh((H-
K)*sqrt(cth/J(2,2)))/(sqrt(cth*J(2,2))*S(1,3)**2-S(1,1)*S(3,3)))

    Mw(L,A)=Mw(L,A)+(Jw(L)*FP(I,2))*(-
Bw(L)*S(1,3)**2+Cw(L)*S(1,3)*S(1,2)+Aw(L)*S(1,3)*S(2,3)-
Cw(L)*S(1,1)*S(2,3)+Bw(L)*S(1,1)*S(3,3)-
Aw(L)*S(1,2)*S(3,3))*xi(I)*(1/cosh(H*sqrt(cth/J(2,2))))*(-1+cosh((H-
K)*sqrt(cth/J(2,2))))/(cth*(S(1,3)**2-S(1,1)*S(3,3)))

    END IF
    K=K+Hp
    A=A+1
  END DO
END DO
DO L=1,NPOR
  DO I=1,NF
    xi(I)=B(I)-S(1,2)*(Ac(I)*S(3,3)-C(I)*S(1,3))/(S(1,1)*S(3,3)-
(S(1,3)**2)-S(2,3)*(C(I)*S(1,1)-Ac(I)*S(1,3))/(S(1,1)*S(3,3)-(S(1,3)**2)
    K=0
    A=1
    DO WHILE (K<=H)
      IF (FP(I,1)==1) THEN
        Qf(L,A)=Qf(L,A)+FP(I,2)*Sf(L)/(S(1,3)**2-
S(1,1)*S(3,3))*(C(I)*(Cf(L)*S(1,1)-Af(L)*S(1,3))*(H-K)-Ac(I)*(Cf(L)*S(1,3)-
Af(L)*S(3,3))*(H-K)+(exp(-
((K)*sqrt(cth))/(sqrt(J(2,2))))/((1+exp(2*H*sqrt(cth/J(2,2))))*(cth**(3/2)))*(-
Bf(L)*S(1,3)**2+Cf(L)*S(1,3)*S(1,2)+Af(L)*S(1,3)*S(2,3)-
Cf(L)*S(1,1)*S(2,3)+Bf(L)*S(1,1)*S(2,3)-
Af(L)*S(1,2)*S(3,3))*xi(I)*(exp(H*sqrt(cth/J(2,2)))*sqrt(J(2,2))-
exp((H+2*K)*sqrt(cth/J(2,2)))*sqrt(J(2,2))+exp(2*H*sqrt(cth/J(2,2)))*H*sqrt(cth)+
exp(2*K*sqrt(cth/J(2,2)))*H*sqrt(cth)+(-H+K)*exp(K*sqrt(cth/J(2,2)))*sqrt(cth)+(-
H+K)*exp((2*H+K)*sqrt(cth/J(2,2)))*sqrt(cth)))

        Mf(L,A)=Mf(L,A)+FP(I,2)*Sf(L)/(2*(S(1,3)**2-
S(1,1)*S(3,3))*(C(I)*(Cf(L)*S(1,1)-Af(L)*S(1,3))*((H-K)**2)-Ac(I)*(Cf(L)*S(1,3)-
Af(L)*S(3,3))*((H-K)**2)+(exp(-
((K)*sqrt(cth))/(sqrt(J(2,2))))/((1+exp(2*H*sqrt(cth/J(2,2))))*(cth**(2)))*(-

```

Algoritmo 30 Sub-rotina SISTEMA_SINGULAR (CONTINUAÇÃO)

```

Cf(L)*S(1,3)*S(1,2)-
Af(L)*S(1,3)*S(2,3)+Cf(L)*S(1,1)*S(2,3)+Af(L)*S(1,2)*S(3,3)+Bf(L)*(S(1,3)**2-
S(1,1)*S(3,3))*xi(I)*(-2*exp(H*sqrt(cth/J(2,2)))*J(2,2)-
2*exp((H+2*K)*sqrt(cth/J(2,2)))*J(2,2)-
2*exp(2*H*sqrt(cth/J(2,2)))*H*sqrt(J(2,2)*cth)+2*exp(2*K*sqrt(cth/J(2,2)))*H*sqrt
(J(2,2)*cth)+(2*J(2,2)+cth*((H-
K)**2))*exp(K*sqrt(cth/J(2,2)))*sqrt(cth)+(2*J(2,2)+cth*((H-
K)**2))*exp((2*H+K)*sqrt(cth/J(2,2)))*sqrt(cth)))
      ELSE IF (FP(I,1)==0) THEN
Qf(L,A)=Qf(L,A)+FP(I,2)*Sf(L)/(S(1,3)**2-S(1,1)*S(3,3))*(C(I)*Cf(L)*S(1,1)-
Af(L)*C(I)*S(1,3)-Ac(I)*Cf(L)*S(1,3)+Ac(I)*Af(L)*S(3,3)+2/cth*(-
Cf(L)*S(1,3)*S(1,2)-
Af(L)*S(1,3)*S(2,3)+Cf(L)*S(1,1)*S(2,3)+Af(L)*S(1,2)*S(3,3)+Bf(L)*(S(1,3)**2-
S(1,1)*S(3,3))*xi(I)*(1/cosh(H*sqrt(cth/J(2,2))))*sinh(((2*H-
K)*sqrt(cth))/(2*sqrt(J(2,2))))*sinh((K*sqrt(cth))/(2*sqrt(J(2,2))))))
      Mf(L,A)=Mf(L,A)+FP(I,2)*Sf(L)/(S(1,3)**2-
S(1,1)*S(3,3))*(C(I)*(Cf(L)*S(1,1)-Af(L)*S(1,3))*(H-K)-Ac(I)*(Cf(L)*S(1,3)-
Af(L)*S(3,3))*(H-K)-(exp(-
((K)*sqrt(cth))/(sqrt(J(2,2)))))/((1+exp(2*H*sqrt(cth/J(2,2))))*(cth**(3/2))))*(-
Cf(L)*S(1,3)*S(1,2)-
Af(L)*S(1,3)*S(2,3)+Cf(L)*S(1,1)*S(2,3)+Af(L)*S(1,2)*S(3,3)+Bf(L)*(S(1,3)**2-
S(1,1)*S(3,3))*xi(I)*(exp(2*H*sqrt(cth/J(2,2)))*sqrt(J(2,2))-
exp((2*K)*sqrt(cth/J(2,2)))*sqrt(J(2,2))-(H-K)*sqrt(cth)*exp(K*sqrt(cth/J(2,2)))-
(H-K)*sqrt(cth)*exp((2*H+K)*sqrt(cth/J(2,2))))))
      END IF
      K=K+Hp
      A=A+1
    END DO
  END DO
ELSE IF (J(1,1)==0 .AND. J(1,2)==0 .AND. J(1,3)==0 .AND. S(1,1)/=0 .AND. ANL==0)
THEN !Apenas Parede paralelo ao eixo Oy
  x0=J(2,3)/J(2,2)
  ALLOCATE(JS1(1:3,1:3))
  JS1=J
  JS1(2,3)=0
  JS1(3,3)=0
  ALLOCATE(CS1w(1:NPP))
  CS1w=0.D0
  DO I=1,NPP
    CS1w(I)=Cw(I)-x0*Bw(I)
    JS1(3,3)=JS1(3,3)+jw(I)*CS1w(I)*CS1w(I)
  END DO
  ALLOCATE(CS1f(1:NPOR))
  CS1f=0.D0
  K=0
  ALLOCATE(CS1n(1:2*NNSA))
  CS1n=0.D0
  K=0
  DO I=1,NNSA
    CS1n(I+K)=Cn(I+K)
    CS1n(I+K+1)=Cn(I+K+1)-x0*Bn(I)
    JS1(3,3)=JS1(3,3)+NSA(I,8)*NSA(I,5)*CS1n(I+k)*CS1n(I+k)
    JS1(3,3)=JS1(3,3)+NSA(I,8)*NSA(I,4)*CS1n(I+k+1)*CS1n(I+k+1)
    JS1(3,3)=JS1(3,3)+NSA(I,8)*NSA(I,6)
    K=K+1
  END DO
  ALLOCATE(SS1(1:3,1:3))
  SS1=S
  SS1(1,3)=0
  SS1(2,3)=0
  SS1(3,3)=0

```

Algoritmo 31 Sub-rotina SISTEMA_SINGULAR (CONTINUAÇÃO)

```

ALLOCATE(AS1f(1:NPOR))
  AS1f=0.D0
  AS1f=Af
  ALLOCATE(BS1f(1:NPOR))
  BS1f=0.D0
  BS1f=Bf
  DO I=1, NPOR
    CS1f(I)=Cf(I)-x0*Bf(I)
    SS1(1,3)=SS1(1,3)+Sf(I)*AS1f(I)*CS1f(I)
    SS1(2,3)=SS1(2,3)+Sf(I)*BS1f(I)*CS1f(I)
    SS1(3,3)=SS1(3,3)+Sf(I)*CS1f(I)*CS1f(I)
  END DO
  DO I=1, NNSA
    SS1(3,3)=SS1(3,3)+NSA(I,9)*NSA(I,7)
  END DO
  S(2,2)=(SS1(1,1)*SS1(2,2)-SS1(1,2)**2)/SS1(1,1)
  S(2,3)=(SS1(1,1)*SS1(2,3)-SS1(1,2)*SS1(1,3))/SS1(1,1)
  S(3,3)=(SS1(1,1)*SS1(3,3)-SS1(1,3)**2)/SS1(1,1)
  ALLOCATE(T(1:2,1:2))
  T=0.D0
  T(1,1)=1/(sqrt(JS1(2,2)))
  T(2,2)=1/(sqrt(JS1(3,3)))
  ALLOCATE(ST(1:2,1:2))
  ST=0.D0
  ST(1,1)=S(2,2)
  ST(1,2)=S(2,3)
  ST(2,1)=S(2,3)
  ST(2,2)=S(3,3)
  ALLOCATE(ET(1:2,1:2))
  ET=0.D0
  ET=MATMUL(MATMUL(Transpose(T),ST),T)
  ALLOCATE(EVALS(1:2))
  EVALS=0.D0
  ALLOCATE(EVECS(1:2,1:2))
  EVECS=0.D0
  CALL EVCSF (ET,EVALS,EVECS)
  DO I=1,NF
    CS1(I)=C(I)-x0*B(I)
    B(I)=(B(I)*SS1(1,1)-Ac(I)*SS1(1,2))/(SS1(1,1))
    C(I)=(CS1(I)*SS1(1,1)-Ac(I)*SS1(1,3))/(SS1(1,1))
    K=0
    A=1
    DO WHILE (K<=H)
      IF (FP(I,1)==1) THEN
        v(A)=v(A)+(1/(2*JS1(2,2)*sqrt(JS1(3,3))))*(FP(I,2)*EVECS(1,1)*exp(-
        K*sqrt(EVALS(1)))/((1+exp(2*H*sqrt(EVALS(1))))*EVALS(1)**2)*(B(I)*EVECS(1,1)*sqrt
        (JS1(3,3))+C(I)*EVECS(2,1)*sqrt(JS1(2,2)))*(2*exp(H*sqrt(EVALS(1)))-4*exp((H-
        K)*sqrt(EVALS(1)))+2*exp((H+2*K)*sqrt(EVALS(1)))+2*H*sqrt(EVALS(1))*exp(2*H*sqrt(
        EVALS(1)))-
        2*H*sqrt(EVALS(1))*exp(2*K*sqrt(EVALS(1)))+exp((2*H+K)*sqrt(EVALS(1)))*(-
        2*H*sqrt(EVALS(1))+K*EVALS(1)*(2*H-K))+exp(K*sqrt(EVALS(1)))*(-
        EVALS(1)*K**2+2*H*(sqrt(EVALS(1))+K*EVALS(1)))+FP(I,2)*EVECS(1,2)*exp(-
        K*sqrt(EVALS(2)))/((1+exp(2*H*sqrt(EVALS(2))))*EVALS(2)**2)*(B(I)*EVECS(1,2)*sqrt
        (JS1(3,3))+C(I)*EVECS(2,2)*sqrt(JS1(2,2)))*(2*exp(H*sqrt(EVALS(2)))-4*exp((H-
        K)*sqrt(EVALS(2)))+2*exp((H+2*K)*sqrt(EVALS(2)))+2*H*sqrt(EVALS(2))*exp(2*H*sqrt(
        EVALS(2)))-
        2*H*sqrt(EVALS(2))*exp(2*K*sqrt(EVALS(2)))+exp((2*H+K)*sqrt(EVALS(2)))*(-
        2*H*sqrt(EVALS(2))+K*EVALS(2)*(2*H-K))+exp(K*sqrt(EVALS(2)))*(-
        EVALS(2)*K**2+2*H*(sqrt(EVALS(2))+K*EVALS(2))))))
      teta(A)=teta(A)+(1/(2*JS1(2,2)*sqrt(JS1(3,3))))*(FP(I,2)*EVECS(2,1)*exp(-

```

Algoritmo 32 Sub-rotina SISTEMA_SINGULAR (CONTINUAÇÃO)

```

K*sqrt(EVALS(1)))/((1+exp(2*H*sqrt(EVALS(1))))*EVALS(1)**2)*(B(I)*EVECS(1,1)*sqrt
(JS1(3,3))+C(I)*EVECS(2,1)*sqrt(JS1(2,2)))*(2*exp(H*sqrt(EVALS(1)))-4*exp((H-
K)*sqrt(EVALS(1)))+2*exp((H+2*K)*sqrt(EVALS(1)))+2*H*sqrt(EVALS(1))*exp(2*H*sqrt(
EVALS(1)))-
2*H*sqrt(EVALS(1))*exp(2*K*sqrt(EVALS(1)))+exp((2*H+K)*sqrt(EVALS(1)))*(-
2*H*sqrt(EVALS(1))+K*EVALS(1)*(2*H-K))+exp(K*sqrt(EVALS(1)))*(-
EVALS(1)*K**2+2*H*(sqrt(EVALS(1))+K*EVALS(1)))+FP(I,2)*EVECS(2,2)*exp(-
K*sqrt(EVALS(2)))/((1+exp(2*H*sqrt(EVALS(2))))*EVALS(2)**2)*(B(I)*EVECS(1,2)*sqrt
(JS1(3,3))+C(I)*EVECS(2,2)*sqrt(JS1(2,2)))*(2*exp(H*sqrt(EVALS(2)))-4*exp((H-
K)*sqrt(EVALS(2)))+2*exp((H+2*K)*sqrt(EVALS(2)))+2*H*sqrt(EVALS(2))*exp(2*H*sqrt(
EVALS(2)))-
2*H*sqrt(EVALS(2))*exp(2*K*sqrt(EVALS(2)))+exp((2*H+K)*sqrt(EVALS(2)))*(-
2*H*sqrt(EVALS(2))+K*EVALS(2)*(2*H-K))+exp(K*sqrt(EVALS(2)))*(-
EVALS(2)*K**2+2*H*(sqrt(EVALS(2))+K*EVALS(2))))
      u(A)=u(A)+Ac(I)*FP(I,2)/S(1,1)*(H*K-(K**2)/2)-S(1,2)/S(1,1)*v(A)-
S(1,3)/S(1,1)*teta(A)

ELSE IF (FP(I,1)==0) THEN
      v(A)=v(A)+(FP(I,2)/(JS1(2,2)*sqrt(JS1(3,3))))*((exp(-
K*sqrt(EVALS(1)))*EVECS(1,1)*(B(I)*EVECS(1,1)*sqrt(JS1(3,3))+C(I)*EVECS(2,1)*sqrt
(JS1(2,2)))*(exp(2*H*sqrt(EVALS(1)))-
exp(2*K*sqrt(EVALS(1)))+exp((2*H+K)*sqrt(EVALS(1)))*-
(1+K*sqrt(EVALS(1)))+exp(K*sqrt(EVALS(1)))*(1+K*sqrt(EVALS(1)))))/((1+exp(2*H*sqrt
(EVALS(1))))*EVALS(1)**(3/2))+exp(-
K*sqrt(EVALS(2)))*EVECS(1,2)*(B(I)*EVECS(1,2)*sqrt(JS1(3,3))+C(I)*EVECS(2,2)*sqrt
(JS1(2,2)))*(exp(2*H*sqrt(EVALS(2)))-
exp(2*K*sqrt(EVALS(2)))+exp((2*H+K)*sqrt(EVALS(2)))*-
(1+K*sqrt(EVALS(2)))+exp(K*sqrt(EVALS(2)))*(1+K*sqrt(EVALS(2)))))/((1+exp(2*H*sqrt
(EVALS(2))))*EVALS(2)**(3/2)))
      teta(A)=teta(A)+(FP(I,2)/(JS1(3,3)*sqrt(JS1(2,2))))*((exp(-
K*sqrt(EVALS(1)))*EVECS(2,1)*(B(I)*EVECS(1,1)*sqrt(JS1(3,3))+C(I)*EVECS(2,1)*sqrt
(JS1(2,2)))*(exp(2*H*sqrt(EVALS(1)))-
exp(2*K*sqrt(EVALS(1)))+exp((2*H+K)*sqrt(EVALS(1)))*-
(1+K*sqrt(EVALS(1)))+exp(K*sqrt(EVALS(1)))*(1+K*sqrt(EVALS(1)))))/((1+exp(2*H*sqrt
(EVALS(1))))*EVALS(1)**(3/2))+exp(-
K*sqrt(EVALS(2)))*EVECS(2,2)*(B(I)*EVECS(1,2)*sqrt(JS1(3,3))+C(I)*EVECS(2,2)*sqrt
(JS1(2,2)))*(exp(2*H*sqrt(EVALS(2)))-
exp(2*K*sqrt(EVALS(2)))+exp((2*H+K)*sqrt(EVALS(2)))*-
(1+K*sqrt(EVALS(2)))+exp(K*sqrt(EVALS(2)))*(1+K*sqrt(EVALS(2)))))/((1+exp(2*H*sqrt
(EVALS(2))))*EVALS(2)**(3/2)))
      u(A)=u(A)+Ac(I)*FP(I,2)/S(1,1)*(K)-S(1,2)/S(1,1)*v(A)-
S(1,3)/S(1,1)*teta(A)
      END IF
      K=K+Hp
      A=A+1
    END DO
  END DO

END IF
DO I=1,NPP
  DO A=1,int(H/Hp+1)
    uw(I,A)=Aw(I)*u(A)+Bw(I)*v(A)+Cw(I)*teta(A)
  END DO
END DO
DO I=1,NPOR
  DO A=1,int(H/Hp+1)
    uf(I,A)=Af(I)*u(A)+Bf(I)*v(A)+Cf(I)*teta(A)
  END DO
END DO
END SUBROUTINE SISTEMA_SINGULAR

```

A.4.9 EIXO

Esta sub-rotina é responsável por reposicionar o eixo através de translações e rotações com o objetivo de encontrar uma matriz diagonal da matriz de rigidez. Conseqüentemente, os vetores unitários serão modificados e as matrizes de rigidez terão novos valores. Seu código computacional está presente no Algoritmo 33 e 34.

Algoritmo 33 Sub-rotina EIXO

```

SUBROUTINE EIXO
(NPOR, NPP, NNSA, NF, ANL, J, Af, Bf, Cf, Aw, Bw, Cw, An, Bn, Cn, Ac, B, C, A2f, B2f, C2f, A2w, B2w, C2w
, A2n, B2n, C2n, A2c, B2, C2)
IMPLICIT NONE
! [...]DECLARAÇÃO DAS VARIÁVEIS
x0=(J(1,1)*J(2,3)-J(1,2)*J(1,3))/(J(1,1)*J(2,2)-(J(1,2))**2)
y0=(-J(2,2)*J(1,3)+J(1,2)*J(2,3))/(J(1,1)*J(2,2)-(J(1,2))**2)
ALLOCATE(C1w(1:NPP))
C1w=0.D0
DO I=1,NPP
    C1w(I)=Cw(I)-x0*Bw(I)+y0*Aw(I)
END DO
ALLOCATE(C1f(1:NPOR))
C1f=0.D0
IF (ANL==1) THEN
    DO I=1, NPOR
        C1f(I)=Cf(I)-x0*Bf(I)+y0*Af(I)
    END DO
END IF
K=0
ALLOCATE(C1n(1:2*NNSA))
C1n=0.D0
DO I=1,NNSA
    C1n(I+K)=Cn(I+K) +y0*An(I)
    C1n(I+K+1)=Cn(I+K+1)-x0*Bn(I)
    K=K+1
END DO
ALLOCATE(C2n(1:2*NNSA))
C2n=0.D0
C2n=C1n
ALLOCATE(A1f(1:NPOR))
A1f=0.D0
A1f=Af
ALLOCATE(B1f(1:NPOR))
B1f=0.D0
B1f=Bf
DO I=1, NPOR
    C1f(I)=Cf(I)-x0*Bf(I)+y0*Af(I)
END DO
phi=0.5*atan(2*J(1,2)/(J(1,1)-J(2,2)))
ALLOCATE(A2w(1:NPP))
A2w=0.D0
ALLOCATE(B2w(1:NPP))
B2w=0.D0
DO I=1,NPP
    A2w(I)=Aw(I)*cos(phi)+Bw(I)*sin(phi)
    B2w(I)=-Aw(I)*sin(phi)+Bw(I)*cos(phi)
END DO

```

Algoritmo 34 Sub-rotina EIXO (CONTINUAÇÃO)

```

ALLOCATE(A2f(1:NPOR))
A2f=0.D0
ALLOCATE(B2f(1:NPOR))
B2f=0.D0
IF (ANL==1) THEN
  DO I=1, NPOR
    A2f(I)=Af(I)*cos(phi)+Bf(I)*sin(phi)
    B2f(I)=-Af(I)*sin(phi)+Bf(I)*cos(phi)
  END DO
END IF
ALLOCATE(A2n(1:NNSA))
A2n=0.D0
ALLOCATE(B2n(1:NNSA))
B2n=0.D0
DO I=1, NNSA
  A2n(I)=An(I)*cos(phi)
  B2n(I)=Bn(I)*cos(phi)
END DO
ALLOCATE(C2f(1:NPOR))
C2f=0.D0
C2f=C1f
DO I=1, NPOR
  A2f(I)=Af(I)*cos(phi)+Bf(I)*sin(phi)
  B2f(I)=-Af(I)*sin(phi)+Bf(I)*cos(phi)
END DO
ALLOCATE(A2c(1:NF))
A2c=0.D0
ALLOCATE(B2(1:NF))
B2=0.D0
ALLOCATE(C2(1:NF))
C2=0.D0
DO I=1, NF
  A2c(I)=Ac(I)*cos(phi)+B(I)*sin(phi)
  B2(I)=-Ac(I)*sin(phi)+B(I)*cos(phi)
  C2(I)=C(I)-x0*B(I)+y0*Ac(I)
END DO

END SUBROUTINE EIXO

```

A.4.10 SISTEMA_GERAL

Nesta sub-rotina são calculados os deslocamentos do diafragma rígido bem como os principais da parede ou pórtico e seus momentos fletores e cortantes para o caso em que o determinante da matriz de rigidez à flexão ou ao cisalhamento sejam diferentes de zero. Para seu cálculo são utilizados os valores da matriz de rigidez calculados em relação ao novo eixo de referência. O código computacional mostrado no Algoritmo 35,36,37,38,40,41 e 42 demonstra seu processo de cálculo.

Algoritmo 35 Sub-rotina SISTEMA_GERAL

```

SUBROUTINE SISTEMA_GE-
RAL(H,HP,ANL,NPOR,NPP,NF,FP,Sf,Jwf,Jw,S,J,A2f,B2f,C2f,A2w,B2w,C2w,A2c,B2,C2,u,v,t
eta,uf,uw,Qf,Mf,Qw,Mw)
IMPLICIT NONE
! [...]DECLARAÇÃO DAS VARIÁVEIS
ALLOCATE(TG(1:3,1:3))
TG=0.D0
TG(1,1)=1/(sqrt(J(1,1)))
TG(2,2)=1/(sqrt(J(2,2)))
TG(3,3)=1/(sqrt(J(3,3)))
ALLOCATE(E(1:3,1:3))
E=0.D0
E=MATMUL(MATMUL(Transpose(TG),S),TG)
ALLOCATE(EVAL(1:3))
EVAL=0.D0
ALLOCATE(EVEC(1:3,1:3))
EVEC=0.D0
CALL EVCSF (E,EVAL,EVEC)
ALLOCATE (u(1:int(H/Hp+1)))
u=0.D0
ALLOCATE (v(1:int(H/Hp+1)))
v=0.D0
ALLOCATE (teta(1:int(H/Hp+1)))
teta=0.D0
ALLOCATE (Qf(1:NPOR,1:int(H/Hp+1)))
Qf=0.D0
ALLOCATE (Mf(1:NPOR,1:int(H/Hp+1)))
Mf=0.D0
ALLOCATE (Qw(1:NPP,1:int(H/Hp+1)))
Qw=0.D0
ALLOCATE (Mw(1:NPP,1:int(H/Hp+1)))
Mw=0.D0

DO I=1,NF
  K=0
  A=1
  DO WHILE (K<=H)
    IF (FP(I,1)==1) THEN

u(A)=u(A)+FP(I,2)/(2*J(1,1)*sqrt(J(2,2)*J(3,3)))*((EVEC(1,1)*exp(-
K*sqrt(EVAL(1))))/(EVAL(1)**2*(1+exp(2*H*sqrt(EVAL(1)))))*(A2c(I)*EVAL(1)*sqrt(J(
2,2)*J(3,3))+sqrt(J(1,1))*(B2(I)*EVEC(2,1)*sqrt(J(3,3))+C2(I)*EVEC(3,1)*sqrt(J(2,
2))))*(2*exp(H*sqrt(EVAL(1))))-
4*exp((H+K)*sqrt(EVAL(1)))+2*exp((H+2*K)*sqrt(EVAL(1)))+2*H*sqrt(EVAL(1))*exp((2*
H)*sqrt(EVAL(1)))-
2*H*sqrt(EVAL(1))*exp((2*K)*sqrt(EVAL(1)))+exp((2*H+K)*sqrt(EVAL(1)))*(-
2*H*sqrt(EVAL(1))+K*EVAL(1)*(2*H-K))+exp(K*sqrt(EVAL(1)))*(-
EVAL(1)*K**2+2*H*(K*EVAL(1)+sqrt(EVAL(1))))+(EVEC(1,2)*exp(-
K*sqrt(EVAL(2))))/(EVAL(2)**2*(1+exp(2*H*sqrt(EVAL(2)))))*(A2c(I)*EVAL(2)*sqrt(J(
2,2)*J(3,3))+sqrt(J(1,1))*(B2(I)*EVEC(2,2)*sqrt(J(3,3))+C2(I)*EVEC(3,2)*sqrt(J(2,
2))))*(2*exp(H*sqrt(EVAL(2))))-
4*exp((H+K)*sqrt(EVAL(2)))+2*exp((H+2*K)*sqrt(EVAL(2)))+2*H*sqrt(EVAL(2))*exp((2*
H)*sqrt(EVAL(2)))-
2*H*sqrt(EVAL(2))*exp((2*K)*sqrt(EVAL(2)))+exp((2*H+K)*sqrt(EVAL(2)))*(-
2*H*sqrt(EVAL(2))+K*EVAL(2)*(2*H-K))+exp(K*sqrt(EVAL(2)))*(-
EVAL(2)*K**2+2*H*(K*EVAL(2)+sqrt(EVAL(2))))+(EVEC(1,3)*exp(-
K*sqrt(EVAL(3))))/(EVAL(3)**2*(1+exp(2*H*sqrt(EVAL(3)))))*(A2c(I)*EVAL(3)*sqrt(J(
2,2)*J(3,3))+sqrt(J(1,1))*(B2(I)*EVEC(2,3)*sqrt(J(3,3))+C2(I)*EVEC(3,3)*sqrt(J(2,
2))))*(2*exp(H*sqrt(EVAL(3))))-
4*exp((H+K)*sqrt(EVAL(3)))+2*exp((H+2*K)*sqrt(EVAL(3)))+2*H*sqrt(EVAL(3))*exp((2*
H)*sqrt(EVAL(3)))-
2*H*sqrt(EVAL(3))*exp((2*K)*sqrt(EVAL(3)))+exp((2*H+K)*sqrt(EVAL(3)))*(-

```

Algoritmo 37 Sub-rotina SISTEMA_GERAL (CONTINUAÇÃO)

```

qrt(J(2,2)*J(3,3))+sqrt(J(1,1))*(B2(I)*EVEC(2,2)*sqrt(J(3,3))+C2(I)*EVEC(3,2)*sqrt
(J(2,2)))*exp(2*H*sqrt(EVAL(2)))-
exp(2*K*sqrt(EVAL(2)))+exp((2*H+K)*sqrt(EVAL(2)))*(-
1+K*sqrt(EVAL(2)))+exp(K*sqrt(EVAL(2)))*(1+K*sqrt(EVAL(2)))+(EVEC(1,3)*exp(-
K*sqrt(EVAL(3)))/((1+exp(2*H*sqrt(EVAL(3))))*EVAL(3)**(3/2))*(A2c(I)*EVEC(1,3)*s
qrt(J(2,2)*J(3,3))+sqrt(J(1,1))*(B2(I)*EVEC(2,3)*sqrt(J(3,3))+C2(I)*EVEC(3,3)*sqrt
(J(2,2)))*exp(2*H*sqrt(EVAL(3)))-
exp(2*K*sqrt(EVAL(3)))+exp((2*H+K)*sqrt(EVAL(3)))*(-
1+K*sqrt(EVAL(3)))+exp(K*sqrt(EVAL(3)))*(1+K*sqrt(EVAL(3))))
v(A)=v(A)+FP(I,2)/(J(2,2)*sqrt(J(1,1)*J(3,3)))*((EVEC(2,1)*exp(-
K*sqrt(EVAL(1))))/((1+exp(2*H*sqrt(EVAL(1))))*EVAL(1)**(3/2))*(A2c(I)*EVEC(1,1)*s
qrt(J(2,2)*J(3,3))+sqrt(J(1,1))*(B2(I)*EVEC(2,1)*sqrt(J(3,3))+C2(I)*EVEC(3,1)*sqrt
(J(2,2)))*exp(2*H*sqrt(EVAL(1)))-
exp(2*K*sqrt(EVAL(1)))+exp((2*H+K)*sqrt(EVAL(1)))*(-
1+K*sqrt(EVAL(1)))+exp(K*sqrt(EVAL(1)))*(1+K*sqrt(EVAL(1)))+(EVEC(2,2)*exp(-
K*sqrt(EVAL(2)))/((1+exp(2*H*sqrt(EVAL(2))))*EVAL(2)**(3/2))*(A2c(I)*EVEC(1,2)*s
qrt(J(2,2)*J(3,3))+sqrt(J(1,1))*(B2(I)*EVEC(2,2)*sqrt(J(3,3))+C2(I)*EVEC(3,2)*sqrt
(J(2,2)))*exp(2*H*sqrt(EVAL(2)))-
exp(2*K*sqrt(EVAL(2)))+exp((2*H+K)*sqrt(EVAL(2)))*(-
1+K*sqrt(EVAL(2)))+exp(K*sqrt(EVAL(2)))*(1+K*sqrt(EVAL(2)))+(EVEC(2,3)*exp(-
K*sqrt(EVAL(3)))/((1+exp(2*H*sqrt(EVAL(3))))*EVAL(3)**(3/2))*(A2c(I)*EVEC(1,3)*s
qrt(J(2,2)*J(3,3))+sqrt(J(1,1))*(B2(I)*EVEC(2,3)*sqrt(J(3,3))+C2(I)*EVEC(3,3)*sqrt
(J(2,2)))*exp(2*H*sqrt(EVAL(3)))-
exp(2*K*sqrt(EVAL(3)))+exp((2*H+K)*sqrt(EVAL(3)))*(-
1+K*sqrt(EVAL(3)))+exp(K*sqrt(EVAL(3)))*(1+K*sqrt(EVAL(3))))

```

```

teta(A)=teta(A)+FP(I,2)/(J(3,3)*sqrt(J(2,2)*J(1,1)))*((EVEC(3,1)*exp(-
K*sqrt(EVAL(1))))/((1+exp(2*H*sqrt(EVAL(1))))*EVAL(1)**(3/2))*(A2c(I)*EVEC(1,1)*s
qrt(J(2,2)*J(3,3))+sqrt(J(1,1))*(B2(I)*EVEC(2,1)*sqrt(J(3,3))+C2(I)*EVEC(3,1)*sqrt
(J(2,2)))*exp(2*H*sqrt(EVAL(1)))-
exp(2*K*sqrt(EVAL(1)))+exp((2*H+K)*sqrt(EVAL(1)))*(-
1+K*sqrt(EVAL(1)))+exp(K*sqrt(EVAL(1)))*(1+K*sqrt(EVAL(1)))+(EVEC(3,2)*exp(-
K*sqrt(EVAL(2)))/((1+exp(2*H*sqrt(EVAL(2))))*EVAL(2)**(3/2))*(A2c(I)*EVEC(1,2)*s
qrt(J(2,2)*J(3,3))+sqrt(J(1,1))*(B2(I)*EVEC(2,2)*sqrt(J(3,3))+C2(I)*EVEC(3,2)*sqrt
(J(2,2)))*exp(2*H*sqrt(EVAL(2)))-
exp(2*K*sqrt(EVAL(2)))+exp((2*H+K)*sqrt(EVAL(2)))*(-
1+K*sqrt(EVAL(2)))+exp(K*sqrt(EVAL(2)))*(1+K*sqrt(EVAL(2)))+(EVEC(3,3)*exp(-
K*sqrt(EVAL(3)))/((1+exp(2*H*sqrt(EVAL(3))))*EVAL(3)**(3/2))*(A2c(I)*EVEC(1,3)*s
qrt(J(2,2)*J(3,3))+sqrt(J(1,1))*(B2(I)*EVEC(2,3)*sqrt(J(3,3))+C2(I)*EVEC(3,3)*sqrt
(J(2,2)))*exp(2*H*sqrt(EVAL(3)))-
exp(2*K*sqrt(EVAL(3)))+exp((2*H+K)*sqrt(EVAL(3)))*(-
1+K*sqrt(EVAL(3)))+exp(K*sqrt(EVAL(3)))*(1+K*sqrt(EVAL(3))))

```

```
END IF
```

```
K=K+Hp
```

```
A=A+1
```

```
END DO
```

```

C21=FP(I,2)*(EVEC(1,1)*A2c(I)/sqrt(J(1,1))+EVEC(2,1)*B2(I)/sqrt(J(2,2))+EVEC(3,1)
*C2(I)/sqrt(J(3,3)))*(1/(EVAL(1)**(3/2)))*((-exp(-2*sqrt(EVAL(1))))/(1+exp(-
2*sqrt(EVAL(1)))))

```

```

C22=FP(I,2)*(EVEC(1,2)*A2c(I)/sqrt(J(1,1))+EVEC(2,2)*B2(I)/sqrt(J(2,2))+EVEC(3,2)
*C2(I)/sqrt(J(3,3)))*(1/(EVAL(2)**(3/2)))*((-exp(-2*sqrt(EVAL(2))))/(1+exp(-
2*sqrt(EVAL(2)))))

```

```

C23=FP(I,2)*(EVEC(1,3)*A2c(I)/sqrt(J(1,1))+EVEC(2,3)*B2(I)/sqrt(J(2,2))+EVEC(3,3)
*C2(I)/sqrt(J(3,3)))*(1/(EVAL(3)**(3/2)))*((-exp(-2*sqrt(EVAL(3))))/(1+exp(-
2*sqrt(EVAL(3)))))

```

```

C31=FP(I,2)*(EVEC(1,1)*A2c(I)/sqrt(J(1,1))+EVEC(2,1)*B2(I)/sqrt(J(2,2))+EVEC(3,1)
*C2(I)/sqrt(J(3,3)))*(1/(EVAL(1)**(3/2)))*(1/(1+exp(-2*sqrt(EVAL(1)))))

```

Algoritmo 38 Sub-rotina SISTEMA_GERAL (CONTINUAÇÃO)

$$C32=FP(I,2)*(EVEC(1,2)*A2c(I)/\sqrt{J(1,1)}+EVEC(2,2)*B2(I)/\sqrt{J(2,2)}+EVEC(3,2)*C2(I)/\sqrt{J(3,3)})*(1/(EVAL(2)**(3/2)))*(1/(1+\exp(-2*\sqrt{EVAL(2)})))$$

$$C33=FP(I,2)*(EVEC(1,3)*A2c(I)/\sqrt{J(1,1)}+EVEC(2,3)*B2(I)/\sqrt{J(2,2)}+EVEC(3,3)*C2(I)/\sqrt{J(3,3)})*(1/(EVAL(3)**(3/2)))*(1/(1+\exp(-2*\sqrt{EVAL(3)})))$$

$$C51=FP(I,2)/(EVAL(1)**2)*(EVEC(1,1)*A2c(I)/\sqrt{J(1,1)}+EVEC(2,1)*B2(I)/\sqrt{J(2,2)}+EVEC(3,1)*C2(I)/\sqrt{J(3,3)})*((\exp(-H*\sqrt{EVAL(1)})-\sqrt{EVAL(1)}*H*\exp(-2*\sqrt{EVAL(1)}*H))/(1+\exp(-2*\sqrt{EVAL(1)}*H)))$$

$$C52=FP(I,2)/(EVAL(2)**2)*(EVEC(1,2)*A2c(I)/\sqrt{J(1,1)}+EVEC(2,2)*B2(I)/\sqrt{J(2,2)}+EVEC(3,2)*C2(I)/\sqrt{J(3,3)})*((\exp(-H*\sqrt{EVAL(2)})-\sqrt{EVAL(2)}*H*\exp(-2*\sqrt{EVAL(2)}*H))/(1+\exp(-2*\sqrt{EVAL(2)}*H)))$$

$$C53=FP(I,2)/(EVAL(3)**2)*(EVEC(1,3)*A2c(I)/\sqrt{J(1,1)}+EVEC(2,3)*B2(I)/\sqrt{J(2,2)}+EVEC(3,3)*C2(I)/\sqrt{J(3,3)})*((\exp(-H*\sqrt{EVAL(3)})-\sqrt{EVAL(3)}*H*\exp(-2*\sqrt{EVAL(3)}*H))/(1+\exp(-2*\sqrt{EVAL(3)}*H)))$$

$$C61=FP(I,2)/(EVAL(1)**2)*(EVEC(1,1)*A2c(I)/\sqrt{J(1,1)}+EVEC(2,1)*B2(I)/\sqrt{J(2,2)}+EVEC(3,1)*C2(I)/\sqrt{J(3,3)})*((\sqrt{EVAL(1)}*H+\exp(-\sqrt{EVAL(1)}*H))/(1+\exp(-2*\sqrt{EVAL(1)}*H)))$$

$$C62=FP(I,2)/(EVAL(2)**2)*(EVEC(1,2)*A2c(I)/\sqrt{J(1,1)}+EVEC(2,2)*B2(I)/\sqrt{J(2,2)}+EVEC(3,2)*C2(I)/\sqrt{J(3,3)})*((\sqrt{EVAL(2)}*H+\exp(-\sqrt{EVAL(2)}*H))/(1+\exp(-2*\sqrt{EVAL(2)}*H)))$$

$$C63=FP(I,2)/(EVAL(3)**2)*(EVEC(1,3)*A2c(I)/\sqrt{J(1,1)}+EVEC(2,3)*B2(I)/\sqrt{J(2,2)}+EVEC(3,3)*C2(I)/\sqrt{J(3,3)})*((\sqrt{EVAL(3)}*H+\exp(-\sqrt{EVAL(3)}*H))/(1+\exp(-2*\sqrt{EVAL(3)}*H)))$$

$$F11=FP(I,2)/EVAL(1)*(EVEC(1,1)*A2c(I)/\sqrt{J(1,1)}+EVEC(2,1)*B2(I)/\sqrt{J(2,2)}+EVEC(3,1)*C2(I)/\sqrt{J(3,3)})$$

$$F21=FP(I,2)/EVAL(2)*(EVEC(1,2)*A2c(I)/\sqrt{J(1,1)}+EVEC(2,2)*B2(I)/\sqrt{J(2,2)}+EVEC(3,2)*C2(I)/\sqrt{J(3,3)})$$

$$F31=FP(I,2)/EVAL(3)*(EVEC(1,3)*A2c(I)/\sqrt{J(1,1)}+EVEC(2,3)*B2(I)/\sqrt{J(2,2)}+EVEC(3,3)*C2(I)/\sqrt{J(3,3)})$$

END DO

DO L=1,NPOR

DO I=1,NF

K=0

A=1

DO WHILE (K<=H)

IF (FP(I,1)==1) THEN

$$Qf(L,A)=Qf(L,A)+sf(L)*(A2f(L)/\sqrt{J(1,1)}*(EVEC(1,1)*(\sqrt{EVAL(1)}*C51*\exp(\sqrt{EVAL(1)}*K)-\sqrt{EVAL(1)}*C61*\exp(-K*\sqrt{EVAL(1)}))+F11*(H-K))+EVEC(1,2)*(\sqrt{EVAL(2)}*C52*\exp(\sqrt{EVAL(2)}*K)-\sqrt{EVAL(2)}*C62*\exp(-K*\sqrt{EVAL(2)}))+F21*(H-K))+EVEC(1,3)*(\sqrt{EVAL(3)}*C53*\exp(\sqrt{EVAL(3)}*K)-\sqrt{EVAL(3)}*C63*\exp(-K*\sqrt{EVAL(3)}))+F31*(H-K))+B2f(L)/\sqrt{J(2,2)}*(EVEC(2,1)*(\sqrt{EVAL(1)}*C51*\exp(\sqrt{EVAL(1)}*K)-\sqrt{EVAL(1)}*C61*\exp(-K*\sqrt{EVAL(1)}))+F11*(H-K))+EVEC(2,2)*(\sqrt{EVAL(2)}*C52*\exp(\sqrt{EVAL(2)}*K)-\sqrt{EVAL(2)}*C62*\exp(-K*\sqrt{EVAL(2)}))+F21*(H-K))+EVEC(2,3)*(\sqrt{EVAL(3)}*C53*\exp(\sqrt{EVAL(3)}*K)-\sqrt{EVAL(3)}*C63*\exp(-K*\sqrt{EVAL(3)}))+F31*(H-K))+C2f(L)/\sqrt{J(3,3)}*(EVEC(3,1)*(\sqrt{EVAL(1)}*C51*\exp(\sqrt{EVAL(1)}*K)-\sqrt{EVAL(1)}*C61*\exp(-K*\sqrt{EVAL(1)}))+F11*(H-K))+EVEC(3,2)*(\sqrt{EVAL(2)}*C52*\exp(\sqrt{EVAL(2)}*K)-\sqrt{EVAL(2)}*C62*\exp(-K*\sqrt{EVAL(2)}))+F21*(H-K))+EVEC(3,3)*(\sqrt{EVAL(3)}*C53*\exp(\sqrt{EVAL(3)}*K)-\sqrt{EVAL(3)}*C63*\exp(-K*\sqrt{EVAL(3)}))+F31*(H-K)))$$

Algoritmo 39 Sub-rotina SISTEMA_GERAL (CONTINUAÇÃO)

$$Mf(L,A)=Mf(L,A)+sf(L)*(-A2f(L)*u(A)-B2f(L)*v(A)-C2f(L)*teta(A))$$
IF (ANL==1) **THEN**

$$Qf(L,A)=Qf(L,A)-$$

$$jwf(L)*(A2f(L)/\sqrt{J(1,1)}*(EVEC(1,1)*((EVAL(1)**(1.5))*C51*\exp(\sqrt{EVAL(1)}*K) - (EVAL(1)**(1.5))*C61*\exp(-K*\sqrt{EVAL(1)})))+EVEC(1,2)*((EVAL(2)**(1.5))*C52*\exp(\sqrt{EVAL(2)}*K) - (EVAL(2)**(1.5))*C62*\exp(-K*\sqrt{EVAL(2)})))+EVEC(1,3)*((EVAL(3)**(1.5))*C53*\exp(\sqrt{EVAL(3)}*K) - (EVAL(3)**(1.5))*C63*\exp(-K*\sqrt{EVAL(3)})))+B2f(L)/\sqrt{J(2,2)}*(EVEC(2,1)*((EVAL(1)**(1.5))*C51*\exp(\sqrt{EVAL(1)}*K) - (EVAL(1)**(1.5))*C61*\exp(-K*\sqrt{EVAL(1)})))+EVEC(2,2)*((EVAL(2)**(1.5))*C52*\exp(\sqrt{EVAL(2)}*K) - (EVAL(2)**(1.5))*C62*\exp(-K*\sqrt{EVAL(2)})))+EVEC(2,3)*((EVAL(3)**(1.5))*C53*\exp(\sqrt{EVAL(3)}*K) - (EVAL(3)**(1.5))*C63*\exp(-K*\sqrt{EVAL(3)})))+C2f(L)/\sqrt{J(3,3)}*(EVEC(3,1)*((EVAL(1)**(1.5))*C51*\exp(\sqrt{EVAL(1)}*K) - (EVAL(1)**(1.5))*C61*\exp(-K*\sqrt{EVAL(1)})))+EVEC(3,2)*((EVAL(2)**(1.5))*C52*\exp(\sqrt{EVAL(2)}*K) - (EVAL(2)**(1.5))*C62*\exp(-K*\sqrt{EVAL(2)})))+EVEC(3,3)*((EVAL(3)**(1.5))*C53*\exp(\sqrt{EVAL(3)}*K) - (EVAL(3)**(1.5))*C63*\exp(-K*\sqrt{EVAL(3)})))))$$

$$Mf(L,A)=Mf(L,A)+jwf(L)*(A2f(L)/\sqrt{J(1,1)}*(EVEC(1,1)*((EVAL(1))*C51*\exp(\sqrt{EVAL(1)}*K)+(EVAL(1))*C61*\exp(-K*\sqrt{EVAL(1)}))-F11)+EVEC(1,2)*((EVAL(2))*C52*\exp(\sqrt{EVAL(2)}*K)+(EVAL(2))*C62*\exp(-K*\sqrt{EVAL(2)}))-F21)+EVEC(1,3)*((EVAL(3))*C53*\exp(\sqrt{EVAL(3)}*K)+(EVAL(3))*C63*\exp(-K*\sqrt{EVAL(3)}))-F31))+B2f(L)/\sqrt{J(2,2)}*(EVEC(2,1)*((EVAL(1))*C51*\exp(\sqrt{EVAL(1)}*K)+(EVAL(1))*C61*\exp(-K*\sqrt{EVAL(1)}))-F11)+EVEC(2,2)*((EVAL(2))*C52*\exp(\sqrt{EVAL(2)}*K)+(EVAL(2))*C62*\exp(-K*\sqrt{EVAL(2)}))-F21)+EVEC(2,3)*((EVAL(3))*C53*\exp(\sqrt{EVAL(3)}*K)+(EVAL(3))*C63*\exp(-K*\sqrt{EVAL(3)}))-F31))+C2f(L)/\sqrt{J(3,3)}*(EVEC(3,1)*((EVAL(1))*C51*\exp(\sqrt{EVAL(1)}*K)+(EVAL(1))*C61*\exp(-K*\sqrt{EVAL(1)}))-F11)+EVEC(3,2)*((EVAL(2))*C52*\exp(\sqrt{EVAL(2)}*K)+(EVAL(2))*C62*\exp(-K*\sqrt{EVAL(2)}))-F21)+EVEC(3,3)*((EVAL(3))*C53*\exp(\sqrt{EVAL(3)}*K)+(EVAL(3))*C63*\exp(-K*\sqrt{EVAL(3)}))-F31)))$$
END IF
ELSE IF (FP(I,1)==0) **THEN**

$$Qf(L,A)=Qf(L,A)+sf(L)*(A2f(L)/\sqrt{J(1,1)}*(EVEC(1,1)*(\sqrt{EVAL(1)}*C21*\exp(\sqrt{EVAL(1)}*K)-\sqrt{EVAL(1)}*C31*\exp(-K*\sqrt{EVAL(1)}))+F11)+EVEC(1,2)*(\sqrt{EVAL(2)}*C22*\exp(\sqrt{EVAL(2)}*K)-\sqrt{EVAL(2)}*C32*\exp(-K*\sqrt{EVAL(2)}))+F21)+EVEC(1,3)*(\sqrt{EVAL(3)}*C23*\exp(\sqrt{EVAL(3)}*K)-\sqrt{EVAL(3)}*C33*\exp(-K*\sqrt{EVAL(3)}))+F31))+B2f(L)/\sqrt{J(2,2)}*(EVEC(2,1)*(\sqrt{EVAL(1)}*C21*\exp(\sqrt{EVAL(1)}*K)-\sqrt{EVAL(1)}*C31*\exp(-K*\sqrt{EVAL(1)}))+F11)+EVEC(2,2)*(\sqrt{EVAL(2)}*C22*\exp(\sqrt{EVAL(2)}*K)-\sqrt{EVAL(2)}*C32*\exp(-K*\sqrt{EVAL(2)}))+F21)+EVEC(2,3)*(\sqrt{EVAL(3)}*C23*\exp(\sqrt{EVAL(3)}*K)-\sqrt{EVAL(3)}*C33*\exp(-K*\sqrt{EVAL(3)}))+F31))+C2f(L)/\sqrt{J(3,3)}*(EVEC(3,1)*(\sqrt{EVAL(1)}*C21*\exp(\sqrt{EVAL(1)}*K)-\sqrt{EVAL(1)}*C31*\exp(-K*\sqrt{EVAL(1)}))+F11)+EVEC(3,2)*(\sqrt{EVAL(2)}*C22*\exp(\sqrt{EVAL(2)}*K)-\sqrt{EVAL(2)}*C32*\exp(-K*\sqrt{EVAL(2)}))+F21)+EVEC(3,3)*(\sqrt{EVAL(3)}*C23*\exp(\sqrt{EVAL(3)}*K)-\sqrt{EVAL(3)}*C33*\exp(-K*\sqrt{EVAL(3)}))+F31)))$$

Algoritmo 40 Sub-rotina SISTEMA_GERAL (CONTINUAÇÃO)

```

      Mf(L,A)=Mf(L,A)+sf(L)*(-A2f(L)*u(A)-B2f(L)*v(A)-C2f(L)*teta(A))
      IF (ANL==1) THEN
        Qf(L,A)=Qf(L,A)-
        jwf(L)*(A2f(L)/sqrt(J(1,1))*(EVEC(1,1)*((EVAL(1)**(1.5))*C21*exp(sqrt(EVAL(1))*K)
        -(EVAL(1)**(1.5))*C31*exp(-
        K*sqrt(EVAL(1)))))+EVEC(1,2)*((EVAL(2)**(1.5))*C22*exp(sqrt(EVAL(2))*K)-
        (EVAL(2)**(1.5))*C32*exp(-
        K*sqrt(EVAL(2)))))+EVEC(1,3)*((EVAL(3)**(1.5))*C23*exp(sqrt(EVAL(3))*K)-
        (EVAL(3)**(1.5))*C33*exp(-
        K*sqrt(EVAL(3)))))+B2f(L)/sqrt(J(2,2))*(EVEC(2,1)*((EVAL(1)**(1.5))*C21*exp(sqrt(
        EVAL(1))*K)-(EVAL(1)**(1.5))*C31*exp(-
        K*sqrt(EVAL(1)))))+EVEC(2,2)*((EVAL(2)**(1.5))*C22*exp(sqrt(EVAL(2))*K)-
        (EVAL(2)**(1.5))*C32*exp(-
        K*sqrt(EVAL(2)))))+EVEC(2,3)*((EVAL(3)**(1.5))*C23*exp(sqrt(EVAL(3))*K)-
        (EVAL(3)**(1.5))*C33*exp(-
        K*sqrt(EVAL(3)))))+C2f(L)/sqrt(J(3,3))*(EVEC(3,1)*((EVAL(1)**(1.5))*C21*exp(sqrt(
        EVAL(1))*K)-(EVAL(1)**(1.5))*C31*exp(-
        K*sqrt(EVAL(1)))))+EVEC(3,2)*((EVAL(2)**(1.5))*C22*exp(sqrt(EVAL(2))*K)-
        (EVAL(2)**(1.5))*C32*exp(-
        K*sqrt(EVAL(2)))))+EVEC(3,3)*((EVAL(3)**(1.5))*C23*exp(sqrt(EVAL(3))*K)-
        (EVAL(3)**(1.5))*C33*exp(-K*sqrt(EVAL(3))))))

Mf(L,A)=Mf(L,A)+jwf(L)*(A2f(L)/sqrt(J(1,1))*(EVEC(1,1)*((EVAL(1))*C21*exp(sqrt(EV
AL(1))*K)+(EVAL(1))*C31*exp(-
K*sqrt(EVAL(1)))))+EVEC(1,2)*((EVAL(2))*C22*exp(sqrt(EVAL(2))*K)+(EVAL(2))*C32*exp
(-
K*sqrt(EVAL(2)))))+EVEC(1,3)*((EVAL(3))*C23*exp(sqrt(EVAL(3))*K)+(EVAL(3))*C33*exp
(-
K*sqrt(EVAL(3)))))+B2f(L)/sqrt(J(2,2))*(EVEC(2,1)*((EVAL(1))*C21*exp(sqrt(EVAL(1)
))*K)+(EVAL(1))*C31*exp(-
K*sqrt(EVAL(1)))))+EVEC(2,2)*((EVAL(2))*C22*exp(sqrt(EVAL(2))*K)+(EVAL(2))*C32*exp
(-
K*sqrt(EVAL(2)))))+EVEC(2,3)*((EVAL(3))*C23*exp(sqrt(EVAL(3))*K)+(EVAL(3))*C33*exp
(-
K*sqrt(EVAL(3)))))+C2f(L)/sqrt(J(3,3))*(EVEC(3,1)*((EVAL(1))*C21*exp(sqrt(EVAL(1)
))*K)+(EVAL(1))*C31*exp(-
K*sqrt(EVAL(1)))))+EVEC(3,2)*((EVAL(2))*C22*exp(sqrt(EVAL(2))*K)+(EVAL(2))*C32*exp
(-
K*sqrt(EVAL(2)))))+EVEC(3,3)*((EVAL(3))*C23*exp(sqrt(EVAL(3))*K)+(EVAL(3))*C33*exp
(-K*sqrt(EVAL(3))))))
      END IF
    END IF
    K=K+Hp
    A=A+1
  END DO
END DO
DO L=1,NPP
  DO I=1,NF
    K=0
    A=1
    DO WHILE (K<=H)
      IF (FP(I,1)==1) THEN
        Qw(L,A)=Qw(L,A)-
        jw(L)*(A2w(L)/sqrt(J(1,1))*(EVEC(1,1)*((EVAL(1)**(1.5))*C51*exp(sqrt(EVAL(1))*K)-
        (EVAL(1)**(1.5))*C61*exp(-
        K*sqrt(EVAL(1)))))+EVEC(1,2)*((EVAL(2)**(1.5))*C52*exp(sqrt(EVAL(2))*K)-
        (EVAL(2)**(1.5))*C62*exp(-
        K*sqrt(EVAL(2)))))+EVEC(1,3)*((EVAL(3)**(1.5))*C53*exp(sqrt(EVAL(3))*K)-
        (EVAL(3)**(1.5))*C63*exp(-

```

Algoritmo 41 Sub-rotina SISTEMA_GERAL (CONTINUAÇÃO)

```

K*sqrt(EVAL(3)))))+B2w(L)/sqrt(J(2,2))*(EVEC(2,1)*((EVAL(1)**(1.5))*C51*exp(sqrt(
EVAL(1))*K)-(EVAL(1)**(1.5))*C61*exp(-
K*sqrt(EVAL(1)))))+EVEC(2,2)*((EVAL(2)**(1.5))*C52*exp(sqrt(EVAL(2))*K)-
(EVAL(2)**(1.5))*C62*exp(-
K*sqrt(EVAL(2)))))+EVEC(2,3)*((EVAL(3)**(1.5))*C53*exp(sqrt(EVAL(3))*K)-
(EVAL(3)**(1.5))*C63*exp(-
K*sqrt(EVAL(3)))))+C2w(L)/sqrt(J(3,3))*(EVEC(3,1)*((EVAL(1)**(1.5))*C51*exp(sqrt(
EVAL(1))*K)-(EVAL(1)**(1.5))*C61*exp(-
K*sqrt(EVAL(1)))))+EVEC(3,2)*((EVAL(2)**(1.5))*C52*exp(sqrt(EVAL(2))*K)-
(EVAL(2)**(1.5))*C62*exp(-
K*sqrt(EVAL(2)))))+EVEC(3,3)*((EVAL(3)**(1.5))*C53*exp(sqrt(EVAL(3))*K)-
(EVAL(3)**(1.5))*C63*exp(-K*sqrt(EVAL(3))))))

```

```

Mw(L,A)=Mw(L,A)+jw(L)*(A2w(L)/sqrt(J(1,1))*(EVEC(1,1)*((EVAL(1))*C51*exp(sqrt(EVA
L(1))*K)+(EVAL(1))*C61*exp(-K*sqrt(EVAL(1))))-
F11)+EVEC(1,2)*((EVAL(2))*C52*exp(sqrt(EVAL(2))*K)+(EVAL(2))*C62*exp(-
K*sqrt(EVAL(2))))-
F21)+EVEC(1,3)*((EVAL(3))*C53*exp(sqrt(EVAL(3))*K)+(EVAL(3))*C63*exp(-
K*sqrt(EVAL(3))))-
F31))+B2w(L)/sqrt(J(2,2))*(EVEC(2,1)*((EVAL(1))*C51*exp(sqrt(EVAL(1))*K)+(EVAL(1)
)*C61*exp(-K*sqrt(EVAL(1))))-
F11)+EVEC(2,2)*((EVAL(2))*C52*exp(sqrt(EVAL(2))*K)+(EVAL(2))*C62*exp(-
K*sqrt(EVAL(2))))-
F21)+EVEC(2,3)*((EVAL(3))*C53*exp(sqrt(EVAL(3))*K)+(EVAL(3))*C63*exp(-
K*sqrt(EVAL(3))))-
F31))+C2w(L)/sqrt(J(3,3))*(EVEC(3,1)*((EVAL(1))*C51*exp(sqrt(EVAL(1))*K)+(EVAL(1)
)*C61*exp(-K*sqrt(EVAL(1))))-
F11)+EVEC(3,2)*((EVAL(2))*C52*exp(sqrt(EVAL(2))*K)+(EVAL(2))*C62*exp(-
K*sqrt(EVAL(2))))-
F21)+EVEC(3,3)*((EVAL(3))*C53*exp(sqrt(EVAL(3))*K)+(EVAL(3))*C63*exp(-
K*sqrt(EVAL(3))))-F31))

```

ELSE IF (FP(I,1)==0) THEN

```

Qw(L,A)=Qw(L,A)-
jw(L)*(A2f(L)/sqrt(J(1,1))*(EVEC(1,1)*((EVAL(1)**(1.5))*C21*exp(sqrt(EVAL(1))*K)-
(EVAL(1)**(1.5))*C31*exp(-
K*sqrt(EVAL(1)))))+EVEC(1,2)*((EVAL(2)**(1.5))*C22*exp(sqrt(EVAL(2))*K)-
(EVAL(2)**(1.5))*C32*exp(-
K*sqrt(EVAL(2)))))+EVEC(1,3)*((EVAL(3)**(1.5))*C23*exp(sqrt(EVAL(3))*K)-
(EVAL(3)**(1.5))*C33*exp(-
K*sqrt(EVAL(3)))))+B2f(L)/sqrt(J(2,2))*(EVEC(2,1)*((EVAL(1)**(1.5))*C21*exp(sqrt(
EVAL(1))*K)-(EVAL(1)**(1.5))*C31*exp(-
K*sqrt(EVAL(1)))))+EVEC(2,2)*((EVAL(2)**(1.5))*C22*exp(sqrt(EVAL(2))*K)-
(EVAL(2)**(1.5))*C32*exp(-
K*sqrt(EVAL(2)))))+EVEC(2,3)*((EVAL(3)**(1.5))*C23*exp(sqrt(EVAL(3))*K)-
(EVAL(3)**(1.5))*C33*exp(-
K*sqrt(EVAL(3)))))+C2f(L)/sqrt(J(3,3))*(EVEC(3,1)*((EVAL(1)**(1.5))*C21*exp(sqrt(
EVAL(1))*K)-(EVAL(1)**(1.5))*C31*exp(-
K*sqrt(EVAL(1)))))+EVEC(3,2)*((EVAL(2)**(1.5))*C22*exp(sqrt(EVAL(2))*K)-
(EVAL(2)**(1.5))*C32*exp(-
K*sqrt(EVAL(2)))))+EVEC(3,3)*((EVAL(3)**(1.5))*C23*exp(sqrt(EVAL(3))*K)-
(EVAL(3)**(1.5))*C33*exp(-K*sqrt(EVAL(3))))))

```

```

Mw(L,A)=Mw(L,A)+jw(L)*(A2w(L)/sqrt(J(1,1))*(EVEC(1,1)*((EVAL(1))*C21*exp(sqrt(EVA
L(1))*K)+(EVAL(1))*C31*exp(-
K*sqrt(EVAL(1)))))+EVEC(1,2)*((EVAL(2))*C22*exp(sqrt(EVAL(2))*K)+(EVAL(2))*C32*exp
(-
K*sqrt(EVAL(2)))))+EVEC(1,3)*((EVAL(3))*C23*exp(sqrt(EVAL(3))*K)+(EVAL(3))*C33*exp
(-
K*sqrt(EVAL(3)))))+B2w(L)/sqrt(J(2,2))*(EVEC(2,1)*((EVAL(1))*C21*exp(sqrt(EVAL(1)
))*K)+(EVAL(1))*C31*exp(-
K*sqrt(EVAL(1)))))+EVEC(2,2)*((EVAL(2))*C22*exp(sqrt(EVAL(2))*K)+(EVAL(2))*C32*exp

```

Algoritmo 42 Sub-rotina SISTEMA_GERAL (CONTINUAÇÃO)

```

(-
K*sqrt(EVAL(2)))+EVEC(2,3)*((EVAL(3))*C23*exp(sqrt(EVAL(3))*K)+(EVAL(3))*C33*exp
(-
K*sqrt(EVAL(3))))+C2w(L)/sqrt(J(3,3))*(EVEC(3,1)*((EVAL(1))*C21*exp(sqrt(EVAL(1)
)*K)+(EVAL(1))*C31*exp(-
K*sqrt(EVAL(1))))+EVEC(3,2)*((EVAL(2))*C22*exp(sqrt(EVAL(2))*K)+(EVAL(2))*C32*exp
(-
K*sqrt(EVAL(2)))+EVEC(3,3)*((EVAL(3))*C23*exp(sqrt(EVAL(3))*K)+(EVAL(3))*C33*exp
(-K*sqrt(EVAL(3)))))
      END IF
      K=K+Hp
      A=A+1
    END DO
  END DO
END DO
ALLOCATE (uf(1:NPOR,1:int(H/Hp+1)))
uf=0.D0
ALLOCATE (uw(1:NPP,1:int(H/Hp+1)))
uw=0.D0
DO I=1,NPP
  DO A=1,int(H/Hp+1)
    uw(I,A)=A2w(I)*u(A)+B2w(I)*v(A)+C2w(I)*teta(A)
  END DO
END DO
DO I=1,NPOR
  DO A=1,int(H/Hp+1)
    uf(I,A)=A2f(I)*u(A)+B2f(I)*v(A)+C2f(I)*teta(A)
  END DO
END DO

END SUBROUTINE SISTEMA_GERAL

```

A.4.11 OUTPUT_TMC

Nesta sub-rotina está presente o código computacional (Algoritmo 43 e 44) para escrita do arquivo de saída reunindo algumas informações gerais do problema presentes no arquivo de entrada bem como os deslocamentos e esforços dos painéis de interesse.

Algoritmo 43 Sub-rotina OUTPUT_TMC

```

SUBROUTINE OUTPUT_TMC (TITULO,H,Hp,NPOR,NPP,NNSA,ANL,NODE_PORTICO,NODE_PA-
REDE,SOL_PORTICO,SOL_PAREDE,u,v,teta,uf,uw,Qf,Mf,Qw,Mw)
IMPLICIT NONE
! [...]DECLARAÇÃO DAS VARIÁVEIS
WRITE(200,('RESOLUÇÃO DO PROJETO: ',A30))TITULO
WRITE(200,*)
WRITE(200,('ALTURA DO EDIFÍCIO (H):',F6.2))H
WRITE(200,('PÉ DIREITO (Hp):',F6.2))Hp
WRITE(200,('NÚMERO DE PÓRTICOS (NPOR):',I3))NPOR
WRITE(200,('NÚMERO DE PILARES PAREDES (NPP):',I3))NPP
WRITE(200,('NÚMERO DE NÚCLEO DE SEÇÃO ABERTA DE PAREDE DELGADA
(NNSA):',I3))NNSA
IF (ANL==0) THEN
  WRITE(200,('TIPO DE ANÁLISE: FLEXÃO LOCAL'))
ELSE IF (ANL==1) THEN
  WRITE(200,('TIPO DE ANÁLISE: FLEXÃO GLOBAL'))
END IF
WRITE(200,*)
WRITE(200,('DESLOCAMENTOS DIAFRAGMA RÍGIDO',I2))
WRITE(200,('A5,14X,A3,16X,A3,18X,A4'))'z','u','v','teta'
K=0
A=1
DO WHILE (K<=H)
  WRITE(200,('I5,5X,F15.6,5X,F15.6,5X,F15.6')) K,u(A),v(A),teta(A)
  K=K+Hp
  A=A+1
END DO
WRITE(200,*)
IF (NPOR>0 .AND. NODE_PORTICO>0) THEN
  WRITE(200,('DESLOCAMENTO NA DIREÇÃO PRINCIPAL DO PÓRTICO ',I2))NODE_PORTICO
  WRITE(200,('A5,14X,A3'))'z','uf'
  K=0
  A=1
  DO WHILE (K<=H)
    WRITE(200,('I5,5X,F15.6')) K,uf(NODE_PORTICO,A)
    K=K+Hp
    A=A+1
  END DO
  IF (SOL_PORTICO==0) THEN
    WRITE(200,('CORTANTE DO PÓRTICO ',I2))NODE_PORTICO
    WRITE(200,('A5,14X,A3'))'z','Qf'
    K=0
    A=1
    DO WHILE (K<=H)
      WRITE(200,('I5,5X,F15.6')) K,Qf(NODE_PORTICO,A)
      K=K+Hp
      A=A+1
    END DO
  ELSE IF (SOL_PORTICO==1) THEN
    WRITE(200,('FLETOR DO PÓRTICO ',I2))NODE_PORTICO
    WRITE(200,('A5,14X,A3'))'z','Mf'
    K=0
    A=1
    DO WHILE (K<=H)
      WRITE(200,('I5,5X,F15.6')) K,Mf(NODE_PORTICO,A)
      K=K+Hp
      A=A+1
    END DO
  END IF
END IF
IF (NPP>0 .AND. NODE_PAREDE>0) THEN

```

Algoritmo 44 Sub-rotina OUTPUT_TMC (CONTINUAÇÃO)

```

WRITE(200,('DESLOCAMENTO NA DIREÇÃO PRINCIPAL DO PILAR PAREDE
",I2')NODE_PAREDE
WRITE(200,('A5,14X,A3'))'z','uw'
K=0
A=1
DO WHILE (K<=H)
  WRITE(200,('I5,5X,F15.6')) K,uw(NODE_PAREDE,A)
  K=K+Hp
  A=A+1
END DO
IF (SOL_PAREDE==0) THEN
  WRITE(200,('CORTANTE DO PILAR PAREDE ",I2')NODE_PAREDE
  WRITE(200,('A5,14X,A3'))'z','Qw'
  K=0
  A=1
  DO WHILE (K<=H)
    WRITE(200,('I5,5X,F15.6')) K,Qw(NODE_PAREDE,A)
    K=K+Hp
    A=A+1
  END DO
ELSE IF (SOL_PAREDE==1) THEN
  WRITE(200,('FLETOR DO PILAR PAREDE ",I2')NODE_PAREDE
  WRITE(200,('A5,14X,A3'))'z','Mw'
  K=0
  A=1
  DO WHILE (K<=H)
    WRITE(200,('I5,5X,F15.6')) K,Mw(NODE_PAREDE,A)
    K=K+Hp
    A=A+1
  END DO
END IF
END IF
END SUBROUTINE OUTPUT_TMC

```

A.3 Dados de Saída

Alguns dados gerais são escritos num arquivo de saída em .txt para ajudar a identificar o problema resolvido e os deslocamentos principais do painel indicado e os esforços internos solicitados. O código computacional foi mostrado na seção A.4.11 OUTPUT_TMC. Para exemplificação, é mostrado no Algoritmo 45 o arquivo de saída referente ao arquivo de entrada mostrado na seção A.2 Dados de Entrada.

Algoritmo 45 Arquivo OUTPUT_TMC.txt

RESOLUÇÃO DO PROJETO: EXEMPLO 3

ALTURA DO EDIFÍCIO (H): 36.00
 PÉ DIREITO (Hp): 3.00
 NÚMERO DE PÓRTICOS (NPOR): 15
 NÚMERO DE PILARES PAREDES (NPP): 0
 NÚMERO DE NÚCLEO DE SEÇÃO ABERTA DE PAREDE DELGADA (NNSA): 0
 TIPO DE ANÁLISE: FLEXÃO GLOBAL

DESLOCAMENTOS DIAFRAGMA RÍGIDO

z	u	v	teta
0	-0.000000	0.000000	-0.000000
3	-0.000000	0.001963	0.000000
6	-0.000000	0.006091	0.000000
9	-0.000000	0.010867	0.000000
12	-0.000000	0.015603	-0.000000
15	-0.000000	0.019987	-0.000000
18	-0.000000	0.023879	-0.000000
21	-0.000000	0.027216	-0.000000
24	-0.000000	0.029978	-0.000000
27	-0.000000	0.032165	-0.000000
30	-0.000000	0.033804	-0.000000
33	-0.000000	0.034965	-0.000000
36	-0.000000	0.035807	-0.000000

DESLOCAMENTO NA DIREÇÃO PRINCIPAL DO PÓRTICO 1

z	uf
0	0.000000
3	0.001963
6	0.006091
9	0.010867
12	0.015603
15	0.019987
18	0.023879
21	0.027216
24	0.029978
27	0.032165
30	0.033804
33	0.034965
36	0.035807

CORTANTE DO PÓRTICO 1

z	Qf
0	60362.466569
3	75183.990555
6	77215.568175
9	73440.998237
12	67032.194080
15	59431.626404
18	51299.342452
21	42946.304036
24	34538.541971
27	26206.159588
30	18128.748919
33	10653.297499
36	4521.994617

REFERÊNCIAS

- ALBIGÉS, M. e GOULET, J. **Contreventement des Bâtiments**. Ann. Inst. Tech. Bât. Trav. Pub., no. 149, 473-500, 1960.
- BATTISTELLE, R.A.G. **Cálculo dos deslocamentos laterais de painéis planos considerando as deformações axiais dos pilares e o efeito de segunda ordem**. São Carlos. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 1991.
- BECK, H. **Contribution to the Analysis of Coupled Shear Walls**. Jnl. A.C.I., vol.59, 1055-1069, 1962.
- BERNARDI, D. F. **Um modelo computacional para análise global tridimensional da estrutura de edifícios altos de concreto armado com a presença de paredes estruturais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2010.
- BOUDAKIAN, A. **Déformations et Contraintes dans les Structures Profilées Raidies**. Ann. Inst. Tech. Bât. Trav. Pub., no. 277,125-166, 1971.
- BUENO, M. M. E. **Avaliação dos parâmetros de instabilidade global em estruturas de concreto armado**. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília – MG, 2009.
- CAMMARANO, S.; LACIDOGNA, G. e CARPINTERI, A. **Conceptual Design of Tall and Unconventionally Shaped Structures: A Handy Analytical Method**. Advances in Structural Engineering, 17, 767-783, 2014.
- CARDAN, B. **Concrete Shear Walls Combined with Rigid Frames in Multi-Storey Buildings Subjected to Lateral Loads**. Jnl. A.C.I., vol. 58, no. 3, 299-315, 1961.
- CARPINTERI, A.; LACIDOGNA, G. e PUZZY, S. **A global approach for three-dimensional analysis of tall buildings**. Structural Design of Tall and Especial Buildings, 19, 518-536, 2010.
- CESTELLI GUIDI, C. e GIUFFRÉ, A. **In Margine alle Norme per le Costruzioni in Zone Sismiche**. Giornale del Genio Civile, vol. 101, 538-551, 1963.

CHITTY, L., **On the Cantilever Composed of a Number of Parallel Beams Inter-connected by Cross-Bars.** Phil. Mag., XXXVIII, 1947.

CHOUDHURY, J.R. **Analysis of Plane and Spatial Systems of Interconnected Shear Walls.** Ph.D Thesis, Univ. Southampton, 1968.

CLOUGH, R.W.; KING, I.P. e WILSON, E.L. **Structural Analysis of Multistory Buildings.** Proc. A.S.C.E., no. ST3, 19-34, 1964.

_____. **Analysis of Three- Dimensional Building Frames.** Int.Ass.Bridge Str.Engng., vol. 24, 15-30, 1964.

COELHO, I. R. **Desacoplamento das equações da técnica do meio contínuo: Análise de estruturas de edifícios altos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 1987.

COULL, A. e CHOUDHURY, J.R. **Analysis of Coupled Shear Walls.** Jnl. A. C. I., vol. 64, no. 9, 587-593, 1967.

COULL, A. e Irwin, A.W. **Load Distribution in Multi-Storey Shear Wall Structures.** 8th Congress Int. Ass. Bridge Str.Engng., 965-1004, 1968.

_____. **Analysis of Load Distribution in Multi-Storey Shear Wall Structures.** Structural Engineer, vol. 48, no. 8, 301-306, 1970.

COULL, A. e SUBEDI, N.K. **Framed-Tube Structures for High-Rise Buildings.** Proc. A. S. C. E., vol.97, no.ST8, 2097-2105, 1971.

COURBON, J. **Calcul de l' Effet du Vent sur un Bâtiment Mixte.** Ann. Inst. Tech. Bât. Trav. Pub., no. 226, 1185-1197, 1966.

CTBUH. **CTBUH Height Criteria.** Disponível em: < <http://www.ctbuh.org/TallBuildings/HeightStatistics/Criteria/tabid/446/language/enUS/Default.aspx> >. Acesso em 16 de Junho de 2023.

_____. **ONE TOWER – The Skyscraper Center.** Disponível em: < <https://www.skyscrapercenter.com/building/one-tower/16120> >. Acesso em 16 de Junho de 2023.

DICKSON, M.G.T. e NILSON, A.H. **Analysis of Cellular Buildings for Lateral Loads.** Jnl. A. C. I., vol. 67, no.12, 963-966, 1970.

ESPEZUA, C. A. **Análise de edifícios altos submetidos a terremotos pela técnica do meio contínuo.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2009.

FERRY BORGES, J. e RAVARA, A. **Estudo do Comportamento de Estruturas de Edifícios sob Ação de Forças Horizontais.** Jornadas Luso-Brasileiras de Engenharia Civil, 1-30, 1967.

FRANCO, M. **Comportamento Elástico de Estruturas Formadas por Pilares-Paredes Contraventados entre si.** Estrutura, Rio de Janeiro, no. 45, 373-389, 1960.

_____. **Alguns Problemas Relativos à Ação do Vento em Edifícios de Grande Altura.** Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 1966.

GLUCK, J. **Lateral Load Analysis of Asymmetric Multistory Structures.** Proc. A.S.C.E., no.ST2, 317-333, 1970a.

_____. **Lateral Load Analysis of Multistory Structures Comprising Shear Walls with Sudden Changes in Stiffness.** Jnl. A.C.I., vol. 66, no. 9, 729-736, 1969.

_____. **Lateral Load Analysis of Irregular Shear Wall Multistory Structures.** Jnl. A.C.I., vol. 67, no. 7, 548-553, 1970.

GOLDBERG, J.E. **Analysis of Multistorey Buildings Considering Shear Wall and Floor Deformations.** Symposium on Tall Buildings, Southampton, Pergamon Press, 349-353, 1967.

GOMES DOS SANTOS, S.M. **Ação do Vento em Edifícios Considerando a Resistência à Torção das Colunas.** C.T.C Pontifícia Universidade Católica, 1-23, 1970.

GRINTER, L.E. **Theory of Modern Steel Structures.** Macmillan Company, vol. I, 296-334, 1953.

HARRISON, T. **Discussion on “Torsion-Bending in 6lab Structures”.** Symposium on Tall Buildings, Southampton, Pergamon Press, 546, 1967.

HEIDEBRECHT, A.C. e SWIFT, R.D. **Analysis of Asymmetrical Coupled Shear Walls.** Proc. A. S. C. E., vol. 97, no.ST5, 1407-1422, 1971.

JENKINS, W.M. e HARRISON, T. **Analysis of Tall Buildings with Shear Walls under Bending and Torsion.** Symposium on Tall Buildings, Southampton, Pergamon Press, 413-444, 1967.

KAZAZ, I. e POLAT, G. **An alternative frame-shear wall model: continuum formulation.** The Structural Design of Tall and Special Buildings, 21, 2012.

LAIER, J.E. **Análise das vibrações livres de edifícios pela técnica do meio contínuo.** Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 1978.

_____. **An Improved Continuous Medium Technique for Structural Frame Analysis.** The Structural Design of Tall and Special Buildings, 17, 25-38, 2008.

_____. **An Improved Continuous Medium Technique for Three-Dimensional Analysis of Tall Building Structures.** Structural Engineering and Mechanics 80, no. 1, 73-81, 2021.

LAREDO, M. **Théorie Générale du Comportement Mécanique des Grandes Structures dans l'Espace.** Travaux, vol. 50, no.388, 315-351, 1967.

_____. **Théorie Générale du Comportement des Grandes Structures Spatiales.** Ann. Inst. Tech. Bât. Trav. Pub., no.254, 305-386, 1969.

LIN, T.Y. **Lateral Force Distribution in a Concrete Building Story.** Jnl. A.C.I., vol. 23, 281-296, 1951.

MANCINI, E.; BATTISTELLE, R.A.G. **Associação plana de pórtico e parede.** Congresso Ibero-Latino-Americano sobre Métodos Computacionais Aplicados à Engenharia, Anais, 10., 415-430, 1989.

_____. **Influência das deformações axiais dos pilares e efeito de segunda ordem em pórticos planos.** Congresso Ibero-Latino-Americano sobre Métodos Computacionais Aplicados à Engenharia, Anais, 11., 1990.

_____. **Cálculo dos deslocamentos laterais de painel parede associado à pórtico plano considerando as deformações axiais dos pilares e o efeito de segunda ordem.** Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural, Anais, 25., 165-173, 1991.

_____. **Estudo da associação de pilares parede por lintéis.** Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural, Memória, 27., 467-478, 1995.

MAJID, K.I. e CROXTON, P.C.L. **Wind Analysis of Complete Building Structures by Influence Coefficients.** Proc. Inst. Civ. Engng., vol. 47, 169-184, 1970.

MARTINS, C. H. **Análise não linear de estruturas tridimensionais de edifícios de andares múltiplos com núcleos resistentes, considerando a rigidez transversal à flexão das lajes.** Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2001.

MAZZEO, A. e FRIES, A. **Solucion Tubular para la Estructura da Acero de um Edifício de 37 pisos.** XV Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estructural, vol. II, 1008-1052, 1971.

MEDWADOWSKI, S.J. **Lateral Force Distribution in a Random System of Shear Elements.** Jnl. A.C.I., vol. 66, no. 1, 8-11, 1969.

MEFTAH, S. A.; TOUNSI, A. e EL ABBAS, A. B. **A simplified approach for seismic calculation of a tall building brace by shear walls and thin-walled open section structures.** ENGINEERING STRUCTURES 29, 10, 2575-2585, 2007.

MICHAEL, D. **Torsional Coupling of Core Walls in Tall Building.** Structural Engineer, vol.47, no. 2, 67-71, 1969.

MORI, D. D. e NETO, J. M. **Flexo-torção: Barra com seção transversal aberta de paredes delgadas.** Escola de Engenharia de São Carlos (Departamento de engenharia de estruturas) – USP, 2009.

MURASHEV, V.; SIGALOV, E. e BAIKOV, V. **Design of Reinforced Concrete Structures,** Mir: Publisher, Moscow, 1972.

NAKA, T.; KATO, B. e NAKAO, M. **Column-Free Box-Type Framing with and without Core.** 8th. Congress Int. Ass. Bridge and Struct. Engng., 609-621, 1968.

PARK, Y.; KIM, H. e LEE, D. (2014). **Efficient structural analysis of wall-frame structures.** The Structural Design of Tall and Special Buildings, 23, 2014.

PEREIRA, A. C. O. **Estudo da influência da modelagem estrutural do núcleo nos painéis de contraventamento de edifícios altos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2000.

PEREIRA, G. S. **Contribuições à análise de estruturas de contraventamento de edifícios em concreto armado.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 1997.

RAHGOZAR, R.; AHMADI, A. R. e SHARIFI, Y. **A simple mathematical model for approximate analysis of tall buildings,** Applied Mathematical Modelling, 34, 2437-2451, 2010.

RICALDONI, J. **Estruturas de Edifícios Elevados.** Instituto de Estática, Facultad de Ingenieria y Agrimensura, no. 18, 1958a.

_____. **Nota sobre el Efecto de Torsion em Edifícios Elevados.** Instituto de Estática, Facultad de Ingenieria y Agrimensura, no. 16, 1-13, 1958b.

ROSENBLUETH, E. e HOLTZ, I. **Elastic Analysis of Shear Walls in Tall Buildings.** Jnl. A.C.I., vol. 56, 1209 -1222, 1960.

ROSMAN, R. **Beitrag zur Untersuchung des Zusammenwirkens von Waagrecht Belasteten Wänden und Stockwerkrahmen bei Hochbauten.** Beton-und Stahlbetonbau, 36-40, 1963.

_____. **Laterally Loaded Systems Consisting of Walls and Frames.** Symposium on Tall Buildings, Southampton, Pergamon Press, 273-289, 1967.

_____. **Statics of Non-Symmetric Shear Wall Structures.** Proc. Inst. of Civ. Engrs. supplement XII, 211-244, 1971.

SANTOS, T. P. **Comportamento do sistema estrutural em edifícios altos de concreto armado considerando a influência das modelagens do núcleo rígido.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas), Universidade Federal de Alagoas, Maceió – AL, 2018.

SORIANO, H.L. **Cálculo Automático do Efeito do Vento em Estruturas de Edifícios.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ, 1971.

SPURR, H.V. **Wind Bracing.** McGrawHill, 1930.

STAMATO, M. C. **Associação contínua de painéis de contraventamento,** Publ. Escola de Engenharia de São Carlos, 1972a.

_____. **Associação Contínua de Paredes e Pórticos Planos.** XV.. Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural, Porto Alegre, vol. 1, 139-158, 1971a.

_____. **Determinação dos Esforços nas Barras Elásticas que vinculam um Corpo Rígido.** Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 1965.

_____. **Distribuição das Cargas do Vento entre os Painéis de Contraventamento.** XI.. Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural, 203-225, 1966.

_____. **Linhas de Influência para Estruturas Tridimensionais de Edifícios Elevados.** XV Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural, vol. 1, 115-138, 1971b.

_____. **Estado Atual da Análise de Estruturas Tridimensionais de Edifícios Altos.** Publ. Escola de Engenharia de São Carlos, 1972b.

STAMATO, M.C. e MANCINI E. **Three Dimensional interaction of wall and frames,** Journal of the Structural Division ASCE, 99 (ST12), 2375-2390, 1973.

STAMATO, M. C. e STAFFORD-SMITH, B. **An Approximate Method for the Three-Dimensional Analysis of Tall Buildings.** Proc. Inst. Civ. Engrs., vol. 43, 361-379, 1969.

STILLER, M. **Verteilung der Horizontalkrafte auf die Aussteifenden Scheiben Systeme von Hochhäusern.** Beton-und Stahlbetonbau, vol. 60, 42-45, 1965.

_____. **The Effect of Wall Openings on the Stresses and Edge Shear Forces in Diaphragm Systems.** Symposium on Tall Buildings, Southampton, Pergamon Press, 497-512, 1967.

TARANATH, B. S. **Structural analysis and design of tall buildings.** McGrawHill, 1988.

_____. **The Torsional Behaviour of Open Section Shear Wall Structures.** Ph.D. Thesis, Univ. Southampton, 1968.

TRIGO, J.A.T. **Estruturas de Painéis sob a Ação de Solicitações Horizontais.** Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1968.

VICKERS, D.S. **Fuerzas Horizontales en Edifícios.** Estrutura, vol. 11, 1962.

WEAVER, W.JR. e NELSON, M.F. **Three-Dimensional Analysis of Tier Buildings.** Proc. A.S. C.E., no. ST6, 385-404, 1966.

WEBSTER, J.A. **The Static and Dynamic Analysis of Orthogonal Structures Composed of Shear Walls and Frames.** “Symposium on Tall Buildings, Southampton, Pergamon Press, 377-379, 1967.

WINOKUR, A. e GLUCK, J. **The Influence of Different Parameters on the Distribution of Horizontal Forces in Asymmetric Multistory Buildings.** Technion-Israel Institute of Technology, 1-37, 1966.

_____. **Lateral Loads in Asymmetric Multistory Structures.** Proc.A.S.C.E, no.ST3, 645-656, 1968.

XIA, G.G.; SHU, W. e STANCIULESCU, I. **Efficient analysis of shear wall-frame structural systems.** Eng. Comput., 36, 2084-2019, 2019.

ZALKA, K. **Torsional analysis of multi-storey building structures under horizontal load.** The Structural Design of Tall and Special Buildings, 22, 2013.

ZIENKIEWICZ, O.C.; PAREKH, C.J. e TEPLY, B. **Three-Dimensional Analysis of Buildings Composed of Floor and Wall Panels.** Proc. Inst. of Civ. Engrs., vol. 49, 319-332, 1971.