

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

**OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS ESTRUTURAIS DE AÇO PARA SUPORTE DE
TRANSPORTADORES DE GRANÉIS SÓLIDOS**

Gustavo Fruet

Porto Alegre
2022

GUSTAVO FRUET

**OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS ESTRUTURAIS DE AÇO PARA SUPORTE DE
TRANSPORTADORES DE GRANÉIS SÓLIDOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos
para obtenção do título de Doutor em Engenharia.

Porto Alegre
2022

CIP - Catalogação na Publicação

Fruet, Gustavo
Otimização de sistemas estruturais de aço para
suporte de transportadores de granéis sólidos /
Gustavo Fruet. -- 2022.
309 f.
Orientadora: Leticia Fleck Fadel Miguel.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre,
BR-RS, 2022.

1. Suporte Para Transportadores de Granéis Sólidos.
2. Otimização Estrutural. 3. Estruturas de Aço. I.
Miguel, Leticia Fleck Fadel, orient. II. Título.

GUSTAVO FRUET

**OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS ESTRUTURAIS DE AÇO PARA SUPORTE DE
TRANSPORTADORES DE GRANÉIS SÓLIDOS**

Esta tese de doutorado foi julgada adequada para a obtenção do título de DOUTOR EM ENGENHARIA, Área de Concentração Estruturas, e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 18 de outubro de 2022

Prof. Letícia Fleck Fadel Miguel
Dra em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
orientador

Prof. Lucas Festugato
Coordenador do PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Acir Mércio Loredo-Souza (UFRGS)
Ph.D. em Ciência de Engenharia pela University of Western Ontario (Canadá)

Prof. Ignacio Iturrioz (UFRGS)
Dr. em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Brasil)

Prof. Moacir Kripka (UPF)
Dr. em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo (Brasil)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha orientadora, a professora Dra Letícia Fleck Fadel Miguel, por aceitar a proposta e auxiliar no desenvolvimento dessa tese.

Agradeço ao PPGEC UFRGS por propiciar o conhecimento acerca do estado da arte no desenvolvimento e compreensão dos sistemas estruturais.

Agradeço ao engenheiro Irani Sandi, pela perspectiva quanto à relevância do tema bem como pelos auxílios prestados.

Agradeço em especial ao CNPQ pelo suporte financeiro concedido.

RESUMO

FRUET, G. **Otimização de Sistemas Estruturais de Aço para Suporte de Transportadores de Granéis Sólidos**, 2022. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

Este trabalho tem como objetivo auxiliar no desenvolvimento de soluções de engenharia para suporte de linhas de transportadores de correia de diferentes dimensões e condições de operação. Diferentemente da maioria dos trabalhos que focam em otimizações de estruturas benchmark, onde variáveis consideradas são contínuas com restrições e cargas previamente idealizadas, este trabalho sugere uma metodologia completa e robusta para a otimização de estruturas reais de aplicação cotidiana, utilizando variáveis de projeto discretas com restrições e cargas obtidas de normas técnicas. Para tal, estruturas de aço recorrentes de suporte de transportadores de correia são identificadas, analisadas e selecionadas de acordo com sua performance e, baseado nas entradas de carregamento aplicadas, são otimizadas visando minimização de massa do sistema estrutural mediante utilização de algoritmo metaheurístico EPSO, que é capaz de lidar com problemas complexos e, norteados por 4 tipos diferentes de dados de entrada, 4 variáveis de projeto e múltiplas restrições envolvendo tensão, deformação, deslocamento, flambagem, frequência e aceleração limites de acordo com diversas normalizações nacionais e internacionais. Nesse contexto, são estudados 672 casos distintos e obtidos os mínimos da função objetivo de forma discreta para cada um deles. Os resultados apresentados demonstram a influência e representatividade de cada subsistema estrutural no âmbito do computo da massa total do sistema integrado, possibilitando a compreensão quanto ao seu funcionamento bem como às características intrínsecas dos modelos estruturais analisados. Ainda, são apresentadas Tabelas e Gráficos e fornecidas informações para implantação em campo das soluções encontradas. Adicionalmente, acredita-se que a metodologia proposta seja uma substancial ferramenta de auxílio técnico ao projetista desse tipo de sistema estrutural.

Palavras Chave: Suporte Para Transportadores de Granéis Sólidos, Otimização Estrutural, Estruturas de Aço.

ABSTRACT

FRUET, G. Optimization of Structural Steel Systems for Support of Bulk Solids Conveyors. 2022. Thesis (Doctorate in Civil Engineering) - Postgraduate Program in Civil Engineering, UFRGS, Porto Alegre.

This work aims to assist in the development of engineering solutions to support belt conveyor lines of different dimensions and operating conditions. Unlike most works that focus on the optimization of benchmark structures, where variables and loads considered are continuous with previously idealized constraints, this work suggests a complete and robust methodology for the optimization of real structures of usual application, using discrete design variables with constraints and loads obtained from technical codes. To this end, recurring steel support structures are identified, analyzed, and selected according to their performance and, based on the applied loading inputs, are optimized to minimize the mass of the structural system by using the EPSO meta-heuristic algorithm, which is capable of to deal with complex problems, guided by 4 different types of input data, 4 design variables and multiple constraints involving stress, deformation, displacement, buckling, frequency, and acceleration limits according to various national and international standards. In this context, 672 different cases are studied and the objective function minima are obtained discretely for each one of them. The results presented demonstrate the influence and representativeness of each structural subsystem within the scope of the computation of the total mass of the integrated system, enabling an understanding of its functioning as well as the intrinsic characteristics of the analyzed structural models. Also, Tables and Graphs are presented and information is provided for field implementation of the solutions found. Additionally, it is believed that the proposed methodology is a substantial technical assistance tool for the designer of this type of structural system.

Keywords: Support for Bulk Solids Conveyors, Structural Optimization, Steel Structures.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	32
1.1. JUSTIFICATIVA DO TRABALHO	33
1.2. OBJETIVOS	35
1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	36
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	38
2.1. NORMALIZAÇÃO VIGENTE.....	38
2.2. OTIMIZAÇÃO ESTRUTURAL	39
2.2.1. Algoritmos	40
2.2.2. Trabalhos Atuais sobre Otimização.....	41
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	63
3.1. OTIMIZAÇÃO ESTRUTURAL	63
3.1.1. Variáveis de Projeto.....	63
3.1.2. Função Objetivo	64
3.1.3. Restrições	64
3.1.4. Problemática de Implementação Abordada.....	65
3.2. CARREGAMENTOS	74
3.2.1. Cargas Permanentes.....	75
3.2.2. Cargas Acidentais	80
3.2.3. Cargas de Produto Transportado	85
3.2.4. Combinações de Carregamentos	87
3.3. CONSIDERAÇÕES SOBRE A ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL	89
3.3.1. Análise Estrutural	89
3.3.2. Dimensionamento Estrutural	97
4. METODOLOGIA PROPOSTA PARA FINS DE OTIMIZAÇÃO.....	106
4.1. ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	106

4.2.	TIPOLOGIAS ESTRUTURAIS ESTUDADAS	108
4.3.	AVALIAÇÃO QUANTITATIVA PRÁTICA	112
4.3.1.	Colunas de Aço.....	112
4.3.2.	Galerias de Aço	114
4.4.	PROGRAMAÇÃO E VALIDAÇÃO	119
4.4.1.	Galerias De Aço.....	120
4.4.2.	Colunas De Aço.....	121
4.5.	METODOLOGIA DE OTIMIZAÇÃO PROPOSTA.....	122
4.5.1.	Dados de Entrada.....	122
4.5.2.	Variáveis de Projeto.....	124
4.5.3.	Restrições de Projeto	126
4.5.4.	Função Objetivo	127
4.5.5.	Grupo de Perfis.....	129
4.5.6.	Algoritmos de Otimização.....	133
4.5.7.	Metodologia de Otimização Consolidada.....	135
5.	RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES NUMÉRICAS E DISCUSSÕES.....	137
5.1.	SIMULAÇÕES NUMÉRICAS PARA TRANSPORTADOR DE 48”	137
5.2.	SIMULAÇÕES NUMÉRICAS DOS DEMAIS TRANSPORTADORES....	154
5.2.1.	Avaliação da Função Objetivo	154
5.3.	ESTUDO DE IMPLANTAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE LAYOUTS	158
5.3.1.	Análise Quantitativa Adicional dos Suportes	166
6.	CONCLUSÕES	169
7.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	172
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	174
	APÊNDICE A	180
1.	INTRODUÇÃO	181
2.	TRANSPORTADORES	181

2.1.	TRANSPORTADOR DE 24”	182
2.1.1.	Velocidade do Vento de 35m/s	182
2.1.2.	Velocidade do Vento de 45m/s	186
2.2.	TRANSPORTADOR DE 30”	190
2.2.1.	Velocidade do Vento de 35m/s	190
2.2.2.	Velocidade do Vento de 45m/s	194
2.3.	TRANSPORTADOR DE 36”	198
2.3.1.	Velocidade do Vento de 35m/s	198
2.3.2.	Velocidade do Vento de 45m/s	202
2.4.	TRANSPORTADOR DE 42”	206
2.4.1.	Velocidade do Vento de 35m/s	206
2.4.2.	Velocidade do Vento de 45m/s	210
2.5.	TRANSPORTADOR DE 48”	214
2.5.1.	Velocidade do Vento de 35m/s	214
2.5.2.	Velocidade do Vento de 45m/s	218
2.6.	TRANSPORTADOR DE 54”	221
2.6.1.	Velocidade do Vento de 35m/s	221
2.6.2.	Velocidade do Vento de 45m/s	225
2.7.	TRANSPORTADOR DE 60”	229
2.7.1.	Velocidade do Vento de 35m/s	229
2.7.2.	Velocidade do Vento de 45m/s	233
2.8.	TRANSPORTADOR DE 72”	237
2.8.1.	Velocidade do Vento de 35m/s	237
2.8.2.	Velocidade do Vento de 45m/s	241
APÊNDICE B		245
1. INTRODUÇÃO		246
1.1.	TIPOLOGIA DE GALERIAS	246

1.2.	TIPOLOGIA DE COLUNAS	247
1.3.	SISTEMA ESTRUTURAL	249
APÊNDICE C		253
1.	INTRODUÇÃO	254
2.	TRANSPORTADORES DE CORREIA	254
2.1.	TRANSPORTADOR 24"	254
2.1.1.	Velocidade do Vento de 35m/s.....	254
2.1.2.	Velocidade do Vento de 45m/s.....	256
2.2.	TRANSPORTADOR 30"	258
2.2.1.	Velocidade do Vento de 35m/s.....	258
2.2.2.	Velocidade do Vento de 45m/s.....	260
2.3.	TRANSPORTADOR 36"	262
2.3.1.	Velocidade do Vento de 35m/s.....	262
2.3.2.	Velocidade do Vento de 45m/s.....	264
2.4.	TRANSPORTADOR 42"	266
2.4.1.	Velocidade do Vento de 35m/s.....	266
2.4.2.	Velocidade do Vento de 45m/s.....	268
2.5.	TRANSPORTADOR 48"	270
2.5.1.	Velocidade do Vento de 35m/s.....	270
2.5.2.	Velocidade do Vento de 45m/s.....	272
2.6.	TRANSPORTADOR 54"	274
2.6.1.	Velocidade do Vento de 35m/s.....	274
2.6.2.	Velocidade do Vento de 45m/s.....	276
2.7.	TRANSPORTADOR 60"	278
2.7.1.	Velocidade do Vento de 35m/s.....	278
2.7.2.	Velocidade do Vento de 45m/s.....	280
2.8.	TRANSPORTADOR 72"	282

2.8.1. Velocidade do Vento de 35m/s.....	282
2.8.2. Velocidade do Vento de 45m/s.....	284
APÊNDICE D	286
1. INTRODUÇÃO	287
2. CURVAS DE REGRESSÃO	288
APÊNDICE E.....	292
1. INTRODUÇÃO	293
2. TRANSPORTADORES DE CORREIA	294

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Vista Lateral de um Transportador de Correia (fonte TMSA – Tecnologia Em Movimentação SA/2006).....	34
Figura 3.1. Vista Externa de uma Estrutura do Tipo Galerias Treliçada (fonte TMSA – Tecnologia em Movimentação SA /2006).....	67
Figura 3.2. Modelo 3D Esquemático para Galerias	70
Figura 3.3. Seção Transversal das Galerias – Dimensão Mínima do Eixo Estrutural Horizontal de acordo com NR-12.....	70
Figura 3.4. Coluna Metálica Treliçada (fonte TMSA - Tecnologia em Movimentação SA - 2006)	71
Figura 3.5. Modelo 3D Esquemático para Colunas.....	72
Figura 3.6. Modelo 3D - Linha de Transporte	73
Figura 3.7. Galeria de Aço em Montagem - Detalhes dos Elementos Não Estruturais (fonte TMSA/2006).....	78
Figura 3.8. Transportadores de Correia - Seção Transversal Com Galerias (fonte Tecnologia em Movimentação SA-2012).....	79
Figura 3.9. Transportador de Correia Executado (fonte Tecnologia em Movimentação SA/2006).....	79
Figura 3.10. Montagem de Galeria De Aço Para Transportador de Correia (fonte Tecnologia em Movimentação SA/2006).....	80
Figura 3.11. Isopletas - Adaptado da NBR 6123/1988	81
Figura 3.12. Coeficientes de Forma Para Coberturas - adaptado NBR 6123/1988 – Tabela 5.....	82

Figura 3.13. Coeficiente de Forma Para as Faces Laterais - adaptado da NBR 6123/1988 - Tabela 4	83
Figura 3.14. Interação Fluido-Estrutura Computacional (fonte autor).....	84
Figura 3.15. Coeficiente de Forma para Pressões Internas - adaptado da NBR 6123/1988- item 6.2.5	85
Figura 3.16. Resultantes de Ação do Vento Sobre as Galerias Treliçadas.....	85
Figura 3.17. Posições dos Nós em Estrutura de 30metros.	94
Figura 4.1. Fluxo Simplificado de Abordagem	107
Figura 4.2. Treliça do Tipo Pratt	109
Figura 4.3. Exemplo de Solução - Treliça Adaptada de Warren.....	110
Figura 4.4. Treliça Tipo Duplo Warren.....	111
Figura 4.5. Geometrias Usuais Para Colunas	113
Figura 4.6. Grupo de Barras Para Colunas	114
Figura 4.7. Geometrias Estudadas Para Galerias - Faces Inferior e Superior	115
Figura 4.8. Geometrias Estudadas Para Galerias - Faces Laterais	116
Figura 4.9. Grupo de Barras Para Galerias.....	118
Figura 4.10. Configuração Resultante Para Galerias.....	118
Figura 4.11. Fluxograma do processo de otimização proposto	128
Figura 5.1. Layout Geral - Identificação Elementos	137
Figura 5.2. TR48/45/24,0/22,5 - Deslocamento Vertical	140
Figura 5.3. TR48/45/24,0/22,5 - Deslocamento Horizontal – Face Inferior	140

Figura 5.4. TR48/45/24,0/22,5 - Deslocamento Horizontal – Face Superior.....	140
Figura 5.5. TR48/45/24,0/22,5 - Deslocamento Transversal – Extremidade.....	141
Figura 5.6. TR48/45/24,0/22,5 - Deslocamento Horizontal - Coluna.....	141
Figura 5.7. Variáveis Projeto - Galerias	151
Figura 5.8. Variáveis Projeto - Colunas	152
Figura 5.9. Ponto Base (Cota Inicial), Inclinação e Comprimento da Linha TC (m) .	159

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1. Estimativa de Massa de Galeria em kg/m^2 (fonte: autor).....	75
Gráfico 3.2. Função de Carregamento Transiente	94
Gráfico 5.1. TR48/45/24,0/22,5 - Função de Carga Transiente - Plotada em 3 posições	142
Gráfico 5.2. TR48/45/24,0/22,5 Deslocamento - 3 pontos distintos	142
Gráfico 5.3. TR48/45/24,0/22,5 - Velocidade - 3 pontos distintos	142
Gráfico 5.4. TR48/45/24,0/22,5 - Aceleração - 3 pontos distintos.....	143
Gráfico 5.5. TR48/45/24,0/22,5 - Curva de Convergência da Função Objetivo (Massa (kg/m) x Iterações).....	143
Gráfico 5.6. TR48/45/VAR/22,5 – Função Objetivo (VAR Discreto).....	144
Gráfico 5.7. TR48/45/VAR/22,5 - Curva de Convergência - Vão Como Variável Contínua ((Massa (kg/m) x Iterações).....	145
Gráfico 5.8. TR48/45 - Curvas da Função Objetivo para Alturas de Coluna Discretas	146
Gráfico 5.9. TR48/45– Isolinhas de Mínimos da Função Objetivo (kg/m).....	147
Gráfico 5.10. TR48/45 - Mínimo da Função Objetivo Para Interação de Entradas de Dados Discretas	148
Gráfico 5.11. Galerias – Curvas Média, Mínima e Máxima	154
Gráfico 5.12. Colunas - Curvas Média, Mínima e Máxima	155
Gráfico 5.13. Sistema Estrutural - Curvas Média, Mínima e Máxima.....	156
Gráfico 5.14. TR24/35 –Simulações Com Inclinação	161

Gráfico 5.15. Estudos de Implantação Inclinação 0% - Curvas Média, Mínima e Máxima	163
Gráfico 5.16. Estudos de Implantação Inclinação 5% - Curvas Média, Mínima e Máxima	163
Gráfico 5.17. Estudos de Implantação Inclinação 10% - Curvas Média, Mínima e Máxima.....	164
Gráfico 5.18. Linha com 120M – TR24/35 – Informações Resultantes.....	166
Gráfico A.1. TR24/35 - Curvas da Função Objetivo para Alturas de Coluna Discretas	182
Gráfico A.2. TR24/35– Isolinhas de Mínimos da Função Objetivo (kg/m).....	182
Gráfico A.3. TR24/35 - Localização do Mínimo da Função Objetivo Para Entradas Discretas	183
Gráfico A.4. TR24/45 - Curvas da Função Objetivo para Alturas de Coluna Discretas	186
Gráfico A.5. TR24/45 – Isolinhas de Mínimos da Função Objetivo (kg/m).....	186
Gráfico A.6. TR24/45 - Localização do Mínimo da Função Objetivo Para Entradas Discretas	187
Gráfico A.7. TR30/35 - Curvas da Função Objetivo para Alturas de Coluna Discretas	190
Gráfico A.8. TR30/35 – Isolinhas de Mínimos da Função Objetivo (kg/m).....	190
Gráfico A.9. TR30/35 - Localização do Mínimo da Função Objetivo Para Entradas Discretas	191
Gráfico A.10. TR30/35 - Curvas da Função Objetivo para Alturas de Coluna Discretas	194

Gráfico A.11. TR30/35– Isolinhas de Mínimos da Função Objetivo (kg/m).....	194
Gráfico A.12. TR30/45 - Localização do Mínimo da Função Objetivo Para Entradas Discretas	195
Gráfico A.13. TR36/45- Curvas da Função Objetivo para Alturas de Coluna Discretas	198
Gráfico A.14. TR36/45– Isolinhas de Mínimos da Função Objetivo (kg/m).....	198
Gráfico A.15. TR36/45 - Localização do Mínimo da Função Objetivo Para Entradas Discretas	199
Gráfico A.16. TR36/45 - Curvas da Função Objetivo para Alturas de Coluna Discretas	202
Gráfico A.17. TR36/45– Isolinhas de Mínimos da Função Objetivo (kg/m).....	202
Gráfico A.18. TR36/45 - Localização do Mínimo da Função Objetivo Para Entradas Discretas	203
Gráfico A.19. TR42/35 - Curvas da Função Objetivo para Alturas de Coluna Discretas	206
Gráfico A.20. TR42/35– Isolinhas de Mínimos da Função Objetivo (kg/m).....	206
Gráfico A.21. TR42/35 - Localização do Mínimo da Função Objetivo Para Entradas Discretas	207
Gráfico A.22. TR42/45 - Curvas da Função Objetivo para Alturas de Coluna Discretas	210
Gráfico A.23. TR42/45– Isolinhas de Mínimos da Função Objetivo (kg/m).....	210
Gráfico A.24. TR42/45 - Localização do Mínimo da Função Objetivo Para Entradas Discretas	211

Gráfico A.25. TR48/35 - Curvas da Função Objetivo para Alturas de Coluna Discretas	214
Gráfico A.26. TR48/35– Isolinhas de Mínimos da Função Objetivo (kg/m).....	214
Gráfico A.27. TR48/35 - Localização do Mínimo da Função Objetivo Para Entradas Discretas	215
Gráfico A.28. TR48/45 - Curvas da Função Objetivo para Alturas de Coluna Discretas	218
Gráfico A.29. TR48/45 – Isolinhas de Mínimos da Função Objetivo (kg/m).....	218
Gráfico A.30. TR48/45 - Localização do Mínimo da Função Objetivo Para Entradas Discretas	219
Gráfico A.31. TR54/35 - Curvas da Função Objetivo para Alturas de Coluna Discretas	221
Gráfico A.32. TR54/35– Isolinhas de Mínimos da Função Objetivo (kg/m).....	221
Gráfico A.33. TR54/35 - Localização do Mínimo da Função Objetivo Para Entradas Discretas	222
Gráfico A.34. TR54/45 -Curvas da Função Objetivo para Alturas de Coluna Discretas	225
Gráfico A.35. TR54/45– Isolinhas de Mínimos da Função Objetivo (kg/m).....	225
Gráfico A.36. TR54/45 - Localização do Mínimo da Função Objetivo Para Entradas Discretas	226
Gráfico A.37. TR60/35 - Curvas da Função Objetivo para Alturas de Coluna Discretas	229
Gráfico A.38. TR60/35– Isolinhas de Mínimos da Função Objetivo (kg/m).....	229

Gráfico A.39. TR60/35 - Localização do Mínimo da Função Objetivo Para Entradas Discretas	230
Gráfico A.40. TR60/45 -Curvas da Função Objetivo para Alturas de Coluna Discretas	233
Gráfico A.41. TR60/45– Isolinhas de Mínimos da Função Objetivo (kg/m).....	233
Gráfico A.42. TR60/45 - Localização do Mínimo da Função Objetivo Para Entradas Discretas	234
Gráfico A.43. TR72/35 - Curvas da Função Objetivo para Alturas de Coluna Discretas	237
Gráfico A.44. TR72/35– Isolinhas de Mínimos da Função Objetivo (kg/m).....	237
Gráfico A.45. TR72/35 - Localização do Mínimo da Função Objetivo Para Entradas Discretas	238
Gráfico A.46. TR72/45 - Curvas da Função Objetivo para Alturas de Coluna Discretas	241
Gráfico A.47. TR72/45– Isolinhas de Mínimos da Função Objetivo (kg/m).....	241
Gráfico A.48. TR72/45 - Localização do Mínimo da Função Objetivo Para Entradas Discretas	242
Gráfico C.1. TR24/35 –Simulações Com Inclinação	255
Gráfico C.2. TR24/45 –Simulações Com Inclinação	257
Gráfico C.3. TR30/35 –Simulações Com Inclinação	259
Gráfico C.4. TR30/45 –Simulações Com Inclinação	261
Gráfico C.5. TR36/45 –Simulações Com Inclinação	263
Gráfico C.6. TR36/45 –Simulações Com Inclinação	265

Gráfico C.7. TR42/35 –Simulações Com Inclinação	267
Gráfico C.8. TR42/45 –Simulações Com Inclinação	269
Gráfico C.9. TR48/35 –Simulações Com Inclinação	271
Gráfico C.10. TR48/45 –Simulações Com Inclinação	273
Gráfico C.11. TR54/35 –Simulações Com Inclinação	275
Gráfico C.12. TR54/45 –Simulações Com Inclinação	277
Gráfico C.13. TR60/35 –Simulações Com Inclinação	279
Gráfico C.14. TR60/45 –Simulações Com Inclinação	281
Gráfico C.15. TR72/35 –Simulações Com Inclinação	283
Gráfico C.16. TR72/45 –Simulações Com Inclinação	285
Gráfico E.1. Linha com 120M – TR24/35 – Informações Resultantes	294
Gráfico E.2. Linha com 120M – TR24/45 – Informações Resultantes	295
Gráfico E.3. Linha com 120M – TR30/35 – Informações Resultantes	296
Gráfico E.4. Linha com 120M – TR30/45 – Informações Resultantes	297
Gráfico E.5. Linha com 120M – TR36/35 – Informações Resultantes	298
Gráfico E.6. Linha com 120M – TR36/45 – Informações Resultantes	299
Gráfico E.7. Linha com 120M – TR42/35 – Informações Resultantes	300
Gráfico E.8. Linha com 120M – TR42/45 – Informações Resultantes	301
Gráfico E.9. Linha com 120M – TR48/35 – Informações Resultantes	302
Gráfico E.10. Linha com 120M – TR48/45 – Informações Resultantes	303

Gráfico E.11. Linha com 120M – TR54/35 – Informações Resultantes	304
Gráfico E.12. Linha com 120M – TR54/45 – Informações Resultantes	305
Gráfico E.13. Linha com 120M – TR60/35 – Informações Resultantes	306
Gráfico E.14. Linha com 120M – TR60/45 – Informações Resultantes	307
Gráfico E.15. Linha com 120M – TR72/35 – Informações Resultantes	308
Gráfico E.16. Linha com 120M – TR72/45 – Informações Resultantes	309

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Telha Metálica Ondulada - Catálogo Metform.....	76
Tabela 3.2. Grades SME-5 - Retirado do Catálogo de Grande - Stretch Metal	77
Tabela 3.3. Transportador de Correia - Peso Por Metro Por Tipo (Largura) (fonte TMSA/2012).....	80
Tabela 3.4. Tabela de Pressões de Vento	81
Tabela 3.5. Capacidade dos Transportadores de Correia - adaptado CEMA.....	86
Tabela 3.6. Carga de Produto Por Metro Linear (kg/m) - adaptado da CEMA – Tecnologia em Movimentação SA/2012	86
Tabela 3.7. Combinações Para Estados Limites Últimos.....	88
Tabela 3.8. Combinações Para Estados Limites de Serviço.....	89
Tabela 3.9. Tempos Limítrofes das Funções de Carregamento para Comprimento de Galeria de 30 metros.....	95
Tabela 3.10. Tempos de Início e Fim de Cada Etapa.	96
Tabela 3.11. Tensão de Referência do Aço	97
Tabela 3.12. Aplicabilidade de Perfis e Limitações de Serviço Para Galerias.....	102
Tabela 3.13. Aplicabilidade de Perfis e Limitações de Serviço Para Colunas.....	102
Tabela 4.1. Resultados Comparativos Para Colunas Em Termos de Massa Resultante, Deslocamento no Topo e Frequência Fundamental	113
Tabela 4.2. Resultados Comparativos Para Faces Superior e Inferior das Galerias Em Termos de Massa Resultante, Deslocamento no Centro e Frequência Fundamental ...	117
Tabela 4.3. Resultados Comparativos Para Laterais das Galerias Em Termos de Massa Resultante, Deslocamento no Centro e Frequência Fundamental	117

Tabela 4.4. Galeria - Validação de Dados – Comparativos.....	120
Tabela 4.5. Coluna - Validação de Dados – Comparativos.....	122
Tabela 4.6. Variáveis de Projeto Para Galerias	125
Tabela 4.7. Variáveis de Projeto Para Colunas.....	126
Tabela 4.8. Restrições de Projeto	127
Tabela 4.9. Grupo de Perfis – Galerias 1/2.....	130
Tabela 4.10. Grupo de Perfis – Galerias 2/2.....	131
Tabela 4.11. Grupo de Perfis - Colunas.....	132
Tabela 5.1. Perfis Resultantes do Processo de Otimização	138
Tabela 5.2. Resultados da Simulação	139
Tabela 5.3. TR48/45 - Dados de Entrada, Variáveis de Projeto, Massa e Restrições – Resultados Otimizados	149
Tabela 5.4. TR48/45 - Grupo de Perfis – Resultados Otimizados	150
Tabela 5.5. TR24/35 –Simulações Com Inclinação	160
Tabela 5.6. Linha com 120M – TR24/35 – Informações Resultantes	166
Tabela 5.7. Resultados das Simulações Para Distintas Cota Iniciais da Linha do Transportador.....	167
Tabela A.1. TR24/35 - Dados de Entrada, Variáveis de Projeto, Massa e Restrições – Resultados Otimizados	183
Tabela A.2. TR24/35- Grupo de Perfis – Resultados Otimizados.....	184
Tabela A.3. TR24/45 - Dados de Entrada, Variáveis de Projeto, Massa e Restrições – Resultados Otimizados	187

Tabela A.4. TR24/45 - Grupo de Perfis – Resultados Otimizados.....	188
Tabela A.5. TR30/35 - Dados de Entrada, Variáveis de Projeto, Massa e Restrições – Resultados Otimizados	191
Tabela A.6. TR30/35 - Grupo de Perfis – Resultados Otimizados.....	192
Tabela A.7. Dados de Entrada, Variáveis de Projeto, Massa e Restrições – Resultados Otimizados.....	195
Tabela A.8. TR30/45 - Grupo de Perfis – Resultados Otimizados.....	196
Tabela A.9. TR36/35 - Dados de Entrada, Variáveis de Projeto, Massa e Restrições – Resultados Otimizados	199
Tabela A.10. TR36/35 - Grupo de Perfis – Resultados Otimizados.....	200
Tabela A.11. Dados de Entrada, Variáveis de Projeto, Massa e Restrições – Resultados Otimizados.....	203
Tabela A.12. TR36/45 - Grupo de Perfis – Resultados Otimizados.....	204
Tabela A.13. TR42/35 - Dados de Entrada, Variáveis de Projeto, Massa e Restrições – Resultados Otimizados	207
Tabela A.14. TR42/35 - Grupo de Perfis – Resultados Otimizados.....	208
Tabela A.15. TR42/45 - Dados de Entrada, Variáveis de Projeto, Massa e Restrições – Resultados Otimizados	211
Tabela A.16. TR42/45 -Grupo de Perfis – Resultados Otimizados.....	212
Tabela A.17. TR48/35 - Dados de Entrada, Variáveis de Projeto, Massa e Restrições – Resultados Otimizados	215
Tabela A.18. TR48/35 - Grupo de Perfis – Resultados Otimizados.....	216
Tabela A.19. TR48/45 - Dados de Entrada, Variáveis de Projeto, Massa e Restrições – Resultados Otimizados	219

Tabela A.20. Grupo de Perfis – Resultados Otimizados	220
Tabela A.21. TR54/35 - Dados de Entrada, Variáveis de Projeto, Massa e Restrições – Resultados Otimizados	222
Tabela A.22. TR54/35 - Grupo de Perfis – Resultados Otimizados.....	223
Tabela A.23. TR54/45 - Dados de Entrada, Variáveis de Projeto, Massa e Restrições – Resultados Otimizados	226
Tabela A.24. TR54/45 - Grupo de Perfis – Resultados Otimizados.....	227
Tabela A.25. TR60/35 - Dados de Entrada, Variáveis de Projeto, Massa e Restrições – Resultados Otimizados	230
Tabela A.26. TR60/35 - Grupo de Perfis – Resultados Otimizados.....	231
Tabela A.27. TR60/45 - Dados de Entrada, Variáveis de Projeto, Massa e Restrições – Resultados Otimizados	234
Tabela A.28. TR60/45 - Grupo de Perfis – Resultados Otimizados.....	235
Tabela A.29. TR72/35 - Dados de Entrada, Variáveis de Projeto, Massa e Restrições – Resultados Otimizados	238
Tabela A.30. TR72/35 - Grupo de Perfis – Resultados Otimizados.....	239
Tabela A.31. TR72/45 - Dados de Entrada, Variáveis de Projeto, Massa e Restrições – Resultados Otimizados	242
Tabela A.32. TR72/45 - Grupo de Perfis – Resultados Otimizados.....	243
Tabela B.1. Galerias - Mínimos e Máximos das Simulações para Ventos Discretos..	246
Tabela B.2. Colunas H=01,50m - Mínimos e Máximos das Simulações Ventos Discretos	247
Tabela B.3. Colunas H=08,50m - Mínimos e Máximos das Simulações Ventos Discretos	247

Tabela B.4. Colunas H=15,50m - Mínimos e Máximos das Simulações Ventos Discretos	248
Tabela B.5. Colunas H=22,50m - Mínimos e Máximos das Simulações Ventos Discretos	248
Tabela B.6. Colunas H=29,50m - Mínimos e Máximos das Simulações Ventos Discretos	248
Tabela B.7. Colunas H=36,50m - Mínimos e Máximos das Simulações Ventos Discretos	249
Tabela B.8. Galerias e Colunas H=01,50m - Mínimos e Máximos das Simulações ...	250
Tabela B.9. Galerias e Colunas H=08,50m - Mínimos e Máximos das Simulações ...	250
Tabela B.10. Galerias e Colunas H=15,50m - Mínimos e Máximos das Simulações .	251
Tabela B.11. Galerias e Colunas H=22,50m - Mínimos e Máximos das Simulações .	251
Tabela B.12. Galerias e Colunas H=29,50m - Mínimos e Máximos das Simulações .	251
Tabela B.13. Galerias e Colunas H=36,50m - Mínimos e Máximos das Simulações .	252
Tabela C.1. TR24/35 –Simulações Com Inclinação	254
Tabela C.2. TR24/45 –Simulações Com Inclinação	256
Tabela C.3. TR30/35 –Simulações Com Inclinação	258
Tabela C.4. TR30/45 –Simulações Com Inclinação	260
Tabela C.5. TR36/35 –Simulações Com Inclinação	262
Tabela C.6. TR36/45 –Simulações Com Inclinação	264
Tabela C.7. TR42/35 –Simulações Com Inclinação	266
Tabela C.8. TR42/45 –Simulações Com Inclinação	268

Tabela C.9. TR48/35 –Simulações Com Inclinação	270
Tabela C.10. TR48/45 –Simulações Com Inclinação	272
Tabela C.11. TR54/35 –Simulações Com Inclinação	274
Tabela C.12. TR54/45 –Simulações Com Inclinação	276
Tabela C.13. TR60/35 –Simulações Com Inclinação	278
Tabela C.14. TR60/45 –Simulações Com Inclinação	280
Tabela C.15. TR72/35 –Simulações Com Inclinação	282
Tabela C.16. TR72/45 –Simulações Com Inclinação	284
Tabela D.1. TR24, TR30 - Regressão Polinomial Ordem 3 e R^2	288
Tabela D.2. TR36, TR42 - Regressão Polinomial Ordem 3 e R^2	289
Tabela D.3. TR48, TR54 - Regressão Polinomial Ordem 3 e R^2	290
Tabela D.4. TR60, TR72 - Regressão Polinomial Ordem 3 e R^2	291
Tabela E.1. Linha com 120M – TR24/35 – Informações Resultantes	294
Tabela E.2. Linha com 120M – TR24/45 – Informações Resultantes	295
Tabela E.3. Linha com 120M – TR30/35 – Informações Resultantes	296
Tabela E.4. Linha com 120M – TR30/45 – Informações Resultantes	297
Tabela E.5. Linha com 120M – TR36/35 – Informações Resultantes	298
Tabela E.6. Linha com 120M – TR36/45 – Informações Resultantes	299
Tabela E.7. Linha com 120M – TR42/35 – Informações Resultantes	300
Tabela E.8. Linha com 120M – TR42/45 – Informações Resultantes	301

Tabela E.9. Linha com 120M – TR48/35 – Informações Resultantes	302
Tabela E.10. Linha com 120M – TR48/45 – Informações Resultantes	303
Tabela E.11. Linha com 120M – TR54/35 – Informações Resultantes	304
Tabela E.12. Linha com 120M – TR54/45 – Informações Resultantes	305
Tabela E.13. Linha com 120M – TR60/35 – Informações Resultantes	306
Tabela E.14. Linha com 120M – TR60/45 – Informações Resultantes	307
Tabela E.15. Linha com 120M – TR72/35 – Informações Resultantes	308
Tabela E.16. Linha com 120M – TR72/45 – Informações Resultantes	309

LISTA DE SÍMBOLOS

A_e	área líquida da seção transversal;
A_g	área bruta da seção transversal;
a_{limit}	aceleração limite;
f	frequência fundamental em Hz;
$f(x)$	função objetivo;
f_y	tensão de escoamento;
f_u	tensão de ruptura;
x_{min}	limite inferior;
x_{max}	limite superior;
F_G	ações permanentes;
F_Q	ações variáveis;
$g_j(x)$	restrição;
$h_k(x)$	restrição;
H	altura de referência para colunas ou pórticos;
K	matriz de rigidez;
L	vão/comprimento da galeria;
M_{Rd}	momento resistente de cálculo;
M_{Sd}	momento solicitante de cálculo;
$M_{x,Rd}$	momento resistente de cálculo em torno do eixo de maior inércia;
$M_{x,Sd}$	momento solicitante de cálculo em torno do eixo de maior inércia;

- $M_{y,Rd}$ momento resistente de cálculo em torno do eixo de menor inércia;
- $M_{y,Sd}$ momento solicitante de cálculo em torno do eixo de menor inércia;
- $N_{c,Rd}$ força axial resistente à compressão de cálculo;
- $N_{c,Sd}$ força axial solicitante à compressão de cálculo;
- $N_{t,Rd}$ força axial resistente à tração de cálculo;
- $N_{t,Sd}$ força axial solicitante à tração de cálculo;
- Q parâmetro associado a flambagem local das seções;
- P vetor de cargas;
- S_1 fator topográfico segundo NBR6123/1988;
- S_2 fator atrelado a rugosidade e dimensão da edificação segundo NBR6123/1988;
- S_3 fator estatístico segundo NBR6123/1988;
- U vetor de deslocamentos;
- V_o velocidade básica do vento;
- V_k velocidade característica do vento;
- V_{Rd} esforço cortante resistente de cálculo;
- V_{Sd} esforço cortante solicitante de cálculo;
- x variável de projeto;
- χ parâmetro associado a flambagem global das seções;
- γ ponderador de ações e resistências;
- ξ amortecimento estrutural;
- Ψ ponderador de ações de estados limites últimos e de serviço;

ω frequência angular em rad./s;

1. INTRODUÇÃO

Com o advento da computação, os processos de análise, concepção e dimensionamento estrutural têm ganho cada vez mais velocidade de execução ao longo dos últimos 50 anos.

Baseado nesta afirmação, o mercado tem sentido esses efeitos e busca junto aos profissionais de engenharia soluções mais rápidas e objetivas no que tange ao aproveitamento dos sistemas construtivos num processo de melhoria contínua.

Estudos de desempenho, otimização e análise estrutural geralmente demandam recursos, e, se mal executados, tendem a apresentar respostas inadequadas como, por exemplo, perdas de matéria prima, mesmo que apresentem comportamento estrutural adequado às condições as quais são propostos. Em alguns casos, pode ocorrer o contrário, ou seja, estruturas otimizadas visando apenas restrições de tensões, por exemplo, podem vir a apresentar problemas devidos a deslocamentos ou até mesmo vibrações excessivas, caso essas últimas restrições tenham sido negligenciadas.

Segundo estudos previamente realizados tais como os apresentados em Kaveh et al (2009) e Miguel et al (2013) por exemplo, identifica-se que o processo de otimização estrutural, principalmente de treliças, já está bem desenvolvido e sua aplicabilidade já pode ser adotada como referência para esse trabalho. Entretanto, observa-se que a aplicabilidade dos mesmos deva também respeitar certos critérios de projeto, muitas vezes específicos, que direcionam a adoção de soluções direcionadas à prática.

Mercadologicamente, identifica-se que a iteração de estudos tipológicos para diferentes sistemas estruturais objetivando redução de custos frente a mediante desempenho estrutural aceitável é custosa e tende a resultar em perda de eficiência no processo de engenharia objetiva, bem como no emprego de recursos e, adicionalmente, apresentar-se como um processo altamente dependente da vivência experimental. Qualitativamente a questão é amplamente identificada, visto que o processo iterativo pode perdurar por um longo período dependendo da complexidade da solução almejada.

Dessa forma, um dos objetivos desse trabalho é identificar os casos tipológicos atuais e através de metodologia de abordagem que contemple procedimentos de otimização

paramétrica, de forma e de topologia simplificada de estruturas de aço, se busquem aqueles modelos estruturais relevantes ao objetivo do projeto. Nesse contexto, e definindo-se, na otimização paramétrica são otimizados os parâmetros relativo às barras, como a área da sua seção transversal, mantendo-se a forma da estrutura pré-definida. Já na otimização de forma modificam-se as posições dos nós da estrutura (por exemplo treliças) alterando-se a forma final do modelo estrutural. Adicionalmente, na otimização topológica, o aperfeiçoamento consiste na retirada de barras da estrutura formando uma nova topologia.

Ainda, em estruturas submetidas à ação de pessoas ou equipamentos, conjectura-se a necessidade de restringir sua resposta dinâmica e flexibilidade em atuação concomitante às limitações de resistência dos perfis de aço empregados, norteando ainda questões relacionadas ao desempenho estrutural.

O enfrentamento do objeto dessa tese foi numérico, com embasamento experimental advindo de soluções de engenharia aplicada. Também, se deu através da elaboração de rotinas computacionais que dependeram das propriedades mecânicas e geométricas intrínsecas dos perfis e materiais adotados.

A motivação desse trabalho visa colaborar com soluções úteis e objetivas de estruturas de aço para suporte de estruturas de transporte de graneis sólidos tendo como pré-requisito a identificação das necessidades mercadológicas, onde tais desafios são recorrentemente apresentados além de contribuir com o desenvolvimento de metodologia de enfrentamento de situações de projetos de engenharia realistas que propiciem aprimoramento na avaliação, concepção, análise, dimensionamento de estruturas de aço.

1.1. JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

Esse trabalho pretende dar sequência em pesquisas desenvolvidas na Área de Otimização e Dinâmica Estrutural do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Estruturas, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul com foco em estruturas de aço.

Dessa forma, o processo visa a otimização paramétrica de seções transversais de perfis de aço aliada às alterações de forma e topologia dos modelos estruturais na busca de redução do consumo de matéria prima.

Adicionalmente, a integração das tipologias de estruturas que compreendem uma linha de transportadores serão computadas a fim de se obterem distintos e aperfeiçoados cenários para o conjunto desses elementos propiciando direcionamento para aplicação em engenharia básica conceitual. Também permitirá abordagem sobre viabilidade e previsão de custos de implantação.

Finalmente, espera-se que a conclusão dessa tese permita à sociedade a adoção de soluções estruturais aprimoradas de estruturas de aço de suporte de transportadores de granéis sólidos, representando ganhos de recursos e qualidade nos projetos.

A importância desse estudo advém da necessidade da obtenção de estimativas de consumo de matéria prima e da possibilidade de definição preliminar de características geométricas e paramétricas das tipologias dos modelos estruturais constituintes para suporte de transportadores de correia para fins de anteprojeto estrutural. Ainda, compreende a definição de situações relevantes de aplicação para distintos comprimentos de linha (extensão longitudinal total) com variações de inclinação norteados pela minimização do consumo de aço total.

A Figura 1.1 apresenta a vista lateral de um transportador de correia tradicional.

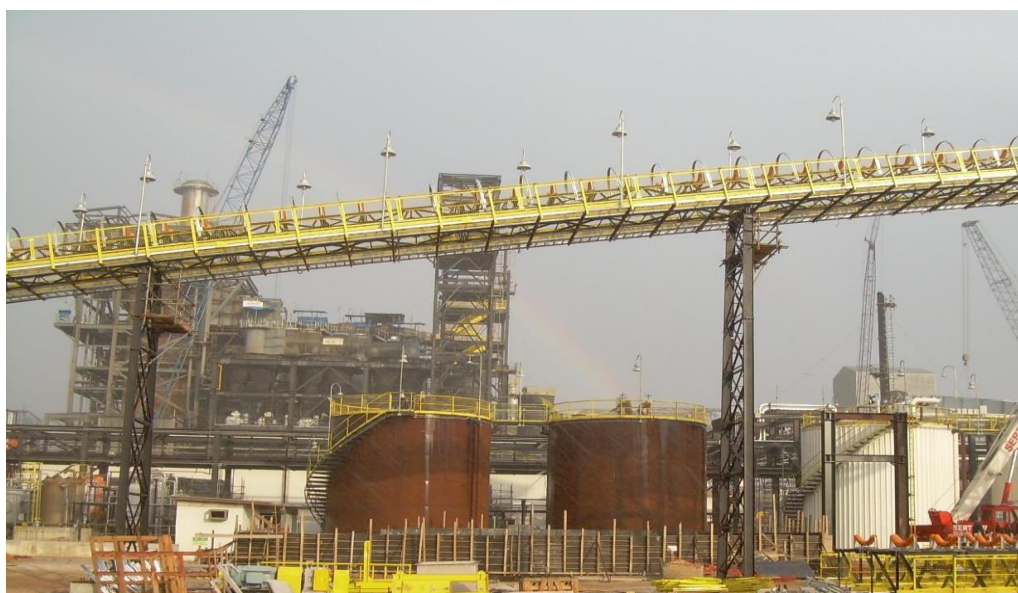


Figura 1.1. Vista Lateral de um Transportador de Correia (fonte TMSA – Tecnologia Em Movimentação SA/2006)

1.2. OBJETIVOS

Conforme introduzido, o objetivo é a minimização de massa de estruturas de aço. Isso se dará a partir do desenvolvimento de uma metodologia que identifique as particularidades dos sistemas atuais pré-selecionando topologias conceituais adequadas advindas de resultados obtidos em procedimentos de otimização paramétrica, de forma e topologia simplificada preliminares. A seguir, buscar-se-á dimensionamento aprimorado de estruturas de aço mediante procedimentos clássicos de otimização estrutural restritos estática e dinamicamente. Como mencionado, para se alcançar o objetivo geral, alguns objetivos específicos precisam ser preliminarmente atingidos, tais como:

- a) Identificar as principais tipologias do sistema estrutural de engenharia aplicada (quer sejam modelos estruturais planos ou espaciais) de estruturas de aço de aplicabilidade recorrente bem como definir os carregamentos externos atuantes;
- b) Avaliar preliminarmente a forma e topológica de padrões geométricos empregados que apresentam resultados aperfeiçoados em termos de minimização de massa. Extrapolar essas soluções de acordo com os objetivos desse trabalho (adotá-los como premissas gerais simplificadas);
- c) Otimizar através de abordagem discreta os parâmetros, forma e topologia dos modelos estruturais para novas dimensões e condições de projeto necessárias, levando-se em consideração restrições específicas de cada elemento estrutural e gerais dos conjuntos no que tange às restrições estáticas de tensão, deformação e esbeltez e dinâmicas de frequência natural e fundamental e aceleração máxima;
- d) Compilar os resultados obtidos das soluções tipológicas (introduzindo aqui, galerias e colunas de aço) e extrapolá-las para *layouts* de grande extensão longitudinal propiciando subsídios para decisão sobre implantação e viabilidade em termos de custo de solução de engenharia completa.

Para tal, e já introduzido no item d) acima, o que será descrito e argumentado ao longo desse trabalho propõe a avaliação, análise, aperfeiçoamento e otimização de *colunas e galerias treliçadas de aço* mensurados através de sua massa por metro linear restritas

tanto particularmente (cada barra/perfil constituinte dos modelos estruturais tipológicos) como tipologicamente (“galeria” ou “coluna” definidas pelo conjunto de barras/perfis que a compõe) bem como a ação combinada (“colunas” e “galerias” simultaneamente) visando à minimização de massa do sistema estrutural. Nesse caso, define-se “aperfeiçoamento” como ação de mudança que resulte em progresso com relação ao objetivo e “otimização” como procedimento a ser realizado para que seja obtido o valor excelente desse objetivo.

Nos capítulos que seguem, o procedimento será amplamente detalhado.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Esse trabalho foi subdividido em 8 capítulos e 5 apêndices.

O capítulo 1 apresentou a introdução do escopo do trabalho abordado dada a justificativa, os objetivos e o método de como será organizado.

A seguir, no capítulo 2, será apresentada revisão bibliográfica contendo informações acerca da normalização vigente bem como dados gerais sobre otimização estrutural e algoritmos computacionais de otimização mais difundidos além de trabalhos desenvolvidos até o presente momento.

Na sequência, no capítulo 3, será abordada a fundamentação teórica relacionada à otimização estrutural, apresentando informações acerca das variáveis, função objetivo e as restrições de projeto bem como a problemática de implementação abordada. Também serão abordadas questões relacionadas aos carregamentos atuantes, combinações de cargas e considerações acerca da análise e dimensionamento estrutural.

Após, no capítulo 4 referente à metodologia proposta, serão abordadas questões sobre as etapas de abordagem do desenvolvimento do trabalho e as tipologias estruturais estudadas. Será apresentada também uma avaliação quantitativa prática das tipologias dos modelos estruturais e, adicionalmente, observações acerca da programação e validação dos dados. Ainda será introduzido o algoritmo metaheurístico de otimização utilizado.

Posteriormente, no capítulo 5 será apresentada a metodologia de otimização proposta aplicada referenciando as variáveis de projeto, restrições, dados de entrada, função

objetivo e algoritmos de otimização adotados no estudo de um caso específico e discutidos os resultados das simulações numéricas. Ainda, a metodologia empregada possibilitará o conhecimento aprimorado sobre o comportamento e respostas para situações distintas considerando variabilidade dos dados de entrada do problema. Adicionalmente, simulações de estudos de implantação permitirão estimar a massa dos sistemas estruturais e avaliações posteriores possibilitarão que se acrescentem outras condicionantes de projeto de engenharia ao problema.

No capítulo 6, serão apresentadas as conclusões finais e discussões acerca dos resultados obtidos ao longo do desenvolvimento dessa tese. No capítulo 7, serão propostos estudos futuros para essa área de pesquisa e no capítulo 8, as referências adotadas.

Adicionalmente, no Apêndice A serão apresentados os resultados das simulações numéricas a serem obtidas mediante interação dos dados de entrada. No Apêndice B constarão então tabelas resumidas em termos de massa do sistema advindas das simulações apresentadas no Apêndice A. Já, no Apêndice C se trarão estudos simulados para implantação e otimização dos sistemas estruturais quanto da interação entre as tipologias envolvidas e no Apêndice D apresentaram-se curvas geradas através de regressão polinomial baseadas nos resultados do Apêndice C correlacionando dados de entrada de linhas interativamente. Por fim, no Apêndice E será simulado um caso de implantação onde se ponderarão as quantidades de suportes e sua influência na resposta do problema de implantação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta um breve resumo acerca da normalização legal adotada no que tange às necessidades de projeto de engenharia. Ainda, apresentam-se estudos e trabalhos realizados sobre otimização estrutural com elementos treliçados abordando diferentes metodologias computacionais visando maximização do desempenho por modificação paramétrica, de forma e topológica de estruturas. O ordenamento das referências segue evolução temporal de desenvolvimento dos trabalhos.

Adicionalmente, são discutidas pesquisas atualmente realizadas na academia, baseadas na incorporação de restrições estruturais e difusão da aplicabilidade dos métodos numéricos e computacionais de otimização e amortecimento estrutural.

2.1. NORMALIZAÇÃO VIGENTE

Ao longo dos anos, o aperfeiçoamento de soluções estruturais já vem sendo desenvolvido baseado no estabelecimento de critérios de avaliação do comportamento e confiabilidade das estruturas frente à um objetivo previamente definido. Poderiam ser citadas, principalmente, a definição de carregamentos/combinações (entrada de dados e combinação de ações externas oriundas de diversas fontes excitadoras) e a capacidade de suporte obtida através das propriedades das seções transversais dos elementos resistentes constituintes.

O primeiro caso se baseia na entrada de dados para análise estrutural, definindo-se então os “carregamentos” a serem aplicados nos modelos a fim de que se assegure a garantia mínima de resistência para determinado fim. Nessa linha, a norma brasileira regulamentar *NBR 6123/1988* apresenta as necessidades em termos de ação do vento e a *NBR 6120/2019* os critérios de cargas gerais. Adicionalmente, as cargas referentes aos pesos próprios das estruturas podem ser aferidas diretamente através do computo da área de suas seções transversais multiplicadas pelo peso específico do material, que no caso, é o aço (7850 kg/m^3). Ainda, outro carregamento importante se refere à capacidade de transporte de cada transportador de correia de acordo com suas dimensões e do peso específico do produto (arroz, milho, soja, ...) que está sendo mobilizado e que é obtido da norma *CEMA/2002*. Ainda, a *NBR 8681/2004* apresenta critérios de combinação das cargas definidas pelas normativas acima visando gerações prováveis e ponderadas dos

carregamentos a serem aplicados às estruturas a fim de serem aprimoradas tanto em termos de estados limites últimos como de serviço.

Na sequência, a normativa *NBR 8800/2008* apresenta os requisitos mínimos para a verificação da resistência dos perfis de aço para perfis laminados. Importante salientar que nessa referência há ainda a definição de critérios relativos à flambagem das barras, estabilidade, fadiga, deslocamento máximo permissível, limitações dinâmicas referentes às frequências de oscilação que, novamente, limitam a capacidade de resistência dos elementos particularmente e restringem a aplicabilidade dos mesmos.

Resumidamente, ambas as condicionantes referenciadas acima visam a definição de padrões de entrada de carregamentos externos e de capacidade de resistência/suporte dos elementos, no primeiro caso gerais - que são carregamentos que atuam nos modelos estruturais- e no segundo, específicas - que trata da resistência de cada elemento particularmente.

Adicionalmente, além das questões particulares envolvendo as limitações de resistência dos elementos, há ainda, na *NBR 8800/2008* restrições no que tange o comportamento dos modelos estruturais definidos (galeria ou coluna, por exemplo) frente aos deslocamentos máximos. Do mesmo modo, limitações dinâmicas de frequências naturais e acelerações podem ser obtidos na norma *HIVOSS/2008*, além da própria *NBR 6123/1988*.

2.2. OTIMIZAÇÃO ESTRUTURAL

A seguir, apresentam-se algumas referências acerca dos principais algoritmos que têm sido utilizados com o objetivo de otimização em estruturas. Serão abordados desde algoritmos determinísticos até os mais modernos estocásticos/probabilísticos.

Posteriormente, resultados obtidos na análise de estruturas por diversos pesquisadores serão apresentados embasando a confiabilidade quando da utilização dos mesmos.

2.2.1. Algoritmos

2.2.1.1. Algoritmos Determinísticos

Os algoritmos denominados como *determinísticos* são baseados em métodos de programação matemática onde está alocada a maioria dos algoritmos ditos clássicos. Eles se baseiam no conhecimento das funções e seus gradientes (derivadas) e devido a sua concepção, apresentam resultados eficientes para problemas simples, entretanto podem não convergir computacionalmente quando houver descontinuidade na função objetivo.

Além do exposto acima, esses métodos caracterizam-se por gerar uma sequência determinada de soluções que requer muitas vezes o conhecimento de pelo menos a primeira derivada da função objetivo com relação às variáveis de projeto. Resumidamente são classificados em métodos de programação linear, não-linear e métodos baseados em teorias de aproximações como o *SLP* e o *SQP* que aproximam as funções de forma linear e quadrática, respectivamente.

2.2.1.2. Algoritmos Estocásticos ou Probabilísticos

São métodos de otimização aleatórios probabilísticos não baseados em gradientes, onde apenas se avalia a função objetivo, na tentativa de que se evitem os mínimos ou máximos locais da função que é um problema comum do uso dos métodos determinísticos.

Segundo Yang (2009), há duas classificações para os algoritmos probabilísticos: os *heurísticos* e os *metaheurísticos*. No primeiro grupo, denominado *heurísticos* e, definido por Yang (2009) como “vagamente falando, ‘encontrar’ ou ‘descobrir por tentativa e erro’”, as soluções para um problema difícil de otimização podem ser encontradas em tempo razoável, entretanto não há garantia de obtenção do resultado ótimo. O segundo grupo denominado *metaheurístico* traz uma evolução se comparado aos heurísticos pois geralmente apresenta um desempenho superior visto que se baseia em um processo randômico aperfeiçoado mais adequado à otimização global.

Algoritmos metaheurísticos se baseiam em processos de tentativa e erro sendo que não há garantia que a melhor solução seja encontrada bem como se o algoritmo trará ou não soluções eficazes, assim como os heurísticos propriamente ditos fazem. Como mencionado por Yang (2009), a diferença entre eles é que nos algoritmos metaheurísticos

já ocorre um melhor desempenho se comparado aos anteriores, principalmente devido a capacidade randômica de buscas locais atrelado à condição de pesquisa global, sendo então mais adequados para o tipo otimização dessa tese.

Ainda, para Yang (2009), as mais expressivas componentes dos algoritmos metaheurísticos são a intensificação e a diversificação. A intensificação foca a pesquisa em uma região local onde identifica que uma boa solução pode ser encontrada enquanto que a diversificação busca explorar o espaço em busca de soluções globais. Uma boa combinação entre as duas componentes possivelmente garantirá que o ótimo global seja alcançado.

Se comparados aos algoritmos determinísticos, os algoritmos metaheurísticos têm vantagens como, por exemplo: a função objetivo e as restrições não precisarem necessariamente ser diferenciáveis. Outra vantagem é que trabalham adequadamente tanto com variáveis contínuas quanto discretas. Além disso, não necessitam do conhecimento de funções matemáticas para a solução do problema aliado ao fato de que, alguns deles, terem a capacidade de realizar buscas simultâneas no espaço na tentativa de obtenção de possíveis soluções. Outra vantagem importante é que eles podem otimizar um grande número de variáveis.

2.2.2. Trabalhos Atuais sobre Otimização

Em 1990, por *Saka* foi proposto um algoritmo para otimização de treliças sujeitas a múltiplos casos de carregamento onde já foram consideradas restrições de tensão, flambagem e deslocamento na formulação do problema. Nessa análise, o critério ótimo foi empregado para tratar das restrições de deslocamento, sendo reduzidas a limites inferiores variáveis como tensão e flambagem e tratadas de modo semelhante a restrições de tamanho mínimo. Os exemplos desenvolvidos mostraram eficácia mesmo para problemas de grandes dimensões. Outros exemplos mostraram que maiores reduções de massa podem ser obtidas através da otimização de forma.

Posteriormente, *Ohsaki* em 1998 apresentara um algoritmo que visava atender otimização paramétrica e topológica simultaneamente para treliças planas com área de seção transversal constante. Apresentaram-se também discussões acerca das dificuldades decorrentes da remoção de membros e nós devidos a problemas de singularidade e

descontinuidade no modelo final. No método proposto uma treliça foi inicialmente modelada considerando nós rígidos com pequenos raios de giração onde se obteve topologia e geometria ótimas iniciando por uma estrutura com número pequeno de nós. Adicionalmente conclui-se que um processo de eliminação adicional precisava ser executado caso a solução não parecesse convergir em direção a topologia ótima global embora o processo não tenha se apresentado necessário no trabalho.

Dos trabalhos apresentados acima, ainda nos anos 90, já se identificava que a obtenção dos resultados ótimos considerando diversos objetivos se dava através da avaliação de três importantes parâmetros intrínsecos aos modelos estruturais, ou seja, a quantificação otimizada da própria seção transversal de cada elemento, a sua geometria bem como a topologia empregada.

Em 2000, *Coello e Christiansen* propuseram a utilização de algoritmos genéticos (GA) como ferramenta para a resolução de problemas de otimização em estruturas. Assim, duas estruturas treliçadas contendo 25 e 200 barras respectivamente foram avaliadas. O objetivo era encontrar a área mínima da seção transversal de cada membro de modo a minimizar a massa, tendo como restrições o deslocamento e a tensão que cada membro pudesse suportar. A comparação desse método àqueles previamente conhecidos demonstrou uma eficiência superior dos algoritmos genéticos frente aos anteriores.

Posteriormente em 2001, *Gil e Andreu* utilizaram uma metodologia que combina FSD (*Full Stress Design*) com o Método do Gradiente Conjugado na otimização de forma e seção transversal de estruturas de treliças planas sob restrições geométricas e de tensão. A utilização dos métodos superpostos advém da necessidade de conhecer o comportamento quando se tem variáveis de natureza diferentes. Nesse estudo concluiu-se que a diferente natureza das variáveis bem como sua diferente magnitude causa instabilidade para um algoritmo de otimização simples. Dessa forma, identificou-se haver a necessidade de combinar adequadamente diferentes algoritmos de otimização dependendo dos diferentes tipos de variáveis de projeto do problema. Essa abordagem é especialmente importante quando se parte de estruturas iniciais que estão longe do ótimo.

Geem et al., 2001, propuseram um novo algoritmo metaheurístico que imita a improvisação de músicos, chamado de Harmony Search (HS). O algoritmo se propõe a obter o menor caminho ao ponto ótimo com o mínimo de avaliações da função objetivo.

As vantagens do HS são que o mesmo gera um vetor depois de considerar todos os vetores existentes baseando-se na memória harmônica e na taxa de ajuste de nota musical. Outro ponto importante é que o HS, assim como outros algoritmos metaheurísticos, não exige valores iniciais das variáveis. Essas características ajudam no aumento da flexibilidade e na obtenção de melhores soluções.

Em 2002, *Fourie e Groenwald* implementaram uma modificação no PSO, chamado de PSOA, em problemas de otimização de forma e paramétrica onde, na definição dos parâmetros do algoritmo, é melhorada a troca informações sobre a posição, velocidade e aptidão de cada ave, no comportamento do conjunto, de forma a aumentar a probabilidade de migração para regiões com melhores resultados. Para tal, são introduzidos novos operadores no PSOA, denominados de velocidade e partícula de elite. O desempenho do algoritmo é testado em problemas de otimização selecionados da literatura e comparados com três métodos baseados em gradientes e um algoritmo genético (GA). Os resultados obtidos sugerem que o desempenho do PSOA é superior ao GA e semelhante aos métodos baseados em gradientes.

Lee e Geem, 2004, descreveram um novo método de otimização baseado no HS (Harmony Search) onde verificaram várias treliças 2D e 3D visando otimização paramétrica sendo que os resultados mostraram eficiência e a robustez do método. Seus achados indicam que o método é uma poderosa alternativa para solução de problemas de engenharia estrutural se comparados aos métodos matemáticos convencionais.

Em 2005, *Lee e Geem* apresentam o HS como alternativa para problemas de otimização com variáveis de projeto contínuas. Vários problemas de engenharia incluindo minimização de função sem restrição e seis com restrição e cinco problemas de otimização de forma de treliça entre outros são demonstrados para apresentar a eficiência e robustez do método se comparados a outros métodos de otimização, especialmente os métodos metaheurísticos. Isso demonstra que o HS é um método de busca global que pode ser facilmente aplicado a problemas de otimização em engenharia. Até então, os resultados obtidos usando o HS apresentam melhores soluções que outros métodos.

Togan e Daloglu, 2006, apresentaram uma abordagem adaptativa dos algoritmos genéticos (GA) onde se melhora o desempenho sugerindo melhorias na função penalidade, mutação e recombinação. Alguns exemplos de treliças espaciais foram

apresentados e otimizados com uso do algoritmo. Conclui-se que o agrupamento dos membros junto a uma abordagem adaptativa aumenta a possibilidade de atingir a solução global e aumenta o desempenho dos algoritmos genéticos.

Kripaham et al., 2007, descreveram novas estratégias de otimização que ofereceram melhorias significativas em desempenho aos métodos existentes para o projeto de pontes treliçadas. Estabeleceu-se uma função objetivo real considerando-se os custos envolvidos. Se propôs uma abordagem paramétrica que envolvia a aplicação de dois algoritmos em sequência, ou seja, primeiro gerava-se uma boa solução ideal para posteriormente buscar-se a solução ótima. Isso, trata-se de uma técnica de agrupamento que identifica membros que são suscetíveis a ter o mesmo “produto/resultado” e é usada como uma função de custo considerando o valor dos produtos. Apresentaram-se soluções de menor custo comparadas àquelas geradas utilizando algoritmos genéticos bem como identificou-se um menor número de avaliações para chegar à solução ótima se comparado aos anteriores. O método também foi aplicado aos problemas padrão de minimização de massa de estruturas treliçadas para ilustrar o seu desempenho não apenas em relação a qualidade dos resultados, mas também quanto à eficiência.

Fesanghary et al., 2008, propuseram um método simples que combinava dois algoritmos poderosos de busca que são a Programação Quadrática Sequencial (*SQP*) e o algoritmo Harmony Search (*HS*). Este algoritmo híbrido empregava o *HS* para fornecer uma região de busca mais próxima e simultaneamente com uma pequena probabilidade usava-se o *SQP* para uma busca local. Quando o critério de parada especificado no *HS* era alcançado, a busca local era aplicada aos vetores guardados na memória harmônica como um ajuste fino para determinar a solução ótima no passo final. Os achados revelaram que a abordagem híbrida foi capaz de obter bons resultados não apenas em termos de qualidade das soluções obtidas, mas também em função do menor número de avaliações da função objetivo.

Lamberti, 2008, apresentou um algoritmo de otimização baseado no *Simulated Annealing* (Recozimento Simulado) chamado de CMLPSA (*Correct Multi-Level & Multi Point Simulated Annealing*) que é uma metaheurística para otimização que consiste numa técnica de busca local probabilística e se fundamenta numa analogia com a termodinâmica. O autor implementou um mecanismo de pesquisa onde cada ponto de partida era selecionado a partir de uma população de pontos gerados aleatoriamente. A

proposta foi testada em modelos de treliças de até 200 barras sujeitas a restrições de deslocamentos nodais onde objetivou-se redução da massa. O modelo foi comparado com outros algoritmos da literatura e métodos de otimização global avançados como o *Heuristic Particle Swarm Optimization* (HPSO) e o *Harmony Search* (HS). Os resultados numéricos demonstraram eficiência encontrando melhores resultados que podem até convergir computacionalmente mais rapidamente.

Yang, 2009, fez uma revisão e análise do algoritmo *Harmony Search* (HS) no contexto dos algoritmos metaheurísticos apontando os passos fundamentais do método e como ele funciona. Também abordou outros algoritmos metaheurísticos tais como *Simulated Annealing* (SA), *Evolutionary Algorithms* (EA), *Particle Swarm Optimization* (PSO), *Firefly Algorithm* (FA) de modo a encontrar semelhanças e diferenças com relação ao HS.

Li et al., 2009, apresentaram um algoritmo chamado *Heuristic Particle Swarm Optimizer* (HPSO) para estruturas treliçadas com variáveis discretas baseado no PSO padrão. O HPSO foi testado e comparado com o PSO e o PSOPC (*Particle Swarm Optimizer with Passive Congregation*). Os resultados mostraram que a proposta foi capaz de acelerar a taxa de convergência mais rapidamente entre esses três algoritmos e possuiu capacidade de encontrar resultados ótimos para variáveis discretas melhores ou em mesmo nível que os métodos de otimização por HPSO para variáveis contínuas.

Kaveh e Talatahari, 2009a, propuseram um algoritmo de otimização híbrido chamado *Hybrid Big Bang-Big Crunch* (HBB-BC) empregado para o projeto ótimo de estruturas treliçadas. Resultados numéricos comprovaram a eficiência e robustez do método se comparado aos outros algoritmos heurísticos. Quando o número de variáveis do projeto aumentou, ele mostrou melhor desempenho em comparação com os GA, PSO e até mesmo o HS. No entanto mostrava-se inferior que algoritmos melhorados que tem uma busca local extra. Espera-se que uma abordagem futura que combine o HBBC-BC com um método de busca local melhore o seu desempenho.

Ainda em 2009, Kaveh e Talatahari utilizaram uma combinação de três métodos para alcançar um algoritmo eficiente para ser empregado na otimização de estruturas treliçadas com variáveis discretas, o *Particle Swarm Optimization* (PSO), *Ant Colony Optimization* (ACO) e *Harmony Search* (HS). Essa abordagem de otimização discreta utilizava o ACO como ferramenta auxiliar para melhorar o algoritmo PSO que trabalhava com uma busca

global. O *ACO* realizava uma exploração extra entorno dos ótimos locais obtidos. O *HS* então foi utilizado para tratar das restrições das variáveis. As comparações dos resultados numéricos obtidos para as estruturas treliçadas consideradas mostraram que esse método não apenas obtém melhores soluções como também utiliza menor tempo computacional e maior velocidade de convergência comparado a outros métodos.

Percebe-se, ao longo dos anos 2000 dado os artigos revisitados acima, um aprimoramento no diz respeito ao uso, teste e implantação dos algoritmos bem como a comparação e superposição entre eles. Resumidamente, no início da década foram primeiramente apresentados os algoritmos genéticos bem como a abordagem do seu uso aliado aos métodos clássicos de otimização estrutural. Ainda, algoritmos genéticos modificados ou adaptados tenderam a resultar em desempenho aprimorado se comparados aos GA “puros”. Adicionalmente, desenvolveu-se também o *HS* e estudos em treliças mostraram melhores respostas que os métodos anteriormente empregados credenciando-os como boas alternativas à resolução de problemas de engenharia ótima. Comenta-se também sobre o uso combinado entre algoritmos genéticos e metaheurísticos como uma potencial alternativa de otimização (abordagem híbrida).

Mais especificamente com relação aos algoritmos metaheurísticos, o uso combinado de mais de um tipo de algoritmo em sequência apresentou melhores resultados que os *GA* onde, pela primeira vez, foi introduzido o custo financeiro como função objetivo. Foram desenvolvidos diversos outros algoritmos, tais como o *SA*, *PSO*, *FA* e comparações entre eles foram realizados a fim de se obter aqueles mais robustos como que tange a aplicabilidade em otimização de estruturas treliçadas. Nesse foco, pode-se destacar os melhoramentos obtidos com as modificações dadas ao *PSO*, denominados como *EPSO* (*Enhanced Particle Swarm Optimization*), além dos ganhos que podem ser obtidos mediante o uso concomitante de diversos algoritmos, reduzindo o tempo computacional.

Yang, 2010a, utilizou o *Firefly Algorithm (FA)* para resolver problemas em projetos não lineares. Entretanto, otimizações de projetos de vasos de pressão indicaram que a solução proposta utilizando *FA* estava muito longe da ótima.

Em 2010, *Farshi e Aliniazi* descreveram uma nova abordagem para otimização de massa no projeto de estruturas treliçadas. O método das forças foi incorporado em um algoritmo de otimização baseado no método dos pontos centrais. As variáveis de projeto

eram as áreas das seções transversais dos membros (otimização paramétrica). A viabilidade e eficiência do método proposto foi demonstrada para estruturas treliçadas sujeitas a múltiplas condições de carregamento e restrições sobre as tensões nos membros, deslocamentos nodais e área mínima.

Luh e Lin, 2011, através da utilização do algoritmo *PSO (Particle Swarm Optimization)* objetivaram redução de massa em estruturas sob restrições de tensão, deslocamento e estabilidade. O processo iniciou-se pela otimização topológica, a partir de uma dada configuração inicial e a seguir o tamanho e a forma dos elementos foi otimizada mediante utilização do *PSO* e o *Attractive and Repulsive Particle Swarm Optimization (ARPSO)*. Os resultados foram satisfatórios visto que foram obtidas respostas melhores que os relatados na literatura.

Ainda em 2011, *Bekdas e Nigdeli* utilizaram o algoritmo *Harmony Search (HS)* para determinar os parâmetros ótimos dos Amortecedores de Massa Sintonizada (*TMD*) a fim de reduzir as respostas dos edifícios sob carregamentos de terremoto. O *HS* foi utilizado para otimizar os parâmetros dos *TMDs* incluindo massa, rigidez e amortecimento. Essa nova abordagem foi comparada com outros métodos documentados e mostraram que esse novo sistema é mais eficiente que os anteriores.

Gomes, 2011, realizou uma otimização de massa com restrições de frequência. Otimizações paramétricas e de forma vinculadas a restrições de frequência são problemas de otimização dinâmica altamente não-lineares visto que a redução de massa conflita com restrições de frequência, além do que, os modos de vibração podem mudar facilmente devido às modificações de forma. O uso do *Particle Swarm Optimization (PSO)* para problemas comumente encontrados na literatura obtiverem resultados compatíveis com outros métodos, em alguns casos, até superiores.

Em 2011, *Sonmez* propôs a utilização do *Artificial Bee Colony (ABC)*, para a otimização de estruturas planas e espaciais. Uma penalidade adaptativa foi integrada ao algoritmo para transformar problemas de otimização com restrição em problemas de otimização sem restrição. Obteve-se que esse algoritmo pode ser aplicado com sucesso em problemas de otimização em estruturas treliçadas sujeitas a múltiplas condições de carregamento. A comparação com outros métodos de otimização mostrou que o *ABC* teve resultados tão bons quanto esses ou até melhores. O desempenho do algoritmo apresentou uma taxa de

100% de sucesso. É importante salientar que o *ABC* mostrou um desempenho positivo em três aspectos: independência do ponto inicial, característica do coeficiente da função de penalidade que é adaptativa e o algoritmo não necessita de gradientes das funções objetivo e restrição. Por outro lado, o mesmo não apresentou melhora na convergência computacional.

Yadav et al., 2012, acredita que, embora o *HS* tenha sido otimizado ao longo do tempo, ele ainda apresenta ineficiência nos resultados. Desse modo, ele propôs o *Intelligent Tuned Harmony Search (ITHS)* a fim de equilibrar a diversificação e intensificação em todo o processo de busca selecionando automaticamente a estratégia de ajuste baseado na memória harmônica. Os resultados se mostraram superiores se comparados ao *HS* em termos de precisão, velocidade e convergência.

Em 2012, *Sadollah et al.* apresentaram um novo método de otimização chamado *Mine Blast Algorithm (MBA)* baseado em conceitos obtidos a partir da observação de explosão de minas reais. Alta taxa de convergência, baixo custo computacional e resultados compatíveis com outros algoritmos metaheurísticos reconhecidos validaram o *MBA* como uma nova alternativa para problemas de otimização.

Kaveh e Zolghadr, 2012, propuseram a otimização do *Charged System Search e o Big Bang-Big Crunch (CSS-BBBC)* para a otimização estrutural de treliças com restrição de frequência. Esses problemas geralmente apresentam ótimos locais o que dificulta a solução. A alteração nos algoritmos propostos contorna esse problema apresentando capacidade de reconhecimentos dessas armadilhas. Os resultados obtidos da análise de estruturas treliçadas mostrou que as soluções são melhores que o *PSO* de forma significativa.

Kaveh e Ahangaran, 2012, apresentaram uma adaptação do *HS* para otimização de placas compostas por variáveis discretas. Os resultados demonstram redução do custo da estrutura em termos de redução de massa podendo ser muito útil para fins de projetos estruturais correntes. O método obteve convergência mais rápida bem como apresentou melhores soluções se comparado ao *HS*. Conclui-se que o modelo apresentado pode ser utilizado na otimização de custo de engenharia prática.

Miguel e Fadel Miguel, 2012a, utilizaram o *Harmony Search (HS)* e o *Firefly Algorithm (FA)* visando otimização paramétrica e de forma com múltiplas restrições de frequência,

através da análise de estruturas treliçadas. A comparação dos resultados obtidos com aqueles apresentados na literatura demonstrou que em 3 dos 4 casos avaliados os algoritmos se mostraram melhores e no outro o resultado foi praticamente igual ao melhor resultado apresentado na literatura enfatizando a excelente capacidade de ambos os métodos de serem utilizados para resolução de problemas não-lineares. Tanto o *HS* como o *FA* encontraram a solução ótima em um tempo computacional pequeno. Em termos de comparação entre os dois métodos apresentados acima, o *HS* encontra a solução ótima em um tempo ligeiramente inferior ao *FA*, entretanto o *FA* apresentou soluções melhores que o *HS*.

Em 2012b, *Miguel e Fadel Miguel* aplicaram o *Harmony Search (HS)* e o *Firefly Algorithm (FA)* para otimização paramétrica de estruturas treliçadas com restrição de tensão e deslocamento comparando os resultados obtidos com a literatura. Em resumo, os resultados demonstraram que os algoritmos são eficientes e confiáveis, apresentando um baixo desvio padrão nos resultados estatísticos.

Em 2013, *Wang e Ohmori* utilizaram o método de análise elasto-plástico incremental para prever o fator de carga de colapso de estruturas treliçadas. O fator de carga de colapso obtido foi então incorporado na otimização da treliça usando um Algoritmo Genético (GA), a fim de gerar estruturas que não só podem manter a capacidade de carga, mas também evitar o colapso sob condições de um terremoto extremamente grande, por exemplo. O projeto de otimização foi implementado com sucesso mediante a resolução de dois problemas de otimização, indicando a eficiência e aplicabilidade do método proposto.

Ainda em 2013, *Belevivius et al.*, descreveram o procedimento para otimização de forma e de topologia de torres estaiadas, buscando a massa mínima através do uso de algoritmos genéticos estocásticos. Dada a altura, geométrica e contraventamento, carregamento e dados do material, o procedimento de otimização objetivava obter as dimensões de todos os elementos da torre, distâncias das fundações dos cabos do mastro, etc. As restrições do problema incluíam carga, esbeltez e requisitos de estabilidade local e global de acordo com o Eurocode. O valor da função objetivo foi obtido e todas as restrições foram verificadas através de análise estática com um software de elementos finitos. A influência dos cabos no comportamento da torre foi modelada por molas lineares. O resultado obtido sugeriu que se realizasse uma análise dinâmica não linear adicional mais precisa.

Em 2014, *Camp e Farshchin* utilizaram um algoritmo modificado de otimização baseado no ensino-aprendizagem (*TLBO*) aplicando-o em treliças de geometria fixa com variáveis de projeto discretas e contínuas. Resultados obtidos pelo algoritmo *TLBO modificado* são comparados com outros métodos populares de otimização evolutiva. Em todos os casos, a função objetivo foi a massa total da estrutura com restrições de força e deslocamento. Geometrias resultantes do processo de otimização foram avaliadas segundo sua massa estrutural penalizada, que representa a massa real da treliça e o grau em que as restrições de projeto são violadas. O *TLBO* é um algoritmo relativamente simples, sem parâmetros intrínsecos controlando seu desempenho e pode facilmente manipular uma mistura de variáveis de projeto contínuas e discretas. Sem introduzir quaisquer parâmetros algorítmicos adicionais, o algoritmo *TLBO* modificado usa uma média ponderada baseada na fase de “ensino” e um refinado processo de atualização dos “alunos”. O desempenho computacional do *TLBO* para várias treliças espaciais de referência foi apresentado e comparado com modelos clássicos encontrados na literatura. Os resultados da otimização indicaram que o algoritmo *TLBO* modificado pode gerar projetos aperfeiçoados de estruturas quando comparados com outras técnicas baseadas em população e, em alguns casos, até melhorar a eficiência computacional geral.

Cazacu e Grama em 2014, apresentaram um estudo para otimizar a topologia, tamanho e forma de treliças planas usando um Algoritmo Genético (GA) e uma análise em elementos finitos para avaliar a função de adequação. O artigo descreveu a técnica de otimização, a codificação de problemas e avaliação de aptidão. Em seguida, apresentaram-se os resultados obtidos com a otimização de um “benchmark” e dois problemas para mostrar a eficiência do procedimento. O objetivo da otimização foi a redução da massa total da estrutura sujeita a restrições de tensão e deslocamento utilizando uma função de penalidade original. A técnica de codificação apresentou bons resultados, mesmo quando utilizada no algoritmo padrão. A otimização do problema de benchmark resultou em uma solução próxima a outras encontradas na literatura. A função de penalidade construída para a pesquisa mostrou grande capacidade de expressar as violações de restrições das soluções, levando a um algoritmo muito mais rápido e soluções muito melhores, no entanto, a calibração desta função nem sempre é uma tarefa fácil. Os autores usaram a calibração clássica de tentativa e erro para o problema (possível devido ao baixo esforço computacional envolvido), mas um estudo mais aprofundado pode dar valores aos

parâmetros de função de penalidade ou até mesmo propor uma maneira de torná-los adaptativos e incorporá-los no GA de otimização.

Resumidamente, dentre os anos de 2010 a 2014, artigo abordando o uso do *Firefly Algorithm* (FA) em problemas dinâmicos de caráter não linear não se mostrou satisfatório embora tenha sido eficaz com outras aplicações. **Já com relação ao PSO, houve compatibilidade de resultados com outros algoritmos (em alguns casos até superior) em problemas desse tipo indicando que a sua adoção pode ser recomendada em casos de engenharia complexa.** Outros estudos demonstraram que o *ABC* (*Artificial Bee Colony*) quando utilizado para otimização de treliças pode apresentar melhoria na convergência computacional se comparado a outros algoritmos. Além desses, houve também a implementação do *HS* para solução de problemas de otimização de parâmetros de TMDs (*Tuned Mass Damper*) bem como a introdução de uma modificação para *ITHS* melhorando sua performance geral. Uma outra aplicação do *HS* foi na otimização de placas levando-se em consideração o custo que, através de uma modificação do algoritmo “puro”, obteve-se convergência mais rápida.

Em contraponto ao apresentado no início do parágrafo anterior, outros autores utilizaram o *HS* e também o *FA* em otimização de estruturas submetidas a restrições dinâmicas. Obteve-se que o *HS* atingiu o resultado ótimo mais rapidamente, no entanto o *FA* apresentou melhores soluções o que, de fato, não convergiu com o apresentado anteriormente por outros autores ainda que a mesma natureza complexa e não linear das avaliações tenha sido abordada.

Ainda, utilizou-se o *GA* para avaliação de cargas de colapso de estruturas sob ação de sismos bem como o mesmo algoritmo com modificações na função de penalidade para implantação em otimização de treliças. Nesse caso, comenta-se sobre a complexidade da modificação da função de penalidade que pode inviabilizar a obtenção da solução (altamente sensível).

Além desses, foram desenvolvidos o *TLBO* e o *MBA* que se mostraram no mesmo nível ou superiores aos seus antecessores e outro algoritmo otimizado para treliças com restrições de frequência denominado *CSS-BBBC* que apresentou resultados até melhores que o PSO segundo o autor.

Em 2015, *Alberdi e Khandelwal* estudaram a robustez de seis algoritmos metaheurísticos - *Ant Colony Optimization, Genetic Algorithm, Harmony Search, Particle Swarm Optimization, Simulated Annealing e Tabu Search*- e suas três variantes melhoradas - *Design Driven Harmony Search, Adaptive Harmony Search and Improved Simulated Annealing* - foram comparadas bem como as características que afetam a robustez algorítmica. Robustez algorítmica é definida como a capacidade de um algoritmo convergir consistentemente com baixo custo computacional, independentemente do espaço variável e do ponto de partida inicial. Nesta medida, os espaços variáveis presentes em problemas de otimização de projeto de estruturas de aço foram estudados e dois desafios desses espaços foram identificados e explicados. Cinco projetos de estruturas de aço de referência, contendo momentos fletores em pórticos, foram apresentados para servir de exemplos nos quais os algoritmos puderam ser testados. Uma discussão aprofundada sobre as características dos algoritmos metaheurísticos que os tornaram bem-sucedidos foi apresentada. Por fim, mostrou-se que os algoritmos que exibem maior robustez são aqueles que incorporam maior intensificação e diversificação presentes em problemas de otimização de projetos de estruturas de aço. Os algoritmos mais robustos encontrados foram o *Design Driven Harmony Search* e o *Tabu Search*.

Gonçalves et al., em 2015, apresentaram um novo método de otimização metaheurística, o *Search Group Algorithm (SGA)*, para lidar com a otimização de estruturas treliçadas. A eficácia do *SGA* foi demonstrada através de uma seleção de problemas de “benchmark” retirados da literatura. Atenção especial foi dada aos problemas que envolviam otimização de topologia, com variáveis de projeto discretas e / ou restrições de frequência naturais devido às complexidades que eles apresentaram. Como principal conclusão destes experimentos numéricos, o *SGA* conseguiu obter estruturas mais leves em comparação as já encontradas para 5 dos 6 exemplos investigados. Além disso, também foi capaz de melhorar as estatísticas das execuções independentes do algoritmo na maioria dos casos. Estes resultados enfatizam as capacidades do *SGA* neste campo e incentivam seu desenvolvimento e aplicação para problemas reais em engenharia.

Ainda em 2015, *Bekdas et al.* usaram o *Flower Pollination Algorithm (FPA)* para minimizar a massa das estruturas de treliça, incluindo o dimensionamento nas variáveis de projeto. O novo algoritmo pode combinar eficientemente buscas locais e globais, inspirado pela polinização cruzada e autopolinização de plantas com flores, respectivamente. Além disso, implementou uma estratégia de manipulação de restrição

iterativa em que projetos de teste são aceitos ou rejeitados com base na quantidade permitida de violações das restrições que é progressivamente reduzida à medida que o processo de pesquisa se aproxima do melhor. Esta estratégia visa obter projetos otimizados sempre viáveis. O novo algoritmo foi testado usando três problemas clássicos de otimização de dimensionamento de estruturas de treliça 2D e 3D e os resultados de otimização mostraram que o método proposto é competitivo com outros algoritmos metaheurísticos de última geração apresentados na literatura.

Em 2016, *Farshchin* et al. objetivou primeiramente introduzir uma otimização multi-classe baseada em ensino-aprendizagem (*MC-TLBO*) para otimização estrutural com restrições de frequência. *Teaching-learning-based optimization (TLBO)* é baseado em um algoritmo simples e eficiente, sem controle de parâmetros intrínsecos no seu desempenho. A abordagem multi-classe proposta aqui aumenta a capacidade de exploração inicial do processo de otimização, resultando em uma busca mais eficiente. O *MC-TLBO* amplia o conceito de processo de educação de uma única sala de aula para uma escola com várias classes paralelas. O *MC-TLBO* emprega um procedimento de dois estágios sendo que no primeiro estágio, classes paralelas exploram o espaço de busca e no segundo estágio, as melhores soluções do primeiro estágio formam uma superclasse para ser a população inicial para um *TLBO* modificado. A fim de examinar a eficiência da metodologia proposta, o *MC-TLBO* foi aplicado em vários problemas de otimização de treliças de referência com restrições de frequência e os resultados do projeto foram comparados com os resultados de um algoritmo *TLBO* modificado e com outros métodos de otimização. Os resultados mostram que o *MC-TLBO* gerava um projeto eficiente e, do ponto de vista estatístico, o algoritmo foi mais robusto e eficiente computacionalmente do que outros algoritmos.

Kanarachos et al, em 2017, comenta que um estudo biológico recente mostrou que a eficiência das moscas das frutas em obter alimento, apesar de seu pequeno cérebro, emerge por dois estímulos distintos: cheiro e contraste visual. O conceito de “*Contrast-Based Fruit Fly Optimization*”, apresentado neste artigo, é pela primeira vez utilizado imitando o comportamento da mosca das frutas como meio de resolver eficientemente problemas de otimização multi paramétrica. Para avaliar seu desempenho, foi realizado um estudo em dez problemas de otimização matemática de três treliças. Os resultados foram comparados com os obtidos usando doze algoritmos de otimização de última geração e confirmam seu bom e robusto desempenho. Uma análise de sensibilidade e uma

avaliação de seu desempenho computacional foi realizado paralelamente. O algoritmo proposto tem apenas alguns parâmetros de ajuste, é intuitivo e multifacetado, permitindo a aplicação a problemas complexos de otimização de projeto multidimensionais.

Ainda em 2017, *Assimi et al.*, apresentaram uma abordagem de programação genética para otimização simultânea de dimensionamento e topologia de estruturas treliçadas. A proposta destinou-se a encontrar as áreas transversais e conectividades ideais das articulações para alcançar massa mínima no campo da pesquisa. O problema de otimização estrutural foi submetido à estabilidade cinemática, tensão máxima permitida e análise dos deslocamentos. Esta abordagem usou a representação de comprimento variável de potenciais soluções na forma de programar computacionalmente evoluindo até a solução ideal. Esse método teve a capacidade de identificar elementos e nós de treliça redundantes no espaço de projeto. Os resultados obtidos tiveram, em comparação com as técnicas já difundidas e competentes existentes na literatura, se apresentado satisfatórios como ferramenta para problemas de otimização sendo demonstrados na resolução de alguns exemplos de benchmark. Com o uso dos algoritmos obtiveram-se estruturas treliçadas mais leves do que as soluções disponíveis relatadas na literatura.

Khatibinia e Yazdani, 2018, comentaram sobre a fraca capacidade de exploração local do algoritmo de busca gravitacional (*GSA*) e sua lenta taxa de convergência em iterações finais demonstradas na literatura. Dessa forma, os autores apresentam um *GSA modificado* descrito aqui como o algoritmo de busca multi-gravitacional acelerado (*AMGSA*) que exibe uma taxa de convergência melhorada. Em *AMGSA*, o crossover simplex (*SPX*) e a mutação de operador do algoritmo genético de melhoramento (*BGA*) foram incorporados com o algoritmo de busca multi-gravitacional (*MGSA*) para obter um algoritmo com um bom equilíbrio exploratório. O *MGSA* foi adotado para evitar a estagnação da pesquisa de um ótimo local (ou seja, para melhorar a capacidade de exploração), enquanto o *SPX* e o operador de mutação *BGA* foram usados para polarizar a pesquisa para áreas promissoras do espaço de busca (ou seja, para promover a exploração local). O desempenho da *AMGSA* foi avaliado usando vários exemplos de otimização de treliças de referência. Os resultados indicaram que a *AMGSA* não só exibe um melhor equilíbrio entre os esquemas de exploração, mas também se mostra como uma promessa eficaz na resolução de problemas de otimização em larga escala, pois requer um número significativamente menor de análises estruturais em comparação com outros algoritmos com os quais é comparado.

Em 2018, *Ho-Huu et al.*, citou que nas últimas décadas, a otimização do projeto baseada em confiabilidade das estruturas treliçadas tem sido ainda um grande desafio para os projetistas de engenharia e até mesmo para os pesquisadores devido a suas complexidades e alto custo computacional. No artigo em questão, os autores apresentaram uma nova abordagem baseada em uma nova combinação de otimização evolucionária multi objetivo e uma análise de confiabilidade foi proposta para lidar com esse tipo de problema. O método em questão consiste em duas etapas separadas. Primeiro, um problema de otimização de projeto multi-objetivo foi formulado e resolvido por um algoritmo de otimização evolutivo multi-objetivo. Em segundo lugar, os problemas de análise de confiabilidade foram formados levando-se em conta a incerteza dos dados de entrada do problema e um método de análise de confiabilidade foi usado para avaliar a confiabilidade de todas as soluções obtidas na primeira etapa. Com base na confiabilidade obtida, as soluções ótimas adequadas com um certo nível de confiabilidade puderam ser prontamente identificadas. A abordagem proposta teve algumas vantagens, tais como: 1) pôde dar um conjunto de muitas soluções ótimas com diferentes níveis de confiabilidade para apenas uma etapa do processo iterativo computacional; 2) pôde lidar facilmente com os problemas de otimização de projeto de estruturas treliçadas com variáveis de projeto contínuas, discretas ou mistas; 3) foi bastante simples para projetistas de engenharia entenderem e implementarem. Para demonstrar a eficiência e aplicabilidade do método proposto, três exemplos de estruturas de treliça foram realizados, e os resultados obtidos foram comparados com aqueles disponíveis na literatura. Os achados revelam que a abordagem proposta foi confiável e mais competitiva em comparação com outros métodos.

Viet Hung e Seung Eock, 2018, mencionaram que um método robusto para otimização baseada em confiabilidade (*RBDO*) de estruturas treliçadas foi integrar análise não-linear inelástica com um método de análise de confiabilidade estrutural e um método baseado no algoritmo de evolução diferencial (*DE*) onde otimizações discretas e contínuas foram consideradas. Comparado ao *DE* convencional, três melhorias principais foram introduzidas no método de otimização proposto, como: (1) um novo esquema de mutação baseado na estratégia *p-best* para equilibrar as pesquisas entre o local e o global; (2) modificações dos parâmetros do fator de escala e da taxa de crossover; (3) uma técnica de multi-comparação para reduzir as avaliações desnecessárias da função objetivo. 20 funções de teste e 4 exemplos reais foram considerados pela primeira vez para demonstrar

o desempenho do método de otimização proposto para problemas de otimização determinística. Adicionalmente, 3 estruturas não lineares inelásticas treliçadas foram então utilizadas para investigar a robustez do *RBDO*. Os resultados comprovaram que o algoritmo modificado é considerado uma excelente escolha com relação aos pontos de vista de precisão, eficiência e confiabilidade. Outra vantagem do método *RBDO* proposto foi que ele pode produzir resultados de otimização mais realistas usando análise elástica não linear.

Farshchin et al., 2018, apresentou um algoritmo de otimização denominado *School Based Optimization (SBO)* aplicado no projeto de estruturas de aço. O objetivo foi minimizar a massa total das estruturas submetidas aos requisitos de resistência e deslocamento especificadas segundo o *Load and Resistance Factor Design (LRFD)* do Instituto Americano de Construção em Aço (AISC). *SBO* é um algoritmo de otimização metaheurístico inspirado no processo educacional tradicional que opera dentro de uma escola multi classes e é uma estratégia de otimização colaborativa, que permite a exploração extensiva do espaço de pesquisa resultando em soluções de alta qualidade. Para investigar a eficiência do algoritmo *SBO*, vários exemplos de referência conhecidos na literatura foram otimizados e os resultados comparados com outros métodos de otimização. Os dados obtidos indicaram que o *SBO* pode resultar em projetos de estruturas com reduzida massa, resultados superiores quando comparado a outros métodos de otimização e também apresentou melhor eficiência computacional na solução de problemas de otimização estrutural de variáveis discretas.

Ainda em 2018, *Degertekin et al.*, mencionou que um método metaheurístico desenvolvido recentemente chamado algoritmo de Jaya (*JA*) foi implementado para dimensionamento e otimização de layout de estruturas de treliças. A principal característica do *JA* é que ele não requer a configuração de parâmetros específicos tendo uma formulação muito simples, em que a ideia básica foi abordar a melhor solução e escapar da pior solução. A formulação *JA* original foi modificada a fim de melhorar a velocidade de convergência e reduzir o número de análises estruturais necessárias no processo de otimização. A adequação do *JA* para otimização de treliças foi investigada resolvendo seis problemas clássicos de minimização de massa de estruturas treliçadas incluindo dimensionamento, layout e problemas de otimização em grande escala com até 204 variáveis de projeto. Os problemas de teste resolvidos são referências comuns de comparação para otimização estrutural e praticamente descrevem todos os cenários que

podem ser enfrentados pelos projetistas. Os resultados demonstraram que o *JA* pode obter melhores projetos do que os dos outros métodos de otimização metaheurísticos e de gradientes de última geração em termos de massa otimizada, desvio padrão e número de análises estruturais.

Madah e Amir, 2018, apresentaram uma nova abordagem para otimização de treliças com relação aos parâmetros de flambagem que incorpora tanto o projeto estrutural quanto as imperfeições iniciais impostas. A flambagem de membros esbeltos, a curvatura global e a estabilidade das sequências de barras foram consideradas pela otimização da resposta não-linear geométrica, em vez de impor um grande número de restrições. A formulação do problema de otimização proposto consistiu em duas etapas alternadas: (1) otimização de forma que visa encontrar a configuração “deformada” do pior caso das posições dos nós; (2) otimização de topologia de dimensionamento que visa encontrar o volume mínimo da estrutura resistente a flambagem com a imperfeição otimizada dada. A análise de sensibilidade para as duas fases de otimização seguiu o método adjunto e as soluções foram obtidas usando métodos sequenciais aproximados de primeira ordem. Foi mostrado que otimizar a configuração da imperfeição estabiliza a convergência, uma vez que a flambagem instantânea aguda é evitada. Diversos exemplos numéricos demonstraram a capacidade da formulação proposta em gerar projetos resistentes à flambagem com robustez contra deslocamentos.

Em 2019, *Degertekin et al.* mencionaram que otimização discreta de estruturas treliçadas é um problema de computação difícil com muitos mínimos locais e que os algoritmos metaheurísticos são naturalmente adequados para problemas de otimização discretos, pois não exigem informações de gradiente. Um novo método recentemente desenvolvido chamado *Jaya Algorithm (JA)* provou ser muito eficiente em problemas contínuos de engenharia. Notavelmente, o *JA* tem uma formulação muito simples e não utiliza parâmetros específicos. Dessa forma, os autores apresentaram uma nova formulação do *JA* para otimização discreta de estruturas treliçadas sob restrições de tensão e deslocamento. O novo algoritmo, denominado como *JA discreto e avançado (DAJA)* implementa mecanismos eficientes de busca visando gerar novas configurações experimentais, incluindo variáveis discretas de dimensionamento, layout e otimização de topologia. Além do conceito básico do *JA* de se mover em direção ao melhor resultado da população e se afastar do pior, a *DAJA* tentou formar um conjunto de direções de procura na vizinhança de cada solução possível, gerando projetos experimentais de alta

qualidade que provavelmente melhorarão a atual população. Os resultados coletados em sete problemas de benchmark demonstraram claramente a superioridade do *DAJA* em relação a outros algoritmos metaheurísticos de última geração.

Zhengtong et al, em 2019, apresentou uma extensão ao processo de otimização de treliças, onde o uso de diversos materiais é considerado. Uma nova versão melhorada do algoritmo *PSO*, denominado *GEMPSO*, foi desenvolvido onde o aprimoramento é realizado pela introdução de dois núcleos estratégicos: a estimativa de gradientes e a múltipla divisão de subpopulações. A eficiência e confiabilidade das melhorias propostas foram demonstradas em um conjunto de seis problemas de teste e em três estruturas treliçadas. Resultados das otimizações de layout de estruturas treliçadas multimateriais revelaram que o uso parcial apropriado de materiais mais caros e resistentes podem reduzir o custo total de matéria prima das estruturas.

Em 2021, *Jafari* et al, propuseram a utilização de um eficiente algoritmo híbrido baseado na combinação do *PSO* com o *CA* (*Cultural Algorithm*) para o projeto ótimo de estruturas treliçadas denominado de *PSOC* (*Particle Swarm Optimization Cultural*). Nesse método, o *CA* foi usado para melhorar o *PSO* de forma que o *CA* modela a informação cultural sobre indivíduos no espaço populacional onde três modificações são feitas no *PSO* padrão. Para mostrar as vantagens do *PSOC*, vários exemplos de benchmark foram apresentados, onde os resultados mostraram que o algoritmo pode convergir para uma solução melhor e acelerar efetivamente a taxa de convergência em comparação com outras variantes do *PSO* e alguns outros métodos metaheurísticos bem conhecidos.

Em 2022, *Souza* elaborou um novo algoritmo de otimização aplicado à engenharia estrutural chamado de *Circle-Inspired Optimization Algorithm* (*CIOA*) inspirado em formulações matemáticas simples relacionadas à circunferência trigonométrica incorporando adicionalmente alguns aspectos de outros algoritmos metaheurísticos pré-existentes. O mesmo foi validado e aplicado em problemas clássicos de otimização de forma e paramétrica e estatisticamente teve sua eficácia comparada a outros algoritmos metaheurísticos consagrados. Ainda, o algoritmo mostrou-se vantajoso por reduzir o número de parâmetros a serem definidos pelo usuário bem como ter um baixo tempo computacional de operação.

Nos últimos anos, diversos algoritmos têm sido recriados baseados em modificações e melhoramentos de algoritmos metaheurísticos mais antigos bem como novas soluções vem sendo desenvolvidas. Além disso, comparações de robustez e performance entre os algoritmos heurísticos continuam em desenvolvimento visando melhoramentos para as mais diferentes empregabilidades tipológicas estruturais. Nesse foco, pode-se identificar o surgimento do *SGA*, *FPA*, modificações do *TLBO* para *TC-TLBO*, modificações do *GSA* além da introdução do novo *CBFFO* baseado no comportamento das moscas das frutas na busca de obter alimento.

Outros pontos importantes observados recentemente tratam-se da introdução do conceito de dimensionamento estrutural baseado em confiabilidade nos processos de otimização além do foco na aplicabilidade em termos de projeto de engenharia estrutural das soluções obtidas. No primeiro caso, algoritmos como o *RBDO* para otimização de treliças já vêm sendo utilizado com resultados satisfatórios tendo como resultado múltiplas soluções dependentes do nível de confiabilidade requerido dadas as incertezas de projetos envolvidas. Algoritmos como o *SBO*, que fora desenvolvido para otimização de estruturas de aço de acordo com o AISC - LRFD através do conceito ensino-aprendizagem e o *JA* e o *DAJA* (*JA* modificado) vem sendo desenvolvidos e utilizados para tal finalidade.

Dentro do grupo de pesquisa ao qual está inserida essa publicação, podem-se destacar os trabalhos de *Miguel e Fadel Miguel* (2012a), *Miguel e Fadel Miguel* (2012b) e *Miguel, L. F. F. et al* (2013) que propuseram otimização paramétrica, topológica e de forma de estruturas treliçadas de aço restritas dinamicamente mediante utilização de algoritmos metaheurísticos bem como o trabalho de *Souza et al* (2022) que desenvolveram um novo algoritmo de otimização metaheurístico denominado *CIOA*.

Já, a obtenção de obras bibliográficas que contemplem estruturas de aço de suporte para o transporte de granéis sólidos tem se mostrado mais desafiadora. Em sua grande maioria, os trabalhos desenvolvidos têm apresentado a utilização de algoritmos em estruturas do tipo benchmark ou tratam de soluções gerais. Dessa forma, buscou-se preencher essa lacuna através do estudo de aplicações em modelos estruturais similares aos apresentados nesse trabalho. Assim, abaixo seguem alguns deles.

Em 2007, *Fonseca*, apresentou trabalho sobre otimização de estruturas treliçadas planas sob carregamentos estáticos e dinâmicos mediante utilização de algoritmos genéticos e

redes neurais. Através da consideração das restrições normativas, foi possível acelerar a convergência dos algoritmos genéricos mediante computo dos parâmetros genéticos adaptativos bem como técnicas alternativas para a avaliação da função de aptidão. Por fim, a abordagem proposta permitiu a otimização de grandes estruturas garantindo sua aplicabilidade em projetos reais.

No trabalho de *Guerra*, em 2008, a otimização de estruturas treliçadas por algoritmos genéticos foi proposta visando massa mínima. Os resultados obtidos pelo GA foram comparados a *software* comercial. Conclui-se que, de maneira geral, maiores populações resultaram em melhores resultados na função objetivo bem como taxas de mutação mais elevadas também assim o fizeram para casos benchmark. Para uma estrutura real, o aumento da população não representou redução da massa da estrutura.

Kalanta et al em 2009, estudou sobre o projeto ótimo de barras sob comportamento elástico e elastoplástico onde se formularam problemas de otimização discreta não linear. As seções transversais das barras foram tomadas discretas de acordo com as seções comerciais existentes. Resolvendo os problemas de otimização iterativamente, onde cada passo compreendia a seleção de elementos discretos para as barras e mediante a utilização de três algoritmos e programação do MEF, concluiu-se que o banzo inferior otimizado foi paralelo enquanto que o superior fora em formato de arco para treliças planas verticais possuindo montantes verticais. Conclui-se também informando que na extrapolação para modelos 3D o conceito também é válido.

Em 2015, *Souza et al.* apresentou metodologia para otimização topológica de torres de linhas de transmissão onde a estrutura foi subdividida em módulos principais visando otimização topologia através do uso de *FA* e do *BSA* dadas restrições impostas pela ASCE10-97. Concluiu-se que foi possível reduzir 6,4% a massa da estrutura se comparado a métodos clássicos de otimização topológica.

Couceiro et al. em 2016 também apresentou um trabalho de otimização de estruturas treliçadas para linhas de transmissão utilizando uma versão modificada do algoritmo *SA*, onde adotaram-se as características práticas e de construção das estruturas de aço. Concluiu-se que o algoritmo apresentou resultados satisfatórios em problemas de projeto de escala real.

Também em 2016, *Costa e Melo*, apresentaram um estudo sobre otimização paramétrica utilizando o método do gradiente reduzido (GRG) para análise de conformação de seções de aço frente a cargas externas utilizando o Solver do Microsoft Excel tendo como restrições aquelas impostas pela NBR8800/2008. Conclui-se que, para o caso em estudo, seções do tipo “L” apresentaram melhores resultados que outras seções em termos de consumo de matéria prima até certo limite de carga.

Em 2017, *Ghanshyam et al.* estudaram sobre a otimização simultânea paramétrica, de forma e topológica de treliças planas e espaciais com restrições de tensões, deslocamentos e condições de estabilidade cinemática mediante utilização de quatro algoritmos metaheurísticos distintos. Conclui-se que o *IPVS* seguido do *PVS (Improved Passing Vehicle Search)* obteve melhores resultados para a função objetivo.

Em 2019, *Cavalcanti Neto*, propôs também a utilização de algoritmos genéticos visando a minimização de massa de estruturas de aço treliçadas utilizando variáveis de projeto discretas e restrições normativas. Restrições de deslocamento ocasionaram aumento de massa de até 77% se comparados unicamente a restrições de tensão para os casos analisados. Foram considerados grupos de seções transversais para distintas posições nas estruturas sendo que à medida que ocorria um aumento em sua quantidade ocorria redução da massa da estrutura, mas também um aumento do custo computacional.

Na prática, observa-se uma maior utilização de GA para otimização de estruturas de aço. Identificou-se também que, mesmo com o aumento de população nos parâmetros referentes ao algoritmo, não houve melhoramento na performance do mesmo.

Em termos de otimização de forma e parametrização, treliças planas do tipo “Pratt” - estudado por *Kalanta et al (2009)* – apresentam bons resultados em termos de minimização de massa, bem como barras com seção transversal do tipo “L” – citado por *Costa e Melo (2016)* - resultam em menores consumos de matéria prima se comparado à outras seções até certo limite de tensão. Ainda se identificou que, a quantidade e limitações das restrições modifica substancialmente o valor da função objetivo. Também, algoritmos metaheurísticos puderam ter sua eficácia comprovada em projetos estruturais executivos de engenharia.

Para fins desse trabalho, dada toda a explanação acima acerca da origem, desenvolvimento, implantação e resultados obtidos dentre os mais diferentes algoritmos

apresentados, entende-se que os denominados metaheurísticos resultarão em melhores resultados dada a complexidade do problema que será abordado. Tal afirmação se torna evidência devido à não linearidade do problema, o que praticamente elimina os algoritmos clássicos baseados em gradientes, funções lineares ou quadráticas conhecidas.

Além disso, e adiantando parcialmente, nessa tese se farão presentes distintas restrições quer seja de tensão dos elementos constituintes dos modelos estruturais, deformação local e deslocamento global, flambagem das barras, esbeltez além das restrições dinâmicas de aceleração e frequência natural e/ou fundamental limite dadas pelas mais distintas referências normativas utilizadas.

Conhecidas qualitativamente as aplicações dos diversos algoritmos frente à distintas situações e baseado no histórico, resultados, robustez e complexidade computacional, faz-se necessário destacar o *PSO (Particle Swarm Optimization)* e sua versão melhorada *EPSO (Enhanced Particle Swarm Optimization)* como potenciais alternativas para uso nesse trabalho devido principalmente, a serem de última geração bem como possuírem maior êxito em aplicações de engenharia, o que foi identificado ao longo da revisão bibliográfica. Obteve-se utilização do mesmo em otimização paramétrica, topológica, de forma, aplicabilidade em casos de estruturas reais, minimização de massa, restrições dinâmicas incorporadas, variáveis de projeto discretas, dimensionamento segundo normas regulamentares, entre outras. Alternativamente, algoritmos genéticos apresentam bons resultados práticos também.

Dadas as informações acima, segue-se a fundamentação teórica acerca do assunto abordado.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo apresentam-se algumas informações básicas necessárias ao entendimento desta tese. Inicialmente são descritos alguns conceitos fundamentais de otimização, subdividindo-os em variáveis de projeto, função objetivo, restrições e a problemática de implementação. Em seguida descrevem-se os carregamentos, combinações de ações e ponderações necessárias de acordo com os estados limites últimos e de serviço e considerações acerca da análise e dimensionamento estrutural são feitas.

3.1. OTIMIZAÇÃO ESTRUTURAL

Em linhas gerais, pode-se dizer que um processo de otimização estrutural pode ser dividido em três campos: otimização paramétrica, de forma e topológica. Na otimização paramétrica são alterados os parâmetros da seção transversal da barra tais como área, momentos de inércia, entre outras características do próprio perfil que se deseja otimizar. Na otimização de forma há alteração das posições dos extremos das barras, ou seja, os “nós” do modelo estrutural variam e decorrente disso as solicitações nas barras se alteram. Por fim, na otimização topológica, barras podem ser retiradas/inseridas em uma treliça, por exemplo, desde que não violem as restrições e visem o objetivo da resolução do problema. Geralmente, em processos de otimização estrutural, busca-se a redução de massa da estrutura que, por sua vez, é diretamente proporcional ao custo da mesma para materiais homogêneos. Entretanto, em diversos casos, pode ser necessário terem outras funções objetivo como por exemplo, em casos de excitação dinâmica, a minimização da amplitude de vibração da estrutura.

3.1.1. Variáveis de Projeto

As variáveis de projetos representam os parâmetros do problema que são alteradas visando otimizar o sistema. Propriedades internas das barras, posições dos nós da estrutura, quantidade de barras do modelo são exemplos de variáveis de projeto.

Podem ser contínuas ou discretas. As contínuas admitem quaisquer valores reais enquanto as discretas admitem apenas valores pré-determinados. Geralmente, perfis (por consequência áreas, momentos de inércia, etc.) são tratados como variáveis discretas visto que, comercialmente, os mesmos possuem propriedades pré-determinadas, ou seja,

devem respeitar as condições de aquisição de matéria prima no mercado. Porém, em alguns casos, os perfis podem ser fabricados conforme a necessidade na dimensão específica (como é o caso de perfis de aço soldados) alterando a variável de discreta para contínua.

3.1.2. Função Objetivo

A função objetivo representa o parâmetro mais importante de um problema de otimização estrutural. É a função responsável por quantificar o que se quer otimizar. Assim, o problema de otimização visa “encontrar” o valor mínimo ou máximo para essa função dependendo do que se deseja solucionar no problema.

3.1.3. Restrições

Com relação às restrições, estas representam os limites impostos ao problema visando minimizar ou maximizar a função objetivo. Tensões, deslocamentos, frequências podem possuir limitações que necessitam ser incorporadas ao problema de otimização. Normalmente as restrições são impostas por normalizações, mas também são inerentes à, por exemplo, resistência dos materiais, condições de fabricação, dimensão das peças, entre outras. As restrições classificam-se em três categorias denominadas de laterais, de igualdade e desigualdade. Resumidamente, restrições de lateralidade indicam que determinada resposta estrutural obtida deva estar entre limites; as restrições de desigualdade indicam que certo parâmetro deva possuir valor maior ou menor que determinada referência; a restrição de igualdade indica um valor exatamente igual ao especificado.

Objetiva-se que a maior parte das restrições esteja ativa no final da otimização, o que é improvável. Esse processo gera um custo computacional muito alto, por vezes o inviabilizando.

A formulação básica de um problema de otimização pode ser dada por:

$$\begin{aligned}
 \text{Encontrar:} & & x \\
 \\
 \text{Minimizar/Maximizar:} & & f(x) \\
 \\
 \text{tal que:} & & x_{min} \leq x \leq x_{max} & (3.1) \\
 \\
 h_k(x) = 0; & & k = 1, 2, 3, \dots n_e \\
 \\
 g_j(x) > 0; & & j = 1, 2, 3, \dots n_g
 \end{aligned}$$

Onde: “ x ” representa o conjunto das variáveis de projeto, $f(x)$ representa o objetivo do projeto e é denominada de função objetivo e $h_k(x)$ e $g_j(x)$ são as restrições a que o projeto deva estar submetido, no primeiro caso de igualdade e no segundo de desigualdade; sendo todas as funções dependentes das variáveis de projeto onde x_{min} e x_{max} representam os limites inferiores e superiores das mesmas.

3.1.4. Problemática de Implementação Abordada

Conforme introduzido, nessa tese objetiva-se a minimização da função objetivo que representa a massa da estrutura, restrita a limitações (restrições) de tensão, deslocamento, deformação, esbeltez, frequência fundamental/natural e aceleração. Ainda, nesse caso em especial, as avaliações globais da resposta da estrutura poderão ser tratadas como restrições do tipo de desigualdade visto que, por exemplo, os deslocamentos deverão ser inferiores, as frequências superiores e as acelerações inferiores a certos valores especificados.

Adicionalmente, as variáveis de projeto estarão limitadas inferior e superiormente visto que, resumidamente, serão obtidas através de uma lista de dados discretos que, por sua vez, devem atender a critérios preestabelecidos.

Complementando, como referência, é comum a adoção de seções de aço laminadas no projeto das tipologias estruturais. Ainda, seções “abertas” do tipo H, W, I, U e L são as mais usuais visto que apresentam fácil identificação de patologias e maior flexibilização na execução das conexões estruturais entre os elementos se comparadas às seções tubulares, por exemplo, representando ganho em termos de produtividade fabril. No entanto, em termos de consumo de matéria prima, haverá vantagem competitiva quando

da adoção de perfis tubulares devido a sua melhor “adaptação” a quesitos de capacidade de suporte para índices de esbeltez superiores. Nesse trabalho opta-se por quantificar o custo da estrutura apenas pelo consumo de aço, o que direciona muitas vezes a adoção de seções transversais tubulares em diversas posições ao longo dos modelos tipológicos estruturais.

Exemplificando, barras de uma treliça – serão comumente abordados nesse trabalho - precisam atender requisitos de limitação de tensão (de compressão ou tração) e de índice de esbeltez (possuem valores limites distintos para compressão e tração, segundo NBR8800/2008). Já barras submetidas à flexão, além de atender os mesmos critérios apresentados para barras de treliças, tem ainda momentos fletores e deformações particulares associadas que também precisam ser contempladas.

Desta forma, apresenta-se a seguinte condição estabelecida para essa tese:

- i. Função Objetivo:
 - Minimização de massa de estruturas treliçadas de suporte para transportadores de granéis sólidos;
- ii. Tipos de Estruturas a Otimizar:
 - Galerias;
 - Colunas;
- iii. Tipos de Otimização:
 - Paramétrica, De Forma e Topológica.

3.1.4.1. Galerias Treliçadas de Aço

“Galeria treliçada” trata-se de um modelo estrutural em que as barras da estrutura basicamente recebem apenas esforços axiais. No entanto, embora mercadologicamente recebam essa denominação, em termos de comportamento, há uma certa anomalia de conceptualização. As “galerias treliçadas” apesar de apresentarem suas faces treliçadas – daí a definição mercadológica da nomenclatura – possuem pórticos transversais e também elementos transversais de barra de pórtico, que são elementos transversos ao plano longitudinal que recebem diretamente carregamentos provenientes dos transportadores de correia, passadiços e coberturas e que constituem essa tipologia.

A Figura 3.1 apresenta a imagem de uma galeria de aço.



Figura 3.1. Vista Externa de uma Estrutura do Tipo Galerias Treliçada (fonte TMSA – Tecnologia em Movimentação SA /2006).

Inicialmente, o projeto necessita definir limitações da tipologia em questão. A mesma deve possuir altura (dimensão vertical) e largura (profundidade) que propiciem a instalação dos devidos transportadores bem como permitam a manutenção dos equipamentos internos. Dessa forma, em termos de dimensão vertical mínima será necessário limitar inferiormente em 2,60 metros entre eixos das faces superior e inferior, o que já propicia um espaço apropriado para manutenção e circulação de pessoas.

Devido também às questões de utilidade e manutenção, a largura da galeria (profundidade) deve permitir a instalação de passadiços aos lados do transportadores o que induz a necessidade de uma largura mínima da estrutura para cada tipo/largura de transportador.

Assim, em termos de utilização, alguns itens que poderiam ser tratados como variáveis de projeto não são permitidos, ou seja, se impede que haja uma otimização de forma naquela posição específica, tal qual como ocorre na largura das galerias. No entanto, um acréscimo na dimensão vertical, por exemplo, não teria limitações. Resumidamente, em termos de otimização, se pode empregar otimização paramétrica bem como otimização de forma, desde que todas as cotas verticais da face superior se mantenham constantes (todos os nós da face superior na coordenada vertical). Ainda se adiciona aqui a

otimização topológica simplificada que é implementada baseada em modelos aperfeiçoados experimentalmente (utilizados em larga escala na prática).

Baseando-se nessas premissas, pode-se definir a configuração adequada a otimizar frente às cargas aplicadas objetivando a mínima massa. Nesse caso, toda a melhoria seria obtida dentro de certas limitações de lateralidade resultantes da otimização paramétrica dos perfis que, por sua vez, é baseada nas condições de aplicabilidade mercadológica, comprimentos e disponibilidade de aquisição. Também, seria possível a otimização de forma, onde a dimensão vertical é condicionada a certos limites discretos, e a otimização topológica que, como já mencionado anteriormente, advém de aplicabilidades correntes preestabelecidas.

Restrições de deslocamento no centro do vão do modelo, frequência fundamental/natural e aceleração máxima se incorporam ao problema.

Nessa etapa, é fundamental esclarecer o exposto acima. Introduzindo preliminarmente, o fluxo do desenvolvimento é dado da seguinte maneira: dadas certas condições iniciais, se define a geometria e os carregamentos do modelo estrutural global. Com isso, a partir de uma estimativa da massa total da estrutura é possível **dimensionar** os perfis constituintes, checar a estimativa de massa inicial, ajustar a massa se necessário e repetir o processo até que não ocorra diferença nas solicitações das barras devido a alteração da massa da mesma entre as iterações sucessivas. Nessa etapa apenas são verificadas as tensões, deformações e esbeltez de cada elemento, sem que ainda sejam computadas as restrições globais do problema propriamente ditas.

É importante comentar que, na metodologia proposta, embora as barras constituintes dos modelos sejam variáveis e otimizadas parametricamente, elas também são resultantes da geometria do modelo estrutural e das solicitações a que estão submetidas. Desse modo, representam soluções para os dados de entrada e variáveis de projeto principais, sendo selecionadas a partir de uma listagem de perfis (seções que atendem a restrições particulares de tensão, deformação e esbeltez e que possuam menor massa dentro de um determinado grupo de barras).

Dito isso, definem-se **as variáveis de projeto**, para as “galerias”, que são: **as seções transversais das barras dos pórticos de extremidade e centro (mesma seção para todos os elementos) e a dimensão vertical (altura)**, ambas discretas e selecionadas

através de um determinado índice numérico inteiro que são, inicialmente, arbitradas aleatoriamente no início do processo.

O desenvolvimento resumidamente apresentado acima foi fundamental, visto que tratou as restrições particulares separadamente, a nível de checagem da capacidade de suporte e comportamento de cada elemento isoladamente, evitando que essas restrições fossem ainda incorporadas a análise do problema de otimização global. Tal premissa resulta em ganhos de performance no processo computacional e até mesmo em termos de projeto de engenharia. Ainda, dadas as condições de solicitações em um elemento isolado, é selecionado em uma lista aquele que cumpra todas essas restrições particulares (tensão, deformação e esbeltez) e que apresente a menor massa dentre aqueles existentes numa lista de referência.

Com relação a abordagem das dimensões dos modelos, vãos compreendidos entre 15m e 33m discretamente serão estudados com adições de 3,0m a partir do limite inferior. A **dimensão vertical (altura) será uma das variáveis do projeto** e a largura (profundidade) será fixa, determinada de acordo com o tipo de transportador a ser estudado.

Introduzindo, os carregamentos considerados serão as cargas permanentes da própria estrutura, fechamentos (tapamentos), passadiços, tubulações e cabeamentos, a própria carga do transportador e sua proteção inferior, a carga de produto (típica para cada tipo de transportador) e a carga devida a ação do vento abrangendo as características dos ventos no Brasil, ou seja, de 35 e 45 m/s limitado por esses dois valores superiores. Além dessas ainda se aplica a carga acidental sobre a cobertura da galeria e a carga acidental nos passadiços. Com relação a carga de material, ou seja, o produto que é transportado pelo transportador de correia será adotado um valor que contemple todos os materiais com peso específico de **até 1200 kg/m³** englobando a grande maioria dos granéis agrícolas tais como milho, soja, açúcar, entre outros.

Com isso, objetiva-se auxiliar na tomada de decisão acerca da identificação das soluções aperfeiçoadas de engenharia a partir do estudo preliminar de modelos utilizados em larga escala e que apresentam configurações aprimoradas alinhadas ao objetivo dessa tese dentre distintas topologias identificadas em campo, ou seja, procedendo análise topológica e de forma experimental.

A Figura 3.2 apresenta uma imagem de um modelo estrutural renderizado e a Figura 3.3 apresenta seção transversal típica dos transportadores bem como as larguras das galerias.

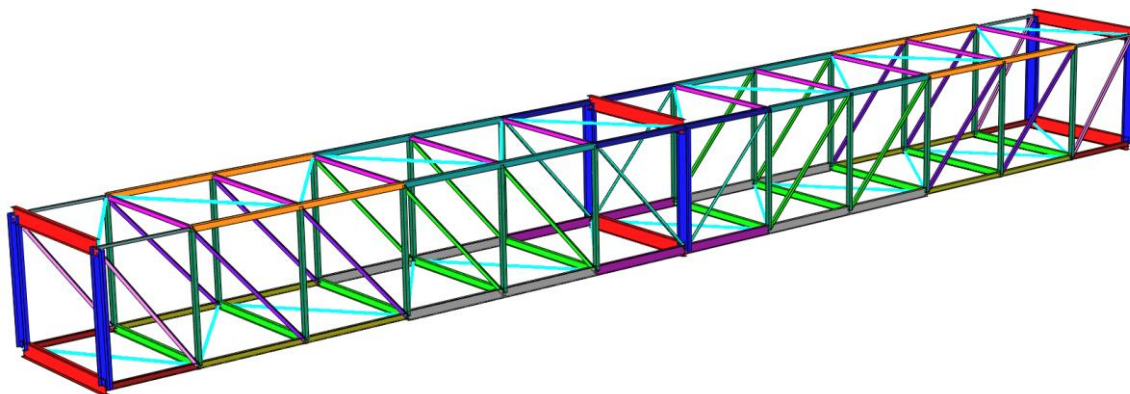


Figura 3.2. Modelo 3D Esquemático para Galerias

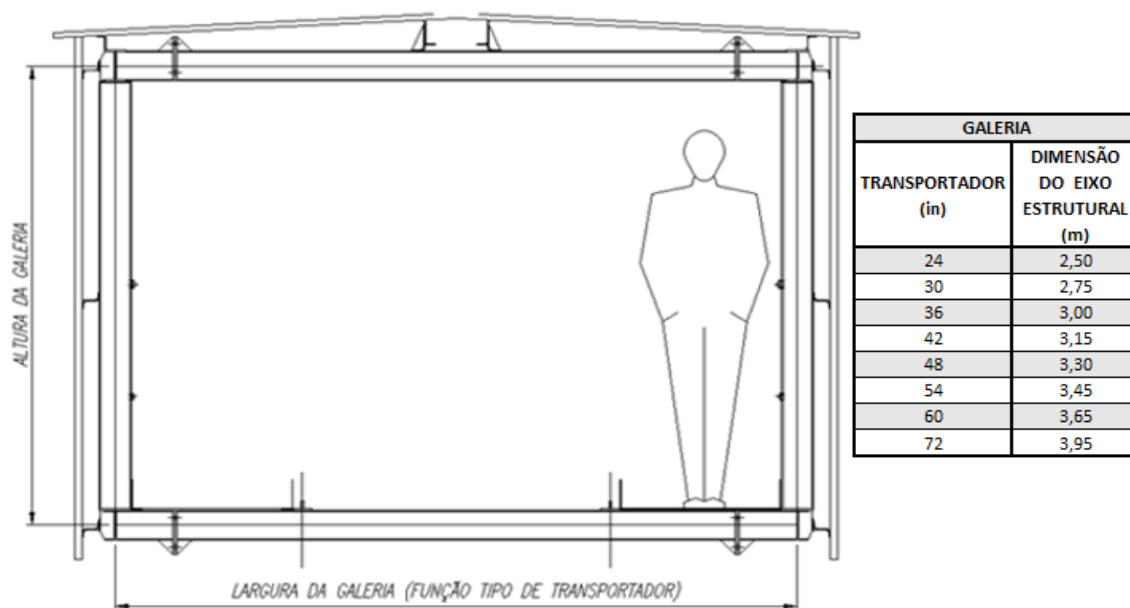


Figura 3.3. Seção Transversal das Galerias – Dimensão Mínima do Eixo Estrutural Horizontal de acordo com NR-12

As larguras utilizadas na Figura 3.3 são baseadas nas recomendações dadas pela NR 12, aliadas às dimensões dos transportadores adaptadas da NBR 6678/2010, tabela 17. Adicionalmente e, a favor da segurança, caso haja necessidade de largura superior a apresentada, adaptam-se os resultados obtidos ao longo dessa tese alterando-se o transportador de referência (por exemplo, caso transportador de 24” e necessidade de 2,75m de largura entre eixos, adotam-se as soluções do transportador de 30”) e assim sucessivamente.

3.1.4.2. Colunas de Aço

Resumidamente, **colunas** tratam-se de estruturas de aço do tipo “treliça plana” que recebem todas ações provenientes das galerias de aço e tem função de as suportar e transmiti-las às fundações. A Figura 3.4 mostra uma imagem de uma coluna de aço.



Figura 3.4. Coluna Metálica Treliçada (fonte TMSA - Tecnologia em Movimentação SA - 2006)

Nesse caso particular, em termos geométricos, a única limitação externa será a largura no topo da coluna que deve respeitar a dimensão da largura da galeria (profundidade) a qual irá suportar. A dimensão vertical da coluna (altura) dependerá de questões de implantação, ou seja, é um dado de entrada do problema e a base (dimensão de largura da estrutura junto ao solo ou apoio externo) poderá ter dimensões distintas restringidas lateralmente por determinados limites. A **quantidade de contenções laterais e a declividade vertical** serão tratadas como **variáveis de projeto** onde, otimizações de forma e topologia, poderão estar presentes. Os dados de entrada com relação à altura da coluna serão discretos e limitados inferiormente em 1,5m e superiormente em 36,5m com incremento de 7,0m.

Além do apresentado acima, a resposta da função objetivo dependerá da entrada de dados do processo de otimização obtido das galerias. Por exemplo, a otimização de forma obtida nas galerias modificará os carregamentos, principalmente aquele vinculado ao vento externo, causando modificações na massa resultante das colunas.

A Figura 3.5 apresenta um modelo esquemático 3D para colunas.

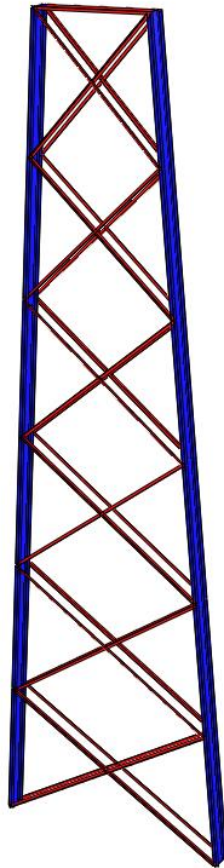


Figura 3.5. Modelo 3D Esquemático para Colunas

3.1.4.3. Visão Combinada

Como introduzido, a minimização da função objetivo, ou seja, a representação do mínimo de massa valor obtido para uma linha de transportador depende não só da otimização de cada tipologia estrutural como de sua atuação conjunta. Assim, para uma avaliação mais precisa, é necessário que ambos os processos de otimização das tipologias sejam solucionados paralelamente onde os resultados obtidos para a função objetivo devam corresponder à soma de ambas as tipologias. O problema de otimização multi-objetivo é então solucionado através de abordagem particular, transformando-a em mono-objetivo.

A Figura 3.6 apresenta uma linha de transporte na qual identificam-se as galerias e as colunas associadas (rotacionada).

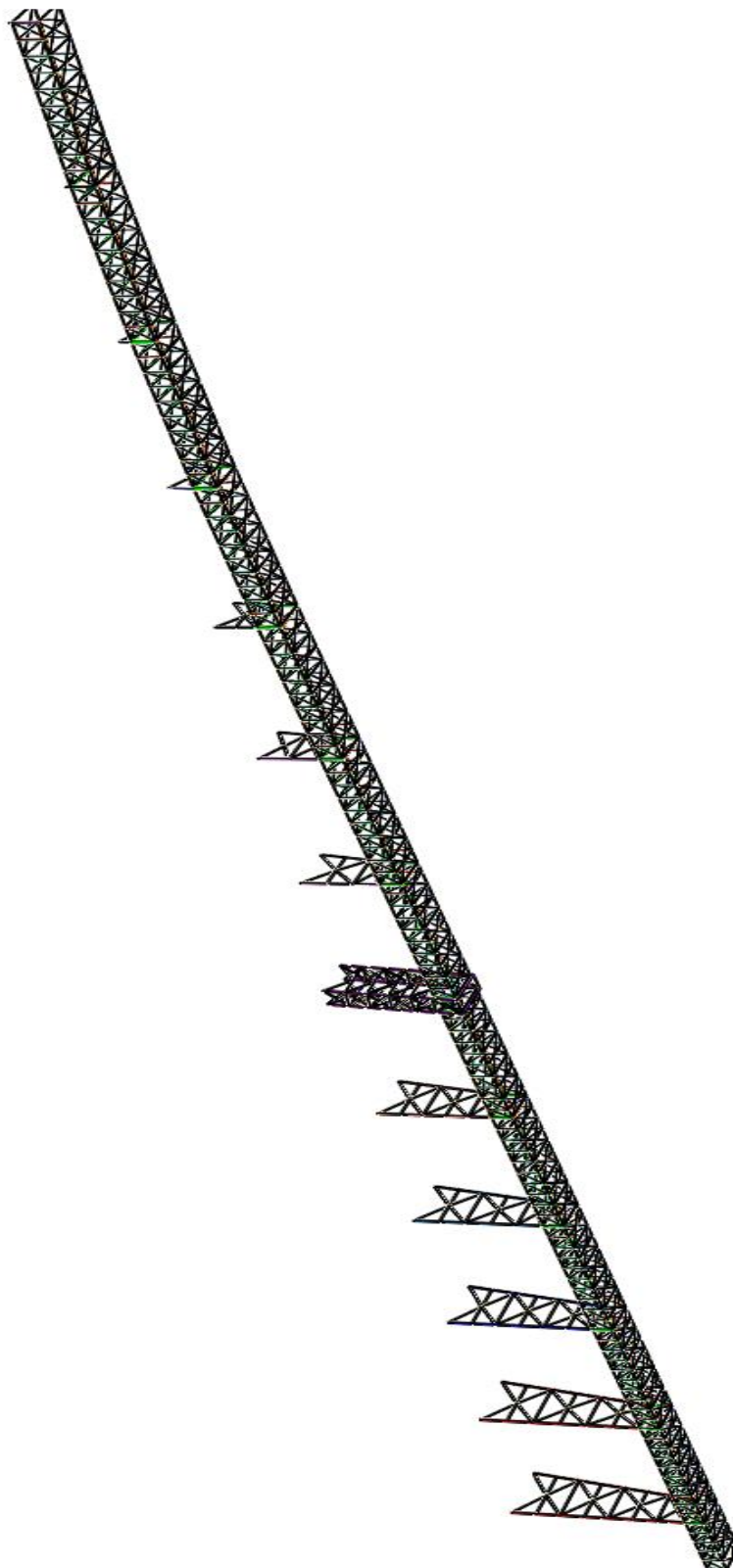


Figura 3.6. Modelo 3D - Linha de Transporte

3.2. CARREGAMENTOS

A seguir apresentam-se as premissas requeridas em termos de quantificação de solicitações necessárias aos processos de dimensionamento e otimização estrutural.

É sabido que qualquer estrutura deve atender aos requisitos mínimos de resistência, estabilidade, deslocamento entre outros aos quais estará submetida. Desta forma, apresentam-se ao longo desse subcapítulo as cargas que estarão presentes no dimensionamento estrutural. Dentre elas pode-se subdividir em carregamentos de origem permanente e acidental.

As cargas permanentes, conforme apresentado pela normativa *NBR 8800/2008*, tratam das solicitações que atuam em toda a vida útil da estrutura. Ou seja, nesse caso em questão, o peso próprio de todos os elementos instalados e que permanecem fixos nas galerias e colunas podem ser assim caracterizados.

Primeiramente, o peso próprio da estrutura de aço é definido como carga permanente. Além dele, o peso dos passadiços, calha de tubulações elétricas, telhas, terças de fechamento (tapamento), guarda corpos, chapa de proteção inferior ao transportador e peso do transportador de correia são também assim definidos.

Adicionalmente, existem outros carregamentos que são de natureza distinta tais como a carga acidental e o vento aplicado. As cargas acidentais são obtidas diretamente na norma *NBR 6120/2019* e as cargas de vento da norma *NBR 6123/1988*. Ainda existe o peso de produto transportado que depende do próprio transportador e geralmente é definido pela capacidade da linha em toneladas por hora de material transportado. Dessa forma, conhecida a velocidade de transporte é possível obter a massa e então o peso de produto linear (carga por metro) a ser aplicado sobre a estrutura de suporte. Geralmente os transportadores são projetados com margem de segurança com relação à capacidade de suporte. No entanto, na análise estrutural procedida, fora considerado transportador com capacidade máxima de transporte, ou seja, totalmente preenchido por produto (granel) até o seu limite máximo exceto nos casos de avaliações de acelerações máximas.

Basicamente, o exposto acima refere-se às condições de carregamento a serem aplicadas às galerias. Com relação às colunas, como as mesmas recebem diretamente as ações

oriundas das anteriores, as mesmas estarão somente assim submetidas complementadas apenas pelo seu próprio peso.

3.2.1. Cargas Permanentes

3.2.1.1. Peso Próprio da Estrutura de Aço

O peso da estrutura de aço consiste no compute das massas de todos os elementos que resistem às solicitações externas. Simplificada e experimentalmente é possível estimar a massa das galerias para fins da análise estrutural inicial. Assim, gráficos correlacionando vãos de estrutura e tipos de transportadores podem ser tomados como uma referência de massa. Futuramente, o próprio processo de otimização obterá o valor correto. A Figura 3.7 mostra essa relação e a resposta é dada em kg/m^2 - como força em daN/m^2 , simplificada - com projeção em planta baixa do modelo tipológico de galeria.

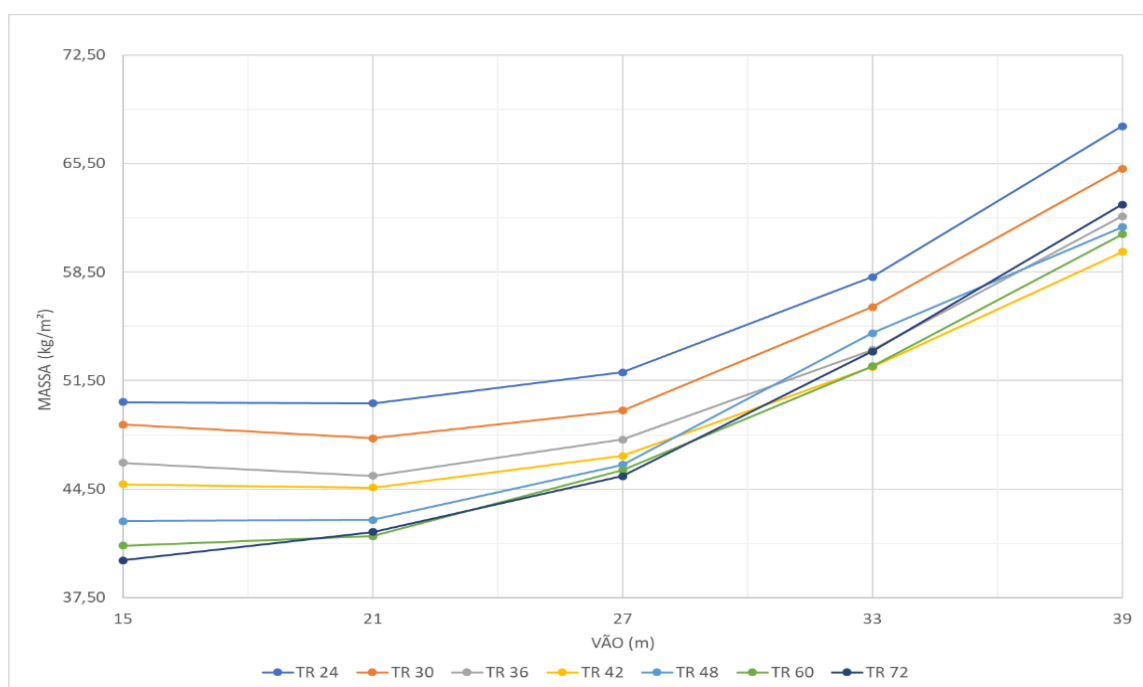


Gráfico 3.1 Estimativa de Massa de Galeria em kg/m^2 (fonte: autor)

A estimativa serve como um parâmetro inicial fundamental visto que reduz a quantidade de iterações e atualizações de massa, rigidez e amortecimento nos processos de otimização. Embora aproximados, os valores tendem a se aproximarem dos obtidos nos modelos estruturais resultantes. Para serem utilizados corretamente, os valores acima ainda necessitam ser corrigidos através da multiplicação pela largura da estrutura de

acordo como o tipo de transportador em questão (transformação para unidades da função objetivo - kg/m como massa e/ou daN/m como carga).

3.2.1.2. Peso Próprio da Estrutura de Aço Não Estrutural

Compreendem nesse item os elementos metálicos/de aço que não apresentam relação estrutural de resistência com o modelo diretamente. Todos os elementos em questão, embora apresentem rigidez e alguma capacidade de suporte, não são comumente computados nas análises estruturais, sendo considerados apenas como carregamentos externos. Dentre eles podem ser citados:

- Telhas de Cobertura: normalmente são de aço, mas podem ser de alumínio. Normalmente utiliza-se uma estimativa de 6,5 daN/m² sobre a área de cobertura e fechamentos.

A Tabela 3.1 apresenta a massa por metro quadrado das telhas metálicas. (Usual em kg/m²)

Tabela 3.1 Telha Metálica Ondulada - Catálogo Metform

Pesos	Espessuras das chapas (mm)									
	0,430		0,500		0,650		0,800		0,950	
	Galvalume	Zincada	Galvalume	Zincada	Galvalume	Zincada	Galvalume	Zincada	Galvalume	Zincada
kg/m	4,00	4,13	4,68	4,80	6,12	6,24	7,56	7,68	9,00	9,12
kg/m ² (rec. spl.)	4,05	4,18	4,73	4,86	6,19	6,32	7,65	7,77	9,11	9,23
kg/m ² (rec. dpl.)	4,40	4,53	5,14	5,26	6,72	6,84	8,30	8,42	9,88	10,00

- Perfis de terças de aço: utilizada como suporte direto para as telhas metálicas. São perfis formados a frio que normalmente entram como carregamento sobre a estrutura principal com pressão de 6,5 daN/m² sobre as faces as quais está inserido.

- Guarda-Corpos: compreende as barras com função de guarda corpo. Nas faces laterais, dois elementos circulares redondos longitudinais, um deles de diâmetro de 25,4mm e outro de 19,05mm são fixados diretamente nos montantes das treliças laterais das galerias de aço. Internamente e juntos ao transportador podem ser utilizados dispositivos de proteção ao longo de seu comprimento com peso por metro de 25 daN/m. O total de guarda corpo resultante é de 62,5 daN/m no total, independentemente do tipo de transportador.

- Calhas e Cabeamento Elétrico: são posicionados na face superior e possuem carga máxima de 70 daN/m longitudinalmente fixado à linha.

- Passadiços: possui largura de até 800mm cada e são compostos por duas longarinas formadas por “perfis formados a frio” do tipo “L” com dimensões de 50x150x6,35 mm. A grade de piso geralmente segue a especificação *SME-5* tendo aproximadamente 23,5 kg/m². Assim, o peso longitudinal dos dois passadiços acrescidos de todos os perfis expostos acima resulta em 80 daN/m.

A Tabela 3.2 apresenta um tipo de grade utilizado em passadiços de galerias de aço.

Tabela 3.2 Grades SME-5 - Retirado do Catálogo de Grande - Stretch Metal

DESIGNAÇÃO	ESPESSURA	PESO EM KG/M ²	
	E	NORMAL	ZINCADA
SME-1	6,35	20,77	21,77
SME-1A	6,35	16,22	17,22
SME-1B	6,35	14,40	15,40
SME-1C	6,35	12,96	13,96
SME-1D	6,35	12,60	13,60
SME-2	6,35	15,25	16,25
SME-2A	6,35	12,70	13,70
SME-3	4,75	10,31	11,31
SME-3A	4,75	8,95	9,95
SME-3B	4,75	7,95	8,95
SME-3C	4,75	8,73	9,73
SME-3D	4,75	7,16	8,16
SME-4	4,75	14,92	15,92
SME-4A	4,75	12,12	13,12
SME-4B	4,75	10,77	11,77
SME-4C	4,75	11,82	12,82
SME-4D	4,75	9,69	10,69
SME-5	6,35	22,28	23,28

- Proteção Inferior do Transportador: são chapas lisas de aço de espessura de 2mm dispostas sob os transportadores com objetivo de reter quedas de materiais em determinadas regiões. Apresenta massa por metro quadrado de 16,0 kg/m².

Na Figura 3.7 podem ser identificados alguns dos elementos não estruturais.

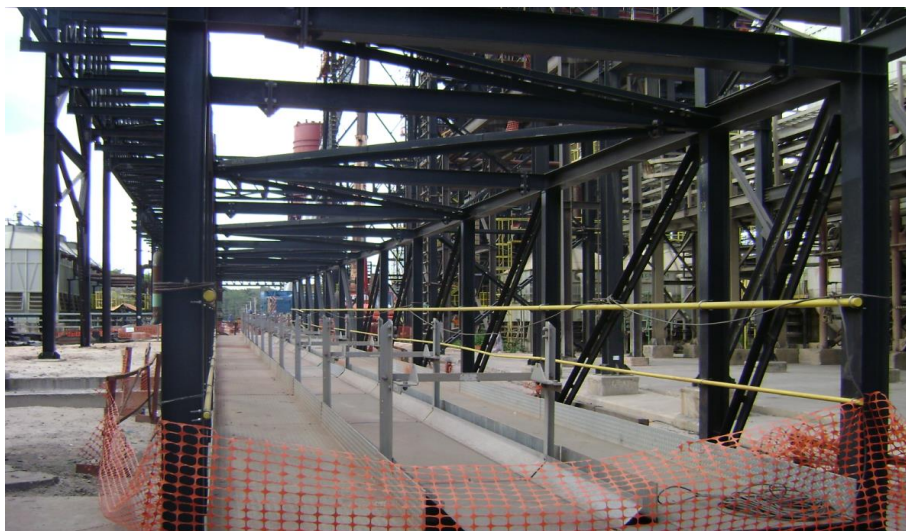


Figura 3.7. Galeria de Aço em Montagem - Detalhes dos Elementos Não Estruturais (fonte TMSA/2006)

3.2.1.3. Peso Próprio dos Transportadores de Correia

Os transportadores são compostos de diversos elementos necessários a movimentação da correia de borracha que permite o transporte do granel. Dentre eles, pode-se citar: a própria correia de borracha, os roletes, o suporte e as longarinas. Todos esses elementos transferem conjuntamente suas massas diretamente a estrutura de suporte em pontos pré-estabelecidos, espaçados a cada 3 metros no sentido longitudinal com largura variável dependente do tipo de transportador (tipo = largura do transportador). As larguras mais comuns para os transportadores, principalmente os destinados a graneis sólidos, são de 24”, 30”, 36”, 42”, 48”, 54”, 60” e 72”.

As Figuras 3.8, 3.9 e 3.10 apresentam a tipologia dos transportadores, um transportador de correia executado e a montagem de uma galeria, respectivamente.

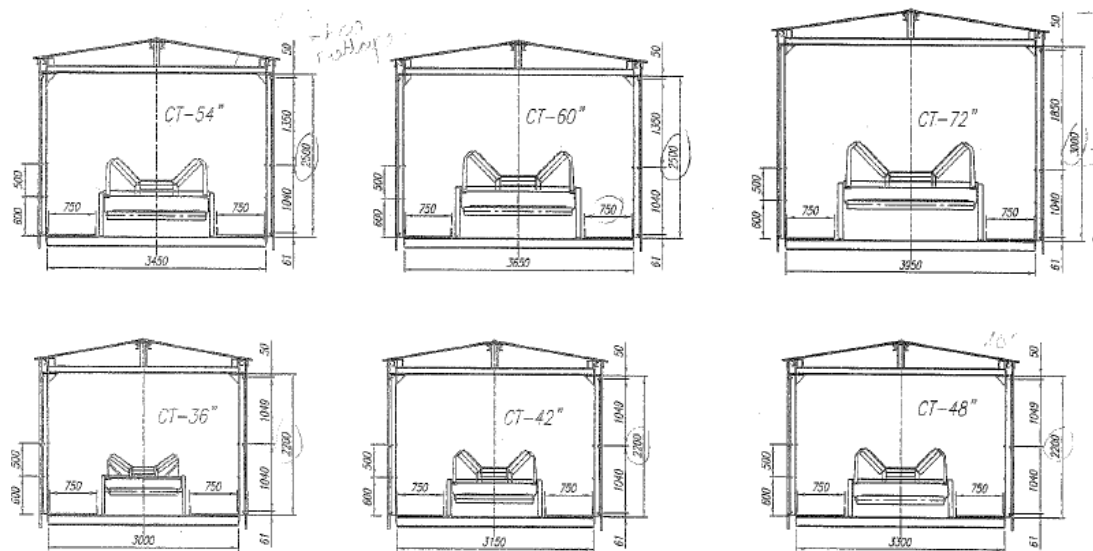


Figura 3.8. Transportadores de Correia - Seção Transversal Com Galerias (fonte Tecnologia em Movimentação SA-2012)



Figura 3.9. Transportador de Correia Executado (fonte Tecnologia em Movimentação SA/2006)



Figura 3.10. Montagem de Galeria De Aço Para Transportador de Correia (fonte Tecnologia em Movimentação SA/2006)

A Tabela 3.3 apresenta os transportadores com a massa dos itens que os constitui.

Tabela 3.3 Transportador de Correia - Peso Por Metro Por Tipo (Largura) (fonte TMSA/2012)

LARGURA/MODELO COMPONENTE	CARGA DOS TRANSP. DE CORREIA (kgf/m). Padrão em TÚNEL ou GALERIA. Correia EP 220. Apoios a cada 3 m.									
	24"x35°x1,5	30"x35°x1,5	36"x35°x1,5	42"x45°x1,2	48"x45°x1,2	54"x45°x1,2	60"x45°x1	72"x45°x1	84"x45°x1	
ROLETE CARGA	13,5	15,5	23,5	35	48	54	90	107	140	
ROLETE RETORNO	6	6,5	7	9	11	12,5	16	18	24	
LONGARINA	16	16	22	27	30	30	30	50	50	
APOIO LONGARINA	4	4	4,5	5	9	10	13	14	16	
CORREIA (1/8"x1/16")	10,5	13	19	23	29	32,5	36	60	78	
TOTAL	50	55	76	99	127	139	185	249	308	

3.2.2. Cargas Acidentais

3.2.2.1. Carga Acidental Sobre as Coberturas

Conforme especificações da *NBR 8800/2008* no seu *item B.5.1* é indicada carga acidental a ser aplicada sobre as coberturas de, no mínimo, 25 daN/m².

3.2.2.2. Carga Acidental Sobre os Passadiços

Segundo a *NBR 6120/2019*, a *Tabela 10* indica que para escadas e passarelas sem acesso ao público deve-se adotar 250 daN/m².

3.2.2.3. Carga Acidental de Vento

As cargas aplicadas oriundas do vento seguem prescrições da *NBR 6123/1988*. Primeiramente, foram subdivididas em duas pressões básicas resultantes de ventos com

velocidades de 35 m/s e 45m/s. A opção por tais pressões advém do fato de ser atendida a maior parte do território nacional ou, alternativamente, termos limites superiores de aplicabilidade. A Figura 3.11 apresenta as velocidades básicas no Brasil.

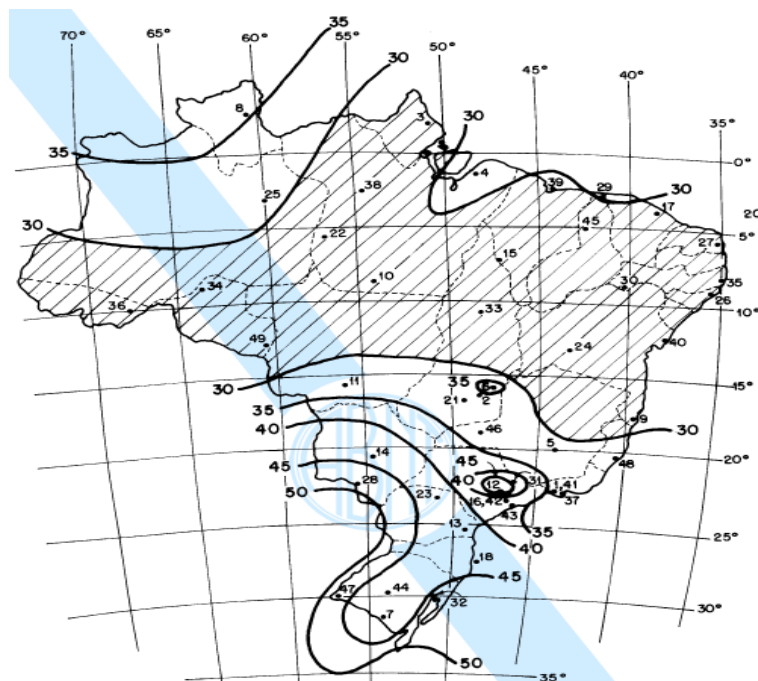


Figura 3.11. Isopletas - Adaptado da NBR 6123/1988

Com relação ao fator de ajuste referente às condições topográficas, fora considerado terreno plano ou fracamente acidentado, tendo, S_1 igual a 1,0. Para o fator correspondente a rugosidade do terreno, atribuiu-se um terreno categoria II, ou seja, zonas costeiras planas com classe A, dado que a maior dimensão da face frontal não excede 20m. Com relação à altura distante (dimensão vertical) do solo, fora tomada valor médio de 20m. Com isso o parâmetro S_2 é 1,06. Já para o fator estatístico, possibilita-se aplicação no grupo 3, como instalações industriais com baixo fator de ocupação, ocasionando um fator S_3 de 0,95. A Tabela 3.4 apresenta os índices aplicados, velocidade característica, coeficientes e pressão dinâmica do vento resultantes.

Tabela 3.4. Tabela de Pressões de Vento

VENTO BÁSICO (m/s) = V_0	S_1	S_2	S_3	VENTO CARACTERÍSTICO (m/s) = V_k	PRESSÃO DINÂMICA (N/m ²)
35	1,00	1,06	0,95	35,25	761,47
45	1,00	1,06	0,95	45,32	1258,76

Definida a pressão básica do vento, é ainda necessária a obtenção dos coeficientes de pressão interna e externa atuantes sobre as faces e coberturas expostas. Inicialmente, para

a tipologia das colunas foram tomados coeficientes de pressão conforme tabela 12 da NBR de acordo com o perfil utilizado. Já para a tipologia das galerias, tratando-se das coberturas, a relação entre as dimensões h/b varia entre $\frac{1}{2}$ e 2, sendo que na maioria dos casos, essas relações situam-se na faixa de $\frac{1}{2}$ até $\frac{3}{2}$. As inclinações normalmente são baixas, da ordem de 3%. Com isso, baseado na Figura 3.12 extraída da *NBR 6123/1988*, é possível identificar que, para a face à barlavento, o coeficiente de forma de -0,9 pode ser adotado para todos os casos, bem como -0,6 para a face da cobertura à sotavento.

Altura relativa	θ	Valores de C_e para				c_{pe} médio			
		$\alpha = 90^\circ$ (A)		$\alpha = 0^\circ$					
		EF	GH	EG	FH				
$\frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$ 	0°	-0,8	-0,4	-0,8	-0,4	-2,0	-2,0	-2,0	--
	5°	-0,9	-0,4	-0,8	-0,4	-1,4	-1,2	-1,2	-1,0
	10°	-1,2	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,4		-1,2
	15°	-1,0	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,2		-1,2
	20°	-0,4	-0,4	-0,7	-0,8	-1,0			-1,2
	30°	0	-0,4	-0,7	-0,6	-0,8			-1,1
	45°	+0,3	-0,5	-0,7	-0,6				-1,1
	60°	+0,7	-0,6	-0,7	-0,6				-1,1
$\frac{1}{2} < \frac{h}{b} \leq \frac{3}{2}$ 	0°	-0,8	-0,6	-1,0	-0,6	-2,0	-2,0	-2,0	--
	5°	-0,9	-0,6	-0,9	-0,6	-2,0	-2,0	-1,5	-1,0
	10°	-1,1	-0,6	-0,8	-0,6	-2,0	-2,0	-1,5	-1,2
	15°	-1,0	-0,6	-0,8	-0,6	-1,8	-1,5	-1,5	-1,2
	20°	-0,7	-0,5	-0,8	-0,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,0
	30°	-0,2	-0,5	-0,8	-0,8	-1,0			-1,0
	45°	+0,2	-0,5	-0,8	-0,8				
	60°	+0,6	-0,5	-0,8	-0,8				
$\frac{3}{2} < \frac{h}{b} \leq 6$ 	0°	-0,8	-0,6	-0,9	-0,7	-2,0	-2,0	-2,0	--
	5°	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-2,0	-2,0	-1,5	-1,0
	10°	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-2,0	-2,0	-1,5	-1,2
	15°	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-1,8	-1,8	-1,5	-1,2
	20°	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-1,5	-1,5	-1,5	-1,2
	30°	-1,0	-0,5	-0,8	-0,7	-1,5			
	40°	-0,2	-0,5	-0,8	-0,7	-1,0			
	50°	+0,2	-0,5	-0,8	-0,7				
60°	+0,5	-0,5	-0,8	-0,7					

Figura 3.12. Coeficientes de Forma Para Coberturas - adaptado NBR 6123/1988 – Tabela 5.

Já para as faces laterais, raciocínio análogo a Tabela 4 da *NBR 6123/1988* é procedido. A Figura 3.13 apresenta valores máximos de coeficientes de forma para edificações retangulares em planta. Assim, tem-se +0,8 para face a barlavento e -0,6 para face a sotavento.




Altura relativa		Valores de C_s para								c_{pe} médio
		$\alpha = 0^\circ$				$\alpha = 90^\circ$				
		A_1 e B_1	A_2 e B_2	C	D	A	B	C_1 e D_1	C_2 e D_2	
 $0,2b$ ou h (o menor dos dois) $\frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-0,8	-0,5	+0,7	-0,4	+0,7	-0,4	-0,8	-0,4	-0,9
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	-0,8	-0,4	+0,7	-0,3	+0,7	-0,5	-0,9	-0,5	-1,0
 $\frac{1}{2} < \frac{h}{b} \leq \frac{3}{2}$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-0,9	-0,5	+0,7	-0,5	+0,7	-0,5	-0,9	-0,5	-1,1
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	-0,9	-0,4	+0,7	-0,3	+0,7	-0,6	-0,9	-0,5	-1,1
 $\frac{3}{2} < \frac{h}{b} \leq 6$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-1,0	-0,6	+0,8	-0,6	+0,8	-0,6	-1,0	-0,6	-1,2
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	-1,0	-0,5	+0,8	-0,3	+0,8	-0,6	-1,0	-0,6	-1,2

Figura 3.13. Coeficiente de Forma Para as Faces Laterais - adaptado da NBR 6123/1988 - Tabela 4

Nessa etapa uma observação se faz importante. Os valores de coeficientes de pressão adotados foram tomados de forma a garantir que, em situações de projeto de engenharia aplicada, não ocorra extrapolação dos mesmos. Seria possível, alternativamente, considerar todos os parâmetros “ h ” tomados como a metade da altura dada pelas Tabelas apresentadas visto que as mesmas representam edificações assentadas diretamente sobre o “solo” em sua essência e como, nesse trabalho, as estruturas estudadas estarão posicionadas relativamente distantes desse referencial, se permitiria a consideração do plano médio da altura (dimensão vertical) dos modelos como plano de sinusidade do fluxo do vento. Partindo-se desse conceito, verifica-se que todos os coeficientes de pressão são inferiores aos anteriores definidos, sendo então os anteriores mais conservadores. Entende-se haver necessidade de pesquisa científica adicional contemplando essas situações que ainda carecem de desenvolvimento procedendo-se, por exemplo, ensaios em túnel de vento aliados a simulações numéricas do tipo *CFD* (*Computational Fluid Dynamics*). A Figura 3.14 apresenta linhas de fluxo de vento em uma simulação numérica de interação fluido estrutura.

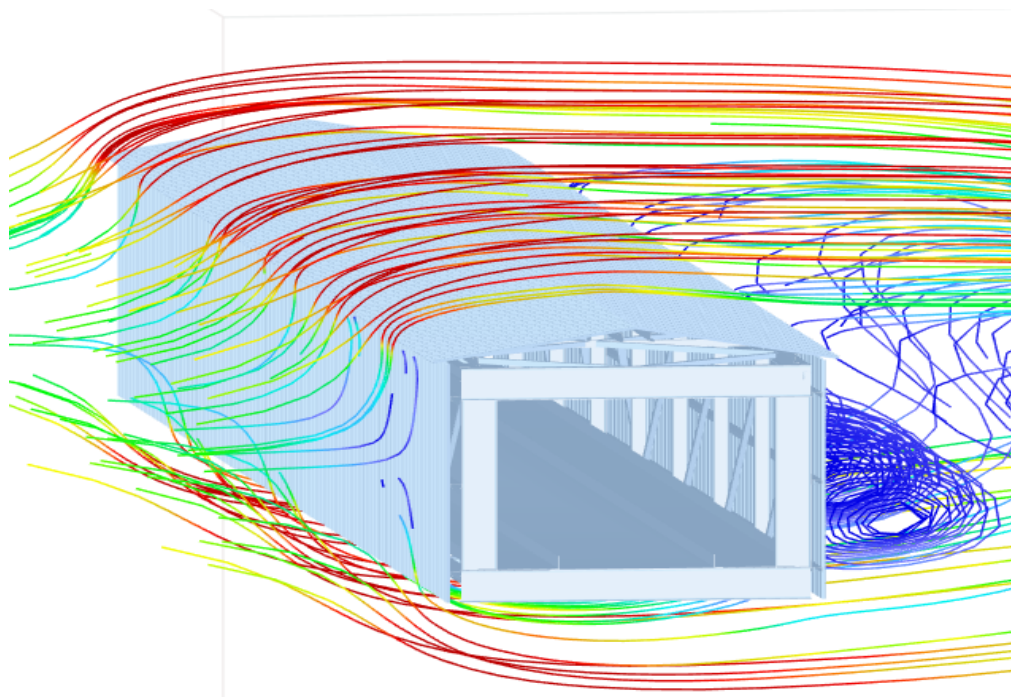


Figura 3.14. Interação Fluido-Estrutura Computacional (fonte autor)

Com relação à face inferior, duas hipóteses podem ser feitas. A primeira delas consiste em considerá-la como “estanque”, ou seja, sob ação de pressão de vento lateral, a face estaria sujeita a sucção. Isso ocorreria caso as grades de piso utilizadas em projeto tivessem permeabilidade nula, o que de certa forma poderia ocorrer caso houvesse alteração em sua tipologia, modificando o fluxo do vento na região. Nesse caso, os ventos atuantes sobre essa face gerariam sucções análogas as ocorridas nas coberturas onde parte da face estaria submetida coeficientes de $-0,9$ e outra parte a $-0,6$. No segundo caso, haveria a necessidade da consideração da face “parcialmente estanque”, no caso de as grades de piso apresentarem grande permeabilidade. Assim a consideração das pressões internas se faz necessária. O enquadramento se dá embasado no *item 6.2.5 da NBR 6123/1988* que indica abertura dominante em regiões de alta sucção externa. Desta forma, a Figura 3.15 apresenta adaptação da *NBR 6123/1988* no que tange aos coeficientes de pressão adotados. Como resultado, tem-se coeficiente de pressão interna de $-0,90$ onde a relação entre a área de abertura na face em questão e as áreas em todas as faces submetidas a sucção externa é superior a 3.

- abertura dominante situada em zona de alta sucção externa.

Proporção entre a área da abertura dominante (ou área das aberturas situadas nesta zona) e a área total das outras aberturas situadas em todas as faces submetidas a sucções externas:

0,25	$c_{pi} = -0,4$
0,50	$c_{pi} = -0,5$
0,75	$c_{pi} = -0,6$
1,0	$c_{pi} = -0,7$
1,5	$c_{pi} = -0,8$
3 ou mais	$c_{pi} = -0,9$

Figura 3.15. Coeficiente de Forma para Pressões Internas - adaptado da NBR 6123/1988- item 6.2.5

Logo, a Figura 3.16 apresenta os dois casos de ação do vento considerado nas análises identificando os valores dos coeficientes de forma adotados.

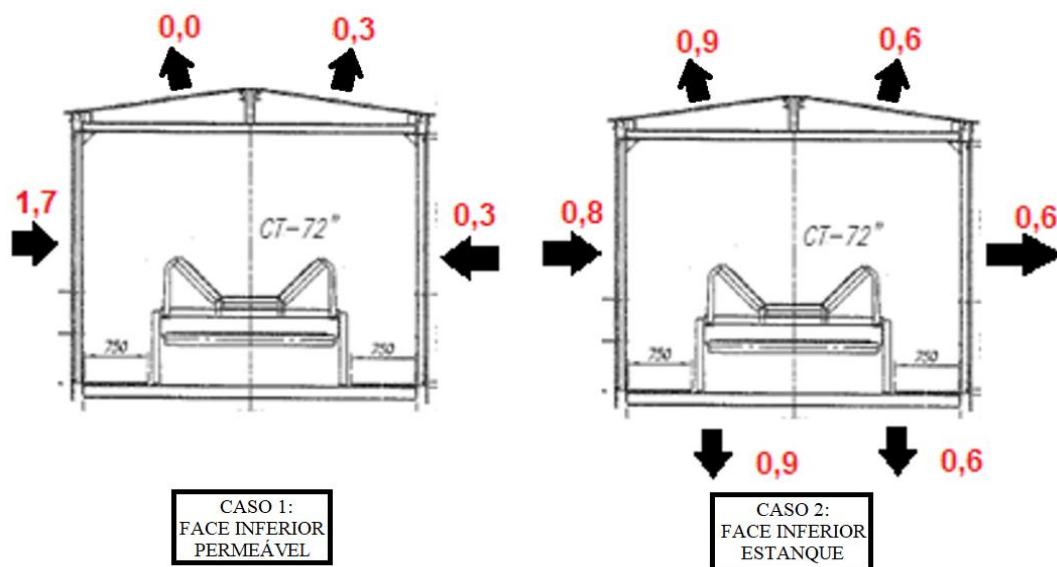


Figura 3.16. Resultantes de Ação do Vento Sobre as Galerias Treliçadas

3.2.3. Cargas de Produto Transportado

Outra carga necessária é o peso do produto transportado. Como já mencionado anteriormente, esse peso é definido pela capacidade da linha do transportador em toneladas por hora, no entanto tem seus valores máximos expressos pela capacidade volumétrica de cada um deles.

Os valores adotados são obtidos através da norma *CEMA/2002 – Belt Conveyor for Bulk Materials* - que define a área de carregamento da seção transversal do transportador de acordo com a inclinação dos roletes e ângulo de repouso do produto transportado. A Tabela 3.5, apresenta a condição de carregamento extraída da referência.

Tabela 3.5 Capacidade dos Transportadores de Correia - adaptado CEMA

LARGURA TRANSPORTADOR	SEÇÃO TRANSVERSAL DE CARGA (m ²)							CAPACIDADE DE TRANSPORTE (m ³ /hr)						
	ÂNGULO DE ACOMODAÇÃO							ÂNGULO DE ACOMODAÇÃO						
(in)	0º	5º	10º	15º	20º	25º	30º	0º	5º	10º	15º	20º	25º	30º
18	0,016	0,017	0,019	0,020	0,021	0,023	0,024	29,0	31,5	34,0	36,6	39,2	41,8	44,6
24	0,030	0,033	0,036	0,038	0,041	0,044	0,046	55,8	60,5	65,2	70,0	74,8	79,8	85,0
30	0,050	0,054	0,058	0,062	0,067	0,071	0,076	91,3	98,9	106,5	114,1	122,0	130,0	138,3
36	0,074	0,080	0,086	0,092	0,099	0,105	0,112	135,5	146,5	157,7	169,0	180,4	192,2	204,4
42	0,103	0,111	0,120	0,128	0,137	0,146	0,155	188,3	203,6	219,0	234,5	250,4	266,6	283,4
48	0,136	0,147	0,159	0,170	0,181	0,193	0,205	249,8	269,9	290,2	310,8	331,7	353,1	375,2
54	0,175	0,189	0,203	0,217	0,232	0,247	0,262	319,9	345,6	371,5	397,7	424,4	451,7	479,9
60	0,218	0,235	0,253	0,271	0,289	0,307	0,326	398,7	430,7	462,8	495,3	528,5	562,4	597,5
72	0,318	0,344	0,369	0,395	0,421	0,448	0,476	582,3	628,7	675,5	722,7	77,1	820,3	871,2
84	0,437	0,472	0,507	0,543	0,579	0,616	0,654	800,6	864,2	928,2	993,0	1058,9	1126,6	1196,3
96	0,576	0,621	0,667	0,714	0,761	0,809	0,859	1053,4	1136,9	1220,9	1306,0	1392,6	1481,3	1572,9

Para os de granéis sólidos, ou até mesmo materiais que apresentem até 1200 kg/m³ com ângulo de repouso de até 25°, a Tabela 3.6 apresenta os valores a serem adotados e que nortearam essa tese.

Tabela 3.6. Carga de Produto Por Metro Linear (kg/m) - adaptado da CEMA – Tecnologia em Movimentação SA/2012

LARGURA DA CORREIA (pol.)	CARGA DE PRODUTO (kg/m) p/os Pesos específicos abaixo, ângulo de acomodação 25°, enchimento 100% CEMA								
	500 kg/m ³	600 kg/m ³	700 kg/m ³	750 kg/m ³	850 kg/m ³	900 kg/m ³	1000 kg/m ³	1100 kg/m ³	1200 kg/m ³
24" x 35º	22,5	27	31,5	33,75	38,25	40,5	45	49,5	54
30" x 35º	35	42	49	52,5	59,5	63	70	77	84
36" x 35º	50	60	70	75	85	90	100	110	120
42" x 45º	74	88,8	103,6	111	125,8	133,2	148	162,8	177,6
48" x 45º	97,5	117	136,5	146,25	165,75	175,5	195	214,5	234
54" x 45º	125	150	175	187,5	212,5	225	250	275	300
60" x 45º	155	186	217	232,5	263,5	279	310	341	372
72" x 45º	225	270	315	337,5	382,5	405	450	495	540
84" x 45º	307,5	369	430,5	461,25	522,75	553,5	615	676,5	738

Adicionalmente, comenta-se sobre os efeitos dinâmicos devido ao acionamento e interrupção do movimento da correia transportadora. Normalmente, os pontos de tensionamento estão localizados em estruturas externas aquelas que serão aqui tratadas, tendo seus efeitos dinâmicos transferidos essencialmente para elas. Alternativamente, em alguns casos, o tensionamento da correia pode ocorrer no interior das galerias treliçadas, no entanto, devido à grande variabilidade de condições de implantação, esses casos não estarão cobertos por essa tese.

Na sequência, serão apresentadas as combinações dos carregamentos a fim de procederem-se as otimizações necessárias.

3.2.4. Combinações de Carregamentos

Como dito anteriormente e de acordo com as prescrições normativas, o dimensionamento estrutural deve atender duas condições, denominadas como estados limites últimos e estados limites de serviço.

O primeiro deles refere-se as condições mínimas necessárias as quais o sistema estrutural deve suportar sem que ocorra o colapso. Para tal há uma série de condições especiais que serão descritas tanto em termos de combinações de cargas como em termos de resistência dos perfis dadas através de conceitos de confiabilidade na entrada de dados e na resistência dos materiais.

O segundo se refere as condições de utilização propriamente dito. Limitações de deslocamentos, frequências naturais e acelerações máximas são definidas nos estados limites de serviço e que apresentam condições específicas em termos de combinações de cargas a fim de garantir aplicabilidade desses modelos estruturais.

3.2.4.1. Estados Limites de Últimos

Os Estados Limites Últimos se baseiam na ponderação de fatores que, multiplicados pelos carregamentos, propiciam condições de confiabilidade suficientes para o desempenho estrutural.

A *NBR 8800/2008*, apresenta as condições de interatividade das cargas a serem garantidas. De forma resumida, para as combinações últimas normais, a expressão geral é dada a seguir em 3.1, onde os sub índices “g” representam as parcelas relacionadas a ação permanente e os sub índices “q” representam as ações variáveis.

$$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} F_{Gi,k}) + \gamma_{qi} F_{Qi,k} + \sum_{j=2}^n (\gamma_{qj} \Psi_{0j} F_{Qj,k}) \quad (3.1)$$

Os coeficientes de ponderação, definidos pelo “ γ ” foram tomados como 1,4 para as cargas permanentes e de produto e 1,5 para as cargas variáveis em geral. A ação do vento pode ser abordada especialmente com ponderador 1,4. As cargas permanentes poderão ser reduzidas para a unidade para contemplar os casos de obtenções de trações máximas em fundações, por exemplo.

A normalização permite ainda a consideração de uma ação variável principal em detrimento de outra, sendo que, esta última necessita ser ponderada através de um fator redutor definido como “ ψ ”. Nesse caso, a ação variável principal não será reduzida e quando combinada com a ação de vento, o fator redutor para essa última será 0,6 e quando se correlacionar com cargas acidentais de piso, será 0,5 (obtidos da *NBR 8800/2008* Tabela 1 e 2).

Assim, as combinações referentes aos estados limites últimos são dadas na Tabela 3.7.

Tabela 3.7. Combinações Para Estados Limites Últimos

COMBINAÇÃO	AÇÕES PERMANENTES		AÇÕES VARIÁVEIS	
	ESTRUTURAS METÁLICAS	PRODUTO	CARGAS ACIDENTAIS	VENTO
1	1,40	1,40	1,50	0,84
2	1,40	1,40	0,75	1,40
3	1,00	1,00	1,50	0,84
4	1,00	1,00	0,75	1,40

3.2.4.2. Estados Limites de Serviço

Análogo aos Estados Limites Últimos, a metodologia neste caso se mantém. A diferença fica por conta dos ponderadores que terão seus valores máximos iguais a unidades e os redutores serão definidos por outros valores distintos. De forma geral, nas combinações quase frequentes de serviço, ocorrerá a soma das parcelas permanentes adicionadas às ações variáveis ponderadas através do fator redutor “ ψ_2 ”. A equação 3.2 identifica essa relação, onde o parâmetro ψ_2 é igual a 0,3 conforme *NBR 8800/2008* - Tabela 2.

$$F_{ser} = \sum_{i=1}^m (F_{Gi,k}) + \sum_{j=1}^n (\gamma_{2j} F_{Qj,k}) \quad (3.2)$$

Adicionalmente, no caso de Estados Limites de Serviço, há a necessidade de incorporação também das combinações raras devidas às cargas de vento atuantes, dadas na equação 3.3, onde o parâmetro ψ_1 é igual a 0,4.

$$F_{ser} = \sum_{i=1}^m (F_{Gi,k}) + F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\psi_{1j} F_{Qj,k}) \quad (3.3)$$

Assim, a Tabela 3.8 apresenta as combinações referentes aos Estados Limites de Serviço.

Tabela 3.8. Combinações Para Estados Limites de Serviço

COMBINAÇÃO	AÇÕES PERMANENTES		AÇÕES VARIÁVEIS	
	ESTRUTURAS METÁLICAS	PRODUTO	CARGAS ACIDENTAIS	VENTO
1	1,00	1,00	0,30	0,30
2	1,00	1,00	0,40	1,00

Dado o exposto acima se comentam dois pontos: as limitações em termos das restrições de desigualdade e as condições de operação das estruturas. Por exemplo, a *NBR 8800/2008*, em seu anexo C, indica condições especiais de avaliação de serviço que se distinguem daquelas obtidas na Tabela 3.8 e que as suplantam. Ainda, a mesma referência considera 30% da carga acidental para estados limites de serviço em certas combinações de ações. Uma abordagem mais realista é identificada na norma *HIVOSS/2008 - Human Induced Vibrations of Steel Structures* - onde, a carga acidental a ser considerada é de 10%. Nessa tese, em termos de checagem das restrições globais, esse último será tomado como referência.

3.3. CONSIDERAÇÕES SOBRE A ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

Dadas as definições de carregamentos e combinações de ações, a seguir seguem informações acerca das etapas de análise e dimensionamento estrutural.

3.3.1. Análise Estrutural

Com relação à análise estrutural, os métodos de avaliação serão computacionais e baseados no método dos elementos finitos (*MEF*). No caso, para a análise matricial, foram utilizadas as áreas e momentos de inércia das seções transversais das barras constituintes. As análises utilizaram módulo de elasticidade igual a 205 GPa.

Adicionalmente, e devido à complexidade do problema, opta-se por subdividir as análises de acordo com as tipologias. Na primeira delas, mais complexa, o sistema de graus de liberdade das *galerias treliçadas* exige a necessidade de utilização de modelagem numérica baseada no computo das matrizes de pórtico espacial com 6 graus de liberdade por nó, visto que a estabilidade lateral das mesmas é dada através da capacidade das barras em restringir rotações nas extremidades do modelo estrutural, principalmente. Entretanto, a resolução do sistema de equações nessas situações é dispendiosa computacionalmente visto que cada barra que compõe a estrutura é definida por uma matriz de 12 linhas x 12

colunas. No caso específico desse trabalho, a quantidade máxima de nós é 60 o que resulta na solução de um sistema matricial de 360×360 que deve ser iterado. Para aperfeiçoar o processo, uma condição especial pôde ser implementada. O sistema de 6 graus de liberdade por nó pôde ser simplificado para 4 GDL pelo fato de que os graus de liberdade à rotação em torno dos eixos contidos no plano poderem ser eliminados. Com isso, as matrizes locais de cada elemento foram simplificadas para 8×8 resultando na solução de sistemas matriciais simplificados com 240×240 para as matrizes de massa discreta, amortecimento e rigidez gerando ganhos de desempenho computacionais nas operações numéricas. Assim, os graus de liberdade translacionais são mantidos e apenas 1GDL a rotação é considerado.

Em termos de forma, no sentido longitudinal os nós serão modulados a cada 3 metros. O eixo da estrutura é o ponto central do vão e os nós são definidos no sentido positivo e negativo do eixo. O mesmo ocorre nos demais eixos, porém com dimensões distintas. Por exemplo, uma galeria de aço com 15 metros de dimensão horizontal, para que seja simétrica, será composta de 6 módulos com coordenadas em “x” (longitudinais) de -7.5, -6.0, -3.0, 0.0, +3.0, +6.0 e 7.5m onde os módulos de extremidade são ajustados devido a diferenciação modular geométrica. Assim, a quantidade de módulo sempre será “par”. Ampliando mesmo conceito e conhecido o tipo de transportador, é obtida a largura da estrutura (profundidade). Exemplificando, para TR 24”, que tem largura de 2,50m, e as coordenadas em “z” serão -1.25 e +1.25, assim como ocorre com a altura da estrutura (dimensão vertical) que, se por exemplo for de 2.60m, terá coordenada em “y” (vertical) de -1.30 e +1.30. Com isso estabelecem-se todas as posições dos nós da estrutura da galeria. A coordenada em “y” será variável de projeto, como já dito no capítulo anterior. Todas as dimensões em metros.

No caso das **colunas treliçadas**, por se tratarem de tipologias estruturais de treliça plana onde as entradas de cargas são provenientes das ações das galerias, nenhuma modificação numérica matricial será necessária. Nessa tipologia geram-se 14 nós com 2GDL por nó resultando em sistema matriciais de 56×56 para as matrizes de massa discreta e rigidez.

Geométrica e topologicamente, já fora mencionado que a dimensão da largura do topo da coluna é conhecida e advém do conhecimento da tipologia da galeria. A altura da coluna (dimensão vertical) é um dado de entrada e a posição dos nós é definida de acordo com as variáveis de projeto que representam a inclinação com relação a vertical das barras dos

elementos dos banzos e o número de divisões (nós) dessa barra ao longo da altura (contenções laterais).

A seguir serão citados e descritos os métodos de dimensionamento para os elementos das tipologias avaliadas nesse trabalho.

3.3.1.1. Análise das Galerias Treliçadas de Aço

i. Estados Limites Últimos – Análises de Esforços Atuantes

Algumas observações são fundamentais no modo de análise das galerias treliçadas de aço. Como já mencionado, essas tipologias estruturais possuem um comportamento bastante particular, o que permite algumas simplificações que otimizam o desempenho.

Primeiramente, essa tipologia possui quatro faces definidas como: duas faces laterais, uma superior e uma inferior. Particularmente, cada uma das quatro faces, em seu plano, tem seu comportamento de treliças planas, ou seja, são submetidas somente às solicitações axiais. Caracterizam-se então pelo não impedimento às rotações entre as distintas faces para todos os nós da estrutura, exceto para as extremidades e eixo de simetria.

Ainda, embora as faces atuem como “treliças planas”, os elementos verticais para as faces laterais apresentam inserção de cargas ao longo da barra. No entanto, advindo da informação de que suas extremidades são rotuladas, as solicitações extras podem ser adicionados às componentes axiais geradas na análise estrutural em uma etapa posterior, de pós processamento. Na análise estrutural, essas cargas são transferidas diretamente aos nós do modelo.

Análogo às faces laterais, a face superior também apresenta inserção de carregamentos nas barras transversas, que também pode ser inserida analiticamente apenas na etapa de dimensionamento do elemento. A superposição desses efeitos permitirá a adoção das seções transversais necessárias no processo de otimização paramétrica.

Não distinto das demais faces, a face inferior apresentará também inserção de carregamentos nas barras, entretanto em maior número, superpostas através da ação do transportador, produto, passadiços e vento. Além das solicitações axiais dadas na análise

global, as solicitações particulares de flexão e cisalhamento também são adicionadas no pós-processamento.

Diferentemente das considerações anteriores, nas extremidades e eixo de simetria do modelo estrutural são definidos pórticos estruturais onde as rotações nos nós são restringidas. Nesse caso, análise analítica adicional é realizada de acordo com as condições de geometria presentes objetivando a obtenção das solicitações que atuam nos elementos devido a inserção das cargas ao longo das barras. Esse processo está incorporado à resolução do sistema de equações no espaço através do MEF.

ii. Estados Limites de Serviço – Análise de Deslocamentos, Frequência Fundamental/Natural e Aceleração Máxima

Assim como nos Estados Limites Últimos, as análises de deslocamentos serão realizadas através do MEF. A partir da matriz de rigidez da estrutura, chamada de “K” e definida através do computo de todas as barras que constituem o modelo estrutural em questão, o vetor de deslocamento “U” é obtido através da multiplicação da matriz de rigidez inversa “K” pelo vetor de solicitações “P”. Dessa forma é obtido o nó onde ocorre o deslocamento em questão que se deseja checar. A matriz “K” é resultante da superposição de cada barra da estrutura locada de acordo com os eixos devidamente rotacionados. O vetor “P” representa a resultante de cada combinação de carga em cada nó respectivamente. Complementando, no caso dos Estados Limites Últimos que foram mencionados anteriormente, operações matriciais adicionais são requeridas de forma a obter as solicitações em cada barra a partir do conhecimento dos deslocamentos nos nós e das posições das barras que compartilham esse nó específico. Apoios externos são considerados através da eliminação da linha e coluna corresponde ao grau de liberdade global restrito.

As frequências para vibrações de corpo livre são obtidas através do conhecimento dos autovalores (ω_n^2) oriundos da relação entre a matriz de massa discreta inversa “M” multiplicada pela matriz de rigidez “K” – denominada matriz dinâmica. Assim, é procedido ordenamento desses autovalores obtidos e através da divisão da raiz de (ω_n^2) por 2π é obtido o valor da frequência fundamental e as frequências naturais na unidade Hz (procedida busca pelos autovalores).

Com relação às acelerações, é necessária a definição da matriz de amortecimento “C” e da função de carregamento transiente, dado que se trata de vibração forçada. Inicialmente, redefine-se a matriz de massa da estrutura “Mr”, considerando apenas as massas discretas consistentes (reais) da estrutura. Isso significa que, as cargas acidentais parciais são eliminadas das massas (entende-se aqui, matriz de massa) bem como uma parcela da massa de produto transportado de 15% de seu valor total, que é o valor observado para a flutuação entre a operação do equipamento e ocasional sobrecarga até o limite de capacidade do transportador (85% produto permanente + 15% flutuante). Dado o conhecimento de “Mr” e “K”, e através do conhecimento das duas primeiras frequências angulares ω_1 e ω_2 em rad./s (correspondentes aos dois primeiros modos de vibração) dadas pela matriz dinâmica modificada ($Mr^{-1} K$), ainda aliadas ao amortecimento proporcional arbitrado, é possível determinar α_{10} e α_{11} e obter a matriz de amortecimento conjugada. Sabe-se que, normalmente, em estruturas de aço o amortecimento medido experimentalmente varia entre 0,4% a 1,0% e também é dependente da rigidez dos nós da estrutura, onde, modelos estruturais com uniões entre barras mais rígidas tendem ao limite inferior. Nesse trabalho, na ausência de medições de campo, este valor foi adotado. Assim, os parâmetros α_{10} e α_{11} são apresentadas nas expressões 3.4 e 3.5 e a matriz amortecimento em 3.6.

$$\alpha_{10} = 2\omega_1\omega_2 \frac{0,004(\omega_2 - \omega_1)}{\omega_2^2 - \omega_1^2} \quad (3.4)$$

$$\alpha_{11} = 2 \frac{0,004(\omega_2 - \omega_1)}{\omega_2^2 - \omega_1^2} \quad (3.5)$$

$$C = \alpha_{10}Mr + \alpha_{11}K \quad (3.6)$$

Conhecido “Mr”, “C” e “K” define-se a função de carga $F(t)$ para a checagem da aceleração máxima na estrutura. É importante salientar que, as checagens das acelerações visam evitar situações de desconforto frente a oscilação de carga de produto flutuante ao longo do processo de transporte que podem ser geradas durante e operação do mesmo. Nas avaliações procedidas nessa tese, como mencionado acima, serão definidas funções de carga externa (força) geradas num ciclo de carregamento partindo de uma situação inicial (sem produto - apenas com a carga permanente). Posteriormente, ocorrerá um estágio de acréscimo gradual linear até 85% da carga (força) sendo mantida por determinado período de tempo. Após é acrescido o carregamento ocasional de produto

dados pela flutuação de material transportado (15% da carga de produto). Após um intervalo de tempo determinado, é removido o carregamento flutuante, e o restante é mantido até o final da análise dinâmica. Assim, a estrutura estará submetida a uma parcela de carga externa constante atemporal adicionada de parcela flutuante variável no tempo. A duração de carregamento e descarregamento será definida da seguinte forma: parte-se com carga constante; acresce-se linearmente a carga até 85% de produto e mantém-se por determinado período; soma-se 15% de material flutuante gradualmente permanecendo toda essa carga pelo tempo necessário até que todos os nós ao longo do comprimento da galeria estejam nessa condição; remove-se a parcela flutuante mantendo-se a carga constante (permanente + 85% de produto) até o final da análise. Em termos técnicos, cada posição (nó) da estrutura terá uma função de carga distinta dependente de sua localização ao longo do modelo estrutural, onde o acréscimo ou redução entre a carga constante e a carga máxima será linear. A seguir, apresentam-se o Gráfico 3.2 e a Figura 3.17 identificando as distintas fases do processo.

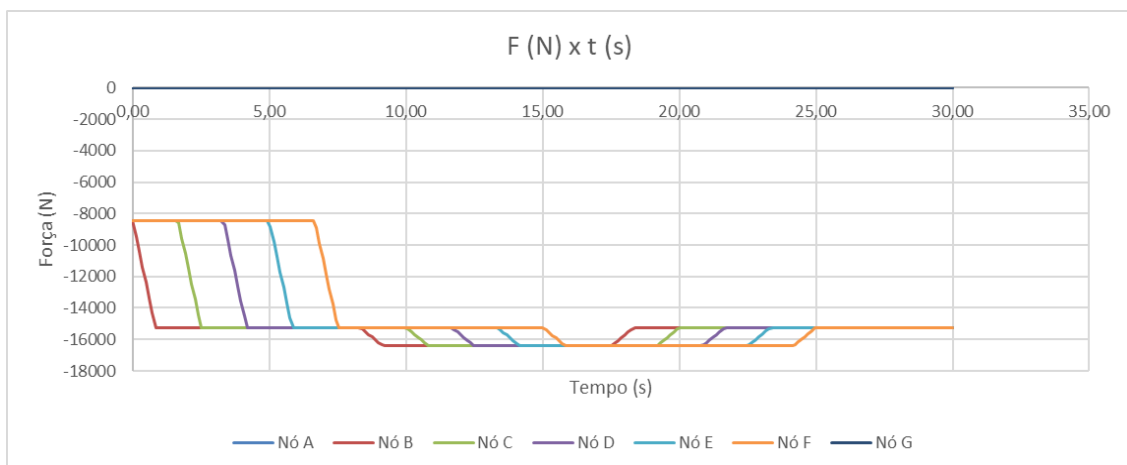


Gráfico 3.2 Função de Carregamento Transiente

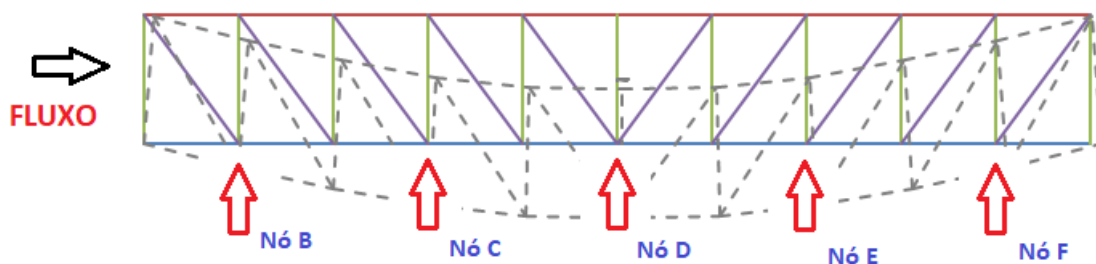


Figura 3.17 Posições dos Nós em Estrutura de 30 metros.

No caso em questão, os nós “A” e “G” apresentados no Gráfico “G” estão ausentes visto que estão em posições inexistentes nessa estrutura específica da imagem (esses nós estarão presentes em estruturas com comprimentos maiores). O espaçamento das aferições (nós) se dá a cada 6 metros ou dois nós consecutivos. Assim, por exemplo, no instante inicial, todos os nós possuem o mesmo valor da função (carga permanente apenas). Entretanto, à medida que o tempo decorre, os nós mais próximos ao início do fluxo de carga já iniciam o incremento de carga correspondente aos 85% de produto enquanto que os nós mais distantes se mantêm com a carga inalterada. O tempo total de cada estágio para cada nó é definido de acordo com o vão da estrutura da galeria e possui durações aproximadas. Ainda, dado o conhecimento da velocidade de transporte do produto para cada transportador, obtém-se o tempo de cada estágio. A Tabela 3.9 indica essa duração, onde considera-se L/V (comprimento da galeria dividido pela velocidade de transporte) como o tempo de cada etapa.

Tabela 3.9. Tempos Limítrofes das Funções de Carregamento para Comprimento de Galeria de 30 metros.

LARGURA TRANSPORTADOR	VELOCIDADE DE TRANSPORTE	VÃO DA GALERIA	TEMPO TOTAL DE CADA ESTÁGIO	INÍCIO DO TEMPO DE CARREGAMENTO DE 85% DE PRODUTO	INÍCIO DO TEMPO DE CARREGAMENTO DE + 15% DE PRODUTO	INÍCIO DO TEMPO DE DESCARREGAMENTO DE + 15% DE PRODUTO	INÍCIO DO TEMPO DE MANUTENÇÃO DE + 85% DE PRODUTO	FIM DA ANÁLISE
(in)	(M/S)	(M)	(S)	(S)	(S)	(S)	(S)	(S)
18	2,80	30,00	10,71	0,00	10,71	22,50	23,57	42,86
24	2,80	30,00	10,71	0,00	10,71	22,50	23,57	42,86
30	2,80	30,00	10,71	0,00	10,71	22,50	23,57	42,86
36	2,80	30,00	10,71	0,00	10,71	22,50	23,57	42,86
42	2,80	30,00	10,71	0,00	10,71	22,50	23,57	42,86
48	3,20	30,00	9,38	0,00	9,38	19,69	20,63	37,50
54	3,60	30,00	8,33	0,00	8,33	17,50	18,33	33,33
60	3,60	30,00	8,33	0,00	8,33	17,50	18,33	33,33
72	3,60	30,00	8,33	0,00	8,33	17,50	18,33	33,33

Como já mencionado, a função de carga para cada nó varia de acordo com o tempo percorrido de análise. Caso, somente assim considerado, ocorreriam descontinuidades na função de carregamento de cada nó diferente do que ocorre na prática, ou seja, um aumento ou decréscimo gradual. Justificando, como os nós estão espaçados a cada 3 metros ou menos de acordo com a posição dos nós subjacentes, é possível determinar o momento exato em que o nó avaliado inicia o recebimento de carga, e de acordo com a relação entre essa distância e a velocidade do transportador, obtém-se o exato instante de início para cada nó em questão. A Tabela 3.10 indica esses pontos em para um comprimento de galeria de 30 metros e transportador de 72” (velocidade de operação de 3,6m/s), por exemplo.

Tabela 3.10 Tempos de Início e Fim de Cada Etapa.

NÓ	POSIÇÃO (M)	GALERIA		TIC85 (s)	TFC85 (s)	TIC +15 (s)	TFC +15 (s)	TID -15 (s)	TFD -15 (s)	TFA (s)
		NÓ INICIAL (M)	NÓ FINAL (M)							
A	NA	-15,00	15,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
B	-12,0			0,00	0,83	8,33	9,17	17,50	18,33	33,33
C	-6,0			1,67	2,50	10,00	10,83	19,17	20,00	33,33
D	0,0			3,33	4,17	11,67	12,50	20,83	21,67	33,33
E	6,0			5,00	5,83	13,33	14,17	22,50	23,33	33,33
F	12,0			6,67	7,50	15,00	15,83	24,17	25,00	33,33
G	NA			NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Onde:

TIC85 - tempo inicial para 85% do carregamento de produto (nesse instante o carregamento de produto inicia em zero);

TFC85 - tempo final da curva de incremento de carga de 85% do carregamento de produto (neste instante a carga é 85% de produto);

TIC+15 - tempo inicial para adicionais de 15% do carregamento de produto (nesse instante o carregamento inicia em 85% de produto);

TFC+15 - tempo final para adicionais de 15% do carregamento de produto (neste instante a carga é 100% de produto);

TID-15 - tempo inicial de remoção de adicionais 15% do carregamento de produto (nesse instante o carregamento inicia em 100% de produto);

TFD-15 - tempo final de remoção de adicionais 15% do carregamento de produto (neste instante a carga é 85% de produto). Após, a carga de 85% é mantida;

TFA - tempo final de análise.

Dado o exposto acima, é possível solucionar o sistema de equações dado em 3.7.

$$Mx'' + Cx' + kx = F(t) \quad (3.7)$$

Para a obtenção das acelerações nos nós mencionados é necessária a resolução da equação diferencial de movimento dinâmica. Para tal, será utilizado o *Método de Newmark* de integração numérica, com $\alpha = 0,25$ e $\delta = 0,50$ e $\Delta t = 0,1s$.

3.3.1.2. Análise das Colunas Treliçadas de Aço

i. Estados Limites Últimos – Análise dos Esforços Atuantes

Análogo ao modelo das *galerias treliçadas de aço*, a obtenção das solicitações nas barras advém do MEF onde a inserção de cargas é oriunda do modelo tipológico das galerias adicionando-se o peso próprio dos perfis e a ação do vento incidente.

ii. Estados Limites de Serviço - Análise de Deslocamentos e Frequência Fundamental

Os deslocamentos e frequências também são obtidos através do MEF.

3.3.2. Dimensionamento Estrutural

A respeito do dimensionamento, o processo aborda não apenas questões relacionadas aos estados limites últimos, mas também aos estados limites de serviço para todas as barras das estruturas. O compute de todas essas avaliações bem como a consideração das restrições normativas particulares dadas pela *NBR 8800/2008* conferem o objetivo do processo de otimização paramétrica.

Como mencionado anteriormente, todos os elementos estruturais são laminados do tipo W, H, I, U e L para as colunas e galerias. Isso facilita a análise visto que a avaliação de todos esses elementos se encontra em uma única referência normativa. Adicionalmente, para as galerias, seções tubulares retangulares, quadradas e circulares também estarão presentes sendo atendidos pela mesma.

Com relação as tensões máximas nominais permitidas para os materiais, a Tabela 3.11 apresenta os valores para cada tipologia de seção transversal comumente encontrada no mercado e que serão adotadas no desenvolvimento desse trabalho.

Tabela 3.11. Tensão de Referência do Aço

PERFIL	ESPECIFICAÇÃO	TENSÕES DE REFERÊNCIA	
	ASTM	ESCOAMENTO = f_y (MPa)	RUPTURA = f_u (MPa)
H / W	A572 Gr 50	345,00	450,00
TUBOS	A501	250,00	400,00
I, U, L	A 36	250,00	400,00

Com relação às tensões de fadiga, inicialmente é preciso advertir que muitas das limitações apresentadas na NBR8800/20008 em seu anexo “K” estão vinculadas aos

mecanismos de união entre os perfis e, como esse trabalho não aborda esses assuntos especificamente, recomenda-se que em termos de projeto, a tipologia dessas conexões maximize a capacidade resistiva com relação às tensões permissíveis de fadiga para cada um de seus elementos constituintes.

Com relação aos perfis, há três tipos de aço empregados com tensão de escoamento de 345 e 250 e também 250 MPa. Segundo a referência, a faixa admissível de variação de tensões à fadiga é definida apenas para oscilação da aplicação das cargas variáveis onde, para ciclos inferiores a 20.000 repetições, as verificações quanto as tensões à fadiga podem ser desconsideradas.

O mencionado acima é importante pois norteia a necessidade de verificações de fadiga. Por exemplo, ações variáveis oriundas de cargas acidentais como o vento e sobrecarga de piso e cobertura são desnecessárias pois não atingem o limite estabelecido de 20.000 ciclos, permanecendo apenas as verificações das oscilações devido ao transporte do material a serem avaliadas. Para tal, a favor da segurança, supõe-se ciclos completos de aplicação e remoção desse carregamento específico.

De acordo com as análises estruturais realizadas ao longo dessa tese, e dependendo da posição dos perfis ao longo dos modelos estruturais, os valores devido a carregamentos oriundos da ação do transporte de produto (material) representam entre 20% a 30% das solicitações nas barras.

De maneira aproximada, retomando as tensões do aço envolvidas apresentadas nos parágrafos anteriores, caso um perfil tenha sido dimensionado por tensão (com 100% de aproveitamento da área por tensão) seguindo recomendações dadas de acordo com as combinações últimas geradas e referência normativa, entre 20% a 30% desse valor será devido a solicitação oriunda da ação de produto. Em termos de tensão no aço, e considerando a tensão de escoamento corrigida de acordo com a redução de resistência do aço dado pela norma NBR 8800/2008 ($\gamma_{a1} = 1,10$) isso representaria 94 MPa (30% de $(1/\gamma_{a1}) 345\text{MPa}$) para aço A572Gr50 e 68 MPa para aço A501 e A36 (30% de $(1/\gamma_{a1}) 250\text{MPa}$) como valores extremos.

Já, a combinação de carregamentos para a condição frequente de fadiga apresentada na referência normativa considera a soma de todos os carregamentos atuantes que resultam em tensões variáveis e em possível fadiga nos perfis sem que haja a consideração dos

ponderadores que multiplicam os carregamentos atuantes como comumente é procedido nas combinações dos estados limites últimos. Como a ação de produto é, para os estados limites últimos, ponderada com fator multiplicativo de 1,4, as tensões limites obtidas no parágrafo anterior podem agora, para verificação da fadiga, serem ajustadas para 67 MPa (1/1,4 de 94 MPa) e 49 MPa (1/1,4 de 68 MPa) respectivamente para os aços empregados.

A norma NBR 8800/2008 estabelece ainda que, para certas condições de aplicabilidade dos perfis, proceda-se uma classificação no que diz respeito a faixa de variação de tensões permitidas vinculada a abertura de fissuras (NBR 8800/2008 - Anexo K - Tabela K.1). Nesse trabalho, os perfis estarão classificados nas categorias A e B com faixa admissível de variação de tensão de 165MPa e 110 MPa respectivamente. Como dito, esses valores representam a faixa de variação de tensão em que os ciclos de solicitação podem ser considerados infinitos, ou seja, permite-se que se despreze a verificação a fadiga. No comparativo com os dados do parágrafo anterior, identifica-se que a máxima tensão nos perfis obtida foi de 67 MPa sendo inferior ao menor valor de 110MPa. Dessa forma, não há necessidade de redução da tensão do perfil devido a considerações a fadiga.

3.3.2.1. Dimensionamento de Galerias Treliçadas de Aço

i. Estados Limites Últimos – Dimensionamento Estrutural

Primeiramente, conforme a *NBR 8800/2008*, há necessidade de limitação das resistências do aço reduzidas por um fator, normalmente, de 1,1 para o escoamento das seções e de 1,35 ruptura (de acordo com a Tabela 3 - NBR 8800/2008). Essas considerações referem-se à consideração dos estados limites últimos. A seguir, apresenta-se breve resumo acerca das verificações a serem procedidas, segundo NBR 8800/2008.

a) Verificações à Tração

É delimitada pela relação entre solicitação e resistência e deve ser inferior a unidade. As equações (3.8), (3.9) e (3.10) apresentam respectivamente a condição a ser atendida e as expressões para a resistência dos elementos ao escoamento e a ruptura da seção transversal.

$$Nt_{,Sd} \leq Nt_{,Rd} \quad (3.8)$$

$$Nt_{,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}} \quad (3.9)$$

$$Nt_{,Rd} = \frac{A_e f_u}{\gamma_{a2}} \quad (3.10)$$

Nelas $N_{t,sd}$ representa as solicitações dadas pelas combinações, A_g e A_e representam a área bruta e a área líquida da seção transversal, f_y e f_u representam a tensão de escoamento e a tensão de ruptura do aço e $\gamma_{a1} = 1,10$ e $\gamma_{a2} = 1,35$.

Além das verificações de área bruta, as avaliações de área líquida foram procedidas considerando o tipo de conexão que entre os elementos de aço. Por exemplo, perfis do tipo L (cantoneira) terão área líquida reduzida em função dos parafusos na região da conexão, minimizando o valor de área efetiva computável. Essa consideração será utilizada nos processos de otimização.

Além dessas, existe a limitação de esbeltez dos perfis isoladamente, que representa a relação entre o vão livre e o raio de giração das seções transversais. Nesses casos, o valor máximo é de 300.

b) Verificações à Compressão

Análogo a resistência à tração, nos elementos submetidos à compressão, além do atendimento da equação 3.11, há ainda redutores de resistência “Q” e “ χ ” associados à flambagem local e à redução da resistência à compressão, respectivamente computados em 3.12.

$$Nc_{,sd} \leq Nc_{,Rd} \quad (3.11)$$

$$Nc_{,Rd} = \frac{\chi Q A_g f_y}{\gamma_{a1}} \quad (3.12)$$

Cada seção transversal possuirá características particulares que alterará os valores dos redutores de resistência. Essas características também estarão presentes nos processos de otimização.

Nesse caso, o limitador de esbeltez é 200.

c) Verificações ao Cisalhamento e Flexão

Barras de pórtico e vigas transversais, além dos esforços axiais ainda necessitarão ser verificados ao esforço cortante e ao momento fletor. Isso ocorre eventualmente em seção do tipo W, H, I, U e tubulares, excetuando-se as seções tipo L dessas verificações.

Assim, as equações 3.13 e 3.14 ilustram de maneira geral as condições a serem satisfeitas.

$$M_{Sd} \leq M_{Rd} \quad (3.13)$$

$$V_{Sd} \leq V_{Rd} \quad (3.14)$$

Vale lembrar que o processo é norteado pela esbelteza da alma das seções onde, após certa relação, as expressões de verificação estrutural se alteram.

d) Efeitos Combinados

Além dos efeitos isolados, elementos submetidos à esforços combinados do tipo axial, cortante e fletor serão verificados ao efeito combinado, conforme apresentam as equações 3.15 e 3.16 para relação de tração ou compressão maiores ou iguais a 20% e menores que 20%, respectivamente.

$$\text{para } \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} \geq 0,20$$

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1,0 \quad (3.15)$$

$$\text{para } \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} < 0,20$$

$$\frac{N_{Sd}}{2N_{Rd}} + \left(\frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1,0 \quad (3.16)$$

Dadas essas informações, o processo de otimização selecionará os elementos que atendam essas recomendações normativas e penalizará os demais, eliminando-os do processo seletivo.

ii. Estados Limites de Serviço – Dimensionamento Estrutural

Além das questões que envolvem as avaliações quanto aos estados limite últimos, questões relacionadas ao cumprimento dos estados limites de serviço também ingressam no processo através das limitações particulares recomendadas pela norma NBR8800/2008. Análogo ao caso anterior, elementos que não atendem as limitações são eliminados do processo seletivo. As Tabelas 3.12 e 3.13 apresentam tipologias das seções adotadas bem como sua contextualização.

Tabela 3.12. Aplicabilidade de Perfis e Limitações de Serviço Para Galerias

LOCAÇÃO	GALERIA METÁLICA TRELIÇADA	TIPOLOGIA DE PERFIS SELECIONADOS							DEFORMAÇÃO LIMITE
		W	H	I	L	TUBO REDONDO	TUBO RETANGULAR	TUBO QUADRADO	
FACES LATERAIS	MONTANTES DE PÓRTICOS	X	-	-	-	-	-	-	-
	MONTANTES INTERMEDIÁRIOS	-	-	-	-	-	X	X	L/350
	DIAGONAIS	-	-	-	X	-	-	-	-
FACE SUPERIOR	TRANSVERSINA DE PÓRTICOS	X	-	-	-	-	-	-	L/350
	TRANSVERSINAS INTERMEDIÁRIAS	-	-	-	-	-	X	X	L/350
	BANZOS	-	-	-	-	-	X	X	-
	DIAGONAIS	-	-	-	-	X	-	-	-
FACE INFERIOR	TRANSVERSINA DE PÓRTICOS	X	-	-	-	-	-	-	L/350
	TRANSVERSINAS INTERMEDIÁRIAS	X	X	X	-	-	-	-	L/350
	BANZOS	X	X	-	-	-	-	-	-
	DIAGONAIS	-	-	-	-	X	-	-	-

Tabela 3.13. Aplicabilidade de Perfis e Limitações de Serviço Para Colunas

LOCAÇÃO	COLUNA METÁLICA TRELIÇADA	TIPOLOGIA DE PERFIS			DEFORMAÇÃO LIMITE
		W	H	2L	
FACE FRONTAL	BANZOS	X	X	-	-
	DIAGONAIS	-	-	X	-

Assim, para cada elemento, o etapeamento da verificação estrutural segue abaixo:

- i. Obtenção dos esforços no elemento através do MEF de forma iterativa;
- ii. Verificação da capacidade resistiva de uma listagem de elementos a tração, compressão, cortante e flexão e/ou esforço combinado. Perfis não conformes são penalizados e desconsiderados;
- iii. Verificação da esbeltez em uma listagem de elementos. Perfis não conformes são penalizados e desconsiderados;
- iv. Verificação dos estados limites de serviço. Perfis não conformes são penalizados e desconsiderados;
- v. Seleção dentre todos os elementos restantes que atendam todos os critérios acima, aqueles que apresentem menor massa linear;
- vi. É atribuída seção obtida em “v.” ao grupo de barras considerado e quantificada sua massa total.

Ainda, a minimização de massa da estrutura será precedida das definições de grupos de barras de mesma solução visando aliar benfeitorias em termos fabris e econômicos. Adicionalmente, com relação a de avaliação da deformação, elementos planos de viga serão verificados para ação da carga permanente acrescida do produto e carga acidental sem ponderadores de redução ou, alternativamente, a totalidade das cargas permanentes acrescidas da ação do vento de sucção. Elementos verticais (montantes laterais) serão verificados apenas para ação de vento lateral, multiplicados por seus respectivos coeficientes de pressão da face seguindo orientações da NBR 8800/2008.

Além das verificações particulares para cada elemento, ainda necessita-se avaliar as limitações quanto aos estados limites de serviço (restrições) no que tange o comportamento **global** da estrutura. Assim, verificam-se os deslocamentos máximos, frequências mínimas e aceleração máxima dos modelos estruturais.

Com relação aos deslocamentos, a limitação será análoga à de vigas de piso conforme recomendação da *NBR 8800 / 2008 Tabela C.1* que considera como deslocamento máximo **L/350** (onde L é o vão livre da galeria – dimensão longitudinal).

O deslocamento no nó do topo dos pórticos de extremidade da galeria também é baseado na mesma referência normativa, adotando-se **H/300** como valor máximo (H é a altura da galeria - dimensão vertical) análogo a um edifício de um pavimento definido como o deslocamento horizontal no topo com relação a base.

Ao longo do vão da galeria (dimensão horizontal), haveria também a necessidade da avaliação do deslocamento lateral devido a ação direta de vento externo. Nos limites de aplicação dessa tese as condições mais desfavoráveis de incidência do vento aliadas a menor rigidez lateral da estrutura da galeria não resultaram condições suficientes para que os limites de deslocamento lateral apresentados na *NBR8800/2008* fossem extrapolados, ou seja, essa restrição de projeto estaria sempre inativa. Afirma-se baseado em modelos previamente simulados. No entanto tal checagem estará presente nas restrições.

Ainda, com relação à frequência natural da estrutura (1º modo de flexão no sentido vertical) e na ausência de normalização específica, adotam-se recomendações da *HIVOSS/2008 - Human Induced Vibrations of Steel Structures* - que define limitações para *passarelas de pedestres* em que frequências naturais não se situem entre 1,25Hz e 2,3Hz. Como frequências inferiores a 1,5Hz ocorreriam concomitantemente com deslocamentos elevados e não serão atendidos pela recomendação normativa mencionada anteriormente na verificação dessa restrição, opta-se por adotar como limite inferior **2,3 Hz**.

A mesma referência sugere que as vibrações laterais não se situem no intervalo entre 0,5Hz e 1,2 Hz. No entanto, é observado que, devido a geometria e condições que rigidez lateral do modelo estrutural das galerias, dinamicamente podem ocorrer *modos de vibração torcional* (distintos das limitações das normas) ou até mesmo modos que aliem

flexão em dois planos ortogonais simultâneos resultando em valores de frequência fundamental inferiores aos limitados pela referência acima (principalmente a o modo associado a flexão) nos casos de acoplamento de modos de vibração nos dois sentidos, principalmente em modelos com vãos superiores. O problema é contornado com acréscimo de rigidez no eixo de simetria da estrutura idealizado através de elementos transversais de pórtico e checagem das frequências apenas para o valor mais restrito de 2,3Hz, de forma que a primeiro modo (associado a frequência fundamental) seja sempre superior a esse valor quer seja ele vertical, horizontal, torçor ou até mesmo acoplado atendendo então a recomendação.

Com relação à aceleração máxima, a norma *HIVOSS/2008* define categorias de acordo com a utilização de passarelas, no caso, análogas às galerias. Como a ação humana é dada para fins de manutenção com reduzido fluxo de pessoas, sempre inferior a 15 ao longo do vão da estrutura, (a normalização utiliza classe de tráfego TC1 com respectiva classe de conforto CL2) a limitação de aceleração máxima vertical é de $a_{\text{limit}} = 1,0 \text{ m/s}^2$. Outra normativa, a *NBR 6123/1988*, no item 9.5 estabelece que a aceleração máxima devida à parcela flutuante de ventos atuantes deve ser inferior a $0,1 \text{ m/s}^2$. Para essa tese, embora a parcela flutuante não seja oriunda de ação direta do vento, mas sim da variação de massa de produto transportado, se identifica que o desconforto de ocupantes será ocasionado quando acelerações estiverem acima da exposta acima, podendo ser utilizada como referência. Conservadoramente, estabelece-se então o limite de $0,1 \text{ m/s}^2$ como restrição.

Ainda, além das verificações ao longo do vão da galeria, a avaliação da frequência fundamental no topo dos pórticos localizados nas extremidades da galeria seria necessária. Para tal, buscar-se-ia evitar que a estrutura possuísse, transversalmente, frequências inferiores a 1 Hz a fim de evitar o acréscimo de pressão devido à ação flutuante do vento, conforme a *NBR 6123/1988*. Como anteriormente restringiram-se frequências superiores a essa, não há necessidade dessa verificação.

3.3.2.2. Dimensionamento de Colunas De Aço

i. Estados Limites Últimos – Dimensionamento Estrutural

Da mesma forma que para as galerias, para as colunas os conceitos se repetem exceto pelo fato de, como as colunas são treliças planas, as verificações quanto ao corte e ao

momento fletor são desnecessárias. Os limitadores de índice de esbeltez também são os mesmos.

ii. Estados Limites de Serviço – Dimensionamento Estrutural

A limitação para as condições de estados limites de serviço para colunas é tomada análoga a apresentada para os pórticos dos modelos das galerias, ou seja, com restrição de **H/300** para o deslocamento máximo do topo com relação a base. Além dessas, a verificação da frequência fundamental se faz necessária também em função da parcela flutuante do vento, permanecendo então restringidos valores menores que 1Hz.

A seguir será apresentada a metodologia proposta para fins de otimização.

4. METODOLOGIA PROPOSTA PARA FINS DE OTIMIZAÇÃO

A metodologia consiste na identificação e sequenciamento das etapas que serão abordadas a fim de se obter o resultado do projeto esperado.

Primeiramente, duas serão as tipologias que serão estudadas: galerias treliçadas de aço e colunas de aço.

A avaliação de cada uma dessas duas tipologias permite obter resultados ótimos oriundos dos processos de otimização estrutural isolada. No entanto, objetiva-se ter também uma resposta para a função objetivo que minimize o gasto com matéria prima para todo o “layout”, ou seja, todo o conjunto de galerias e colunas que porventura existam em uma linha. Isso permitirá escolhas mais econômicas e coerentes para a implementação das estruturas de aço em aplicações realistas.

Deste modo, descreve-se desde a identificação dos modelos adotados atualmente e as necessidades de projeto por meio de busca em projetos estruturais desenvolvidos até a avaliação dos algoritmos de otimização.

4.1. ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Com relação ao processo de otimização estrutural, é apresentado o fluxograma da Figura 4.1, onde consta a realização das atividades de execução da pesquisa.

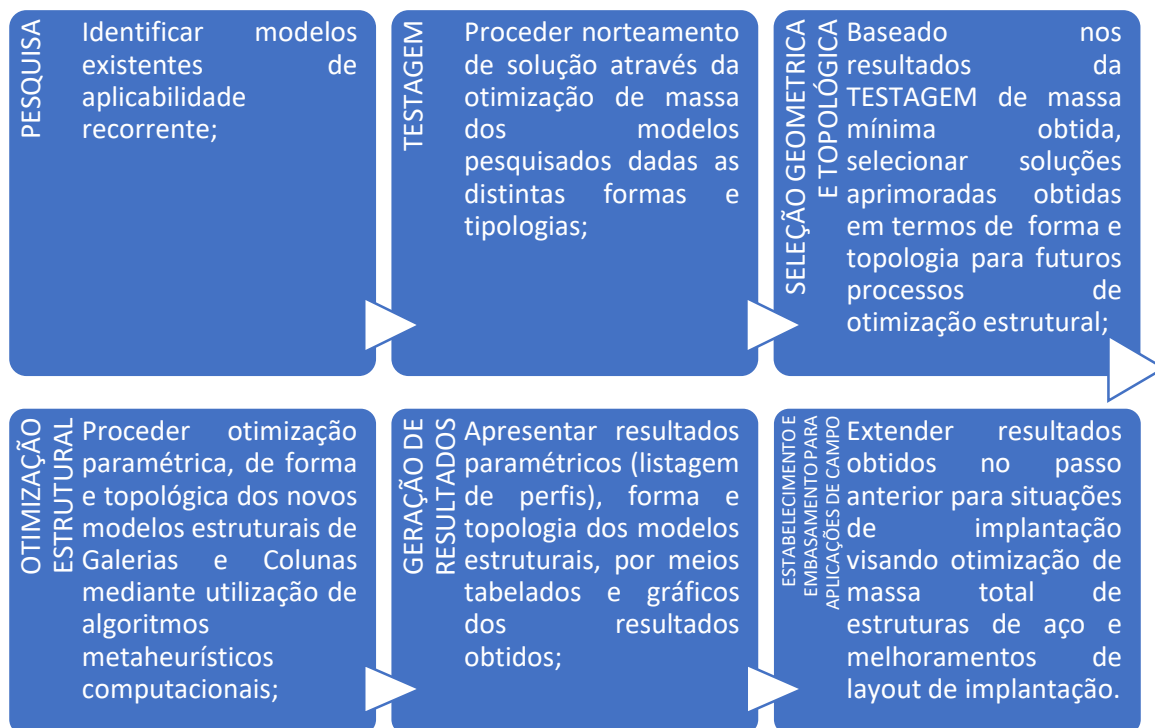


Figura 4.1. Fluxo Simplificado de Abordagem

As considerações de **entrada de dados dos modelos** serão apresentadas nas etapas de definição da base de estudos nos diferentes sistemas estruturais e modelos definidos para as distintas aplicabilidades. Assim, será possível identificar as necessidades as quais os modelos estruturais devam estar submetidos de acordo com as normativas vigentes bem como com a entrada de dados de solicitações.

No processo de otimização deverão ser cheçadas as tensões resistentes (restrições particulares dos perfis), deslocamentos admissíveis (restrições particulares dos perfis e por tipologia estrutural), frequências fundamental/natural mínima (restrições globais) e acelerações máximas (restrições globais).

Por fim, na apresentação final do trabalho objetiva-se apresentar os resultados dos obtidos otimizados para o sistema estrutural visando à minimização da função objetivo. Isso permite duas abordagens para os resultados que são: a minimização da função objetivo para “layouts” pré-definidos tanto quanto para “layouts” a serem otimizados. Entende-se “layouts” pré-definidos como situações fixas de projeto onde, por exemplo, conhecem-se as distâncias necessárias entre colunas e/ou a altura em relação ao solo ou apoio externo. Em “layouts” a serem otimizados, a primeira informação é desconhecida e ainda poderá

ocorrer variação da altura com relação ao solo ou apoio ao longo da linha do transportador.

4.2. TIPOLOGIAS ESTRUTURAIS ESTUDADAS

O emprego desse sistema estrutural de galerias e colunas de aço para suporte de transportadores já está consolidado tendo a otimização de suas geometrias sido já estudadas adotadas regularmente.

Nesse foco, algumas restrições são necessárias. Por exemplo, para a tipologia de galeria, como já mencionado anteriormente, há a condição de larguras e alturas mínimas (dimensões de profundidade e vertical) que propiciem a instalação dos transportadores e passadiços bem como a condição de manutenção. Para as colunas, ocorre algo similar. Exemplificando, a largura da coluna deve propiciar a instalação das galerias e desta forma deve possuir a mesma profundidade da tipologia da galeria suportada em seu topo. Isso induz a condição de que a largura da coluna na base também deve ser, limitada inferiormente, pela largura no topo.

Além das condições de projeto, algumas questões estruturais precisam ser abordadas. Sabe-se que elementos que tenham comprimentos maiores devem ter priorizados esforços de tração o que conduz a soluções estruturais mais econômicas, embora sejam mais flexíveis. Da revisão bibliográfica, identifica-se que treliças com topologia do tipo “Pratt” tem apresentado vantagens competitivas. Essa configuração traz diagonais mais extensas e montantes menores, e esses, no caso das galerias, estão submetidos à solicitações de tração e flexo compressão respectivamente. Também da revisão bibliográfica, identificam-se que elementos do tipo cantoneira (“L”) de aço apresentam vantagens entre todas as soluções de perfis existentes no mercado frente a cargas de tração aliadas a restrições de esbeltez normativa até determinado limite de carregamento. Dessa maneira, fica pré-estabelecido que as **faces laterais das tipologias das galerias**, que são posições que não apresentam inversão de esforços verticais, serão assim definidas topologicamente bem como com utilização de cantoneiras em suas diagonais. Com relação a tipologia “Pratt”, em termos de consumo de matéria prima, essa solução é ótima em termos de minimização de massa visto que, devido aos menores comprimentos dos montantes, se resultam menores momentos fletores oriundos das cargas externas de vento. Ainda com relação aos montantes, como estarão submetidos a flexo-compressão, seções que

apresentem raios de giração mais elevados tendem a serem mais eficazes. Por exemplo, perfis *tubulares* aparentemente são soluções aprimoradas se comparados à seções abertas do tipo W, I, H ou C principalmente devido a possuírem raios de giração, em torno do menor eixo de inércia, mais elevado resultando em resistência do perfil superior. O efeito adicional de flexão nos elementos, acaba por direcionar as escolhas para *seções tubulares retangulares* posicionadas com a maior inércia no sentido solicitado a flexão.

A Figura 4.2 apresenta a configuração de treliça do tipo Pratt.

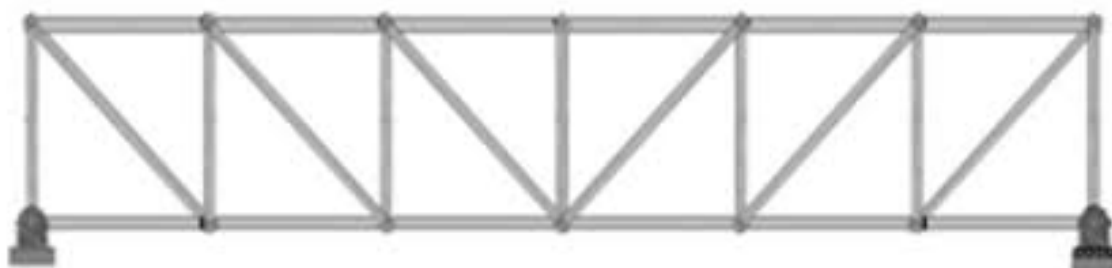


Figura 4.2. Treliça do Tipo Pratt

Já para os banzos das galerias é comum o emprego de seções do tipo W ou H. Sabe-se que, esses elementos absorvem essencialmente esforços axiais sendo que, melhores aplicações frente a solicitações de compressão se dá em situações nas quais ambos os índices de esbeltez, ou seja, nas duas direções principais, estejam numericamente próximos. Normalmente, as únicas seções que apresentam tais características são as seções tubulares quadradas, que serão então utilizadas nos banzos superiores. Para os inferiores, como estarão essencialmente submetidos a tração, há um aumento do índice de esbeltez normativa permitido que possibilita, também por motivos de projeto, a utilização de seções do tipo W ou H serem preferidas em relação aos perfis I ou C dado que possuem tensão de escoamento mais elevada do aço. Maiores esclarecimentos em termos de projeto serão dados a seguir quando da combinação entre os banzos inferiores e as transversinas de apoio dos transportadores.

Como dito anteriormente, os perfis transversais também possuem melhores soluções quando adotadas seções com boa resistência combinada às solicitações compressivas e momentos fletores. Dessa forma, análogo aos montantes das faces laterais, conclui-se que seções tubulares retangulares são alternativas mais atrativas. De fato, para a face superior onde tem-se apenas a cobertura (terças fixadas através de suporte soldados diretamente) e a calha para cabeamento elétrico (fixado através de presilhas parafusadas) a adoção da

tipologia *tubular retangular* se faz mais relevante também em termos de projeto. Isso não ocorre na face inferior, onde ocorre a maior parte da inserção de cargas, pois os equipamentos, chapas e passadiços necessitam ser fixados diretamente nas transversinas, e seções abertas facilitam esse procedimento de montagem e fixação. Assim, seções do tipo W e H são as mais interessantes em termos de aplicabilidade para essa posição específica adicionando também a questão da facilidade de conexão dessas com os perfis utilizados nos banzos inferiores. Desta forma, são alternativas otimizadas para o projeto e execução – embora haja acréscimo em termos de massa, mas ganhos de produtividade geral – sendo que esse trabalho procurou relevar essa questão.

Para as extremidades e eixos das galerias, devido às condições de estabilidade, pórticos são necessários. Nesse caso, perfis que apresentem menor massa com maior rigidez são as escolhas prioritárias tais como os perfis W e H. Alternativamente, perfis tubulares retangulares também se mostrariam relevantes, entretanto em termos de projeto, a solução para a manutenção da rigidez dos nós do pórtico é comprometida devido a diversas barras possuírem nós finais/iniciais nesses locais, o que é melhor contornado com seções “abertas”.

Logo, para a tipologia das galerias, careceria apenas da definição dos perfis escolhidos para as diagonais inferiores e superiores. Soluções com barras sem restrição lateral induzem a adoção de seções tubulares circulares pois, quando submetidos a compressão, apresentam menores massas se comparadas a outras tipologias. Soluções estruturais que permitam a contenção lateral, propiciariam o uso de perfis com índices de esbeltez distintos em ambos os eixos. Para verificar essas alternativas, avaliação qualitativa topológica será realizada em seguida.

A Figura 4.3 apresenta um tipo de configuração possível para as faces do modelo de galeria.

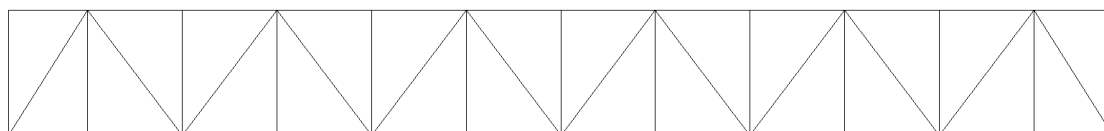


Figura 4.3. Exemplo de Solução - Treliça Adaptada de Warren

Já com relação às colunas, as mesmas avaliações são feitas. Como tratam-se de geometrias baseadas em modelos de treliças planas, avaliação qualitativa análoga às galerias serão realizadas. Na prática, para os perfis dos banzos tem sido adotadas seções do tipo W ou H. Como são posições que suportam essencialmente solicitações axiais, aparentemente seções tubulares quadradas seriam boas opções. No entanto, devido a sua elevada dimensão vertical (altura), e ainda não havendo a possibilidade de contenção longitudinal, a opção por seções tubulares retangulares seriam mais adequadas em termos de minimização de massa. Entretanto, devido a condições de disponibilidade comercial, seções desse tipo são restritas, de forma que não atenderiam casos de colunas com dimensões verticais mais elevadas. Assim, seções tipo W ou H serão adotadas. Com relação as diagonais, são válidas as mesmas observações feitas para as galerias. A Figura 4.4 apresenta uma topologia admissível.

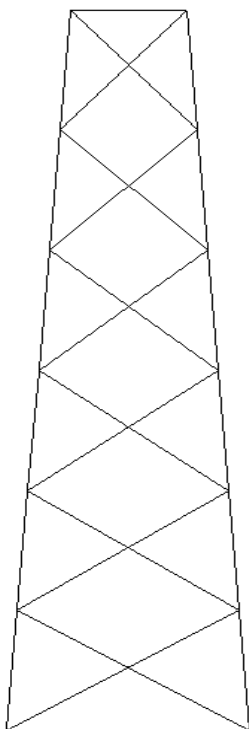


Figura 4.4. Treliça Tipo Duplo Warren

O subcapítulo a seguir apresentará numericamente observações acerca dos comentários feitos até então.

4.3. AVALIAÇÃO QUANTITATIVA PRÁTICA

Estudos adotando distintas geometrias foram realizados e os resultados obtidos estão representados na Tabela 4.1 e 4.2 de acordo com as Figuras 4.5, 4.6 e 4.7. Para tal foi selecionado transportador de 48”, vento de 45m/s, vão da galeria de 24 metros e coluna com 22,5 metros devido a sua posição intermediária dentre todas as análises projetadas futuramente. Para as galerias, além de adotada altura de 2,60m, no sentido longitudinal foram definidos nós a cada 3 metros. Com relação às colunas, fora utilizada inclinação de 7,5% com relação ao eixo vertical e definidas 5 contenções laterais para os perfis dos banzos. Para todas as verificações foram adotados critérios de exequibilidade. Para as avaliações, fora utilizado o software comercial *STRAP*, desenvolvido pela *Atir Engineering Software Ltd.* tendo como premissas as informações obtidas nessa tese até então.

4.3.1. Colunas de Aço

4.3.1.1. Grupos de Barras

A fim de maximizar o resultado obtido, ao longo das estruturas há a possibilidade de otimização das seções visando aperfeiçoamento em termos do consumo de matéria prima. (otimização paramétrica – variáveis discretas). No caso do modelo das colunas, devido a sua concepção, para os perfis dos banzos há a necessidade de manutenção de um único tipo de seção devido a critérios de limitação do índice de esbeltez em torno do eixo de maior inércia do perfil. Com relação aos perfis das diagonais e montantes, objetiva-se que, em termos práticos, menor quantidade de tipologias otimize o processo fabril, e assim, através de estudos de otimização paramétrica, de forma e topológica esses resultados sejam alcançados. Por exemplo, para os perfis das diagonais é possível que, devido às diferentes angulações e solicitações atuantes, tenha-se uma única tipologia (seção transversal) para todas as diagonais e assim o mesmo para os montantes da estrutura. Abaixo, na Figura 4.5, seguem as tipologias mais comuns a serem avaliadas.

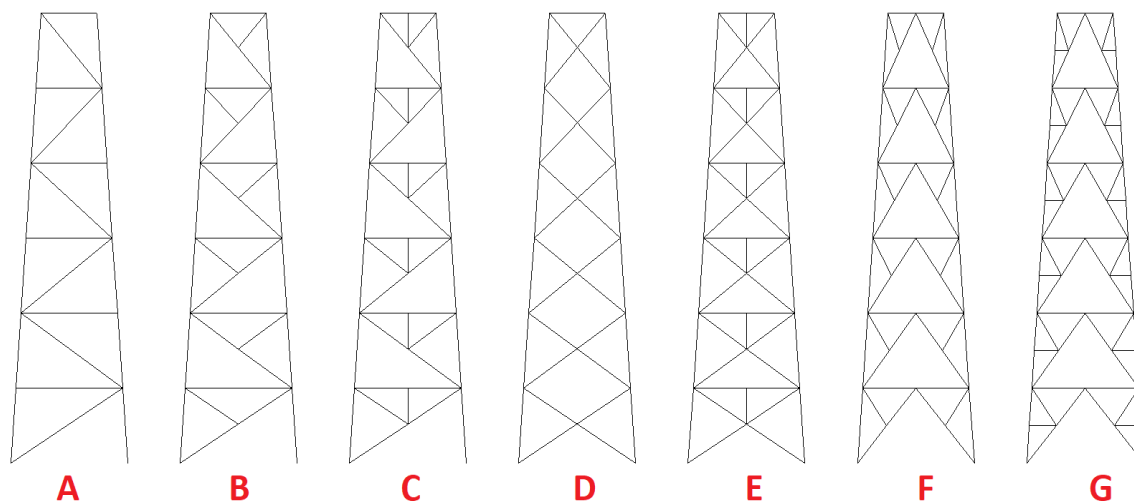


Figura 4.5. Geometrias Usuais Para Colunas

Os estudos buscaram a mínima massa resultante entre todos os modelos analisados dadas as combinações de cargas aplicadas conforme apresentadas no capítulo 3. Para tal, os perfis alocados seguem conforme mencionado na Tabela 3.12. Ainda, foram consideradas restrições de tensões, índices de esbeltez e deformações das barras e deslocamentos e frequência fundamental das tipologias. A Tabela 4.1 apresenta os resultados obtidos para colunas.

Tabela 4.1. Resultados Comparativos Para Colunas Em Termos de Massa Resultante, Deslocamento no Topo e Frequência Fundamental

COLUNAS					
Tipologia	Massa (kg)	Desloc. Topo (mm)	Aprov. %	Frequência Natural (Hz)	Aprov. %
A	3939,5	23,9	32%	2,31	43%
B	3624,3	27,4	37%	2,14	47%
C	3609,2	27,5	37%	2,14	47%
D	3566,6	23,7	32%	2,31	43%
E	3671,6	23,7	32%	2,31	43%
F	3668,9	26,4	35%	2,16	46%
G	3723,6	26,4	35%	2,16	46%

A mínima massa foi obtida para o modelo **D**, resultando em até 10% de redução se comparado ao tipo **A**. Em termos de deslocamento e frequência fundamental, há atendimento às restrições consideradas com comportamento similar ao modelo **E**. O aproveitamento indica o percentual da avaliação procedida com relação ao limite recomendado em norma que já foi apresentado nos capítulos anteriores, onde as restrições

que originam a massa mínima do sistema são devido a tensão/capacidade de suporte, deformação ou esbeltez de cada elemento.

Assim, a topologia do modelo **D** será adotada com apenas 2 grupos de barras, um grupo para os perfis dos banzos – que, como já mencionado, necessita manutenção da seção ao longo de toda a altura (dimensão vertical) devido a questões estruturais relativas à contenção longitudinal - associadas a um grupo para os perfis das diagonais, onde, devido a distintos comprimentos e inclinações das barras almeja-se que o processo de otimização maximize o desempenho do grupo para uma única tipologia de seção transversal, facilitando o processo fabril minimizando a quantidade de tipologias de seções a serem consideradas.

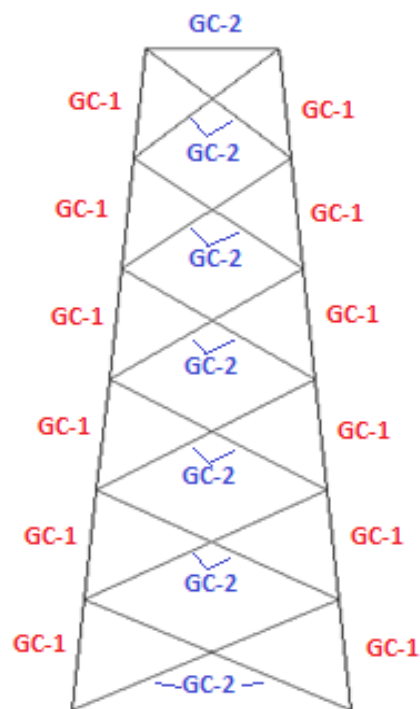


Figura 4.6. Grupo de Barras Para Colunas

4.3.2. Galerias de Aço

4.3.2.1. Grupo de Barras

Do mesmo modo que o anterior, a maximização dos resultados a serem obtidos induz a necessidade de, ao longo da estrutura, ter-se diferentes perfis (parâmetros) a fim de obter minimização de matéria prima. Em termos mercadológicos, barras de perfis estruturais

são comumente comercializados em comprimentos de 12,00 m. Isso é importante pois, como a modulação das tipologias das galerias é de 3,00 metros, podem-se criar grupos de barras com comprimentos proporcionais aos comercializados. Comenta-se aqui sobre a limitação da dimensão máxima horizontal estudada para as galerias que originará as premissas descritas a seguir. Para os perfis dos banzos se originarão **2 tipos de grupos**: um para o banzo superior e um para o inferior, totalizando então **4 grupos de barras** para banzo superior (para um tipo de grupo) e **4** para banzo inferior (para o outro tipo de grupo), com comprimento máximo de 6m. Do mesmo modo, perfis dos montantes e perfis transversais ao plano seguirão o mesmo conceito dos anteriores, resultando em mais **3** grupos de barras para montantes, **3** grupos de barras para os perfis transversais superiores e **3** grupos de barras para os perfis transversais inferiores. Complementando, para os perfis das barras diagonais serão criados **4** grupos de barras para as faces superior e inferior acrescido por **4** para as faces laterais. Com relação as barras de pórticos, simplifica-se criando apenas **1** grupo considerando todos os elementos com os mesmos parâmetros tanto para os perfis dos montantes quanto para os perfis transversais. Assim no total haverão **26** grupos de barras para as galerias.

As Figuras 4.7 e 4.8 apresentam as tipologias estruturais preliminarmente avaliadas para as faces das galerias.

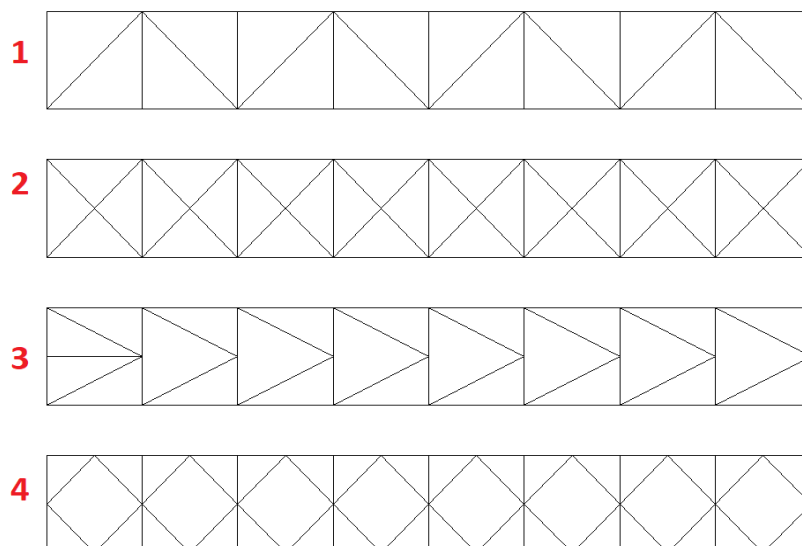


Figura 4.7. Geometrias Estudadas Para Galerias - Faces Inferior e Superior

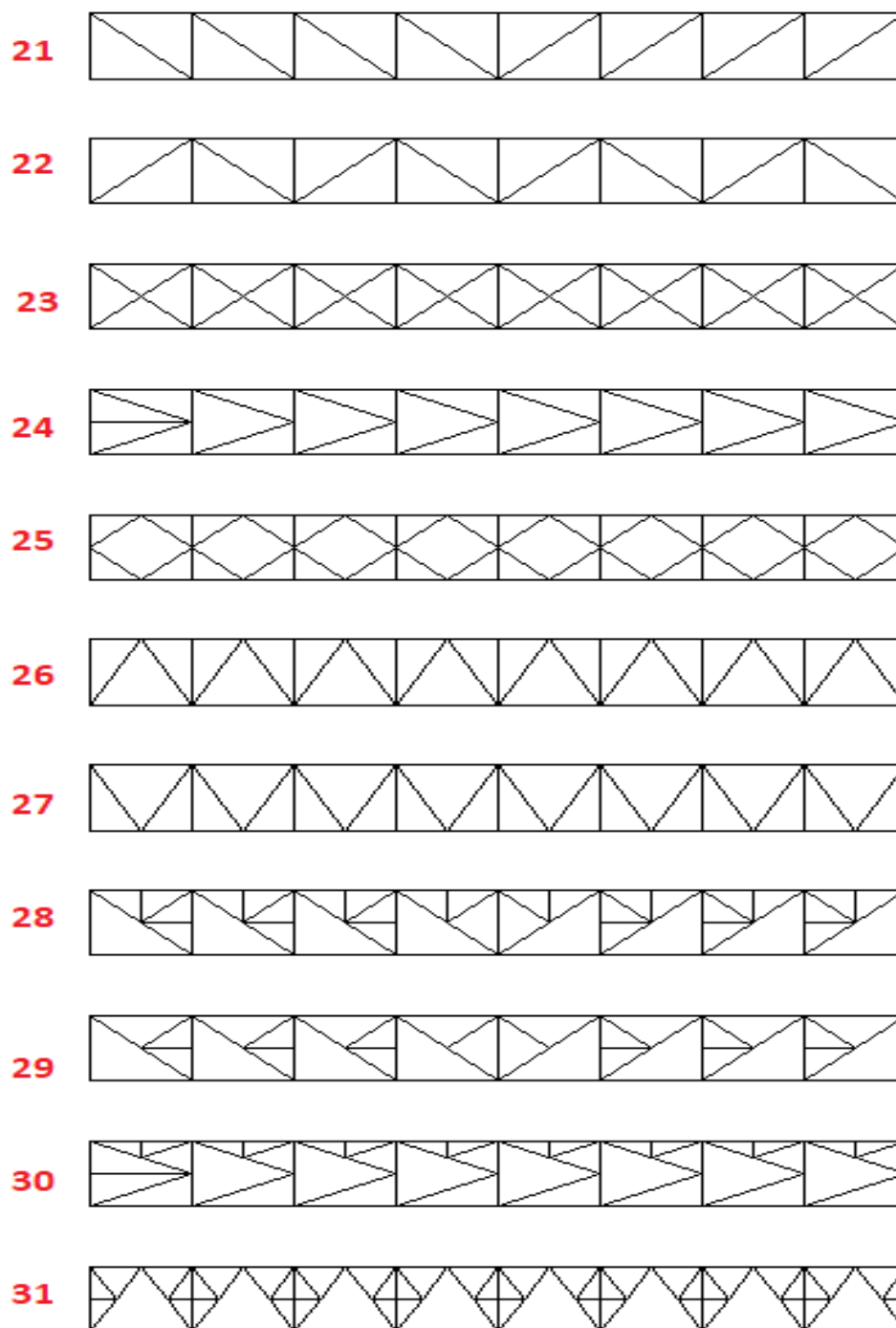


Figura 4.8. Geometrias Estudadas Para Galerias - Faces Laterais

Na Tabela 4.2 e 4.3 tem-se os comparativos dos resultados obtidos nessa análise paramétrica e topológica preliminar.

Tabela 4.2. Resultados Comparativos Para Faces Superior e Inferior das Galerias Em Termos de Massa Resultante, Deslocamento no Centro e Frequência Fundamental

GALERIAS - FACES SUPERIOR/INFERIOR					
Tipologia	Massa (kg)	Desloc. Centro (mm)	Aprov. %	Frequência Natural (Hz)	Aprov. %
1	1137,6	14,0	20%	3,19	72%
2	1367,9	11,7	17%	3,49	66%
3	1193,6	14,6	21%	3,11	74%
4	1113,2	14,8	22%	3,10	74%

Tabela 4.3. Resultados Comparativos Para Laterais das Galerias Em Termos de Massa Resultante, Deslocamento no Centro e Frequência Fundamental

GALERIAS - FACE LATERAL					
Tipologia	Massa (kg)	Desloc. Centro (mm)	Aprov. %	Frequência Fundamental (Hz)	Aprov. %
21	1215,2	26,4	39%	3,42	67%
22	1221,0	24,0	35%	3,62	63%
23	1569,4	19,9	29%	3,98	58%
24	1411,6	24,9	36%	3,55	65%
25	1304,5	22,8	33%	3,71	62%
26	1337,2	23,3	34%	3,67	63%
27	1329,5	23,3	34%	3,67	63%
28	1245,0	28,8	42%	3,29	70%
29	1236,4	28,5	42%	3,31	69%
30	1490,2	24,1	35%	3,61	64%
31	1421,4	23,6	34%	3,64	63%

Observa-se que, dentre os modelos avaliados, obteve-se massa mínima nos modelos **4** e **21** respectivamente para faces superior/inferior e laterais. Em ambas as situações as restrições que se mantiveram ativas foram as de tensões, deformações ou esbeltez das barras. Em todos os casos avaliados as restrições de frequência e deslocamento do modelo estrutural não determinaram o dimensionamento paramétrico da estrutura.

Assim, numericamente, a combinação dos modelos **4** e **21** resultam em mínima massa. No entanto, em termos de solução de engenharia, é fundamental que se ponderem também critérios com relação a questão fabril. Por exemplo, o modelo **21** se apresenta como solução aperfeiçoada em termos de consumo de matéria prima bem como de solução de engenharia, visto que a fabricação da estrutura, quantidade de peças, entre outras é aprimorada se comparada ao modelo **28** ou **30** por exemplo. Da mesma forma o modelo **4**, embora apresente menor massa, exige processo fabril adicional visto que acresce a quantidade de conexões entre as barras o que, por fim, acaba até mesmo superando a massa final da estrutura em função da quantidade de chapas de ligação e parafusos/soldas adicionais a serem contabilizadas. Justificando, se comparado o resultado entre o modelo **1** e **4**, haverá 6,10 kg de diferença, sendo que o modelo **4** necessita 16 conexões adicionais

entre elementos de aço. O simples fato de haver necessidade fabril adicional (corte de chapas, furações, soldas entre as peças) para viabilizar essa solução não se justifica dada tão inexpressiva diferença de massa. Assim, opta-se pela tipologia **21** combinada com **1** para o projeto dos modelos das galerias e que representa até 20% de redução de massa se comparada a outras combinações topológicas.

A seguir, na Figura 4.9, identificam-se os grupos de barras e na Figura 4.10 apresenta-se uma visão tridimensional da tipologia da estrutura final.

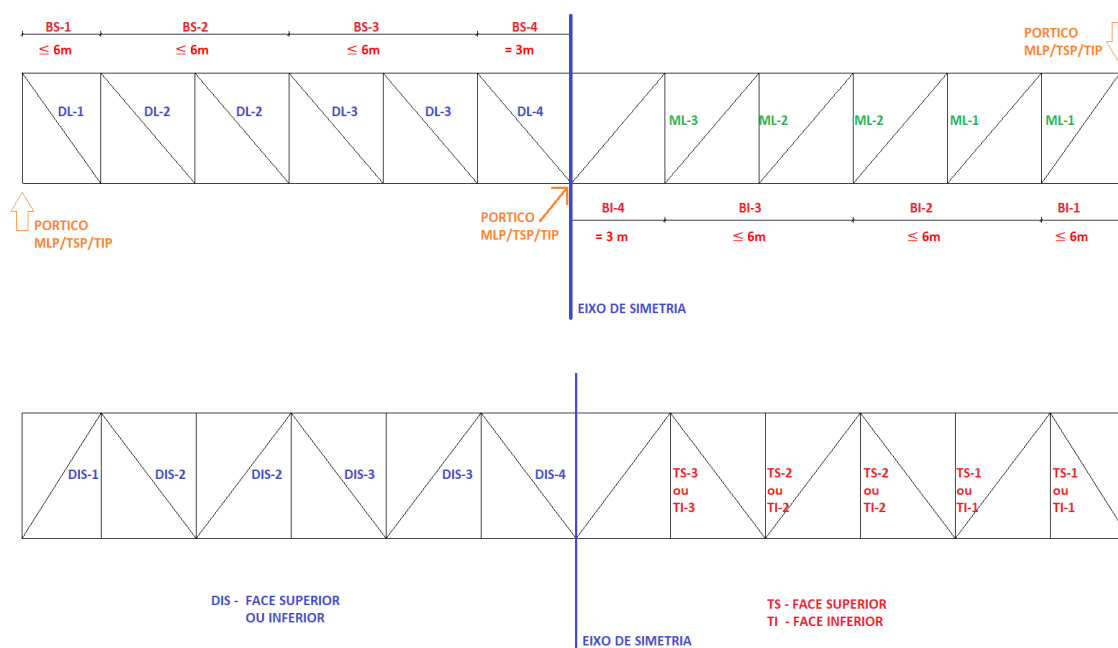


Figura 4.9. Grupo de Barras Para Galerias

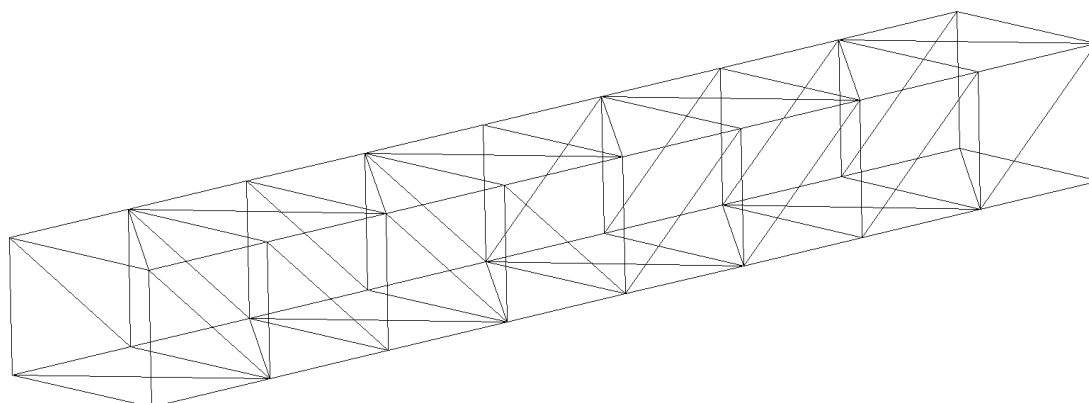


Figura 4.10. Configuração Resultante Para Galerias

4.4. PROGRAMAÇÃO E VALIDAÇÃO

Dadas as configurações estabelecidas acima, as rotinas associadas à análise estrutural, verificação dos deslocamentos, frequências naturais e acelerações foram desenvolvidas em planilhas eletrônicas, macros e VBA (*Visual Basic For Applications*) através da utilização do *Microsoft Excel* e comparadas ao modelo analisado no *software* comercial mencionado anteriormente.

Em linhas gerais, a escolha por esse software comercial especificamente parte do princípio de que, na mesma plataforma, é possível executar os procedimentos de análise, dimensionamento segundo a NBR 8800/2008 e a checagem das respostas estáticas e dinâmicas dos modelos tipológicos aqui concebidos o que não é possível em outras plataformas, principalmente aquelas internacionais que não possuem rotinas de dimensionamento dos elementos segundo regulamentações nacionais.

Já, o software desenvolvido soluciona operações matemáticas a partir do conhecimento das características geométricas dos modelos estruturais. Conhecidos os carregamentos, definem-se os vetores de combinações cargas que aliados ao conhecimento das áreas e inércias das barras é criada a matriz de rigidez e obtidos os deslocamentos nos nós. Na análise estática, através de operações matriciais adicionais são obtidas as solicitações nos elementos e estes são dimensionados (otimizados parametricamente) em uma etapa posterior de pós-processamento. Baseado nas áreas dos elementos obtidas do passo anterior, permite-se a geração das matrizes de massa da estrutura adicionando também as massas atuantes permanentes advindas de outras origens. Isso permite a geração da matriz dinâmica que, possibilita o conhecimento dos autovalores e seu ordenamento possibilita que se obtenham os valores das frequências da estrutura a vibrações livres. Ainda, a análise dinâmica a vibrações forçadas é possibilitada mediante a combinação da matriz de massa e rigidez conjugada bem como das funções de carga transiente. As respostas dinâmicas são obtidas numericamente através do uso do método de Newmark. O conjunto de todas essas operações é realizado internamente de acordo com a programação que fora desenvolvida no decorrer do desenvolvimento da tese. Adicionalmente, a programação do algoritmo de otimização já estava implementada por terceiros.

Por fim, os mesmos modelos selecionados apresentados ao longo desse capítulo foram reprogramados e, dada a definição dos grupos de barras, um comparativo fora realizado

para a aferição da confiabilidade das rotinas. Assim, haverá embasamento para a realização dos futuros processos de otimização estrutural.

4.4.1. Galerias De Aço

A validação dos elementos para análise e dimensionamento é dada através da comparação entre a programação do *autor* e o software comercial de alguns resultados obtidos tais como: a solicitação atuante, o aproveitamento das barras de acordo com os estados limites últimos, a esbeltez (% de uso da restrição), deformação segundo os estados limites de serviço, entre outros. Adicionalmente, serão avaliados os deslocamentos e a frequência fundamental do modelo estrutural.

4.4.1.1. Galerias De Aço – Comparativo e Validação

A Tabela 4.4 apresenta as seções resultantes para cada um dos grupos de barras bem como as diferenças associadas.

Tabela 4.4. Galeria - Validação de Dados – Comparativos

GRUPO	TIPOLOGIA	AUTOR / SOFTWARE				SOLICITAÇÃO AXIAL (N)		ERRO	ESB. MÁX. (kl/r) (%)		ERRO	APROV. Sd/Rd (%)		ERRO
						AUTOR	SOFTWARE	(%)	AUTOR	SOFT.	(%)	AUTOR	SOFT.	(%)
BS-1	BANZO SUPERIOR	NA	NA	NA	NA	-	-	-	-	-	-	-	-	
BS-2		T.Q / T.RET	70	70	5,6	139080	139570	-0,35%	57	57	0,00%	84	85	-1,19%
BS-3		T.Q / T.RET	110	80	6,3	297256	298359	-0,37%	48	47	1,52%	94	95	-1,06%
BS-4		T.Q / T.RET	110	80	6,3	314216	315411	-0,38%	48	47	1,52%	99	100	-1,01%
BI-1	BANZO INFERIOR	NA				-	-	-	-	-	-	-	-	
BI-2		W 150 x 13,0				-31401	-31363	0,12%	45	45	0,00%	6	6	0,00%
BI-3		W 150 x 13,0				-255337	-255912	-0,23%	45	45	0,00%	49	49	0,00%
BI-4		W 150 x 13,0				-309357	-310079	-0,23%	45	45	0,00%	59	60	-1,69%
DL-1	DIAGONAL LATERAL	NA	NA	NA	NA	-	-	-	-	-	-	-	-	
DL-2		L	3	X	1/4	-166001	-166525	-0,32%	88	88	0,00%	86	79	8,14%
DL-3		L	3	X	3/16	-118742	-119105	-0,31%	88	87	1,14%	99	75	24,24%
DL-4		L	3	X	3/16	-24225	-24265	-0,17%	88	87	1,14%	20	15	25,00%
DIS-1	DIAGONAL INFERIOR / SUPERIOR	NA	NA	NA	NA	-	-	-	-	-	-	-	-	
DIS-2		TO	73	X	5,0	-44284 / 46681	-44356 / 46624	-0,16%	94	92	1,35%	93	93	0,00%
DIS-3		TO	73	X	5,0	-33859 / 31563	-33803 / 31536	0,17%	94	92	1,35%	63	64	-1,59%
DIS-4		TO	73	X	5,0	-8218 / 5821	-8191 / 5838	-0,29%	94	92	1,35%	12	12	0,00%
ML-1	MONTANTE LATERAL	NA	NA	NA	NA	-	-	-	-	-	-	-	-	
ML-2		T.Q / T.RET	80	110	6,3	86388	86678	-0,34%	41	41	0,00%	68	67	1,47%
ML-3		T.Q / T.RET	80	110	6,3	24486	24564	-0,32%	41	41	0,00%	54	54	0,00%
TS-1	TRANSVERSINA SUPERIOR	NA	NA	NA	NA	-	-	-	-	-	-	-	-	
TS-2		T.Q / T.RET	50	90	5,6	-4066 / 11520	-4066 / 11520	0,00%	84	84	0,00%	53	54	-1,89%
TS-3		T.Q / T.RET	50	90	5,6	11520	11520	0,00%	84	84	0,00%	53	54	-1,89%
TI-1	TRANSVERSINA INFERIOR	NA				-	-	-	-	-	-	-	-	
TI-2		W 200 x 15,0				-4066 / 11520	-4066 / 11520	0,00%	78	78	0,00%	88	88	0,00%
TI-3		W 200 x 15,0				-4066 / 2033	-4066 / 2033	0,00%	78	78	0,00%	84	83	1,19%
MTP	PÓRTICO	W 360 x 32,9				-54555 / 121757	-54541 / 121736	-0,06%	63	63	0,00%	36	36	0,00%

COMPARATIVOS	AUTOR	SOFTWARE	ERRO
DESLOC. VERT. CENTRO (mm)	22,81	22,79	0,07%
DESLOC. HORIZ. CENTRO (mm)	8,79	8,79	-0,01%
DESLOC. HORIZ. PORTICO (mm)	3,14	3,14	-0,05%
FREQUENCIA NATURAL (Hz)	3,69	3,69	0,00%

Observa-se que não ocorreram diferenças significativas nos resultados. Em linhas gerais, para as verificações de comparativos entre solicitações axiais houve diferença inferior a

0,35% para todos os casos, provavelmente devido a diferenças de precisão entre o “autor” e o software comercial. Com relação ao comparativo entre índices de esbeltez das barras, também não houveram diferenças expressivas, onde obtiveram-se apenas desigualdades devido à arredondamentos. Tal constatação se evidencia na avaliação do aproveitamento da barra (%) com relação aos limites normativos, dado que os resultados se equiparam ou apresentam a diferenças na unidade, ocorrendo o mesmo tipo de erro percentual que o caso anterior. Uma observação importante nesse caso foi que, para os perfis das diagonais laterais, houveram amplas diferenças. Justifica-se visto que o “autor” considerou reduções de resistência devido à redução da área útil da barra ocasionada por furações, sendo necessário o computo de área líquida, o que não foi possível no software comercial. (*Ct e An, sob solicitações de tração*).

Com relação às verificações da tipologia do modelo global relacionada às limitações de serviço, não ocorreram diferenças relevantes nos resultados.

4.4.2. Colunas De Aço

Análogo ao processo realizado para as galerias, a validação é realizada através da comparação da solicitação nos elementos, índice de esbeltez e índice de aproveitamento. Globalmente é dada através da avaliação do deslocamento máximo horizontal no topo da coluna, também através do MEF, e a verificação da frequência fundamental da tipologia. Nessa avaliação, a ação do vento ao longo da coluna foi desprezada.

4.4.2.1. Colunas De Aço – Comparativo e Validação

A Tabela 4.5 apresenta as seções resultantes de cada um dos grupos e as verificações associadas.

Tabela 4.5 Coluna - Validação de Dados – Comparativos

COMPARATIVOS	AUTOR	SOFTWARE	ERRO	AUTOR	SOFTWARE	ERRO
GRUPO	GC-1	GC-1	GC-1	GC-2	GC-2	GC-2
TIPOLOGIA	BANZOS	BANZOS	BANZOS	DIAGONAIS	DIAGONAIS	DIAGONAIS
PERFIL SELECIONADO	W460x60	W460x60	-	2L 3"x3/16"	2L 3"x3/16"	-
MASSA	3618,8	3618,8	0,00%	919,4	919,4	0,00%
SOLICITAÇÃO AXIAL (N)	7300008	7300012	0,00%	65569	65570	0,00%
ESBELTEZ MÁXIMA (kL/rmin)	123	123	0,00%	170	170	0,00%
APROVEITAMENTO Sd/Rd (%)	92%	92%	0,00%	71%	73%	-2,29%

COMPARATIVOS	AUTOR	SOFTWARE	ERRO
DESLOC. TOPO (mm)	21,48	21,48	0,00%
FREQUENCIA NATURAL (Hz)	2,37	2,37	-0,02%

Análogo às avaliações procedidas nas galerias, os perfis selecionados pelo “autor” e o software comercial convergiram. A massa obtida total, também convergiu. Em termos de solicitação axial, não houveram diferenças percentuais entre os resultados bem como na avaliação da esbeltez máxima aferida. Em termos de aproveitamento dos perfis, para o grupo dos banzos GC-1 não houveram diferenças. Entretanto no computo do grupo 2 houve 2,29% de diferença entre os resultados. Como já mencionado anteriormente, fora identificado que, devido a precisão do software no que se refere ao dimensionamento ocorre um arredondamento de alguns parâmetros que resulta em tênue diferença nos resultados para o perfil selecionado. Nesse caso por exemplo, com relação ao parâmetro Q e χ (constituintes da capacidade compressiva da peça) o autor obteve 0,92 e 0,31 enquanto que, no software comercial, os mesmos parâmetros foram 0,91 e 0,31 respectivamente, resultando na diferença de aproveitamento da peça. Com relação ao deslocamento lateral no topo não houveram diferença percentual relevantes.

As seções a seguir abordarão as questões relacionadas à otimização dos modelos estruturais apresentados acima bem como as condições de otimização associadas.

4.5. METODOLOGIA DE OTIMIZAÇÃO PROPOSTA

O objetivo do processo de otimização, nesse caso, consiste em obter a mínima massa para o sistema composto por coluna e galeria metálica de aço simultaneamente.

4.5.1. Dados de Entrada

Resumidamente, em capítulos anteriores, identificou-se que diversos carregamentos são constantes e outros variam de acordo com a tipologia do transportador, ou seja, a largura ou profundidade do modelo estrutural. Essa escolha já define a largura do modelo da

galeria, da coluna em seu topo, dos carregamentos devido ao peso próprio do transportador e do produto transportado. Cargas como telhas, terças, passadiços, guarda corpos e proteções e cargas acidentais de cobertura também são já são conhecidas. Carregamentos de tubulações e sobrecargas nos passadiços são constantes, visto que esses últimos devem respeitar condições de aplicabilidade específicas independentemente dos tipos de transportadores a serem instalados. Dessa forma, essa primeira entrada será discreta e definida como “**tipo de transportador**” e terá apenas valores referentes à largura do mesmo que serão *24”, 30”, 36”, 42”, 48”, 54”, 60” e 72”*.

Dadas as informações iniciais acima, a única informação adicional necessária, com relação aos carregamentos, são as pressões de vento. Para otimizar o processo, essa entrada foi discretizada tendo como base duas das principais velocidades de vento atuantes que englobam a quase totalidade do território nacional direta e/ou indiretamente devido aos seus limites. Essa entrada será denominada de “**velocidade característica do vento**” e terá apenas valores que serão de **35 e 45m/s**, embora as rotinas computacionais admitam valores contínuos. Visto que os coeficientes de pressão independem da velocidade do vento, as mesmas resultarão nas pressões a serem aplicadas na estrutura diretamente.

Finalizado os dados de entrada referente às cargas, necessitam-se informações com relação à geometria da estrutura. No caso das galerias, as larguras já estarão limitadas pelo tipo de transportador e a altura, como será apresentado futuramente, será uma variável de projeto sendo necessária apenas a definição do *vão* da mesma, que será denominado “**vão da galeria**”. Dada esta entrada, todas as solicitações atuantes nos grupos de barras serão obtidas diretamente através de análise estrutural com o auxílio do software desenvolvido. O mesmo ocorrerá com as colunas. A única entrada necessária será a “**altura da coluna**” (dimensão vertical) sendo que as solicitações nos elementos serão também obtidas computacionalmente de forma análoga ao que ocorre com as galerias. Assim, como as anteriores, essas duas últimas entradas também poderão ser contínuas.

Consolidando, os dados de entrada serão apenas 4: **tipo de transportador, velocidade característica do vento, vão da galeria (dimensão longitudinal) e altura da coluna (dimensão vertical)**.

A seguir serão apresentadas as variáveis de projeto que nortearão os processos de otimização.

4.5.2. Variáveis de Projeto

Conhecidos os dados de entrada, foram definidos quatro parâmetros chamados de variáveis de projeto, que serão aqueles que de fato serão modificados a fim de se obter o melhor resultado para o objetivo do projeto.

Assim, para as galerias de aço, dois desses parâmetros serão modificados: o primeiro deles que se relaciona diretamente com otimização de forma do modelo estrutural e o outro parâmetro que, otimiza de forma paramétrica a capacidade do modelo estrutural de suportar ações que resultam em deslocamentos restritos.

Aprofundando, a primeira variável de projeto será a **altura da galeria (dimensão vertical)**. Pretende-se que, o estudo de distintas alturas (dimensões verticais) que resulta em solicitações distintas nas barras e, como essas estão submetidas a otimização paramétrica diretamente (variáveis de projeto discretas resultantes selecionadas a partir de uma lista de perfis de acordo com o grupo de barras) a modificação de seu valor permite direcionamento às soluções otimizadas para vãos distintos de galerias. Opta-se por tratar essa variável, por questões fabris e também de processamento computacional como discreta tendo como valor mínimo 2,60 m e máximo de 3,30 m com incrementos de 0,10m. (resulta em oito índices possíveis para essa variável).

Adicionalmente, devido à configuração estrutural projetada para as galerias, as extremidades e o centro são apertados e esses além do atendimento das limitações normativas devidas à tensão máxima, também devem atender a deslocamentos máximos no topo e frequência natural mínima. Dessa forma, para a segunda variável, opta-se por um mecanismo que considere a inércia dessas barras no sentido transversal de modo que a avaliação com relação às restrições globais seja aferida diretamente na etapa inicial. Assim, a adaptação dessa variável prevê que, antecipadamente, já se afirmem os estados limites últimos e de serviço associados em apenas uma iteração. Internamente, na linha de programação computacional, é identificada a seção mínima necessária em termos de restrição particular de tensão, deformação e esbeltez e é comparada a seção transversal indicada nessa variável. Como já há rotinas de dimensionamento que verificam

previamente todas as seções pertencentes ao grupo, nessa etapa apenas checa-se se a seção arbitrada atende os critérios apresentados acima. Assim, a variável envolvida também será discreta baseada nos grupos aos quais está inserida, com também oito índices possíveis de escolha da variável.

Optou-se por tornar essas variáveis discretas em função da quantidade de simulações a serem realizadas, visto que o número de casos a serem avaliados é amplo e o tempo computacional, (caso de utilização de variáveis contínuas), inviabilizaria o processo. Assim, para cada conjunto de entrada de dados, há 64 possíveis soluções para as galerias.

A Tabela 4.6 apresenta as variáveis de projeto mencionadas acima bem como sua discretização.

Tabela 4.6 Variáveis de Projeto Para Galerias

VARIÁVEL ALTURA (VP1)		VARIÁVEL PÓRTICO (VP2)	
ÍNDICE	VALOR (m)	ÍNDICE	VALOR (SEÇÃO)
0	2,60	1	W 200 x 15,0
1	2,70	2	W 250 x 17,9
2	2,80	3	W 200 x 19,3
3	2,90	4	W 310 x 21,0
4	3,00	5	W 250 x 22,3
5	3,10	6	W 200 x 26,6
6	3,20	7	W 250 x 28,4
7	3,30	8	W 360 x 32,9

No caso das colunas de aço, duas novas variáveis de projeto adicionais serão inseridas. A primeira delas é direcionada à busca da minimização da função objetivo modificando o **número de subdivisões** da estrutura (contenções laterais) ao longo da altura (dimensão vertical) baseando-se em um processo de otimização topológica onde a posição dos nós e a quantidade de perfis é alterada de acordo com o objetivo. Resumidamente, o algoritmo de otimização simulará discretamente um número limitado de subdivisões, também definido discretamente através de índices, e adotará aquele que apresente o melhor resultado para avaliação da função objetivo.

Aliado à anterior, a outra variável de projeto será a **inclinação** dos perfis dos banzos da coluna de aço treliçada baseando-se em um processo de otimização de forma. Sabe-se que um aumento da dimensão da base junto a fundação (ou apoio externo) resulta numa redução nas solicitações axiais nos banzos, entretanto resulta em perfis das diagonais maiores.

Assim, buscar-se-á a otimização de massa da coluna dentre essa combinação de opções possíveis sendo simulados 11 possíveis índices para a primeira variável aliado a 7 para a segunda. A simulação também será discreta e fisicamente representará 11 módulos (10 contenções no plano) da estrutura ao longo da altura da coluna com mínimo de 0% até um máximo de 15% subdivido a cada 2,5% de inclinação (7 inclinações possíveis) para a segunda variável com relação ao eixo vertical. A Tabela 4.6 apresenta as variáveis adicionais para as colunas (77 possíveis soluções).

Tabela 4.7 Variáveis de Projeto Para Colunas

VARIÁVEL SUBDIVISÕES (VP3)		VARIÁVEL INCLINAÇÃO (VP4)	
ÍNDICE	DIVISÕES (QTD)	ÍNDICE	INCLINAÇÃO (%)
0	0	0	0,00%
1	1	1	2,50%
2	2	2	5,00%
3	3	3	7,50%
4	4	4	10,00%
5	5	5	12,50%
6	6	6	15,00%
7	7		
8	8		
9	9		
10	10		

Assim, cada conjunto de entrada de dados resultará em $64 \times 77 = 4928$ possíveis soluções onde se buscará aquela que apresente o mínimo da função objetivo através do uso do algoritmo computacional previamente mencionado no capítulo referente à revisão bibliográfica.

4.5.3. Restrições de Projeto

Anteriormente, foi mencionado acerca das restrições dadas nas análises de otimização paramétricas que são baseadas essencialmente em normativas nacionais. Lá, identificavam-se as limitações de resistência dos elementos frente às ações aplicadas segundo os estados limites últimos e estados limites de serviço. Dessa forma, as restrições de tensão e deslocamento para cada elemento já estariam computadas nessa avaliação.

Além dessas, as restrições devidas aos estados limites de serviço definidas como os deslocamentos excessivos, frequências de vibração e acelerações resultantes também serão mensuradas nas análises.

Nesse foco, para os modelos de galerias, será restrito deslocamento vertical em $L/350$ onde L refere-se ao vão da estrutura segundo normativa NBR 8800/2008. Ainda, segundo

a HIVOSS/2008, a frequência fundamental da estrutura deve ser superior a 2,30 Hz e a aceleração máxima de $0,1 \text{ m/s}^2$ de acordo então com a NBR 6123/88. Ainda, a NBR 6123/1988 menciona que estruturas com frequências naturais de vibração inferiores a 1Hz podem estar sujeitas a um acréscimo da pressão do vento devido a parcela flutuante, o que de fato é indesejável, e se torna mais uma restrição global. Ainda com relação a ação do vento, a NBR 8800/2008 limita que edificações de até um pavimento não apresentem deslocamentos relativos entre o topo e base superior a $H/300$ onde H refere-se à altura da estrutura, ou seja, da galeria no caso.

Para as colunas, o análogo é válido. Restrições devidas à resistência dos elementos bem como deslocamentos dados pela NBR 8800/2008 estarão presentes além das restrições globais de deslocabilidade horizontal de $H/300$ e frequência fundamental superior a 1Hz.

A Tabela 4.7 apresenta o conjunto de restrições globais consideradas.

Tabela 4.8 Restrições de Projeto

RESTRICÇÕES				
NOMENCLATURA	ELEMENTO	RESTRICÇÃO	UNIDADE	LIMITE
R1	GALERIA	DESLOCAMENTO VERTICAL CENTRAL DO VÃO	mm	< L/350
R2	GALERIA	DESLOCAMENTO HORIZONTAL CENTRAL DO VÃO	mm	< L/350
R3	GALERIA	DESLOCAMENTO NO TOPO DA ESTRUTURA NAS EXTREMIDADES	mm	< H/300
R4	GALERIA	FREQUENCIA NATURAL VERTICAL (1º MODO)	Hz	> 2,3
R5	GALERIA	FREQUENCIA FUNDAMENTAL	Hz	> 2,3
R6	GALERIA	ACELERAÇÃO MÁXIMA	m/s^2	< 0,1
R7	COLUNA	DESLOCAMENTO NA EXTREMIDADE SUPERIOR	mm	< H/300
R8	COLUNA	FREQUENCIA NATURAL (1º MODO)	Hz	> 1,0

4.5.4. Função Objetivo

A função objetivo consiste em minimizar a massa combinada de cada tipologia estrutural resultante da soma de todos os elementos dos grupos das galerias e colunas isoladamente. No entanto, na prática, o número a ser obtido deve expressar uma grandeza em termos de comprimento da linha transportador, ou seja, quilogramas de estrutura de aço por metro linear de linha para fins de referência e discussão de resultados.

Para a tipologia de galeria esse número é obtido diretamente apenas dividindo-se a massa total pelo seu vão. Para as colunas esse número também precisa ser computado tal qual a galeria, ou seja, a massa da coluna total será dividida pelo mesmo vão de galeria. Isso é fundamental para a avaliação da função objetivo bem como para a simulação de “layouts” distintos que também é objetivo do trabalho. Pretende-se dar subsídios para avaliação de questões adicionais como: para uma linha de transporte com 210 metros, a solução mais

econômica em termos de consumo de estrutura de aço seria com 10 galerias de 21,00m e 9 colunas internas ou 9 galerias de 26,25m e 8 colunas? Ou existem soluções mais eficientes que as apresentadas acima?

Normalmente, em layouts de implantação com grande extensão, o espaçamento entre colunas é equidistante. Excepcionalmente, em alguns pontos específicos devido às condições de operação do equipamento mecânico, podem haver vãos distintos da modulação padronizada nesse trabalho. No entanto os resultados a serem obtidos da função objetivo para diferentes condições de vãos e alturas de colunas das linhas dos transportadores permitirá o conhecimento geral para qualquer caso dentro dos limites de aplicabilidade obtidos nessa tese. Partindo desse contexto, essa avaliação poderá ser realizada interpolando casos distintos que forem obtidos no passo anterior.

Dito isso, primeiramente buscar-se-á a minimização da função objetivo para as entradas apresentadas anteriormente, ou seja, conhecidos os vãos de galeria e alturas necessárias (caso de “layout” pré-estabelecido) das colunas; e posteriormente será buscado o layout ótimo, onde não existem restrições de projeto de engenharia quanto ao posicionamento de colunas.

O fluxograma da Figura 4.11 apresenta em detalhes o processo de busca da função objetivo.



Figura 4.11 Fluxograma do processo de otimização proposto

4.5.5. Grupo de Perfis

Nas Figuras 4.6 e 4.9, apresentam-se os grupos de seções transversais definidos. A cada seção transversal é atribuído um código que permitirá a definição de características para anteprojetos de estrutura de aço.

Em termos práticos, além das questões teóricas que justifiquem as escolhas, também foi necessário verificar condições de fabricação e disponibilidade mercadológica dos perfis. Logo, as listas de perfis criadas buscaram, para cada grupo de perfis, seções que estejam disponíveis para aquisição ou estejam em processo de laminação continuada.

As Tabelas 4.8, 4.9 e 4.10 apresentam os grupos de perfis, a indicação de cada seção transversal adotada de acordo com sua disponibilidade mercadológica e o código correspondente.

Tabela 4.9 Grupo de Perfis – Galerias 1/2

GALERIA										
GR.	TIPO DE PERFIL	ESPECIFICAÇÃO			CÓDIGO	GR.	TIPO DE PERFIL	ESPECIFICAÇÃO	CÓDIGO	
BS-1 BS-2 BS-3 BS-4 ML-1 ML-2 ML-3 TS-1 TS-2 TS-3	TUBO QUADRADO "Q" OU TUBO RETANGULAR "R"	Q	50,0	x	50,0	x	4,0	Q505040	W 150 x 13,0	W150130
		Q	50,0	x	50,0	x	5,6	Q505056	W 150 x 18,0	W150180
		Q	60,0	x	60,0	x	5,0	Q606050	W 150 x 22,5 (H)	W150225
		Q	60,0	x	60,0	x	7,1	Q606071	W 150 x 24,0	W150240
		Q	70,0	x	70,0	x	5,6	Q707056	W 150 x 29,8 (H)	W150298
		Q	70,0	x	70,0	x	8,0	Q707080	W 150 x 37,1 (H)	W150371
		Q	140,0	x	140,0	x	7,1	Q141471	W 200 x 15,0	W200150
		Q	140,0	x	140,0	x	11,0	Q141411	W 200 x 19,3	W200193
		Q	150,0	x	150,0	x	6,3	Q151563	W 200 x 22,5	W200225
		Q	150,0	x	150,0	x	8,0	Q151580	W 200 x 26,6	W200266
		Q	150,0	x	150,0	x	10,0	Q151510	W 200 x 31,3	W200313
		Q	175,0	x	175,0	x	6,3	Q181863	W 200 x 35,9 (H)	W200359
		Q	175,0	x	175,0	x	8,0	Q181880	W 200 x 41,7 (H)	W200417
		Q	175,0	x	175,0	x	10,0	Q181810	W 200 x 46,1 (H)	W200461
		Q	175,0	x	175,0	x	12,5	Q181813	W 200 x 52,0 (H)	W200520
		Q	180,0	x	180,0	x	8,0	Q181880	HP 200 x 53,0 (H)	W200530
		Q	180,0	x	180,0	x	12,5	Q181813	W 200 x 59,0 (H)	W200590
		Q	200,0	x	200,0	x	6,3	Q202063	W 200 x 71,0 (H)	W200710
		Q	200,0	x	200,0	x	8,0	Q202080	W 200 x 86,0 (H)	W200860
		Q	200,0	x	200,0	x	10,0	Q202010	W 250 x 17,9	W250179
		Q	220,0	x	220,0	x	10,0	Q222210	W 250 x 22,3	W250223
		Q	220,0	x	220,0	x	16,0	Q222216	W 250 x 25,3	W250253
		Q	250,0	x	250,0	x	8,0	Q252580	W 250 x 28,4	W250284
		Q	250,0	x	250,0	x	10,0	Q252510	W 250 x 32,7	W250385
		Q	250,0	x	250,0	x	12,5	Q252513	W 250 x 38,5	W250385
		Q	260,0	x	260,0	x	10,0	Q262610	W 250 x 44,8	W250448
		Q	290,0	x	290,0	x	8,8	Q292988	HP 250 x 62,0 (H)	W250620
		Q	290,0	x	290,0	x	10,0	Q292910	W 250 x 73,0 (H)	W250730
		Q	290,0	x	290,0	x	12,5	Q292913	W 250 x 80,0 (H)	W250800
		R	60,0	x	40,0	x	4,0	R604040	HP 250 x 85,0 (H)	W250850
		R	70,0	x	50,0	x	5,0	R705050	W 250 x 89,0 (H)	W250890
		R	80,0	x	50,0	x	5,6	R805056	W 250 x 101,0 (H)	W250101
		R	90,0	x	50,0	x	5,6	R905056	W 250 x 115,0 (H)	W250115
		R	110,0	x	80,0	x	6,3	R118063	W 310 x 21,0	W310210
		R	110,0	x	80,0	x	8,8	R118088	W 310 x 23,8	W310238
		R	130,0	x	100,0	x	6,3	R131063	W 310 x 28,3	W310283
		R	130,0	x	100,0	x	10,0	R131010	W 310 x 32,7	W310327
		R	150,0	x	120,0	x	7,1	R151271	W 310 x 38,7	W310387
		R	150,0	x	120,0	x	11,0	R151211	W 310 x 44,5	W310445
		R	160,0	x	110,0	x	7,1	R161171	W 310 x 52,0	W310520
		R	170,0	x	100,0	x	7,1	R171071	HP 310 x 79,0 (H)	W310790
		R	200,0	x	100,0	x	6,3	R201063	HP 310 x 93,0 (H)	W310930
		R	200,0	x	100,0	x	8,0	R201080	W 310 x 97,0 (H)	W310970
		R	200,0	x	150,0	x	6,3	R201563	W 310 x 107,0 (H)	W310107
		R	200,0	x	150,0	x	8,0	R201580	HP 310 x 110,0 (H)	W310110
		R	200,0	x	150,0	x	12,5	R201513	W 310 x 117,0 (H)	W310117
		R	240,0	x	200,0	x	10,0	R242010	HP 310 x 125,0 (H)	W310125
R	240,0	x	200,0	x	16,0	R242016	W 360 x 32,9	W360329		
R	250,0	x	150,0	x	6,3	R251563	W 360 x 39,0	W360390		
R	250,0	x	150,0	x	8,0	R251580	W 360 x 44,0	W360440		
R	250,0	x	150,0	x	10,0	R251510	W 360 x 51,0	W360510		
R	250,0	x	190,0	x	10,0	R251910	W 360 x 57,8	W360578		
R	250,0	x	190,0	x	16,0	R251916	W 360 x 64,0	W360640		
R	260,0	x	180,0	x	10,0	R261810	W 360 x 72,0	W360720		
R	260,0	x	180,0	x	16,0	R261816	W 360 x 79,0	W360790		
R	280,0	x	160,0	x	10,0	R281610	W 360 x 91,0 (H)	W360910		
R	280,0	x	160,0	x	16,0	R281616	W 360 x 101,0 (H)	W360101		
R	280,0	x	240,0	x	10,0	R282410	W 360 x 110,0 (H)	W360110		
R	290,0	x	150,0	x	10,0	R291510	W 360 x 122,0 (H)	W360122		
R	290,0	x	150,0	x	16,0	R291516	W 410 x 38,8	W410388		
R	300,0	x	150,0	x	10,0	R301510	W 410 x 46,1	W410461		
R	300,0	x	150,0	x	16,0	R301516	W 410 x 53,0	W410530		
R	300,0	x	200,0	x	8,0	R302080	W 410 x 60,0	W410600		
R	300,0	x	200,0	x	10,0	R302010	W 410 x 67,0	W410670		
R	300,0	x	200,0	x	12,5	R302013	W 410 x 75,0	W410750		
R	310,0	x	210,0	x	10,0	R312110	W 410 x 85,0	W410850		
R	320,0	x	200,0	x	10,0	R322010	W 460 x 52,0	W460520		
R	320,0	x	250,0	x	10,0	R322510	W 460 x 60,0	W460600		
R	320,0	x	250,0	x	12,5	R322513	W 460 x 68,0	W460680		
R	350,0	x	230,0	x	8,8	R352388	W 460 x 74,0	W460740		
R	350,0	x	230,0	x	10,0	R352310	W 460 x 82,0	W460820		
R	350,0	x	230,0	x	12,5	R352313	W 460 x 89,0	W460890		
R	360,0	x	210,0	x	10,0	R362110	W 460 x 97,0	W460970		
R	360,0	x	210,0	x	12,5	R362113	W 460 x 106,0	W460106		
							W 530 x 66,0	W530660		
							W 530 x 72,0	W530720		
							W 530 x 74,0	W530740		
							W 530 x 82,0	W530820		
							W 530 x 85,0	W530850		
							W 530 x 92,0	W530920		
							W 530 x 101,0	W530101		
							W 530 x 109,0	W530109		
							W 610 x 101,0	W610101		
							W 610 x 113,0	W610113		
							W 610 x 125,0	W610125		
							W 610 x 140,0	W610140		
							W 610 x 155,0	W610155		
							W 610 x 174,0	W610174		

Tabela 4.10 Grupo de Perfis – Galerias 2/2

GALERIA				GALERIA			
GR.	TIPO DE PERFIL	ESPECIFICAÇÃO	CÓDIGO	GR.	TIPO DE PERFIL	ESPECIFICAÇÃO	CÓDIGO
DIS-1 DIS-2 DIS-3 DIS-4	TUBO CIRCULAR "C"	C 33,4 x 3,2	C033432	DL-1 DL-2 DL-3 DL-4	"L"	L 1 1/2 x 1 1/2 x 1/8	L038032
		C 33,4 x 3,6	C033436			L 1 3/4 x 1 3/4 x 1/8	L044032
		C 38,1 x 3,2	C038132			L 2 x 2 x 1/8	L051032
		C 42,2 x 3,6	C042236			L 2 x 2 x 3/16	L051048
		C 42,2 x 5,0	C042250			L 2 x 2 x 1/4	L051064
		C 48,3 x 3,6	C048336			L 2 x 2 x 5/16	L051080
		C 48,3 x 5,0	C048350			L 2 1/2 x 2 1/2 x 3/16	L064048
		C 60,3 x 4,0	C060340			L 2 1/2 x 2 1/2 x 1/4	L064064
		C 60,3 x 5,6	C060356			L 2 1/2 x 2 1/2 x 5/16	L064080
		C 73,0 x 5,0	C073050			L 3 x 3 x 3/16	L076048
		C 73,0 x 7,1	C073071			L 3 x 3 x 1/4	L076064
		C 88,9 x 5,6	C088956			L 3 x 3 x 5/16	L076080
		C 88,9 x 8,0	C088980			L 3 x 3 x 3/8	L076096
		C 101,6 x 5,6	C101656			L 3 1/2 x 3 1/2 x 1/4	L089064
		C 101,6 x 8,0	C101680			L 3 1/2 x 3 1/2 x 5/16	L089080
		C 114,3 x 6,3	C114363			L 3 1/2 x 3 1/2 x 3/8	L089096
		C 114,3 x 8,8	C114388			L 4 x 4 x 1/4	L102064
		C 141,3 x 6,3	C141363			L 4 x 4 x 5/16	L102080
		C 141,3 x 10,0	C141310			L 4 x 4 x 3/8	L102096
		C 168,3 x 7,1	C168371			L 4 x 4 x 1/2	L102127
		C 168,3 x 11,0	C168311			L 5 x 5 x 1/4	L127064
		C 219,1 x 8,0	C219180			L 5 x 5 x 5/16	L127080
		C 219,1 x 12,5	C219113			L 5 x 5 x 3/8	L127096
		C 273,0 x 10,0	C273010			L 5 x 5 x 1/2	L127127
		C 273,0 x 16,0	C273016			L 6 x 6 x 3/8	L152096
		C 323,8 x 10,0	C323810			L 6 x 6 x 1/2	L152127
		C 323,8 x 17,5	C323818			L 6 x 6 x 5/8	L152159
		C 355,6 x 10,0	C355610				
		C 355,6 x 12,5	C355613				

LEGENDA	
BS - 1	BANZO SUPERIOR - 1
BS - 2	BANZO SUPERIOR - 2
BS - 3	BANZO SUPERIOR - 3
BS - 4	BANZO SUPERIOR - 4
ML-1	MONTANTE LATERAL - 1
ML-2	MONTANTE LATERAL - 2
ML-3	MONTANTE LATERAL - 3
TS-1	TRANSVERSINA SUPERIOR - 1
TS-2	TRANSVERSINA SUPERIOR - 2
TS-3	TRANSVERSINA SUPERIOR - 3
BI - 1	BANZO INFERIOR - 1
BI - 2	BANZO INFERIOR - 2
BI - 3	BANZO INFERIOR - 3
BI - 4	BANZO INFERIOR - 4
TI - 1	TRANSVERSINA INFERIOR - 1
TI - 2	TRANSVERSINA INFERIOR - 2
TI - 3	TRANSVERSINA INFERIOR - 3
MLP	MONTANTE LATERAL PÓRTICO
TSP	TRANSVERSINA SUPERIOR PORTICO
TIP	TRANSVERSINA INFERIOR PORTICO
DIS-1	DIAGONAL SUPERIOR / INFERIOR - 1
DIS-2	DIAGONAL SUPERIOR / INFERIOR - 2
DIS-3	DIAGONAL SUPERIOR / INFERIOR - 3
DIS-4	DIAGONAL SUPERIOR / INFERIOR - 4
DL-1	DIAGONAL LATERAL - 1
DL-2	DIAGONAL LATERAL - 2
DL-3	DIAGONAL LATERAL - 3
DL-4	DIAGONAL LATERAL - 4

Tabela 4.11 Grupo de Perfis - Colunas

GRUPO	TIPO DE PERFIL	ESPECIFICAÇÃO	CÓDIGO	COLUNA			
				GRUPO	TIPO DE PERFIL	ESPECIFICAÇÃO	CÓDIGO
GC-1	W/H	W 150 x 13,0	W150130	GC-2	2L	2L 1 1/2 X 1 1/2 X 1/8	L038032
		W 150 x 18,0	W150180			2L 1 3/4 X 1 3/4 X 1/8	L044032
		W 150 x 22,5 (H)	W150225			2L 2 X 2 X 1/8	L051032
		W 150 x 24,0	W150240			2L 2 X 2 X 3/16	L051048
		W 150 x 29,8 (H)	W150298			2L 2 X 2 X 1/4	L051064
		W 150 x 37,1 (H)	W150371			2L 2 X 2 X 5/16	L051080
		W 200 x 15,0	W200150			2L 2 1/2 X 2 1/2 X 3/16	L064048
		W 200 x 19,3	W200193			2L 2 1/2 X 2 1/2 X 1/4	L064064
		W 200 x 22,5	W200225			2L 2 1/2 X 2 1/2 X 5/16	L064080
		W 200 x 26,6	W200266			2L 3 X 3 X 3/16	L076048
		W 200 x 31,3	W200313			2L 3 X 3 X 1/4	L076064
		W 200 x 35,9 (H)	W200359			2L 3 X 3 X 5/16	L076080
		W 200 x 41,7 (H)	W200417			2L 3 X 3 X 3/8	L076096
		W 200 x 46,1 (H)	W200461			2L 3 1/2 X 3 1/2 X 1/4	L089064
		W 200 x 52,0 (H)	W200520			2L 3 1/2 X 3 1/2 X 5/16	L089080
		HP 200 x 53,0 (H)	W200530			2L 3 1/2 X 3 1/2 X 3/8	L089096
		W 200 x 59,0 (H)	W200590			2L 4 X 4 X 1/4	L102064
		W 200 x 71,0 (H)	W200710			2L 4 X 4 X 5/16	L102080
		W 200 x 86,0 (H)	W200860			2L 4 X 4 X 3/8	L102096
		W 250 x 17,9	W250179			2L 4 X 4 X 1/2	L102127
		W 250 x 22,3	W250223			2L 5 X 5 X 1/4	L127064
		W 250 x 25,3	W250253			2L 5 X 5 X 5/16	L127080
		W 250 x 28,4	W250284			2L 5 X 5 X 3/8	L127096
		W 250 x 32,7	W250385			2L 5 X 5 X 1/2	L127127
		W 250 x 38,5	W250385			2L 6 X 6 X 3/8	L152096
		W 250 x 44,8	W250448			2L 6 X 6 X 1/2	L152127
		HP 250 x 62,0 (H)	W250620			2L 6 X 6 X 5/8	L152159
		W 250 x 73,0 (H)	W250730			2L 6 X 6 X 3/4	L152191
		W 250 x 80,0 (H)	W250800			2L 8 X 8 X 5/8	L203159
		HP 250 x 85,0 (H)	W250850			2L 8 X 8 X 3/4	L203191
		W 250 x 89,0 (H)	W250890				
		W 250 x 101,0 (H)	W250101				
		W 250 x 115,0 (H)	W250115				
		W 310 x 21,0	W310210				
		W 310 x 23,8	W310238				
		W 310 x 28,3	W310283				
		W 310 x 32,7	W310327				
		W 310 x 38,7	W310387				
		W 310 x 44,5	W310445				
		W 310 x 52,0	W310520				
		HP 310 x 79,0 (H)	W310790				
		HP 310 x 93,0 (H)	W310930				
		W 310 x 97,0 (H)	W310970				
		W 310 x 107,0 (H)	W310107				
		HP 310 x 110,0 (H)	W310110				
		W 310 x 117,0 (H)	W310117				
		HP 310 x 125,0 (H)	W310125				
		W 360 x 32,9	W360329				
		W 360 x 39,0	W360390				
		W 360 x 44,0	W360440				
		W 360 x 51,0	W360510				
		W 360 x 57,8	W360578				
		W 360 x 64,0	W360640				
		W 360 x 72,0	W360720				
		W 360 x 79,0	W360790				
		W 360 x 91,0 (H)	W360910				
		W 360 x 101,0 (H)	W360101				
		W 360 x 110,0 (H)	W360110				
		W 360 x 122,0 (H)	W360122				
		W 410 x 38,8	W410388				
		W 410 x 46,1	W410461				
		W 410 x 53,0	W410530				
		W 410 x 60,0	W410600				
		W 410 x 67,0	W410670				
		W 410 x 75,0	W410750				
		W 410 x 85,0	W410850				
		W 460 x 52,0	W460520				
		W 460 x 60,0	W460600				
		W 460 x 68,0	W460680				
		W 460 x 74,0	W460740				
		W 460 x 82,0	W460820				
		W 460 x 89,0	W460890				
		W 460 x 97,0	W460970				
		W 460 x 106,0	W460106				
		W 530 x 66,0	W530660				
		W 530 x 72,0	W530720				
		W 530 x 74,0	W530740				
		W 530 x 82,0	W530820				
		W 530 x 85,0	W530850				
		W 530 x 92,0	W530920				
		W 530 x 101,0	W530101				
		W 530 x 109,0	W530109				
		W 610 x 101,0	W610101				
		W 610 x 113,0	W610113				
		W 610 x 125,0	W610125				
		W 610 x 140,0	W610140				
		W 610 x 155,0	W610155				
		W 610 x 174,0	W610174				

4.5.6. Algoritmos de Otimização

No Capítulo 3, foi apresentado resumo acerca do histórico do uso dos algoritmos bem como suas particularidades e resultados obtidos.

Nesse momento, busca-se um algoritmo que já tenha apresentado bons resultados em soluções de engenharia, que possua um comportamento mais robusto em problemas não lineares e seja de rápida convergência. Embora não existam muitas simulações possíveis para cada conjunto de dados de entrada, a quantidade e diversificação é relevante, o que demanda consistente esforço computacional.

Da revisão bibliográfica, conclui-se que diversos algoritmos de otimização são eficientes e o que acaba os diferenciando é, basicamente, sua robustez. Com esse foco, nesse trabalho opta-se por selecionar um algoritmo que possua três características principais: aplicabilidade em situações de engenharia, sua robustez e a programação do método computacional já desenvolvida.

Inicialmente, existem diversas aplicações utilizando algoritmos genéticos em situações de engenharia. Atualmente vislumbra-se também que muitos algoritmos metaheurísticos também têm sido utilizados, dentre os quais destacam-se o *PSO* e *EPSO* como os mais difundidos. (*Particle Swarm Optimization e Enhanced Particle Swarm Optimization*) principalmente por sua robustez em situações de aplicabilidade de engenharia em estruturas treliçadas. Ainda, como esse trabalho está sendo desenvolvido em VBA/Excel para todas rotinas, muitos algoritmos metaheurísticos já estão implementados, bem como o *EPSO*, o que possibilita sua adoção. Para conhecimento, além dos expostos acima, outros algoritmos metaheurísticos como, por exemplo, o ABC (*Artificial Bee Colony*), SA (*Simulated Annealing*), DE (*Differential Evolution*) e o GA (*Genetic Algorithm*), entre outros, aplicados a mono-objetivo já estão implementados na linguagem de programação adotada. Tal implantação chama-se *XLOptimizer*, um *add-in* para Microsoft Excel, produzido pela empresa *TechnoLogismiki*.

Com relação aos parâmetros do algoritmo, nenhuma modificação será procedida mantendo-se as premissas recomendados no aperfeiçoamento do *PSO* para *EPSO* recomendadas pelos autores. A título de informação, para as simulações a população será de 4 (= variáveis projeto), parâmetro $C1=0,5$, $C2=1,6$, $W0=1,4$, $\Gamma=0,4$, $h=3$, $\alpha=0,99$, $\beta=0,95$, $Pcr=0,22$ e $C3=1,3$. As soluções serão comparadas unicamente

através da avaliação da função objetivo tendo como gerador de números aleatórios o “Twister Mersenne”. O critério de parada foi definido através de tempo de processamento e número de avaliações mínimas da função objetivo. (25 minutos / 150 avaliações)

Adicionalmente, com relação ao algoritmo de otimização, já existe um *Solver* interno evolutivo incorporado no *Microsoft Excel*. Entretanto, para esse problema em específico, o mesmo não se mostrou eficaz na tentativa de definir, em seus processos internos, os parâmetros necessários para o início da resolução do problema de otimização muito provavelmente devido à quantidade de informações compiladas e seu padrão de programação e operação.

4.5.7. Metodologia de Otimização Consolidada

A seguir, de forma objetiva, apresenta-se o fluxo de abordagem e resolução do problema de otimização:

- a) Definem-se os dados de entrada do problema que são: velocidade básica do vento, tipo de transportador e dimensão horizontal da galeria e altura da coluna;
- b) Atribuem-se aleatoriamente valores discretos às variáveis de projeto;
- c) Adiciona-se estimativa inicial (ou atualizada após a etapa “k”) da massa do sistema por tipologia (galeria e coluna);
- d) Geram-se as geometrias básicas dos modelos constituintes do sistema estrutural de acordo com as premissas apresentadas nesse trabalho;
- e) Estaticamente, são definidos os vetores de combinações de carregamentos e analiticamente obtidas áreas aproximadas para cada elemento estrutural de barra para cada tipologia. É gerada a matriz de rigidez inicial da estrutura, aplicadas as forças oriundas das combinações de carregamentos aos nós dos modelos e obtidos os deslocamentos. Procedimentos matemáticos adicionais permitem a obtenção das solicitações das barras;
- f) Acrescentam-se, no pós-processamento, solicitações devido a aplicação de carregamentos/com combinações ao longo do elemento estrutural.
- g) Dimensionam-se os elementos dentro de cada grupo de barras levando-se em consideração restrições de tensão deformação e esbeltez particularmente. A partir de uma lista de perfis, selecionam as seções transversais aprovadas e que apresentam menor massa. (Otimização paramétrica)
- h) A massa estimada é atualizada para soma das massas obtidas em g) para cada tipologia. Substituem-se as propriedades geométricas das barras de acordo com g) e atualiza-se a matriz de rigidez dos modelos estruturais. É atualizado o vetor de carregamentos devido a massa atualizada da estrutura (força nos nós);
- i) Itera-se de “e)” até “h)” até que ocorra convergência da massa e rigidez do sistema (critério de parada);
- j) Verificam-se as restrições globais estáticas e dinâmicas. Caso alguma restrição não seja cumprida, penaliza-se a função objetivo (atribui-se um valor elevado para a função). Caso aprovadas as restrições, o resultado fornece uma solução viável.
- k) Implementa-se o algoritmo de otimização que buscará o mínimo valor para a função objetivo modificando as variáveis de projeto dadas em “b)” e avaliando o atendimento às restrições impostas. Distintas simulações obterão os melhores índices das variáveis de projeto bem como o mínimo valor da função objetivo que é a massa do sistema;
- l) Se a massa obtida em “k)” convergir com a massa atribuída em “c)”, é finalizado o processo e a solução obtida pode, potencialmente, ser a solução ótima de acordo com a metodologia proposta. Caso a massa obtida em “k)” seja distinta da massa atribuída em “c)” atualiza-se essa massa em “c)” para os valores obtidos em “k)” e repete-se de “c)” até “l)” até que os valores converjam;

- m) Finalmente, perturbam-se as variáveis de projeto para índices adjacentes aqueles obtidos no processo de otimização a fim de checar a ocorrência de mínimos locais para a função objetivo. Caso não obtidas melhorias, é encerrado o processo e os resultados consolidados.

Dadas todas as informações acerca do procedimento, a seguir serão abordadas as simulações de distintas situações visando a busca de mínimos globais. Objetiva-se com isso a obtenção de dados relevantes que justifiquem escolhas de configurações aperfeiçoadas de layouts para implantação de estruturas de aço para o transporte de graneis, objetivo deste trabalho.

5. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES NUMÉRICAS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo os sistemas estruturais serão simulados para interação entre distintos dados de entrada norteadas pela da avaliação da função objetivo.

5.1. SIMULAÇÕES NUMÉRICAS PARA TRANSPORTADOR DE 48”

O processo de otimização estrutural será procedido através da utilização do algoritmo metaheurístico de otimização *EPSO* tendo como dados de entrada do problema de otimização o transportador de 48” submetido a ação de ventos de 45m/s com vão de galeria (dimensão horizontal) de 24,0m e altura de coluna de 22,50m, ou seja, o mesmo caso utilizado para a validação de dados.

A Figura 5.1 apresenta um “layout” geral de implantação de um transportador contendo informações de identificação das variáveis de projeto e, parcialmente, dos dados de entradas do problema.

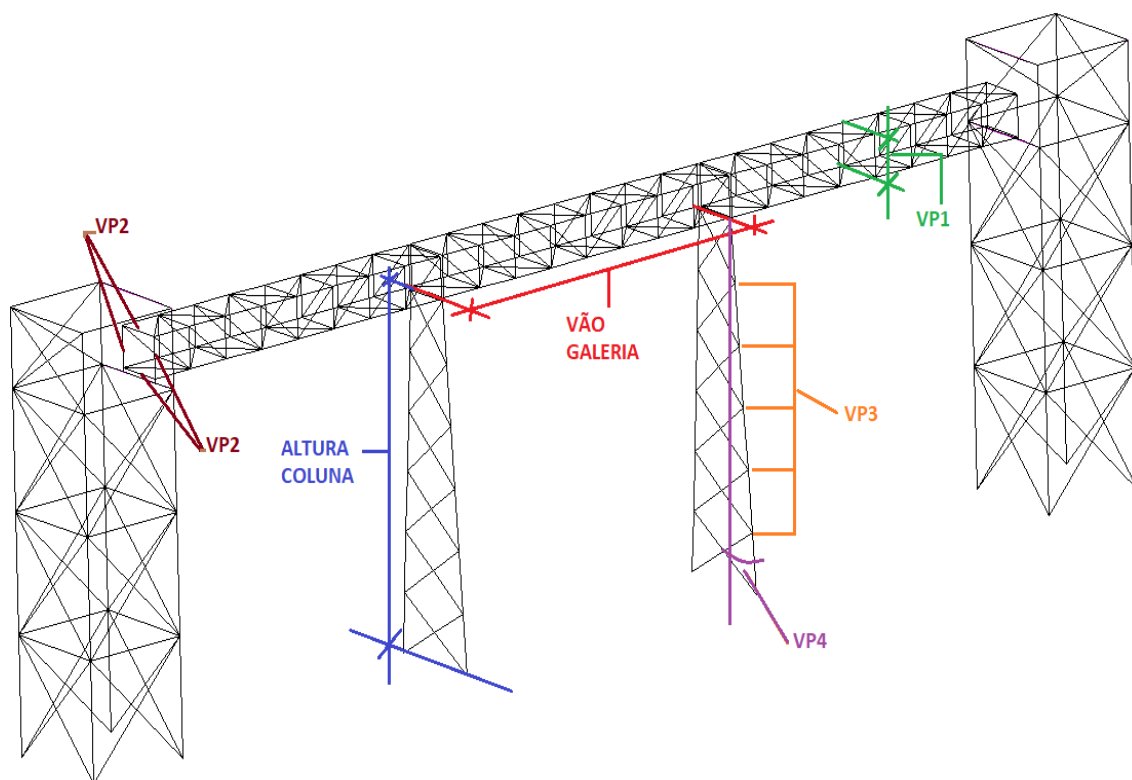


Figura 5.1. Layout Geral - Identificação Elementos

O processamento computacional auxiliado pelo algoritmo foi executado conforme descrito no capítulo anterior tendo como resultados das simulações, a Tabelas 5.1. Nela apresentam-se os perfis estruturais resultantes do processo para as tipologias das galerias e das colunas respectivamente, onde a soma da massa do modelo da galeria com a massa da coluna e, ajustada de acordo com a dimensão longitudinal, resultam em **339,38 kg/m**.

Tabela 5.1. Perfis Resultantes do Processo de Otimização

RESUMO MASSA - GALERIA						TIPOLOGIA	APROVEITAMENTO			GRUPO	COD
PERFIL				kg/m	kg		Sd/Rd	Esb.	ÁREA (mm ²)		
NA	NA	NA	NA	NA	0,00	BANZO SUPERIOR	0%	0%	0,00	BS-1	NA
T.Q./T.RET	70	70	5,6	11,32	135,89	BANZO SUPERIOR	79%	57%	1442,56	BS-2	Q707056
T.Q./T.RET	110	80	6,3	17,55	421,12	BANZO SUPERIOR	89%	48%	2235,24	BS-3	R118063
T.Q./T.RET	110	80	6,3	17,55	210,56	BANZO SUPERIOR	94%	48%	2235,24	BS-4	R118063
NA				NA	0,00	BANZO INFERIOR	0%	0%	0,00	BI-1	NA
W 150 x 13,0				13,00	156,00	BANZO INFERIOR	6%	45%	1660,00	BI-2	W150130
W 150 x 13,0				13,00	312,00	BANZO INFERIOR	49%	45%	1660,00	BI-3	W150130
W 150 x 13,0				13,00	156,00	BANZO INFERIOR	59%	45%	1660,00	BI-4	W150130
NA	NA	NA	NA	NA	0,00	DIAGONAL LATERAL	0%	0%	0,00	DL-1	NA
L	3,00	X	0,25	7,28	115,61	DIAGONAL LATERAL	85%	88%	927,42	DL-2	L076064
L	3,00	X	0,19	5,52	175,29	DIAGONAL LATERAL	97%	88%	703,12	DL-3	L076048
L	3,00	X	0,19	5,52	87,65	DIAGONAL LATERAL	21%	88%	703,12	DL-4	L076048
NA	NA	NA	NA	NA	0,00	DIAGONAL INF/SUP	0%	0%	0,00	DIS-1	NA
TO	73,00	X	5,00	8,38	149,58	DIAGONAL INF/SUP	99%	93%	1068,14	DIS-2	C073050
TO	73,00	X	5,00	8,38	299,16	DIAGONAL INF/SUP	58%	93%	1068,14	DIS-3	C073050
TO	73,00	X	5,00	8,38	149,58	DIAGONAL INF/SUP	10%	93%	1068,14	DIS-4	C073050
NA	NA	NA	NA	NA	0,00	MONTANTE LATERAL	0%	0%	0,00	ML-1	NA
T.Q./T.RET	80,00	110,00	6,30	17,55	364,97	MONTANTE LATERAL	68%	41%	2235,24	ML-2	R118063
T.Q./T.RET	80,00	110,00	6,30	17,55	182,48	MONTANTE LATERAL	54%	41%	2235,24	ML-3	R118063
NA	NA	NA	NA	NA	0,00	TRANSV. SUPERIOR	0%	0%	0,00	TS-1	NA
T.Q./T.RET	50,00	90,00	5,60	11,32	149,48	TRANSV. SUPERIOR	52%	84%	1442,56	TS-2	R905056
T.Q./T.RET	50,00	90,00	5,60	11,32	74,74	TRANSV. SUPERIOR	52%	84%	1442,56	TS-3	R905056
NA				NA	0,00	TRANSV. INFERIOR	0%	0%	0,00	TI-1	NA
W 200 x 15,0				15,00	198,00	TRANSV. INFERIOR	87%	78%	1940,00	TI-2	W200150
W 200 x 15,0				15,00	99,00	TRANSV. INFERIOR	84%	78%	1940,00	TI-3	W200150
W 250 x 22,3				22,30	347,88	PORTICO MONT. LAT.	95%	63%	2890,00	MLP	W250223
W 250 x 22,3				22,30	220,77	PORTICO TRANSV. SUP.	76%	80%	2890,00	TSP	W250223
W 250 x 22,3				22,30	220,77	PORTICO TRANSV. INF.	95%	80%	2890,00	TIP	W250223
				176,11	4226,53						
RESUMO MASSA - COLUNA						TIPOLOGIA	APROVEITAMENTO			GRUPO	COD
PERFIL				kg/m	kg		Sd/Rd	Esb.	ÁREA (mm ²)		
W 530 x 66,0				65,63	2961,46	MONTANTE	90%	55%	8360,00	GC-1	W530660
2L	3	x	3/16	5,52	957,09	DIAGONAL	96%	78%	1406,25	GC-2	L076048
				174,16	3918,56						

Os resultados obtidos das variáveis de projeto foram de índice “0” para a variável VP1 (dimensão vertical do modelo da galeria) e “5” para o índice da variável VP2 (que define o perfil que constitui os pórticos transversais do modelo estrutural da galeria) bem como índice “6” para a variável VP3 (contenções no plano do modelo estrutural da coluna) e “3” para a variável VP4 (inclinação com relação a vertical) que apresentaram minimização da função objetivo dentre as simulações realizadas pela algoritmo de otimização.

A Tabela 5.2 apresenta então o resultado obtido para as variáveis de projeto e o percentual de uso das restrições de projeto.

Tabela 5.2. Resultados da Simulação

ÍNDICE DAS VARIÁVEIS	VP1	0
	VP2	5
	VP3	6
	VP4	3
RESTRIÇÃO ATIVA	R1	32%
	R2	20%
	R3	98%
	R4	62%
	R5	62%
	R6	25%
	R_PARAM. GAL	99%
	R7	39%
	R8	42%
R_PARAM. COL	96%	

A minimização da função objetivo ocorre com variáveis de projeto discretas e, fisicamente representam, dimensão vertical da galeria de 2,60m (VP1=0), seleção de perfis W250x22,3 para os pórticos de estabilidade transversal ao plano (VP2=5), com 6 contenções no plano equidistantes ao longo da altura do modelo estrutural de coluna (VP3=6) e com inclinação dos perfis do banzo do modelo estrutural da coluna de 7,5% (VP4=3) com relação ao eixo vertical.

Com relação as restrições, acima apresenta-se o item “R. PARA M. GAL” que representa o aproveitamento máximo de todos 26 grupos de perfis quer seja por tensão, deformação ou esbeltez para os modelos de galerias. O mesmo é válido para “R. PARA M. COL” que representa a mesma aferição para o modelo tipológico de coluna. Logo, dentre todos os grupos de perfis, haverá aproveitamento máximo de 99% do perfil selecionado no grupo para o máximo das restrições particulares abordadas acima para galerias e 96% para os perfis constituintes das colunas. Conjuntamente à Tabela 5.1, identifica-se que esse aproveitamento percentual ocorrerá no grupo DIS-2 (C073050) para as galerias e GC-2 (L076048) para o modelo de coluna, ambas restrições de tensão (Sd/Rd).

Baseado no parágrafo anterior, permite-se concluir que ocorrera otimização paramétrica de lateralidade em todas as análises executadas. Esses dois parâmetros se apresentarão com aproveitamentos das restrições particulares próximas aos limites máximos e estarão sempre “ativos” de certa forma.

Já, com relação as restrições de R1 à R6, que são restrições globais para as os modelos de galerias, pode-se observar que a restrição ativa é a R3 que, representa o limite para o deslocamento do topo da galeria. Nesse caso, o índice de aproveitamento da restrição é de 98% (0,98 de H/300 ~ 8,49mm) conforme descrição da Tabela 4.6. Com relação as restrições relativas aos modelos das colunas, a restrição com maior aproveitamento é a

R8 (associada a frequência fundamental da coluna) que é de 42%. Dessa forma, pode-se afirmar que a restrição ativa do sistema estrutural é a R3, visto que “R. PARA M. GAL” e “R. PARA M. COL” estarão sempre ativas.

Outra informação que pode ser obtida é com relação ao perfil associado ao grupo de barras onde, na Tabela 5.1, o mesmo pode ser identificado na coluna “COD”. Em associação com as Tabelas 4.8, 4.9 e 4.10 é possível identificar a seção transversal da barra obtida a partir do seu código correspondente.

As Figuras 5.2 a 5.6 apresenta os resultados qualitativos do comportamento global da estrutura em termos de deslocamento vertical no centro, horizontal no centro na face inferior e face superior, o deslocamento lateral no pórtico de extremidade para o modelo de galeria respectivamente e o deslocamento no topo para a coluna.

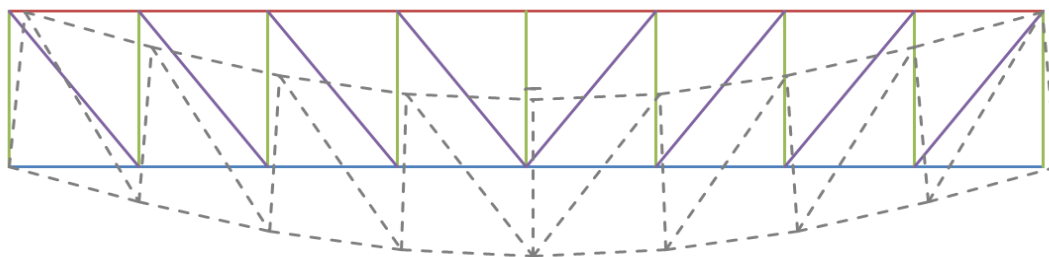


Figura 5.2 TR48/45/24,0/22,5 - Deslocamento Vertical

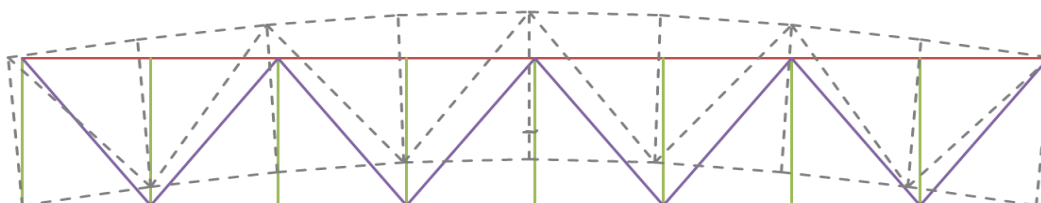


Figura 5.3 TR48/45/24,0/22,5 - Deslocamento Horizontal – Face Inferior

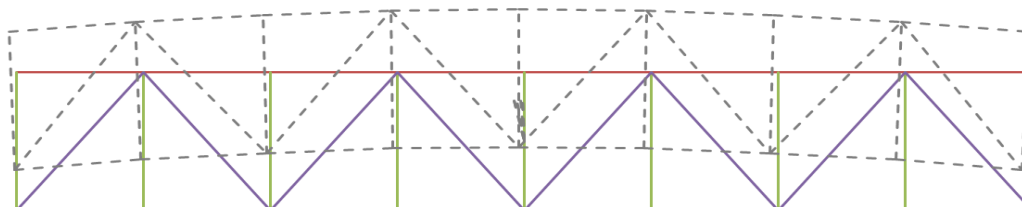


Figura 5.4. TR48/45/24,0/22,5 - Deslocamento Horizontal – Face Superior

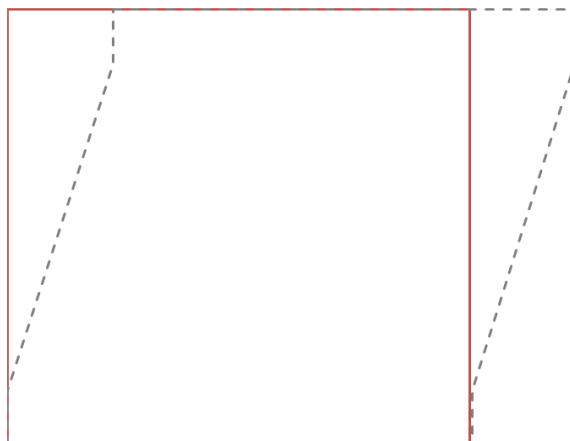


Figura 5.5. TR48/45/24,0/22,5 - Deslocamento Transversal – Extremidade

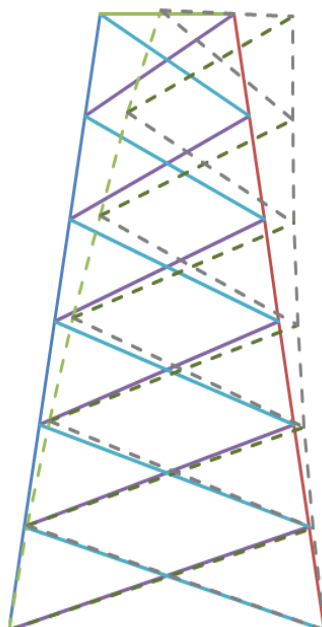


Figura 5.6 TR48/45/24,0/22,5 - Deslocamento Horizontal - Coluna

Com relação as verificações quanto a análise dinâmica, os Gráficos de 5.1 a 5.4 representam as funções/respostas da estrutura geradas/obtidas para a aferição da aceleração máxima respectivamente para a função de excitação, deslocamento (metros x segundos), velocidade (m/s x segundos) e aceleração vertical (m/s^2 x segundos) obtidas em 3 pontos (nós da estrutura) conforme conceptualização dada na Figura 3.17.

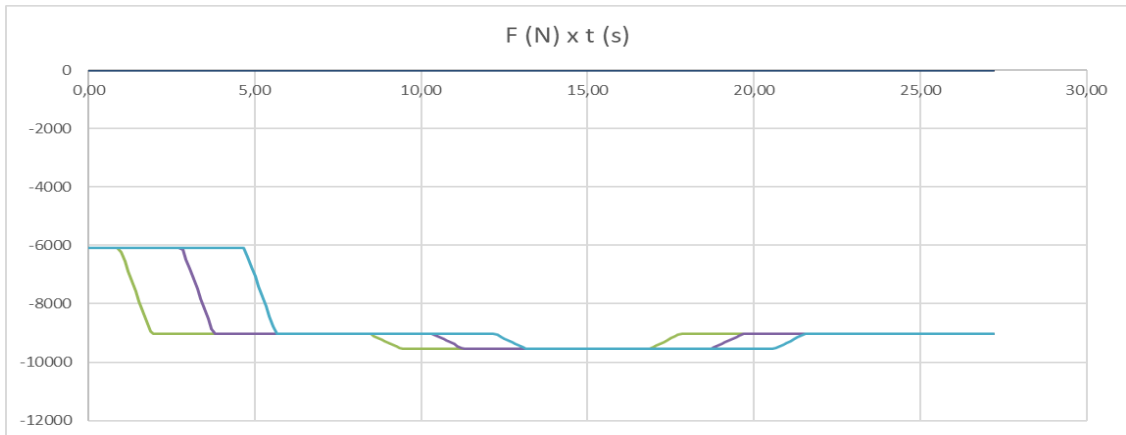


Gráfico 5.1. TR48/45/24,0/22,5 - Função de Carga Transiente - Plotada em 3 posições

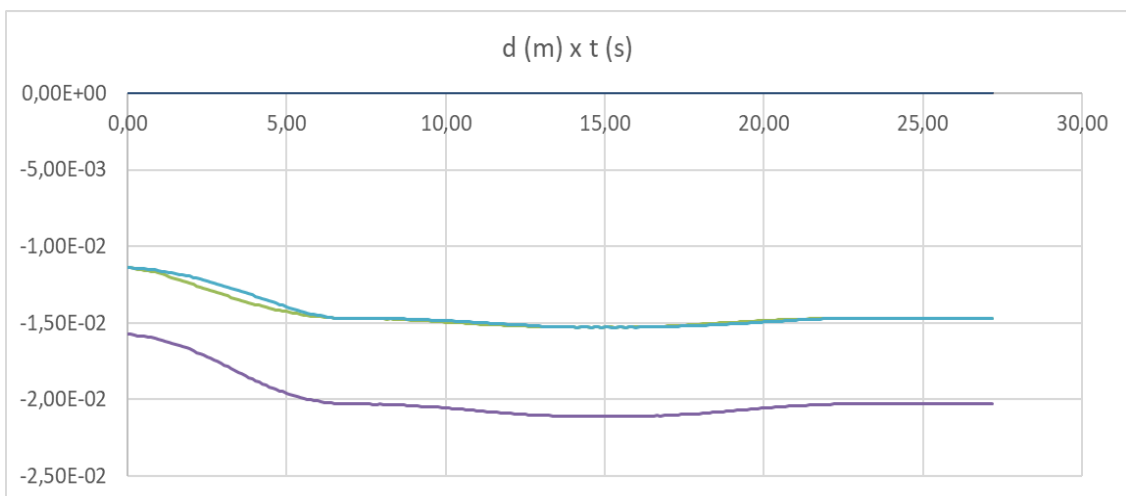


Gráfico 5.2. TR48/45/24,0/22,5 Deslocamento - 3 pontos distintos

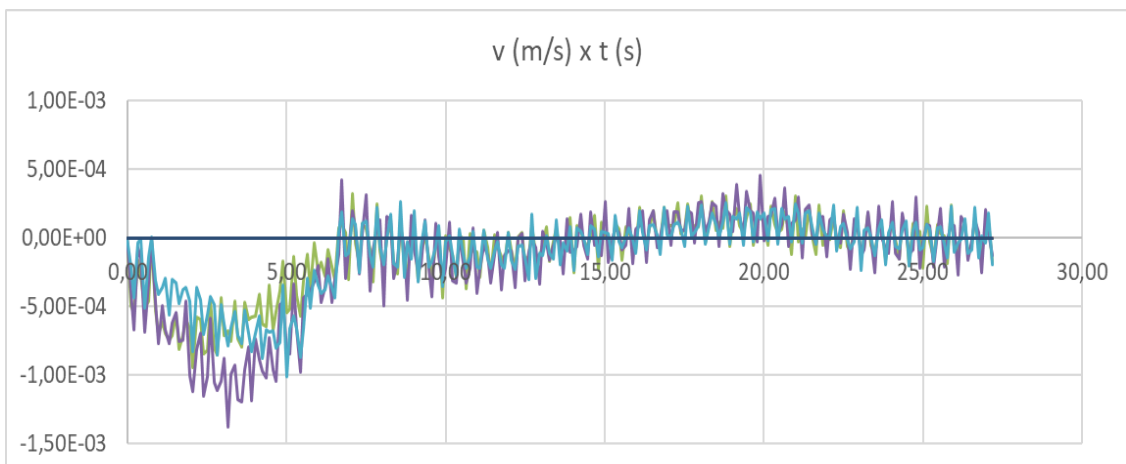


Gráfico 5.3. TR48/45/24,0/22,5 - Velocidade - 3 pontos distintos

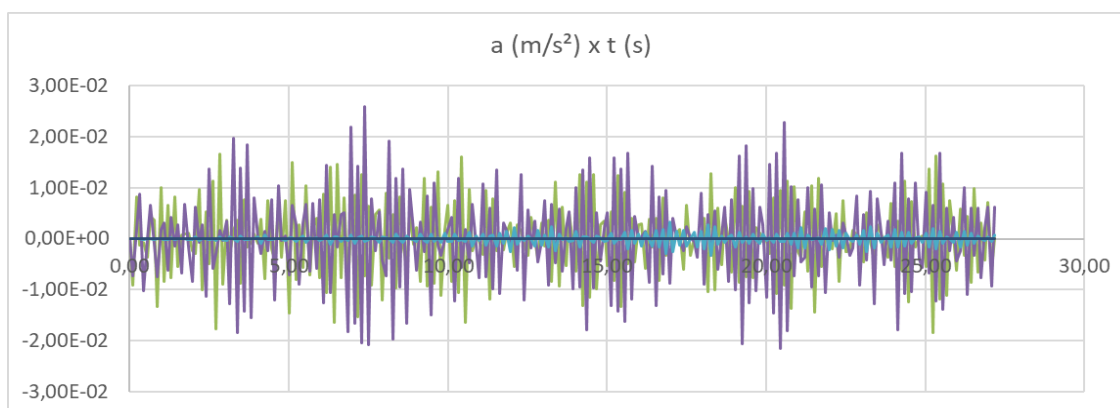


Gráfico 5.4. TR48/45/24,0/22,5 - Aceleração - 3 pontos distintos

É importante salientar que todos os resultados obtidos nesse capítulo são aferidos para todo e qualquer conjunto de modificações dos dados de entrada o que, numericamente, penaliza o desempenho computacional e acaba reduzindo substancialmente a quantidade de simulações por segundo. Por exemplo, nesse caso, obtiveram-se apenas 6 verificações por minuto.

Complementando, a Figura 5.5 apresenta o desempenho do algoritmo *EPSO* na busca pelo mínimo da função objetivo.

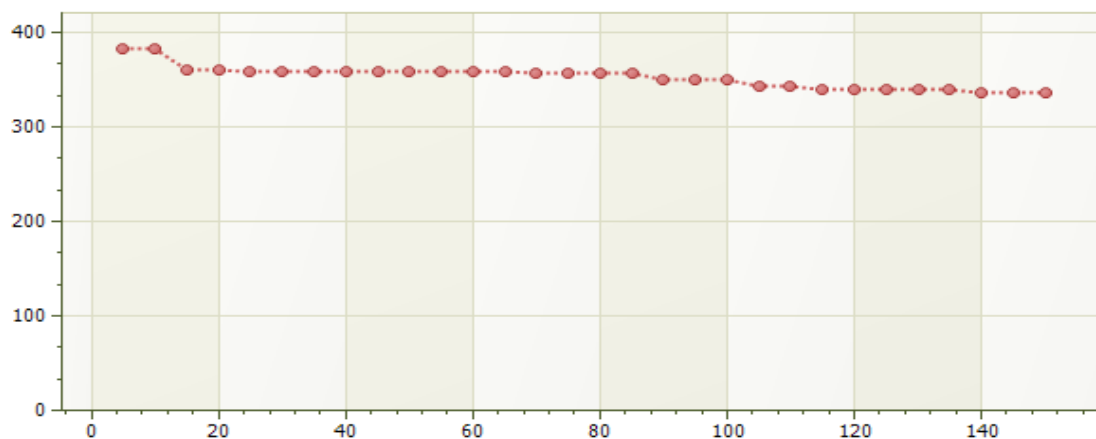


Gráfico 5.5. TR48/45/24,0/22,5 - Curva de Convergência da Função Objetivo (Massa (kg/m) x Iterações)

Aqui, uma observação se faz necessária. Ao longo do processo, em muitas situações houve direcionamento à mínimos locais da função indesejados. O problema só pode ser contornado maximizando o número de iterações e checando os resultados obtidos com aprofundamento local.

Complementando, para a obtenção e verificação de tendências, buscam-se outras simulações de forma a obter o mínimo global de acordo com a metodologia proposta para todo o sistema estrutural definido a partir do computo da massa da coluna e galeria concomitantemente. A seguir, essas simulações são realizadas tomando-se vãos de comprimento de galeria entre 15m e 33m com incremento de 3,0m para cada aferição, tendo como dados de entrada do problema de otimização o mesmo transportador e vento aplicado. O passo de 3,0 metros foi estabelecido em função da modulação da estrutura adicional de suporte do transportador e também da quantidade de simulações e tempo de processamento computacional.

Assim, dado o exposto no parágrafo anterior, o Gráfico 5.6 apresenta a massa resultante (função objetivo) para esses diferentes vãos discretos de galeria com colunas de 22,5m, transportador de 48” submetidos a vento de 45m/s.

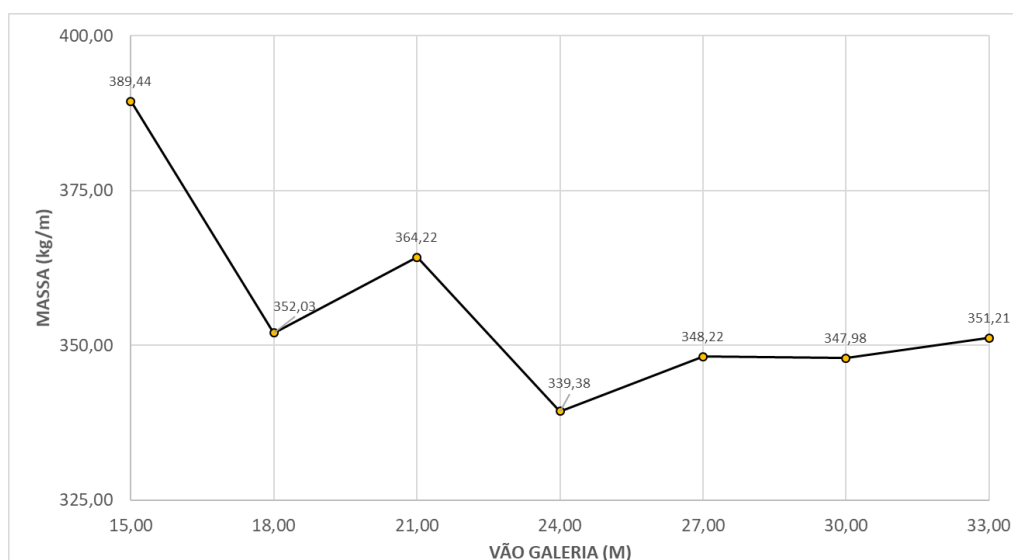


Gráfico 5.6. TR48/45/VAR/22,5 – Função Objetivo (VAR Discreto)

Identifica-se que uma solução otimizada é obtida, **discretamente**, em vãos de 24m com taxa de 339,38 kg/m conforme antes apresentado. A Tabela 5.1 já apresentou as seções resultantes do processo de otimização e a Tabela 5.2, as informações acerca das variáveis de projeto para a solução discreta selecionada (massa mínima e vão de 24m).

As informações mencionadas acima são relevantes para o desenvolvimento de anteprojetos de engenharia. A consulta dos mínimos obtidos no Gráfico 5.6 aliados conhecimento dos grupos de perfis identificados permite o conhecimento prévio de

características geométricas aprimoradas e da massa da estrutura, restrições ativas e do grupo de perfis.

Ainda, discretamente, obteve-se que, nas condições específicas apresentadas, o vão de galeria de 24,0m apresenta a solução ótima. No entanto, esse vão foi considerado discreto. Caso seja modificado esse dado de entrada do projeto para **variável de projeto contínua** consegue-se obter, a um custo computacional adicional, o vão de galeria onde, continuamente, se apresenta o mínimo “global” ou, alternativamente, um melhor mínimo local. O Gráfico 5.7 apresenta a curva de convergência para essa nova situação.

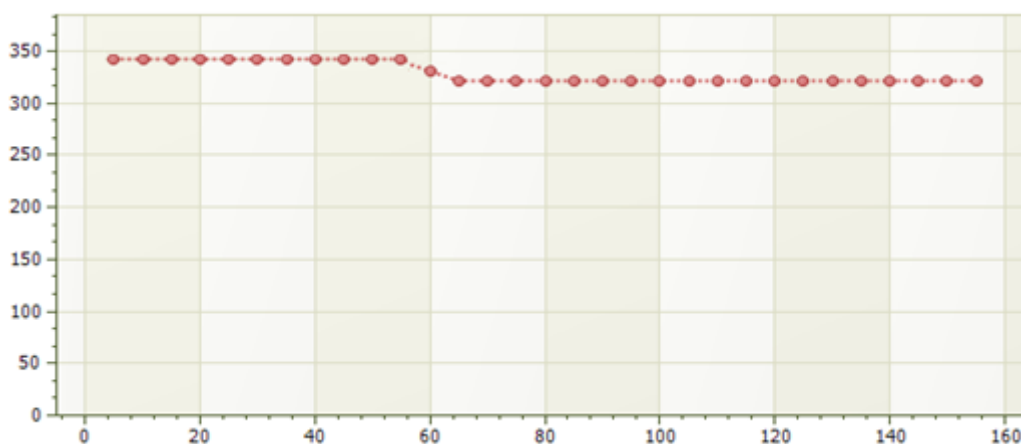


Gráfico 5.7. TR48/45/VAR/22,5 - Curva de Convergência - Vão Como Variável Contínua ((Massa (kg/m) x Iterações)

Pode-se concluir, a partir do Gráfico 5.7, que o resultado não diferiu daquele obtido considerando a entrada de dados “vão da galeria” como discreta, resultando no mesmo mínimo de 24,00 m com consumo de 339,38 kg/m. Tal fato possivelmente está associado as condições geométricas definidas na concepção dessa tese que acabam ocasionando redução da massa da estrutura em geometrias alinhadas com a modulação da estrutura adicional de apoio do transportador. Em linhas gerais, o processo de otimização com parâmetros de entrada contínuos resulta em melhores resultados na minimização da função objetivo, entretanto nesse caso, o mínimo valor obtido no Gráfico 5.7 já se tratava do menor mínimo discreto.

Em termos práticos, e retomando o que foi apresentado na até então, se faz necessário simular outras variações nos dados de entrada a fim de ampliar os casos e agregar maior conhecimento desse tipo de aplicação de engenharia. Adiciona-se aqui, para o mesmo transportador e vento aplicado, a aferição da função objetivo para outras alturas de

colunas distintas. Geralmente, a altura da coluna já é conhecida em função das características de movimentação dos graneis na implantação das linhas de transportadores devido aos níveis do solo existente. No entanto, tal avaliação é importante para verificar se, para alturas distintas de colunas, o mínimo da função objetivo se dará em vãos de galerias diferentes.

O Gráfico 5.8 apresenta curvas adicionais considerando alturas discretas distintas de colunas com 1,50m, 8,50m, 15,50m, 22,50m, 29,50m e 36,50m que foram assim estabelecidas em função das condições computacionais de simulação.

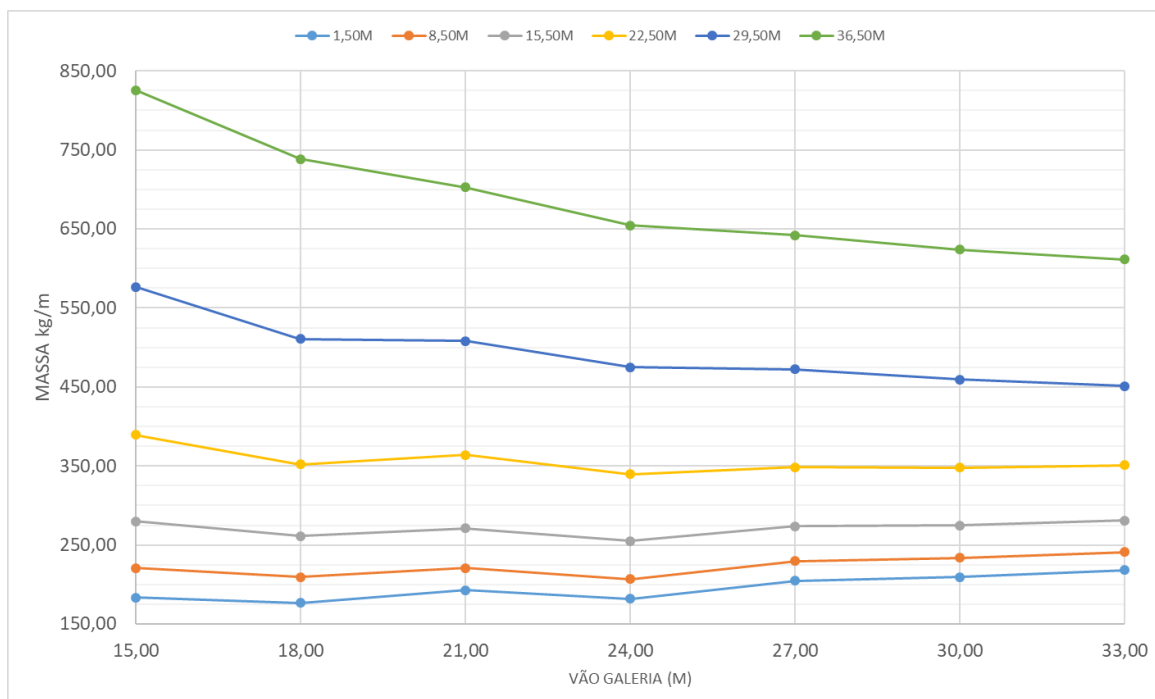


Gráfico 5.8. TR48/45 - Curvas da Função Objetivo para Alturas de Coluna Discretas

Verificar-se que, transportadores mais próximos ao solo, ou seja, com colunas mais baixas, terão menor consumo de matéria prima o que de fato é trivial visto que a massa da coluna será também será menor. O que é importante salientar é que, diferentemente do caso anterior (colunas de 22,5m), por exemplo em colunas de 1,50m o mínimo da função objetivo ocorre no vão de 18,0m discreto e não mais no de 24,0m. Esse comportamento se modifica à medida que a altura da dimensão vertical das colunas é acrescida, dado que, colunas discretas a partir de 8,50m já apresentam mínimo para a função objetivo com galerias de 24,0m. Outra conclusão importante, por exemplo, é que em colunas com 22,5m de altura o valor mínimo apresentado para a função objetivo é de aproximadamente 350 kg/m independentemente do vão da galeria entre 18,0 e 33,0 metros, onde o aumento

da massa da galeria é compensado pela redução de massa da coluna. O Gráfico 5.9 apresenta abordagem gráfica alternativa para a avaliação da função objetivo.

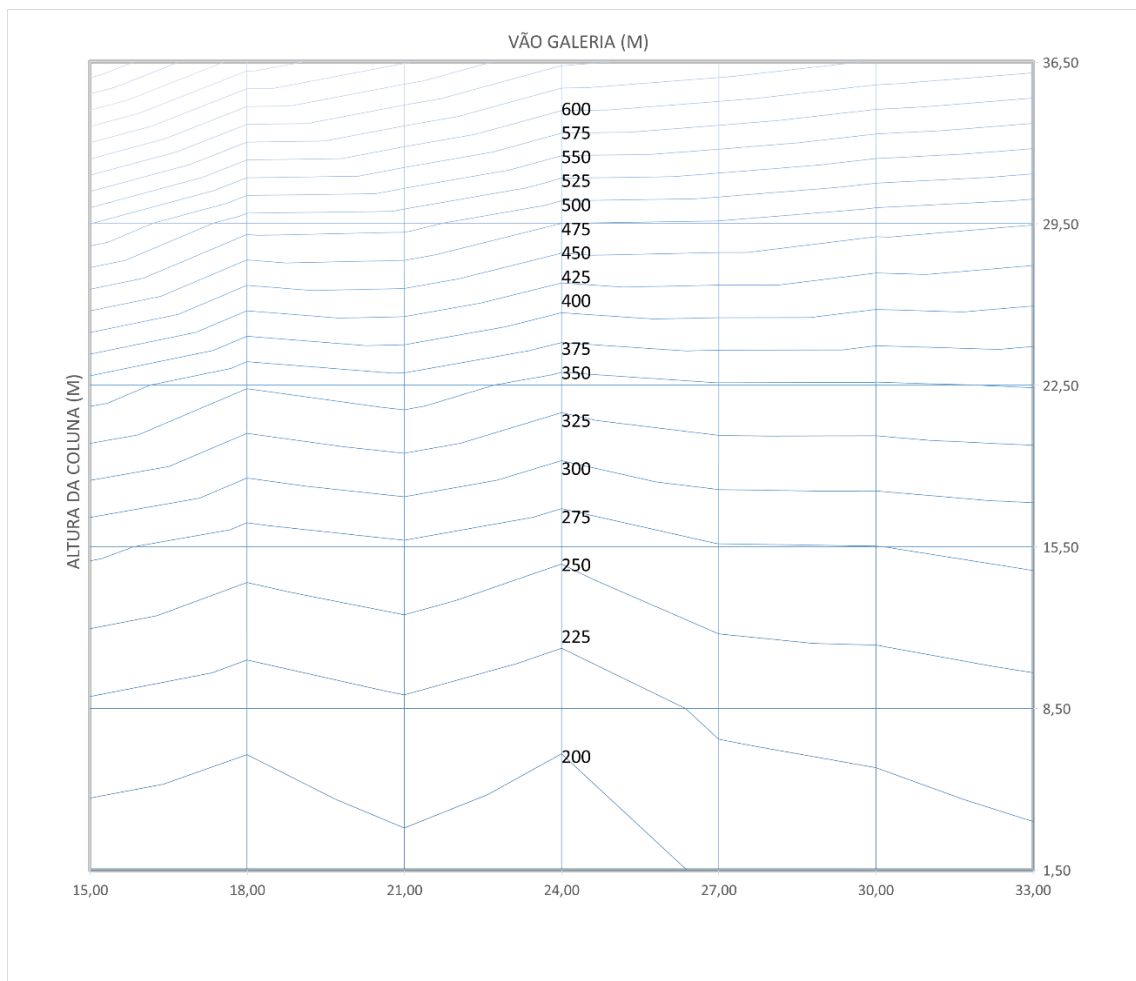


Gráfico 5.9. TR48/45– Isolinhas de Mínimos da Função Objetivo (kg/m)

Nota-se que, para o transportador e vento em questão, a interação na entrada de dados permite a obtenção da massa do sistema estrutural. Exemplificando, tomada altura de colunas de 29,5 metros aliados a vãos de galerias de 21,0 metros, o consumo aproximado de matéria prima será de 500 kg/m. A título de informação, os picos do Gráfico 5.9 serão os pontos de mínimo, como pode ser verificado no conjunto coluna de 22,5m e galeria de 24,0m.

Ainda, a aplicabilidade dessas curvas se mostra válida em locais que apresentam diferença de nível da estrutura da galeria com relação ao solo constantes ao longo da linha do transportador e também em transportadores com suave inclinação longitudinal, que comumente são projetados.

O Gráfico 5.10 apresenta a situação interativa que apresenta mínimo da função objetivo.

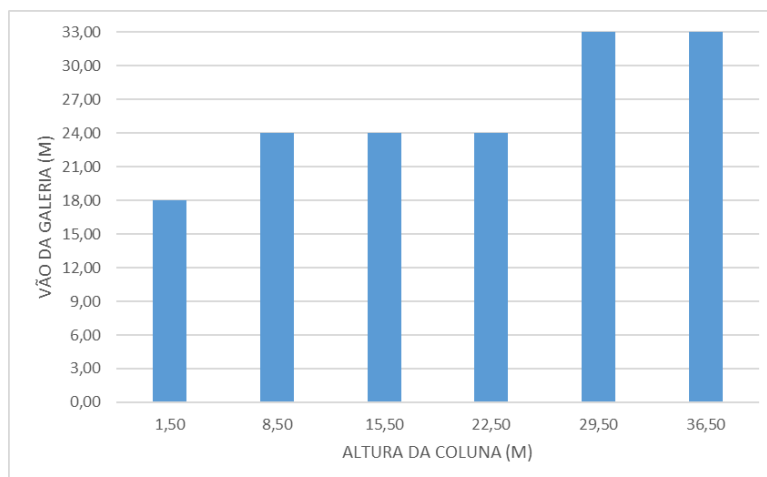


Gráfico 5.10. TR48/45 - Mínimo da Função Objetivo Para Interação de Entradas de Dados Discretas

Importante salientar também que os resultados obtidos são específicos para o transportador e vento considerados e são dados nas Tabelas 5.3 e 5.4. Resumidamente, a combinação de outras tipologias de transportadores com diferentes pressões devidas aos ventos atuantes possibilitam a geração de outros gráficos análogos ao gráfico 5.9 com resultados qualitativa e quantitativamente distintos. Adicionalmente, conhecidos os índices correspondentes das variáveis de projeto, o anteprojeto básico estrutural é viabilizado, permitindo orçamentação e quantificação tipológica de matéria prima. A referência, para cada conjunto de dados de entrada do problema, pode ser obtida nas Tabelas 4.5, 4.6, 4.8, 4.9, 4.10, 5.1 e 5.2.

Tabela 5.3. TR48/45 - Dados de Entrada, Variáveis de Projeto, Massa e Restrições – Resultados Otimizados

DADOS ENTRADA				VARIÁVEIS PROJETO				MASSA			RESTRIÇÕES									
TR	V (M/S)	COL (H)	GAL (M)	VP1	VP2	VP3	VP4	MGAL	MCOL	MASSA KG/M	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R GAL	R7	R8	R COL
48	45	1,50	15,00	1	2	0	0	174,4	9,0	183,4	14%	18%	74%	33%	42%	33%	95%	18%	8%	84%
48	45	8,50	15,00	1	2	3	3	174,4	46,2	220,6	14%	18%	74%	33%	42%	33%	95%	25%	22%	97%
48	45	15,50	15,00	1	2	4	4	174,4	105,8	280,2	14%	18%	74%	33%	42%	33%	95%	26%	29%	95%
48	45	22,50	15,00	1	2	5	3	174,4	215,1	389,4	14%	18%	74%	33%	42%	33%	95%	32%	37%	99%
48	45	29,50	15,00	1	2	4	4	174,4	402,0	576,4	14%	18%	74%	33%	42%	33%	95%	25%	36%	99%
48	45	36,50	15,00	1	2	5	4	174,4	651,3	825,6	14%	18%	74%	33%	42%	33%	95%	24%	38%	99%
48	45	1,50	18,00	0	4	0	0	169,1	7,5	176,6	21%	13%	54%	43%	43%	24%	97%	21%	9%	84%
48	45	8,50	18,00	0	4	2	0	169,1	40,3	209,3	21%	13%	54%	43%	43%	24%	97%	36%	27%	86%
48	45	15,50	18,00	0	4	5	4	169,1	92,5	261,5	21%	13%	54%	43%	43%	24%	97%	30%	31%	98%
48	45	22,50	18,00	0	4	5	4	169,1	183,0	352,0	21%	13%	54%	43%	43%	24%	97%	29%	36%	99%
48	45	29,50	18,00	0	4	4	5	169,1	342,0	511,0	21%	13%	54%	43%	43%	24%	97%	22%	35%	100%
48	45	36,50	18,00	0	4	6	1	169,1	569,5	738,6	21%	13%	54%	43%	43%	24%	97%	51%	68%	100%
48	45	1,50	21,00	0	5	0	0	186,2	6,5	192,7	25%	17%	84%	51%	52%	55%	98%	24%	9%	84%
48	45	8,50	21,00	0	5	2	0	186,2	34,5	220,7	25%	17%	84%	51%	52%	55%	98%	42%	29%	100%
48	45	15,50	21,00	0	5	5	2	186,2	85,0	271,2	25%	17%	84%	51%	52%	55%	98%	44%	39%	97%
48	45	22,50	21,00	0	5	6	4	186,2	178,0	364,2	25%	17%	84%	51%	52%	55%	98%	29%	37%	95%
48	45	29,50	21,00	0	5	4	5	186,2	321,8	508,0	25%	17%	84%	51%	52%	55%	98%	22%	36%	98%
48	45	36,50	21,00	0	5	5	6	186,2	516,3	702,6	25%	17%	84%	51%	52%	55%	98%	18%	35%	98%
48	45	1,50	24,00	0	5	0	0	176,1	5,6	181,8	32%	20%	98%	62%	62%	25%	99%	28%	10%	84%
48	45	8,50	24,00	0	5	2	2	176,1	31,0	207,1	32%	20%	98%	62%	62%	25%	99%	35%	26%	100%
48	45	15,50	24,00	0	5	6	3	176,1	79,0	255,1	32%	20%	98%	62%	62%	25%	99%	41%	38%	99%
48	45	22,50	24,00	0	5	6	3	176,1	163,3	339,4	32%	20%	98%	62%	62%	25%	99%	39%	42%	96%
48	45	29,50	24,00	0	5	5	4	176,1	299,0	475,1	32%	20%	98%	62%	62%	25%	99%	27%	40%	99%
48	45	36,50	24,00	0	5	5	4	176,1	478,5	654,6	32%	20%	98%	62%	62%	25%	99%	26%	43%	100%
48	45	1,50	27,00	0	7	0	0	199,6	5,0	204,6	40%	20%	85%	72%	72%	24%	98%	31%	10%	88%
48	45	8,50	27,00	0	7	2	1	199,6	30,2	229,8	40%	20%	85%	72%	72%	24%	98%	41%	29%	100%
48	45	15,50	27,00	0	7	3	4	199,6	74,0	273,6	40%	20%	85%	72%	72%	24%	98%	32%	34%	95%
48	45	22,50	27,00	0	7	7	3	199,6	148,6	348,2	40%	20%	85%	72%	72%	24%	98%	43%	45%	100%
48	45	29,50	27,00	0	7	4	5	199,6	272,9	472,5	40%	20%	85%	72%	72%	24%	98%	24%	38%	98%
48	45	36,50	27,00	0	7	7	2	199,6	442,3	641,9	40%	20%	85%	72%	72%	24%	98%	39%	61%	99%
48	45	1,50	30,00	0	7	0	0	204,8	4,5	209,3	46%	21%	98%	83%	83%	52%	97%	34%	11%	98%
48	45	8,50	30,00	0	7	3	0	204,8	29,3	234,1	46%	21%	98%	83%	83%	52%	97%	52%	33%	96%
48	45	15,50	30,00	0	7	5	6	204,8	69,9	274,7	46%	21%	98%	83%	83%	52%	97%	29%	33%	99%
48	45	22,50	30,00	0	7	7	3	204,8	143,2	348,0	46%	21%	98%	83%	83%	52%	97%	43%	46%	99%
48	45	29,50	30,00	0	7	5	3	204,8	254,4	459,2	46%	21%	98%	83%	83%	52%	97%	40%	50%	99%
48	45	36,50	30,00	0	7	5	6	204,8	419,0	623,8	46%	21%	98%	83%	83%	52%	97%	19%	38%	98%
48	45	1,50	33,00	0	8	0	0	213,7	4,3	218,0	56%	20%	54%	95%	95%	27%	97%	37%	12%	98%
48	45	8,50	33,00	0	8	2	2	213,7	27,5	241,3	56%	20%	54%	95%	95%	27%	97%	39%	29%	95%
48	45	15,50	33,00	0	8	5	4	213,7	67,1	280,8	56%	20%	54%	95%	95%	27%	97%	38%	37%	100%
48	45	22,50	33,00	0	8	4	4	213,7	137,5	351,2	56%	20%	54%	95%	95%	27%	97%	34%	42%	92%
48	45	29,50	33,00	0	8	4	4	213,7	237,3	451,0	56%	20%	54%	95%	95%	27%	97%	33%	46%	97%
48	45	36,50	33,00	0	8	4	5	213,7	397,6	611,3	56%	20%	54%	95%	95%	27%	97%	23%	43%	99%

Da Tabela 5.3, com relação às variáveis de projeto, a VP1, que é a variável de projeto vinculada à altura, exceto no menor vão de galeria, nos demais casos seu índice não foi modificado, permanecendo então a altura mínima necessária em termos de aplicabilidade de engenharia. Com a relação a VP2, que é vinculada a rigidez lateral da estrutura, percebe-se que esse valor varia e aumenta de acordo com o aumento do vão da galeria, modificando a seção transversal necessária. Com relação a VP3, que identifica o número de contenções da coluna no plano, nota-se que o acréscimo na altura da dimensão vertical também ocasiona acréscimo do índice dessa variável, mas de uma forma estocástica. O mesmo ocorre com a VP4 visto que o processo de otimização geométrico e topológico aliado ao paramétrico da coluna demonstra-se ter comportamento não linear.

A Tabela 5.4 apresenta os perfis obtidos para cada grupo de barras previamente definido.

Com relação às restrições, excetuando-se aquelas vinculadas ao dimensionamento dos grupos, a $R3$ que é diretamente vinculada à rigidez lateral da estrutura (deslocamento lateral limite) foi a **restrição ativa** em grande parte dos casos dados na Tabela 5.3 (83,33%), exceto no vão de galeria de 33,0m que foi $R4/R5$ (14,29% das simulações) que restringem as frequências da estrutura onde, nesse caso, a frequência natural de vibração vertical ($R4$) é a frequência fundamental ($R5$). Nessas, obtiveram-se maior utilização nos vãos superiores das galerias, indicando que em modelos estruturais com maior massa e carregamentos mais elevados possam vir a tornarem-se restrições ativas como foi o caso observado para o vão de galeria de 33,0m. Alternativamente, em uma situação, a restrição $R8$ foi ativa, na coluna de 36,5m com galeria de 18,0m (representa 2,38% das simulações). Restrições de deslocamento vertical e horizontal da galeria e aceleração máxima não foram limitantes bem como o deslocamento lateral da coluna.

Finalmente, menciona-se que, devido às limitações impostas aos grupos de seções e a discretização dos dados de entrada e variáveis de projeto, os resultados obtidos na Tabela 5.4 podem ainda ser aprimorados pontualmente caso haja maior diversificação dos perfis dentro de cada grupo de barras principalmente nos vãos de galeria e alturas de colunas superiores, principalmente. Dessa forma, etapas adicionais de otimização podem ser empregadas aperfeiçoando os resultados obtidos.

As Figuras 5.7 e 5.8 identificam as variáveis de projeto adotadas nas simulações.

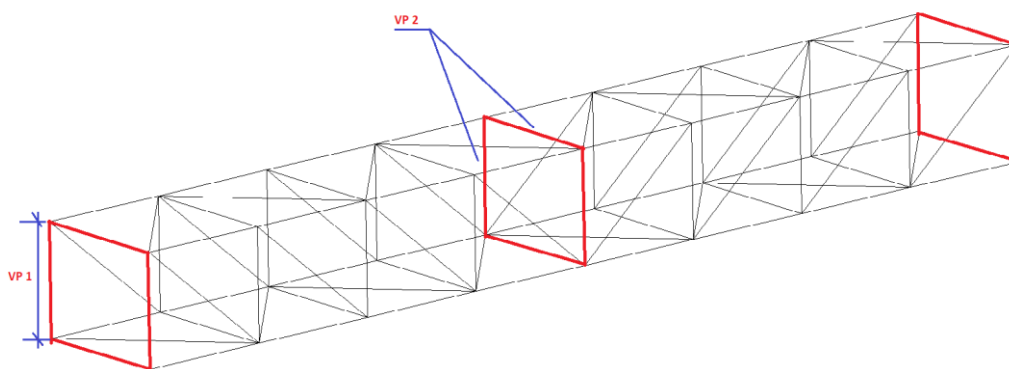


Figura 5.7. Variáveis Projeto - Galerias

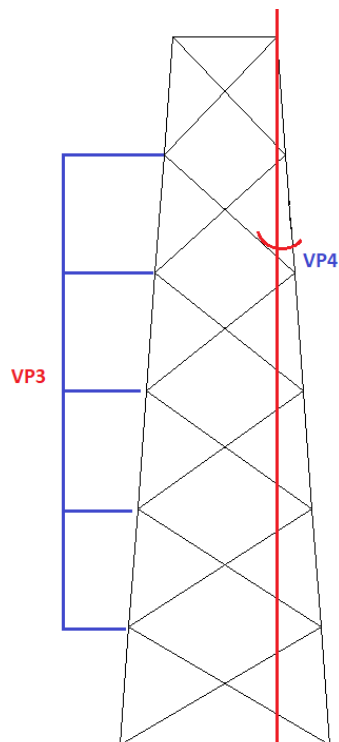


Figura 5.8 Variáveis Projeto - Colunas

Com relação às condições de reprodução dos resultados apresentados. Resumidamente, as geometrias podem ser confeccionadas através do computo das variáveis de projeto e dos dados de entrada. As condições de carregamentos e combinações de ações propiciam as entradas necessárias para a análise estrutural que se fizerem necessárias. Com isso, baseando-se nos resultados obtidos nos processos de otimização, os perfis aqui descritos poderão ser utilizados de forma a reproduzir os dados apresentados nessa obra. Assim, entende-se que as respostas a serem obtidas sejam análogas as apresentadas no capítulo referente a validação de dados.

Adicionalmente, em muitos casos, o problema de otimização pôde ser simplificado devido a resultados obtidos no modelo de galeria. Por exemplo, em relevante parcela das simulações discretas, a massa mínima obtida para o modelo de galerias foi resultante de índices das variáveis de projeto das galerias que, por sua vez, resultavam em condições mínimas de carregamento e combinações de ações às colunas. Exemplificando, com variável VP1 no “lower bound” aliada à obtenção da massa mínima da galeria (subentende-se pressão mínima de vento a ser aplicada ao modelo de colunas oriunda do modelo de galeria) elimina-se a necessidade de busca, no processo de otimização, por quatro variáveis de projeto ótimas sendo necessária, agora, apenas duas – ou seja, as

variáveis vinculadas unicamente às colunas. Desta forma, também acaba-se otimizando o desempenho computacional.

Ainda, com relação ao algoritmo e sua robustez, o processo de otimização embora tenha se mostrado eficiente, por vezes não se mostrou eficaz na busca dos mínimos globais para a metodologia proposta, enfrentando dificuldades numéricas atreladas aos mínimos locais visto que, resultados de distintas simulações iterativas para a mesma entrada de dados resultaram em variáveis de projeto diferentes com consequentes resultados para a função objetivo distintos. Como solução, a quantidade de simulações foi repetida até que houvesse convergência entre duas iterações sucessivas e adicionalmente, perturbações foram proferidas (modificação dos índices das variáveis de projeto de forma manual para a adjacência da solução computacional obtida) a fim de checar a robustez da solução final obtida pelo algoritmo. Com isso quer mencionar-se que, embora não tenha sido realizado levantamento estatístico do achado, soluções de mínimos locais ocorreram e devido às condições da programação específica permitiu-se que fossem assim contornadas.

Nas simulações realizadas não está computada a massa das conexões (uniões entre elementos) na função objetivo do problema de otimização. Esses valores são, em geral, dependentes da experiência e condições de implementação por parte do profissional executor e podem vir a ter valores bastante distintos. Recomenda-se que, posteriormente, se adicione percentual para contemplar essas massas, que podem variar entre 10% e 20% do valor da função objetivo obtida.

Dadas as informações prestadas até então, no subcapítulo seguinte serão apresentados os resultados simulados para os demais transportadores, em processo análogo ao que fora executado até então e conclusões acerca dos mesmos serão apresentadas.

5.2. SIMULAÇÕES NUMÉRICAS DOS DEMAIS TRANSPORTADORES

5.2.1. Avaliação da Função Objetivo

De maneira análoga a simulação apresentada anteriormente para o transportador de 48”, as simulações numéricas procedidas para os demais transportadores estão reunidas no **Apêndice A**, onde se permite a quantificação dos valores da função objetivo especificadamente para distintas interações entre os dados de entrada do problema de otimização. Adicionalmente, são feitos comentários sobre cada tipo de transportador com relação aos parâmetros de otimização.

No **Apêndice B** são apresentadas tabelas contendo resumo dos mínimos valores obtidos nas simulações discretas para a massa de cada tipologia estrutural e em conjunto, geradas a partir dos dados do **Apêndice A**.

Resumidamente, abaixo apresentam-se as curvas contendo referências para verificações de tendências do comportamento qualitativo generalizado dentre todas as simulações estudadas. Assim, o gráfico 5.11 apresenta os valores médios, mínimos e máximos para a tipologia de galeria dentre todos os transportadores simulados.

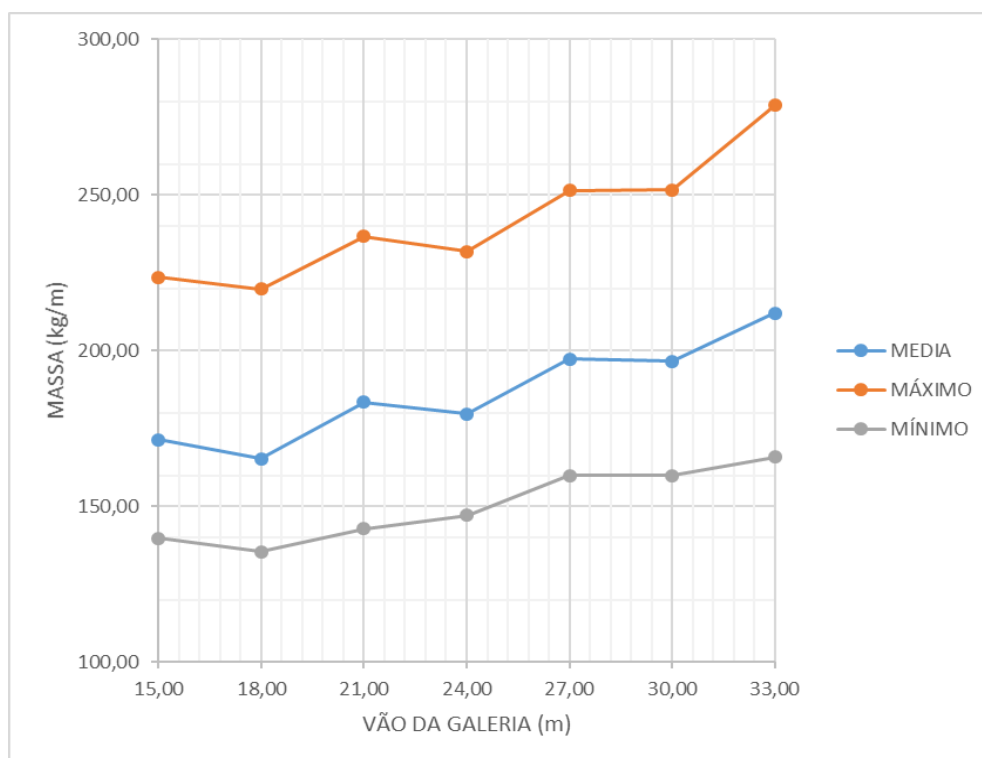


Gráfico 5.11 Galerias – Curvas Média, Mínima e Máxima

Percebe-se que há uma tendência de crescimento da massa linear da tipologia de galeria a medida que seu comprimento aumenta. A massa mínima obtida ocorre no vão de 18m e a máxima no vão de 33m. Os valores obtidos na curva mínima são aproximadamente 81% dos valores obtidos na curva média enquanto que na curva máxima representam cerca de 130%. A diferença máxima entre o mínimo e máximo para o mesmo vão de galeria foi de 112,92kg/m. Ainda, com relação a tendências de comportamento, a curva mínima representa menores transportadores e a curva máxima o oposto. A curva média foi gerada utilizando os resultados de ambos os ventos de forma conjunta. No **Apêndice B**, os resultados podem ser obtidos mais especificadamente.

Análogo às galerias, o gráfico 5.12 apresenta os resultados para o modelo tipológico das colunas.

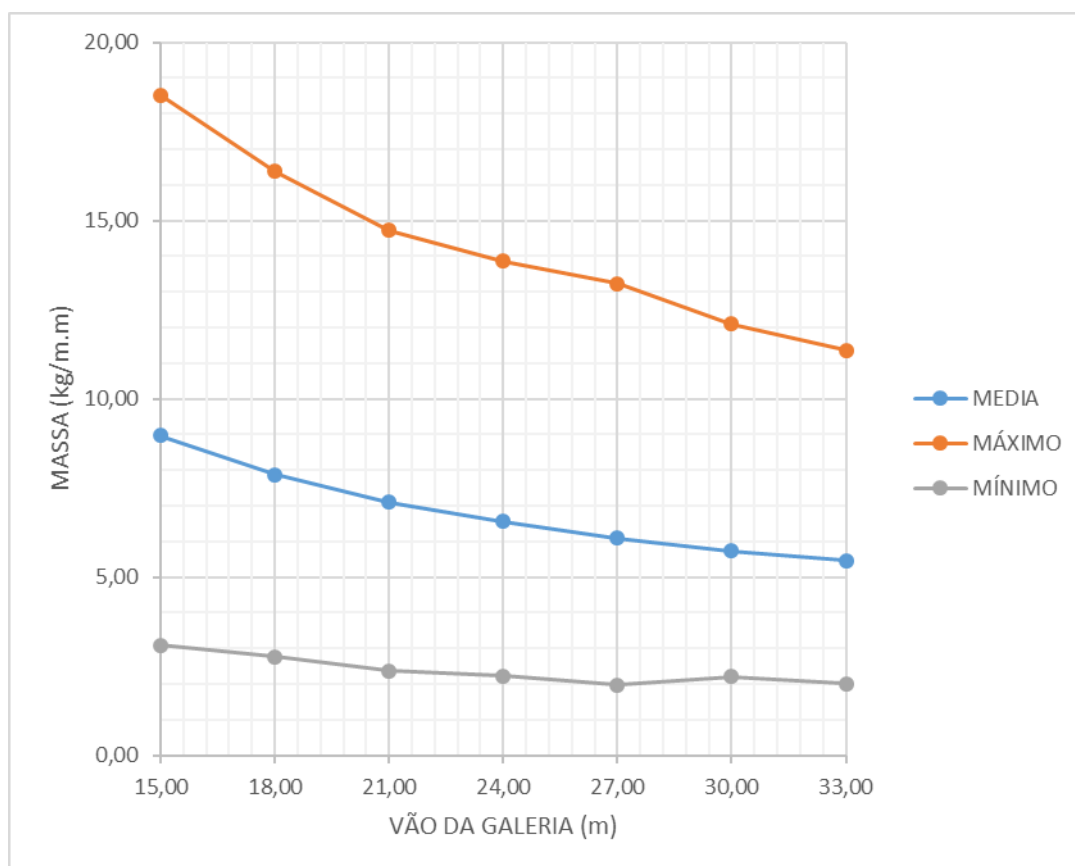


Gráfico 5.12 Colunas - Curvas Média, Mínima e Máxima

Diferentemente da anterior, a massa linear dividida pela altura da coluna decresce com o aumento do vão de galeria. A massa mínima ocorre no vão de galeria de 27,0m e a máxima no vão de 15,0m o que demonstra, em geral, comportamento oposto ao modelo tipológico das galerias. Com relação aos valores médios, a curva mínima representa

aproximadamente 35% deste valor enquanto que a máxima 210% e a maior diferença entre o valor mínimo e máximo foi de 15,43kg/m.m. Os valores apresentados na curva média são resultantes da média entre todos os transportadores e ventos divididos por cada altura de coluna simulada, para cada vão de galeria considerado. Generalizando e partindo do conhecimento de que a curva máxima é resultante de colunas mais elevadas (36,5m) e a mínima de colunas mais baixas (01,5m), é possível identificar a massa da tipologia com razoável precisão.

Complementando, o gráfico 5.13 apresenta os valores médios, mínimos e máximos para o sistema estrutural.

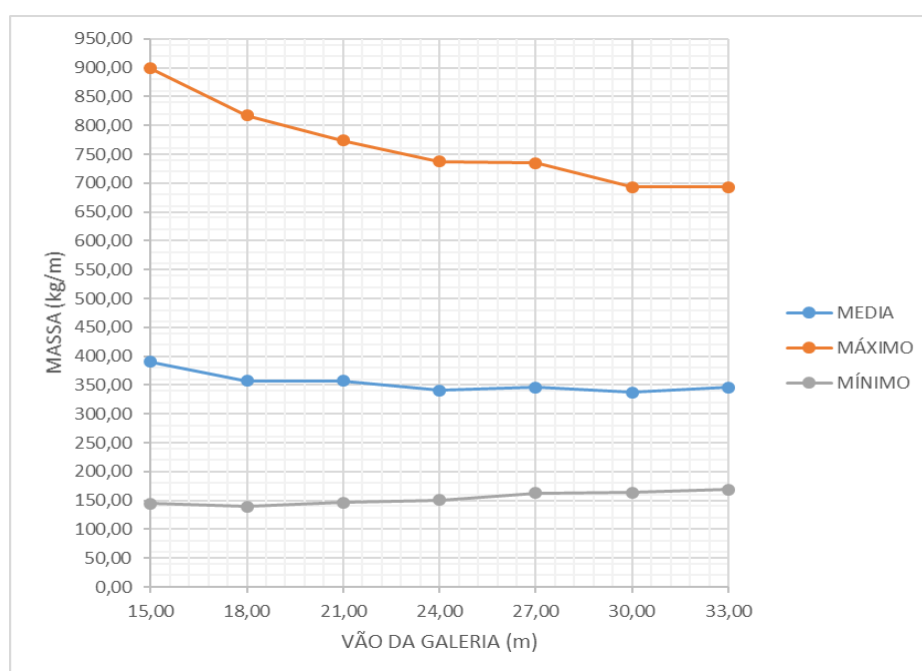


Gráfico 5.13 Sistema Estrutural - Curvas Média, Mínima e Máxima

Avaliando as tendências, para o sistema estrutural, a curva de dados médios permite concluir que a massa média do sistema é de 353,56 kg/m para todo o conjunto de simulações, com variabilidade máxima de 10,37% dentre todos os vãos de galerias para essa curva. Uma conclusão importante é que a curva média não apresenta variações significativas no valor função objetivo com o aumento do vão de galeria, apresentando comportamento aproximadamente constante.

Ainda, a curva mínima que está associada às colunas inferiores apresenta aumento da função objetivo com o acréscimo do vão da galeria enquanto que na curva máxima, que representa então, as colunas mais elevadas, ocorre o inverso. Isso significa que o mínimo

obtido para a função objetivo ocorre quando da associação de colunas inferiores com galerias menores e galerias superiores com colunas mais altas. Conceitualmente, grandes vãos de galerias associados a baixas colunas e altas colunas com galerias menores direcionam a resposta no sentido oposto sendo, portanto, são indesejáveis.

Percentualmente e limitada superiormente, a curva mínima representa valor da função objetivo equivalente a 44% do valor da curva média enquanto que a curva máxima 216%. A variabilidade máxima entre a curva mínima e máxima para o mesmo vão de galeria foi de 754,47 kg/m e ocorre no vão de 15,0m, permitindo que se conclua que mínimos e máximos do sistema estrutural estão localizados nos menores vãos de galerias. De forma mais precisa, e como mencionado anteriormente, os **Apêndices A e B** embasam essas conclusões.

Com relação às variáveis de projeto associadas ao modelo das galerias, na maioria dos casos, o limite inferior da variável de projeto VP1 foi suficiente para otimizar o modelo estrutural, sendo que valores mais elevados do índice resultavam em acréscimo da massa da tipologia. A variável assumiu o lower bound (índice 0) em 82,14% dos casos e índice 1 em 11,61%, o que representa altura de 2,60m e 2,70m respectivamente. Os outros 6,25% restantes ocorreram em situações mais extremas do estudo onde restrições de frequência estavam associadas.

Já a VP2 possuiu maiores variações do índice devido a ser mais influenciada pela ação do vento e vão da galeria. Galerias maiores recebem mais vento e necessitaram maior rigidez lateral para atender as restrições de projeto. Dessa forma, dentre todas as simulações, a VP2 assumiu o índice 5 (representa perfil W250x22,3) em 19,64% dos casos seguida pelo índice 7 (W250x28,4) em 16,07% e índices 1 em 12,50% e índice 2 em 14,29% (W200x15,0 e W250x17,9 respectivamente) o que demonstra ampla diversificação dos resultados.

Com relação às colunas, para a VP3, dimensões verticais menores (como a discreta de 01,50m) apresentou índice “0” (contenção lateral ausente) em 16,67% dos casos sendo que em 63,39% o índice foi de 4, 5 ou 6 contenções, o que pode caracterizar uma tendência de compatibilização entre os raios de giração dos perfis dos banzos das colunas em torno dos eixos principais buscada, indiretamente, no processo de otimização estrutural. Já a VP4, nas colunas inferiores também não houve modificação do índice

representando 22,32% dos casos. Em 52,08% houve alteração de inclinação para os índices 2 (5,0%), 3 (7,5%) e 4 (10,0%) o que caracteriza tentativa de aprimoramento nas transferências das solicitações nos elementos dadas nos processos de otimização de forma e topologia do sistema visando minimização da massa da coluna.

Inicialmente, a respeito das restrições de projeto particulares ou dos perfis, sabe-se que a otimização paramétrica ocorre para toda e qualquer simulação (índice de utilização dos elementos iguais ou próximo das restrições individuais). Já com relação às restrições dos modelos tipológicos, R1 e R2, que estão associadas ao deslocamento vertical e horizontal respectivamente no centro do vão da galeria não foram restrições ativas em nenhuma das 672 simulações realizadas. A restrição R3 mostrou-se a mais significativa, sendo restrição ativa em 490 simulações, ou seja, em 72,92%. Ainda, a restrição R4 de frequência natural vertical do 1º modo, quando igual a frequência fundamental R5, é ativa em 18,75% enquanto que a R5 (quando a frequência fundamental não é a frequência natural de vibração vertical do 1º modo) é ativa em 6,25% dos casos, essas duas presentes nos maiores vãos de galeria sujeitas a mais elevada ação do vento e maior transportador estudado. A restrição R6, de aceleração máxima, foi obtida em 0,89% dos casos. Respectivamente, o aproveitamento máximo da restrição R3 foi de 100%, R4 de 98%, e R5 de 94% e R6 foi de 96%. A restrição R7 não foi ativa em nenhuma simulação enquanto que R8 foi ativa em 1,19% com aproveitamento máximo de 68%. Com isso, pode-se afirmar que, no conjunto, as restrições globais das galerias foram as principais, ou seja, estiveram ativas em 98,81% de todas as simulações.

A seguir serão discutidos e apresentados estudos acerca da implantação de transportadores submetidos a outras condições, levando-se em conta a extensão e inclinação do mesmo de modo a ampliar o conhecimento acerca do sistema estrutural.

5.3. ESTUDO DE IMPLANTAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE LAYOUTS

Nesse item será dada atenção às soluções para implantação. Serão apresentadas simulações adicionais baseadas nos resultados obtidos e extrapoladas para casos em que haja inclinação do transportador com relação a horizontal, bem como, diferença de cota entre o sistema estrutural, e o vínculo externo ou fundação, e sua interação com o comprimento total da linha. Assim, objetiva-se identificar, para distintas condições de implantação, combinações otimizadas entre vãos de galerias - que aqui serão tomados

como constantes - e alturas de colunas - que serão variáveis de acordo como a inclinação e o ponto base.

Ainda, os resultados gerados serão apenas representados em termos de quantificação da massa mínima por metro de linha, não sendo discriminados detalhadamente como realizado anteriormente, dado que aqueles são também válidos nesse contexto.

Como informativo, serão simuladas inclinações de 0%, 5% e 10% com comprimento da linha entre 30m e 240m tomados a cada 30m e cotas iniciais de 0.00, 1.50, 08.50, 15.50, 22.50, 29.50 e 36.50 metros.

A Figura 5.9 apresenta uma vista lateral de referência para as avaliações realizadas nessa etapa.

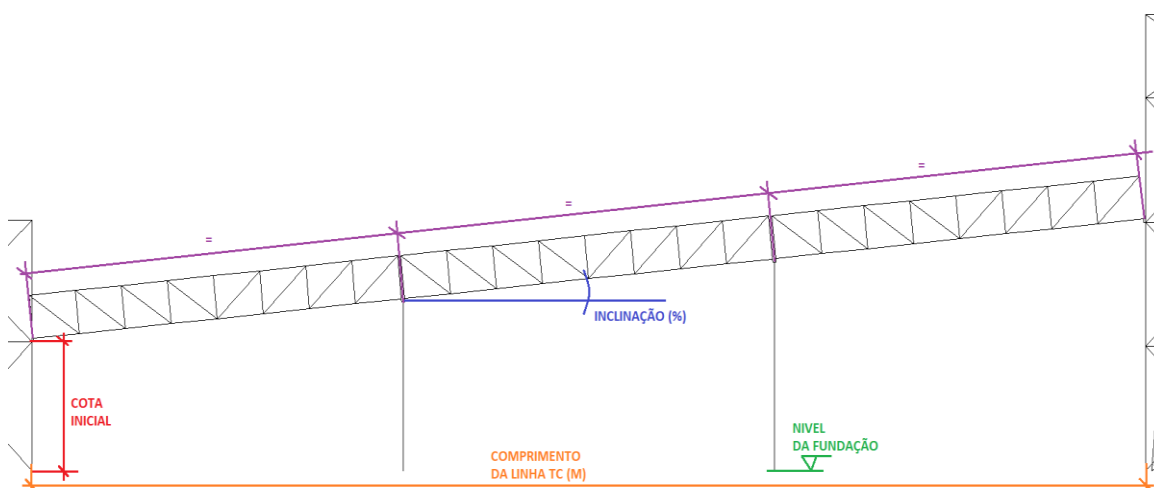


Figura 5.9 Ponto Base (Cota Inicial), Inclinação e Comprimento da Linha TC (m)

Ainda, cabe salientar que as simulações estão restritas lateralmente de acordo aos limites de vãos e alturas estudadas nessa tese. No caso trivial, onde a inclinação é 0%, a cota inicial será a própria altura da coluna e os resultados já foram apresentados anteriormente e nos **Apêndices A e B**.

O limite superior deve-se a questões relacionadas à dilatação do modelo estrutural, onde consideram-se vinculações fixas horizontais longitudinais nas extremidades, resultando em ponto médio do sistema estrutural com vínculo deslizante longitudinal. Baseado nessa premissa, permite-se a simplificação para, no limite superior, apenas 2 submodelos com de 120m de extensão. Tal premissa segue recomendações para comprimentos máximos entre juntas de dilatação para estruturas de aço em geral. Também, nas simulações foram

desprezadas as variações nas solicitações dos elementos das galerias devido a diferença de inclinação.

Tabela 5.5. TR24/35 – Simulações Com Inclinação

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	0%	0,00	1	15,00	139,80
30	0%	1,50	1	15,00	142,29
30	0%	8,50	1	15,00	152,92
30	0%	15,50	0	30,00	159,89
30	0%	22,50	0	30,00	159,89
30	0%	29,50	0	30,00	159,89
30	0%	36,50	0	30,00	159,89
60	0%	0,00	2	20,00	137,14
60	0%	1,50	2	20,00	139,64
60	0%	8,50	2	20,00	152,63
60	0%	15,50	2	20,00	179,97
60	0%	22,50	1	30,00	214,38
60	0%	29,50	1	30,00	259,38
60	0%	36,50	1	30,00	328,86
90	0%	0,00	4	18,00	135,51
90	0%	1,50	4	18,00	138,83
90	0%	8,50	4	18,00	154,91
90	0%	15,50	3	22,50	189,40
90	0%	22,50	2	30,00	232,54
90	0%	29,50	2	30,00	292,54
90	0%	36,50	2	30,00	385,18
120	0%	0,00	5	20,00	137,14
120	0%	1,50	5	20,00	140,26
120	0%	8,50	5	20,00	156,51
120	0%	15,50	5	20,00	190,67
120	0%	22,50	3	30,00	241,62
120	0%	29,50	3	30,00	309,12
120	0%	36,50	3	30,00	413,34
150	0%	0,00	7	18,75	136,12
150	0%	1,50	7	18,75	139,62
150	0%	8,50	7	18,75	157,01
150	0%	15,50	7	18,75	194,37
150	0%	22,50	4	30,00	247,07
150	0%	29,50	4	30,00	319,07
150	0%	36,50	4	30,00	430,24
180	0%	0,00	9	18,00	135,51
180	0%	1,50	9	18,00	139,25
180	0%	8,50	9	18,00	157,33
180	0%	15,50	8	20,00	194,24
180	0%	22,50	5	30,00	250,71
180	0%	29,50	5	30,00	325,70
180	0%	36,50	5	30,00	441,50
210	0%	0,00	10	19,09	136,40
210	0%	1,50	10	19,09	139,97
210	0%	8,50	10	19,09	157,94
210	0%	15,50	10	19,09	196,34
210	0%	22,50	6	30,00	253,30
210	0%	29,50	6	30,00	330,44
210	0%	36,50	6	30,00	449,55
240	0%	0,00	12	18,46	135,89
240	0%	1,50	12	18,46	139,63
240	0%	8,50	12	18,46	158,05
240	0%	15,50	11	20,00	196,03
240	0%	22,50	8	26,67	254,87
240	0%	29,50	7	30,00	333,99
240	0%	36,50	7	30,00	455,58

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	5%	0,00	1	15,02	139,97
30	5%	1,50	1	15,02	143,60
30	5%	8,50	1	15,02	155,86
30	5%	15,50	0	30,04	160,12
30	5%	22,50	0	30,04	160,12
30	5%	29,50	0	30,04	160,12
60	5%	0,00	2	20,02	139,04
60	5%	1,50	2	20,02	142,62
60	5%	8,50	2	20,02	158,70
60	5%	15,50	2	20,02	191,97
60	5%	22,50	1	30,04	224,28
60	5%	29,50	1	30,04	274,51
90	5%	0,00	4	18,02	140,26
90	5%	1,50	4	18,02	144,19
90	5%	8,50	4	18,02	166,36
90	5%	15,50	3	22,53	206,92
90	5%	22,50	2	30,04	252,10
90	5%	29,50	2	30,04	322,57
120	5%	0,00	5	20,02	143,55
120	5%	1,50	5	20,02	147,42
120	5%	8,50	5	20,02	171,36
120	5%	15,50	4	24,03	217,77
120	5%	22,50	3	30,04	270,82
120	5%	29,50	3	30,04	354,05
150	5%	0,00	7	18,77	145,10
150	5%	1,50	7	18,77	149,13
150	5%	8,50	7	18,77	177,24
150	5%	15,50	5	25,03	226,42
150	5%	22,50	4	30,04	285,91
180	5%	0,00	9	18,02	146,95
180	5%	1,50	9	18,02	151,51
180	5%	8,50	8	20,02	182,10
180	5%	15,50	6	25,75	234,64
180	5%	22,50	5	30,04	299,76
210	5%	0,00	10	19,11	149,91
210	5%	1,50	10	19,11	155,05
210	5%	8,50	10	19,11	189,70
210	5%	15,50	7	26,28	243,31
210	5%	22,50	6	30,04	313,91
240	5%	0,00	12	18,48	152,75
240	5%	1,50	12	18,48	158,46
240	5%	8,50	11	20,02	195,82
240	5%	15,50	7	30,04	252,31
240	5%	22,50	7	30,04	328,25

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	10%	0,00	1	15,07	142,95
30	10%	1,50	1	15,07	145,24
30	10%	8,50	1	15,07	159,16
30	10%	15,50	0	30,15	160,79
30	10%	22,50	0	30,15	160,79
30	10%	29,50	0	30,15	160,79
60	10%	0,00	2	20,10	143,20
60	10%	1,50	2	20,10	145,99
60	10%	8,50	2	20,10	165,18
60	10%	15,50	1	30,15	199,58
60	10%	22,50	1	30,15	234,68
60	10%	29,50	1	30,15	290,15
90	10%	0,00	4	18,09	146,50
90	10%	1,50	4	18,09	150,09
90	10%	8,50	4	18,09	178,52
90	10%	15,50	2	30,15	220,44
90	10%	22,50	2	30,15	272,13
120	10%	0,00	5	20,10	152,28
120	10%	1,50	5	20,10	157,05
120	10%	8,50	5	20,10	190,61
120	10%	15,50	3	30,15	239,27
120	10%	22,50	3	30,15	304,00
150	10%	0,00	7	18,84	158,70
150	10%	1,50	7	18,84	164,48
150	10%	8,50	5	25,12	206,71
150	10%	15,50	4	30,15	258,26
180	10%	0,00	8	20,10	166,34
180	10%	1,50	8	20,10	173,44
180	10%	8,50	6	25,84	220,31
180	10%	15,50	5	30,15	278,50
210	10%	0,00	10	19,19	177,13
210	10%	1,50	10	19,19	186,26
210	10%	8,50	8	23,45	235,43
240	10%	0,00	11	20,10	188,59
240	10%	1,50	11	20,10	198,57
240	10%	8,50	7	30,15	251,97

LEGENDA	
LINHA (M)	COMPRIMENTO DA LINHA
CI (M)	COTA INICIAL
QTD COL	QUANTIDADE DE COLUNAS
GAL (M)	VÃO DA GALERIA

Exemplificando, a Tabela 5.5 apresenta simulações para um transportador de 24” submetidos a ventos de 35m/s onde são apresentados os comprimentos da linha, a inclinação do transportador, a cota inicial do sistema estrutural, a quantidade ótima de colunas e os vãos resultantes das galerias que resultaram em minimização de massa dos sistemas estruturais.

O Gráfico 5.14 apresenta o valor da massa linear para distintas interações entre os dados de entrada onde “CI” representa a cota inicial do sistema estrutural.

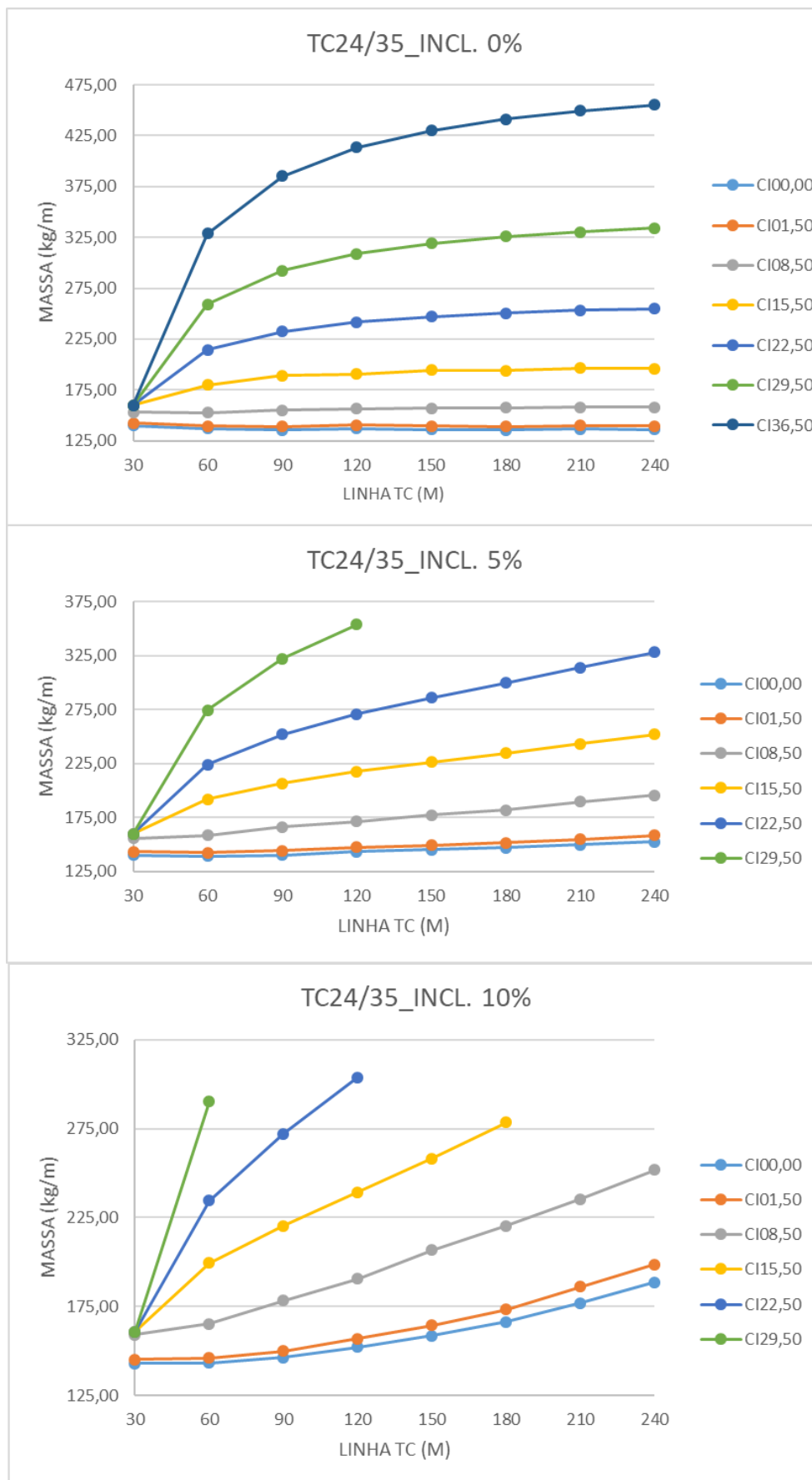


Gráfico 5.14. TR24/35 – Simulações Com Inclinação

Com relação a tendência, especificamente para esse caso, a análise conjunta dos gráficos permite concluir que linhas de transportadores sem declividade apresentam comportamento das curvas aproximadamente constantes em situações fisicamente mais próximas ao ponto de apoio vertical relativo. Nesses casos ocorre um decréscimo da massa que tende a se estabilizar com o aumento do comprimento da linha. Para a mesma declividade, transportadores que partem de cota inicial mais elevada já ocorre um acréscimo na massa do sistema nas menores extensões de linha devido a necessidade de incorporação colunas de suporte massivas, apresentando uma elevada diferença no valor da massa linear nesse trecho.

Nos transportadores que apresentam inclinação inicial, a massa do sistema é mais influenciada pela massa da tipologia da coluna e, mediante acréscimo do comprimento da linha, a massa linear do sistema também aumenta. Curvas de cota inicial de 08,50m apresentam comportamento linear enquanto que transportadores com cotas iniciais mais baixas com relação ao apoio são inicialmente mais dependentes da massa da galeria e esse comportamento se modifica a medida que a dimensão da coluna (por consequência, massa) se torna mais representativa. Em transportadores mais elevados, essa resposta já é percebida desde as menores extensões de linha.

Com relação aos demais transportadores, o **Apêndice C** apresenta detalhadamente o conjunto das simulações realizadas para outras interações nos dados de entrada. Ainda, no **Apêndice D**, constam equações obtidas através da análise dos resultados do **Apêndice C** para fins de estimativa de consumo de aço. As equações foram geradas mediante regressão polinomial de ordem 3, com R^2 (coeficiente de determinação da regressão) próximas a unidade para grande parte das simulações.

Resumidamente e compilando os dados obtidos, as curvas apresentadas nos gráficos 5.15, 5.16 e 5.17 identificam as massas médias, mínimas e máximas entre todas as simulações realizadas para transportadores horizontais, com 5% e 10% de inclinação respectivamente. Do conjunto de simulações, para inclinação de 0%, a massa linear mínima média obtida variou de 186,44kg/m a 284,46kg/m. Já a massa linear máxima obtida nos limites extremos das simulações foi 638,29kg/m e a mínima de 135,51kg/m e ocorreram respectivamente nas extensões de 240m para transportador de 72” com ação do vento de 45m/s e na extensão de 90m para transportador de 24” submetidos a vento de 35m/s. A maior diferença com relação a média ocorreu na extensão de 240m apresentando

353,83 kg/m adicionais. A menor diferença ocorreu na extensão de 30m apresentando massa linear 46,64kg/m inferior à média. Nesses casos os limites do estudo situaram-se nos extremos inferiores e superiores das avaliações.

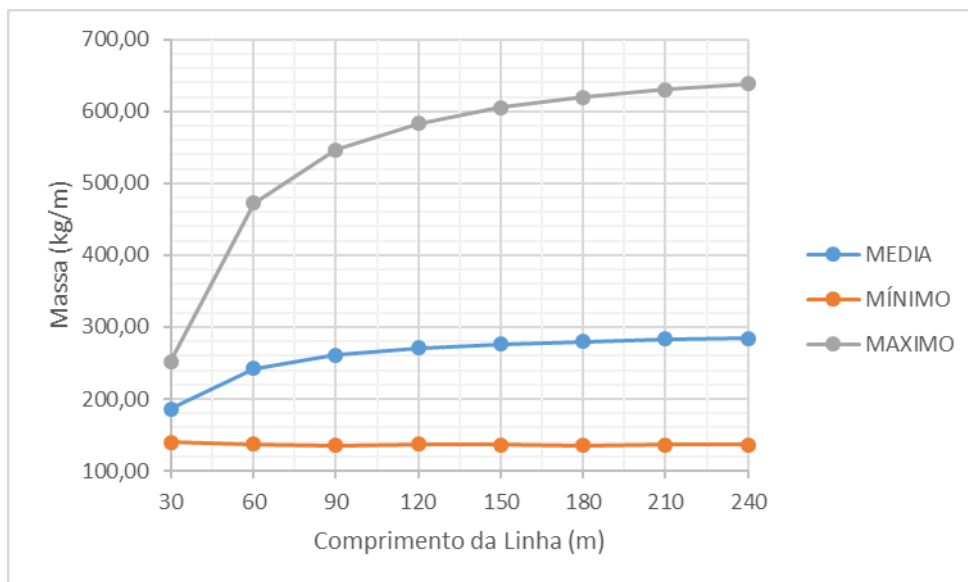


Gráfico 5.15 Estudos de Implantação Inclinação 0% - Curvas Média, Mínima e Máxima. Especificamente, os gráficos 5.16 e 5.17 foram corrigidos de modo a contemplar os limites do estudo. Assim, foram consideradas colunas até 22,5m para inclinações de 5% e colunas até 08,50m para inclinações de 10%. (Limitado pela altura das colunas no extremo do estudo < 36,5m)

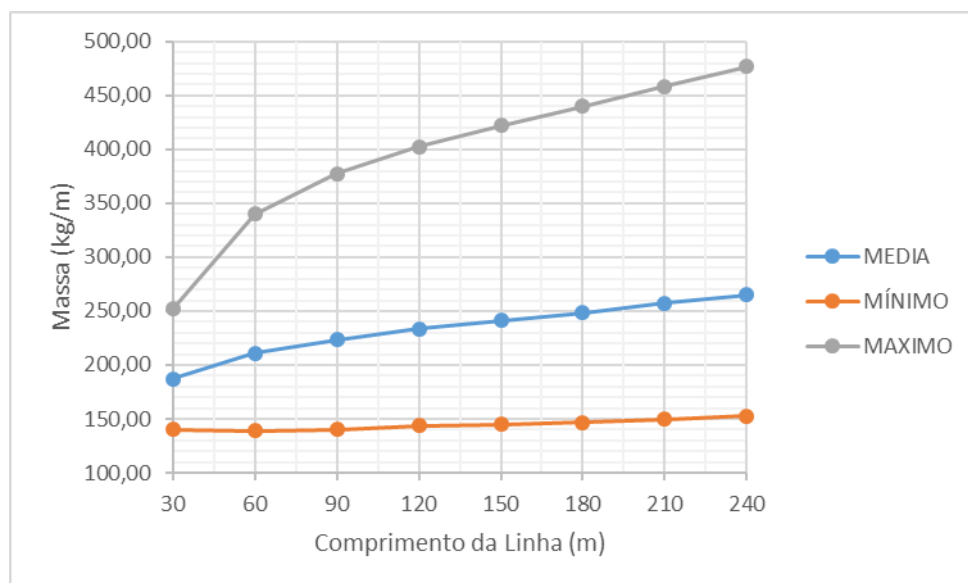


Gráfico 5.16 Estudos de Implantação Inclinação 5% - Curvas Média, Mínima e Máxima

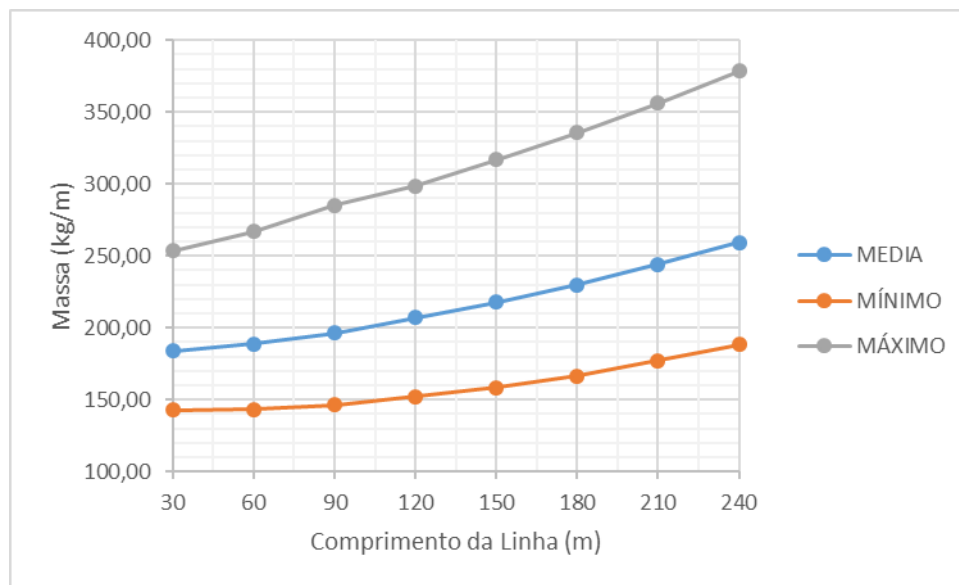


Gráfico 5.17 Estudos de Implantação Inclinação 10% - Curvas Média, Mínima e Máxima

Qualitativamente, a resposta média é análoga ao caso específico apresentado anteriormente (gráficos 5.14) resultando em declividades mais acentuadas nas curvas proporcionais à inclinação da linha. Quantitativamente, para inclinação de 5% a massa mínima média variou entre 187,12 kg/m e 265,08 kg/m com diferença máxima ao extremo do estudo de 211,55kg/m e mínima de 47,16kg/m. (linhas de 240m e 30m, respectivamente). Para a inclinação de 10%, a massa mínima média variou entre 183,76 kg/m e 259,32 kg/m, com diferença aos limites de 119,00kg/m e 40,81 kg/m respectivamente. A redução de massa, com o aumento das inclinações são devidas às limitações do estudo comentadas anteriormente.

Retomando o caso específico apresentado anteriormente e os resultados apresentados no **Apêndice C**, nas Tabelas foram inseridas informações adicionais correlacionando o vão da galeria com a quantidade de colunas obtidas para a mínima massa do sistema estrutural. Ainda, cotas iniciais mais baixas, demandam vãos de galerias menores o que incide em maior quantidade de colunas respectivamente. Isso é visível em linhas sem inclinações onde a massa mínima até mesmo reduz com o acréscimo do comprimento da linha. À medida que a cota inicial é acrescida, a massa das colunas acaba sendo mais significativa e modifica o comportamento da curva no gráfico, ou seja, aumentando a massa linear mínima. O exposto acima se comprova quando é adicionada inclinação ao transportador aliada a cota inicial elevada. Nesses casos, a representatividade da massa da coluna é amplificada.

Resumidamente, embora as curvas médias propiciem verificação de tendências comportamentais dos sistemas estruturais, não foi possível a definição de um padrão generalizado visto que os gradientes das curvas se alteram mediante interação entre o comprimento da linha, inclinação e cota inicial. Por exemplo, para um mesmo transportador pode-se ter uma variação do gradiente mais acentuada para linhas mais curtas que passam a ser mais suaves em comprimentos mais longos e também ocorre o contrário, como no caso do transportador de 72” submetido a ventos de 45m/s. (apresentado no Apêndice C)

Como dito anteriormente, transportadores mais próximos ao solo para qualquer que seja a inclinação horizontal exigirá um maior número de colunas para que se obtenha a massa mínima do sistema dentre distintas simulações. Quantitativamente, um transportador de 60” submetido a ventos de 35m/s com inclinação de 5% e comprimento da linha de 180m apresentará massa mínima de 197,63 kg/m quando a cota inicial for 0,00m e necessitará de 9 colunas com alturas variáveis ao longo do seu comprimento resultando em galerias com 18,02m. Caso a cota inicial seja de 15,50m, a quantidade de colunas é reduzida para 6 unidades resultando em 289,62 kg/m e modificando o vão da galeria de 18,02m para 25,75m. Essa situação é bastante representativa do comportamento de todos os estudos realizados.

Por fim, algumas soluções mínimas obtidas carecem de uma abordagem de engenharia aplicada. Cada simulação apresenta múltiplas soluções e essas podem resultar em inexpressiva diferença de massa. Justificando, por exemplo, um transportador de 48” submetido a vento de 35m/s com inclinação de 5% e altura inicial de 08,50m apresenta massa mínima de 202,13 kg/m desde que sejam utilizadas 5 colunas e por consequência vão de galeria com 20,02m para uma linha de 120 metros. A redução de 5 para 3 colunas por exemplo resultaria em vãos de galeria de 30,04 m aumentando a massa do conjunto para 212,01 kg/m, ou seja, uma diferença de 9,88 kg/m de estrutura de aço. Alternativamente, em função dos custos de fundações ou outras questões associadas, pode ser preferível proceder essa redução na quantidade de 2 colunas mesmo que o consumo de estrutura de aço aumente 1185,60 kg na linha.

No item a seguir será procedida avaliação adicional nesse sentido.

5.3.1. Análise Quantitativa Adicional dos Suportes

No **Apêndice E** um caso de implantação médio entre todas as simulações é apresentado detalhadamente onde estuda-se uma linha com 120m de extensão e cota inicial de 08,50m considerando as distintas tipologias dos transportadores e velocidades do vento apresentadas ao longo dessa tese. Demonstram-se então, através de Tabelas e Gráficos, os resultados da massa do sistema estrutural considerando-se entre 3 e 7 colunas de suporte, a fim de relevar e justificar escolhas de layouts aperfeiçoados de engenharia aplicada, avaliando a diferença de massa entre as soluções.

Exemplificando, a Tabela 5.6 e o Gráfico 5.18 apresentam os resultados para um desse casos avaliados. (transportador de 24” submetido a ventos de 35m/s com inclinações de 0%, 5% e 10%).

Tabela 5.6. Linha com 120M – TR24/35 – Informações Resultantes

INCLINAÇÃO (%)	MASSA TOTAL DAS GALERIAS (KG)	MASSA TOTAL DAS COLUNAS (KG)	MASSA COMBINADA (KG)	MASSA (KG/M)	QUANT. DE COLUNAS	VÃO GALERIA (M)
0	19187,34	1943,06	21130,40	176,09	3	30,00
	17668,69	1986,73	19655,42	163,80	4	24,00
	16456,21	2324,79	18781,00	156,51	5	20,00
	16653,41	2552,48	19205,88	160,05	6	17,14
	16775,96	2755,11	19531,06	162,76	7	15,00
5	19214,27	3178,67	22392,95	186,61	3	30,04
	17695,85	3601,57	21297,42	177,48	4	24,03
	16479,21	4084,27	20563,48	171,36	5	20,02
	16672,98	4580,92	21253,90	177,12	6	17,16
	16795,84	5080,67	21876,51	182,30	7	15,02
10	19294,91	4626,04	23920,95	199,34	3	30,15
	17777,19	5479,97	23257,16	193,81	4	24,12
	16548,06	6325,10	22873,16	190,61	5	20,10
	16731,55	7158,66	23890,21	199,09	6	17,23
	16855,33	7939,14	24794,47	206,62	7	15,07

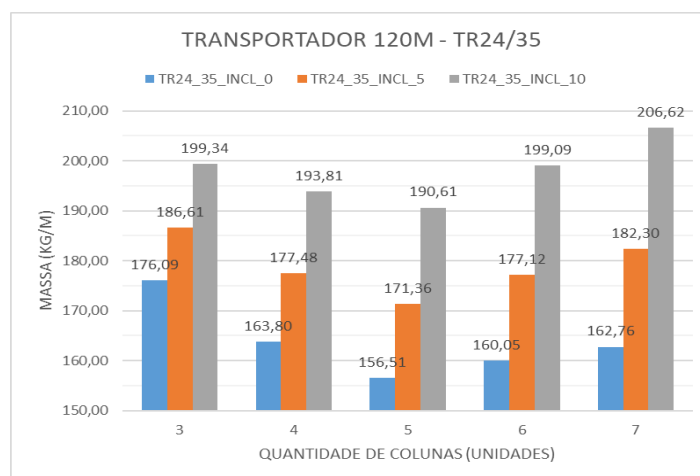


Gráfico 5.18 Linha com 120M – TR24/35 – Informações Resultantes

Nessa situação em particular, a mínima massa do sistema foi obtida com 5 colunas para todas as inclinações da linha avaliadas. A diferença de massa entre as simulações foi de **19,38kg/m**, e é resultante da diferença entre 5 e 3 colunas respectivamente para linhas com inclinação de 0%, onde a utilização de 3 colunas resulta num maior consumo de matéria prima (diferença de massa de 12,5%).

Adicionalmente, a Tabela 5.7 apresenta os resultados para simulações realizadas com outras cotas iniciais de projeto da linha.

Tabela 5.7. Resultados das Simulações Para Distintas Cota Iniciais da Linha do Transportador

COTA INICIAL (m)	QUANTIDADE DE COLUNAS (UNIDADES)					MASSA ADICIONAL	
	3	4	5	6	7	%	(kg/m)
1,50	0%	2%	83%	15%	0%	18%	35,68
8,50	0%	15%	79%	6%	0%	13%	30,80
15,50	38%	42%	21%	0%	0%	23%	64,49
22,50	94%	6%	0%	0%	0%	35%	127,20

Da Tabela acima, em **83%** das simulações com a cota inicial de 01,50m, 5 colunas são necessárias para obtenção da solução otimizada. A opção pela utilização de menor número de colunas (3, especificamente) acrescerá em 18% a massa do sistema estrutural que, no máximo, foi de 35,68kg/m dentre todas as simulações (todos os transportadores e ventos associados).

No sentido oposto, para cotas iniciais mais elevadas de 22,5m, em **94%** das simulações a massa mínima do sistema foi obtida considerando 3 colunas. Obteve-se ao longo da tese que, colunas mais elevadas possuem soluções aperfeiçoadas de engenharia com consequente utilização de galerias com dimensões longitudinais mais elevadas. Conceitualmente análogo ao caso anterior, a opção pela consideração em projetos de uma **maior** quantidade de colunas aumentará a massa do sistema estrutural em até 35% (no caso de utilização de 7 colunas, por exemplo), representando 127,20 kg/m de estrutura de aço adicional.

A informação apresentada acima é relevante pois indica que a diferença de massa obtida entre as situações contemplando distintas quantidades de apoios e, caso tenham sido tipologicamente otimizadas de acordo com os princípios apresentados nessa tese, resultará em acréscimo ou redução de massa do sistema dependendo da opção adotada.

As conclusões aqui mencionadas podem ser complementadas com as informações apresentadas no **Apêndice C**.

Quantitativamente, em alguns casos, a diferença mínima de massa entre as simulações foi inexpressiva. Por exemplo, no transportador de 30" submetido a vento de 45m/s com inclinação de 10% e cota inicial de 08,50m (**ver Apêndice E**) a diferença de massa foi de 0,33 kg/m onde a adoção de 5 colunas representa um consumo de aço de 223,30 kg/m enquanto que a adoção de 4 colunas apresenta 223,63 kg/m. Em casos como esses, a segunda escolha é eleita, dada a irrelevante diferença de massa obtida aliada aos ganhos em termos de produtividade de solução de engenharia.

O mesmo que fora comentado anteriormente acerca das conexões entre elementos de aço é válido para essa e, também, para os **Apêndices C, D e E**.

A seguir, considerações finais dessa tese serão apresentadas.

6. CONCLUSÕES

Inicialmente, apresentou-se o objetivo do trabalho e a justificativa do mesmo, ou seja, a minimização de massa de estruturas de aço para fins de aplicação de engenharia recorrente. Diferentemente da maioria dos trabalhos que focam em otimizações de estruturas treliçadas de referência simples, considerando variáveis contínuas e restrições e cargas idealizadas, o presente trabalho propôs uma metodologia completa e robusta para a otimização de estruturas realistas, utilizando variáveis discretas com restrições e cargas obtidas de normas técnicas. A abordagem visou otimizar parâmetros, forma e topologia de estruturas para o suporte de transportadores de graneis sólidos desenvolvidas a partir de modelos estruturais treliçados e aporticados de colunas e galerias de aço.

A seguir foi dado embasamento normativo para o dimensionamento dos perfis das seções transversais que compõem os modelos estruturais, tendo como referências normas nacionais e internacionais para quantificações de ações e combinações – quer seja sob a ótica de estados limites últimos ou estados limites de serviço – e critérios de dimensionamento baseados em requisitos mínimos de resistência e utilização.

Para tal, a utilização computacional de algoritmos de otimização estrutural, foi adicionada ao processo, principalmente aqueles mais atuais, denominados metaheurísticos. Foi dada uma abordagem evolutiva sobre a sua tipologia e aplicabilidade desde o seu início até os últimos anos.

Ainda, tipologias de modelos estruturais de galerias treliçadas de aço e colunas foram analisados a partir de sua geometria, perfis das seções transversais e aplicabilidade em campo e obtidas as principais topologias que resultaram em resultados aperfeiçoados de desempenho alinhados ao objetivado nesse trabalho.

Dadas as condições iniciais, ou seja, conhecido o tipo de transportador, vento característico, vão da galeria e altura da coluna, foram definidos os carregamentos e combinações por tipologia. A seguir, mediante modificações de 4 variáveis de projeto - duas para galerias e duas para colunas tratadas como discretas através de índices - foram obtidos, a partir de uma listagem discreta, perfis com menor massa, para cada um dos 28 grupos de barras que compõe os modelos estruturais, que atenderam as restrições de tensão, esbeltez e deformação particulares. Adicionalmente, cada tipologia estrutural teve

como restrição de projeto deslocamentos máximos, frequência fundamental mínima e acelerações máxima. Assim, no processo buscou-se a minimização da função objetivo dentre 4928 possibilidades para cada grupo de dados de entrada. Para resolver o problema de otimização proposto de minimização da massa de sistemas de aço estruturais realistas, foi utilizado o algoritmo EPSO, que é capaz de lidar com problemas complexos.

O computo de distintas interações entre vãos de galerias e alturas de colunas para um transportador de 48” submetido a ventos de 45m/s permitiu a plotagem de curvas correlacionando as características geométricas com o valor da função objetivo (massa do sistema). O procedimento ainda permitiu, de maneira objetiva, a identificação dos elementos que compõe os modelos estruturais, propiciando condições para definição de anteprojetos de engenharia. O conceito foi estendido e aplicado a outros tipos de transportadores e ventos atuantes, obtendo-se resultados complementares.

Com relação ao problema de otimização, na análise da função objetivo, qualitativamente a avaliação isolada da tipologia das galerias apresenta mínima massa em vãos mais próximos aos limites inferiores do estudo, o que ocorre de forma inversa com as colunas, onde os mínimos ocorrem mais próximos ao limite superior, sempre em termos de vão de galeria corrigido (massa por unidade de comprimento da linha). Para essa última, a diferença entre as alturas das colunas simuladas não representou mudanças expressivas nos resultados do comportamento geral. Ainda, para o sistema estrutural, mínimos da função objetivo são obtidos na interação entre vãos inferiores de galerias com alturas menores de colunas e esse comportamento se modifica proporcionalmente com o acréscimo da dimensão de cada tipologia. Também, pode-se aferir que, nos limites dimensionais do estudo, houveram situações em que a massa por unidade de comprimento não se alterou para determinada altura de coluna considerada, concluindo-se que o aumento da massa da galeria é compensado pela redução da massa da coluna.

Adicionalmente, simulações de estudos de implantação conceitualmente apresentaram resultados condizentes com o sistema estrutural composto pela tipologia da galeria e coluna conjugada, apresentando acréscimo na massa proporcional ao aumento da inclinação do transportador, dada a maior representatividade da massa da coluna. Ainda, da massa mínima obtida em layouts mediante apenas avaliações numéricas identificou-se que melhorias em termos de projeto de ordem distinta (não atreladas especificamente a estrutura de aço) podem nortear a solução do problema, principalmente nas simulações

com inexpressiva diferença de massa. Um caso simulado apresentou comparativos entre resultados obtidos em função da quantidade de colunas adotadas, e estudos adicionais concluíram que é possível ocorrer acréscimo ou redução de massa de estrutura de aço dependendo da solução de engenharia aplicada no que tange a quantidade de suportes projetados. Ainda, apresentaram-se curvas ajustadas através da regressão polinomial de grau 3 para expressar matematicamente a interação entre a massa do sistema estrutural e comprimento da linha.

Por fim, o propósito do trabalho foi atingido tendo os anseios gerados em seu início satisfeitos. Adicionalmente espera-se os resultados obtidos oferecem à sociedade referências no que tange ao comportamento dos sistemas estruturais estudados para suporte de transportadores de granéis em termos de quantificação de massa e solução de engenharia aplicada.

Ainda, acredita-se que a metodologia proposta para otimização de estruturas conforme abordada nessa tese, possa ser uma ferramenta adicional para auxiliar projetistas de estruturas permitindo sua extrapolação a outros sistemas estruturais com características similares (como coberturas, pontes, passarelas, entre outras).

O capítulo a seguir apresenta sugestões para trabalhos futuros.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Conforme já mencionado durante o texto, uma das sugestões seria ampliar a gama de vãos simulados para galerias até 42m. Embora o trabalho atual atenda grande parte das aplicações de campo, extrapolar o conhecimento para vãos superiores expandiria o que fora até então desenvolvido. A simulação de outros valores de ventos característicos também agregaria nesse sentido.

Um outro ponto a sugerir seria proceder simulação discreta com intervalos reduzidos para galerias e colunas. Aumentar a discretização da entrada de dados dessas dimensões de 3,0m para galerias e 7,0 metros para colunas resultaria em acréscimo de precisão dos achados e a sua assertividade principalmente nos casos de estudos de implantação.

Adicionalmente, o estudo atual tratou apenas de galerias obstruídas lateral, superior e inferiormente (devido a utilização de revestimentos parcialmente impermeáveis) com dois passadiços laterais. No entanto, existem outras tipologias que poderiam ser estudadas da mesma forma tais como: galerias com somente um passadiço, galerias com dois passadiços, mas com cobertura somente sobre o transportador, pontes treliçadas (que são modelos estruturais onde os passadiços laterais ficam “balanceados” tendo a treliça espacial apenas a largura do próprio transportador), entre outras. Enfim a quantidade de tipologias é grande e para cada uma delas haverá outras geometrias resultantes o que ampliaria o conhecimento acerca desse tipo de projeto estrutural.

Ainda, inserir informações acerca das estruturas das fundações para distintos tipos de solo, permitiria introduzir custos com estrutura de concreto adicionais de modo a permitir uma seleção geométrica dos modelos tipológicos ainda mais apurada. O trabalho conjunto entre fundações e superestrutura possibilitaria que questões de custo global de estrutura fossem aferidos a nível global e não somente com relação ao custo das estruturas de aço como procedido nesse trabalho. A ampliação desse conhecimento aliado, por exemplo, a identificação da quantidade de colunas em diferentes simulações para cada linha de transportador como aqui mencionado, permitiria um aperfeiçoamento quanto às situações otimizadas economicamente de layouts de campo a serem implantados.

Adicionalmente, a partir dos dados obtidos, gerar modelos simplificados de cada tipologia contendo informações de propriedades equivalentes como, por exemplo, áreas, fatores de

forma, momentos de inércia, entre outras que permitiria, a obtenção de tendências de comportamento adicionais em estudos de análise estrutural de forma facilitada.

Por fim, e em paralelo a esse, se sugeririam o desenvolvimento de estudos mais aprofundados na interação fluido estrutura para aprimorar o conhecimento do escoamento do vento nas superfícies dos modelos estruturais aqui estudados, principalmente no que tange a definição dos coeficientes de pressão externos e internos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT NBR 6120, “Cargas Para o Cálculo de Estruturas de Edificações” Associação Brasileira de Normas Técnicas - 2ª Ed., 2019.
- ABNT NBR 6123, “Ações de Vento em Estruturas” Associação Brasileira de Normas Técnicas - 2ª Ed., 1988.
- ABNT NBR 6678, “Transportadores Contínuos, Transportadores de Correia – Roletas – Projeto, Seleção e Padronização” Associação Brasileira de Normas Técnicas – 2ª Ed., 2010.
- ABNT NBR 8681, “Ações e segurança nas estruturas - Procedimento” Associação Brasileira de Normas Técnicas - 2ª Ed., 2004
- ABNT NBR 8800, “Projeto e execução de estruturas de aço em edifícios”, Associação Brasileira de Normas Técnicas - 2ª Ed., 2008.
- Atir STRAP™. 2020. Atir Engineering Software Development Ltd. ISRAEL. www.atirsoft.com
- Alberdi, R.; Khandelwal, K. Comparison of robustness of metaheuristic algorithms for steel frame optimization, *Engineering Structures*, v. 102, p. 40-60, 2015.
- Assimi, H.; Jamali, A.; Nariman-zadeh, N. Sizing and topology optimization of truss structures using genetic programming, *Swarm and Evolutionary Computation*, v. 37, p. 90-103, 2017.
- Bekdaş, G.; Nigdeli, S. M. Estimating Optimum Parameters of Tuned Mass Dampers using Harmony Search, *Engineering Structures*, v. 33, p. 2716-2723, 2011.
- Bekdas, G.; Nigdeli, S. M.; Yang, X. S. Sizing optimization of truss structures using flower pollination algorithm, *Applied Soft Computing*, v. 37, p. 322-331, 2015.
- Belevicius, R.; Jatulis, D.; Sesok, D. Optimization of tall guyed masts using genetic algorithms, *Engineering Structures*, v. 56, p. 239-245, 2013.

- Camp, C. V.; Farshchin, M. Design of space trusses using modified teaching-learning based optimization, *Engineering Structures*, v. 62-63, p. 87-97, 2014.
- Cavalcanti Neto, I., T., Otimização de Peso de Estruturas Treliçadas Metálicas Utilizando Algoritmos Genéticos, Dissertação de Mestrado, PPGECA UFPE, 2019.
- Cazacu, R.; Grama, L. Steel truss optimization using genetic algorithms and FEA, *Procedia Technology*, v. 12, p. 339-346, 2014.
- CEMA “Conveyor Equipment Manufacturers Association” – Belt Conveyor for Bulk Materials, Fifth Edition, July 2002.
- Coello, C. A.; Christiansen, A. D. Multiobjective Optimization of Trusses using Genetic Algorithms, *Computers and Structures*, v. 75, p. 647-660, 2000.
- Costa, L. A. A.; Melo, C. D. R. M. Otimização de Treliças Metálicas Utilizando a Ferramenta Solver do Microsoft Excel, CILAMCE, 2016.
- Couceio, I.; París, J.; Martínez, S.; Colominas, I.; Navarrina, F.; Casteleiro, M. Structural Optimization of Lattice Steel Transmission Lines, *Engineering Structures*, v. 117, p. 274-286, 2016.
- Degertekin, S. O.; Lamberti, L.; Ugur, I. B. Sizing, layout and topology design optimization of truss structures using Jaya algorithm, *Applied Soft Computing Journal*, v. 70, p. 903-928, 2017.
- Degertekin, S. O.; Lamberti, L.; Ugur, I. B. Discrete sizing/layout/topology optimization of truss structures with and advanced Jaya algorithm, *Applied Soft Computing Journal*, v. 79, p. 363-390, 2019.
- Farshchin, M.; Camp, C. V.; Maniat, M. Multi-class teaching-learning-based optimization for truss design with frequency constraints, *Engineering Structures*, v. 106, p. 355-369, 2016.
- Farshchin, M.; Maniat, M.; Camp, C. V.; Pezeshk, S. School based optimization algorithm for design of steel frames, *Engineering Structures*, v. 171, p. 326-335, 2018.

- Farshi, B.; Alinia-ziazi, A. Sizing Optimization of Truss Structures by Method of Centers and Force Formulation, *International Journal of Solids and Structures*, v. 47, p. 2508-2524, 2010.
- Fesanghary, M.; Mahdavi, M.; Minary-Jolandan, M.; Alizadeh, Y. Hybridizing Harmony Search Algorithm with Sequential Quadratic Programming for Engineering Optimization Problems, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, v. 197, 3080-3091, 2008.
- Fonseca, M., Otimização de Estruturas Treliçadas Planas e Espaciais Sob Carregamentos Estáticos e Dinâmicos, Usando Algoritmos Genéticos e Redes Neurais, *Dissertação de Mestrado, PPGEC UFOP*, 2007.
- Fourie, P.C., Groenwald, A. A, The Particle Swarm Optimization Algorithm in Size And 675 Shape Optimization, *Structural Multidisciplinary Optimization Journal*, v. 23, p. 259-267, 676 2002. 677
- Ghanshyam, G. Tejani; Vimal, J. Savsani.; Vivek, K. Patel.; Poonam, V. Savsani. Size, shape, and topology optimization of planar and space trusses using mutation-based improved metaheuristics, *Journal of Computational Design And Engineering*, v. 5, p. 198-214, 2018.
- Geem, Z. W.; Kim, J. H.; Loganathan, G. V. A New Heuristic Optimization Algorithm: Harmony Search, *Simulation*, v. 76, p. 60-68, United States of America, 2001.
- Gil, L.; Andreu, A. Shape and Cross-Section Optimization of a Truss Structure, *Computers and Structures*, v. 79, p. 681-689, 2001.
- Gomes, H. M. Truss Optimization with Dynamic Constraints using a Particle Swarm Algorithm, *Expert Systems with Applications*, v. 38, p. 957-968, 2011.
- Gonçalves, M. S.; Lopez, R. H.; Fadel Miguel, L. F. Search group algorithm: A new metaheuristic method for the optimization of truss structures, *Computers and Structures*, v. 153, p. 165-184, 2015.
- Guerra, C., Otimização Paramétrica de Estruturas Treliçadas Por Algoritmos Genéticos, *Dissertação de Mestrado, PROMEC UFRGS*, 2008.

- HiVoSS, “Human induced Vibrations of Steel Structures” Vibrações em Pontes Pedonais – Documento Base, Setembro de 2008.
- Ho-Huu, V.; Doung-Gia, D.; Vo-Duy, T.; Le-Duc, T.; Nguyen-Thoi, T. An efficient combination of multi-objective evolutionary optimization and reliability analysis for reliability-based design optimization of truss structures, *Expert Systems with Applications*, v. 102, p. 262-272, 2018.
- Jafari, M., Salajegheh, E., Salajegheh, J., Optimal design of truss structures using a hybrid 678 method based on particle swarm optimizer and cultural algorithm, *Structures*, v. 32, p. 391-679 405, 2021. 680
- Kalanta, S.; Atkociunas J.; Venskus, A. Discrete optimization problems of the steel bar structures, *Engineering Structures*, v. 31, p. 1298-1304, 2009.
- Kanarachos, S.; Griffin, J., Fitzpatrick, M. E. Efficient truss optimization using the contrast-based fruit fly optimization algorithm, *Computers and Structures*, v. 182, p. 137-148, 2017.
- Khatibinia, M.; Yazdani, H. Accelerated multi-gravitational search algorithm for size optimization of truss structures, *Swarm and Evolutionary Computation*, v. 38, p. 109-119, 2018.
- Kaveh, A.; Talatahari, S. Size Optimization of Space Trusses using Big Bang-Big Crunch Algorithm, *Computers and Structures*, v. 87, p. 1129-1140, 2009a.
- Kaveh, A.; Talatahari, S. A Particle Swarm Ant Colony Optimization for Truss Structures with Discrete Variables, *Journal of Constructional Steel Research*, v. 65, p. 1558-1568, 2009b.
- Kaveh, A.; Zolghadr, A. Truss Optimization with Natural Frequency Constraints using a Hybridized CSS-BBBC Algorithm with Trap Recognition Capability, v. 102-103, p. 14- 27, 2012.
- Kripakaran, P.; Gupta, A.; Baugh Jr., J. W. A Novel Optimization Approach for Minimum Cost Design of Trusses, *Computers and Structures*, v. 85, p. 1782-1794, 2007.

- Lamberti, L. An Efficient Simulated Annealing Algorithm for Design Optimization of Truss Structures, *Computers and Structures*, v. 86, 1936-1953, 2008.
- Lee, K. S.; Geem, Z. W. A New Meta-Heuristic Algorithm for Continuous Engineering Optimization: Harmony Search Theory and Practice, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, v. 194, p. 3902-3933, 2005.
- Lee, K. S.; Geem, Z. W. A New Structural Optimization Method Based on the Harmony Search Algorithm, *Computers and Structures*, v. 82, p. 781-798, 2004.
- Li, L. J.; Huang, Z. B.; Liu, F. A Heuristic Particle Swarm Optimization Method for Truss Structures with Discrete Variables, *Computers and Structures*, v. 87, p. 435-443, 2009.
- Luh, G. C.; Lin, C. Y. Optimal Design of Truss-Structures using Particle Swarm Optimization, *Computers and Structures*, v. 89, p. 2221-2232, 2011.
- Madah, H.; Amir, O. Concurrent structural optimization of buckling-resistant trusses and their initial imperfections, *International Journal of Solids and Structures*, v. 162, p. 244-258, 2018.
- Microsoft Excel™. Versão 2016. Microsoft Corporation. USA. www.microsoft.com
- Miguel, L. F. F. et al., "Multimodal size, shape, and topology optimization of truss structures using the Firefly algorithm", *Advances In Engineering Software* 56 - 2013, págs 23-37
- Miguel, L. F. F.; Fadel Miguel, L. F. Novel Metaheuristic Algorithms Applied to Optimization of Structures, *Wseas Transactions on Applied and Theoretical Mechanics*, Issue 3, v. 7, p. 210-220, 2012b.
- Miguel, L. F. F.; Fadel Miguel, L. F. Shape and Size Optimization of Truss Structures considering Dynamic Constraints through Modern Metaheuristic Algorithms, *Expert Systems with Applications*, v. 39, p. 9458-9467, 2012a.
- NR 12, Norma Regulamentadora-12 (2022) Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 19 abr.2022.

- Ohsaki, M. Simultaneous Optimization of Topology and Geometry of a Regular Plane Truss, *Computers and Structures*, vol. 66, n° 1, p. 69-77, Great Britain, 1998.
- Sadollah, A.; Bahreininejad, A.; Eskandar, H.; Hamdi, M. Mine Blast Algorithm for Optimization of Truss Structures with Discrete Variables, *Computers and Structures*, v. 102-103, p. 49-63, 2012.
- Sonmez, M. Artificial Bee Colony Algorithm for Optimization of Truss Structures, *Applied Soft Computing*, v. 11, p. 2406-2418, 2011.
- Souza, O. A. P.; Miguel, L. F.F. CIOA: Circle-Inspired Optimization Algorithm, an algorithm for engineering optimization, *Software X*, v19, p. 101-192, 2022.
- Togan, V.; Daloglu, A. T. Optimization of 3d Trusses with Adaptive Approach in Genetic Algorithms, *Engineering Structures*, v. 28, p. 1019-1027, 2006.
- Wang, W.; Ohmori, H. Elasto-plastic analysis truss optimization using Genetic Algorithm, *Engineering Structures*, v. 50, p. 1-12, 2013.
- XL Optimizer™. Add-in for Microsoft Excel - Software Versão 2018. TechnoLogismiki GRECIA. www.xloptimizer.com / www.technologismiki.com
- Yang, X. S. Harmony Search as a Metaheuristic Algorithm, in: *Music-Inspired Harmony Search Algorithm: Theory and Applications* (Editor Geem, Z. W.), *Studies in Computational Intelligence*, Springer Berlin, v. 191, p. 1-14, 2009.
- Yadav, P.; Kumar, R.; Panda, S. K.; Chang, C. S. An Intelligent Tuned Harmony Search Algorithm for Optimization, *Information Sciences*, v. 196, p. 47-72, 2012.
- Yang, X. S. Firefly Algorithm, *Stochastic Test Functions and Design Optimization*, *Int. J. Bio-Inspired Computation*, v. 2, n° 2, p. 78–84, 2010a.
- Zhengdong, H., Zhengqi, G., Xiaokui, M., Wanglin, C., Multimaterial layout optimization of truss structures via an improved particle swarm optimization algorithm, *Computers & Structures*, v. 222, p. 10-24, 2019. 683

APÊNDICE A

RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES NUMÉRICAS PARA DADOS DE ENTRADA INTERATIVOS

1. INTRODUÇÃO

Esse anexo apresenta simulações adicionais considerando interação discreta dos dados de entrada para distintas tipologias de transportadores submetidas a diferentes pressões devidas a ação do vento. Traz também comentários acerca dos resultados obtidos para as variáveis de projeto, restrições bem como da própria função objetivo.

De maneira geral e, na ordem em que são apresentados, o gráfico inicial mostra diferentes curvas obtidas de alturas de colunas para a função objetivo na interação com os vãos de galerias. O gráfico seguinte apresenta os mesmos dados, mas com abordagem gráfica distinta. Na sequência, é apresentado gráfico adicional identificando a situação interativa resultante dos dados de entrada que apresentam o mínimo valor obtido para a função objetivo. Posteriormente, as tabelas apresentam os dados de entrada, as variáveis de projeto, a massa por tipologia e massa total do sistema estrutural linear além do uso percentual das restrições e restrições ativas no processo. Por fim são apresentadas as seções transversais obtidas para os elementos de cada grupo de barras.

2. TRANSPORTADORES

2.1. TRANSPORTADOR DE 24"

2.1.1. Velocidade do Vento de 35m/s

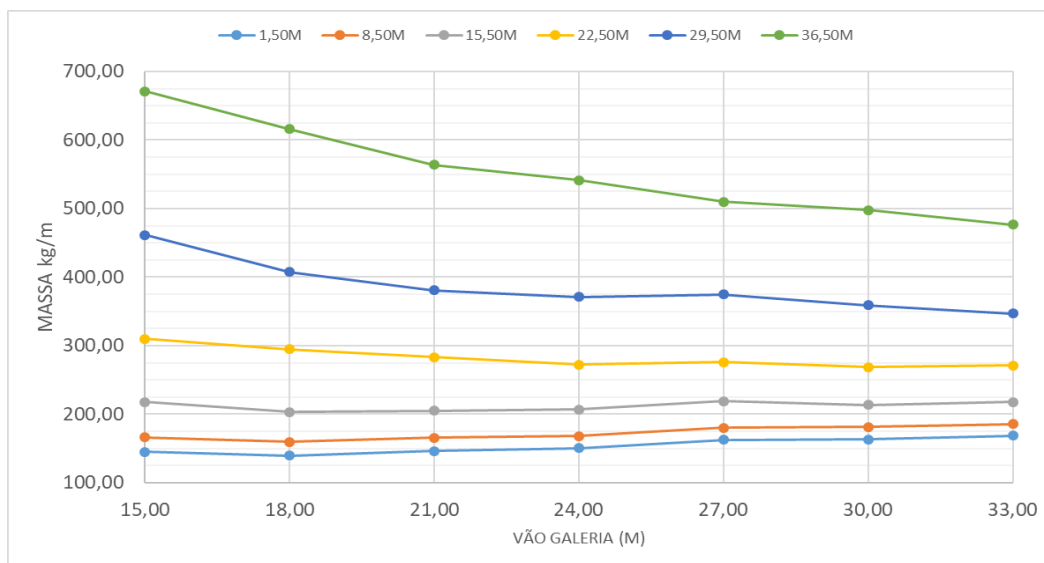


Gráfico A.1 TR24/35 - Curvas da Função Objetivo para Alturas de Coluna Discretas

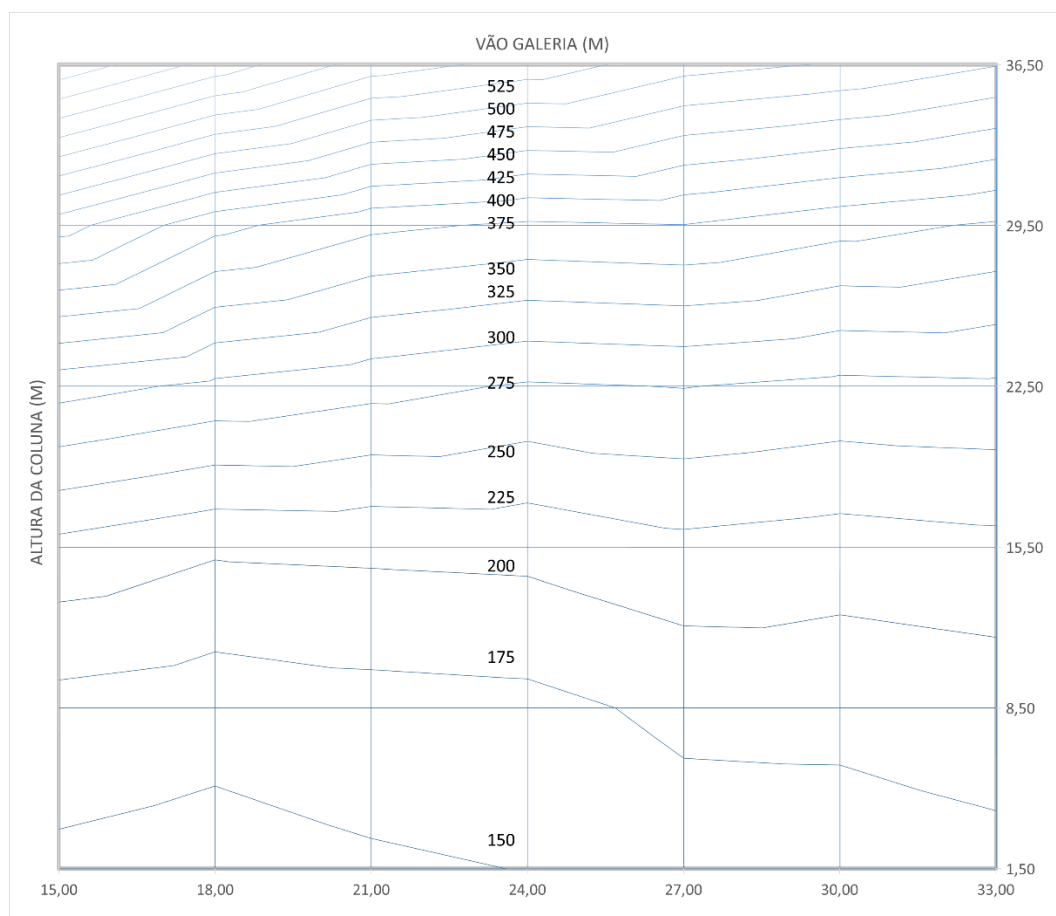


Gráfico A.2 TR24/35– Isolinhas de Mínimos da Função Objetivo (kg/m)

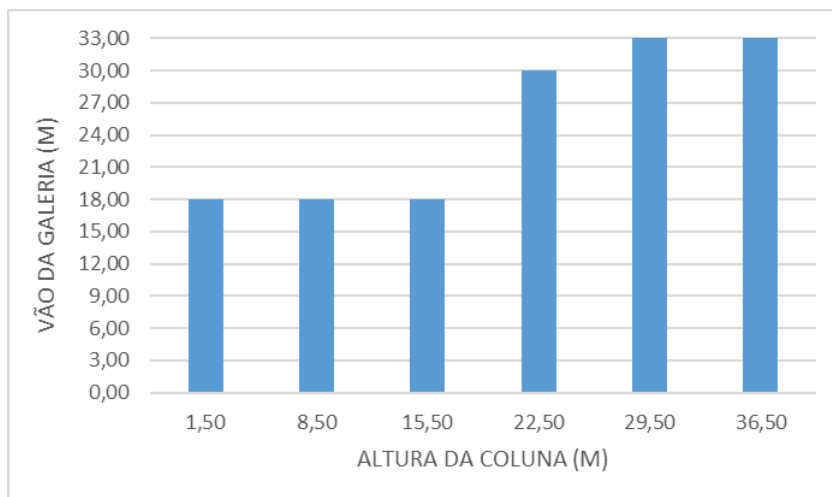


Gráfico A.3 TR24/35 - Localização do Mínimo da Função Objetivo Para Entradas Discretas

Tabela A.1 TR24/35 - Dados de Entrada, Variáveis de Projeto, Massa e Restrições – Resultados Otimizados

DADOS ENTRADA				VARIÁVEIS PROJETO				MASSA			RESTRIÇÕES									
TR	V (M/S)	COL (H)	GAL (M)	VP1	VP2	VP3	VP4	MGAL	MCOL	MASSA KG/M	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R GAL	R7	R8	R COL
24	35	1,50	15,00	0	1	0	0	139,8	5,0	144,8	11%	15%	63%	28%	46%	11%	98%	20%	9%	91%
24	35	8,50	15,00	0	1	3	2	139,8	26,2	166,0	11%	15%	63%	28%	46%	11%	98%	33%	26%	95%
24	35	15,50	15,00	0	1	5	3	139,8	77,9	217,7	11%	15%	63%	28%	46%	11%	98%	29%	33%	93%
24	35	22,50	15,00	0	1	6	4	139,8	169,9	309,7	11%	15%	63%	28%	46%	11%	98%	23%	34%	99%
24	35	29,50	15,00	0	1	5	3	139,8	321,4	461,2	11%	15%	63%	28%	46%	11%	98%	28%	41%	100%
24	35	36,50	15,00	0	1	4	4	139,8	531,1	670,9	11%	15%	63%	28%	46%	11%	98%	20%	38%	99%
24	35	1,50	18,00	0	1	0	0	135,5	4,1	139,7	14%	17%	78%	35%	53%	7%	98%	24%	10%	91%
24	35	8,50	18,00	0	1	3	5	135,5	24,2	159,8	14%	17%	78%	35%	53%	7%	98%	24%	23%	95%
24	35	15,50	18,00	0	1	6	4	135,5	68,0	203,5	14%	17%	78%	35%	53%	7%	98%	28%	32%	100%
24	35	22,50	18,00	0	1	6	4	135,5	159,1	294,6	14%	17%	78%	35%	53%	7%	98%	23%	34%	99%
24	35	29,50	18,00	0	1	6	3	135,5	272,0	407,5	14%	17%	78%	35%	53%	7%	98%	31%	43%	100%
24	35	36,50	18,00	0	1	4	5	135,5	480,4	615,9	14%	17%	78%	35%	53%	7%	98%	16%	35%	99%
24	35	1,50	21,00	0	1	0	0	142,8	3,6	146,4	19%	19%	95%	44%	61%	8%	98%	28%	10%	93%
24	35	8,50	21,00	0	1	4	1	142,8	22,7	165,6	19%	19%	95%	44%	61%	8%	98%	46%	31%	97%
24	35	15,50	21,00	0	1	6	2	142,8	62,4	205,2	19%	19%	95%	44%	61%	8%	98%	28%	41%	97%
24	35	22,50	21,00	0	1	5	2	142,8	140,6	283,4	19%	19%	95%	44%	61%	8%	98%	43%	48%	99%
24	35	29,50	21,00	0	1	6	4	142,8	237,9	380,7	19%	19%	95%	44%	61%	8%	98%	25%	40%	100%
24	35	36,50	21,00	0	1	4	6	142,8	420,9	563,7	19%	19%	95%	44%	61%	8%	98%	14%	34%	100%
24	35	1,50	24,00	0	2	0	0	147,2	3,3	150,6	22%	17%	67%	51%	62%	9%	99%	28%	10%	85%
24	35	8,50	24,00	0	2	4	3	147,2	20,7	167,9	22%	17%	67%	51%	62%	9%	99%	38%	29%	95%
24	35	15,50	24,00	0	2	5	3	147,2	59,8	207,1	22%	17%	67%	51%	62%	9%	99%	36%	37%	97%
24	35	22,50	24,00	0	2	5	3	147,2	125,1	272,4	22%	17%	67%	51%	62%	9%	99%	35%	43%	97%
24	35	29,50	24,00	0	2	6	4	147,2	223,7	370,9	22%	17%	67%	51%	62%	9%	99%	26%	42%	100%
24	35	36,50	24,00	0	2	4	4	147,2	393,9	541,1	22%	17%	67%	51%	62%	9%	99%	23%	43%	99%
24	35	1,50	27,00	1	4	0	0	159,9	3,0	162,9	28%	18%	52%	60%	70%	6%	99%	32%	11%	99%
24	35	8,50	27,00	1	4	4	1	159,9	20,6	180,5	28%	18%	52%	60%	70%	6%	99%	53%	34%	98%
24	35	15,50	27,00	1	4	4	6	159,9	58,8	218,7	28%	18%	52%	60%	70%	6%	99%	23%	30%	100%
24	35	22,50	27,00	1	4	6	4	159,9	115,8	275,8	28%	18%	52%	60%	70%	6%	99%	31%	40%	99%
24	35	29,50	27,00	1	4	5	3	159,9	214,5	374,4	28%	18%	52%	60%	70%	6%	99%	36%	49%	100%
24	35	36,50	27,00	1	4	4	4	159,9	350,1	510,0	28%	18%	52%	60%	70%	6%	99%	26%	46%	99%
24	35	1,50	30,00	0	4	0	0	159,9	3,3	163,2	35%	20%	55%	71%	79%	8%	98%	25%	10%	80%
24	35	8,50	30,00	0	4	4	0	159,9	21,6	181,5	35%	20%	55%	71%	79%	8%	98%	62%	37%	98%
24	35	15,50	30,00	0	4	5	2	159,9	53,6	213,5	35%	20%	55%	71%	79%	8%	98%	50%	45%	98%
24	35	22,50	30,00	0	4	5	5	159,9	109,0	268,9	35%	20%	55%	71%	79%	8%	98%	25%	38%	95%
24	35	29,50	30,00	0	4	6	4	159,9	199,0	358,9	35%	20%	55%	71%	79%	8%	98%	28%	44%	100%
24	35	36,50	30,00	0	4	4	5	159,9	337,9	497,8	35%	20%	55%	71%	79%	8%	98%	20%	41%	94%
24	35	1,50	33,00	0	5	0	0	165,8	3,0	168,8	44%	25%	78%	84%	94%	9%	100%	27%	10%	81%
24	35	8,50	33,00	0	5	4	3	165,8	20,1	185,9	44%	25%	78%	84%	94%	9%	100%	38%	30%	100%
24	35	15,50	33,00	0	5	4	4	165,8	52,2	218,0	44%	25%	78%	84%	94%	9%	100%	33%	36%	99%
24	35	22,50	33,00	0	5	6	4	165,8	105,1	270,9	44%	25%	78%	84%	94%	9%	100%	31%	42%	99%
24	35	29,50	33,00	0	5	6	4	165,8	180,9	346,7	44%	25%	78%	84%	94%	9%	100%	30%	46%	100%
24	35	36,50	33,00	0	5	7	5	165,8	310,8	476,6	44%	25%	78%	84%	94%	9%	100%	21%	43%	99%

Observa-se que nos menores vãos de galerias, a *VP1* manteve-se no *lower bound*, alterando nos vãos de 24,00 metros. O mesmo ocorreu com a *VP2*, entretanto para os vãos maiores houveram mais alterações no índice. Com relação a *VP3*, com o acréscimo da altura da coluna também ocorreu um acréscimo da quantidade de contenções laterais. Para a *VP4*, não houve um padrão de comportamento.

Com relação a massa mínima do conjunto discreto, resultados ótimos qualitativos ocorrem da seguinte forma: colunas mais baixas interagindo com galerias menores bem como colunas mais altas com galerias maiores. Qualitativamente, alturas de colunas de 15,5m apresentaram valores aproximadamente constantes para a função objetivo, independentemente do vão da galeria, de 212kg/m.

A restrição ativa é a R3 em 57,14% das simulações com aproveitamento máximo de 95% e a R5 (quando a frequência fundamental não é a frequência natural de vibração vertical) em 42,86% dos casos com aproveitamento máximo de 94%. Com relação às colunas, a restrição com maior utilização foi a R7 com aproveitamento máximo de 62% para interação entre colunas de 08,5m com galerias de 30,0m, entretanto foi inativa.

2.1.2. Velocidade do Vento de 45m/s

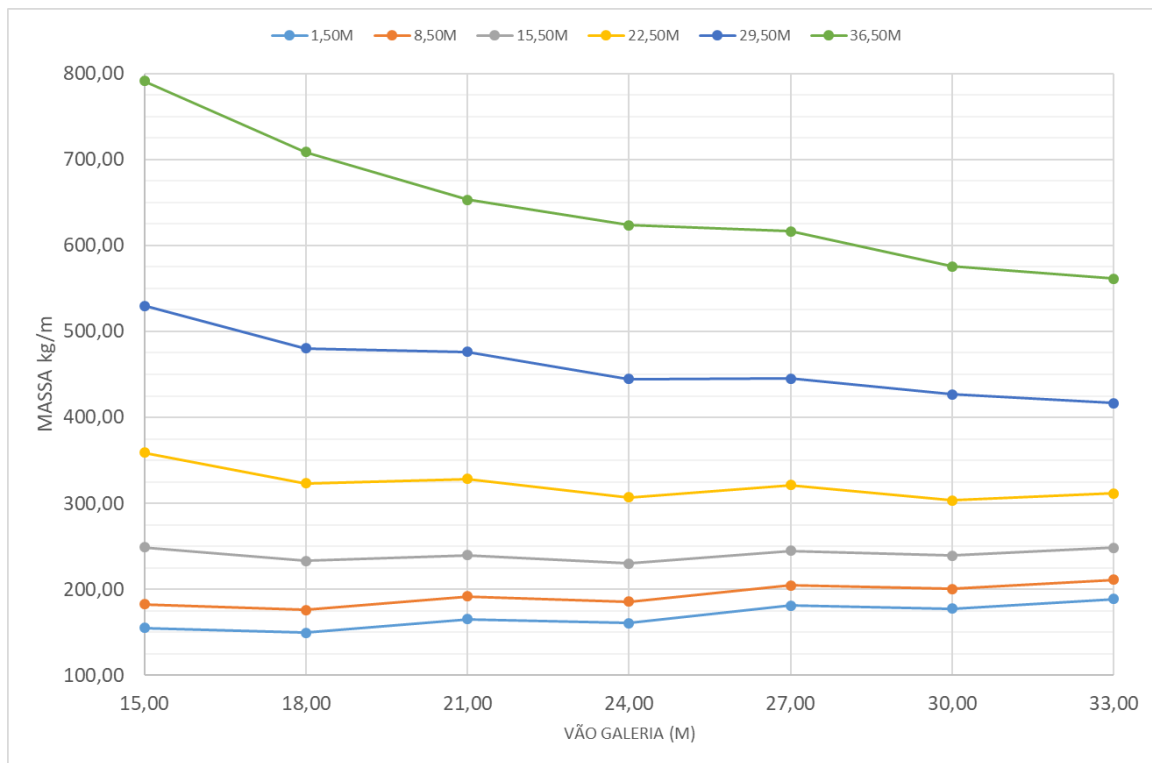


Gráfico A.4 TR24/45 - Curvas da Função Objetivo para Alturas de Coluna Discretas

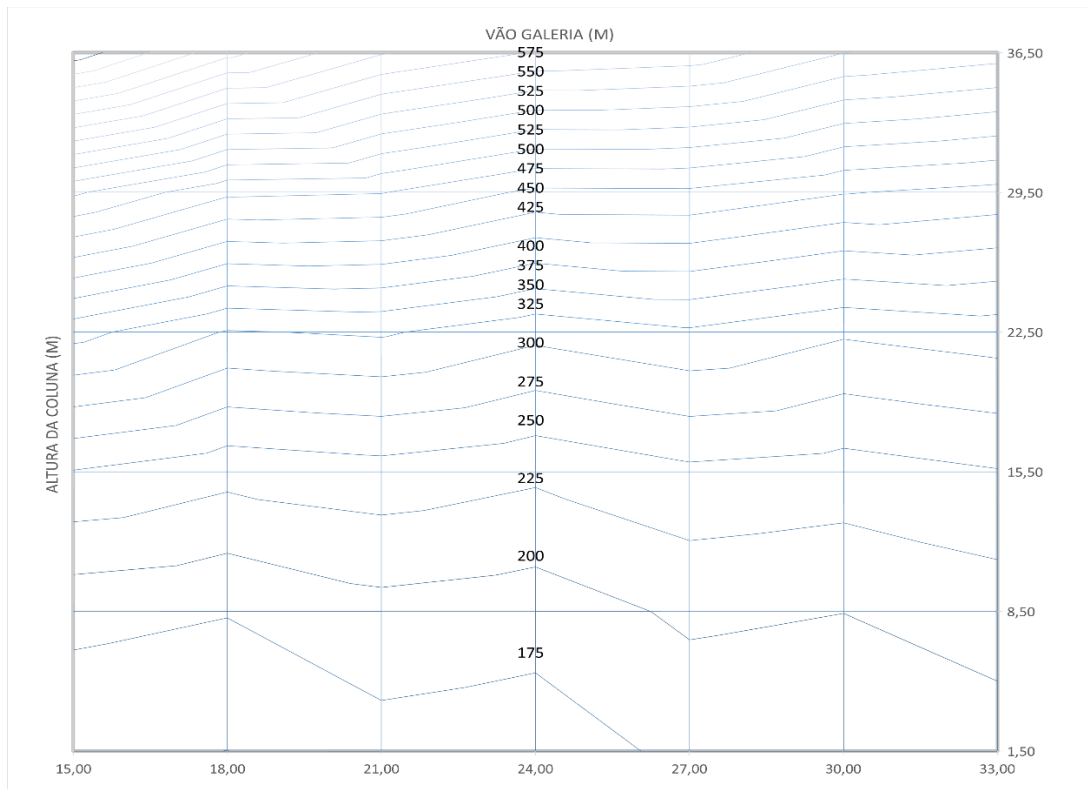


Gráfico A.5 TR24/45 – Isolinhas de Mínimos da Função Objetivo (kg/m)

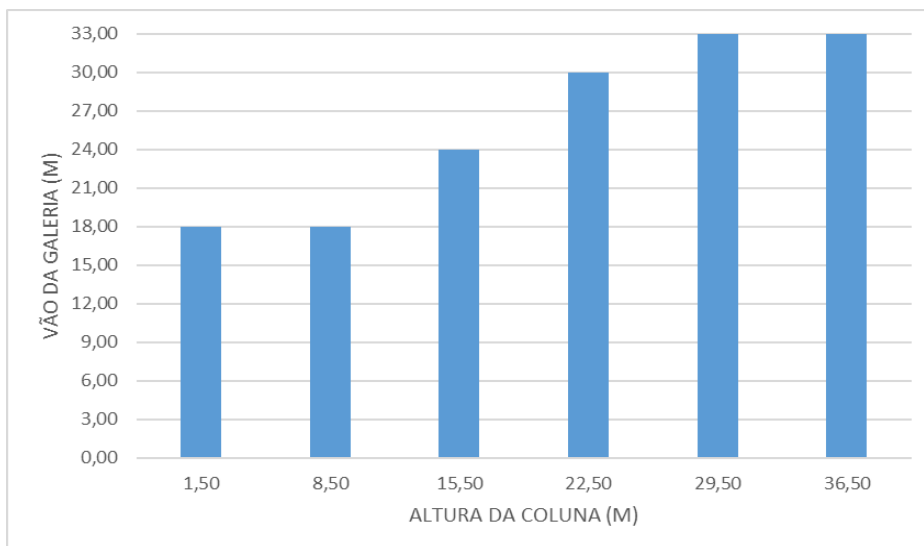


Gráfico A.6 TR24/45 - Localização do Mínimo da Função Objetivo Para Entradas Discretas

Tabela A.3 TR24/45 - Dados de Entrada, Variáveis de Projeto, Massa e Restrições – Resultados Otimizados

DADOS ENTRADA				VARIÁVEIS PROJETO				MASSA			RESTRICÇÕES									
TR	V (M/S)	COL (H)	GAL (M)	VP1	VP2	VP3	VP4	MGAL	MCOL	MASSA KG/M	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R GAL	R7	R8	R COL
24	45	1,50	15,00	0	2	0	0	150,0	5,3	155,4	11%	17%	62%	28%	38%	10%	98%	29%	8%	84%
24	45	8,50	15,00	0	2	4	2	150,0	32,5	182,5	11%	17%	62%	28%	38%	10%	98%	47%	25%	94%
24	45	15,50	15,00	0	2	6	3	150,0	98,7	248,7	11%	17%	62%	28%	38%	10%	98%	40%	30%	96%
24	45	22,50	15,00	0	2	5	3	150,0	209,1	359,1	11%	17%	62%	28%	38%	10%	98%	38%	34%	99%
24	45	29,50	15,00	0	2	4	4	150,0	379,7	529,7	11%	17%	62%	28%	38%	10%	98%	30%	33%	100%
24	45	36,50	15,00	0	2	5	4	150,0	641,4	791,4	11%	17%	62%	28%	38%	10%	98%	28%	35%	100%
24	45	1,50	18,00	0	2	0	0	145,4	4,4	149,8	14%	19%	77%	35%	44%	7%	98%	34%	9%	100%
24	45	8,50	18,00	0	2	4	1	145,4	30,8	176,2	14%	19%	77%	35%	44%	7%	98%	58%	27%	99%
24	45	15,50	18,00	0	2	5	4	145,4	87,9	233,2	14%	19%	77%	35%	44%	7%	98%	36%	29%	100%
24	45	22,50	18,00	0	2	5	4	145,4	177,8	323,2	14%	19%	77%	35%	44%	7%	98%	34%	33%	99%
24	45	29,50	18,00	0	2	4	5	145,4	334,8	480,2	14%	19%	77%	35%	44%	7%	98%	26%	32%	100%
24	45	36,50	18,00	0	2	4	5	145,4	563,2	708,6	14%	19%	77%	35%	44%	7%	98%	23%	33%	100%
24	45	1,50	21,00	0	4	0	0	160,8	4,7	165,5	18%	18%	60%	43%	48%	8%	98%	29%	8%	80%
24	45	8,50	21,00	0	4	4	2	160,8	30,9	191,7	18%	18%	60%	43%	48%	8%	98%	48%	25%	99%
24	45	15,50	21,00	0	4	5	6	160,8	79,2	240,0	18%	18%	60%	43%	48%	8%	98%	29%	26%	97%
24	45	22,50	21,00	0	4	4	5	160,8	167,5	328,3	18%	18%	60%	43%	48%	8%	98%	28%	31%	100%
24	45	29,50	21,00	0	4	4	5	160,8	315,7	476,4	18%	18%	60%	43%	48%	8%	98%	25%	32%	94%
24	45	36,50	21,00	0	4	4	6	160,8	492,1	652,9	18%	18%	60%	43%	48%	8%	98%	20%	32%	99%
24	45	1,50	24,00	0	4	0	0	156,8	4,1	161,0	22%	22%	70%	51%	57%	8%	100%	33%	9%	90%
24	45	8,50	24,00	0	4	4	2	156,8	29,1	186,0	22%	22%	70%	51%	57%	8%	100%	51%	26%	96%
24	45	15,50	24,00	0	4	4	5	156,8	73,1	230,0	22%	22%	70%	51%	57%	8%	100%	34%	28%	99%
24	45	22,50	24,00	0	4	5	5	156,8	150,5	307,3	22%	22%	70%	51%	57%	8%	100%	31%	32%	95%
24	45	29,50	24,00	0	4	4	4	156,8	287,7	444,6	22%	22%	70%	51%	57%	8%	100%	33%	38%	100%
24	45	36,50	24,00	0	4	4	6	156,8	466,8	623,7	22%	22%	70%	51%	57%	8%	100%	20%	32%	98%
24	45	1,50	27,00	1	7	0	0	177,2	4,3	181,4	27%	27%	81%	60%	68%	6%	99%	32%	9%	82%
24	45	8,50	27,00	1	7	2	6	177,2	27,6	204,7	27%	27%	81%	60%	68%	6%	99%	30%	20%	97%
24	45	15,50	27,00	1	7	5	5	177,2	67,5	244,7	27%	27%	81%	60%	68%	6%	99%	39%	30%	97%
24	45	22,50	27,00	1	7	6	4	177,2	144,0	321,2	27%	27%	81%	60%	68%	6%	99%	42%	37%	93%
24	45	29,50	27,00	1	7	4	5	177,2	268,2	445,3	27%	27%	81%	60%	68%	6%	99%	28%	35%	100%
24	45	36,50	27,00	1	7	4	5	177,2	439,2	616,4	27%	27%	81%	60%	68%	6%	99%	26%	37%	100%
24	45	1,50	30,00	0	7	0	0	173,6	3,8	177,5	35%	30%	84%	72%	78%	8%	98%	34%	9%	88%
24	45	8,50	30,00	0	7	2	1	173,6	26,7	200,3	35%	30%	84%	72%	78%	8%	98%	60%	29%	99%
24	45	15,50	30,00	0	7	3	5	173,6	65,6	239,2	35%	30%	84%	72%	78%	8%	98%	35%	30%	97%
24	45	22,50	30,00	0	7	6	4	173,6	129,6	303,3	35%	30%	84%	72%	78%	8%	98%	44%	39%	99%
24	45	29,50	30,00	0	7	5	6	173,6	253,0	426,6	35%	30%	84%	72%	78%	8%	98%	24%	33%	99%
24	45	36,50	30,00	0	7	4	6	173,6	402,0	575,7	35%	30%	84%	72%	78%	8%	98%	22%	34%	98%
24	45	1,50	33,00	0	7	0	0	185,4	3,5	188,9	42%	34%	97%	82%	88%	8%	98%	37%	9%	97%
24	45	8,50	33,00	0	7	3	2	185,4	25,8	211,1	42%	34%	97%	82%	88%	8%	98%	53%	27%	97%
24	45	15,50	33,00	0	7	4	6	185,4	63,2	248,6	42%	34%	97%	82%	88%	8%	98%	32%	29%	100%
24	45	22,50	33,00	0	7	6	4	185,4	126,5	311,8	42%	34%	97%	82%	88%	8%	98%	44%	39%	96%
24	45	29,50	33,00	0	7	5	4	185,4	231,3	416,6	42%	34%	97%	82%	88%	8%	98%	39%	42%	95%
24	45	36,50	33,00	0	7	6	3	185,4	376,0	561,3	42%	34%	97%	82%	88%	8%	98%	38%	52%	100%

Observa-se que nos vãos de galeria, a *VP1* manteve-se no *lower bound* da variável, exceto no vão de 24.0m. Na *VP2*, entretanto, para os vãos maiores houveram mais modificações no índice da variável. Com relação a *VP3*, com o acréscimo da altura da coluna também ocorreu um acréscimo da quantidade de contenções laterais. Para a *VP4*, não houve um padrão de comportamento.

Com relação a massa mínima do conjunto discreto como na anterior, resultados ótimos qualitativos ocorrem da seguinte forma: colunas mais baixas interagindo com galerias de vão menores bem como colunas mais altas com galerias maiores. Qualitativamente, alturas de colunas de 15,5 m apresentaram valores aproximadamente constantes para a função objetivo, independentemente do vão da galeria, de 240,62kg/m.

A restrição ativa é a R3 em 100% das simulações com aproveitamento máximo de 97%. Com relação às colunas, a restrição com maior utilização foi a R7 com aproveitamento máximo de 60% para interação entre colunas de 08,5m com galerias de 30,0m, entretanto foi inativa.

2.2. TRANSPORTADOR DE 30"

2.2.1. Velocidade do Vento de 35m/s

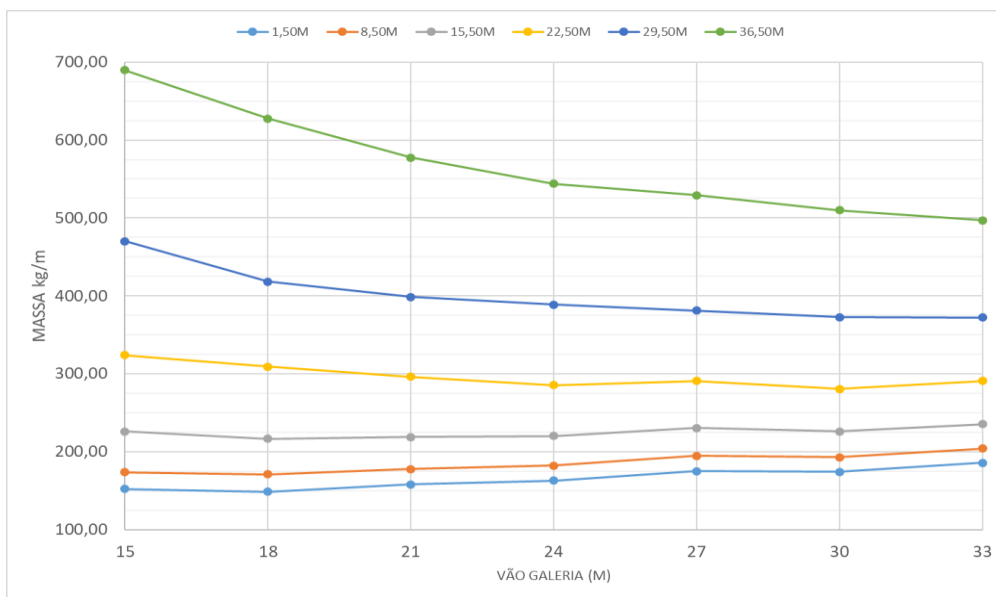


Gráfico A.7 TR30/35 - Curvas da Função Objetivo para Alturas de Coluna Discretas

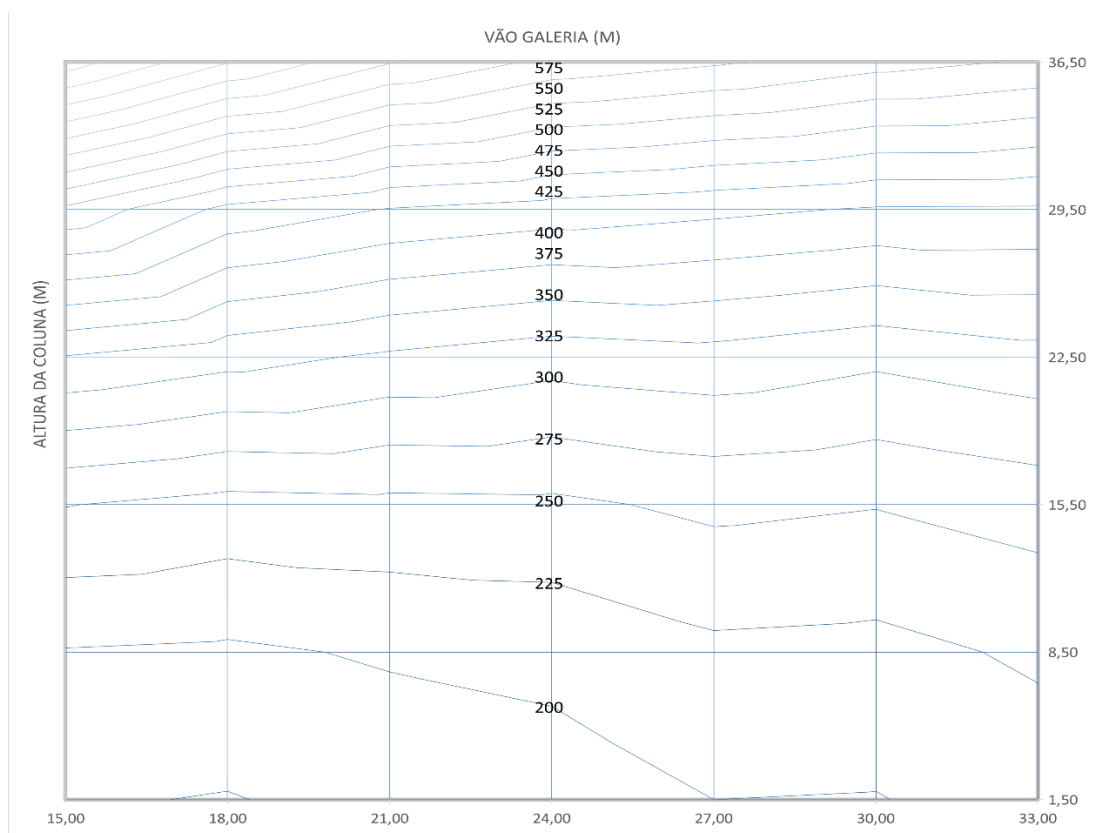


Gráfico A.8 TR30/35 – Isolinhas de Mínimos da Função Objetivo (kg/m)

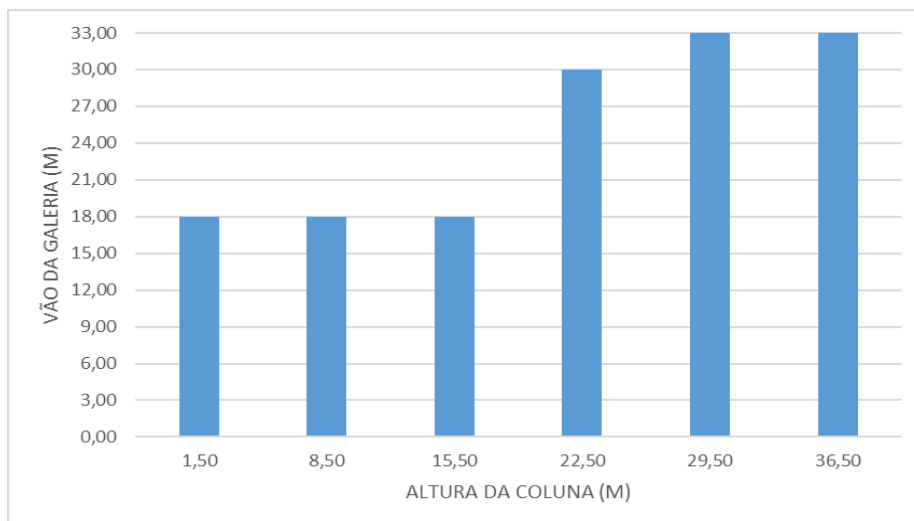


Gráfico A.9 TR30/35 - Localização do Mínimo da Função Objetivo Para Entradas Discretas

Tabela A.5 TR30/35 - Dados de Entrada, Variáveis de Projeto, Massa e Restrições – Resultados Otimizados

DADOS ENTRADA				VARIÁVEIS PROJETO				MASSA			RESTRIÇÕES									
TR	V (M/S)	COL (H)	GAL (M)	VP1	VP2	VP3	VP4	MGAL	MCOL	MASSA KG/M	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R GAL	R7	R8	R COL
30	35	1,50	15,00	0	1	0	0	147,2	5,2	152,4	12%	15%	65%	29%	47%	16%	93%	20%	9%	100%
30	35	8,50	15,00	0	1	3	1	147,2	26,4	173,5	12%	15%	65%	29%	47%	16%	93%	35%	29%	100%
30	35	15,50	15,00	0	1	5	3	147,2	78,7	225,9	12%	15%	65%	29%	47%	16%	93%	27%	33%	95%
30	35	22,50	15,00	0	1	5	4	147,2	176,7	323,9	12%	15%	65%	29%	47%	16%	93%	21%	33%	96%
30	35	29,50	15,00	0	1	5	3	147,2	323,1	470,3	12%	15%	65%	29%	47%	16%	93%	26%	40%	98%
30	35	36,50	15,00	0	1	4	6	147,2	542,7	689,9	12%	15%	65%	29%	47%	16%	93%	12%	31%	99%
30	35	1,50	18,00	1	1	0	0	144,4	4,3	148,7	14%	18%	88%	36%	55%	10%	90%	25%	10%	100%
30	35	8,50	18,00	1	1	3	3	144,4	26,7	171,1	14%	18%	88%	36%	55%	10%	90%	28%	25%	96%
30	35	15,50	18,00	1	1	6	1	144,4	72,3	216,7	14%	18%	88%	36%	55%	10%	90%	50%	44%	97%
30	35	22,50	18,00	1	1	5	4	144,4	164,8	309,2	14%	18%	88%	36%	55%	10%	90%	22%	34%	92%
30	35	29,50	18,00	1	1	6	3	144,4	273,8	418,2	14%	18%	88%	36%	55%	10%	90%	29%	43%	100%
30	35	36,50	18,00	1	1	4	5	144,4	483,1	627,5	14%	18%	88%	36%	55%	10%	90%	16%	36%	100%
30	35	1,50	21,00	0	1	0	0	154,3	3,7	158,0	21%	18%	98%	46%	61%	13%	98%	28%	11%	100%
30	35	8,50	21,00	0	1	4	1	154,3	23,3	177,6	21%	18%	98%	46%	61%	13%	98%	42%	31%	94%
30	35	15,50	21,00	0	1	7	2	154,3	64,5	218,9	21%	18%	98%	46%	61%	13%	98%	43%	42%	100%
30	35	22,50	21,00	0	1	5	2	154,3	141,6	295,9	21%	18%	98%	46%	61%	13%	98%	40%	47%	98%
30	35	29,50	21,00	0	1	7	4	154,3	244,4	398,7	21%	18%	98%	46%	61%	13%	98%	24%	41%	100%
30	35	36,50	21,00	0	1	4	6	154,3	423,3	577,6	21%	18%	98%	46%	61%	13%	98%	14%	34%	100%
30	35	1,50	24,00	0	2	0	0	159,4	3,5	162,8	24%	15%	70%	53%	60%	12%	91%	28%	11%	88%
30	35	8,50	24,00	0	2	4	1	159,4	22,7	182,0	24%	15%	70%	53%	60%	12%	91%	44%	32%	99%
30	35	15,50	24,00	0	2	5	3	159,4	60,7	220,0	24%	15%	70%	53%	60%	12%	91%	34%	37%	96%
30	35	22,50	24,00	0	2	5	3	159,4	126,1	285,4	24%	15%	70%	53%	60%	12%	91%	33%	43%	95%
30	35	29,50	24,00	0	2	7	4	159,4	229,4	388,7	24%	15%	70%	53%	60%	12%	91%	24%	42%	100%
30	35	36,50	24,00	0	2	5	3	159,4	384,7	544,1	24%	15%	70%	53%	60%	12%	91%	30%	50%	100%
30	35	1,50	27,00	0	4	0	0	171,1	3,9	175,0	31%	15%	50%	64%	66%	8%	98%	22%	10%	88%
30	35	8,50	27,00	0	4	4	0	171,1	23,7	194,8	31%	15%	50%	64%	66%	8%	98%	49%	34%	100%
30	35	15,50	27,00	0	4	5	1	171,1	59,2	230,3	31%	15%	50%	64%	66%	8%	98%	55%	48%	97%
30	35	22,50	27,00	0	4	5	4	171,1	119,6	290,7	31%	15%	50%	64%	66%	8%	98%	27%	40%	94%
30	35	29,50	27,00	0	4	7	4	171,1	209,9	381,0	31%	15%	50%	64%	66%	8%	98%	26%	44%	100%
30	35	36,50	27,00	0	4	5	4	171,1	358,0	529,1	31%	15%	50%	64%	66%	8%	98%	23%	45%	94%
30	35	1,50	30,00	0	5	0	0	170,4	3,5	173,9	37%	18%	72%	74%	78%	13%	88%	25%	10%	88%
30	35	8,50	30,00	0	5	4	2	170,4	22,2	192,7	37%	18%	72%	74%	78%	13%	88%	38%	30%	95%
30	35	15,50	30,00	0	5	6	2	170,4	55,6	226,1	37%	18%	72%	74%	78%	13%	88%	46%	44%	98%
30	35	22,50	30,00	0	5	5	5	170,4	109,9	280,4	37%	18%	72%	74%	78%	13%	88%	24%	38%	98%
30	35	29,50	30,00	0	5	4	5	170,4	202,2	372,7	37%	18%	72%	74%	78%	13%	88%	21%	40%	99%
30	35	36,50	30,00	0	5	4	5	170,4	339,5	510,0	37%	18%	72%	74%	78%	13%	88%	19%	41%	94%
30	35	1,50	33,00	0	5	0	0	182,5	3,2	185,7	44%	21%	83%	85%	89%	12%	95%	27%	11%	88%
30	35	8,50	33,00	0	5	4	1	182,5	21,3	203,8	44%	21%	83%	85%	89%	12%	95%	45%	34%	97%
30	35	15,50	33,00	0	5	4	4	182,5	52,8	235,3	44%	21%	83%	85%	89%	12%	95%	31%	37%	98%
30	35	22,50	33,00	0	5	5	4	182,5	108,2	290,7	44%	21%	83%	85%	89%	12%	95%	29%	42%	94%
30	35	29,50	33,00	0	5	7	4	182,5	189,5	372,1	44%	21%	83%	85%	89%	12%	95%	27%	46%	100%
30	35	36,50	33,00	0	5	4	6	182,5	314,7	497,2	44%	21%	83%	85%	89%	12%	95%	16%	39%	99%

Observa-se que nos vãos de galeria, a *VP1* manteve-se no *lower bound* da variável, exceto no vão de 18,0m. Na *VP2*, entretanto, para os vãos maiores houveram mais modificações no índice da variável. Com relação a *VP3*, com o acréscimo da altura da coluna também ocorreu um acréscimo da quantidade de contenções laterais. Para a *VP4*, não houve um padrão de comportamento.

Com relação a massa mínima do conjunto discreto como na anterior, resultados ótimos qualitativos ocorrem da seguinte forma: colunas mais baixas interagindo com galerias de vão menores bem como colunas mais altas com galerias maiores. Qualitativamente, também alturas de colunas de 15,5m apresentaram valores aproximadamente constantes para a função objetivo, independentemente do vão da galeria, de 224,75kg/m.

A restrição ativa é a R3 em 57,14% das simulações com aproveitamento máximo de 98% e a R5 (quando a frequência fundamental não é a frequência natural de vibração vertical) em 42,86% dos casos com aproveitamento máximo de 85%. Com relação às colunas, a restrição com maior utilização foi a R7 com aproveitamento máximo de 55% para interação entre colunas de 15,5m com galerias de 27,0m, entretanto foi inativa.

2.2.2. Velocidade do Vento de 45m/s

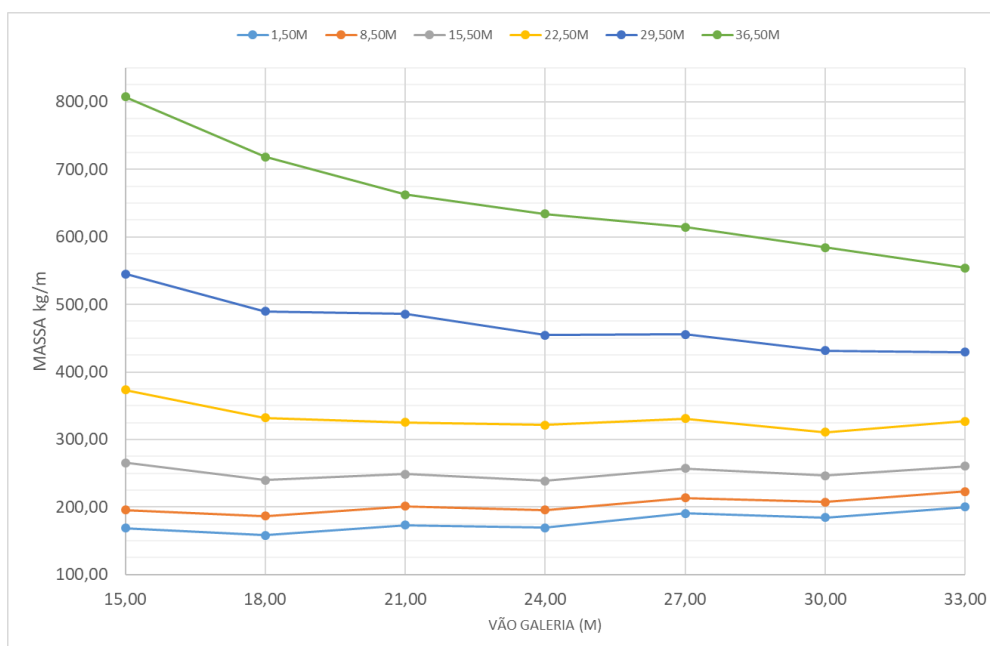


Gráfico A.10 TR30/35 - Curvas da Função Objetivo para Alturas de Coluna Discretas

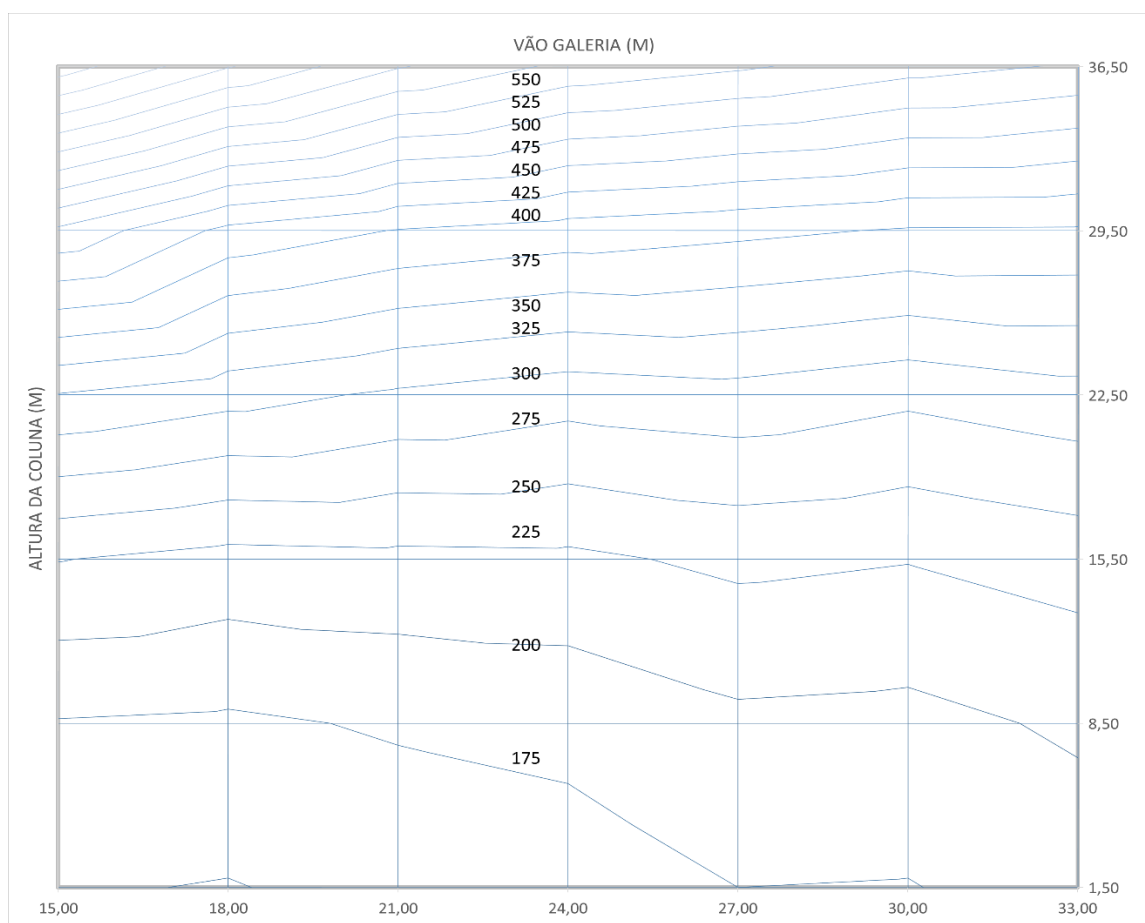


Gráfico A.11 TR30/35- Isolinhas de Mínimos da Função Objetivo (kg/m)

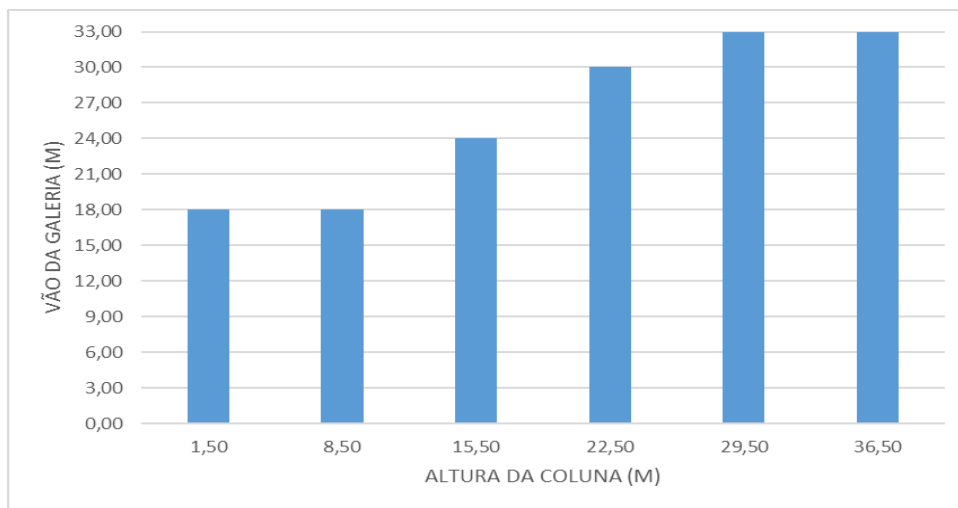


Gráfico A.12 TR30/45 - Localização do Mínimo da Função Objetivo Para Entradas Discretas

Tabela A.7 Dados de Entrada, Variáveis de Projeto, Massa e Restrições – Resultados Otimizados

DADOS ENTRADA				VARIÁVEIS PROJETO				MASSA			RESTRICÇÕES									
TR	V (M/S)	COL (H)	GAL (M)	VP1	VP2	VP3	VP4	MGAL	MCOL	MASSA KG/M	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R GAL	R7	R8	R COL
30	45	1,50	15,00	0	2	0	0	163,1	5,6	168,6	12%	16%	64%	29%	38%	16%	91%	29%	9%	87%
30	45	8,50	15,00	0	2	4	1	163,1	32,6	195,7	12%	16%	64%	29%	38%	16%	91%	51%	27%	99%
30	45	15,50	15,00	0	2	4	4	163,1	102,8	265,9	12%	16%	64%	29%	38%	16%	91%	29%	26%	93%
30	45	22,50	15,00	0	2	7	3	163,1	210,4	373,5	12%	16%	64%	29%	38%	16%	91%	37%	35%	100%
30	45	29,50	15,00	0	2	4	4	163,1	381,9	545,0	12%	16%	64%	29%	38%	16%	91%	28%	34%	99%
30	45	36,50	15,00	0	2	5	4	163,1	644,4	807,5	12%	16%	64%	29%	38%	16%	91%	26%	35%	99%
30	45	1,50	18,00	0	2	0	0	152,5	5,8	158,3	15%	18%	80%	37%	44%	10%	88%	25%	8%	88%
30	45	8,50	18,00	0	2	4	4	152,5	34,4	186,9	15%	18%	80%	37%	44%	10%	88%	34%	22%	96%
30	45	15,50	18,00	0	2	4	5	152,5	87,5	240,0	15%	18%	80%	37%	44%	10%	88%	28%	26%	100%
30	45	22,50	18,00	0	2	5	4	152,5	179,4	331,9	15%	18%	80%	37%	44%	10%	88%	32%	33%	100%
30	45	29,50	18,00	0	2	4	5	152,5	337,0	489,6	15%	18%	80%	37%	44%	10%	88%	24%	32%	99%
30	45	36,50	18,00	0	2	4	5	152,5	565,8	718,4	15%	18%	80%	37%	44%	10%	88%	22%	33%	99%
30	45	1,50	21,00	0	4	0	0	168,3	5,0	173,3	20%	17%	62%	45%	48%	13%	98%	29%	9%	88%
30	45	8,50	21,00	0	4	4	0	168,3	32,8	201,2	20%	17%	62%	45%	48%	13%	98%	59%	29%	98%
30	45	15,50	21,00	0	4	5	6	168,3	80,4	248,8	20%	17%	62%	45%	48%	13%	98%	28%	27%	100%
30	45	22,50	21,00	0	4	5	5	168,3	157,1	325,4	20%	17%	62%	45%	48%	13%	98%	29%	32%	100%
30	45	29,50	21,00	0	4	4	5	168,3	317,5	485,9	20%	17%	62%	45%	48%	13%	98%	24%	33%	94%
30	45	36,50	21,00	0	4	4	6	168,3	494,5	662,8	20%	17%	62%	45%	48%	13%	98%	19%	32%	99%
30	45	1,50	24,00	0	5	0	0	165,3	4,3	169,6	24%	22%	91%	53%	58%	12%	88%	33%	9%	94%
30	45	8,50	24,00	0	5	2	3	165,3	30,2	195,5	24%	22%	91%	53%	58%	12%	88%	35%	23%	95%
30	45	15,50	24,00	0	5	5	3	165,3	73,7	238,9	24%	22%	91%	53%	58%	12%	88%	46%	34%	100%
30	45	22,50	24,00	0	5	6	5	165,3	156,0	321,3	24%	22%	91%	53%	58%	12%	88%	29%	32%	95%
30	45	29,50	24,00	0	5	4	4	165,3	289,1	454,4	24%	22%	91%	53%	58%	12%	88%	31%	38%	99%
30	45	36,50	24,00	0	5	4	6	165,3	468,9	634,1	24%	22%	91%	53%	58%	12%	88%	19%	32%	99%
30	45	1,50	27,00	0	7	0	0	186,0	4,5	190,5	30%	23%	78%	62%	65%	8%	88%	30%	9%	80%
30	45	8,50	27,00	0	7	2	5	186,0	27,6	213,6	30%	23%	78%	62%	65%	8%	88%	30%	22%	97%
30	45	15,50	27,00	0	7	6	5	186,0	71,3	257,3	30%	23%	78%	62%	65%	8%	88%	36%	31%	100%
30	45	22,50	27,00	0	7	6	4	186,0	145,3	331,3	30%	23%	78%	62%	65%	8%	88%	38%	37%	95%
30	45	29,50	27,00	0	7	4	5	186,0	269,6	455,6	30%	23%	78%	62%	65%	8%	88%	26%	35%	97%
30	45	36,50	27,00	0	7	5	6	186,0	428,6	614,6	30%	23%	78%	62%	65%	8%	88%	20%	34%	99%
30	45	1,50	30,00	0	7	0	0	180,4	4,0	184,4	38%	27%	88%	74%	75%	12%	93%	33%	9%	88%
30	45	8,50	30,00	0	7	2	3	180,4	26,9	207,3	38%	27%	88%	74%	75%	12%	93%	39%	25%	99%
30	45	15,50	30,00	0	7	5	3	180,4	66,2	246,5	38%	27%	88%	74%	75%	12%	93%	50%	36%	100%
30	45	22,50	30,00	0	7	6	4	180,4	130,8	311,1	38%	27%	88%	74%	75%	12%	93%	41%	39%	100%
30	45	29,50	30,00	0	7	5	3	180,4	251,4	431,8	38%	27%	88%	74%	75%	12%	93%	46%	46%	100%
30	45	36,50	30,00	0	7	4	6	180,4	403,7	584,0	38%	27%	88%	74%	75%	12%	93%	21%	35%	99%
30	45	1,50	33,00	0	8	0	0	196,7	3,7	200,4	45%	28%	50%	85%	85%	11%	96%	37%	10%	98%
30	45	8,50	33,00	0	8	3	2	196,7	26,3	223,0	45%	28%	50%	85%	85%	11%	96%	49%	28%	94%
30	45	15,50	33,00	0	8	4	6	196,7	64,0	260,7	45%	28%	50%	85%	85%	11%	96%	31%	29%	99%
30	45	22,50	33,00	0	8	7	4	196,7	130,4	327,0	45%	28%	50%	85%	85%	11%	96%	42%	40%	98%
30	45	29,50	33,00	0	8	5	4	196,7	232,5	429,2	45%	28%	50%	85%	85%	11%	96%	37%	42%	94%
30	45	36,50	33,00	0	8	9	3	196,7	357,7	554,3	45%	28%	50%	85%	85%	11%	96%	38%	53%	100%

Observa-se que em todos os vãos de galeria, a *VP1* manteve-se no *lower bound* da variável. Na *VP2*, entretanto, para os vãos maiores houveram mais modificações no índice da variável. Com relação a *VP3*, com o acréscimo da altura da coluna também ocorreu um acréscimo da quantidade de contenções laterais. Para a *VP4*, não houve um padrão de comportamento.

Com relação a massa mínima do conjunto discreto como na anterior, resultados ótimos qualitativos ocorrem da seguinte forma: colunas mais baixas interagindo com galerias de vãos menores bem como colunas mais altas com galerias maiores.

A restrição ativa é a R3 em 85,71% das simulações com aproveitamento máximo de 91% e a R4/R5 (quando a frequência natural de vibração vertical é a frequência fundamental) em 14,29% dos casos com aproveitamento máximo de 85%. Com relação às colunas, a restrição com maior utilização foi a R7 com aproveitamento máximo de 59% para interação entre colunas de 08,5m com galerias de 21,0m, entretanto foi inativa.

2.3. TRANSPORTADOR DE 36”

2.3.1. Velocidade do Vento de 35m/s

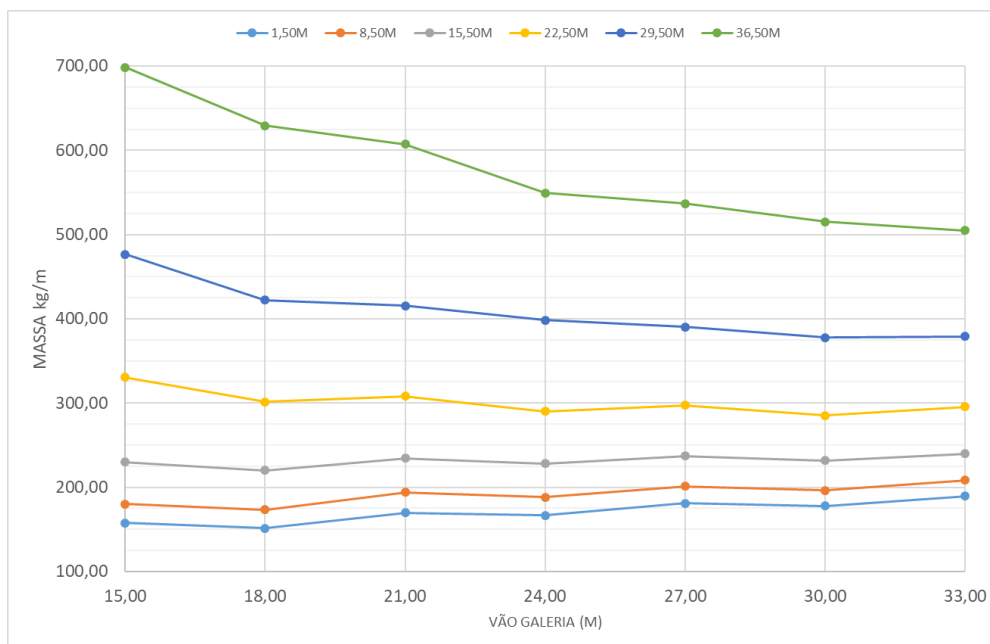


Gráfico A.13 TR36/45- Curvas da Função Objetivo para Alturas de Coluna Discretas

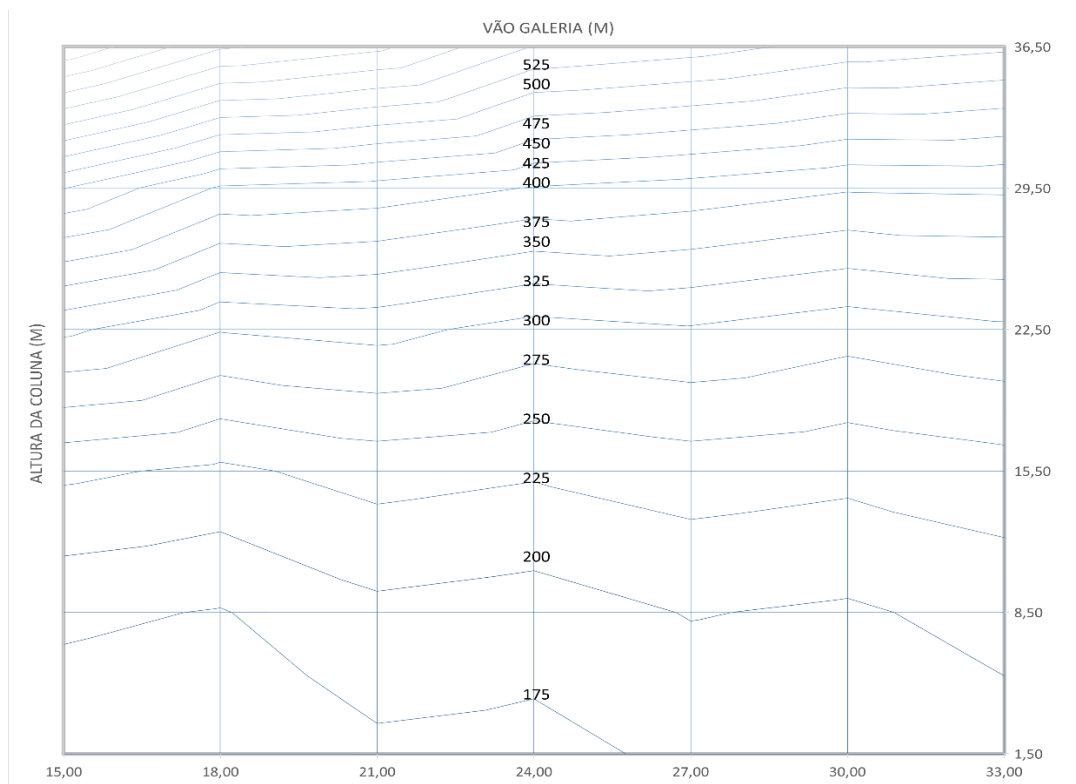


Gráfico A.14 TR36/45– Isolinhas de Mínimos da Função Objetivo (kg/m)

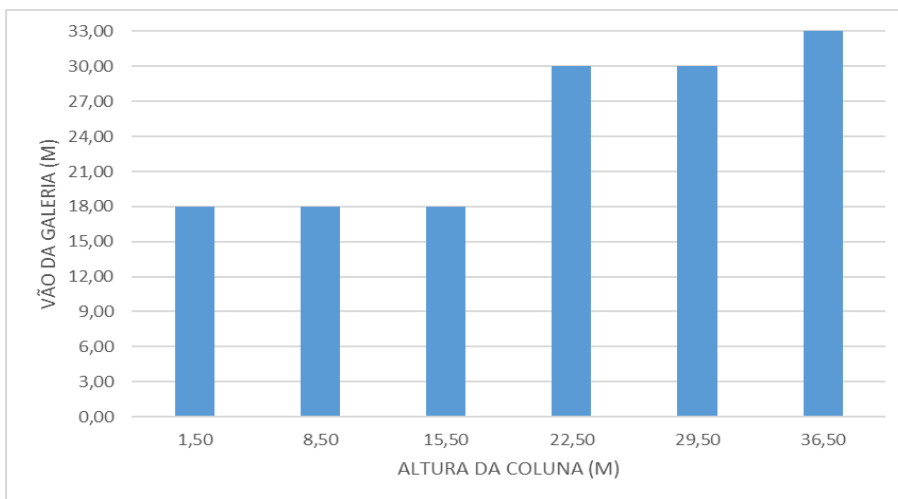


Gráfico A.15 TR36/45 - Localização do Mínimo da Função Objetivo Para Entradas Discretas

Tabela A.9. TR36/35 - Dados de Entrada, Variáveis de Projeto, Massa e Restrições – Resultados Otimizados

DADOS ENTRADA				VARIÁVEIS PROJETO				MASSA			RESTRIÇÕES									
TR	V (M/S)	COL (H)	GAL (M)	VP1	VP2	VP3	VP4	MGAL	MCOL	MASSA KG/M	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R GAL	R7	R8	R COL
36	35	1,50	15,00	0	1	0	0	151,8	5,8	157,6	13%	15%	66%	31%	48%	21%	96%	18%	9%	95%
36	35	8,50	15,00	0	1	3	1	151,8	28,3	180,1	13%	15%	66%	31%	48%	21%	96%	31%	28%	97%
36	35	15,50	15,00	0	1	5	2	151,8	78,3	230,0	13%	15%	66%	31%	48%	21%	96%	32%	37%	100%
36	35	22,50	15,00	0	1	5	4	151,8	178,6	330,4	13%	15%	66%	31%	48%	21%	96%	20%	34%	96%
36	35	29,50	15,00	0	1	5	3	151,8	324,8	476,6	13%	15%	66%	31%	48%	21%	96%	24%	41%	97%
36	35	36,50	15,00	0	1	8	3	151,8	546,6	698,4	13%	15%	66%	31%	48%	21%	96%	23%	43%	100%
36	35	1,50	18,00	0	1	0	0	146,7	4,8	151,5	17%	16%	83%	38%	54%	15%	88%	22%	10%	95%
36	35	8,50	18,00	0	1	3	2	146,7	26,8	173,5	17%	16%	83%	38%	54%	15%	88%	29%	27%	100%
36	35	15,50	18,00	0	1	6	1	146,7	73,2	219,9	17%	16%	83%	38%	54%	15%	88%	44%	44%	95%
36	35	22,50	18,00	0	1	5	3	146,7	154,8	301,5	17%	16%	83%	38%	54%	15%	88%	26%	40%	99%
36	35	29,50	18,00	0	1	6	3	146,7	275,5	422,2	17%	16%	83%	38%	54%	15%	88%	27%	44%	97%
36	35	36,50	18,00	0	1	7	2	146,7	482,7	629,4	17%	16%	83%	38%	54%	15%	88%	36%	54%	100%
36	35	1,50	21,00	2	3	0	0	165,7	4,1	169,8	20%	19%	95%	46%	61%	15%	98%	27%	11%	95%
36	35	8,50	21,00	2	3	4	1	165,7	28,3	193,9	20%	19%	95%	46%	61%	15%	98%	36%	30%	98%
36	35	15,50	21,00	2	3	5	2	165,7	68,8	234,5	20%	19%	95%	46%	61%	15%	98%	37%	40%	97%
36	35	22,50	21,00	2	3	5	2	165,7	142,7	308,3	20%	19%	95%	46%	61%	15%	98%	38%	48%	99%
36	35	29,50	21,00	2	3	5	3	165,7	249,7	415,4	20%	19%	95%	46%	61%	15%	98%	30%	47%	98%
36	35	36,50	21,00	2	3	5	3	165,7	441,4	607,1	20%	19%	95%	46%	61%	15%	98%	27%	48%	96%
36	35	1,50	24,00	0	2	0	0	162,9	3,6	166,5	26%	14%	72%	55%	61%	12%	95%	29%	11%	95%
36	35	8,50	24,00	0	2	4	2	162,9	25,3	188,2	26%	14%	72%	55%	61%	12%	95%	33%	29%	99%
36	35	15,50	24,00	0	2	4	4	162,9	65,1	228,0	26%	14%	72%	55%	61%	12%	95%	24%	33%	97%
36	35	22,50	24,00	0	2	5	3	162,9	127,0	289,9	26%	14%	72%	55%	61%	12%	95%	31%	44%	96%
36	35	29,50	24,00	0	2	8	4	162,9	235,7	398,6	26%	14%	72%	55%	61%	12%	95%	23%	43%	100%
36	35	36,50	24,00	0	2	5	3	162,9	386,3	549,2	26%	14%	72%	55%	61%	12%	95%	28%	51%	99%
36	35	1,50	27,00	0	4	0	0	176,9	4,1	180,9	33%	13%	52%	66%	66%	12%	99%	23%	10%	96%
36	35	8,50	27,00	0	4	4	0	176,9	24,3	201,2	33%	13%	52%	66%	66%	12%	99%	44%	34%	97%
36	35	15,50	27,00	0	4	5	4	176,9	60,5	237,4	33%	13%	52%	66%	66%	12%	99%	27%	36%	98%
36	35	22,50	27,00	0	4	5	4	176,9	120,7	297,6	33%	13%	52%	66%	66%	12%	99%	25%	41%	94%
36	35	29,50	27,00	0	4	4	4	176,9	213,4	390,3	33%	13%	52%	66%	66%	12%	99%	24%	44%	100%
36	35	36,50	27,00	0	4	5	4	176,9	359,7	536,6	33%	13%	52%	66%	66%	12%	99%	22%	46%	96%
36	35	1,50	30,00	0	5	0	0	174,1	3,6	177,7	41%	17%	75%	78%	78%	18%	92%	25%	11%	96%
36	35	8,50	30,00	0	5	4	1	174,1	22,4	196,4	41%	17%	75%	78%	78%	18%	92%	41%	33%	100%
36	35	15,50	30,00	0	5	4	3	174,1	57,7	231,8	41%	17%	75%	78%	78%	18%	92%	32%	39%	97%
36	35	22,50	30,00	0	5	5	5	174,1	110,9	285,0	41%	17%	75%	78%	78%	18%	92%	23%	39%	100%
36	35	29,50	30,00	0	5	4	5	174,1	203,5	377,6	41%	17%	75%	78%	78%	18%	92%	20%	41%	99%
36	35	36,50	30,00	0	5	4	5	174,1	341,1	515,2	41%	17%	75%	78%	78%	18%	92%	18%	42%	94%
36	35	1,50	33,00	0	5	0	0	186,3	3,3	189,7	49%	19%	86%	89%	89%	17%	100%	28%	11%	96%
36	35	8,50	33,00	0	5	2	2	186,3	22,1	208,4	49%	19%	86%	89%	89%	17%	100%	31%	29%	99%
36	35	15,50	33,00	0	5	4	4	186,3	53,4	239,8	49%	19%	86%	89%	89%	17%	100%	29%	37%	98%
36	35	22,50	33,00	0	5	5	4	186,3	109,1	295,4	49%	19%	86%	89%	89%	17%	100%	27%	43%	94%
36	35	29,50	33,00	0	5	4	4	186,3	192,8	379,1	49%	19%	86%	89%	89%	17%	100%	25%	47%	99%
36	35	36,50	33,00	0	5	5	5	186,3	318,7	505,1	49%	19%	86%	89%	89%	17%	100%	19%	44%	98%

Observa-se que nos vãos de galeria, a *VP1* manteve-se no *lower bound* da variável, exceto no vão de 21,0m. Na *VP2*, entretanto, para os vãos maiores houveram mais modificações no índice da variável. Com relação a *VP3*, com o acréscimo da altura da coluna, também ocorreu um acréscimo da quantidade de contenções laterais. Para a *VP4*, não houve um padrão de comportamento.

Com relação a massa mínima do conjunto discreto como na anterior, resultados ótimos qualitativos ocorrem da seguinte forma: colunas mais baixas interagindo com galerias de vãos menores bem como colunas mais altas com galerias maiores. Qualitativamente, há uma similaridade de comportamento nas alturas de colunas de 15,5m e 22,5m que apresentaram valores aproximadamente constantes para a função objetivo, independentemente do vão da galeria, de 231,63 e 301,17 kg/m para as alturas de 15,5m e 22,5m respectivamente.

A restrição ativa é a R3 em 57,14% das simulações com aproveitamento máximo de 95% e a R4/R5 (quando a frequência natural de vibração vertical é a frequência fundamental) em 42,86% dos casos com aproveitamento máximo de 89%. Com relação às colunas, a restrição com maior utilização foi a R8 com aproveitamento máximo de 54% para interação entre colunas de 36,5m com galerias de 18,0m, entretanto foi inativa.

2.3.2. Velocidade do Vento de 45m/s

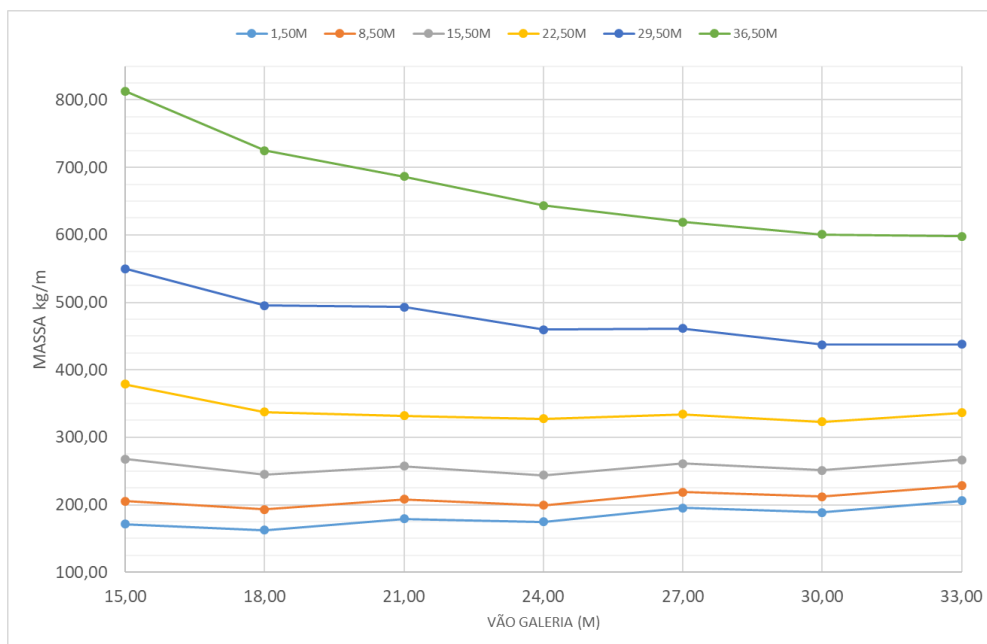


Gráfico A.16. TR36/45 - Curvas da Função Objetivo para Alturas de Coluna Discretas

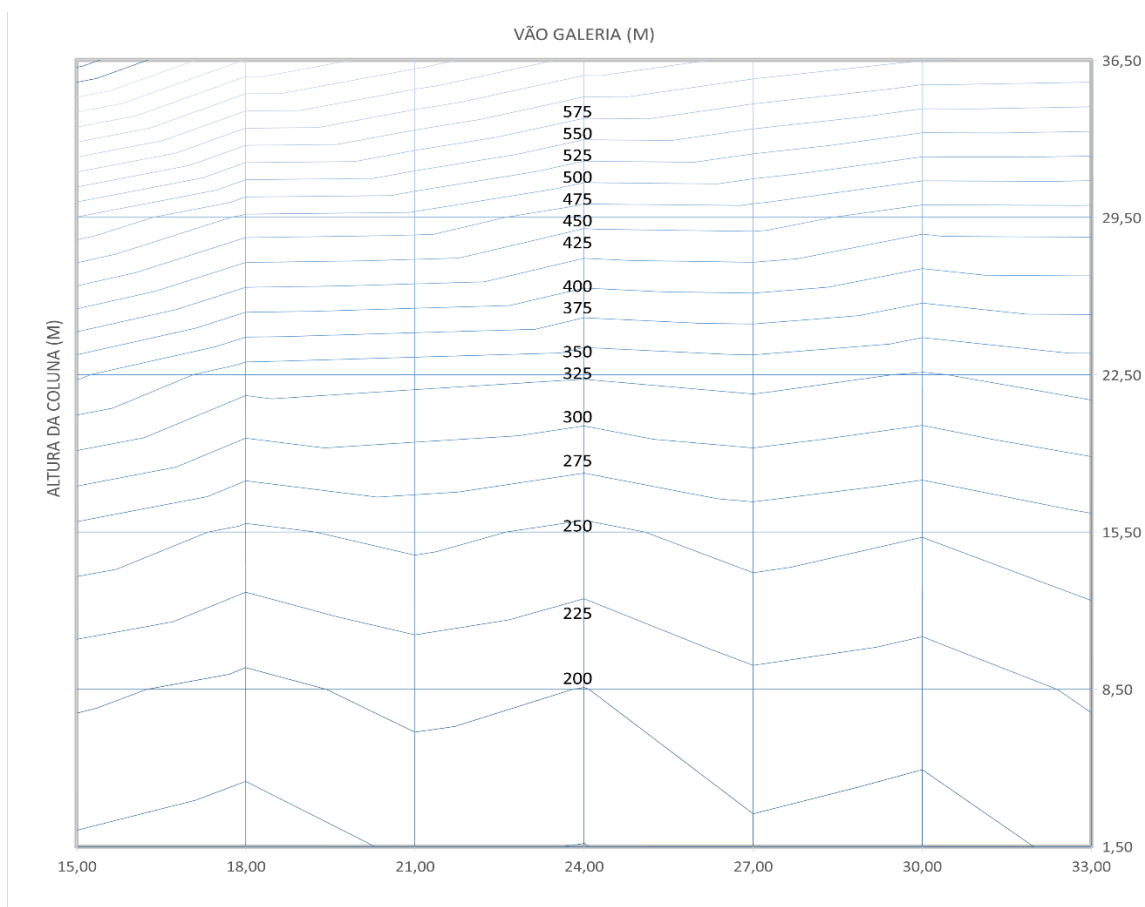


Gráfico A.17. TR36/45 - Isolinhas de Mínimos da Função Objetivo (kg/m)

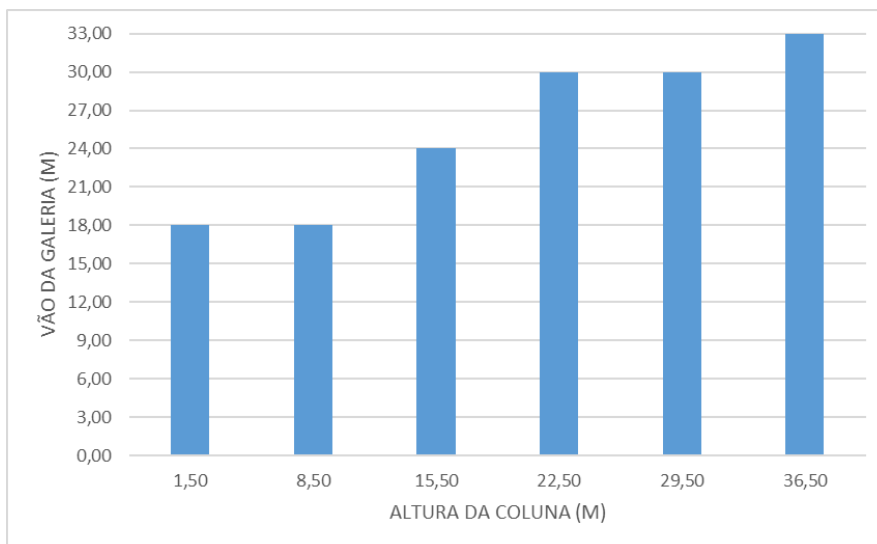


Gráfico A.18 TR36/45 - Localização do Mínimo da Função Objetivo Para Entradas Discretas

Tabela A.11 Dados de Entrada, Variáveis de Projeto, Massa e Restrições – Resultados Otimizados

DADOS ENTRADA			VARIÁVEIS PROJETO				MASSA			RESTRIÇÕES										
TR	V (M/S)	COL (H)	GAL (M)	VP1	VP2	VP3	VP4	MGAL	MCOL	MASSA KG/M	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R GAL	R7	R8	R COL
36	45	1,50	15,00	0	3	0	0	165,7	5,8	171,5	13%	20%	87%	31%	44%	20%	94%	30%	9%	95%
36	45	8,50	15,00	0	3	3	2	165,7	39,4	205,1	13%	20%	87%	31%	44%	20%	94%	32%	23%	99%
36	45	15,50	15,00	0	3	4	3	165,7	102,0	267,8	13%	20%	87%	31%	44%	20%	94%	33%	29%	100%
36	45	22,50	15,00	0	3	5	3	165,7	212,8	378,5	13%	20%	87%	31%	44%	20%	94%	34%	35%	97%
36	45	29,50	15,00	0	3	4	4	165,7	384,1	549,8	13%	20%	87%	31%	44%	20%	94%	26%	34%	99%
36	45	36,50	15,00	0	3	5	4	165,7	647,5	813,2	13%	20%	87%	31%	44%	20%	94%	25%	36%	97%
36	45	1,50	18,00	0	2	0	0	156,3	6,1	162,4	17%	18%	82%	39%	45%	15%	91%	25%	8%	96%
36	45	8,50	18,00	0	2	4	0	156,3	36,5	192,8	17%	18%	82%	39%	45%	15%	91%	50%	28%	96%
36	45	15,50	18,00	0	2	4	5	156,3	88,6	244,9	17%	18%	82%	39%	45%	15%	91%	27%	27%	99%
36	45	22,50	18,00	0	2	5	4	156,3	181,0	337,3	17%	18%	82%	39%	45%	15%	91%	30%	33%	98%
36	45	29,50	18,00	0	2	4	5	156,3	339,2	495,5	17%	18%	82%	39%	45%	15%	91%	23%	32%	98%
36	45	36,50	18,00	0	2	4	5	156,3	568,5	724,8	17%	18%	82%	39%	45%	15%	91%	21%	34%	99%
36	45	1,50	21,00	0	4	0	0	173,7	5,2	178,9	21%	16%	64%	46%	48%	16%	100%	29%	9%	96%
36	45	8,50	21,00	0	4	2	1	173,7	34,2	207,9	21%	16%	64%	46%	48%	16%	100%	39%	25%	94%
36	45	15,50	21,00	0	4	5	2	173,7	83,6	257,3	21%	16%	64%	46%	48%	16%	100%	48%	36%	98%
36	45	22,50	21,00	0	4	5	5	173,7	158,5	332,1	21%	16%	64%	46%	48%	16%	100%	27%	33%	100%
36	45	29,50	21,00	0	4	4	5	173,7	319,5	493,1	21%	16%	64%	46%	48%	16%	100%	23%	33%	96%
36	45	36,50	21,00	0	4	5	6	173,7	512,7	686,4	21%	16%	64%	46%	48%	16%	100%	18%	32%	97%
36	45	1,50	24,00	0	5	0	0	169,1	5,3	174,4	26%	21%	95%	55%	58%	12%	92%	27%	9%	76%
36	45	8,50	24,00	0	5	2	2	169,1	30,3	199,4	26%	21%	95%	55%	58%	12%	92%	38%	25%	99%
36	45	15,50	24,00	0	5	5	3	169,1	74,7	243,8	26%	21%	95%	55%	58%	12%	92%	43%	35%	98%
36	45	22,50	24,00	0	5	5	3	169,1	158,1	327,2	26%	21%	95%	55%	58%	12%	92%	42%	40%	100%
36	45	29,50	24,00	0	5	4	4	169,1	290,5	459,6	26%	21%	95%	55%	58%	12%	92%	30%	38%	99%
36	45	36,50	24,00	0	5	5	5	169,1	474,3	643,4	26%	21%	95%	55%	58%	12%	92%	23%	36%	100%
36	45	1,50	27,00	0	7	0	0	190,4	4,7	195,1	32%	21%	81%	65%	65%	12%	90%	30%	9%	81%
36	45	8,50	27,00	0	7	2	5	190,4	28,1	218,5	32%	21%	81%	65%	65%	12%	90%	29%	22%	97%
36	45	15,50	27,00	0	7	6	4	190,4	70,6	261,0	32%	21%	81%	65%	65%	12%	90%	40%	34%	100%
36	45	22,50	27,00	0	7	6	3	190,4	143,6	334,0	32%	21%	81%	65%	65%	12%	90%	45%	42%	99%
36	45	29,50	27,00	0	7	4	5	190,4	271,1	461,5	32%	21%	81%	65%	65%	12%	90%	25%	36%	96%
36	45	36,50	27,00	0	7	8	2	190,4	428,9	619,3	32%	21%	81%	65%	65%	12%	90%	44%	59%	99%
36	45	1,50	30,00	0	7	0	0	184,5	4,3	188,7	41%	24%	91%	78%	78%	19%	96%	34%	10%	90%
36	45	8,50	30,00	0	7	2	3	184,5	27,3	211,8	41%	24%	91%	78%	78%	19%	96%	37%	25%	100%
36	45	15,50	30,00	0	7	3	5	184,5	66,9	251,3	41%	24%	91%	78%	78%	19%	96%	32%	31%	96%
36	45	22,50	30,00	0	7	6	3	184,5	138,7	323,1	41%	24%	91%	78%	78%	19%	96%	46%	43%	97%
36	45	29,50	30,00	0	7	5	3	184,5	252,8	437,2	41%	24%	91%	78%	78%	19%	96%	43%	47%	99%
36	45	36,50	30,00	0	7	5	6	184,5	416,4	600,9	41%	24%	91%	78%	78%	19%	96%	20%	35%	97%
36	45	1,50	33,00	0	8	0	0	202,0	3,9	205,8	49%	24%	53%	89%	89%	18%	99%	37%	10%	100%
36	45	8,50	33,00	0	8	3	1	202,0	26,4	228,4	49%	24%	53%	89%	89%	18%	99%	53%	30%	98%
36	45	15,50	33,00	0	8	4	6	202,0	64,8	266,7	49%	24%	53%	89%	89%	18%	99%	29%	30%	99%
36	45	22,50	33,00	0	8	5	4	202,0	134,3	336,2	49%	24%	53%	89%	89%	18%	99%	37%	39%	97%
36	45	29,50	33,00	0	8	4	4	202,0	235,9	437,9	49%	24%	53%	89%	89%	18%	99%	35%	43%	96%
36	45	36,50	33,00	0	8	4	5	202,0	395,9	597,8	49%	24%	53%	89%	89%	18%	99%	24%	40%	97%

Observa-se que em todos os vãos de galeria, a *VP1* manteve-se no *lower bound* da variável. Na *VP2*, entretanto, para os vãos maiores houveram mais modificações no índice da variável. Com relação a *VP3*, com o acréscimo da altura da coluna também ocorreu um acréscimo da quantidade de contenções laterais. Para a *VP4*, não houve um padrão de comportamento.

Com relação a massa mínima do conjunto discreto como na anterior, resultados ótimos qualitativos ocorrem da seguinte forma: colunas mais baixas interagindo com galerias de vão menores bem como colunas mais altas com galerias maiores. Qualitativamente, há uma similaridade de comportamento nas alturas de colunas de 15,5m que apresentaram valores aproximadamente constantes para a função objetivo, independentemente do vão da galeria, de 256,12 kg/m.

A restrição ativa é a R3 em 85,71% das simulações com aproveitamento máximo de 95% e a R4/R5 (quando a frequência natural de vibração vertical é a frequência fundamental) em 14,29% dos casos com aproveitamento máximo de 89%. Com relação às colunas, a restrição com maior utilização foi a R8 com aproveitamento máximo de 59% para interação entre colunas de 36,5m com galerias de 27,0m, entretanto foi inativa.

2.4. TRANSPORTADOR DE 42”

2.4.1. Velocidade do Vento de 35m/s

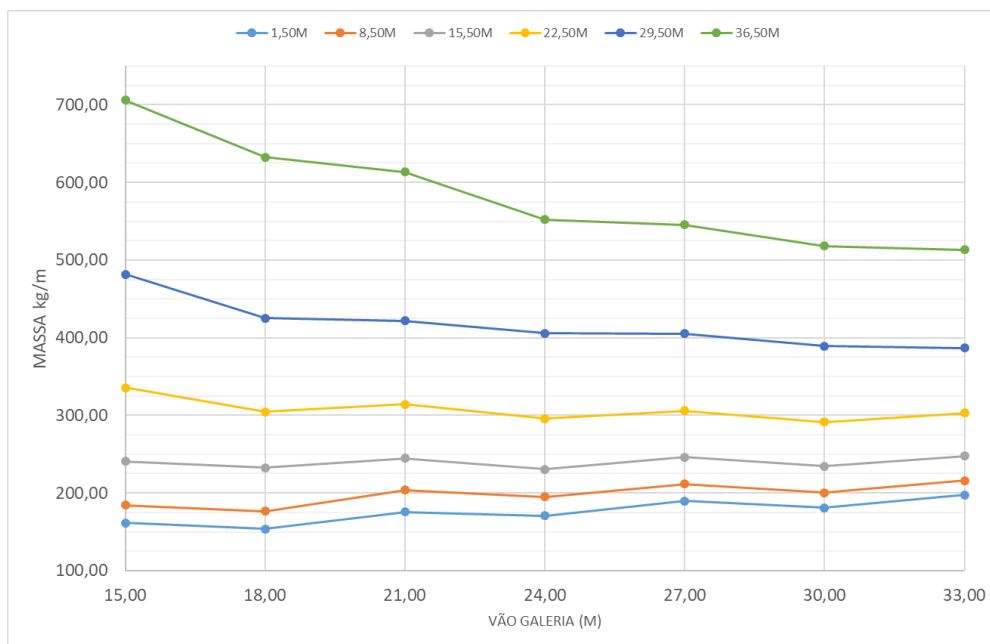


Gráfico A.19 TR42/35 - Curvas da Função Objetivo para Alturas de Coluna Discretas

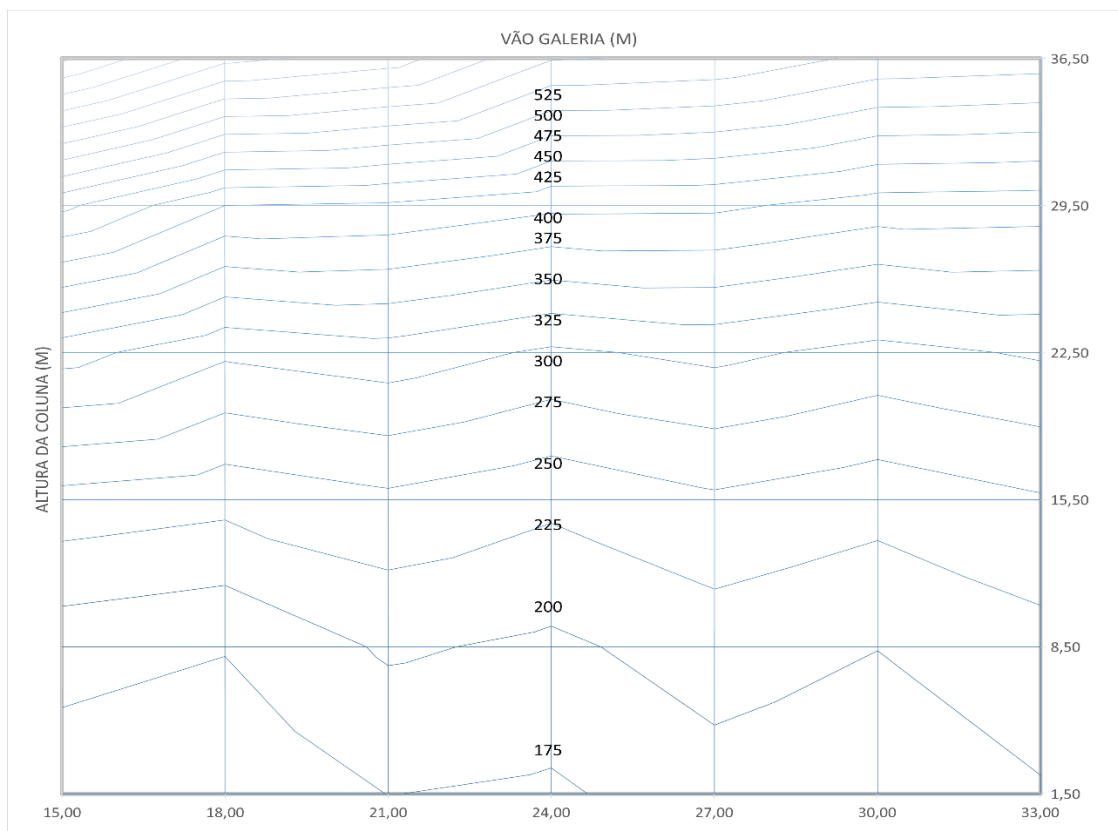


Gráfico A.20. TR42/35- Isolinhas de Mínimos da Função Objetivo (kg/m)

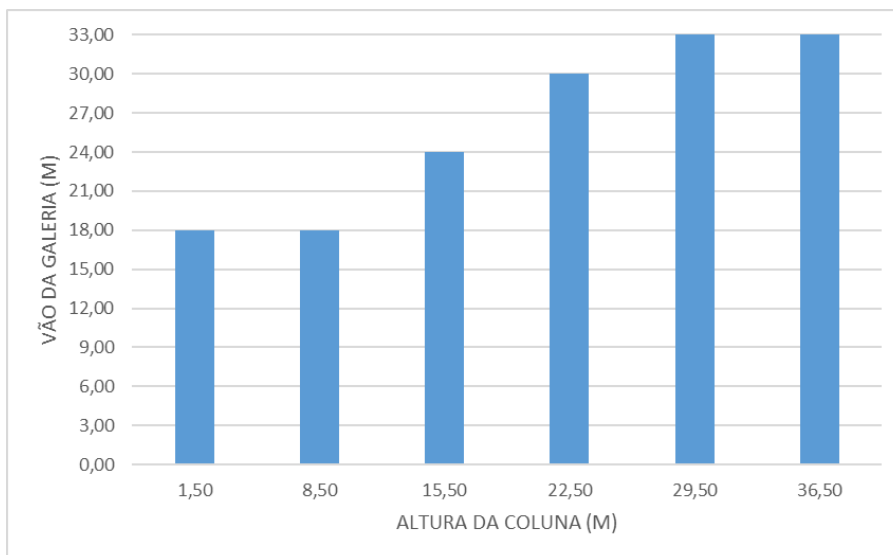


Gráfico A.21 TR42/35 - Localização do Mínimo da Função Objetivo Para Entradas Discretas

Tabela A.13. TR42/35 - Dados de Entrada, Variáveis de Projeto, Massa e Restrições – Resultados Otimizados

DADOS ENTRADA				VARIÁVEIS PROJETO				MASSA			RESTRIÇÕES									
TR	V (M/S)	COL (H)	GAL (M)	VP1	VP2	VP3	VP4	MGAL	MCOL	MASSA KG/M	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R GAL	R7	R8	R COL
42	35	1,50	15,00	0	1	0	0	155,7	5,9	161,6	14%	15%	68%	32%	49%	29%	98%	18%	10%	100%
42	35	8,50	15,00	0	1	3	1	155,7	28,7	184,4	14%	15%	68%	32%	49%	29%	98%	30%	29%	100%
42	35	15,50	15,00	0	1	5	0	155,7	85,3	241,0	14%	15%	68%	32%	49%	29%	98%	49%	48%	100%
42	35	22,50	15,00	0	1	5	4	155,7	179,8	335,5	14%	15%	68%	32%	49%	29%	98%	19%	35%	97%
42	35	29,50	15,00	0	1	5	3	155,7	325,9	481,6	14%	15%	68%	32%	49%	29%	98%	23%	42%	97%
42	35	36,50	15,00	0	1	5	4	155,7	550,3	706,0	14%	15%	68%	32%	49%	29%	98%	17%	39%	100%
42	35	1,50	18,00	0	1	0	0	148,7	4,9	153,7	19%	16%	84%	41%	55%	16%	95%	22%	11%	100%
42	35	8,50	18,00	0	1	4	0	148,7	27,7	176,5	19%	16%	84%	41%	55%	16%	95%	39%	33%	100%
42	35	15,50	18,00	0	1	4	2	148,7	84,0	232,8	19%	16%	84%	41%	55%	16%	95%	27%	36%	89%
42	35	22,50	18,00	0	1	5	3	148,7	155,6	304,3	19%	16%	84%	41%	55%	16%	95%	25%	41%	100%
42	35	29,50	18,00	0	1	6	3	148,7	276,6	425,3	19%	16%	84%	41%	55%	16%	95%	26%	45%	97%
42	35	36,50	18,00	0	1	7	2	148,7	483,9	632,6	19%	16%	84%	41%	55%	16%	95%	34%	56%	100%
42	35	1,50	21,00	0	2	0	0	171,1	4,2	175,4	23%	13%	62%	49%	54%	20%	95%	26%	11%	100%
42	35	8,50	21,00	0	2	4	1	171,1	32,5	203,6	23%	13%	62%	49%	54%	20%	95%	30%	29%	94%
42	35	15,50	21,00	0	2	4	3	171,1	73,5	244,6	23%	13%	62%	49%	54%	20%	95%	25%	36%	94%
42	35	22,50	21,00	0	2	5	2	171,1	143,3	314,5	23%	13%	62%	49%	54%	20%	95%	35%	49%	96%
42	35	29,50	21,00	0	2	5	3	171,1	250,5	421,6	23%	13%	62%	49%	54%	20%	95%	27%	48%	97%
42	35	36,50	21,00	0	2	5	3	171,1	442,6	613,7	23%	13%	62%	49%	54%	20%	95%	25%	50%	97%
42	35	1,50	24,00	0	2	0	5	165,1	5,6	170,7	29%	14%	74%	58%	62%	14%	100%	14%	9%	80%
42	35	8,50	24,00	0	2	2	0	165,1	29,9	195,0	29%	14%	74%	58%	62%	14%	100%	30%	30%	82%
42	35	15,50	24,00	0	2	4	4	165,1	65,6	230,7	29%	14%	74%	58%	62%	14%	100%	24%	35%	99%
42	35	22,50	24,00	0	2	6	3	165,1	130,6	295,7	29%	14%	74%	58%	62%	14%	100%	29%	45%	95%
42	35	29,50	24,00	0	2	4	4	165,1	240,9	406,0	29%	14%	74%	58%	62%	14%	100%	21%	43%	100%
42	35	36,50	24,00	0	2	5	3	165,1	387,2	552,3	29%	14%	74%	58%	62%	14%	100%	27%	52%	99%
42	35	1,50	27,00	0	5	0	4	184,9	5,0	189,9	36%	14%	68%	69%	69%	15%	95%	16%	9%	80%
42	35	8,50	27,00	0	5	2	0	184,9	26,6	211,5	36%	14%	68%	69%	69%	15%	95%	34%	32%	92%
42	35	15,50	27,00	0	5	5	4	184,9	61,1	246,0	36%	14%	68%	69%	69%	15%	95%	26%	37%	100%
42	35	22,50	27,00	0	5	5	4	184,9	121,3	306,2	36%	14%	68%	69%	69%	15%	95%	25%	42%	96%
42	35	29,50	27,00	0	5	6	3	184,9	220,4	405,3	36%	14%	68%	69%	69%	15%	95%	29%	51%	97%
42	35	36,50	27,00	0	5	5	4	184,9	360,8	545,7	36%	14%	68%	69%	69%	15%	95%	21%	48%	97%
42	35	1,50	30,00	0	5	0	3	176,3	4,5	180,8	46%	16%	77%	82%	82%	29%	99%	19%	10%	83%
42	35	8,50	30,00	0	5	2	1	176,3	24,2	200,5	46%	16%	77%	82%	82%	29%	99%	32%	31%	96%
42	35	15,50	30,00	0	5	4	3	176,3	58,1	234,4	46%	16%	77%	82%	82%	29%	99%	31%	40%	98%
42	35	22,50	30,00	0	5	6	5	176,3	115,3	291,6	46%	16%	77%	82%	82%	29%	99%	22%	40%	99%
42	35	29,50	30,00	0	5	4	4	176,3	212,7	389,0	46%	16%	77%	82%	82%	29%	99%	23%	46%	100%
42	35	36,50	30,00	0	5	4	5	176,3	342,1	518,4	46%	16%	77%	82%	82%	29%	99%	17%	44%	96%
42	35	1,50	33,00	0	6	0	2	193,6	4,0	197,6	54%	19%	98%	93%	93%	18%	100%	21%	11%	92%
42	35	8,50	33,00	0	6	2	3	193,6	22,6	216,2	54%	19%	98%	93%	93%	18%	100%	26%	28%	96%
42	35	15,50	33,00	0	6	4	4	193,6	53,8	247,4	54%	19%	98%	93%	93%	18%	100%	28%	39%	100%
42	35	22,50	33,00	0	6	5	4	193,6	109,6	303,2	54%	19%	98%	93%	93%	18%	100%	26%	45%	95%
42	35	29,50	33,00	0	6	4	4	193,6	193,4	387,0	54%	19%	98%	93%	93%	18%	100%	24%	48%	100%
42	35	36,50	33,00	0	6	5	5	193,6	319,8	513,4	54%	19%	98%	93%	93%	18%	100%	18%	46%	100%

Observa-se que em todos os vãos de galeria, a *VP1* manteve-se no *lower bound* da variável. Na *VP2*, entretanto, para os vãos maiores houveram mais modificações no índice da variável. Com relação a *VP3*, com o acréscimo da altura da coluna também ocorreu um acréscimo da quantidade de contenções laterais. Para a *VP4*, não houve um padrão de comportamento.

Com relação a massa mínima do conjunto discreto como na anterior, resultados ótimos qualitativos ocorrem da seguinte forma: colunas mais baixas interagindo com galerias de vãos menores bem como colunas mais altas com galerias maiores. Qualitativamente, há uma similaridade de comportamento nas alturas de colunas de 15,5m que apresentaram valores aproximadamente constantes para a função objetivo, independentemente do vão da galeria, de 239,56 kg/m.

A restrição ativa é a R3 em 71,43% das simulações com aproveitamento máximo de 98% e R4/R5 (quando a frequência natural de vibração vertical é a frequência fundamental) em 28,57% dos casos com aproveitamento máximo de 82%. Com relação às colunas, a restrição com maior utilização foi a R8 com aproveitamento máximo de 56% para interação entre colunas de 36,5m com galerias de 18,0m, entretanto foi inativa.

2.4.2. Velocidade do Vento de 45m/s

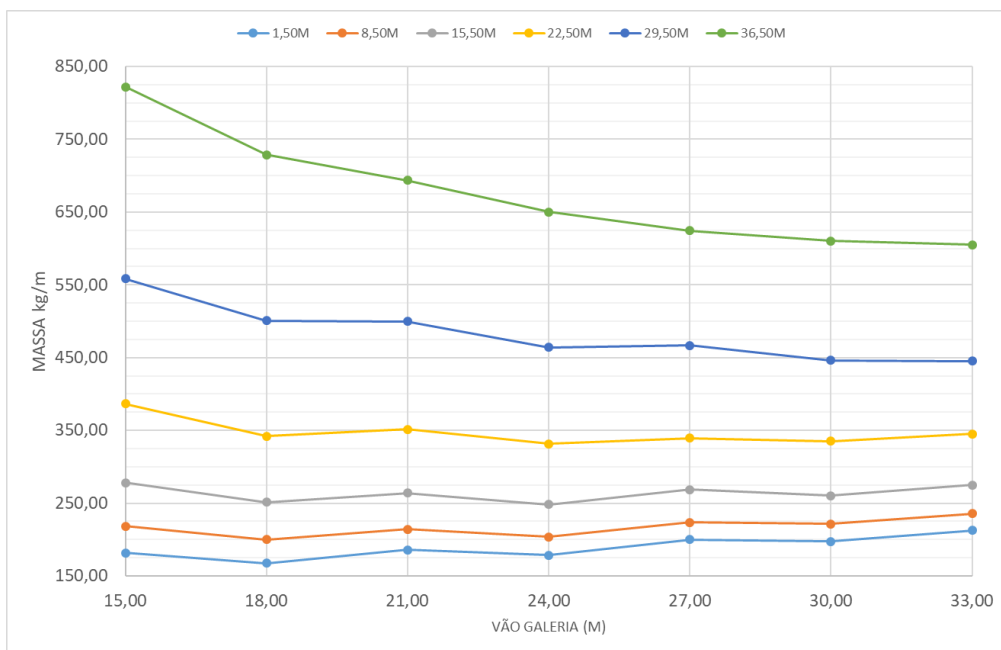


Gráfico A.22 TR42/45 - Curvas da Função Objetivo para Alturas de Coluna Discretas

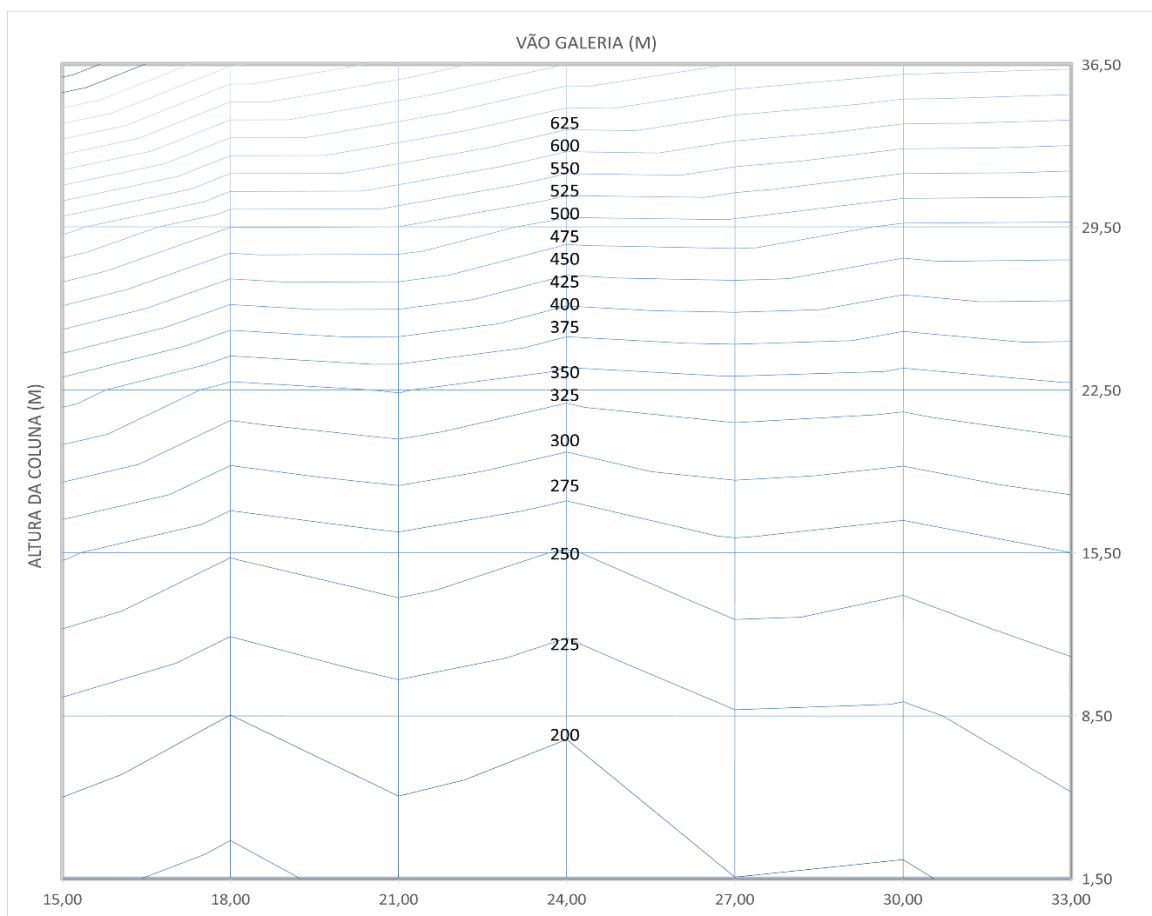


Gráfico A.23 TR42/45 - Isolinhas de Mínimos da Função Objetivo (kg/m)

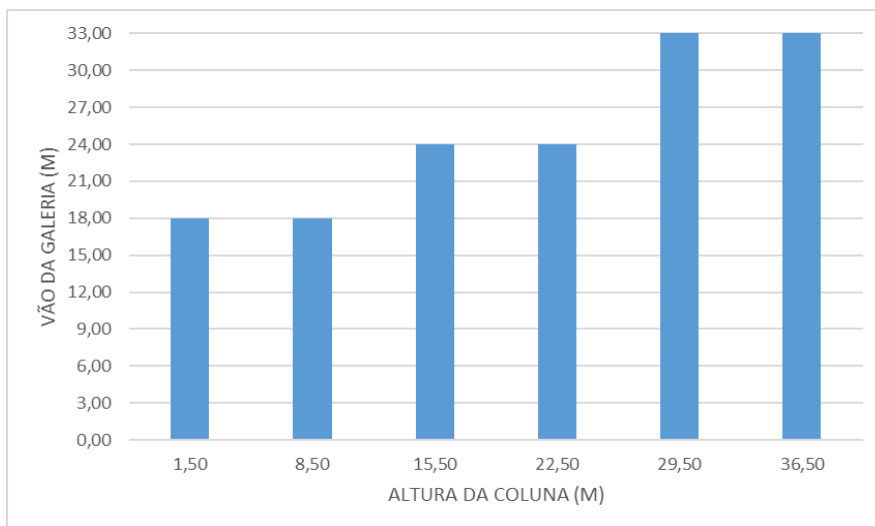


Gráfico A.24 TR42/45 - Localização do Mínimo da Função Objetivo Para Entradas Discretas

Tabela A.15. TR42/45 - Dados de Entrada, Variáveis de Projeto, Massa e Restrições – Resultados Otimizados

DADOS ENTRADA				VARIÁVEIS PROJETO				MASSA			RESTRICÇÕES									
TR	V (M/S)	COL (H)	GAL (M)	VP1	VP2	VP3	VP4	MGAL	MCOL	MASSA KG/M	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R GAL	R7	R8	R COL
42	45	1,50	15,00	1	3	0	4	172,8	9,0	181,7	14%	23%	96%	32%	46%	28%	97%	16%	7%	80%
42	45	8,50	15,00	1	3	4	1	172,8	45,4	218,2	14%	23%	96%	32%	46%	28%	97%	37%	25%	98%
42	45	15,50	15,00	1	3	4	4	172,8	105,0	277,8	14%	23%	96%	32%	46%	28%	97%	27%	28%	95%
42	45	22,50	15,00	1	3	5	3	172,8	213,9	386,7	14%	23%	96%	32%	46%	28%	97%	34%	36%	99%
42	45	29,50	15,00	1	3	4	4	172,8	385,5	558,3	14%	23%	96%	32%	46%	28%	97%	26%	35%	100%
42	45	36,50	15,00	1	3	5	4	172,8	649,4	822,1	14%	23%	96%	32%	46%	28%	97%	25%	37%	99%
42	45	1,50	18,00	0	2	0	2	160,0	7,4	167,4	19%	18%	83%	41%	46%	16%	95%	19%	8%	80%
42	45	8,50	18,00	0	2	2	0	160,0	39,9	199,8	19%	18%	83%	41%	46%	16%	95%	38%	26%	86%
42	45	15,50	18,00	0	2	5	4	160,0	91,6	251,6	19%	18%	83%	41%	46%	16%	95%	31%	30%	97%
42	45	22,50	18,00	0	2	5	4	160,0	182,0	341,9	19%	18%	83%	41%	46%	16%	95%	30%	35%	99%
42	45	29,50	18,00	0	2	4	5	160,0	340,6	500,6	19%	18%	83%	41%	46%	16%	95%	22%	33%	99%
42	45	36,50	18,00	0	2	6	1	160,0	568,7	728,6	19%	18%	83%	41%	46%	16%	95%	54%	67%	100%
42	45	1,50	21,00	0	4	0	0	179,4	6,3	185,6	23%	16%	65%	49%	49%	19%	98%	24%	9%	80%
42	45	8,50	21,00	0	4	2	1	179,4	34,6	214,0	23%	16%	65%	49%	49%	19%	98%	37%	26%	94%
42	45	15,50	21,00	0	4	5	2	179,4	84,3	263,7	23%	16%	65%	49%	49%	19%	98%	46%	38%	97%
42	45	22,50	21,00	0	4	5	4	179,4	172,2	351,6	23%	16%	65%	49%	49%	19%	98%	30%	36%	97%
42	45	29,50	21,00	0	4	4	5	179,4	320,6	500,0	23%	16%	65%	49%	49%	19%	98%	22%	34%	97%
42	45	36,50	21,00	0	4	5	6	179,4	514,5	693,9	23%	16%	65%	49%	49%	19%	98%	18%	33%	98%
42	45	1,50	24,00	0	5	0	0	173,0	5,5	178,5	29%	20%	96%	58%	59%	13%	96%	27%	9%	80%
42	45	8,50	24,00	0	5	2	2	173,0	30,7	203,6	29%	20%	96%	58%	59%	13%	96%	36%	26%	100%
42	45	15,50	24,00	0	5	5	3	173,0	75,4	248,3	29%	20%	96%	58%	59%	13%	96%	42%	36%	98%
42	45	22,50	24,00	0	5	5	3	173,0	158,8	331,8	29%	20%	96%	58%	59%	13%	96%	40%	41%	100%
42	45	29,50	24,00	0	5	4	4	173,0	291,3	464,3	29%	20%	96%	58%	59%	13%	96%	29%	40%	100%
42	45	36,50	24,00	0	5	5	4	173,0	477,4	650,3	29%	20%	96%	58%	59%	13%	96%	27%	42%	100%
42	45	1,50	27,00	0	7	0	0	194,9	4,9	199,7	36%	20%	83%	69%	69%	14%	95%	31%	10%	84%
42	45	8,50	27,00	0	7	2	5	194,9	28,4	223,3	36%	20%	83%	69%	69%	14%	95%	28%	23%	98%
42	45	15,50	27,00	0	7	3	4	194,9	73,6	268,4	36%	20%	83%	69%	69%	14%	95%	33%	33%	94%
42	45	22,50	27,00	0	7	6	3	194,9	144,4	339,2	36%	20%	83%	69%	69%	14%	95%	44%	44%	99%
42	45	29,50	27,00	0	7	4	5	194,9	272,0	466,9	36%	20%	83%	69%	69%	14%	95%	24%	37%	97%
42	45	36,50	27,00	0	7	8	2	194,9	429,8	624,7	36%	20%	83%	69%	69%	14%	95%	42%	61%	99%
42	45	1,50	30,00	0	7	0	0	192,7	4,4	197,1	44%	23%	94%	81%	81%	28%	99%	34%	10%	94%
42	45	8,50	30,00	0	7	3	0	192,7	28,9	221,7	44%	23%	94%	81%	81%	28%	99%	55%	32%	96%
42	45	15,50	30,00	0	7	3	5	192,7	67,3	260,0	44%	23%	94%	81%	81%	28%	99%	31%	32%	97%
42	45	22,50	30,00	0	7	7	3	192,7	142,4	335,1	44%	23%	94%	81%	81%	28%	99%	45%	45%	96%
42	45	29,50	30,00	0	7	5	3	192,7	253,6	446,3	44%	23%	94%	81%	81%	28%	99%	41%	48%	99%
42	45	36,50	30,00	0	7	5	6	192,7	417,7	610,4	44%	23%	94%	81%	81%	28%	99%	19%	36%	98%
42	45	1,50	33,00	0	8	0	0	208,5	4,2	212,7	53%	22%	53%	92%	92%	23%	96%	37%	11%	94%
42	45	8,50	33,00	0	8	2	2	208,5	27,3	235,8	53%	22%	53%	92%	92%	23%	96%	40%	28%	95%
42	45	15,50	33,00	0	8	4	6	208,5	66,4	274,9	53%	22%	53%	92%	92%	23%	96%	29%	31%	98%
42	45	22,50	33,00	0	8	4	4	208,5	136,8	345,4	53%	22%	53%	92%	92%	23%	96%	35%	40%	91%
42	45	29,50	33,00	0	8	4	4	208,5	236,6	445,2	53%	22%	53%	92%	92%	23%	96%	34%	44%	96%
42	45	36,50	33,00	0	8	4	5	208,5	396,7	605,3	53%	22%	53%	92%	92%	23%	96%	24%	41%	98%

Observa-se que nos vãos de galeria, a *VP1* manteve-se no *lower bound* da variável, exceto no vão de 15,0m. Na *VP2*, entretanto, para os vãos maiores houveram mais modificações no índice da variável. Com relação a *VP3*, com o acréscimo da altura da coluna também ocorreu um acréscimo da quantidade de contenções laterais. Para a *VP4*, não houve um padrão de comportamento.

Com relação a massa mínima do conjunto discreto como na anterior, resultados ótimos qualitativos ocorrem da seguinte forma: colunas mais baixas interagindo com galerias de vão menores bem como colunas mais altas com galerias maiores. Qualitativamente, há uma similaridade de comportamento nas alturas de colunas de 15,5m e 22,5 m que apresentaram valores aproximadamente constantes para a função objetivo, a partir do vão da galeria de 18,0m, de 261,15 e 340,83 kg/m respectivamente.

A restrição ativa é a R3 em 85,71% das simulações com aproveitamento máximo de 96% e R4/R5 (quando a frequência natural de vibração vertical é a frequência fundamental) em 14,29% dos casos com aproveitamento máximo de 92%. Com relação às colunas, a restrição com maior utilização foi a R8 com aproveitamento máximo de 67% para interação entre colunas de 36,5m com galerias de 18,0m, entretanto foi inativa.

2.5. TRANSPORTADOR DE 48”

2.5.1. Velocidade do Vento de 35m/s

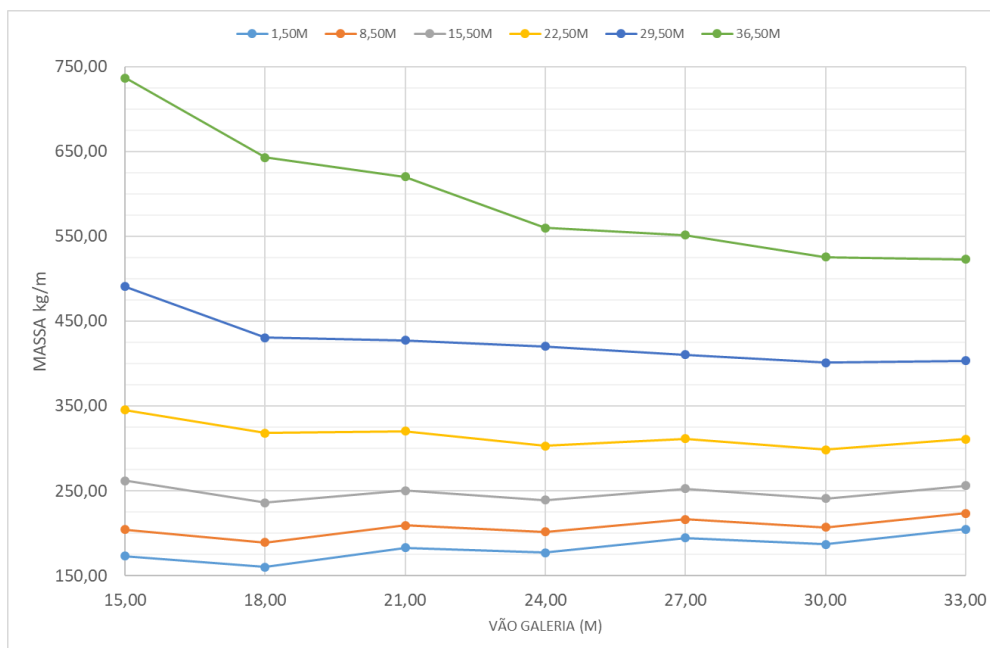


Gráfico A.25 TR48/35 - Curvas da Função Objetivo para Alturas de Coluna Discretas

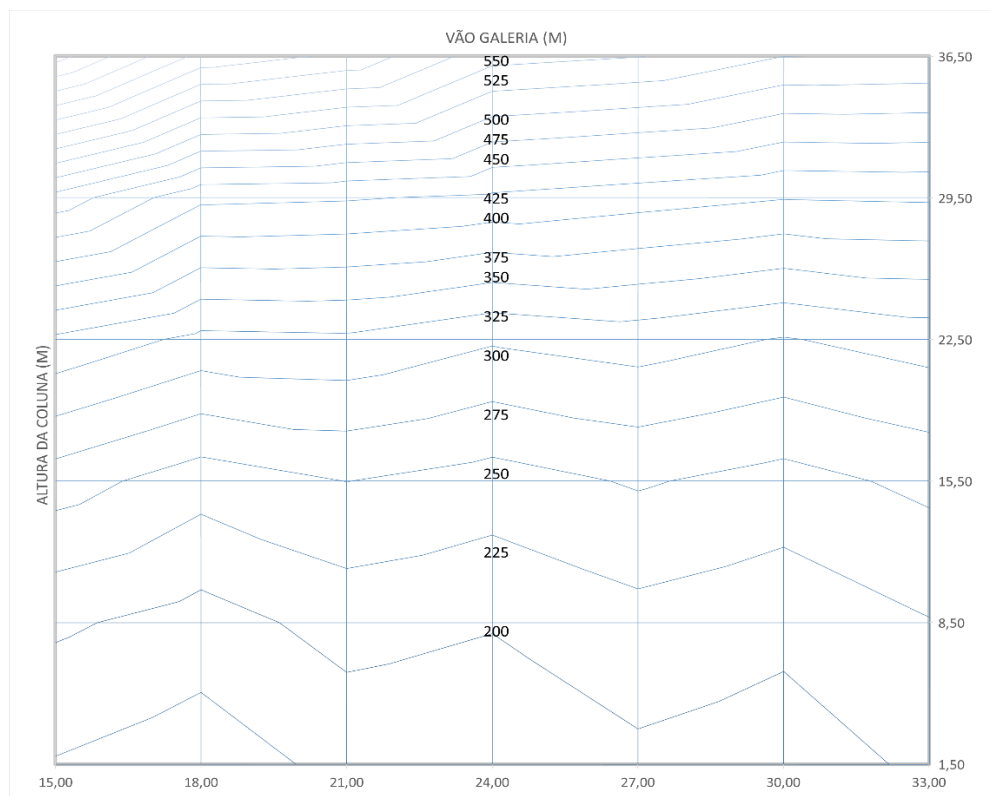


Gráfico A.26 TR48/35– Isolinhas de Mínimos da Função Objetivo (kg/m)

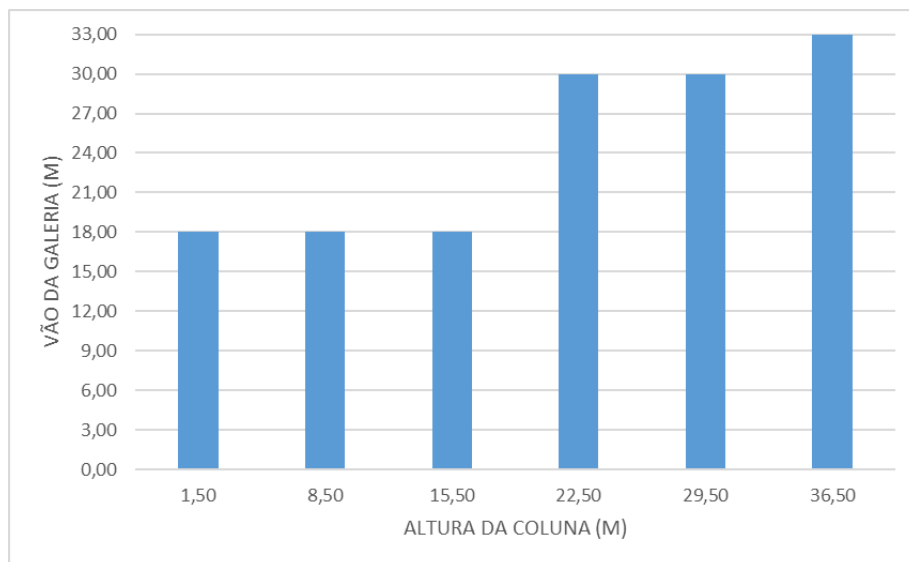


Gráfico A.27 TR48/35 - Localização do Mínimo da Função Objetivo Para Entradas Discretas

Tabela A.17. TR48/35 - Dados de Entrada, Variáveis de Projeto, Massa e Restrições – Resultados Otimizados

DADOS ENTRADA				VARIÁVEIS PROJETO				MASSA			RESTRIÇÕES									
TR	V (M/S)	COL (H)	GAL (M)	VP1	VP2	VP3	VP4	MGAL	MCOL	MASSA KG/M	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R GAL	R7	R8	R COL
48	35	1,50	15,00	0	1	0	0	164,2	9,0	173,2	15%	15%	69%	33%	50%	33%	97%	11%	8%	84%
48	35	8,50	15,00	0	1	3	2	164,2	40,2	204,4	15%	15%	69%	33%	50%	33%	97%	20%	25%	95%
48	35	15,50	15,00	0	1	4	0	164,2	97,9	262,1	15%	15%	69%	33%	50%	33%	97%	39%	45%	98%
48	35	22,50	15,00	0	1	5	4	164,2	181,0	345,2	15%	15%	69%	33%	50%	33%	97%	18%	36%	98%
48	35	29,50	15,00	0	1	6	2	164,2	326,8	491,0	15%	15%	69%	33%	50%	33%	97%	31%	51%	100%
48	35	36,50	15,00	0	1	5	3	164,2	572,5	736,7	15%	15%	69%	33%	50%	33%	97%	20%	45%	99%
48	35	1,50	18,00	0	1	0	0	152,9	7,5	160,4	21%	16%	86%	43%	56%	24%	95%	13%	8%	84%
48	35	8,50	18,00	0	1	3	0	152,9	36,2	189,1	21%	16%	86%	43%	56%	24%	95%	26%	29%	97%
48	35	15,50	18,00	0	1	4	1	152,9	83,1	236,0	21%	16%	86%	43%	56%	24%	95%	33%	42%	100%
48	35	22,50	18,00	0	1	5	1	152,9	165,2	318,1	21%	16%	86%	43%	56%	24%	95%	41%	54%	99%
48	35	29,50	18,00	0	1	6	3	152,9	277,7	430,6	21%	16%	86%	43%	56%	24%	95%	25%	47%	98%
48	35	36,50	18,00	0	1	8	2	152,9	489,9	642,8	21%	16%	86%	43%	56%	24%	95%	33%	57%	100%
48	35	1,50	21,00	0	2	0	0	176,3	6,5	182,7	26%	13%	63%	51%	56%	51%	98%	15%	9%	84%
48	35	8,50	21,00	0	2	3	3	176,3	33,0	209,3	26%	13%	63%	51%	56%	51%	98%	20%	26%	98%
48	35	15,50	21,00	0	2	4	3	176,3	74,1	250,4	26%	13%	63%	51%	56%	51%	98%	24%	37%	96%
48	35	22,50	21,00	0	2	5	2	176,3	144,0	320,3	26%	13%	63%	51%	56%	51%	98%	33%	50%	97%
48	35	29,50	21,00	0	2	5	3	176,3	251,2	427,5	26%	13%	63%	51%	56%	51%	98%	26%	49%	98%
48	35	36,50	21,00	0	2	5	3	176,3	443,7	620,0	26%	13%	63%	51%	56%	51%	98%	24%	51%	99%
48	35	1,50	24,00	0	3	0	0	171,7	5,6	177,3	32%	16%	98%	61%	68%	26%	96%	17%	10%	84%
48	35	8,50	24,00	0	3	2	0	171,7	30,2	201,9	32%	16%	98%	61%	68%	26%	96%	29%	31%	84%
48	35	15,50	24,00	0	3	4	5	171,7	67,6	239,2	32%	16%	98%	61%	68%	26%	96%	20%	33%	100%
48	35	22,50	24,00	0	3	6	3	171,7	131,3	303,0	32%	16%	98%	61%	68%	26%	96%	28%	47%	96%
48	35	29,50	24,00	0	3	5	4	171,7	248,6	420,2	32%	16%	98%	61%	68%	26%	96%	20%	44%	96%
48	35	36,50	24,00	0	3	5	3	171,7	388,2	559,9	32%	16%	98%	61%	68%	26%	96%	26%	54%	100%
48	35	1,50	27,00	0	5	0	0	189,5	5,0	194,5	40%	14%	69%	72%	72%	23%	96%	19%	10%	84%
48	35	8,50	27,00	0	5	2	0	189,5	26,9	216,4	40%	14%	69%	72%	72%	23%	96%	32%	33%	93%
48	35	15,50	27,00	0	5	3	4	189,5	63,0	252,5	40%	14%	69%	72%	72%	23%	96%	22%	37%	97%
48	35	22,50	27,00	0	5	5	4	189,5	122,0	311,5	40%	14%	69%	72%	72%	23%	96%	24%	44%	97%
48	35	29,50	27,00	0	5	6	3	189,5	221,1	410,6	40%	14%	69%	72%	72%	23%	96%	28%	53%	98%
48	35	36,50	27,00	0	5	5	4	189,5	361,8	551,3	40%	14%	69%	72%	72%	23%	96%	21%	49%	98%
48	35	1,50	30,00	0	5	0	0	182,4	4,5	186,9	50%	16%	78%	85%	85%	52%	99%	21%	11%	88%
48	35	8,50	30,00	0	5	2	1	182,4	24,5	206,9	50%	16%	78%	85%	85%	52%	99%	30%	32%	97%
48	35	15,50	30,00	0	5	4	3	182,4	58,5	240,9	50%	16%	78%	85%	85%	52%	99%	30%	41%	99%
48	35	22,50	30,00	0	5	6	5	182,4	116,0	298,4	50%	16%	78%	85%	85%	52%	99%	22%	42%	100%
48	35	29,50	30,00	0	5	5	4	182,4	218,9	401,3	50%	16%	78%	85%	85%	52%	99%	22%	47%	96%
48	35	36,50	30,00	0	5	4	5	182,4	343,1	525,5	50%	16%	78%	85%	85%	52%	99%	17%	45%	97%
48	35	1,50	33,00	0	6	0	0	200,9	4,1	205,0	58%	18%	100%	96%	96%	27%	97%	23%	12%	98%
48	35	8,50	33,00	0	6	2	3	200,9	22,9	223,7	58%	18%	100%	96%	96%	27%	97%	25%	29%	99%
48	35	15,50	33,00	0	6	5	3	200,9	55,3	256,2	58%	18%	100%	96%	96%	27%	97%	32%	44%	94%
48	35	22,50	33,00	0	6	5	4	200,9	110,1	311,0	58%	18%	100%	96%	96%	27%	97%	25%	46%	97%
48	35	29,50	33,00	0	6	7	3	200,9	202,3	403,2	58%	18%	100%	96%	96%	27%	97%	30%	56%	100%
48	35	36,50	33,00	0	6	5	4	200,9	322,2	523,1	58%	18%	100%	96%	96%	27%	97%	22%	52%	98%

Observa-se que em todos os vãos de galeria, a *VP1* manteve-se no *lower bound* da variável. Na *VP2*, entretanto, para os vãos maiores houveram mais modificações no índice da variável. Com relação a *VP3*, com o acréscimo da altura da coluna também ocorreu um acréscimo da quantidade de contenções laterais. Para a *VP4*, não houve um padrão de comportamento.

Com relação a massa mínima do conjunto discreto como na anterior, resultados ótimos qualitativos ocorrem da seguinte forma: colunas mais baixas interagindo com galerias de vão menores bem como colunas mais altas com galerias maiores. Qualitativamente, há uma similaridade de comportamento nas alturas de colunas de 15,5m que apresentaram valores aproximadamente constantes para a função objetivo, independentemente do vão, de 248,18 kg/m.

A restrição ativa é a R3 em 71,43% dos casos com aproveitamento máximo de 100% e R4/R5 (quando a frequência natural de vibração vertical é a frequência fundamental) com aproveitamento máximo de 85% em 28,57% dos casos. Com relação às colunas, a restrição com maior utilização foi a R8 com aproveitamento máximo de 57% para interação entre colunas de 36,5m com galerias de 18,0m, entretanto foi inativa.

2.5.2. Velocidade do Vento de 45m/s

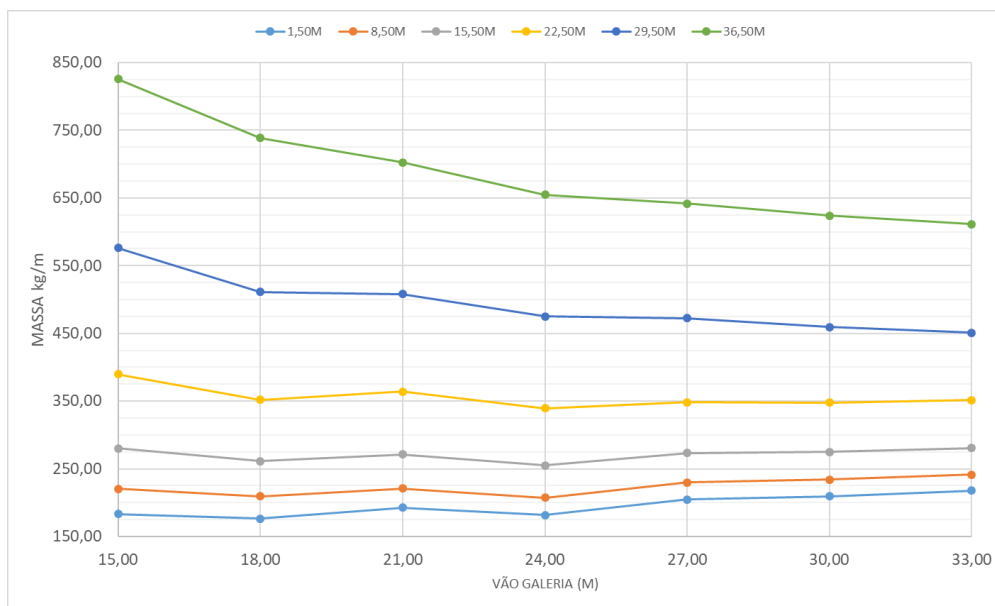


Gráfico A.28 TR48/45 - Curvas da Função Objetivo para Alturas de Coluna Discretas

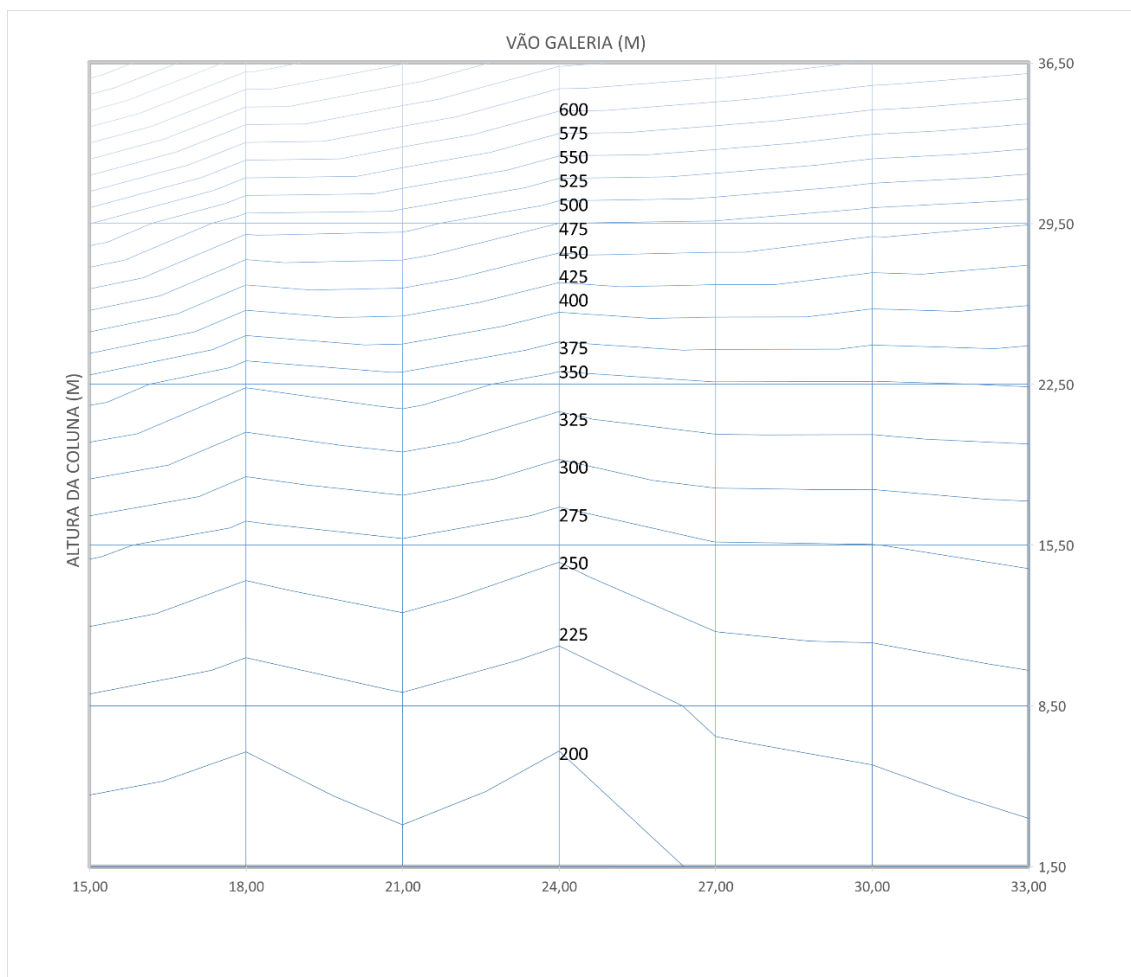


Gráfico A.29 TR48/45 – Isolinas de Mínimos da Função Objetivo (kg/m)

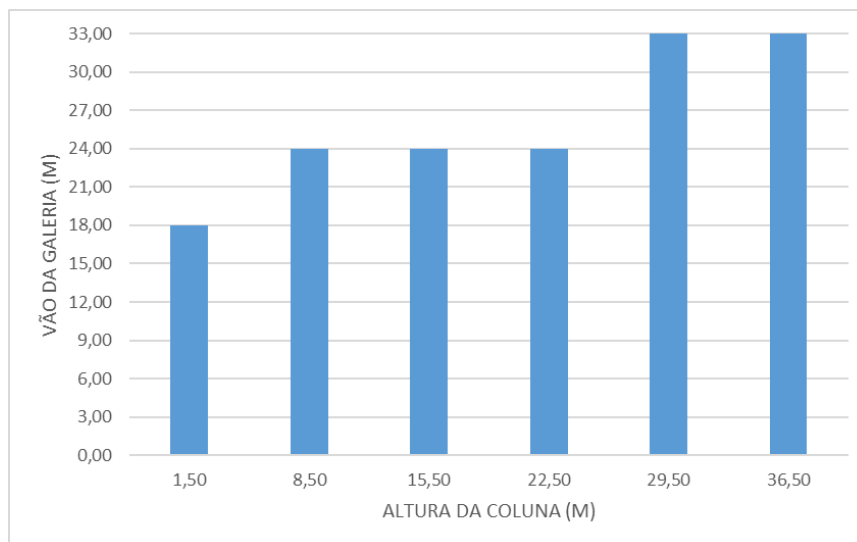


Gráfico A.30 TR48/45 - Localização do Mínimo da Função Objetivo Para Entradas Discretas

Tabela A.19. TR48/45 - Dados de Entrada, Variáveis de Projeto, Massa e Restrições – Resultados Otimizados

DADOS ENTRADA				VARIÁVEIS PROJETO				MASSA			RESTRIÇÕES									
TR	V (M/S)	COL (H)	GAL (M)	VP1	VP2	VP3	VP4	MGAL	MCOL	MASSA KG/M	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R GAL	R7	R8	R COL
48	45	1,50	15,00	1	2	0	0	174,4	9,0	183,4	14%	18%	74%	33%	42%	33%	95%	18%	8%	84%
48	45	8,50	15,00	1	2	3	3	174,4	46,2	220,6	14%	18%	74%	33%	42%	33%	95%	25%	22%	97%
48	45	15,50	15,00	1	2	4	4	174,4	105,8	280,2	14%	18%	74%	33%	42%	33%	95%	26%	29%	95%
48	45	22,50	15,00	1	2	5	3	174,4	215,1	389,4	14%	18%	74%	33%	42%	33%	95%	32%	37%	99%
48	45	29,50	15,00	1	2	4	4	174,4	402,0	576,4	14%	18%	74%	33%	42%	33%	95%	25%	36%	99%
48	45	36,50	15,00	1	2	5	4	174,4	651,3	825,6	14%	18%	74%	33%	42%	33%	95%	24%	38%	99%
48	45	1,50	18,00	0	4	0	0	169,1	7,5	176,6	21%	13%	54%	43%	43%	24%	97%	21%	9%	84%
48	45	8,50	18,00	0	4	2	0	169,1	40,3	209,3	21%	13%	54%	43%	43%	24%	97%	36%	27%	86%
48	45	15,50	18,00	0	4	5	4	169,1	92,5	261,5	21%	13%	54%	43%	43%	24%	97%	30%	31%	98%
48	45	22,50	18,00	0	4	5	4	169,1	183,0	352,0	21%	13%	54%	43%	43%	24%	97%	29%	36%	99%
48	45	29,50	18,00	0	4	4	5	169,1	342,0	511,0	21%	13%	54%	43%	43%	24%	97%	22%	35%	100%
48	45	36,50	18,00	0	4	6	1	169,1	569,5	738,6	21%	13%	54%	43%	43%	24%	97%	51%	68%	100%
48	45	1,50	21,00	0	5	0	0	186,2	6,5	192,7	25%	17%	84%	51%	52%	55%	98%	24%	9%	84%
48	45	8,50	21,00	0	5	2	0	186,2	34,5	220,7	25%	17%	84%	51%	52%	55%	98%	42%	29%	100%
48	45	15,50	21,00	0	5	5	2	186,2	85,0	271,2	25%	17%	84%	51%	52%	55%	98%	44%	39%	97%
48	45	22,50	21,00	0	5	6	4	186,2	178,0	364,2	25%	17%	84%	51%	52%	55%	98%	29%	37%	95%
48	45	29,50	21,00	0	5	4	5	186,2	321,8	508,0	25%	17%	84%	51%	52%	55%	98%	22%	36%	98%
48	45	36,50	21,00	0	5	5	6	186,2	516,3	702,6	25%	17%	84%	51%	52%	55%	98%	18%	35%	98%
48	45	1,50	24,00	0	5	0	0	176,1	5,6	181,8	32%	20%	98%	62%	62%	25%	99%	28%	10%	84%
48	45	8,50	24,00	0	5	2	2	176,1	31,0	207,1	32%	20%	98%	62%	62%	25%	99%	35%	26%	100%
48	45	15,50	24,00	0	5	6	3	176,1	79,0	255,1	32%	20%	98%	62%	62%	25%	99%	41%	38%	99%
48	45	22,50	24,00	0	5	6	3	176,1	163,3	339,4	32%	20%	98%	62%	62%	25%	99%	39%	42%	96%
48	45	29,50	24,00	0	5	5	4	176,1	299,0	475,1	32%	20%	98%	62%	62%	25%	99%	27%	40%	99%
48	45	36,50	24,00	0	5	5	4	176,1	478,5	654,6	32%	20%	98%	62%	62%	25%	99%	26%	43%	100%
48	45	1,50	27,00	0	7	0	0	199,6	5,0	204,6	40%	20%	85%	72%	72%	24%	98%	31%	10%	88%
48	45	8,50	27,00	0	7	2	1	199,6	30,2	228,8	40%	20%	85%	72%	72%	24%	98%	41%	29%	100%
48	45	15,50	27,00	0	7	3	4	199,6	74,0	273,6	40%	20%	85%	72%	72%	24%	98%	32%	34%	95%
48	45	22,50	27,00	0	7	7	3	199,6	148,6	348,2	40%	20%	85%	72%	72%	24%	98%	43%	45%	100%
48	45	29,50	27,00	0	7	4	5	199,6	272,9	472,5	40%	20%	85%	72%	72%	24%	98%	24%	38%	98%
48	45	36,50	27,00	0	7	7	2	199,6	442,3	641,9	40%	20%	85%	72%	72%	24%	98%	39%	61%	99%
48	45	1,50	30,00	0	7	0	0	204,8	4,5	209,3	46%	21%	98%	83%	83%	52%	97%	34%	11%	98%
48	45	8,50	30,00	0	7	3	0	204,8	29,3	234,1	46%	21%	98%	83%	83%	52%	97%	52%	33%	96%
48	45	15,50	30,00	0	7	5	6	204,8	69,9	274,7	46%	21%	98%	83%	83%	52%	97%	29%	33%	99%
48	45	22,50	30,00	0	7	7	3	204,8	143,2	348,0	46%	21%	98%	83%	83%	52%	97%	43%	46%	99%
48	45	29,50	30,00	0	7	5	3	204,8	254,4	459,2	46%	21%	98%	83%	83%	52%	97%	40%	50%	99%
48	45	36,50	30,00	0	7	5	6	204,8	419,0	623,8	46%	21%	98%	83%	83%	52%	97%	19%	38%	98%
48	45	1,50	33,00	0	8	0	0	213,7	4,3	218,0	56%	20%	54%	95%	95%	27%	97%	37%	12%	98%
48	45	8,50	33,00	0	8	2	2	213,7	27,5	241,3	56%	20%	54%	95%	95%	27%	97%	39%	29%	95%
48	45	15,50	33,00	0	8	5	4	213,7	67,1	280,8	56%	20%	54%	95%	95%	27%	97%	38%	37%	100%
48	45	22,50	33,00	0	8	4	4	213,7	137,5	351,2	56%	20%	54%	95%	95%	27%	97%	34%	42%	92%
48	45	29,50	33,00	0	8	4	4	213,7	237,3	451,0	56%	20%	54%	95%	95%	27%	97%	33%	46%	97%
48	45	36,50	33,00	0	8	4	5	213,7	397,6	611,3	56%	20%	54%	95%	95%	27%	97%	23%	43%	99%

Os comentários para esse transportador já se encontram ao longo do texto.

2.6. TRANSPORTADOR DE 54”

2.6.1. Velocidade do Vento de 35m/s

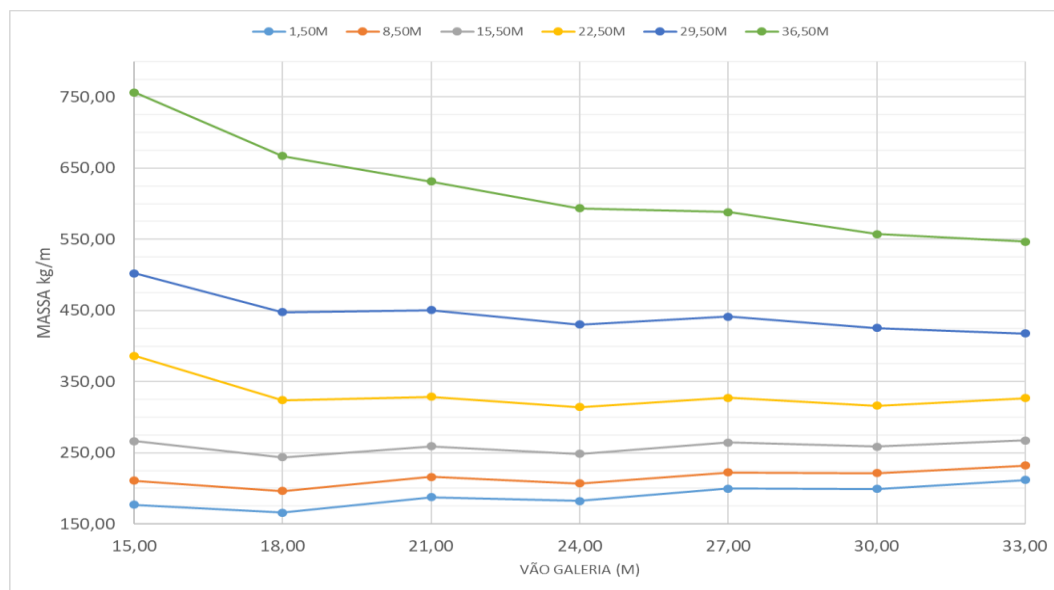


Gráfico A.31 TR54/35 - Curvas da Função Objetivo para Alturas de Coluna Discretas

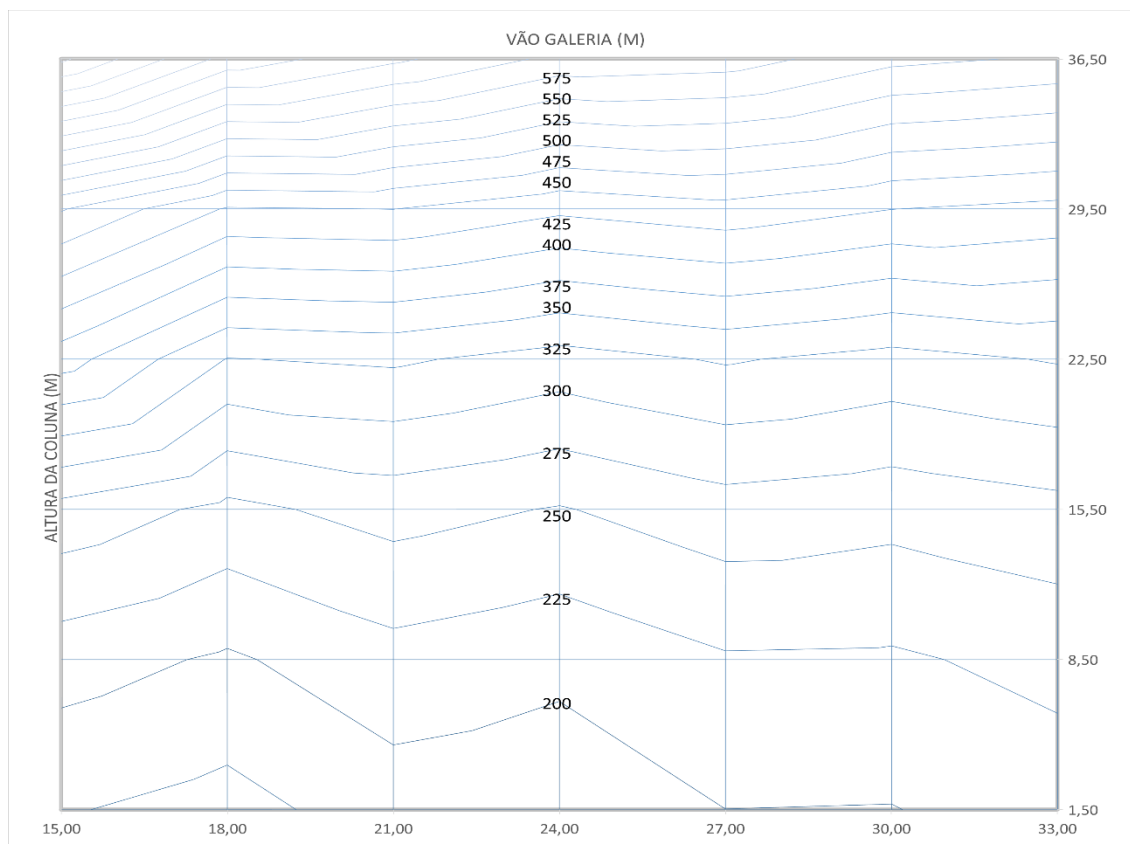


Gráfico A.32 TR54/35– Isolinhas de Mínimos da Função Objetivo (kg/m)

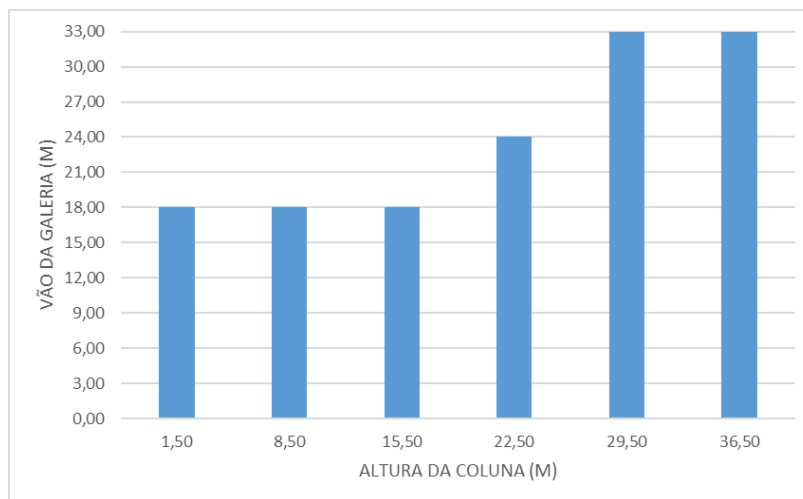


Gráfico A.33 TR54/35 - Localização do Mínimo da Função Objetivo Para Entradas Discretas

Tabela A.21. TR54/35 - Dados de Entrada, Variáveis de Projeto, Massa e Restrições – Resultados Otimizados

DADOS ENTRADA				VARIÁVEIS PROJETO				MASSA			RESTRIÇÕES									
TR	V (M/S)	COL (H)	GAL (M)	VP1	VP2	VP3	VP4	MGAL	MCOL	MASSA KG/M	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R GAL	R7	R8	R COL
54	35	1,50	15,00	0	1	0	0	167,7	9,3	177,0	16%	16%	70%	35%	51%	35%	95%	11%	8%	88%
54	35	8,50	15,00	0	1	3	1	167,7	43,3	211,0	16%	16%	70%	35%	51%	35%	95%	19%	26%	92%
54	35	15,50	15,00	0	1	4	0	167,7	98,7	266,3	16%	16%	70%	35%	51%	35%	95%	36%	46%	97%
54	35	22,50	15,00	0	1	5	0	167,7	218,8	386,5	16%	16%	70%	35%	51%	35%	95%	47%	60%	88%
54	35	29,50	15,00	0	1	6	3	167,7	334,5	502,2	16%	16%	70%	35%	51%	35%	95%	22%	44%	95%
54	35	36,50	15,00	0	1	4	5	167,7	588,8	756,5	16%	16%	70%	35%	51%	35%	95%	12%	37%	93%
54	35	1,50	18,00	0	1	0	0	158,1	7,7	165,9	21%	16%	87%	43%	57%	23%	97%	13%	9%	88%
54	35	8,50	18,00	0	1	3	2	158,1	38,3	196,5	21%	16%	87%	43%	57%	23%	97%	19%	26%	89%
54	35	15,50	18,00	0	1	4	2	158,1	85,4	243,5	21%	16%	87%	43%	57%	23%	97%	25%	38%	91%
54	35	22,50	18,00	0	1	5	1	158,1	166,0	324,1	21%	16%	87%	43%	57%	23%	97%	39%	55%	99%
54	35	29,50	18,00	0	1	5	2	158,1	289,5	447,6	21%	16%	87%	43%	57%	23%	97%	31%	54%	98%
54	35	36,50	18,00	0	1	7	2	158,1	508,8	667,0	21%	16%	87%	43%	57%	23%	97%	30%	57%	99%
54	35	1,50	21,00	2	3	0	0	181,2	6,6	187,8	26%	18%	100%	51%	65%	48%	99%	16%	10%	88%
54	35	8,50	21,00	2	3	2	0	181,2	34,9	216,1	26%	18%	100%	51%	65%	48%	99%	26%	29%	88%
54	35	15,50	21,00	2	3	5	3	181,2	78,1	259,2	26%	18%	100%	51%	65%	48%	99%	25%	38%	91%
54	35	22,50	21,00	2	3	6	2	181,2	147,8	329,0	26%	18%	100%	51%	65%	48%	99%	33%	51%	100%
54	35	29,50	21,00	2	3	7	3	181,2	269,3	450,4	26%	18%	100%	51%	65%	48%	99%	26%	50%	99%
54	35	36,50	21,00	2	3	4	3	181,2	449,9	631,1	26%	18%	100%	51%	65%	48%	99%	24%	52%	98%
54	35	1,50	24,00	0	3	0	0	176,3	5,8	182,2	34%	16%	100%	63%	69%	41%	97%	17%	10%	88%
54	35	8,50	24,00	0	3	2	0	176,3	30,5	206,9	34%	16%	100%	63%	69%	41%	97%	27%	31%	88%
54	35	15,50	24,00	0	3	5	0	176,3	72,0	248,4	34%	16%	100%	63%	69%	41%	97%	48%	54%	96%
54	35	22,50	24,00	0	3	5	4	176,3	138,0	314,3	34%	16%	100%	63%	69%	41%	97%	21%	42%	93%
54	35	29,50	24,00	0	3	7	3	176,3	253,8	430,2	34%	16%	100%	63%	69%	41%	97%	25%	51%	92%
54	35	36,50	24,00	0	3	6	4	176,3	417,4	593,7	34%	16%	100%	63%	69%	41%	97%	18%	47%	95%
54	35	1,50	27,00	0	5	0	0	194,7	5,2	199,9	42%	13%	70%	75%	75%	40%	99%	19%	11%	88%
54	35	8,50	27,00	0	5	2	2	194,7	27,8	222,6	42%	13%	70%	75%	75%	40%	99%	23%	29%	88%
54	35	15,50	27,00	0	5	4	1	194,7	69,9	264,6	42%	13%	70%	75%	75%	40%	99%	36%	48%	88%
54	35	22,50	27,00	0	5	5	3	194,7	132,7	327,4	42%	13%	70%	75%	75%	40%	99%	26%	48%	90%
54	35	29,50	27,00	0	5	4	4	194,7	246,5	441,2	42%	13%	70%	75%	75%	40%	99%	19%	46%	89%
54	35	36,50	27,00	0	5	5	5	194,7	393,7	588,4	42%	13%	70%	75%	75%	40%	99%	15%	44%	89%
54	35	1,50	30,00	1	6	0	0	194,5	4,6	199,1	50%	17%	97%	86%	86%	39%	100%	22%	12%	94%
54	35	8,50	30,00	1	6	2	0	194,5	27,1	221,6	50%	17%	97%	86%	86%	39%	100%	32%	34%	89%
54	35	15,50	30,00	1	6	4	1	194,5	64,1	258,6	50%	17%	97%	86%	86%	39%	100%	41%	50%	98%
54	35	22,50	30,00	1	6	5	4	194,5	121,7	316,2	50%	17%	97%	86%	86%	39%	100%	24%	45%	93%
54	35	29,50	30,00	1	6	4	3	194,5	230,9	425,4	50%	17%	97%	86%	86%	39%	100%	26%	53%	93%
54	35	36,50	30,00	1	6	6	4	194,5	362,7	557,2	50%	17%	97%	86%	86%	39%	100%	20%	50%	95%
54	35	1,50	33,00	0	6	0	0	207,6	4,4	212,0	60%	17%	100%	98%	98%	32%	99%	23%	12%	94%
54	35	8,50	33,00	0	6	2	0	207,6	24,7	232,2	60%	17%	100%	98%	98%	32%	99%	34%	36%	96%
54	35	15,50	33,00	0	6	3	3	207,6	60,0	267,6	60%	17%	100%	98%	98%	32%	99%	27%	42%	90%
54	35	22,50	33,00	0	6	6	3	207,6	119,4	327,0	60%	17%	100%	98%	98%	32%	99%	29%	51%	83%
54	35	29,50	33,00	0	6	4	3	207,6	209,9	417,5	60%	17%	100%	98%	98%	32%	99%	27%	56%	98%
54	35	36,50	33,00	0	6	4	5	207,6	339,0	546,6	60%	17%	100%	98%	98%	32%	99%	16%	47%	93%

Observa-se que nos vãos de galeria, a *VP1* manteve-se no *lower bound* da variável, exceto nos vãos de 21,0 e 30,0m. Na *VP2*, entretanto, para os vãos maiores houveram mais modificações no índice da variável. Com relação a *VP3*, com o acréscimo da altura da coluna também ocorreu um acréscimo da quantidade de contenções laterais. Para a *VP4*, não houve um padrão de comportamento.

Com relação a massa mínima do conjunto discreto como na anterior, resultados ótimos qualitativos ocorrem da seguinte forma: colunas mais baixas interagindo com galerias de vão menores bem como colunas mais altas com galerias maiores. Qualitativamente, há uma similaridade de comportamento nas alturas de colunas de 15,5m que apresentaram valores aproximadamente constantes para a função objetivo, independentemente do vão, de 258,32 kg/m.

A restrição ativa é a R3 em 85,71% das simulações com aproveitamento máximo de 100% seguida de R4/R5 (quando a frequência natural de vibração vertical é a frequência fundamental) em 14,29% dos casos com aproveitamento máximo de 75%. Com relação às colunas, a restrição com maior utilização foi a R8 com aproveitamento máximo de 60% para interação entre colunas de 22,5m com galerias de 15,0m, entretanto foi inativa.

2.6.2. Velocidade do Vento de 45m/s

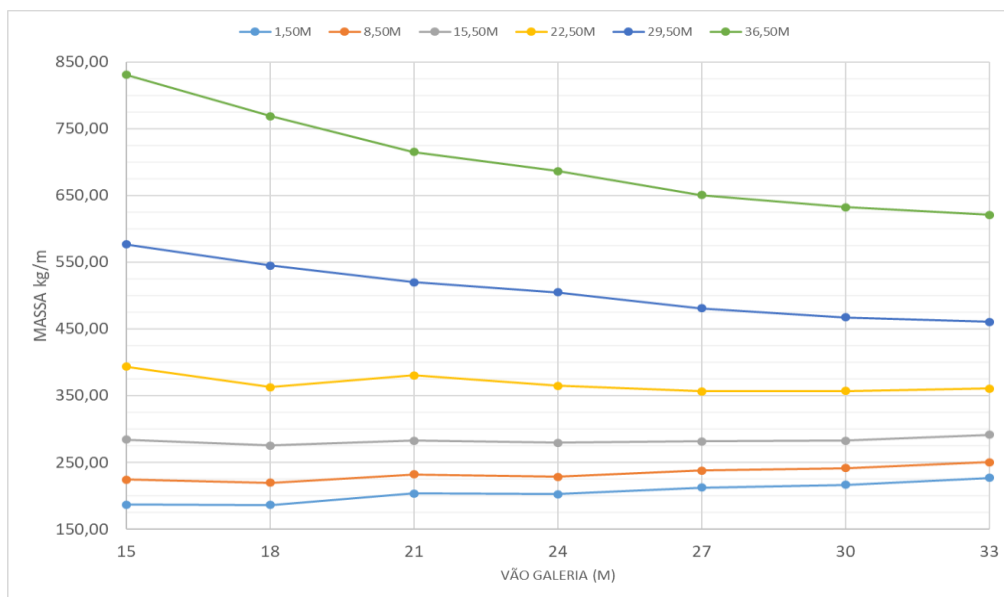


Gráfico A.34 TR54/45 -Curvas da Função Objetivo para Alturas de Coluna Discretas

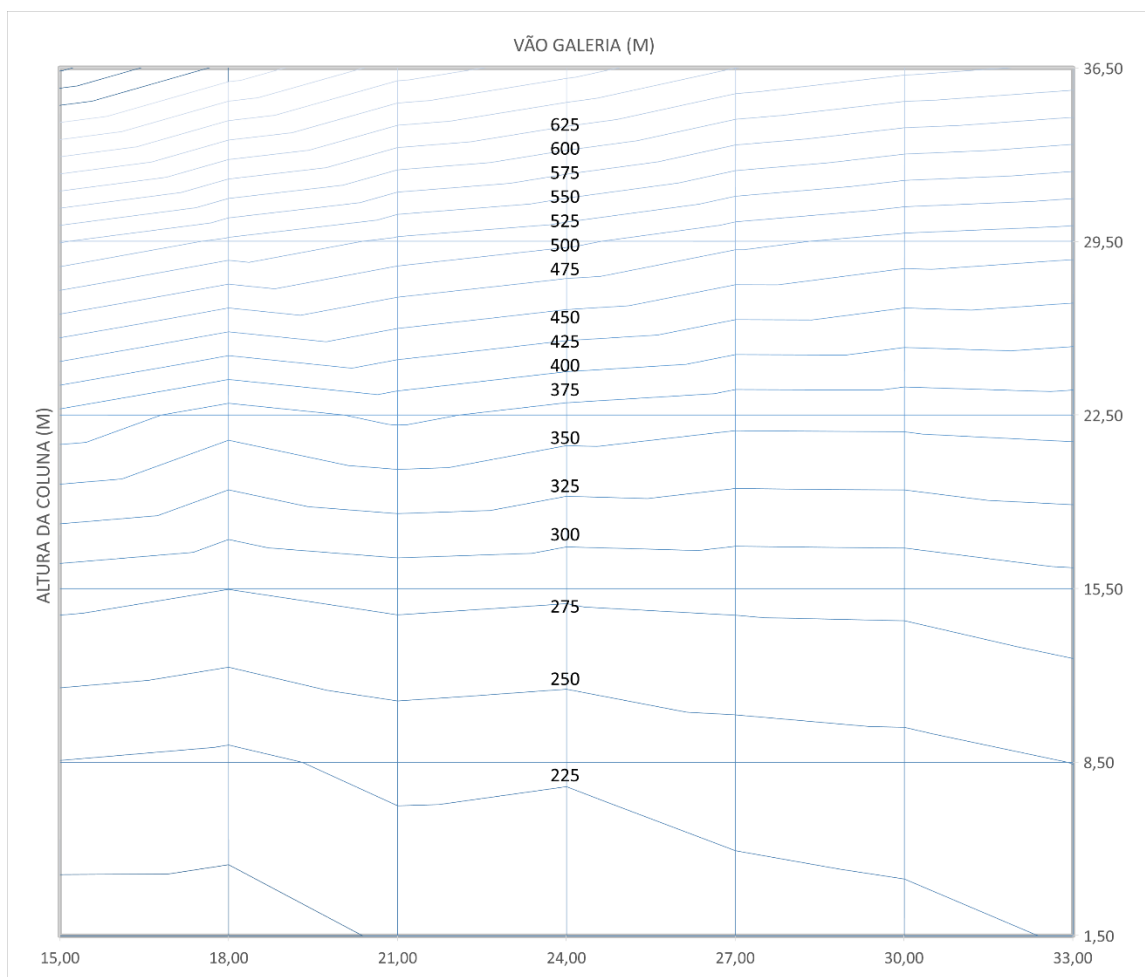


Gráfico A.35 TR54/45– Isolinhas de Mínimos da Função Objetivo (kg/m)

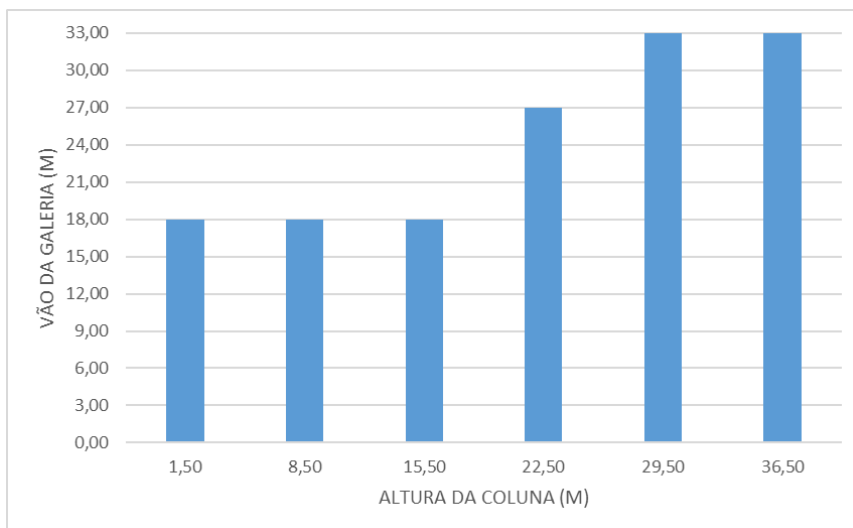


Gráfico A.36 TR54/45 - Localização do Mínimo da Função Objetivo Para Entradas Discretas

Tabela A.23.TR54/45 - Dados de Entrada, Variáveis de Projeto, Massa e Restrições – Resultados Otimizados

DADOS ENTRADA			VARIÁVEIS PROJETO				MASSA			RESTRIÇÕES										
TR	V (M/S)	COL (H)	GAL (M)	VP1	VP2	VP3	VP4	MGAL	MCOL	MASSA KG/M	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R GAL	R7	R8	R COL
54	45	1,50	15,00	0	2	0	0	177,4	9,3	186,7	16%	17%	70%	35%	41%	35%	99%	18%	8%	88%
54	45	8,50	15,00	0	2	3	3	177,4	47,0	224,4	16%	17%	70%	35%	41%	35%	99%	23%	22%	95%
54	45	15,50	15,00	0	2	4	4	177,4	106,7	284,1	16%	17%	70%	35%	41%	35%	99%	25%	30%	93%
54	45	22,50	15,00	0	2	5	3	177,4	216,2	393,6	16%	17%	70%	35%	41%	35%	99%	30%	38%	96%
54	45	29,50	15,00	0	2	5	4	177,4	399,5	576,8	16%	17%	70%	35%	41%	35%	99%	24%	37%	99%
54	45	36,50	15,00	0	2	5	4	177,4	653,2	830,6	16%	17%	70%	35%	41%	35%	99%	23%	39%	99%
54	45	1,50	18,00	1	4	0	0	178,7	7,7	186,5	20%	14%	60%	42%	43%	20%	99%	22%	9%	88%
54	45	8,50	18,00	1	4	2	0	178,7	40,7	219,4	20%	14%	60%	42%	43%	20%	99%	36%	27%	88%
54	45	15,50	18,00	1	4	4	2	178,7	96,5	275,2	20%	14%	60%	42%	43%	20%	99%	38%	37%	100%
54	45	22,50	18,00	1	4	5	4	178,7	184,0	362,7	20%	14%	60%	42%	43%	20%	99%	28%	37%	100%
54	45	29,50	18,00	1	4	5	4	178,7	366,2	545,0	20%	14%	60%	42%	43%	20%	99%	25%	38%	97%
54	45	36,50	18,00	1	4	6	1	178,7	589,8	768,5	20%	14%	60%	42%	43%	20%	99%	47%	68%	100%
54	45	1,50	21,00	1	5	0	0	196,8	6,6	203,5	25%	19%	92%	50%	55%	44%	98%	26%	10%	88%
54	45	8,50	21,00	1	5	2	1	196,8	35,3	232,2	25%	19%	92%	50%	55%	44%	98%	35%	27%	96%
54	45	15,50	21,00	1	5	5	2	196,8	85,8	282,6	25%	19%	92%	50%	55%	44%	98%	44%	40%	99%
54	45	22,50	21,00	1	5	6	2	196,8	183,9	380,7	25%	19%	92%	50%	55%	44%	98%	45%	47%	95%
54	45	29,50	21,00	1	5	4	5	196,8	323,0	519,8	25%	19%	92%	50%	55%	44%	98%	22%	37%	99%
54	45	36,50	21,00	1	5	5	6	196,8	518,2	715,0	25%	19%	92%	50%	55%	44%	98%	18%	36%	100%
54	45	1,50	24,00	1	7	0	0	196,9	5,8	202,7	33%	18%	81%	62%	62%	40%	98%	29%	10%	88%
54	45	8,50	24,00	1	7	2	3	196,9	31,8	228,6	33%	18%	81%	62%	62%	40%	98%	31%	26%	99%
54	45	15,50	24,00	1	7	3	3	196,9	82,5	279,4	33%	18%	81%	62%	62%	40%	98%	34%	36%	95%
54	45	22,50	24,00	1	7	7	3	196,9	168,2	365,1	33%	18%	81%	62%	62%	40%	98%	39%	44%	95%
54	45	29,50	24,00	1	7	4	5	196,9	308,1	504,9	33%	18%	81%	62%	62%	40%	98%	22%	37%	99%
54	45	36,50	24,00	1	7	5	6	196,9	489,6	686,5	33%	18%	81%	62%	62%	40%	98%	18%	36%	99%
54	45	1,50	27,00	0	7	0	0	207,2	5,2	212,4	42%	19%	86%	75%	75%	40%	97%	31%	11%	92%
54	45	8,50	27,00	0	7	2	2	207,2	30,9	238,1	42%	19%	86%	75%	75%	40%	97%	34%	28%	100%
54	45	15,50	27,00	0	7	3	4	207,2	74,4	281,7	42%	19%	86%	75%	75%	40%	97%	31%	35%	96%
54	45	22,50	27,00	0	7	7	3	207,2	149,5	356,7	42%	19%	86%	75%	75%	40%	97%	41%	47%	100%
54	45	29,50	27,00	0	7	4	5	207,2	273,8	481,0	42%	19%	86%	75%	75%	40%	97%	23%	40%	99%
54	45	36,50	27,00	0	7	7	2	207,2	443,4	650,6	42%	19%	86%	75%	75%	40%	97%	37%	62%	98%
54	45	1,50	30,00	0	7	0	0	211,9	4,9	216,8	50%	21%	100%	85%	85%	38%	99%	34%	12%	93%
54	45	8,50	30,00	0	7	2	0	211,9	29,9	241,8	50%	21%	100%	85%	85%	38%	99%	46%	32%	98%
54	45	15,50	30,00	0	7	5	6	211,9	70,6	282,5	50%	21%	100%	85%	85%	38%	99%	29%	34%	100%
54	45	22,50	30,00	0	7	6	4	211,9	145,3	357,2	50%	21%	100%	85%	85%	38%	99%	34%	43%	99%
54	45	29,50	30,00	0	7	5	3	211,9	255,3	467,2	50%	21%	100%	85%	85%	38%	99%	39%	51%	99%
54	45	36,50	30,00	0	7	5	6	211,9	420,3	632,2	50%	21%	100%	85%	85%	38%	99%	18%	39%	99%
54	45	1,50	33,00	0	8	0	0	222,4	4,7	227,1	59%	19%	55%	98%	98%	32%	99%	37%	12%	95%
54	45	8,50	33,00	0	8	2	2	222,4	27,8	250,3	59%	19%	55%	98%	98%	32%	99%	37%	29%	96%
54	45	15,50	33,00	0	8	4	2	222,4	69,2	291,6	59%	19%	55%	98%	98%	32%	99%	48%	44%	98%
54	45	22,50	33,00	0	8	4	4	222,4	138,2	360,6	59%	19%	55%	98%	98%	32%	99%	33%	43%	92%
54	45	29,50	33,00	0	8	4	4	222,4	238,1	460,5	59%	19%	55%	98%	98%	32%	99%	32%	47%	97%
54	45	36,50	33,00	0	8	4	5	222,4	398,5	621,0	59%	19%	55%	98%	98%	32%	99%	22%	44%	100%

Observa-se que em 57,14% dos casos, a *VP1* manteve-se no *lower bound* da variável, enquanto que em 42,86% assumiu índice “1”. Na *VP2*, entretanto, para os vãos maiores houveram mais modificações no índice da variável. Com relação a *VP3*, com o acréscimo da altura da coluna também ocorreu um acréscimo da quantidade de contenções laterais. Para a *VP4*, não houve um padrão de comportamento.

Com relação a massa mínima do conjunto discreto como na anterior, resultados ótimos qualitativos ocorrem da seguinte forma: colunas mais baixas interagindo com galerias de vão menores bem como colunas mais altas com galerias maiores. Qualitativamente, há uma similaridade de comportamento nas alturas de colunas de 15,5m que apresentaram valores aproximadamente constantes para a função objetivo, independentemente do vão, de aproximadamente 282,43 kg/m.

Em geral, a restrição ativa é a R3 em 83,33% das simulações com aproveitamento máximo de 100% seguida da R4/R5 (quando a frequência natural de vibração vertical é a frequência fundamental) em 14,29% dos casos com aproveitamento máximo de 98%. Com relação às colunas, a restrição com maior utilização foi a R8 com aproveitamento máximo de 68% para interação entre colunas de 36,5m com galerias de 18,0m, onde, nesse caso, foi ativa (2,38% dos casos).

2.7. TRANSPORTADOR DE 60"

2.7.1. Velocidade do Vento de 35m/s

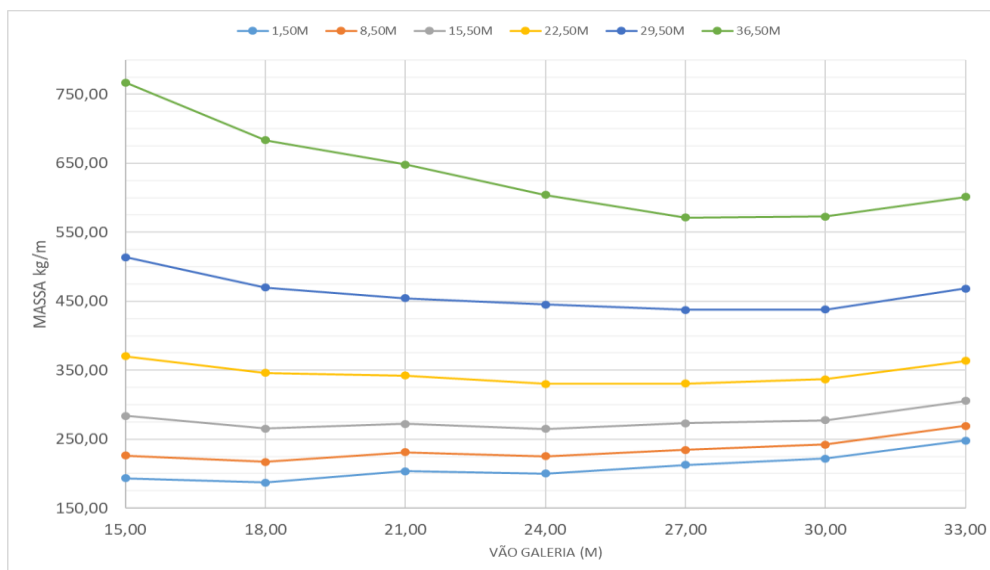


Gráfico A.37 TR60/35 - Curvas da Função Objetivo para Alturas de Coluna Discretas

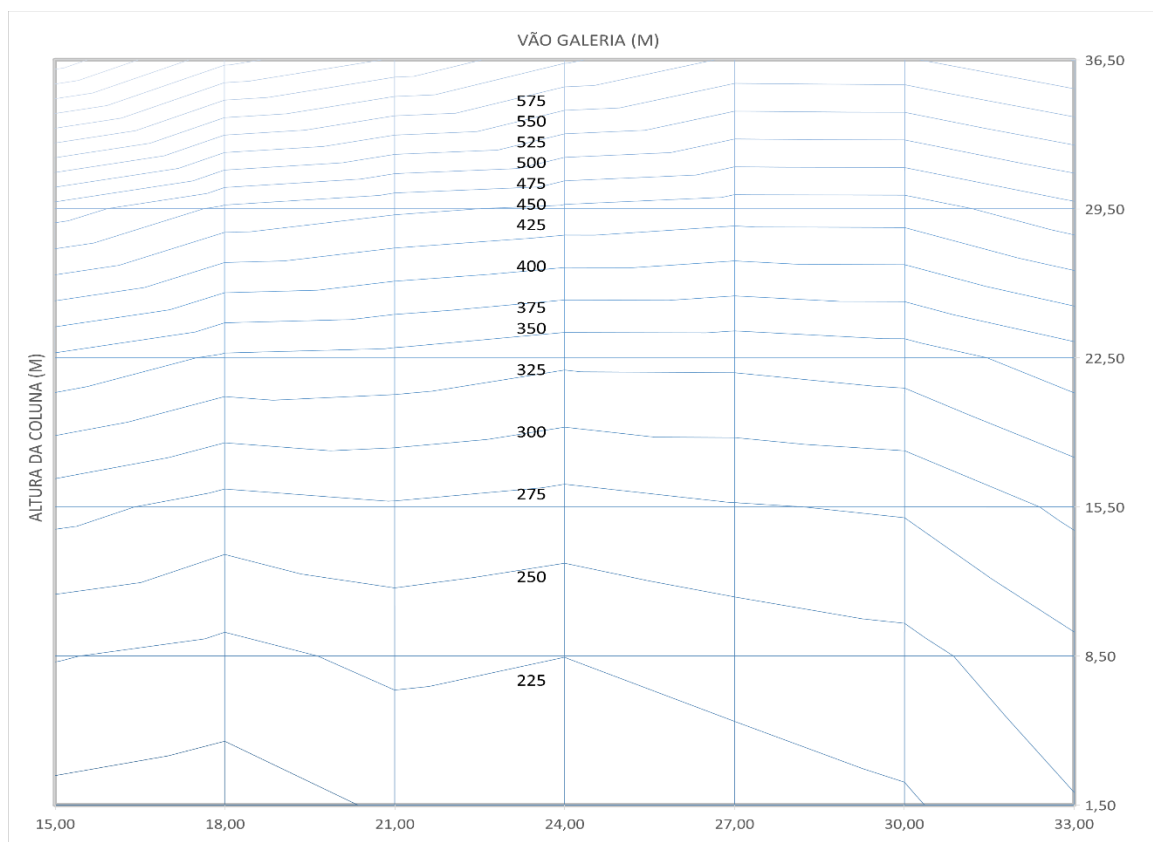


Gráfico A.38 TR60/35– Isolinhas de Mínimos da Função Objetivo (kg/m)

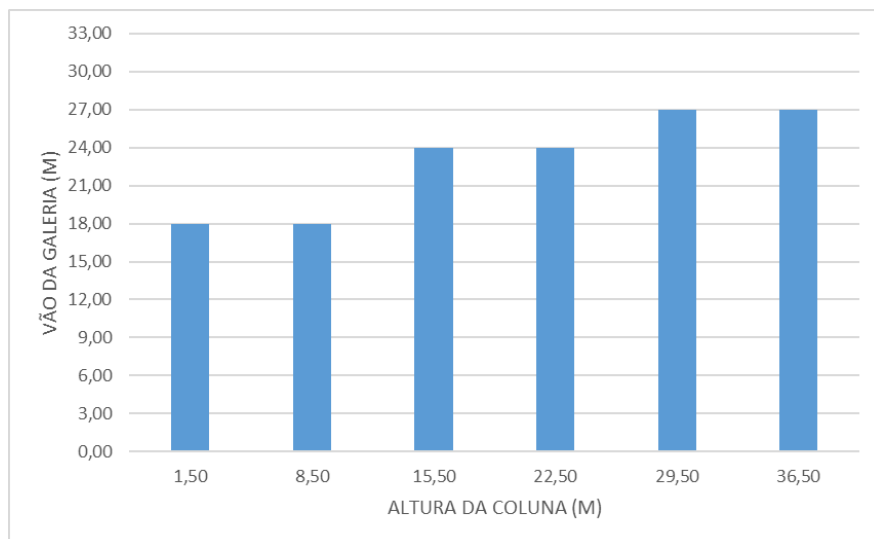


Gráfico A.39 TR60/35 - Localização do Mínimo da Função Objetivo Para Entradas Discretas

Tabela A.25. TR60/35 - Dados de Entrada, Variáveis de Projeto, Massa e Restrições – Resultados Otimizados

DADOS ENTRADA			VARIÁVEIS PROJETO				MASSA			RESTRIÇÕES										
TR	V (M/S)	COL (H)	GAL (M)	VP1	VP2	VP3	VP4	MGAL	MCOL	MASSA KG/M	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R GAL	R7	R8	R COL
60	35	1,50	15,00	0	2	0	0	183,9	9,6	193,5	18%	10%	43%	36%	42%	36%	99%	11%	9%	93%
60	35	8,50	15,00	0	2	1	2	183,9	42,4	226,3	18%	10%	43%	36%	42%	36%	99%	14%	24%	98%
60	35	15,50	15,00	0	2	4	0	183,9	99,7	283,6	18%	10%	43%	36%	42%	36%	99%	33%	47%	96%
60	35	22,50	15,00	0	2	5	2	183,9	186,3	370,2	18%	10%	43%	36%	42%	36%	99%	25%	47%	100%
60	35	29,50	15,00	0	2	6	2	183,9	329,7	513,6	18%	10%	43%	36%	42%	36%	99%	28%	53%	100%
60	35	36,50	15,00	0	2	4	3	183,9	583,1	767,0	18%	10%	43%	36%	42%	36%	99%	19%	48%	98%
60	35	1,50	18,00	1	2	0	0	179,0	8,0	187,0	21%	12%	58%	43%	50%	23%	100%	14%	10%	93%
60	35	8,50	18,00	1	2	3	1	179,0	38,4	217,3	21%	12%	58%	43%	50%	23%	100%	21%	29%	98%
60	35	15,50	18,00	1	2	4	2	179,0	86,3	265,3	21%	12%	58%	43%	50%	23%	100%	25%	40%	94%
60	35	22,50	18,00	1	2	5	1	179,0	167,0	345,9	21%	12%	58%	43%	50%	23%	100%	37%	57%	99%
60	35	29,50	18,00	1	2	5	2	179,0	290,7	469,6	21%	12%	58%	43%	50%	23%	100%	30%	56%	100%
60	35	36,50	18,00	1	2	6	2	179,0	504,3	683,3	21%	12%	58%	43%	50%	23%	100%	29%	60%	100%
60	35	1,50	21,00	0	3	0	0	196,7	6,9	203,6	28%	15%	87%	54%	64%	55%	99%	15%	10%	93%
60	35	8,50	21,00	0	3	4	1	196,7	34,6	231,3	28%	15%	87%	54%	64%	55%	99%	26%	32%	99%
60	35	15,50	21,00	0	3	4	3	196,7	75,5	272,2	28%	15%	87%	54%	64%	55%	99%	22%	39%	100%
60	35	22,50	21,00	0	3	5	2	196,7	145,5	342,2	28%	15%	87%	54%	64%	55%	99%	30%	53%	99%
60	35	29,50	21,00	0	3	6	3	196,7	257,9	454,6	28%	15%	87%	54%	64%	55%	99%	24%	52%	98%
60	35	36,50	21,00	0	3	4	3	196,7	451,3	648,0	28%	15%	87%	54%	64%	55%	99%	22%	54%	95%
60	35	1,50	24,00	1	5	0	0	194,2	6,0	200,3	36%	13%	67%	65%	65%	41%	100%	18%	11%	93%
60	35	8,50	24,00	1	5	2	0	194,2	31,0	225,2	36%	13%	67%	65%	65%	41%	100%	27%	32%	93%
60	35	15,50	24,00	1	5	3	3	194,2	70,8	265,0	36%	13%	67%	65%	65%	41%	100%	23%	40%	96%
60	35	22,50	24,00	1	5	5	3	194,2	136,1	330,3	36%	13%	67%	65%	65%	41%	100%	25%	49%	100%
60	35	29,50	24,00	1	5	5	4	194,2	251,1	445,4	36%	13%	67%	65%	65%	41%	100%	20%	47%	100%
60	35	36,50	24,00	1	5	5	4	194,2	409,8	604,1	36%	13%	67%	65%	65%	41%	100%	18%	49%	100%
60	35	1,50	27,00	0	5	0	0	207,2	5,4	212,5	47%	13%	72%	79%	79%	54%	99%	20%	12%	93%
60	35	8,50	27,00	0	5	2	0	207,2	27,5	234,7	47%	13%	72%	79%	79%	54%	99%	29%	34%	96%
60	35	15,50	27,00	0	5	5	1	207,2	66,1	273,3	47%	13%	72%	79%	79%	54%	99%	38%	52%	95%
60	35	22,50	27,00	0	5	5	4	207,2	123,5	330,7	47%	13%	72%	79%	79%	54%	99%	22%	47%	100%
60	35	29,50	27,00	0	5	4	5	207,2	230,1	437,3	47%	13%	72%	79%	79%	54%	99%	16%	45%	100%
60	35	36,50	27,00	0	5	5	4	207,2	364,3	571,5	47%	13%	72%	79%	79%	54%	99%	19%	52%	100%
60	35	1,50	30,00	0	6	0	0	216,8	5,0	221,9	55%	15%	93%	90%	90%	39%	100%	21%	12%	93%
60	35	8,50	30,00	0	6	2	2	216,8	25,4	242,2	55%	15%	93%	90%	90%	39%	100%	24%	32%	99%
60	35	15,50	30,00	0	6	5	2	216,8	60,7	277,5	55%	15%	93%	90%	90%	39%	100%	33%	49%	96%
60	35	22,50	30,00	0	6	5	3	216,8	120,2	337,1	55%	15%	93%	90%	90%	39%	100%	27%	52%	100%
60	35	29,50	30,00	0	6	5	4	216,8	220,9	437,7	55%	15%	93%	90%	90%	39%	100%	20%	50%	99%
60	35	36,50	30,00	0	6	5	5	216,8	356,0	572,8	55%	15%	93%	90%	90%	39%	100%	16%	48%	99%
60	35	1,50	33,00	7	8	0	0	243,4	4,8	248,3	50%	17%	60%	90%	94%	36%	100%	30%	13%	99%
60	35	8,50	33,00	7	8	2	0	243,4	25,7	269,1	50%	17%	60%	90%	94%	36%	100%	41%	37%	96%
60	35	15,50	33,00	7	8	3	5	243,4	62,4	305,8	50%	17%	60%	90%	94%	36%	100%	23%	38%	96%
60	35	22,50	33,00	7	8	6	3	243,4	120,2	363,6	50%	17%	60%	90%	94%	36%	100%	35%	54%	97%
60	35	29,50	33,00	7	8	4	5	243,4	225,1	468,5	50%	17%	60%	90%	94%	36%	100%	19%	46%	100%
60	35	36,50	33,00	7	8	5	6	243,4	357,7	601,1	50%	17%	60%	90%	94%	36%	100%	15%	44%	100%

Observa-se que nos vãos de galeria, a *VP1* manteve-se no *lower bound* da variável, exceto para 24,0m. Na *VP2*, entretanto, para os vãos maiores houveram mais modificações no índice da variável. Com relação a *VP3*, com o acréscimo da altura da coluna também ocorreu um acréscimo da quantidade de contenções laterais. Para a *VP4*, não houve um padrão de comportamento.

Com relação a massa mínima do conjunto discreto como na anterior, resultados ótimos qualitativos ocorrem da seguinte forma: colunas mais baixas interagindo com galerias de vão menores bem como colunas mais altas com galerias maiores. Qualitativamente, há uma similaridade de comportamento nas alturas de colunas de 15,5m que apresentaram valores aproximadamente constantes para a função objetivo, exceto o vão de 33,0m, de aproximadamente 272,81 kg/m.

Em geral, a restrição ativa é a R3 em 59,52% dos casos com utilização máxima de 93%, seguida da R5 (quando a frequência fundamental não é a frequência natural de vibração vertical) em 14,29% das simulações com aproveitamento máximo de 94% e R4/R5 (quando a frequência natural de vibração vertical é a frequência fundamental) em 14,29% das simulações com aproveitamento máximo de 79%. Com relação às colunas, a restrição com maior utilização foi a R8 com aproveitamento máximo de 60% para interação entre colunas de 36,5m com galerias de 18,0m onde, nesse caso, foi ativa (R8 ativa em 11,90% das simulações).

2.7.2. Velocidade do Vento de 45m/s

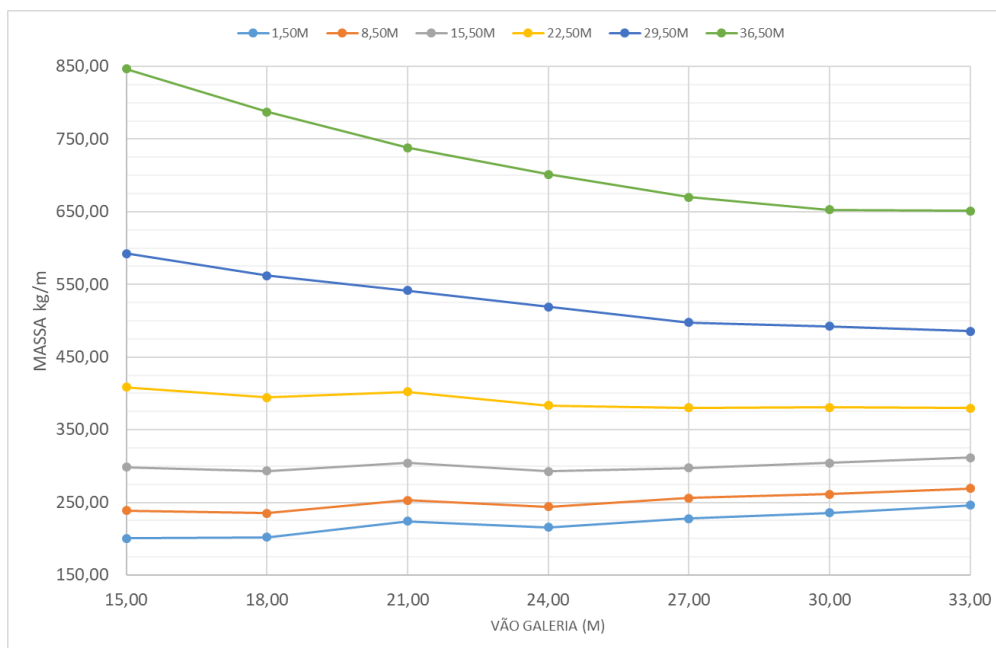


Gráfico A.40 TR60/45 -Curvas da Função Objetivo para Alturas de Coluna Discretas

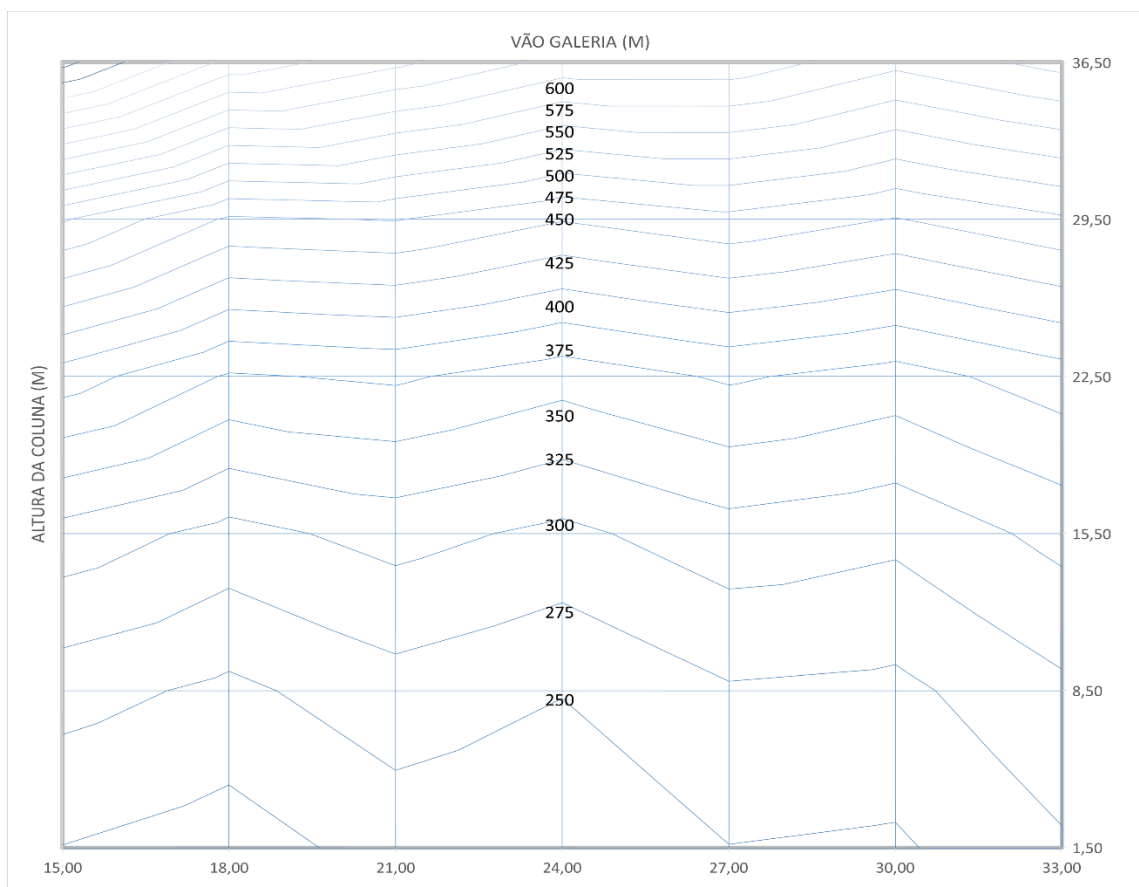


Gráfico A.41. TR60/45- Isolinhas de Mínimos da Função Objetivo (kg/m)

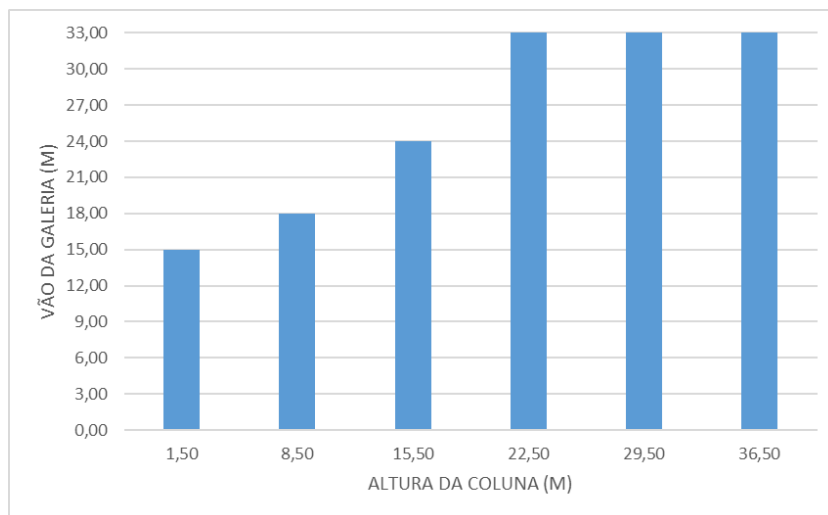


Gráfico A.42. TR60/45 - Localização do Mínimo da Função Objetivo Para Entradas Discretas

Tabela A.27. TR60/45 - Dados de Entrada, Variáveis de Projeto, Massa e Restrições – Resultados Otimizados

DADOS ENTRADA				VARIÁVEIS PROJETO				MASSA			RESTRICÇÕES									
TR	V (M/S)	COL (H)	GAL (M)	VP1	VP2	VP3	VP4	MGAL	MCOL	MASSA KG/M	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R GAL	R7	R8	R COL
60	45	1,50	15,00	0	3	0	0	190,8	9,6	200,5	18%	21%	94%	36%	48%	36%	98%	18%	9%	93%
60	45	8,50	15,00	0	3	3	3	190,8	48,0	238,8	18%	21%	94%	36%	48%	36%	98%	23%	23%	97%
60	45	15,50	15,00	0	3	4	4	190,8	107,9	298,7	18%	21%	94%	36%	48%	36%	98%	24%	31%	100%
60	45	22,50	15,00	0	3	5	3	190,8	217,8	408,6	18%	21%	94%	36%	48%	36%	98%	29%	39%	96%
60	45	29,50	15,00	0	3	5	4	190,8	401,8	592,7	18%	21%	94%	36%	48%	36%	98%	23%	38%	100%
60	45	36,50	15,00	0	3	5	4	190,8	655,8	846,6	18%	21%	94%	36%	48%	36%	98%	22%	40%	100%
60	45	1,50	18,00	1	5	0	0	194,0	8,0	202,1	21%	16%	77%	43%	47%	24%	98%	22%	10%	93%
60	45	8,50	18,00	1	5	2	0	194,0	41,3	235,3	21%	16%	77%	43%	47%	24%	98%	33%	28%	93%
60	45	15,50	18,00	1	5	5	1	194,0	99,1	293,1	21%	16%	77%	43%	47%	24%	98%	46%	42%	96%
60	45	22,50	18,00	1	5	5	3	194,0	200,4	394,4	21%	16%	77%	43%	47%	24%	98%	31%	41%	96%
60	45	29,50	18,00	1	5	5	4	194,0	368,2	562,2	21%	16%	77%	43%	47%	24%	98%	24%	39%	98%
60	45	36,50	18,00	1	5	5	5	194,0	593,3	787,4	21%	16%	77%	43%	47%	24%	98%	19%	38%	100%
60	45	1,50	21,00	0	6	0	0	217,3	6,9	224,2	29%	18%	96%	54%	57%	55%	98%	25%	10%	93%
60	45	8,50	21,00	0	6	2	1	217,3	35,8	253,1	29%	18%	96%	54%	57%	55%	98%	32%	28%	95%
60	45	15,50	21,00	0	6	5	2	217,3	86,7	304,0	29%	18%	96%	54%	57%	55%	98%	41%	41%	100%
60	45	22,50	21,00	0	6	6	2	217,3	185,2	402,5	29%	18%	96%	54%	57%	55%	98%	42%	48%	92%
60	45	29,50	21,00	0	6	4	5	217,3	324,5	541,8	29%	18%	96%	54%	57%	55%	98%	20%	38%	100%
60	45	36,50	21,00	0	6	5	6	217,3	520,7	737,9	29%	18%	96%	54%	57%	55%	98%	17%	37%	100%
60	45	1,50	24,00	1	7	0	0	209,6	6,0	215,7	36%	17%	83%	65%	65%	39%	99%	30%	11%	93%
60	45	8,50	24,00	1	7	2	0	209,6	34,4	244,0	36%	17%	83%	65%	65%	39%	99%	40%	31%	98%
60	45	15,50	24,00	1	7	3	3	209,6	83,1	292,8	36%	17%	83%	65%	65%	39%	99%	33%	37%	95%
60	45	22,50	24,00	1	7	6	2	209,6	173,8	383,4	36%	17%	83%	65%	65%	39%	99%	44%	50%	96%
60	45	29,50	24,00	1	7	4	5	209,6	309,5	519,1	36%	17%	83%	65%	65%	39%	99%	21%	39%	100%
60	45	36,50	24,00	1	7	5	6	209,6	491,8	701,4	36%	17%	83%	65%	65%	39%	99%	17%	38%	100%
60	45	1,50	27,00	0	7	0	0	222,3	5,4	227,7	48%	18%	88%	79%	79%	52%	99%	32%	12%	99%
60	45	8,50	27,00	0	7	1	1	222,3	33,5	255,8	48%	18%	88%	79%	79%	52%	99%	34%	30%	98%
60	45	15,50	27,00	0	7	3	4	222,3	75,0	297,4	48%	18%	88%	79%	79%	52%	99%	30%	36%	98%
60	45	22,50	27,00	0	7	7	2	222,3	157,8	380,2	48%	18%	88%	79%	79%	52%	99%	47%	53%	100%
60	45	29,50	27,00	0	7	4	5	222,3	275,1	497,4	48%	18%	88%	79%	79%	52%	99%	22%	41%	100%
60	45	36,50	27,00	0	7	4	5	222,3	447,5	669,9	48%	18%	88%	79%	79%	52%	99%	21%	43%	100%
60	45	1,50	30,00	0	8	0	0	230,8	5,0	235,8	53%	15%	51%	89%	89%	37%	98%	35%	12%	100%
60	45	8,50	30,00	0	8	2	0	230,8	30,3	261,1	53%	15%	51%	89%	89%	37%	98%	43%	33%	99%
60	45	15,50	30,00	0	8	5	3	230,8	73,7	304,4	53%	15%	51%	89%	89%	37%	98%	39%	42%	100%
60	45	22,50	30,00	0	8	4	3	230,8	150,2	381,0	53%	15%	51%	89%	89%	37%	98%	36%	47%	94%
60	45	29,50	30,00	0	8	6	3	230,8	261,7	492,5	53%	15%	51%	89%	89%	37%	98%	37%	53%	99%
60	45	36,50	30,00	0	8	5	6	230,8	422,0	652,8	53%	15%	51%	89%	89%	37%	98%	18%	41%	100%
60	45	1,50	33,00	2	8	0	0	240,7	5,5	246,2	58%	20%	67%	97%	97%	35%	99%	35%	12%	86%
60	45	8,50	33,00	2	8	2	3	240,7	28,6	269,3	58%	20%	67%	97%	97%	35%	99%	35%	29%	99%
60	45	15,50	33,00	2	8	4	3	240,7	71,0	311,7	58%	20%	67%	97%	97%	35%	99%	41%	42%	99%
60	45	22,50	33,00	2	8	4	4	240,7	139,1	379,8	58%	20%	67%	97%	97%	35%	99%	34%	44%	98%
60	45	29,50	33,00	2	8	5	4	240,7	245,1	485,8	58%	20%	67%	97%	97%	35%	99%	32%	48%	100%
60	45	36,50	33,00	2	8	5	3	240,7	410,6	651,2	58%	20%	67%	97%	97%	35%	99%	29%	57%	97%

Observa-se que, a *VP1* manteve-se no *lower bound* da variável em 57,14% e assumiu índice “1” em 28,57% das simulações. Na *VP2*, entretanto, para os vãos maiores houveram mais modificações no índice da variável. Com relação a *VP3*, com o acréscimo da altura da coluna também ocorreu um acréscimo da quantidade de contenções laterais. Para a *VP4*, não houve um padrão de comportamento.

Com relação a massa mínima do conjunto discreto como na anterior, resultados ótimos qualitativos ocorrem da seguinte forma: colunas mais baixas interagindo com galerias de vão menores bem como colunas mais altas com galerias maiores. Qualitativamente, há uma similaridade de comportamento nas alturas de colunas de 15,5m que apresentaram valores aproximadamente constantes para a função objetivo, independentemente do vão, de aproximadamente 300,31 kg/m.

A restrição ativa é a R3 em 71,43% dos casos com aproveitamento máximo de 96% e a R4/R5 (quando a frequência natural de vibração vertical é a frequência fundamental) em 28,57% das simulações com aproveitamento máximo de 97%. Com relação às colunas, a restrição com maior utilização foi a R8 com aproveitamento máximo de 57% para interação entre colunas de 36,5m com galerias de 33,0m, entretanto foi inativa.

2.8. TRANSPORTADOR DE 72”

2.8.1. Velocidade do Vento de 35m/s

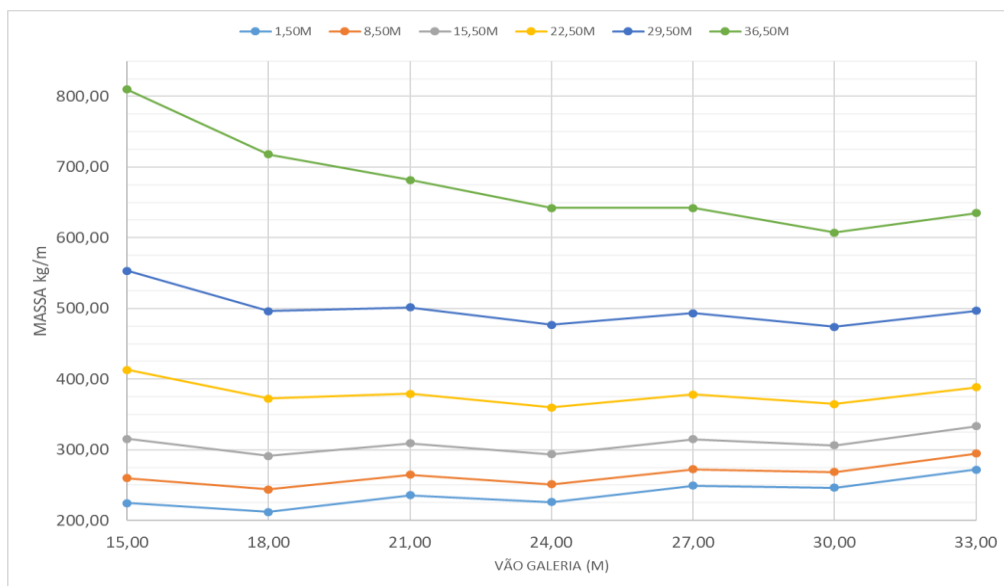


Gráfico A.43. TR72/35 - Curvas da Função Objetivo para Alturas de Coluna Discretas

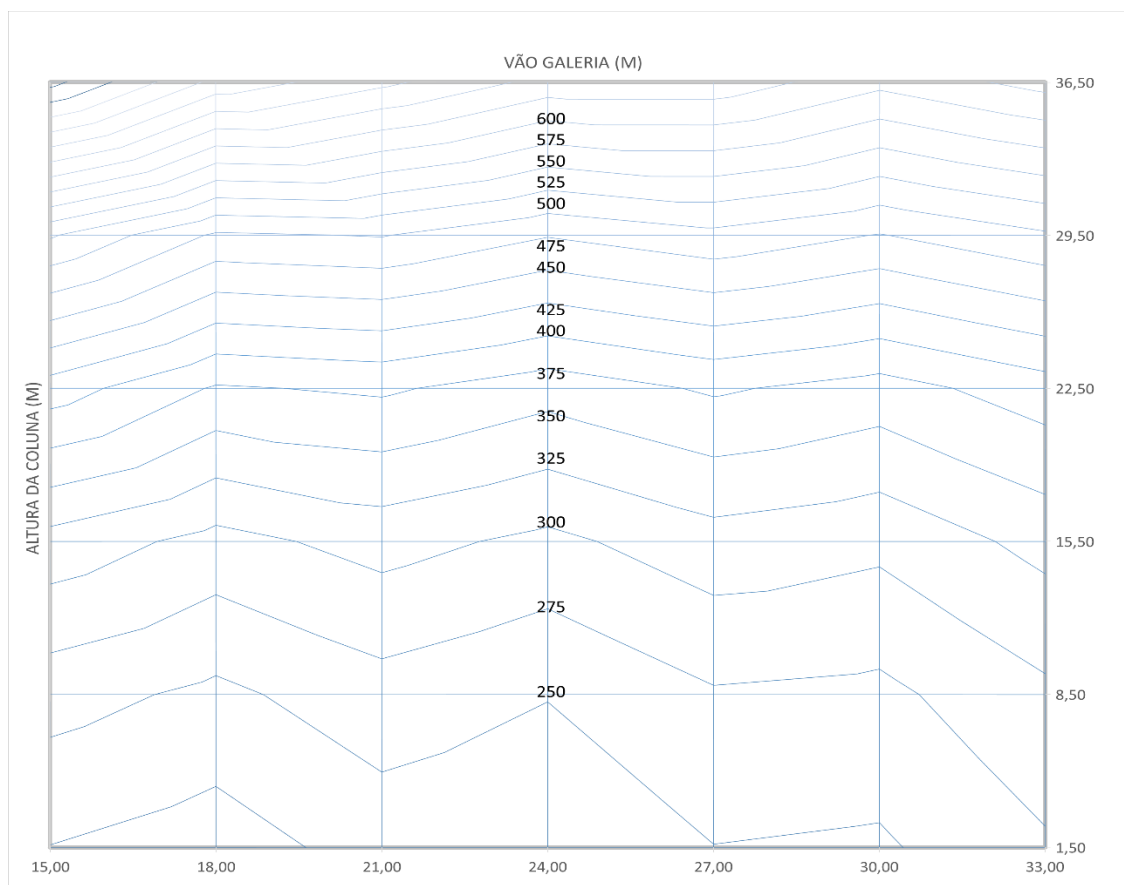


Gráfico A.44. TR72/35– Isolinhas de Mínimos da Função Objetivo (kg/m)

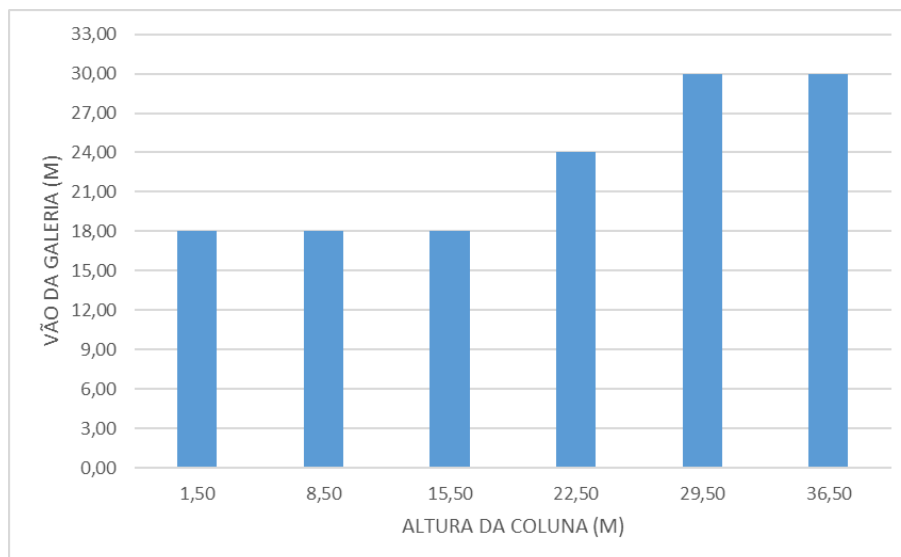


Gráfico A.45 TR72/35 - Localização do Mínimo da Função Objetivo Para Entradas Discretas

Tabela A.29. TR72/35 - Dados de Entrada, Variáveis de Projeto, Massa e Restrições – Resultados Otimizados

DADOS ENTRADA				VARIÁVEIS PROJETO				MASSA			RESTRICÇÕES									
TR	V (M/S)	COL (H)	GAL (M)	VP1	VP2	VP3	VP4	MGAL	MCOL	MASSA KG/M	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R GAL	R7	R8	R COL
72	35	1,50	15,00	0	3	0	0	214,2	10,2	224,4	22%	13%	58%	40%	49%	44%	96%	12%	10%	100%
72	35	8,50	15,00	0	3	3	1	214,2	45,7	259,9	22%	13%	58%	40%	49%	44%	96%	17%	29%	100%
72	35	15,50	15,00	0	3	4	0	214,2	101,3	315,5	22%	13%	58%	40%	49%	44%	96%	30%	49%	100%
72	35	22,50	15,00	0	3	5	0	214,2	199,1	413,3	22%	13%	58%	40%	49%	44%	96%	40%	66%	100%
72	35	29,50	15,00	0	3	6	3	214,2	339,0	553,2	22%	13%	58%	40%	49%	44%	96%	20%	49%	100%
72	35	36,50	15,00	0	3	4	5	214,2	595,6	809,8	22%	13%	58%	40%	49%	44%	96%	11%	41%	97%
72	35	1,50	18,00	0	3	0	0	203,7	8,5	212,2	25%	13%	72%	47%	56%	47%	97%	14%	11%	100%
72	35	8,50	18,00	0	3	3	2	203,7	40,4	244,1	25%	13%	72%	47%	56%	47%	97%	17%	29%	100%
72	35	15,50	18,00	0	3	4	2	203,7	87,7	291,5	25%	13%	72%	47%	56%	47%	97%	22%	43%	100%
72	35	22,50	18,00	0	3	5	1	203,7	168,5	372,3	25%	13%	72%	47%	56%	47%	97%	33%	60%	100%
72	35	29,50	18,00	0	3	5	2	203,7	292,5	496,2	25%	13%	72%	47%	56%	47%	97%	27%	60%	100%
72	35	36,50	18,00	0	3	7	2	203,7	514,2	717,9	25%	13%	72%	47%	56%	47%	97%	27%	63%	100%
72	35	1,50	21,00	0	5	0	0	228,5	7,3	235,7	35%	10%	54%	60%	60%	96%	97%	16%	12%	100%
72	35	8,50	21,00	0	5	2	0	228,5	36,1	264,6	35%	10%	54%	60%	60%	96%	97%	21%	32%	100%
72	35	15,50	21,00	0	5	5	3	228,5	80,6	309,1	35%	10%	54%	60%	60%	96%	97%	22%	43%	100%
72	35	22,50	21,00	0	5	6	2	228,5	150,6	379,0	35%	10%	54%	60%	60%	96%	97%	28%	57%	100%
72	35	29,50	21,00	0	5	7	3	228,5	273,1	501,5	35%	10%	54%	60%	60%	96%	97%	22%	55%	100%
72	35	36,50	21,00	0	5	4	3	228,5	453,4	681,9	35%	10%	54%	60%	60%	96%	97%	21%	57%	98%
72	35	1,50	24,00	0	5	0	0	219,6	6,4	225,9	43%	11%	65%	71%	71%	46%	99%	18%	12%	100%
72	35	8,50	24,00	0	5	2	0	219,6	31,6	251,2	43%	11%	65%	71%	71%	46%	99%	24%	34%	100%
72	35	15,50	24,00	0	5	5	0	219,6	74,1	293,6	43%	11%	65%	71%	71%	46%	99%	40%	58%	100%
72	35	22,50	24,00	0	5	5	4	219,6	140,5	360,1	43%	11%	65%	71%	71%	46%	99%	19%	48%	98%
72	35	29,50	24,00	0	5	7	3	219,6	257,1	476,7	43%	11%	65%	71%	71%	46%	99%	23%	57%	98%
72	35	36,50	24,00	0	5	6	4	219,6	422,3	641,9	43%	11%	65%	71%	71%	46%	99%	17%	53%	99%
72	35	1,50	27,00	2	6	0	0	243,6	5,9	249,5	51%	15%	97%	82%	82%	59%	98%	22%	13%	100%
72	35	8,50	27,00	2	6	2	2	243,6	28,9	272,4	51%	15%	97%	82%	82%	59%	98%	22%	33%	100%
72	35	15,50	27,00	2	6	4	1	243,6	71,4	315,0	51%	15%	97%	82%	82%	59%	98%	34%	53%	100%
72	35	22,50	27,00	2	6	5	3	243,6	134,9	378,5	51%	15%	97%	82%	82%	59%	98%	25%	54%	99%
72	35	29,50	27,00	2	6	4	4	243,6	249,5	493,1	51%	15%	97%	82%	82%	59%	98%	18%	51%	97%
72	35	36,50	27,00	2	6	5	5	243,6	398,4	642,0	51%	15%	97%	82%	82%	59%	98%	15%	49%	99%
72	35	1,50	30,00	0	6	0	0	240,7	5,6	246,3	62%	14%	94%	96%	96%	46%	98%	22%	14%	100%
72	35	8,50	30,00	0	6	2	0	240,7	28,0	268,8	62%	14%	94%	96%	96%	46%	98%	27%	37%	100%
72	35	15,50	30,00	0	6	4	1	240,7	65,5	306,2	62%	14%	94%	96%	96%	46%	98%	34%	55%	100%
72	35	22,50	30,00	0	6	5	4	240,7	123,8	364,5	62%	14%	94%	96%	96%	46%	98%	21%	51%	98%
72	35	29,50	30,00	0	6	4	3	240,7	233,2	473,9	62%	14%	94%	96%	96%	46%	98%	22%	59%	96%
72	35	36,50	30,00	0	6	6	4	240,7	366,7	607,4	62%	14%	94%	96%	96%	46%	98%	18%	56%	99%
72	35	1,50	33,00	7	8	0	0	266,7	5,1	271,8	57%	15%	62%	96%	96%	46%	99%	31%	15%	100%
72	35	8,50	33,00	7	8	2	0	266,7	28,1	294,8	57%	15%	62%	96%	96%	46%	99%	34%	37%	99%
72	35	15,50	33,00	7	8	3	3	266,7	66,4	333,1	57%	15%	62%	96%	96%	46%	99%	28%	46%	97%
72	35	22,50	33,00	7	8	6	3	266,7	121,5	388,2	57%	15%	62%	96%	96%	46%	99%	33%	58%	100%
72	35	29,50	33,00	7	8	4	3	266,7	229,9	496,5	57%	15%	62%	96%	96%	46%	99%	28%	60%	97%
72	35	36,50	33,00	7	8	4	5	266,7	368,0	634,7	57%	15%	62%	96%	96%	46%	99%	17%	51%	97%

Observa-se que, a *VP1* manteve-se no *lower bound* da variável em 71,42% das simulações, exceto no vão de 27,0 e 33,0m. Na *VP2*, entretanto, para os vãos maiores houveram mais modificações no índice da variável. Com relação a *VP3*, com o acréscimo da altura da coluna também ocorreu um acréscimo da quantidade de contenções laterais. Para a *VP4*, não houve um padrão de comportamento.

Com relação a massa mínima do conjunto discreto como na anterior, resultados ótimos qualitativos ocorrem da seguinte forma: colunas mais baixas interagindo com galerias de vão menores bem como colunas mais altas com galerias maiores. Qualitativamente, há uma similaridade de comportamento nas alturas de colunas de 15,5m que apresentaram valores aproximadamente constantes para a função objetivo, independentemente do vão, de aproximadamente 309,15 kg/m.

Em geral, a restrição ativa é a R3 em 40,48% das simulações com aproveitamento máximo de 97%, seguida pela R4/R5 (quando a frequência natural de vibração vertical é a frequência fundamental) em 42,86% dos casos com máximo aproveitamento de 96% e ativa nos vãos de 30,0 e 33,0m. Em 14,29% dos casos a restrição R6 (aceleração máxima) foi ativa com aproveitamento máximo de 96%. Com relação às colunas, a restrição com maior utilização foi a R8 com aproveitamento máximo de 66% para interação entre colunas de 22,5m com galerias de 15,0m e foi ativa nesse caso (em 2,38% das simulações)

2.8.2. Velocidade do Vento de 45m/s

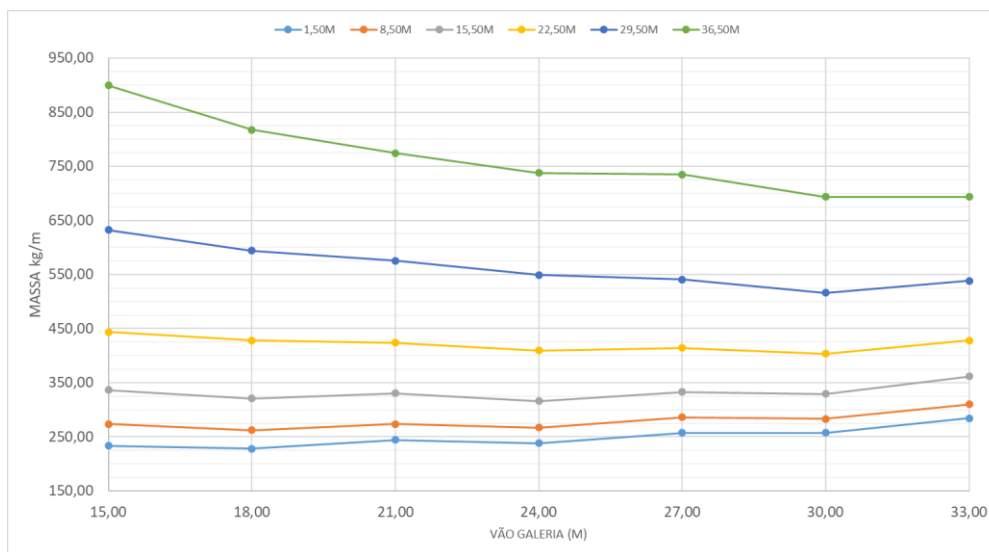


Gráfico A.46. TR72/45 - Curvas da Função Objetivo para Alturas de Coluna Discretas

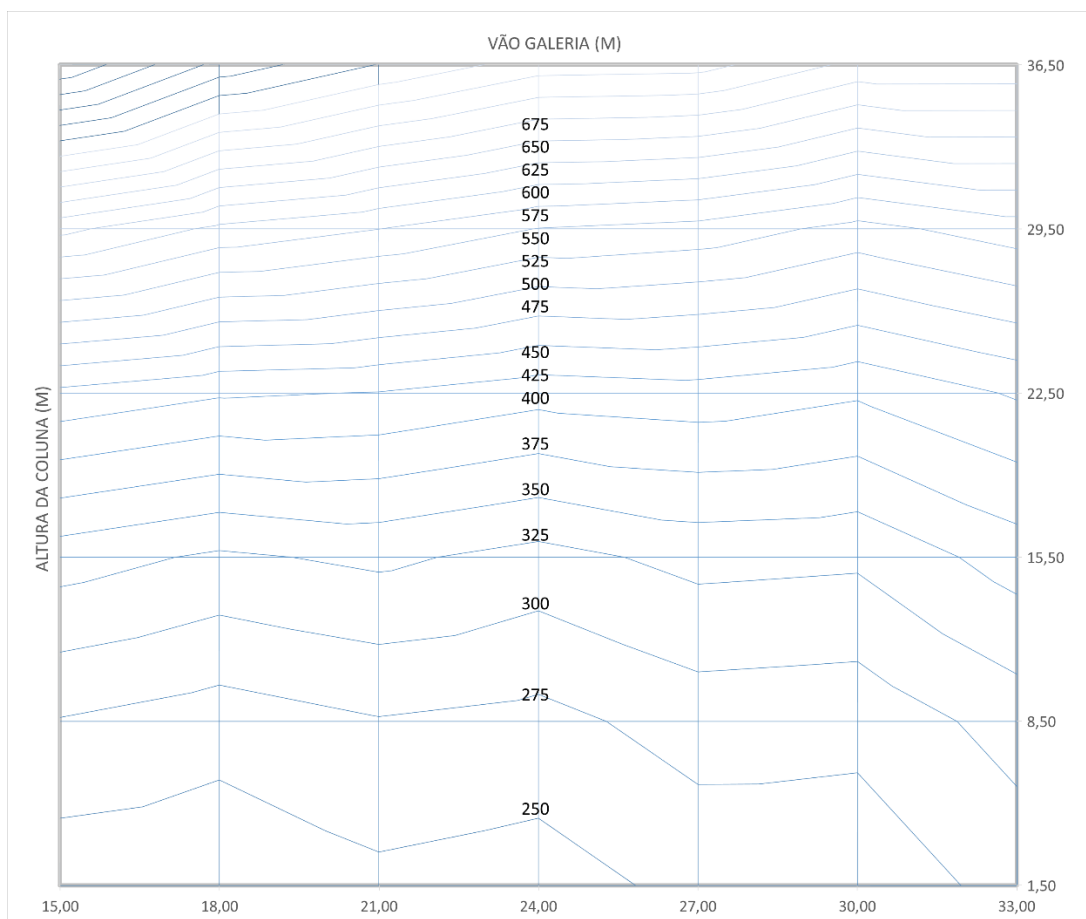


Gráfico A.47. TR72/45– Isolinhas de Mínimos da Função Objetivo (kg/m)

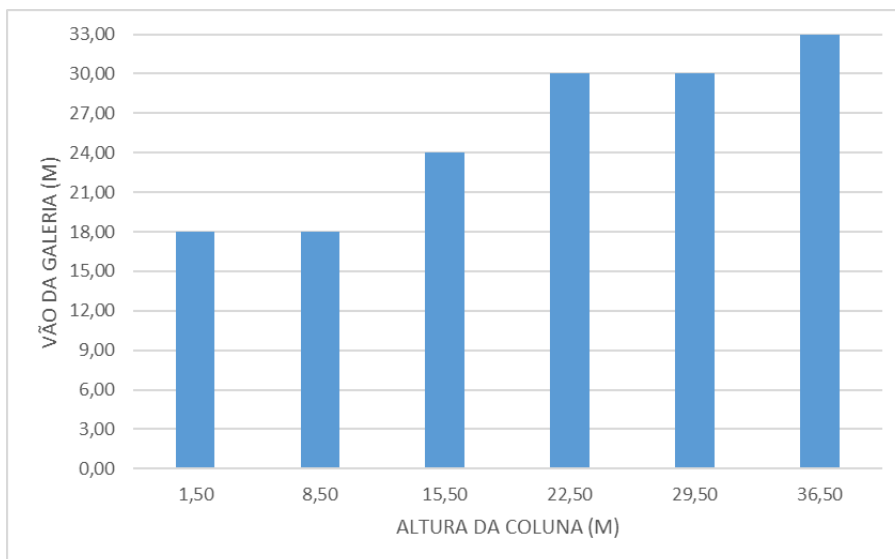


Gráfico A.48. TR72/45 - Localização do Mínimo da Função Objetivo Para Entradas Discretas

Tabela A.31. TR72/45 - Dados de Entrada, Variáveis de Projeto, Massa e Restrições – Resultados Otimizados

DADOS ENTRADA				VARIÁVEIS PROJETO				MASSA			RESTRIÇÕES									
TR	V (M/S)	COL (H)	GAL (M)	VP1	VP2	VP3	VP4	MGAL	MCOL	MASSA KG/M	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R GAL	R7	R8	R COL
72	45	1,50	15,00	0	5	0	0	223,5	10,2	233,7	22%	14%	58%	40%	41%	44%	96%	19%	10%	100%
72	45	8,50	15,00	0	5	3	0	223,5	50,0	273,5	22%	14%	58%	40%	41%	44%	96%	28%	29%	100%
72	45	15,50	15,00	0	5	5	3	223,5	112,8	336,4	22%	14%	58%	40%	41%	44%	96%	27%	36%	100%
72	45	22,50	15,00	0	5	5	3	223,5	220,2	443,7	22%	14%	58%	40%	41%	44%	96%	27%	42%	98%
72	45	29,50	15,00	0	5	4	4	223,5	409,1	632,6	22%	14%	58%	40%	41%	44%	96%	21%	40%	100%
72	45	36,50	15,00	0	5	6	4	223,5	675,7	899,3	22%	14%	58%	40%	41%	44%	96%	21%	43%	100%
72	45	1,50	18,00	0	6	0	0	219,9	8,5	228,3	25%	16%	81%	47%	50%	42%	97%	22%	11%	100%
72	45	8,50	18,00	0	6	2	0	219,9	42,2	262,0	25%	16%	81%	47%	50%	42%	97%	30%	30%	100%
72	45	15,50	18,00	0	6	5	1	219,9	100,8	320,6	25%	16%	81%	47%	50%	42%	97%	41%	45%	100%
72	45	22,50	18,00	0	6	6	3	219,9	208,3	428,1	25%	16%	81%	47%	50%	42%	97%	29%	44%	94%
72	45	29,50	18,00	0	6	4	4	219,9	374,2	594,1	25%	16%	81%	47%	50%	42%	97%	21%	42%	95%
72	45	36,50	18,00	0	6	5	5	219,9	597,6	817,4	25%	16%	81%	47%	50%	42%	97%	18%	41%	100%
72	45	1,50	21,00	0	6	0	0	236,8	7,3	244,0	35%	18%	99%	60%	60%	93%	99%	26%	12%	100%
72	45	8,50	21,00	0	6	2	1	236,8	36,6	273,4	35%	18%	99%	60%	60%	93%	99%	30%	30%	100%
72	45	15,50	21,00	0	6	3	1	236,8	93,4	330,2	35%	18%	99%	60%	60%	93%	99%	39%	45%	100%
72	45	22,50	21,00	0	6	6	2	236,8	187,2	423,9	35%	18%	99%	60%	60%	93%	99%	39%	51%	96%
72	45	29,50	21,00	0	6	5	5	236,8	338,7	575,4	35%	18%	99%	60%	60%	93%	99%	19%	41%	100%
72	45	36,50	21,00	0	6	4	5	236,8	537,6	774,4	35%	18%	99%	60%	60%	93%	99%	18%	42%	99%
72	45	1,50	24,00	0	7	0	0	231,9	6,4	238,2	43%	15%	80%	71%	71%	47%	98%	30%	12%	100%
72	45	8,50	24,00	0	7	2	0	231,9	35,0	266,9	43%	15%	80%	71%	71%	47%	98%	36%	33%	100%
72	45	15,50	24,00	0	7	3	3	231,9	84,1	316,0	43%	15%	80%	71%	71%	47%	98%	30%	40%	96%
72	45	22,50	24,00	0	7	6	1	231,9	177,5	409,4	43%	15%	80%	71%	71%	47%	98%	52%	60%	100%
72	45	29,50	24,00	0	7	5	2	231,9	317,3	549,2	43%	15%	80%	71%	71%	47%	98%	39%	58%	97%
72	45	36,50	24,00	0	7	4	5	231,9	506,0	737,9	43%	15%	80%	71%	71%	47%	98%	18%	43%	96%
72	45	1,50	27,00	0	7	0	3	251,6	6,0	257,5	53%	16%	93%	84%	84%	69%	98%	31%	13%	100%
72	45	8,50	27,00	0	7	2	0	251,6	34,3	285,9	53%	16%	93%	84%	84%	69%	98%	36%	34%	91%
72	45	15,50	27,00	0	7	4	4	251,6	81,1	332,7	53%	16%	93%	84%	84%	69%	98%	29%	39%	100%
72	45	22,50	27,00	0	7	5	2	251,6	163,0	414,6	53%	16%	93%	84%	84%	69%	98%	41%	54%	99%
72	45	29,50	27,00	0	7	4	3	251,6	289,3	540,9	53%	16%	93%	84%	84%	69%	98%	32%	53%	95%
72	45	36,50	27,00	0	7	4	4	251,6	483,3	734,9	53%	16%	93%	84%	84%	69%	98%	23%	50%	98%
72	45	1,50	30,00	0	8	0	0	251,7	5,6	257,3	61%	13%	52%	94%	94%	44%	95%	36%	14%	100%
72	45	8,50	30,00	0	8	2	1	251,7	31,3	283,0	61%	13%	52%	94%	94%	44%	95%	35%	33%	97%
72	45	15,50	30,00	0	8	5	1	251,7	77,8	329,5	61%	13%	52%	94%	94%	44%	95%	50%	52%	100%
72	45	22,50	30,00	0	8	4	3	251,7	151,7	403,4	61%	13%	52%	94%	94%	44%	95%	34%	50%	96%
72	45	29,50	30,00	0	8	4	4	251,7	264,6	516,3	61%	13%	52%	94%	94%	44%	95%	27%	50%	96%
72	45	36,50	30,00	0	8	4	5	251,7	441,8	693,5	61%	13%	52%	94%	94%	44%	95%	20%	47%	97%
72	45	1,50	33,00	4	8	0	0	278,7	5,8	284,5	60%	20%	81%	98%	98%	44%	98%	38%	13%	100%
72	45	8,50	33,00	4	8	2	1	278,7	31,5	310,2	60%	20%	81%	98%	98%	44%	98%	41%	34%	97%
72	45	15,50	33,00	4	8	4	2	278,7	83,0	361,7	60%	20%	81%	98%	98%	44%	98%	41%	45%	97%
72	45	22,50	33,00	4	8	5	5	278,7	149,2	427,9	60%	20%	81%	98%	98%	44%	98%	28%	44%	99%
72	45	29,50	33,00	4	8	6	5	278,7	259,8	538,5	60%	20%	81%	98%	98%	44%	98%	26%	47%	98%
72	45	36,50	33,00	4	8	7	3	278,7	414,5	693,3	60%	20%	81%	98%	98%	44%	98%	30%	62%	99%

Observa-se que em todos os vãos de galeria, a *VP1* manteve-se no *lower bound* da variável, exceto no vão de 33,0m. Na *VP2*, entretanto, para os vãos maiores houveram mais modificações no índice da variável. Com relação a *VP3*, com o acréscimo da altura da coluna também ocorreu um acréscimo da quantidade de contenções laterais. Para a *VP4*, não houve um padrão de comportamento.

Com relação a massa mínima do conjunto discreto como na anterior, resultados ótimos qualitativos ocorrem da seguinte forma: colunas mais baixas interagindo com galerias de vão menores bem como colunas mais altas com galerias maiores. Qualitativamente, há uma similaridade de comportamento nas alturas de colunas de 15,5m que apresentaram valores aproximadamente constantes para a função objetivo, independentemente do vão, de aproximadamente 332,44 kg/m.

Em geral, a restrição ativa é a R3 em 71,43% das simulações com aproveitamento máximo de 99%. A segunda restrição com maior utilização é a R4/R5 (quando a frequência natural de vibração vertical é a frequência fundamental) em 28,57% dos casos com aproveitamento máximo de 98% quando ativa. Com relação às colunas, a restrição com maior utilização foi a R8 com aproveitamento máximo de 62% para interação entre colunas de 36,5m com galerias de 33,0m, entretanto foi inativa.

APÊNDICE B

RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES NUMÉRICAS

PARA DADOS DE ENTRADA INTERATIVOS

TABELAS RESUMO

1. INTRODUÇÃO

A seguir, são apresentados os valores obtidos para a função objetivo entre todas as simulações procedidas no **Apêndice A** para distintas interações entre os dados de entrada. Constatam também os valores mínimos e a identificação das situações discretas de ocorrência bem como a informação referente aos valores máximos. Serão subdivididos em análises por tipologias e por fim o sistema estrutural.

1.1. TIPOLOGIA DE GALERIAS

A Tabela B.1 apresenta os resultados para o modelo estrutural de galerias.

Tabela B.1. Galerias - Mínimos e Máximos das Simulações para Ventos Discretos

TR (IN)	VENTO (M/S)	GALERIA (kg/m) (VÃO - M)							MÍNIMO	MÁXIMO
		15	18	21	24	27	30	33		
24	35	139,80	135,51	142,82	147,24	159,94	159,89	165,81	135,51	165,81
	45	150,03	145,35	160,75	156,85	177,15	173,64	185,36	145,35	185,36
30	35	147,18	144,40	154,32	159,37	171,13	170,45	182,53	144,40	182,53
	45	163,08	152,53	168,34	165,26	185,96	180,36	196,68	152,53	196,68
36	35	151,78	146,71	165,66	162,93	176,89	174,09	186,35	146,71	186,35
	45	165,72	156,29	173,67	169,09	190,37	184,45	201,96	156,29	201,96
42	35	155,72	148,74	171,14	165,08	184,91	176,30	193,62	148,74	193,62
	45	172,79	159,97	179,36	172,98	194,87	192,72	208,54	159,97	208,54
48	35	164,20	152,89	176,29	171,68	189,52	182,39	200,88	152,89	200,88
	45	174,38	169,07	186,22	176,11	199,59	204,78	213,71	169,07	213,71
54	35	167,67	158,14	181,16	176,35	194,71	194,48	207,58	158,14	207,58
	45	177,39	178,73	196,83	196,88	207,21	211,93	222,43	177,39	222,43
60	35	183,89	178,96	196,69	194,23	207,19	216,82	243,41	178,96	243,41
	45	190,85	194,05	217,29	209,63	222,35	230,79	240,68	190,85	240,68
72	35	214,20	203,74	228,48	219,57	243,58	240,74	266,69	203,74	266,69
	45	223,53	219,85	236,75	231,88	251,56	251,73	278,73	219,85	278,73
	MÍNIMO	139,80	135,51	142,82	147,24	159,94	159,89	165,81		
	MÁXIMO	223,53	219,85	236,75	231,88	251,56	251,73	278,73		

Pode-se observar que, a mínima massa é obtida no transportador de 24” e a máxima no transportador de 72”. De fato, como as cargas são inferiores nos transportadores de 24” comparadas aos demais, a expectativa é que os resultados descritos acima fossem obtidos. Com relação às comparações entre mínima e máxima massa linear, a mínima massa obtida foi de **135,51 kg/m** no transportador de 24” submetido a vento de 35m/s e vão de **18m**, enquanto que a máxima massa obtida foi de **278,73 kg/m** e ocorreu no vão de galeria de **33m** para o transportador de 72” submetido à ventos de 45m/s. Estatisticamente, em **87,50%** dos casos a massa mínima linear de galeria ocorreu no vão específico de 18m e em **12,50%** no vão de 15m.

1.2. TIPOLOGIA DE COLUNAS

As Tabelas B.2 à B.7 apresentam as massas das colunas obtidas isoladamente nas simulações para alturas discretas de 01,50m, 08,50m, 15,50m, 22,50m, 29,50m e 36,50m. As massas estão divididas pelo vão de galeria correspondente.

Tabela B.2. Colunas H=01,50m - Mínimos e Máximos das Simulações Ventos Discretos

TR (IN)	VENTO (M/S)	GALERIA+COLUNA (kg/m) (VÃO - M)							MÍNIMO	MÁXIMO
		15	18	21	24	27	30	33		
24	35	4,98	4,15	3,56	3,33	2,96	3,31	3,01	2,96	4,98
	45	5,33	4,44	4,73	4,14	4,27	3,84	3,49	3,49	5,33
30	35	5,17	4,31	3,70	3,47	3,87	3,48	3,16	3,16	5,17
	45	5,55	5,80	4,97	4,35	4,50	4,05	3,68	3,68	5,80
36	35	5,78	4,82	4,13	3,61	4,05	3,65	3,31	3,31	5,78
	45	5,78	6,08	5,21	5,33	4,73	4,26	3,87	3,87	6,08
42	35	5,92	4,93	4,23	5,63	4,98	4,45	4,03	4,03	5,92
	45	8,96	7,39	6,27	5,49	4,88	4,39	4,19	4,19	8,96
48	35	9,03	7,53	6,45	5,65	5,02	4,52	4,11	4,11	9,03
	45	9,03	7,53	6,45	5,65	5,02	4,52	4,31	4,31	9,03
54	35	9,29	7,74	6,64	5,81	5,16	4,65	4,42	4,42	9,29
	45	9,29	7,74	6,64	5,81	5,16	4,87	4,69	4,69	9,29
60	35	9,64	8,03	6,89	6,02	5,36	5,04	4,85	4,85	9,64
	45	9,64	8,03	6,89	6,02	5,36	5,04	5,53	5,04	9,64
72	35	10,16	8,47	7,26	6,35	5,89	5,59	5,10	5,10	10,16
	45	10,16	8,47	7,26	6,35	5,97	5,61	5,82	5,61	10,16
	MÍNIMO	4,98	4,15	3,56	3,33	2,96	3,31	3,01	<i>H = 01,50M</i>	
	MÁXIMO	10,16	8,47	7,26	6,35	5,97	5,61	5,82		

Tabela B.3 Colunas H=08,50m - Mínimos e Máximos das Simulações Ventos Discretos

TR (IN)	VENTO (M/S)	GALERIA (kg/m) (VÃO - M)							MÍNIMO	MÁXIMO
		15	18	21	24	27	30	33		
24	35	26,24	24,25	22,75	20,70	20,56	21,59	20,11	20,11	26,24
	45	32,47	30,84	30,92	29,12	27,56	26,67	25,76	25,76	32,47
30	35	26,36	26,65	23,31	22,67	23,69	22,23	21,29	21,29	26,65
	45	32,63	34,35	32,81	30,22	27,64	26,90	26,28	26,28	34,35
36	35	28,33	26,76	28,25	25,31	24,34	22,36	22,07	22,07	28,33
	45	39,38	36,50	34,23	30,35	28,13	27,33	26,40	26,40	39,38
42	35	28,70	27,74	32,46	29,90	26,58	24,22	22,61	22,61	32,46
	45	45,44	39,86	34,60	30,67	28,43	28,95	27,26	27,26	45,44
48	35	40,20	36,23	33,02	30,21	26,85	24,47	22,85	22,85	40,20
	45	46,23	40,28	34,53	31,00	30,21	29,30	27,55	27,55	46,23
54	35	43,30	38,34	34,89	30,53	27,85	27,14	24,67	24,67	43,30
	45	46,97	40,71	35,34	31,76	30,87	29,85	27,84	27,84	46,97
60	35	42,41	38,38	34,64	30,96	27,52	25,42	25,71	25,42	42,41
	45	47,96	41,29	35,84	34,36	33,48	30,27	28,62	28,62	47,96
72	35	45,75	40,40	36,15	31,63	28,85	28,02	28,10	28,02	45,75
	45	49,98	42,17	36,61	35,02	34,35	31,30	31,49	31,30	49,98
	MÍNIMO	26,24	24,25	22,75	20,70	20,56	21,59	20,11	<i>H = 08,50M</i>	
	MÁXIMO	49,98	42,17	36,61	35,02	34,35	31,30	31,49		

Tabela B.4 Colunas H=15,50m - Mínimos e Máximos das Simulações Ventos Discretos

TR (IN)	VENTO (M/S)	GALERIA (kg/m) (VÃO - M)							MÍNIMO	MÁXIMO
		15	18	21	24	27	30	33		
24	35	77,86	67,97	62,39	59,85	58,79	53,56	52,17	52,17	77,86
	45	98,72	87,89	79,20	73,11	67,52	65,56	63,20	63,20	98,72
30	35	78,74	72,35	64,55	60,66	59,17	55,61	52,79	52,79	78,74
	45	102,77	87,46	80,45	73,68	71,30	66,19	63,98	63,98	102,77
36	35	78,25	73,20	68,84	65,10	60,48	57,69	53,42	53,42	78,25
	45	102,04	88,64	83,59	74,73	70,63	66,86	64,77	64,77	102,04
42	35	85,32	84,02	73,47	65,62	61,06	58,10	53,80	53,80	85,32
	45	105,00	91,59	84,31	75,37	73,56	67,26	66,36	66,36	105,00
48	35	97,90	83,08	74,07	67,56	63,01	58,52	55,28	55,28	97,90
	45	105,85	92,46	85,03	79,01	74,00	69,92	67,10	67,10	105,85
54	35	98,66	85,38	78,09	72,01	69,89	64,12	59,98	59,98	98,66
	45	106,70	96,48	85,75	82,48	74,44	70,57	69,21	69,21	106,70
60	35	99,70	86,31	75,48	70,79	66,06	60,72	62,38	60,72	99,70
	45	107,86	99,09	86,74	83,13	75,04	73,66	70,99	70,99	107,86
72	35	101,30	87,71	80,60	74,08	71,41	65,49	66,44	65,49	101,30
	45	112,84	100,80	93,43	84,14	81,11	77,79	82,96	77,79	112,84
	MÍNIMO	77,86	67,97	62,39	59,85	58,79	53,56	52,17	<i>H = 15,50M</i>	
	MÁXIMO	112,84	100,80	93,43	84,14	81,11	77,79	82,96		

Tabela B.5 Colunas H=22,50m - Mínimos e Máximos das Simulações Ventos Discretos

TR (IN)	VENTO (M/S)	GALERIA (kg/m) (VÃO - M)							MÍNIMO	MÁXIMO
		15	18	21	24	27	30	33		
24	35	169,90	159,14	140,61	125,11	115,82	108,97	105,09	105,09	169,90
	45	209,10	177,82	167,51	150,46	144,05	129,64	126,46	126,46	209,10
30	35	176,70	164,80	141,63	126,05	119,60	109,95	108,18	108,18	176,70
	45	210,44	179,40	157,07	156,01	145,32	130,78	130,37	130,37	210,44
36	35	178,63	154,79	142,68	127,02	120,67	110,93	109,06	109,06	178,63
	45	212,78	181,00	158,48	158,08	143,60	138,68	134,26	134,26	212,78
42	35	179,80	155,58	143,32	130,60	121,32	115,32	109,59	109,59	179,80
	45	213,91	181,98	172,21	158,79	144,36	142,39	136,83	136,83	213,91
48	35	180,98	165,25	143,98	131,32	121,98	116,05	110,13	110,13	180,98
	45	215,06	182,97	178,00	163,27	148,62	143,21	137,50	137,50	215,06
54	35	218,81	165,99	147,82	137,97	132,72	121,74	119,38	119,38	218,81
	45	216,22	183,96	183,86	168,22	149,53	145,29	138,17	138,17	216,22
60	35	186,30	166,99	145,54	136,12	123,53	120,23	120,24	120,23	186,30
	45	217,79	200,38	185,17	173,81	157,80	150,17	139,08	139,08	217,79
72	35	199,07	168,52	150,55	140,50	134,91	123,76	121,54	121,54	199,07
	45	220,17	208,26	187,16	177,53	163,03	151,65	149,18	149,18	220,17
	MÍNIMO	169,90	154,79	140,61	125,11	115,82	108,97	105,09	<i>H = 22,50M</i>	
	MÁXIMO	220,17	208,26	187,16	177,53	163,03	151,65	149,18		

Tabela B.6 Colunas H=29,50m - Mínimos e Máximos das Simulações Ventos Discretos

TR (IN)	VENTO (M/S)	GALERIA (kg/m) (VÃO - M)							MÍNIMO	MÁXIMO
		15	18	21	24	27	30	33		
24	35	321,38	272,02	237,91	223,69	214,50	198,97	180,88	180,88	321,38
	45	379,71	334,84	315,68	287,74	268,17	252,96	231,26	231,26	379,71
30	35	323,08	273,75	244,40	229,37	209,91	202,21	189,52	189,52	323,08
	45	381,88	337,02	317,55	289,10	269,63	251,45	232,51	232,51	381,88
36	35	324,81	275,52	249,70	235,71	213,39	203,54	192,79	192,79	324,81
	45	384,10	339,24	319,45	290,49	271,11	252,79	235,90	235,90	384,10
42	35	325,87	276,60	250,46	240,91	220,35	212,75	193,41	193,41	325,87
	45	385,46	340,59	320,61	291,34	272,01	253,61	236,61	236,61	385,46
48	35	326,75	277,69	251,23	248,57	221,08	218,87	202,32	202,32	326,75
	45	402,03	341,96	321,78	298,99	272,92	254,44	237,33	237,33	402,03
54	35	334,55	289,50	269,29	253,82	246,48	230,91	209,92	209,92	334,55
	45	399,45	366,24	322,96	308,07	273,84	255,28	238,05	238,05	399,45
60	35	329,73	290,67	257,93	251,13	230,13	220,92	225,06	220,92	329,73
	45	401,81	368,20	324,55	309,46	275,07	261,71	245,14	245,14	401,81
72	35	339,04	292,45	273,07	257,12	249,49	233,18	229,85	229,85	339,04
	45	409,06	374,24	338,66	317,34	289,35	264,57	259,80	259,80	409,06
	MÍNIMO	321,38	272,02	237,91	223,69	209,91	198,97	180,88	<i>H = 29,50M</i>	
	MÁXIMO	409,06	374,24	338,66	317,34	289,35	264,57	259,80		

Tabela B.7 Colunas H=36,50m - Mínimos e Máximos das Simulações Ventos Discretos

TR (IN)	VENTO (M/S)	GALERIA (kg/m) (VÃO - M)							MÍNIMO	MÁXIMO
		15	18	21	24	27	30	33		
24	35	531,11	480,44	420,92	393,86	350,09	337,93	310,79	310,79	531,11
	45	641,36	563,21	492,11	466,81	439,21	402,04	375,96	375,96	641,36
30	35	542,75	483,07	423,27	384,68	357,99	339,51	314,66	314,66	542,75
	45	644,39	565,84	494,46	468,87	428,62	403,68	357,65	357,65	644,39
36	35	546,63	482,73	441,45	386,26	359,71	341,11	318,71	318,71	546,63
	45	647,48	568,52	512,69	474,32	428,91	416,44	395,85	395,85	647,48
42	35	550,30	483,88	442,55	387,23	360,75	342,09	319,83	319,83	550,30
	45	649,36	568,65	514,50	477,36	429,80	417,71	396,74	396,74	649,36
48	35	572,49	489,88	443,67	388,21	361,81	343,08	322,20	322,20	572,49
	45	651,25	569,54	516,33	478,54	442,32	418,99	397,64	397,64	651,25
54	35	588,81	508,84	449,91	417,38	393,68	362,70	339,04	339,04	588,81
	45	653,17	589,77	518,18	489,62	443,36	420,28	398,54	398,54	653,17
60	35	583,14	504,31	451,28	409,85	364,31	356,00	357,66	356,00	583,14
	45	655,76	593,33	520,65	491,79	447,53	422,02	410,57	410,57	655,76
72	35	595,57	514,17	453,40	422,32	398,39	366,66	368,02	366,66	595,57
	45	675,72	597,59	537,61	506,02	483,33	441,78	414,52	414,52	675,72
	MÍNIMO	531,11	480,44	420,92	384,68	350,09	337,93	310,79	<i>H = 36,50M</i>	
	MÁXIMO	675,72	597,59	537,61	506,02	483,33	441,78	414,52		

Resumidamente, pode-se observar que as melhores soluções (menores consumos de matéria prima) são obtidas nos maiores vãos de galerias independentemente da altura das colunas consideradas (parâmetro “H” nas Tabelas), exceto em alguns pontos isolados. Estatisticamente, em **86,46%** dos casos de massa mínima das colunas estão localizados no maior vão de galeria entre todos os vãos discretos estudados (ou seja, 33m). Em **12,50%** estão localizados no vão de 30m que somadas às anteriores representa **98,96%** de todas as situações. Em termos de massa uma escolha adequada pode representar até 55% de redução matéria prima.

As tabelas supracitadas são relevantes visto que, em grande parte das ocorrências de engenharia aplicada, é conhecida a altura necessária do transportador com relação ao solo. Por exemplo, com o auxílio da Tabela B.5, pode-se identificar que numa situação que se necessite de colunas com 22,5m com relação solo de forma concomitante a necessidade de projeto de transportador com 48” e sob ação de ventos de 45m/s obterá massa ótima para as colunas de **137,50 kg/m** com galeria de **33,0m**. Tal conclusão aliada com os dados da Tabela B.1 permite a identificação da massa de **cada tipologia** para fins de estimativa de massa (custo) do sistema estrutural.

1.3. SISTEMA ESTRUTURAL

No entanto, o objetivo é a obtenção da massa mínima do sistema estrutural. Foi verificado nas tabelas que, para as galerias, os mínimos ocorrerão em menores vãos do estudo procedido enquanto que para a tipologia das colunas ocorre o inverso, apresentando

melhores resultados em vãos superiores independentemente da altura da coluna em questão. Com esse foco, as Tabelas B.9 a B.13 apresentam os comparativos.

Tabela B.8 .Galerias e Colunas H=01,50m - Mínimos e Máximos das Simulações

TR (IN)	VENTO (M/S)	GALERIA+COLUNA (kg/m) (VÃO - M)							MÍNIMO	MÁXIMO
		15	18	21	24	27	30	33		
24	35	144,78	139,66	146,38	150,57	162,90	163,21	168,83	139,66	168,83
	45	155,36	149,80	165,49	160,99	181,42	177,48	188,86	149,80	188,86
30	35	152,35	148,71	158,01	162,85	174,99	173,93	185,69	148,71	185,69
	45	168,64	158,33	173,31	169,61	190,46	184,41	200,36	158,33	200,36
36	35	157,56	151,53	169,79	166,54	180,94	177,74	189,66	151,53	189,66
	45	171,50	162,37	178,88	174,41	195,11	188,71	205,83	162,37	205,83
42	35	161,64	153,67	175,36	170,70	189,89	180,75	197,64	153,67	197,64
	45	181,75	167,35	185,63	178,46	199,74	197,11	212,73	167,35	212,73
48	35	173,23	160,42	182,75	177,33	194,54	186,91	204,99	160,42	204,99
	45	183,42	176,60	192,67	181,75	204,61	209,29	218,02	176,60	218,02
54	35	176,96	165,88	187,80	182,16	199,88	199,13	212,00	165,88	212,00
	45	186,68	186,47	203,47	202,69	212,38	216,80	227,12	186,47	227,12
60	35	193,53	186,99	203,58	200,26	212,55	221,86	248,25	186,99	248,25
	45	200,49	202,08	224,17	215,65	227,70	235,83	246,21	200,49	246,21
72	35	224,36	212,20	235,74	225,92	249,47	246,33	271,80	212,20	271,80
	45	233,69	228,32	244,01	238,24	257,52	257,35	284,55	228,32	284,55
	MÍNIMO	144,78	139,66	146,38	150,57	162,90	163,21	168,83	H = 01,50M	
	MÁXIMO	233,69	228,32	244,01	238,24	257,52	257,35	284,55		

Tabela B.9 .Galerias e Colunas H=08,50m - Mínimos e Máximos das Simulações

TR (IN)	VENTO (M/S)	GALERIA+COLUNA (kg/m) (VÃO - M)							MÍNIMO	MÁXIMO
		15	18	21	24	27	30	33		
24	35	166,04	159,76	165,57	176,36	180,50	181,48	185,92	159,76	185,92
	45	182,50	176,20	191,68	185,97	204,71	200,31	211,12	176,20	211,12
30	35	173,54	171,05	177,62	182,62	194,82	192,68	203,82	171,05	203,82
	45	195,71	186,88	201,16	198,09	213,60	207,26	222,96	186,88	222,96
36	35	180,10	173,47	193,91	190,30	201,22	196,45	208,42	173,47	208,42
	45	205,10	192,80	207,90	202,43	218,51	211,78	228,36	192,80	228,36
42	35	184,42	176,48	203,59	195,98	211,49	200,52	216,22	176,48	216,22
	45	218,23	199,83	213,95	206,64	223,30	221,67	235,80	199,83	235,80
48	35	204,40	189,12	209,31	202,10	216,38	206,87	223,73	189,12	223,73
	45	220,61	209,35	220,75	210,09	229,80	234,07	241,26	209,35	241,26
54	35	210,97	196,48	216,05	208,38	222,56	221,62	232,25	196,48	232,25
	45	224,36	219,43	232,17	230,80	238,08	241,79	250,27	219,43	250,27
60	35	226,30	217,34	231,33	227,03	234,72	242,24	269,12	217,34	269,12
	45	238,80	235,33	253,13	243,98	255,83	261,06	269,30	235,33	269,30
72	35	259,95	244,14	264,63	251,20	272,43	268,75	294,79	244,14	294,79
	45	273,51	262,02	273,36	266,91	285,91	283,04	310,22	262,02	310,22
	MÍNIMO	166,04	159,76	165,57	176,36	180,50	181,48	185,92	H = 08,50M	
	MÁXIMO	273,51	262,02	273,36	266,91	285,91	283,04	310,22		

Tabela B.10 .Galerias e Colunas H=15,50m - Mínimos e Máximos das Simulações

TR (IN)	VENTO (M/S)	GALERIA+COLUNA (kg/m) (VÃO - M)							MÍNIMO	MÁXIMO
		15	18	21	24	27	30	33		
24	35	217,66	203,48	205,21	207,09	218,73	213,46	217,99	203,48	218,73
	45	248,75	233,24	239,96	229,96	244,67	239,20	248,57	229,96	248,75
30	35	225,92	216,74	218,86	220,04	230,30	226,05	235,32	216,74	235,32
	45	265,85	239,99	248,79	238,94	257,25	246,55	260,66	238,94	265,85
36	35	230,03	219,92	234,50	228,02	237,37	231,78	239,77	219,92	239,77
	45	267,76	244,93	257,26	243,82	261,01	251,31	266,73	243,82	267,76
42	35	241,04	232,76	244,61	230,70	245,97	234,40	247,42	230,70	247,42
	45	277,79	251,55	263,66	248,35	268,42	259,98	274,91	248,35	277,79
48	35	262,10	235,97	250,36	239,24	252,53	240,91	256,17	235,97	262,10
	45	280,23	261,52	271,25	255,12	273,59	274,70	280,81	255,12	280,81
54	35	266,34	243,52	259,25	248,36	264,61	258,60	267,56	243,52	267,56
	45	284,09	275,21	282,59	279,36	281,65	282,50	291,64	275,21	291,64
60	35	283,59	265,27	272,17	265,02	273,25	277,54	305,78	265,02	305,78
	45	298,70	293,14	304,02	292,76	297,39	304,45	311,67	292,76	311,67
72	35	315,50	291,45	309,08	293,65	314,99	306,22	333,13	291,45	333,13
	45	336,37	320,65	330,18	316,02	332,67	329,53	361,69	316,02	361,69
	MÍNIMO	217,66	203,48	205,21	207,09	218,73	213,46	217,99	H = 15,50M	
	MÁXIMO	336,37	320,65	330,18	316,02	332,67	329,53	361,69		

Tabela B.11 .Galerias e Colunas H=22,50m - Mínimos e Máximos das Simulações

TR (IN)	VENTO (M/S)	GALERIA+COLUNA (kg/m) (VÃO - M)							MÍNIMO	MÁXIMO
		15	18	21	24	27	30	33		
24	35	309,70	294,65	283,43	272,35	275,77	268,87	270,91	268,87	309,70
	45	359,13	323,18	328,26	307,31	321,20	303,28	311,83	303,28	359,13
30	35	323,88	309,20	295,94	285,43	290,72	280,39	290,71	280,39	323,88
	45	373,52	331,93	325,41	321,27	331,27	311,14	327,04	311,14	373,52
36	35	330,40	301,51	308,34	289,94	297,56	285,03	295,41	285,03	330,40
	45	378,50	337,30	332,15	327,16	333,97	323,14	336,22	323,14	378,50
42	35	335,51	304,32	314,46	295,68	306,23	291,62	303,20	291,62	335,51
	45	386,70	341,95	351,57	331,76	339,23	335,12	345,38	331,76	386,70
48	35	345,18	318,14	320,27	303,00	311,50	298,44	311,01	298,44	345,18
	45	389,44	352,03	364,22	339,38	348,22	347,98	351,21	339,38	389,44
54	35	386,48	324,13	328,98	314,32	327,43	316,22	326,96	314,32	386,48
	45	393,61	362,69	380,69	365,10	356,75	357,22	360,60	356,75	393,61
60	35	370,19	345,95	342,23	330,35	330,72	337,05	363,65	330,35	370,19
	45	408,64	394,43	402,45	383,44	380,15	380,97	379,76	379,76	408,64
72	35	413,27	372,26	379,03	360,07	378,49	364,50	388,23	360,07	413,27
	45	443,70	428,11	423,91	409,42	414,59	403,39	427,91	403,39	443,70
	MÍNIMO	309,70	294,65	283,43	272,35	275,77	268,87	270,91	H = 22,50M	
	MÁXIMO	443,70	428,11	423,91	409,42	414,59	403,39	427,91		

Tabela B.12 .Galerias e Colunas H=29,50m - Mínimos e Máximos das Simulações

TR (IN)	VENTO (M/S)	GALERIA+COLUNA (kg/m) (VÃO - M)							MÍNIMO	MÁXIMO
		15	18	21	24	27	30	33		
24	35	461,18	407,53	380,73	370,93	374,44	358,86	346,69	346,69	461,18
	45	529,74	480,19	476,43	444,59	445,32	426,60	416,62	416,62	529,74
30	35	470,26	418,15	398,72	388,74	381,04	372,66	372,05	372,05	470,26
	45	544,96	489,55	485,89	454,36	455,59	431,81	429,19	429,19	544,96
36	35	476,59	422,23	415,36	398,64	390,28	377,64	379,14	377,64	476,59
	45	549,83	495,53	493,12	459,58	461,48	437,24	437,87	437,24	549,83
42	35	481,59	425,34	421,60	405,99	405,26	389,04	387,02	387,02	481,59
	45	558,25	500,56	499,97	464,31	466,87	446,33	445,15	445,15	558,25
48	35	490,95	430,58	427,52	420,25	410,60	401,26	403,20	401,26	490,95
	45	576,42	511,02	508,00	475,10	472,51	459,22	451,04	451,04	576,42
54	35	502,22	447,65	450,45	430,16	441,19	425,39	417,50	417,50	502,22
	45	576,84	544,96	519,79	504,95	481,05	467,21	460,48	460,48	576,84
60	35	513,61	469,63	454,62	445,36	437,32	437,74	468,47	437,32	513,61
	45	592,66	562,25	541,84	519,09	497,42	492,50	485,83	485,83	592,66
72	35	553,24	496,19	501,54	476,70	493,07	473,92	496,54	473,92	553,24
	45	632,59	594,09	575,42	549,22	540,90	516,31	538,54	516,31	632,59
	MÍNIMO	461,18	407,53	380,73	370,93	374,44	358,86	346,69	H = 29,50M	
	MÁXIMO	632,59	594,09	575,42	549,22	540,90	516,31	538,54		

Tabela B.13 .Galerias e Colunas H=36,50m - Mínimos e Máximos das Simulações

TR (IN)	VENTO (M/S)	GALERIA+COLUNA (kg/m) (VÃO - M)							MÍNIMO	MÁXIMO
		15	18	21	24	27	30	33		
24	35	670,91	615,95	563,74	541,10	510,04	497,82	476,60	476,60	670,91
	45	791,39	708,57	652,86	623,66	616,36	575,67	561,32	561,32	791,39
30	35	689,93	627,46	577,59	544,05	529,12	509,95	497,19	497,19	689,93
	45	807,47	718,37	662,81	634,13	614,58	584,04	554,33	554,33	807,47
36	35	698,41	629,45	607,11	549,19	536,60	515,20	505,06	505,06	698,41
	45	813,20	724,81	686,36	643,41	619,28	600,89	597,81	597,81	813,20
42	35	706,02	632,62	613,69	552,31	545,66	518,39	513,45	513,45	706,02
	45	822,15	728,62	693,86	650,33	624,67	610,43	605,28	605,28	822,15
48	35	736,69	642,77	619,97	559,89	551,33	525,47	523,08	523,08	736,69
	45	825,64	738,61	702,55	654,65	641,91	623,77	611,35	611,35	825,64
54	35	756,48	666,98	631,06	593,73	588,39	557,18	546,62	546,62	756,48
	45	830,56	768,50	715,01	686,50	650,57	632,21	620,97	620,97	830,56
60	35	767,03	683,27	647,97	604,08	571,50	572,82	601,07	571,50	767,03
	45	846,60	787,37	737,94	701,41	669,88	652,81	651,25	651,25	846,60
72	35	809,77	717,91	681,88	641,90	641,97	607,39	634,71	607,39	809,77
	45	899,25	817,44	774,36	737,91	734,89	693,51	693,25	693,25	899,25
	MÍNIMO	670,91	615,95	563,74	541,10	510,04	497,82	476,60	<i>H = 36,50M</i>	
	MÁXIMO	899,25	817,44	774,36	737,91	734,89	693,51	693,25		

Da análise conjugada percebe-se que há modificação do ponto ótimo de acordo com a massa de cada um dos elementos considerados. Por exemplo, da Tabela B.8, em colunas com dimensões verticais menores, melhores resultados para a função objetivo do sistema estrutural são obtidos em conjunto com massas mínimas das galerias e esse comportamento se altera à medida que as massas da coluna se tornem mais representativas (como apresentado nas Tabelas B.11, B12 e B13). Em geral, a combinação entre colunas com dimensões menores apresentam pontos ótimos mais próximos aos limites inferiores desse estudo também com galerias menores e a combinação de colunas com dimensão vertical maior com galerias mais longas também apresenta melhores resultados dentre as simulações com, em termos de comportamento, menor influência do vento e transportador analisado, embora em alguns pontos específicos isolados ainda ocorra dependência. Tal observação é comprovada na Tabela B.10 onde a massa mínima do sistema obtida oscila entre 18m e 24m para o vão de galerias dependendo do vento discreto considerado. Nos demais casos, embora ocorram casos pontuais, observa-se uma tendência diferente no comportamento da função objetivo.

Ainda, as tabelas permitem estimativa de consumo de matéria prima, para distintos casos de implantação. Exemplificando, da Tabela B.12, a necessidade de um transportador de 60” submetido a ação do vento de 45m/s tem seu ponto ótimo discreto em vãos de 33m de galerias com consumo de **485,83 kg/m** caso as colunas estejam a 29,5m do ponto de referência (fundação, por exemplo), permitindo um amplo conhecimento do sistema para estimativa de custo da estrutura de aço.

APÊNDICE C

RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES NUMÉRICAS DE ESTUDOS PARA IMPLANTAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE LAY-OUTS

1. INTRODUÇÃO

Ao longo desse anexo, apresentam-se resultados das simulações para extensões de linhas de transportadores de 30 a 120m com inclinações de 0%, 5% e 10% e variabilidade da cota inicial.

2. TRANSPORTADORES DE CORREIA

2.1. TRANSPORTADOR 24”

2.1.1. Velocidade do Vento de 35m/s

Tabela C.1. TR24/35 – Simulações Com Inclinação

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	0%	0,00	1	15,00	139,80
30	0%	1,50	1	15,00	142,29
30	0%	8,50	1	15,00	152,92
30	0%	15,50	0	30,00	159,89
30	0%	22,50	0	30,00	159,89
30	0%	29,50	0	30,00	159,89
30	0%	36,50	0	30,00	159,89
60	0%	0,00	2	20,00	137,14
60	0%	1,50	2	20,00	139,64
60	0%	8,50	2	20,00	152,63
60	0%	15,50	2	20,00	179,97
60	0%	22,50	1	30,00	214,38
60	0%	29,50	1	30,00	259,38
60	0%	36,50	1	30,00	328,86
90	0%	0,00	4	18,00	135,51
90	0%	1,50	4	18,00	138,83
90	0%	8,50	4	18,00	154,91
90	0%	15,50	3	22,50	189,40
90	0%	22,50	2	30,00	232,54
90	0%	29,50	2	30,00	292,54
90	0%	36,50	2	30,00	385,18
120	0%	0,00	5	20,00	137,14
120	0%	1,50	5	20,00	140,26
120	0%	8,50	5	20,00	156,51
120	0%	15,50	5	20,00	190,67
120	0%	22,50	3	30,00	241,62
120	0%	29,50	3	30,00	309,12
120	0%	36,50	3	30,00	413,34
150	0%	0,00	7	18,75	136,12
150	0%	1,50	7	18,75	139,62
150	0%	8,50	7	18,75	157,01
150	0%	15,50	7	18,75	194,37
150	0%	22,50	4	30,00	247,07
150	0%	29,50	4	30,00	319,07
150	0%	36,50	4	30,00	430,24
180	0%	0,00	9	18,00	135,51
180	0%	1,50	9	18,00	139,25
180	0%	8,50	9	18,00	157,33
180	0%	15,50	8	20,00	194,24
180	0%	22,50	5	30,00	250,71
180	0%	29,50	5	30,00	325,70
180	0%	36,50	5	30,00	441,50
210	0%	0,00	10	19,09	136,40
210	0%	1,50	10	19,09	139,97
210	0%	8,50	10	19,09	157,94
210	0%	15,50	10	19,09	196,34
210	0%	22,50	6	30,00	253,30
210	0%	29,50	6	30,00	330,44
210	0%	36,50	6	30,00	449,55
240	0%	0,00	12	18,46	135,89
240	0%	1,50	12	18,46	139,63
240	0%	8,50	12	18,46	158,05
240	0%	15,50	11	20,00	196,03
240	0%	22,50	8	26,67	254,87
240	0%	29,50	7	30,00	333,99
240	0%	36,50	7	30,00	455,58

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	5%	0,00	1	15,02	139,97
30	5%	1,50	1	15,02	143,60
30	5%	8,50	1	15,02	155,86
30	5%	15,50	0	30,04	160,12
30	5%	22,50	0	30,04	160,12
30	5%	29,50	0	30,04	160,12
60	5%	0,00	2	20,02	139,04
60	5%	1,50	2	20,02	142,62
60	5%	8,50	2	20,02	158,70
60	5%	15,50	2	20,02	191,97
60	5%	22,50	1	30,04	224,28
60	5%	29,50	1	30,04	274,51
90	5%	0,00	4	18,02	140,26
90	5%	1,50	4	18,02	144,19
90	5%	8,50	4	18,02	166,36
90	5%	15,50	3	22,53	206,92
90	5%	22,50	2	30,04	252,10
90	5%	29,50	2	30,04	322,57
120	5%	0,00	5	20,02	143,55
120	5%	1,50	5	20,02	147,42
120	5%	8,50	5	20,02	171,36
120	5%	15,50	4	24,03	217,77
120	5%	22,50	3	30,04	270,82
120	5%	29,50	3	30,04	354,05
150	5%	0,00	7	18,77	145,10
150	5%	1,50	7	18,77	149,13
150	5%	8,50	7	18,77	177,24
150	5%	15,50	5	25,03	226,42
150	5%	22,50	4	30,04	285,91
180	5%	0,00	9	18,02	146,95
180	5%	1,50	9	18,02	151,51
180	5%	8,50	8	20,02	182,10
180	5%	15,50	6	25,75	234,64
180	5%	22,50	5	30,04	299,76
210	5%	0,00	10	19,11	149,91
210	5%	1,50	10	19,11	155,05
210	5%	8,50	10	19,11	189,70
210	5%	15,50	7	26,28	243,31
210	5%	22,50	6	30,04	313,91
240	5%	0,00	12	18,48	152,75
240	5%	1,50	12	18,48	158,46
240	5%	8,50	11	20,02	195,82
240	5%	15,50	7	30,04	252,31
240	5%	22,50	7	30,04	328,25

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	10%	0,00	1	15,07	142,95
30	10%	1,50	1	15,07	145,24
30	10%	8,50	1	15,07	159,16
30	10%	15,50	0	30,15	160,79
30	10%	22,50	0	30,15	160,79
30	10%	29,50	0	30,15	160,79
60	10%	0,00	2	20,10	143,20
60	10%	1,50	2	20,10	145,99
60	10%	8,50	2	20,10	165,18
60	10%	15,50	1	30,15	199,58
60	10%	22,50	1	30,15	234,68
60	10%	29,50	1	30,15	290,15
90	10%	0,00	4	18,09	146,50
90	10%	1,50	4	18,09	150,09
90	10%	8,50	4	18,09	178,52
90	10%	15,50	2	30,15	220,44
90	10%	22,50	2	30,15	272,13
120	10%	0,00	5	20,10	152,28
120	10%	1,50	5	20,10	157,05
120	10%	8,50	5	20,10	190,61
120	10%	15,50	3	30,15	239,27
120	10%	22,50	3	30,15	304,00
150	10%	0,00	7	18,84	158,70
150	10%	1,50	7	18,84	164,48
150	10%	8,50	5	25,12	206,71
150	10%	15,50	4	30,15	258,26
180	10%	0,00	8	20,10	166,34
180	10%	1,50	8	20,10	173,44
180	10%	8,50	6	25,84	220,31
180	10%	15,50	5	30,15	278,50
210	10%	0,00	10	19,19	177,13
210	10%	1,50	10	19,19	186,26
210	10%	8,50	8	23,45	235,43
240	10%	0,00	11	20,10	188,59
240	10%	1,50	11	20,10	198,57
240	10%	8,50	7	30,15	251,97

LEGENDA	
LINHA (M)	COMPRIMENTO DA LINHA
CI (M)	COTA INICIAL
QTD COL	QUANTIDADE DE COLUNAS
GAL (M)	VÃO DA GALERIA

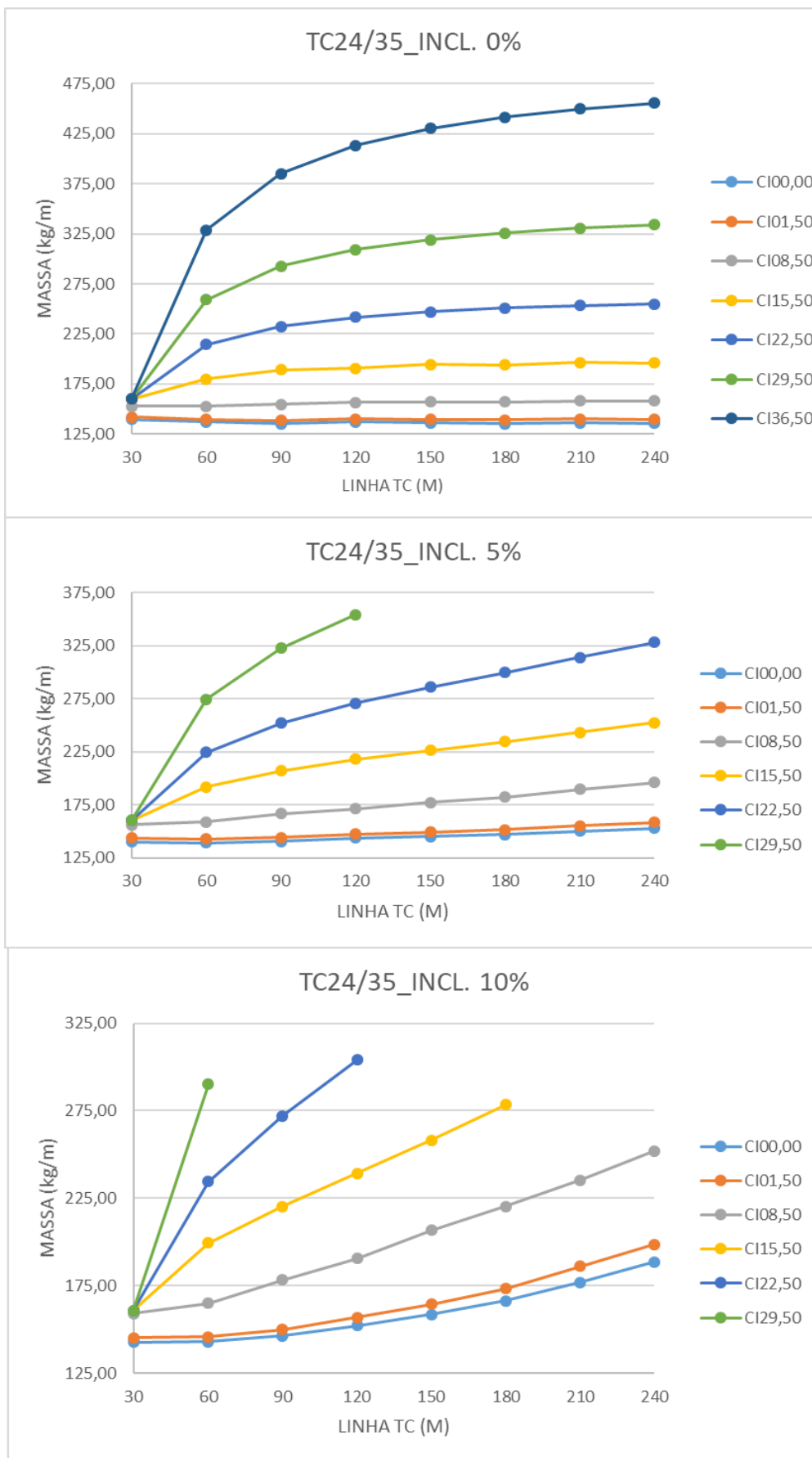


Gráfico C.1. TR24/35 – Simulações Com Inclinação

2.1.2. Velocidade do Vento de 45m/s

Tabela C.2. TR24/45 – Simulações Com Inclinação

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	0%	0,00	1	15,00	150,03
30	0%	1,50	1	15,00	152,70
30	0%	8,50	1	15,00	166,26
30	0%	15,50	0	30,00	173,64
30	0%	22,50	0	30,00	173,64
30	0%	29,50	0	30,00	173,64
30	0%	36,50	0	30,00	173,64
60	0%	0,00	2	20,00	148,78
60	0%	1,50	2	20,00	151,87
60	0%	8,50	2	20,00	169,37
60	0%	15,50	2	20,00	203,51
60	0%	22,50	1	30,00	238,46
60	0%	29,50	1	30,00	300,12
60	0%	36,50	1	30,00	374,66
90	0%	0,00	4	18,00	145,35
90	0%	1,50	4	18,00	148,91
90	0%	8,50	4	18,00	170,03
90	0%	15,50	4	18,00	215,67
90	0%	22,50	2	30,00	260,07
90	0%	29,50	2	30,00	342,28
90	0%	36,50	2	30,00	441,66
120	0%	0,00	5	20,00	148,78
120	0%	1,50	5	20,00	152,64
120	0%	8,50	5	20,00	174,52
120	0%	15,50	4	24,00	215,34
120	0%	22,50	3	30,00	270,87
120	0%	29,50	3	30,00	363,36
120	0%	36,50	3	30,00	475,17
150	0%	0,00	7	18,75	146,64
150	0%	1,50	7	18,75	150,59
150	0%	8,50	7	18,75	173,64
150	0%	15,50	5	25,00	218,48
150	0%	22,50	4	30,00	277,35
150	0%	29,50	4	30,00	376,01
150	0%	36,50	4	30,00	495,27
180	0%	0,00	9	18,00	145,35
180	0%	1,50	9	18,00	149,35
180	0%	8,50	9	18,00	173,11
180	0%	15,50	6	25,71	220,64
180	0%	22,50	5	30,00	281,67
180	0%	29,50	5	30,00	384,44
180	0%	36,50	5	30,00	508,67
210	0%	0,00	10	19,09	147,22
210	0%	1,50	10	19,09	151,36
210	0%	8,50	10	19,09	175,29
210	0%	15,50	7	26,25	222,23
210	0%	22,50	6	30,00	284,76
210	0%	29,50	6	30,00	390,46
210	0%	36,50	6	30,00	518,24
240	0%	0,00	12	18,46	146,14
240	0%	1,50	12	18,46	150,29
240	0%	8,50	12	18,46	174,62
240	0%	15,50	9	24,00	222,65
240	0%	22,50	7	30,00	287,08
240	0%	29,50	7	30,00	394,98
240	0%	36,50	7	30,00	525,42

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	5%	0,00	1	15,02	150,21
30	5%	1,50	1	15,02	154,33
30	5%	8,50	1	15,02	170,01
30	5%	15,50	0	30,04	173,90
30	5%	22,50	0	30,04	173,90
30	5%	29,50	0	30,04	173,90
60	5%	0,00	2	20,02	151,18
60	5%	1,50	2	20,02	155,86
60	5%	8,50	2	20,02	176,94
60	5%	15,50	1	30,04	213,58
60	5%	22,50	1	30,04	251,99
60	5%	29,50	1	30,04	316,39
90	5%	0,00	4	18,02	150,96
90	5%	1,50	4	18,02	155,93
90	5%	8,50	4	18,02	184,95
90	5%	15,50	2	30,04	231,39
90	5%	22,50	2	30,04	286,82
90	5%	29,50	2	30,04	374,55
120	5%	0,00	5	20,02	157,11
120	5%	1,50	5	20,02	162,26
120	5%	8,50	5	20,02	193,07
120	5%	15,50	4	24,03	242,18
120	5%	22,50	3	30,04	310,84
120	5%	29,50	3	30,04	411,62
150	5%	0,00	7	18,77	157,94
150	5%	1,50	7	18,77	163,18
150	5%	8,50	7	18,77	199,61
150	5%	15,50	5	25,03	253,22
150	5%	22,50	4	30,04	330,53
180	5%	0,00	9	18,02	159,56
180	5%	1,50	9	18,02	165,44
180	5%	8,50	8	20,02	206,36
180	5%	15,50	5	30,04	263,65
180	5%	22,50	5	30,04	348,37
210	5%	0,00	10	19,11	164,60
210	5%	1,50	10	19,11	171,26
210	5%	8,50	10	19,11	214,47
210	5%	15,50	6	30,04	274,40
210	5%	22,50	6	30,04	365,68
240	5%	0,00	12	18,48	167,60
240	5%	1,50	12	18,48	174,99
240	5%	8,50	9	24,03	221,11
240	5%	15,50	7	30,04	285,76
240	5%	22,50	7	30,04	382,66

LEGENDA	
LINHA (M)	COMPRIMENTO DA LINHA
CI (M)	COTA INICIAL
QTD COL	QUANTIDADE DE COLUNAS
GAL (M)	VÃO DA GALERIA

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	10%	0,00	1	15,07	153,41
30	10%	1,50	1	15,07	156,33
30	10%	8,50	1	15,07	174,14
30	10%	15,50	0	30,15	174,70
30	10%	22,50	0	30,15	174,70
30	10%	29,50	0	30,15	174,70
60	10%	0,00	2	20,10	156,57
60	10%	1,50	2	20,10	160,34
60	10%	8,50	2	20,10	185,01
60	10%	15,50	1	30,15	221,38
60	10%	22,50	1	30,15	266,12
60	10%	29,50	1	30,15	333,33
90	10%	0,00	4	18,09	158,91
90	10%	1,50	4	18,09	163,63
90	10%	8,50	4	18,09	200,57
90	10%	15,50	2	30,15	246,13
90	10%	22,50	2	30,15	314,17
120	10%	0,00	5	20,10	168,60
120	10%	1,50	5	20,10	174,79
120	10%	8,50	4	24,12	214,16
120	10%	15,50	3	30,15	269,59
120	10%	22,50	3	30,15	353,27
150	10%	0,00	7	18,84	175,54
150	10%	1,50	7	18,84	183,04
150	10%	8,50	5	25,12	229,64
150	10%	15,50	4	30,15	294,21
180	10%	0,00	9	18,09	185,11
180	10%	1,50	9	18,09	194,49
180	10%	8,50	6	25,84	246,83
180	10%	15,50	5	30,15	320,04
210	10%	0,00	10	19,19	198,08
210	10%	1,50	10	19,19	208,65
210	10%	8,50	7	26,38	266,60
240	10%	0,00	11	20,10	212,08
240	10%	1,50	9	24,12	222,55
240	10%	8,50	7	30,15	287,30

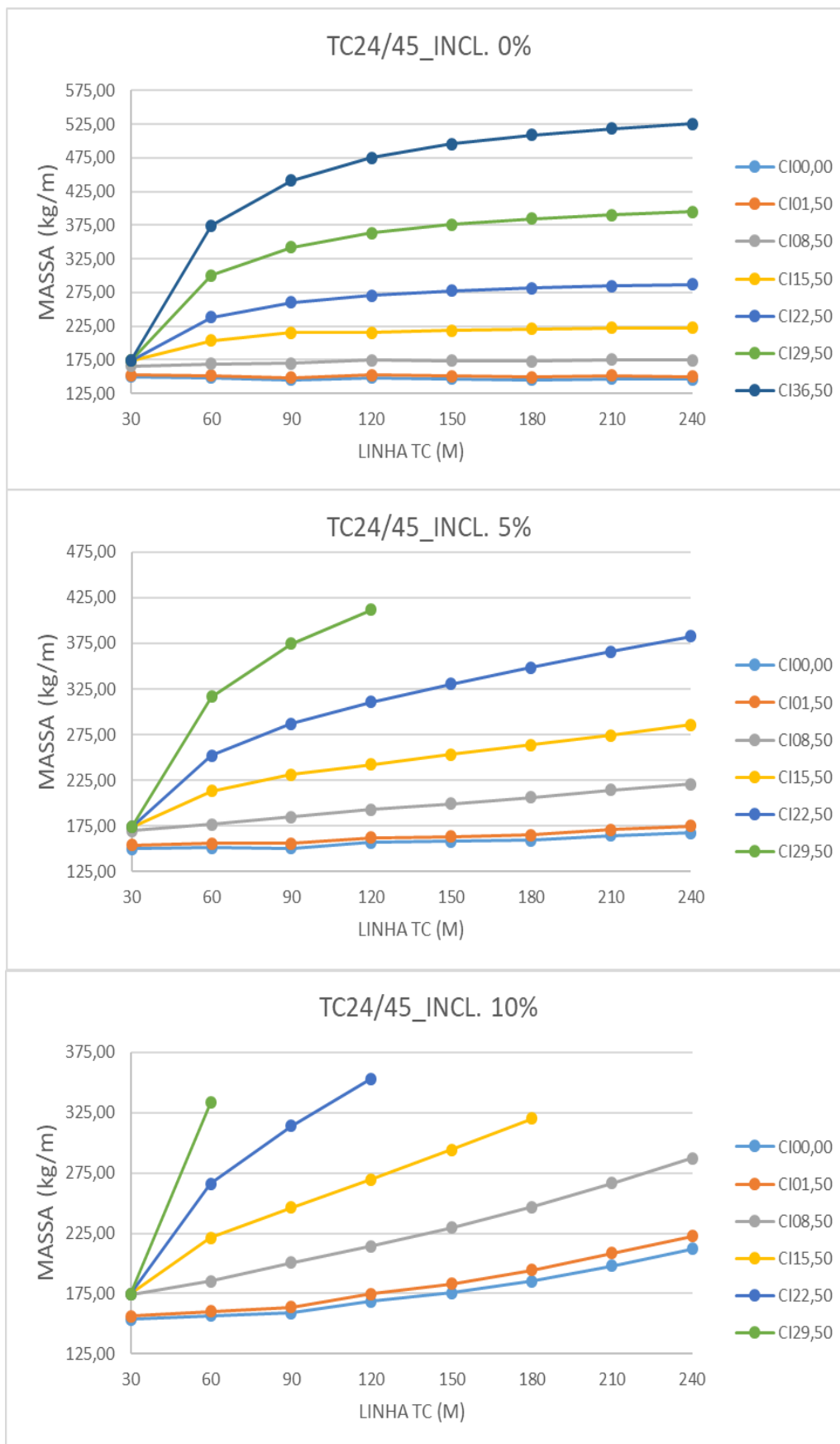


Gráfico C.2. TR24/45 –Simulações Com Inclinação

2.2. TRANSPORTADOR 30”

2.2.1. Velocidade do Vento de 35m/s

Tabela C.3. TR30/35 – Simulações Com Inclinação

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	0%	0,00	1	15,00	147,18
30	0%	1,50	1	15,00	149,77
30	0%	8,50	1	15,00	160,36
30	0%	15,50	0	30,00	170,45
30	0%	22,50	0	30,00	170,45
30	0%	29,50	0	30,00	170,45
30	0%	36,50	0	30,00	170,45
60	0%	0,00	2	20,00	146,60
60	0%	1,50	2	20,00	149,20
60	0%	8,50	2	20,00	162,88
60	0%	15,50	2	20,00	191,37
60	0%	22,50	1	30,00	225,42
60	0%	29,50	1	30,00	271,55
60	0%	36,50	1	30,00	340,20
90	0%	0,00	4	18,00	144,40
90	0%	1,50	4	18,00	147,85
90	0%	8,50	4	18,00	165,72
90	0%	15,50	3	22,50	202,11
90	0%	22,50	2	30,00	243,74
90	0%	29,50	2	30,00	305,26
90	0%	36,50	2	30,00	396,78
120	0%	0,00	6	17,14	146,52
120	0%	1,50	5	20,00	149,85
120	0%	8,50	5	20,00	166,95
120	0%	15,50	5	20,00	202,56
120	0%	22,50	3	30,00	252,91
120	0%	29,50	3	30,00	322,11
120	0%	36,50	3	30,00	425,08
150	0%	0,00	7	18,75	145,23
150	0%	1,50	7	18,75	148,86
150	0%	8,50	7	18,75	167,81
150	0%	15,50	7	18,75	206,82
150	0%	22,50	4	30,00	258,40
150	0%	29,50	4	30,00	332,22
150	0%	36,50	4	30,00	442,05
180	0%	0,00	9	18,00	144,40
180	0%	1,50	9	18,00	148,28
180	0%	8,50	8	20,00	168,31
180	0%	15,50	8	20,00	206,29
180	0%	22,50	5	30,00	262,07
180	0%	29,50	5	30,00	338,96
180	0%	36,50	5	30,00	453,37
210	0%	0,00	10	19,09	145,60
210	0%	1,50	10	19,09	149,32
210	0%	8,50	10	19,09	168,72
210	0%	15,50	10	19,09	208,79
210	0%	22,50	6	30,00	264,69
210	0%	29,50	6	30,00	343,77
210	0%	36,50	6	30,00	461,45
240	0%	0,00	12	18,46	144,91
240	0%	1,50	12	18,46	148,80
240	0%	8,50	11	20,00	168,99
240	0%	15,50	11	20,00	208,15
240	0%	22,50	7	30,00	266,65
240	0%	29,50	7	30,00	347,38
240	0%	36,50	7	30,00	467,51

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	5%	0,00	1	15,02	147,36
30	5%	1,50	1	15,02	151,08
30	5%	8,50	1	15,02	163,36
30	5%	15,50	0	30,04	170,71
30	5%	22,50	0	30,04	170,71
30	5%	29,50	0	30,04	170,71
60	5%	0,00	2	20,02	148,60
60	5%	1,50	2	20,02	152,35
60	5%	8,50	2	20,02	169,20
60	5%	15,50	2	20,02	203,33
60	5%	22,50	1	30,04	235,62
60	5%	29,50	1	30,04	286,58
90	5%	0,00	4	18,02	149,49
90	5%	1,50	4	18,02	153,80
90	5%	8,50	4	18,02	177,69
90	5%	15,50	2	30,04	219,47
90	5%	22,50	2	30,04	263,85
90	5%	29,50	2	30,04	335,01
120	5%	0,00	5	20,02	153,32
120	5%	1,50	5	20,02	157,39
120	5%	8,50	5	20,02	182,43
120	5%	15,50	3	30,04	229,93
120	5%	22,50	3	30,04	282,91
120	5%	29,50	3	30,04	366,58
150	5%	0,00	7	18,77	154,86
150	5%	1,50	7	18,77	159,23
150	5%	8,50	7	18,77	188,93
150	5%	15,50	4	30,04	238,55
150	5%	22,50	4	30,04	298,29
180	5%	0,00	9	18,02	156,87
180	5%	1,50	9	18,02	161,85
180	5%	8,50	8	20,02	193,57
180	5%	15,50	5	30,04	246,68
180	5%	22,50	5	30,04	312,38
210	5%	0,00	10	19,11	160,04
210	5%	1,50	10	19,11	165,49
210	5%	8,50	10	19,11	201,65
210	5%	15,50	6	30,04	255,32
210	5%	22,50	6	30,04	326,65
240	5%	0,00	12	18,48	163,09
240	5%	1,50	11	20,02	169,16
240	5%	8,50	11	20,02	207,48
240	5%	15,50	7	30,04	264,26
240	5%	22,50	7	30,04	341,03

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	10%	0,00	1	15,07	150,48
30	10%	1,50	1	15,07	152,76
30	10%	8,50	1	15,07	166,76
30	10%	15,50	0	30,15	171,50
30	10%	22,50	0	30,15	171,50
30	10%	29,50	0	30,15	171,50
60	10%	0,00	2	20,10	152,98
60	10%	1,50	2	20,10	155,91
60	10%	8,50	2	20,10	175,96
60	10%	15,50	1	30,15	211,08
60	10%	22,50	1	30,15	246,45
60	10%	29,50	1	30,15	302,23
90	10%	0,00	4	18,09	156,34
90	10%	1,50	4	18,09	160,31
90	10%	8,50	4	18,09	190,38
90	10%	15,50	2	30,15	232,09
90	10%	22,50	2	30,15	284,61
120	10%	0,00	5	20,10	162,49
120	10%	1,50	5	20,10	167,48
120	10%	8,50	5	20,10	202,11
120	10%	15,50	3	30,15	251,13
120	10%	22,50	3	30,15	316,79
150	10%	0,00	7	18,84	169,34
150	10%	1,50	7	18,84	175,46
150	10%	8,50	5	25,12	219,90
150	10%	15,50	4	30,15	270,45
180	10%	0,00	8	20,10	177,14
180	10%	1,50	8	20,10	184,46
180	10%	8,50	6	25,84	233,70
180	10%	15,50	5	30,15	290,99
210	10%	0,00	10	19,19	188,38
210	10%	1,50	10	19,19	197,76
210	10%	8,50	8	23,45	248,68
240	10%	0,00	11	20,10	199,71
240	10%	1,50	11	20,10	209,88
240	10%	8,50	7	30,15	264,37

LEGENDA	
LINHA (M)	COMPRIMENTO DA LINHA
CI (M)	COTA INICIAL
QTD COL	QUANTIDADE DE COLUNAS
GAL (M)	VÃO DA GALERIA

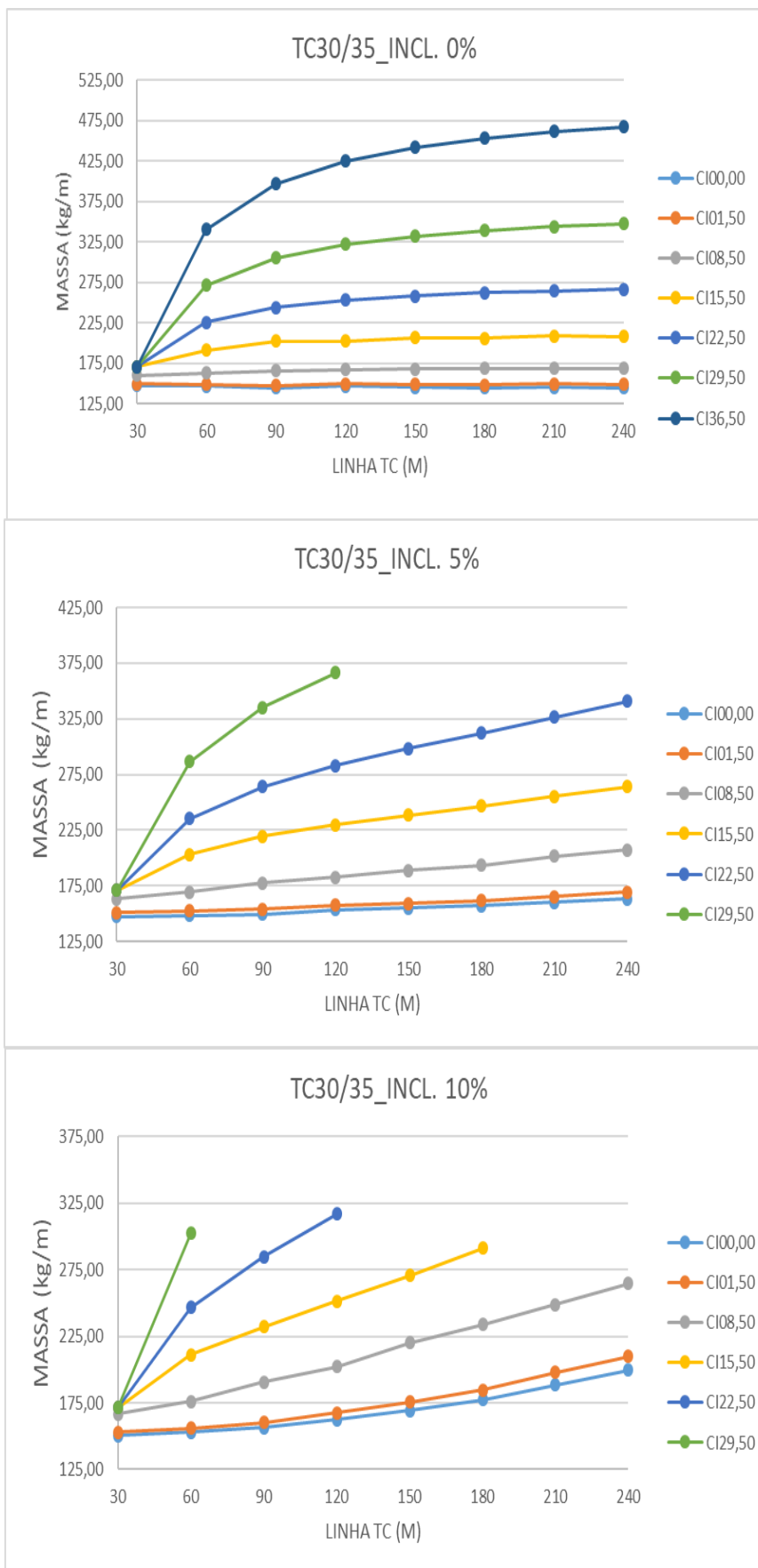


Gráfico C.3. TR30/35 –Simulações Com Inclinação

2.2.2. Velocidade do Vento de 45m/s

Tabela C.4. TR30/45 – Simulações Com Inclinação

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	0%	0,00	1	15,00	163,08
30	0%	1,50	1	15,00	165,86
30	0%	8,50	1	15,00	179,40
30	0%	15,50	0	30,00	180,36
30	0%	22,50	0	30,00	180,36
30	0%	29,50	0	30,00	180,36
30	0%	36,50	0	30,00	180,36
60	0%	0,00	2	20,00	156,04
60	0%	1,50	2	20,00	159,54
60	0%	8,50	2	20,00	178,26
60	0%	15,50	2	20,00	211,24
60	0%	22,50	1	30,00	245,75
60	0%	29,50	1	30,00	306,08
60	0%	36,50	1	30,00	382,20
90	0%	0,00	4	18,00	152,53
90	0%	1,50	4	18,00	157,17
90	0%	8,50	4	18,00	180,01
90	0%	15,50	4	18,00	222,50
90	0%	22,50	2	30,00	267,55
90	0%	29,50	2	30,00	347,99
90	0%	36,50	2	30,00	449,48
120	0%	0,00	5	20,00	156,04
120	0%	1,50	5	20,00	160,42
120	0%	8,50	5	20,00	183,82
120	0%	15,50	4	24,00	224,21
120	0%	22,50	3	30,00	278,45
120	0%	29,50	3	30,00	368,95
120	0%	36,50	3	30,00	483,12
150	0%	0,00	7	18,75	153,85
150	0%	1,50	7	18,75	158,74
150	0%	8,50	7	18,75	183,57
150	0%	15,50	5	25,00	228,30
150	0%	22,50	4	30,00	284,99
150	0%	29,50	4	30,00	381,52
150	0%	36,50	4	30,00	503,31
180	0%	0,00	9	18,00	152,53
180	0%	1,50	9	18,00	157,75
180	0%	8,50	9	18,00	183,45
180	0%	15,50	8	20,00	229,63
180	0%	22,50	5	30,00	289,35
180	0%	29,50	5	30,00	389,90
180	0%	36,50	5	30,00	516,76
210	0%	0,00	10	19,09	154,45
210	0%	1,50	10	19,09	159,44
210	0%	8,50	10	19,09	185,17
210	0%	15,50	10	19,09	231,64
210	0%	22,50	6	30,00	292,46
210	0%	29,50	6	30,00	395,89
210	0%	36,50	6	30,00	526,37
240	0%	0,00	12	18,46	153,34
240	0%	1,50	12	18,46	158,58
240	0%	8,50	12	18,46	184,83
240	0%	15,50	9	24,00	231,58
240	0%	22,50	7	30,00	294,80
240	0%	29,50	7	30,00	400,38
240	0%	36,50	7	30,00	533,58

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	5%	0,00	1	15,02	163,26
30	5%	1,50	1	15,02	167,50
30	5%	8,50	0	30,04	180,65
30	5%	15,50	0	30,04	180,65
30	5%	22,50	0	30,04	180,65
30	5%	29,50	0	30,04	180,65
60	5%	0,00	2	20,02	158,70
60	5%	1,50	2	20,02	163,80
60	5%	8,50	2	20,02	185,59
60	5%	15,50	1	30,04	220,71
60	5%	22,50	1	30,04	259,04
60	5%	29,50	1	30,04	322,71
90	5%	0,00	4	18,02	159,18
90	5%	1,50	4	18,02	164,75
90	5%	8,50	4	18,02	193,93
90	5%	15,50	2	30,04	238,68
90	5%	22,50	2	30,04	293,79
90	5%	29,50	2	30,04	380,93
120	5%	0,00	5	20,02	165,13
120	5%	1,50	5	20,02	170,69
120	5%	8,50	5	20,02	201,75
120	5%	15,50	3	30,04	251,13
120	5%	22,50	3	30,04	317,62
120	5%	29,50	3	30,04	418,18
150	5%	0,00	7	18,77	166,55
150	5%	1,50	7	18,77	172,29
150	5%	8,50	7	18,77	208,10
150	5%	15,50	4	30,04	261,38
150	5%	22,50	4	30,04	337,08
180	5%	0,00	9	18,02	168,67
180	5%	1,50	9	18,02	174,98
180	5%	8,50	8	20,02	214,72
180	5%	15,50	5	30,04	271,18
180	5%	22,50	5	30,04	354,74
210	5%	0,00	10	19,11	173,51
210	5%	1,50	10	19,11	180,41
210	5%	8,50	10	19,11	222,48
210	5%	15,50	6	30,04	281,88
210	5%	22,50	6	30,04	372,01
240	5%	0,00	12	18,48	176,75
240	5%	1,50	12	18,48	184,26
240	5%	8,50	11	20,02	229,57
240	5%	15,50	7	30,04	293,13
240	5%	22,50	7	30,04	389,04

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	10%	0,00	1	15,07	166,60
30	10%	1,50	1	15,07	169,52
30	10%	8,50	0	30,15	181,53
30	10%	15,50	0	30,15	181,53
30	10%	22,50	0	30,15	181,53
30	10%	29,50	0	30,15	181,53
60	10%	0,00	2	20,10	164,52
60	10%	1,50	2	20,10	168,55
60	10%	8,50	2	20,10	193,44
60	10%	15,50	1	30,15	228,67
60	10%	22,50	1	30,15	273,03
60	10%	29,50	1	30,15	339,90
90	10%	0,00	4	18,09	167,92
90	10%	1,50	4	18,09	172,98
90	10%	8,50	4	18,09	208,62
90	10%	15,50	2	30,15	253,66
90	10%	22,50	2	30,15	320,72
120	10%	0,00	5	20,10	177,24
120	10%	1,50	5	20,10	183,54
120	10%	8,50	5	20,10	223,30
120	10%	15,50	3	30,15	277,08
120	10%	22,50	3	30,15	359,69
150	10%	0,00	7	18,84	184,48
150	10%	1,50	7	18,84	191,91
150	10%	8,50	5	25,12	239,93
150	10%	15,50	4	30,15	301,44
180	10%	0,00	9	18,09	193,90
180	10%	1,50	9	18,09	203,18
180	10%	8,50	5	30,15	256,71
180	10%	15,50	5	30,15	327,03
210	10%	0,00	10	19,19	206,33
210	10%	1,50	10	19,19	216,67
210	10%	8,50	6	30,15	274,57
240	10%	0,00	11	20,10	219,26
240	10%	1,50	11	20,10	230,94
240	10%	8,50	7	30,15	294,41

LEGENDA	
LINHA (M)	COMPRIMENTO DA LINHA
CI (M)	COTA INICIAL
QTD COL	QUANTIDADE DE COLUNAS
GAL (M)	VÃO DA GALERIA

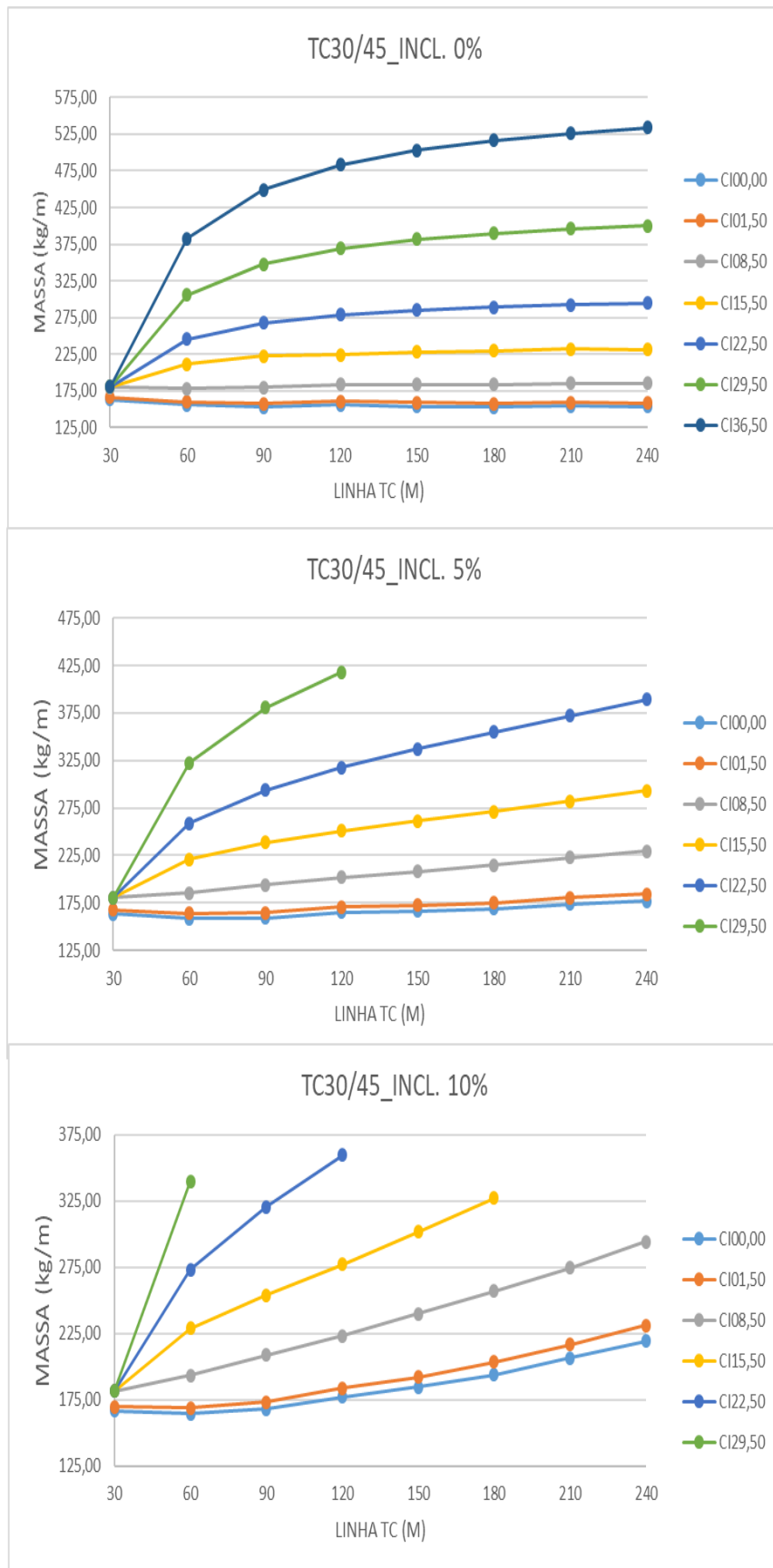


Gráfico C.4. TR30/45 –Simulações Com Inclinação

2.3. TRANSPORTADOR 36”

2.3.1. Velocidade do Vento de 35m/s

Tabela C.5. TR36/35 – Simulações Com Inclinação

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	0%	0,00	1	15,00	151,78
30	0%	1,50	1	15,00	154,67
30	0%	8,50	1	15,00	165,94
30	0%	15,50	0	30,00	174,09
30	0%	22,50	0	30,00	174,09
30	0%	29,50	0	30,00	174,09
30	0%	36,50	0	30,00	174,09
60	0%	0,00	2	20,00	150,92
60	0%	1,50	2	20,00	153,83
60	0%	8,50	2	20,00	169,43
60	0%	15,50	2	20,00	197,79
60	0%	22,50	1	30,00	229,56
60	0%	29,50	1	30,00	275,86
60	0%	36,50	1	30,00	344,65
90	0%	0,00	4	18,00	146,71
90	0%	1,50	4	18,00	150,57
90	0%	8,50	4	18,00	168,12
90	0%	15,50	4	18,00	205,28
90	0%	22,50	2	30,00	248,05
90	0%	29,50	2	30,00	309,79
90	0%	36,50	2	30,00	401,50
120	0%	0,00	6	17,14	150,57
120	0%	1,50	5	20,00	154,56
120	0%	8,50	6	17,14	173,89
120	0%	15,50	5	20,00	209,50
120	0%	22,50	3	30,00	257,29
120	0%	29,50	3	30,00	326,75
120	0%	36,50	3	30,00	429,93
150	0%	0,00	7	18,75	148,29
150	0%	1,50	7	18,75	152,36
150	0%	8,50	7	18,75	172,03
150	0%	15,50	7	18,75	211,39
150	0%	22,50	4	30,00	262,84
150	0%	29,50	4	30,00	336,93
150	0%	36,50	4	30,00	446,98
180	0%	0,00	9	18,00	146,71
180	0%	1,50	9	18,00	151,05
180	0%	8,50	9	18,00	170,80
180	0%	15,50	9	18,00	212,60
180	0%	22,50	5	30,00	266,54
180	0%	29,50	5	30,00	343,71
180	0%	36,50	5	30,00	458,35
210	0%	0,00	10	19,09	149,01
210	0%	1,50	10	19,09	153,16
210	0%	8,50	10	19,09	173,83
210	0%	15,50	10	19,09	214,12
210	0%	22,50	6	30,00	269,18
210	0%	29,50	6	30,00	348,56
210	0%	36,50	6	30,00	466,47
240	0%	0,00	12	18,46	147,69
240	0%	1,50	12	18,46	152,04
240	0%	8,50	12	18,46	172,60
240	0%	15,50	12	18,46	214,64
240	0%	22,50	7	30,00	271,16
240	0%	29,50	7	30,00	352,19
240	0%	36,50	7	30,00	472,57

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	5%	0,00	1	15,02	151,95
30	5%	1,50	1	15,02	156,05
30	5%	8,50	1	15,02	168,81
30	5%	15,50	0	30,04	174,36
30	5%	22,50	0	30,04	174,36
30	5%	29,50	0	30,04	174,36
60	5%	0,00	2	20,02	153,18
60	5%	1,50	2	20,02	157,42
60	5%	8,50	2	20,02	175,78
60	5%	15,50	1	30,04	208,93
60	5%	22,50	1	30,04	239,81
60	5%	29,50	1	30,04	290,94
90	5%	0,00	4	18,02	152,10
90	5%	1,50	4	18,02	156,45
90	5%	8,50	4	18,02	180,33
90	5%	15,50	2	30,04	224,26
90	5%	22,50	2	30,04	268,24
90	5%	29,50	2	30,04	339,62
120	5%	0,00	5	20,02	158,54
120	5%	1,50	5	20,02	163,17
120	5%	8,50	5	20,02	189,53
120	5%	15,50	3	30,04	234,79
120	5%	22,50	3	30,04	287,42
120	5%	29,50	3	30,04	371,34
150	5%	0,00	7	18,77	158,58
150	5%	1,50	7	18,77	163,15
150	5%	8,50	7	18,77	193,40
150	5%	15,50	4	30,04	243,39
150	5%	22,50	4	30,04	302,89
180	5%	0,00	9	18,02	159,47
180	5%	1,50	9	18,02	164,46
180	5%	8,50	9	18,02	198,60
180	5%	15,50	5	30,04	251,49
180	5%	22,50	5	30,04	317,05
210	5%	0,00	10	19,11	164,56
210	5%	1,50	10	19,11	170,27
210	5%	8,50	10	19,11	206,47
210	5%	15,50	6	30,04	260,12
210	5%	22,50	6	30,04	331,38
240	5%	0,00	12	18,48	166,56
240	5%	1,50	12	18,48	172,78
240	5%	8,50	12	18,48	213,19
240	5%	15,50	7	30,04	269,07
240	5%	22,50	7	30,04	345,81

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	10%	0,00	1	15,07	155,38
30	10%	1,50	1	15,07	157,81
30	10%	8,50	1	15,07	172,07
30	10%	15,50	0	30,15	175,17
30	10%	22,50	0	30,15	175,17
30	10%	29,50	0	30,15	175,17
60	10%	0,00	2	20,10	158,16
60	10%	1,50	2	20,10	161,53
60	10%	8,50	2	20,10	182,67
60	10%	15,50	1	30,15	215,54
60	10%	22,50	1	30,15	250,71
60	10%	29,50	1	30,15	306,68
90	10%	0,00	4	18,09	159,08
90	10%	1,50	4	18,09	163,01
90	10%	8,50	4	18,09	193,30
90	10%	15,50	2	30,15	236,66
90	10%	22,50	2	30,15	289,13
120	10%	0,00	5	20,10	168,83
120	10%	1,50	5	20,10	174,17
120	10%	8,50	5	20,10	208,81
120	10%	15,50	3	30,15	255,75
120	10%	22,50	3	30,15	321,47
150	10%	0,00	7	18,84	173,59
150	10%	1,50	7	18,84	179,84
150	10%	8,50	7	18,84	223,57
150	10%	15,50	4	30,15	275,14
180	10%	0,00	9	18,09	180,79
180	10%	1,50	9	18,09	188,70
180	10%	8,50	5	30,15	239,18
180	10%	15,50	5	30,15	295,76
210	10%	0,00	10	19,19	192,98
210	10%	1,50	10	19,19	202,04
210	10%	8,50	6	30,15	253,51
240	10%	0,00	12	18,55	204,66
240	10%	1,50	12	18,55	215,34
240	10%	8,50	7	30,15	269,22

LEGENDA	
LINHA (M)	COMPRIMENTO DA LINHA
CI (M)	COTA INICIAL
QTD COL	QUANTIDADE DE COLUNAS
GAL (M)	VÃO DA GALERIA

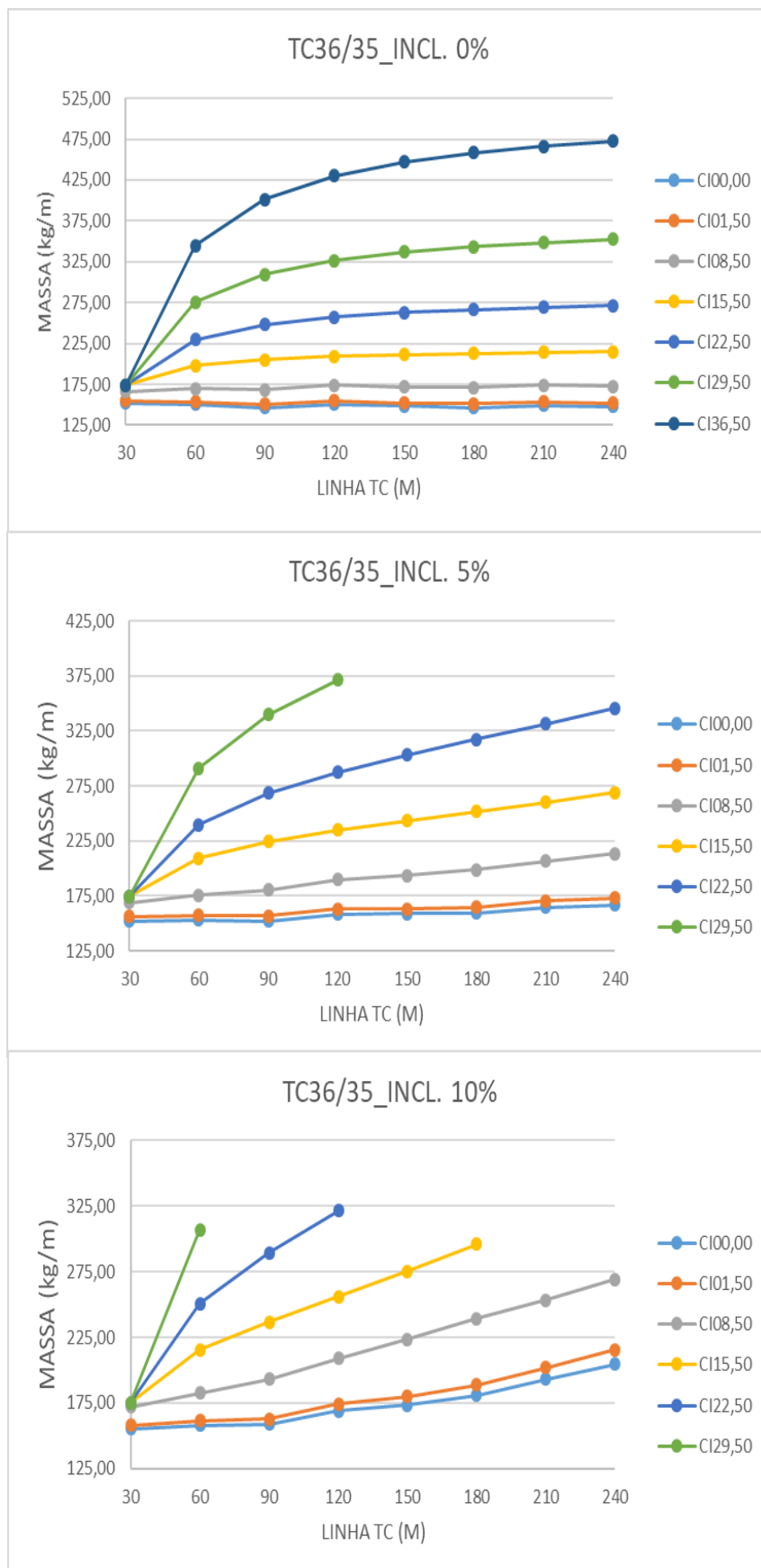


Gráfico C.5. TR36/45 –Simulações Com Inclinação

2.3.2. Velocidade do Vento de 45m/s

Tabela C.6. TR36/45 – Simulações Com Inclinação

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	0%	0,00	1	15,00	165,72
30	0%	1,50	1	15,00	168,61
30	0%	8,50	0	30,00	184,45
30	0%	15,50	0	30,00	184,45
30	0%	22,50	0	30,00	184,45
30	0%	29,50	0	30,00	184,45
30	0%	36,50	0	30,00	184,45
60	0%	0,00	2	20,00	160,15
60	0%	1,50	2	20,00	163,82
60	0%	8,50	2	20,00	183,48
60	0%	15,50	2	20,00	217,00
60	0%	22,50	1	30,00	253,80
60	0%	29,50	1	30,00	310,85
60	0%	36,50	1	30,00	392,67
90	0%	0,00	4	18,00	156,29
90	0%	1,50	4	18,00	161,15
90	0%	8,50	4	18,00	185,49
90	0%	15,50	4	18,00	227,20
90	0%	22,50	2	30,00	276,91
90	0%	29,50	2	30,00	352,98
90	0%	36,50	2	30,00	462,08
120	0%	0,00	5	20,00	160,15
120	0%	1,50	5	20,00	164,73
120	0%	8,50	5	20,00	189,31
120	0%	15,50	4	24,00	228,87
120	0%	22,50	3	30,00	288,47
120	0%	29,50	3	30,00	374,05
120	0%	36,50	3	30,00	496,78
150	0%	0,00	7	18,75	157,74
150	0%	1,50	7	18,75	162,87
150	0%	8,50	7	18,75	189,18
150	0%	15,50	5	25,00	232,59
150	0%	22,50	4	30,00	295,40
150	0%	29,50	4	30,00	386,69
150	0%	36,50	4	30,00	517,61
180	0%	0,00	9	18,00	156,29
180	0%	1,50	9	18,00	161,76
180	0%	8,50	9	18,00	189,14
180	0%	15,50	6	25,71	235,19
180	0%	22,50	5	30,00	300,02
180	0%	29,50	5	30,00	395,11
180	0%	36,50	5	30,00	531,49
210	0%	0,00	10	19,09	158,40
210	0%	1,50	10	19,09	163,64
210	0%	8,50	10	19,09	190,83
210	0%	15,50	7	26,25	237,11
210	0%	22,50	7	26,25	303,22
210	0%	29,50	6	30,00	401,13
210	0%	36,50	6	30,00	541,40
240	0%	0,00	12	18,46	157,18
240	0%	1,50	12	18,46	162,67
240	0%	8,50	12	18,46	190,56
240	0%	15,50	9	24,00	236,35
240	0%	22,50	8	26,67	304,47
240	0%	29,50	7	30,00	405,64
240	0%	36,50	7	30,00	548,84

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	5%	0,00	1	15,02	165,91
30	5%	1,50	1	15,02	170,61
30	5%	8,50	0	30,04	184,76
30	5%	15,50	0	30,04	184,76
30	5%	22,50	0	30,04	184,76
30	5%	29,50	0	30,04	184,76
60	5%	0,00	2	20,02	162,94
60	5%	1,50	2	20,02	168,28
60	5%	8,50	2	20,02	190,93
60	5%	15,50	1	30,04	225,92
60	5%	22,50	1	30,04	266,38
60	5%	29,50	1	30,04	328,76
90	5%	0,00	4	18,02	163,31
90	5%	1,50	4	18,02	169,22
90	5%	8,50	4	18,02	199,17
90	5%	15,50	2	30,04	244,77
90	5%	22,50	2	30,04	301,74
90	5%	29,50	2	30,04	388,46
120	5%	0,00	5	20,02	169,69
120	5%	1,50	5	20,02	175,52
120	5%	8,50	5	20,02	207,55
120	5%	15,50	4	24,03	257,77
120	5%	22,50	3	30,04	325,53
120	5%	29,50	3	30,04	427,08
150	5%	0,00	7	18,77	171,15
150	5%	1,50	7	18,77	177,22
150	5%	8,50	7	18,77	213,58
150	5%	15,50	5	25,03	268,58
150	5%	22,50	4	30,04	344,70
180	5%	0,00	9	18,02	173,40
180	5%	1,50	9	18,02	180,02
180	5%	8,50	9	18,02	220,35
180	5%	15,50	6	25,75	278,93
180	5%	22,50	5	30,04	362,14
210	5%	0,00	10	19,11	178,46
210	5%	1,50	10	19,11	185,61
210	5%	8,50	10	19,11	228,15
210	5%	15,50	7	26,28	289,93
210	5%	22,50	6	30,04	379,61
240	5%	0,00	12	18,48	181,76
240	5%	1,50	12	18,48	189,47
240	5%	8,50	9	24,03	235,41
240	5%	15,50	8	26,70	301,38
240	5%	22,50	7	30,04	397,10

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	10%	0,00	1	15,07	169,38
30	10%	1,50	1	15,07	172,99
30	10%	8,50	0	30,15	185,67
30	10%	15,50	0	30,15	185,67
30	10%	22,50	0	30,15	185,67
30	10%	29,50	0	30,15	185,67
60	10%	0,00	2	20,10	169,04
60	10%	1,50	2	20,10	173,26
60	10%	8,50	2	20,10	198,95
60	10%	15,50	1	30,15	234,65
60	10%	22,50	1	30,15	279,68
60	10%	29,50	1	30,15	347,47
90	10%	0,00	4	18,09	172,58
90	10%	1,50	4	18,09	177,94
90	10%	8,50	4	18,09	213,67
90	10%	15,50	2	30,15	261,28
90	10%	22,50	2	30,15	327,31
120	10%	0,00	5	20,10	182,32
120	10%	1,50	5	20,10	188,85
120	10%	8,50	4	24,12	228,18
120	10%	15,50	3	30,15	285,31
120	10%	22,50	3	30,15	366,94
150	10%	0,00	7	18,84	189,63
150	10%	1,50	7	18,84	197,20
150	10%	8,50	5	25,12	244,22
150	10%	15,50	4	30,15	309,50
180	10%	0,00	9	18,09	198,94
180	10%	1,50	9	18,09	208,31
180	10%	8,50	6	25,84	261,35
180	10%	15,50	5	30,15	334,98
210	10%	0,00	10	19,19	211,71
210	10%	1,50	10	19,19	222,14
210	10%	8,50	7	26,38	280,88
240	10%	0,00	11	20,10	224,92
240	10%	1,50	11	20,10	236,69
240	10%	8,50	7	30,15	301,30

LEGENDA	
LINHA (M)	COMPRIMENTO DA LINHA
CI (M)	COTA INICIAL
QTD COL	QUANTIDADE DE COLUNAS
GAL (M)	VÃO DA GALERIA

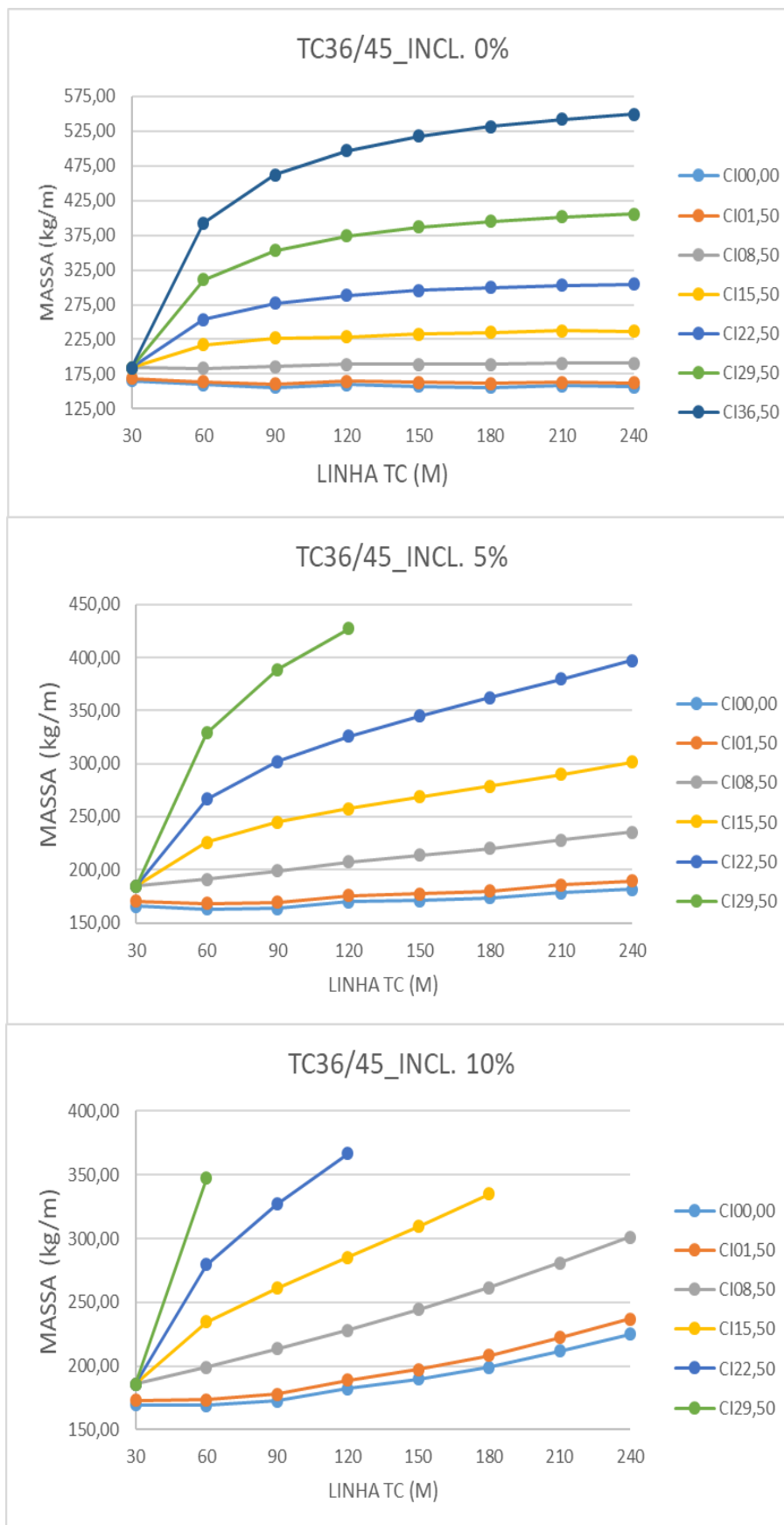


Gráfico C.6. TR36/45 –Simulações Com Inclinação

2.4. TRANSPORTADOR 42”

2.4.1. Velocidade do Vento de 35m/s

Tabela C.7. TR42/35 – Simulações Com Inclinação

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	0%	0,00	1	15,00	155,72
30	0%	1,50	1	15,00	158,68
30	0%	8,50	1	15,00	170,07
30	0%	15,50	0	30,00	176,30
30	0%	22,50	0	30,00	176,30
30	0%	29,50	0	30,00	176,30
30	0%	36,50	0	30,00	176,30
60	0%	0,00	2	20,00	153,72
60	0%	1,50	2	20,00	156,69
60	0%	8,50	2	20,00	174,31
60	0%	15,50	2	20,00	205,04
60	0%	22,50	1	30,00	233,96
60	0%	29,50	1	30,00	282,67
60	0%	36,50	1	30,00	347,34
90	0%	0,00	4	18,00	148,74
90	0%	1,50	4	18,00	152,69
90	0%	8,50	4	18,00	170,93
90	0%	15,50	2	30,00	215,03
90	0%	22,50	2	30,00	253,18
90	0%	29,50	2	30,00	318,13
90	0%	36,50	2	30,00	404,36
120	0%	0,00	5	20,00	153,72
120	0%	1,50	5	20,00	157,44
120	0%	8,50	6	17,14	178,07
120	0%	15,50	4	24,00	217,57
120	0%	22,50	3	30,00	262,79
120	0%	29,50	3	30,00	335,86
120	0%	36,50	3	30,00	432,87
150	0%	0,00	7	18,75	150,61
150	0%	1,50	7	18,75	154,77
150	0%	8,50	7	18,75	175,91
150	0%	15,50	5	25,00	220,70
150	0%	22,50	4	30,00	268,56
150	0%	29,50	4	30,00	346,50
150	0%	36,50	4	30,00	449,97
180	0%	0,00	9	18,00	148,74
180	0%	1,50	9	18,00	153,18
180	0%	8,50	9	18,00	173,71
180	0%	15,50	8	20,00	222,15
180	0%	22,50	5	30,00	272,40
180	0%	29,50	5	30,00	353,59
180	0%	36,50	5	30,00	461,37
210	0%	0,00	10	19,09	151,46
210	0%	1,50	10	19,09	155,71
210	0%	8,50	10	19,09	178,23
210	0%	15,50	10	19,09	224,35
210	0%	22,50	6	30,00	275,15
210	0%	29,50	6	30,00	358,65
210	0%	36,50	6	30,00	469,52
240	0%	0,00	12	18,46	149,89
240	0%	1,50	12	18,46	154,34
240	0%	8,50	12	18,46	176,17
240	0%	15,50	9	24,00	224,14
240	0%	22,50	7	30,00	277,21
240	0%	29,50	7	30,00	362,45
240	0%	36,50	7	30,00	475,63

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	5%	0,00	1	15,02	155,90
30	5%	1,50	1	15,02	160,08
30	5%	8,50	1	15,02	173,30
30	5%	15,50	0	30,04	176,59
30	5%	22,50	0	30,04	176,59
30	5%	29,50	0	30,04	176,59
60	5%	0,00	2	20,02	156,09
60	5%	1,50	2	20,02	160,73
60	5%	8,50	2	20,02	181,19
60	5%	15,50	1	30,04	211,79
60	5%	22,50	1	30,04	244,72
60	5%	29,50	1	30,04	296,85
90	5%	0,00	4	18,02	154,30
90	5%	1,50	4	18,02	158,81
90	5%	8,50	4	18,02	185,69
90	5%	15,50	2	30,04	227,61
90	5%	22,50	2	30,04	274,39
90	5%	29,50	2	30,04	346,18
120	5%	0,00	5	20,02	161,99
120	5%	1,50	6	17,16	167,09
120	5%	8,50	5	20,02	196,21
120	5%	15,50	3	30,04	238,59
120	5%	22,50	3	30,04	294,44
120	5%	29,50	3	30,04	377,78
150	5%	0,00	7	18,77	161,48
150	5%	1,50	7	18,77	166,38
150	5%	8,50	7	18,77	200,79
150	5%	15,50	4	30,04	247,63
150	5%	22,50	4	30,04	310,64
180	5%	0,00	9	18,02	161,95
180	5%	1,50	9	18,02	167,28
180	5%	8,50	9	18,02	206,84
180	5%	15,50	5	30,04	256,19
180	5%	22,50	5	30,04	325,30
210	5%	0,00	10	19,11	168,19
210	5%	1,50	10	19,11	174,50
210	5%	8,50	10	19,11	214,36
210	5%	15,50	6	30,04	265,27
210	5%	22,50	6	30,04	339,74
240	5%	0,00	12	18,48	170,08
240	5%	1,50	12	18,48	177,05
240	5%	8,50	12	18,48	221,25
240	5%	15,50	7	30,04	274,70
240	5%	22,50	7	30,04	354,03

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	10%	0,00	1	15,07	159,40
30	10%	1,50	1	15,07	161,85
30	10%	8,50	1	15,07	176,94
30	10%	15,50	0	30,15	177,47
30	10%	22,50	0	30,15	177,47
30	10%	29,50	0	30,15	177,47
60	10%	0,00	2	20,10	161,53
60	10%	1,50	2	20,10	165,35
60	10%	8,50	2	20,10	188,62
60	10%	15,50	1	30,15	218,86
60	10%	22,50	1	30,15	256,11
60	10%	29,50	1	30,15	311,71
90	10%	0,00	4	18,09	161,57
90	10%	1,50	4	18,09	165,72
90	10%	8,50	4	18,09	201,07
90	10%	15,50	2	30,15	240,87
90	10%	22,50	2	30,15	296,21
120	10%	0,00	6	17,23	173,13
120	10%	1,50	5	20,10	179,37
120	10%	8,50	5	20,10	215,83
120	10%	15,50	3	30,15	260,86
120	10%	22,50	3	30,15	329,01
150	10%	0,00	7	18,84	178,19
150	10%	1,50	7	18,84	185,26
150	10%	8,50	5	25,12	230,04
150	10%	15,50	4	30,15	281,20
180	10%	0,00	9	18,09	186,24
180	10%	1,50	9	18,09	194,75
180	10%	8,50	5	30,15	243,37
180	10%	15,50	5	30,15	302,47
210	10%	0,00	10	19,19	198,95
210	10%	1,50	10	19,19	208,17
210	10%	8,50	6	30,15	258,41
240	10%	0,00	12	18,55	210,35
240	10%	1,50	12	18,55	221,07
240	10%	8,50	7	30,15	274,89

LEGENDA	
LINHA (M)	COMPRIMENTO DA LINHA
CI (M)	COTA INICIAL
QTD COL	QUANTIDADE DE COLUNAS
GAL (M)	VÃO DA GALERIA

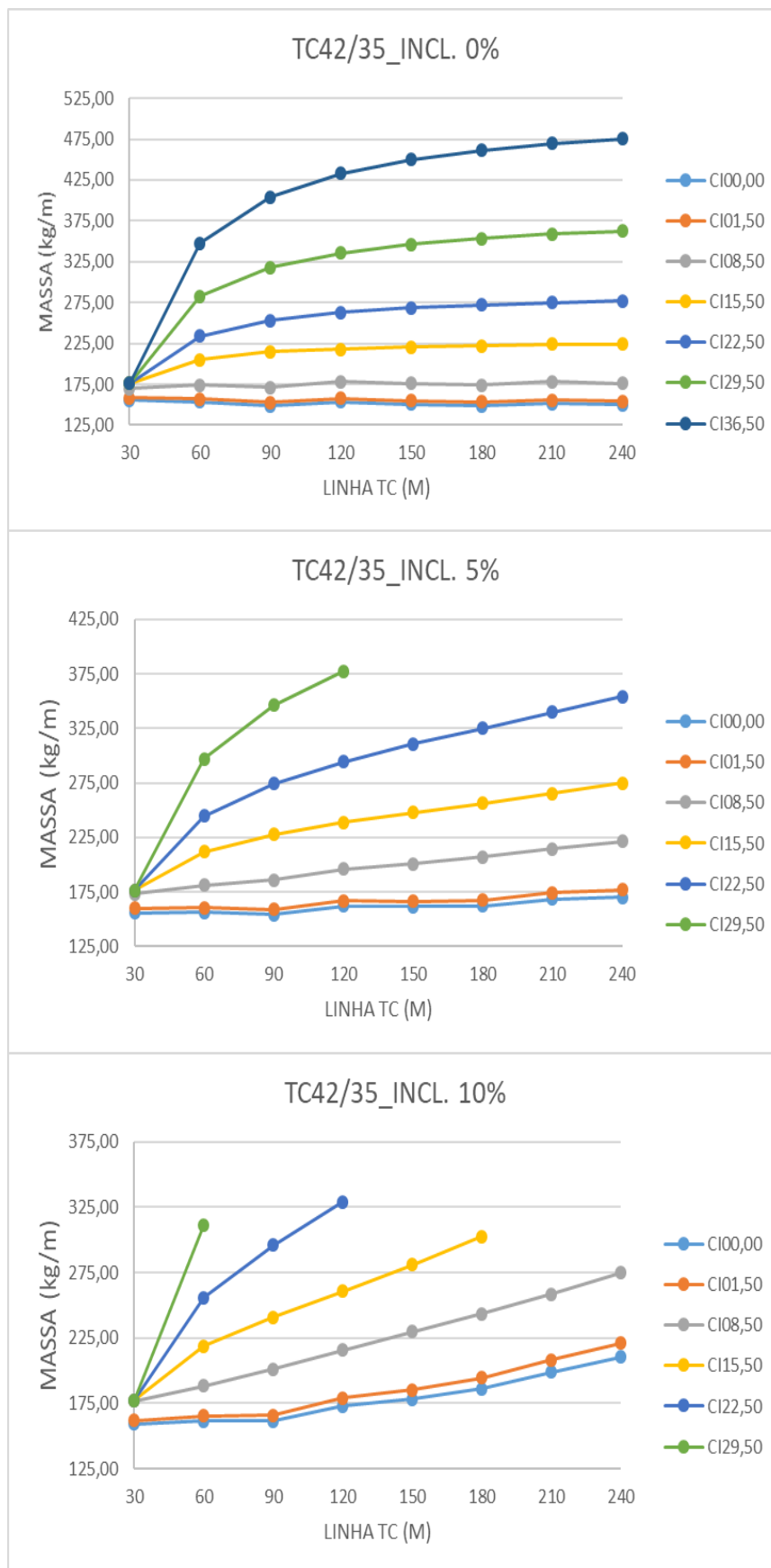


Gráfico C.7. TR42/35 –Simulações Com Inclinação

2.4.2. Velocidade do Vento de 45m/s

Tabela C.8. TR42/45 – Simulações Com Inclinação

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	0%	0,00	1	15,00	172,79
30	0%	1,50	1	15,00	177,27
30	0%	8,50	0	30,00	192,72
30	0%	15,50	0	30,00	192,72
30	0%	22,50	0	30,00	192,72
30	0%	29,50	0	30,00	192,72
30	0%	36,50	0	30,00	192,72
60	0%	0,00	2	20,00	164,28
60	0%	1,50	2	20,00	168,71
60	0%	8,50	2	20,00	188,51
60	0%	15,50	2	20,00	222,10
60	0%	22,50	1	30,00	263,92
60	0%	29,50	1	30,00	319,53
60	0%	36,50	1	30,00	401,58
90	0%	0,00	4	18,00	159,97
90	0%	1,50	4	18,00	165,88
90	0%	8,50	4	18,00	191,86
90	0%	15,50	4	18,00	233,24
90	0%	22,50	2	30,00	287,65
90	0%	29,50	2	30,00	361,80
90	0%	36,50	2	30,00	471,20
120	0%	0,00	5	20,00	164,28
120	0%	1,50	5	20,00	169,81
120	0%	8,50	5	20,00	194,57
120	0%	15,50	4	24,00	233,27
120	0%	22,50	3	30,00	299,52
120	0%	29,50	3	30,00	382,93
120	0%	36,50	3	30,00	506,01
150	0%	0,00	7	18,75	161,58
150	0%	1,50	7	18,75	167,80
150	0%	8,50	7	18,75	195,31
150	0%	15,50	5	25,00	237,71
150	0%	22,50	5	25,00	303,72
150	0%	29,50	4	30,00	395,61
150	0%	36,50	4	30,00	526,89
180	0%	0,00	9	18,00	159,97
180	0%	1,50	9	18,00	166,62
180	0%	8,50	9	18,00	195,84
180	0%	15,50	6	25,71	240,86
180	0%	22,50	6	25,71	306,18
180	0%	29,50	5	30,00	404,06
180	0%	36,50	5	30,00	540,82
210	0%	0,00	10	19,09	162,32
210	0%	1,50	10	19,09	168,66
210	0%	8,50	10	19,09	196,82
210	0%	15,50	10	19,09	243,17
210	0%	22,50	7	26,25	307,92
210	0%	29,50	6	30,00	410,10
210	0%	36,50	6	30,00	550,76
240	0%	0,00	12	18,46	160,96
240	0%	1,50	12	18,46	167,62
240	0%	8,50	12	18,46	197,01
240	0%	15,50	9	24,00	240,81
240	0%	22,50	8	26,67	309,21
240	0%	29,50	7	30,00	414,63
240	0%	36,50	7	30,00	558,22

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	5%	0,00	1	15,02	172,98
30	5%	1,50	1	15,02	179,41
30	5%	8,50	0	30,04	193,03
30	5%	15,50	0	30,04	193,03
30	5%	22,50	0	30,04	193,03
30	5%	29,50	0	30,04	193,03
60	5%	0,00	2	20,02	167,46
60	5%	1,50	2	20,02	173,21
60	5%	8,50	2	20,02	195,98
60	5%	15,50	1	30,04	234,75
60	5%	22,50	1	30,04	276,20
60	5%	29,50	1	30,04	337,49
90	5%	0,00	4	18,02	167,99
90	5%	1,50	4	18,02	174,48
90	5%	8,50	4	18,02	205,43
90	5%	15,50	2	30,04	254,02
90	5%	22,50	2	30,04	311,86
90	5%	29,50	2	30,04	397,37
120	5%	0,00	5	20,02	174,62
120	5%	1,50	5	20,02	180,68
120	5%	8,50	5	20,02	212,84
120	5%	15,50	4	24,03	262,22
120	5%	22,50	3	30,04	335,65
120	5%	29,50	3	30,04	436,11
150	5%	0,00	7	18,77	176,33
150	5%	1,50	7	18,77	182,80
150	5%	8,50	7	18,77	219,60
150	5%	15,50	5	25,03	273,42
150	5%	22,50	4	30,04	354,69
180	5%	0,00	9	18,02	178,93
180	5%	1,50	9	18,02	186,02
180	5%	8,50	8	20,02	226,27
180	5%	15,50	6	25,75	283,98
180	5%	22,50	5	30,04	371,99
210	5%	0,00	10	19,11	183,88
210	5%	1,50	10	19,11	191,28
210	5%	8,50	10	19,11	234,26
210	5%	15,50	7	26,28	295,09
210	5%	22,50	6	30,04	389,37
240	5%	0,00	12	18,48	187,49
240	5%	1,50	12	18,48	195,47
240	5%	8,50	9	24,03	239,83
240	5%	15,50	8	26,70	306,61
240	5%	22,50	7	30,04	406,81

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	10%	0,00	1	15,07	178,03
30	10%	1,50	1	15,07	181,94
30	10%	8,50	0	30,15	193,95
30	10%	15,50	0	30,15	193,95
30	10%	22,50	0	30,15	193,95
30	10%	29,50	0	30,15	193,95
60	10%	0,00	2	20,10	173,98
60	10%	1,50	2	20,10	178,23
60	10%	8,50	2	20,10	204,00
60	10%	15,50	1	30,15	243,85
60	10%	22,50	1	30,15	289,19
60	10%	29,50	1	30,15	356,26
90	10%	0,00	4	18,09	178,02
90	10%	1,50	4	18,09	183,70
90	10%	8,50	4	18,09	219,81
90	10%	15,50	2	30,15	271,24
90	10%	22,50	2	30,15	336,82
120	10%	0,00	5	20,10	187,51
120	10%	1,50	5	20,10	194,06
120	10%	8,50	4	24,12	232,61
120	10%	15,50	3	30,15	295,57
120	10%	22,50	3	30,15	376,37
150	10%	0,00	7	18,84	195,35
150	10%	1,50	7	18,84	203,03
150	10%	8,50	5	25,12	249,11
150	10%	15,50	4	30,15	319,69
180	10%	0,00	9	18,09	205,04
180	10%	1,50	9	18,09	214,49
180	10%	8,50	6	25,84	266,47
180	10%	15,50	5	30,15	345,00
210	10%	0,00	10	19,19	217,70
210	10%	1,50	10	19,19	228,41
210	10%	8,50	7	26,38	286,14
240	10%	0,00	9	24,12	231,22
240	10%	1,50	9	24,12	241,79
240	10%	8,50	8	26,80	307,51

LEGENDA	
LINHA (M)	COMPRIMENTO DA LINHA
CI (M)	COTA INICIAL
QTD COL	QUANTIDADE DE COLUNAS
GAL (M)	VÃO DA GALERIA

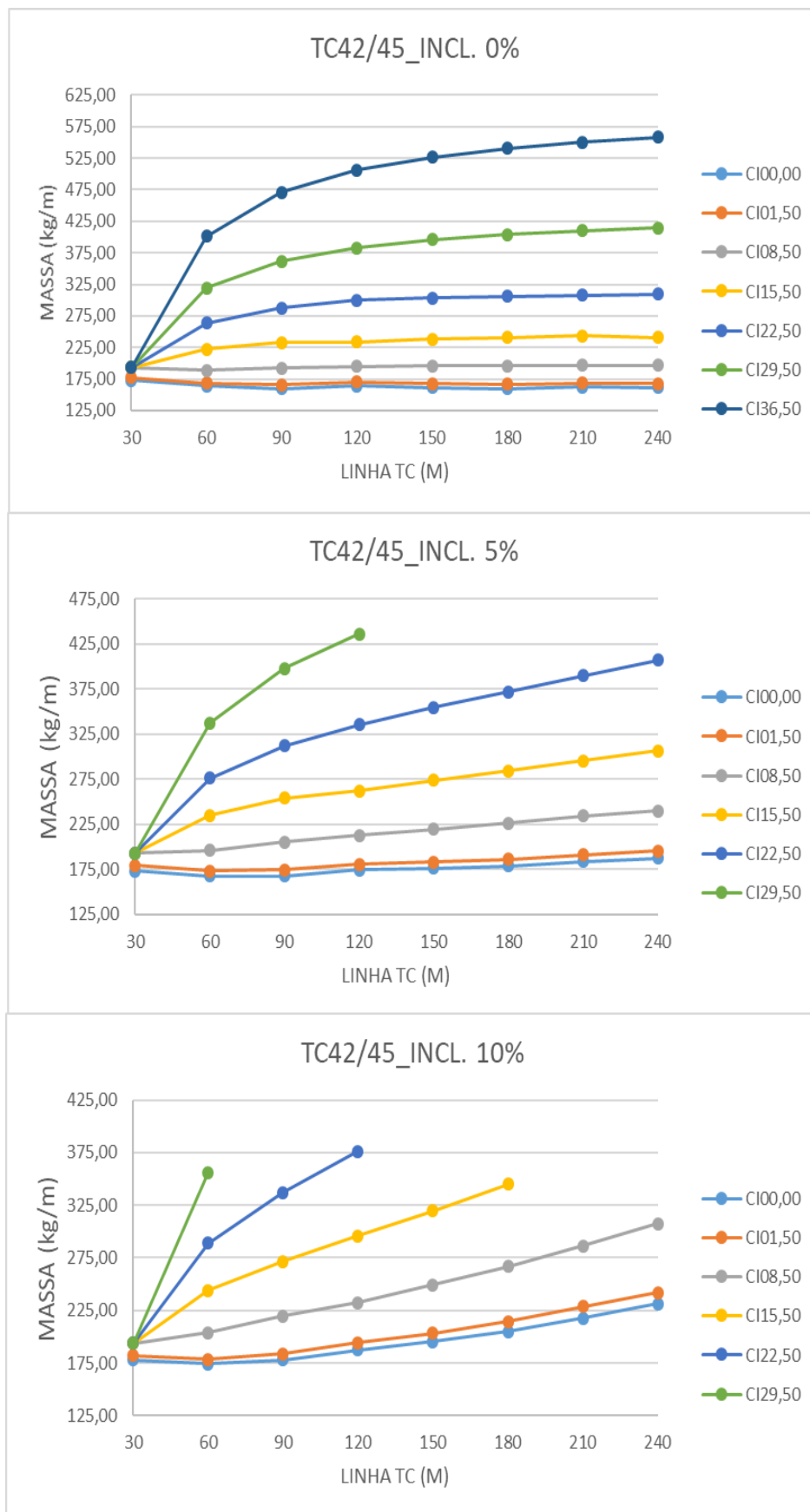


Gráfico C.8. TR42/45 –Simulações Com Inclinação

2.5. TRANSPORTADOR 48''

2.5.1. Velocidade do Vento de 35m/s

Tabela C.9. TR48/35 – Simulações Com Inclinação

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	0%	0,00	1	15,00	164,20
30	0%	1,50	1	15,00	168,72
30	0%	8,50	0	30,00	182,39
30	0%	15,50	0	30,00	182,39
30	0%	22,50	0	30,00	182,39
30	0%	29,50	0	30,00	182,39
30	0%	36,50	0	30,00	182,39
60	0%	0,00	2	20,00	158,09
60	0%	1,50	2	20,00	162,63
60	0%	8,50	2	20,00	180,82
60	0%	15,50	2	20,00	209,47
60	0%	22,50	1	30,00	240,42
60	0%	29,50	1	30,00	291,83
60	0%	36,50	1	30,00	353,93
90	0%	0,00	4	18,00	152,89
90	0%	1,50	4	18,00	158,91
90	0%	8,50	4	18,00	181,87
90	0%	15,50	4	18,00	219,36
90	0%	22,50	2	30,00	259,76
90	0%	29,50	2	30,00	328,31
90	0%	36,50	2	30,00	411,11
120	0%	0,00	5	20,00	158,09
120	0%	1,50	5	20,00	163,77
120	0%	8,50	5	20,00	186,50
120	0%	15,50	5	20,00	222,32
120	0%	22,50	3	30,00	269,43
120	0%	29,50	3	30,00	346,54
120	0%	36,50	3	30,00	439,70
150	0%	0,00	7	18,75	154,84
150	0%	1,50	7	18,75	161,19
150	0%	8,50	7	18,75	185,84
150	0%	15,50	7	18,75	225,56
150	0%	22,50	4	30,00	275,23
150	0%	29,50	4	30,00	357,49
150	0%	36,50	4	30,00	456,85
180	0%	0,00	9	18,00	152,89
180	0%	1,50	9	18,00	159,67
180	0%	8,50	9	18,00	185,50
180	0%	15,50	8	20,00	226,60
180	0%	22,50	5	30,00	279,10
180	0%	29,50	5	30,00	364,78
180	0%	36,50	5	30,00	468,29
210	0%	0,00	10	19,09	155,73
210	0%	1,50	10	19,09	162,22
210	0%	8,50	10	19,09	187,60
210	0%	15,50	10	19,09	228,27
210	0%	22,50	6	30,00	281,86
210	0%	29,50	6	30,00	369,99
210	0%	36,50	6	30,00	476,46
240	0%	0,00	12	18,46	154,09
240	0%	1,50	12	18,46	160,89
240	0%	8,50	12	18,46	187,08
240	0%	15,50	11	20,00	228,74
240	0%	22,50	7	30,00	283,94
240	0%	29,50	7	30,00	373,90
240	0%	36,50	7	30,00	482,58

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	5%	0,00	1	15,02	164,38
30	5%	1,50	1	15,02	170,57
30	5%	8,50	0	30,04	182,70
30	5%	15,50	0	30,04	182,70
30	5%	22,50	0	30,04	182,70
30	5%	29,50	0	30,04	182,70
60	5%	0,00	2	20,02	161,27
60	5%	1,50	2	20,02	166,79
60	5%	8,50	2	20,02	187,23
60	5%	15,50	1	30,04	218,14
60	5%	22,50	1	30,04	251,77
60	5%	29,50	1	30,04	305,48
90	5%	0,00	4	18,02	160,61
90	5%	1,50	4	18,02	166,55
90	5%	8,50	4	18,02	194,19
90	5%	15,50	2	30,04	234,07
90	5%	22,50	2	30,04	282,14
90	5%	29,50	2	30,04	355,29
120	5%	0,00	5	20,02	168,09
120	5%	1,50	5	20,02	173,78
120	5%	8,50	5	20,02	202,13
120	5%	15,50	3	30,04	245,11
120	5%	22,50	3	30,04	302,84
120	5%	29,50	3	30,04	386,86
150	5%	0,00	7	18,77	168,75
150	5%	1,50	7	18,77	174,66
150	5%	8,50	7	18,77	207,40
150	5%	15,50	4	30,04	254,21
150	5%	22,50	4	30,04	319,66
180	5%	0,00	9	18,02	170,49
180	5%	1,50	9	18,02	176,87
180	5%	8,50	9	18,02	213,54
180	5%	15,50	5	30,04	262,87
180	5%	22,50	5	30,04	334,80
210	5%	0,00	10	19,11	175,88
210	5%	1,50	10	19,11	182,57
210	5%	8,50	10	19,11	220,43
210	5%	15,50	6	30,04	272,20
210	5%	22,50	6	30,04	349,42
240	5%	0,00	12	18,48	178,56
240	5%	1,50	12	18,48	185,76
240	5%	8,50	11	20,02	227,08
240	5%	15,50	7	30,04	281,95
240	5%	22,50	7	30,04	363,72

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	10%	0,00	1	15,07	169,44
30	10%	1,50	1	15,07	172,79
30	10%	8,50	0	30,15	183,61
30	10%	15,50	0	30,15	183,61
30	10%	22,50	0	30,15	183,61
30	10%	29,50	0	30,15	183,61
60	10%	0,00	2	20,10	167,59
60	10%	1,50	2	20,10	171,49
60	10%	8,50	2	20,10	194,19
60	10%	15,50	1	30,15	225,30
60	10%	22,50	1	30,15	263,81
60	10%	29,50	1	30,15	319,88
90	10%	0,00	4	18,09	169,78
90	10%	1,50	4	18,09	174,82
90	10%	8,50	4	18,09	207,27
90	10%	15,50	2	30,15	247,43
90	10%	22,50	2	30,15	305,22
120	10%	0,00	5	20,10	180,02
120	10%	1,50	5	20,10	185,84
120	10%	8,50	5	20,10	221,26
120	10%	15,50	3	30,15	267,90
120	10%	22,50	3	30,15	338,50
150	10%	0,00	7	18,84	185,93
150	10%	1,50	7	18,84	192,76
150	10%	8,50	4	30,15	237,19
150	10%	15,50	4	30,15	289,00
180	10%	0,00	9	18,09	194,08
180	10%	1,50	9	18,09	202,58
180	10%	8,50	5	30,15	250,10
180	10%	15,50	5	30,15	310,92
210	10%	0,00	10	19,19	205,83
210	10%	1,50	10	19,19	215,21
210	10%	8,50	6	30,15	265,61
240	10%	0,00	11	20,10	217,92
240	10%	1,50	11	20,10	228,07
240	10%	8,50	7	30,15	282,75

LEGENDA	
LINHA (M)	COMPIMENTO DA LINHA
CI (M)	COTA INICIAL
QTD COL	QUANTIDADE DE COLUNAS
GAL (M)	VÃO DA GALERIA

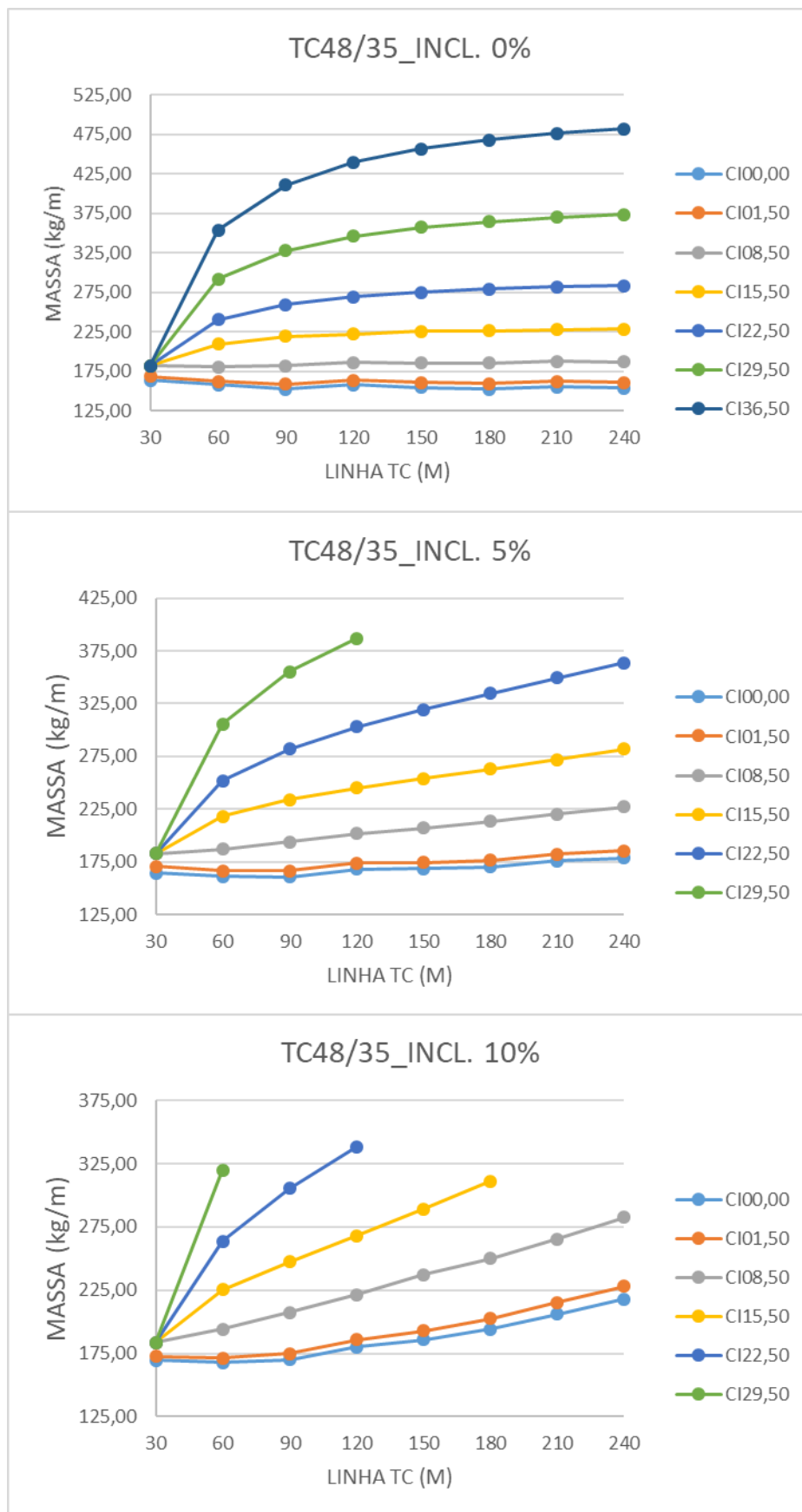


Gráfico C.9. TR48/35 –Simulações Com Inclinação

2.5.2. Velocidade do Vento de 45m/s

Tabela C.10. TR48/45 – Simulações Com Inclinação

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	0%	0,00	1	15,00	174,38
30	0%	1,50	1	15,00	178,90
30	0%	8,50	1	15,00	197,50
30	0%	15,50	0	30,00	204,78
30	0%	22,50	0	30,00	204,78
30	0%	29,50	0	30,00	204,78
30	0%	36,50	0	30,00	204,78
60	0%	0,00	2	20,00	172,88
60	0%	1,50	2	20,00	177,42
60	0%	8,50	2	20,00	197,18
60	0%	15,50	2	20,00	231,21
60	0%	22,50	1	30,00	276,38
60	0%	29,50	1	30,00	332,00
60	0%	36,50	1	30,00	414,27
90	0%	0,00	4	18,00	169,07
90	0%	1,50	4	18,00	175,09
90	0%	8,50	4	18,00	201,29
90	0%	15,50	4	18,00	243,03
90	0%	22,50	2	30,00	300,25
90	0%	29,50	2	30,00	374,40
90	0%	36,50	2	30,00	484,10
120	0%	0,00	5	20,00	172,88
120	0%	1,50	5	20,00	178,55
120	0%	8,50	4	24,00	200,90
120	0%	15,50	4	24,00	239,31
120	0%	22,50	4	24,00	306,72
120	0%	29,50	3	30,00	395,61
120	0%	36,50	3	30,00	519,02
150	0%	0,00	7	18,75	170,50
150	0%	1,50	7	18,75	176,85
150	0%	8,50	5	25,00	204,33
150	0%	15,50	5	25,00	243,16
150	0%	22,50	5	25,00	310,71
150	0%	29,50	4	30,00	408,33
150	0%	36,50	4	30,00	539,97
180	0%	0,00	9	18,00	169,07
180	0%	1,50	9	18,00	175,84
180	0%	8,50	8	20,00	205,27
180	0%	15,50	6	25,71	245,85
180	0%	22,50	6	25,71	313,35
180	0%	29,50	5	30,00	416,81
180	0%	36,50	5	30,00	553,94
210	0%	0,00	10	19,09	171,15
210	0%	1,50	10	19,09	177,63
210	0%	8,50	10	19,09	205,86
210	0%	15,50	7	26,25	247,82
210	0%	22,50	7	26,25	315,23
210	0%	29,50	6	30,00	422,87
210	0%	36,50	6	30,00	563,91
240	0%	0,00	12	18,46	169,95
240	0%	1,50	12	18,46	176,74
240	0%	8,50	9	24,00	204,00
240	0%	15,50	9	24,00	247,21
240	0%	22,50	8	26,67	316,62
240	0%	29,50	7	30,00	427,41
240	0%	36,50	7	30,00	571,39

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	5%	0,00	1	15,02	174,59
30	5%	1,50	1	15,02	181,10
30	5%	8,50	1	15,02	200,91
30	5%	15,50	0	30,04	205,07
30	5%	22,50	0	30,04	205,07
30	5%	29,50	0	30,04	205,07
60	5%	0,00	2	20,02	176,12
60	5%	1,50	2	20,02	181,92
60	5%	8,50	2	20,02	204,74
60	5%	15,50	2	20,02	244,69
60	5%	22,50	1	30,04	288,64
60	5%	29,50	1	30,04	349,99
90	5%	0,00	4	18,02	177,21
90	5%	1,50	4	18,02	183,77
90	5%	8,50	4	18,02	214,98
90	5%	15,50	4	18,02	266,64
90	5%	22,50	2	30,04	324,45
90	5%	29,50	2	30,04	410,06
120	5%	0,00	5	20,02	183,33
120	5%	1,50	5	20,02	189,40
120	5%	8,50	4	24,03	217,69
120	5%	15,50	4	24,03	268,54
120	5%	22,50	3	30,04	348,31
120	5%	29,50	3	30,04	448,92
150	5%	0,00	7	18,77	185,40
150	5%	1,50	7	18,77	191,91
150	5%	8,50	5	25,03	225,47
150	5%	15,50	5	25,03	279,69
150	5%	22,50	4	30,04	367,39
180	5%	0,00	9	18,02	188,26
180	5%	1,50	9	18,02	195,41
180	5%	8,50	6	25,75	232,71
180	5%	15,50	6	25,75	290,32
180	5%	22,50	5	30,04	384,72
210	5%	0,00	10	19,11	192,89
210	5%	1,50	10	19,11	200,34
210	5%	8,50	7	26,28	240,12
210	5%	15,50	7	26,28	301,46
210	5%	22,50	7	26,28	401,48
240	5%	0,00	12	18,48	196,74
240	5%	1,50	9	24,03	203,65
240	5%	8,50	9	24,03	245,52
240	5%	15,50	8	26,70	312,89
240	5%	22,50	8	26,70	417,65

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	10%	0,00	1	15,07	179,73
30	10%	1,50	1	15,07	183,72
30	10%	8,50	1	15,07	204,76
30	10%	15,50	0	30,15	205,95
30	10%	22,50	0	30,15	205,95
30	10%	29,50	0	30,15	205,95
60	10%	0,00	2	20,10	182,70
60	10%	1,50	2	20,10	186,94
60	10%	8,50	2	20,10	212,87
60	10%	15,50	1	30,15	256,76
60	10%	22,50	1	30,15	301,60
60	10%	29,50	1	30,15	368,76
90	10%	0,00	4	18,09	187,35
90	10%	1,50	4	18,09	193,08
90	10%	8,50	4	18,09	229,49
90	10%	15,50	2	30,15	284,20
90	10%	22,50	2	30,15	349,37
120	10%	0,00	4	24,12	195,63
120	10%	1,50	4	24,12	201,09
120	10%	8,50	4	24,12	238,06
120	10%	15,50	4	24,12	302,60
120	10%	22,50	3	30,15	389,02
150	10%	0,00	7	18,84	204,58
150	10%	1,50	5	25,12	211,71
150	10%	8,50	5	25,12	254,68
150	10%	15,50	5	25,12	327,83
180	10%	0,00	9	18,09	214,60
180	10%	1,50	6	25,84	222,84
180	10%	8,50	6	25,84	272,23
180	10%	15,50	6	25,84	354,19
210	10%	0,00	7	26,38	226,35
210	10%	1,50	7	26,38	235,22
210	10%	8,50	7	26,38	291,91
240	10%	0,00	9	24,12	236,27
240	10%	1,50	9	24,12	247,13
240	10%	8,50	8	26,80	313,10

LEGENDA	
LINHA (M)	COMPRIMENTO DA LINHA
CI (M)	COTA INICIAL
QTD COL	QUANTIDADE DE COLUNAS
GAL (M)	VÃO DA GALERIA

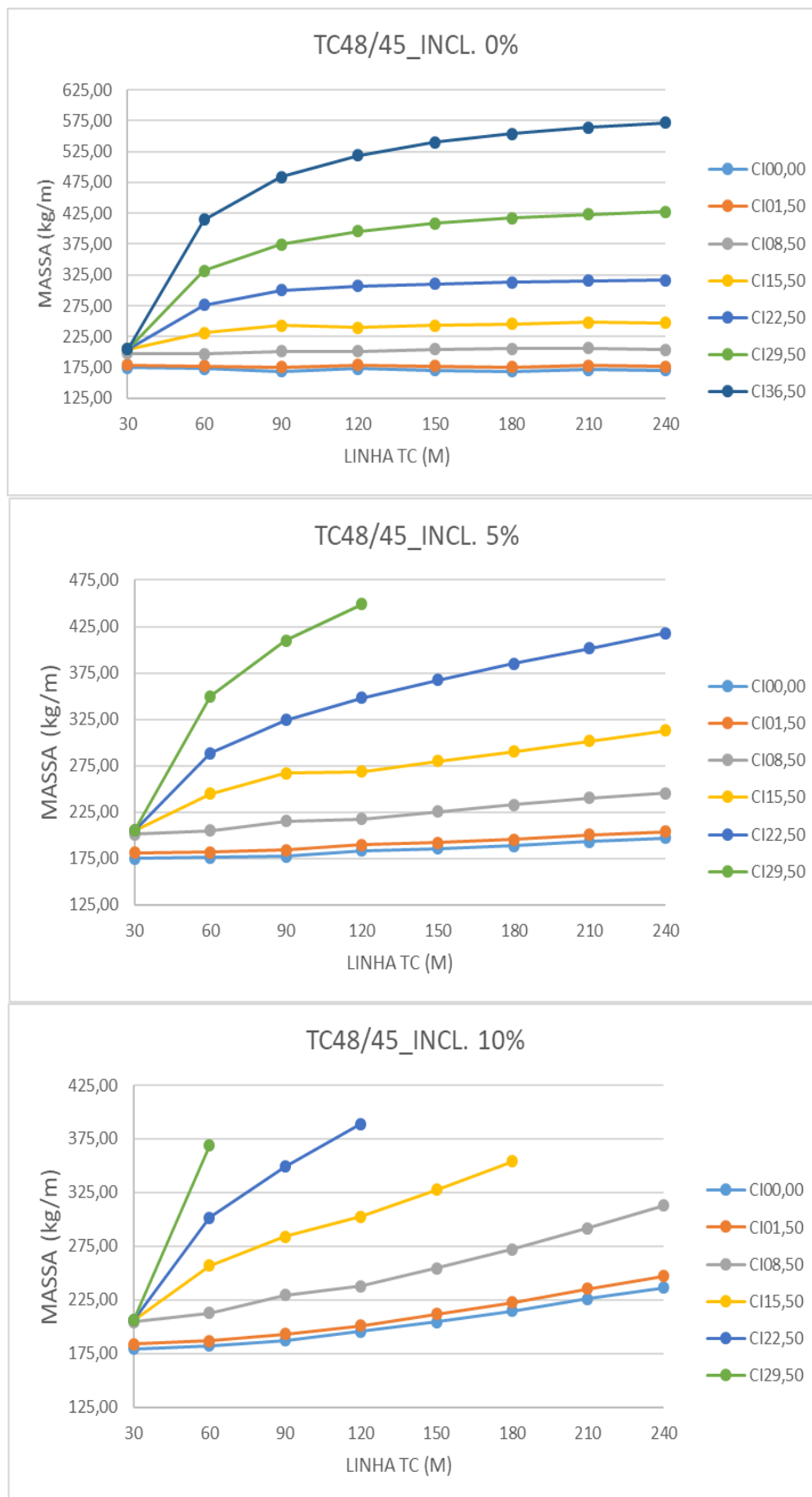


Gráfico C.10. TR48/45 – Simulações Com Inclinação

2.6. TRANSPORTADOR 54”

2.6.1. Velocidade do Vento de 35m/s

Tabela C.11. TR54/35 – Simulações Com Inclinação

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	0%	0,00	1	15,00	167,67
30	0%	1,50	1	15,00	172,32
30	0%	8,50	1	15,00	189,32
30	0%	15,50	0	30,00	194,48
30	0%	22,50	0	30,00	194,48
30	0%	29,50	0	30,00	194,48
30	0%	36,50	0	30,00	194,48
60	0%	0,00	2	20,00	163,26
60	0%	1,50	2	20,00	167,93
60	0%	8,50	2	20,00	187,28
60	0%	15,50	2	20,00	216,94
60	0%	22,50	1	30,00	255,35
60	0%	29,50	1	30,00	309,94
60	0%	36,50	1	30,00	375,83
90	0%	0,00	4	18,00	158,14
90	0%	1,50	4	18,00	164,34
90	0%	8,50	4	18,00	188,81
90	0%	15,50	4	18,00	226,45
90	0%	22,50	2	30,00	275,64
90	0%	29,50	2	30,00	348,42
90	0%	36,50	2	30,00	436,28
120	0%	0,00	5	20,00	163,26
120	0%	1,50	5	20,00	169,09
120	0%	8,50	5	20,00	193,29
120	0%	15,50	5	20,00	230,35
120	0%	22,50	3	30,00	285,78
120	0%	29,50	3	30,00	367,66
120	0%	36,50	3	30,00	466,51
150	0%	0,00	7	18,75	160,06
150	0%	1,50	7	18,75	166,59
150	0%	8,50	7	18,75	192,85
150	0%	15,50	7	18,75	233,17
150	0%	22,50	4	30,00	291,87
150	0%	29,50	4	30,00	379,21
150	0%	36,50	4	30,00	484,64
180	0%	0,00	9	18,00	158,14
180	0%	1,50	9	18,00	165,11
180	0%	8,50	9	18,00	192,65
180	0%	15,50	8	20,00	234,83
180	0%	22,50	6	25,71	295,53
180	0%	29,50	5	30,00	386,91
180	0%	36,50	5	30,00	496,73
210	0%	0,00	10	19,09	160,93
210	0%	1,50	10	19,09	167,60
210	0%	8,50	10	19,09	194,65
210	0%	15,50	10	19,09	236,14
210	0%	22,50	7	26,25	298,22
210	0%	29,50	6	30,00	392,40
210	0%	36,50	6	30,00	505,37
240	0%	0,00	12	18,46	159,32
240	0%	1,50	12	18,46	166,31
240	0%	8,50	12	18,46	194,22
240	0%	15,50	11	20,00	237,06
240	0%	22,50	8	26,67	300,28
240	0%	29,50	7	30,00	396,53
240	0%	36,50	7	30,00	511,84

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	5%	0,00	1	15,02	167,86
30	5%	1,50	1	15,02	174,33
30	5%	8,50	1	15,02	192,49
30	5%	15,50	0	30,04	194,78
30	5%	22,50	0	30,04	194,78
30	5%	29,50	0	30,04	194,78
60	5%	0,00	2	20,02	166,55
60	5%	1,50	2	20,02	172,34
60	5%	8,50	2	20,02	193,92
60	5%	15,50	2	20,02	227,71
60	5%	22,50	1	30,04	267,39
60	5%	29,50	1	30,04	324,38
90	5%	0,00	4	18,02	166,19
90	5%	1,50	4	18,02	172,47
90	5%	8,50	4	18,02	201,19
90	5%	15,50	4	18,02	247,47
90	5%	22,50	2	30,04	299,39
90	5%	29,50	2	30,04	377,00
120	5%	0,00	5	20,02	173,73
120	5%	1,50	5	20,02	179,74
120	5%	8,50	5	20,02	209,47
120	5%	15,50	5	20,02	256,85
120	5%	22,50	3	30,04	321,23
120	5%	29,50	3	30,04	410,38
150	5%	0,00	7	18,77	174,67
150	5%	1,50	7	18,77	180,93
150	5%	8,50	7	18,77	214,74
150	5%	15,50	5	25,03	267,15
150	5%	22,50	4	30,04	339,01
180	5%	0,00	9	18,02	176,66
180	5%	1,50	9	18,02	183,39
180	5%	8,50	9	18,02	220,78
180	5%	15,50	6	25,75	277,00
180	5%	22,50	5	30,04	355,03
210	5%	0,00	10	19,11	182,14
210	5%	1,50	10	19,11	189,15
210	5%	8,50	10	19,11	227,98
210	5%	15,50	7	26,28	287,46
210	5%	22,50	6	30,04	370,51
240	5%	0,00	12	18,48	185,02
240	5%	1,50	12	18,48	192,50
240	5%	8,50	11	20,02	234,98
240	5%	15,50	9	24,03	298,13
240	5%	22,50	7	30,04	385,66

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	10%	0,00	1	15,07	173,08
30	10%	1,50	1	15,07	176,73
30	10%	8,50	0	30,15	195,67
30	10%	15,50	0	30,15	195,67
30	10%	22,50	0	30,15	195,67
30	10%	29,50	0	30,15	195,67
60	10%	0,00	2	20,10	173,15
60	10%	1,50	2	20,10	177,31
60	10%	8,50	2	20,10	201,13
60	10%	15,50	2	20,10	239,07
60	10%	22,50	1	30,15	280,09
60	10%	29,50	1	30,15	339,53
90	10%	0,00	4	18,09	175,88
90	10%	1,50	4	18,09	181,23
90	10%	8,50	4	18,09	214,35
90	10%	15,50	2	30,15	263,35
90	10%	22,50	2	30,15	323,77
120	10%	0,00	5	20,10	186,31
120	10%	1,50	5	20,10	192,42
120	10%	8,50	5	20,10	228,99
120	10%	15,50	4	24,12	284,68
120	10%	22,50	3	30,15	358,95
150	10%	0,00	7	18,84	192,57
150	10%	1,50	7	18,84	199,65
150	10%	8,50	7	18,84	244,77
150	10%	15,50	4	30,15	306,92
180	10%	0,00	9	18,09	200,88
180	10%	1,50	9	18,09	209,52
180	10%	8,50	8	20,10	260,35
180	10%	15,50	5	30,15	330,03
210	10%	0,00	10	19,19	212,85
210	10%	1,50	10	19,19	222,37
210	10%	8,50	7	26,38	279,81
240	10%	0,00	12	18,55	225,13
240	10%	1,50	11	20,10	235,71
240	10%	8,50	8	26,80	299,31

LEGENDA	
LINHA (M)	COMPRIMENTO DA LINHA
CI (M)	COTA INICIAL
QTD COL	QUANTIDADE DE COLUNAS
GAL (M)	VÃO DA GALERIA

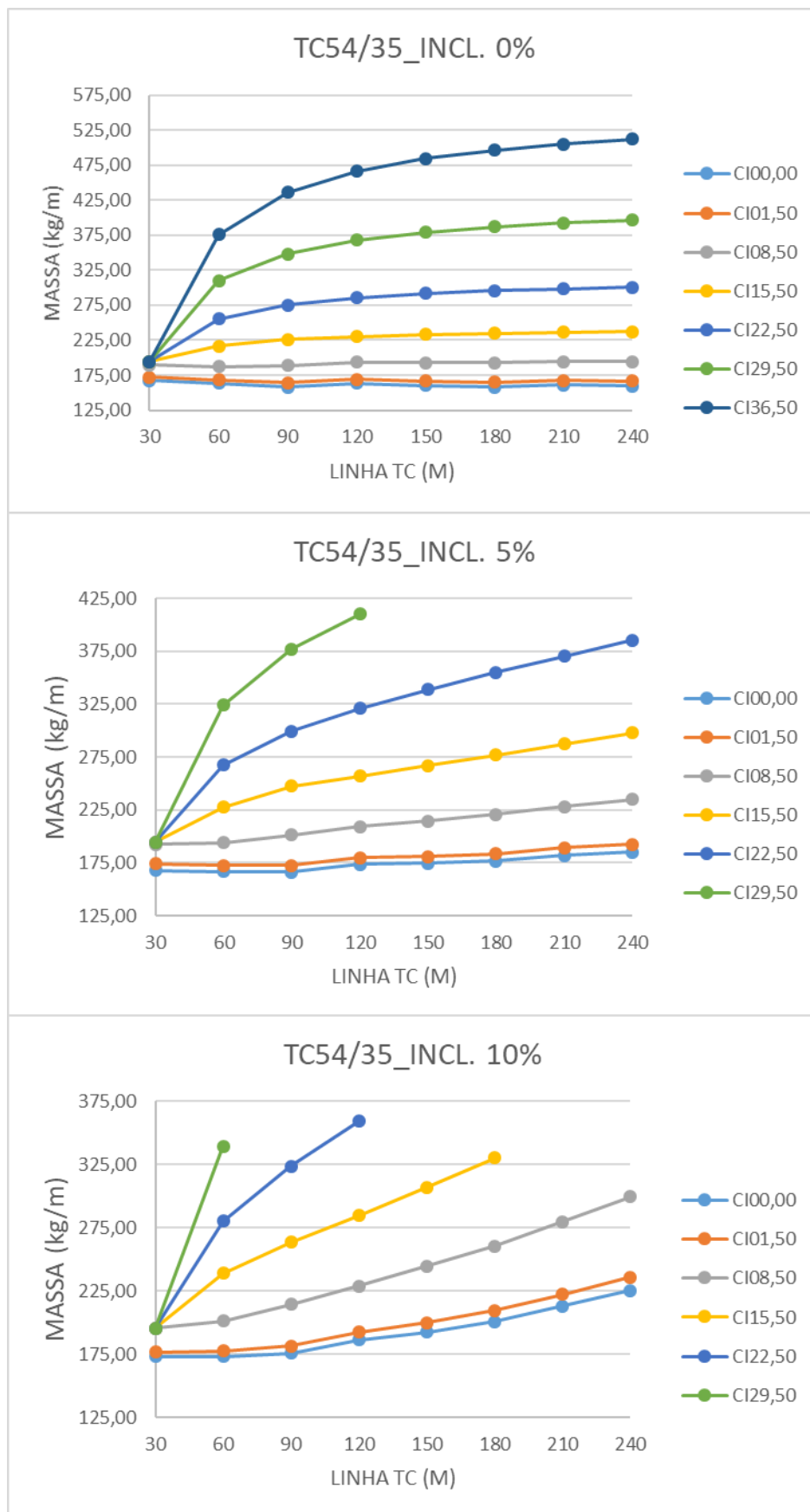


Gráfico C.11. TR54/35 – Simulações Com Inclinação

2.6.2. Velocidade do Vento de 45m/s

Tabela C.12. TR54/45 – Simulações Com Inclinação

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	0%	0,00	1	15,00	177,39
30	0%	1,50	1	15,00	182,04
30	0%	8,50	1	15,00	200,87
30	0%	15,50	0	30,00	211,93
30	0%	22,50	0	30,00	211,93
30	0%	29,50	0	30,00	211,93
30	0%	36,50	0	30,00	211,93
60	0%	0,00	3	15,00	177,39
60	0%	1,50	3	15,00	184,36
60	0%	8,50	2	20,00	207,50
60	0%	15,50	2	20,00	242,30
60	0%	22,50	1	30,00	284,57
60	0%	29,50	1	30,00	339,57
60	0%	36,50	1	30,00	422,07
90	0%	0,00	5	15,00	177,39
90	0%	1,50	4	18,00	184,92
90	0%	8,50	4	18,00	211,29
90	0%	15,50	4	18,00	255,91
90	0%	22,50	2	30,00	308,79
90	0%	29,50	2	30,00	382,12
90	0%	36,50	2	30,00	492,12
120	0%	0,00	7	15,00	177,39
120	0%	1,50	6	17,14	184,73
120	0%	8,50	5	20,00	213,69
120	0%	15,50	5	20,00	257,19
120	0%	22,50	3	30,00	320,90
120	0%	29,50	3	30,00	403,39
120	0%	36,50	3	30,00	527,14
150	0%	0,00	9	15,00	177,39
150	0%	1,50	8	16,67	185,13
150	0%	8,50	7	18,75	214,68
150	0%	15,50	7	18,75	262,31
150	0%	22,50	4	30,00	328,16
150	0%	29,50	4	30,00	416,16
150	0%	36,50	4	30,00	548,16
180	0%	0,00	11	15,00	177,39
180	0%	1,50	10	16,36	185,40
180	0%	8,50	9	18,00	215,36
180	0%	15,50	8	20,00	262,15
180	0%	22,50	5	30,00	333,00
180	0%	29,50	5	30,00	424,67
180	0%	36,50	5	30,00	562,17
210	0%	0,00	13	15,00	177,39
210	0%	1,50	11	17,50	185,10
210	0%	8,50	11	17,50	216,03
210	0%	15,50	10	19,09	265,09
210	0%	22,50	7	26,25	334,39
210	0%	29,50	6	30,00	430,75
210	0%	36,50	6	30,00	572,17
240	0%	0,00	15	15,00	177,39
240	0%	1,50	13	17,14	185,31
240	0%	8,50	12	18,46	216,47
240	0%	15,50	11	20,00	264,64
240	0%	22,50	8	26,67	334,71
240	0%	29,50	7	30,00	435,30
240	0%	36,50	7	30,00	579,68

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	5%	0,00	1	15,02	177,62
30	5%	1,50	1	15,02	184,28
30	5%	8,50	1	15,02	204,31
30	5%	15,50	0	30,04	212,24
30	5%	22,50	0	30,04	212,24
30	5%	29,50	0	30,04	212,24
60	5%	0,00	3	15,02	183,27
60	5%	1,50	3	15,02	190,64
60	5%	8,50	2	20,02	215,24
60	5%	15,50	1	30,04	255,57
60	5%	22,50	1	30,04	296,72
60	5%	29,50	1	30,04	357,63
90	5%	0,00	4	18,02	187,03
90	5%	1,50	4	18,02	193,67
90	5%	8,50	4	18,02	225,92
90	5%	15,50	2	30,04	275,35
90	5%	22,50	2	30,04	332,73
90	5%	29,50	2	30,04	417,89
120	5%	0,00	6	17,16	190,53
120	5%	1,50	6	17,16	197,56
120	5%	8,50	5	20,02	232,62
120	5%	15,50	3	30,04	289,24
120	5%	22,50	3	30,04	356,63
120	5%	29,50	3	30,04	456,86
150	5%	0,00	8	16,69	194,81
150	5%	1,50	7	18,77	202,00
150	5%	8,50	7	18,77	240,49
150	5%	15,50	4	30,04	300,78
150	5%	22,50	4	30,04	375,69
180	5%	0,00	9	18,02	198,19
180	5%	1,50	9	18,02	205,47
180	5%	8,50	8	20,02	246,55
180	5%	15,50	6	25,75	310,53
180	5%	22,50	5	30,04	392,98
210	5%	0,00	11	17,52	201,85
210	5%	1,50	11	17,52	209,95
210	5%	8,50	10	19,11	255,48
210	5%	15,50	7	26,28	320,42
210	5%	22,50	6	30,04	410,38
240	5%	0,00	13	17,16	206,92
240	5%	1,50	12	18,48	215,26
240	5%	8,50	11	20,02	263,16
240	5%	15,50	8	26,70	330,82
240	5%	22,50	7	30,04	427,86

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	10%	0,00	1	15,07	182,94
30	10%	1,50	1	15,07	186,98
30	10%	8,50	1	15,07	208,23
30	10%	15,50	0	30,15	213,16
30	10%	22,50	0	30,15	213,16
30	10%	29,50	0	30,15	213,16
60	10%	0,00	3	15,07	191,33
60	10%	1,50	2	20,10	197,14
60	10%	8,50	2	20,10	223,56
60	10%	15,50	1	30,15	264,62
60	10%	22,50	1	30,15	309,57
60	10%	29,50	1	30,15	376,50
90	10%	0,00	4	18,09	197,31
90	10%	1,50	4	18,09	203,10
90	10%	8,50	4	18,09	241,33
90	10%	15,50	2	30,15	292,46
90	10%	22,50	2	30,15	357,43
120	10%	0,00	6	17,23	205,41
120	10%	1,50	6	17,23	213,11
120	10%	8,50	5	20,10	256,26
120	10%	15,50	3	30,15	316,91
120	10%	22,50	3	30,15	397,11
150	10%	0,00	7	18,84	215,13
150	10%	1,50	7	18,84	223,14
150	10%	8,50	7	18,84	275,53
150	10%	15,50	4	30,15	341,01
180	10%	0,00	8	20,10	225,46
180	10%	1,50	8	20,10	234,68
180	10%	8,50	6	25,84	292,01
180	10%	15,50	5	30,15	366,26
210	10%	0,00	10	19,19	238,24
210	10%	1,50	10	19,19	249,30
210	10%	8,50	7	26,38	310,57
240	10%	0,00	11	20,10	252,74
240	10%	1,50	11	20,10	265,46
240	10%	8,50	8	26,80	330,78

LEGENDA	
LINHA (M)	COMPRIMENTO DA LINHA
CI (M)	COTA INICIAL
QTD COL	QUANTIDADE DE COLUNAS
GAL (M)	VÃO DA GALERIA

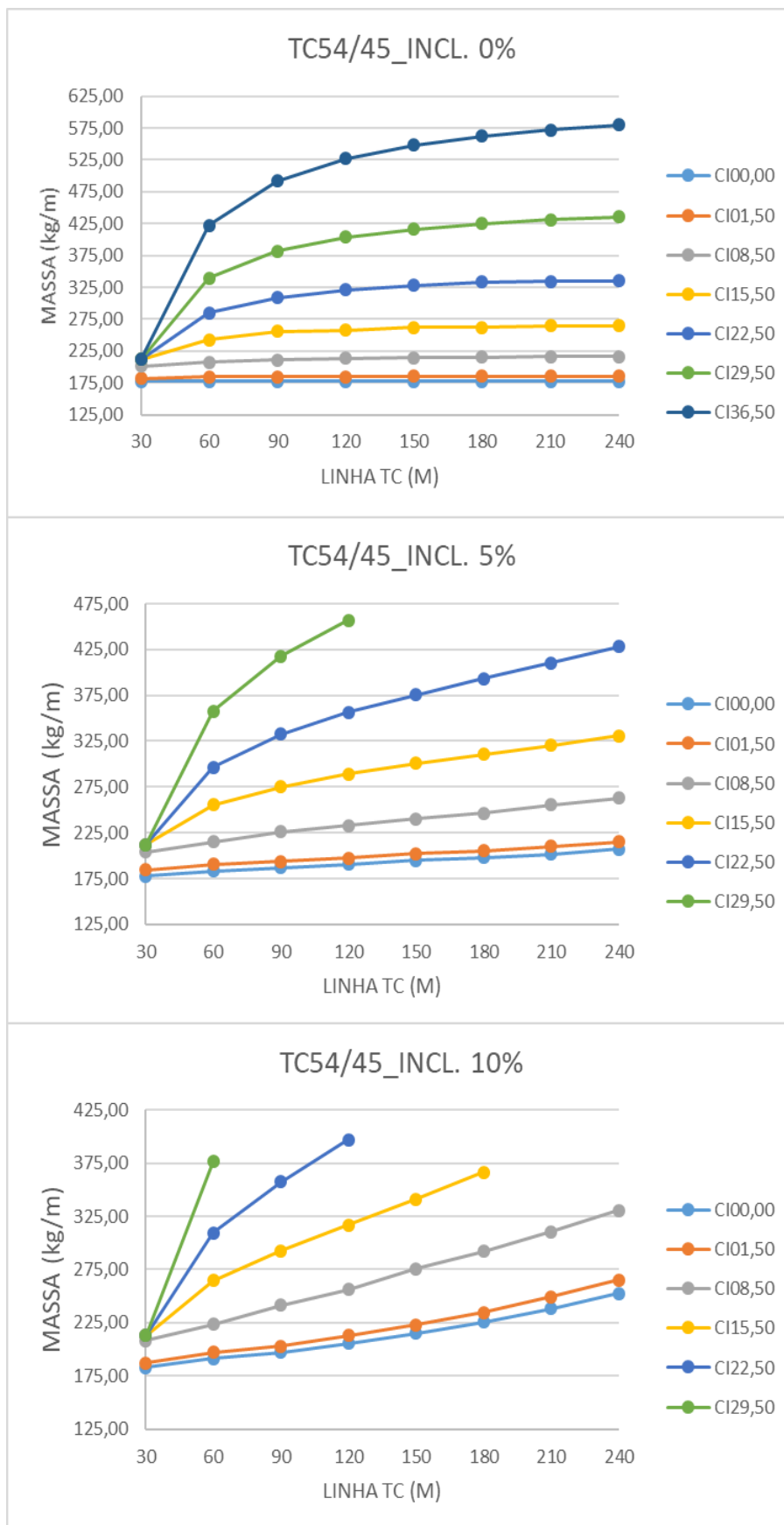


Gráfico C.12. TR54/45 –Simulações Com Inclinação

2.7. TRANSPORTADOR 60”

2.7.1. Velocidade do Vento de 35m/s

Tabela C.13. TR60/35 – Simulações Com Inclinação

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	0%	0,00	1	15,00	183,89
30	0%	1,50	1	15,00	188,71
30	0%	8,50	1	15,00	205,09
30	0%	15,50	0	30,00	216,82
30	0%	22,50	0	30,00	216,82
30	0%	29,50	0	30,00	216,82
30	0%	36,50	0	30,00	216,82
60	0%	0,00	2	20,00	182,90
60	0%	1,50	2	20,00	187,75
60	0%	8,50	2	20,00	206,82
60	0%	15,50	2	20,00	235,62
60	0%	22,50	1	30,00	276,94
60	0%	29,50	1	30,00	327,28
60	0%	36,50	1	30,00	394,82
90	0%	0,00	4	18,00	178,96
90	0%	1,50	4	18,00	185,39
90	0%	8,50	4	18,00	209,66
90	0%	15,50	4	18,00	248,00
90	0%	22,50	2	30,00	296,98
90	0%	29,50	2	30,00	364,10
90	0%	36,50	2	30,00	454,15
120	0%	0,00	6	17,14	182,71
120	0%	1,50	5	20,00	188,96
120	0%	8,50	5	20,00	212,81
120	0%	15,50	5	20,00	248,81
120	0%	22,50	4	24,00	303,13
120	0%	29,50	3	30,00	382,51
120	0%	36,50	3	30,00	483,82
150	0%	0,00	7	18,75	180,44
150	0%	1,50	7	18,75	187,22
150	0%	8,50	7	18,75	213,20
150	0%	15,50	5	25,00	253,35
150	0%	22,50	5	25,00	305,61
150	0%	29,50	4	30,00	393,56
150	0%	36,50	4	30,00	501,62
180	0%	0,00	9	18,00	178,96
180	0%	1,50	9	18,00	186,19
180	0%	8,50	9	18,00	213,50
180	0%	15,50	8	20,00	253,20
180	0%	22,50	6	25,71	307,21
180	0%	29,50	5	30,00	400,92
180	0%	36,50	5	30,00	513,49
210	0%	0,00	10	19,09	181,11
210	0%	1,50	10	19,09	188,03
210	0%	8,50	10	19,09	214,76
210	0%	15,50	10	19,09	255,99
210	0%	22,50	7	26,25	308,32
210	0%	29,50	7	26,25	403,43
210	0%	36,50	6	30,00	521,96
240	0%	0,00	12	18,46	179,87
240	0%	1,50	12	18,46	187,12
240	0%	8,50	12	18,46	214,76
240	0%	15,50	11	20,00	255,40
240	0%	22,50	8	26,67	309,12
240	0%	29,50	8	26,67	404,70
240	0%	36,50	8	26,67	526,40

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	5%	0,00	1	15,02	184,11
30	5%	1,50	1	15,02	190,68
30	5%	8,50	1	15,02	208,40
30	5%	15,50	0	30,04	217,21
30	5%	22,50	0	30,04	217,21
30	5%	29,50	0	30,04	217,21
60	5%	0,00	2	20,02	186,28
60	5%	1,50	2	20,02	192,11
60	5%	8,50	2	20,02	213,28
60	5%	15,50	2	20,02	246,42
60	5%	22,50	1	30,04	288,20
60	5%	29,50	1	30,04	342,32
90	5%	0,00	4	18,02	187,17
90	5%	1,50	4	18,02	193,46
90	5%	8,50	4	18,02	222,27
90	5%	15,50	3	22,53	267,73
90	5%	22,50	2	30,04	319,07
90	5%	29,50	2	30,04	393,68
120	5%	0,00	5	20,02	193,48
120	5%	1,50	5	20,02	199,46
120	5%	8,50	5	20,02	228,52
120	5%	15,50	4	24,03	273,58
120	5%	22,50	3	30,04	339,91
120	5%	29,50	3	30,04	426,60
150	5%	0,00	7	18,77	195,18
150	5%	1,50	7	18,77	201,42
150	5%	8,50	7	18,77	235,12
150	5%	15,50	5	25,03	281,66
150	5%	22,50	5	25,03	356,04
180	5%	0,00	9	18,02	197,63
180	5%	1,50	9	18,02	204,35
180	5%	8,50	8	20,02	240,25
180	5%	15,50	6	25,75	289,62
180	5%	22,50	6	25,75	368,77
210	5%	0,00	10	19,11	202,39
210	5%	1,50	10	19,11	209,35
210	5%	8,50	10	19,11	247,92
210	5%	15,50	7	26,28	298,33
210	5%	22,50	7	26,28	381,71
240	5%	0,00	12	18,48	205,68
240	5%	1,50	12	18,48	213,17
240	5%	8,50	11	20,02	253,65
240	5%	15,50	8	26,70	307,50
240	5%	22,50	8	26,70	394,64

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	10%	0,00	1	15,07	189,59
30	10%	1,50	1	15,07	193,11
30	10%	8,50	1	15,07	212,17
30	10%	15,50	0	30,15	218,35
30	10%	22,50	0	30,15	218,35
30	10%	29,50	0	30,15	218,35
60	10%	0,00	2	20,10	192,95
60	10%	1,50	2	20,10	197,05
60	10%	8,50	2	20,10	220,31
60	10%	15,50	2	20,10	257,79
60	10%	22,50	1	30,15	300,49
60	10%	29,50	1	30,15	358,53
90	10%	0,00	4	18,09	196,89
90	10%	1,50	4	18,09	202,21
90	10%	8,50	4	18,09	235,65
90	10%	15,50	2	30,15	284,68
90	10%	22,50	2	30,15	342,36
120	10%	0,00	5	20,10	205,94
120	10%	1,50	5	20,10	211,93
120	10%	8,50	5	20,10	247,70
120	10%	15,50	4	24,12	300,93
120	10%	22,50	3	30,15	376,60
150	10%	0,00	7	18,84	213,04
150	10%	1,50	7	18,84	220,09
150	10%	8,50	5	25,12	261,94
150	10%	15,50	5	25,12	321,26
180	10%	0,00	9	18,09	222,06
180	10%	1,50	8	20,10	229,96
180	10%	8,50	6	25,84	275,45
180	10%	15,50	6	25,84	342,85
210	10%	0,00	10	19,19	232,93
210	10%	1,50	10	19,19	242,40
210	10%	8,50	7	26,38	291,22
240	10%	0,00	11	20,10	244,24
240	10%	1,50	11	20,10	254,54
240	10%	8,50	8	26,80	308,54

LEGENDA	
LINHA (M)	COMPRIMENTO DA LINHA
CI (M)	COTA INICIAL
QTD COL	QUANTIDADE DE COLUNAS
GAL (M)	VÃO DA GALERIA

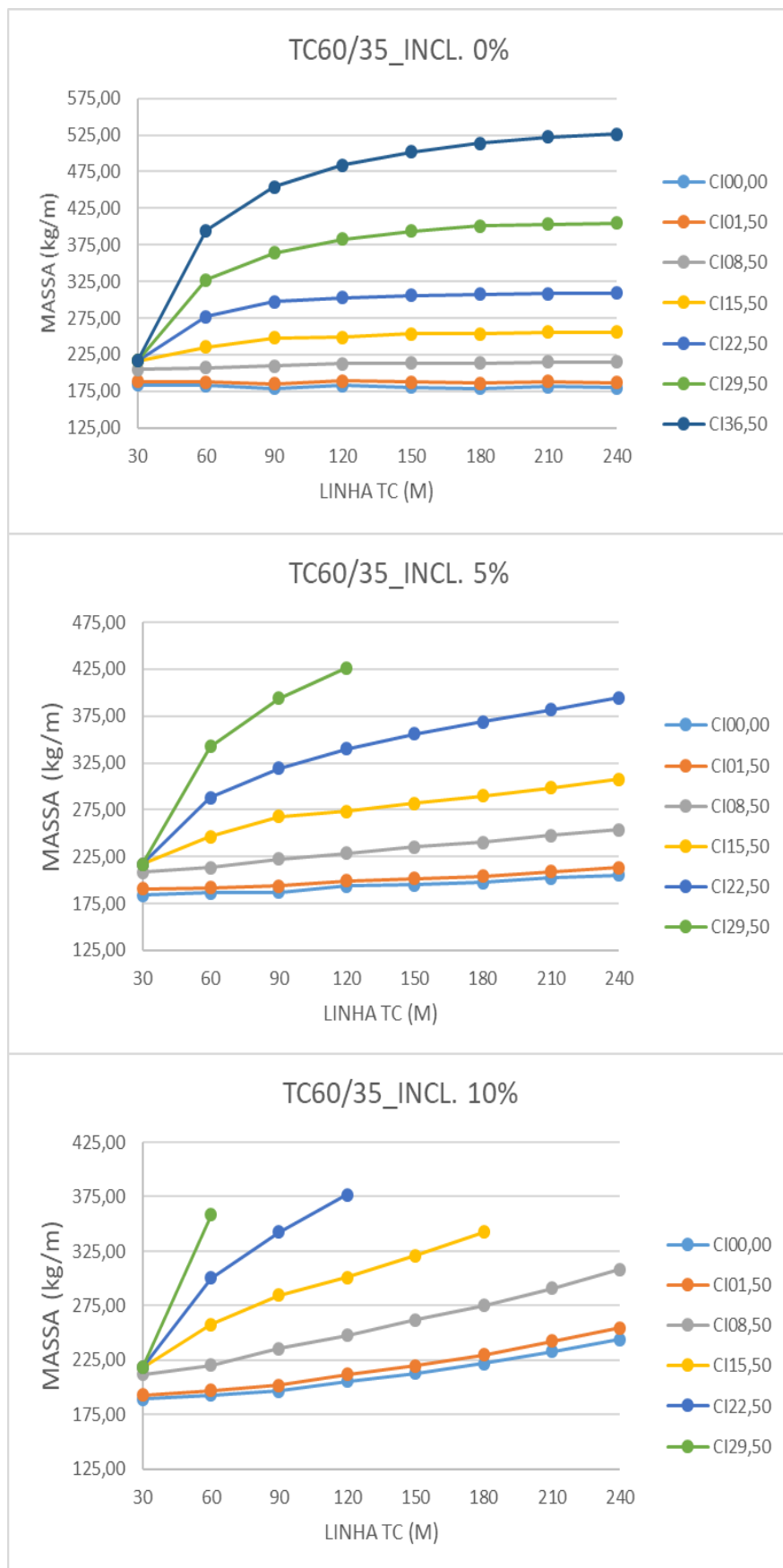


Gráfico C.13. TR60/35 –Simulações Com Inclinação

2.7.2. Velocidade do Vento de 45m/s

Tabela C.14. TR60/45 – Simulações Com Inclinação

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	0%	0,00	1	15,00	190,85
30	0%	1,50	1	15,00	195,67
30	0%	8,50	1	15,00	214,83
30	0%	15,50	0	30,00	230,79
30	0%	22,50	0	30,00	230,79
30	0%	29,50	0	30,00	230,79
30	0%	36,50	0	30,00	230,79
60	0%	0,00	3	15,00	190,85
60	0%	1,50	3	15,00	198,08
60	0%	8,50	2	20,00	224,31
60	0%	15,50	2	20,00	259,78
60	0%	22,50	1	30,00	305,88
60	0%	29,50	1	30,00	361,65
60	0%	36,50	1	30,00	441,80
90	0%	0,00	5	15,00	190,85
90	0%	1,50	5	15,00	198,88
90	0%	8,50	4	18,00	227,08
90	0%	15,50	4	18,00	273,32
90	0%	22,50	2	30,00	330,91
90	0%	29,50	2	30,00	405,26
90	0%	36,50	2	30,00	512,14
120	0%	0,00	7	15,00	190,85
120	0%	1,50	6	17,14	198,89
120	0%	8,50	6	17,14	228,63
120	0%	15,50	5	20,00	274,92
120	0%	22,50	3	30,00	343,42
120	0%	29,50	3	30,00	427,07
120	0%	36,50	3	30,00	547,30
150	0%	0,00	9	15,00	190,85
150	0%	1,50	8	16,67	199,22
150	0%	8,50	8	16,67	230,77
150	0%	15,50	5	25,00	278,07
150	0%	22,50	4	30,00	350,93
150	0%	29,50	4	30,00	440,16
150	0%	36,50	4	30,00	568,40
180	0%	0,00	11	15,00	190,85
180	0%	1,50	10	16,36	199,43
180	0%	8,50	9	18,00	231,20
180	0%	15,50	6	25,71	279,34
180	0%	22,50	6	25,71	353,19
180	0%	29,50	5	30,00	448,88
180	0%	36,50	5	30,00	582,47
210	0%	0,00	13	15,00	190,85
210	0%	1,50	11	17,50	199,35
210	0%	8,50	11	17,50	230,60
210	0%	15,50	7	26,25	280,24
210	0%	22,50	7	26,25	354,39
210	0%	29,50	6	30,00	455,11
210	0%	36,50	6	30,00	592,52
240	0%	0,00	15	15,00	190,85
240	0%	1,50	13	17,14	199,49
240	0%	8,50	13	17,14	231,72
240	0%	15,50	8	26,67	280,90
240	0%	22,50	8	26,67	355,25
240	0%	29,50	7	30,00	459,79
240	0%	36,50	7	30,00	600,06

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	5%	0,00	1	15,02	191,09
30	5%	1,50	1	15,02	197,97
30	5%	8,50	1	15,02	218,29
30	5%	15,50	0	30,04	231,12
30	5%	22,50	0	30,04	231,12
30	5%	29,50	0	30,04	231,12
60	5%	0,00	3	15,02	196,94
60	5%	1,50	3	15,02	204,48
60	5%	8,50	2	20,02	232,23
60	5%	15,50	2	20,02	274,31
60	5%	22,50	1	30,04	318,19
60	5%	29,50	1	30,04	379,24
90	5%	0,00	5	15,02	201,63
90	5%	1,50	4	18,02	209,33
90	5%	8,50	4	18,02	242,25
90	5%	15,50	2	30,04	296,66
90	5%	22,50	2	30,04	355,19
90	5%	29,50	2	30,04	440,08
120	5%	0,00	6	17,16	204,75
120	5%	1,50	6	17,16	211,88
120	5%	8,50	5	20,02	249,91
120	5%	15,50	4	24,03	307,56
120	5%	22,50	3	30,04	379,66
120	5%	29,50	3	30,04	479,10
150	5%	0,00	8	16,69	209,01
150	5%	1,50	8	16,69	216,37
150	5%	8,50	7	18,77	257,52
150	5%	15,50	5	25,03	317,71
150	5%	22,50	4	30,04	399,13
180	5%	0,00	10	16,38	213,22
180	5%	1,50	10	16,38	221,19
180	5%	8,50	8	20,02	264,14
180	5%	15,50	6	25,75	327,72
180	5%	22,50	5	30,04	416,68
210	5%	0,00	11	17,52	216,30
210	5%	1,50	11	17,52	224,54
210	5%	8,50	7	26,28	273,34
210	5%	15,50	7	26,28	338,21
210	5%	22,50	6	30,04	434,13
240	5%	0,00	13	17,16	221,40
240	5%	1,50	13	17,16	230,31
240	5%	8,50	8	26,70	280,43
240	5%	15,50	8	26,70	348,91
240	5%	22,50	7	30,04	451,52

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	10%	0,00	1	15,07	196,65
30	10%	1,50	1	15,07	200,76
30	10%	8,50	1	15,07	222,28
30	10%	15,50	0	30,15	232,11
30	10%	22,50	0	30,15	232,11
30	10%	29,50	0	30,15	232,11
60	10%	0,00	3	15,07	205,23
60	10%	1,50	3	15,07	211,40
60	10%	8,50	2	20,10	240,78
60	10%	15,50	1	30,15	285,44
60	10%	22,50	1	30,15	331,25
60	10%	29,50	1	30,15	397,78
90	10%	0,00	4	18,09	213,09
90	10%	1,50	4	18,09	218,94
90	10%	8,50	4	18,09	258,33
90	10%	15,50	2	30,15	314,14
90	10%	22,50	2	30,15	380,27
120	10%	0,00	6	17,23	219,91
120	10%	1,50	6	17,23	227,76
120	10%	8,50	5	20,10	274,31
120	10%	15,50	3	30,15	339,21
120	10%	22,50	3	30,15	420,30
150	10%	0,00	8	16,75	230,81
150	10%	1,50	8	16,75	239,75
150	10%	8,50	5	25,12	291,08
150	10%	15,50	4	30,15	363,84
180	10%	0,00	9	18,09	242,22
180	10%	1,50	8	20,10	252,20
180	10%	8,50	6	25,84	308,22
180	10%	15,50	5	30,15	389,42
210	10%	0,00	11	17,59	254,85
210	10%	1,50	11	17,59	266,97
210	10%	8,50	7	26,38	327,19
240	10%	0,00	11	20,10	270,95
240	10%	1,50	8	26,80	282,17
240	10%	8,50	8	26,80	347,41

LEGENDA	
LINHA (M)	COMPRIMENTO DA LINHA
CI (M)	COTA INICIAL
QTD COL	QUANTIDADE DE COLUMNS
GAL (M)	VÃO DA GALERIA

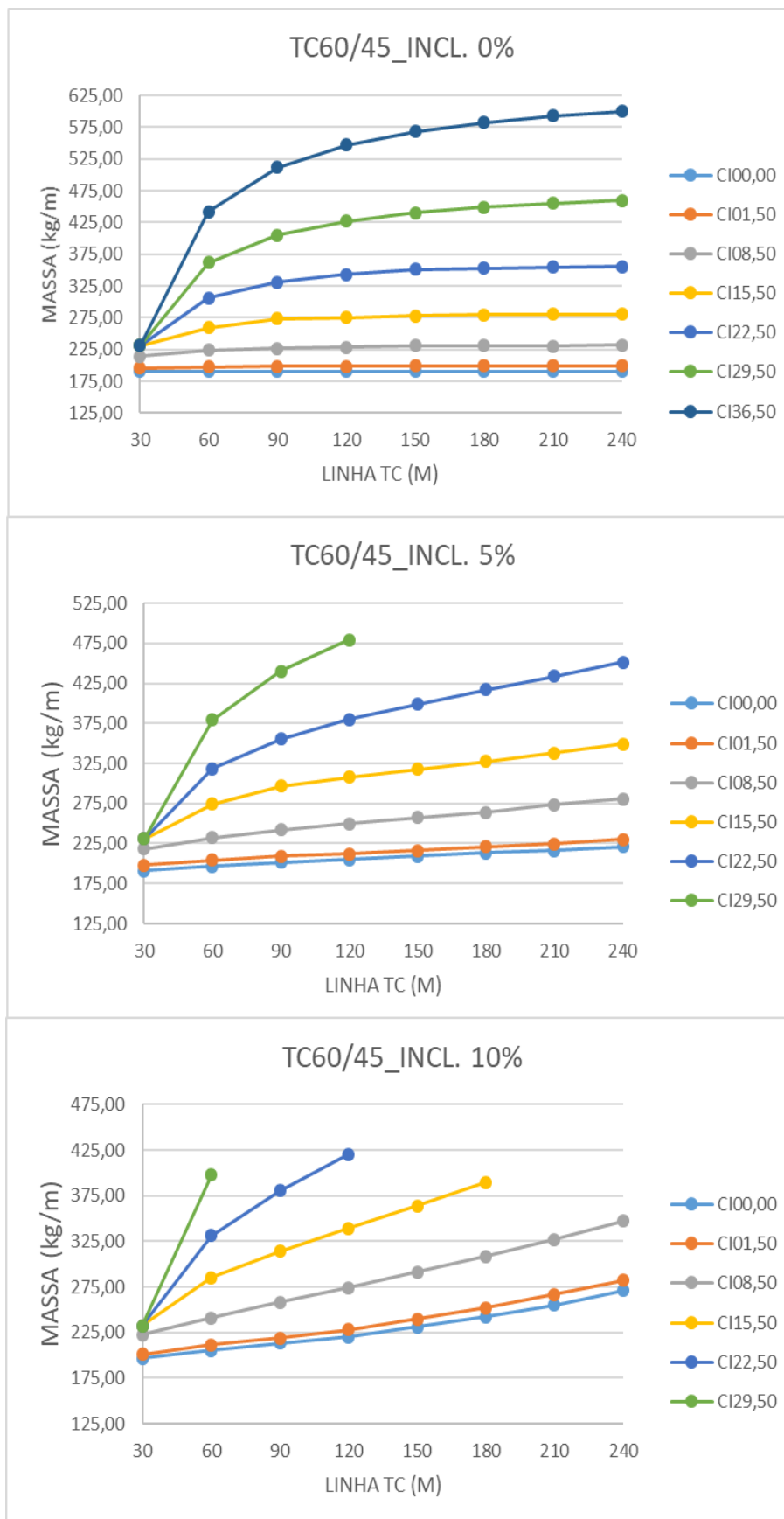


Gráfico C.14. TR60/45 – Simulações Com Inclinação

2.8. TRANSPORTADOR 72”

2.8.1. Velocidade do Vento de 35m/s

Tabela C.15. TR72/35 – Simulações Com Inclinação

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	0%	0,00	1	15,00	214,20
30	0%	1,50	1	15,00	219,28
30	0%	8,50	1	15,00	237,07
30	0%	15,50	0	30,00	240,74
30	0%	22,50	0	30,00	240,74
30	0%	29,50	0	30,00	240,74
30	0%	36,50	0	30,00	240,74
60	0%	0,00	2	20,00	209,23
60	0%	1,50	2	20,00	214,34
60	0%	8,50	2	20,00	234,28
60	0%	15,50	2	20,00	264,55
60	0%	22,50	1	30,00	302,62
60	0%	29,50	1	30,00	357,33
60	0%	36,50	1	30,00	424,07
90	0%	0,00	4	18,00	203,74
90	0%	1,50	4	18,00	210,51
90	0%	8,50	4	18,00	236,06
90	0%	15,50	4	18,00	273,91
90	0%	22,50	2	30,00	323,24
90	0%	29,50	2	30,00	396,19
90	0%	36,50	2	30,00	485,17
120	0%	0,00	5	20,00	209,23
120	0%	1,50	5	20,00	215,62
120	0%	8,50	5	20,00	240,54
120	0%	15,50	5	20,00	278,38
120	0%	22,50	4	24,00	331,97
120	0%	29,50	3	30,00	415,62
120	0%	36,50	3	30,00	515,73
150	0%	0,00	7	18,75	205,80
150	0%	1,50	7	18,75	212,94
150	0%	8,50	7	18,75	240,22
150	0%	15,50	7	18,75	280,99
150	0%	22,50	5	25,00	337,77
150	0%	29,50	4	30,00	427,28
150	0%	36,50	4	30,00	534,06
180	0%	0,00	9	18,00	203,74
180	0%	1,50	9	18,00	211,36
180	0%	8,50	9	18,00	240,10
180	0%	15,50	9	18,00	282,68
180	0%	22,50	6	25,71	341,84
180	0%	29,50	5	30,00	435,05
180	0%	36,50	5	30,00	546,28
210	0%	0,00	10	19,09	206,74
210	0%	1,50	10	19,09	214,03
210	0%	8,50	10	19,09	242,06
210	0%	15,50	10	19,09	284,12
210	0%	22,50	7	26,25	344,85
210	0%	29,50	6	30,00	440,60
210	0%	36,50	6	30,00	555,01
240	0%	0,00	12	18,46	205,01
240	0%	1,50	12	18,46	212,65
240	0%	8,50	12	18,46	241,69
240	0%	15,50	12	18,46	284,96
240	0%	22,50	9	24,00	346,02
240	0%	29,50	7	30,00	444,77
240	0%	36,50	7	30,00	561,56

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	5%	0,00	1	15,02	214,44
30	5%	1,50	1	15,02	221,43
30	5%	8,50	1	15,02	240,31
30	5%	15,50	0	30,04	241,15
30	5%	22,50	0	30,04	241,15
30	5%	29,50	0	30,04	241,15
60	5%	0,00	2	20,02	212,83
60	5%	1,50	2	20,02	218,95
60	5%	8,50	2	20,02	241,11
60	5%	15,50	2	20,02	275,42
60	5%	22,50	1	30,04	314,83
60	5%	29,50	1	30,04	372,19
90	5%	0,00	4	18,02	212,42
90	5%	1,50	4	18,02	219,04
90	5%	8,50	4	18,02	248,56
90	5%	15,50	4	18,02	295,05
90	5%	22,50	2	30,04	347,21
90	5%	29,50	2	30,04	425,42
120	5%	0,00	5	20,02	220,37
120	5%	1,50	5	20,02	226,63
120	5%	8,50	5	20,02	257,11
120	5%	15,50	4	24,03	302,03
120	5%	22,50	3	30,04	369,27
120	5%	29,50	3	30,04	459,19
150	5%	0,00	7	18,77	221,33
150	5%	1,50	7	18,77	227,88
150	5%	8,50	7	18,77	262,41
150	5%	15,50	5	25,03	312,89
150	5%	22,50	4	30,04	387,20
180	5%	0,00	9	18,02	223,43
180	5%	1,50	9	18,02	230,45
180	5%	8,50	9	18,02	268,45
180	5%	15,50	6	25,75	323,20
180	5%	22,50	5	30,04	403,36
210	5%	0,00	10	19,11	229,09
210	5%	1,50	10	19,11	236,34
210	5%	8,50	10	19,11	275,86
210	5%	15,50	7	26,28	334,04
210	5%	22,50	6	30,04	418,99
240	5%	0,00	12	18,48	232,05
240	5%	1,50	12	18,48	239,77
240	5%	8,50	11	20,02	283,06
240	5%	15,50	9	24,03	343,68
240	5%	22,50	7	30,04	434,29

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	10%	0,00	1	15,07	220,26
30	10%	1,50	1	15,07	224,09
30	10%	8,50	0	30,15	242,37
30	10%	15,50	0	30,15	242,37
30	10%	22,50	0	30,15	242,37
30	10%	29,50	0	30,15	242,37
60	10%	0,00	2	20,10	219,94
60	10%	1,50	2	20,10	224,22
60	10%	8,50	2	20,10	248,64
60	10%	15,50	2	20,10	287,01
60	10%	22,50	1	30,15	328,06
60	10%	29,50	1	30,15	388,25
90	10%	0,00	4	18,09	222,75
90	10%	1,50	4	18,09	228,33
90	10%	8,50	4	18,09	261,98
90	10%	15,50	2	30,15	311,31
90	10%	22,50	2	30,15	372,32
120	10%	0,00	5	20,10	233,54
120	10%	1,50	5	20,10	239,81
120	10%	8,50	5	20,10	277,09
120	10%	15,50	4	24,12	330,19
120	10%	22,50	3	30,15	407,97
150	10%	0,00	7	18,84	239,94
150	10%	1,50	7	18,84	247,18
150	10%	8,50	5	25,12	292,34
150	10%	15,50	5	25,12	354,39
180	10%	0,00	9	18,09	248,35
180	10%	1,50	9	18,09	257,13
180	10%	8,50	6	25,84	308,25
180	10%	15,50	5	30,15	378,81
210	10%	0,00	10	19,19	260,55
210	10%	1,50	10	19,19	270,21
210	10%	8,50	7	26,38	326,48
240	10%	0,00	12	18,55	272,87
240	10%	1,50	11	20,10	283,79
240	10%	8,50	9	24,12	345,01

LEGENDA	
LINHA (M)	COMPRIMENTO DA LINHA
CI (M)	COTA INICIAL
QTD COL	QUANTIDADE DE COLUNAS
GAL (M)	VÃO DA GALERIA



Gráfico C.15. TR72/35 – Simulações Com Inclinação

2.8.2. Velocidade do Vento de 45m/s

Tabela C.16. TR72/45 – Simulações Com Inclinação

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	0%	0,00	1	15,00	223,53
30	0%	1,50	1	15,00	228,61
30	0%	8,50	1	15,00	248,52
30	0%	15,50	0	30,00	251,73
30	0%	22,50	0	30,00	251,73
30	0%	29,50	0	30,00	251,73
30	0%	36,50	0	30,00	251,73
60	0%	0,00	3	15,00	223,53
60	0%	1,50	2	20,00	228,71
60	0%	8,50	2	20,00	249,25
60	0%	15,50	2	20,00	287,53
60	0%	22,50	1	30,00	327,56
60	0%	29,50	1	30,00	384,02
60	0%	36,50	1	30,00	472,62
90	0%	0,00	4	18,00	219,85
90	0%	1,50	4	18,00	226,63
90	0%	8,50	4	18,00	253,59
90	0%	15,50	4	18,00	300,49
90	0%	22,50	2	30,00	352,83
90	0%	29,50	2	30,00	428,11
90	0%	36,50	2	30,00	546,25
120	0%	0,00	6	17,14	222,65
120	0%	1,50	5	20,00	229,99
120	0%	8,50	5	20,00	255,66
120	0%	15,50	4	24,00	299,19
120	0%	22,50	3	30,00	365,47
120	0%	29,50	3	30,00	450,16
120	0%	36,50	3	30,00	583,07
150	0%	0,00	7	18,75	221,26
150	0%	1,50	7	18,75	228,40
150	0%	8,50	7	18,75	256,94
150	0%	15,50	5	25,00	303,34
150	0%	22,50	4	30,00	373,06
150	0%	29,50	4	30,00	463,39
150	0%	36,50	4	30,00	605,15
180	0%	0,00	9	18,00	219,85
180	0%	1,50	9	18,00	227,47
180	0%	8,50	8	20,00	257,80
180	0%	15,50	6	25,71	306,27
180	0%	22,50	5	30,00	378,11
180	0%	29,50	5	30,00	472,21
180	0%	36,50	5	30,00	619,88
210	0%	0,00	10	19,09	221,90
210	0%	1,50	10	19,09	229,20
210	0%	8,50	10	19,09	258,40
210	0%	15,50	7	26,25	308,44
210	0%	22,50	6	30,00	381,72
210	0%	29,50	6	30,00	478,51
210	0%	36,50	6	30,00	630,40
240	0%	0,00	12	18,46	220,72
240	0%	1,50	12	18,46	228,36
240	0%	8,50	12	18,46	258,85
240	0%	15,50	9	24,00	307,61
240	0%	22,50	8	26,67	384,06
240	0%	29,50	7	30,00	483,23
240	0%	36,50	7	30,00	638,29

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	5%	0,00	1	15,02	223,80
30	5%	1,50	1	15,02	231,02
30	5%	8,50	0	30,04	252,16
30	5%	15,50	0	30,04	252,16
30	5%	22,50	0	30,04	252,16
30	5%	29,50	0	30,04	252,16
60	5%	0,00	2	20,02	227,22
60	5%	1,50	2	20,02	233,44
60	5%	8,50	2	20,02	257,79
60	5%	15,50	1	30,04	299,05
60	5%	22,50	1	30,04	340,18
60	5%	29,50	1	30,04	403,56
90	5%	0,00	4	18,02	228,72
90	5%	1,50	4	18,02	235,61
90	5%	8,50	4	18,02	269,00
90	5%	15,50	2	30,04	319,96
90	5%	22,50	2	30,04	377,59
90	5%	29,50	2	30,04	466,68
120	5%	0,00	5	20,02	234,91
120	5%	1,50	5	20,02	241,32
120	5%	8,50	5	20,02	276,51
120	5%	15,50	4	24,03	331,63
120	5%	22,50	3	30,04	402,35
120	5%	29,50	3	30,04	507,73
150	5%	0,00	7	18,77	237,21
150	5%	1,50	7	18,77	244,02
150	5%	8,50	7	18,77	284,57
150	5%	15,50	5	25,03	343,75
150	5%	22,50	4	30,04	422,05
180	5%	0,00	9	18,02	240,24
180	5%	1,50	9	18,02	247,76
180	5%	8,50	8	20,02	291,62
180	5%	15,50	6	25,75	355,20
180	5%	22,50	5	30,04	439,99
210	5%	0,00	10	19,11	245,05
210	5%	1,50	10	19,11	253,03
210	5%	8,50	7	26,28	300,54
210	5%	15,50	7	26,28	366,95
210	5%	22,50	6	30,04	458,22
240	5%	0,00	12	18,48	249,24
240	5%	1,50	12	18,48	257,93
240	5%	8,50	9	24,03	306,77
240	5%	15,50	8	26,70	378,87
240	5%	22,50	7	30,04	476,64

LINHA (M)	%	CI (M)	QTD. COL.	GAL (m)	MASSA (kg/m)
30	10%	0,00	1	15,07	229,70
30	10%	1,50	1	15,07	233,97
30	10%	8,50	0	30,15	253,44
30	10%	15,50	0	30,15	253,44
30	10%	22,50	0	30,15	253,44
30	10%	29,50	0	30,15	253,44
60	10%	0,00	2	20,10	234,42
60	10%	1,50	2	20,10	238,82
60	10%	8,50	2	20,10	267,03
60	10%	15,50	1	30,15	308,48
60	10%	22,50	1	30,15	353,88
60	10%	29,50	1	30,15	424,19
90	10%	0,00	4	18,09	239,46
90	10%	1,50	4	18,09	245,39
90	10%	8,50	4	18,09	285,44
90	10%	15,50	2	30,15	337,38
90	10%	22,50	2	30,15	403,55
120	10%	0,00	5	20,10	248,76
120	10%	1,50	5	20,10	255,86
120	10%	8,50	4	24,12	298,75
120	10%	15,50	3	30,15	362,56
120	10%	22,50	3	30,15	445,08
150	10%	0,00	7	18,84	257,96
150	10%	1,50	7	18,84	266,38
150	10%	8,50	5	25,12	316,71
150	10%	15,50	4	30,15	387,39
180	10%	0,00	8	20,10	269,05
180	10%	1,50	8	20,10	278,87
180	10%	8,50	6	25,84	335,53
180	10%	15,50	5	30,15	413,56
210	10%	0,00	10	19,19	282,90
210	10%	1,50	10	19,19	294,89
210	10%	8,50	7	26,38	356,20
240	10%	0,00	9	24,12	297,37
240	10%	1,50	9	24,12	309,10
240	10%	8,50	8	26,80	378,31

LEGENDA	
LINHA (M)	COMPRIMENTO DA LINHA
CI (M)	COTA INICIAL
QTD COL	QUANTIDADE DE COLUNAS
GAL (M)	VÃO DA GALERIA

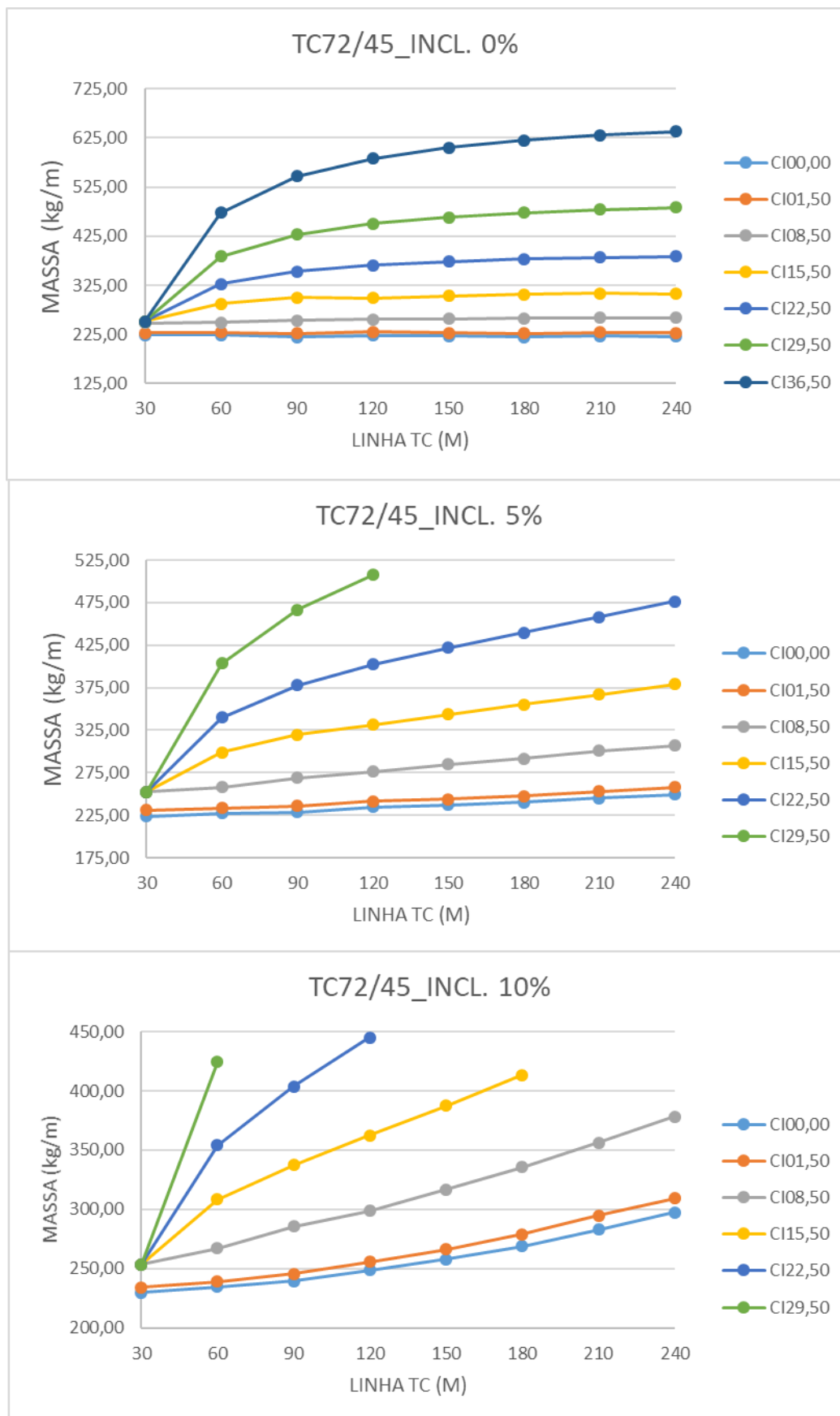


Gráfico C.16. TR72/45 –Simulações Com Inclinação

APÊNDICE D

RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES NUMÉRICAS DE ESTUDOS PARA IMPLANTAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE LAY-OUTS EQUAÇÕES DE REGRESSÃO POLINOMIAL

1. INTRODUÇÃO

Neste anexo apresentam-se curvas obtidas através por regressão polinomial de ordem 3 para fins de estimativa de massa do sistema.

2. CURVAS DE REGRESSÃO

Tabela D.1. TR24, TR30 - Regressão Polinomial Ordem 3 e R²

	INCLINAÇÃO (%)	COTA INICIAL (M)	LINHA "x" (M)		MASSA TOTAL (KG/M)			R2
			min.	máx.	f(x)			
TR24/35	0	0,00	30	240	-1,932E-06 x ³ + 9,413E-04 x ² - 0,145 x + 143,131	0,804		
		1,50	30	240	-1,988E-06 x ³ + 9,335E-04 x ² - 0,133 x + 145,201	0,726		
		8,50	30	240	-8,489E-07 x ³ + 2,320E-04 x ² + 0,019 x + 151,774	0,952		
		15,50	30	240	+ 1,179E-05 x ³ - 6,153E-03 x ² + 1,059 x + 134,340	0,986		
		22,50	30	240	+ 3,056E-05 x ³ - 1,583E-02 x ² + 2,714 x + 95,076	0,986		
		29,50	30	240	+ 5,625E-05 x ³ - 2,905E-02 x ² + 4,969 x + 41,209	0,987		
		36,50	30	240	+ 9,553E-05 x ³ - 4,935E-02 x ² + 8,440 x - 41,684	0,987		
	5	0,00	30	240	-1,532E-06 x ³ + 8,392E-04 x ² - 0,064 x + 140,828	0,987		
		1,50	30	240	-1,351E-06 x ³ + 8,263E-04 x ² - 0,063 x + 144,397	0,991		
		8,50	30	240	-2,933E-07 x ³ + 2,629E-04 x ² + 0,141 x + 150,845	0,997		
		15,50	30	240	+ 1,577E-05 x ³ - 7,862E-03 x ² + 1,524 x + 122,426	0,997		
		22,50	30	240	+ 3,272E-05 x ³ - 1,644E-02 x ² + 3,086 x + 84,563	0,996		
		29,50	30	120	+ 3,071E-04 x ³ - 9,212E-02 x ² + 10,170 x - 70,347	1,000		
		36,50	30	240	-7,870E-07 x ³ + 1,296E-03 x ² - 0,080 x + 143,966	0,999		
	10	0,00	30	240	-1,288E-06 x ³ + 1,585E-03 x ² - 0,088 x + 146,273	0,999		
		1,50	30	240	-3,970E-06 x ³ + 2,239E-03 x ² + 0,099 x + 153,608	0,999		
		8,50	30	180	+ 3,515E-05 x ³ - 1,306E-02 x ² + 2,166 x + 107,180	0,999		
		15,50	30	120	-7,064E-04 x ³ + 1,069E-01 x ² - 2,708 x + 164,898	1,000		
		22,50	30	60	+ 6,844E-04 x ³ + 0,000E+00 x ² + 0,000 x + 142,312	1,000		
		29,50	30	240	-1,217E-06 x ³ + 6,252E-04 x ² - 0,107 x + 152,689	0,531		
		36,50	30	240	-1,053E-06 x ³ + 5,137E-04 x ² - 0,080 x + 154,624	0,277		
TR24/45	0	0,00	30	240	+ 9,370E-07 x ³ - 6,398E-04 x ² + 0,152 x + 162,172	0,908		
		1,50	30	240	+ 1,919E-05 x ³ - 9,613E-03 x ² + 1,567 x + 136,664	0,974		
		8,50	30	240	+ 3,665E-05 x ³ - 1,893E-02 x ² + 3,238 x + 96,306	0,987		
		15,50	30	240	+ 7,151E-05 x ³ - 3,694E-02 x ² + 6,318 x + 22,743	0,987		
		22,50	30	240	+ 1,137E-04 x ³ - 5,871E-02 x ² + 10,041 x - 66,181	0,987		
		29,50	30	240	-7,480E-07 x ³ + 5,254E-04 x ² - 0,009 x + 149,855	0,968		
		36,50	30	240	-1,579E-07 x ³ + 3,352E-04 x ² + 0,019 x + 153,328	0,976		
	5	0,00	30	240	+ 5,227E-08 x ³ - 7,484E-05 x ² + 0,261 x + 162,014	0,999		
		1,50	30	240	+ 2,057E-05 x ³ - 1,003E-02 x ² + 1,886 x + 127,852	0,995		
		8,50	30	240	+ 3,768E-05 x ³ - 1,922E-02 x ² + 3,703 x + 82,837	0,996		
		15,50	30	120	+ 3,904E-04 x ³ - 1,171E-01 x ² + 12,832 x - 116,173	1,000		
		22,50	30	240	-1,016E-07 x ³ + 1,101E-03 x ² - 0,012 x + 152,780	0,998		
		29,50	30	240	-1,756E-06 x ³ + 1,754E-03 x ² - 0,043 x + 156,223	0,998		
		36,50	30	240	+ 1,304E-06 x ³ + 2,691E-04 x ² + 0,383 x + 161,998	1,000		
	10	0,00	30	180	+ 4,219E-05 x ³ - 1,537E-02 x ² + 2,563 x + 111,309	0,999		
		1,50	30	120	-8,846E-04 x ³ + 1,351E-01 x ² - 3,541 x + 183,200	1,000		
		8,50	30	60	+ 8,393E-04 x ³ + 0,000E+00 x ² + 0,000 x + 152,040	1,000		
		15,50	30	240	-6,569E-07 x ³ + 3,435E-04 x ² - 0,060 x + 148,717	0,502		
		22,50	30	240	-6,910E-07 x ³ + 3,230E-04 x ² - 0,046 x + 150,814	0,198		
		29,50	30	240	+ 9,818E-07 x ³ - 6,548E-04 x ² + 0,154 x + 156,172	0,996		
		36,50	30	240	+ 1,261E-05 x ³ - 6,572E-03 x ² + 1,126 x + 143,214	0,983		
TR30/35	0	0,00	30	240	+ 3,108E-05 x ³ - 1,606E-02 x ² + 2,746 x + 104,863	0,987		
		1,50	30	240	+ 5,717E-05 x ³ - 2,953E-02 x ² + 5,050 x + 49,825	0,987		
		8,50	30	240	+ 9,598E-05 x ³ - 4,958E-02 x ² + 8,479 x - 32,072	0,987		
		15,50	30	240	-3,078E-07 x ³ + 2,689E-04 x ² + 0,023 x + 146,331	0,992		
		22,50	30	240	-9,703E-08 x ³ + 2,343E-04 x ² + 0,029 x + 149,864	0,996		
		29,50	30	240	+ 1,485E-06 x ³ - 6,270E-04 x ² + 0,284 x + 155,074	0,998		
		36,50	30	240	+ 1,670E-05 x ³ - 8,335E-03 x ² + 1,597 x + 131,171	0,997		
	5	0,00	30	240	+ 3,285E-05 x ³ - 1,655E-02 x ² + 3,116 x + 94,381	0,996		
		1,50	30	120	+ 3,122E-04 x ³ - 9,366E-02 x ² + 10,325 x - 63,166	1,000		
		8,50	30	240	+ 1,421E-07 x ³ + 8,230E-04 x ² + 0,003 x + 149,651	1,000		
		15,50	30	240	-2,250E-07 x ³ + 1,038E-03 x ² + 0,007 x + 151,652	0,999		
		22,50	30	240	-3,457E-06 x ³ + 1,799E-03 x ² + 0,206 x + 158,736	0,999		
		29,50	30	180	+ 3,627E-05 x ³ - 1,345E-02 x ² + 2,216 x + 116,750	0,999		
		36,50	30	120	-7,199E-04 x ³ + 1,091E-01 x ² - 2,788 x + 176,363	1,000		
	10	0,00	30	60	+ 6,917E-04 x ³ + 0,000E+00 x ² + 0,000 x + 152,824	1,000		
		1,50	30	240	-5,013E-06 x ³ + 2,432E-03 x ² - 0,372 x + 171,560	0,830		
		8,50	30	240	-4,632E-06 x ³ + 2,203E-03 x ² - 0,323 x + 173,049	0,778		
		15,50	30	240	-1,850E-06 x ³ + 6,548E-04 x ² - 0,027 x + 179,083	0,870		
		22,50	30	240	+ 1,817E-05 x ³ - 9,294E-03 x ² + 1,557 x + 143,491	0,979		
		29,50	30	240	+ 3,697E-05 x ³ - 1,910E-02 x ² + 3,266 x + 102,345	0,987		
		36,50	30	240	+ 7,108E-05 x ³ - 3,672E-02 x ² + 6,280 x + 30,368	0,987		
TR30/45	0	0,00	30	240	+ 1,141E-04 x ³ - 5,895E-02 x ² + 10,082 x - 60,443	0,987		
		1,50	30	240	-4,707E-06 x ³ + 2,371E-03 x ² - 0,265 x + 168,414	0,956		
		8,50	30	240	-3,936E-06 x ³ + 2,073E-03 x ² - 0,219 x + 171,594	0,971		
		15,50	30	240	-6,147E-07 x ³ + 2,784E-04 x ² + 0,200 x + 173,912	0,999		
		22,50	30	240	+ 2,088E-05 x ³ - 1,026E-02 x ² + 1,932 x + 133,222	0,996		
		29,50	30	240	+ 3,823E-05 x ³ - 1,945E-02 x ² + 3,727 x + 89,070	0,996		
		36,50	30	120	+ 3,882E-04 x ³ - 1,164E-01 x ² + 12,770 x - 108,128	1,000		
	5	0,00	30	240	-4,115E-06 x ³ + 2,843E-03 x ² - 0,245 x + 170,899	0,997		
		1,50	30	240	-4,403E-06 x ³ + 2,992E-03 x ² - 0,225 x + 173,139	0,998		
		8,50	30	240	-1,921E-07 x ³ + 6,562E-04 x ² + 0,373 x + 169,450	1,000		
		15,50	30	180	+ 4,265E-05 x ³ - 1,562E-02 x ² + 2,599 x + 117,246	0,999		
		22,50	30	120	-8,649E-04 x ³ + 1,313E-01 x ² - 3,323 x + 186,347	1,000		
		29,50	30	60	+ 8,379E-04 x ³ + 0,000E+00 x ² + 0,000 x + 158,908	1,000		
		36,50	30	240	-1,921E-07 x ³ + 6,562E-04 x ² + 0,373 x + 169,450	1,000		

Tabela D.2. TR36, TR42 - Regressão Polinomial Ordem 3 e R²

	INCLINAÇÃO (%)	COTA INICIAL (M)	LINHA "x" (M)		MASSA TOTAL (KG/M)			R2
			mín.	máx.	f(x)			
TR36/35	0	0,00	30	240	-1,143E-06 x ³ + 6,057E-04 x ² - 0,108 x + 154,583	0,493		
		1,50	30	240	-1,109E-06 x ³ + 5,447E-04 x ² - 0,086 x + 156,758	0,289		
		8,50	30	240	+ 1,070E-06 x ³ - 6,540E-04 x ² + 0,139 x + 162,414	0,720		
		15,50	30	240	+ 1,359E-05 x ³ - 6,991E-03 x ² + 1,186 x + 145,815	0,986		
		22,50	30	240	+ 3,136E-05 x ³ - 1,620E-02 x ² + 2,771 x + 107,918	0,987		
		29,50	30	240	+ 5,754E-05 x ³ - 2,972E-02 x ² + 5,083 x + 52,675	0,987		
	5	0,00	30	240	+ 9,643E-05 x ³ - 4,981E-02 x ² + 8,519 x - 29,386	0,987		
		1,50	30	240	-5,962E-07 x ³ + 4,206E-04 x ² - 0,004 x + 151,618	0,937		
		1,50	30	240	-2,942E-07 x ³ + 3,517E-04 x ² + 0,005 x + 155,505	0,947		
		8,50	30	240	+ 1,662E-06 x ³ - 6,415E-04 x ² + 0,276 x + 160,963	0,996		
		15,50	30	240	+ 1,783E-05 x ³ - 8,840E-03 x ² + 1,664 x + 133,531	0,996		
		22,50	30	240	+ 3,312E-05 x ³ - 1,669E-02 x ² + 3,142 x + 97,403	0,996		
	10	29,50	30	120	+ 3,143E-04 x ³ - 9,429E-02 x ² + 10,392 x - 61,018	1,000		
		0,00	30	240	+ 4,255E-07 x ³ + 7,517E-04 x ² + 0,004 x + 154,541	0,994		
		1,50	30	240	+ 3,078E-07 x ³ + 8,702E-04 x ² + 0,019 x + 156,468	0,995		
		8,50	30	240	-3,701E-06 x ³ + 1,935E-03 x ² + 0,182 x + 165,052	1,000		
		15,50	30	180	+ 3,751E-05 x ³ - 1,391E-02 x ² + 2,273 x + 119,112	0,999		
		22,50	30	120	-7,211E-04 x ³ + 1,092E-01 x ² - 2,764 x + 179,306	1,000		
29,50	30	60	+ 6,958E-04 x ³ + 0,000E+00 x ² + 0,000 x + 156,378	1,000				
TR36/45	0	0,00	30	240	-4,093E-06 x ³ + 1,999E-03 x ² - 0,310 x + 172,876	0,784		
		1,50	30	240	-3,679E-06 x ³ + 1,753E-03 x ² - 0,258 x + 174,396	0,699		
		8,50	30	240	-1,797E-06 x ³ + 6,152E-04 x ² - 0,017 x + 183,851	0,891		
		15,50	30	240	+ 1,830E-05 x ³ - 9,362E-03 x ² + 1,570 x + 147,738	0,970		
		22,50	30	240	+ 3,838E-05 x ³ - 1,998E-02 x ² + 3,438 x + 102,335	0,986		
		29,50	30	240	+ 7,146E-05 x ³ - 3,691E-02 x ² + 6,313 x + 33,660	0,987		
	5	36,50	30	240	+ 1,177E-04 x ³ - 6,081E-02 x ² + 10,400 x - 63,960	0,987		
		0,00	30	240	-3,898E-06 x ³ + 1,981E-03 x ² - 0,202 x + 169,661	0,966		
		1,50	30	240	-3,298E-06 x ³ + 1,752E-03 x ² - 0,165 x + 173,482	0,977		
		8,50	30	240	+ 2,089E-07 x ³ - 1,110E-04 x ² + 0,259 x + 176,664	0,999		
		15,50	30	240	+ 2,102E-05 x ³ - 1,039E-02 x ² + 1,977 x + 136,101	0,997		
		22,50	30	240	+ 4,115E-05 x ³ - 2,079E-02 x ² + 3,915 x + 88,859	0,995		
	10	29,50	30	120	+ 3,903E-04 x ³ - 1,171E-01 x ² + 12,879 x - 106,764	1,000		
		0,00	30	240	-2,904E-06 x ³ + 2,277E-03 x ² - 0,159 x + 171,675	0,998		
		1,50	30	240	-3,378E-06 x ³ + 2,520E-03 x ² - 0,154 x + 174,928	0,998		
		8,50	30	240	+ 1,678E-06 x ³ - 8,236E-06 x ² + 0,443 x + 172,269	1,000		
		15,50	30	180	+ 4,337E-05 x ³ - 1,619E-02 x ² + 2,715 x + 118,328	0,999		
		22,50	30	120	-8,576E-04 x ³ + 1,286E-01 x ² - 3,037 x + 184,194	1,000		
29,50	30	60	+ 8,561E-04 x ³ + 0,000E+00 x ² + 0,000 x + 162,551	1,000				
TR42/35	0	0,00	30	240	-1,884E-06 x ³ + 9,638E-04 x ² - 0,163 x + 159,758	0,545		
		1,50	30	240	-1,950E-06 x ³ + 9,546E-04 x ² - 0,149 x + 162,219	0,435		
		8,50	30	240	+ 9,451E-07 x ³ - 5,656E-04 x ² + 0,120 x + 167,275	0,511		
		15,50	30	240	+ 1,675E-05 x ³ - 8,574E-03 x ² + 1,440 x + 142,200	0,980		
		22,50	30	240	+ 3,260E-05 x ³ - 1,684E-02 x ² + 2,880 x + 107,507	0,987		
		29,50	30	240	+ 6,014E-05 x ³ - 3,107E-02 x ² + 5,313 x + 49,393	0,987		
	5	36,50	30	240	+ 9,671E-05 x ³ - 4,995E-02 x ² + 8,544 x - 27,762	0,987		
		0,00	30	240	-1,238E-06 x ³ + 7,659E-04 x ² - 0,057 x + 156,711	0,900		
		1,50	30	240	-6,727E-07 x ³ + 6,000E-04 x ² - 0,035 x + 160,436	0,914		
		8,50	30	240	+ 7,567E-07 x ³ - 3,408E-04 x ² + 0,270 x + 165,470	0,996		
		15,50	30	240	+ 1,797E-05 x ³ - 8,909E-03 x ² + 1,689 x + 135,080	0,996		
		22,50	30	240	+ 3,386E-05 x ³ - 1,719E-02 x ² + 3,256 x + 96,758	0,996		
	10	29,50	30	120	+ 3,283E-04 x ³ - 9,850E-02 x ² + 10,805 x - 67,780	1,000		
		0,00	30	240	-1,714E-06 x ³ + 1,677E-03 x ² - 0,098 x + 160,866	0,992		
		1,50	30	240	-1,918E-06 x ³ + 1,765E-03 x ² - 0,069 x + 162,437	0,993		
		8,50	30	240	-1,875E-07 x ³ + 3,881E-04 x ² + 0,374 x + 165,128	1,000		
		15,50	30	180	+ 3,728E-05 x ³ - 1,387E-02 x ² + 2,303 x + 120,510	0,999		
		22,50	30	120	-7,382E-04 x ³ + 1,115E-01 x ² - 2,760 x + 179,876	1,000		
29,50	30	60	+ 7,103E-04 x ³ + 0,000E+00 x ² + 0,000 x + 158,290	1,000				
TR42/45	0	0,00	30	240	-6,073E-06 x ³ + 2,947E-03 x ² - 0,451 x + 183,075	0,829		
		1,50	30	240	-6,217E-06 x ³ + 2,955E-03 x ² - 0,433 x + 186,870	0,794		
		8,50	30	240	-3,894E-06 x ³ + 1,583E-03 x ² - 0,149 x + 194,856	0,831		
		15,50	30	240	+ 1,539E-05 x ³ - 8,067E-03 x ² + 1,395 x + 160,023	0,965		
		22,50	30	240	+ 4,237E-05 x ³ - 2,187E-02 x ² + 3,671 x + 104,948	0,987		
		29,50	30	240	+ 7,170E-05 x ³ - 3,703E-02 x ² + 6,334 x + 41,440	0,987		
	5	36,50	30	240	+ 1,181E-04 x ³ - 6,100E-02 x ² + 10,432 x - 56,449	0,987		
		0,00	30	240	-5,828E-06 x ³ + 2,883E-03 x ² - 0,325 x + 179,370	0,957		
		1,50	30	240	-6,084E-06 x ³ + 3,058E-03 x ² - 0,347 x + 186,241	0,966		
		8,50	30	240	-2,812E-06 x ³ + 1,158E-03 x ² + 0,098 x + 188,406	0,997		
		15,50	30	240	+ 2,339E-05 x ³ - 1,122E-02 x ² + 2,032 x + 143,813	0,993		
		22,50	30	240	+ 4,233E-05 x ³ - 2,137E-02 x ² + 4,000 x + 95,174	0,995		
	10	29,50	30	120	+ 3,915E-04 x ³ - 1,175E-01 x ² + 12,920 x - 99,428	1,000		
		0,00	30	240	-5,504E-06 x ³ + 3,505E-03 x ² - 0,330 x + 184,021	0,996		
		1,50	30	240	-6,961E-06 x ³ + 4,094E-03 x ² - 0,361 x + 188,408	0,998		
		8,50	30	240	+ 7,529E-07 x ³ + 5,741E-04 x ² + 0,338 x + 182,838	1,000		
		15,50	30	180	+ 4,357E-05 x ³ - 1,642E-02 x ² + 2,769 x + 125,187	0,999		
		22,50	30	120	-8,734E-04 x ³ + 1,308E-01 x ² - 3,092 x + 192,594	1,000		
29,50	30	60	+ 8,588E-04 x ³ + 0,000E+00 x ² + 0,000 x + 170,761	1,000				

Tabela D.3. TR48, TR54 - Regressão Polinomial Ordem 3 e R²

	INCLINAÇÃO (%)	COTA INICIAL (M)	LINHA "x" (M)		MASSA TOTAL (KG/M)			R2
			mín.	máx.	f(x)			
TR48/35	0	0,00	30	240	-4,600E-06 x ³ + 2,259E-03 x ² - 0,354 x + 172,441	0,748		
		1,50	30	240	-4,701E-06 x ³ + 2,245E-03 x ² - 0,333 x + 176,196	0,690		
		8,50	30	240	-2,293E-06 x ³ + 8,687E-04 x ² - 0,060 x + 182,834	0,797		
		15,50	30	240	+ 1,590E-05 x ³ - 8,168E-03 x ² + 1,380 x + 149,485	0,985		
		22,50	30	240	+ 3,281E-05 x ³ - 1,695E-02 x ² + 2,898 x + 113,170	0,987		
		29,50	30	240	+ 6,187E-05 x ³ - 3,196E-02 x ² + 5,466 x + 51,837	0,987		
	5	0,00	30	240	+ 9,699E-05 x ³ - 5,010E-02 x ² + 8,568 x - 22,255	0,987		
		1,50	30	240	-4,196E-06 x ³ + 2,098E-03 x ² - 0,222 x + 168,637	0,939		
		8,50	30	240	-4,436E-06 x ³ + 2,268E-03 x ² - 0,247 x + 175,353	0,950		
		15,50	30	240	-6,110E-07 x ³ + 2,827E-04 x ² + 0,176 x + 176,701	0,998		
		22,50	30	240	+ 1,829E-05 x ³ - 9,026E-03 x ² + 1,705 x + 140,809	0,996		
		29,50	30	120	+ 3,365E-05 x ³ - 1,718E-02 x ² + 3,285 x + 102,038	0,996		
	10	0,00	30	240	+ 3,379E-04 x ³ - 1,014E-01 x ² + 11,087 x - 67,798	1,000		
		1,50	30	240	-3,710E-06 x ³ + 2,585E-03 x ² - 0,222 x + 173,249	0,995		
		8,50	30	240	-4,374E-06 x ³ + 2,880E-03 x ² - 0,226 x + 176,481	0,996		
		15,50	30	180	-1,001E-06 x ³ + 8,020E-04 x ² + 0,321 x + 172,899	1,000		
		22,50	30	180	+ 3,730E-05 x ³ - 1,379E-02 x ² + 2,301 x + 126,678	0,999		
		29,50	30	120	-7,527E-04 x ³ + 1,139E-01 x ² - 2,840 x + 186,579	1,000		
		30	60	+ 7,210E-04 x ³ + 0,000E+00 x ² + 0,000 x + 164,146	1,000			
TR48/45	0	0,00	30	240	-1,427E-06 x ³ + 7,305E-04 x ² - 0,124 x + 177,455	0,542		
		1,50	30	240	-1,528E-06 x ³ + 7,163E-04 x ² - 0,103 x + 181,211	0,293		
		8,50	30	240	-3,374E-06 x ³ + 1,153E-03 x ² - 0,057 x + 198,078	0,946		
		15,50	30	240	+ 1,710E-05 x ³ - 8,485E-03 x ² + 1,370 x + 172,850	0,951		
		22,50	30	240	+ 4,536E-05 x ³ - 2,291E-02 x ² + 3,733 x + 116,411	0,982		
		29,50	30	240	+ 7,193E-05 x ³ - 3,716E-02 x ² + 6,355 x + 52,997	0,987		
	5	0,00	30	240	+ 1,184E-04 x ³ - 6,118E-02 x ² + 10,464 x - 45,160	0,987		
		1,50	30	240	-1,165E-06 x ³ + 6,586E-04 x ² + 0,004 x + 173,711	0,989		
		8,50	30	240	-2,181E-06 x ³ + 1,091E-03 x ² - 0,043 x + 181,263	0,993		
		15,50	30	240	-1,127E-06 x ³ + 5,292E-04 x ² + 0,146 x + 195,785	0,994		
		22,50	30	240	+ 2,542E-05 x ³ - 1,188E-02 x ² + 2,052 x + 155,708	0,988		
		29,50	30	240	+ 4,159E-05 x ³ - 2,119E-02 x ² + 3,994 x + 107,327	0,995		
	10	0,00	30	240	+ 3,928E-04 x ³ - 1,178E-01 x ² + 12,962 x - 88,336	1,000		
		1,50	30	240	-3,746E-06 x ³ + 2,273E-03 x ² - 0,098 x + 180,852	1,000		
		8,50	30	240	-3,534E-06 x ³ + 2,267E-03 x ² - 0,078 x + 184,160	1,000		
		15,50	30	240	+ 1,325E-06 x ³ + 5,281E-04 x ² + 0,289 x + 195,184	0,998		
		22,50	30	180	+ 5,834E-05 x ³ - 2,098E-02 x ² + 3,137 x + 129,759	0,999		
		29,50	30	120	-8,931E-04 x ³ + 1,342E-01 x ² - 3,260 x + 207,101	1,000		
		30	60	+ 8,615E-04 x ³ + 0,000E+00 x ² + 0,000 x + 182,686	1,000			
TR54/35	0	0,00	30	240	-3,483E-06 x ³ + 1,726E-03 x ² - 0,276 x + 174,188	0,688		
		1,50	30	240	-3,587E-06 x ³ + 1,712E-03 x ² - 0,254 x + 178,051	0,596		
		8,50	30	240	-2,622E-06 x ³ + 1,007E-03 x ² - 0,074 x + 189,991	0,819		
		15,50	30	240	+ 1,262E-05 x ³ - 6,617E-03 x ² + 1,159 x + 166,379	0,992		
		22,50	30	240	+ 3,449E-05 x ³ - 1,784E-02 x ² + 3,048 x + 121,650	0,987		
		29,50	30	240	+ 6,528E-05 x ³ - 3,372E-02 x ² + 5,767 x + 56,738	0,987		
	5	0,00	30	240	+ 1,025E-04 x ³ - 5,296E-02 x ² + 9,058 x - 21,876	0,987		
		1,50	30	240	-3,177E-06 x ³ + 1,606E-03 x ² - 0,142 x + 170,319	0,957		
		8,50	30	240	-3,449E-06 x ³ + 1,783E-03 x ² - 0,167 x + 177,297	0,965		
		15,50	30	240	-2,420E-06 x ³ + 1,160E-03 x ² + 0,050 x + 189,121	0,995		
		22,50	30	240	+ 1,751E-05 x ³ - 8,597E-03 x ² + 1,663 x + 153,264	0,998		
		29,50	30	240	+ 3,533E-05 x ³ - 1,804E-02 x ² + 3,452 x + 109,997	0,996		
	10	0,00	30	120	+ 3,564E-04 x ³ - 1,069E-01 x ² + 11,697 x - 69,539	1,000		
		1,50	30	240	-2,609E-06 x ³ + 2,041E-03 x ² - 0,131 x + 174,749	0,996		
		8,50	30	240	-3,006E-06 x ³ + 2,237E-03 x ² - 0,125 x + 178,028	0,997		
		15,50	30	240	-3,482E-06 x ³ + 2,421E-03 x ² + 0,071 x + 190,673	0,999		
		22,50	30	180	+ 3,824E-05 x ³ - 1,422E-02 x ² + 2,402 x + 135,999	0,999		
		29,50	30	120	-8,280E-04 x ³ + 1,264E-01 x ² - 3,346 x + 204,646	1,000		
		30	60	+ 7,612E-04 x ³ + 0,000E+00 x ² + 0,000 x + 175,117	1,000			
TR54/45	0	0,00	30	240	-5,843E-36 x ³ + 2,780E-33 x ² + 0,000 x + 177,391	1,000		
		1,50	30	240	+ 1,370E-06 x ³ - 6,829E-04 x ² + 0,109 x + 179,540	0,934		
		8,50	30	240	+ 3,276E-06 x ³ - 1,835E-03 x ² + 0,355 x + 191,905	0,999		
		15,50	30	240	+ 1,833E-05 x ³ - 9,462E-03 x ² + 1,601 x + 173,521	0,983		
		22,50	30	240	+ 3,919E-05 x ³ - 2,067E-02 x ² + 3,583 x + 126,260	0,986		
		29,50	30	240	+ 7,217E-05 x ³ - 3,728E-02 x ² + 6,376 x + 59,652	0,987		
	5	0,00	30	240	+ 1,188E-04 x ³ - 6,137E-02 x ² + 10,496 x - 38,773	0,987		
		1,50	30	240	+ 1,987E-06 x ³ - 8,416E-04 x ² + 0,235 x + 171,389	0,999		
		8,50	30	240	+ 2,286E-06 x ³ - 9,112E-04 x ² + 0,242 x + 178,074	0,998		
		15,50	30	240	+ 3,996E-06 x ³ - 1,882E-03 x ² + 0,527 x + 189,983	0,999		
		22,50	30	240	+ 2,103E-05 x ³ - 1,070E-02 x ² + 2,069 x + 161,149	0,997		
		29,50	30	240	+ 4,322E-05 x ³ - 2,181E-02 x ² + 4,069 x + 112,762	0,995		
	10	0,00	30	120	+ 3,941E-04 x ³ - 1,182E-01 x ² + 13,004 x - 82,122	1,000		
		1,50	30	240	+ 2,608E-06 x ³ - 3,397E-04 x ² + 0,252 x + 175,968	1,000		
		8,50	30	240	+ 3,494E-06 x ³ - 6,284E-04 x ² + 0,313 x + 178,549	0,999		
		15,50	30	240	+ 9,506E-07 x ³ - 6,579E-05 x ² + 0,539 x + 191,879	1,000		
		22,50	30	180	+ 4,559E-05 x ³ - 1,726E-02 x ² + 2,880 x + 141,809	0,999		
		29,50	30	120	-8,741E-04 x ³ + 1,304E-01 x ² - 3,012 x + 209,803	1,000		
		30	60	+ 8,642E-04 x ³ + 0,000E+00 x ² + 0,000 x + 189,831	1,000			

Tabela D.4. TR60, TR72 - Regressão Polinomial Ordem 3 e R²

	INCLINAÇÃO (%)	COTA INICIAL (M)	LINHA "x" (M)		MASSA TOTAL (KG/M)			
			mín.	máx.	f(x)			R2
TR60/35	0	0,00	30	240	-1,154E-06 x ³ + 6,049E-04 x ² - 0,106 x + 186,612	0,500		
		1,50	30	240	-1,210E-06 x ³ + 5,626E-04 x ² - 0,079 x + 190,499	0,178		
		8,50	30	240	-4,228E-09 x ³ - 2,557E-04 x ² + 0,117 x + 201,466	0,977		
		15,50	30	240	+ 1,105E-05 x ³ - 5,913E-03 x ² + 1,056 x + 190,733	0,987		
		22,50	30	240	+ 3,836E-05 x ³ - 1,943E-02 x ² + 3,162 x + 141,835	0,983		
		29,50	30	240	+ 6,019E-05 x ³ - 3,161E-02 x ² + 5,465 x + 86,181	0,986		
	36,50	30	240	+ 9,938E-05 x ³ - 5,156E-02 x ² + 8,851 x + 5,429	0,986			
	5	0,00	30	240	-7,288E-07 x ³ + 4,242E-04 x ² + 0,036 x + 182,530	0,985		
		1,50	30	240	-1,019E-06 x ³ + 6,153E-04 x ² + 0,008 x + 189,693	0,989		
		8,50	30	240	-2,006E-07 x ³ + 1,305E-05 x ² + 0,228 x + 201,035	0,998		
		15,50	30	240	+ 1,824E-05 x ³ - 8,913E-03 x ² + 1,640 x + 176,073	0,996		
		22,50	30	240	+ 3,537E-05 x ³ - 1,823E-02 x ² + 3,438 x + 132,763	0,996		
		29,50	30	120	+ 3,414E-04 x ³ - 1,024E-01 x ² + 11,238 x - 36,965	1,000		
	10	0,00	30	240	-1,387E-06 x ³ + 1,295E-03 x ² + 0,002 x + 188,329	0,999		
		1,50	30	240	-1,455E-06 x ³ + 1,359E-03 x ² + 0,022 x + 191,165	0,999		
		8,50	30	240	-1,239E-07 x ³ + 5,461E-04 x ² + 0,322 x + 201,189	0,999		
		15,50	30	180	+ 3,882E-05 x ³ - 1,452E-02 x ² + 2,378 x + 159,065	1,000		
		22,50	30	120	-8,081E-04 x ³ + 1,231E-01 x ² - 3,248 x + 226,838	1,000		
29,50		30	60	+ 7,417E-04 x ³ + 0,000E+00 x ² + 0,000 x + 198,325	1,000			
TR60/45	0	0,00	30	240	+ 0,000E+00 x ³ + 0,000E+00 x ² + 0,000 x + 190,848	1,000		
		1,50	30	240	+ 1,460E-06 x ³ - 7,362E-04 x ² + 0,121 x + 192,838	0,970		
		8,50	30	240	+ 4,814E-06 x ³ - 2,552E-03 x ² + 0,451 x + 204,024	0,982		
		15,50	30	240	+ 1,841E-05 x ³ - 9,449E-03 x ² + 1,579 x + 192,772	0,987		
		22,50	30	240	+ 4,210E-05 x ³ - 2,209E-02 x ² + 3,783 x + 140,185	0,987		
		29,50	30	240	+ 7,398E-05 x ³ - 3,822E-02 x ² + 6,536 x + 74,680	0,987		
	36,50	30	240	+ 1,193E-04 x ³ - 6,163E-02 x ² + 10,540 x - 20,946	0,987			
	5	0,00	30	240	+ 2,001E-06 x ³ - 8,946E-04 x ² + 0,254 x + 184,343	0,999		
		1,50	30	240	+ 2,765E-06 x ³ - 1,159E-03 x ² + 0,284 x + 190,640	0,997		
		8,50	30	240	+ 4,994E-06 x ³ - 2,417E-03 x ² + 0,621 x + 202,022	0,999		
		15,50	30	240	+ 2,406E-05 x ³ - 1,190E-02 x ² + 2,193 x + 177,131	0,996		
		22,50	30	240	+ 4,435E-05 x ³ - 2,245E-02 x ² + 4,191 x + 128,691	0,995		
		29,50	30	120	+ 4,041E-04 x ³ - 1,212E-01 x ² + 13,301 x - 69,729	1,000		
	10	0,00	30	240	+ 3,310E-06 x ³ - 5,886E-04 x ² + 0,294 x + 188,525	1,000		
		1,50	30	240	+ 2,165E-06 x ³ - 1,631E-04 x ² + 0,288 x + 192,835	0,999		
		8,50	30	240	+ 4,147E-06 x ³ - 1,486E-03 x ² + 0,725 x + 201,791	1,000		
		15,50	30	180	+ 4,716E-05 x ³ - 1,793E-02 x ² + 2,988 x + 158,083	0,999		
		22,50	30	120	-9,158E-04 x ³ + 1,370E-01 x ² - 3,256 x + 231,205	1,000		
29,50		30	60	+ 8,766E-04 x ³ + 0,000E+00 x ² + 0,000 x + 208,441	1,000			
TR72/35	0	0,00	30	240	-3,886E-06 x ³ + 1,923E-03 x ² - 0,306 x + 221,420	0,697		
		1,50	30	240	-3,999E-06 x ³ + 1,907E-03 x ² - 0,282 x + 225,644	0,608		
		8,50	30	240	-3,167E-06 x ³ + 1,253E-03 x ² - 0,106 x + 238,380	0,808		
		15,50	30	240	+ 1,332E-05 x ³ - 6,970E-03 x ² + 1,216 x + 211,354	0,991		
		22,50	30	240	+ 3,538E-05 x ³ - 1,823E-02 x ² + 3,093 x + 167,146	0,984		
		29,50	30	240	+ 6,592E-05 x ³ - 3,405E-02 x ² + 5,824 x + 101,644	0,987		
	36,50	30	240	+ 1,037E-04 x ³ - 5,354E-02 x ² + 9,157 x + 22,023	0,987			
	5	0,00	30	240	-3,550E-06 x ³ + 1,777E-03 x ² - 0,162 x + 217,298	0,955		
		1,50	30	240	-3,948E-06 x ³ + 2,013E-03 x ² - 0,195 x + 224,998	0,964		
		8,50	30	240	-2,769E-06 x ³ + 1,332E-03 x ² + 0,028 x + 237,336	0,994		
		15,50	30	240	+ 1,824E-05 x ³ - 8,885E-03 x ² + 1,688 x + 199,603	0,995		
		22,50	30	240	+ 3,595E-05 x ³ - 1,835E-02 x ² + 3,505 x + 155,084	0,996		
		29,50	30	120	+ 3,602E-04 x ³ - 1,081E-01 x ² + 11,825 x - 26,058	1,000		
	10	0,00	30	240	-3,104E-06 x ³ + 2,261E-03 x ² - 0,155 x + 222,412	0,995		
		1,50	30	240	-3,343E-06 x ³ + 2,400E-03 x ² - 0,143 x + 225,708	0,997		
		8,50	30	240	-3,777E-06 x ³ + 2,382E-03 x ² + 0,095 x + 236,737	0,999		
		15,50	30	180	+ 4,630E-05 x ³ - 1,660E-02 x ² + 2,604 x + 178,608	0,999		
		22,50	30	120	-8,347E-04 x ³ + 1,272E-01 x ² - 3,336 x + 250,487	1,000		
29,50		30	60	+ 7,719E-04 x ³ + 0,000E+00 x ² + 0,000 x + 221,532	1,000			
TR72/45	0	0,00	30	240	-6,874E-07 x ³ + 3,875E-04 x ² - 0,073 x + 225,621	0,442		
		1,50	30	240	-4,988E-07 x ³ + 2,183E-04 x ² - 0,027 x + 229,223	0,022		
		8,50	30	240	-6,297E-07 x ³ + 4,547E-06 x ² + 0,091 x + 245,266	0,974		
		15,50	30	240	+ 2,186E-05 x ³ - 1,098E-02 x ² + 1,793 x + 209,945	0,962		
		22,50	30	240	+ 4,263E-05 x ³ - 2,207E-02 x ² + 3,780 x + 161,453	0,986		
		29,50	30	240	+ 7,479E-05 x ³ - 3,863E-02 x ² + 6,608 x + 93,912	0,987		
	36,50	30	240	+ 1,249E-04 x ³ - 6,451E-02 x ² + 11,033 x - 11,793	0,987			
	5	0,00	30	240	+ 1,341E-07 x ³ + 5,261E-05 x ² + 0,098 x + 220,772	0,992		
		1,50	30	240	-2,487E-07 x ³ + 3,147E-04 x ² + 0,060 x + 228,800	0,996		
		8,50	30	240	-1,308E-06 x ³ + 4,209E-04 x ² + 0,235 x + 244,154	0,998		
		15,50	30	240	+ 2,473E-05 x ³ - 1,213E-02 x ² + 2,250 x + 197,379	0,995		
		22,50	30	240	+ 4,538E-05 x ³ - 2,284E-02 x ² + 4,248 x + 148,363	0,995		
		29,50	30	120	+ 4,087E-04 x ³ - 1,226E-01 x ² + 13,507 x - 53,733	1,000		
	10	0,00	30	240	-3,264E-07 x ³ + 1,109E-03 x ² + 0,044 x + 227,462	1,000		
		1,50	30	240	-1,906E-06 x ³ + 1,772E-03 x ² + 0,006 x + 232,324	1,000		
		8,50	30	240	+ 2,221E-06 x ³ - 2,030E-04 x ² + 0,505 x + 238,133	1,000		
		15,50	30	180	+ 5,058E-05 x ³ - 1,912E-02 x ² + 3,124 x + 176,361	0,999		
		22,50	30	120	-8,920E-04 x ³ + 1,324E-01 x ² - 2,944 x + 246,740	1,000		
29,50		30	60	+ 9,034E-04 x ³ + 0,000E+00 x ² + 0,000 x + 229,047	1,000			

APÊNDICE E

RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES NUMÉRICAS

DE ESTUDOS PARA IMPLANTAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE LAY-OUTS

AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DEVIDO À VARIABILIDADE DE SUPORTES

1. INTRODUÇÃO

Nesse apêndice apresentam-se simulações adicionais quantitativas relevando-se a variabilidade de suportes para linhas de transportadores com 120 metros de comprimento com cota inicial de 08,50m.

2. TRANSPORTADORES DE CORREIA

Tabela E.1. Linha com 120M – TR24/35 – Informações Resultantes

INCLINAÇÃO (%)	MASSA TOTAL DAS GALERIAS (KG)	MASSA TOTAL DAS COLUNAS (KG)	MASSA COMBINADA (KG)	MASSA (KG/M)	QUANT. DE COLUNAS	VÃO GALERIA (M)
0	19187,34	1943,06	21130,40	176,09	3	30,00
	17668,69	1986,73	19655,42	163,80	4	24,00
	16456,21	2324,79	18781,00	156,51	5	20,00
	16653,41	2552,48	19205,88	160,05	6	17,14
	16775,96	2755,11	19531,06	162,76	7	15,00
5	19214,27	3178,67	22392,95	186,61	3	30,04
	17695,85	3601,57	21297,42	177,48	4	24,03
	16479,21	4084,27	20563,48	171,36	5	20,02
	16672,98	4580,92	21253,90	177,12	6	17,16
	16795,84	5080,67	21876,51	182,30	7	15,02
10	19294,91	4626,04	23920,95	199,34	3	30,15
	17777,19	5479,97	23257,16	193,81	4	24,12
	16548,06	6325,10	22873,16	190,61	5	20,10
	16731,55	7158,66	23890,21	199,09	6	17,23
	16855,33	7939,14	24794,47	206,62	7	15,07

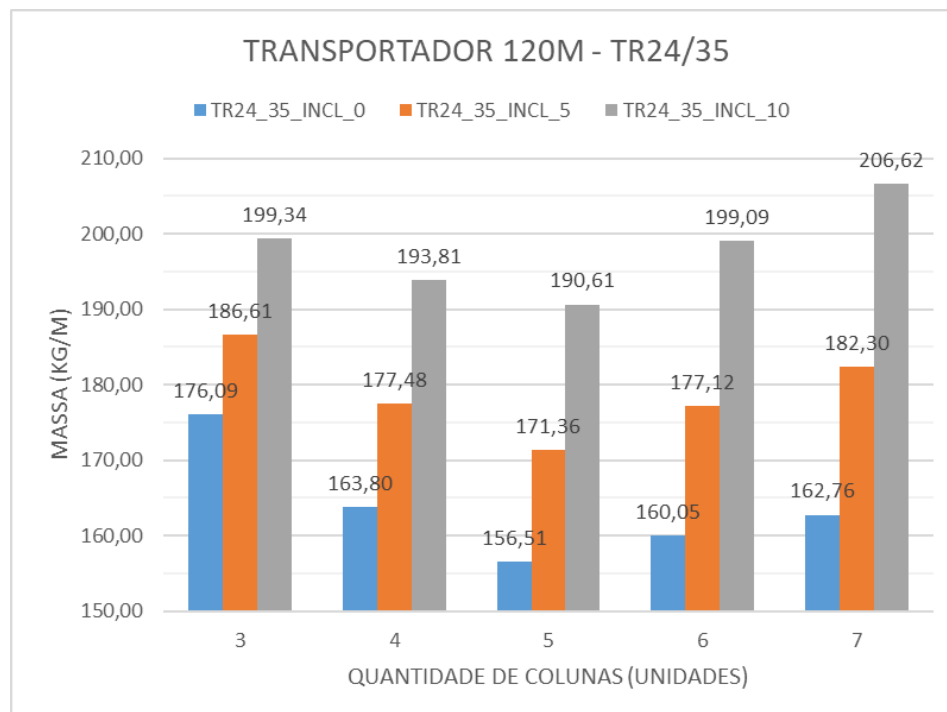


Gráfico E.1 Linha com 120M – TR24/35 – Informações Resultantes

Tabela E.2. Linha com 120M – TR24/45 – Informações Resultantes

INCLINAÇÃO (%)	MASSA TOTAL DAS GALERIAS (KG)	MASSA TOTAL DAS COLUNAS (KG)	MASSA COMBINADA (KG)	MASSA (KG/M)	QUANT. DE COLUNAS	VÃO GALERIA (M)
0	20836,68	2400,00	23236,68	193,64	3	30,00
	18821,90	2795,24	21617,14	180,14	4	24,00
	17853,13	3089,55	20942,68	174,52	5	20,00
	17870,00	3220,05	21090,05	175,75	6	17,14
	18003,59	3409,08	21412,67	178,44	7	15,00
5	20868,57	3903,35	24771,93	206,43	3	30,04
	18853,53	4607,83	23461,37	195,51	4	24,03
	17880,57	5287,54	23168,11	193,07	5	20,02
	17890,99	5853,91	23744,90	197,87	6	17,16
	18024,91	6394,67	24419,58	203,50	7	15,02
10	20964,11	5634,87	26598,98	221,66	3	30,15
	18948,33	6750,95	25699,28	214,16	4	24,12
	17962,76	7925,98	25888,74	215,74	5	20,10
	17953,77	8923,33	26877,10	223,98	6	17,23
	18088,70	9959,86	28048,56	233,74	7	15,07

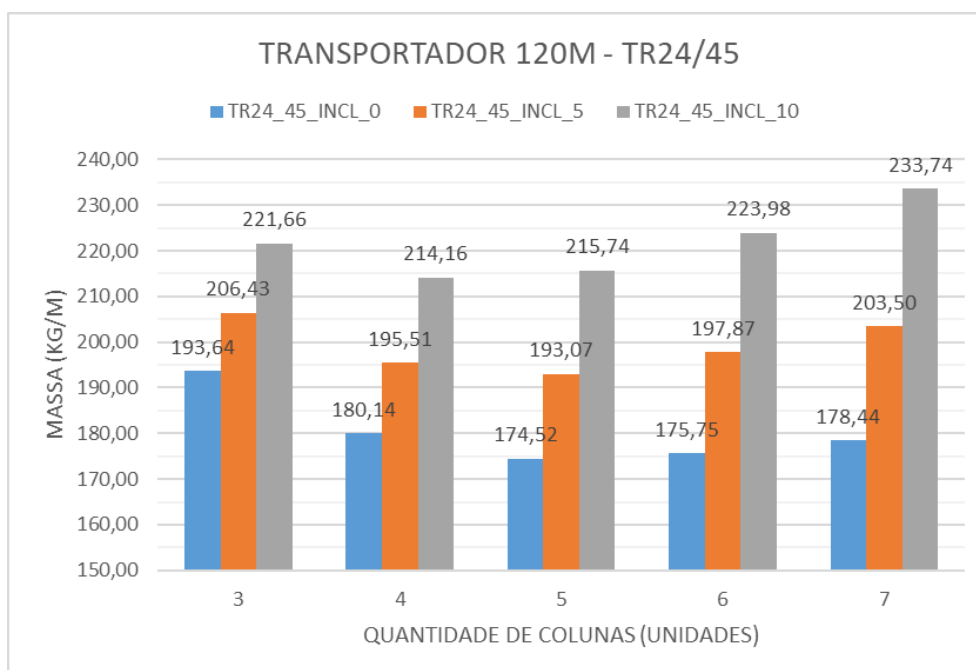


Gráfico E.2 Linha com 120M – TR24/45 – Informações Resultantes

Tabela E.3. Linha com 120M – TR30/35 – Informações Resultantes

INCLINAÇÃO (%)	MASSA TOTAL DAS GALERIAS (KG)	MASSA TOTAL DAS COLUNAS (KG)	MASSA COMBINADA (KG)	MASSA (KG/M)	QUANT. DE COLUNAS	VÃO GALERIA (M)
0	20453,70	2000,89	22454,59	187,12	3	30,00
	19124,94	2176,77	21301,72	177,51	4	24,00
	17592,28	2442,29	20034,57	166,95	5	20,00
	17582,15	2732,83	20314,98	169,29	6	17,14
	17661,62	2767,67	20429,29	170,24	7	15,00
5	20485,29	3290,28	23775,57	198,13	3	30,04
	19153,54	3744,35	22897,89	190,82	4	24,03
	17617,57	4274,27	21891,83	182,43	5	20,02
	17603,32	4835,43	22438,75	186,99	6	17,16
	17682,99	5129,53	22812,52	190,10	7	15,02
10	20579,94	4768,58	25348,52	211,24	3	30,15
	19239,18	5588,21	24827,39	206,89	4	24,12
	17693,28	6560,15	24253,43	202,11	5	20,10
	17666,65	7503,68	25170,33	209,75	6	17,23
	17746,92	8094,30	25841,22	215,34	7	15,07

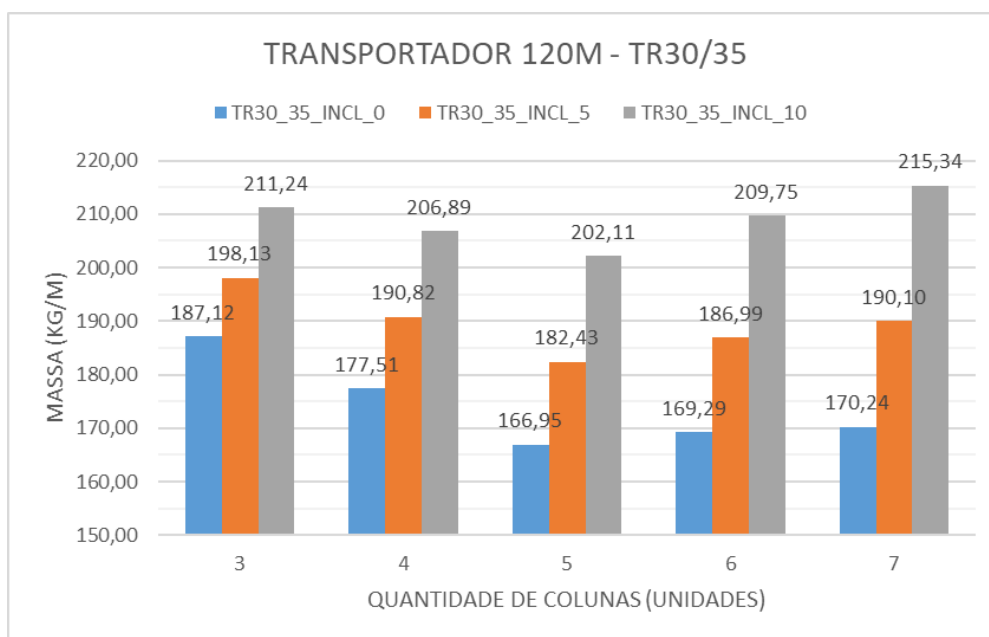


Gráfico E.3 Linha com 120M – TR30/35 – Informações Resultantes

Tabela E.4. Linha com 120M – TR30/45 – Informações Resultantes

INCLINAÇÃO (%)	MASSA TOTAL DAS GALERIAS (KG)	MASSA TOTAL DAS COLUNAS (KG)	MASSA COMBINADA (KG)	MASSA (KG/M)	QUANT. DE COLUNAS	VÃO GALERIA (M)
0	21643,15	2420,82	24063,97	200,53	3	30,00
	19831,14	2901,22	22732,37	189,44	4	24,00
	18725,38	3332,61	22057,99	183,82	5	20,00
	19268,29	3482,93	22751,22	189,59	6	17,14
	19569,73	3426,23	22995,97	191,63	7	15,00
5	21678,35	3939,72	25618,07	213,48	3	30,04
	19864,20	4692,89	24557,09	204,64	4	24,03
	18754,05	5455,91	24209,96	201,75	5	20,02
	19289,35	6042,04	25331,38	211,09	6	17,16
	19591,54	6587,13	26178,67	218,16	7	15,02
10	21783,82	5689,41	27473,23	228,94	3	30,15
	19963,25	6872,35	26835,61	223,63	4	24,12
	18839,91	7955,81	26795,72	223,30	5	20,10
	19352,31	9059,32	28411,63	236,76	6	17,23
	19656,76	10238,88	29895,64	249,13	7	15,07

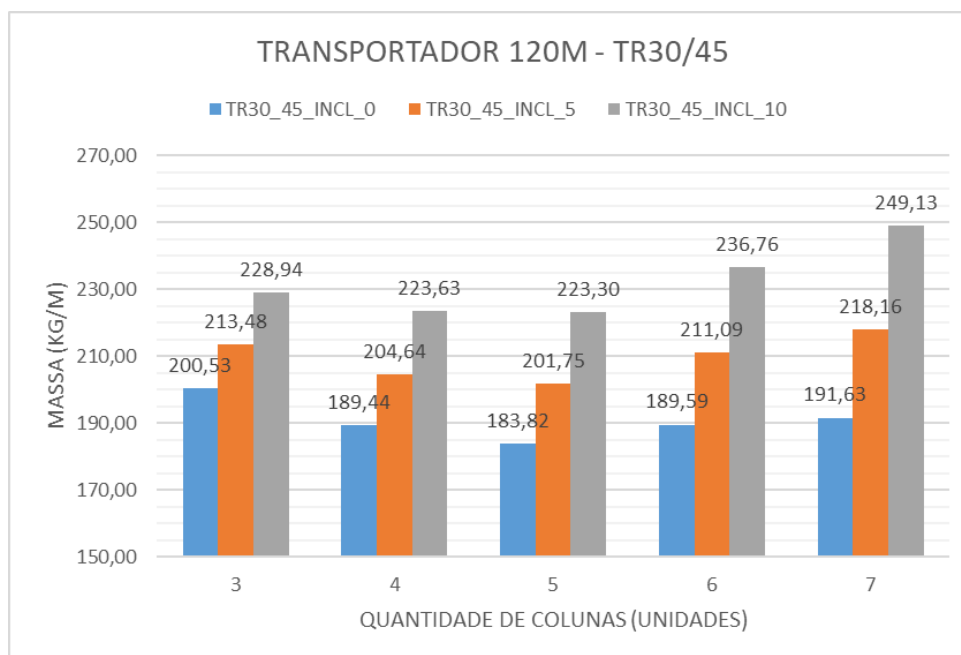


Gráfico E.4 Linha com 120M – TR30/45 – Informações Resultantes

Tabela E.5.Linha com 120M – TR36/35 – Informações Resultantes

INCLINAÇÃO (%)	MASSA TOTAL DAS GALERIAS (KG)	MASSA TOTAL DAS COLUNAS (KG)	MASSA COMBINADA (KG)	MASSA (KG/M)	QUANT. DE COLUNAS	VÃO GALERIA (M)
0	20891,06	2012,14	22903,20	190,86	3	30,00
	19551,03	2429,38	21980,42	183,17	4	24,00
	18110,96	2775,40	20886,37	174,05	5	20,00
	18068,45	2798,38	20866,83	173,89	6	17,14
	18213,05	2974,26	21187,32	176,56	7	15,00
5	20923,29	3376,88	24300,17	202,50	3	30,04
	19581,05	4069,13	23650,18	197,08	4	24,03
	18139,91	4603,33	22743,23	189,53	5	20,02
	18089,58	4893,41	22982,99	191,52	6	17,16
	18234,54	5225,40	23459,94	195,50	7	15,02
10	21019,83	4901,69	25921,52	216,01	3	30,15
	19670,94	5930,51	25601,45	213,35	4	24,12
	18226,62	6830,21	25056,83	208,81	5	20,10
	18152,77	7469,34	25622,12	213,52	6	17,23
	18298,82	8139,73	26438,55	220,32	7	15,07

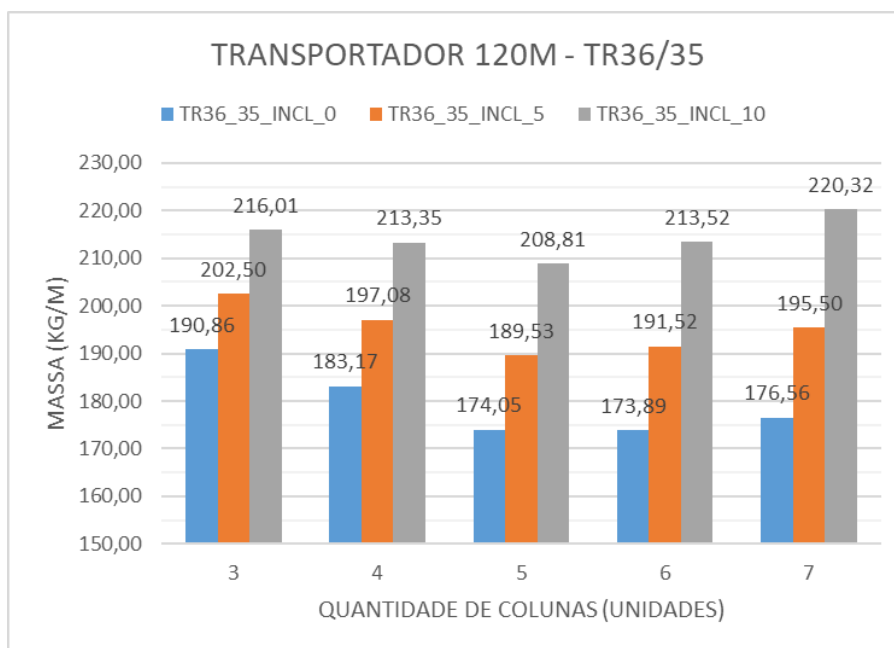


Gráfico E.5 Linha com 120M – TR36/35 – Informações Resultantes

Tabela E.6.Linha com 120M – TR36/45 – Informações Resultantes

INCLINAÇÃO (%)	MASSA TOTAL DAS GALERIAS (KG)	MASSA TOTAL DAS COLUNAS (KG)	MASSA COMBINADA (KG)	MASSA (KG/M)	QUANT. DE COLUNAS	VÃO GALERIA (M)
0	22134,38	2459,57	24593,94	204,95	3	30,00
	20290,23	2913,14	23203,38	193,36	4	24,00
	19218,35	3499,00	22717,36	189,31	5	20,00
	19617,18	3839,17	23456,34	195,47	6	17,14
	19886,61	4134,83	24021,44	200,18	7	15,00
5	22170,79	3987,58	26158,37	217,99	3	30,04
	20324,10	4742,43	25066,53	208,89	4	24,03
	19248,16	5658,26	24906,42	207,55	5	20,02
	19638,99	6272,32	25911,31	215,93	6	17,16
	19909,09	6958,22	26867,31	223,89	7	15,02
10	22279,88	5805,39	28085,27	234,04	3	30,15
	20425,58	6956,24	27381,82	228,18	4	24,12
	19337,43	8176,42	27513,85	229,28	5	20,10
	19704,21	9214,08	28918,29	240,99	6	17,23
	19976,34	10410,14	30386,49	253,22	7	15,07

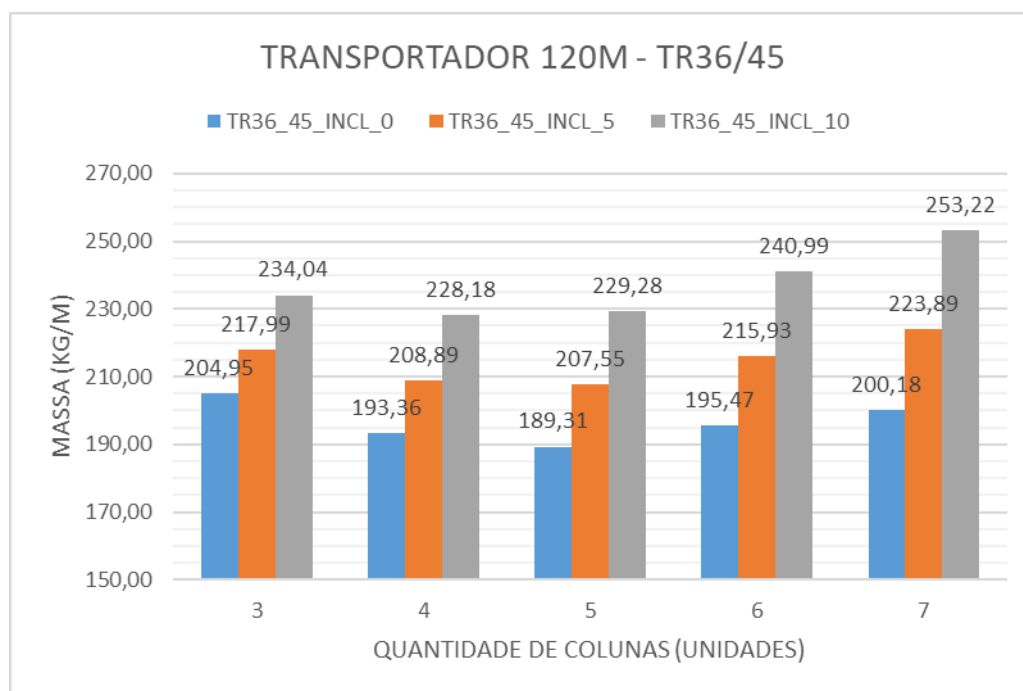


Gráfico E.6 Linha com 120M – TR36/45 – Informações Resultantes

Tabela E.7.Linha com 120M – TR42/35 – Informações Resultantes

INCLINAÇÃO (%)	MASSA TOTAL DAS GALERIAS (KG)	MASSA TOTAL DAS COLUNAS (KG)	MASSA COMBINADA (KG)	MASSA (KG/M)	QUANT. DE COLUNAS	VÃO GALERIA (M)
0	21155,89	2179,49	23335,39	194,46	3	30,00
	19809,10	2870,12	22679,22	188,99	4	24,00
	18446,11	3088,40	21534,51	179,45	5	20,00
	18486,65	2881,70	21368,35	178,07	6	17,14
	18685,95	3014,01	21699,96	180,83	7	15,00
5	21190,98	3487,66	24678,65	205,66	3	30,04
	19841,79	4341,69	24183,48	201,53	4	24,03
	18476,62	5069,07	23545,70	196,21	5	20,02
	18507,75	5372,74	23880,49	199,00	6	17,16
	18707,55	5567,92	24275,47	202,30	7	15,02
10	21296,13	5001,19	26297,32	219,14	3	30,15
	19939,72	6102,81	26042,53	217,02	4	24,12
	18568,05	7331,76	25899,81	215,83	5	20,10
	18570,86	8139,54	26710,40	222,59	6	17,23
	18772,16	8628,51	27400,66	228,34	7	15,07

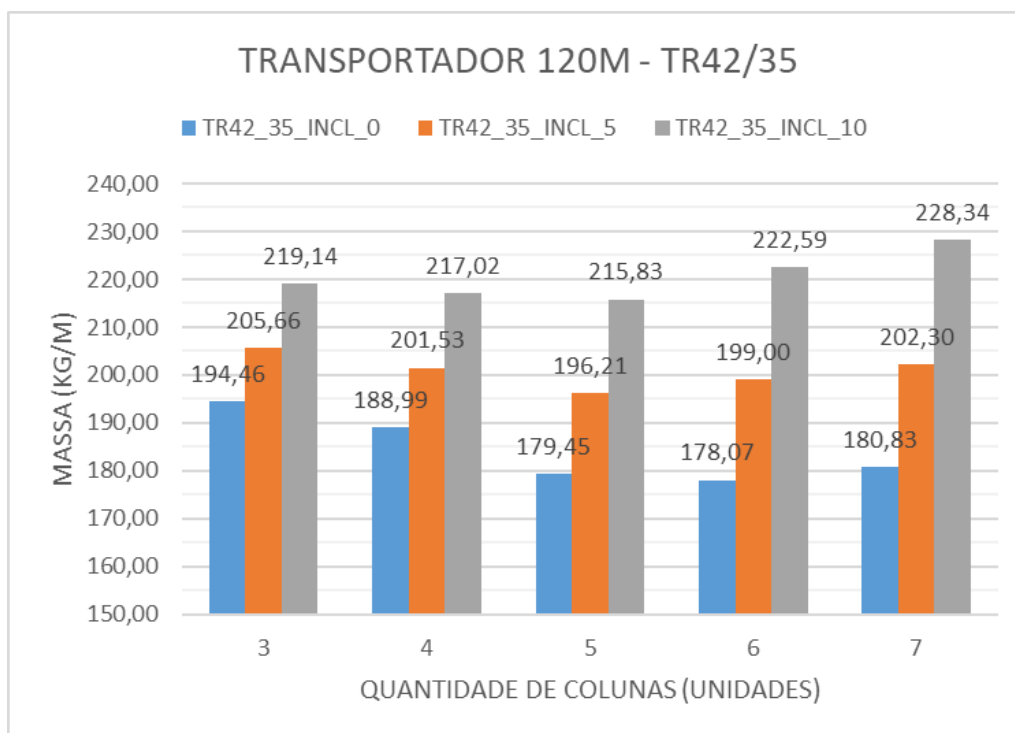


Gráfico E.7 Linha com 120M – TR42/35 – Informações Resultantes

Tabela E.8.Linha com 120M – TR42/45 – Informações Resultantes

INCLINAÇÃO (%)	MASSA TOTAL DAS GALERIAS (KG)	MASSA TOTAL DAS COLUNAS (KG)	MASSA COMBINADA (KG)	MASSA (KG/M)	QUANT. DE COLUNAS	VÃO GALERIA (M)
0	23126,66	2605,35	25732,01	214,43	3	30,00
	20757,10	2944,16	23701,26	197,51	4	24,00
	19713,27	3635,10	23348,38	194,57	5	20,00
	20368,59	4264,01	24632,59	205,27	6	17,14
	20734,96	4770,95	25505,91	212,55	7	15,00
5	23163,47	4086,48	27249,95	227,08	3	30,04
	20791,79	4787,39	25579,19	213,16	4	24,03
	19744,37	5796,43	25540,80	212,84	5	20,02
	20390,36	6644,45	27034,81	225,29	6	17,16
	20757,66	7454,53	28212,19	235,10	7	15,02
10	23273,73	5898,57	29172,30	243,10	3	30,15
	20895,74	7016,91	27912,65	232,61	4	24,12
	19837,51	8410,15	28247,66	235,40	5	20,10
	20455,48	9525,36	29980,84	249,84	6	17,23
	20825,52	10783,71	31609,24	263,41	7	15,07

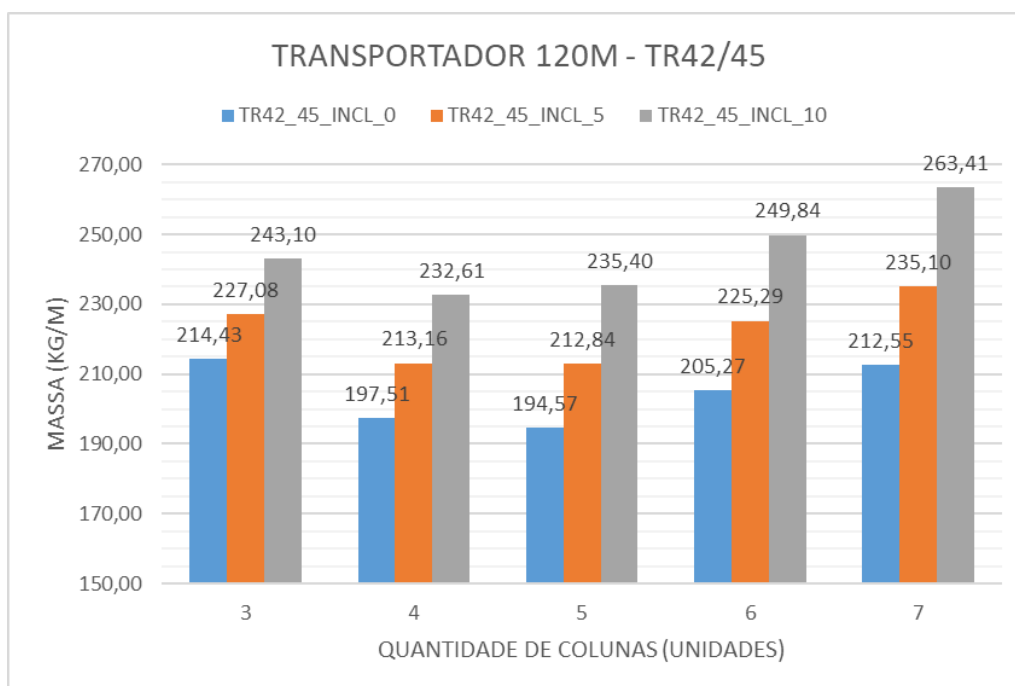


Gráfico E.8 Linha com 120M – TR42/45 – Informações Resultantes

Tabela E.9.Linha com 120M – TR48/35 – Informações Resultantes

INCLINAÇÃO (%)	MASSA TOTAL DAS GALERIAS (KG)	MASSA TOTAL DAS COLUNAS (KG)	MASSA COMBINADA (KG)	MASSA (KG/M)	QUANT. DE COLUNAS	VÃO GALERIA (M)
0	21887,26	2202,64	24089,90	200,75	3	30,00
	20601,66	2900,32	23501,99	195,85	4	24,00
	18970,86	3409,06	22379,92	186,50	5	20,00
	19380,67	3843,20	23223,88	193,53	6	17,14
	19703,77	4221,47	23925,24	199,38	7	15,00
5	21923,85	3517,48	25441,33	212,01	3	30,04
	20634,54	4438,59	25073,13	208,94	4	24,03
	19002,37	5252,88	24255,24	202,13	5	20,02
	19401,65	6046,35	25448,00	212,07	6	17,16
	19725,56	6820,59	26546,15	221,22	7	15,02
10	22033,49	5041,16	27074,65	225,62	3	30,15
	20733,03	6239,66	26972,69	224,77	4	24,12
	19096,76	7454,89	26551,66	221,26	5	20,10
	19464,38	8640,74	28105,12	234,21	6	17,23
	19790,71	9757,27	29547,98	246,23	7	15,07

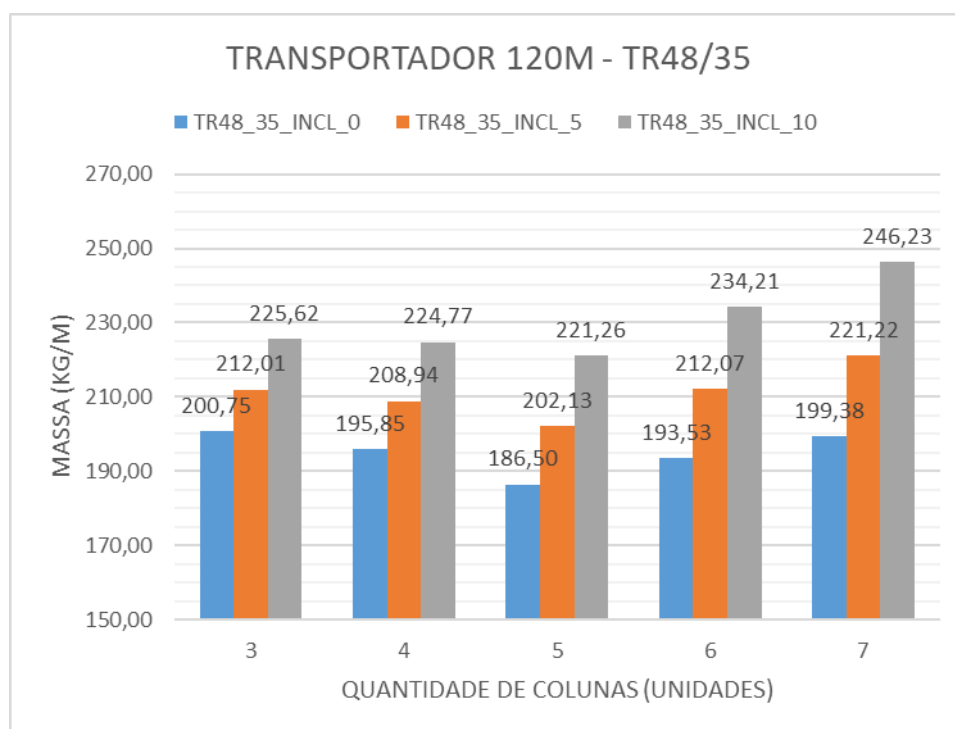


Gráfico E.9 Linha com 120M – TR48/35 – Informações Resultantes

Tabela E.10. Linha com 120M – TR48/45 – Informações Resultantes

INCLINAÇÃO (%)	MASSA TOTAL DAS GALERIAS (KG)	MASSA TOTAL DAS COLUNAS (KG)	MASSA COMBINADA (KG)	MASSA (KG/M)	QUANT. DE COLUNAS	VÃO GALERIA (M)
0	24573,00	2636,93	27209,93	226,75	3	30,00
	21132,66	2975,59	24108,26	200,90	4	24,00
	20745,39	3644,59	24389,98	203,25	5	20,00
	20774,18	4318,12	25092,30	209,10	6	17,14
	20926,11	4854,18	25780,30	214,84	7	15,00
5	24608,17	4206,51	28814,68	240,12	3	30,04
	21168,46	4954,73	26123,19	217,69	4	24,03
	20777,03	5834,67	26611,70	221,76	5	20,02
	20798,61	6713,48	27512,09	229,27	6	17,16
	20950,93	7540,30	28491,22	237,43	7	15,02
10	24713,47	6067,92	30781,39	256,51	3	30,15
	21275,74	7291,69	28567,43	238,06	4	24,12
	20871,79	8510,55	29382,33	244,85	5	20,10
	20871,70	9607,48	30479,19	253,99	6	17,23
	21025,15	10875,37	31900,52	265,84	7	15,07

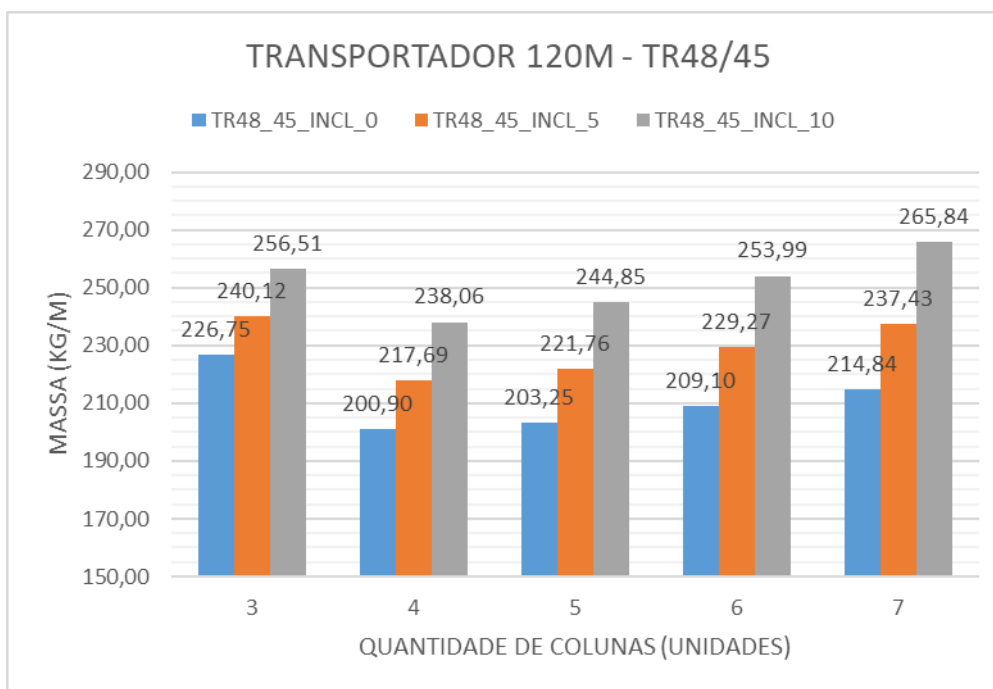


Gráfico E.10 Linha com 120M – TR48/45 – Informações Resultantes

Tabela E.11. Linha com 120M – TR54/35 – Informações Resultantes

INCLINAÇÃO (%)	MASSA TOTAL DAS GALERIAS (KG)	MASSA TOTAL DAS COLUNAS (KG)	MASSA COMBINADA (KG)	MASSA (KG/M)	QUANT. DE COLUNAS	VÃO GALERIA (M)
0	23337,58	2442,47	25780,04	214,83	3	30,00
	21161,76	2931,01	24092,77	200,77	4	24,00
	19590,67	3604,27	23194,94	193,29	5	20,00
	19848,28	4089,55	23937,83	199,48	6	17,14
	20120,60	4546,77	24667,37	205,56	7	15,00
5	23373,28	3870,24	27243,53	227,03	3	30,04
	21195,55	4641,10	25836,65	215,31	4	24,03
	19622,82	5513,04	25135,86	209,47	5	20,02
	19870,35	6269,48	26139,83	217,83	6	17,16
	20143,35	7041,21	27184,56	226,54	7	15,02
10	23480,23	5483,53	28963,77	241,36	3	30,15
	21296,76	6602,21	27898,97	232,49	4	24,12
	19719,15	7759,98	27479,13	228,99	5	20,10
	19936,35	8950,04	28886,39	240,72	6	17,23
	20211,40	10372,04	30583,44	254,86	7	15,07

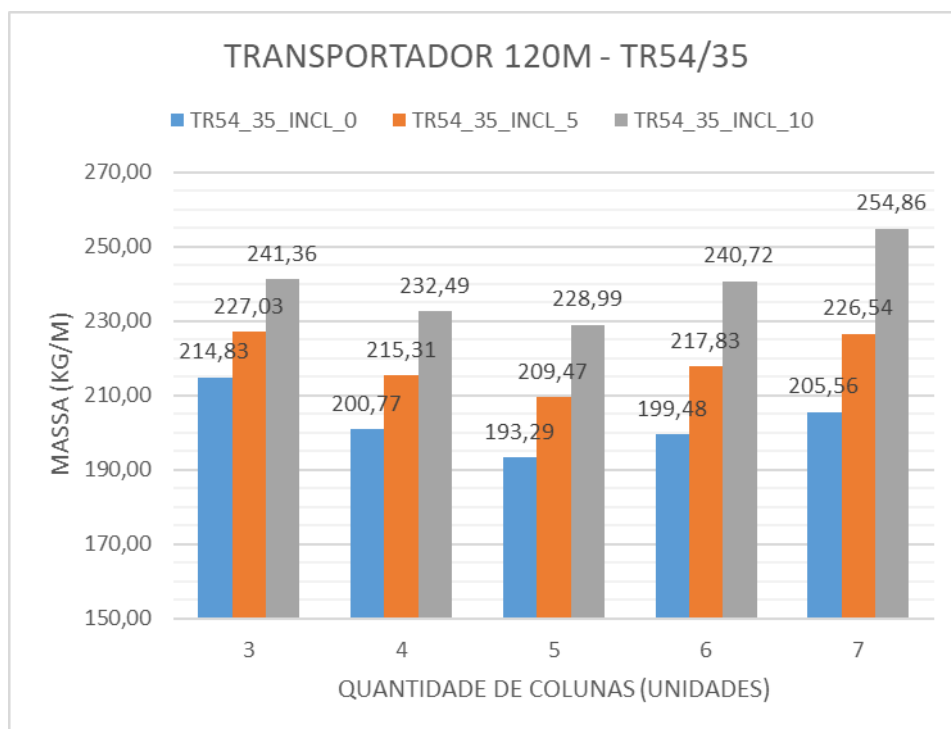


Gráfico E.11 Linha com 120M – TR54/35 – Informações Resultantes

Tabela E.12. Linha com 120M – TR54/45 – Informações Resultantes

INCLINAÇÃO (%)	MASSA TOTAL DAS GALERIAS (KG)	MASSA TOTAL DAS COLUNAS (KG)	MASSA COMBINADA (KG)	MASSA (KG/M)	QUANT. DE COLUNAS	VÃO GALERIA (M)
0	25431,82	2686,80	28118,62	234,32	3	30,00
	23625,48	3048,68	26674,16	222,28	4	24,00
	21929,99	3712,62	25642,61	213,69	5	20,00
	21325,07	4371,06	25696,13	214,13	6	17,14
	21286,93	4931,48	26218,41	218,49	7	15,00
5	25468,84	4260,72	29729,56	247,75	3	30,04
	23659,13	5138,08	28797,21	239,98	4	24,03
	21963,43	5950,97	27914,40	232,62	5	20,02
	21352,09	6882,28	28234,37	235,29	6	17,16
	21313,86	7623,92	28937,78	241,15	7	15,02
10	25579,71	6140,50	31720,21	264,34	3	30,15
	23759,89	7567,84	31327,73	261,06	4	24,12
	22063,57	8687,38	30750,96	256,26	5	20,10
	21432,96	9840,99	31273,95	260,62	6	17,23
	21394,44	10971,19	32365,63	269,71	7	15,07

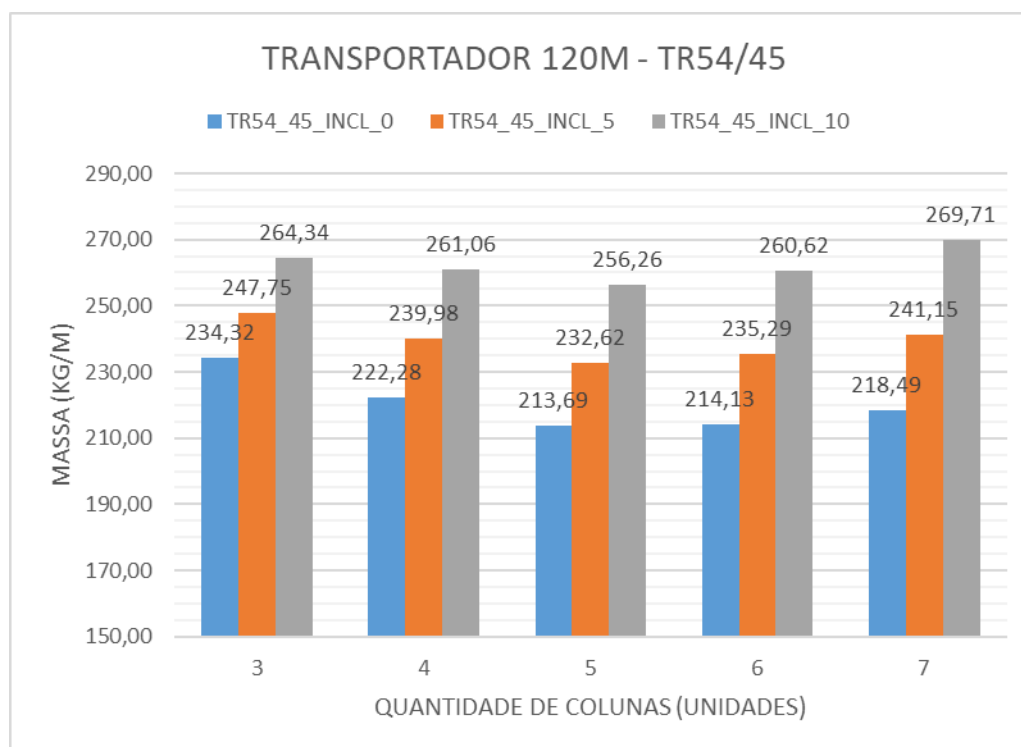


Gráfico E.12 Linha com 120M – TR54/45 – Informações Resultantes

Tabela E.13. Linha com 120M – TR60/35 – Informações Resultantes

INCLINAÇÃO (%)	MASSA TOTAL DAS GALERIAS (KG)	MASSA TOTAL DAS COLUNAS (KG)	MASSA COMBINADA (KG)	MASSA (KG/M)	QUANT. DE COLUNAS	VÃO GALERIA (M)
0	26018,93	2287,81	28306,74	235,89	3	30,00
	23307,79	2972,60	26280,39	219,00	4	24,00
	21948,08	3588,64	25536,72	212,81	5	20,00
	21925,77	4065,96	25991,73	216,60	6	17,14
	22066,54	4453,28	26519,82	221,00	7	15,00
5	26064,73	3654,74	29719,47	247,66	3	30,04
	23342,09	4613,08	27955,18	232,96	4	24,03
	21981,41	5441,16	27422,58	228,52	5	20,02
	21951,75	6298,58	28250,33	235,42	6	17,16
	22092,87	7034,89	29127,76	242,73	7	15,02
10	26202,00	5249,50	31451,50	262,10	3	30,15
	23444,82	6506,89	29951,72	249,60	4	24,12
	22081,25	7642,81	29724,06	247,70	5	20,10
	22029,48	8915,25	30944,72	257,87	6	17,23
	22171,66	10005,50	32177,16	268,14	7	15,07

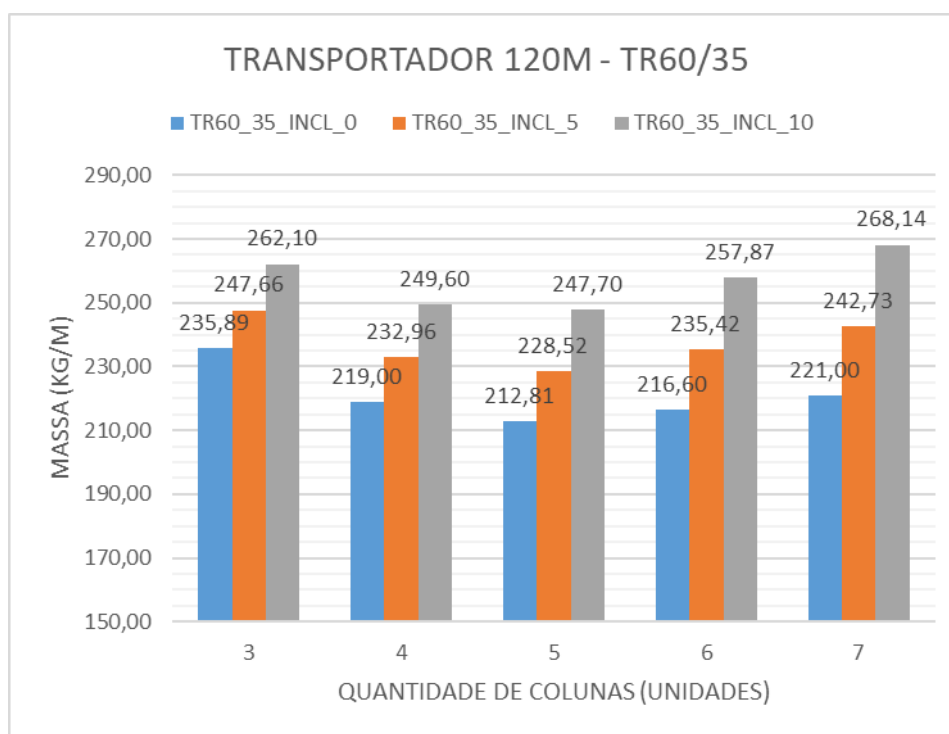


Gráfico E.13 Linha com 120M – TR60/35 – Informações Resultantes

Tabela E.14. Linha com 120M – TR60/45 – Informações Resultantes

INCLINAÇÃO (%)	MASSA TOTAL DAS GALERIAS (KG)	MASSA TOTAL DAS COLUNAS (KG)	MASSA COMBINADA (KG)	MASSA (KG/M)	QUANT. DE COLUNAS	VÃO GALERIA (M)
0	27695,04	2724,48	30419,52	253,50	3	30,00
	25155,27	3298,22	28453,49	237,11	4	24,00
	23905,37	3765,48	27670,86	230,59	5	20,00
	22993,14	4442,59	27435,73	228,63	6	17,14
	22901,75	5035,40	27937,15	232,81	7	15,00
5	27734,58	4401,07	32135,65	267,80	3	30,04
	25191,78	5307,88	30499,66	254,16	4	24,03
	23942,99	6046,02	29989,01	249,91	5	20,02
	23022,78	7020,38	30043,15	250,36	6	17,16
	22931,16	7735,62	30666,77	255,56	7	15,02
10	27853,00	6372,48	34225,48	285,21	3	30,15
	25301,14	7725,15	33026,28	275,22	4	24,12
	24055,67	8861,00	32916,67	274,31	5	20,10
	23111,48	10154,61	33266,09	277,22	6	17,23
	23019,18	11100,53	34119,71	284,33	7	15,07

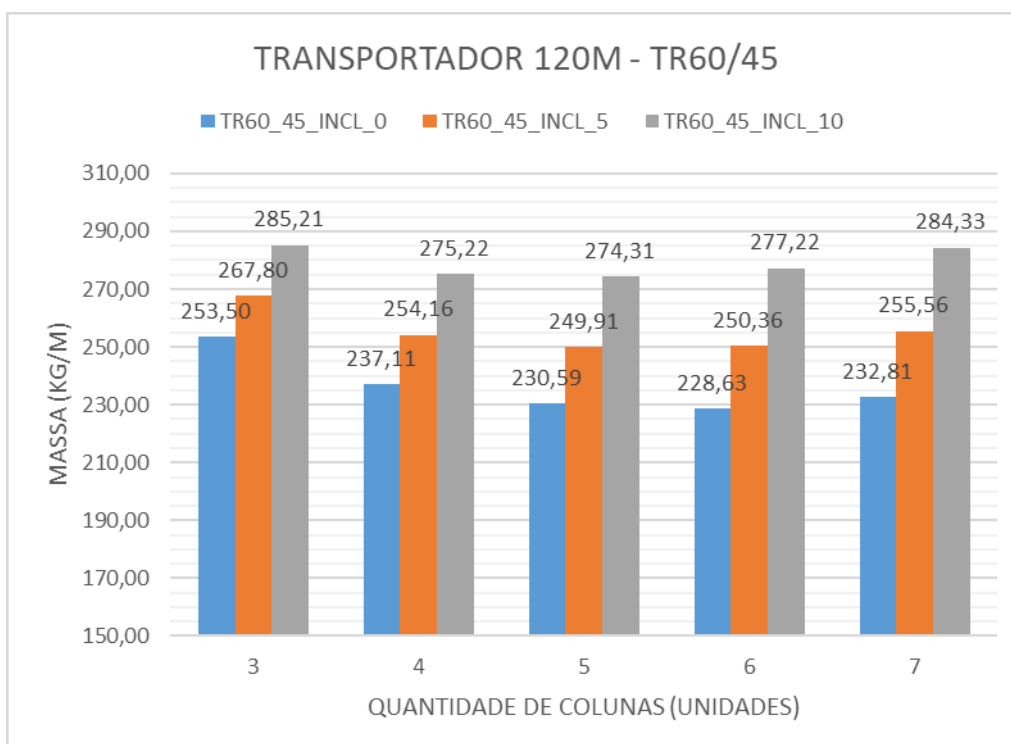


Gráfico E.14 Linha com 120M – TR60/45 – Informações Resultantes

Tabela E.15. Linha com 120M – TR72/35 – Informações Resultantes

INCLINAÇÃO (%)	MASSA TOTAL DAS GALERIAS (KG)	MASSA TOTAL DAS COLUNAS (KG)	MASSA COMBINADA (KG)	MASSA (KG/M)	QUANT. DE COLUNAS	VÃO GALERIA (M)
0	28888,54	2521,45	31410,00	261,75	3	30,00
	26348,82	3036,32	29385,14	244,88	4	24,00
	25108,19	3756,43	28864,63	240,54	5	20,00
	25404,91	4312,56	29717,47	247,65	6	17,14
	25703,83	4803,51	30507,33	254,23	7	15,00
5	28937,62	3972,22	32909,84	274,25	3	30,04
	26391,34	4786,06	31177,41	259,81	4	24,03
	25147,81	5705,01	30852,82	257,11	5	20,02
	25433,65	6503,66	31937,31	266,14	6	17,16
	25733,32	7306,76	33040,08	275,33	7	15,02
10	29084,66	5620,25	34704,91	289,21	3	30,15
	26518,74	6781,51	33300,25	277,50	4	24,12
	25266,49	7984,66	33251,15	277,09	5	20,10
	25519,63	9125,55	34645,18	288,71	6	17,23
	25821,54	10362,36	36183,90	301,53	7	15,07

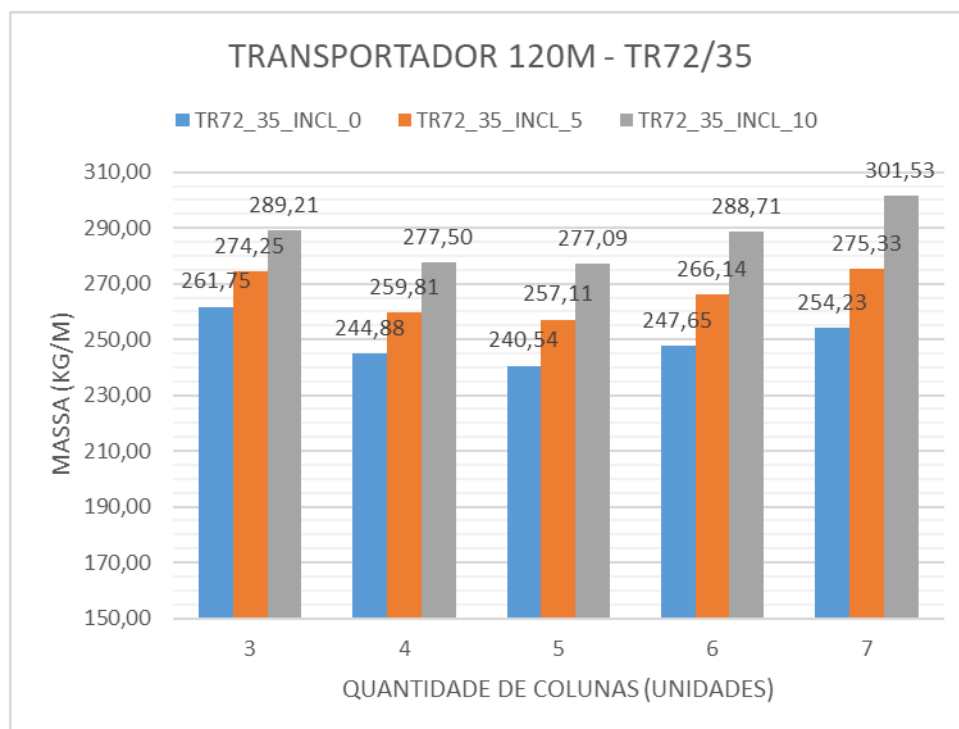


Gráfico E.15 Linha com 120M – TR72/35 – Informações Resultantes

Tabela E.16. Linha com 120M – TR72/45 – Informações Resultantes

INCLINAÇÃO (%)	MASSA TOTAL DAS GALERIAS (KG)	MASSA TOTAL DAS COLUNAS (KG)	MASSA COMBINADA (KG)	MASSA (KG/M)	QUANT. DE COLUNAS	VÃO GALERIA (M)
0	30207,97	2817,42	33025,39	275,21	3	30,00
	27826,19	3361,94	31188,12	259,90	4	24,00
	26852,07	4186,16	31038,22	258,65	5	20,00
	26718,58	4730,54	31449,13	262,08	6	17,14
	26823,76	5248,14	32071,90	267,27	7	15,00
5	30259,21	4843,42	35102,63	292,52	3	30,04
	27868,82	5497,19	33366,01	278,05	4	24,03
	26891,49	6688,35	33579,84	279,83	5	20,02
	26750,91	7517,10	34268,01	285,57	6	17,16
	26856,34	8204,60	35060,94	292,17	7	15,02
10	30412,76	7007,20	37419,97	311,83	3	30,15
	27996,53	7853,07	35849,60	298,75	4	24,12
	27009,56	9441,26	36450,82	303,76	5	20,10
	26847,63	10540,48	37388,11	311,57	6	17,23
	26953,85	11678,49	38632,34	321,94	7	15,07

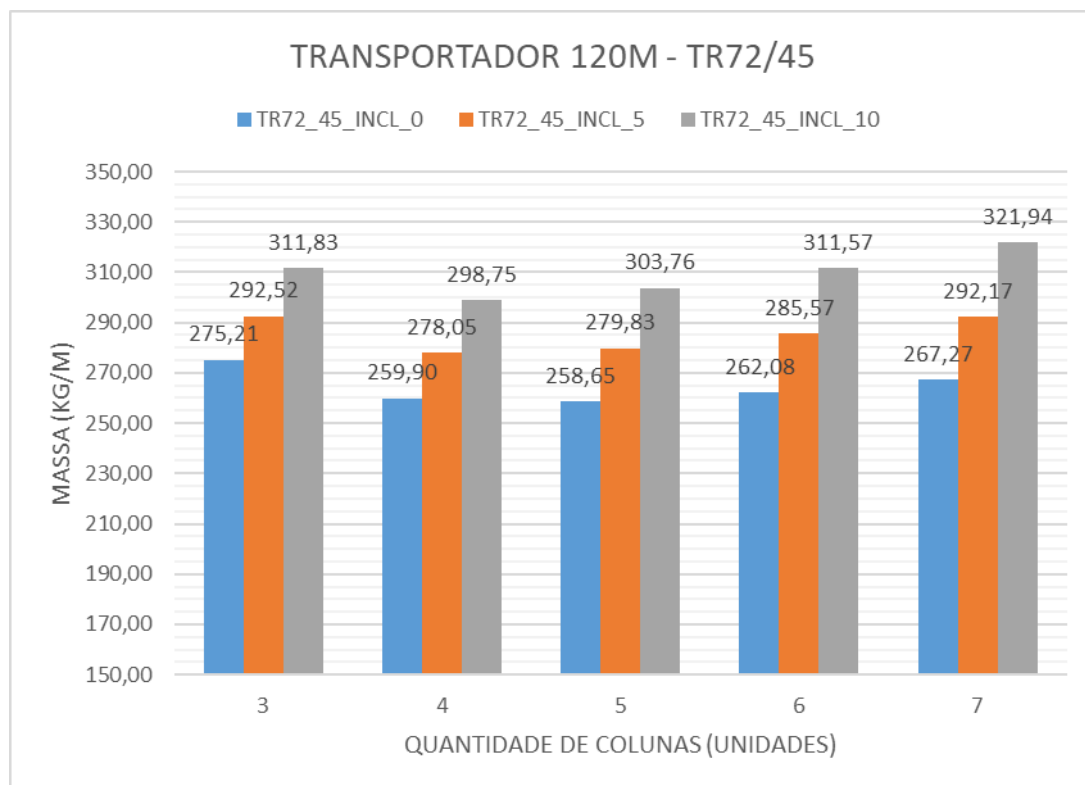


Gráfico E.16 Linha com 120M – TR72/45 – Informações Resultantes