

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Matheus Henrique Sabadin**

**COMPARAÇÃO ENTRE SOLICITAÇÕES OBTIDAS PELO  
TQS E PELO AUTODESK ROBOT STRUCTURAL  
ANALYSIS: APLICAÇÃO A UM EDIFÍCIO DE PEQUENO  
PORTE**

Avaliador:
Defesa: dia 14/12/2018 às 11:00 horas
Local: UFRGS / Engenharia Nova Osvaldo Aranha, 99, sala 304
<b>Anotações com sugestões para qualificar o trabalho são bem-vindas. O aluno fará as correções e lhe passará a versão final do trabalho, se for de seu interesse.</b>

Porto Alegre  
Dezembro 2018



**MATHEUS HENRIQUE SABADIN**

**COMPARAÇÃO ENTRE SOLICITAÇÕES OBTIDAS PELO  
TQS E PELO AUTODESK ROBOT STRUCTURAL  
ANALYSIS: APLICAÇÃO A UM EDIFÍCIO DE PEQUENO  
PORTE**

Trabalho de Diplomação a ser apresentado à Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

**Orientador: João Ricardo Masuero**

Porto Alegre  
Dezembro 2018





**MATHEUS HENRIQUE SABADIN**

**COMPARAÇÃO ENTRE SOLICITAÇÕES OBTIDAS PELO  
TQS E PELO AUTODESK ROBOT STRUCTURAL  
ANALYSIS: APLICAÇÃO A UM EDIFÍCIO DE PEQUENO  
PORTE**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo/a Professor/a Orientador/a e pela Coordenação dos Trabalhos de Diplomação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, dezembro de 2018

Prof. João Ricardo Masuero  
Dr. pela UFRGS  
Orientador

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Roberto Domingo Rios (UFRGS)**  
Dr. Pela UFRGS  
Relator

**Profa. Virgínia M. Rosito d' Avila Bessa (UFRGS)**  
Dra. Pela UFRGS



Dedico este trabalho a meus pais, minha irmã e minha namorada, que durante meu Curso de Graduação nunca deixaram de estar ao meu lado.



## **AGRADECIMENTOS**

Minha gratidão ao Prof. João Ricardo Masuero não cabe em apenas uma página, sem ele este trabalho não seria possível, mas seria equivocado limitar a influência dele apenas a este trabalho de conclusão de curso. O Prof. João me mostrou que quando se ama o que se faz, o exercício da docência não é apenas parte da vida, mas toda ela.

Agradeço ao Prof. Roberto Domingo Rios pela ajuda incondicional e sempre solícita com que me atendeu durante meu aprendizado em estruturas de concreto.

Agradeço ao engenheiro Paulo Stumm por me ensinar a ter uma visão crítica na área de estruturas.

Agradeço à minha família por ser um porto seguro que sempre me abriga tanto nos meus momentos mais alegres quanto nos mais melancólicos.

Agradeço à minha namorada pela sua presença confortadora e inspiradora durante todos os meus desafios.

E finalmente a todos os meus amigos que trilharam comigo cada passo da minha formação fazendo-a muito mais feliz.



## **RESUMO**

Muito se fala sobre como a tecnologia e a automatização têm inovado e acelerado as tarefas de engenheiros no mercado de trabalho, porém, pouco se discute as consequências acompanhadas a esta mudança, como o uso irresponsável de ferramentas de cálculo estrutural. A partir de uma comparação com o software de elementos finitos Autodesk Robot Structural Analysis, este trabalho visa trazer um melhor entendimento de como funciona o TQS, software de projeto integrado o qual muitas vezes é usado sem o conhecimento teórico necessário por parte do usuário. A primeira parte do trabalho é focada em uma pesquisa bibliográfica em normas brasileiras e manuais dos softwares com o propósito de formar a base teórica fundamental para que a análise de ambos programas possa ser feita. A parte seguinte descreve a criação do modelo de um edifício de pequeno porte, a escolha de suas características e os entraves encontrados na modelagem de cada software. A última parte apresenta ao leitor em gráficos e tabelas os resultados obtidos, bem como a experiência pessoal do autor no uso dos dois softwares, constatando que erros por parte do usuário na modelagem podem gerar resultados os quais não representam a realidade de uma estrutura. A partir da comparação das forças, momentos e deslocamentos obtidos, o trabalho chega a conclusão que, para os fatores analisados, o TQS apresenta alguns dados os quais geram desconfiança, porém, na maioria dos casos se comporta de maneira satisfatória.

Palavras-chave: NBR 6118. Cálculo Estrutural.  
Projeto de Estruturas de Concreto. Modelos Estruturais. TQS.  
Robot Structural Analysis. Softwares de Análise Estrutural.





## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas de um projeto estrutural .....	16
Figura 2 – Delineamento do trabalho .....	21
Figura 3 – Altura de um pilar e largura de apoio de uma viga considerados .....	23
Figura 4 – Altura do pilar para o modelo de vigas contínuas .....	24
Figura 5 – Trecho rígido no encontro entre duas vigas paralelas não centralizadas .....	25
Figura 6 – Variáveis consideradas no cálculo de vãos efetivos em vigas .....	26
Figura 7 – Cálculo por vigas contínuas e lajes por processo simplificado .....	29
Figura 8 – Cálculo por grelha somente de vigas .....	29
Figura 9 – Cálculo por grelha de vigas e lajes discretizadas .....	30
Figura 10 – Esquema para o cálculo de $I_c$ .....	45
Figura 11 – Corte esquemático do edifício gerado pelo TQS, indicando o número de pavimentos e seus respectivos níveis .....	47
Figura 12 – Convenção usada em pilares, vigas e lajes, respectivamente .....	48
Figura 13 – Exemplo da miniatura de um pavimento em planta baixa .....	49
Figura 14 – Exemplos de pontos de interesse em lajes e suas respectivas localizações ..	51
Figura 15 – Exemplos de pontos de interesse em vigas e suas respectivas localizações .	53
Figura 16 – Exemplos de pontos de interesse em pilares e suas respectivas localizações	55
Figura 17 – Ligação entre pilares e vigas descentralizadas no Autodesk Revit 2019 .....	57
Figura 18 – Ligação entre pilares e vigas descentralizadas no RSA .....	58
Figura 19 – Exemplos de elementos quadrangulares e triangulares gerados pelo RSA ..	59
Figura 20 – Idealização de um elemento de barra não-linear em elementos finitos .....	60
Figura 21 – Nós gerados pelo RSA que fazem as ligações dos elementos de barras com os elementos de placa .....	61
Figura 22 – Elementos de barras de pilares e seus respectivos nós no RSA .....	62
Figura 23 – Ligação rígida entre um pilar e uma viga, de modo a conectar os nós e fazer com que os elementos trabalhem conjuntamente .....	63
Figura 24 – Trecho rígido entre um pilar e uma viga no TQS .....	64
Figura 25 – Trecho rígido entre um pilar e uma viga no RSA .....	65
Figura 26 – Exemplo de problema encontrado na continuidade de vigas durante a modelagem em elementos finitos .....	66
Figura 27 – Pico “falso” gerado devido à continuidade da viga em trecho entre o pilar e a viga vertical .....	66
Figura 28 – À esquerda o método sugerido pela NBR 6118 para trechos rígidos, à direita o método modelado no RSA, o mesmo adotado pelo TQS .....	67
Figura 29 – Engastamento perfeito gerado na base do pórtico de ambos os softwares ...	68

Figura 30 – Comparação entre a aplicação de cargas de alvenaria no TQS e no RSA, respectivamente .....	70
Figura 31 – Diferença na aplicação das cargas permanentes no TQS e RSA, respectivamente .....	71
Figura 32 – Intersecção entre pilares e vigas onde o concreto é contabilizado mais de uma vez para o cálculo do peso próprio da estrutura no RSA. O mesmo acontece entre lajes e vigas .....	72
Figura 33 – Distorção na carga de alvenaria gerada no modelo em elementos finitos ....	75
Figura 34 – Subdivisão feita pelo TQS em treze partes de mesmo tamanho em cada vão de uma viga .....	76
Figura 35 – Comparação entre a carga do RSA multiplicada pelos fatores e a carga não multiplicada .....	77
Figura 36 – Valores de cortante das duas saídas de dados do TQS para uma viga do primeiro pavimento .....	79
Figura 37 – Deslocamento de eixo entre pilar e cruzamento de viga sem trecho rígido modelado no RSA .....	81
Figura 38 – Esforços resultantes de um problema no modelo gerado .....	81
Figura 39 – Diagramas de cortante e momento fletor da viga V1 .....	83
Figura 40 – Diagramas de cortante e momento fletor da viga V2 .....	84
Figura 41 – Diagramas de cortante e momento fletor das vigas V3 e V4 .....	85
Figura 42 – Diagramas de cortante e momento fletor das vigas V8, V10 e V13 .....	86
Figura 43 – Diagramas de cortante das vigas V7 e V11 .....	87
Figura 44 – Diagramas de momento fletor das vigas V4 e V11 .....	88
Figura 45 – Comparação entre os valores do TQS VTN, TQS Elástico e RSA .....	89
Figura 46 – Diagrama de força axial do pilar circular P20 .....	91
Figura 47 – Diagrama de força axial do pilar P3 .....	92
Figura 48 – Diagramas de força axial dos pilares P17 e P22 .....	93
Figura 49 – Diagrama de força axial do pilar P10 .....	94
Figura 50 – Diagramas de força axial dos pilares P12 e P18 .....	95
Figura 51 – Diagramas de força transversal e momento fletor do pilar P13 .....	96
Figura 52 – Diagramas de força transversal e momento fletor do pilar P8 .....	97
Figura 53 – Exemplificação dos bordos e momentos considerados em uma laje .....	98

Figura 54 – Comparação entre os esforços de lajes do TQS e do RSA no 1º pavimento	99
Figura 55 – Comparação entre os esforços de lajes do TQS e do RSA na cobertura .....	100
Figura 56 – Diagramas de momento fletor das lajes L2, L3, L6 e L8 .....	101
Figura 57 – Dimensões usadas para o cálculo dos coeficientes de arrasto .....	104
Figura 58 – Direções do vento analisadas .....	105
Figura 59 – Distribuição das forças de vento nos pavimentos no TQS .....	106
Figura 60 – Área efetiva considerada para o cálculo das cargas de vento .....	107
Figura 61 – Cargas de vento a 0º aplicadas nos eixos das vigas de bordo no RSA .....	109
Figura 62 – Área indicando os pilares escolhidos para análise do vento a 90º .....	110
Figura 63 – Diagrama de momento fletor da viga V10 com carga de vento a 0º .....	111
Figura 64 – Diagrama de momento fletor da viga V15 com carga de vento a 90º.....	112
Figura 65 – Exemplificação das diferenças de força axial crescentes ao longo dos pavimentos .....	113
Figura 66 – Forças axiais dos pilares P9 e P11 com carga de vento a 0º.....	114
Figura 67 – Forças transversais e momentos dos pilares P7 e P17 com carga de vento a 0º .....	115
Figura 68 – Momento fletor do pilar P24 com carga de vento a 90º .....	116
Figura 69 – Ponto de escolha para a análise do deslocamento de acordo com a direção do vento .....	118
Figura 70 – Deslocamentos em cada direção de vento no modelo de pórtico sem lajes e com cargas distribuída uniformemente no RSA .....	120
Figura 71 – Novo modelo de aplicação de forças para vento a 90º .....	121
Figura 72 – Deslocamentos no novo modelo de pórtico do RSA com vento a 90º .....	122
Figura 73 – Deslocamentos no terceiro modelo de pórtico do RSA com vento a 0º e 90º .....	124
Figura 74 – Dados fornecidos pelo Resumo Estrutural do TQS .....	125
Figura 75 – Dados fornecidos pelo PORFOR.LST do TQS .....	125
Figura 76 – Forças axiais no pilar P3 em ambos modelos com apenas cargas verticais ..	129
Figura 77 – Cortante e momento fletor da viga V2 nos três modelos com apenas cargas verticais .....	130
Figura 78 – Cortante das vigas V7 e V11 nos três modelos com apenas cargas verticais .....	131
Figura 79 – Cortante e momento fletor da viga V10 nos três modelos com carga de vento a 0º .....	132



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Limitações do pacote TQS Universidade .....	20
Tabela 2 – Tabela para a obtenção de b e p de acordo com a classe da edificação .....	39
Tabela 3 – Valores mínimos do fator estatístico $S_3$ .....	40
Tabela 4 – Comparação entre as cargas calculadas à mão e nos dois softwares .....	73
Tabela 5 – Comparação entre as cargas calculadas com a nova combinação gerada .....	74
Tabela 6 – Valores das cargas distribuídas nas vigas e somatório das reações nos softwares .....	108
Tabela 7 – Comparação dos deslocamentos dos dois softwares nos pontos escolhidos ..	118
Tabela 8 – Comparação no novo modelo dos deslocamentos dos dois softwares nos pontos escolhidos .....	119
Tabela 9 – Forças aplicadas nos eixos das vigas à barlavento de cada pavimento .....	122
Tabela 10 – Comparação no terceiro modelo dos deslocamentos dos dois softwares nos pontos escolhidos .....	124
Tabela 11 – Comparação no modelo de nós móveis dos deslocamentos dos dois softwares nos pontos escolhidos .....	126



## **LISTA DE SIGLAS**

ELU – Estado Limite Último

ELS – Estado Limite de Serviço

NBR – Norma Brasileira

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

MEF – Método dos Elementos Finitos

RSA – Robot Structural Analysis





## LISTA DE SÍMBOLOS

$\rho_c$  – massa específica do concreto armado ( $kg/m^3$ )

$\nu$  – coeficiente de Poisson

$\alpha_{\Delta T}$  – coeficiente de dilatação térmica ( $^{\circ}C^{-1}$ )

$f_{ck}$  – resistência característica à compressão do concreto ( $MPa$ )

$f_{ct,m}$  – resistência média à tração do concreto do concreto ( $MPa$ )

$\alpha_E$  – parâmetro em função da natureza do agregado que influencia o módulo de elasticidade

$E_{ci}$  – módulo de elasticidade ou módulo de deformação tangente inicial do concreto, referindo-se sempre ao módulo cordal ( $MPa$ )

$E_{cs}$  – módulo de deformação secante do concreto ( $MPa$ )

$G_c$  – módulo de elasticidade transversal do concreto ( $MPa$ )

$\varepsilon_{c2}$  – deformação específica de encurtamento do concreto no início do patamar plástico

$\varepsilon_{cu}$  – deformação específica de encurtamento do concreto na ruptura

$\rho_s$  – massa específica do aço da armadura passiva ( $kg/m^3$ )

$E_s$  – módulo de elasticidade do aço de armadura passiva ( $GPa$ )

$V_o$  – velocidade básica do vento: é a velocidade de uma rajada de 3 segundos, excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 metros acima do terreno, em campo aberto e plano ( $m/s$ )

$V_k$  – velocidade característica do vento ( $m/s$ )

$F_a$  – força de arrasto: componente da força devida ao vento na direção do vento ( $kN$ )

$C_a$  – coeficiente de arrasto

$q_v$  – pressão dinâmica do vento, correspondente à velocidade característica  $V_k$ , em condições normais de pressão e de temperatura ( $N/m^2$ )

$R_e$  – número de Reynolds

$A_e$  – área frontal efetiva: área da projeção ortogonal da edificação, estrutura ou elemento estrutural sobre um plano perpendicular à direção do vento ("área de sombra") ( $m^2$ )

$l_1$  – largura: dimensão horizontal de uma edificação perpendicular à direção do vento ( $m$ )

$l_2$  – profundidade: dimensão de uma edificação na direção do vento ( $m$ )

$h$  – altura de uma edificação acima do terreno, medida até o topo da platibanda ou nível do beiral. Altura de muro ou placa ( $m$ )

$n$  – número de níveis de barras horizontais (andares) acima da fundação ou de um nível pouco deslocável do solo

$H_{tot}$  – altura total da estrutura, medida a partir do topo da fundação ou de um nível pouco deslocável do subsolo ( $m$ )

$N_k$  – somatório de todas as cargas verticais atuantes na estrutura (a partir do nível considerado para o cálculo de  $H_{tot}$ , com seu valor característico ( $kN$ ))

$E_{cs}I_c$  – somatório dos valores de rigidez de todos os pilares na direção considerada ( $MNm^2$ )

$\Delta M_{tot,d}$  – é o momento de tombamento, ou seja, a soma dos momentos de todas as forças horizontais da combinação considerada, com seus valores de cálculo, em relação à base da estrutura ( $kNm$ )

$M_{1,tot,d}$  – é a soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura, na combinação considerada, com seus valores de cálculo, pelos deslocamentos horizontais de seus respectivos pontos de aplicação, obtidos da análise de primeira ordem ( $kNm$ )



# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
1.1 DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO ESTRUTURAL .....	15
1.2 HISTÓRIA .....	16
<b>2 DIRETRIZES DO TRABALHO</b> .....	19
2.1 OBJETIVO .....	19
2.2 ESCOPO .....	19
2.3 DELINEAMENTO .....	21
<b>3 MODELOS DE ANÁLISE</b> .....	22
3.1 NBR 6118 - 2014 .....	22
<b>3.1.1 Método dos Elementos Finitos</b> .....	22
<b>3.1.2 Comportamento dos Materiais</b> .....	22
<b>3.1.3 Vigas Contínuas</b> .....	23
<b>3.1.4 Trechos Rígidos</b> .....	24
<b>3.1.5 Vãos Efetivos de Vigas</b> .....	25
<b>3.1.6 Grelhas e Pórticos Espaciais</b> .....	26
<b>3.1.7 Placas</b> .....	27
3.2 NBR 6123 - 1988 .....	28
3.3 MODELOS OFERECIDOS PELO TQS/CAD .....	28
<b>3.3.1 Pavimentos</b> .....	28
3.3.1.1 Vigas contínuas e lajes por processo simplificado .....	28
3.3.1.2 Grelha somente de vigas .....	29
3.3.1.3 Grelha de vigas e lajes discretizadas .....	30
3.3.1.4 Grelha espacial .....	30
<b>3.3.2 Pórticos</b> .....	31
3.3.2.1 Pórtico espacial no ELU .....	31
3.3.2.2 Pórtico espacial no ELS .....	31
3.3.2.3 Pórtico espacial não-linear físico e geométrico .....	31
<b>3.3.3 Modelagem global do edifício</b> .....	31
<b>4 AÇÕES</b> .....	33
<b>5 PARÂMETROS</b> .....	34
5.1 DA NBR 6118 - 2014 .....	34
5.2 DA NBR 6123 - 1988 .....	36
<b>6 ESTABILIDADE GLOBAL</b> .....	42

6.1 PARÂMETRO DE INSTABILIDADE $\alpha$ .....	42
6.2 COEFICIENTE $\gamma_z$ .....	43
6.3 ESTABILIDADE GLOBAL NO CAD/TQS .....	44
6.4 ESTRUTURAS DE NÓS FIXOS E NÓS MÓVEIS .....	46
<b>7 A EDIFICAÇÃO</b> .....	<b>47</b>
7.1 LAJES .....	49
7.2 VIGAS .....	52
7.3 PILARES .....	54
<b>8 GERAÇÃO DO MODELO NOS SOFTWARES</b> .....	<b>56</b>
8.1 TQS .....	56
8.2 MODELO EM ELEMENTOS FINITOS .....	56
<b>8.2.1 Lajes</b> .....	<b>58</b>
<b>8.2.2 Vigas</b> .....	<b>60</b>
<b>8.2.3 Pilares</b> .....	<b>61</b>
8.3 COMPATIBILIDADE ENTRE MODELOS .....	62
<b>8.3.1 Rigidez à Torção</b> .....	<b>62</b>
<b>8.3.2 Ligações Rígidas</b> .....	<b>63</b>
<b>8.3.3 Graus de Liberdade na Base do Pórtico</b> .....	<b>68</b>
<b>8.3.4 Aplicação das Cargas</b> .....	<b>68</b>
8.3.4.1 Cargas de alvenaria .....	69
8.3.4.2 Cargas permanentes .....	70
8.3.4.3 Cargas acidentais .....	72
8.3.4.4 Peso próprio .....	72
8.3.4.5 Comparação das cargas .....	73
<b>9 RESULTADOS DAS CARGAS VERTICAIS</b> .....	<b>76</b>
9.1 VIGAS .....	76
<b>9.1.1 Discussão dos Resultados</b> .....	<b>82</b>
9.2 PILARES .....	88
<b>9.2.1 Discussão dos Resultados</b> .....	<b>90</b>
9.3 LAJES .....	97
<b>9.3.1 Discussão dos Resultados</b> .....	<b>99</b>
<b>10 CARGAS DE VENTO</b> .....	<b>102</b>
10.1 CÁLCULO DO $V_k$ .....	102
10.2 CÁLCULO DAS CARGAS NOS PAVIMENTOS .....	103
10.3 APLICAÇÃO NO RSA .....	109

10.4 RESULTADOS DAS CARGAS DE VENTO .....	109
<b>10.4.1 Discussão dos Resultados .....</b>	<b>111</b>
<b>11 DESLOCAMENTO NO TOPO DO EDIFÍCIO .....</b>	<b>117</b>
11.1 PÓRTICO SEM LAJES .....	120
11.2 PÓRTICO COM LAJES COMO DIAGRAMA RÍGIDO .....	123
11.3 MODELO COM NÃO LINEARIDADE APROXIMADA .....	125
<b>12 RESULTADOS NO MODELO COM RIGIDEZ À FLEXÃO DE LAJES REDUZIDA .....</b>	<b>128</b>
<b>13 USABILIDADE DOS SOFTWARES .....</b>	<b>134</b>
<b>14 CONCLUSÃO .....</b>	<b>137</b>
REFERÊNCIAS .....	140
ANEXO A .....	142
ANEXO B .....	144
ANEXO C .....	146
APÊNDICE 1 .....	148
APÊNDICE 2 .....	150
APÊNDICE 3 .....	152
APÊNDICE 4 .....	154
APÊNDICE 5 .....	156
APÊNDICE 6 .....	158
APÊNDICE 7 .....	160
APÊNDICE 8 .....	162

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO ESTRUTURAL

Este trabalho se baseará na subdivisão de um projeto estrutural proposta por Kimura (2007, p. 36), a qual diz que um projeto estrutural pode ser, de maneira simplificada, subdividido em quatro partes descritas a seguir e exemplificadas na Figura 1:

### a) Concepção estrutural

É a etapa na qual é escolhida a solução para a estrutura de modo que esta atenda às finalidades para a qual foi projetada. Com base na arquitetura, são definidos os materiais a serem empregados e as ações atuantes na estrutura para que um pré-dimensionamento possa ser elaborado.

A economia, o desempenho e a segurança de uma estrutura estão diretamente ligados a uma concepção estrutural adequada.

### b) Análise estrutural

É a etapa na qual são determinados os esforços atuantes em todos os componentes estruturais de acordo com o modelo escolhido pelo engenheiro projetista e em função das dimensões empregadas nesses componentes. O cálculo feito para a análise estrutural é mais refinado que o feito na concepção estrutural.

Uma análise que não representa corretamente a realidade pode gerar resultados completamente incondizentes com os da estrutura a ser executada.

### c) Dimensionamento e detalhamento

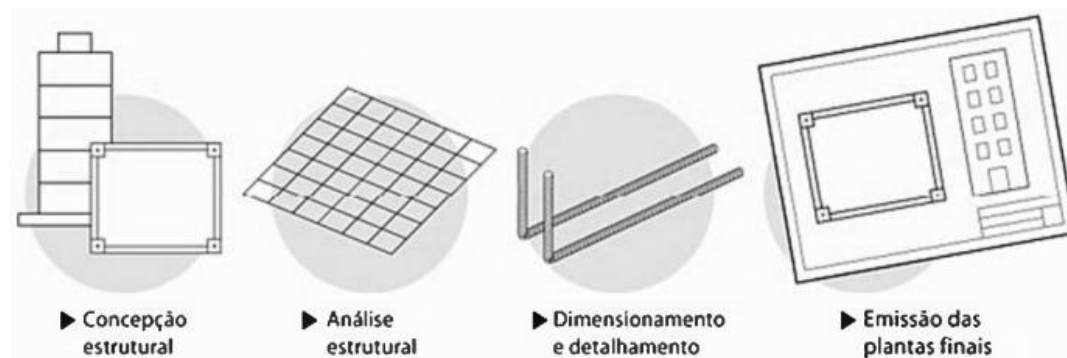
É a etapa na qual são feitos o dimensionamento das dimensões externas das peças estruturais e das armaduras com base nos esforços obtidos na análise estrutural e os desenhos que contêm as informações necessárias para a execução da estrutura.

É essencial que todas as informações necessárias sejam transmitidas claramente para que a execução da obra seja feita da maneira planejada pelo engenheiro estrutural.

### d) Emissão de plantas.

É a etapa na qual os desenhos previamente detalhados são impressos em escala com as observações necessárias para a execução e plotados em uma folha com selo padronizado.

Figura 1 – Etapas de um projeto estrutural.



(fonte: KIMURA, 2007, p. 36)

## 1.2 HISTÓRIA

Houve uma época em que os cálculos para os projetos de estruturas eram feitos quase inteiramente de forma manual. Isso tornava o desenvolvimento de um projeto um processo extremamente lento e trabalhoso, de modo que apenas profissionais com um extenso conhecimento de como uma estrutura se comporta na sua totalidade conseguiam calculá-la.

Ao longo das últimas décadas ferramentas como régua de cálculo, mainframes, microcomputadores com softwares simples proporcionaram o aumento da produtividade dos projetos. Hoje em dia há softwares de projeto integrado que são capazes de calcular e dimensionar a estrutura de maneira extremamente rápida com o usuário fornecendo apenas os dados de entrada.

Cada vez mais a informática se faz presente na área de projeto estrutural e, por conta disto, várias atividades repetitivas e com alta demanda de trabalho por parte de um corpo tecnicamente treinado tornaram-se mais eficientes, aumentando significativamente o rendimento dos escritórios de cálculo e também a exigência dos clientes, como cita Jones (JONES, 2012, p. [1], tradução nossa):

A modelagem e o projeto de estruturas sem o uso de computadores é, hoje em dia, a exceção à regra. Nos últimos anos, a modelagem via computador não só se tornou mais eficiente e amigável ao usuário, mas os clientes também esperam que ela forneça a eles um projeto mais econômico e com um maior custo benefício.



Kimura (2007, p. 24) diz que, nos dias de hoje todas etapas presentes no projeto de um edifício de alguma forma, mesmo que minimamente, são influenciadas pela rapidez e precisão proporcionadas pela informática. Essa possibilita até mesmo cálculos com modelos mais complexos antes não executados por consumir tempo e esforço exorbitantes em um projeto.

Visto que projetos que antes podiam levar meses para ficarem prontos atualmente podem ser produzidos em apenas algumas semanas ou até mesmo dias, a demanda por maior produtividade dentro de um escritório tem crescido constantemente. Somada a essa demanda, há em muitos engenheiros uma falsa segurança de que o computador pode fazer uma análise completa sozinho e, como consequência, tem-se criado uma tendência de despender mais tempo no detalhamento da estrutura e menos tempo na análise da mesma.

O baixo tempo que um projetista estrutural aloca hoje em dia para a análise da estrutura trouxe consigo o uso indiscriminado de softwares de cálculo estrutural sem uma análise crítica dos dados por parte do usuário, a qual é parte fundamental no projeto de uma estrutura, como cita Jones (JONES, 2012, p. [1], tradução nossa):

Ainda que o uso de computadores e softwares possa ajudar no projeto de uma estrutura, é cada vez mais importante que o engenheiro se assegure de que o nível de modelagem coincida com os detalhes do que realmente foi construído. Suposições de rigidez, carga, caminho de carga, conexões, efeitos de componentes não estruturais, etc. deveriam ser todos verificados nas suas respectivas etapas críticas durante o desenvolvimento do projeto.

Entre as consequências de uma estrutura com uma análise estrutural deficitária estão a maior probabilidade de falhas que vão desde o superdimensionamento da estrutura, desperdiçando recursos e aumentando seu custo até o subdimensionamento, o qual pode gerar falhas críticas na estabilidade da edificação.

Além disso, os softwares empregados para cálculo estrutural muitas vezes não dispõem de uma memória de cálculo detalhada do procedimento usado na análise da estrutura, o que acaba por dificultar a interpretação e entendimento dos resultados fornecidos pelo modelo. Desta forma, fica sob a responsabilidade do engenheiro projetista observar cuidadosamente tanto os dados de entrada quanto os resultados obtidos na análise estrutural.

O trabalho de conclusão proposto abordará os assuntos que dizem respeito aos dados supracitados, visando desenvolver um senso crítico mais aguçado a respeito de como os softwares de cálculo estrutural usados funcionam. Citando Kimura (2007, p. 25):

A informática, na sua essência, veio para aperfeiçoar a Engenharia de Estruturas, e jamais substituí-la. Acontece que, devido ao alto grau de complexidade e sofisticação das análises disponíveis nos softwares atuais, muitas vezes, os conceitos fundamentais de Engenharia são praticamente colocados de lado, e o verdadeiro papel do computador acaba sendo literalmente confundido.

## 2 DIRETRIZES DO TRABALHO

### 2.1 OBJETIVO

Emkin (1998, p. 6-7) enfatiza que devido à grande quantidade de funções que os softwares atuais executam é impossível validar absolutamente todos os resultados e também é improvável que não haja pelo menos um erro sério em um programa de cálculo estrutural. No mesmo artigo Emkin também reforça que erros dificilmente serão detectados de imediato por engenheiros que não tenham desenvolvido uma “sensibilidade estrutural” aguçada.

Este trabalho tem como objetivo comparar um programa de elementos finitos, que é puramente de análise estrutural e, portanto, permite um maior controle sobre a obtenção de resultados, com o TQS, um programa integrado de projeto, de maior produtividade e menor controle. Por meio dessa comparação o trabalho também procurará fornecer ao leitor e ao autor uma melhor compreensão das funcionalidades e limitações dos programas utilizados e desenvolver um pouco da “sensibilidade estrutural” citada por Emkin.

### 2.2 ESCOPO

O trabalho se limitará a uma comparação entre os resultados, modelos e dados dos softwares, abordando o esqueleto de um edifício de pequeno porte de concreto armado sob cargas de vento e cargas verticais.

Serão analisados:

- Tratamento dado a cargas;
- Vento incidindo na edificação a 0° e a 90°;
- Comparação de resultados em termos de análise (esforços);
- Deslocamento máximo no topo do edifício;
- A liberdade de escolha de diferentes modelos por parte do usuário;
- Experiência do usuário na utilização do software.

Não serão analisados:

- Vento incidindo na edificação a 270° e a 360°;
- Cargas dinâmicas;
- Estruturas de contenção;
- Reservatórios;
- Escadas;
- Comportamento solo-fundação;
- Efeitos de segunda ordem;
- Elementos com protensão;
- Verificações no ELS;
- Concretos do grupo II segundo a NBR 6118:2014.

A escolha de um edifício de pequeno porte se deve a limitações do programa de projeto integrado utilizado, o CAD/TQS. O pacote CAD/TQS utilizado foi o Universidade, o qual possui diversas limitações, sendo as mais importantes para este trabalho as seguintes:

Tabela 1 – Limitações do pacote TQS Universidade.

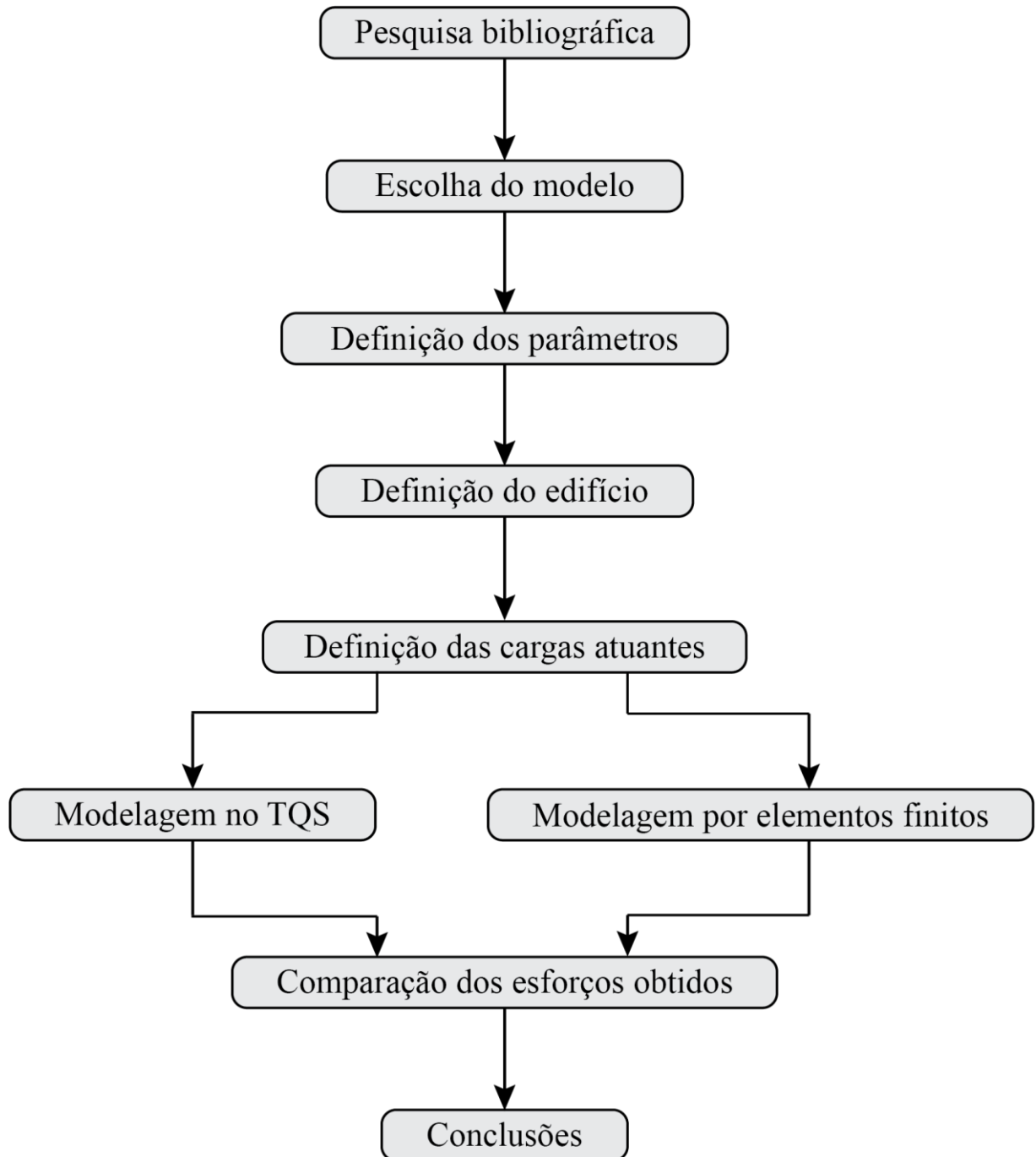
Número Máximo de Pavimentos	5
Área em Planta do Pavimento (m <sup>2</sup> )	600
Área Total do Edifício (m <sup>2</sup> )	3000

(fonte: elaborado pelo autor)

Visto que não há uma resposta única para o projeto de uma edificação e que muitos dos métodos empregados pelos programas não são transparentes ao usuário, não caberá ao trabalho apontar o certo e o errado, apenas constatar as diferenças entre os resultados obtidos pelos softwares.

## 2.3 DELINEAMENTO

Figura 2 – Delineamento do trabalho.



(fonte: elaborado pelo autor)

## **3 MODELOS DE ANÁLISE**

Este capítulo visa dar uma introdução para que a escolha do modelo possa ser feita de acordo com os recursos disponíveis nos programas e as possibilidades que as normas NBR 6118, NBR 6120 e NBR 6123 oferecem.

### **3.1 NBR 6118:2014**

#### **3.1.1 Método dos Elementos Finitos**

A NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 82) estabelece que modelos feitos no método dos elementos finitos devem ter sua estrutura discretizada o suficiente para que não haja erros na análise. A mesma norma também cita que o modelo deve representar a geometria, os carregamentos atuantes, as condições de contorno, as características e respostas dos materiais em função do que se está analisando.

Assim, a única restrição que a norma oferece à modelagem em elementos finitos é que não haja erros grosseiros devidos a uma malha inadequada ao projeto e que o modelo se aproxime das condições impostas na estrutura real.

#### **3.1.2 Comportamento dos Materiais**

A NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 82) cita que o comportamento dos materiais ainda pode ser modelada de diferentes maneiras: análise linear; análise linear com redistribuição; análise plástica; análise não linear.

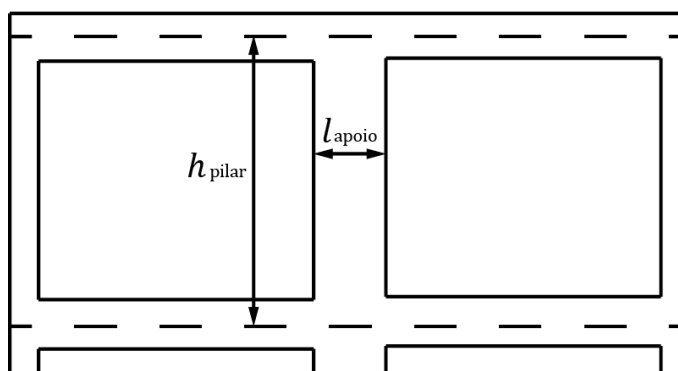
Como definido no escopo, este trabalho apenas investigará a análise linear do concreto, desconsiderando as outras alternativas.

### 3.1.3 Vigas Contínuas

A NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 93-94) permite que seja utilizado para o estudo de cargas verticais o modelo clássico de viga contínua, simplesmente apoiada nos pilares, também oferecendo a opção deste modelo melhorado, considerando a solidariedade dos pilares com a viga mediante a introdução da rigidez à flexão dos pilares. O modelo de viga contínua pode ser adotado se atendidos os seguintes critérios:

- os momentos positivos devem ser maiores ou iguais aos momentos obtidos considerando um engastamento perfeito da viga nos apoios internos;
- quando a viga for solidária com o pilar intermediário e a largura do apoio, medida na direção do eixo da viga  $l_{apoio}$ , for maior que  $\frac{h_{pilar}}{4}$ , como mostrado na Figura 3, o momento negativo deve ser maior ou igual ao momento obtido considerando um engastamento perfeito nesse apoio;
- quando não for realizado o cálculo exato da influência da solidariedade dos pilares extremos com a viga, o momento fletor deve ser considerado como o de um engastamento perfeito multiplicado por coeficientes estabelecidos em 14.6.6.1 da NBR 6118.

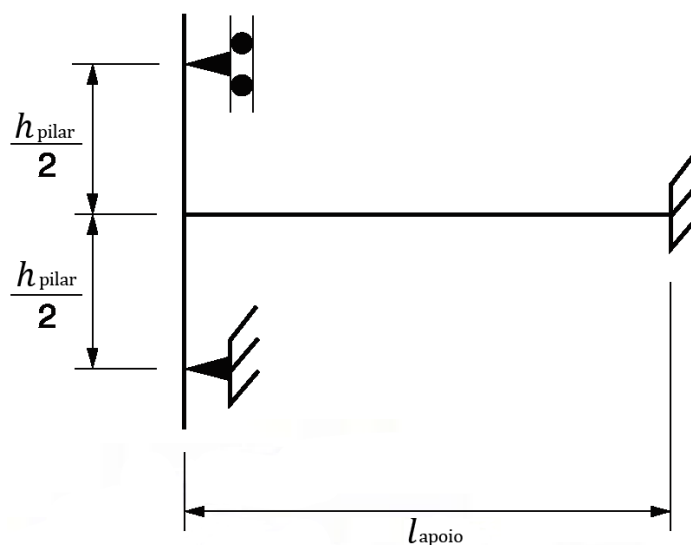
Figura 3 – Altura de um pilar e largura de apoio de uma viga considerados.



(fonte: ARAUJO, J. M., 2014, p. 78, modificada pelo autor)

A NBR 6118 ainda recomenda que, para o cálculo de vigas contínuas, a altura do pilar seja considerada conforme a Figura 4.

Figura 4 – Altura do pilar para o modelo de vigas contínuas.



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 94, modificada pelo autor)

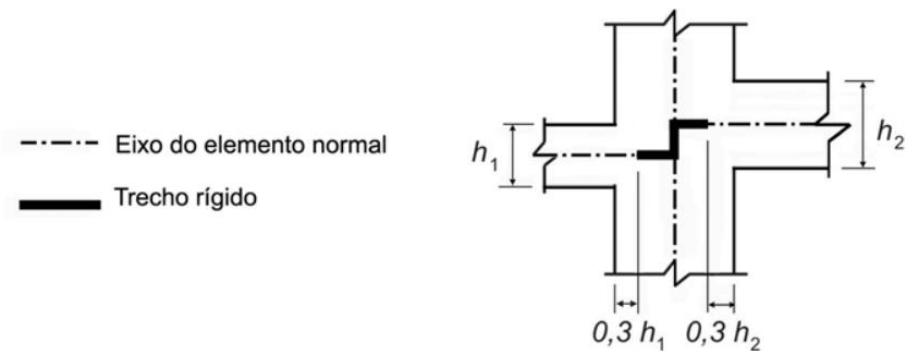
Neste trabalho o modelo de vigas contínuas será utilizado apenas em situações especiais, para dirimir dúvidas quando for necessário um melhor entendimento do comportamento estrutural. As vigas serão analisadas como vigas contínuas com ligações solidárias nos pilares para que seja possível a obtenção de esforços mais realistas em ambos elementos, portanto, apenas os itens a) e b) se fazem necessários.

### 3.1.4 Trechos Rígidos

A NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 77) permite que seja utilizado um trecho rígido na região comum ao cruzamento de dois ou mais elementos, como demonstrado na Figura 5.



Figura 5 – Trecho rígido no encontro entre duas vigas paralelas não centralizadas.



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 77)

### 3.1.5 Vãos Efetivos de Vigas

Segundo a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 79-80) os vãos efetivos  $l_{ef}$  de vigas podem ser considerados como:

$$l_{ef} = l_0 + a_1 + a_2$$

Sendo:

$l_0$  – distância entre as faces interiores de dois pilares consecutivos

$$a_1 = \min\left(\frac{t_1}{2}; 0,3h\right)$$

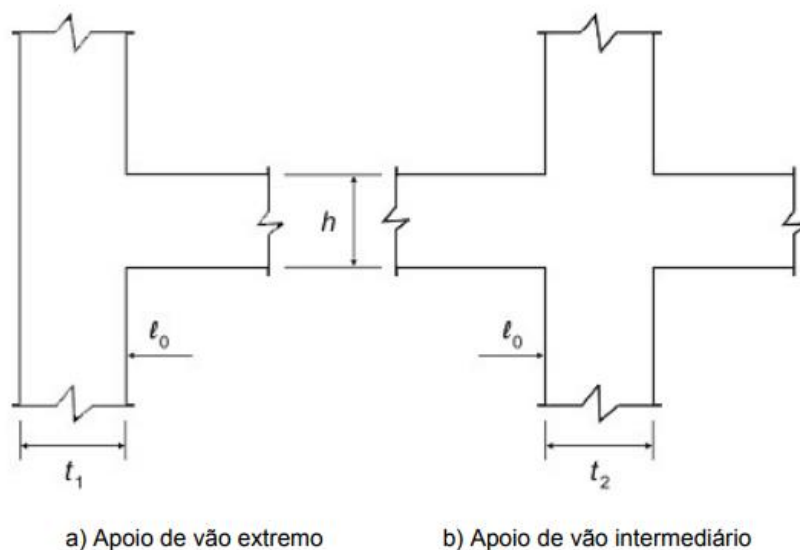
$$a_2 = \min\left(\frac{t_2}{2}; 0,3h\right)$$

$t_1$  e  $t_2$  – largura dos pilares na direção da viga

$h$  – altura da viga

$t_1$ ,  $t_2$ ,  $h$  e  $l_0$  são demonstrados na figura a seguir.

Figura 6 – Variáveis consideradas no cálculo de vãos efetivos em vigas.



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 80)

### 3.1.6 Grelhas e Pórticos Espaciais

A NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 94) permite que os pavimentos dos edifícios sejam calculados como grelhas para o estudo das cargas verticais, desde que os pilares sejam considerados análogos ao prescrito na teoria de vigas contínuas.

De maneira aproximada, a NBR 6118 recomenda a redução da rigidez à torção das vigas por fissuração em 85%. Modelos de grelha e pórticos espaciais, para a verificação de ELU podem ser considerados com rigidez à torção das vigas nulas desde que a torção não seja necessária ao equilíbrio do elemento estrutural, como em lajes em balanço.

Este modelo será utilizado para a análise das lajes dos pavimentos no software TQS/CAD e uma abordagem mais concisa será feita posteriormente ao longo do capítulo 3.4.

### 3.1.7 Placas

A NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 94-96) permite a análise de estruturas de placas desde que sejam seguidas as seguintes hipóteses:

- a) manutenção da seção plana após a deformação, em faixas suficientemente estreitas;
- b) representação dos elementos por seu plano médio;

Ainda há menção de que, para lajes retangulares com continuidade e apoio indeslocável, o momento de borda deve ser adotado como no mínimo 50% maior que o momento no vão.

Para o cálculo de lajes maciças com carga uniforme, a norma determina que:

- a) as reações em cada apoio podem ser consideradas cargas distribuídas determinadas através das charneiras plásticas, desde que  $x/d \leq 0,25$  para concretos com  $f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$ ;
- b) quando não for feita a análise plástica, as charneiras podem ser determinadas como retas inclinadas concorrentes a um vértice, com os seguintes critérios:
  - 45° entre dois apoios do mesmo tipo;
  - 60° a partir do apoio considerado engastado, se o outro for considerado simplesmente apoiado;
  - 90° a partir do apoio, quando a borda vizinha for livre.

Sendo:

$x$  – altura da linha neutra da laje ( $m$ )

$d$  – altura útil da laje ( $m$ )

Em 14.6.6.4 a NBR 6118 ainda cita que é permitido que se considere a laje como uma chapa totalmente rígida desde que não apresente grandes aberturas e de que, em planta, a maior dimensão da laje não supere em três vezes o menor lado do pavimento.

A NBR 6118 dispensa a simulação de alternância das sobrecargas para edificações nas quais a carga variável for menor que  $5 \text{ kN/m}^2$  e no máximo 50% da carga total.

No edifício analisado por este trabalho as cargas serão inferiores a  $5 \text{ kN/m}^2$  e menores que 50% da carga total, portanto, a simulação de alternância das sobrecargas não é necessária.

## 3.2 NBR 6123:1988

O vento será considerado incidindo na edificação nos ângulos de 0 e 90 graus sendo que os carregamentos horizontais exercidos na estrutura serão calculados como indicado no capítulo 5.2.

Como dito em 3.5.1, a norma permite que se considere a laje como um diafragma rígido e, portanto, para a aplicação da carga de vento no modelo em MEF, supõe-se que as lajes terão rigidez infinita e que distribuirão ao resto do pavimento uma carga aplicada ao longo do eixo das vigas de bordo da face a barlavento do edifício, cargas estas que terão sua intensidade variando de acordo com a altura do pavimento analisado.

## 3.3 MODELOS OFERECIDOS PELO TQS/CAD

Como descrito no manual “Desenvolvimento de Sistemas CAD/TQS® 03 – Análise Estrutural”, a modelagem estrutural de um edifício no software TQS é feita com cada pavimento da estrutura sendo calculado individualmente e, posteriormente a estrutura como um todo é modelada de maneira conjunta.

### 3.3.1 Pavimentos

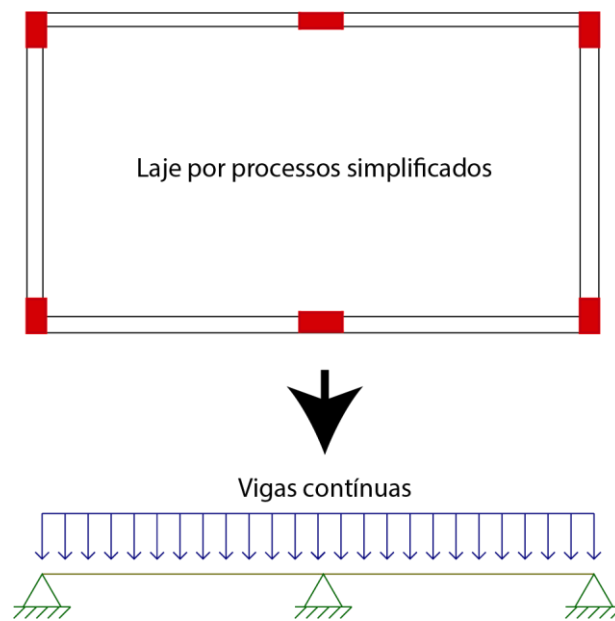
Os pavimentos podem ser modelados como:

- a) vigas contínuas e lajes por processo simplificado;
- b) grelha somente de vigas;
- c) grelha de vigas e lajes discretizadas.

#### 3.3.1.1 Vigas contínuas e lajes por processo simplificado

Neste modelo, os esforços nas vigas são calculados pelo modelo clássico de viga contínua proposto na NBR 6118 e descrito em 3.1.3 e os esforços nas lajes são calculados por métodos aproximados já consagrados, como o de Czerny ou Marcus.

Figura 7 – Cálculo por vigas contínuas e lajes por processo simplificado.

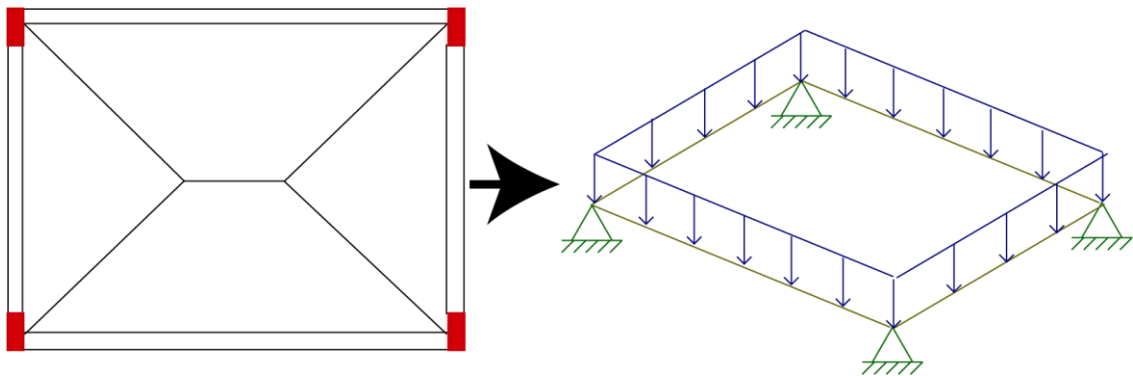


(fonte: elaborado pelo autor)

### 3.3.1.2 Grelha somente de vigas

Este modelo é direcionado principalmente para a análise de pavimentos que não possuam lajes, como por exemplo uma fundação com vigas baldrame. Caso este modelo seja usado para a análise de pavimentos com lajes, o Método das Charneiras Plásticas é usado para fazer a distribuição das cargas das lajes nas suas respectivas vigas de contorno.

Figura 8 – Cálculo por grelha somente de vigas.

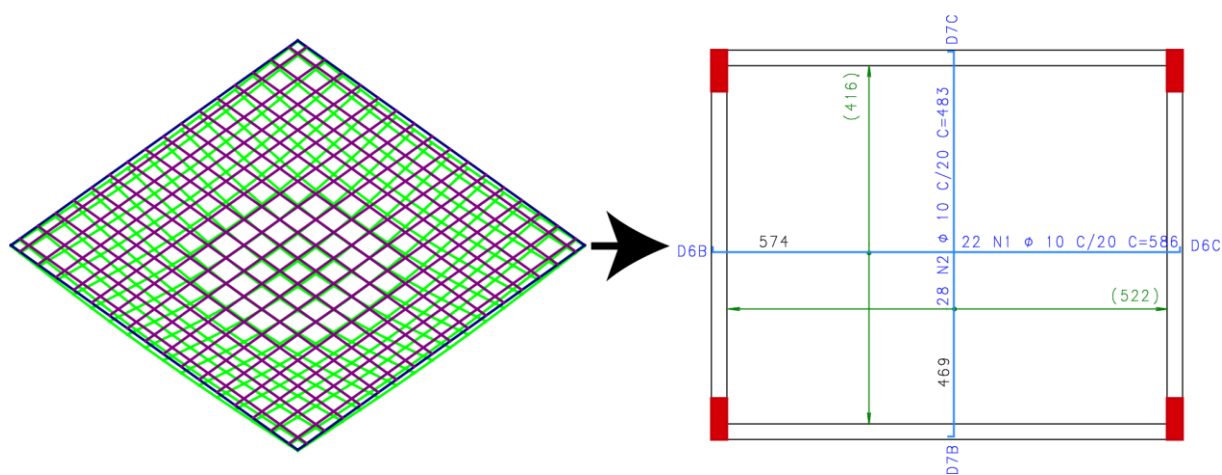


(fonte: elaborado pelo autor)

### 3.3.1.3 Grelha de vigas e lajes discretizadas

Neste modelo lajes são discretizadas por uma malha de barras, formando uma grelha, sendo que as vigas são modeladas como as barras de contorno desta laje. Este modelo permite a escolha de uma grelha para lajes planas ou uma grelha para lajes nervuradas e se apresenta mais preciso que os outros dois anteriores visto que pode levar em consideração, por exemplo, vigas com diferentes rigidezes.

Figura 9 – Cálculo por grelha de vigas e lajes discretizadas.



(fonte: elaborado pelo autor)

### 3.3.1.4 Grelha espacial

Este modelo simula uma grelha por meio de um pórtico espacial e assim possibilita 6 graus de liberdade para as barras. É direcionado para a análise de pavimentos com esforços normais, como retração e protensão e não será utilizado nesse trabalho.

### 3.3.2 Pórticos

#### 3.3.2.1 Pórtico espacial no ELU

O modelo de pórtico espacial no ELU é direcionado para a verificação da estabilidade global do edifício e para o dimensionamento das vigas e pilares, sendo as lajes consideradas como diafragmas rígidos. Neste modelo a não linearidade física de vigas e pilares é considerada de forma aproximada, alterando-se a rigidez destes elementos.

#### 3.3.2.2 Pórtico espacial no ELS

O modelo de pórtico espacial no ELS é direcionado para a verificação dos deslocamentos provocados pelas ações horizontais, como o vento e também é recomendado para a análise dinâmica em serviço, como a verificação do conforto perante vibrações. Neste modelo é considerada a rigidez integral das vigas e pilares.

#### 3.3.2.3 Pórtico não-linear físico e geométrico

Este modelo de pórtico leva em conta de maneira refinada as não linearidades físicas e geométricas. As não linearidades físicas são consideradas pelas relações momento-curvatura obtidas de acordo com a geometria, armaduras detalhadas e solicitações em diversos trechos de uma viga ou pilar. As não linearidades geométricas são consideradas por meio de um processo iterativo que busca a posição final de equilíbrio de toda estrutura.

### 3.3.3 Modelagem global do edifício

A modelagem global do edifício pode ser feita por 6 modelos, sendo cada um deles descrito brevemente a seguir:

Modelo I: Modo manual;

A modelagem do edifício é feita de maneira completamente manual, determinada pelo usuário.

Modelo II: Esforços verticais por vigas contínuas ou grelhas, sem vento;

O edifício não é modelado por um pórtico espacial e o esforço do vento nos pilares é calculado por modelos simplificados. Os esforços gerados pelas ações são calculados de acordo com os modelos usados no pavimentos e acumulados piso a piso.

Modelo III: Esforços verticais por vigas ou grelha, vento por pórtico espacial;

O pavimento é calculado de acordo com o modelo selecionado e os esforços são transmitidos para um pórtico espacial composto apenas de barras que simulam as vigas e pilares da estrutura, com o efeito de diafragma rígido da laje sendo levado em conta. Neste modelo, somente a ação horizontal do vento é levada em conta e as cargas das lajes são transmitidas para as vigas do pórtico por meio de quinhões de carga, não havendo interação entre o modelo de pórtico usado na estrutura e o de grelha usado nas lajes e vigas.

Modelo IV: Modelo de vigas e pilares, flexibilizado conforme critérios;

O pórtico será composto apenas por barras que simulam as vigas e pilares da estrutura com o efeito de diafragma rígido da laje sendo levado em conta. Os pavimentos serão calculados pelo método escolhido pelo usuário e, no caso de grelhas, as cargas serão transferidas de cada barra para o pórtico espacial.

Modelo V: Modelo conjunto de Pórtico/Grelhas/Vigas (versão 10 e anteriores);

O edifício trabalha como pórtico para esforços horizontais, mas compatibiliza esforços verticais obtidos por modelos de grelha e vigas ao longo de edifício. Este modelo não é habilitado para novos edifícios, apenas para arquivos feitos em antigas versões do CAD/TQS.

Modelo VI: Modelo de vigas, pilares e lajes, flexibilizado conforme critérios;

Muito similar ao modelo IV, o pórtico é composto por barras que simulam as vigas e pilares, porém, nesse modelo lajes também são simuladas pelo pórtico e passam a resistir parte dos esforços gerados pelo vento.

O modelo escolhido para a modelagem do edifício deste trabalho será o modelo IV, visto que é o modelo recomendado no manual do CAD/TQS e o mais comumente utilizado pelos escritórios de cálculo estrutural.



## 4 AÇÕES

As ações presentes neste trabalho seguirão as indicações da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 56-63) e serão separadas em cargas permanentes, variáveis e excepcionais, como descrito a seguir:

**Permanentes:** são as que se mantêm com valor praticamente constante durante toda vida da edificação ou aumentam no tempo tendendo a um valor limite estável.

Neste trabalho as ações permanentes consideradas serão o peso-próprio da estrutura, alvenarias e revestimentos.

**Variáveis:** são as ações que sofrem variações significativas durante a vida da edificação.

Neste trabalho as ações variáveis consideradas serão o vento e as cargas verticais de uso da construção (peso das pessoas, móveis, veículos, etc.).

**Excepcionais:** são as ações que possuem uma baixa probabilidade de ocorrência, uma duração muito curta e cujos efeitos não possam ser controlados por outros meios.

Neste trabalho não serão consideradas ações excepcionais.

## 5 PARÂMETROS

O concreto adotado será do grupo I e terá seus parâmetros calculados aos 28 dias de idade.

### 5.1 DA NBR 6118 - 2014

A NBR 6118 no capítulo 8.2 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 22-26) recomenda os seguintes parâmetros para o concreto armado:

$$\rho_c = 2500 \text{ kg/m}^3$$

$$\alpha_{\Delta T} = 10^{-5} / ^\circ\text{C}$$

$$\nu = 0,2$$

Sendo:

$\rho_c$  – massa específica do concreto armado ( $\text{kg/m}^3$ )

$\alpha_{\Delta T}$  – coeficiente de dilatação térmica ( $^\circ\text{C}^{-1}$ )

$\nu$  – coeficiente de Poisson

Para concretos entre C20 e C50:

$$f_{ct,m} = 0,3 f_{ck}^{2/3}$$

$$E_{ci} = \alpha_E \cdot 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}}$$

Sendo:

$f_{ck}$  – resistência característica à compressão do concreto ( $\text{MPa}$ )

$f_{ct,m}$  – resistência média à tração do concreto do concreto ( $\text{MPa}$ )

$E_{ci}$  – módulo de elasticidade ou módulo de deformação tangente inicial do concreto, referindo-se sempre ao módulo cordal (*MPa*)

$\alpha_E$  – parâmetro em função da natureza do agregado que influencia o módulo de elasticidade, com os valores de:

$\alpha_E = 1,2$  para basalto e diabásio

$\alpha_E = 1,0$  para granito e gnaisse

$\alpha_E = 0,9$  para calcário

$\alpha_E = 0,7$  para arenito

O módulo de deformação secante do concreto, em *Mpa* é definido por:

$$E_{cs} = \alpha_i \cdot E_{ci}$$

Sendo:

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 \cdot \frac{f_{ck}}{80} \leq 1,0$$

$$G_c = \frac{E_{cs}}{2,4}$$

$$\varepsilon_{c2} = 2,0 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{cu} = 3,5 \text{ ‰}$$

Sendo:

$G_c$  – módulo de elasticidade transversal do concreto (*MPa*)

$\varepsilon_{c2}$  – deformação específica de encurtamento do concreto no início do patamar plástico

$\varepsilon_{cu}$  – deformação específica de encurtamento do concreto na ruptura

O aço escolhido para a armadura passiva é o CA-50 e suas propriedades, recomendadas pela NBR 6118 no capítulo 8.3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 28-29), são as seguintes:

$$\rho_s = 7850 \text{ kg/m}^3$$

$$E_s = 210 \text{ GPa}$$

Sendo:

$\rho_s$  – massa específica do aço da armadura passiva ( $\text{kg/m}^3$ )

$E_s$  - módulo de elasticidade do aço de armadura passiva ( $\text{GPa}$ )

## 5.2 DA NBR 6123 - 1988

Para a determinação das forças estáticas devidas ao vento a NBR 6123 no capítulo 4.2 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 4-11) faz as seguintes recomendações:

a velocidade básica do vento,  $V_o$ , é a velocidade de uma rajada de 3 segundos, excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 metros acima do terreno, em campo aberto e plano e pode ser obtida a partir da localização do edifício no mapa do Anexo A;

a pressão dinâmica é calculada pela fórmula:

$$q = 0,613 \cdot V_k^2$$

Sendo  $V_k$  obtido conforme c);

a velocidade básica do vento,  $V_k$ , é obtida pela fórmula:

$$V_k = V_o \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$$

Sendo  $S_1$ ,  $S_2$  e  $S_3$  descritos a seguir.

$S_1$  é um fator topográfico que leva em consideração as variações do relevo e do terreno e para um terreno plano ou fracamente acidentado pode ser tomado como  $S_1 = 1$ .

$S_2$  é um fator que leva em conta a rugosidade do terreno, as dimensões da edificação e variação da velocidade do vento de acordo com a altura sobre o terreno e é calculado com a seguinte fórmula:

$$S_2 = b \cdot F_r \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^p$$

Sendo:

$F_r$  – fator de rajada, sempre correspondente à categoria 2

$z$  – altura acima do nível geral do terreno ( $m$ )

$b$  e  $p$  – fatores obtidos a partir da categoria e classe da edificação, como descrito a seguir

Para a rugosidade do terreno é escolhida uma dentre cinco categorias, como descrito na NBR 6123 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 8):

Categoria I: Superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5 km de extensão, medida na direção e sentido do vento incidente. Exemplos: mar calmo; lagos e rios; pântanos sem vegetação.

Categoria II: Terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas. Exemplos: zonas costeiras planas; pântanos com vegetação rala; campos de aviação; pradarias e charnecas; fazendas sem sebes ou muros.

A cota média do topo dos obstáculos é considerada inferior ou igual a 1,0 m.

Categoria III: Terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como sebes e muros, poucos quebra-ventos de árvores, edificações baixas e esparsas. Exemplos: granjas e casas de campo, com exceção das partes com matos; fazendas com sebes e/ou muros; subúrbios a considerável distância do centro, com casas baixas e esparsas.

A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 3,0 m.

Categoria IV: Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada. Exemplos: zonas de parques e bosques com muitas árvores; cidades pequenas e seus arredores; subúrbios densamente construídos de grandes cidades; áreas industriais plena ou parcialmente desenvolvidas.

A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 10 m.

Categoria V: Terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados. Exemplos: florestas com árvores altas, de copas isoladas; centros de grandes cidades; complexos industriais bem desenvolvidos.

A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual ou superior a 25 m.

Para as dimensões da edificação é escolhida uma dentre três classes, como descrito na NBR 6123 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 9):

Classe A: Todas as unidades de vedação, seus elementos de fixação e peças individuais de estruturas sem vedação. Toda edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical não exceda 20 m.

Classe B: Toda edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 20 m e 50 m.

Classe C: Toda edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal exceda 50 m.

Escolhidas a categoria e a classe da edificação, é possível obter os parâmetros  $b$  e  $p$  de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 – Tabela para a obtenção de  $b$  e  $p$  de acordo com a classe da edificação.

Categoria	$z_g$ (m)	Parâmetro	Classes		
			A	B	C
I	250	b	1,10	1,11	1,12
		p	0,06	0,065	0,07
II	300	b	1,00	1,00	1,00
		$F_r$	1,00	0,98	0,95
		p	0,085	0,09	0,10
III	350	b	0,94	0,94	0,93
		p	0,10	0,105	0,115
IV	420	b	0,86	0,85	0,84
		p	0,12	0,125	0,135
V	500	b	0,74	0,73	0,71
		p	0,15	0,16	0,175

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 9)

$S_3$  é um fator estatístico que considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação e pode ser determinado de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 – Valores mínimos do fator estatístico  $S_3$ .

Grupo	Descrição	$S_3$
1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicação, etc.)	1,10
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.)	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.)	0,88
5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção	0,83

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 10)

A força de arrasto é calculada pela expressão:

$$F_a = C_a \cdot q_v \cdot A_e$$

Sendo que  $C_a$  é definido de acordo com os Anexos B e C, dependentes da turbulência do vento, a qual é definida de acordo com a NBR 6123 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 21):

Uma edificação pode ser considerada em vento de alta turbulência quando sua altura não excede duas vezes a altura média das edificações nas vizinhanças, estendendo-se estas, na direção e no sentido do vento incidente, a uma distância mínima de:

- 500 m, para uma edificação de até 40 m de altura;
- 1000 m, para uma edificação de até 55 m de altura;
- 2000 m, para uma edificação de até 70m de altura;
- 3000 m, para uma edificação de até 80 m de altura.



Sendo:

$C_a$  – coeficiente de arrasto, determinado de acordo com o os Anexos B e C

$V_o$  – velocidade básica do vento: é a velocidade de uma rajada de 3 segundos, excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 metros acima do terreno, em campo aberto e plano ( $m/s$ )

$V_k$  – velocidade característica do vento ( $m/s$ )

$R_e$  – número de Reynolds

$q_v$  – pressão dinâmica do vento, correspondente à velocidade característica  $V_k$ , em condições normais de pressão e de temperatura ( $N/m^2$ )

$F_a$  – força de arrasto: componente da força devida ao vento na direção do vento ( $kN$ )

$A_e$  – área frontal efetiva: área da projeção ortogonal da edificação, estrutura ou elemento estrutural sobre um plano perpendicular à direção do vento ("área de sombra") ( $m^2$ )

$l_1$  – largura: dimensão horizontal de uma edificação perpendicular à direção do vento ( $m$ )

$l_2$  – profundidade: dimensão de uma edificação na direção do vento ( $m$ )

$h$  – Altura de uma edificação acima do terreno, medida até o topo da platibanda ou nível do beiral. Altura de muro ou placa ( $m$ )

## 6 ESTABILIDADE GLOBAL

Segundo os capítulos 15.5.1 a 15.5.3 da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 104-105) a estabilidade global da edificação pode ser analisada segundo dois critérios:

- Parâmetro de instabilidade  $\alpha$ ;
- Coeficiente  $\gamma_z$ .

A NBR 6118 ainda diz que na análise de estabilidade global que trata a estrutura como um todo, o valor de deformação secante  $E_{cs}$  pode ser majorado em 10%.

### 6.1 PARÂMETRO DE INSTABILIDADE $\alpha$

A estrutura pode ser considerada de nós fixos se:

$$\alpha < \alpha_1$$

Onde:

$$\alpha = H_{tot} \sqrt{\frac{N_k}{E_{cs} \cdot I_c}}$$

$$\alpha_1 = 0,2 + 0,1n \quad \text{se: } n \leq 3$$

$$\alpha_1 = 0,6 \quad \text{se: } n \geq 4$$

E também:

- Associações de pilares-parede e pórticos associados a pilares-parede  $\alpha_1 = 0,6$ ;
- Contraventamento constituído só de pilares-parede  $\alpha_1 = 0,7$ ;
- Somente pórticos  $\alpha_1 = 0,5$ .

Sendo:

$n$  – número de níveis de barras horizontais (andares) acima da fundação ou de um nível pouco deslocável do solo

$H_{tot}$  – altura total da estrutura, medida a partir do topo da fundação ou de um nível pouco deslocável do subsolo ( $m$ )

$N_k$  – somatório de todas as cargas verticais atuantes na estrutura (a partir do nível considerado para o cálculo de  $H_{tot}$ , com seu valor característico ( $kN$ ))

$E_{cs}I_c$  – somatório dos valores de rigidez de todos os pilares na direção considerada, sendo que em estruturas aporticadas, treliçada, mistas ou com pilares de rigidez variável ao longo da altura pode ser considerado o valor  $E_{cs}I_c$  de um pilar equivalente de seção constante ( $MNm^2$ )

O valor de  $I_c$  deve ser calculado considerando as seções brutas dos pilares e a rigidez do pilar equivalente deve ser determinada calculando o deslocamento no topo da estrutura de contraventamento sob a ação das cargas horizontais e compatibilizando esse deslocamento ao de um pilar equivalente de seção constante engastado na base e livre no topo com altura  $H_{tot}$ .

Como constata Araújo (2014, p. 21) o parâmetro de instabilidade  $\alpha$  determina que quanto mais alto o edifício e maiores as cargas verticais, maior rigidez de contraventamento será necessária para garantir a indeslocabilidade.

## 6.2 COEFICIENTE $\gamma_Z$

O coeficiente  $\gamma_Z$  é válido apenas para estruturas reticuladas as quais  $n \geq 4$  e é calculado pela seguinte fórmula:

$$\gamma_Z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}}$$

Sendo:

$\Delta M_{tot,d}$  – é o momento de tombamento, ou seja, a soma dos momentos de todas as forças horizontais da combinação considerada, com seus valores de cálculo, em relação à base da estrutura ( $kNm$ )

$M_{1,tot,d}$  – é a soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura, na combinação considerada, com seus valores de cálculo, pelos deslocamentos horizontais de seus respectivos pontos de aplicação, obtidos da análise de primeira ordem ( $kNm$ )

Araújo (2014, p. 130) sugere que há vantagem no uso do coeficiente  $\gamma_Z$  sobre o parâmetro  $\alpha$ , pois  $\gamma_Z$  serve como uma avaliação aproximada dos esforços globais na estrutura, enquanto  $\alpha$  apenas indica se a estrutura pode ser considerada indeslocável.

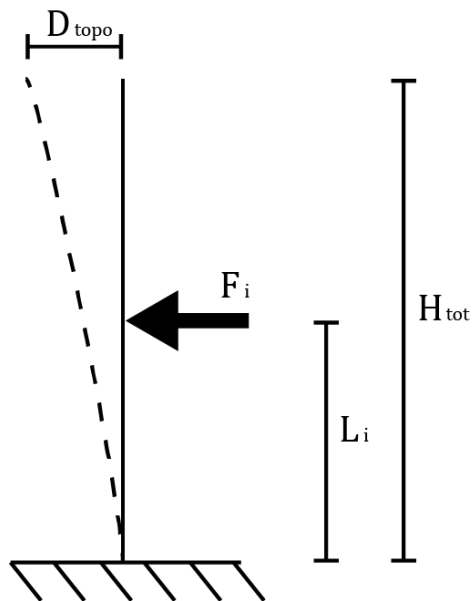
### 6.3 ESTABILIDADE GLOBAL NO CAD/TQS

Segundo o manual “Desenvolvimento de Sistemas CAD/TQS® 03 – Análise Estrutural, p. 151-158” o CAD/TQS adota para a verificação da estabilidade global o módulo de elasticidade tangencial previsto no item 15.5.2 da NBR 6118, sendo também possível definir um redutor rigidez único para vigas e pilares caso seja desejado.

O cálculo de  $\gamma_Z$  é feito utilizando os critérios da NBR 6118 do item 15.5.3 e considerando cada um dos casos de vento definidos no edifício. Nessa análise os deslocamentos horizontais provocados pelas cargas verticais não são considerados e o resultado final não depende da magnitude das forças horizontais.

Com base nisso, no CAD/TQS também é calculado o fator de amplificação de esforços horizontais  $FAVt$  o qual é calculado para cada combinação ELU do edifício da mesma maneira que  $\gamma_Z$ , porém levando em conta os deslocamentos horizontais provocados pelas cargas verticais, assim, passando a depender da magnitude das forças horizontais.

O coeficiente  $\alpha$  é calculado de acordo com o descrito pela NBR 6118 em 15.5.1 para cada caso de vento definido no edifício, sendo que  $E_{cs}I_c$  é calculado considerando uma única barra vertical submetida a uma carga horizontal, de modo que o deslocamento no topo  $D_{topo}$  corresponda a uma deformação equivalente do edifício, como exemplificado na Figura 10.

Figura 10 – Esquema para o cálculo de  $I_c$ .

(fonte: elaborado pelo autor)

$$E_{cs} I_c = \frac{\sum [F_i \cdot L_i^2 \cdot (H_{tot} - \frac{L_i}{3})]}{2 \cdot D_{topo}}$$

Sendo:

$F_i$  – cada força horizontal aplicada no modelo ( $kN$ )

$L_i$  – distância de aplicação de cada força horizontal em relação à base do edifício ( $m$ )

$D_{topo}$  – deslocamento no topo do pórtico ELU ( $m$ )

$H_{tot}$  – altura total da estrutura, medida a partir do topo da fundação ou de um nível pouco deslocável do subsolo ( $m$ )

## 6.4 ESTRUTURAS DE NÓS FIXOS E NÓS MÓVEIS

Quando há a presença de cargas verticais e os nós da estrutura deslocam-se horizontalmente há uma ocorrência de esforços que amplificam os deslocamentos da edificação, estes esforços adicionais são chamados de efeitos de 2ª ordem.

Para a análise dos efeitos de 2ª ordem globais na edificação, a NBR 6118:2014 no capítulo 14.4.2 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 103) estabelece que:

As estruturas são consideradas, para efeito de cálculo, de nós fixos, quando os deslocamentos horizontais dos nós são pequenos e, por decorrência, os efeitos globais de 2ª ordem são desprezíveis (inferiores a 10 % dos respectivos esforços de 1ª ordem). Nessas estruturas, basta considerar os efeitos locais e localizados de 2ª ordem.

As estruturas de nós móveis são aquelas onde os deslocamentos horizontais não são pequenos e, em decorrência, os efeitos globais de 2ª ordem são importantes (superiores a 10 % dos respectivos esforços de 1ª ordem). Nessas estruturas devem ser considerados tanto os esforços de 2ª ordem globais como os locais e localizados.

## 7 A EDIFICAÇÃO

O edifício que será modelado nas próximas etapas deste trabalho não terá nenhuma função arquitetônica, se tratando apenas de um modelo estrutural para simular diversos casos específicos no software de projeto integrado e, decorrente disto, diversas vezes o leitor se deparará com padrões não usuais e pouco eficientes para uma edificação real.

Devido às limitações do TQS citadas no capítulo 2.2, o prédio possuirá apenas cinco níveis, quatro pavimentos e a fundação, sendo que o pé direito será de 3 m, totalizando 12 m da base até o topo da laje da cobertura. As dimensões em planta de um dos eixos da edificação serão alongadas e haverá um certo grau de assimetria para que o efeito de vento seja realçado e além disto, visto que a altura do prédio é limitada, também é necessário que os coeficientes de vento sejam majorados de forma que haja uma amplificação da carga.

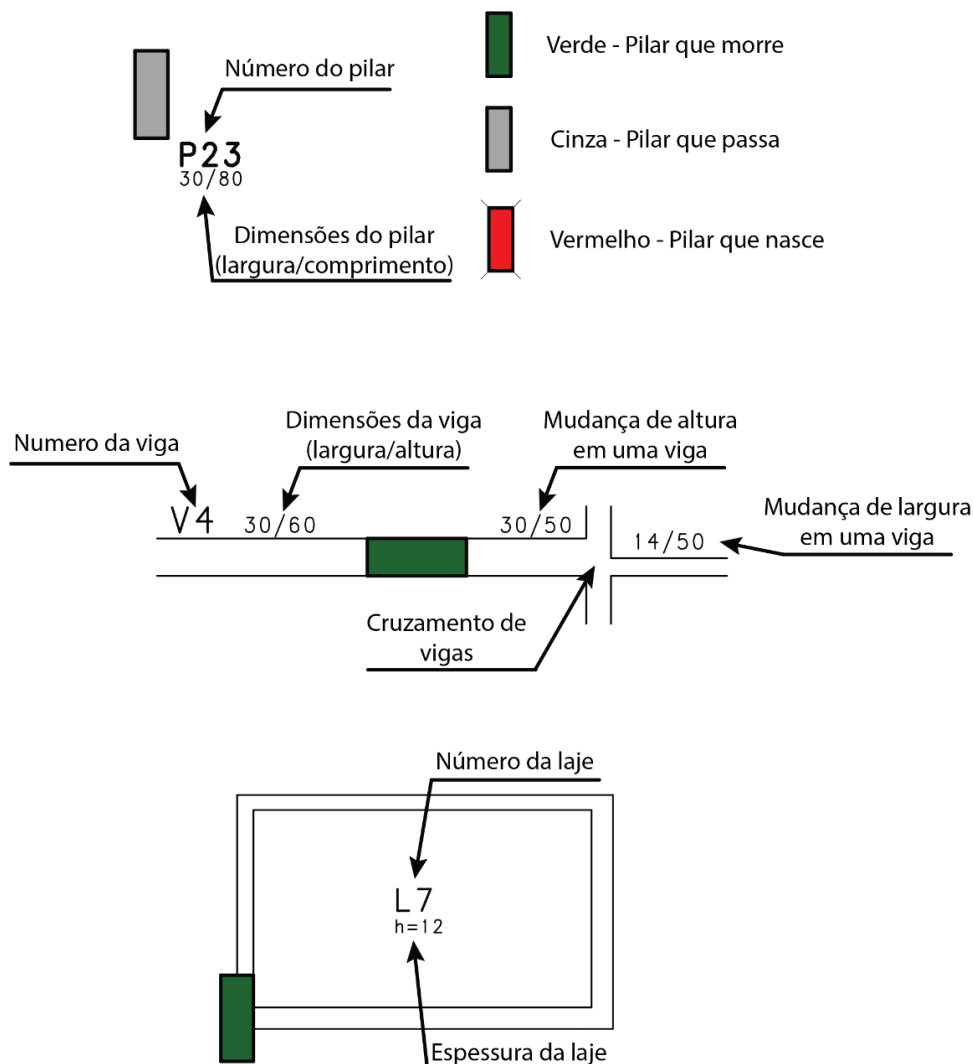
Figura 11 – Corte esquemático do edifício gerado pelo TQS, indicando o número de pavimentos e seus respectivos níveis.



(fonte: elaborado pelo autor)

A Figura 12 descreve a convenção de símbolos que será usada para pilares, vigas e lajes:

Figura 12 – Convenção usada em pilares, vigas e lajes, respectivamente.

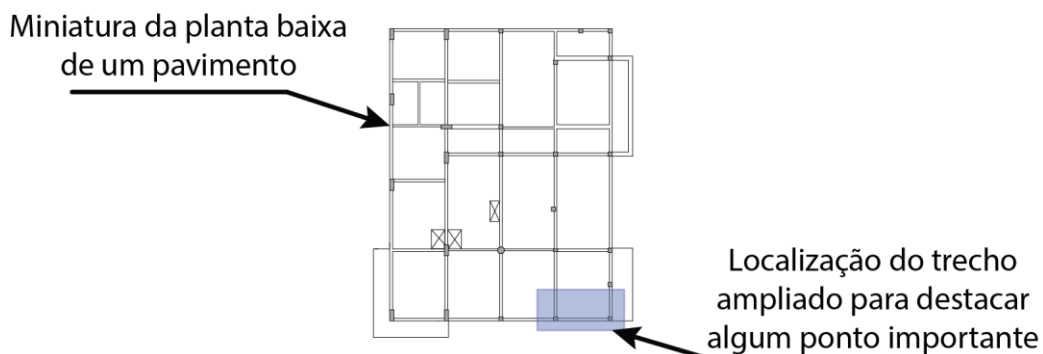


(fonte: elaborado pelo autor)

Todos os pavimentos da edificação em planta baixa tiveram seus elementos nomeados automaticamente pelo TQS e podem ser consultados no Apêndice 1, porém, para o conforto do leitor, exemplos serão dispostos em imagens ao decorrer dos capítulos juntamente com um pequeno mapa o qual indicará a posição do elemento em seu pavimento, como exemplificado na Figura 13.



Figura 13 – Exemplo da miniatura de um pavimento em planta baixa.



(fonte: elaborado pelo autor)

A decisão de modelo para cada tipo de elemento será descrita nos subcapítulos a seguir tendo em conta que, para não tornar a descrição extensa, são omitidas as peças com características repetidas.

## 7.1 LAJES

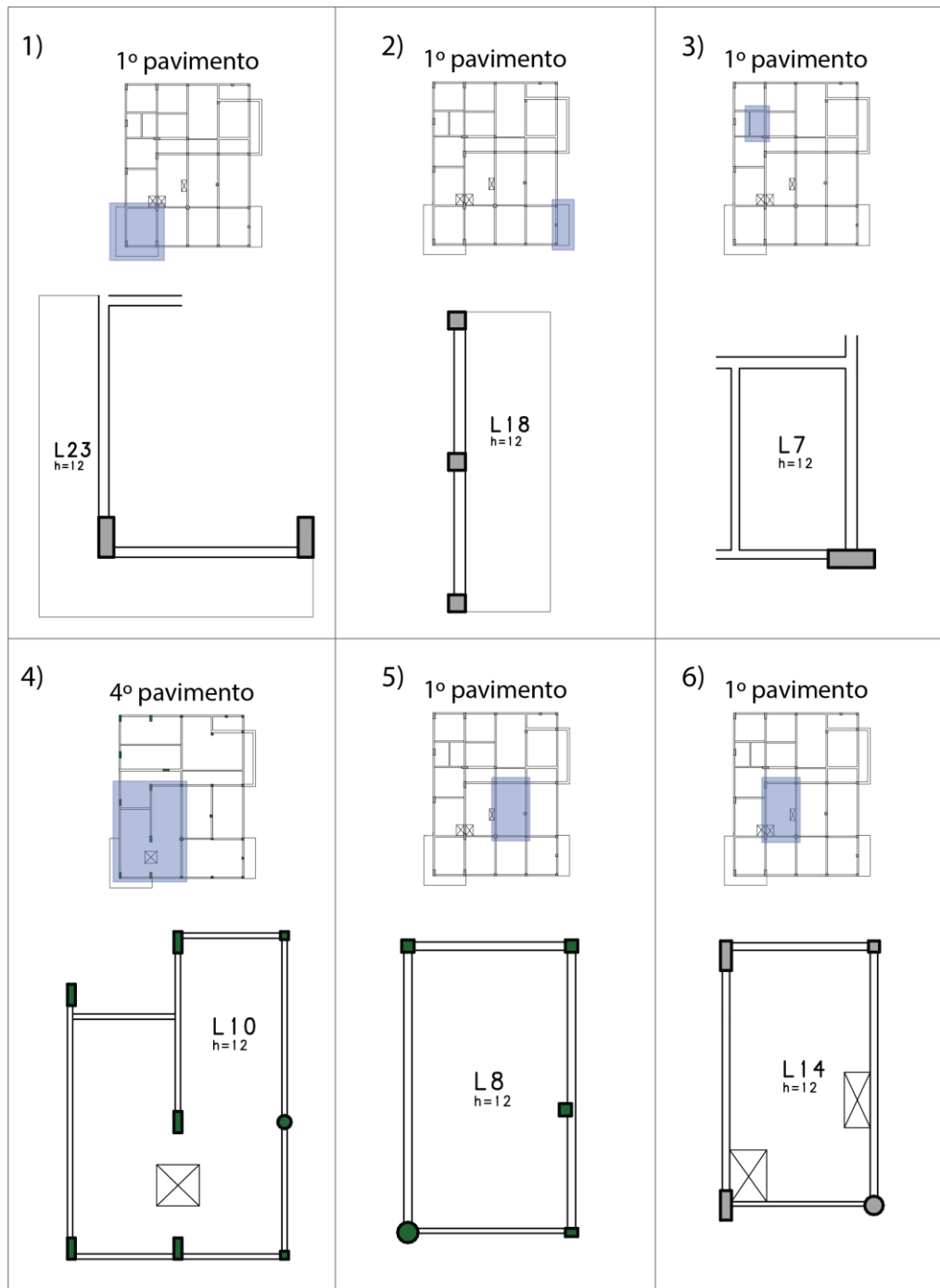
Todas lajes foram modeladas com espessura igual a 12 cm, a qual provavelmente não seria necessária para requisitos estruturais, visto que a grande maioria dos vãos é relativamente pequena, porém esta espessura pode acabar sendo adotada por exigências de desempenho acústico e térmico que estão cada vez mais sendo requisitadas em novas edificações. Ainda cabe o comentário de que lajes mais espessas se aproximam mais de um modelo de diafragma rígido no modelo em elementos finitos e possibilitam uma melhor visualização da influência da rigidez das lajes na flexão do pavimento inteiro.

Alguns modelos adotados são:

- 1) Lajes em balanço em formato de “L”. (Em todos pavimentos)
- 2) Lajes em balanço retangulares. (Em todos pavimentos)
- 3) Lajes retangulares comuns. (Em todos pavimentos)

- 4) Lajes com um furo afastado dos pontos de apoio, entre dois pilares e de formato irregular. (No 4º pavimento)
- 5) Lajes apoiadas em vigas parcialmente apoiadas em pilares ao longo do bordo da laje. (Em todos pavimentos)
- 6) Lajes com furos no encontro dos pilares com vigas e tangentes a uma viga. (Do 1º ao 3º pavimento)

Figura 14 – Exemplos de pontos de interesse em lajes e suas respectivas localizações.



(fonte: elaborado pelo autor)

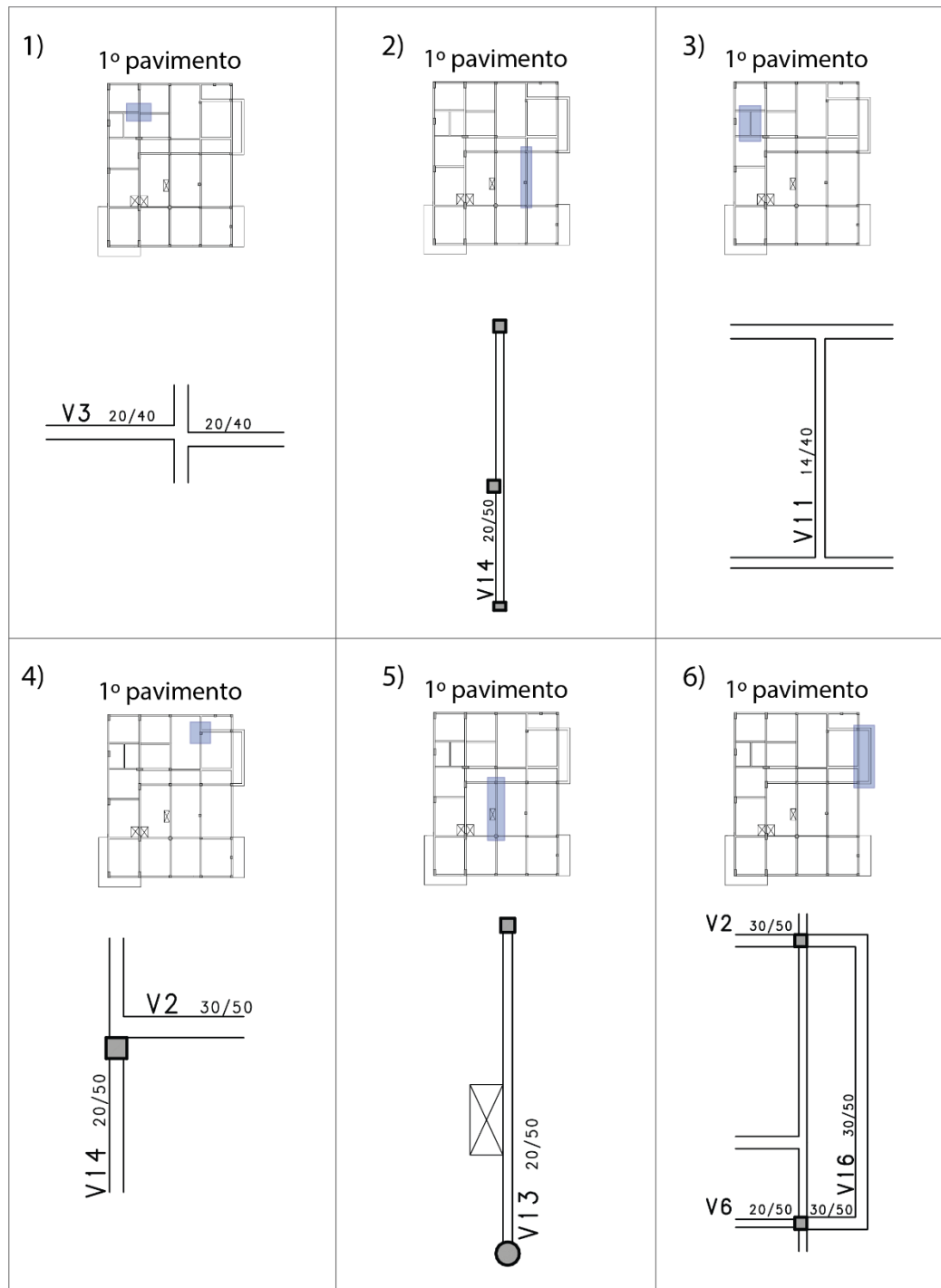
## 7.2 VIGAS

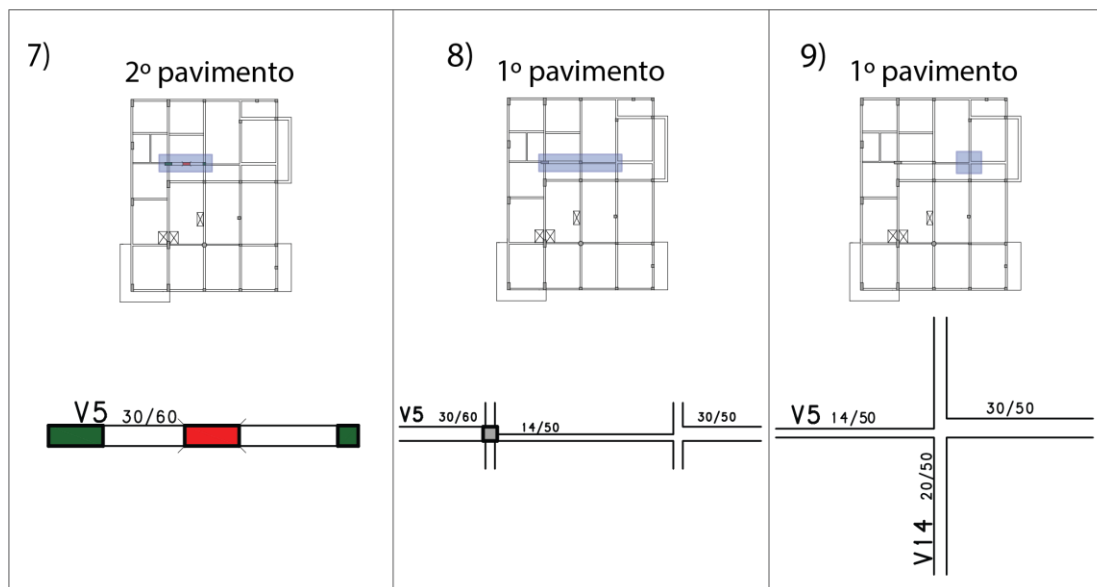
Como deformações locais em elementos e a verificação do dimensionamento não serão analisados, não houve uma preocupação com tamanhos de vãos de vigas nem um cuidado para que suas dimensões resultassem em um dimensionamento com armaduras compatíveis.

Alguns modelos adotados são:

- 1) Vigas as quais mudam a posição do seu eixo no encontro com outras vigas, mas que continuam a ser modeladas como uma única viga contínua. (Do 1º ao 3º pavimento)
- 2) Vigas com pilares descentralizados em relação a seu eixo. (Em todos pavimentos)
- 3) Vigas apoiadas em outras vigas. (Em todos pavimentos)
- 4) Vigas apoiadas em vigas muito próximas a um pilar. (Em todos pavimentos)
- 5) Vigas cujas lajes tangentes a sua largura possuem furos. (Do 1º ao 3º pavimento)
- 6) Vigas de marquises. (Do 1º ao 3º pavimento)
- 7) Vigas de transição. (2º pavimento)
- 8) Vigas com alterações na sua largura e altura. (Em todos pavimentos)
- 9) Cruzamento de duas vigas com vãos semelhantes. (Em todos pavimentos)

Figura 15 – Exemplos de pontos de interesse em vigas e suas respectivas localizações.





(fonte: elaborado pelo autor)

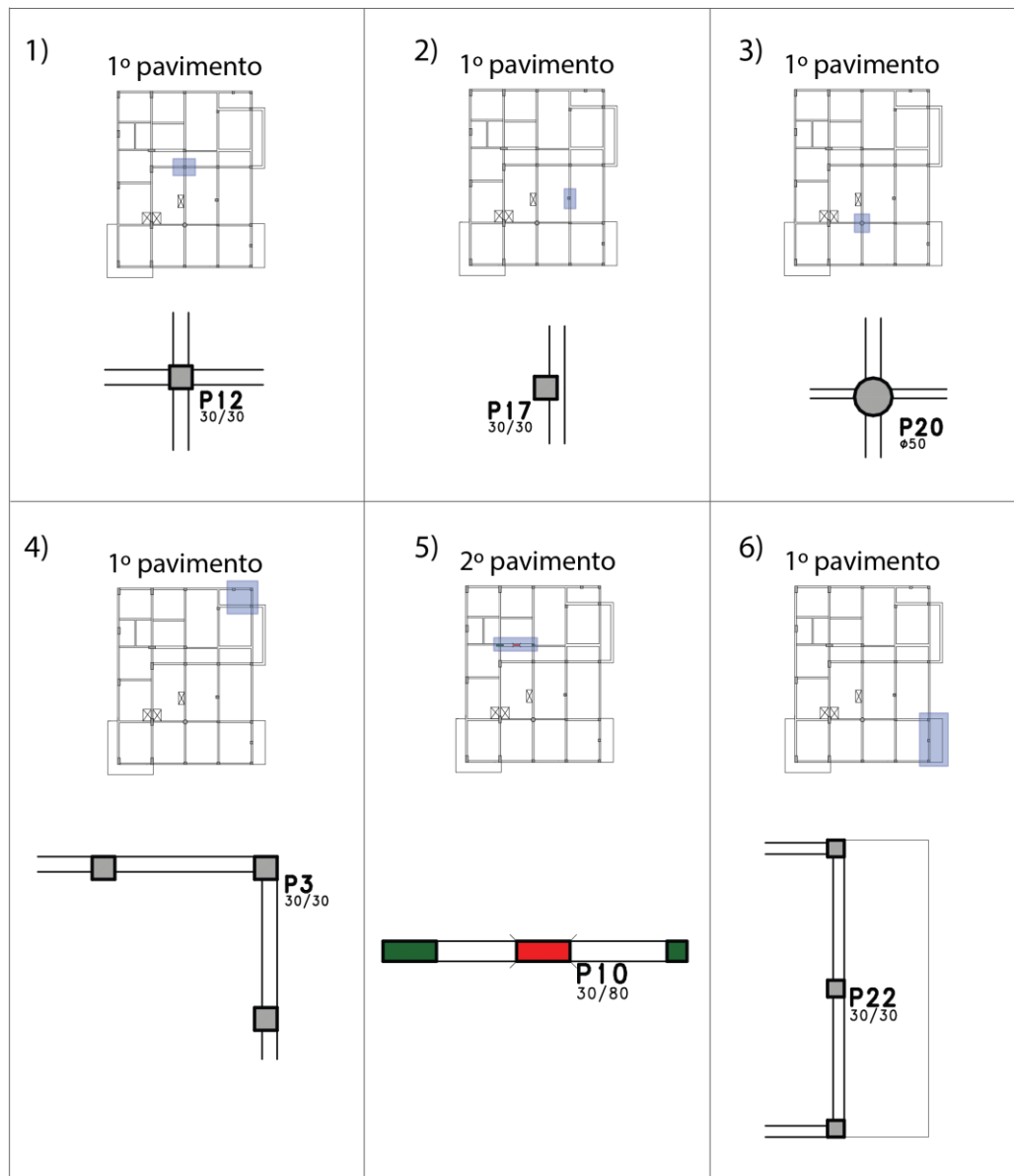
### 7.3 PILARES

Com a mesma justificativa dada para as vigas, nos pilares não houve uma preocupação com dimensões que resultassem em um dimensionamento com armaduras compatíveis ou uma formação de pórticos com uma grande robustez estrutural.

Alguns modelos adotados são:

- 1) Pilares quadrados com vigas passando em seu eixo. (Em todos pavimentos)
- 2) Pilares ligados a uma viga excêntrica. (Em todos pavimentos)
- 3) Pilares de seção circular. (Em todos pavimentos)
- 4) Pilares localizados no fim de um pequeno vão seguido de um grande vão, de modo que passem a suportar esforços de tração. (Em todos pavimentos)
- 5) Pilares nascendo em vãos de vigas. (Do 1º ao 3º pavimento)
- 6) Pilares alinhados ao centro de sacadas. (Em todos pavimentos)

Figura 16 – Exemplos de pontos de interesse em pilares e suas respectivas localizações.



(fonte: elaborado pelo autor)

## 8 GERAÇÃO DO MODELO NOS SOFTWARES

### 8.1 TQS

Para que se pudesse estabelecer uma certa similaridade com o que é frequentemente usado nos escritórios de cálculo estrutural, foram utilizados os critérios padrão do TQS. Como estes critérios impõem algumas limitações as quais não existem no software de elementos finitos, o TQS foi o primeiro software a ser utilizado para gerar o modelo para que depois este pudesse ser replicado no software de elementos finitos, portanto, os critérios usados no TQS direcionaram as regras usadas no modelo em elementos finitos.

### 8.2 MODELO EM ELEMENTOS FINITOS

O software utilizado para a geração da malha em elementos finitos foi o Autodesk Robot Structural Analysis 2019, escolhido por ser um programa com muitos recursos, de interface fácil e intuitiva e com grande compatibilidade com o sistema BIM e outros softwares. Vale ressaltar que a facilidade com o programa pode ter sido resultante do autor já possuir alguma experiência com softwares da Autodesk.

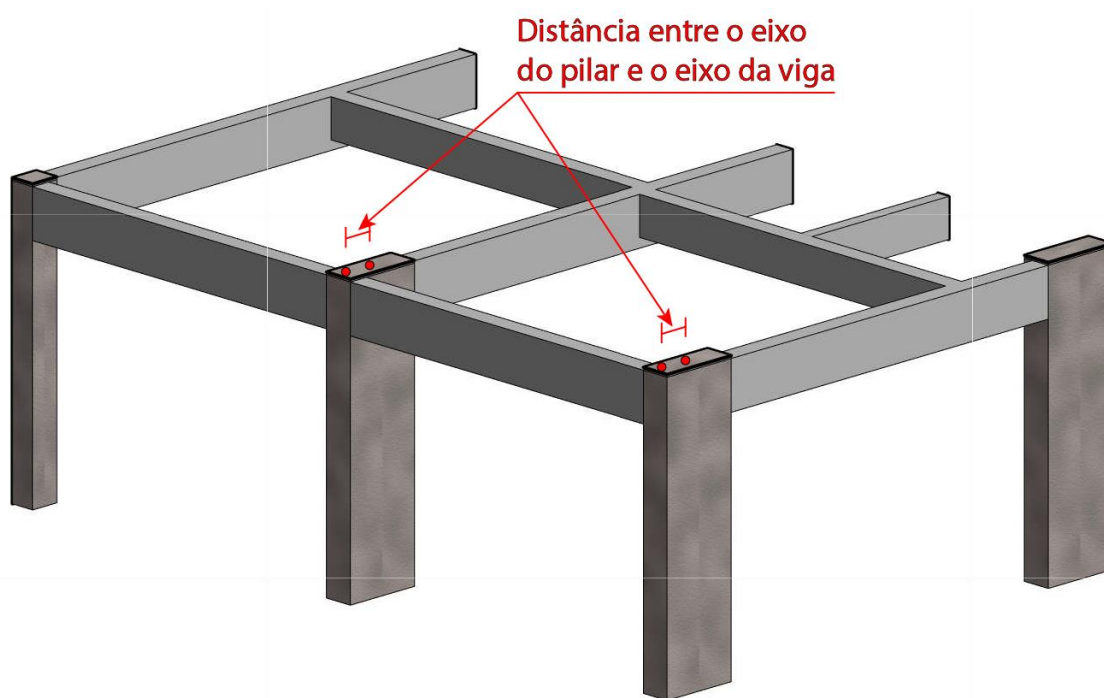
Para tornar a leitura mais fluida, a partir deste ponto o Robot Structural Analysis 2019 será chamado apenas de RSA, deixando implícita a versão do programa, visto que apenas a do ano 2019 foi usada para este trabalho.

Uma vez que a própria empresa TQS disponibiliza um plugin que possibilita a exportação direta do modelo para o Autodesk Revit, buscou-se importar o modelo do TQS para o Autodesk Revit 2019 e deste último para o RSA, porém o modelo apresentou diversas falhas no encontro de elementos de barra e algumas distorções na posição dos mesmos. A versão do TQS usada é a 19 e é possível que a integração entre Revit e TQS tenha sido melhorada em versões mais recentes, porém o acesso a estas não foi possível.



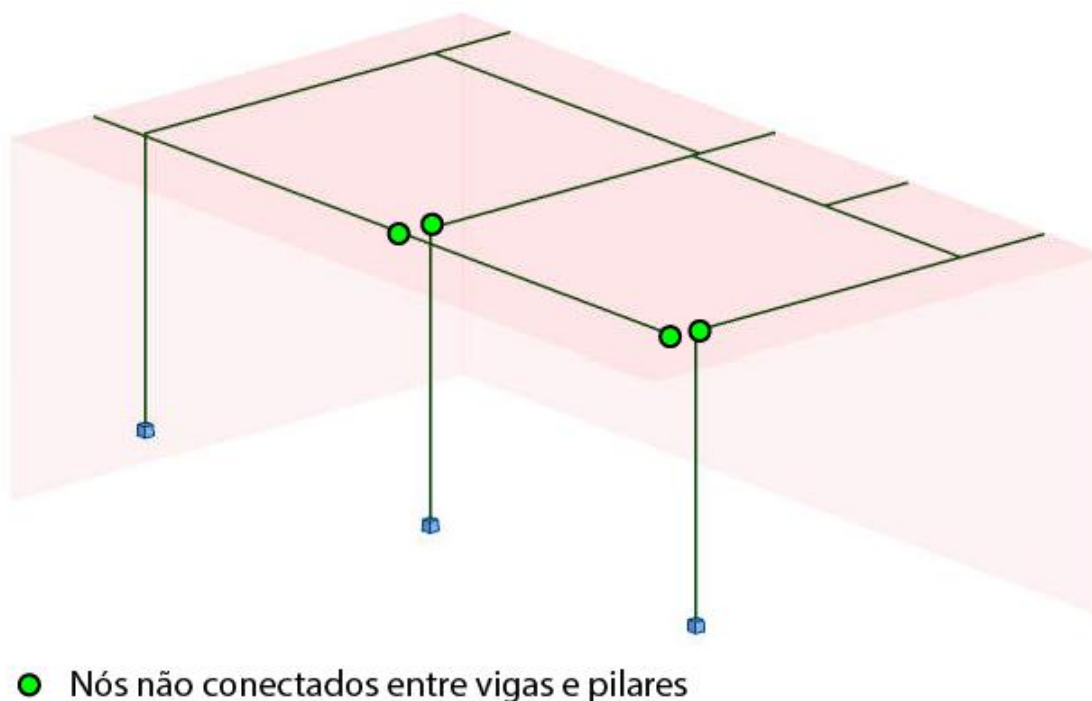
A solução encontrada foi recriar completamente o modelo no Autodesk Revit 2019 e exportá-lo para o RSA. Vale ressaltar que mesmo ambos os softwares sendo da Autodesk, o modelo apresentou algumas deficiências nas ligações de vigas, pilares e lajes as quais posteriormente puderam ser corrigidas de acordo com a escolha do autor de como a estrutura deveria ser modelada. Um exemplo destas deficiências pode ser encontrado nas Figuras 17 e 18, onde o pilar, por ter seu eixo descentralizado da viga, fica sem nenhuma ligação com a mesma, dando a entender que a laje está diretamente apoiada no pilar e a viga está sem apoio nenhum. Para corrigir essa deficiência foram usadas ligações rígidas, as quais serão tratadas em 8.3.2.

Figura 17 – Ligação entre pilares e vigas descentralizadas no Autodesk Revit 2019.



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 18 – Ligação entre pilares e vigas descentralizadas no RSA.



(fonte: elaborado pelo autor)

### 8.2.1 Lajes

As lajes foram modeladas considerando o eixo das vigas como apoio, o que condiz com o modelo de cálculo usado para armaduras de lajes, que utiliza como vão efetivo das lajes os eixos das vigas. Em contrapartida este modelo resulta em uma laje com área ligeiramente maior que a considerada pelo TQS, dado que metade da largura das vigas será considerada como laje. Este problema é melhor discutido em 8.3.4.2.

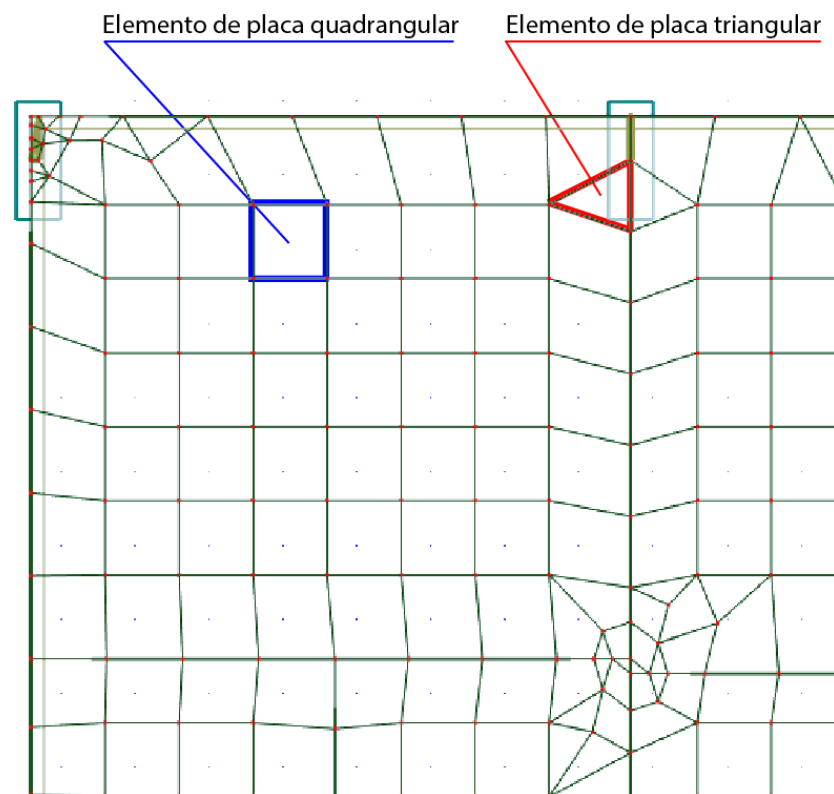
As lajes são formadas por elementos de placas, os quais são gerados automaticamente pelo software que possibilita a escolha entre o método de Coon, Delaunay ou uma seleção automática do programa entre os dois métodos para cada área analisada. Neste trabalho foi escolhido o método de seleção automática sendo que o tamanho escolhido para os elementos foi de  $0,1\text{ m}$ , de forma que a malha não ficasse grosseira a ponto de apresentar erros

significativos e também não ficasse refinada a ponto de tornar o modelo computacionalmente trabalhoso demais.

Os elementos gerados são predominantemente quadriláteros de 4 nós, com alguns elementos triangulares de 3 nós em pontos específicos, como no encontro de vigas, lajes e pilares, exemplificados na Figura 19.

É importante destacar que os exemplos das imagens apresentadas nesse capítulo são formados por elementos de tamanho igual a  $0,5\text{ m}$  para melhor visualização do leitor, porém não representam os elementos reais utilizados no modelo. A malha com elementos usada, de lado médio igual a  $0,1\text{ m}$ , é consideravelmente mais regular que a apresentada na Figura 19 e 21, embora elementos triangulares e distorcidos também estejam presentes.

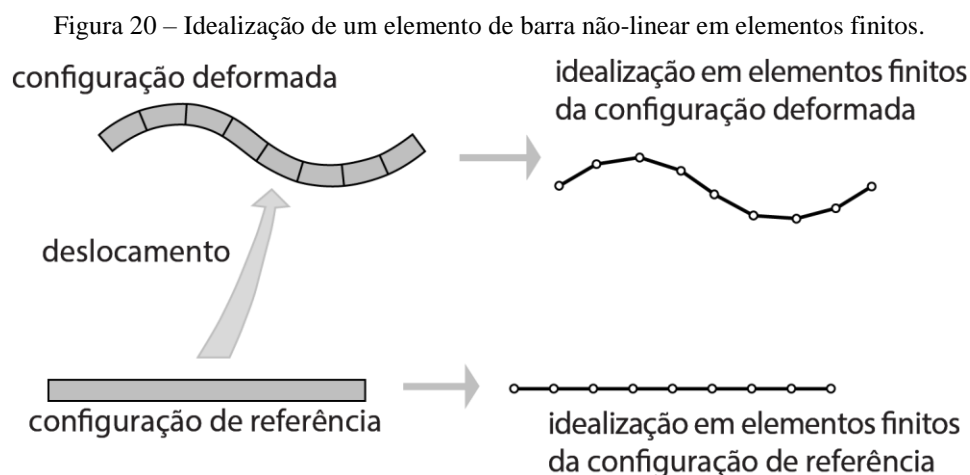
Figura 19 – Exemplos de elementos quadrangulares e triangulares gerados pelo RSA.



(fonte: elaborado pelo autor)

## 8.2.2 Vigas

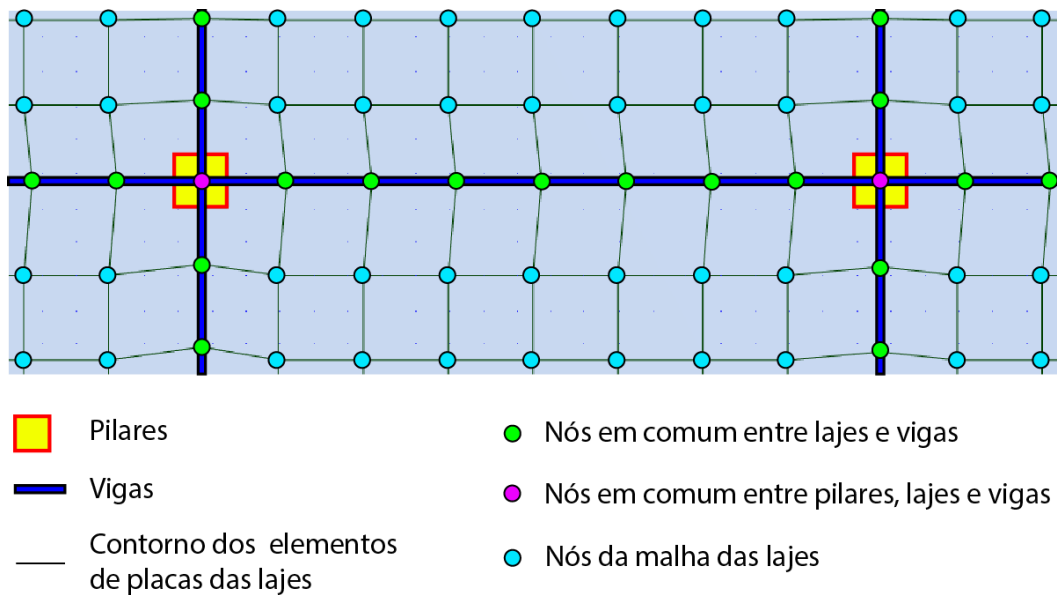
No RSA as vigas são consideradas como elementos finitos de barras baseados na hipótese de Timoshenko, a qual leva em conta o efeito de deformação cisalhante nas barras e considera que apenas há pequenos deslocamentos nas vigas.



(fonte: FELIPPA, 2010, p. 9-6, adaptado pelo autor)

Como padrão para uma viga, o RSA apenas cria um nó inicial e um nó final no elemento de barra, porém, visto que a malha de elementos finitos das lajes se conecta às vigas, foram criados vários nós em comum entre o elemento de placa e as vigas, como pode ser observado no exemplo Figura 21.

Figura 21 – Nós gerados pelo RSA que fazem as ligações dos elementos de barras com os elementos de placas.

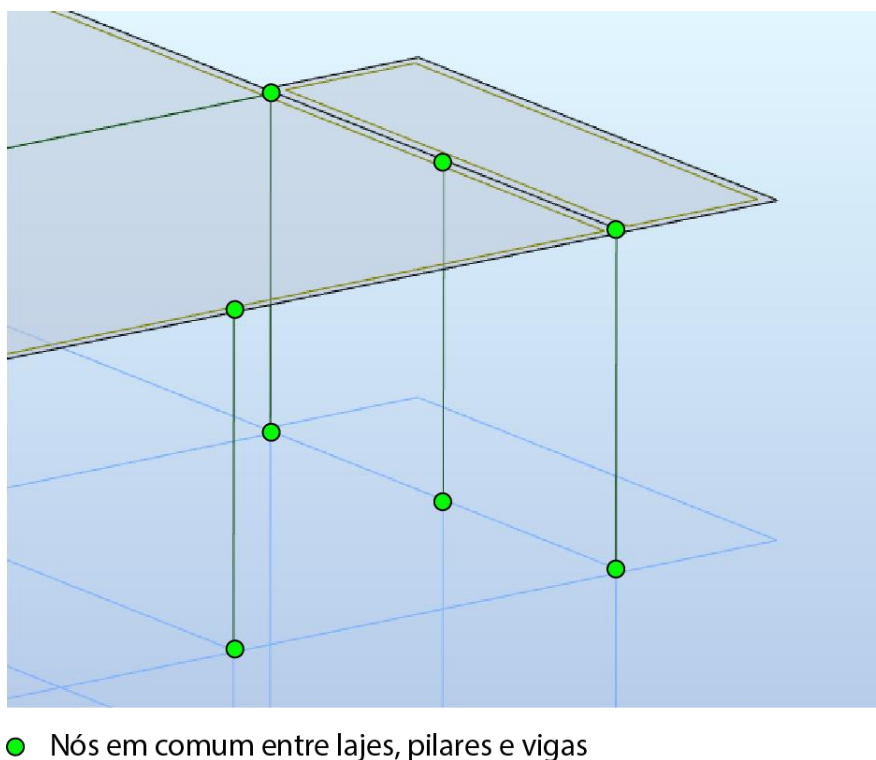


(fonte: elaborado pelo autor)

### 8.2.3 Pilares

Os pilares são considerados como elementos de barras exatamente do mesmo jeito que as vigas, com a única diferença de que, como os pilares não possuem ligação com elementos de placas, só são necessários um nó no início e um no fim de cada elemento de barra, como representado na Figura 22.

Figura 22 – Elementos de barras de pilares e seus respectivos nós no RSA.



(fonte: elaborado pelo autor)

## 8.3 COMPATIBILIDADE ENTRE MODELOS

### 8.3.1 Rigidez à Torção

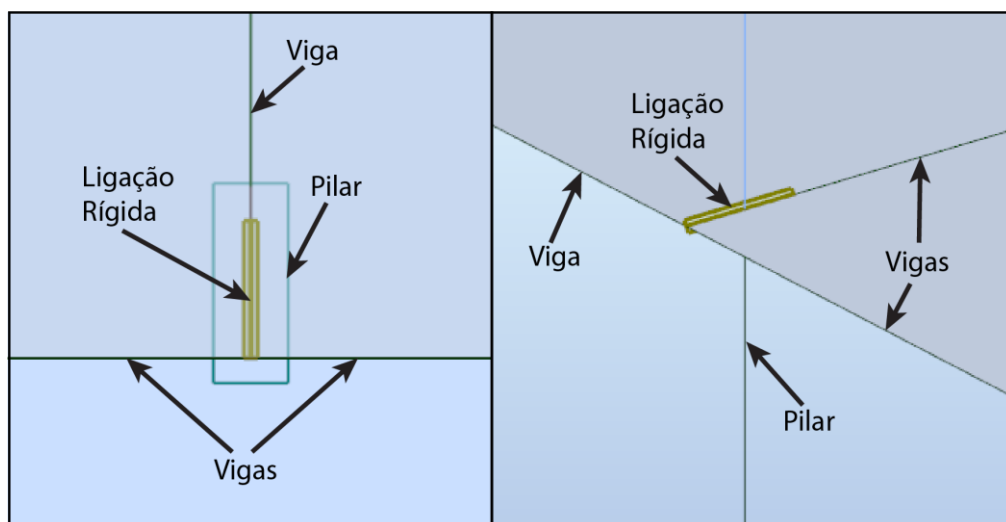
Como indicado em 3.1.6 a NBR 6118 permite que se faça uma redução da rigidez à torção de vigas e pilares para que se leve em conta a fissuração dos elementos de barra, sendo proposto que se reduza a rigidez à torção em elementos os quais a torção não seja necessária para o equilíbrio. Como já discutido por alguns profissionais da área (ver referências para mais informações), a redução de apenas 85% da rigidez das vigas parece gerar uma quantidade significativamente grande de armaduras, havendo controvérsias se isto realmente seria necessário, dado que por muito tempo o usado para projetos era uma inércia a torção de apenas 1% da original da barra sem gerar problemas na estrutura.

O TQS adota como padrão a redução de rigidez a 1% e na versão Universidade não permite que os critérios de pórtico sejam alterados (apesar de permitir a alteração da rigidez de cada viga individualmente). Visto que a NBR 6118 no capítulo 14.6.6.4 cita que para modelos de grelha e pórticos analisados no ELU é possível considerar a rigidez a torção nula, optou-se por modelar tanto no TQS quanto no o RSA as barras de vigas e pilares com uma inércia à torção 99% menor que a original.

### 8.3.2 Ligações Rígidas

Para a construção do modelo, as barras das vigas foram consideradas todas localizadas numa projeção do eixo central da viga, como exemplificado na Figura 23. Devido aos eixos das vigas não estarem alinhados com o eixo dos pilares, o modelo em elementos finitos apresentava algumas inconformidades entre ligações de nós, como mencionado no começo desse capítulo. Para contornar estes problemas o RSA permite a criação de barras extremamente rígidas, as quais transferem completamente os esforços de um ponto ao outro, chamadas de “ligações rígidas”.

Figura 23 – Ligação rígida entre um pilar e uma viga, de modo a conectar os nós e fazer com que os elementos trabalhem conjuntamente.



(fonte: elaborado pelo autor)

Para obter maior precisão na intersecção entre vigas e pilares, o TQS automaticamente considera a existência de trechos rígidos nos pilares, diminuindo o vão efetivo das vigas como descrito em 3.1.5. O padrão de valor adotado pelo TQS é o mesmo descrito na NBR 6118, sendo metade do comprimento da seção do pilar menos 30% da altura da viga. Como ilustrado na Figura 24, um pilar com 80 cm de comprimento no eixo Y em contato com uma viga de 50 cm de altura possui um trecho rígido de 25 cm:

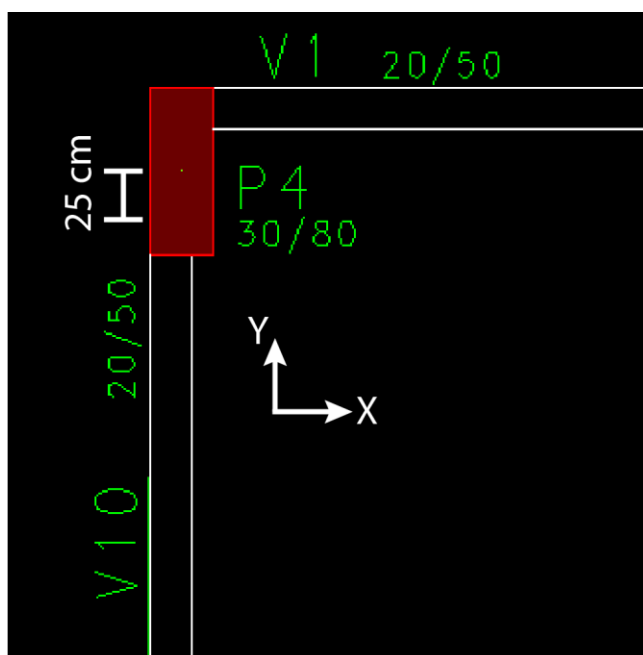
$$\frac{80}{2} - 0,3 \cdot 50 = 25 \text{ cm}$$

Já, no sentido X o pilar possui 30 cm e está em contato com uma viga de 50 cm de altura, logo:

$$\frac{30}{2} - 0,3 \cdot 50 = 0 \text{ cm}$$

O que resulta em nenhum trecho rígido. Se este valor fosse negativo, um trecho rígido também seria desconsiderado.

Figura 24 – Trecho rígido entre um pilar e uma viga no TQS.

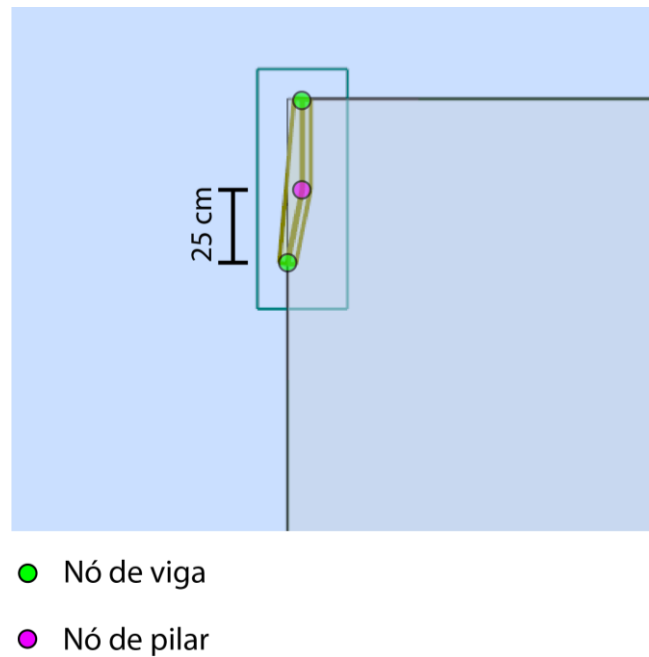


(fonte: elaborado pelo autor)



Para simular o mesmo efeito no RSA, foi feito o uso das ligações rígidas com o mesmo comprimento usado pelo TQS, gerando um vão semelhante na viga, como demonstrado no trecho rígido inferior da Figura 25.

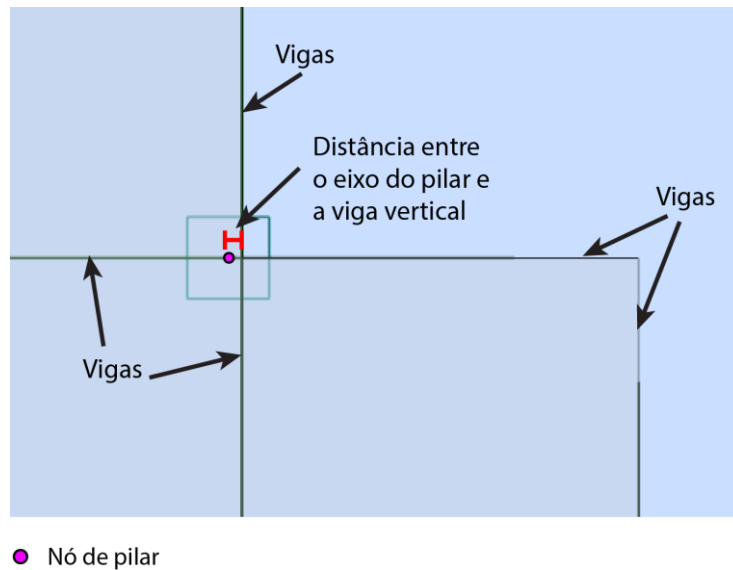
Figura 25 – Trecho rígido entre um pilar e uma viga no RSA.



(fonte: elaborado pelo autor)

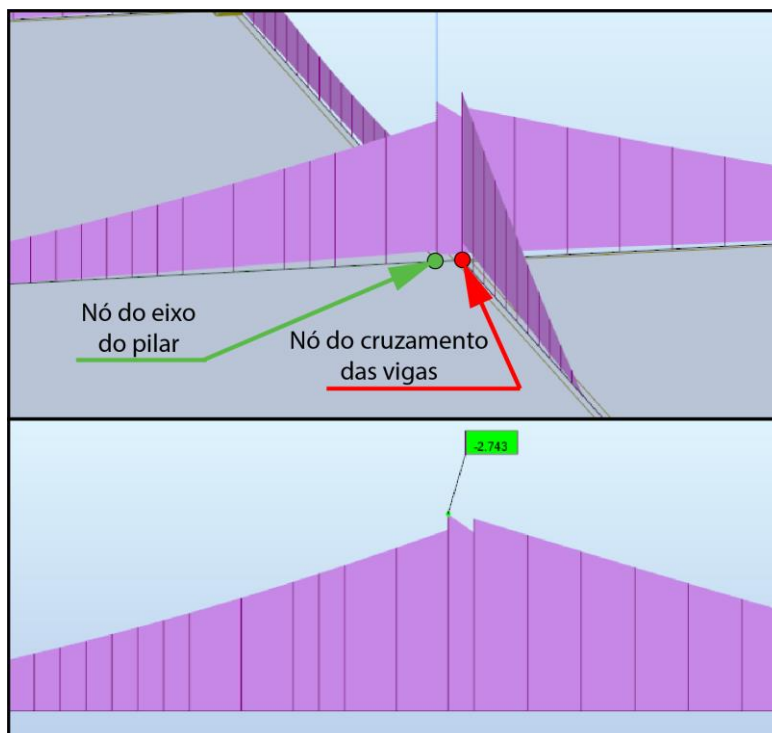
É interessante mencionar que, apesar da aplicação de ligações rígidas no RSA ser extremamente fácil e ainda assim dar certa liberdade de escolha ao projetista, é impossível visualizar os gráficos de solicitações nestas ligações devido a restrições do programa, obrigando o projetista a dar continuidade nas vigas em alguns pontos, como o da Figura 26, o que resulta em gráficos como o da Figura 27.

Figura 26 – Exemplo de problema encontrado na continuidade de vigas durante a modelagem em elementos finitos.



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 27 – Pico “falso” gerado devido à continuidade da viga em trecho entre o pilar e a viga vertical.

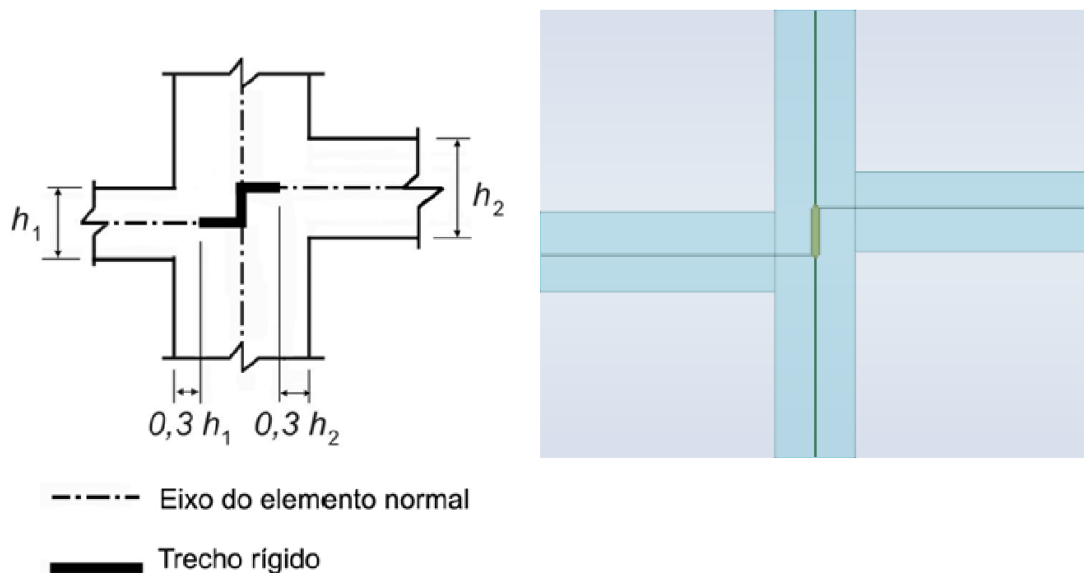


(fonte: elaborado pelo autor)

Para tentar contornar isto buscou-se criar manualmente barras com uma rigidez muito mais alta que as demais do modelo, porém isto gerou uma série de problemas na resolução de equações do programa impondo a volta do modelo anterior com “falsos” picos.

Além dos trechos rígidos em pilares também foram modelados trechos rígidos na intersecção entre vigas que possuam um trecho em comum, como já discutido em 3.1.4. Porém, o TQS não considera a extensão do trecho rígido até  $0,3h$  da viga como descrito na NBR e sim o vão integral até o eixo da viga perpendicular. No RSA o modelo feito é idêntico ao do TQS.

Figura 28 – À esquerda o método sugerido pela NBR 6118 para trechos rígidos, à direita o método modelado no RSA, o mesmo adotado pelo TQS.



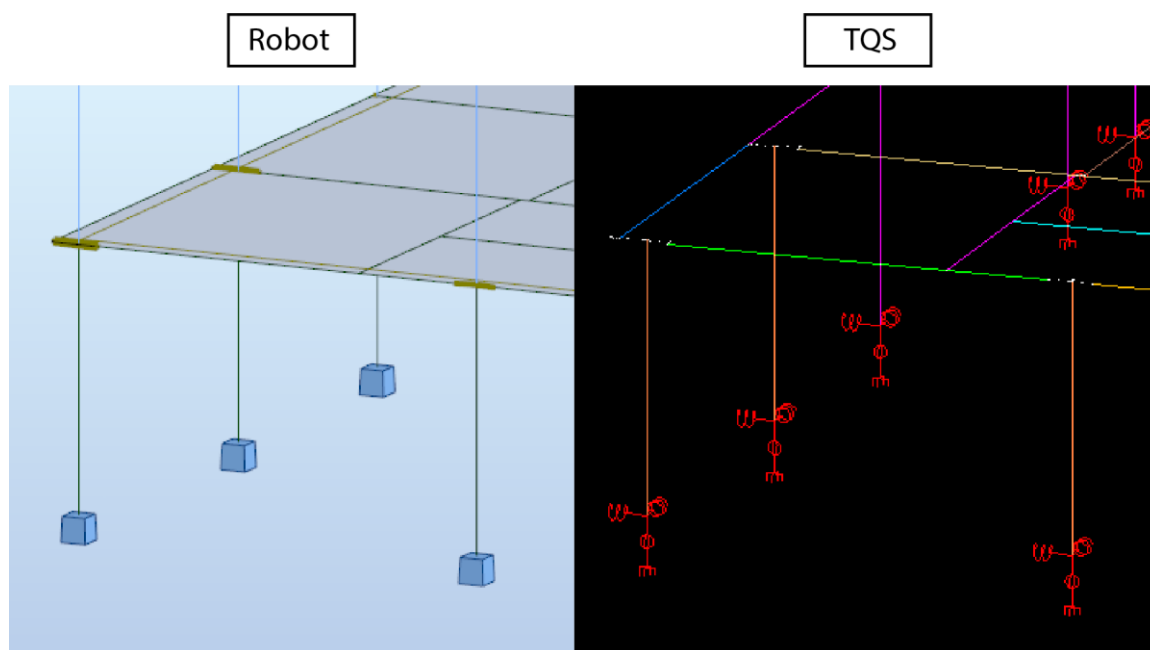
(fonte: elaborado pelo autor)

Tentou-se ainda gerar um modelo sem estes últimos trechos rígidos, porém os resultados obtidos foram absurdos visto que a rigidez a torção das vigas é dividida por 100 (como discutido em 8.3.1) e estes pequenos trechos de intersecção funcionam com um altíssimo esforço de torção.

### 8.3.3 Graus da Liberdade na Base do Pórtico

O TQS permite a definição de coeficientes de mola ou recalques na base dos pilares do primeiro pavimento, porém, como o padrão adotado pelo sistema caso não haja interferência do usuário e também o comumente utilizado em escritórios é um engaste perfeito, este último foi o tipo de apoio adotado em ambos os modelos.

Figura 29 – Engastamento perfeito gerado na base do pórtico de ambos os softwares.



(fonte: elaborado pelo autor)

### 8.3.4 Aplicação das Cargas

Para um melhor entendimento e comparação, as cargas foram separadas em quatro tipos distintos:

- Cargas de alvenaria;
- Cargas permanentes;
- Cargas variáveis;

- Peso próprio.

Cada uma delas será descrita separadamente para que se possa descrever de maneira precisa como foi feita sua modelagem nos dois softwares.

#### 8.3.4.1 Cargas de alvenaria

As cargas de alvenaria foram aplicadas em todos pavimentos com exceção da cobertura e tomadas como sendo lineares em ambos os softwares, com um valor fictício de  $0,8 \text{ tf/m}$  ( $7,85 \text{ kN/m}$ ). Este valor pode ser obtido de maneira aproximada através do cálculo abaixo, considerando-se um valor de  $3 \text{ m}$  para o pé direito, uma parede com espessura de  $0,2 \text{ m}$  e o peso específico aparente da alvenaria como sendo  $1,3 \text{ tf/m}^3$  ( $12,75 \text{ kN/m}^3$ ):

$$1,3 \cdot 0,2 \cdot 3 = 0,78 \cong 0,8 \text{ tf/m} (7,85 \text{ kN/m})$$

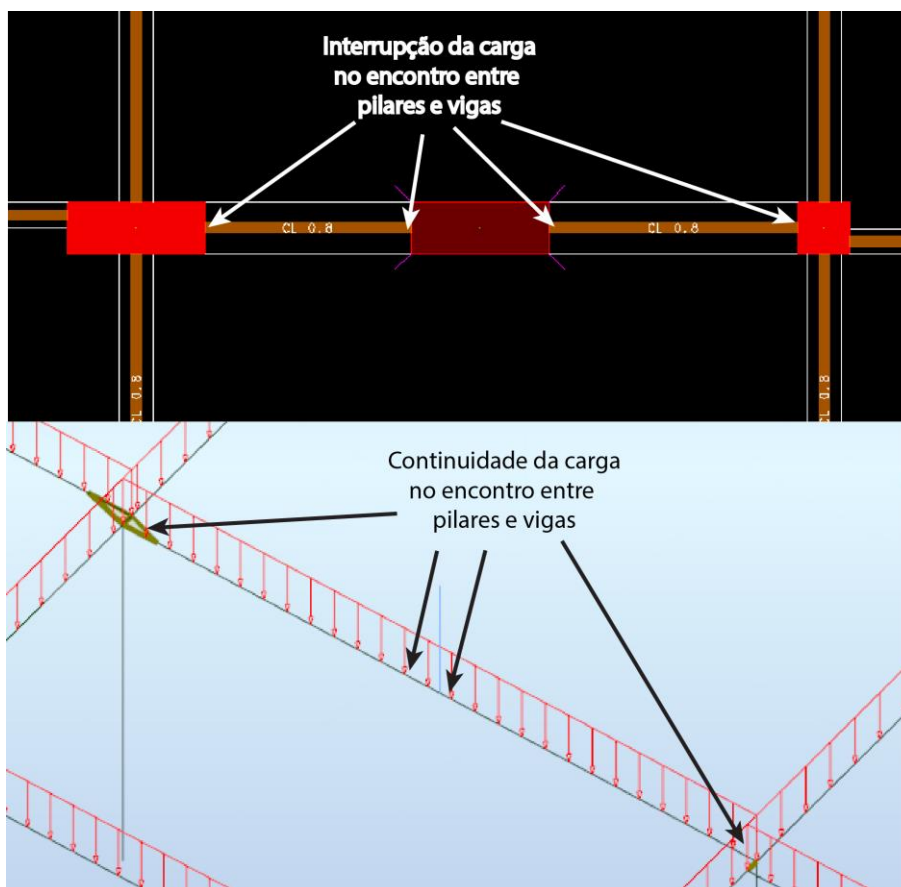
O valor  $3 \text{ m}$  considerado para a altura do pé direito não é realista visto a altura das vigas em cada vão deveriam ser descontadas da altura entre pavimentos, porém, levando em conta que este trabalho visa uma equiparação de cargas entre os dois programas em questões de modelo e não uma modelagem realista, esta aproximação foi considerada admissível.

No TQS as cargas lineares são definidas manualmente, linha a linha, isto permitiu um maior cuidado, por exemplo, para evitar que estas cargas se sobrepussem aos pilares.

No RSA as cargas são aplicadas linearmente nas barras de vigas, sendo escolha do projetista a aplicação delas ao longo de toda barra ou apenas em um determinado trecho. A opção escolhida neste trabalho foi a primeira, visto que a interface do RSA torna lenta e difícil a aplicação de cargas em trechos determinados. Esta escolha implicou em uma diferença entre os dois modelos, já que, ao contrário do modelado no TQS, no RSA há cargas sobrepondo as seções dos pilares. O somatório desta diferença se encontra na Tabela 4 e será discutido posteriormente.

Uma comparação da aplicação de carga no mesmo trecho nos dois softwares pode ser vista na Figura 29, sendo que a carga no TQS é a faixa marrom, enquanto no RSA é a linha vermelha com setas.

Figura 30 – Comparação entre a aplicação de cargas de alvenaria no TQS e no RSA, respectivamente.



(fonte: elaborado pelo autor)

#### 8.3.4.2 Cargas permanentes

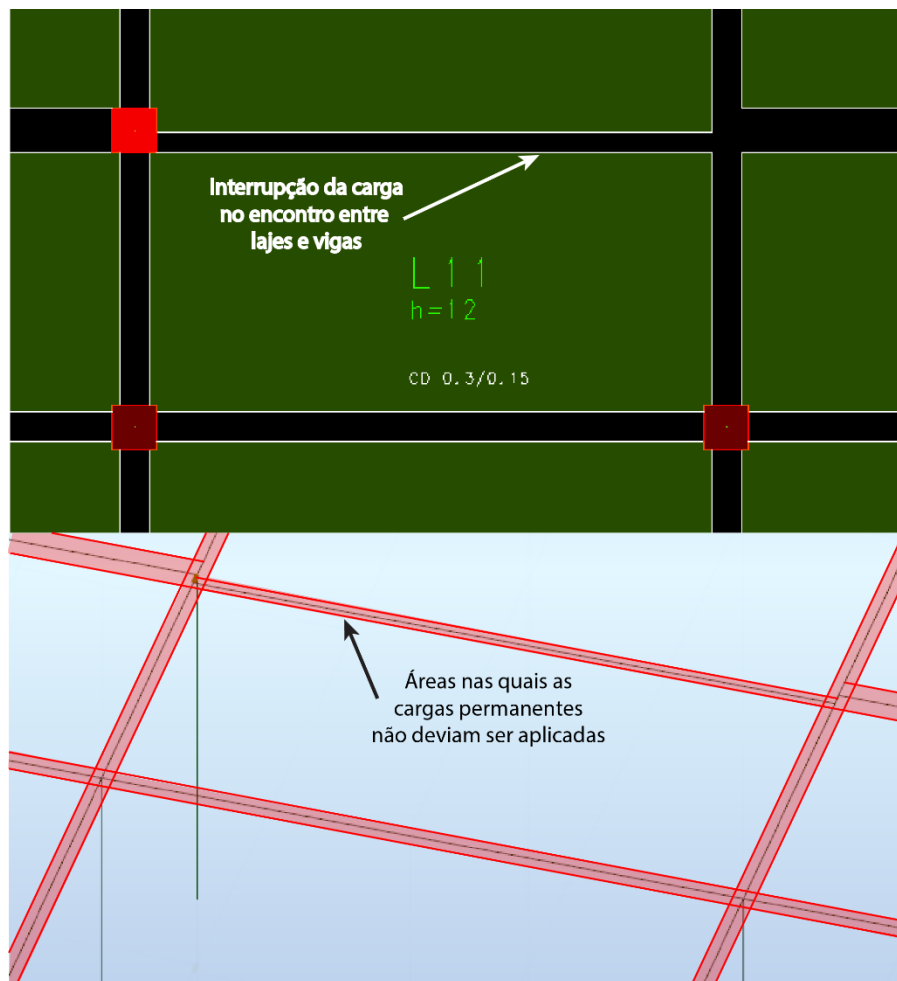
Para que seja feita uma análise mais precisa neste trabalho, diferentemente do proposto na NBR 6120, a carga permanente é considerada uma parte dissociada do peso próprio, esta tem o valor de  $0,3 \text{ tf}/\text{m}^2$  nos três primeiros pavimentos e  $0,1 \text{ tf}/\text{m}^2$  na cobertura. Tendo em mente que o peso próprio não está incluso, este valor é notoriamente alto quando comparado à edifícios comuns, porém foi escolhido de modo a amplificar as solicitações para que os resultados fossem acentuados nos diagramas.

No TQS as cargas são aplicadas diretamente nas propriedades das lajes, abrangendo toda sua superfície a qual é delimitada pelo encontro com as vigas e pilares.

No RSA as cargas são aplicadas em superfícies as quais também são delimitadas pelas vigas e pilares, porém, visto que no modelo de elementos finitos ambos são considerados apenas

como barras, sem propriedades tridimensionais, uma carga a mais é aplicada em relação ao modelo no TQS equivalente à projeção em planta baixa das vigas e pilares, como exemplificado na Figura 31. Esta diferença, assim como a da carga de alvenaria, se encontra na Tabela 4, que será discutida posteriormente.

Figura 31 – Diferença na aplicação das cargas permanentes no TQS e RSA, respectivamente.



(fonte: elaborado pelo autor)

### 8.3.4.3 Cargas acidentais

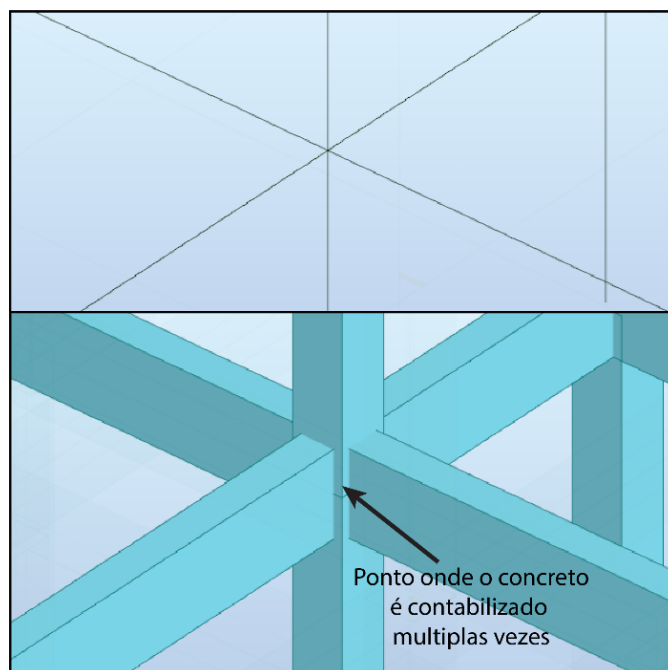
Em conformidade com o proposto na NBR 6120, a carga aplicada nos três primeiros pavimentos foi de  $0,15 \text{ tf}/\text{m}^2$ , correspondente à carga de dormitórios, sala, copa, cozinha e banheiro em edifícios residenciais e não foi aplicada nenhuma carga acidental no último pavimento de modo a diferenciá-lo dos pavimentos restantes.

Em ambos softwares as cargas variáveis seguiram os mesmos procedimentos citados para cargas permanentes e geraram as mesmas diferenças de modelo.

### 8.3.4.4 Peso próprio

No TQS o peso próprio da estrutura é considerado automaticamente, enquanto no RSA o projetista tem a liberdade de adicionar ou não essa carga. Cálculos manuais foram feitos para validar os resultados e concluiu-se que o valor dado pelo TQS se aproxima mais da realidade do que o fornecido pelo RSA. Isto se deve novamente às restrições do modelo de elementos finitos gerado pelo RSA, visto que ele não é capaz de identificar intersecções entre vigas, pilares e lajes devidas ao volume dos elementos, como exemplificado na Figura 32.

Figura 32 – Intersecção entre pilares e vigas onde o concreto é contabilizado mais de uma vez para o cálculo do peso próprio da estrutura no RSA. O mesmo acontece entre lajes e vigas.



(fonte: elaborado pelo autor)



#### 8.3.4.5 Comparação das cargas

Como mencionado anteriormente, um cálculo manual aproximado foi feito para validar os resultados e analisar qual tende a se aproximar mais da realidade. Este cálculo consistiu em:

- Calcular a área total do último pavimento, descontar os trechos de encontro de vigas e multiplicar o valor obtido pela espessura da laje, replicando o mesmo cálculo para o primeiro pavimento e multiplicando-o por três;
- Calcular o volume de concreto dos pilares sem descontar o encontro com vigas e lajes;
- Calcular o volume de concreto de vigas do último pavimento e logo após do primeiro, multiplicando-o por três, sem descontar os encontros com pilares e lajes;
- Somar os resultados obtidos nos três últimos passos e multiplicar pelo peso específico adotado do concreto nos modelos, obtendo assim o peso próprio.
- Com a área de lajes obtida no primeiro passo calculou-se também a carga variável e a carga permanente aplicadas.
- Mediu-se o comprimento linear de vigas, descontando o encontro com pilares, e calculou-se a carga de alvenaria aplicada.

Os resultados se encontram na Tabela 4.

Tabela 4 – Comparação entre as cargas calculadas à mão e nos dois softwares.

	<b>Cálculo manual (tf)</b>	<b>TQS (tf)</b>	<b>Robot (tf)</b>	<b>TQS/Robot</b>
<b>Peso próprio</b>	722,82	713,43	756,58	0,943
<b>Permanente</b>	340,8	355,91	367,78	0,968
<b>Variável</b>	153,36	149,35	165,41	0,903
<b>Alvenaria</b>	435,36	428,95	501,74	0,855
<b>Total</b>	1652,34	1647,64	1791,51	0,920

(fonte: elaborado pelo autor)

Como podemos ver pela tabela os valores pelo TQS se aproximam muito mais dos calculados à mão do que os fornecidos pelo RSA, isto provavelmente se deve aos vários fatores já citados para cada carga. A diferença do somatório final de cargas é de 8%, mas nas cargas individuais pode chegar a 14,5%, como na carga de alvenaria.

De forma a focar as comparações de resultados nas diferenças de modelos de comportamento estrutural e não nas cargas aplicadas, uma forma de minimizar as diferenças decorrentes das cargas foi multiplicar cada carga no RSA pelo coeficiente dado na coluna “TQS/Robot (tf)”, desta maneira as cargas individuais são equiparadas nos dois programas, como pode ser visto na Tabela 5.

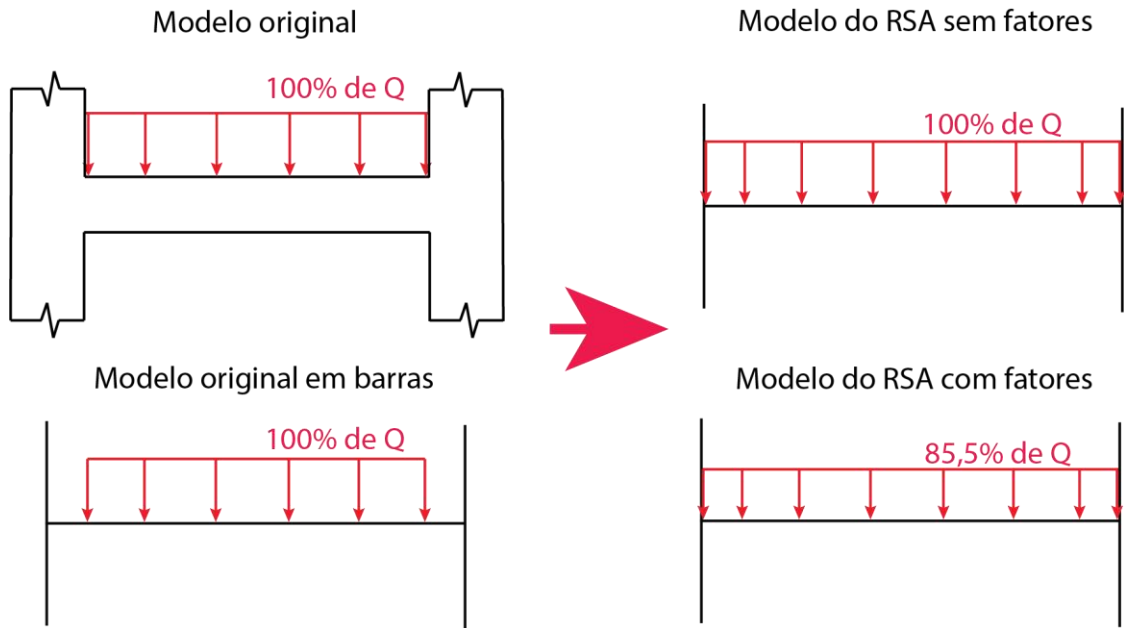
Tabela 5 – Comparação entre as cargas calculadas com a nova combinação gerada.

	<b>Cálculo manual (tf)</b>	<b>TQS (tf)</b>	<b>Robot (tf)</b>	<b>TQS/Robot</b>	<b>Robot com Fatores (tf)</b>
<b>Peso próprio</b>	722,82	713,43	756,58	0,943	713,43
<b>Permanente</b>	340,8	355,91	367,78	0,968	355,91
<b>Variável</b>	153,36	149,35	165,41	0,903	149,35
<b>Alvenaria</b>	435,36	428,95	501,74	0,855	428,95
<b>Total</b>	1652,34	1647,64	1791,51	0,920	1647,64

(fonte: elaborado pelo autor)

Vale frisar que esta multiplicação gera distorções, visto que está, por exemplo, minimizando as cargas ao longo de todo comprimento da viga, quando na verdade, para que os dois modelos se equiparassem seria necessário que fossem retiradas apenas as cargas próximas aos apoios (Figura 33). No ponto de vista do autor, tanto a distorção gerada pelo modelo com fatores quanto a distorção gerada pelo modelo sem fatores não é grande o suficiente para que a comparação seja inválida, porém, para testar esta hipótese serão comparados alguns dos valores fornecidos em todos os modelos no próximo capítulo.

Figura 33 – Distorção na carga de alvenaria gerada no modelo em elementos finitos.



(fonte: elaborado pelo autor)

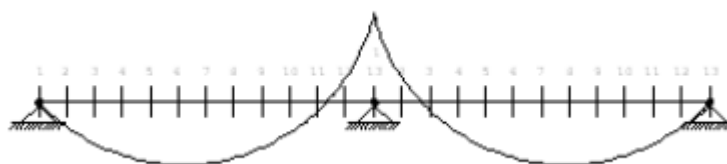
## 9 RESULTADOS DAS CARGAS VERTICAIS

Para que pudessem ser comparados de maneira clara, os resultados de ambos os softwares foram extraídos e plotados em gráficos no Microsoft Excel. Ainda neste mesmo programa foram postos lado a lado os resultados de pontos característicos e calculadas suas diferenças em uma tabela. Todos estes resultados podem ser conferidos nos apêndices indicados nos subcapítulos seguintes.

### 9.1 VIGAS

Os resultados das solicitações de vigas no TQS se encontram nos arquivos VGESFS.LST de cada pavimento e são organizados de forma que cada vão é dividido em 13 partes sendo que o vão é definido como o trecho de viga entre dois pilares.

Figura 34 – Subdivisão feita pelo TQS em treze partes de mesmo tamanho em cada vão de uma viga.



(fonte: Manuais Detalhados TQS – CAD/Vigas – Dimensionamento, detalhamento e desenho de vigas)

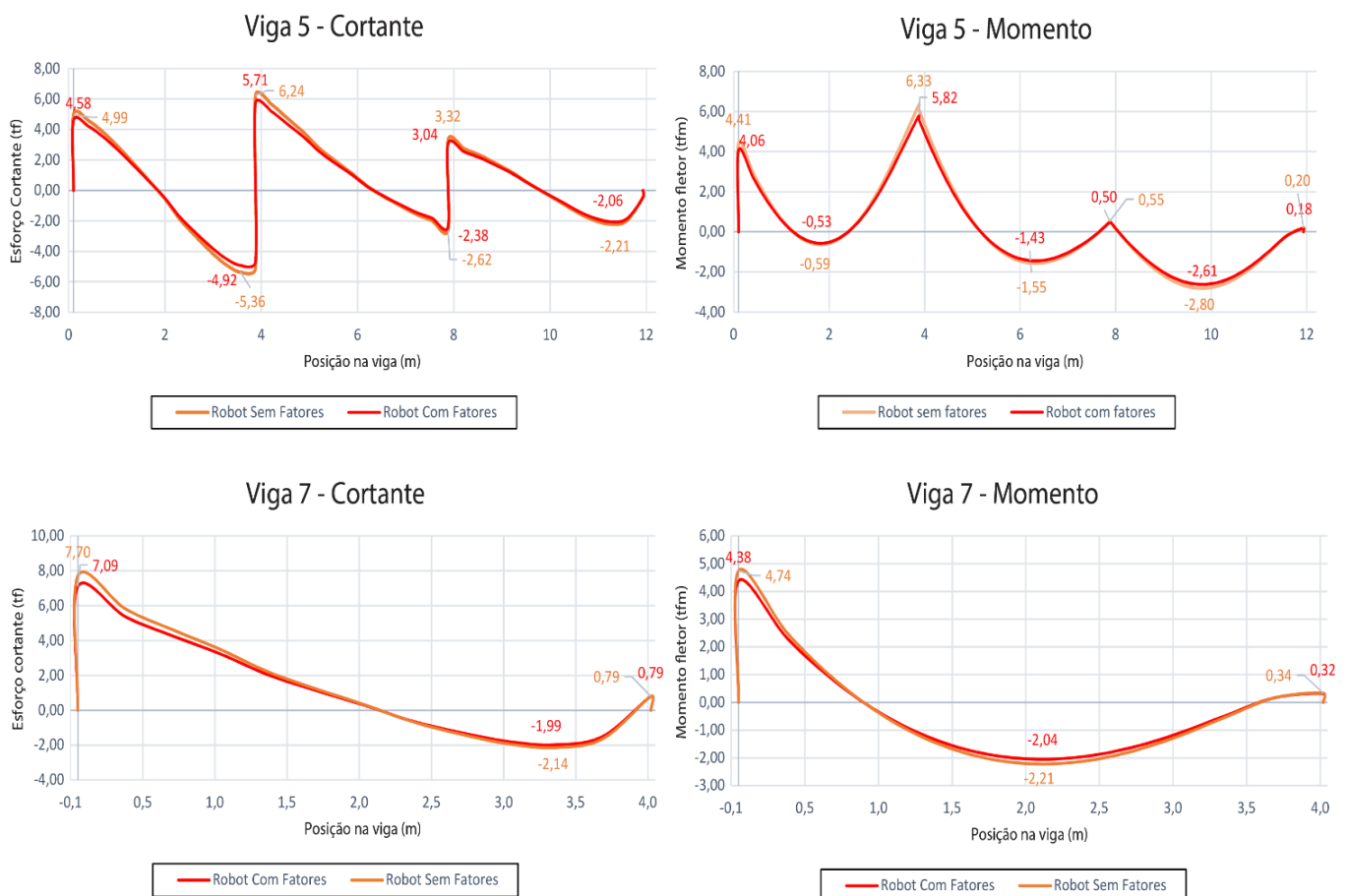
Para a extração de resultados do software de elementos finitos foi utilizado o Results Connect, um plugin nativo do RSA disponibilizado pela Autodesk, o qual permite que através de fórmulas sejam extraídos quaisquer tipos de dados diretamente do RSA.

Apesar de os resultados do RSA contarem com uma magnitude muito maior de divisões do que o TQS, optou-se por coletar os esforços de apenas treze pontos nas mesmas coordenadas dos pontos oferecidos pelo TQS e gerar no Microsoft Excel uma curva ligando estes pontos.

Antes de iniciar a comparação, foi necessário verificar se o modelo de cargas gerado no RSA multiplicado pelos fatores que igualam as cargas individuais às do TQS (discutido em 8.3.4.5) não gerava erros grosseiros, assim diversas comparações foram feitas de modo a validar os resultados. Um exemplo com duas vigas pode ser conferido na Figura 35.

A unidade padrão da saída de resultados do TQS é em tonelada força e tonelada força vezes metro e para minimizar a quantidade de erros na retirada de dados optou-se por usar esta unidade nos gráficos comparativos também, apesar de isto não estar nas conformidades do sistema internacional.

Figura 35 – Comparação entre a carga do RSA multiplicada pelos fatores e a carga não multiplicada.



(fonte: elaborado pelo autor)

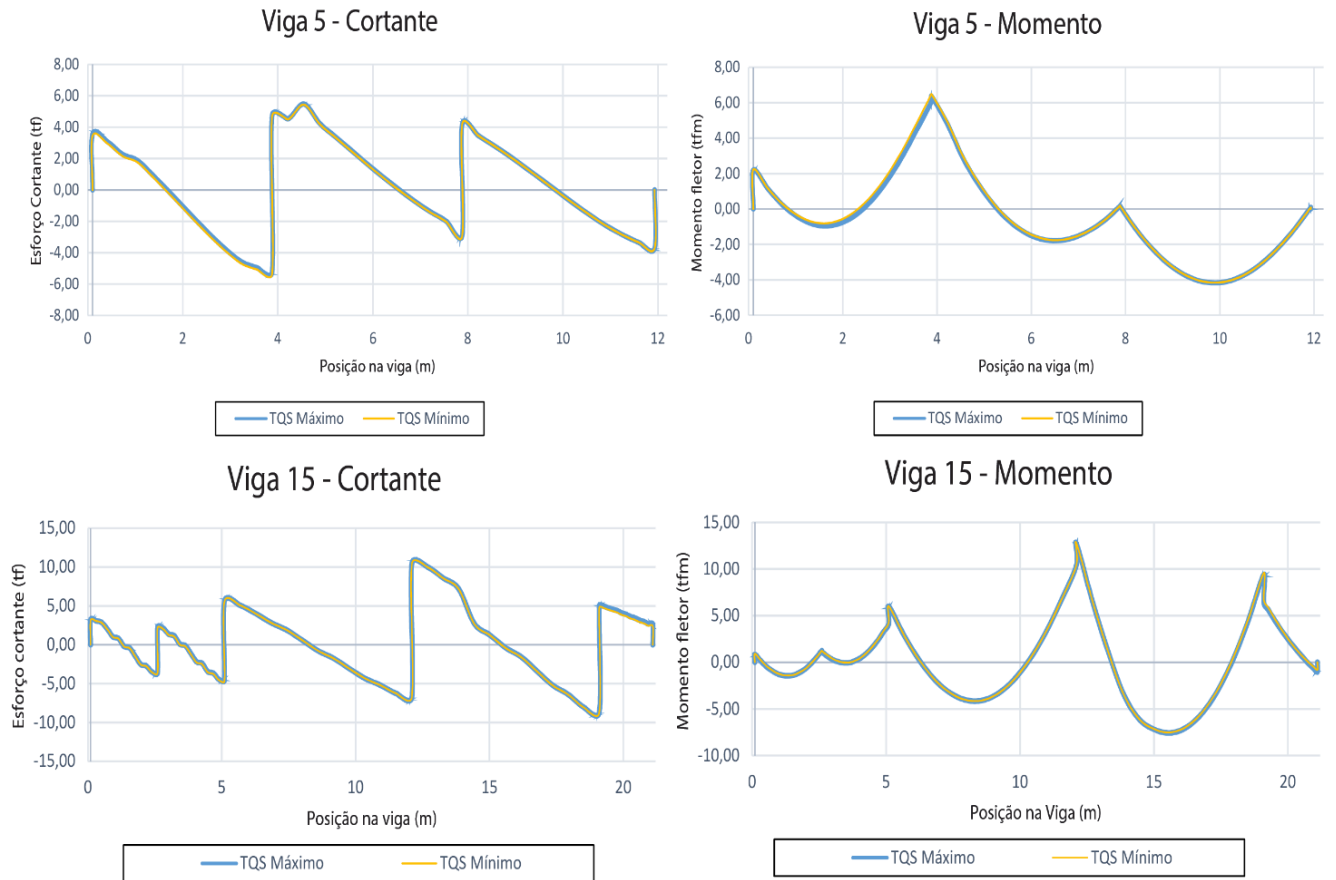
Como visto na Figura 35, as diferenças não são grandes o suficiente a ponto de invalidar algum dos modelos. Como neste trabalho não há nenhum método que determine qual dos dois modelos de carga é o mais correto, arbitrariamente optou-se por utilizar o modelo “Robot Com Fatores” tendo como justificativa que quando as cargas nos pilares forem analisadas a diferença no somatório total de cargas do modelo “Robot Sem Fatores” poderia gerar grandes distorções.

Visto que há uma viga de transição no edifício, o TQS automaticamente gera dois modelos de pórtico: um considerando a viga de transição como uma peça de comportamento elástico e outro considerando a viga de transição completamente rígida, ambos serão melhor abordados na análise de pilares, em 9.2.

Os dois modelos geram duas saídas de dados diferentes, as quais quando combinadas geram uma envoltória. As duas envoltórias são chamadas de “Máximos” e de “Mínimos” e, para que possamos comparar seus dados aos do RSA, chamaremos seus valores de “TQS Máximo” e “TQS Mínimo”.

Como a diferença desses valores é referente apenas a viga de transição a qual está situada no segundo pavimento, os resultados deveriam ser os mesmos ou muito próximos no primeiro pavimento. Para confirmar isto foram gerados alguns gráficos comparando os valores máximos e mínimos.

Figura 36 – Valores de cortante das duas saídas de dados do TQS para uma viga do primeiro pavimento.



(fonte: elaborado pelo autor)

Como era esperado, os gráficos se sobrepõem, indicando que os resultados podem ser tratados como iguais pelo menos para o primeiro pavimento. O mesmo não pode ser feito nos pavimentos acima, dado que a deformação da viga de transição alterará os esforços em todas as vigas e pilares da proximidade e dos pavimentos superiores a ela.

Além dos gráficos de cortante e momento das vigas, foram geradas tabelas com o valor da diferença entre o RSA e o TQS, sendo esta calculada da seguinte forma:

$$Diferença = |Valor do TQS| - |Valor do RSA|$$

Usando o módulo de cada valor podemos estabelecer uma regra clara de que quando o valor for positivo o TQS apresenta um resultado de maior amplitude que o RSA e quando o resultado for negativo, o RSA apresenta um resultado de maior amplitude que o TQS.

Os valores com a coloração verde na tabela representam locais onde os resultados do RSA e do TQS tiveram sinais opostos e tem sua diferença calculada de maneira diferente:

$$\text{Diferença (sinais opostos)} = |\text{Valor do TQS}| + |\text{Valor do RSA}|$$

Para esta fórmula não é válida a regra citada acima, visto que o valor será sempre positivo.

Também foi calculada a diferença percentual entre os valores usando a seguinte fórmula:

$$\text{Diferença em porcentagem} = \frac{\text{Valor do TQS} - \text{Valor do RSA}}{\text{Valor do RSA}}$$

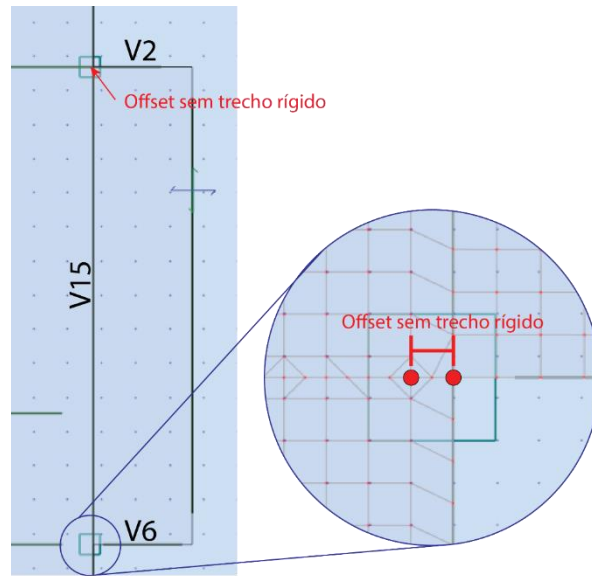
Esta porcentagem nos dá a discrepância dos valores tomando o valor obtido no RSA como base, porém apresenta enormes distorções quando o valor no denominador for próximo de 0.

É necessário também destacar que nos diagramas das vigas V2 e V6 do primeiro pavimento há um pico extremamente alto no cortante e no momento, esses picos se devem ao erro na modelagem citado em 8.3.2 e demonstrado nas Figuras 37 e 38. As vigas V2 e V6 foram estendidas até a extremidade da sacada sem a definição de um trecho rígido entre o pilar e a viga V15, portanto, há um pequeno trecho nas vigas V2 e V6 que recebe toda carga da V15 e a transmite para os pilares, ocasionando os “picos falsos”.

Os valores destes “picos falsos” foram desconsiderados nos gráficos de cortantes e momentos fletores, sendo que o valor substituto para as tabelas foi escolhido como sendo o mais próximo do apoio que não apresentasse uma discrepância tão grande.

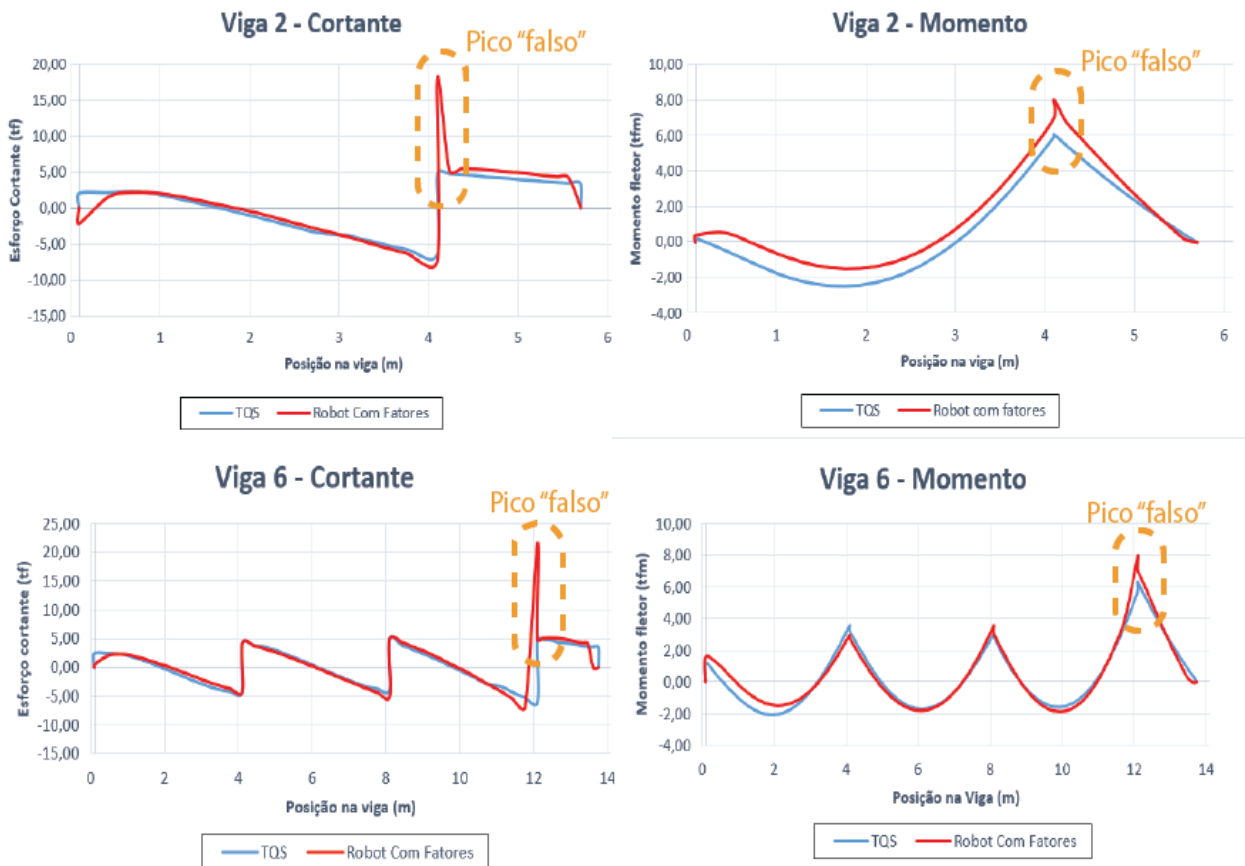


Figura 37 – Deslocamento de eixo entre pilar e cruzamento de viga sem trecho rígido modelado no RSA.



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 38 – Esforços resultantes de um problema no modelo gerado.



(fonte: elaborado pelo autor)

Os resultados de todas as vigas do primeiro pavimento, a viga de transição do segundo pavimento e duas vigas do quarto pavimento podem ser conferidos no Apêndice 2, bem como a tabela com suas respectivas diferenças.

### 9.1.2 Discussão dos Resultados

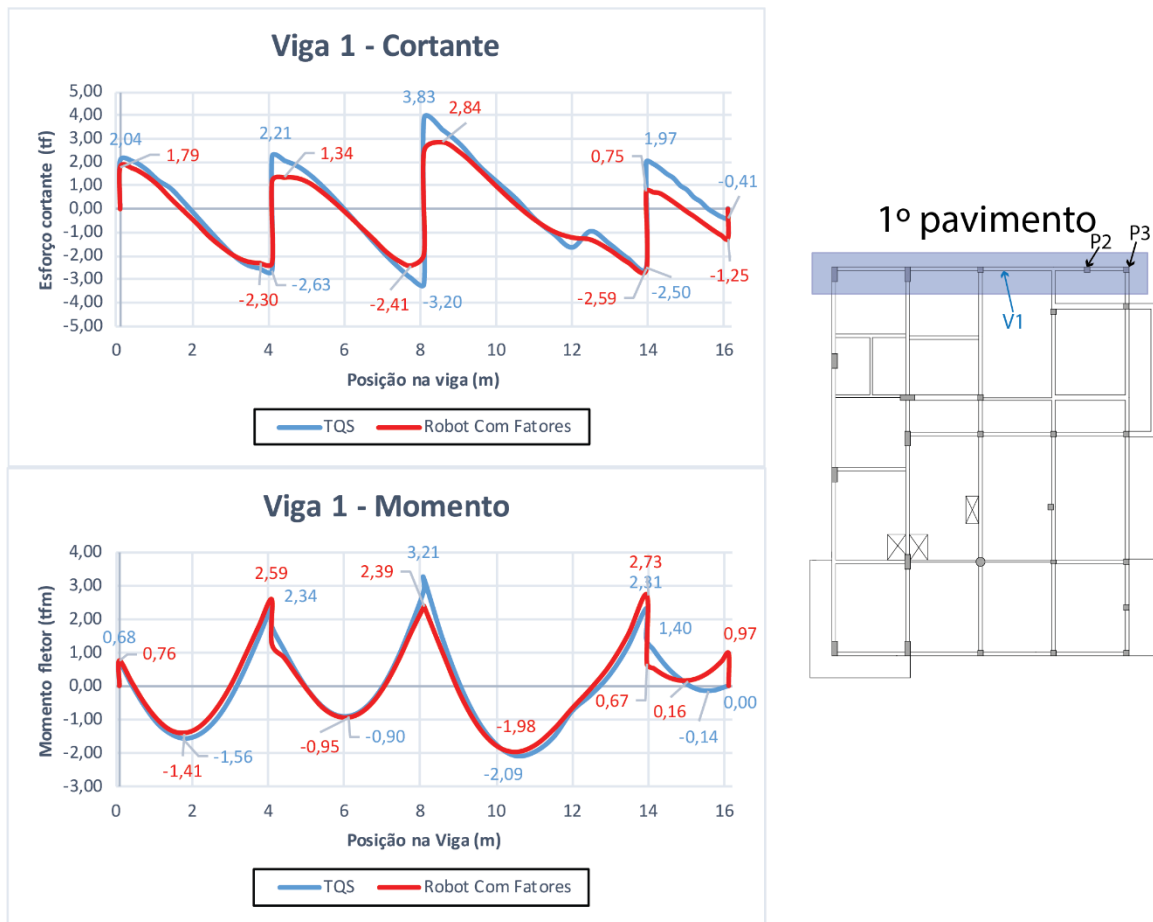
- **Cortantes e momentos fletores em vigas**

Na maioria das vigas os esforços cortantes e momentos seguiram traçados muito semelhantes, alguns com o RSA tendo picos maiores que o TQS e outros com o inverso, o que é factível, uma vez que mesmo que haja uma distribuição diferente de esforços pelo pórtico, as cargas individuais são análogas e portanto o somatório total deve ser igual em ambos softwares.

Na viga 1 é interessante analisar o último vão, no qual os esforços são diferentes em ambos os softwares. O RSA dá um maior engastamento no pilar P3, em 16 m, resultando em um momento de 0,97 *tfm* (9,52kN), enquanto o TQS considera que não há engaste nenhum nesse ponto. É questionável o TQS considerar que não há momento na ligação da viga V1 com o pilar P3, porém é um resultado possível, visto que à esquerda do mesmo trecho, em 14 m, o TQS considera um engaste maior que o RSA no pilar P2, o que pode compensar os esforços não distribuídos para o P3.

O diagrama de momentos da Viga 1 no último tramo parece compatível com a recomendação da NBR6118:2014 de, no estudo de carga verticais, não considerar momento positivo menor que o obtido considerando-se o engastamento perfeito nos apoios internos. Contudo, o TQS utiliza um modelo de grelha para as lajes e pórtico espacial para as vigas e pilares, e tal consideração não se aplica quando são utilizados estes modelos de análise.

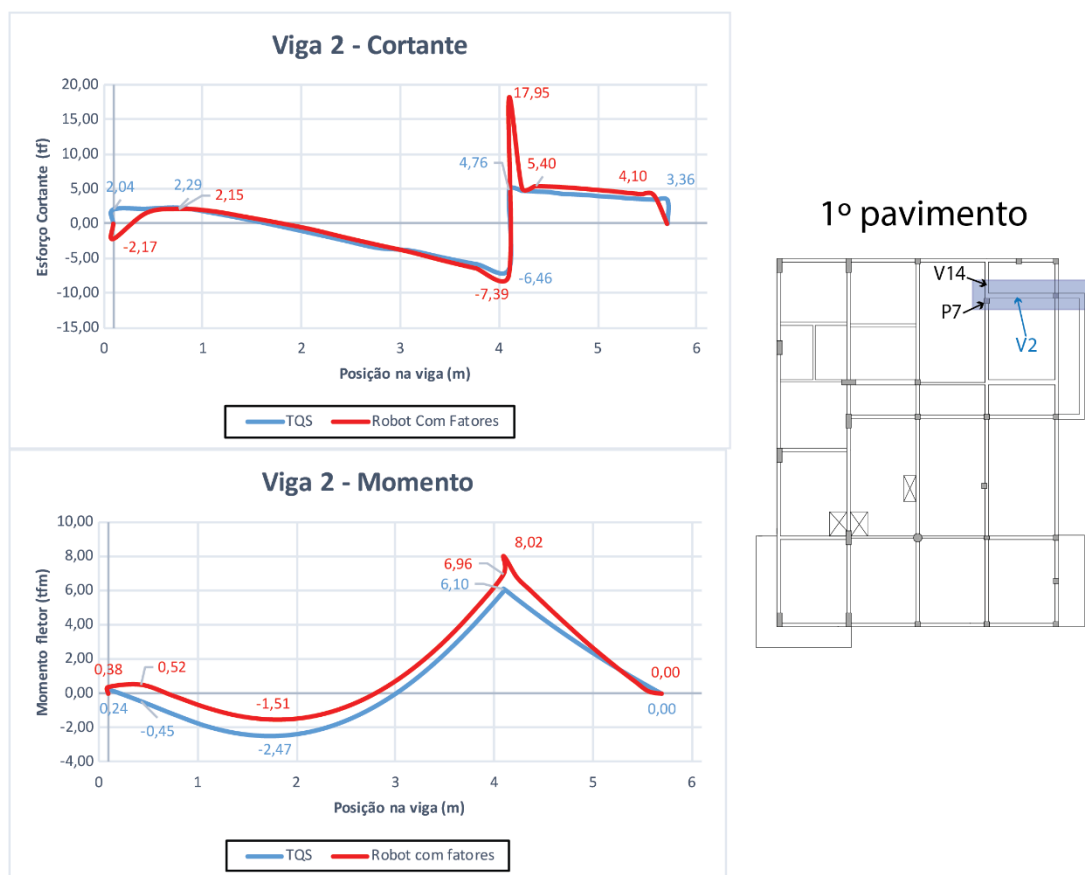
Figura 39 – Diagramas de cortante e momento fletor da viga V1.



(fonte: elaborado pelo autor)

Na viga V2 pode-se perceber que no primeiro apoio à esquerda, em  $0\text{ m}$ , os dois softwares apresentam esforços em direções opostas, o que causa algum estranhamento. O esforço gerado pelo RSA pode ser possível se a V14, na qual a V2 está apoiada, estiver puxando a V2 para baixo, com a laje puxando a V2 para cima, comportamento inusitado dada a proximidade do pilar P7. O autor suspeitou que estes esforços podiam se tratar de um erro devido à inércia muito baixa à torção das vigas, porém, mesmo colocando uma ligação rígida ligada ao P7 se obteve os mesmos resultados, descartando esta hipótese.

Figura 40 – Diagramas de cortante e momento fletor da viga V2.

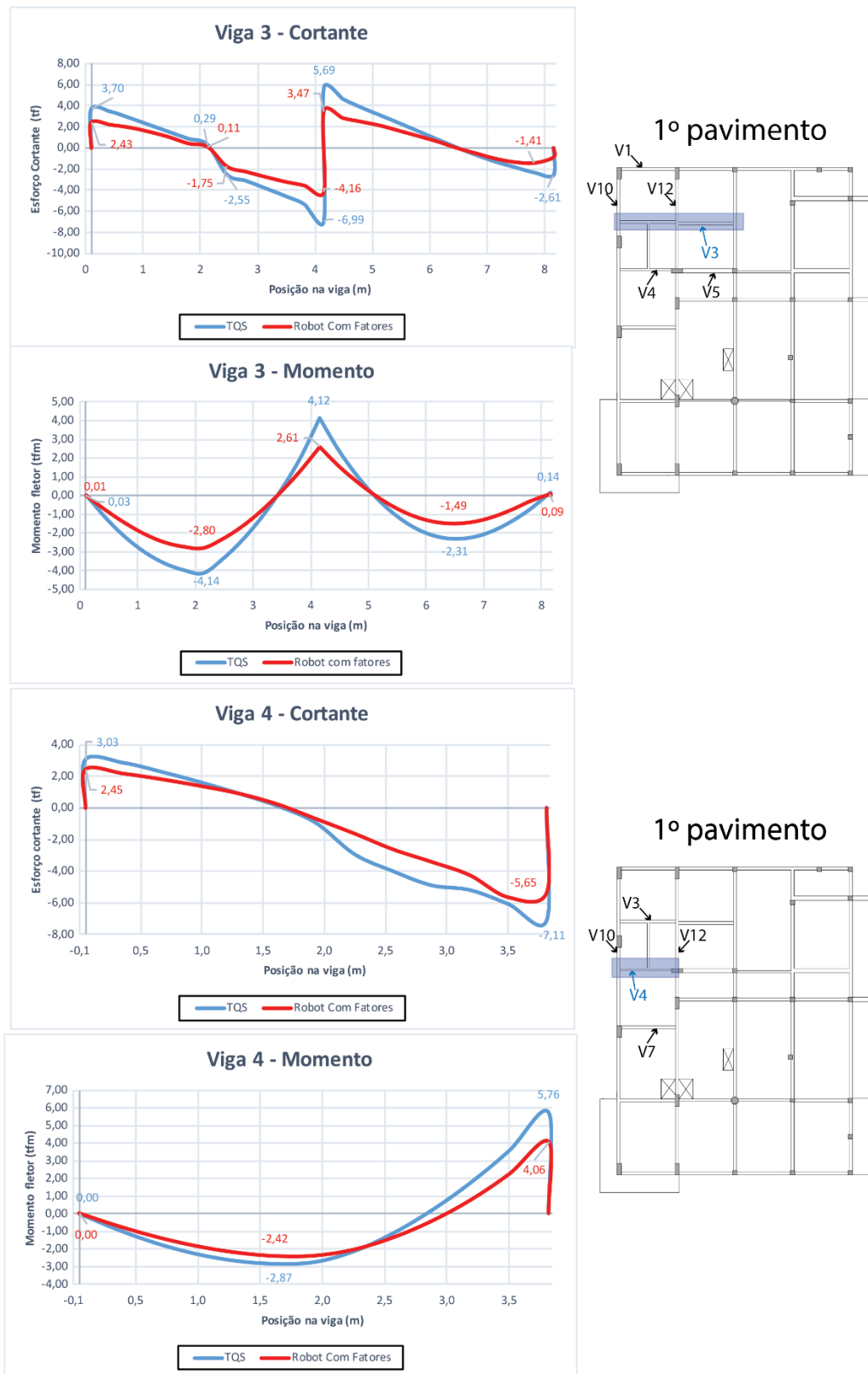


(fonte: elaborado pelo autor)

Na V3 e V4 percebe-se que o TQS apresenta resultados substancialmente mais altos do que o RSA. Uma distribuição de cargas para outras vigas pode justificar isto no caso do segundo vão da V3, visto que o primeiro vão da V5 apresenta um resultado maior do RSA. Esta distribuição não é o que ocorre no primeiro vão da viga V3 e na viga V4, uma vez que as vigas que compartilham das mesmas lajes (V1, V7, V10, V12), com exceção da V7, não apresentam esforços maiores no RSA.

Aqui cabe a observação de que apesar de as vigas V4 e V5 poderem ser modeladas apenas como uma viga contínua, optou-se por separá-las em dois trechos para aferir como seria o comportamento do TQS perante esta modelagem. Observou-se que isto não alterou em nada os resultados de esforços, o TQS apenas as considerou como duas vigas separadas no detalhamento das armaduras.

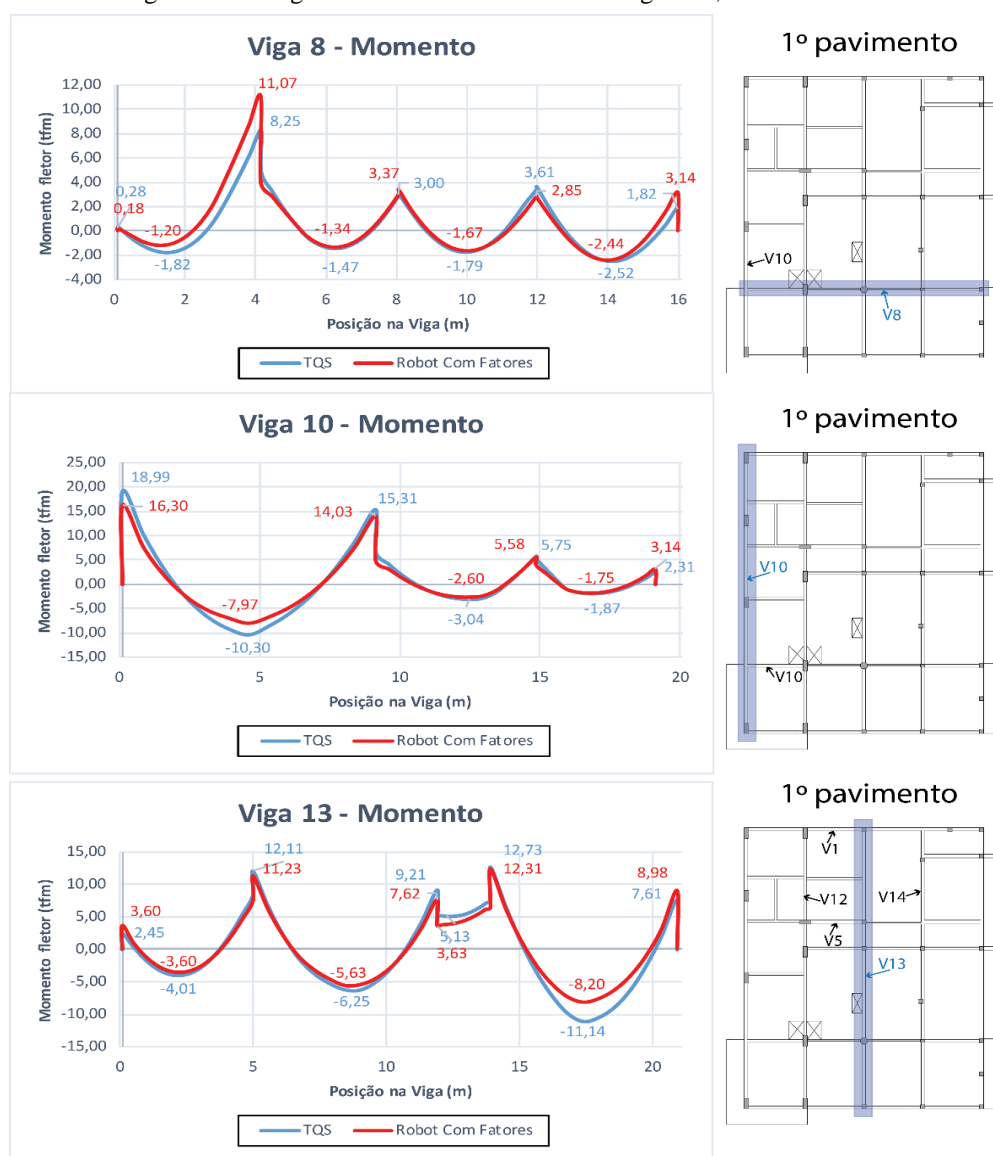
Figura 41 – Diagramas de cortante e momento fletor das vigas V3 e V4.



(fonte: elaborado pelo autor)

Em 4 m da V8 temos uma amplitude consideravelmente maior de esforços no RSA do que no TQS, o qual pode estar sendo compensado pelo primeiro vão da V10. Em contrapartida, no último vão da viga V13, entre 15 m e 20 m, os valores do TQS se sobressaem aos do RSA e este valor não é compensado pelas vigas adjacentes a este vão (V1, V5, V12, V14), na verdade o contrário parece acontecer nos últimos vãos das vigas V12 e V14, visto que seus valores também são maiores no TQS. Os maiores momentos no último vão da V13 refletem tendência observada no primeiro vão da V3 e no primeiro vão da V10, de o TQS apresentar maiores momentos em vãos que recebem outras vigas transversais como cargas concentradas,

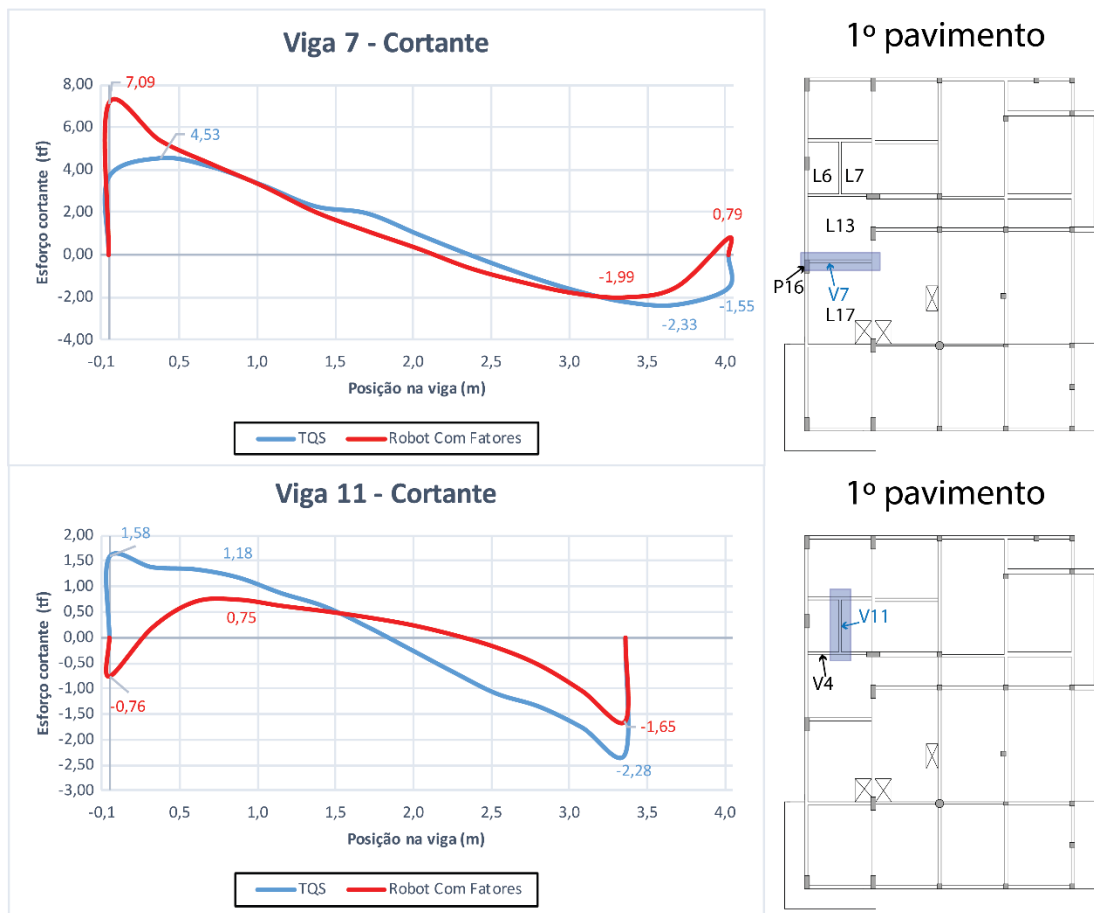
Figura 42 – Diagramas de momento fletor das vigas V8, V10 e V13.



(fonte: elaborado pelo autor)

Comportamentos estranhos no RSA podem ser observados em 4 m da V7 e 0 m da V11. No caso da V7 este comportamento teria sentido somente com as Lajes 13 e 17 empurrando a extremidade direita da V7 para cima, com a V12, na qual a V7 se apoia, puxando a V7 para baixo. De forma idêntica, V4 precisaria estar puxando a V11 para baixo, com as lajes 6 e 7 empurrando a V11 para cima para explicar o comportamento verificado na extremidade esquerda.

Figura 43 – Diagramas de cortante das vigas V7 e V11.

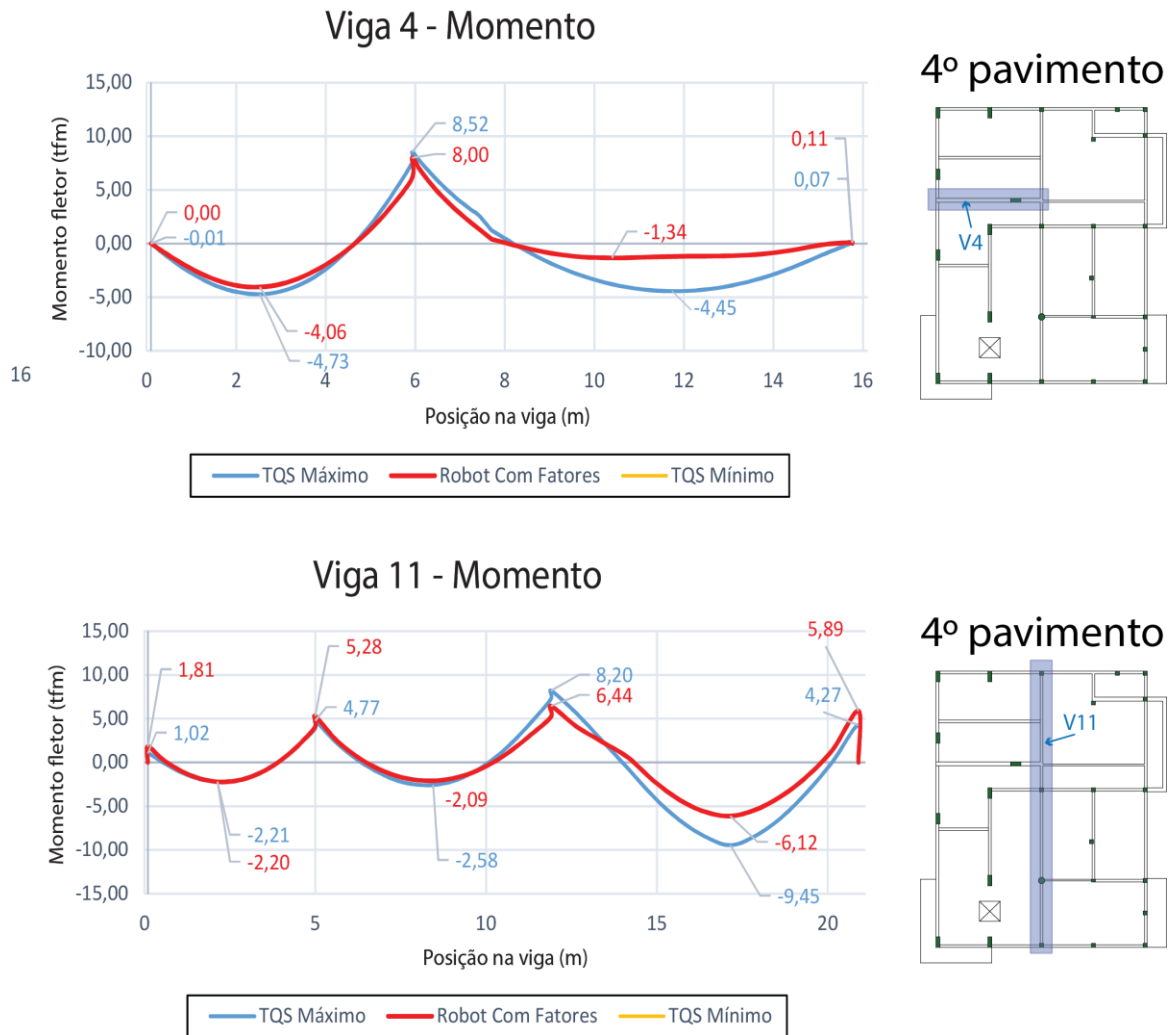


(fonte: elaborado pelo autor)

As vigas dos pavimentos restantes são analisadas conforme as suas envoltórias e, para que os valores possam ser comparados com os obtidos pelo RSA, foi feito um corte nas envoltórias de modo que os gráficos de envoltória fossem transformados apenas no gráfico que considera

a viga de transição em regime elástico. Podemos ver que, com exceção dos últimos vãos das vigas 4 e 11, o restante dos resultados se assemelha muito nos dois programas.

Figura 44 – Diagramas de momento fletor das vigas V4 e V11.



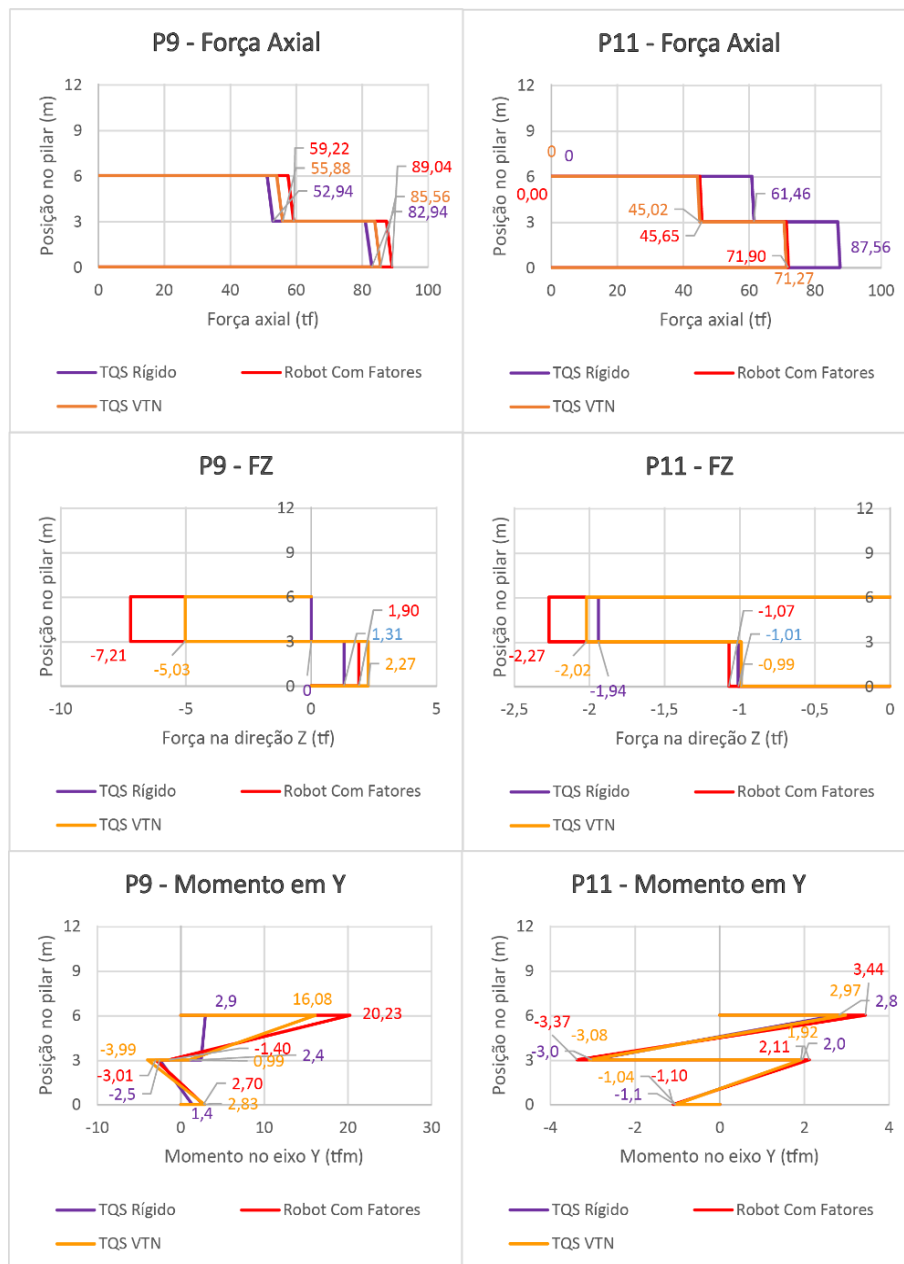
## 9.2 PILARES

Para os pilares haviam duas saídas de dados, uma a qual foi chamada de “TQS Rígido”, pois representa o modelo de pórtico em que a viga de transição foi modelada como tendo uma grande rigidez e a outra chamada de “TQS VTN”, nome padrão do TQS que representa o



modelo em que a viga de transição foi considerada com comportamento elástico. Os dois modelos foram comparados em alguns pilares e se constatou que o modelo TQS VTN se aproxima muito mais do modelo gerado no RSA, como pode ser visto na Figura 45, o que é coerente visto que o modelo gerado no RSA também foi modelado considerando a viga de transição em regime elástico.

Figura 45 – Comparação entre os valores do TQS VTN, TQS Elástico e RSA.



(fonte: elaborado pelo autor)

Portanto a comparação de resultados entre o TQS e o RSA se dará através do modelo TQS VTN sendo que os gráficos e tabelas estão apresentados no Apêndice 3. Vale salientar que apenas foram considerados relevantes os gráficos de momentos que possuem pelo menos um ponto com uma solicitação maior que  $1,5\ tfm$  e as respectivas forças que geraram este gráfico, o restante foi omitido do apêndice. Os esforços normais tiveram resultados baixos e foram considerados desprezíveis, assim, as vigas são analisadas como tendo somente flexão e não flexo-compressão.

Novamente os resultados em verde representam valor que tiveram sinais invertidos nos dois softwares e é importante lembrar que as forças em Y geram momentos em Z e forças em Z geram momentos em Y.

Quando se usa o modelo de diafragmas rígidos, não aparecem esforços normais nas vigas (e lajes) porque, sendo rígido, o diafragma não sofre deformação, e se não tem deformação, não tem tensão ou solicitação. Contudo, não há como transmitir forças horizontais para todos os pilares sem que as vigas e lajes suportem esforços axiais.

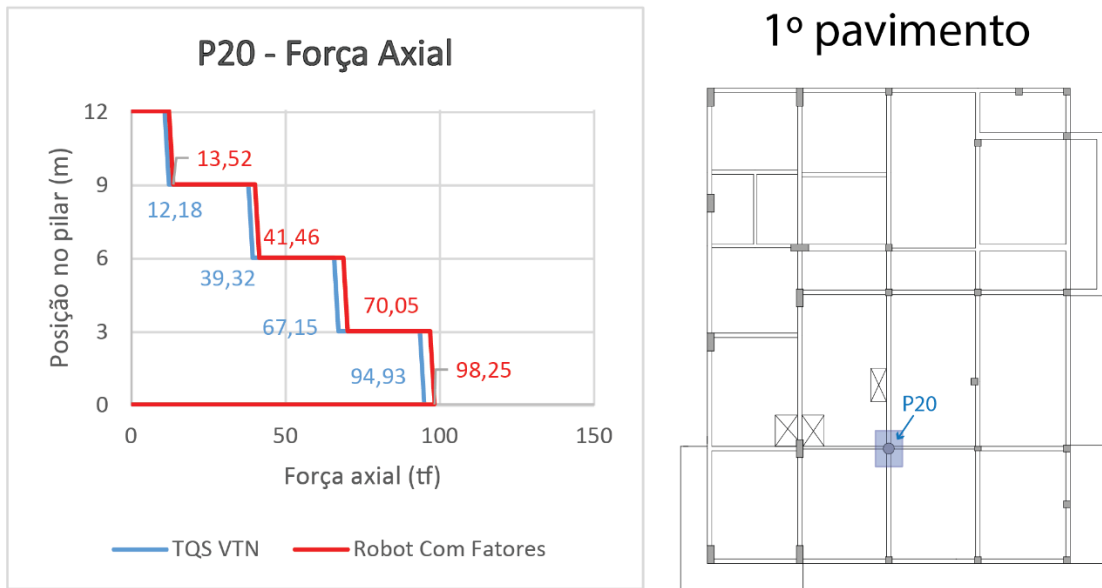
Desta forma, esses esforços, geralmente baixos, serão ignorados, e as vigas e lajes serão analisadas em flexão, e não em flexo-compressão - para os dois modelos, TQS e Robot

## 9.2.1 Discussão dos Resultados

- **Força axial em pilares**

A maioria dos pilares seguiu um diagrama de força axial bem similar nos dois softwares (como por exemplo o pilar circular P20) e nos casos restantes se constata que a força adicional de um software em um pilar é contrabalaneada em outro pilar pelo outro software. Observando os gráficos a partir do topo, se verifica que na maioria dos pilares as diferenças entre os softwares crescem a cada pavimento, indicando que esta diferença na distribuição de cargas se repete e se torna mais evidente a cada pavimento adicionado, aumentando a diferença absoluta quanto mais alto o edifício for.

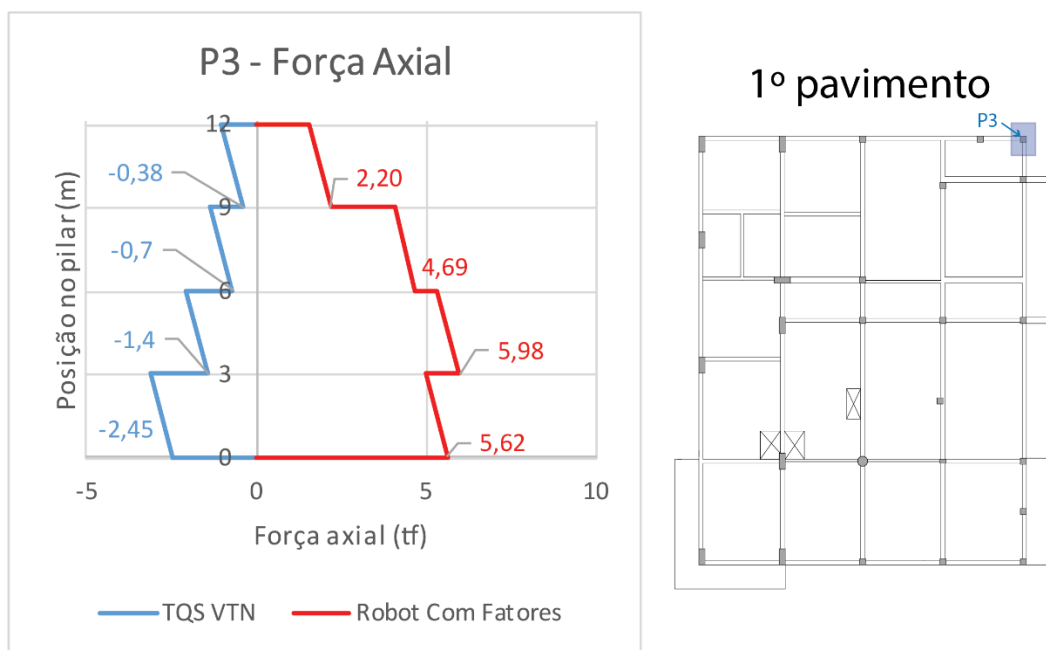
Figura 46 – Diagrama de força axial do pilar circular P20.



(fonte: elaborado pelo autor)

O P3 apresenta um resultado surpreendente, já que no TQS ele está trabalhando puramente em tração e no RSA puramente em compressão. Também causa estranheza o Gráfico no RSA apresentar uma compressão maior no segundo pavimento do que no primeiro, o que pode ser indicação de algum efeito causado pela viga de transição, apesar de ela estar relativamente distante do P3.

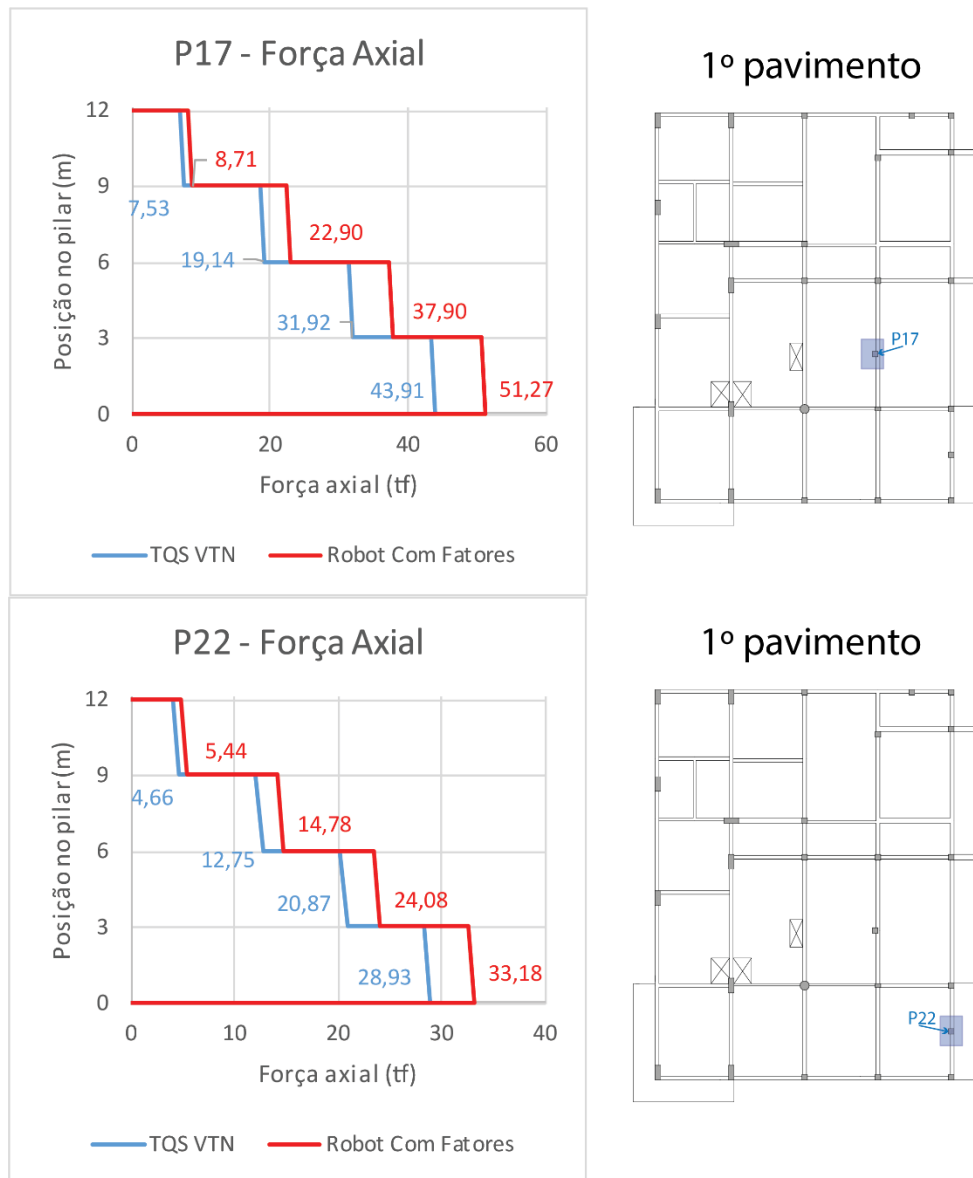
Figura 47 – Diagrama de força axial do pilar P3.



(fonte: elaborado pelo autor)

Um detalhe que chama a atenção é a diferença considerável encontrada nos pilares 17 e 22, ambos no meio de vãos com vigas só em um sentido. É possível que a forma diferente como ambos os programas tratam as lajes e sua consequente contribuição na rigidez do conjunto esteja na origem de tal diferença. O RSA parece descarregar uma carga maior nesses pilares.

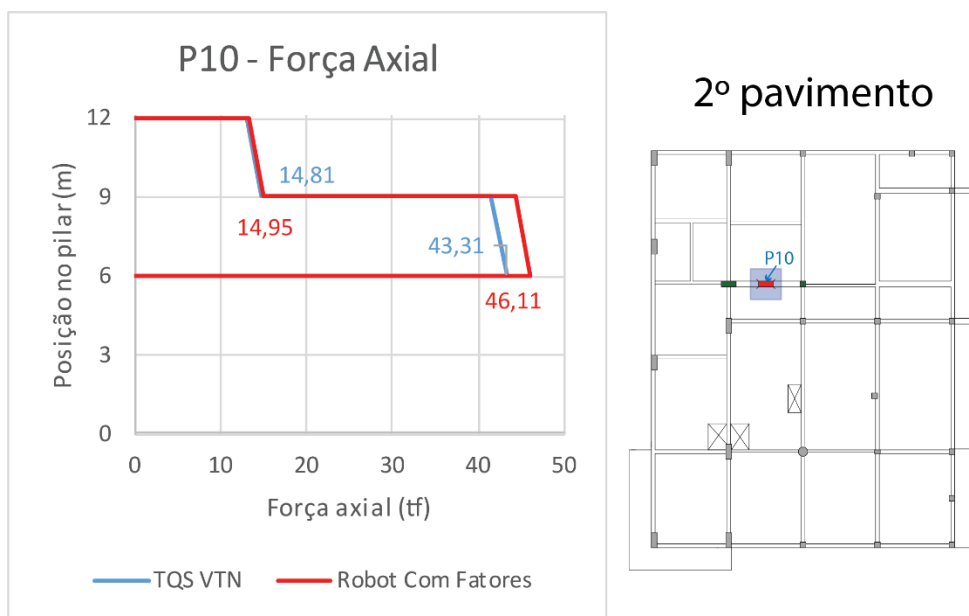
Figura 48 – Diagramas de força axial dos pilares P17 e P22.



(fonte: elaborado pelo autor)

O P10, que nasce em cima da viga de transição, tem a força axial em seu último lance extremamente parecida em ambos programas, porém diferente no lance em que o pilar nasce. Isso pode ser resultante de um tratamento diferente dado à viga de transição no pórtico de cada programa, ou novamente ser causada pela diferença de rigidez que as lajes trazem ao conjunto.

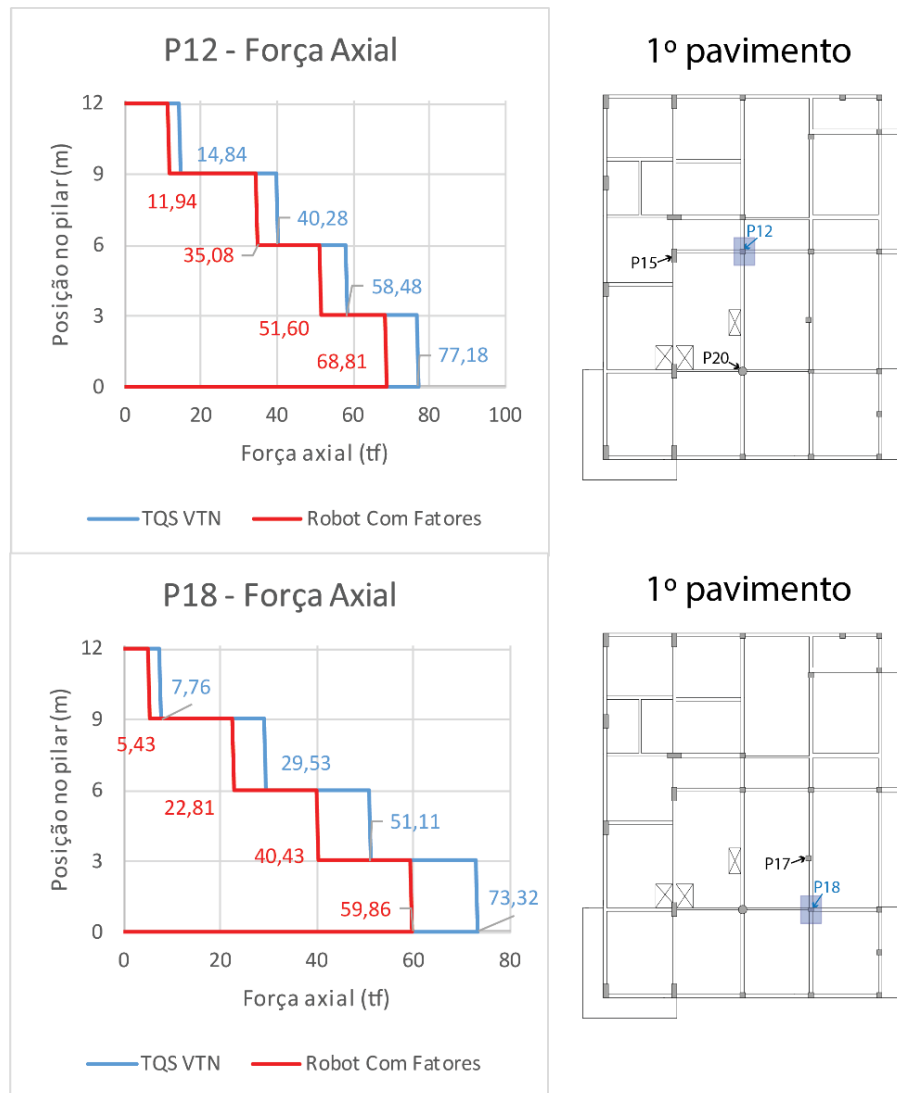
Figura 49 – Diagrama de força axial do pilar P10.



(fonte: elaborado pelo autor)

Os pilares P12 e P18 também chamam a atenção por grandes diferenças nas forças axiais entre os dois modelos. No caso do P18, a diferença de força no diagrama do RSA pode estar sendo direcionada para o P17, mencionado anteriormente e no caso do P12 a diferença parece estar sendo distribuída entre os pilares P15 e P20.

Figura 50 – Diagramas de força axial dos pilares P12 e P18.



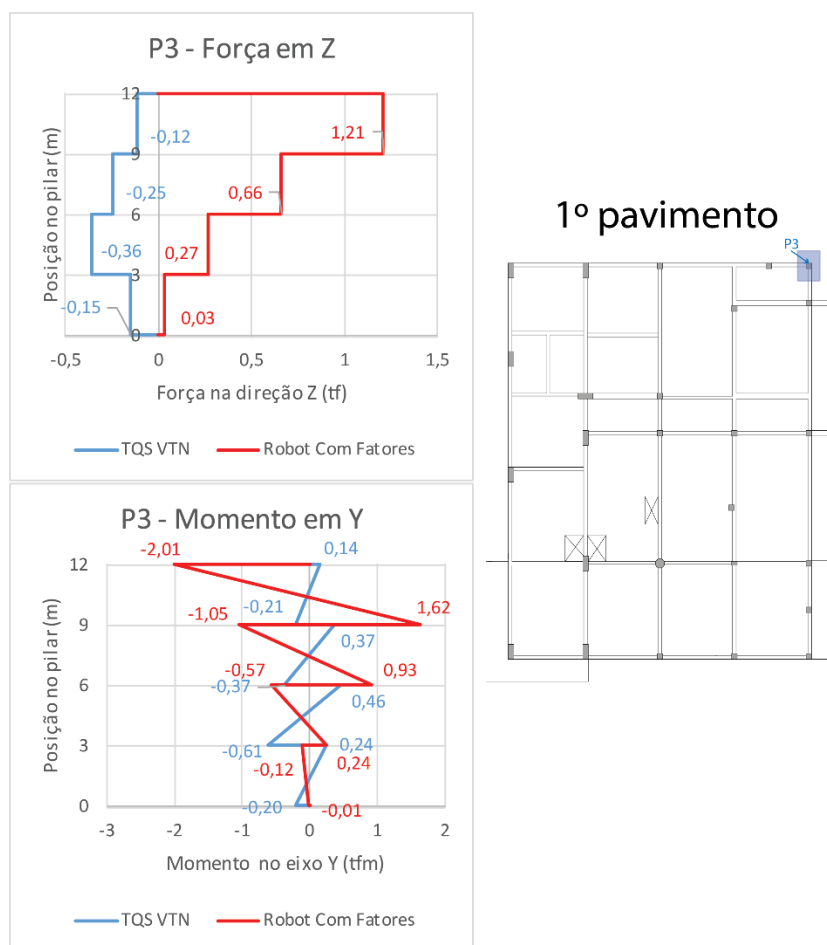
(fonte: elaborado pelo autor)

- **Forças horizontais e momentos fletores**

Os diagramas de forças possuem algumas diferenças, mas a maioria delas concerne apenas à intensidade, não à direção dos esforços. Vale ressaltar que várias das forças e alguns dos momentos parecem ter uma grande diferença entre os dois softwares, mas quando observados atentamente é possível perceber que esta diferença se deve à variação da escala dos gráficos, quanto menores os valores, maiores tendem a ser as distorções relativas.

Uma observação à parte pode ser feita para o P3, o mesmo que teve forças axiais com sentidos diferentes. Sua força em Z e seu momento em Y estão em sentidos diferentes nos dois softwares, o que pode ser consequência direta de a força axial ter sentido contrário também.

Figura 51 – Diagramas de força transversal e momento fletor do pilar P13.

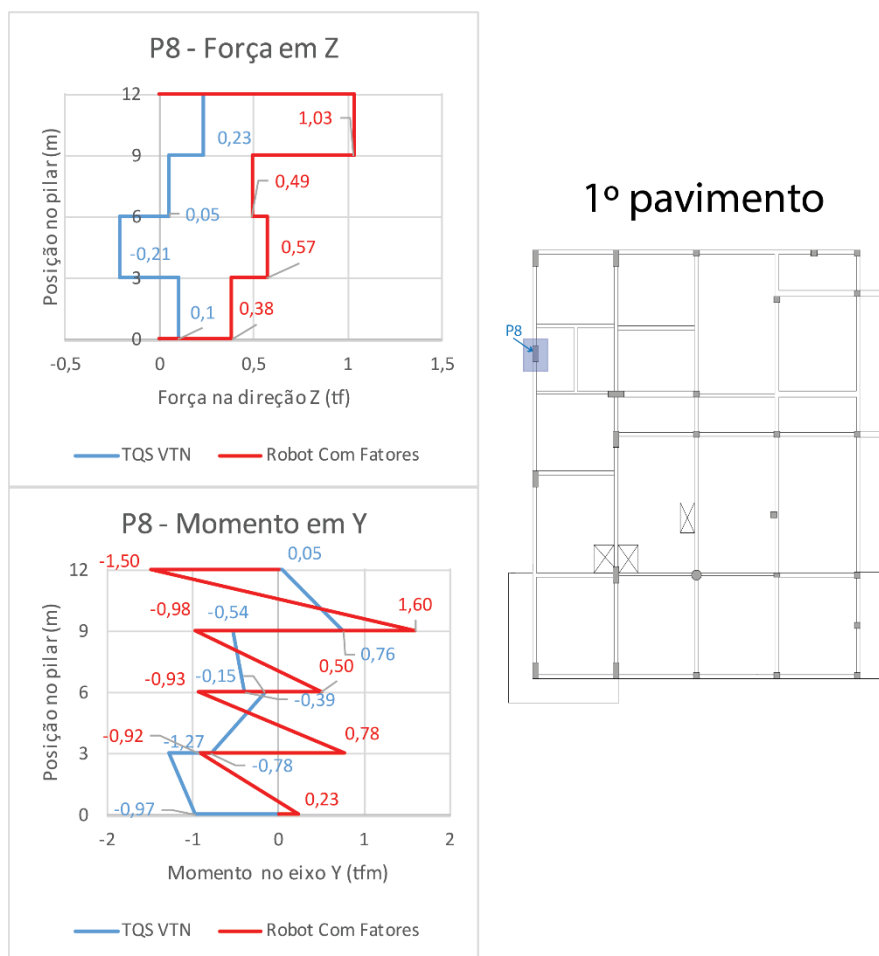


(fonte: elaborado pelo autor)

De início o pilar 8 também causa estranheza em seus valores de momento, porém vale ressaltar que a maioria destes tem suas forças originárias menores que  $1tf$  ( $9,81kN$ ), fazendo com que uma pequena variação gere uma inversão no sentido do momento.



Figura 52 – Diagramas de força transversal e momento fletor do pilar P8.



(fonte: elaborado pelo autor)

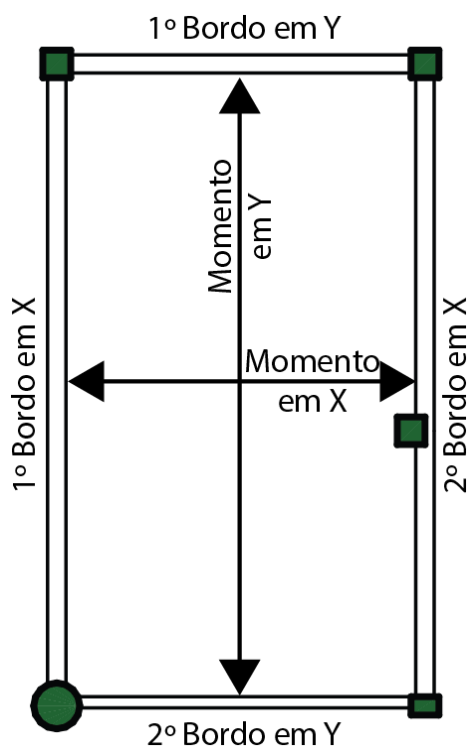
O restante dos diagramas parece seguir o mesmo traçado de momentos, tendo alguns pilares com valores superiores no RSA e alguns com valores superiores no TQS.

### 9.3 LAJES

As lajes foram comparadas em ambos os softwares com base em 3 pontos: um em cima do primeiro bordo, um no centro do vão e outro no segundo bordo e com estes dados pôde-se gerar gráficos de momentos em ambas direções. Buscou-se registrar os valores de momentos em linhas que cruzassem com o maior momento do vão, o qual geralmente era o centro da laje.

Na Figura 53 pode-se visualizar os bordos e momentos considerados neste trabalho, sendo que o momento em X e Y representa o momento ao longo da linha com setas traçada, na mesma direção que a armadura longitudinal para estes esforços é colocada.

Figura 53 – Exemplificação dos bordos e momentos considerados em uma laje.



(fonte: elaborado pelo autor)

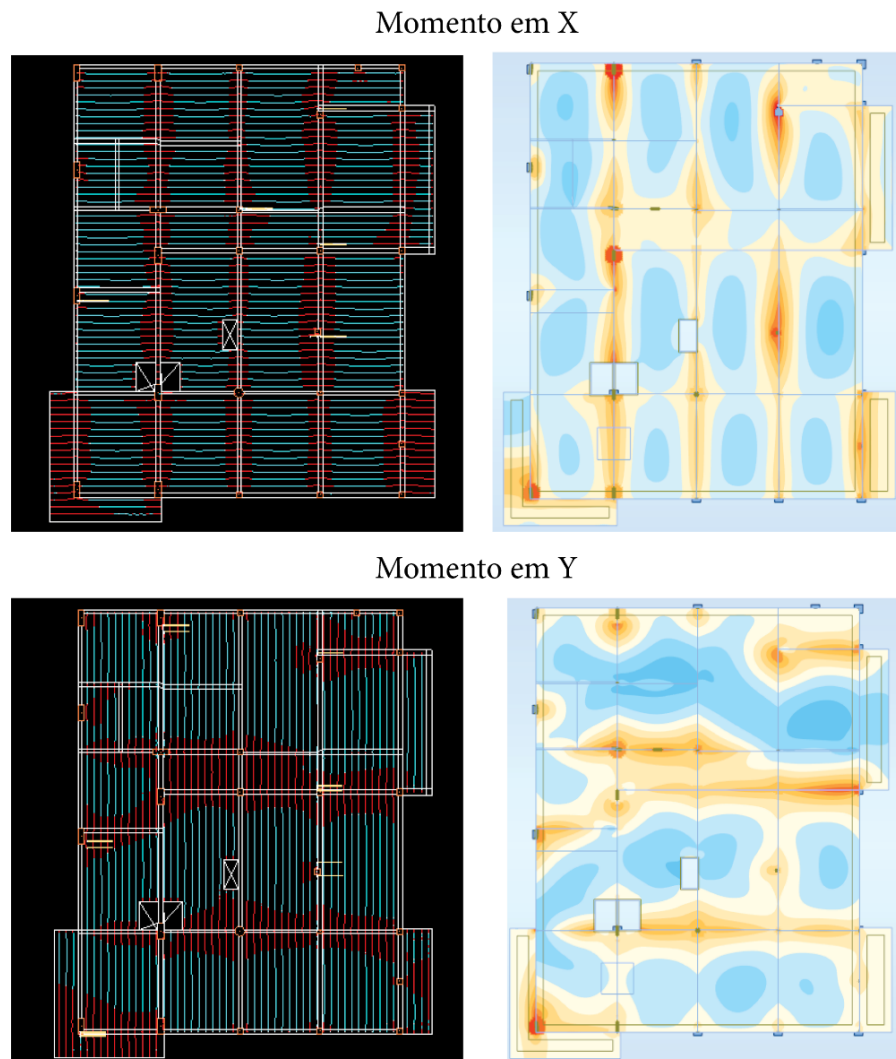
Vale frisar que a retirada de dados foi totalmente manual e uma pequena diferença na distância gera uma grande diferença nos resultados, o que pode ocasionar grande imprecisão na comparação devido à localização dos dados retirados não ser a mesma nos dois softwares.

Os diagramas e a tabela com as respectivas diferenças podem ser encontrados no Apêndice 4.

### 9.3.1 Discussão dos Resultados

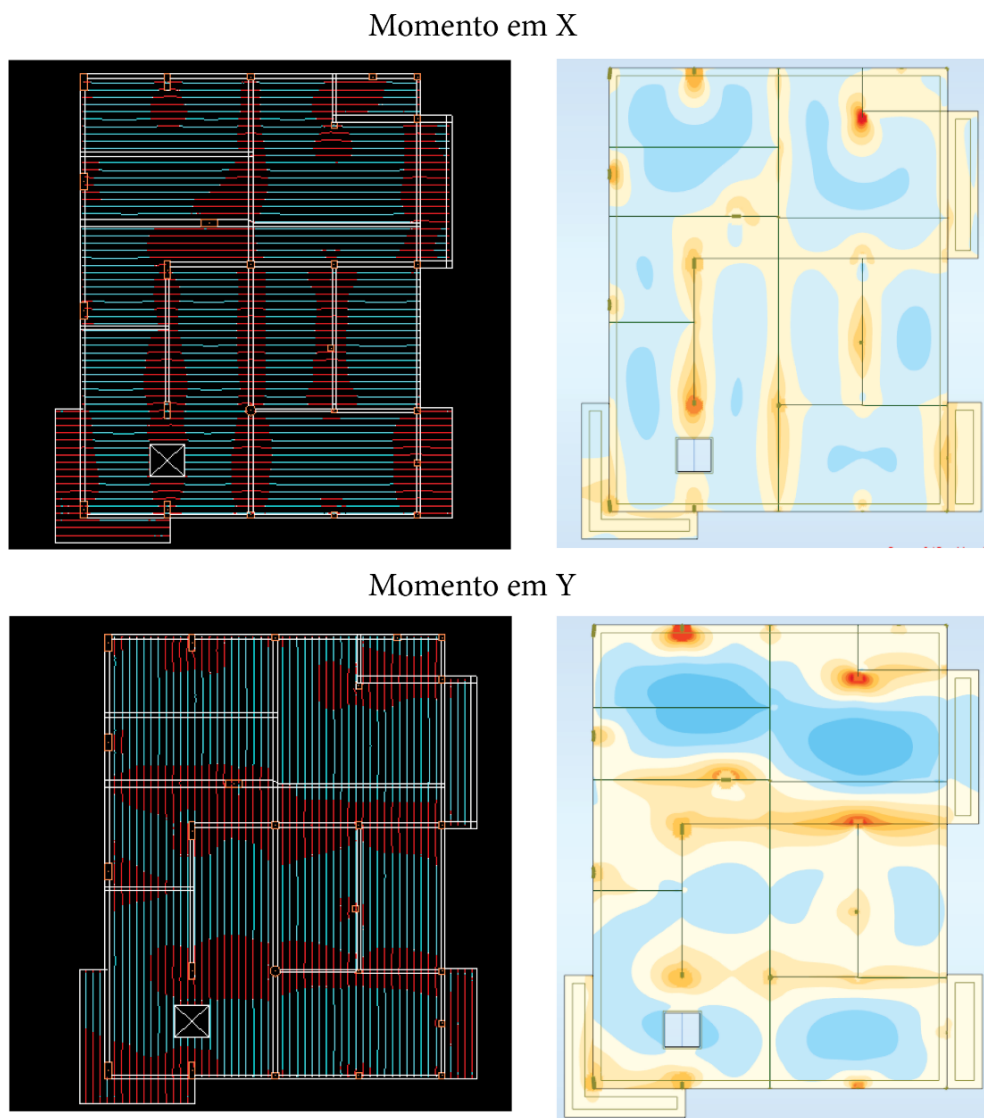
Primeiramente é interessante comparar os mapas de resultados do primeiro e quarto pavimentos em ambos os programas. Os pavimentos restantes apresentam resultados quase iguais ao primeiro pavimento e, por escolha do autor, não foram analisados.

Figura 54 – Comparação entre os esforços de lajes do TQS e do RSA no 1º pavimento.



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 55 – Comparação entre os esforços de lajes do TQS e do RSA na cobertura.



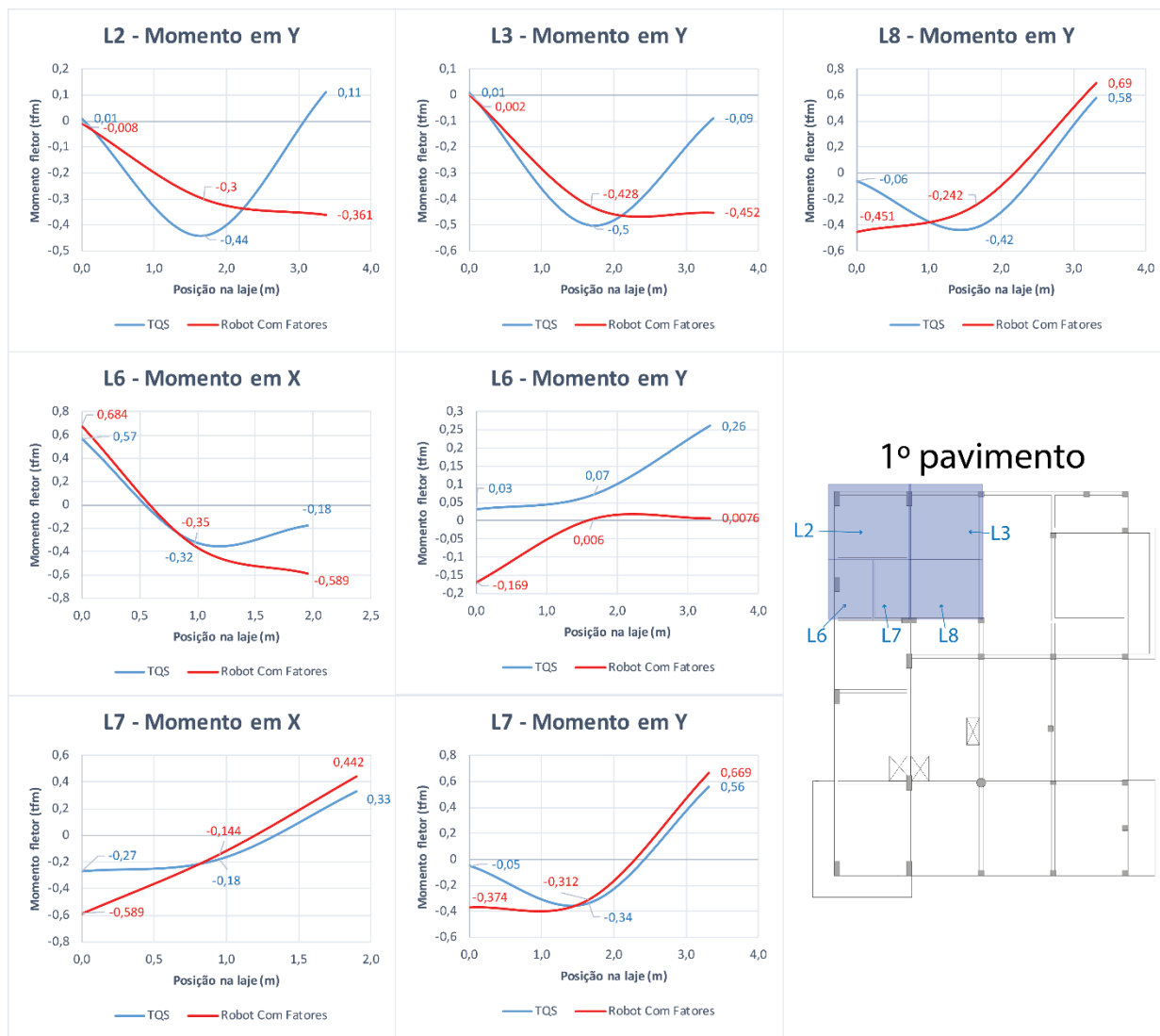
(fonte: elaborado pelo autor)

Como pode-se reparar pelas Figuras 54 e 55, a distribuição foi bem semelhante em ambos os programas, com exceção da Laje em L, que parece ter uma distribuição levemente diferente.

Analisando os diagramas é possível observar que as maiores disparidades ocorrem em lajes como a L2, L3, L6, L7, L8, todas estas localizadas na parte esquerda superior do edifício. Estes resultados podem ser explicados pelo comportamento diferente que parece haver nos modelos dos dois softwares com relação ao cruzamento das várias vigas existentes neste local.

No RSA as vigas parecem ter deformado mais que no TQS, causando diagramas com um momento bem menor em cima dos apoios.

Figura 56 – Diagramas de momento fletor das lajes L2, L3, L6 e L8.



(fonte: elaborado pelo autor)

## 10 CARGAS DE VENTO

Para que análise de vento fosse executada, era necessário que se entendesse como eram aplicadas as cargas de vento no TQS e que estas fossem replicadas no RSA, desde que o modelo identificado fosse coerente com a própria natureza do carregamento prescrito pela NBR 6123. A primeira tarefa mostrou-se difícil, visto que não foi encontrada nos manuais nenhuma informação sobre a maneira que as cargas eram distribuídas nos pavimentos. Optou-se então por analisar os carregamentos do pórtico espacial seguindo os passos da NBR 6123 e ajustá-los de maneira que os somatórios das cargas em cada pavimento fossem iguais aos do TQS. Os resultados são descritos nos capítulos a seguir.

### 10.1 CÁLCULO DO $V_k$

Seguindo as diretrizes do comentado no capítulo 5.2, foram arbitrados os seguintes coeficientes:

Considerando que o edifício esteja um térreo plano ou fracamente acidentado:

$$S_1 = 1$$

Levando em conta que a edificação seja residencial ou comercial, com alto fator de ocupação:

$$S_3 = 1$$

Para um terreno coberto por obstáculos numerosos e pouco espaçados com altura média de 10 m, como um subúrbio de uma grande cidade, temos uma edificação da Categoria IV. Como a maior dimensão em planta da edificação é 22,5 m, o edifício é classificado como classe B.

O fator de rajada sempre corresponde à categoria 2, portanto, da Tabela 2:

$$F_r = 0,98 \quad b = 0,85 \quad p = 0,125$$

Substituindo as variáveis na fórmula de  $S_2$ :

$$S_2 = b \cdot F_r \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^p$$

$$S_2 = 0,85 \cdot 0,125 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,125} = 0,10625 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,125}$$

Como já mencionado no início do capítulo 7, para que os efeitos de vento possam ser analisados claramente em um edifício com poucos andares é necessário que se faça uma majoração de suas cargas, o método escolhido para este fim foi controlar a velocidade básica do vento  $V_o$ . Vários testes foram feitos de maneira que os resultados gerados fossem grandes o suficiente para que ficassem visíveis na graficação e a velocidade final escolhida foi de  $V_o = 120 \text{ m/s}$ , um valor absurdo quando observado o mapa de isopletras, porém necessário para uma melhor comparação.

Substituindo as variáveis na fórmula da velocidade característica temos:

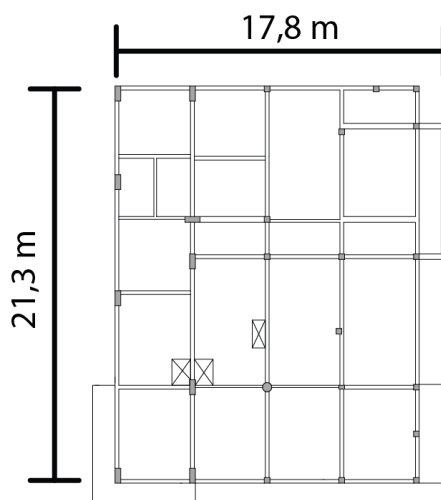
$$V_k = V_o \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$$

$$V_k = 120 \cdot 1 \cdot 0,10625 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,125} \cdot 1 = 12,75 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,125}$$

## 10.2 CÁLCULO DAS CARGAS NOS PAVIMENTOS

Das dimensões em planta da edificação temos  $22,5 \text{ m}$  no sentido longitudinal e  $19 \text{ m}$  no sentido transversal, porém as lajes em balanço sem vigas não são levadas em conta pelo TQS para o cálculo dos coeficientes de arrasto, portanto as dimensões se reduzem às indicadas na Figura 57:

Figura 57 – Dimensões usadas para o cálculo dos coeficientes de arrasto.



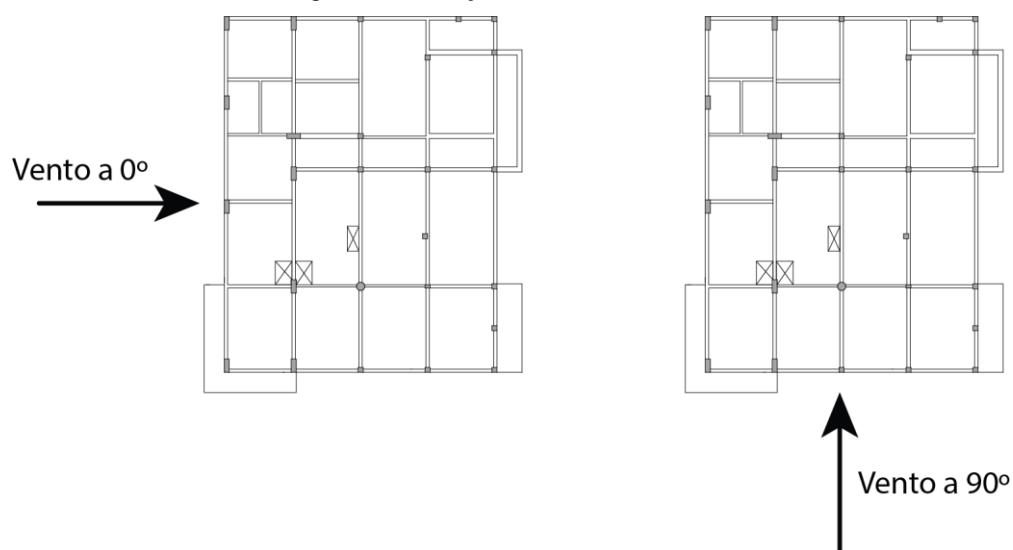
(fonte: elaborado pelo autor)

Tal consideração é válida somente considerando-se que as sacadas sem vigas irão permanecer abertas, sem fechamento, ao longo da vida útil da edificação, o que é pouco frequente na região sul onde, em função das condições climáticas, o padrão é que os moradores façam o fechamento total das sacadas com esquadrias, muitas vezes desde o início do uso da edificação. Desconsiderar o tamanho das sacadas nas dimensões em planta tende a fazer a relação  $h/l_1$  se tornar maior, o que aumenta o Coeficiente de Arrasto, sendo, portanto, em geral a favor da segurança.

Apenas um sentido em cada direção  $0^\circ$  e  $90^\circ$  do vento foi considerado, isto se justifica se considerarmos que por a edificação ter um formato retangular, as diferenças entre os modelos utilizados pelos programas estarão evidentes com apenas um sentido por direção.



Figura 58 – Direções do vento analisadas.



(fonte: elaborado pelo autor)

Seguindo o disposto no Anexo C, temos:

- A 0°:

$$l_1 = 21,3 \text{ m} \quad l_2 = 17,8 \text{ m}$$

$$\frac{h}{l_1} = 0,56 \text{ m} \quad \frac{l_1}{l_2} = 1,2 \text{ m}$$

Do ábaco no Anexo C:

$$C_a = 0,89$$

- A 90°:

$$l_1 = 17,8 \text{ m} \quad l_2 = 21,3 \text{ m}$$

$$\frac{h}{l_1} = 0,67 \text{ m} \quad \frac{l_1}{l_2} = 0,84 \text{ m}$$

Do ábaco no Anexo C:

$$C_a = 0,84$$

Substituindo as variáveis na fórmula de pressão dinâmica:

$$q = 0,613 \cdot V_k^2$$

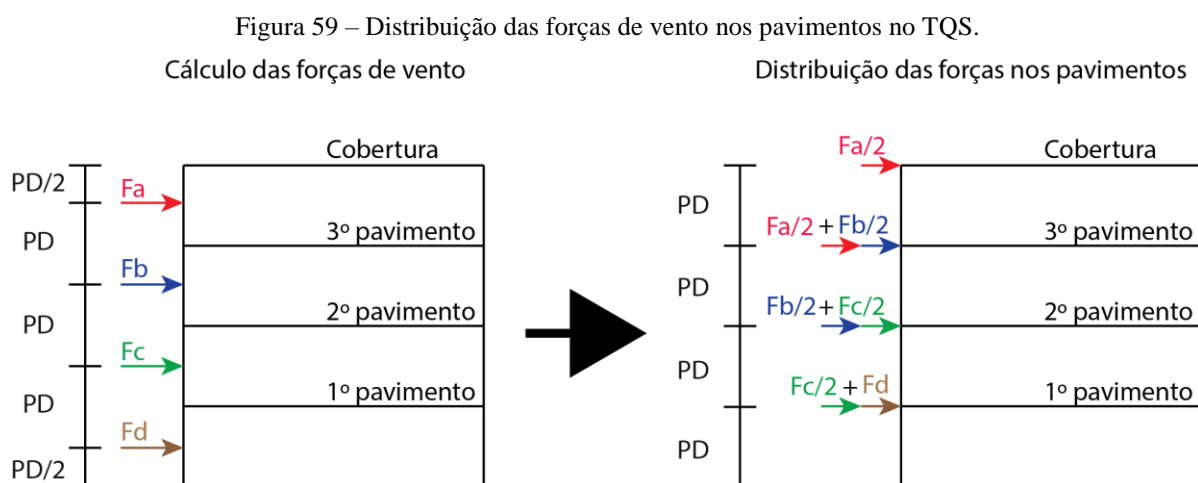
$$q = 0,613 \cdot 120^2 = 8827,2 \text{ Pa}$$

$$\frac{8827,2 \cdot 9,807}{1000} = 86,565 \text{ tf/m}^2$$

A força de arrasto é calculada pela expressão:

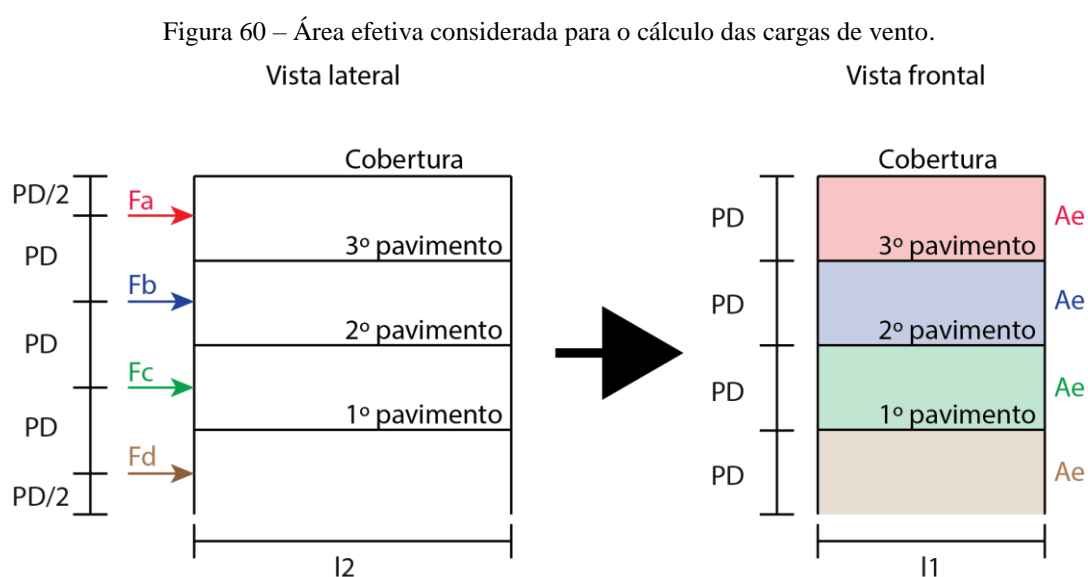
$$F_a = C_a \cdot q \cdot A_e$$

As forças de arrasto no TQS são calculadas sendo posicionadas no meio da altura entre dois pavimentos. O TQS considera que metade de cada uma destas forças é distribuída para os dois pavimentos adjacentes a ela, sendo que o último pavimento só recebe metade de uma das forças e o primeiro pavimento recebe uma das forças integralmente. Um esquema representativo destas forças pode ser observado na Figura 59.



(fonte: elaborado pelo autor)

A área frontal efetiva é definida como a área da projeção ortogonal da edificação sobre um plano perpendicular à direção do vento, como exemplificado na Figura 60, sendo PD o pé direito,  $l1$  o comprimento da face ortogonal ao vento e  $l2$  o comprimento da face paralela ao vento. Porém vale ressaltar que aqui o TQS considera as lajes em balanço nos comprimentos  $l1$  e  $l2$ , alterando seus valores. Tal consideração é, novamente, a favor da segurança. Considerar que haverá fechamento das sacadas faz com que a área frontal seja maior e, conseqüentemente, maior a carga total decorrente da pressão do vento.



(fonte: elaborado pelo autor)

Portanto, para o vento a 0°:

$$A_e = l1 \cdot PD = 22,5 \cdot 3$$

$$A_e = 67,5 \text{ m}^2$$

Para o vento a 90°:

$$A_e = l1 \cdot PD = 19 \cdot 3$$

$$A_e = 57 \text{ m}^2$$

Juntando todas as variáveis analisadas é possível construir uma tabela para se calcular o fator  $S2$ , a velocidade característica  $V_k$  e a força de arrasto  $F_a$  aplicada em cada altura na metade de dois pavimentos. Também é apresentado no lado direito a carga distribuída em cada pavimento conforme o explicado nas Figuras 59 e 60 e a carga distribuída em um pavimento, a qual é calculada da seguinte forma:

$$\text{Carga distribuída em um pavimento} = \frac{\text{Força em um pavimento}}{\text{Comprimento da viga de bordo}}$$

Na Tabela 6 encontram-se todos os resultados juntamente com o somatório de cargas dado em cada programa, para comparação, sendo que a aplicação no RSA será descrita no próximo subcapítulo.

Tabela 6 – Valores das cargas distribuídas nas vigas e somatório das reações nos softwares.

Vento a 0º					
Cálculo das forças de vento					
Z (m)	S2	Vk (m/s)	q (tf/m <sup>2</sup> )	Ae (m <sup>2</sup> )	Fa (tf)
10,5	0,838	100,57	0,63	67,5	37,98
7,5	0,804	96,43	0,58	67,5	34,92
4,5	0,754	90,46	0,51	67,5	30,73
1,5	0,657	78,86	0,39	67,5	23,35
<b>Σ =</b>					<b>126,984</b>

Cargas nos pavimentos		
Pavimento	Força (tf)	Carga distribuída (tf/m)
Cobertura	18,99	0,9495622
3º	36,45	1,8225163
2º	32,83	1,6412512
1º	38,72	1,9358563
<b>Σ =</b>		<b>126,984</b>

Vento a 90º					
Cálculo das forças de vento					
Z (m)	S2	Vk (m/s)	q (tf/m <sup>2</sup> )	Ae (m <sup>2</sup> )	Fa (tf)
10,5	0,838	100,57	0,63	57	30,27
7,5	0,804	96,43	0,58	57	27,83
4,5	0,754	90,46	0,51	57	24,49
1,5	0,657	78,86	0,39	57	18,61
<b>Σ =</b>					<b>101,21</b>

Cargas nos pavimentos		
Pavimento	Força (tf)	Carga distribuída (tf/m)
Cobertura	15,14	0,946006
3º	29,05	1,815690
2º	26,16	1,635104
1º	30,86	1,928606
<b>Σ =</b>		<b>101,21</b>

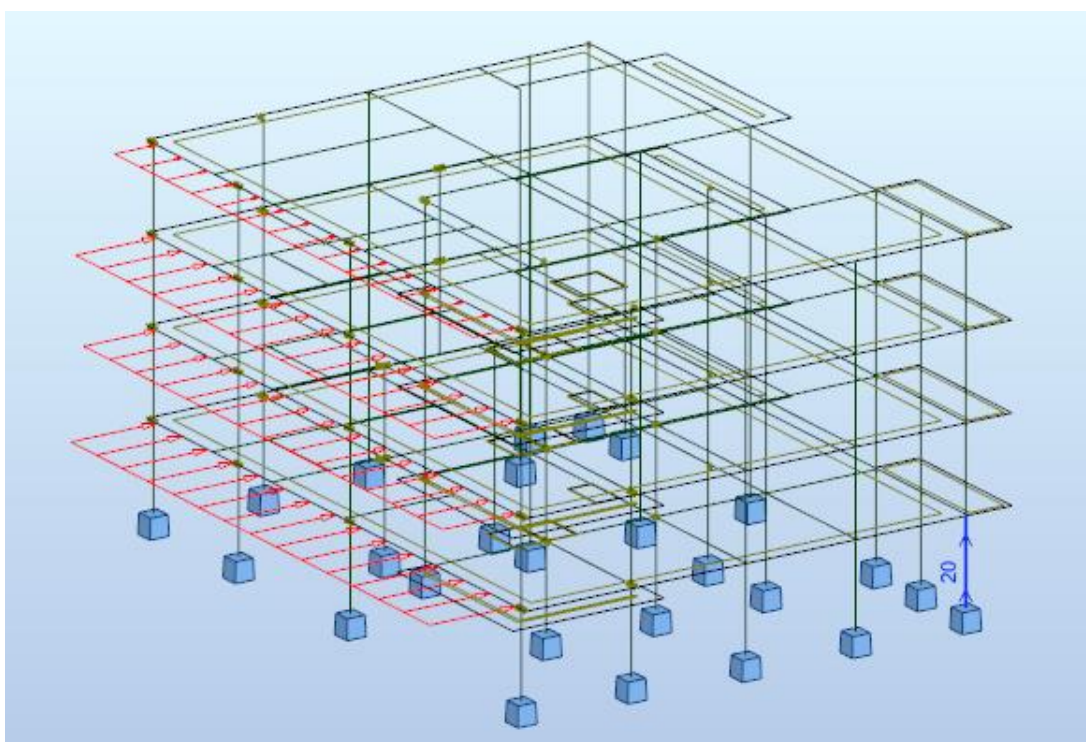
Somatório de cargas (tf)		
	TQS	RSA
0º	126,95	126,984
90º	101,2	101,254

(fonte: elaborado pelo autor)

### 10.3 APLICAÇÃO NO RSA

As cargas de vento calculadas na Tabela 6 foram aplicadas no eixo das vigas de bordo de cada pavimento, simulando o mesmo efeito gerado no TQS. A aplicação no eixo das vigas se deve a estrutura inteira ter sido modelada com os eixos das vigas alinhados com os eixos das lajes, o que não condiz com a realidade, porém causa poucas diferenças nos esforços e é o método mais usual para a modelagem em elementos finitos.

Figura 61 – Cargas de vento a 0° aplicadas nos eixos das vigas de bordo no RSA.



(fonte: elaborado pelo autor)

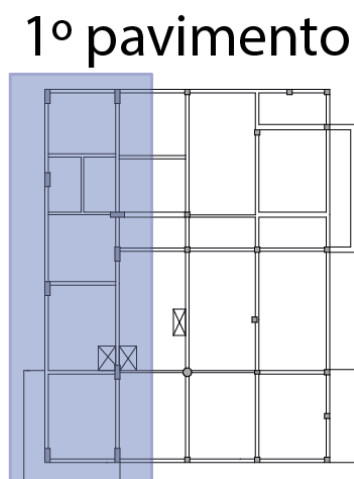
### 10.4 RESULTADOS DAS CARGAS DE VENTO

Os resultados para as cargas de vento seguem a mesma lógica dos usados para cargas verticais, são apresentados os diagramas com solicitações relevantes e tabelas com os respectivos valores destes diagramas e suas diferenças, sendo que valores em verde representam valores com sinais opostos.

Os dados obtidos foram divididos em quatro apêndices: os Apêndices 5 e 6 apresentam os esforços resultantes de uma carga de vento a  $0^\circ$  e os Apêndices 7 e 8 apresentam os esforços obtidos com uma carga de vento a  $90^\circ$ .

Para a carga de vento a  $0^\circ$  foram extraídos todos os resultados dos pilares e as vigas as quais possuíam solicitações relevantes e, como a carga a  $90^\circ$  se comporta de maneira semelhante, foram escolhidas apenas as vigas com solicitações mais importantes, o pilar de transição e os pilares da esquerda da edificação (Figura 62), visto que estes apresentam solicitações maiores que o restante. Dos esforços dos elementos escolhidos para o vento a  $90^\circ$  apenas foram graficados a força axial dos pilares e momentos fletores das vigas e pilares, visto que as outras solicitações podem ser comparadas em ambos programas com o vento a  $0^\circ$ .

Figura 62 – Área indicando os pilares escolhidos para análise do vento a  $90^\circ$ .



(fonte: elaborado pelo autor)

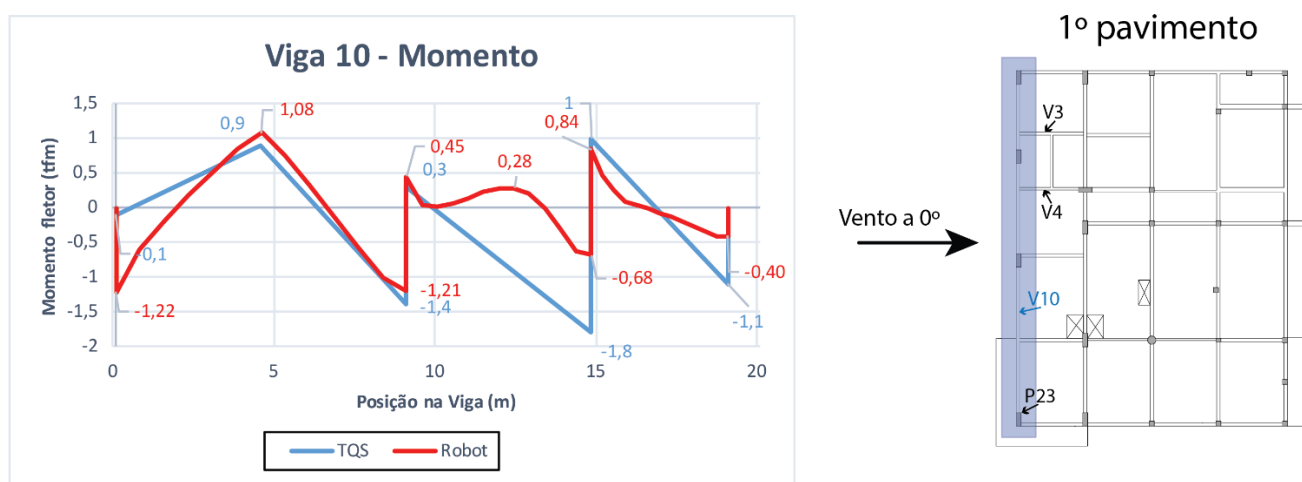
É importante ressaltar que o TQS não explicita se os esforços devidos apenas ao vento foram calculados a partir do modelo com a viga de transição rígida ou a partir do modelo com a viga de transição elástica, portanto o autor se limitou a comparar os resultados obtidos.

## 10.4.1 Discussão dos Resultados

- Momentos fletores em vigas

Para o vento a  $0^\circ$ , podemos notar que há vários comportamentos estranhos na viga V10, os quais podem ser observados na figura a seguir e serão discutidos individualmente:

Figura 63 – Diagrama de momento fletor da viga V10.



(fonte: elaborado pelo autor)

No trecho entre  $0\text{ m}$  e  $5\text{ m}$  da viga V10, o RSA considera certo engastamento com o pilar P23, enquanto o TQS considera que a viga está apoiada neste ponto. Visto que o pilar tem uma largura grande no sentido desta viga, faz sentido que ele absorva uma quantidade considerável do momento, portanto o autor julga que, neste ponto, o resultado gerado pelo RSA é mais condizente com a realidade.

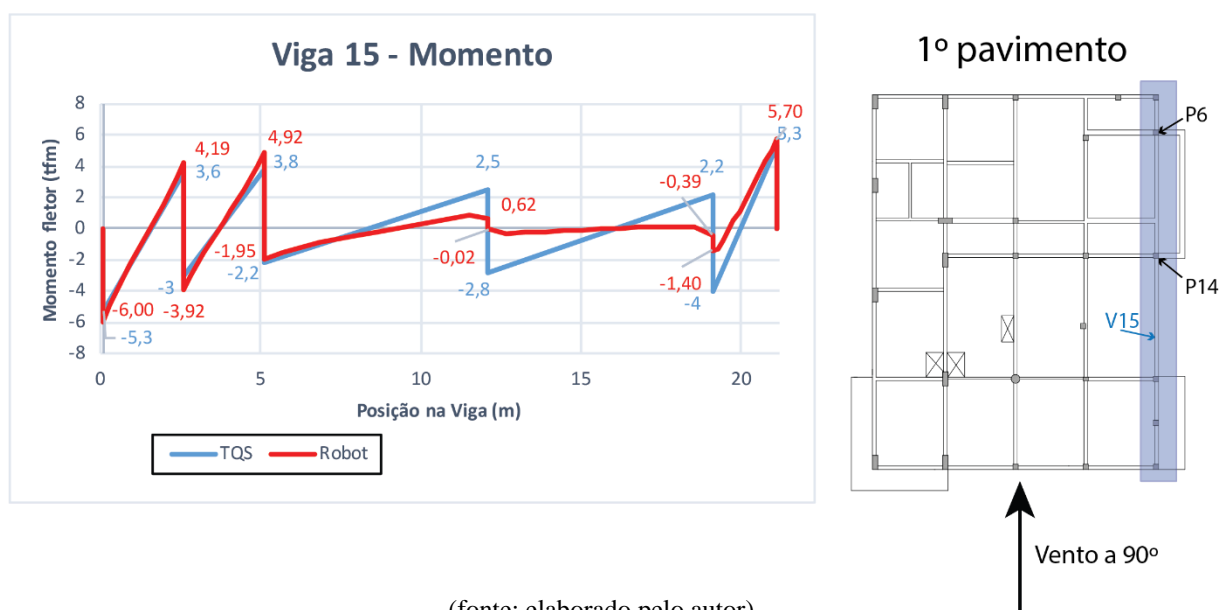
No trecho entre  $10\text{ m}$  e  $15\text{ m}$  há uma inflexão no diagrama do RSA que causa certa estranheza, esta ocorre exatamente onde há um cruzamento com a viga V4, indicando que a viga V4 está apoiando a viga V10, empurrando o vão para cima.

No trecho entre  $15\text{ m}$  e  $20\text{ m}$  também ocorre o cruzamento da V10 com mais uma viga, a V3, porém neste caso a V3 está apoiada na viga V10, empurrando o vão para baixo.

Vale ressaltar que todos os valores deste gráfico são baixos pois esta viga não está paralela ao sentido em que a carga de vento está sendo aplicada, como consequência os cruzamentos de viga acabam por ter grande influência nos diagramas.

Para o vento a  $90^\circ$  pode-se observar que a viga V15 possui um comportamento estranho próximo dos 13 m e dos 18 m, ambos pontos em que há um pequeno offset sem trecho rígido entre os pilares P6 e P14 e a viga como explicado em 9.1 e exemplificado nas Figuras 37 e 38. Os valores neste trecho indicam que o modelo do RSA aponta para uma configuração deformada sem curvatura nessa região, o que é contra-intuitivo. Tais resultados devem ser considerados com bastante cuidado. O diagrama de momentos obtido no modelo do TQS é bastante mais regular e condizente com o esperado para esse tipo de carregamento.

Figura 64 – Diagrama de momento fletor da viga V15 com carga de vento a  $90^\circ$ .



Para o vento em ambos sentidos o TQS parece ter picos de momento menores que o RSA no primeiro pavimento mas maiores que o RSA nos pavimentos acima, o que pode indicar uma diferente distribuição de cargas no pórtico de cada programa.

É importante considerar que ao incluir as lajes no modelo de Elementos Finitos, o RSA gera um comportamento bastante próximo ao de considerar as lajes como diafragmas rígidos para



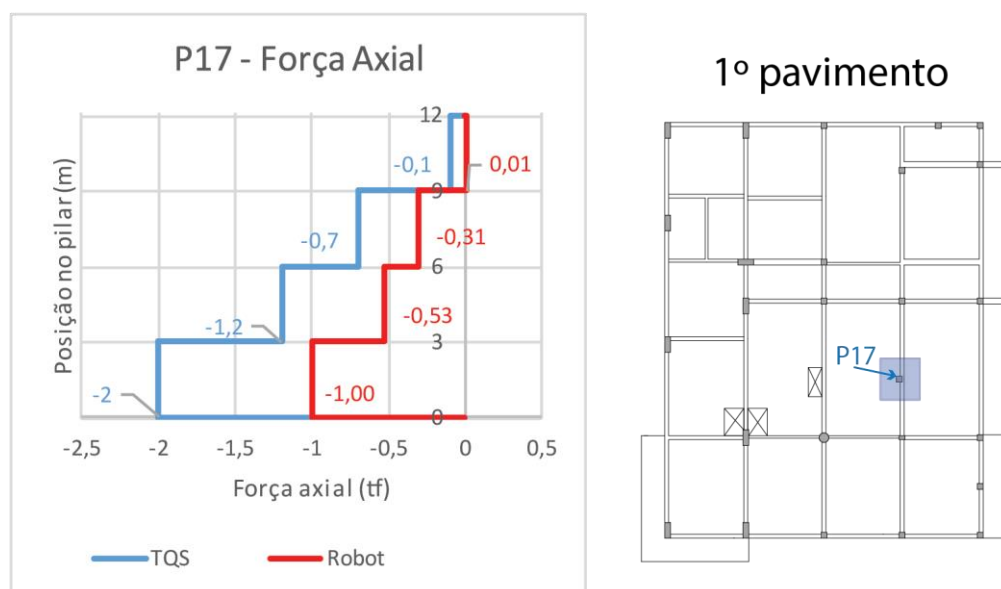
as cargas horizontais. Tal consideração precisa ser explicitamente adicionada ao modelo de pórtico espacial do TQS, não sendo inerente ao modelo.

- **Forças axiais em pilares**

Observando as forças axiais dos pilares nos Apêndices 6 e 8 percebe-se que, apesar de os gráficos dos dois programas aparentarem grandes diferenças relativas, a maioria destas é próxima ou inferior a 1tf (9,81kN) e acabam por não ser muito relevantes. Também é possível perceber que, do mesmo modo que na análise de cargas verticais, o somatório total das cargas deve se equiparar entre os programas, então é natural que as diferenças de resultados entre os programas em um pilar sejam compensadas em outros pilares.

É possível visualizar um crescimento das diferenças do topo da edificação para a base, indicando o mesmo padrão observado nas cargas verticais, onde as diferenças entre os programas se repetem a cada pavimento e se tornam cumulativas.

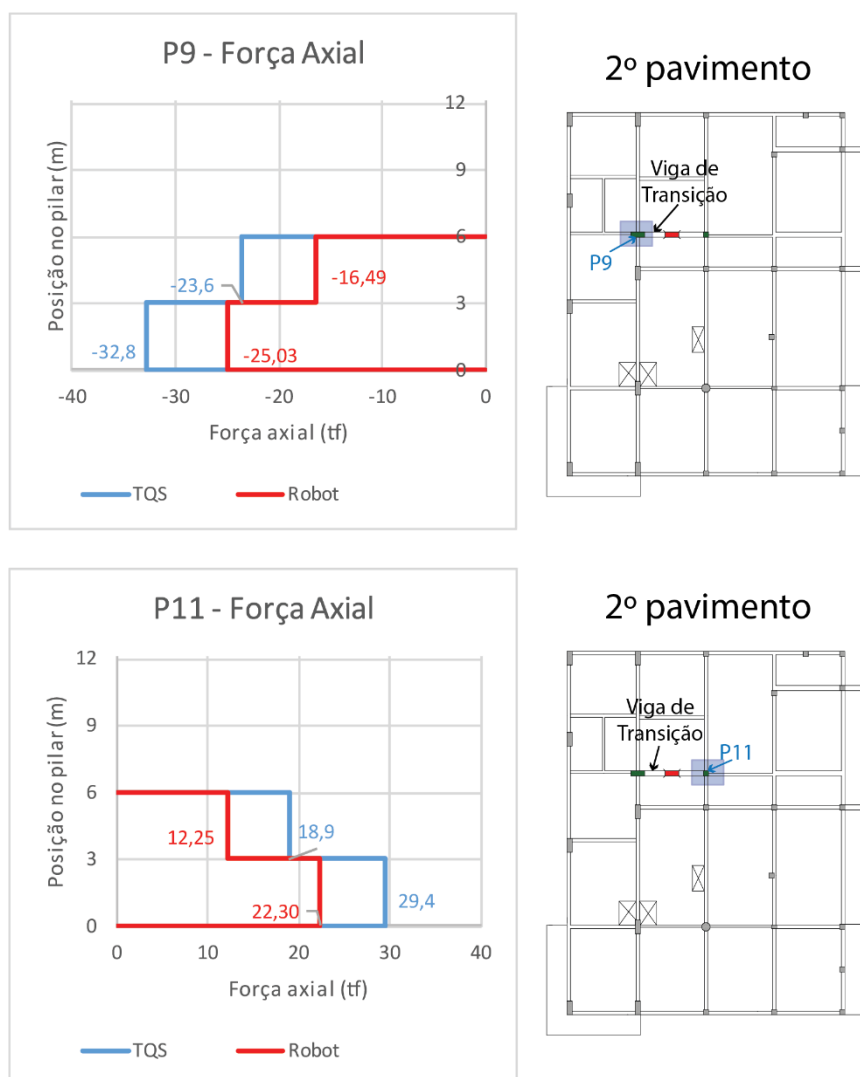
Figura 65 – Exemplificação das diferenças de força axial crescentes ao longo dos pavimentos.



(fonte: elaborado pelo autor)

De maneira geral as cargas apresentaram um comportamento muito parecido de forças axiais, com apenas algumas diferenças grandes como o P9 e P11, ambos ligados à viga de transição, o que pode ter sido consequência do modelo de viga de transição no qual as cargas de vento foram aplicadas no TQS (elástico ou com a viga rígida).

Figura 66 – Forças axiais dos pilares P9 e P11 com carga de vento a 0°.

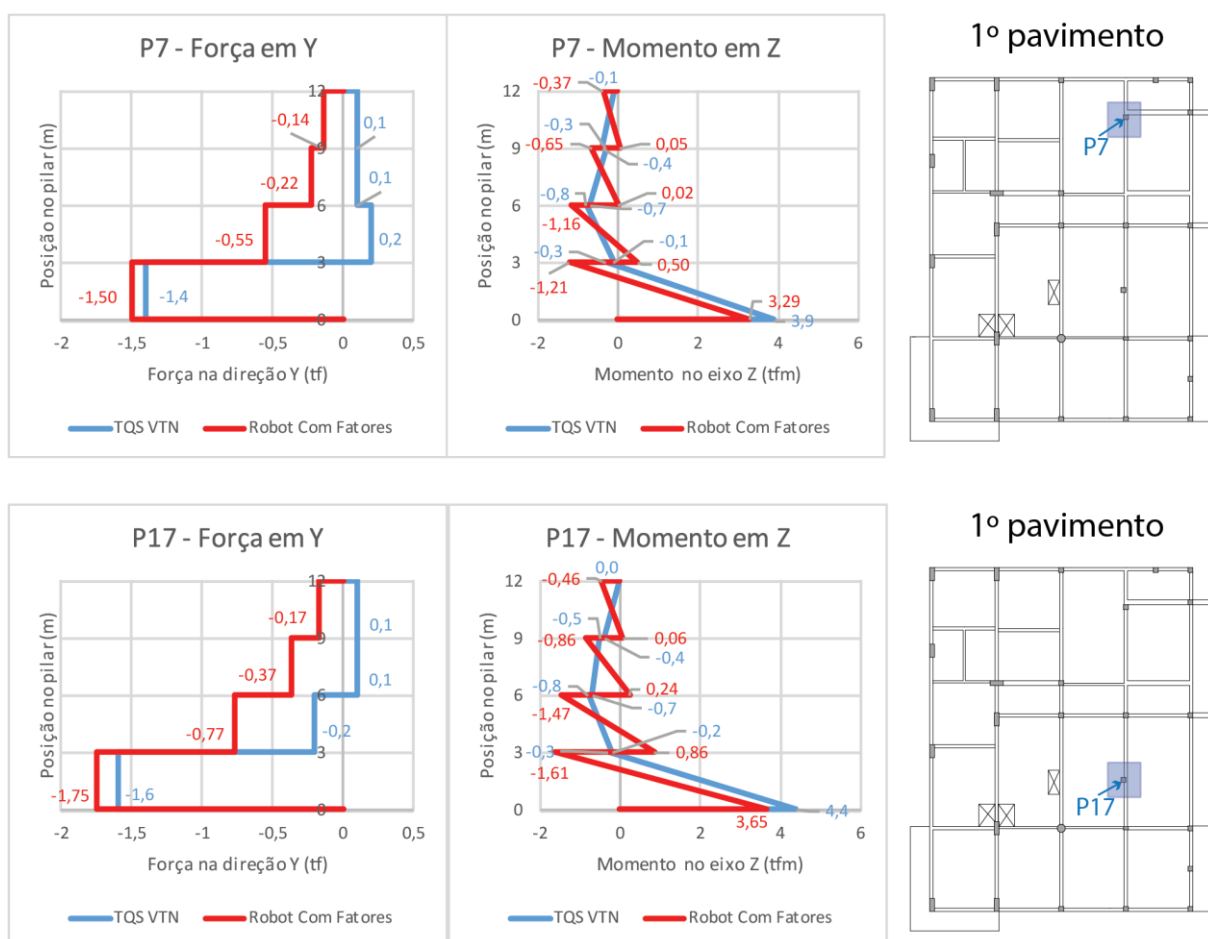


(fonte: elaborado pelo autor)

- **Forças horizontais e momentos em pilares**

Também nos Apêndices 6 e 8 estão presentes as forças horizontais e momentos fletores em pilares. Em geral os diagramas de momento fletor seguem um mesmo traçado, com exceção dos pilares P7, P8, P17 e P22 da carga de vento a 0°, porém é interessante observar que as forças que geram estes momentos são muito próximas de 0 e como consequência uma pequena diferença nestas acarreta em uma inversão de sentido nos momentos fletores, como pode ser observado na Figura 67.

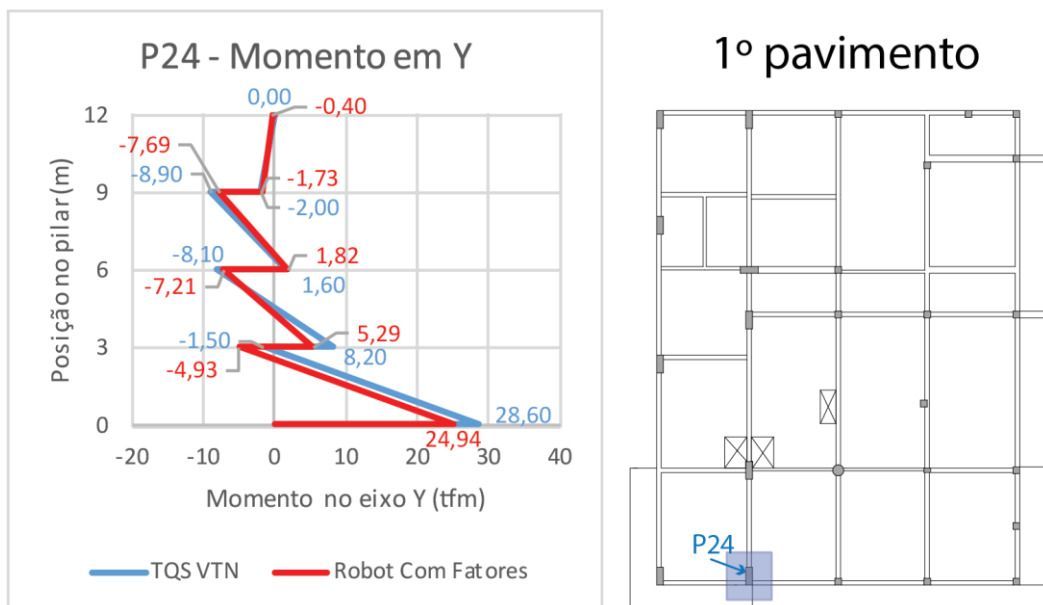
Figura 67 – Forças transversais e momentos dos pilares P7 e P17 com carga de vento a 0°.



(fonte: elaborado pelo autor)

Seguindo a mesma lógica das cargas axiais, a maioria dos momentos têm suas maiores diferenças na base do primeiro pavimento, como exemplificado na Figura 68. Isto provavelmente é decorrente dos efeitos cumulativos dos pavimentos, como discutido anteriormente.

Figura 68 – Momento fletor do pilar P24 com carga de vento a 90°.



(fonte: elaborado pelo autor)

## 11 DESLOCAMENTO NO TOPO DO EDIFÍCIO

Para que se possa analisar os deslocamentos, é necessário que as propriedades dos materiais em ambos os modelos sejam iguais. Na versão Universidade o TQS não permite a alteração do módulo de elasticidade secante do concreto para o modelo de pórtico, portanto, foi tomado como base os critérios retirados do relatório geral gerado pelo próprio programa, sendo eles:

$$\nu = 0,2$$

$$E_{cs} = 26046.46 \text{ MPa}$$

$$G_c = 10855.96 \text{ MPa}$$

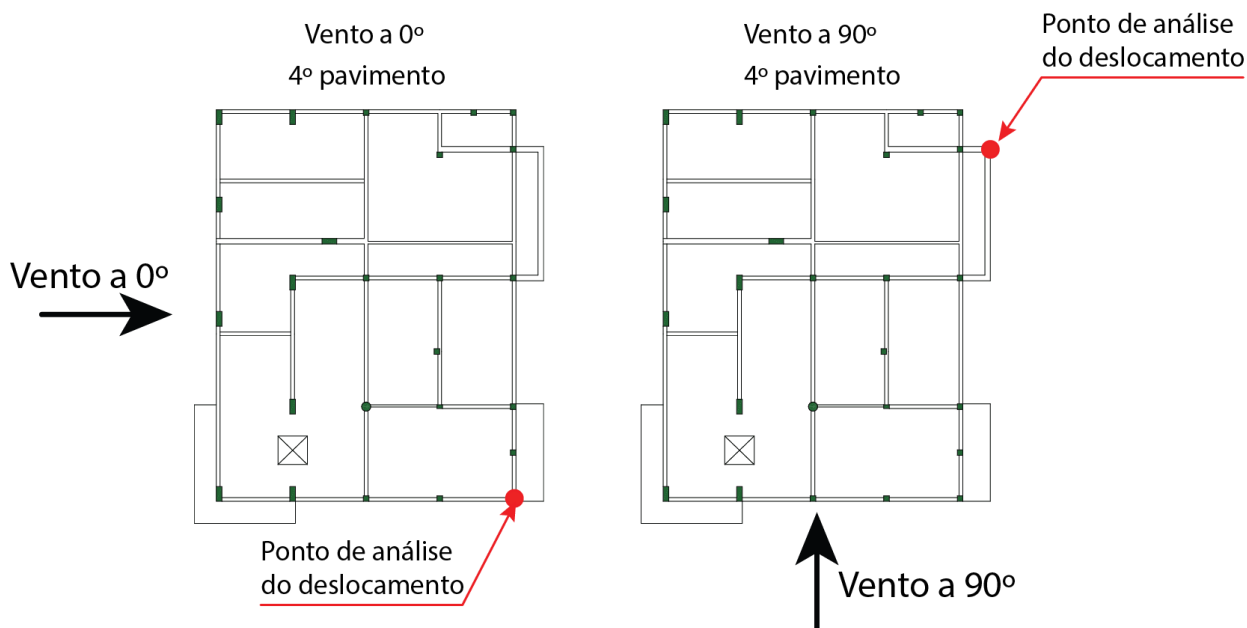
$\nu$  – coeficiente de Poisson

$E_{cs}$  – módulo de deformação secante do concreto (MPa)

$G_c$  – módulo de elasticidade transversal do concreto (MPa)

Como comparação entre os modelos do TQS e o do RSA foram escolhidos os resultados dos pontos de maior deslocamento do edifício no último pavimento em cada sentido da carga de vento. Os resultados, tanto como os pontos escolhidos podem ser vistos na Figura 69.

Figura 69 – Ponto de escolha para a análise do deslocamento de acordo com a direção do vento.



(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 7 – Comparação dos deslocamentos dos dois softwares nos pontos escolhidos.

Software	Vento a 0º	Vento a 90º
TQS (cm)	3,8	2,8
RSA (cm)	1,6	1,4
Diferença (cm)	2,2	1,4
Diferença (%)	138%	100%

(fonte: elaborado pelo autor)

As diferenças apresentadas são consideráveis, chegando a ser mais de duas vezes maiores em um programa do que no outro. Como o modelo do RSA possui lajes e o do TQS apenas o pórtico com barras, é possível que a rigidez do modelo em elementos finitos esteja sendo aumentada. Dito isto, outro teste foi feito no RSA sem a presença de lajes e os resultados se encontram na Tabela 8.

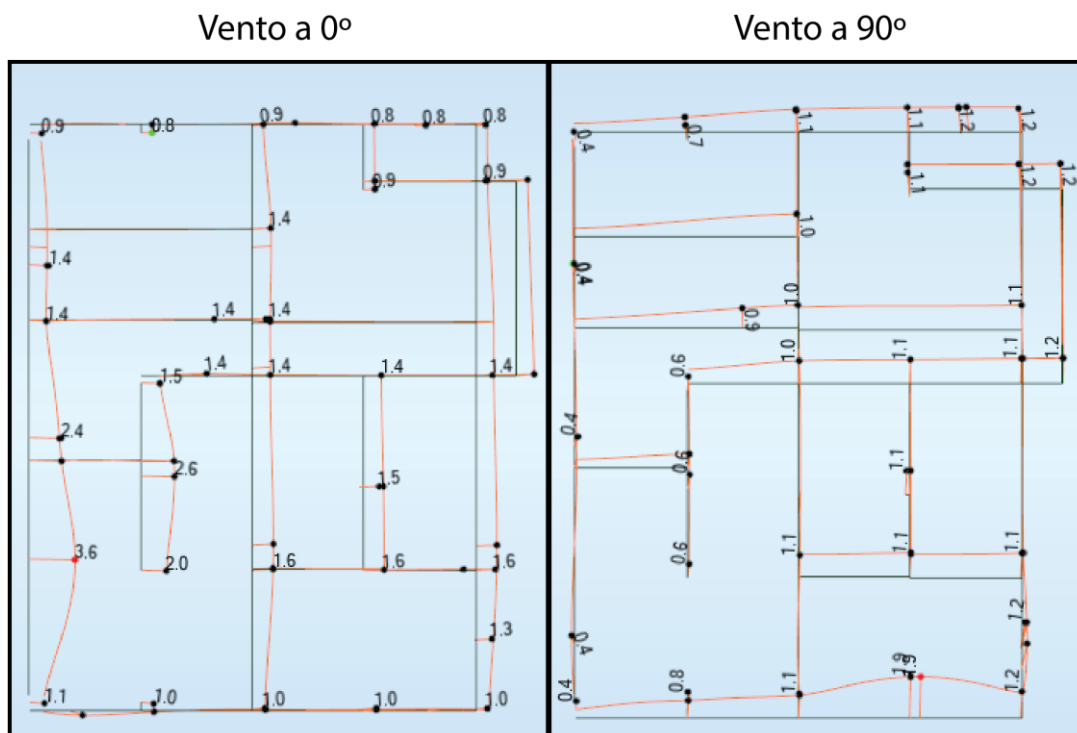
Tabela 8 – Comparação no novo modelo dos deslocamentos dos dois softwares nos pontos escolhidos.

Software	Vento a 0º	Vento a 90º
TQS (cm)	3,8	2,8
RSA Sem Lajes(cm)	1	1,2
Diferença (cm)	2,8	1,6
Diferença (%)	280%	133%

(fonte: elaborado pelo autor)

Os resultados do modelo do RSA sem lajes ficam ainda mais distantes que os do RSA com lajes, porém, aqui vale ressaltar que neste modelo algumas vigas ficaram com deformações muito maiores do que os pontos medidos anteriormente uma vez que não havia nenhuma laje pra contraventá-las e sua inércia no sentido do carregamento do vento é muito baixa. Estes resultados levantam a hipótese de que o TQS pode estar redistribuindo sua carga de vento nos nós de um pavimento, não em suas vigas de bordo. O modelo de lajes pode estar se aproximando mais do gerado pelo TQS como consequência das lajes estarem distribuindo as cargas aplicadas nas vigas de bordo para os nós.

Figura 70 – Deslocamentos em cada direção de vento no modelo de pórtico sem lajes e com cargas distribuídas uniformemente no RSA.



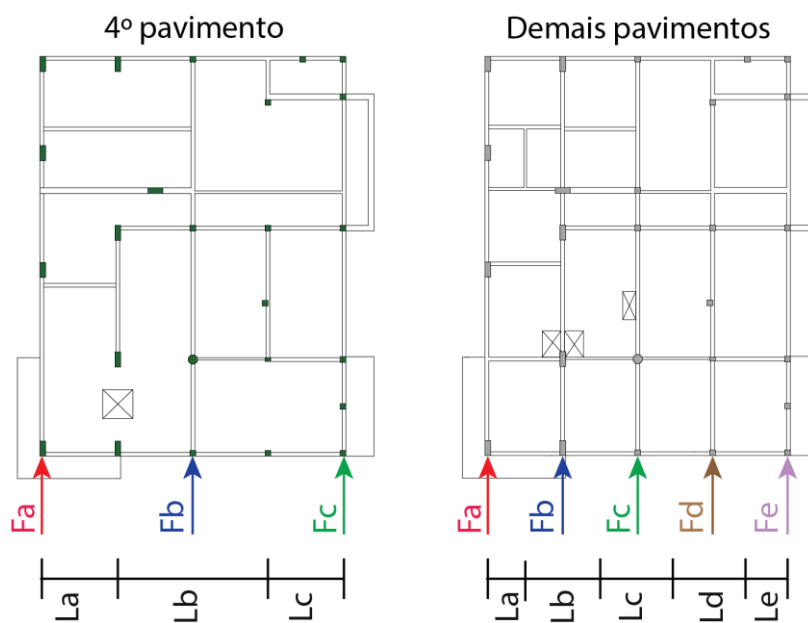
(fonte: elaborado pelo autor)

## 11.1 PÓRTICO SEM LAJES

Como uma tentativa de se aproximar do modelo do TQS foi gerado um modelo de pórtico no RSA sem a presença de lajes e, para o caso de vento a 90°, com forças aplicadas apenas no eixo das vigas verticais. Como demonstrado na Figura 71.



Figura 71 – Novo modelo de aplicação de forças para vento a 90°.



(fonte: elaborado pelo autor)

Para o cálculo destas forças foram usados comprimentos de influência que correspondiam a metade da distância até a viga vertical mais próxima em cada lado da força. Estas distâncias foram multiplicadas pelas cargas apresentadas na Tabela 6 e o obtido pode ser conferido na Tabela 9.

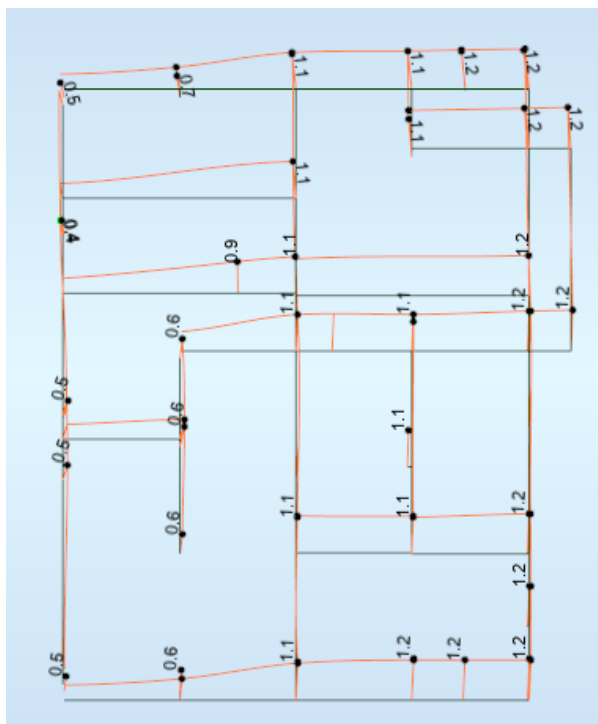
Tabela 9 – Forças aplicadas nos eixos das vigas à barlavento de cada pavimento.

4º pavimento	Demais pavimentos
La (m) = 4	La (m) = 2
Lb (m) = 8	Lb (m) = 4
Lc (m) = 4	Lc (m) = 4
	Ld (m) = 4
	Le (m) = 2

Cargas nos pavimentos						
Paviment o	Fa (tf)	Fb (tf)	Fc (tf)	Fd (tf)	Fe (tf)	$\Sigma$ (tf)
Cobertura	3,78	7,57	3,78	-	-	15,14
3º	3,63	7,26	7,26	7,26	3,63	29,05
2º	3,27	6,54	6,54	6,54	3,27	26,16
1º	3,86	7,71	7,71	7,71	3,86	30,86

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 72 – Deslocamentos no novo modelo de pórtico do RSA com vento a 90°.



(fonte: elaborado pelo autor)

Apesar de os resultados no meio da edificação mudarem em comparação ao pórtico com carga distribuída nas vigas, o ponto de comparação com o TQS apresentou exatamente o mesmo resultado anterior, distante do valor dado pelo TQS.

## 11.2 PÓRTICO COM LAJES COMO DIAFRAGMA RÍGIDO

Um terceiro modelo foi criado mantendo-se as lajes, porém multiplicando seu módulo de elasticidade por 10000, dividindo sua espessura por 100 e multiplicando seu peso específico por 100, assim:

$$E_{cs\ novo} = 26046.46 \cdot 10^4 = 2,605 \cdot 10^8 \text{ MPa}$$

$$h_{laje\ novo} = \frac{0,12 \text{ m}}{100} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\rho_{c\ novo} = 2500 \cdot 100 = 250.000 \text{ kg/m}^3$$

Visto que a rigidez axial é diretamente proporcional a área e ao módulo de elasticidade do concreto, ela resulta em uma rigidez axial 100 vezes maior. Já a rigidez à flexão, que é diretamente proporcional ao módulo de elasticidade e diretamente proporcional à altura ao cubo, acaba por ficar 100 vezes menor. A multiplicação do peso específico tem como intenção manter a mesma carga usada anteriormente nas lajes, visto que com a divisão da espessura por 100 a carga de peso próprio das lajes seria apenas de 1% da original.

A escolha da redução da rigidez a flexão além do módulo de elasticidade se deve a uma alteração do modelo de forma a verificar se isto afetaria também os resultados em vigas encontrados nos capítulos anteriores, isto será melhor explanado no capítulo 12.

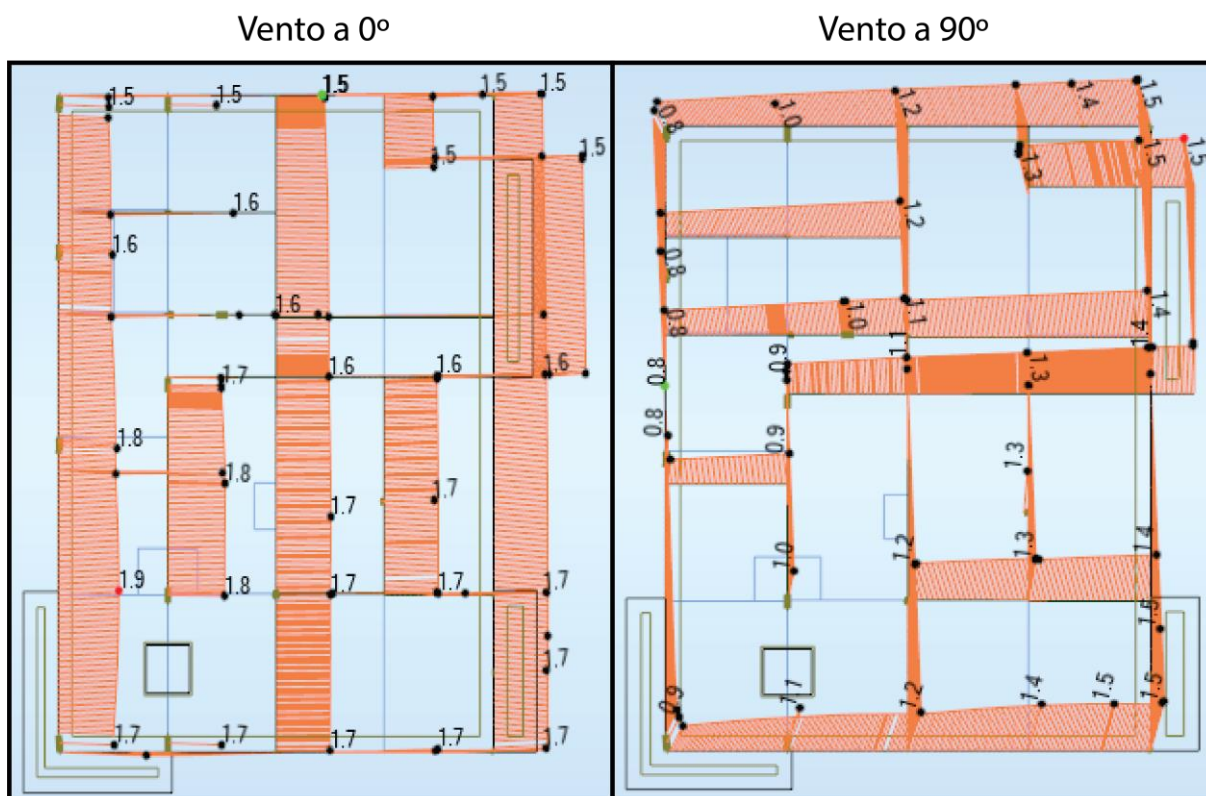
Os resultados encontrados com vento a 0° e 90° podem ser conferidos na Tabela 10 e na Figura 73.

Tabela 10 – Comparação no terceiro modelo dos deslocamentos dos dois softwares nos pontos escolhidos.

Software	Vento a 0º	Vento a 90º
TQS (cm)	3,8	2,8
RSA Diafragma (cm)	1,7	1,5
Diferença (cm)	2,1	1,3
Diferença (%)	124%	87%

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 73 – Deslocamentos no terceiro modelo de pórtico do RSA com vento a 0º e 90º.



(fonte: elaborado pelo autor)

Apesar deste terceiro modelo apresentar os resultados mais próximo dos obtidos pelo TQS ele continua apresentando uma diferença enorme a qual não pode ser explicada simplesmente por

diferenças de métodos entre os dois programas, indicando que deve haver alguma distinção nas propriedades usadas na modelagem.

### 11.3 MODELO COM NÃO LINEARIDADE APROXIMADA

Investigou-se então a hipótese de o TQS estar considerando a estrutura como de nós móveis e reduzindo a rigidez de pilares e vigas. No resumo estrutural fornecido pelo TQS podemos encontrar os dados apresentados na Figura 74, os quais indicam que o método utilizado para analisar efeitos de 2ª ordem na estrutura é o  $\gamma_z$  e, devido ao resultado de  $\gamma_z$  ser menor que o limite estabelecido para uma estrutura de nós móveis, a estrutura é considerada de nós fixos.

Figura 74 – Dados fornecidos pelo Resumo Estrutural do TQS.

#### Modelo global do edifício

```
Modelo espacial global ..... IV - Modelo integrado de pórtico espacial
Flexibilização das ligações viga/pilar ..... Sim
Modelo enrijecido para viga de transição ..... Sim
Método para análise de 2a. ordem global ..... GamaZ
```

#### Avaliação e classificação da estrutura

```
Parâmetro adotado na análise do edifício ..... 1.05 (OK)
Valor limite de referência ..... 1.20
Tipo da estrutura ..... Nós fixos
```

(fonte: elaborado pelo autor)

Uma estrutura de nós fixos não necessita de nenhuma análise global de 2ª ordem e a diferença entre o RSA e o TQS continuaria sem explicação, porém, ao entrar no arquivo PORFOR.LST, localizado nas listagens do pórtico espacial do TQS, o autor percebeu que havia uma redução das rigidezes de vigas e pilares como o disposto na Figura 73.

Figura 75 – Dados fornecidos pelo PORFOR.LST do TQS.

```
Modelo de cálculo
=====
Modelo específico para ..... ELU
Coeficiente de não linearidade física p/vigas.... .40
Coeficiente de não linearidade física p/pilares.. .80
Módulo de elasticidade considerado..... Secante+10%
```

(fonte: elaborado pelo autor)

Estes valores correspondem ao disposto em 15.7.3 da NBR 6118:2014 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 106), que trata de análise de estruturas de nós móveis:

Para a análise dos esforços globais de 2ª ordem, em estruturas reticuladas com no mínimo quatro andares, pode ser considerada a não linearidade física de maneira aproximada, tomando-se como rigidez dos elementos estruturais os valores seguintes:

— lajes:  $(EI)_{sec} = 0,3 E_c I_c$

— vigas:  $(EI)_{sec} = 0,4 E_c I_c$  para  $As' \neq As$  e

$$(EI)_{sec} = 0,5 E_c I_c \text{ para } As' = As$$

— pilares:  $(EI)_{sec} = 0,8 E_c I_c$

Onde:

$I_c$  – momento de inércia da seção bruta de concreto, incluindo, quando for o caso, as mesas colaborantes.

$E_c$  – valor representativo do módulo de deformação secante do concreto, o qual para a análise de estabilidade global pode ser majorado em 10%.

Então foi gerado um modelo no RSA com a rigidez de vigas reduzida a 40% da original e a rigidez de pilares reduzida a 80% do original, o resultado dos deslocamentos máximos pode ser conferido na Tabela 11.

Tabela 11 – Comparação no modelo de nós móveis dos deslocamentos dos dois softwares nos pontos escolhidos.

Software	Vento a 0º	Vento a 90º
TQS (cm)	3,8	2,8
RSA Nós Móveis (cm)	2,9	2,4
Diferença (cm)	0,9	0,4
Diferença (%)	31%	17%

(fonte: elaborado pelo autor)

Pode-se constatar que em relação aos demais modelos, a diferença entre os dois softwares cai drasticamente quando a estrutura é modelada considerando nós móveis levando a crer que o TQS realmente está usando um modelo de nós móveis, apesar de alegar que a estrutura é de nós fixos. Vale ressaltar que isto é incoerente com o proposto pela norma e superestima os deslocamentos da estrutura.

## **12 RESULTADOS NOS MODELOS COM RIGIDEZ À FLEXÃO DE LAJES REDUZIDA**

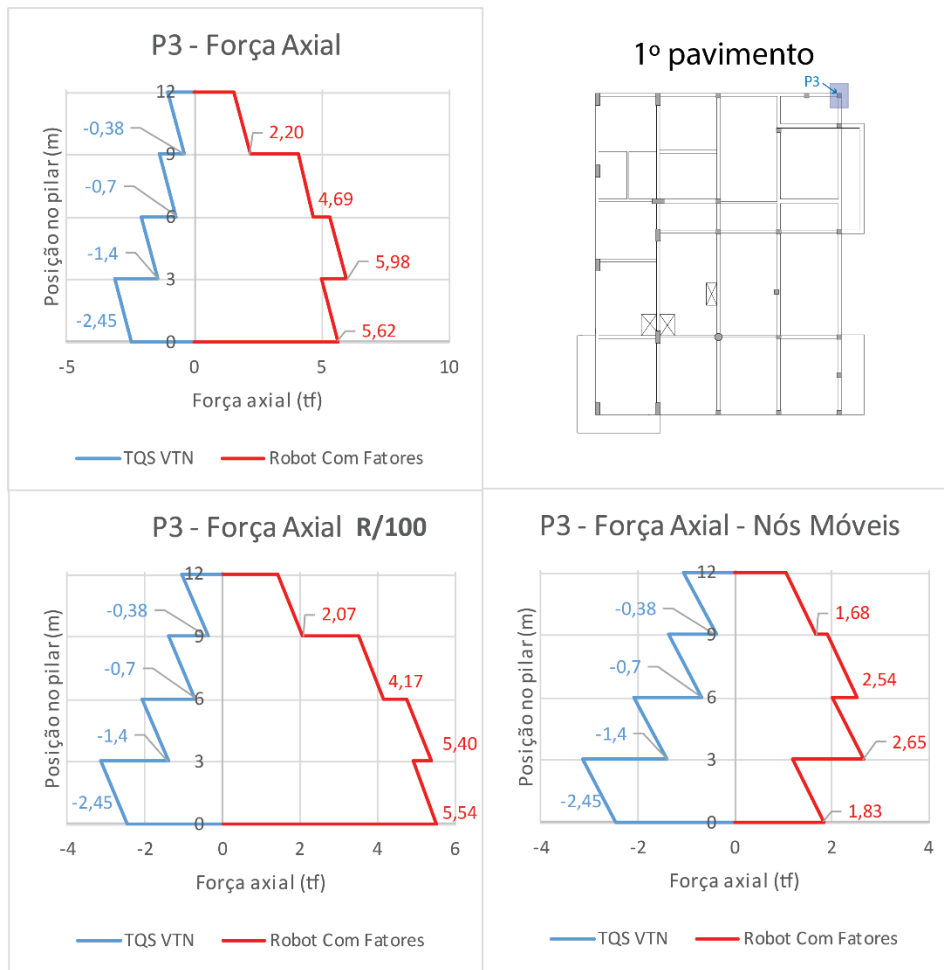
Como citado em 11.2, nos últimos dois modelos para a verificação dos deslocamentos no topo do edifício também se reduziu a rigidez à flexão das lajes, de modo a diminuir a influência destas nos esforços das vigas e pilares.

Nas figuras a seguir podem ser conferidos alguns dos resultados que antes haviam gerado estranhamento assim como os resultados obtidos com os novo modelos, sendo que:

- O nome da peça sem sufixo representa o modelo original no RSA;
- O nome da peça com o sufixo “R/100” representa o modelo apenas com a rigidez à flexão das lajes reduzida;
- O nome da peça com sufixo “Nós Móveis” representa o modelo com a rigidez à flexão de lajes, vigas e pilares reduzida.



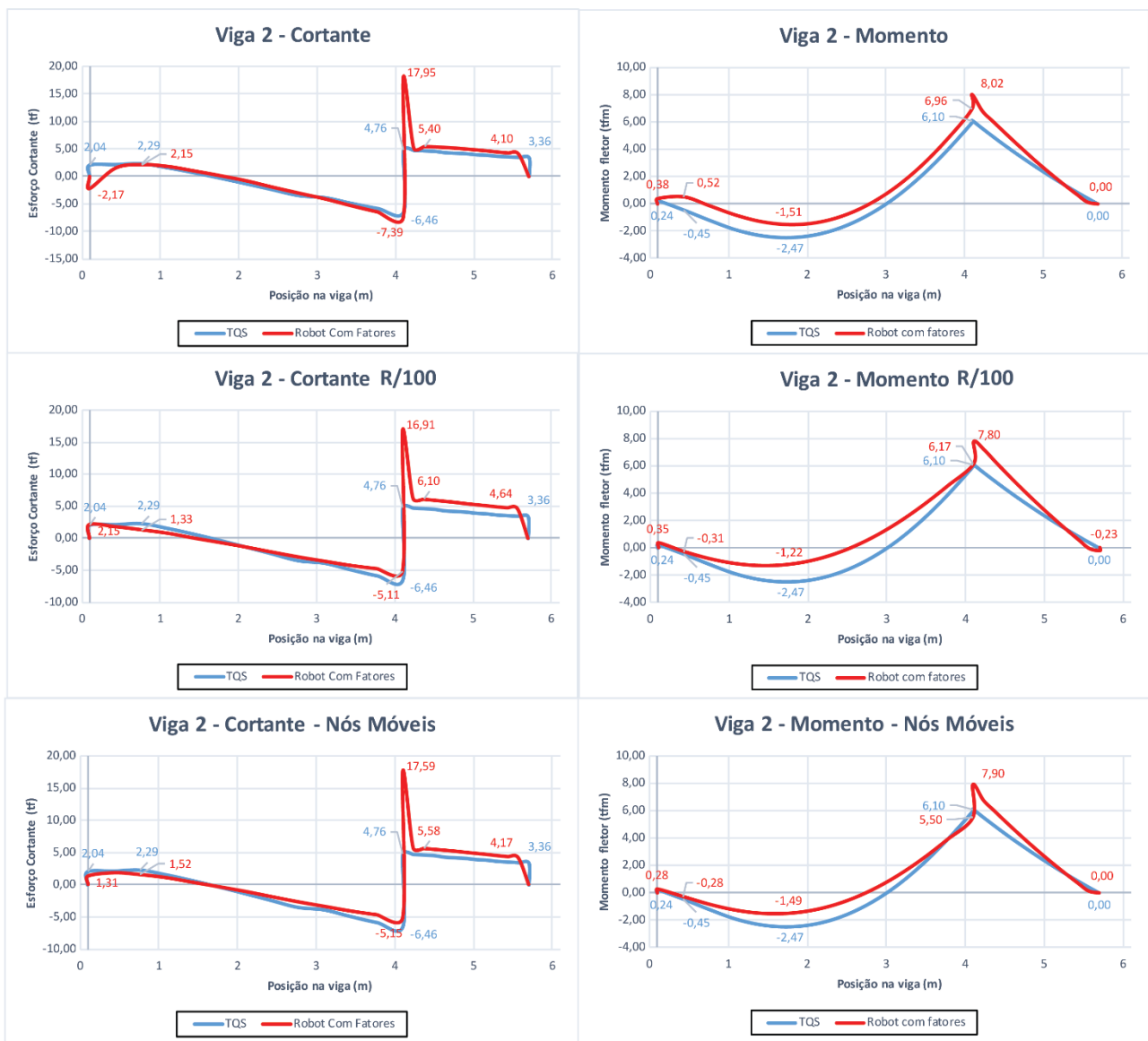
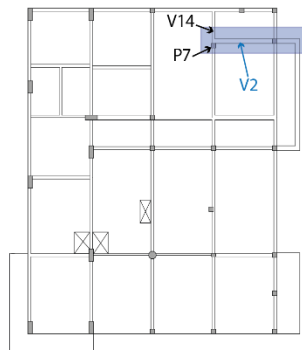
Figura 72 – Forças axiais no pilar P3 nos três modelos com apenas cargas verticais.



(fonte: elaborado pelo autor)

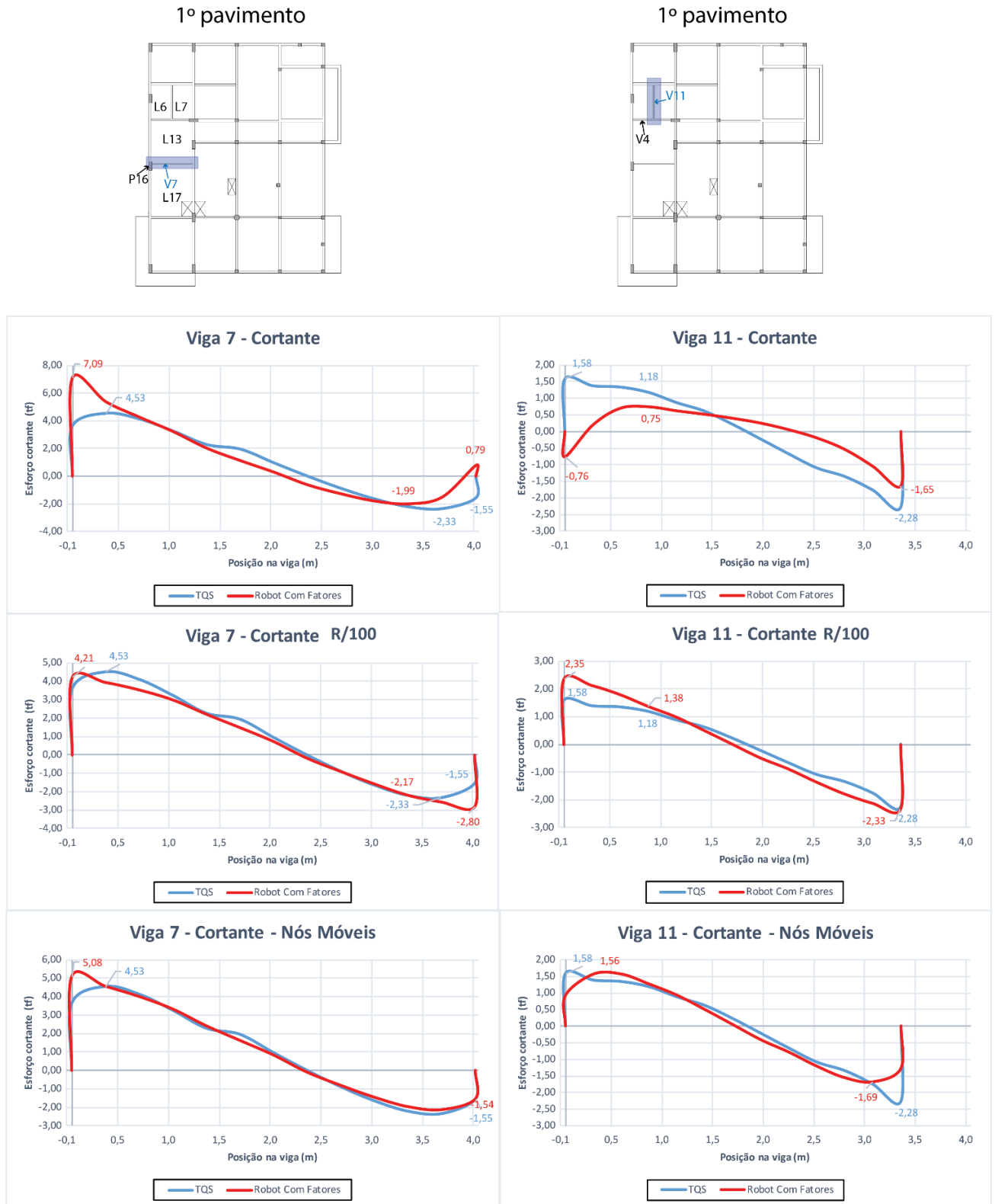
Figura 77 – Cortante e momento fletor da viga V2 nos três modelos com apenas cargas verticais.

1º pavimento



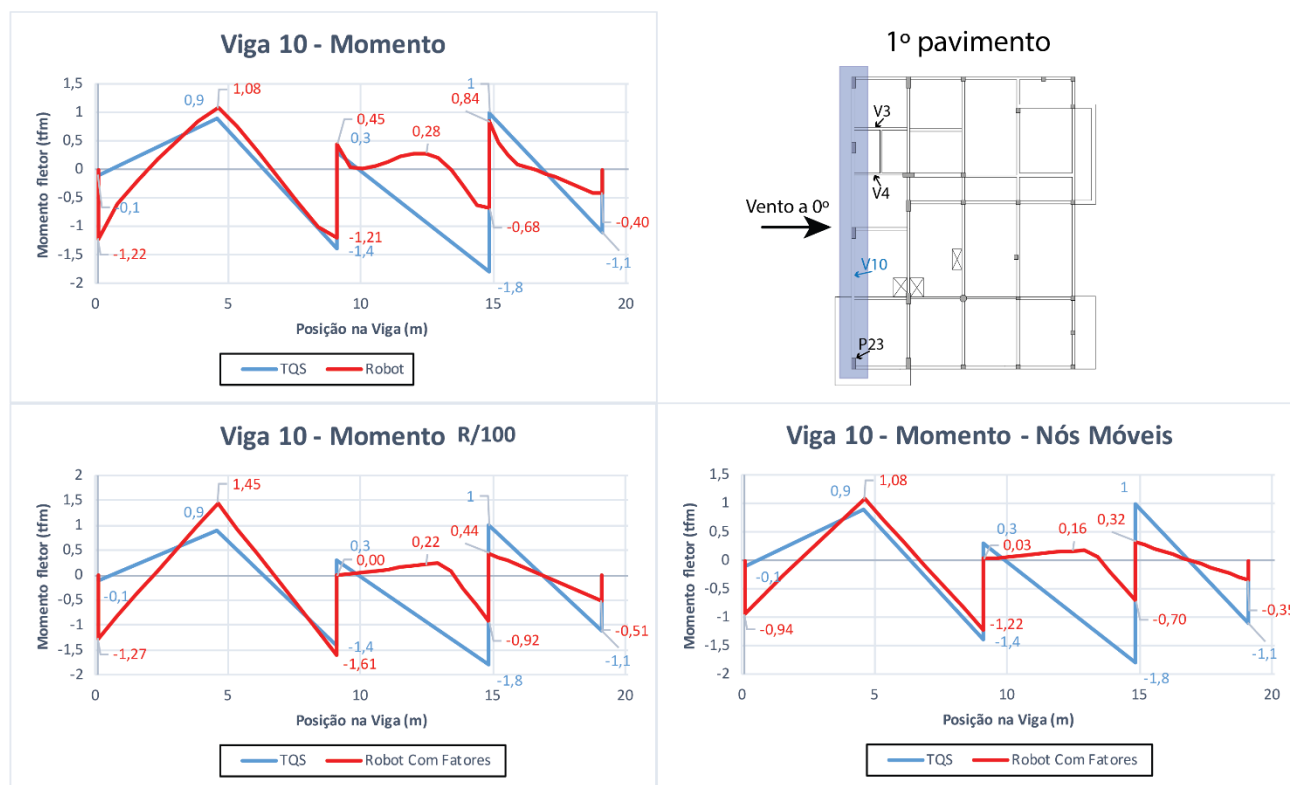
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 78 – Cortante das vigas V7 e V11 nos três modelos com apenas cargas verticais.



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 79 – Cortante e momento fletor da viga V10 nos três modelos com carga de vento a 0°.



(fonte: elaborado pelo autor)

É possível observar que as vigas V2, V7 e V11, todas as quais possuíam algum ponto em que os esforços tinham sinais opostos nos dois programas, ficaram com estes pontos muito semelhantes nos modelos com a rigidez de lajes reduzida, levando a conclusão de que estas diferenças são resultantes da modelagem e cálculo conjunto de lajes e vigas em elementos finitos.

A V10, ao contrário das outras, obteve resultados ainda mais distantes quando analisada com o novo modelo, já o P3 não apresentou esforços na mesma direção, apesar de ter sua variação de força axial entre o primeiro e segundo pavimento reduzida.

Ainda vale ressaltar que na maioria dos pontos dos gráficos os resultados foram mais semelhantes entre o modelo de nós móveis e o TQS do que o modelo apenas com a rigidez à

flexão de lajes reduzida e o TQS, levando a crer que o TQS usa erroneamente o modelo de nós móveis para a análise dos esforços das cargas.

## 13 USABILIDADE DOS SOFTWARES

Além da comparação de resultados e modelagem o autor acha interessante propor também uma avaliação pessoal de experiência do usuário em diferentes aspectos de cada programa, indicando seus pontos positivos e negativos no uso cotidiano, visto que isto também influencia as decisões de um projetista estrutural.

- **Interface do programa**

Na visão do autor o RSA possui uma interface muito mais intuitiva e prática de ser usada quando comparada a do TQS, porém, como citado anteriormente, isto pode ter como causa o autor já possuir certa familiaridade com produtos da Autodesk, a mesma desenvolvedora do RSA. Os menus do RSA dividem claramente as etapas de um processo estrutural tornando a modelagem um passo a passo. No TQS, apesar de também haver uma noção de ordem em que a estrutura deve ser modelada, ela é apresentada de uma forma muito mais desorganizada e não intuitiva.

- **Aprendizado**

Ambos os softwares começaram a ser aprendidos pelo autor ao longo deste trabalho, sendo que julga-se ter havido uma curva de aprendizado muito mais lenta com o TQS do que com o RSA, principalmente pela falta de material do primeiro. Por ser um software usado internacionalmente o RSA possui um grande leque de tópicos abordados em fóruns na língua inglesa, o que facilita muito a retirada de dúvidas tanto em questões comuns quanto em assuntos mais aprofundados. O TQS, por ser um programa focado para o mercado brasileiro, ou seja, um público muito mais restrito, possui muito menos material disponível na internet e acaba tendo desvantagem neste aspecto.

Os dois softwares contam com manuais de introdução que incluem um exemplo prático para a aprendizagem. Na visão do autor, o manual do TQS é desatualizado e diversas vezes desorganizado, apresentando informações e exemplos confusos, enquanto o material do RSA se apresenta mais objetivo e de fácil entendimento. Vale ressaltar que em conjunto com a

versão 21 do TQS a empresa anunciou que estava montando um manual online de maneira mais organizada, porém só houve acesso a este nos últimos dias deste trabalho.

Também é válido citar que, quando houve dúvidas que não puderam ser sanadas pela documentação fornecida do TQS, foi buscado o suporte da empresa por e-mail e a resposta foi muito solícita e clara. Como todas dúvidas quanto ao RSA puderam ser solucionadas online, não foi procurada ajuda no suporte da Autodesk.

- **Modelagem da estrutura**

Ambos os programas permitem a modelagem de maneira extremamente rápida e eficiente, porém o TQS peca um pouco na liberdade que dá ao projetista de escolher os detalhes em sua estrutura. De certa maneira, diversos desses detalhes podem ser alterados nos critérios de projeto, mas ainda assim existem vários entraves os quais não são encontrados no RSA, que por sua vez, devido à toda liberdade dada, torna alguns processos menos automáticos e consequentemente mais lentos.

O RSA possui diversas predefinições de normas estrangeiras, mas não possui nenhuma norma brasileira, enquanto o TQS já é pré-configurado de acordo com as NBRs. Há várias documentações de tentativas de implementação da NBR 6118 manualmente no RSA, porém todas ressaltam que não é possível configurar completamente os aspectos exigidos pela norma.

- **Visualização do modelo e resultados**

Na visão do autor, a visualização tanto do modelo quanto dos resultados é muito superior no RSA, principalmente pelo fato de a maior parte da modelagem ser feita em uma interface gráfica 3D. No TQS toda a modelagem é feita em planos, apenas com a possibilidade de visualização posterior do modelo de barras em 3D.

O RSA ainda permite uma customização gráfica dos resultados muito superior a do TQS, dando liberdade ao usuário de tornar os resultados mais visíveis de acordo com cada estrutura modelada e possibilitando a integração com o Microsoft Excel através de plugins nativos, caso o usuário deseje fazer modificações ou analisar seus dados em uma planilha.

A retirada de dados do TQS se provou extremamente difícil, algumas vezes só era possível obter os resultados das envoltórias em arquivos de texto, visto que os resultados das cargas individuais estavam agregados todos em arquivos de difícil leitura separados por nós da estrutura. Devido a estes empecilhos necessitou-se na maior parte das vezes anotar cada dado manualmente em uma planilha do Excel, trabalho este que, além de tomar muito mais tempo está muito mais propenso a erros do que a extração de dados feita pelo RSA. É importante ressaltar que a extração de dados foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho, embora poucas vezes venha a ser necessária no desenvolvimento de um projeto estrutural através de cada um dos programas avaliados.



## 14 CONCLUSÃO

Após a modelagem em ambos programas e a análise de todos resultados apresentados o autor foi capaz de compreender melhor como cada software funciona, suas ferramentas e seus entraves. De maneira geral o TQS oferece uma gama muito ampla de funcionalidades, muitas delas executadas pelo usuário com extrema facilidade e rapidez, porém o entendimento destas necessita que o usuário busque informações esparsas nos manuais, solicite ajuda do suporte da empresa ou até mesmo infira o método utilizado. Algumas dessas funcionalidades, como a forma em que a carga de vento é aplicada, não foram encontradas em nenhum material e exigiram que o autor deduzisse como era feita a aplicação de acordo com os carregamentos vistos no pórtico. O autor considera essa falta de clareza extremamente prejudicial a um programa o qual se propõe a executar projetos em uma área que exige tanta responsabilidade como a de estruturas, abrindo a possibilidade de usuários inexperientes usarem as ferramentas disponíveis no software de maneira errada.

Dito isto, foi possível constatar que o TQS apresenta um comportamento muito semelhante ao do modelo em elementos finitos na maioria dos dados, pondo em dúvida a credibilidade do modelo apenas em algumas exceções, como a do P3 discutido em 9.2.1 e 12, que em um programa apresenta tração e em outro compressão, nos valores de deslocamento no topo do edifício, calculados como de nós móveis e nos valores de momento superiores aos encontrado pelo RSA nas vigas do primeiro pavimento submetidas à carga vertical.

O TQS deixa claro em seus termos de serviço que é atribuição do usuário verificar a aplicabilidade dos resultados e da conformidade com a norma, visto que não é possível garantir tecnicamente a inexistência de erros, deficiências e não conformidades no programa. Não só o TQS, mas os softwares de cálculo estruturas disponíveis no mercado em geral não isentam o engenheiro da responsabilidade técnica, deste modo é essencial que o usuário conheça não somente as capacidades e limitações do software utilizado, mas também outros meios de análise para que possa ser feita a conferência dos resultados obtidos. Na visão do autor, para que possa se tirar o maior proveito de qualquer programa de cálculo estrutural é necessário que haja grande domínio da teoria por parte do usuário.

Contudo, algumas observações devem ser feitas sobre os resultados encontrados. Devido à forma como o TQS considera as lajes, como uma grelha desacoplada ao pórtico espacial que representa o comportamento de vigas e lajes, certos efeitos verificados no modelo de elementos finitos através do RSA não são contemplados no modelo do TQS. Em particular, a distribuição de esforços em algumas vigas pode ter uma influência considerável na rigidez conjunta da laje em flexão, inexistente na análise do TQS. A inversão de esforços em alguns pilares pode ter consequências bastante graves em projeto. Algumas aproximações e considerações especiais no modelo do TQS se justificam pela complexidade em dimensionar peças de concreto diretamente a partir de resultados de um modelo em Elementos Finitos.

Vale ressaltar que apesar de o método dos elementos finitos ser confiável para uma análise de esforços, ele depende diretamente de como o modelo é feito e, portanto, está sujeito a erros por parte do projetista. Ainda é interessante refletir que houve grande preocupação por parte do autor em colocar muitas configurações incomuns nos elementos estruturais, o que acabou gerando um acúmulo muito grande de erros, tornando difícil visualizar quais eram as suas origens. O autor então coloca como sugestão para um próximo trabalho a criação de modelos mais simplificados, com pavimentos mais regulares, em que seja possível isolar os erros e analisa-los separadamente de modo a os estudar com mais detalhes.

Por fim, a grande disponibilidade de resultados nos apêndices tem como intenção dar a oportunidade para que o leitor analise criticamente os dados obtidos, tirando sua própria conclusão se o programa oferece uma boa análise ou não, de modo a desenvolver também sua sensibilidade estrutural.



## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto - procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

KIMURA, A. **Informática Aplicada em Estruturas de Concreto Armado: Cálculo de Edifícios com o Uso de Sistemas Computacionais**. São Paulo: PINI, 2007.

JONES, D. T. **Analysis and Design of Structures – A Practical Guide to Modeling**: Bentley Institute Press, 2012.

Emkin, L. Z. **Misuse of Computers by Structural Engineers – A Clear and Present Danger**. 1998 – Structural Engineers World Congress, SEWC'98, São Francisco, California, U.S.A.

Desenvolvimento de Sistemas CAD/TQS® 02 – Visão Geral & Exemplo Completo. **TQS Informática Ltda.**, São Paulo

Desenvolvimento de Sistemas CAD/TQS® 03 – Análise Estrutural. **TQS Informática Ltda.**, São Paulo

LORIGGIO, D. D. Projeto Estrutural com o uso de computadores: Influências, análises e interpretações. São Paulo, 2017. Disponível em: <<https://www.eventials.com/mktoaltoqi/projeto-estrutural-com-o-uso-de-computadores-influencias-analises-e-interpretacoes/>>. Acesso em 18 de maio 2018.

ARAÚJO, J. M. **Projeto Estrutural de Edifícios de Concreto Armado**. Rio Grande: Editora Dunas, 2014.

ARAÚJO, J. M. **Curso de Concreto Armado – Volume 1**. Rio Grande: Editora Dunas, 2014.

ARAÚJO, J. M. **Curso de Concreto Armado – Volume 2**. Rio Grande: Editora Dunas, 2014.

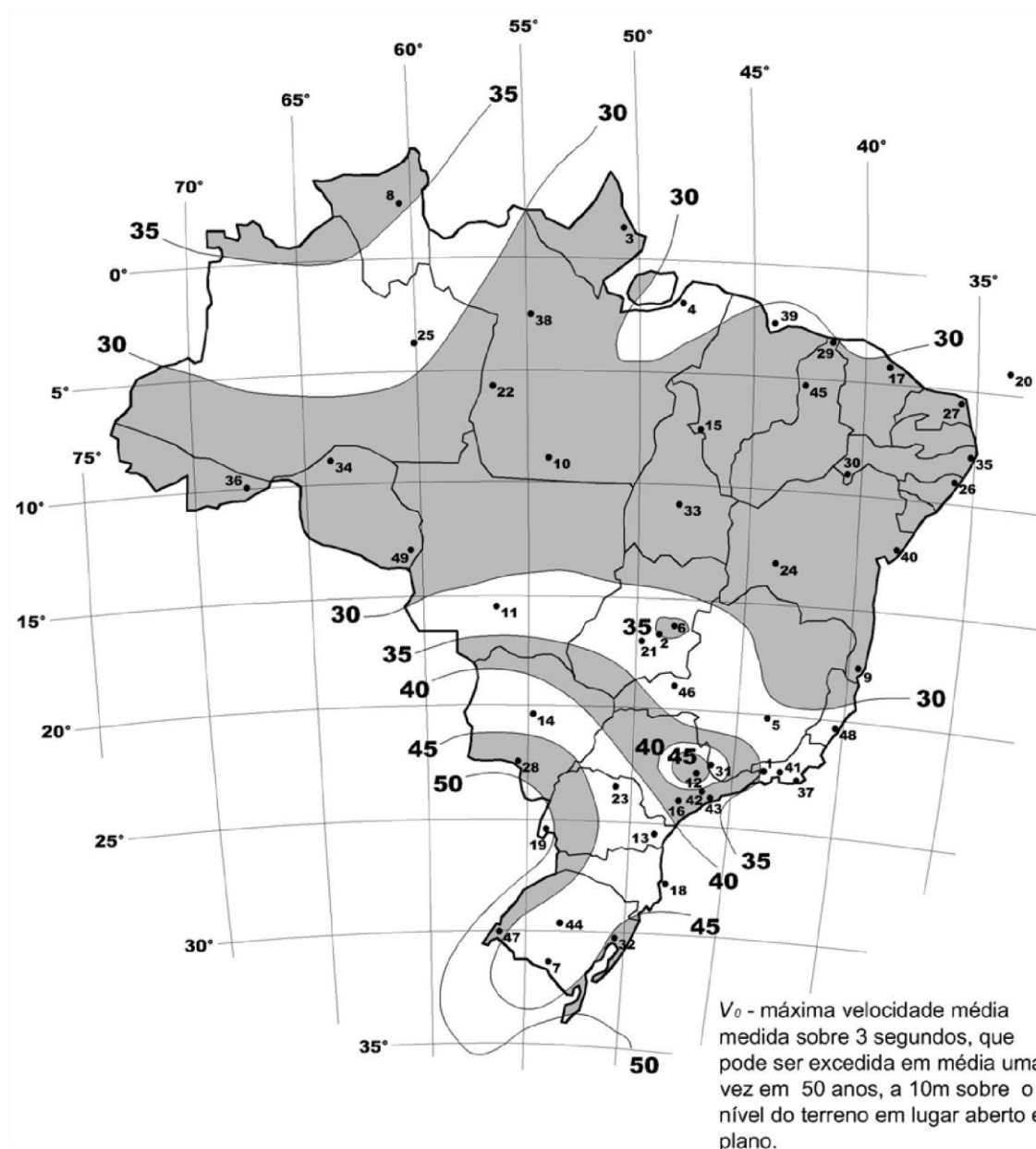
FELIPPA, C. A. (ASEN 6107) **Nonlinear Finite Element Methods – Chapter 9**. University of Colorado, Department of Aerospace Engineering Sciences and Center for Aerospace Structures, Lecture Notes, 2010.

Fórum oficial do Autodesk Robot Structural Analysis. Disponível em: <<https://forums.autodesk.com/t5/robot-structural-analysis-forum/>>

Discussão sobre redução da inércia a torção em vigas. Disponível em: <<http://www.tqs.com.br/suporte-e-servicos/biblioteca-digital-tqs/68-vigas/117-torca-de-compatibilidade-nbr-61182003>>



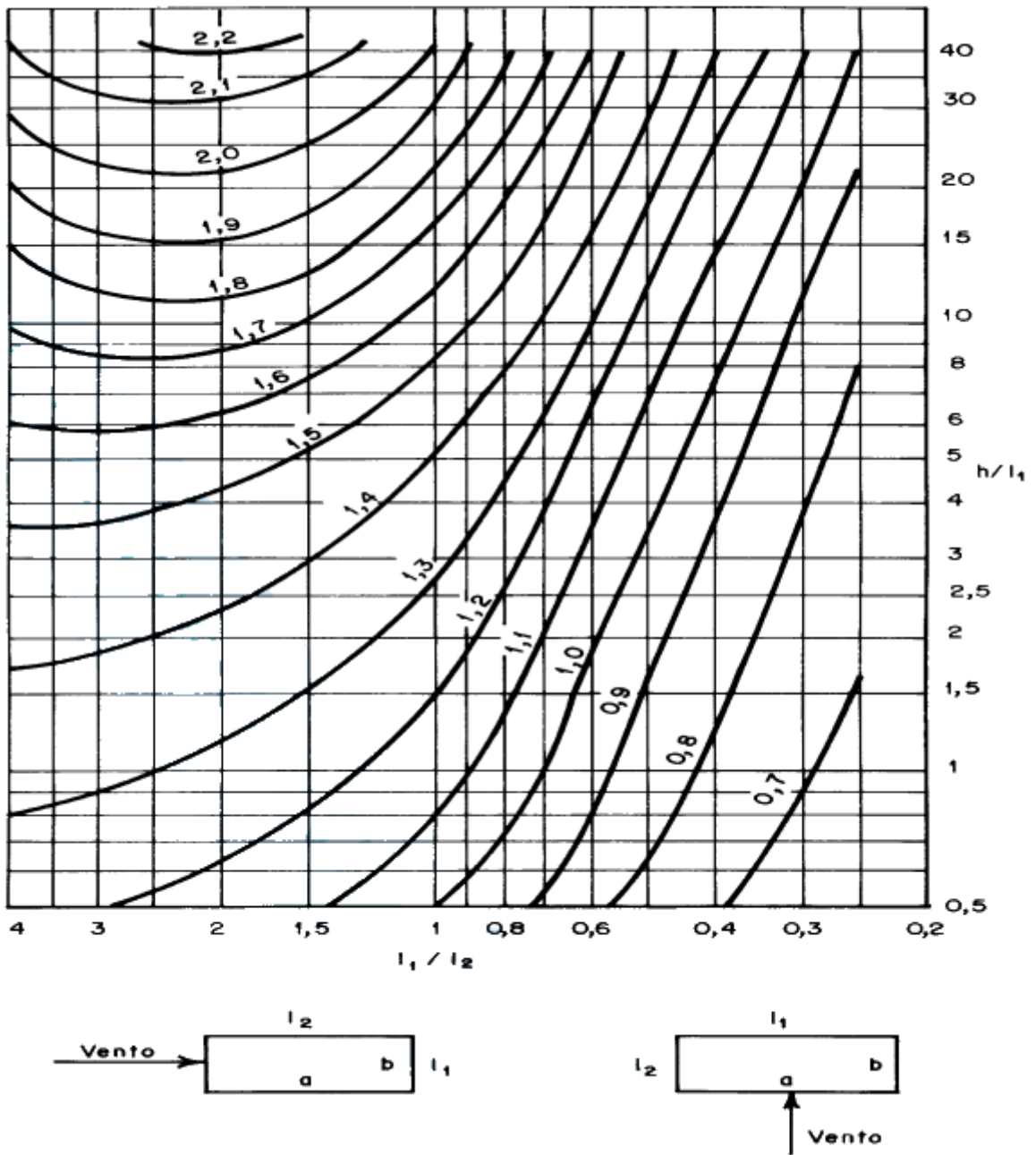
## **ANEXO A – Isopletas da velocidade básica $V_o$**



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 6)

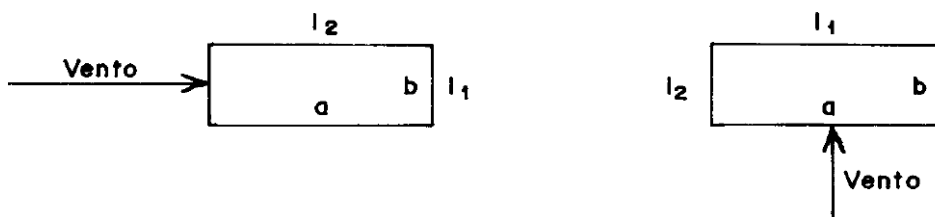
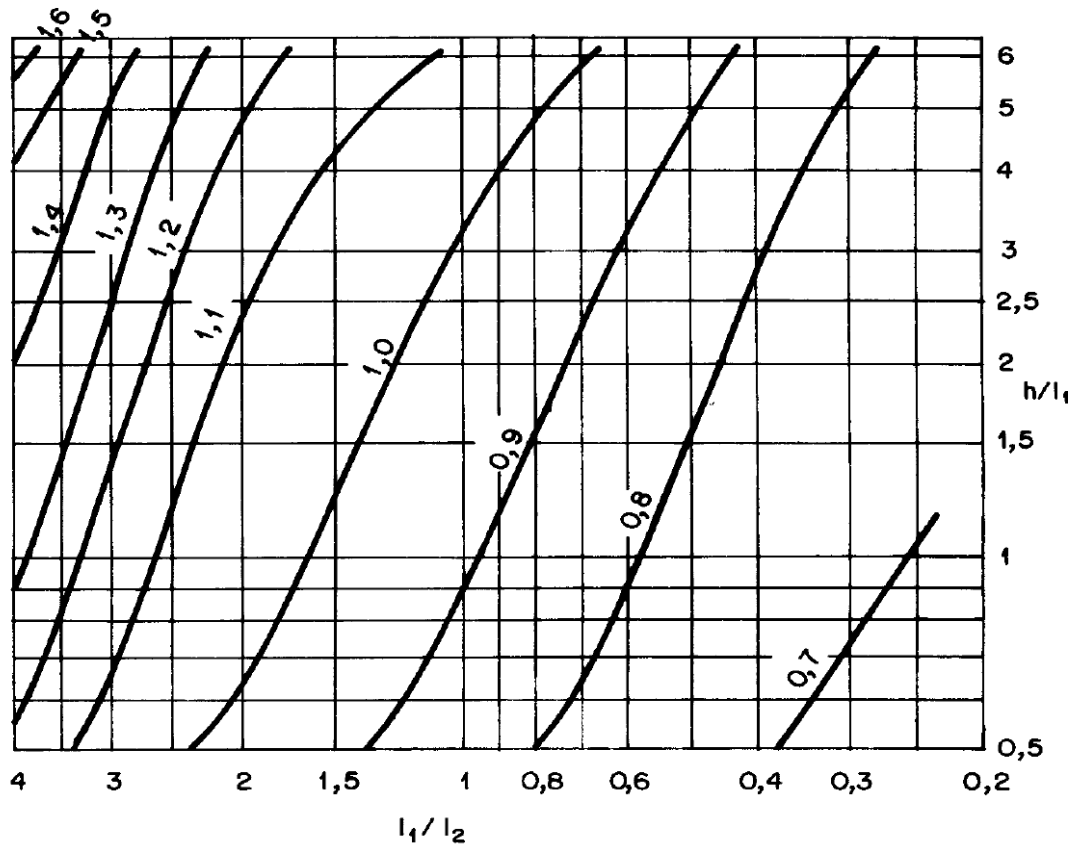
**ANEXO B – Coeficiente de arrasto,  $C_a$ , para edificações paralelepípedicas  
em vento de baixa turbulência**





(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 20)

**ANEXO C – Coeficiente de arrasto,  $C_a$ , para edificações paralelepípedicas  
em vento de alta turbulência**

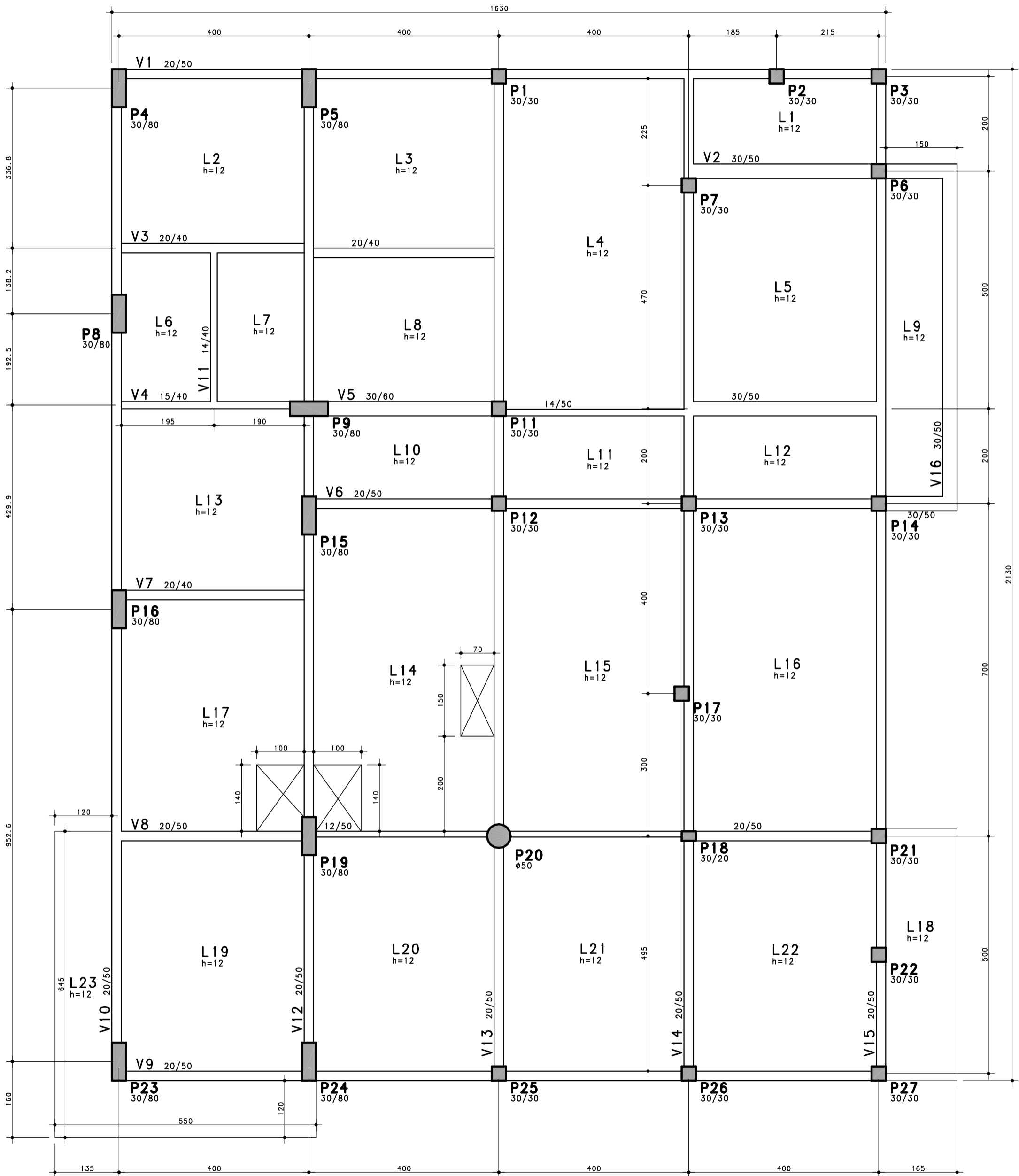


(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 24)

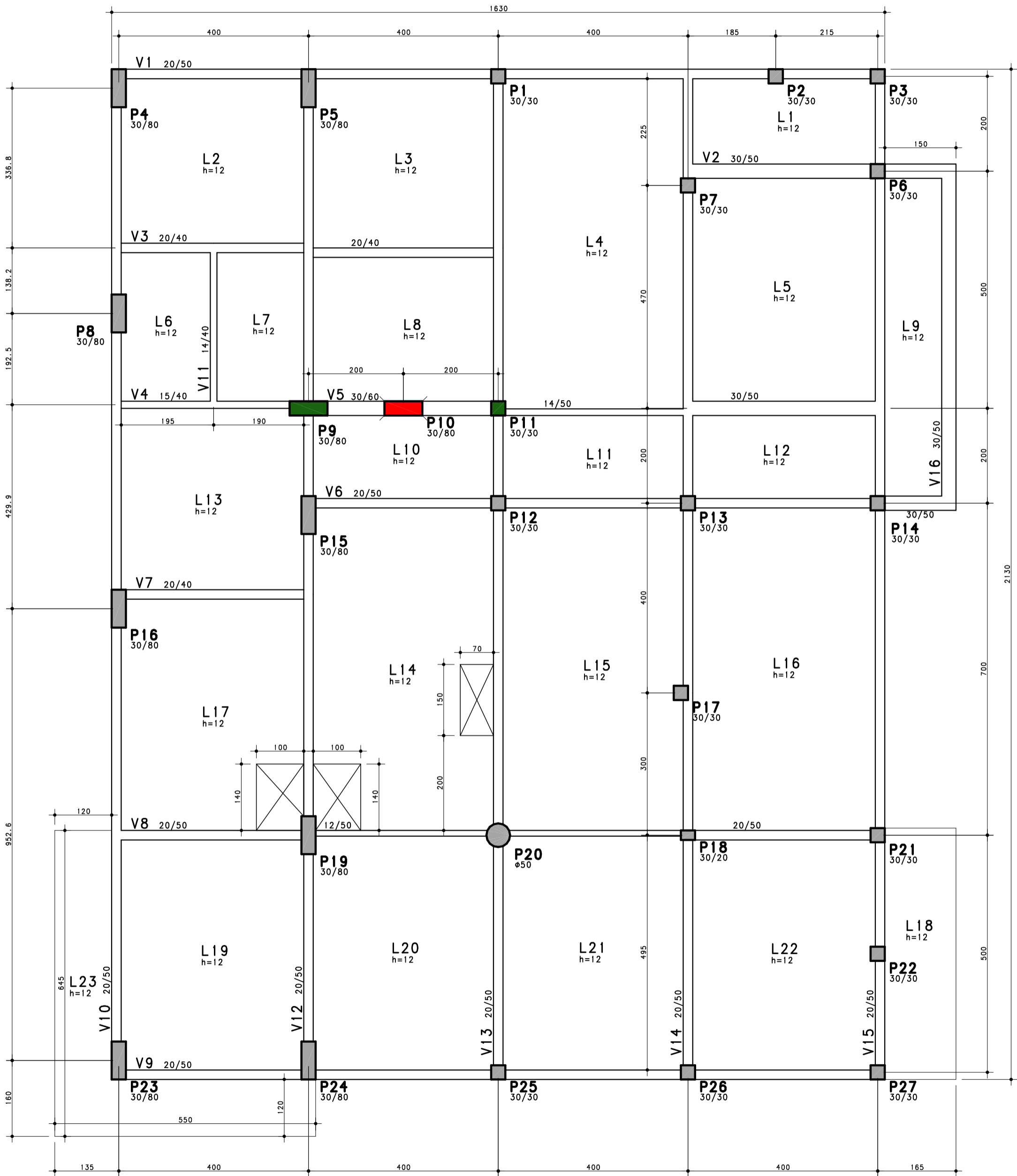
## **APÊNDICE 1 – Plantas baixas da edificação**



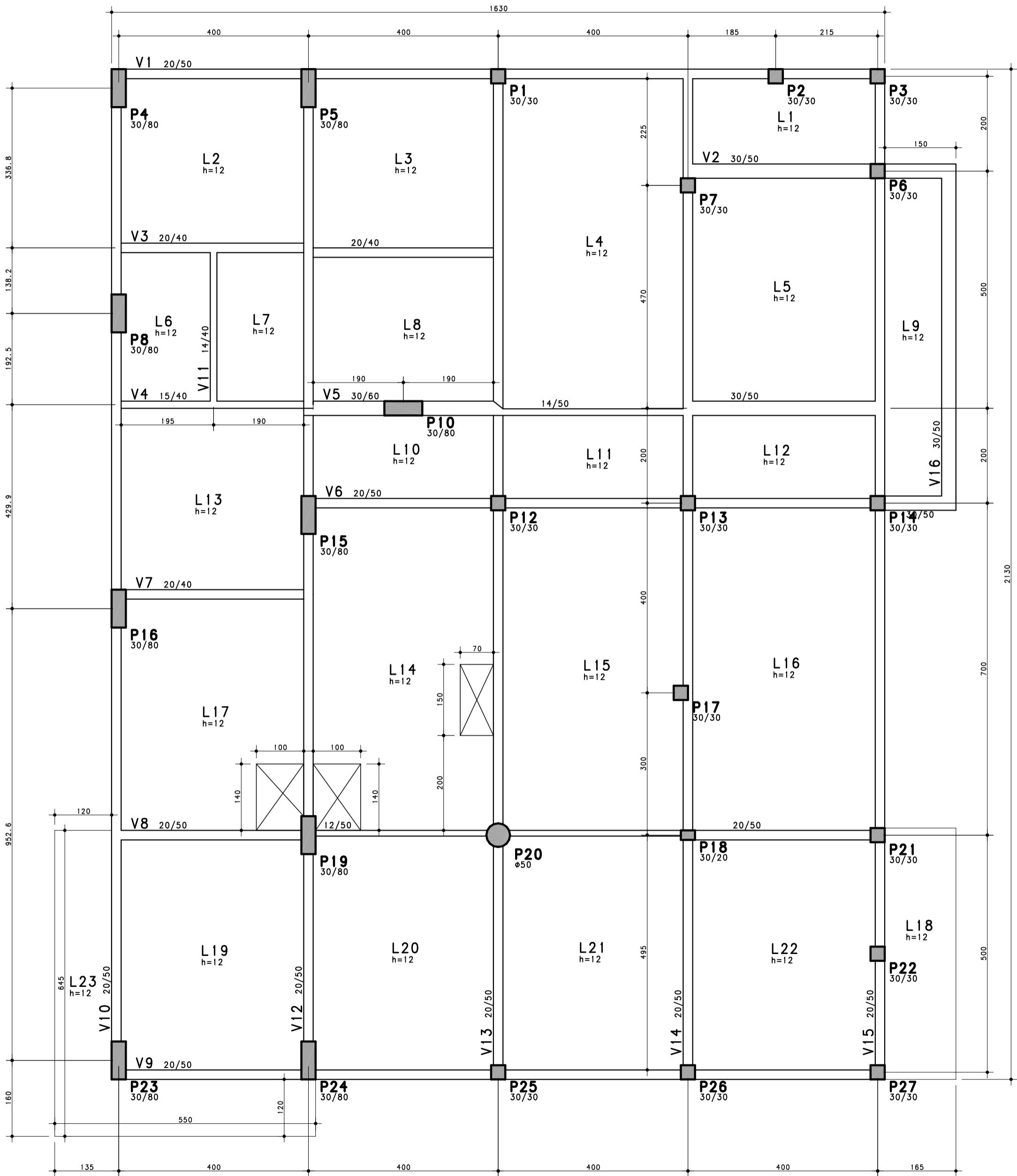
# 1º Pavimento



# 2º Pavimento

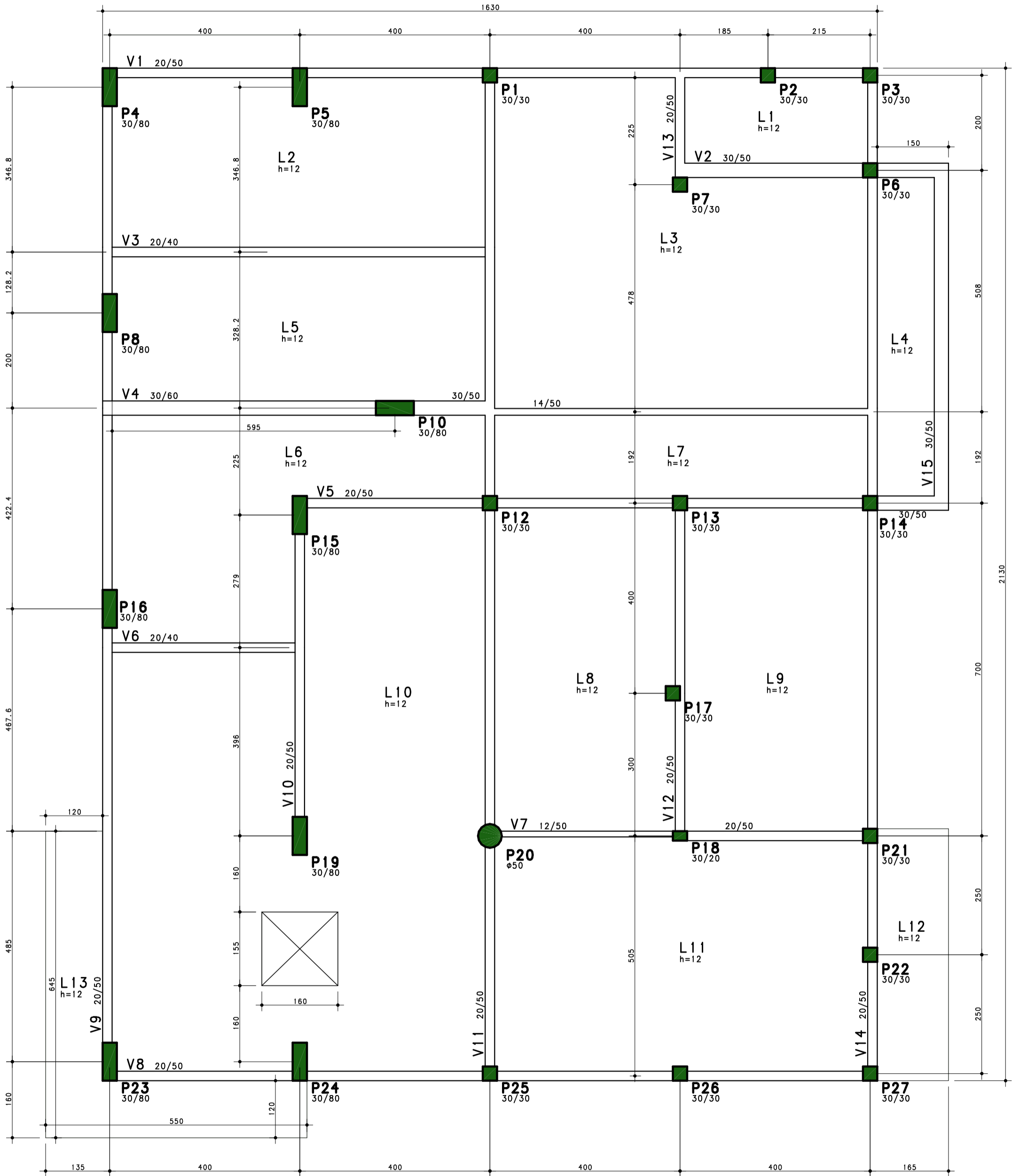


# 3º Pavimento



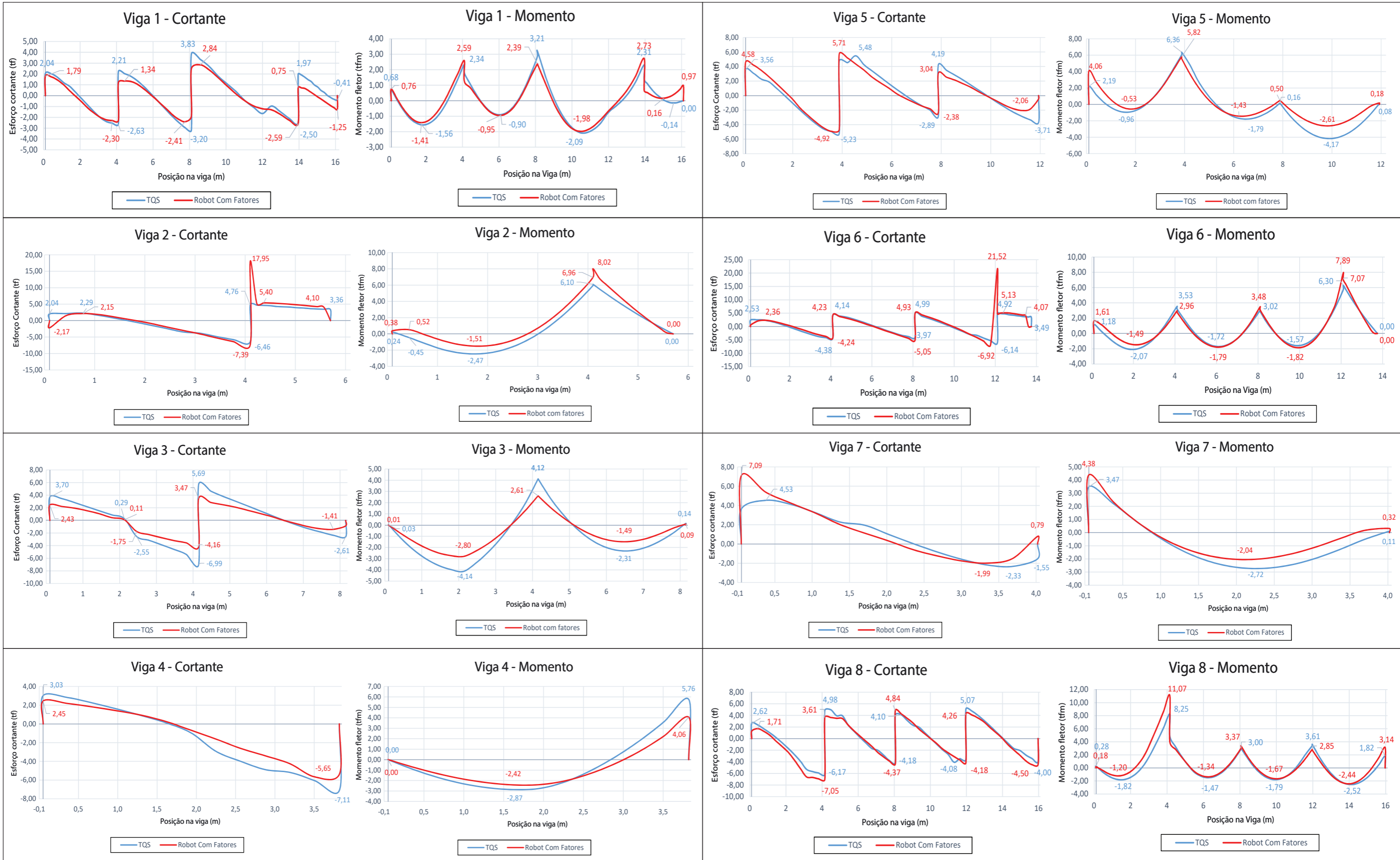


# Cobertura

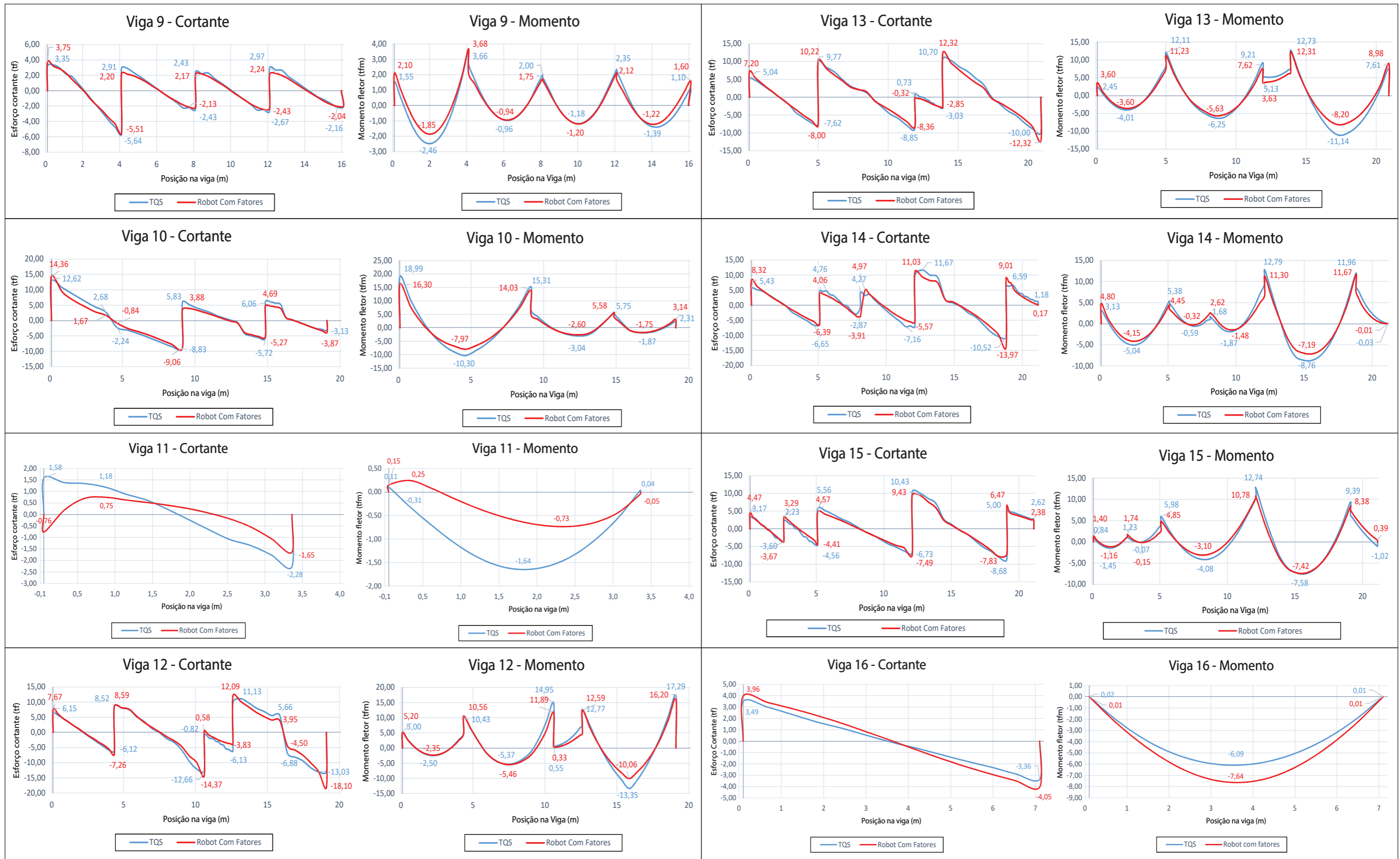


**APÊNDICE 2 – Gráficos e tabelas de solicitações nas vigas submetidas  
apenas à carga vertical**

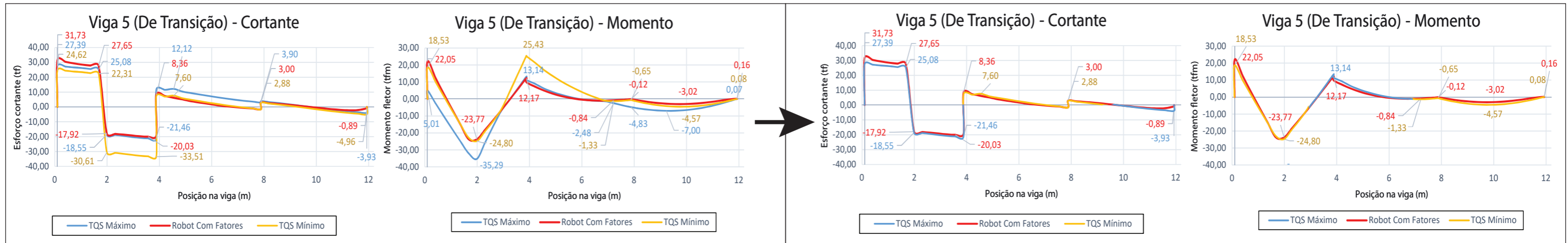
# 1º Pavimento - Viga 1 a 8



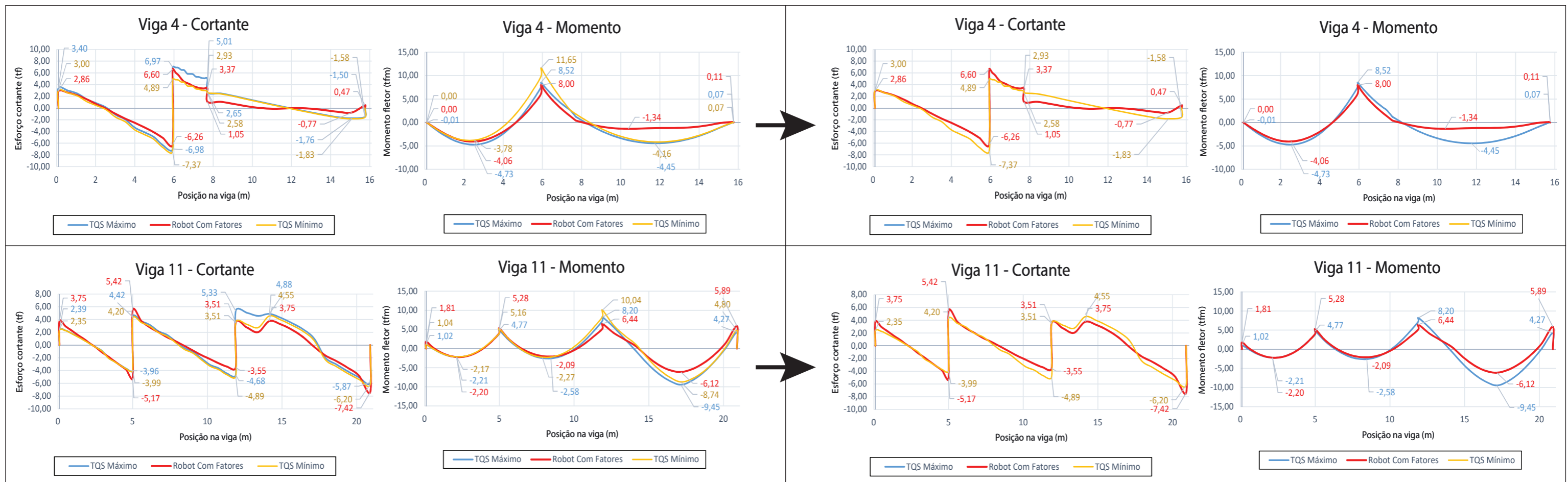
# 1º Pavimento - Viga 9 a 16



# 2º Pavimento - Viga 5



# Cobertura - Vigas 4 e 11





# 1º Pavimento

Viga	Software	Picos de Cortante							
1	TQS (tf)	2,04	-2,63	2,21	-3,2	3,83	-2,5	1,97	-0,41
	Robot c/ Fat. (tf)	1,79	-2,3	1,34	-2,41	2,84	-2,59	0,75	-1,25
	Diferença (tf)	0,25	0,33	0,87	0,79	0,99	-0,09	1,22	-0,84
	Diferença (%)	14%	14%	65%	33%	35%	-3%	163%	-67%
2	TQS (tf)	2,04	2,29	-6,46	4,76	3,36			
	Robot c/ Fat. (tf)	-2,17	2,15	-7,39	5,4	4,1			
	Diferença (tf)	4,21	0,14	-0,93	-0,64	-0,74			
	Diferença (%)	-194%	7%	-13%	-12%	-18%			
3	TQS (tf)	3,7	0,29	-2,55	-6,99	5,69	-2,61		
	Robot c/ Fat. (tf)	2,43	0,11	-1,75	-4,16	3,47	-1,41		
	Diferença (tf)	1,27	0,18	0,8	2,83	2,22	1,2		
	Diferença (%)	52%	164%	46%	68%	64%	85%		
4	TQS (tf)	3,03	-7,11						
	Robot c/ Fat. (tf)	2,45	-5,65						
	Diferença (tf)	0,58	1,46						
	Diferença (%)	24%	26%						
5	TQS (tf)	3,56	-5,23	5,48	-2,89	4,19	-3,71		
	Robot c/ Fat. (tf)	4,58	-4,92	5,71	-2,38	3,04	-2,06		
	Diferença (tf)	-1,02	0,31	-0,23	0,51	1,15	1,65		
	Diferença (%)	-22%	6%	-4%	21%	38%	80%		
6	TQS (tf)	2,53	-4,38	4,14	-3,97	4,99	-6,14	4,92	3,49
	Robot c/ Fat. (tf)	2,36	-4,24	4,23	-5,05	4,93	-6,92	5,13	4,07
	Diferença (tf)	0,17	0,14	-0,09	-1,08	0,06	-0,78	-0,21	-0,58
	Diferença (%)	7%	3%	-2%	-21%	1%	-11%	-4%	-14%
7	TQS (tf)	4,53	-2,33	-1,55					
	Robot c/ Fat. (tf)	7,09	-1,99	0,79					
	Diferença (tf)	-2,56	0,34	2,34					
	Diferença (%)	-36%	17%	-296%					
8	TQS (tf)	2,62	-6,17	4,98	-4,18	4,1	-4,08	5,07	-4
	Robot c/ Fat. (tf)	1,71	-7,05	3,61	-4,37	4,84	-4,18	4,26	-4,5
	Diferença (tf)	0,91	-0,88	1,37	-0,19	-0,74	-0,1	0,81	-0,5
	Diferença (%)	53%	-12%	38%	-4%	-15%	-2%	19%	-11%

# 1º Pavimento

Viga	Software	Picos de Cortante									
9	TQS (tf)	3,35	-5,64	2,91	-2,43	2,43	-2,67	2,97	-2,16		
	Robot c/ Fat. (tf)	3,75	-5,51	2,2	-2,13	2,17	-2,43	2,24	-2,04		
	Diferença (tf)	-0,4	0,13	0,71	0,3	0,26	0,24	0,73	0,12		
	Diferença (%)	-11%	2%	32%	14%	12%	10%	33%	6%		
10	TQS (tf)	12,62	2,68	-2,24	-8,83	5,83	-5,72	6,06	-3,13		
	Robot c/ Fat. (tf)	14,36	1,67	-0,84	-9,06	3,88	-5,27	4,69	-3,87		
	Diferença (tf)	-1,74	1,01	1,4	-0,23	1,95	0,45	1,37	-0,74		
	Diferença (%)	-12%	60%	167%	-3%	50%	9%	29%	-19%		
11	TQS (tf)	1,58	1,18	-2,28							
	Robot c/ Fat. (tf)	-0,76	0,75	-1,65							
	Diferença (tf)	0,82	0,43	0,63							
	Diferença (%)	-308%	57%	38%							
12	TQS (tf)	6,15	-6,12	8,52	-12,66	-0,82	-6,13	11,13	5,66	-6,88	-12,87
	Robot c/ Fat. (tf)	7,67	-7,26	8,59	-14,37	-0,58	-3,83	12,09	3,95	-4,5	-18,1
	Diferença (tf)	-1,52	-1,14	-0,07	-1,71	0,24	2,3	-0,96	1,71	2,38	-5,23
	Diferença (%)	-20%	-16%	-1%	-12%	41%	60%	-8%	43%	53%	-29%
13	TQS (tf)	5,04	-7,62	9,77	-8,85	0,73	-3,03	10,7	-10		
	Robot c/ Fat. (tf)	7,2	-8	10,22	-8,36	-0,32	-2,85	12,32	-12,32		
	Diferença (tf)	-2,16	-0,38	-0,45	0,49	1,05	0,18	-1,62	-2,32		
	Diferença (%)	-30%	-5%	-4%	6%	-328%	6%	-13%	-19%		
14	TQS (tf)	5,43	-6,65	4,76	-2,87	4,27	-7,16	11,67	-10,52	6,59	1,18
	Robot c/ Fat. (tf)	8,32	-6,39	4,06	-3,91	4,97	-5,57	11,03	-13,97	9,01	0,17
	Diferença (tf)	-2,89	0,26	0,7	-1,04	-0,7	1,59	0,64	-3,45	-2,42	1,01
	Diferença (%)	-35%	4%	17%	-27%	-14%	29%	6%	-25%	-27%	594%
15	TQS (tf)	3,17	-3,6	2,23	-4,56	5,56	-6,73	10,43	-8,68	5	2,62
	Robot c/ Fat. (tf)	4,47	-3,67	3,29	-4,41	4,57	-7,49	9,43	-7,83	6,47	2,38
	Diferença (tf)	-1,3	-0,07	-1,06	0,15	0,99	-0,76	1	0,85	-1,47	0,24
	Diferença (%)	-29%	-2%	-32%	3%	22%	-10%	11%	11%	-23%	10%
16	TQS (tf)	3,49	-3,36								
	Robot c/ Fat. (tf)	3,96	-4,05								
	Diferença (tf)	-0,47	-0,69								
	Diferença (%)	-12%	-17%								

# 2º Pavimento

Viga	Software	Picos de Cortante						
5	TQS Máximo (tf)	27,39	25,08	-18,55	-21,46	12,12	3,9	-3,93
	Robot c/ Fat. (tf)	31,73	27,65	-17,92	-20,03	8,36	3	-0,89
	Diferença (tf)	-4,34	-2,57	0,63	1,43	3,76	0,9	3,04
	Diferença (%)	-14%	-9%	4%	7%	45%	30%	342%
5	TQS Mínimo (tf)	24,62	22,31	-30,61	-33,51	7,6	2,88	-4,96
	Robot c/ Fat. (tf)	31,73	27,65	-17,92	-20,03	8,36	3	-0,89
	Diferença (tf)	-7,11	-5,34	12,69	13,48	-0,76	-0,12	4,07
	Diferença (%)	-22%	-19%	71%	67%	-9%	-4%	457%

# Cobertura

Viga	Software	Picos de Cortante						
4	TQS Máximo (tf)	3,4	-6,98	6,97	5,01	2,65	-1,76	-1,5
	Robot c/ Fat. (tf)	2,86	-6,26	6,6	3,37	1,05	-0,77	0,47
	Diferença (tf)	0,54	0,72	0,37	1,64	1,6	0,99	1,97
	Diferença (%)	19%	12%	6%	49%	152%	129%	-419%
4	TQS Mínimo (tf)	3	-7,37	4,89	2,93	2,58	-1,83	-1,58
	Robot c/ Fat. (tf)	2,86	-6,26	6,6	3,37	1,05	-0,77	0,47
	Diferença (tf)	0,14	1,11	-1,71	-0,44	1,53	1,06	2,05
	Diferença (%)	5%	18%	-26%	-13%	146%	138%	-436%
11	TQS Máximo (tf)	2,39	-3,96	4,42	-4,68	5,33	4,88	-5,87
	Robot c/ Fat. (tf)	3,75	-5,17	5,42	-3,55	3,51	3,75	-7,42
	Diferença (tf)	-1,36	-1,21	-1	1,13	1,82	1,13	-1,55
11	TQS Mínimo (tf)	2,35	-3,99	4,2	-4,89	3,51	4,55	-6,2
	Robot c/ Fat. (tf)	3,75	-5,17	5,42	-3,55	3,51	3,75	-7,42
	Diferença (tf)	-1,4	-1,18	-1,22	1,34	0	0,8	-1,22
	Diferença (%)	-37%	-23%	-23%	38%	0%	21%	-16%

# 1º Pavimento

Viga	Software	Picos de Momento (tfm)								
1	TQS (tfm)	0,68	-1,56	2,34	-0,9	3,21	-2,09	2,31	-0,14	0
	Robot c/ Fat. (tfm)	0,76	-1,41	2,59	-0,95	2,39	-1,98	2,73	0,16	0,97
	Diferença (tfm)	-0,08	0,15	-0,25	-0,05	0,82	0,11	-0,42	0,3	-0,97
	Diferença (%)	-11%	11%	-10%	-5%	34%	6%	-15%	-188%	-100%
2	TQS (tfm)	0,24	-0,45	-2,47	6,1	0				
	Robot c/ Fat. (tfm)	0,38	0,52	-1,51	6,96	0				
	Diferença (tfm)	-0,14	0,97	0,96	-0,86	0				
	Diferença (%)	-37%	-187%	64%	-12%	0%				
3	TQS (tfm)	0,03	-4,14	4,12	-2,31	0,14				
	Robot c/ Fat. (tfm)	0,01	-2,8	2,61	-1,49	0,09				
	Diferença (tfm)	0,02	1,34	1,51	0,82	0,05				
	Diferença (%)	200%	48%	58%	55%	56%				
4	TQS (tfm)	0	-2,87	5,76						
	Robot c/ Fat. (tfm)	0	-2,42	4,06						
	Diferença (tfm)	0	0,45	1,7						
	Diferença (%)	0%	19%	42%						
5	TQS (tfm)	2,19	-0,96	6,36	-1,79	0,16	-4,17	0,08		
	Robot c/ Fat. (tfm)	4,06	-0,53	5,82	-1,43	0,5	-2,61	0,18		
	Diferença (tfm)	-1,87	0,43	0,54	0,36	-0,34	1,56	-0,1		
	Diferença (%)	-46%	81%	9%	25%	-68%	60%	-56%		
6	TQS (tfm)	1,18	-2,07	3,53	-1,72	3,02	-1,57	6,3	0	
	Robot c/ Fat. (tfm)	1,61	-1,49	2,96	-1,79	3,48	-1,82	7,07	0	
	Diferença (tfm)	-0,43	0,58	0,57	-0,07	-0,46	-0,25	-0,77	0	
	Diferença (%)	-27%	39%	19%	-4%	-13%	-14%	-11%	0%	
7	TQS (tfm)	3,47	-2,72	0,11						
	Robot c/ Fat. (tfm)	4,38	-2,04	0,32						
	Diferença (tfm)	-0,91	0,68	-0,21						
	Diferença (%)	-21%	33%	-66%						
8	TQS (tfm)	0,28	-1,82	8,25	-1,47	3	-1,79	3,61	-2,52	1,82
	Robot c/ Fat. (tfm)	0,18	-1,2	11,07	-1,34	3,37	-1,67	2,85	-2,44	3,14
	Diferença (tfm)	0,1	0,62	-2,82	0,13	-0,37	0,12	0,76	0,08	-1,32
	Diferença (%)	56%	52%	-25%	10%	-11%	7%	27%	3%	-42%

# 1º Pavimento

Viga	Software	Picos de Momento (tfm)								
9	TQS (tfm)	1,55	-2,46	3,66	-0,96	2	-1,18	2,35	-1,39	1,1
	Robot c/ Fat. (tfm)	2,1	-1,85	3,68	-0,94	1,75	-1,2	2,12	-1,22	1,6
	Diferença (tfm)	-0,55	0,61	-0,02	0,02	0,25	-0,02	0,23	0,17	-0,5
	Diferença (%)	-26%	33%	-1%	2%	14%	-2%	11%	14%	-31%
10	TQS (tfm)	18,99	-10,3	15,31	-3,04	5,75	-1,87	2,31		
	Robot c/ Fat. (tfm)	16,3	-7,97	14,03	-2,6	5,58	-1,75	3,14		
	Diferença (tfm)	2,69	2,33	1,28	0,44	0,17	0,12	-0,83		
	Diferença (%)	17%	29%	9%	17%	3%	7%	-26%		
11	TQS (tfm)	0,11	-0,31	-1,64	0,04					
	Robot c/ Fat. (tfm)	0,15	0,25	-0,73	-0,05					
	Diferença (tfm)	-0,04	0,56	0,91	0,09					
	Diferença (%)	-27%	-224%	125%	-180%					
12	TQS (tfm)	5	-2,5	10,43	-5,37	14,95	0,55	12,77	-13,53	17,29
	Robot c/ Fat. (tfm)	5,2	-2,35	10,56	-5,46	11,89	0,33	12,59	-10,06	16,2
	Diferença (tfm)	-0,2	0,15	-0,13	-0,09	3,06	0,22	0,18	3,47	1,09
	Diferença (%)	-4%	6%	-1%	-2%	26%	67%	1%	34%	7%
13	TQS (tfm)	2,45	-4,01	12,11	-6,25	9,21	5,13	12,73	-11,14	7,61
	Robot c/ Fat. (tfm)	3,6	-3,6	11,23	-5,63	7,62	3,63	12,31	-8,2	8,98
	Diferença (tfm)	-1,15	0,41	0,88	0,62	1,59	1,5	0,42	2,94	-1,37
	Diferença (%)	-32%	11%	8%	11%	21%	41%	3%	36%	-15%
14	TQS (tfm)	3,13	-5,04	5,38	-0,59	1,68	-1,87	12,79	-8,76	11,96
	Robot c/ Fat. (tfm)	4,8	-4,15	4,45	-0,32	2,62	-1,48	11,3	-7,19	11,67
	Diferença (tfm)	-1,67	0,89	0,93	0,27	-0,94	0,39	1,49	1,57	0,29
	Diferença (%)	-35%	21%	21%	84%	-36%	26%	13%	22%	2%
15	TQS (tfm)	0,84	-1,45	1,23	-0,07	5,98	-4,08	12,74	-7,58	9,39
	Robot c/ Fat. (tfm)	1,4	-1,16	1,74	-0,15	4,85	-3,1	10,78	-7,42	8,38
	Diferença (tfm)	-0,56	0,29	-0,51	-0,08	1,13	0,98	1,96	0,16	1,01
	Diferença (%)	-40%	25%	-29%	-53%	23%	32%	18%	2%	12%
16	TQS (tfm)	0,02	-6,09	0,01						
	Robot c/ Fat. (tfm)	0,01	-7,64	0,01						
	Diferença (tfm)	0,01	-1,55	0						
	Diferença (%)	100%	-20%	0%						

# 2º Pavimento

Viga	Software	Picos de Momento (tfm)						
5	TQS (tfm)	5,01	-35,29	13,14	-2,48	-4,83	-7	0,07
	Robot c/ Fat. (tfm)	22,05	-23,77	12,17	-0,84	-0,12	-3,02	0,16
	Diferença (tfm)	-17,04	11,52	0,97	1,64	4,71	3,98	-0,09
	Diferença (%)	-77%	48%	8%	195%	3925%	132%	-56%
5	TQS (tfm)	18,53	-24,8	25,43	-1,33	-0,65	-4,57	0,08
	Robot c/ Fat. (tfm)	22,05	-23,77	12,17	-0,84	-0,12	-3,02	0,16
	Diferença (tfm)	-3,52	1,03	13,26	0,49	0,53	1,55	-0,08
	Diferença (%)	-16%	4%	109%	58%	442%	51%	-50%

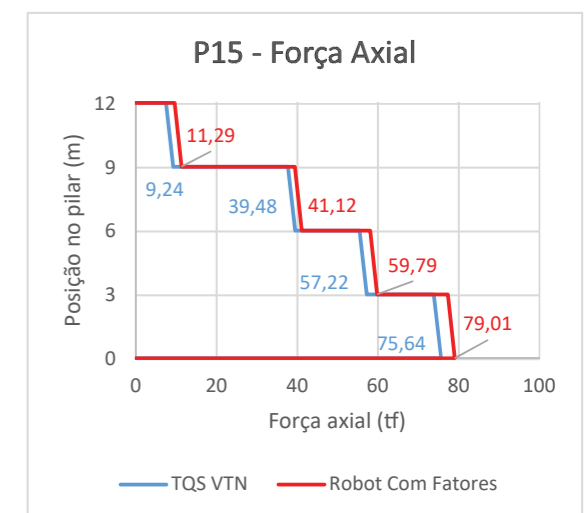
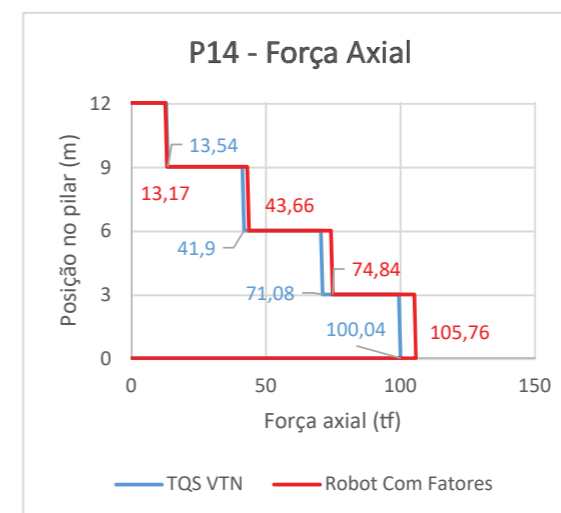
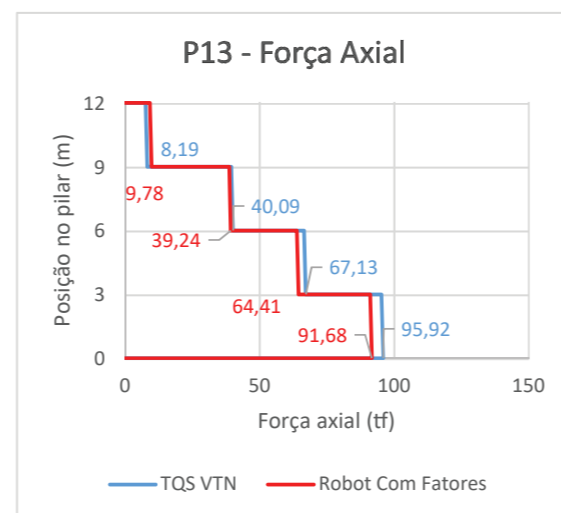
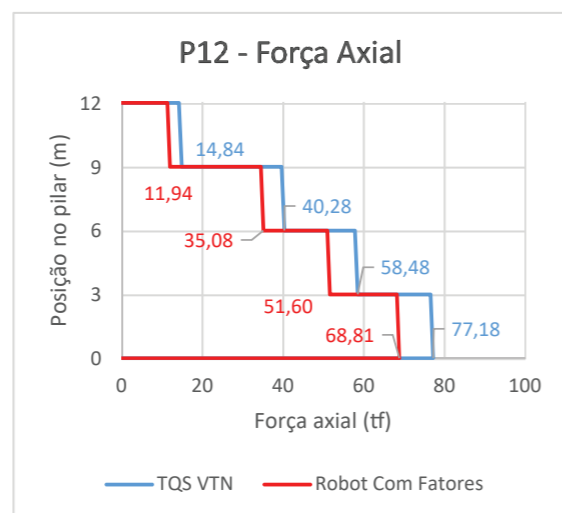
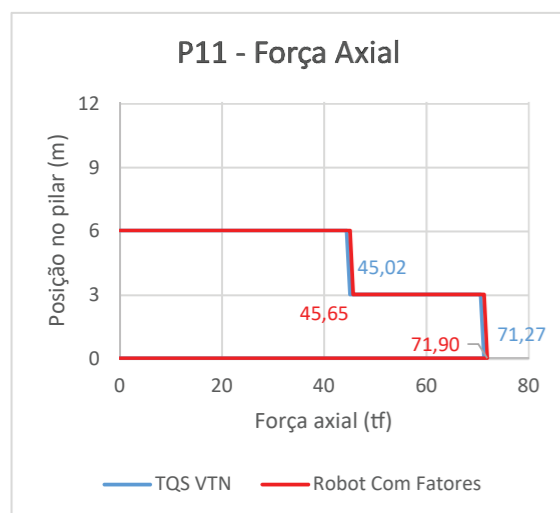
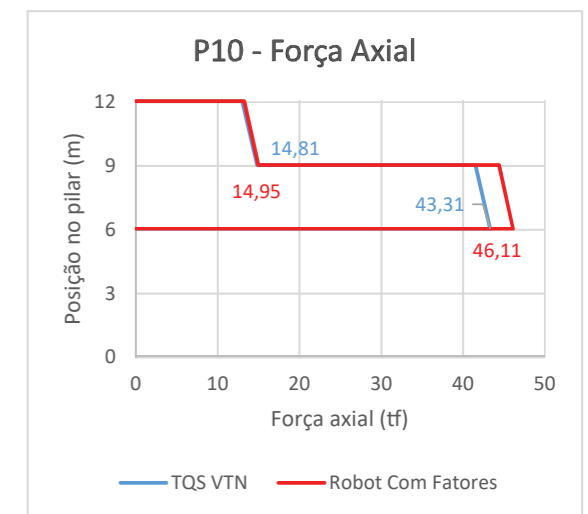
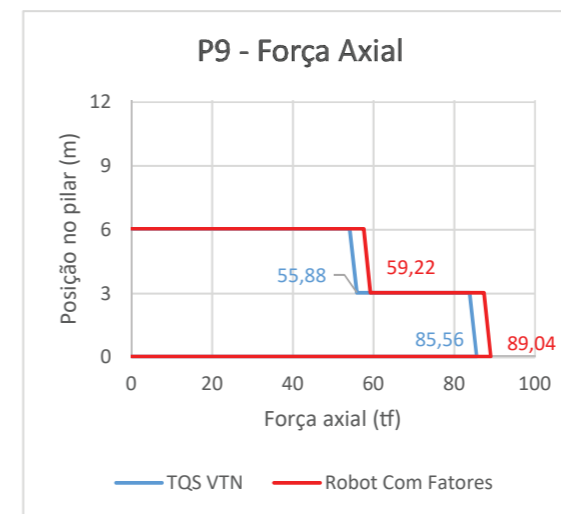
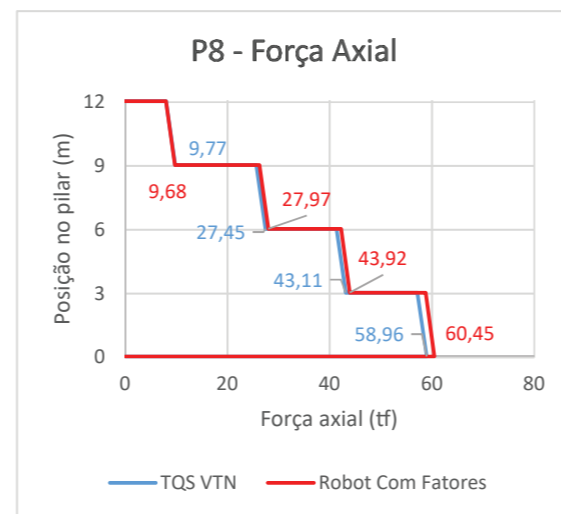
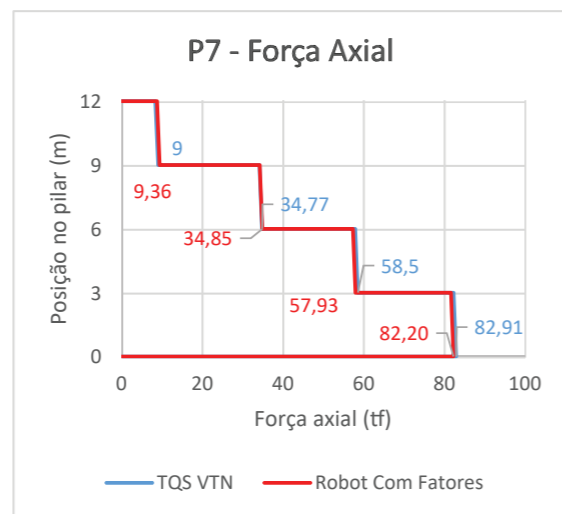
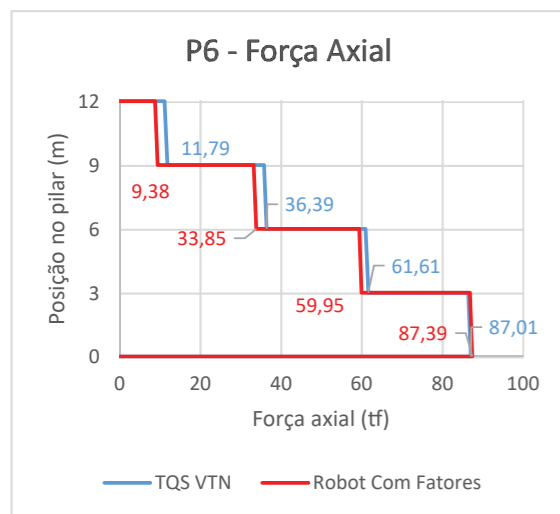
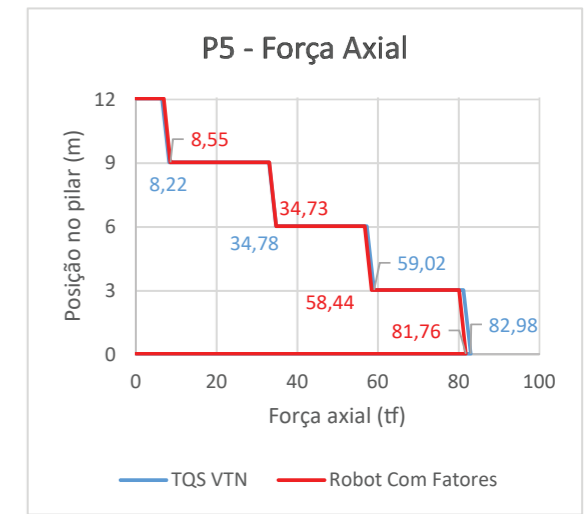
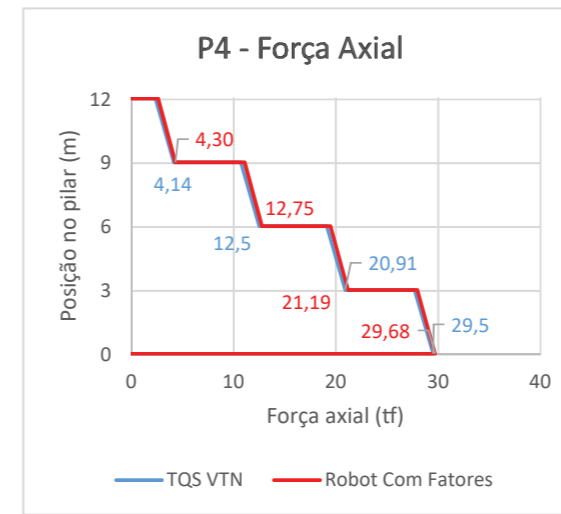
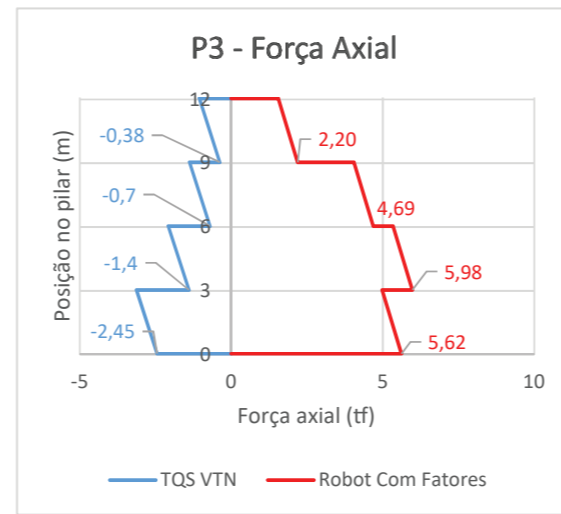
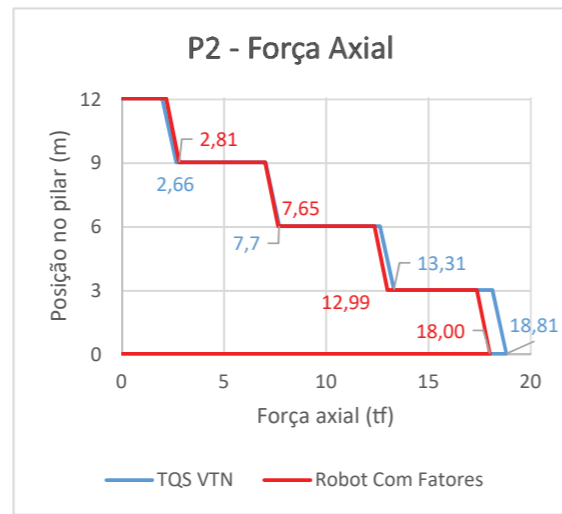
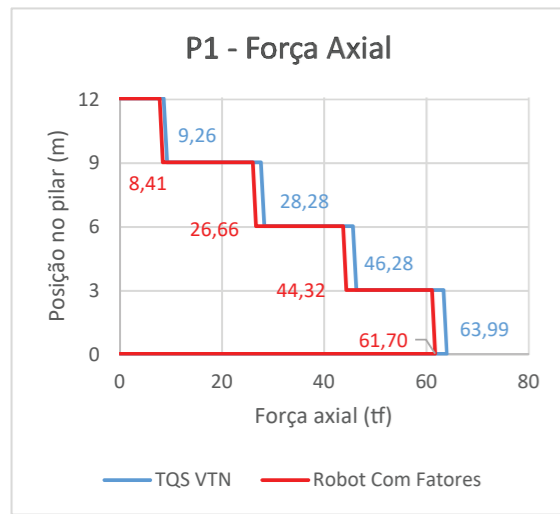
# Cobertura

Viga	Software	Picos de Momento (tfm)						
4	TQS (tfm)	-0,01	-4,73	8,52	-4,45	0,07		
	Robot c/ Fat. (tfm)	0	-4,06	8	-1,34	0,11		
	Diferença (tfm)	0,01	0,67	0,52	3,11	-0,04		
	Diferença (%)	0%	17%	6%	232%	-36%		
4	TQS (tfm)	0	-3,78	11,65	-4,16	0,07		
	Robot c/ Fat. (tfm)	0	-4,06	8	-1,34	0,11		
	Diferença (tfm)	0	-0,28	3,65	2,82	-0,04		
	Diferença (%)	0%	-7%	46%	210%	-36%		
11	TQS (tfm)	1,02	-2,21	4,77	-2,58	8,2	-9,45	4,27
	Robot c/ Fat. (tfm)	1,81	-2,2	5,28	-2,09	6,44	-6,12	5,89
	Diferença (tfm)	-0,79	0,01	-0,51	0,49	1,76	3,33	-1,62
	Diferença (%)	-44%	0%	-10%	23%	27%	54%	-28%
11	TQS (tfm)	1,04	-2,17	5,16	-2,27	10,04	-8,74	4,8
	Robot c/ Fat. (tfm)	1,81	-2,2	5,28	-2,09	6,44	-6,12	5,89
	Diferença (tfm)	-0,77	-0,03	-0,12	0,18	3,6	2,62	-1,09
	Diferença (%)	-43%	-1%	-2%	9%	56%	43%	-19%

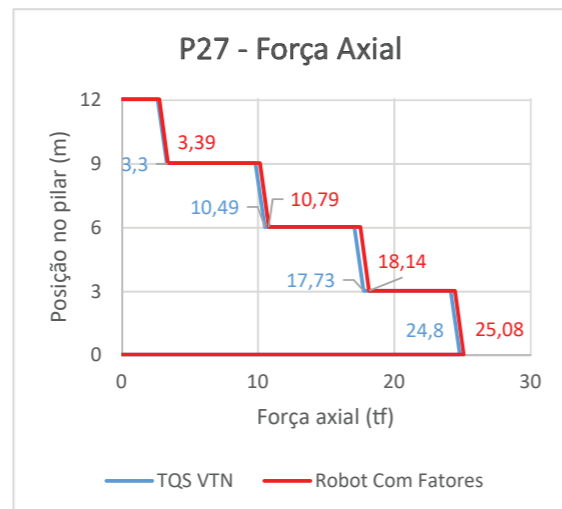
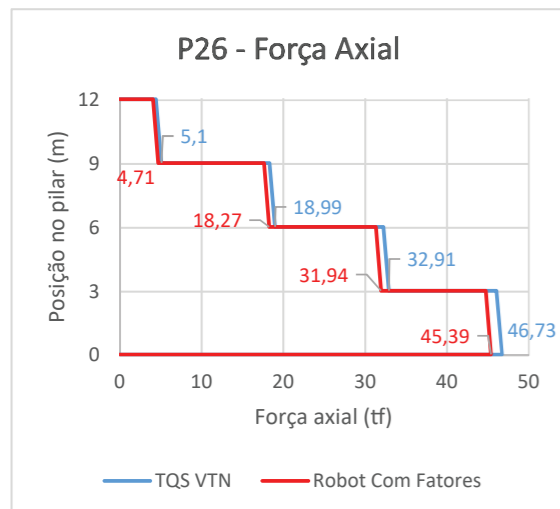
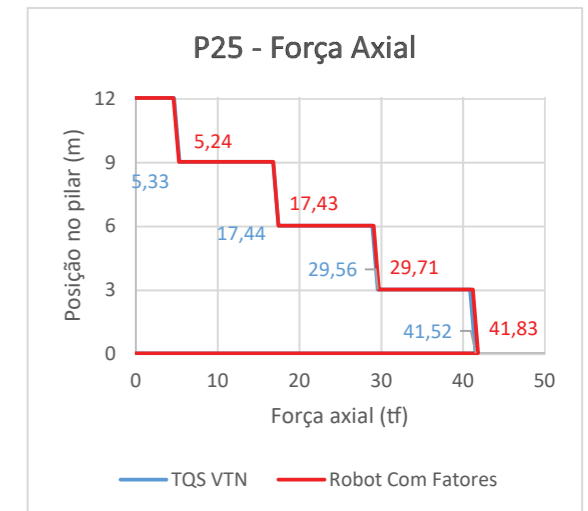
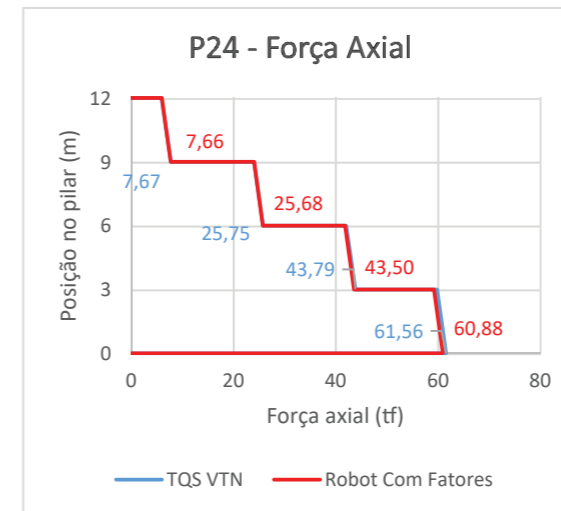
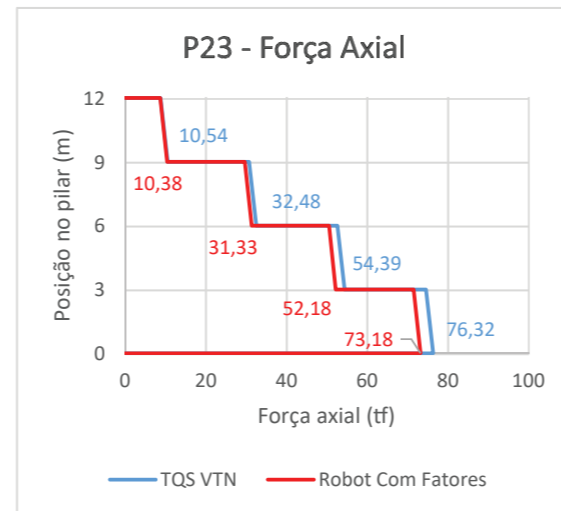
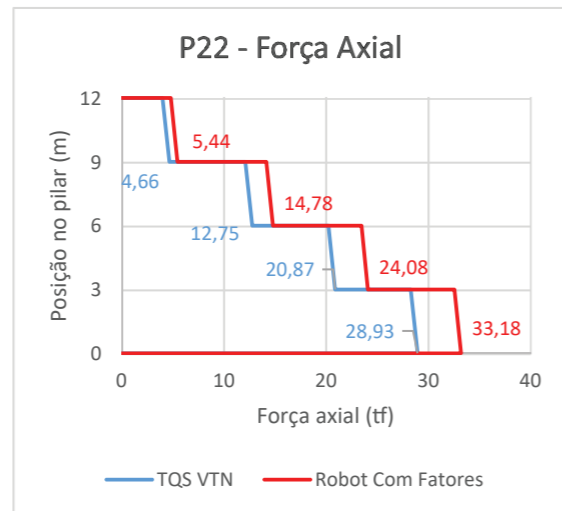
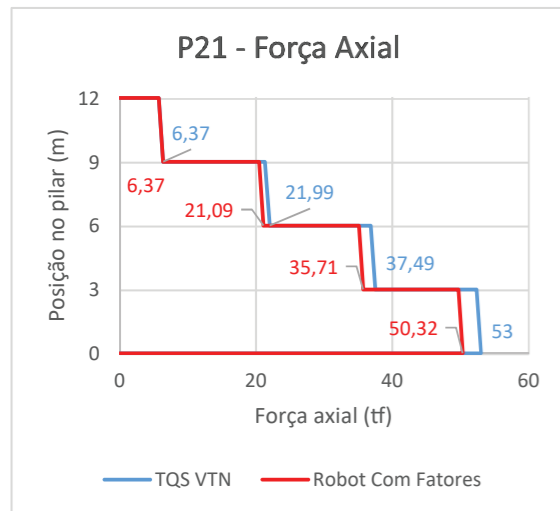
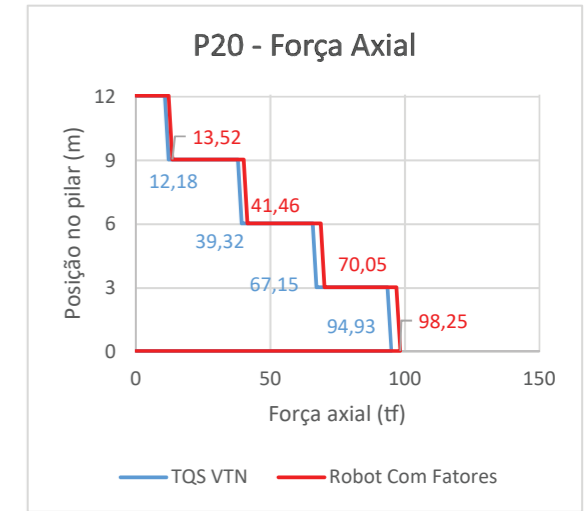
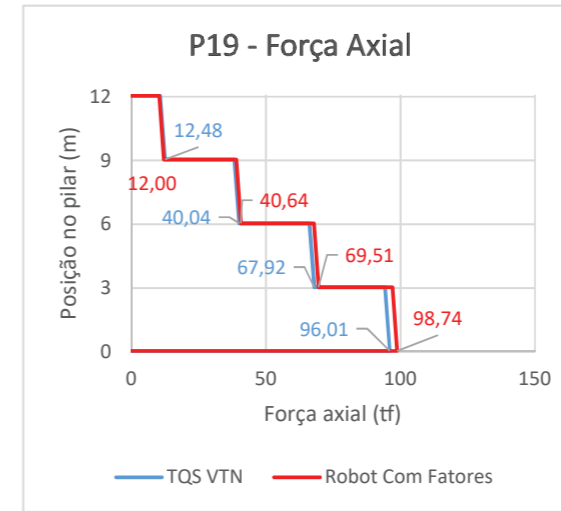
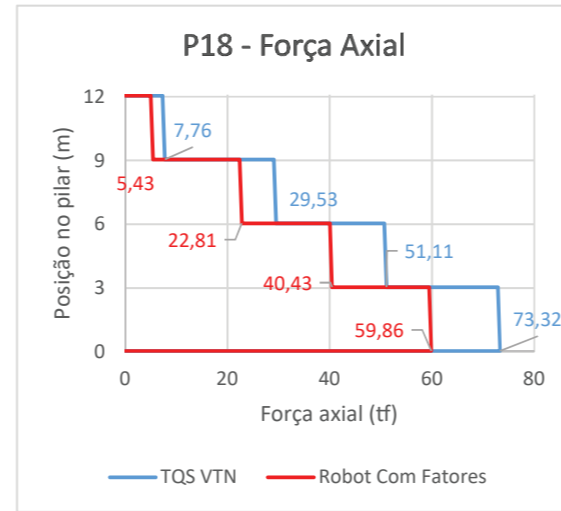
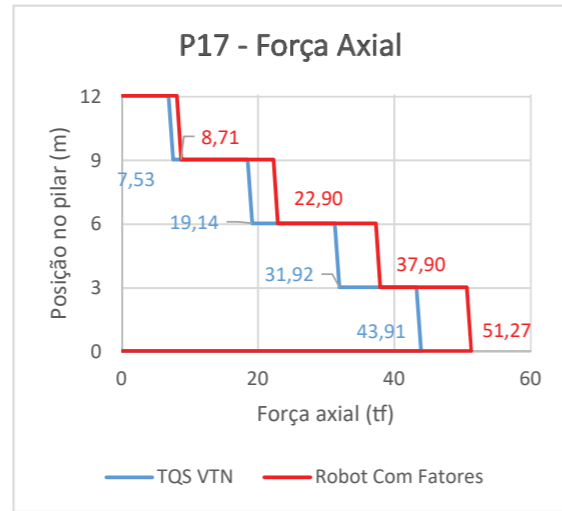
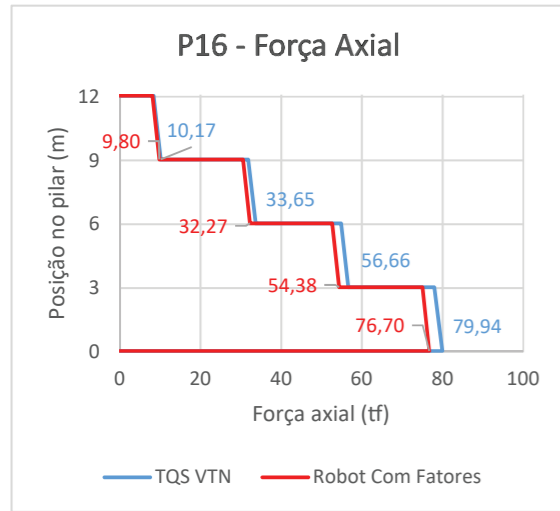
**APÊNDICE 3 – Gráficos e tabelas de solicitações nos pilares submetidos  
apenas à carga vertical**



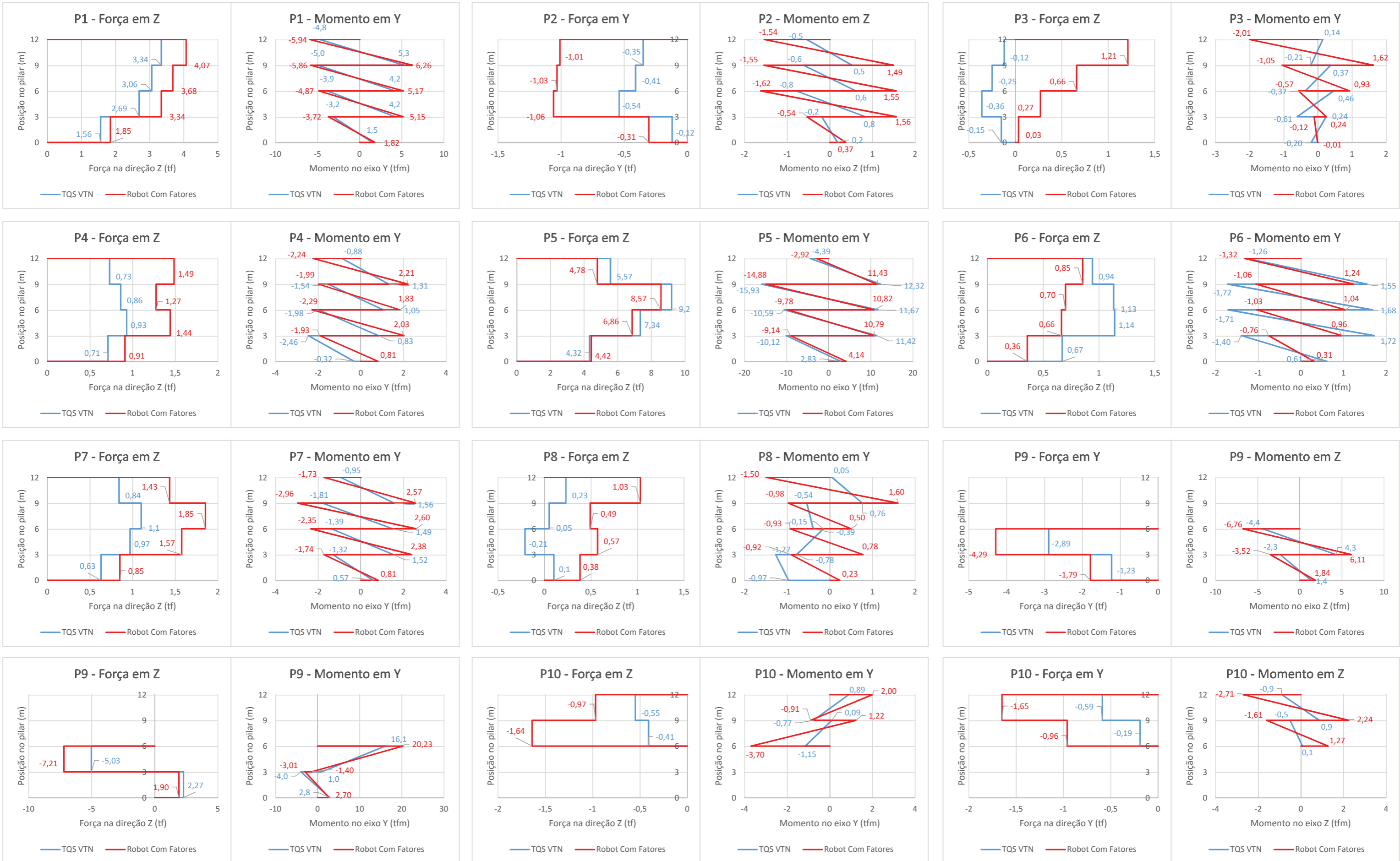
# Força Axial - Pilares 1 a 15



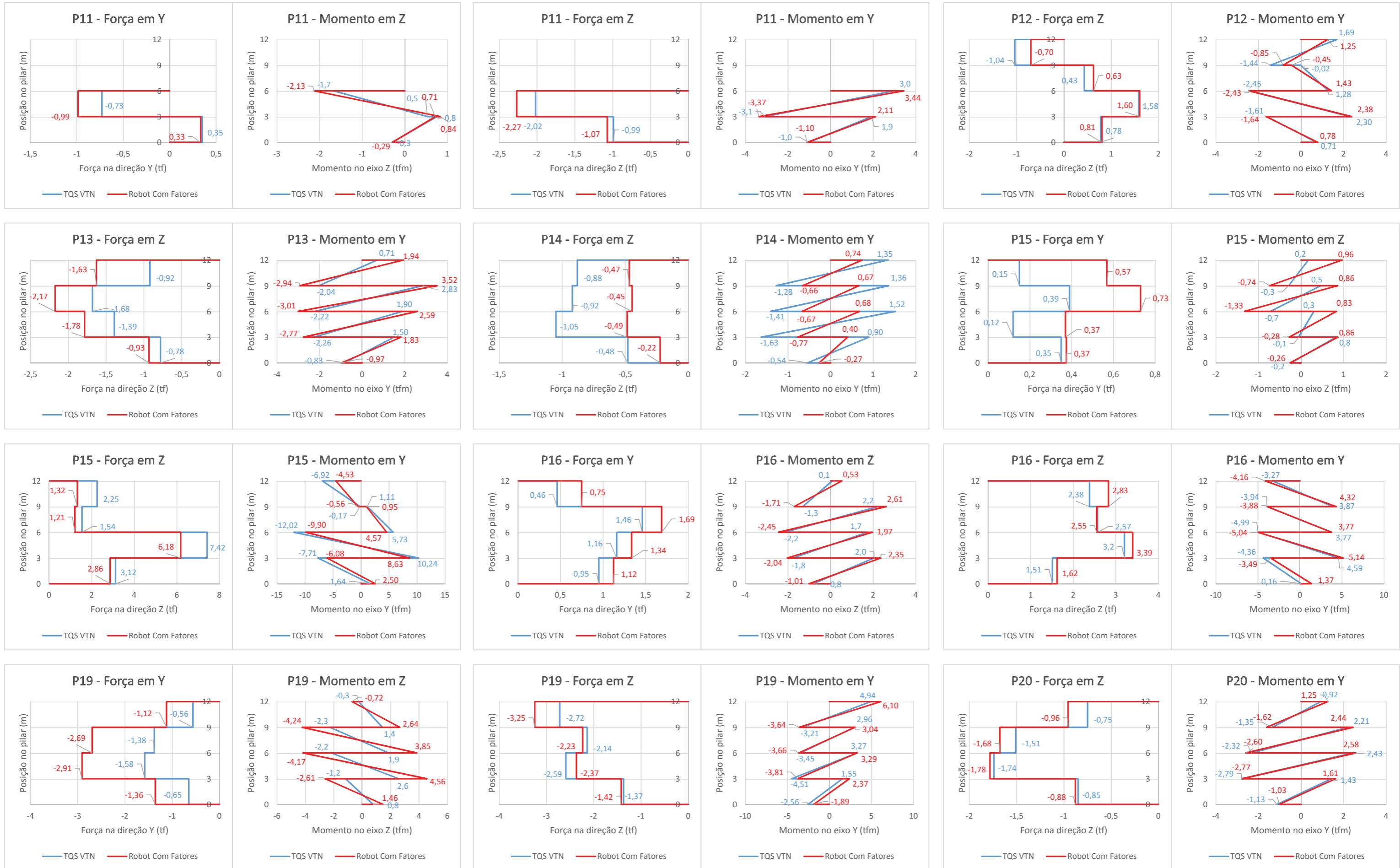
# Força Axial - Pilares 16 a 27



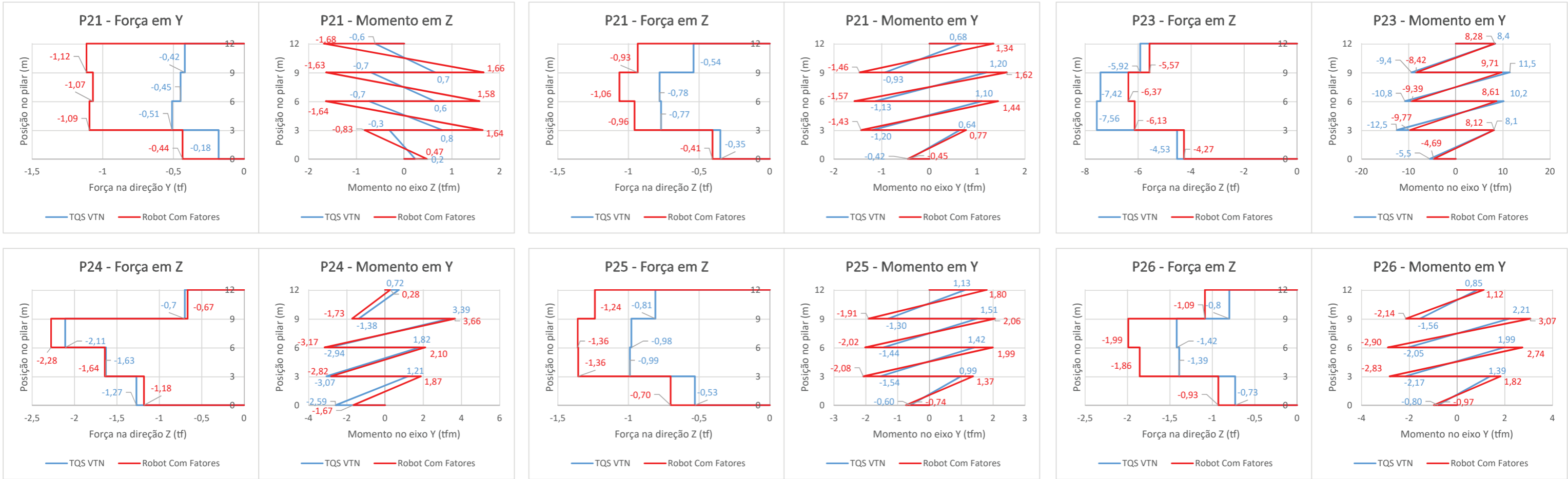
# Forças e Momentos Resultantes - Pilares 1 a 10



# Forças e Momentos Resultantes - Pilares 11 a 20



# Forças e Momentos Resultantes - Pilares 21 a 26







# Tabelas de Forças e Momentos Resultantes - Pilares 9 a 14

P9																				
Força axial (tf)					FY (tf)				MZ (tfm)				FZ (tf)				MY (tfm)			
Altura (m)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
6	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
6	54,08	57,53	-3,45	-6%	-2,89	-4,29	-1,40	-33%	-4,39	-6,76	-2,37	-35%	-5,03	-7,21	-2,18	-30%	16,08	20,23	-4,15	-21%
3	55,88	59,22	-3,34	-6%	-2,89	-4,29	-1,40	-33%	4,29	6,11	-1,82	-30%	-5,03	-7,21	-2,18	-30%	0,99	-1,40	2,39	-171%
3	83,76	87,34	-3,58	-4%	-1,23	-1,79	-0,56	-31%	-2,32	-3,52	-1,20	-34%	2,27	1,90	0,37	19%	-3,99	-3,01	0,98	33%
0	85,56	89,04	-3,48	-4%	-1,23	-1,79	-0,56	-31%	1,36	1,84	-0,48	-26%	2,27	1,90	0,37	19%	2,83	2,70	0,13	5%
0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

P10																				
Força axial (tf)					FY (tf)				MZ (tfm)				FZ (tf)				MY (tfm)			
Altura (m)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
12	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
12	13,01	13,25	-0,24	-2%	-0,59	-1,65	-1,06	-64%	-0,90	-2,71	-1,81	-67%	-0,55	-0,97	-0,42	-43%	0,89	2,00	-1,11	-56%
9	14,81	14,95	-0,14	-1%	-0,59	-1,65	-1,06	-64%	0,86	2,24	-1,38	-62%	-0,55	-0,97	-0,42	-43%	-0,77	-0,91	-0,14	-15%
9	41,51	44,41	-2,90	-7%	-0,19	-0,96	-0,77	-80%	-0,51	-1,61	-1,10	-68%	-0,41	-1,64	-1,23	-75%	0,09	1,22	-1,13	-93%
6	43,31	46,11	-2,80	-6%	-0,19	-0,96	-0,77	-80%	0,07	1,27	-1,20	-94%	-0,41	-1,64	-1,23	-75%	-1,15	-3,70	-2,55	-69%
6	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

P11																				
Força axial (tf)					FY (tf)				MZ (tfm)				FZ (tf)				MY (tfm)			
Altura (m)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
6	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
6	44,34	45,02	-0,68	-2%	-0,73	-0,99	-0,26	-26%	-1,67	-2,13	-0,46	-21%	-2,02	-2,27	-0,25	-11%	2,97	3,44	-0,47	-14%
3	45,02	45,65	-0,63	-1%	-0,73	-0,99	-0,26	-26%	0,53	0,84	-0,31	-37%	-2,02	-2,27	-0,25	-11%	-3,08	-3,37	-0,29	-9%
3	70,60	71,26	-0,66	-1%	0,35	0,33	0,02	5%	0,76	0,71	0,05	6%	-0,99	-1,07	-0,08	-8%	1,92	2,11	-0,19	-9%
0	71,27	71,90	-0,63	-1%	0,35	0,33	0,02	5%	-0,30	-0,29	0,01	5%	-0,99	-1,07	-0,08	-8%	-1,04	-1,10	-0,06	-6%
0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

P12												
Força axial (tf)					FZ (tf)				MY (tfm)			
Altura (m)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
12	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
12	14,16	11,30	2,86	25%	-1,04	-0,70	0,34	49%	-0,05	0,33	-0,28	-115%
9	14,84	11,94	2,90	24%	-1,04	-0,70	0,34	49%	0,08	-0,34	-0,26	-124%
9	39,61	34,44	5,17	15%	0,43	0,63	-0,20	-31%	-0,21	0,08	0,13	-354%
6	40,28	35,08	5,20	15%	0,43	0,63	-0,20	-31%	0,23	0,13	0,10	74%
6	57,80	50,96	6,84	13%	1,58	1,60	-0,02	-1%	-0,41	-0,42	-0,01	-3%
3	58,48	51,60	6,88	13%	1,58	1,60	-0,02	-1%	0,43	0,36	0,07	21%
3	76,51	68,17	8,34	12%	0,78	0,81	-0,03	-3%	0,04	0,19	-0,15	-79%
0	77,18	68,81	8,37	12%	0,78	0,81	-0,03	-3%	0,05	-0,03	0,02	-268%
0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

P14												
Força axial (tf)					FZ (tf)				MY (tfm)			
Altura (m)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
12	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
12	12,86	12,53	0,33	3%	-0,88	-0,47	0,41	88%	1,35	0,74	0,61	81%
9	13,54	13,17	0,37	3%	-0,88	-0,47	0,41	88%	-1,28	-0,66	0,62	94%
9	41,22	43,02	-1,80	-4%	-0,92	-0,45	0,47	106%	1,36	0,67	0,69	104%
6	41,90	43,66	-1,76	-4%	-0,92	-0,45	0,47	106%	-1,41	-0,67	0,74	110%
6	70,40	74,21	-3,81	-5%	-1,05	-0,49	0,56	116%	1,52	0,68	0,84	123%
3	71,08	74,84	-3,76	-5%	-1,05	-0,49	0,56	116%	-1,63	-0,77	0,86	110%
3	99,36	105,12	-5,76	-5%	-0,48	-0,22	0,26	115%	0,90	0,40	0,50	125%
0	100,04	105,76	-5,72	-5%	-0,48	-0,22	0,26	115%	-0,54	-0,27	0,27	100%
0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

P13												
Força axial (tf)					FZ (tf)				MY (tfm)			
Altura (m)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
12	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
12	7,52	9,15	-1,63	-18%	-0,92	-1,63	-0,71	-43%	0,71	1,94	-1,23	-63%
9	8,19	9,78	-1,59	-16%	-0,92	-1,63	-0,71	-43%	-2,04	-2,94	-0,90	-31%
9	39,41	38,61	0,80	2%	-1,68	-2,17	-0,49	-23%	2,83	3,52	-0,69	-20%
6	40,09	39,24	0,85	2%	-1,68	-2,17	-0,49	-23%	-2,22	-3,01	-0,79	-26%
6	66,45	63,77	2,68	4%	-1,39	-1,78	-0,39	-22%	1,90	2,59	-0,69	-27%
3	67,13	64,41	2,72	4%	-1,39	-1,78	-0,39	-22%	-2,26	-2,77	-0,51	-18%
3	95,24	91,05	4,19	5%	-0,78	-0,93	-0,15	-16%	1,50	1,83	-0,33	-18%
0	95,92	91,68	4,24	5%	-0,78	-0,93	-0,15	-16%	-0,83	-0,97	-0,14	-15%
0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

# Tabelas de Forças e Momentos Resultantes - Pilares 15 a 19

P15																				
Força axial (tf)					FY (tf)				MZ (tfm)				FZ (tf)				MY (tfm)			
Altura (m)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
12	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
12	7,44	9,59	-2,15	-22%	0,15	0,57	-0,42	-74%	0,17	0,96	-0,79	-82%	2,25	1,32	0,93	70%	-6,92	-4,53	2,39	53%
9	9,24	11,29	-2,05	-18%	0,15	0,57	-0,42	-74%	-0,29	-0,74	-0,45	-61%	2,25	1,32	0,93	70%	-0,17	-0,56	-0,39	-70%
9	37,68	39,42	-1,74	-4%	0,39	0,73	-0,34	-47%	0,46	0,86	-0,40	-47%	1,54	1,21	0,33	28%	1,11	0,95	0,16	17%
6	39,48	41,12	-1,64	-4%	0,39	0,73	-0,34	-47%	-0,72	-1,33	-0,61	-46%	1,54	1,21	0,33	28%	5,73	4,57	1,16	25%
6	55,42	58,09	-2,67	-5%	0,12	0,37	-0,25	-68%	0,30	0,83	-0,53	-64%	7,42	6,18	1,24	20%	-12,02	-9,90	2,12	21%
3	57,22	59,79	-2,57	-4%	0,12	0,37	-0,25	-68%	-0,06	-0,28	-0,22	-79%	7,42	6,18	1,24	20%	10,24	8,63	1,61	19%
3	73,84	77,32	-3,48	-4%	0,35	0,37	-0,02	-7%	0,82	0,86	-0,04	-5%	3,12	2,86	0,26	9%	-7,71	-6,08	1,63	27%
0	75,64	79,01	-3,37	-4%	0,35	0,37	-0,02	-7%	-0,23	-0,26	-0,03	-12%	3,12	2,86	0,26	9%	1,64	2,50	-0,86	-34%
0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

P16																				
Força axial (tf)					FY (tf)				MZ (tfm)				FZ (tf)				MY (tfm)			
Altura (m)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
12	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
12	8,37	8,10	0,27	3%	0,46	0,75	-0,29	-38%	0,08	0,53	-0,45	-85%	2,38	2,83	-0,45	-16%	-3,27	-4,16	-0,89	-21%
9	10,17	9,80	0,37	4%	0,46	0,75	-0,29	-38%	-1,31	-1,71	-0,40	-24%	2,38	2,83	-0,45	-16%	3,87	4,32	-0,45	-10%
9	31,85	30,57	1,28	4%	1,46	1,69	-0,23	-13%	2,24	2,61	-0,37	-14%	2,57	2,55	0,02	1%	-3,94	-3,88	0,06	1%
6	33,65	32,27	1,38	4%	1,46	1,69	-0,23	-13%	-2,15	-2,45	-0,30	-12%	2,57	2,55	0,02	1%	3,77	3,77	0,00	0%
6	54,86	52,68	2,18	4%	1,16	1,34	-0,18	-13%	1,72	1,97	-0,25	-13%	3,20	3,39	-0,19	-6%	-4,99	-5,04	-0,05	-1%
3	56,66	54,38	2,28	4%	1,16	1,34	-0,18	-13%	-1,77	-2,04	-0,27	-13%	3,20	3,39	-0,19	-6%	4,59	5,14	-0,55	-11%
3	77,94	75,00	2,94	4%	0,95	1,12	-0,17	-15%	2,04	2,35	-0,31	-13%	1,51	1,62	-0,11	-7%	-4,36	-3,49	0,87	25%
0	79,94	76,70	3,24	4%	0,95	1,12	-0,17	-15%	-0,82	-1,01	-0,19	-19%	1,51	1,62	-0,11	-7%	0,16	1,37	-1,21	-88%
0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

P17				
Força axial (tf)				
Altura (m)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
12	0,00	0,00	0,00	0%
12	6,85	8,07	-1,22	-15%
9	7,53	8,71	-1,18	-14%
9	18,47	22,26	-3,79	-17%
6	19,14	22,90	-3,76	-16%
6	31,24	37,26	-6,02	-16%
3	31,92	37,90	-5,98	-16%
3	43,23	50,64	-7,41	-15%
0	43,91	51,27	-7,36	-14%
0	0,00	0,00	0,00	0%

P18				
Força axial (tf)				
Altura (m)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
12	0,00	0,00	0,00	0%
12	7,31	5,01	2,30	46%
9	7,76	5,43	2,33	43%
9	29,08	22,38	6,70	30%
6	29,53	22,81	6,72	29%
6	50,66	40,01	10,65	27%
3	51,11	40,43	10,68	26%
3	72,87	59,43	13,44	23%
0	73,32	59,86	13,46	22%
0	0,00	0,00	0,00	0%

P19																				
Força axial (tf)					FY (tf)				MZ (tfm)				FZ (tf)				MY (tfm)			
Altura (m)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
12	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
12	10,68	10,30	0,38	4%	-0,56	-1,12	-0,56	-50%	-0,26	-0,72	-0,46	-64%	-2,72	-3,25	-0,53	-16%	4,94	6,10	-1,16	-19%
9	12,48	12,00	0,48	4%	-0,56	-1,12	-0,56	-50%	1,42	2,64	-1,22	-46%	-2,72	-3,25	-0,53	-16%	-3,21	-3,64	-0,43	-12%
9	38,24	38,94	-0,70	-2%	-1,38	-2,69	-1,31	-49%	-2,28	-4,24	-1,96	-46%	-2,14	-2,23	-0,09	-4%	2,96	3,04	-0,08	-3%
6	40,04	40,64	-0,60	-1%	-1,38	-2,69	-1,31	-49%	1,86	3,85	-1,99	-52%	-2,14	-2,23	-0,09	-4%	-3,45	-3,66	-0,21	-6%
6	66,12	67,82	-1,70	-3%	-1,58	-2,91	-1,33	-46%	-2,18	-4,17	-1,99	-48%	-2,59	-2,37	0,22	9%	3,27	3,29	-0,02	0%
3	67,92	69,51	-1,59	-2%	-1,58	-2,91	-1,33	-46%	2,57	4,56	-1,99	-44%	-2,59	-2,37	0,22	9%	-4,51	-3,81	0,70	18%
3	94,21	97,04	-2,83	-3%	-0,65	-1,36	-0,71	-52%	-1,18	-2,61	-1,43	-55%	-1,37	-1,42	-0,05	-4%	1,55	2,37	-0,82	-34%
0	96,01	98,74	-2,73	-3%	-0,65	-1,36	-0,71	-52%	0,76	1,46	-0,70	-48%	-1,37	-1,42	-0,05	-4%	-2,56	-1,89	0,67	35%
0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%



# Tabelas de Forças e Momentos Resultantes - Pilares 20 a 27

P20												
Altura (m)	Força axial (tf)				FZ (tf)				MY (tfm)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
12	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
12	10,75	12,14	-1,39	-11%	-0,75	-0,96	-0,21	-22%	0,92	1,25	-0,33	-26%
9	12,18	13,52	-1,34	-10%	-0,75	-0,96	-0,21	-22%	-1,35	-1,62	-0,27	-17%
9	37,88	40,07	-2,19	-5%	-1,51	-1,68	-0,17	-10%	2,21	2,44	-0,23	-9%
6	39,32	41,46	-2,14	-5%	-1,51	-1,68	-0,17	-10%	-2,32	-2,60	-0,28	-11%
6	65,72	68,66	-2,94	-4%	-1,74	-1,78	-0,04	-2%	2,43	2,58	-0,15	-6%
3	67,15	70,05	-2,90	-4%	-1,74	-1,78	-0,04	-2%	-2,79	-2,77	0,02	1%
3	93,50	96,86	-3,36	-3%	-0,85	-0,88	-0,03	-3%	1,43	1,61	-0,18	-11%
0	94,93	98,25	-3,32	-3%	-0,85	-0,88	-0,03	-3%	-1,13	-1,03	0,10	10%
0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

P27				
Altura (m)	Força axial (tf)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
12	0,00	0,00	0,00	0%
12	7,31	5,01	2,30	46%
9	7,76	5,43	2,33	43%
9	29,08	22,38	6,70	30%
6	29,53	22,81	6,72	29%
6	50,66	40,01	10,65	27%
3	51,11	40,43	10,68	26%
3	72,87	59,43	13,44	23%
0	73,32	59,86	13,46	22%
0	0,00	0,00	0,00	0%

P21																				
Altura (m)	Força axial (tf)				FY (tf)				MZ (tfm)				FZ (tf)				MY (tfm)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
12	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
12	5,70	5,74	-0,04	-1%	-0,42	-1,12	-0,70	-62%	-0,61	-1,68	-1,07	-64%	-0,54	-0,93	-0,39	-42%	0,68	1,34	-0,66	-49%
9	6,37	6,37	0,00	0%	-0,42	-1,12	-0,70	-62%	0,65	1,66	-1,01	-61%	-0,54	-0,93	-0,39	-42%	-0,93	-1,46	-0,53	-36%
9	21,31	20,46	0,85	4%	-0,45	-1,07	-0,62	-58%	-0,70	-1,63	-0,93	-57%	-0,78	-1,06	-0,28	-27%	1,20	1,62	-0,42	-26%
6	21,99	21,09	0,90	4%	-0,45	-1,07	-0,62	-58%	0,64	1,58	-0,94	-59%	-0,78	-1,06	-0,28	-27%	-1,13	-1,57	-0,44	-28%
6	36,82	35,07	1,75	5%	-0,51	-1,09	-0,58	-53%	-0,74	-1,64	-0,90	-55%	-0,77	-0,96	-0,19	-20%	1,10	1,44	-0,34	-24%
3	37,49	35,71	1,78	5%	-0,51	-1,09	-0,58	-53%	0,80	1,64	-0,84	-51%	-0,77	-0,96	-0,19	-20%	-1,20	-1,43	-0,23	-16%
3	52,33	49,68	2,65	5%	-0,18	-0,44	-0,26	-59%	-0,31	-0,83	-0,52	-63%	-0,35	-0,41	-0,06	-14%	0,64	0,77	-0,13	-16%
0	53,00	50,32	2,68	5%	-0,18	-0,44	-0,26	-59%	0,23	0,47	-0,24	-51%	-0,35	-0,41	-0,06	-14%	-0,42	-0,45	-0,03	-7%
0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

P22				
Altura (m)	Força axial (tf)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
12	0,00	0,00	0,00	0%
12	6,85	8,07	-1,22	-15%
9	7,53	8,71	-1,18	-14%
9	18,47	22,26	-3,79	-17%
6	19,14	22,90	-3,76	-16%
6	31,24	37,26	-6,02	-16%
3	31,92	37,90	-5,98	-16%
3	43,23	50,64	-7,41	-15%
0	43,91	51,27	-7,36	-14%
0	0,00	0,00	0,00	0%

P23												
Altura (m)	Força axial (tf)				FZ (tf)				MY (tfm)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
12	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
12	8,74	8,69	0,05	1%	-5,92	-5,57	0,35	6%	8,37	8,28	0,09	1%
9	10,54	10,38	0,16	2%	-5,92	-5,57	0,35	6%	-9,40	-8,42	0,98	12%
9	30,68	29,63	1,05	4%	-7,42	-6,37	1,05	17%	11,47	9,71	1,76	18%
6	32,48	31,33	1,15	4%	-7,42	-6,37	1,05	17%	-10,79	-9,39	1,40	15%
6	52,59	50,48	2,11	4%	-7,56	-6,13	1,43	23%	10,15	8,61	1,54	18%
3	54,39	52,18	2,21	4%	-7,56	-6,13	1,43	23%	-12,54	-9,77	2,77	28%
3	74,52	71,48	3,04	4%	-4,53	-4,27	0,26	6%	8,08	8,12	-0,04	0%
0	76,32	73,18	3,14	4%	-4,53	-4,27	0,26	6%	-5,52	-4,69	0,83	18%
0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

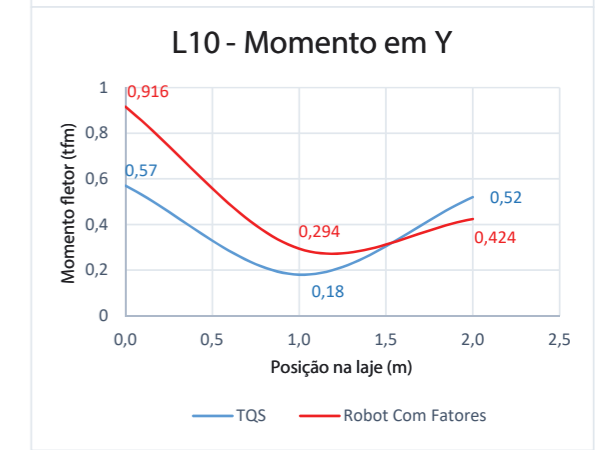
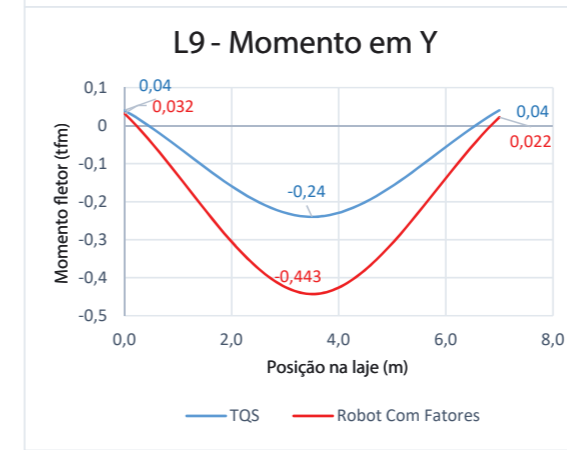
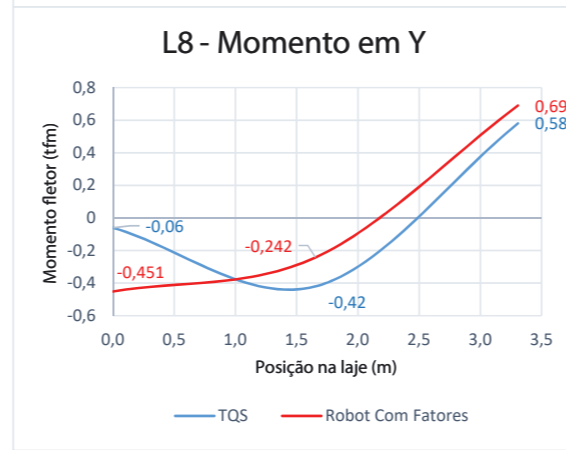
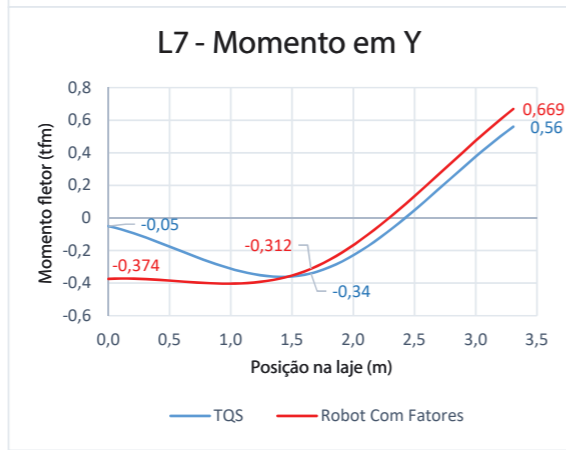
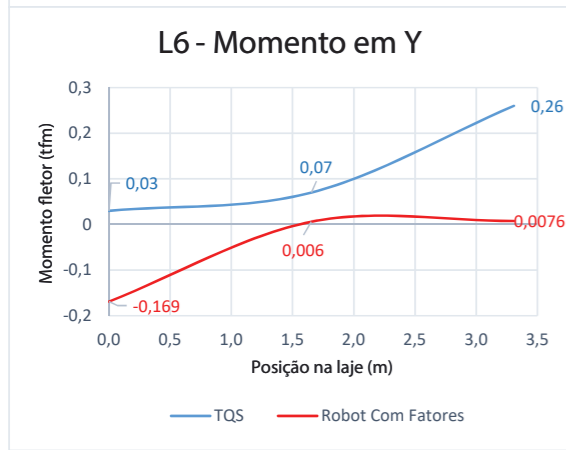
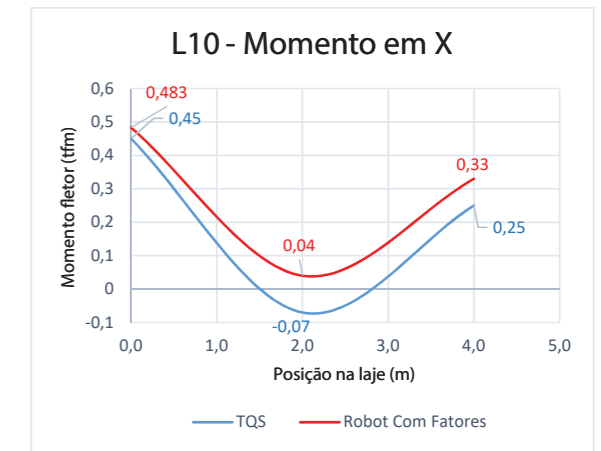
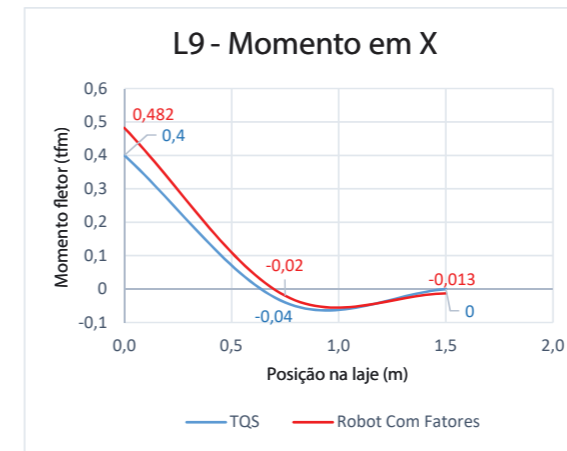
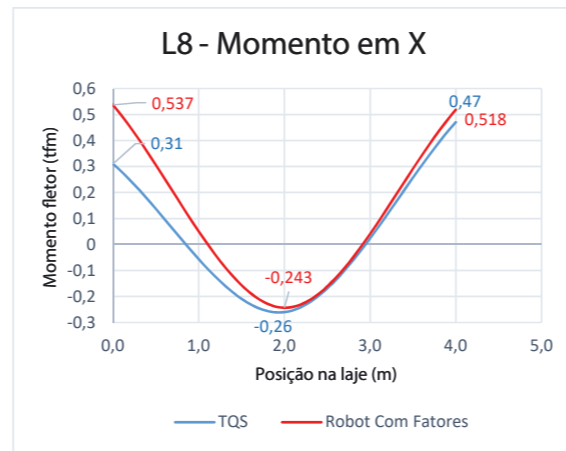
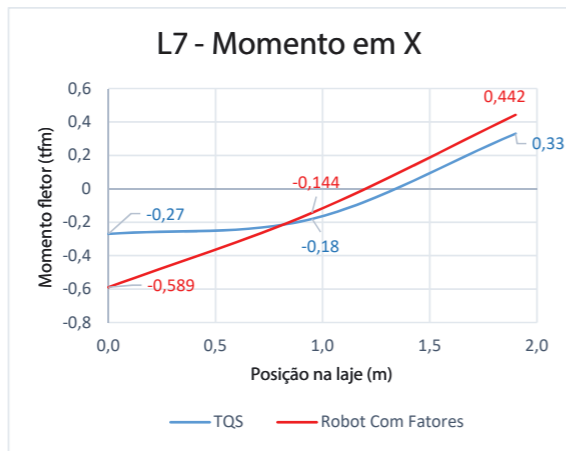
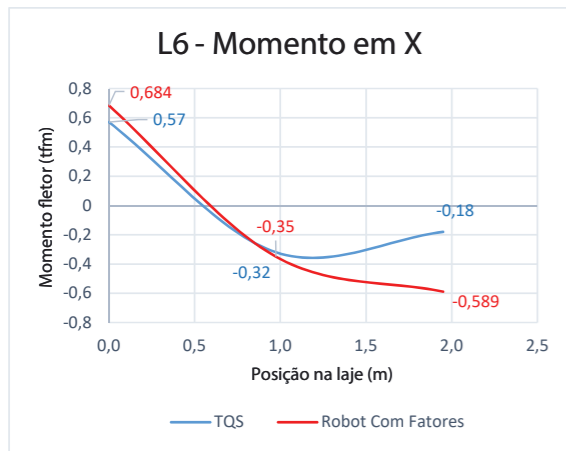
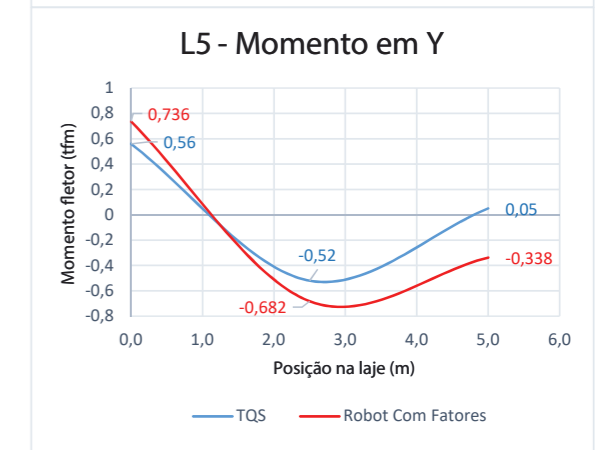
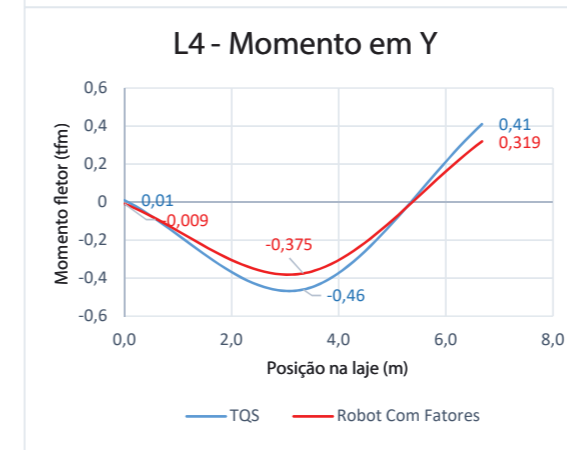
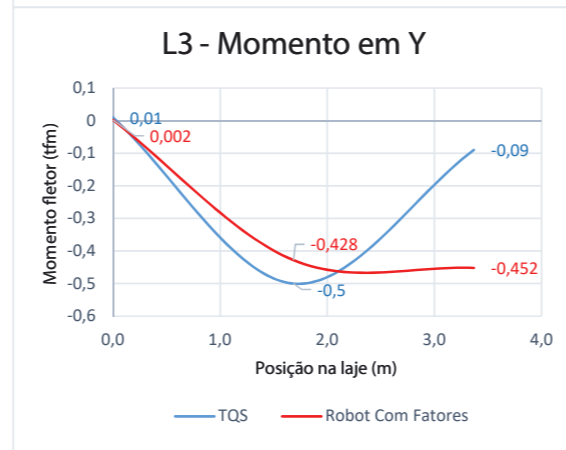
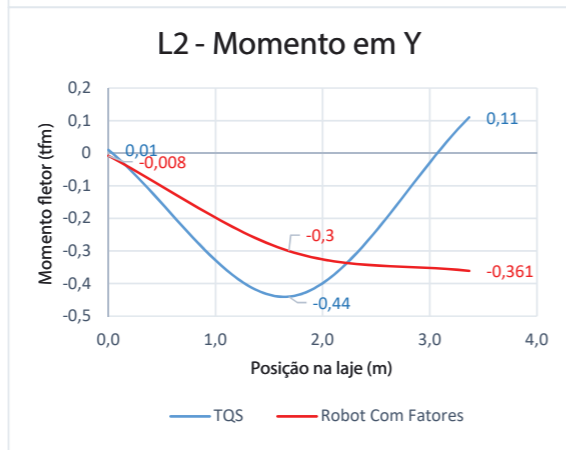
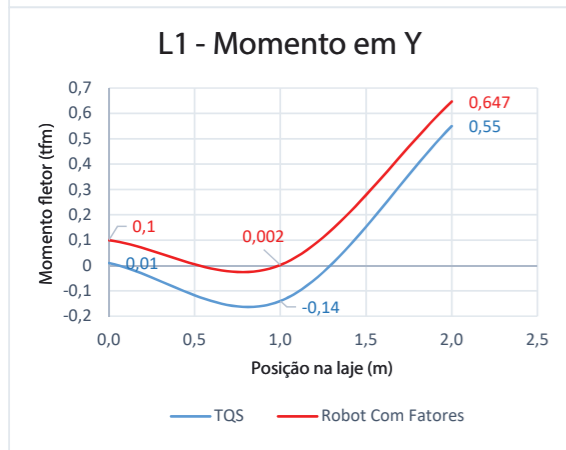
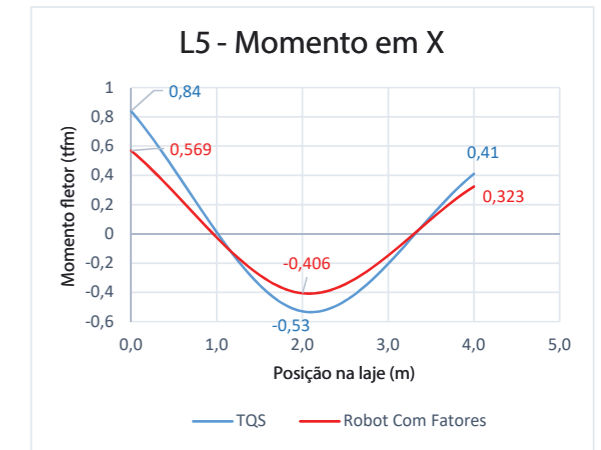
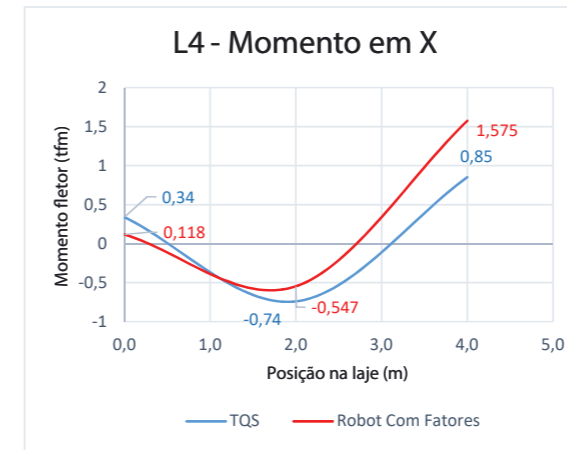
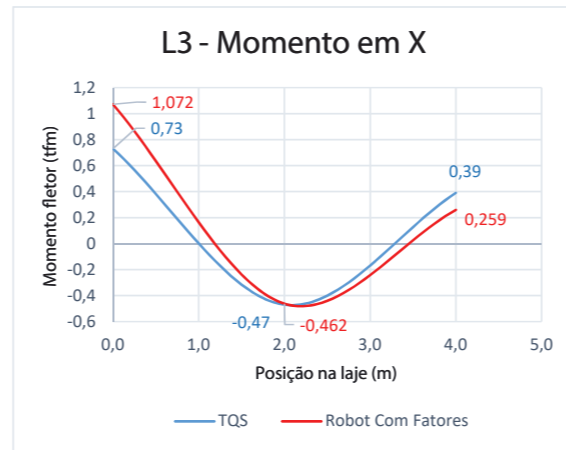
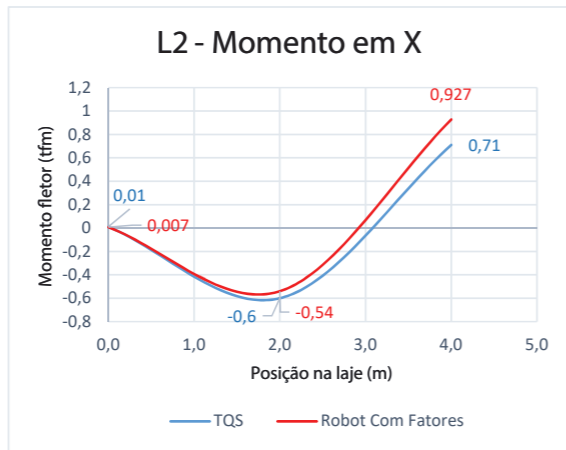
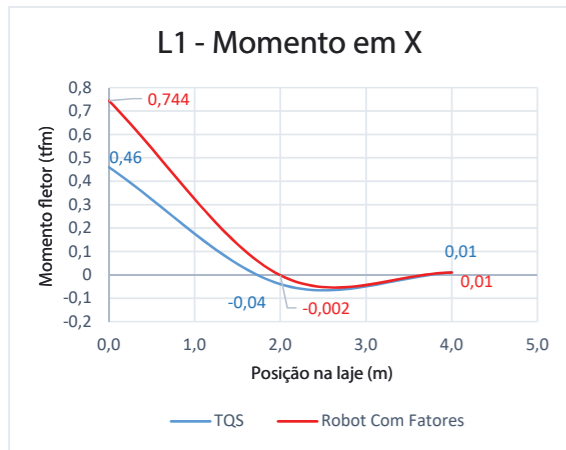
P25												
Altura (m)	Força axial (tf)				FZ (tf)				MY (tfm)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
12	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
12	4,65	4,61	0,04	1%	-0,81	-1,24	-0,43	-35%	1,13	1,80	-0,67	-37%
9	5,33	5,24	0,09	2%	-0,81	-1,24	-0,43	-35%	-1,30	-1,91	-0,61	-32%
9	16,77	16,79	-0,02	0%	-0,98	-1,36	-0,38	-28%	1,51	2,06	-0,55	-27%
6	17,44	17,43	0,01	0%	-0,98	-1,36	-0,38	-28%	-1,44	-2,02	-0,58	-29%
6	28,88	29,07	-0,19	-1%	-0,99	-1,36	-0,37	-27%	1,42	1,99	-0,57	-29%
3	29,56	29,71	-0,15	0%	-0,99	-1,36	-0,37	-27%	-1,54	-2,08	-0,54	-26%
3	40,85	41,20	-0,35	-1%	-0,53	-0,70	-0,17	-25%	0,99	1,37	-0,38	-28%
0	41,52	41,83	-0,31	-1%	-0,53	-0,70	-0,17	-25%	-0,60	-0,74	-0,14	-18%
0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

P24												
Altura (m)	Força axial (tf)				FZ (tf)				MY (tfm)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
12	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
12	5,87	5,96	-0,09	-2%	-0,70	-0,67	0,03	5%	0,72	0,28	0,44	162%
9	7,67	7,66	0,01	0%	-0,70	-0,67	0,03	5%	-1,38	-1,73	-0,35	-20%
9	23,95	23,98	-0,03	0%	-2,11	-2,28	-0,17	-7%	3,39	3,66	-0,27	-7%
6	25,75	25,68	0,07	0%	-2,11	-2,28	-0,17	-7%	-2,94	-3,17	-0,23	-7%
6	41,99	41,80	0,19	0%	-1,63	-1,64	-0,01	-1%	1,82	2,10	-0,28	-13%
3	43,79	43,50	0,29	1%	-1,63	-1,64	-0,01	-1%	-3,07	-2,82	0,25	9%
3	59,76	59,18	0,58	1%	-1,27	-1,18	0,09	8%	1,21	1,87	-0,66	-35%
0	61,56	60,88	0,68	1%	-1,27	-1,18	0,09	8%	-2,59	-1,67	0,92	55%
0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

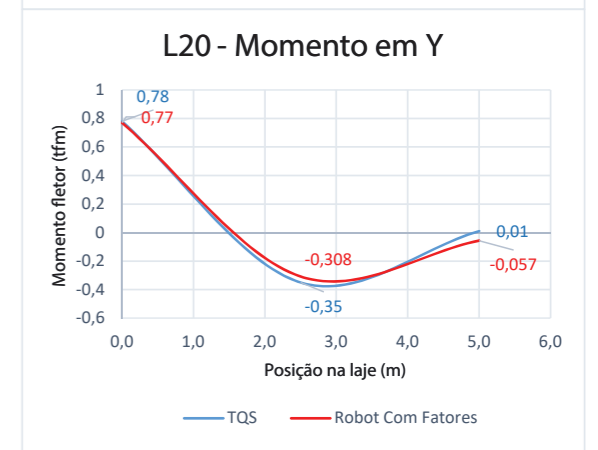
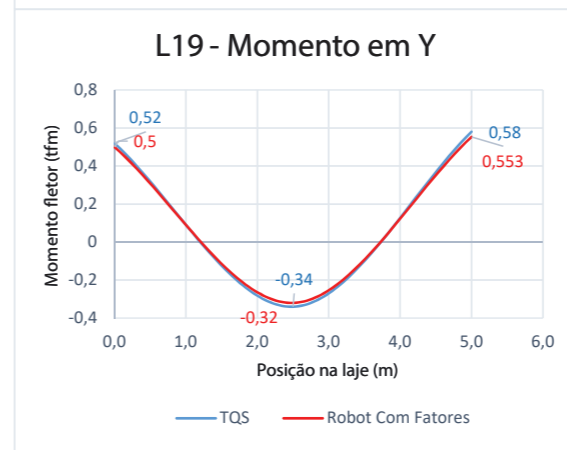
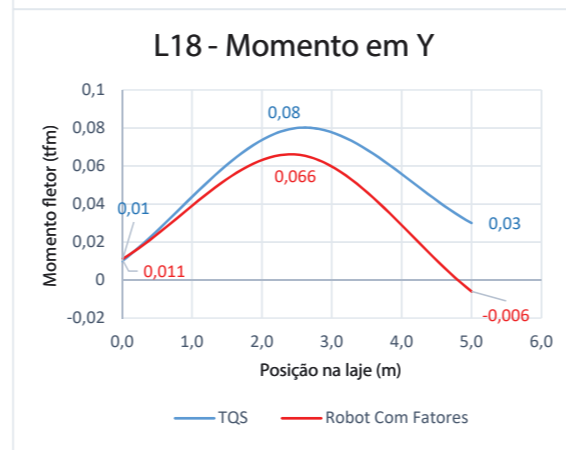
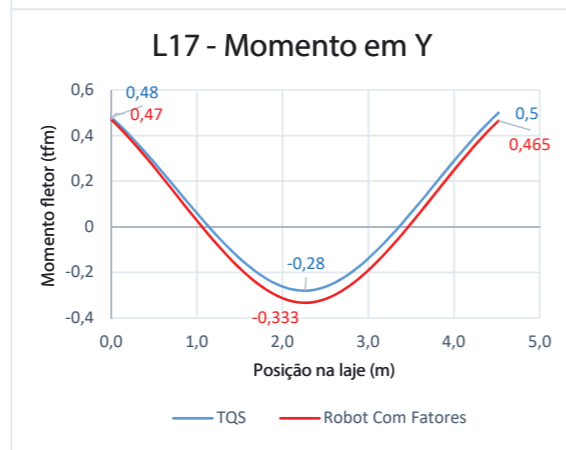
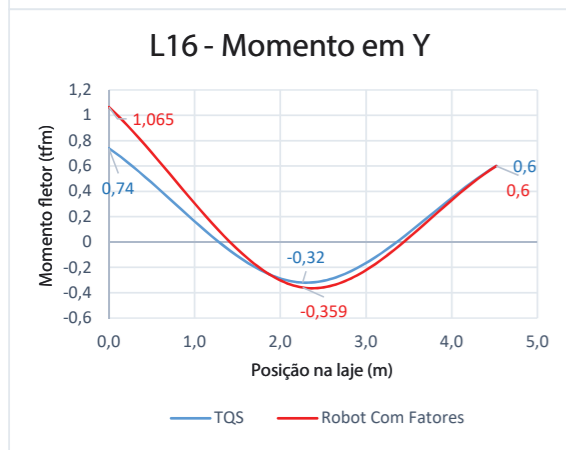
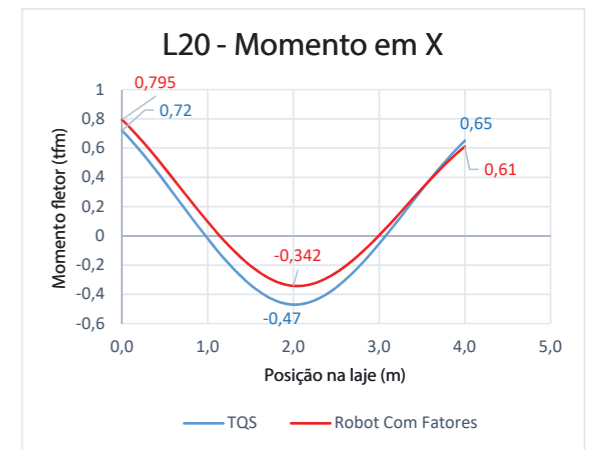
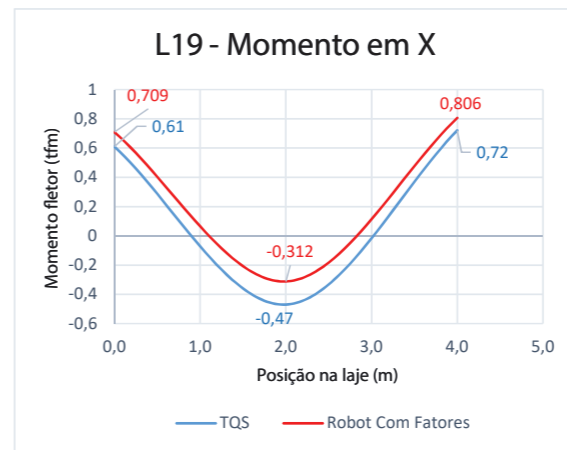
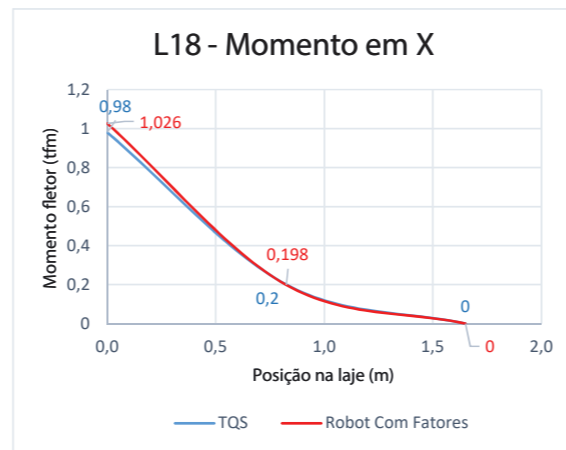
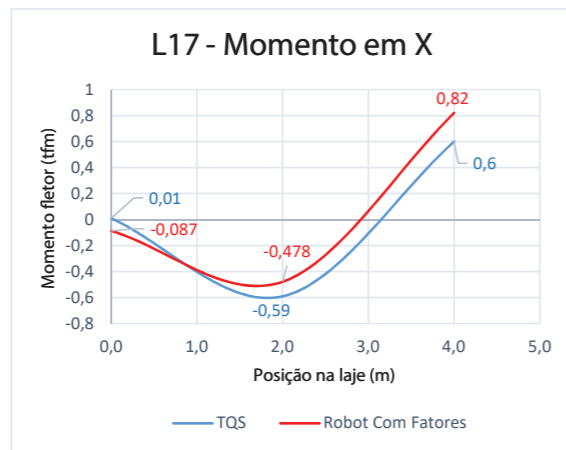
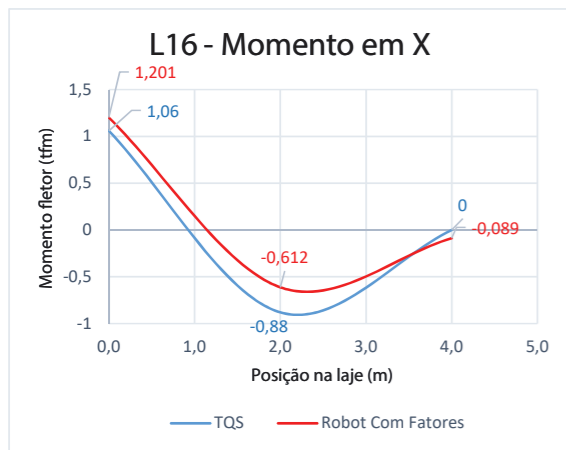
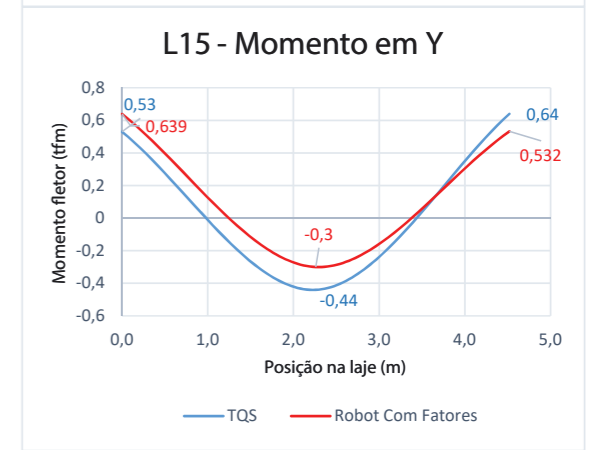
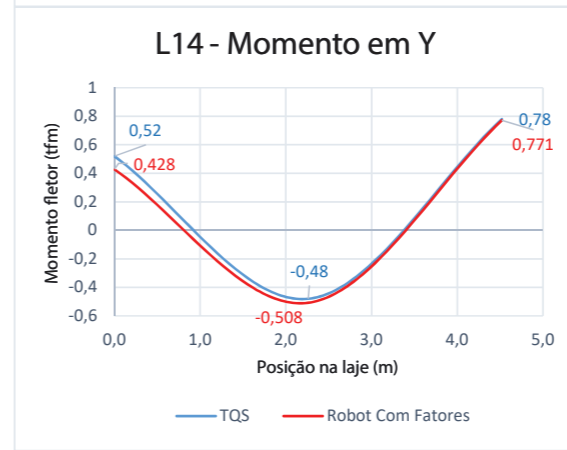
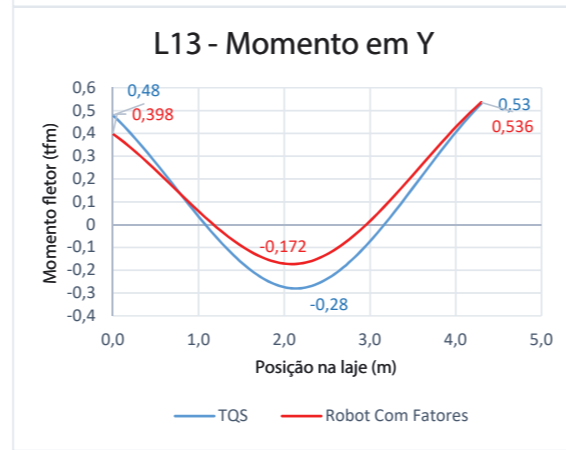
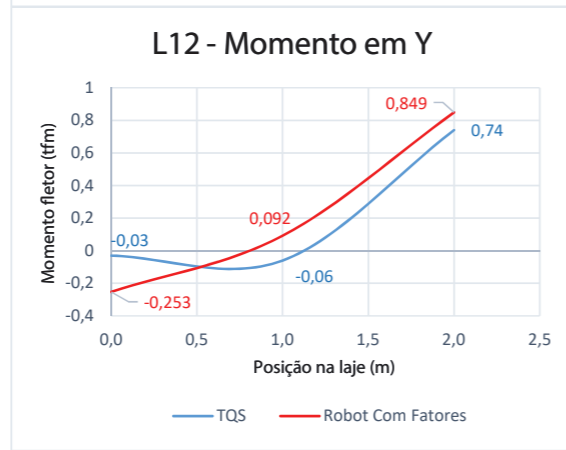
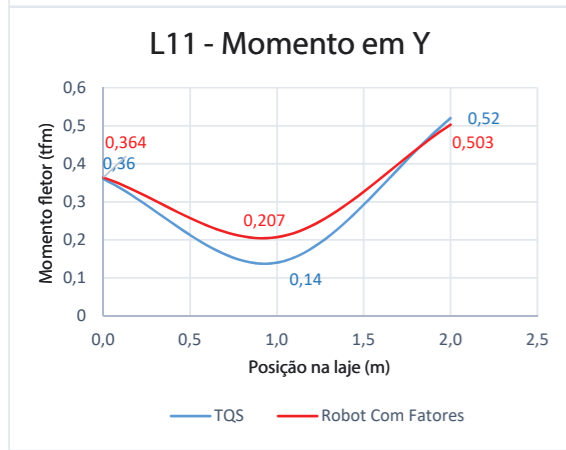
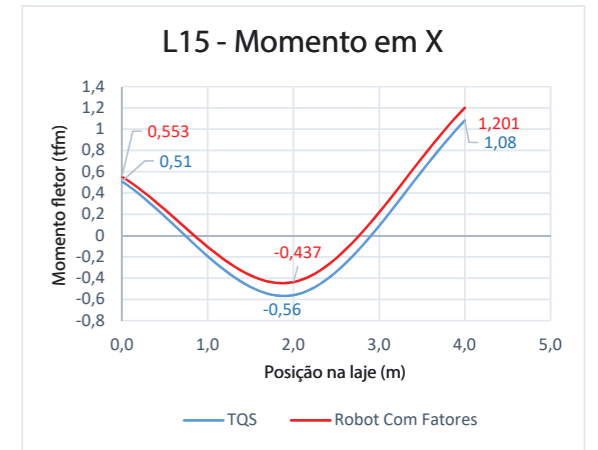
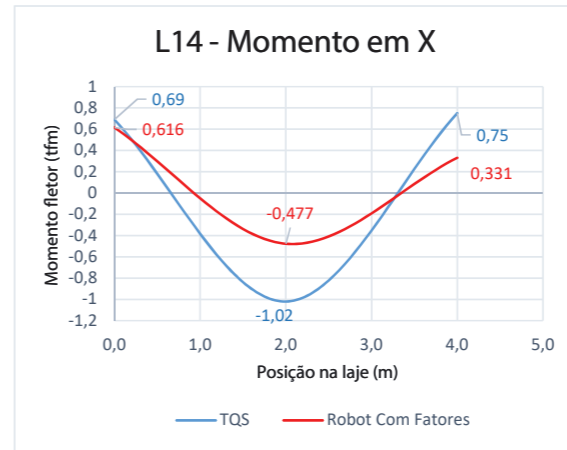
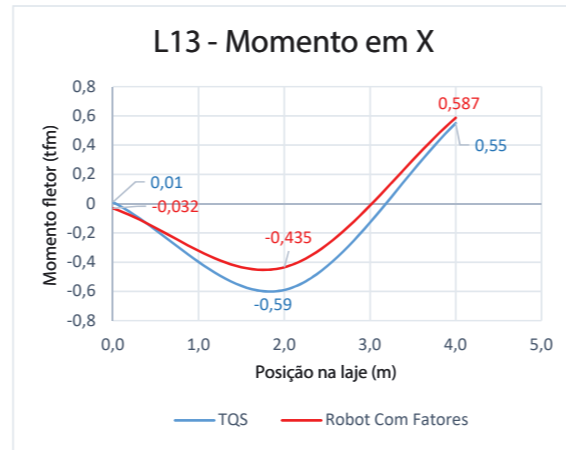
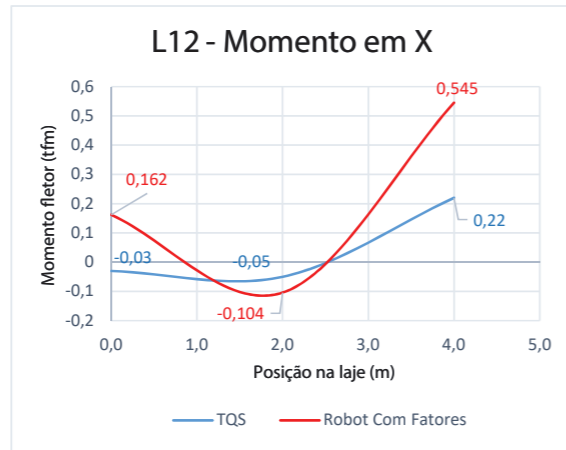
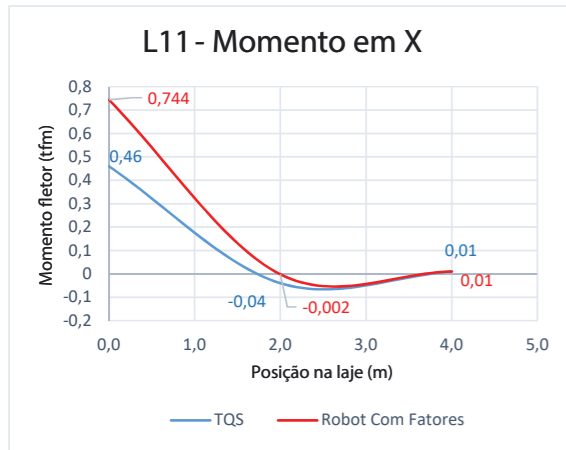
P26												
Altura (m)	Força axial (tf)				FZ (tf)				MY (tfm)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
12	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
12	4,43	4,07	0,36	9%	-0,80	-1,09	-0,29	-26%	0,85	1,12	-0,27	-24%
9	5,10	4,71	0,39	8%	-0,80	-1,09	-0,29	-26%	-1,56	-2,14	-0,58	-27%
9	18,31	17,64	0,67	4%	-1,42	-1,99	-0,57	-29%	2,21	3,07	-0,86	-28%
6	18,99	18,27	0,72	4%	-1,42	-1,99	-0,57	-29%	-2,05	-2,90	-0,85	-29%
6	32,24	31,30	0,94	3%	-1,39	-1,86	-0,47	-25%	1,99	2,74	-0,75	-27%
3	32,91	31,94	0,97	3%	-1,39	-1,86	-0,47	-25%	-2,17	-2,83	-0,66	-23%
3	46,05	44,75	1,30	3%	-0,73	-0,93	-0,20	-22%	1,39	1,82	-0,43	-24%
0	46,73	45,39	1,34	3%	-0,73	-0,93	-0,20	-22%	-0,80	-0,97	-0,17	-18%
0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

**APÊNDICE 4 – Gráficos e tabelas de solicitações nas lajes submetidas  
apenas à carga vertical**

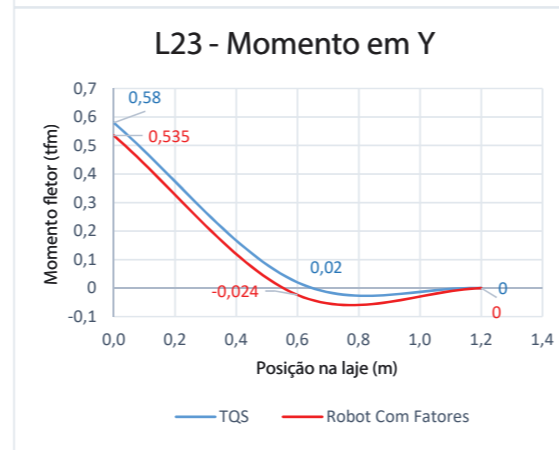
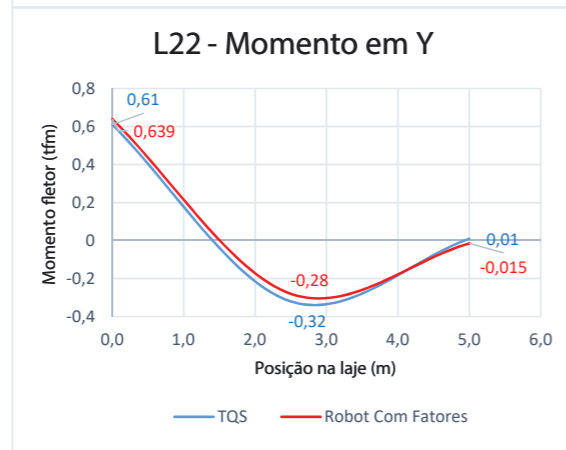
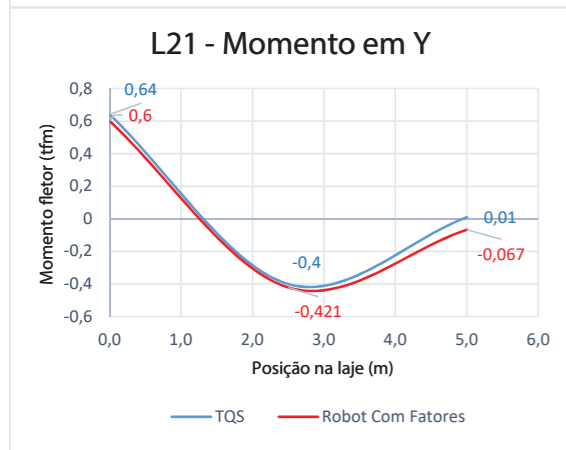
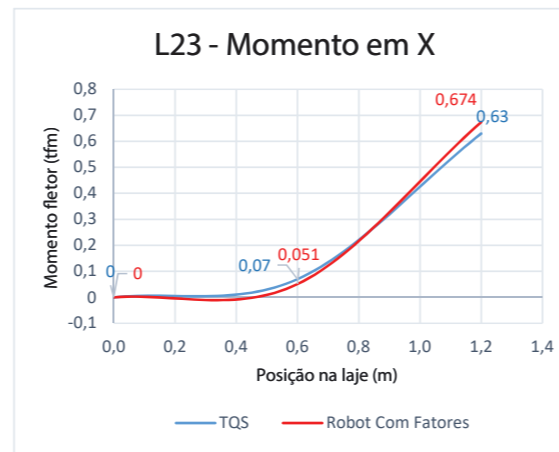
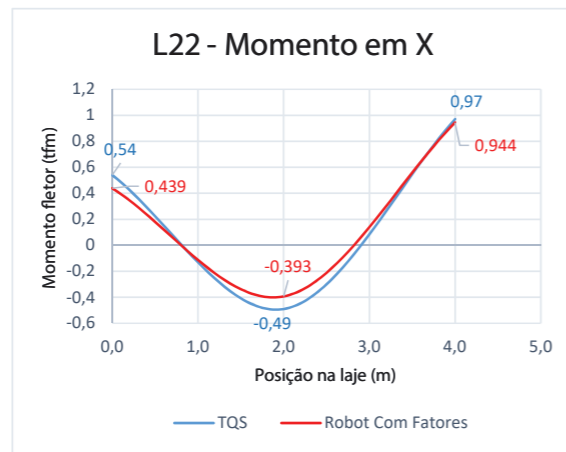
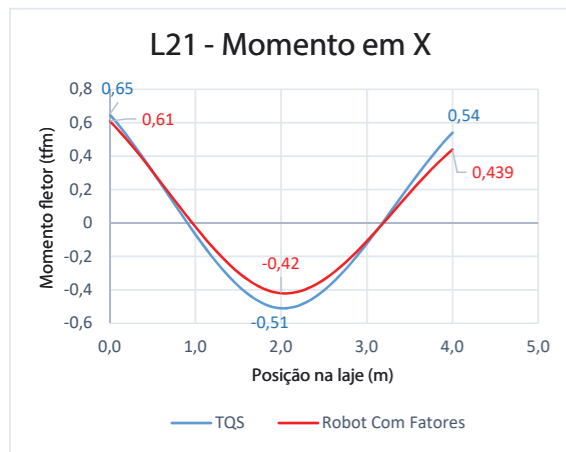
# Momentos Resultantes - Lajes 1 a 12



# Momentos Resultantes - Lajes 11 a 20



# Momentos Resultantes - Lajes 21 a 23



# Tabela de Momentos Resultantes - Lajes 1 a 12

L1								
Posição	Momento na direção X (tfm)				Momento na direção Y (tfm)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
Apoio 1	0,46	0,74	-0,28	-38%	0,01	0,10	-0,09	-90%
Centro do vão	-0,04	0,00	0,04	1900%	-0,14	0,00	0,14	-7100%
Apoio 2	0,01	0,01	0,00	0%	0,55	0,65	-0,10	-15%

L2								
Posição	Momento na direção X (tfm)				Momento na direção Y (tfm)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
Apoio 1	0,01	0,01	0,00	43%	0,01	-0,01	0,02	-225%
Centro do vão	-0,60	-0,54	0,06	11%	-0,44	-0,30	0,14	47%
Apoio 2	0,71	0,93	-0,22	-23%	0,11	-0,36	0,47	-130%

L3								
Posição	Momento na direção X (tfm)				Momento na direção Y (tfm)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
Apoio 1	0,73	1,07	-0,34	-32%	0,01	0,00	0,01	400%
Centro do vão	-0,47	-0,46	0,01	2%	-0,50	-0,43	0,07	17%
Apoio 2	0,39	0,26	0,13	51%	-0,09	-0,45	-0,36	-80%

L4								
Posição	Momento na direção X (tfm)				Momento na direção Y (tfm)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
Apoio 1	0,34	0,12	0,22	188%	0,01	-0,01	0,02	-211%
Centro do vão	-0,74	-0,55	0,19	35%	-0,46	-0,38	0,09	23%
Apoio 2	0,85	1,58	-0,73	-46%	0,41	0,32	0,09	29%

L5								
Posição	Momento na direção X (tfm)				Momento na direção Y (tfm)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
Apoio 1	0,84	0,57	0,27	48%	0,56	0,74	-0,18	-24%
Centro do vão	-0,53	-0,41	0,12	31%	-0,52	-0,68	-0,16	-24%
Apoio 2	0,41	0,32	0,09	27%	0,05	-0,34	0,39	-115%

L6								
Posição	Momento na direção X (tfm)				Momento na direção Y (tfm)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
Apoio 1	0,57	0,68	-0,11	-17%	0,03	-0,17	0,20	-118%
Centro do vão	-0,32	-0,35	-0,03	-9%	0,07	0,01	0,06	1067%
Apoio 2	-0,18	-0,59	-0,41	-69%	0,26	0,01	0,25	3321%

L7								
Posição	Momento na direção X (tfm)				Momento na direção Y (tfm)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
Apoio 1	-0,27	-0,59	-0,32	-54%	-0,05	-0,37	-0,32	-87%
Centro do vão	-0,18	-0,14	0,04	25%	-0,34	-0,31	0,03	9%
Apoio 2	0,33	0,44	-0,11	-25%	0,56	0,67	-0,11	-16%

L8								
Posição	Momento na direção X (tfm)				Momento na direção Y (tfm)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
Apoio 1	0,31	0,54	-0,23	-42%	-0,06	-0,45	-0,39	-87%
Centro do vão	-0,26	-0,24	0,02	7%	-0,42	-0,24	0,18	74%
Apoio 2	0,47	0,52	-0,05	-9%	0,58	0,69	-0,11	-16%

L9								
Posição	Momento na direção X (tfm)				Momento na direção Y (tfm)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
Apoio 1	0,40	0,48	-0,08	-17%	0,04	0,03	0,01	25%
Centro do vão	-0,04	-0,02	0,02	100%	-0,24	-0,44	-0,20	-46%
Apoio 2	0,00	-0,01	0,01	-100%	0,04	0,02	0,02	82%

L10								
Posição	Momento na direção X (tfm)				Momento na direção Y (tfm)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
Apoio 1	0,45	0,48	-0,03	-7%	0,57	0,92	-0,35	-38%
Centro do vão	-0,07	0,04	0,11	-275%	0,18	0,29	-0,11	-39%
Apoio 2	0,25	0,33	-0,08	-24%	0,52	0,42	0,10	23%

L11								
Posição	Momento na direção X (tfm)				Momento na direção Y (tfm)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
Apoio 1	0,26	0,33	-0,07	-21%	0,36	0,36	0,00	-1%
Centro do vão	-0,10	-0,06	0,04	72%	0,14	0,21	-0,07	-32%
Apoio 2	0,03	0,20	-0,17	-85%	0,52	0,50	0,02	3%

L12								
Posição	Momento na direção X (tfm)				Momento na direção Y (tfm)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
Apoio 1	-0,03	0,16	0,19	-119%	-0,03	-0,25	-0,22	-88%
Centro do vão	-0,05	-0,10	-0,05	-52%	-0,06	0,09	0,15	-165%
Apoio 2	0,22	0,55	-0,33	-60%	0,74	0,85	-0,11	-13%

# Tabela de Momentos Resultantes - Lajes 13 a 23

L13								
Posição	Momento na direção X (tfm)				Momento na direção Y (tfm)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
Apoio 1	0,01	-0,03	0,04	-131%	0,48	0,40	0,08	21%
Centro do vão	-0,59	-0,44	0,16	36%	-0,28	-0,17	0,11	63%
Apoio 2	0,55	0,59	-0,04	-6%	0,53	0,54	-0,01	-1%

L19								
Posição	Momento na direção X (tfm)				Momento na direção Y (tfm)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
Apoio 1	0,61	0,71	-0,10	-14%	0,52	0,50	0,02	4%
Centro do vão	-0,47	-0,31	0,16	51%	-0,34	-0,32	0,02	6%
Apoio 2	0,72	0,81	-0,09	-11%	0,58	0,55	0,03	5%

L14								
Posição	Momento na direção X (tfm)				Momento na direção Y (tfm)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
Apoio 1	0,69	0,62	0,07	12%	0,52	0,43	0,09	21%
Centro do vão	-1,02	-0,48	0,54	114%	-0,48	-0,51	-0,03	-6%
Apoio 2	0,75	0,33	0,42	127%	0,78	0,77	0,01	1%

L20								
Posição	Momento na direção X (tfm)				Momento na direção Y (tfm)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
Apoio 1	0,72	0,80	-0,08	-9%	0,78	0,77	0,01	1%
Centro do vão	-0,47	-0,34	0,13	37%	-0,35	-0,31	0,04	14%
Apoio 2	0,65	0,61	0,04	7%	0,01	-0,06	0,07	-118%

L15								
Posição	Momento na direção X (tfm)				Momento na direção Y (tfm)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
Apoio 1	0,51	0,55	-0,04	-8%	0,53	0,64	-0,11	-17%
Centro do vão	-0,56	-0,44	0,12	28%	-0,44	-0,30	0,14	47%
Apoio 2	1,08	1,20	-0,12	-10%	0,64	0,53	0,11	20%

L21								
Posição	Momento na direção X (tfm)				Momento na direção Y (tfm)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
Apoio 1	0,65	0,61	0,04	7%	0,64	0,60	0,04	7%
Centro do vão	-0,51	-0,42	0,09	21%	-0,40	-0,42	-0,02	-5%
Apoio 2	0,54	0,44	0,10	23%	0,01	-0,07	0,08	-115%

L16								
Posição	Momento na direção X (tfm)				Momento na direção Y (tfm)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
Apoio 1	1,06	1,20	-0,14	-12%	0,74	1,07	-0,33	-31%
Centro do vão	-0,88	-0,61	0,27	44%	-0,32	-0,36	-0,04	-11%
Apoio 2	0,00	-0,09	0,09	-100%	0,60	0,60	0,00	0%

L22								
Posição	Momento na direção X (tfm)				Momento na direção Y (tfm)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
Apoio 1	0,54	0,44	0,10	23%	0,61	0,64	-0,03	-5%
Centro do vão	-0,49	-0,39	0,10	25%	-0,32	-0,28	0,04	14%
Apoio 2	0,97	0,94	0,03	3%	0,01	-0,02	0,03	-167%

L17								
Posição	Momento na direção X (tfm)				Momento na direção Y (tfm)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
Apoio 1	0,01	-0,09	0,10	-111%	0,48	0,47	0,01	2%
Centro do vão	-0,59	-0,48	0,11	23%	-0,28	-0,33	-0,05	-16%
Apoio 2	0,60	0,82	-0,22	-27%	0,50	0,47	0,04	8%

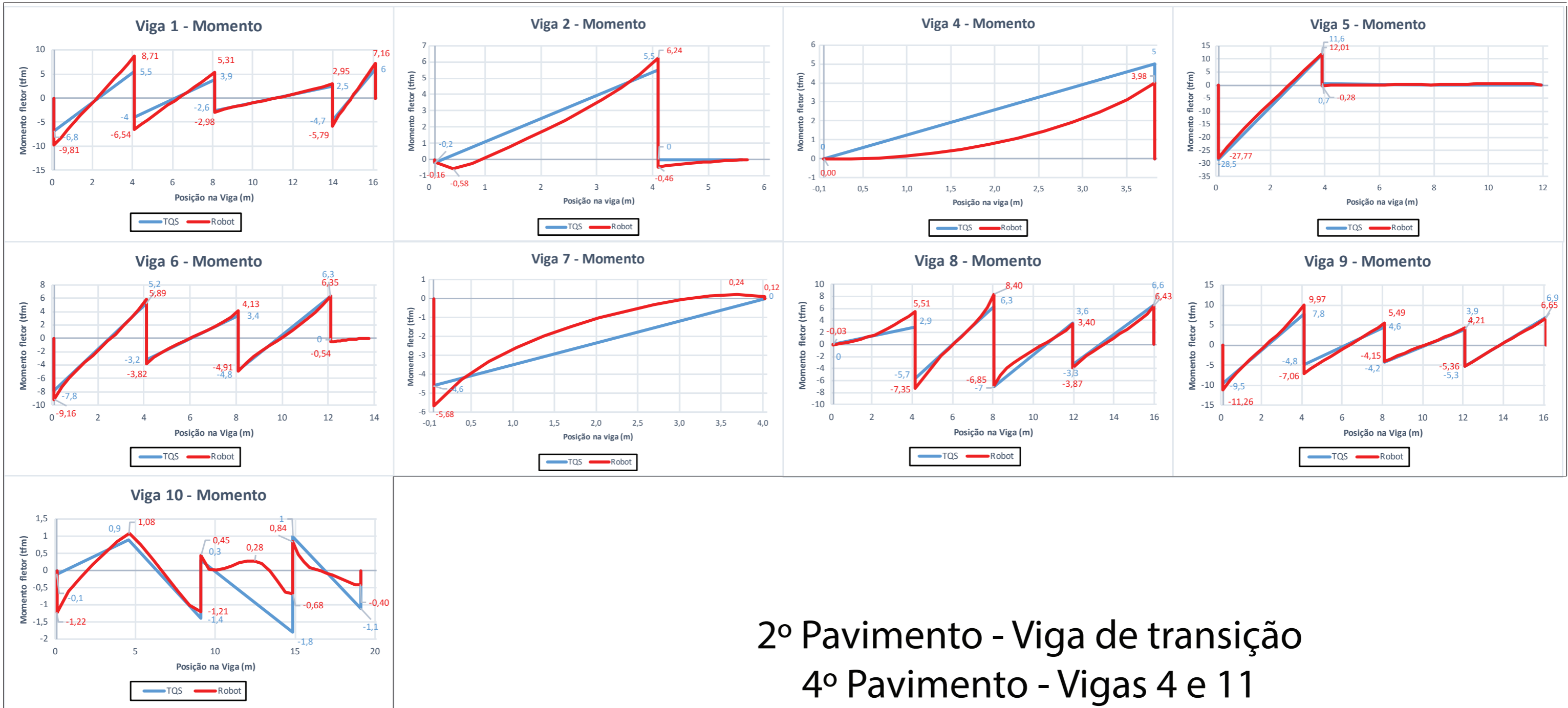
L23								
Posição	Momento na direção X (tfm)				Momento na direção Y (tfm)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
Apoio 1	0,00	0,00	0,00	0%	0,58	0,54	0,04	8%
Centro do vão	0,07	0,05	0,02	37%	0,02	-0,02	0,04	-183%
Apoio 2	0,63	0,67	-0,04	-7%	0,00	0,00	0,00	0%

L18								
Posição	Momento na direção X (tfm)				Momento na direção Y (tfm)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
Apoio 1	0,98	1,03	-0,05	-4%	0,01	0,01	0,00	-9%
Centro do vão	0,20	0,20	0,00	1%	0,08	0,07	0,01	21%
Apoio 2	0,00	0,00	0,00	0%	0,03	-0,01	0,04	-600%

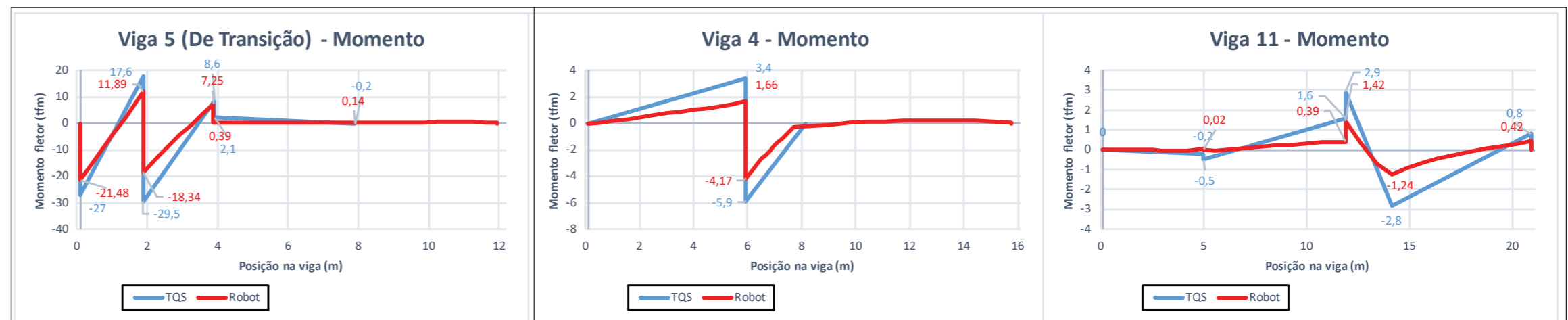
**APÊNDICE 5 – Gráficos e tabelas de solicitações nas vigas submetidas à carga de vento a 0°**



# 1º Pavimento - Vigas 1 a 10



# 2º Pavimento - Viga de transição 4º Pavimento - Vigas 4 e 11



# 1º Pavimento

Viga	Software	Picos de Momento (tfm)							
1	TQS (tfm)	-6,8	5,5	-4	3,9	-2,6	2,5	-4,7	6
	Robot c/ Fat. (tfm)	-9,81	8,71	-6,54	5,31	-2,98	2,95	-5,79	7,16
	Diferença (tfm)	-3,01	-3,21	-2,54	-1,41	-0,38	-0,45	-1,09	-1,16
	Diferença (%)	-31%	-37%	-39%	-27%	-13%	-15%	-19%	-16%
2	TQS (tfm)	-0,2	5,5	0					
	Robot c/ Fat. (tfm)	-0,58	6,24	-0,46					
	Diferença (tfm)	-0,51	-0,74	-0,46					
	Diferença (%)	-66%	-12%	-100%					
4	TQS (tfm)	0	5						
	Robot c/ Fat. (tfm)	0	3,98						
	Diferença (tfm)	0	1,02						
	Diferença (%)	0%	26%						
5	TQS (tfm)	-28,5	11,6	0,7					
	Robot c/ Fat. (tfm)	-27,77	12,01	-0,28					
	Diferença (tfm)	0,73	-0,41	0,98					
	Diferença (%)	3%	-3%	-350%					
6	TQS (tfm)	-7,8	5,2	-3,2	3,4	-4,8	6,3	0	
	Robot c/ Fat. (tfm)	-9,16	5,89	-3,82	4,13	-4,91	6,35	-0,54	
	Diferença (tfm)	-1,36	-0,69	-0,62	-0,73	-0,11	-0,05	-0,54	
	Diferença (%)	-15%	-12%	-16%	-18%	-2%	-1%	-100%	
7	TQS (tfm)	-4,6	0						
	Robot c/ Fat. (tfm)	-5,68	0,24						
	Diferença (tfm)	-1,08	-0,24						
	Diferença (%)	-19%	-100%						
8	TQS (tfm)	0	2,9	-5,7	6,3	-7	3,6	-3,3	6,6
	Robot c/ Fat. (tfm)	-0,03	5,51	-7,35	8,4	-6,85	3,4	-3,87	6,43
	Diferença (tfm)	-0,03	-2,61	-1,65	-2,1	0,15	0,2	-0,57	0,17
	Diferença (%)	-100%	-47%	-22%	-25%	2%	6%	-15%	3%
9	TQS (tfm)	-9,5	7,8	-4,8	4,6	-4,2	3,9	-5,3	6,9
	Robot c/ Fat. (tfm)	-11,26	9,97	-7,06	5,49	-4,15	4,21	-5,36	6,65
	Diferença (tfm)	-1,76	-2,17	-2,26	-0,89	0,05	-0,31	-0,06	0,25
	Diferença (%)	-16%	-22%	-32%	-16%	1%	-7%	-1%	4%
10	TQS (tfm)	-0,1	0,9	-1,4	0,3	-1,8	1	-1,1	
	Robot c/ Fat. (tfm)	-1,22	1,08	-1,21	0,45	-0,68	0,84	-0,4	
	Diferença (tfm)	-1,12	-0,18	0,19	-0,15	1,12	0,16	0,7	
	Diferença (%)	-92%	-17%	16%	-33%	165%	19%	175%	

# 2º Pavimento

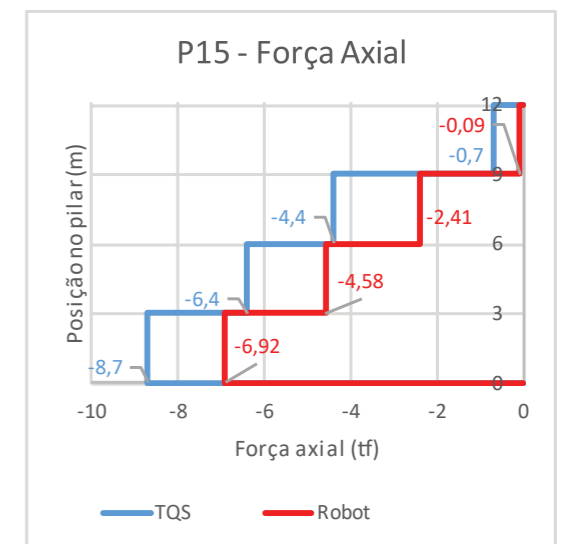
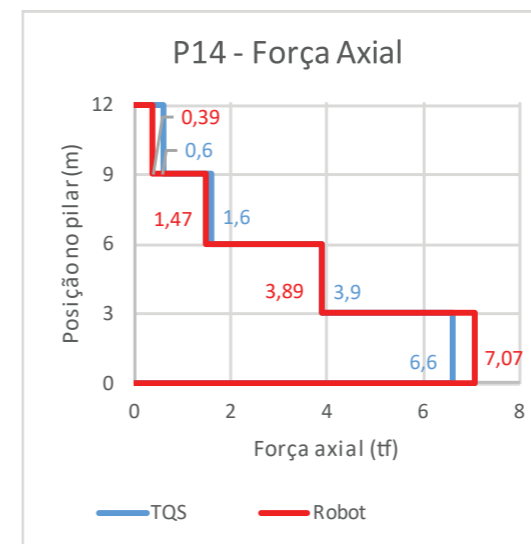
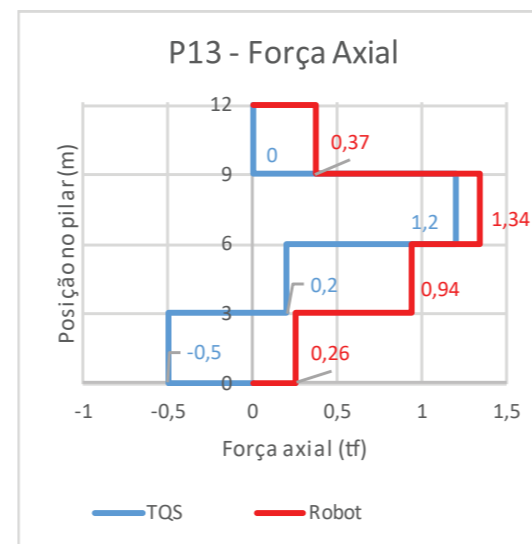
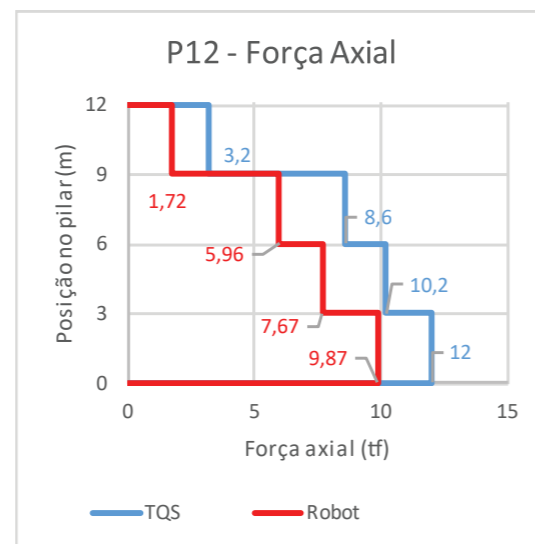
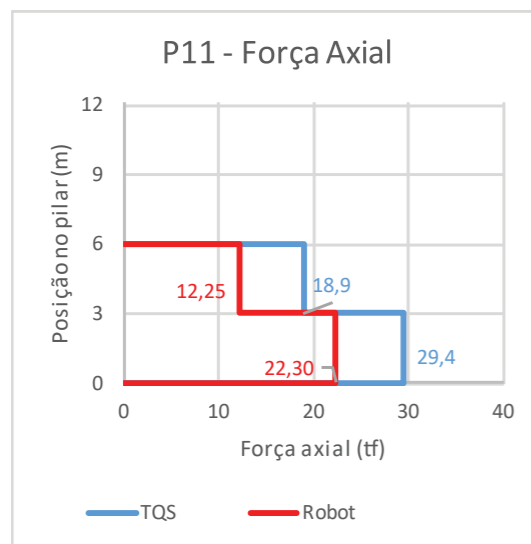
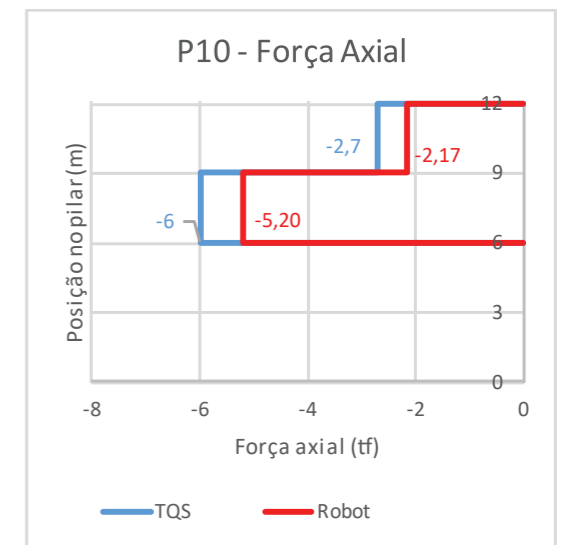
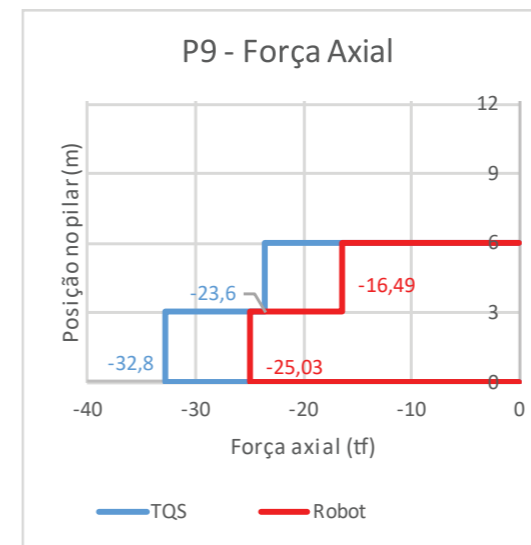
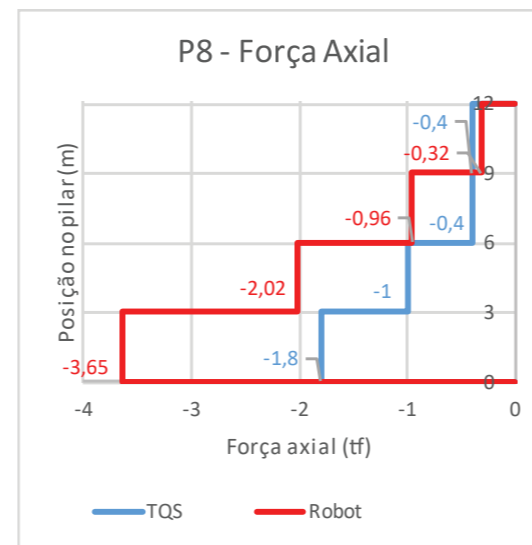
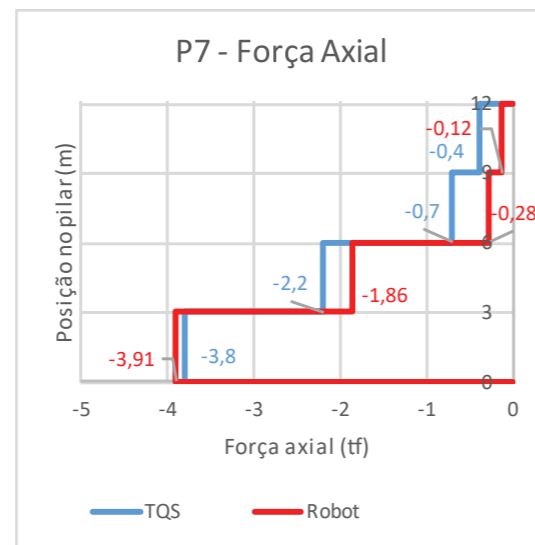
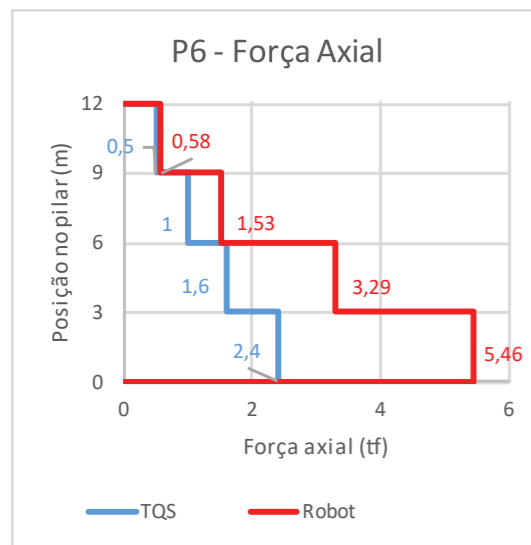
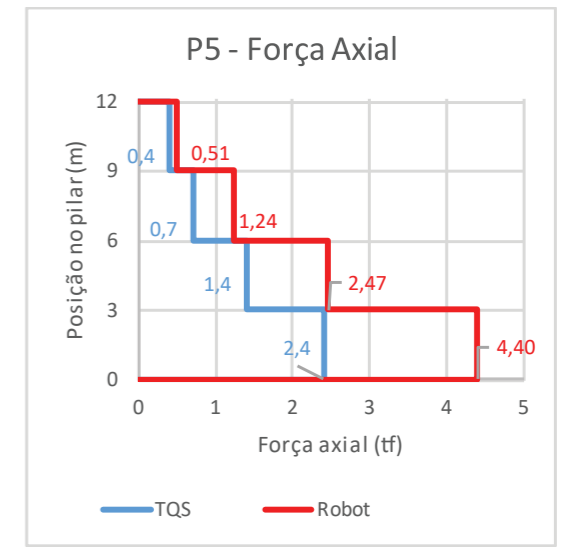
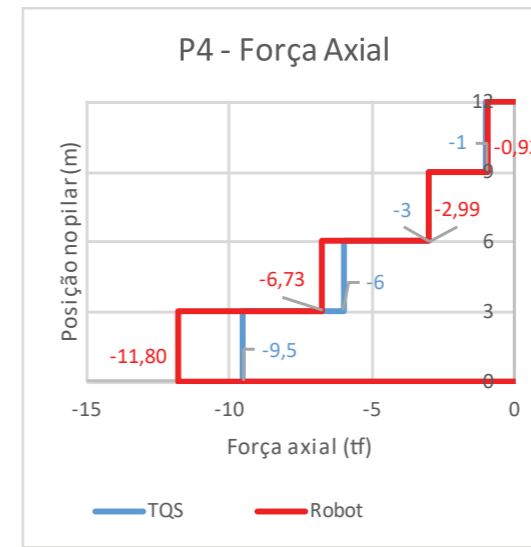
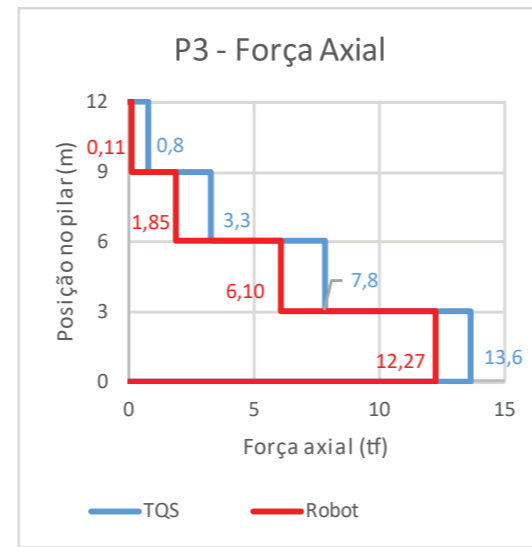
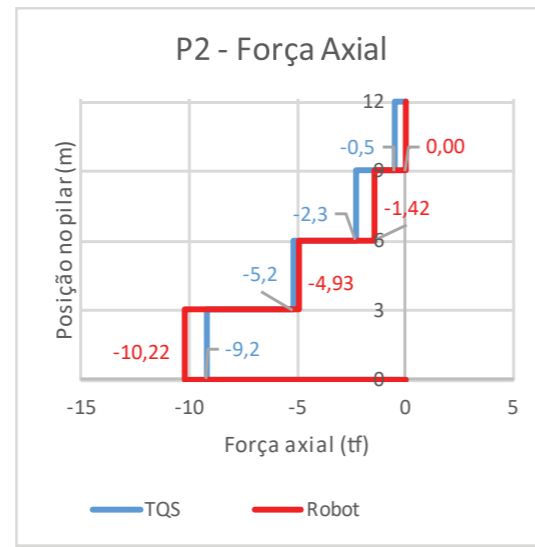
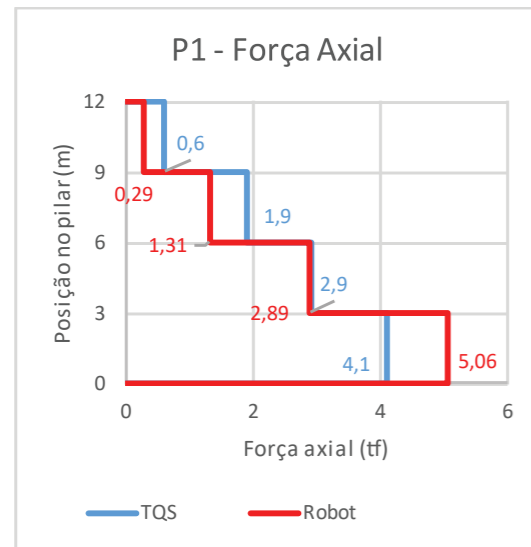
Viga	Software	Picos de Momento (tfm)					
5	TQS (tfm)	-27	17,6	-29,5	8,6	2,1	-0,2
	Robot c/ Fat. (tfm)	-21,48	11,89	-18,34	7,25	0,39	0,14
	Diferença (tfm)	5,52	5,71	11,16	1,35	1,71	0,34
	Diferença (%)	26%	48%	61%	19%	438%	-243%

# Cobertura

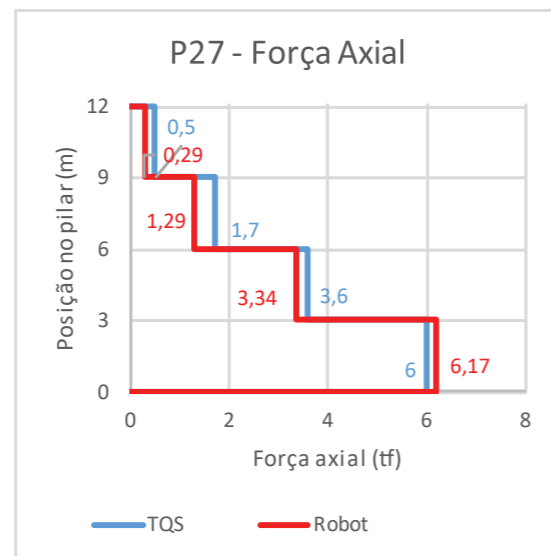
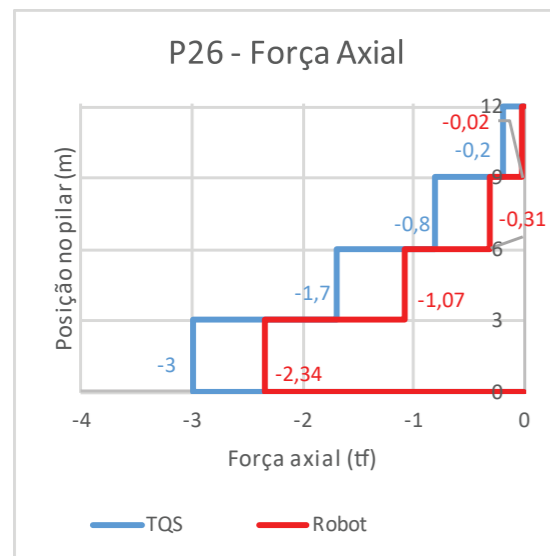
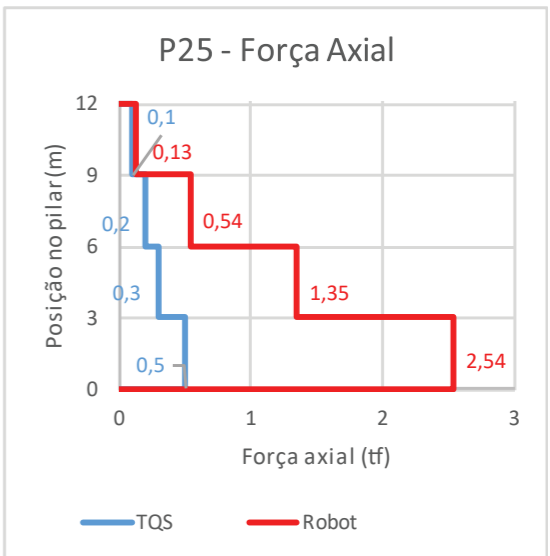
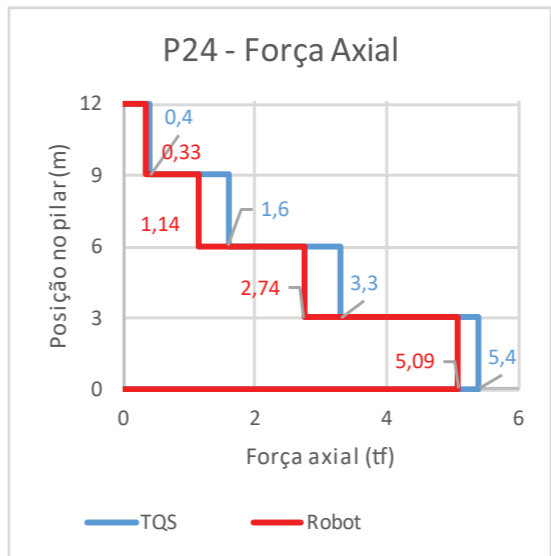
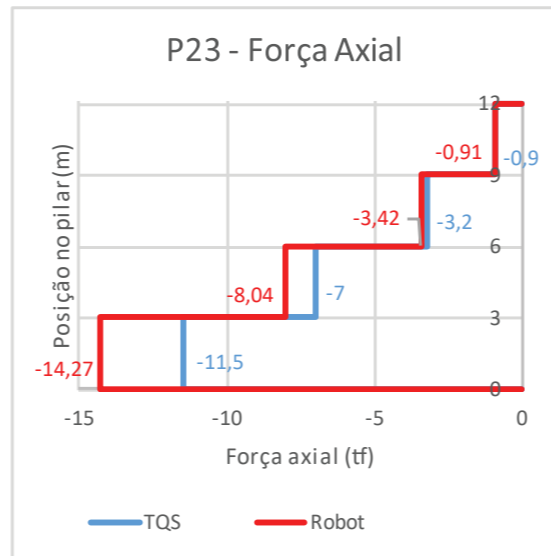
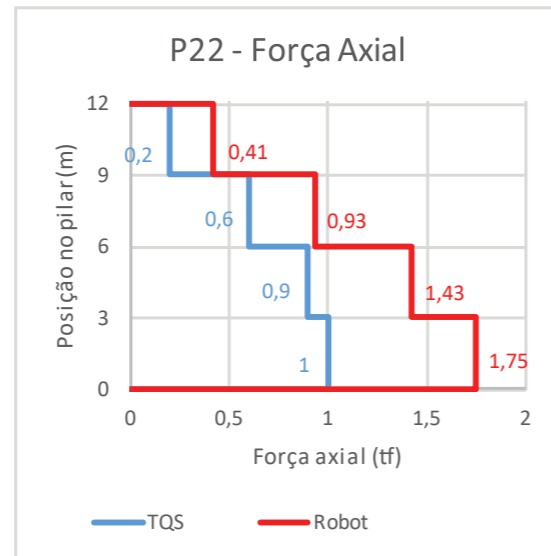
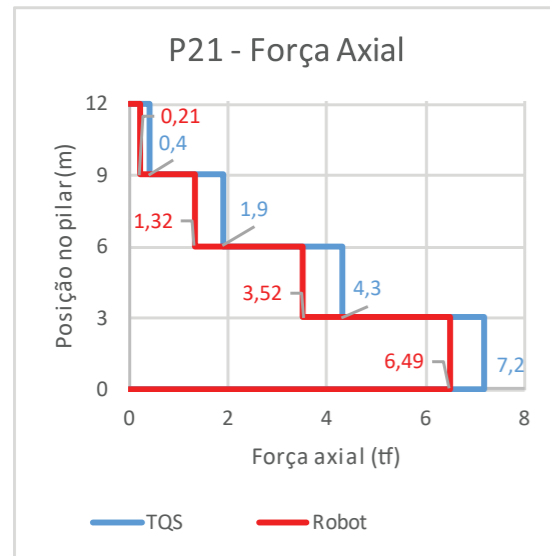
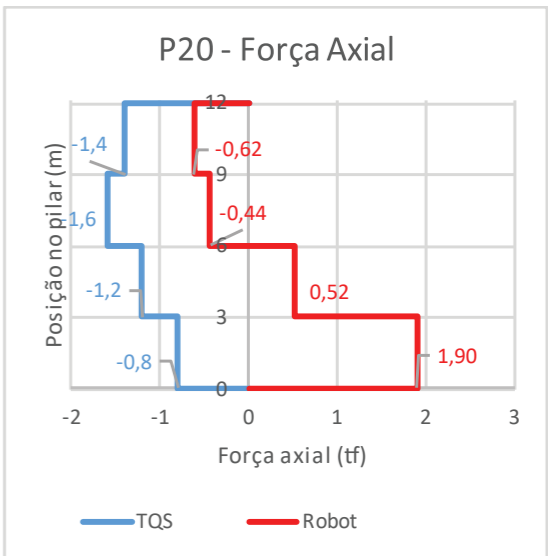
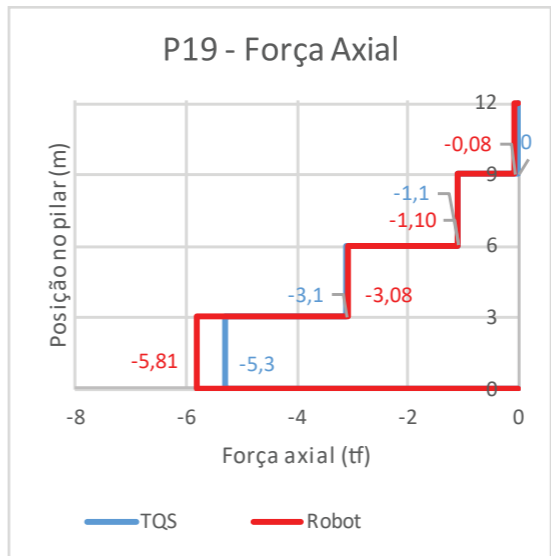
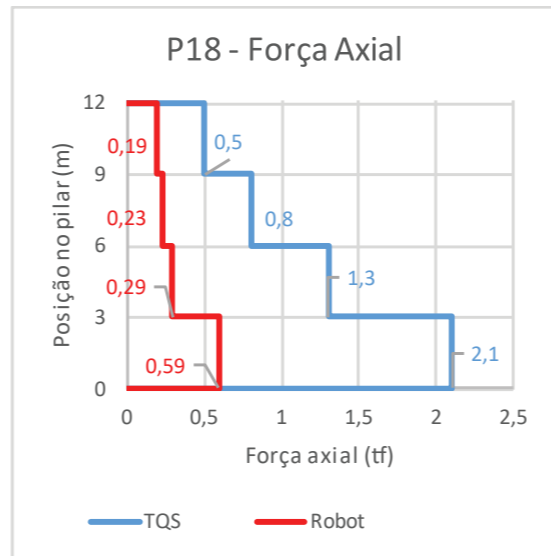
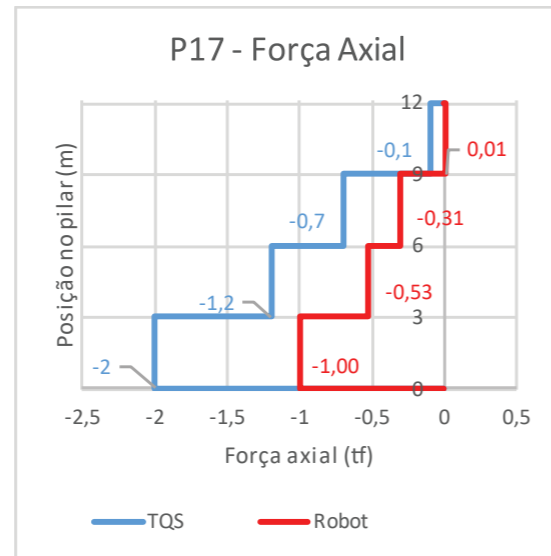
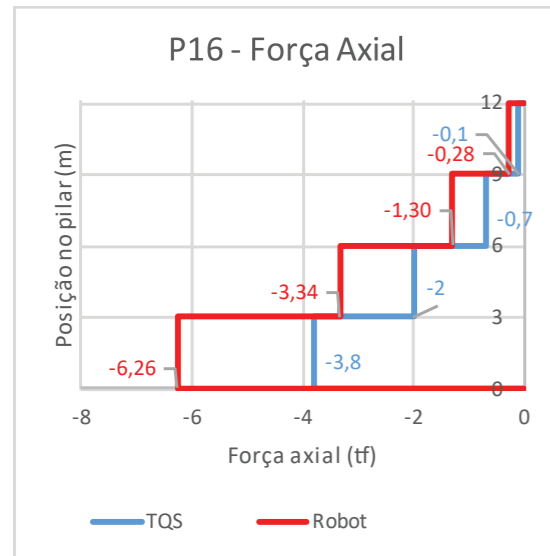
Viga	Software	Picos de Momento (tfm)					
4	TQS (tfm)	0	3,4	-5,9	0		
	Robot c/ Fat. (tfm)	0	1,66	-4,17	0		
	Diferença (tfm)	0	1,74	1,73	0		
	Diferença (%)	0%	105%	41%	0%		
11	TQS (tfm)	0	-0,5	1,6	2,9	-2,8	0,8
	Robot c/ Fat. (tfm)	0	0,02	0,39	1,42	-1,24	0,42
	Diferença (tfm)	0	0,52	1,21	1,48	1,56	0,38
	Diferença (%)	0%	-2600%	310%	104%	126%	90%

**APÊNDICE 6 – Gráficos e tabelas de solicitações nos pilares submetidas a carga de vento a 0°**

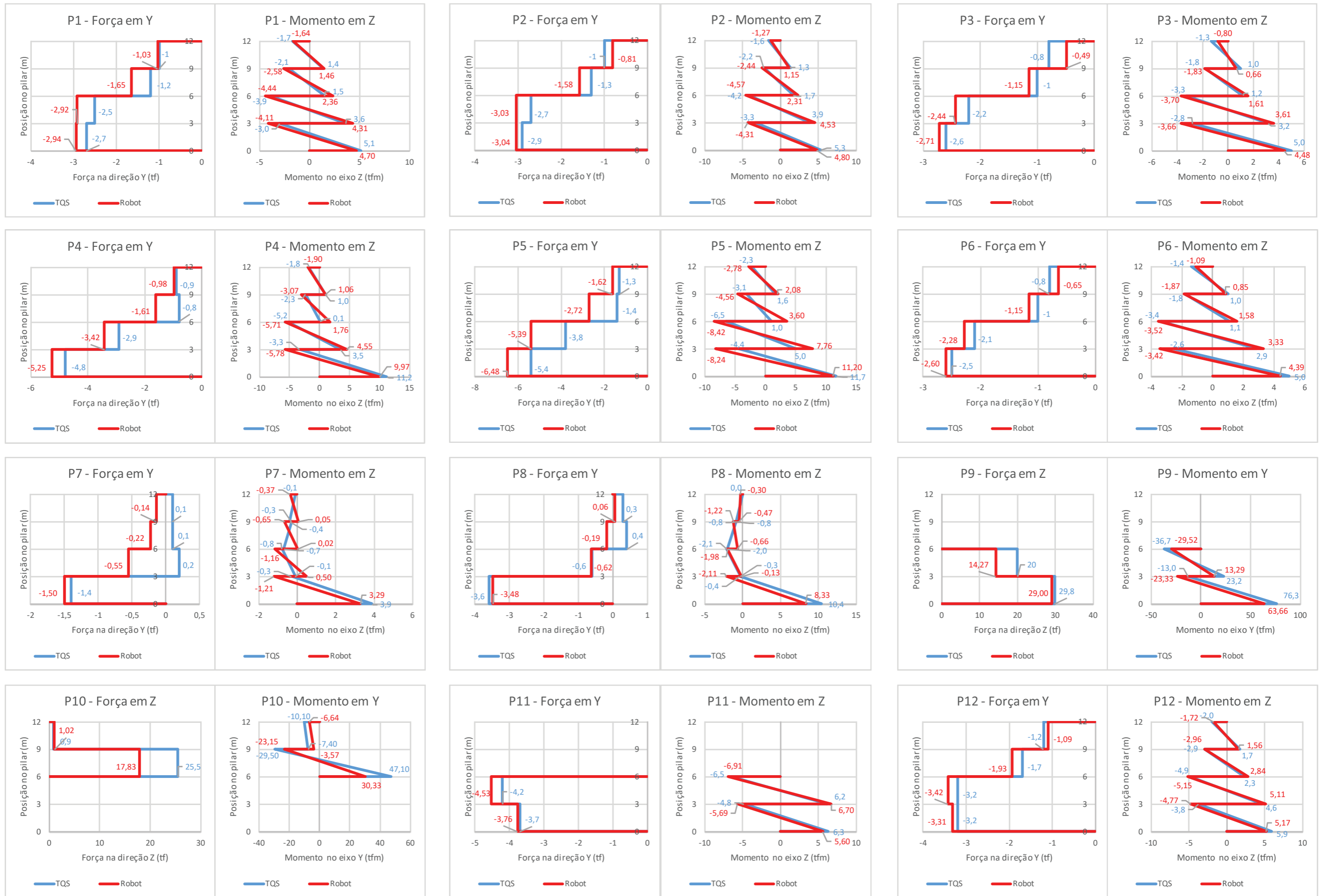
# Força Axial - Pilares 1 a 15



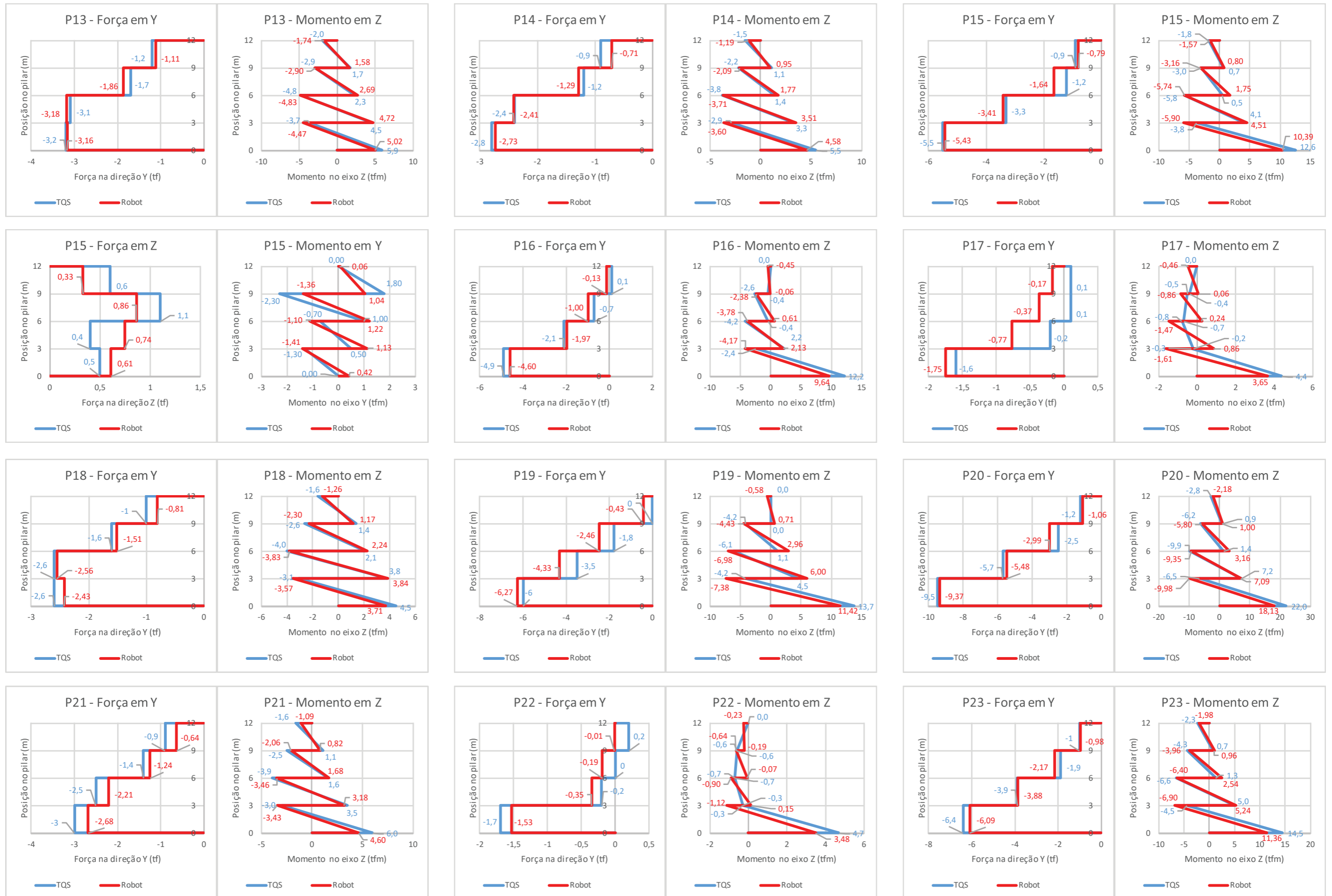
# Força Axial - Pilares 16 a 27



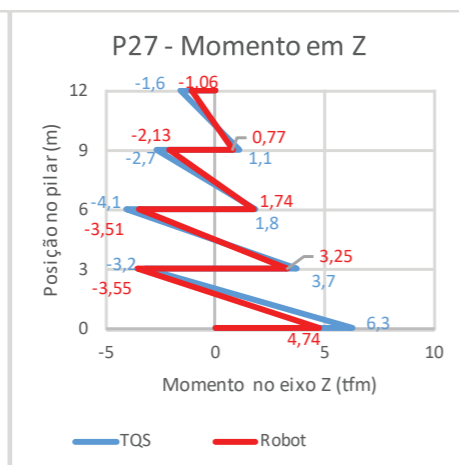
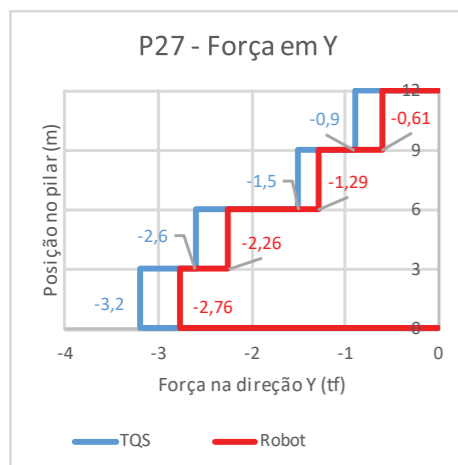
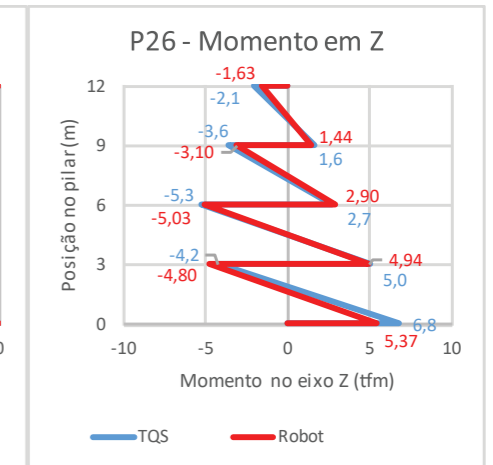
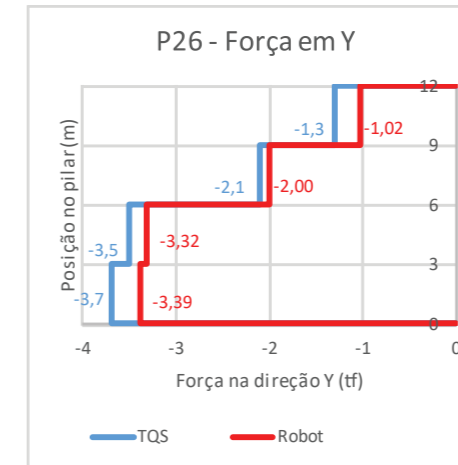
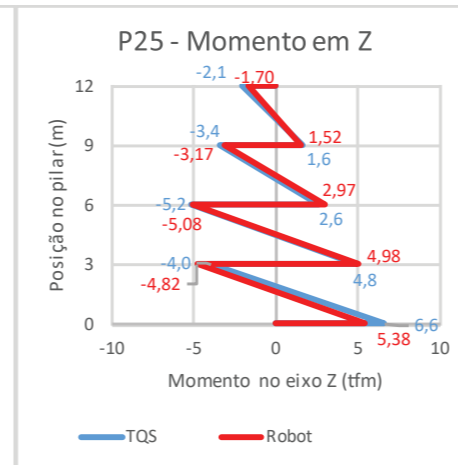
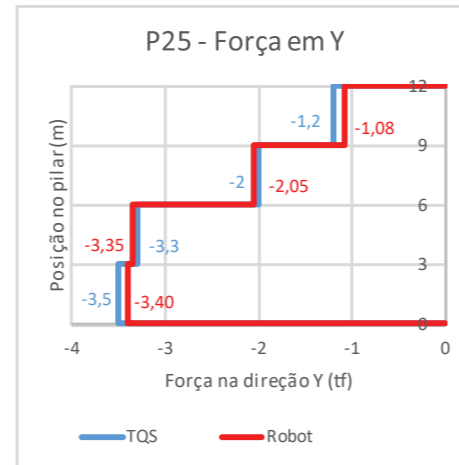
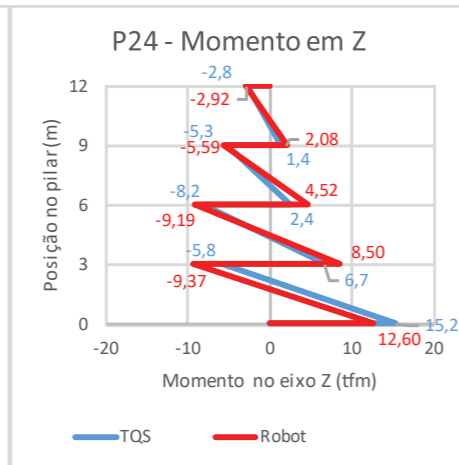
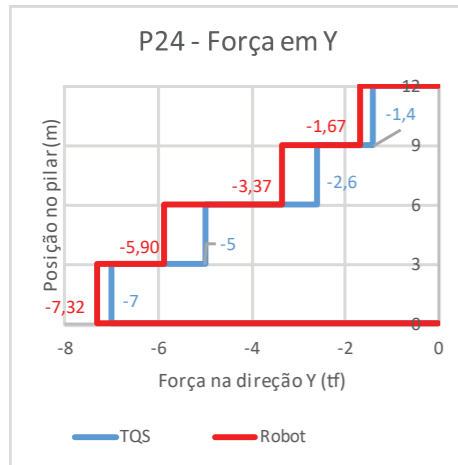
# Forças e Momentos Resultantes - Pilares 1 a 12



# Forças e Momentos Resultantes - Pilares 13 a 23



# Forças e Momentos Resultantes - Pilares 24 a 27







# Tabelas de Forças e Momentos Resultantes - Pilares 9 a 15

Altura (m)		P9											
		Força axial (tf)				FZ (tf)				MY (tfm)			
		TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
6	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	
6	-23,60	-16,49	7,11	43%	20,00	14,27	5,73	40%	-36,70	-29,52	7,18	24%	
3	-23,60	-16,49	7,11	43%	20,00	14,27	5,73	40%	23,20	13,29	9,91	75%	
3	-32,80	-25,03	7,77	31%	29,80	29,00	0,80	3%	-13,00	-23,33	-10,33	-44%	
0	-32,80	-25,03	7,77	31%	29,80	29,00	0,80	3%	76,30	63,66	12,64	20%	
0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	

Altura (m)		P10											
		Força axial (tf)				FZ (tf)				MY (tfm)			
		TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
12	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	
12	-2,70	-2,17	0,53	24%	0,90	1,02	-0,12	-12%	-10,10	-6,64	3,46	52%	
9	-2,70	-2,17	0,53	24%	0,90	1,02	-0,12	-12%	-7,40	-3,57	3,83	107%	
9	-6,00	-5,20	0,80	15%	25,50	17,83	7,67	43%	-29,50	-23,15	6,35	27%	
6	-6,00	-5,20	0,80	15%	25,50	17,83	7,67	43%	47,10	30,33	16,77	55%	
6	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	

Altura (m)		P11											
		Força axial (tf)				FY (tf)				MZ (tfm)			
		TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
6	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	
6	18,90	12,25	6,65	54%	-4,20	-4,53	-0,33	-7%	-6,50	-6,91	-0,41	-6%	
3	18,90	12,25	6,65	54%	-4,20	-4,53	-0,33	-7%	6,20	6,70	-0,50	-7%	
3	29,40	22,30	7,10	32%	-3,70	-3,76	-0,06	-2%	-4,80	-5,69	-0,89	-16%	
0	29,40	22,30	7,10	32%	-3,70	-3,76	-0,06	-2%	6,30	5,60	0,70	13%	
0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	

Altura (m)		P12											
		Força axial (tf)				FY (tf)				MZ (tfm)			
		TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
12	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	
12	3,20	1,72	1,48	87%	-1,20	-1,09	0,11	10%	-2,00	-1,72	0,28	16%	
9	3,20	1,72	1,48	87%	-1,20	-1,09	0,11	10%	1,70	1,56	0,14	9%	
9	8,60	5,96	2,64	44%	-1,70	-1,93	-0,23	-12%	-2,90	-2,96	-0,06	-2%	
6	8,60	5,96	2,64	44%	-1,70	-1,93	-0,23	-12%	2,30	2,84	-0,54	-19%	
6	10,20	7,67	2,53	33%	-3,20	-3,42	-0,22	-6%	-4,90	-5,15	-0,25	-5%	
3	10,20	7,67	2,53	33%	-3,20	-3,42	-0,22	-6%	4,60	5,11	-0,51	-10%	
3	12,00	9,87	2,13	22%	-3,20	-3,31	-0,11	-3%	-3,80	-4,77	-0,97	-20%	
0	12,00	9,87	2,13	22%	-3,20	-3,31	-0,11	-3%	5,90	5,17	0,73	14%	
0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	

Altura (m)		P13											
		Força axial (tf)				FY (tf)				MZ (tfm)			
		TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
12	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	
12	0,00	0,37	-0,37	-100%	-1,20	-1,11	0,09	8%	-2,00	-1,74	0,26	15%	
9	0,00	0,37	-0,37	-100%	-1,20	-1,11	0,09	8%	1,70	1,58	0,12	8%	
9	1,20	1,34	-0,14	-10%	-1,70	-1,86	-0,16	-9%	-2,90	-2,90	0,00	0%	
6	1,20	1,34	-0,14	-10%	-1,70	-1,86	-0,16	-9%	2,30	2,69	-0,39	-14%	
6	0,20	0,94	-0,74	-79%	-3,10	-3,18	-0,08	-3%	-4,80	-4,83	-0,03	-1%	
3	0,20	0,94	-0,74	-79%	-3,10	-3,18	-0,08	-3%	4,50	4,72	-0,22	-5%	
3	-0,50	0,26	0,76	-295%	-3,20	-3,16	0,04	1%	-3,70	-4,47	-0,77	-17%	
0	-0,50	0,26	0,76	-295%	-3,20	-3,16	0,04	1%	5,90	5,02	0,88	18%	
0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	

Altura (m)		P14											
		Força axial (tf)				FY (tf)				MZ (tfm)			
		TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
12	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	
12	0,60	0,39	0,21	54%	-0,90	-0,71	0,19	27%	-1,50	-1,19	0,31	27%	
9	0,60	0,39	0,21	54%	-0,90	-0,71	0,19	27%	1,10	0,95	0,15	16%	
9	1,60	1,47	0,13	9%	-1,20	-1,29	-0,09	-7%	-2,20	-2,09	0,11	5%	
6	1,60	1,47	0,13	9%	-1,20	-1,29	-0,09	-7%	1,40	1,77	-0,37	-21%	
6	3,90	3,89	0,01	0%	-2,40	-2,41	-0,01	0%	-3,80	-3,71	0,09	2%	
3	3,90	3,89	0,01	0%	-2,40	-2,41	-0,01	0%	3,30	3,51	-0,21	-6%	
3	6,60	7,07	-0,47	-7%	-2,80	-2,73	0,07	3%	-2,90	-3,60	-0,70	-19%	
0	6,60	7,07	-0,47	-7%	-2,80	-2,73	0,07	3%	5,50	4,58	0,92	20%	
0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	

Altura (m)		P15																			
		Força axial (tf)				FY (tf)				MZ (tfm)				FZ (tf)				MY (tfm)			
		TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
12	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	
12	-0,70	-0,09	0,61	674%	-0,90	-0,79	0,11	14%	-1,80	-1,57	0,23	14%	0,60	0,33	0,27	83%	0,00	0,06	-0,06	-100%	
9	-0,70	-0,09	0,61	674%	-0,90	-0,79	0,11	14%	0,70	0,80	-0,10	-13%	0,60	0,33	0,27	83%	1,80	1,04	0,76	73%	
9	-4,40	-2,41	1,99	82%	-1,20	-1,64	-0,44	-27%	-3,00	-3,16	-0,16	-5%	1,10	0,86	0,24	27%	-2,30	-1,36	0,94	69%	
6	-4,40	-2,41	1,99	82%	-1,20	-1,64	-0,44	-27%	0,50	1,75	-1,25	-71%	1,10	0,86	0,24	27%	1,00	1,22	-0,22	-18%	
6	-6,40	-4,58	1,82	40%	-3,30	-3,41	-0,11	-3%	-5,80	-5,74	0,06	1%	0,40	0,74	-0,34	-46%	-0,70	-1,10	-0,40	-36%	
3	-6,40	-4,58	1,82	40%	-3,30	-3,41	-0,11	-3%	4,10	4,51	-0,41	-9%	0,40	0,74	-0,34	-46%	0,50	1,13	-0,63	-56%	
3	-8,70	-6,92	1,78	26%	-5,50	-5,43	0,07	1%	-3,80	-5,90	-2,10	-36%	0,50	0,61	-0,11	-18%	-1,30	-1,41	-0,11	-8%	
0	-8,70	-6,92	1,78	26%	-5,50	-5,43	0,07	1%	12,60	10,39	2,21	21%	0,50	0,61	-0,11	-18%	0,00	0,42	-0,42	-100%	
0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	



# Tabelas de Forças e Momentos Resultantes - Pilares 24 a 27

Altura (m)	P24											
	Força axial (tf)				FY (tf)				MZ (tfm)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
12	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
12	0,40	0,33	0,07	20%	-1,40	-1,67	-0,27	-16%	-2,80	-2,92	-0,12	-4%
9	0,40	0,33	0,07	20%	-1,40	-1,67	-0,27	-16%	1,40	2,08	-0,68	-33%
9	1,60	1,14	0,46	40%	-2,60	-3,37	-0,77	-23%	-5,30	-5,59	-0,29	-5%
6	1,60	1,14	0,46	40%	-2,60	-3,37	-0,77	-23%	2,40	4,52	-2,12	-47%
6	3,30	2,74	0,56	21%	-5,00	-5,90	-0,90	-15%	-8,20	-9,19	-0,99	-11%
3	3,30	2,74	0,56	21%	-5,00	-5,90	-0,90	-15%	6,70	8,50	-1,80	-21%
3	5,40	5,09	0,31	6%	-7,00	-7,32	-0,32	-4%	-5,80	-9,37	-3,57	-38%
0	5,40	5,09	0,31	6%	-7,00	-7,32	-0,32	-4%	15,20	12,60	2,60	21%
0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

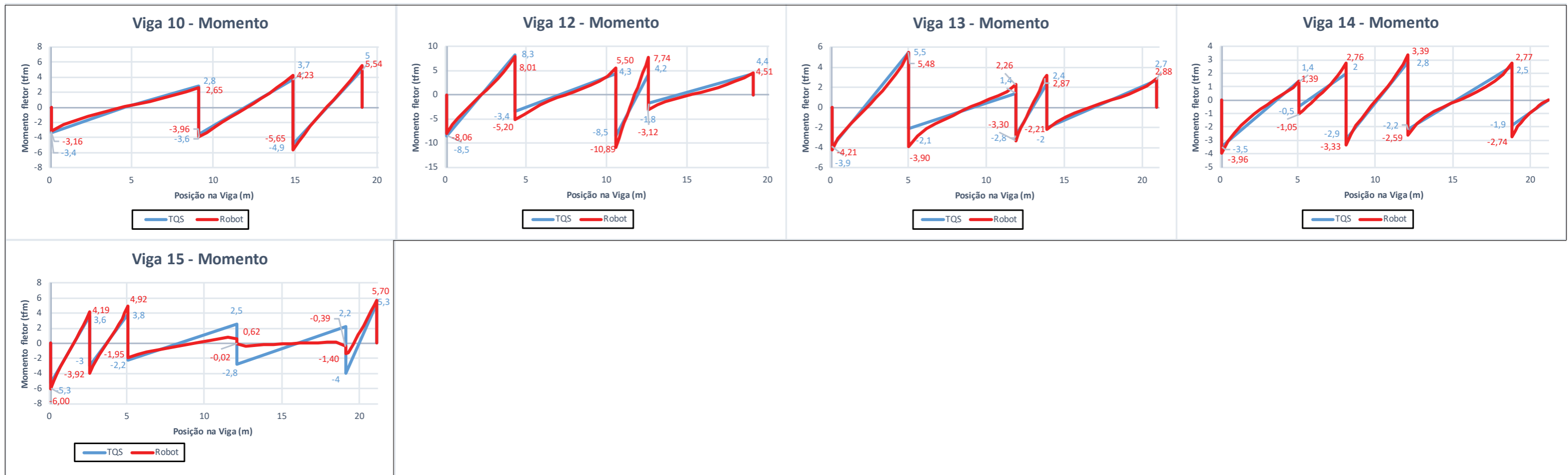
Altura (m)	P27											
	Força axial (tf)				FY (tf)				MZ (tfm)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
12	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
12	0,50	0,29	0,21	75%	-0,90	-0,61	0,29	47%	-1,60	-1,06	0,54	51%
9	0,50	0,29	0,21	75%	-0,90	-0,61	0,29	47%	1,10	0,77	0,33	42%
9	1,70	1,29	0,41	31%	-1,50	-1,29	0,21	16%	-2,70	-2,13	0,57	27%
6	1,70	1,29	0,41	31%	-1,50	-1,29	0,21	16%	1,80	1,74	0,06	3%
6	3,60	3,34	0,26	8%	-2,60	-2,26	0,34	15%	-4,10	-3,51	0,59	17%
3	3,60	3,34	0,26	8%	-2,60	-2,26	0,34	15%	3,70	3,25	0,45	14%
3	6,00	6,17	-0,17	-3%	-3,20	-2,76	0,44	16%	-3,20	-3,55	-0,35	-10%
0	6,00	6,17	-0,17	-3%	-3,20	-2,76	0,44	16%	6,30	4,74	1,56	33%
0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

Altura (m)	P25											
	Força axial (tf)				FY (tf)				MZ (tfm)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
12	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
12	0,10	0,13	-0,03	-21%	-1,20	-1,08	0,12	12%	-2,10	-1,70	0,40	23%
9	0,10	0,13	-0,03	-21%	-1,20	-1,08	0,12	12%	1,60	1,52	0,08	5%
9	0,20	0,54	-0,34	-63%	-2,00	-2,05	-0,05	-2%	-3,40	-3,17	0,23	7%
6	0,20	0,54	-0,34	-63%	-2,00	-2,05	-0,05	-2%	2,60	2,97	-0,37	-12%
6	0,30	1,35	-1,05	-78%	-3,30	-3,35	-0,05	-2%	-5,20	-5,08	0,12	2%
3	0,30	1,35	-1,05	-78%	-3,30	-3,35	-0,05	-2%	4,80	4,98	-0,18	-4%
3	0,50	2,54	-2,04	-80%	-3,50	-3,40	0,10	3%	-4,00	-4,82	-0,82	-17%
0	0,50	2,54	-2,04	-80%	-3,50	-3,40	0,10	3%	6,60	5,38	1,22	23%
0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

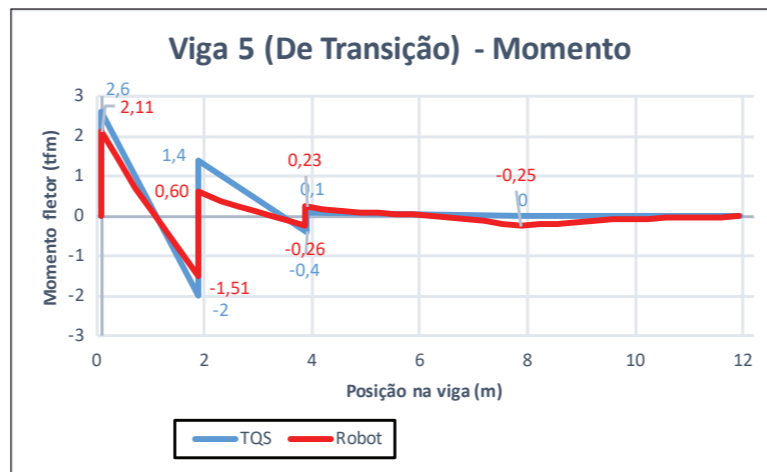
Altura (m)	P26											
	Força axial (tf)				FY (tf)				MZ (tfm)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
12	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
12	-0,20	-0,02	0,18	833%	-1,30	-1,02	0,28	27%	-2,10	-1,63	0,47	29%
9	-0,20	-0,02	0,18	833%	-1,30	-1,02	0,28	27%	1,60	1,44	0,16	11%
9	-0,80	-0,31	0,49	161%	-2,10	-2,00	0,10	5%	-3,60	-3,10	0,50	16%
6	-0,80	-0,31	0,49	161%	-2,10	-2,00	0,10	5%	2,70	2,90	-0,20	-7%
6	-1,70	-1,07	0,63	59%	-3,50	-3,32	0,18	5%	-5,30	-5,03	0,27	5%
3	-1,70	-1,07	0,63	59%	-3,50	-3,32	0,18	5%	5,00	4,94	0,06	1%
3	-3,00	-2,34	0,66	28%	-3,70	-3,39	0,31	9%	-4,20	-4,80	-0,60	-12%
0	-3,00	-2,34	0,66	28%	-3,70	-3,39	0,31	9%	6,80	5,37	1,43	27%
0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

**APÊNDICE 7 – Gráficos e tabelas de solicitações nas vigas submetidas à carga de vento a 90°**

# 1º Pavimento - Vigas 10 a 15



# 2º Pavimento - Viga de transição



# 1º Pavimento

Viga	Software	Picos de Momento (tfm)									
10	TQS (tfm)	-3,4	2,8	-3,6	3,7	-4,9	5				
	Robot c/ Fat. (tfm)	-3,16	2,65	-3,96	4,23	-5,65	5,54				
	Diferença (tfm)	0,24	0,15	-0,36	-0,53	-0,75	-0,54				
	Diferença (%)	8%	6%	-9%	-13%	-13%	-10%				
12	TQS (tfm)	8,5	8,3	-3,4	4,3	-8,5	4,2	-1,8	4,4		
	Robot c/ Fat. (tfm)	-8,06	8,01	-5,2	5,5	-10,89	7,74	-3,12	4,51		
	Diferença (tfm)	0,44	0,29	-1,8	-1,2	-2,39	-3,54	-1,32	-0,11		
	Diferença (%)	-205%	4%	-35%	-22%	-22%	-46%	-42%	-2%		
13	TQS (tfm)	-3,9	5,5	-2,1	1,4	-2,8	2,4	-2	2,7		
	Robot c/ Fat. (tfm)	-4,21	5,48	-3,9	2,26	-3,3	2,87	-2,21	2,88		
	Diferença (tfm)	-0,31	0,02	-1,8	-0,86	-0,5	-0,47	-0,21	-0,18		
	Diferença (%)	-7%	0%	-46%	-38%	-15%	-16%	-10%	-6%		
14	TQS (tfm)	-3,5	1,4	-0,5	2	-2,9	2,8	-2,2	2,5	-1,9	
	Robot c/ Fat. (tfm)	-3,96	1,39	-1,05	2,76	-3,33	3,39	-2,59	2,77	-2,74	
	Diferença (tfm)	-0,46	0,01	-0,55	-0,76	-0,43	-0,59	-0,39	-0,27	-0,84	
	Diferença (%)	-12%	1%	-52%	-28%	-13%	-17%	-15%	-10%	-31%	
15	TQS (tfm)	-5,3	3,6	-3	3,8	-2,2	2,5	-2,8	2,2	-4	5,3
	Robot c/ Fat. (tfm)	-6	4,19	-3,92	4,92	-1,95	0,62	-0,02	-0,39	-1,4	5,7
	Diferença (tfm)	-0,7	-0,59	-0,92	-1,12	0,25	1,88	2,78	2,59	2,6	-0,4
	Diferença (%)	-12%	-14%	-23%	-23%	13%	303%	13900%	-664%	186%	-7%

# 2º Pavimento

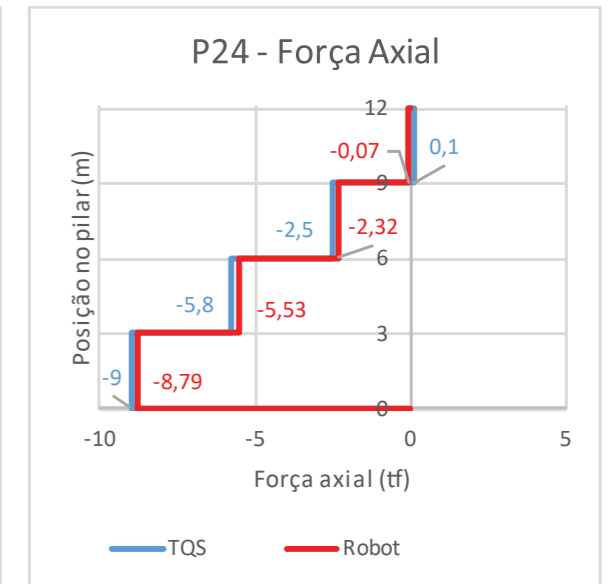
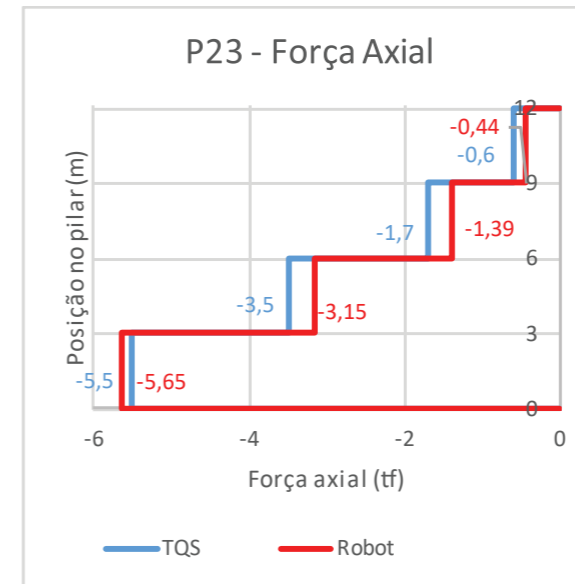
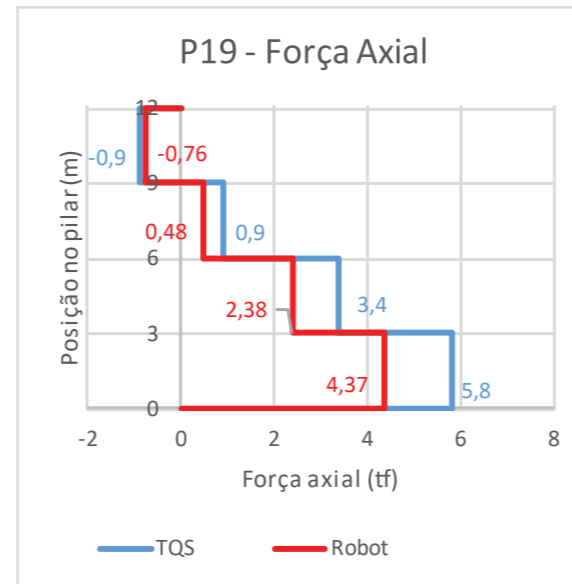
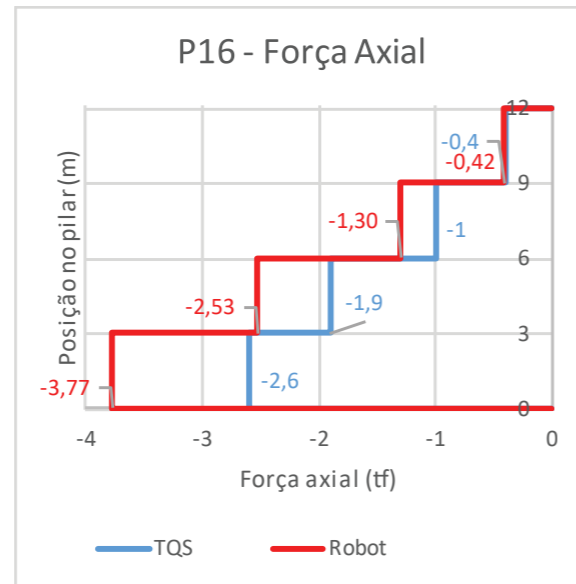
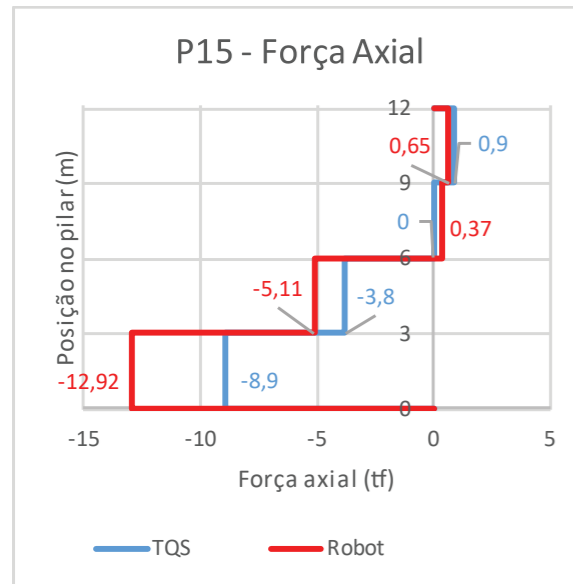
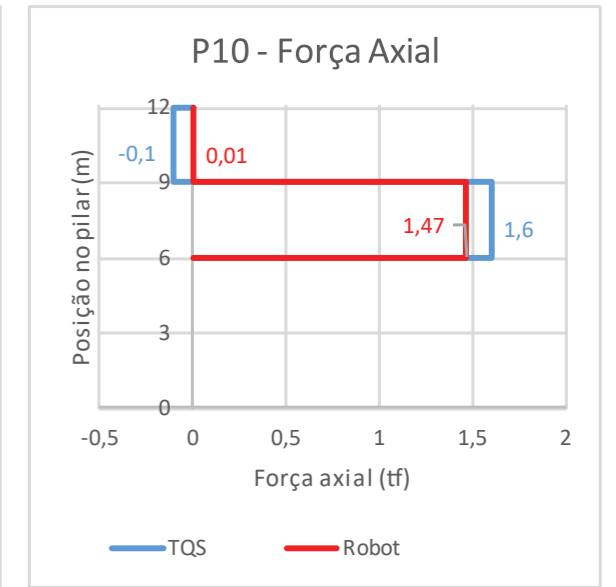
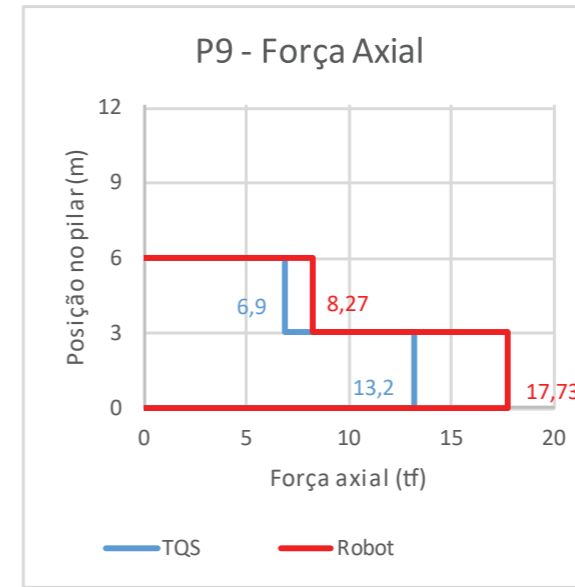
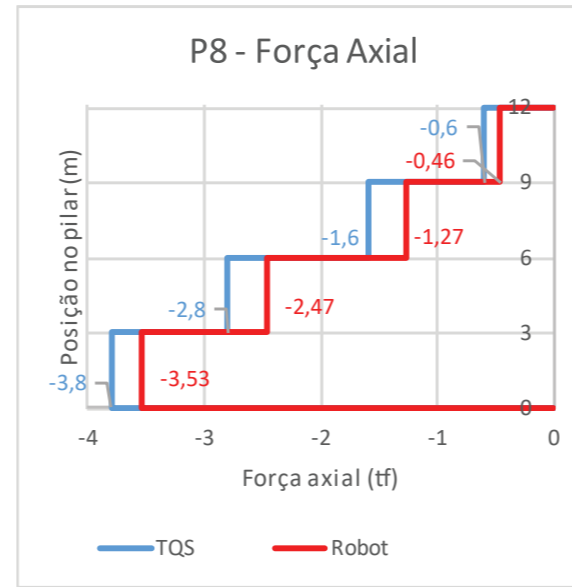
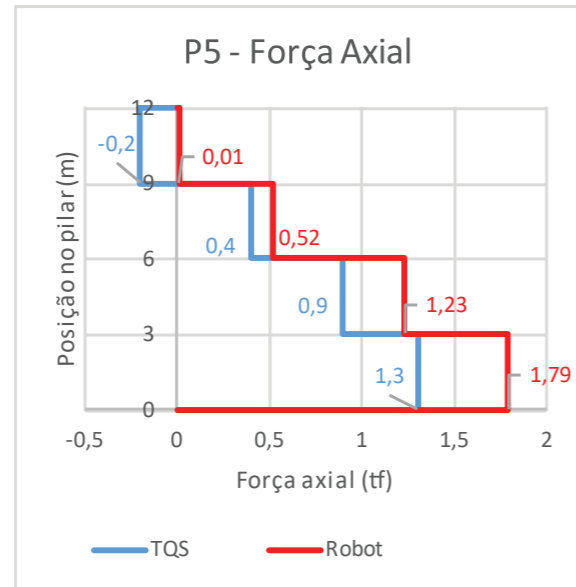
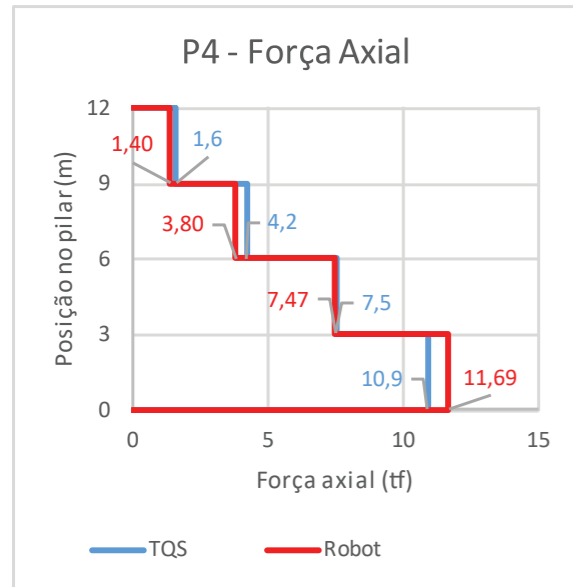
Viga	Software	Picos de Momento (tfm)					
5	TQS (tfm)	2,6	-2	1,4	-0,4	0,1	0
	Robot c/ Fat. (tfm)	2,11	-1,51	0,6	-0,26	0,23	-0,25
	Diferença (tfm)	0,49	0,49	0,8	0,14	-0,13	-0,25
	Diferença (%)	23%	32%	133%	54%	-57%	-100%



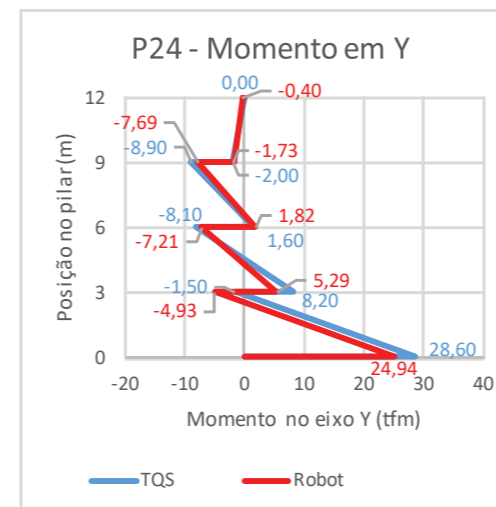
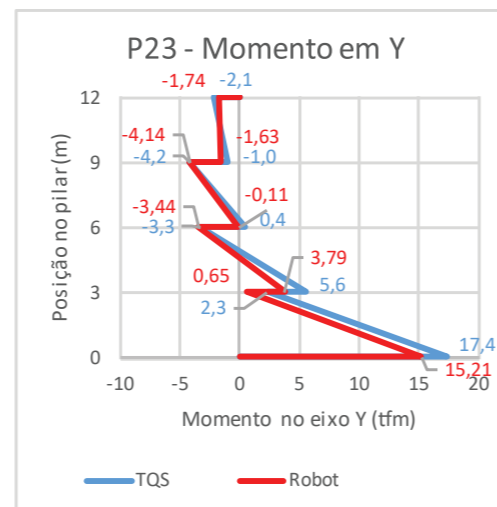
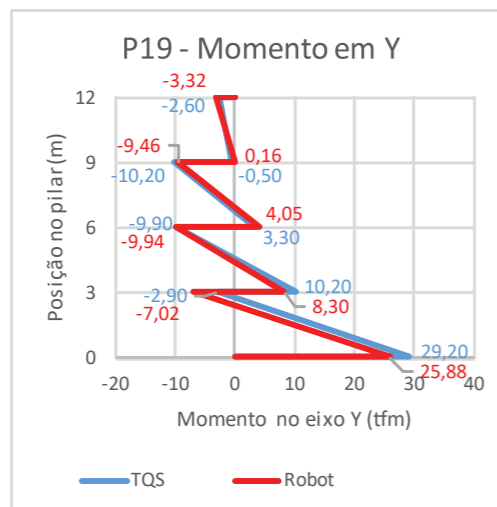
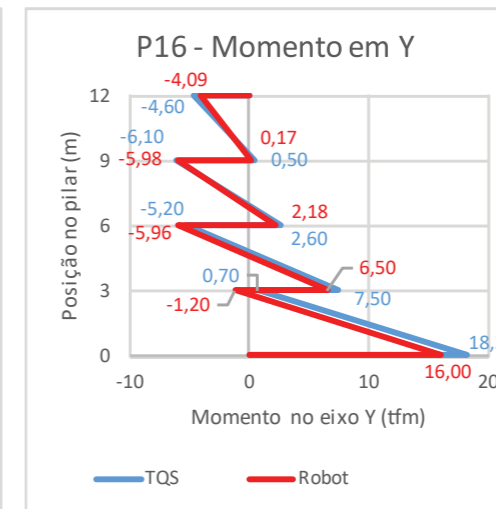
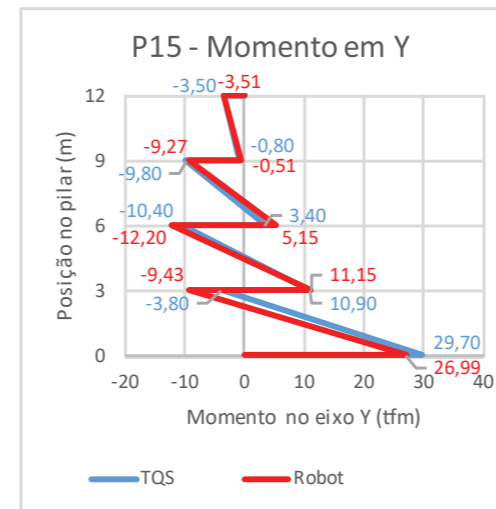
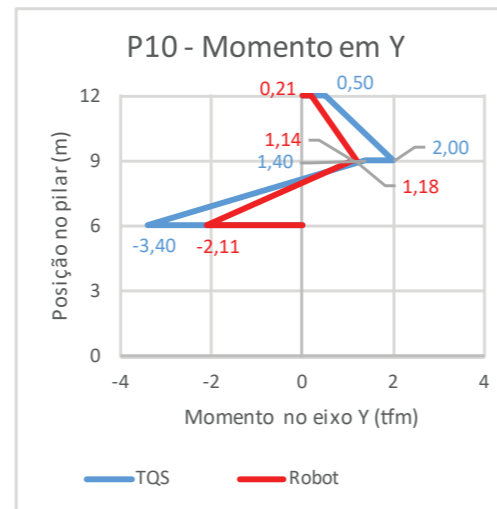
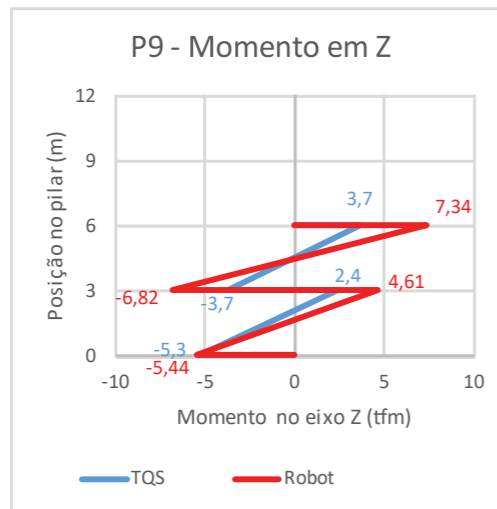
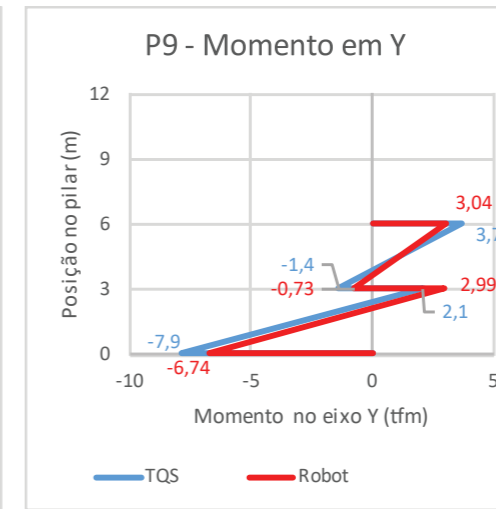
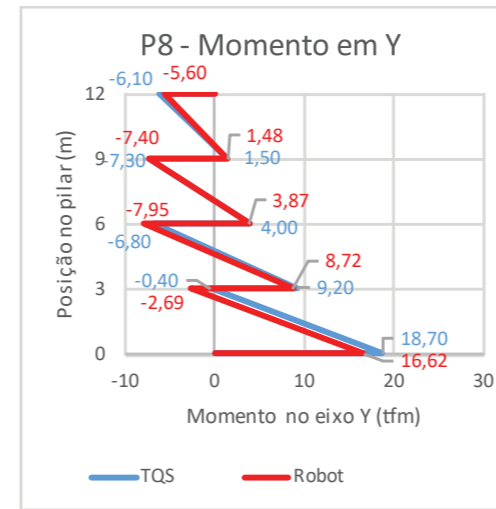
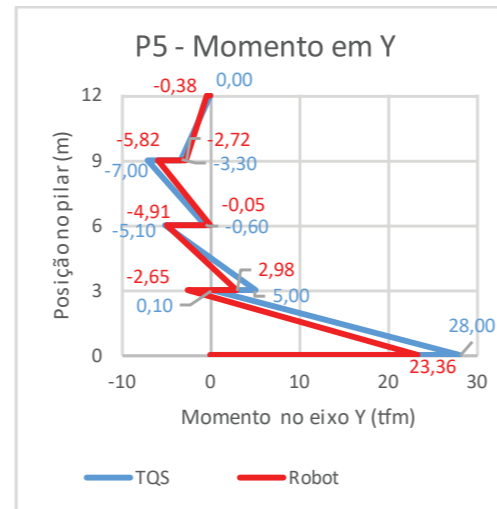
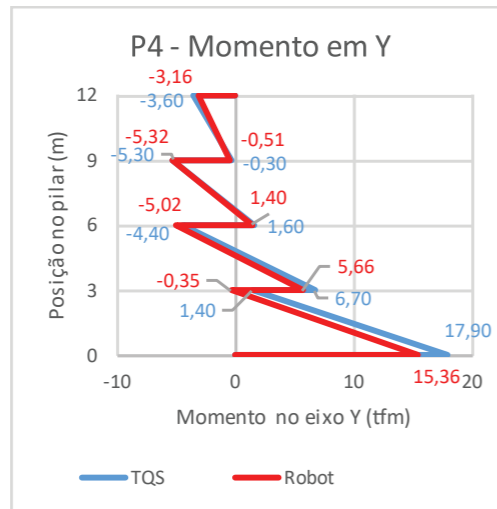
**APÊNDICE 8 – Gráficos e tabelas de solicitações nos pilares submetidas a carga de vento a 90°**



# Força Axial - Pilares 4 a 24



# Momentos Resultantes - Pilares 4 a 24



# Tabelas de Forças e Momentos Resultantes - Pilares 4 a 24

Altura (m)	P4							
	Força axial (tf)				MY (tf)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
12	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
12	1,60	1,40	0,20	15%	-3,60	-3,16	0,44	14%
9	1,60	1,40	0,20	15%	-0,30	-0,51	-0,21	-42%
9	4,20	3,80	0,40	10%	-5,30	-5,32	-0,02	0%
6	4,20	3,80	0,40	10%	1,60	1,40	0,20	14%
6	7,50	7,47	0,03	0%	-4,40	-5,02	-0,62	-12%
3	7,50	7,47	0,03	0%	6,70	5,66	1,04	18%
3	10,90	11,69	-0,79	-7%	1,40	-0,35	1,75	-498%
0	10,90	11,69	-0,79	-7%	17,90	15,36	2,54	17%
0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

Altura (m)	P5							
	Força axial (tf)				MY (tf)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
12	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
12	-0,20	0,01	0,21	-1607%	0,00	-0,38	-0,38	-100%
9	-0,20	0,01	0,21	-1607%	-3,30	-2,72	0,58	21%
9	0,40	0,52	-0,12	-23%	-7,00	-5,82	1,18	20%
6	0,40	0,52	-0,12	-23%	-0,60	-0,05	0,55	1035%
6	0,90	1,23	-0,33	-27%	-5,10	-4,91	0,19	4%
3	0,90	1,23	-0,33	-27%	5,00	2,98	2,02	68%
3	1,30	1,79	-0,49	-27%	0,10	-2,65	2,75	-104%
0	1,30	1,79	-0,49	-27%	28,00	23,36	4,64	20%
0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

Altura (m)	P8							
	Força axial (tf)				MY (tf)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
12	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
12	-0,60	-0,46	0,14	29%	-6,10	-5,60	0,50	9%
9	-0,60	-0,46	0,14	29%	1,50	1,48	0,02	1%
9	-1,60	-1,27	0,33	26%	-7,30	-7,40	-0,10	-1%
6	-1,60	-1,27	0,33	26%	4,00	3,87	0,13	3%
6	-2,80	-2,47	0,33	14%	-6,80	-7,95	-1,15	-15%
3	-2,80	-2,47	0,33	14%	9,20	8,72	0,48	6%
3	-3,80	-3,53	0,27	8%	-0,40	-2,69	-2,29	-85%
0	-3,80	-3,53	0,27	8%	18,70	16,62	2,08	13%
0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

Altura (m)	P9											
	Força axial (tf)				MY (tf)				MZ (tf)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
6	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
6	6,90	8,27	-1,37	-17%	3,70	3,04	0,66	22%	3,70	7,34	-3,64	-50%
3	6,90	8,27	-1,37	-17%	-1,40	-0,73	0,67	92%	-3,70	-6,82	-3,12	-46%
3	13,20	17,73	-4,53	-26%	2,10	2,99	-0,89	-30%	2,40	4,61	-2,21	-48%
0	13,20	17,73	-4,53	-26%	-7,90	-6,74	1,16	17%	-5,30	-5,44	-0,14	-3%
0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

Altura (m)	P10							
	Força axial (tf)				MY (tf)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
12	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
12	-0,10	0,01	0,09	-2095%	0,00	0,58	-0,58	-100%
9	-0,10	0,01	0,09	-2095%	0,10	0,19	-0,09	-48%
9	1,60	1,47	0,13	9%	0,10	1,34	-1,24	-93%
6	1,60	1,47	0,13	9%	0,00	-0,80	-0,80	-100%
6	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

Altura (m)	P15							
	Força axial (tf)				MY (tf)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
12	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
12	0,90	0,65	0,25	37%	-3,50	-3,51	-0,01	0%
9	0,90	0,65	0,25	37%	-0,80	-0,51	0,29	58%
9	0,00	0,37	-0,37	-100%	-9,80	-9,27	0,53	6%
6	0,00	0,37	-0,37	-100%	3,40	5,15	-1,75	-34%
6	-3,80	-5,11	-1,31	-26%	-10,40	-12,20	-1,80	-15%
3	-3,80	-5,11	-1,31	-26%	10,90	11,15	-0,25	-2%
3	-8,90	-12,92	-4,02	-31%	-3,80	-9,43	-5,63	-60%
0	-8,90	-12,92	-4,02	-31%	29,70	26,99	2,71	10%
0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

Altura (m)	P16							
	Força axial (tf)				MY (tf)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
12	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
12	-0,40	-0,42	-0,02	-5%	-4,60	-4,09	0,51	12%
9	-0,40	-0,42	-0,02	-5%	0,50	0,17	0,33	195%
9	-1,00	-1,30	-0,30	-23%	-6,10	-5,98	0,12	2%
6	-1,00	-1,30	-0,30	-23%	2,60	2,18	0,42	19%
6	-1,90	-2,53	-0,63	-25%	-5,20	-5,96	-0,76	-13%
3	-1,90	-2,53	-0,63	-25%	7,50	6,50	1,00	15%
3	-2,60	-3,77	-1,17	-31%	0,70	-1,20	1,90	-158%
0	-2,60	-3,77	-1,17	-31%	18,20	16,00	2,20	14%
0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

Altura (m)	P19							
	Força axial (tf)				MY (tf)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
12	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
12	-0,90	-0,76	0,14	19%	-2,60	-3,32	-0,72	-22%
9	-0,90	-0,76	0,14	19%	-0,50	0,16	0,66	-413%
9	0,90	0,48	0,42	86%	-10,20	-9,46	0,74	8%
6	0,90	0,48	0,42	86%	3,30	4,05	-0,75	-19%
6	3,40	2,38	1,02	43%	-9,90	-9,94	-0,04	0%
3	3,40	2,38	1,02	43%	10,20	8,30	1,90	23%
3	5,80	4,37	1,43	33%	-2,90	-7,02	-4,12	-59%
0	5,80	4,37	1,43	33%	29,20	25,88	3,32	13%
0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

Altura (m)	P23							
	Força axial (tf)				MY (tf)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
12	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
12	-0,60	-0,44	0,16	36%	-2,10	-1,74	0,36	21%
9	-0,60	-0,44	0,16	36%	-1,00	-1,63	-0,63	-39%
9	-1,70	-1,39	0,31	22%	-4,20	-4,14	0,06	1%
6	-1,70	-1,39	0,31	22%	0,40	-0,11	0,51	-460%
6	-3,50	-3,15	0,35	11%	-3,30	-3,44	-0,14	-4%
3	-3,50	-3,15	0,35	11%	5,60	3,79	1,81	48%
3	-5,50	-5,65	-0,15	-3%	2,30	0,65	1,65	254%
0	-5,50	-5,65	-0,15	-3%	17,40	15,21	2,19	14%
0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%

Altura (m)	P24							
	Força axial (tf)				MY (tf)			
	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)	TQS	Robot c/ Fat.	Diferença	Diferença (%)
12	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%
12	0,10	-0,07	0,17	-250%	0,00	-0,40	-0,40	-100%
9	0,10	-0,07	0,17	-250%	-2,00	-1,73	0,27	16%
9	-2,50	-2,32	0,18	8%	-8,90	-7,69	1,21	16%
6	-2,50	-2,32	0,18	8%	1,60	1,82	-0,22	-12%
6	-5,80	-5,53	0,27	5%	-8,10	-7,21	0,89	12%
3	-5,80	-5,53	0,27	5%	8,20	5,29	2,91	55%
3	-9,00	-8,79	0,21	2%	-1,50	-4,93	-3,43	-70%
0	-9,00	-8,79	0,21	2%	28,60	24,94	3,66	15%
0	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0%