

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

Mônica Sayoco Nishibe Moraes

**CARACTERIZAÇÃO DE FROTA DE VEÍCULOS COMERCIAIS
CIRCULANTE EM RODOVIA DE TRÁFEGO ELEVADO
COMO PARÂMETRO DE ANÁLISE DE PAVIMENTOS**

**Florianópolis – SC
2011**

Mônica Sayoco Nishibe Moraes

**CARACTERIZAÇÃO DE FROTA DE VEÍCULOS COMERCIAIS
CIRCULANTE EM RODOVIA DE TRÁFEGO ELEVADO
COMO PARÂMETRO DE ANÁLISE DE PAVIMENTOS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós
Graduação em Engenharia Civil da
Universidade Federal de Santa Catarina
Orientador:
Prof. Dr. Antonio Fortunato Marcon

Florianópolis – SC
2011

Catlogação na fonte pela Biblioteca Universitária
da
Universidade Federal de Santa Catarina

M827c Moraes, Mônica Sayoco Nishibe
Caracterização de frota de veículos comerciais circulante
em rodovia de tráfego elevado como parâmetro de análise
de pavimentos [dissertação] / Mônica Sayoco Nishibe Moraes;
orientador, Antonio Fortunato Marcon. – Florianópolis, SC,
2011.

313 p.: Il., grafs., tabs., mapas.

Dissertação (mestrado – Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós Graduação em
Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia civil. 2. Rodovias. 3. Pavimentos –
Viscoelasticidade. 4. Veículos comerciais – Trânsito – Fluxo.
5. Veículos comerciais – Peso. I. Marcon, Antonio Fortunato.
II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDU 624

Monica Sayoco Nishibe Moraes

**CARACTERIZAÇÃO DE FROTA DE VEÍCULOS COMERCIAIS
CIRCULANTE EM RODOVIA DE TRÁFEGO ELEVADO
COMO PARÂMETRO DE ANÁLISE DE PAVIMENTOS**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de “Mestre em Engenharia Civil”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 19 de Dezembro de 2011.

Prof. Dr. Roberto Caldas de Andrade Pinto
Coordenador do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil –
UFSC

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Antonio Fortunato Marcon – Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof. Dr. Glicério Trichês
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Profa. Dra. Liseane Padilha Thives
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Dr. Nilton Valle
Departamento Estadual de Infraestrutura de Santa Catarina –
DEINFRA/SC

Prof. Dr. João Fortini Albano
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

Dedicatória

Aos meus pais, Alzira (*in memorian*) e Shiro, pelo esforço de uma vida toda dos jovens agricultores que foram para a cidade e sonharam um futuro diferente para mim. Para eles que primeiro pegaram em minha mão e com um lápis me ensinaram a escrever além de que nunca deixaram desistir de meus sonhos.

Dedico também ao meu eterno Mestre Armando Martins Pereira (*in memorian*) que primeiro me incentivou a fazer este trabalho e que sempre acreditou que um dia eu alcançaria este objetivo.

Minha profunda gratidão a estas três importantes pessoas em minha vida, pelo amor, fé, compreensão, conhecimento e valores que me passaram.

AGRADECIMENTO

Agradeço a energia de vida que tenho para realizar tudo em minha existência, porque ela é a origem de tudo e que sempre nos eleva ao estado de luz e sabedoria.

Meu querido e amado esposo, Lenio, que a vida trouxe como uma das maiores bênçãos em minha vida. Meu cúmplice e confidente, eu agradeço pelo apoio, compreensão e ajudas incondicional e desmedida em todas as etapas da pesquisa. Divido contigo essa conquista.

Ao professor, orientador e acima de tudo, um grande amigo, Antonio Fortunato Marcon por tantas vezes que me apoiou, ajudou e renovou minhas esperanças quando tudo parecia estar acabado.

Ao professor Glicério Trichês pelas muitas ajudas, principalmente naqueles momentos em que parecia não haver saída.

Ao professor João Fortini Albano por integrar a banca examinadora e pelas contribuições sugeridas.

Ao Dr Nilton Valle pelas sugestões tanto na qualificação quanto na defesa.

As secretárias do PPGEC, Shayane e em especial a Marinéia por tantas vezes que me ajudaram, fazendo com que a distância nunca fosse empecilho para mim.

Aos professores que contribuíram nos estudos e pesquisas. Destaco dentre eles os professores Leto Momm, Liedi Bernucci, José Tadeu Balbo, José Leomar Fernandes Junior e Fernando Seixas.

Aos amigos de longas datas e conseqüentemente que me deram apoio em todo o processo: Paulo Peterlini, Mauricio Franco, Wagner Ribeiro (*in memoriam*), Eduardo Takai e Vanderson Biral.

Agradeço aos colegas de PPGEC-UFSC que compartilharam os desafios que nos foram oferecidos. Destaco o amigo Breno Salgado Barra pelas muitas palavras de apoio e estímulo, além da sempre presente e imediata ajuda todas as vezes que precisei.

Meus amigos e colegas da CCR-NovaDutra que estiveram comigo em várias etapas da pesquisa, apoiando sempre. Destaco a ajuda da equipe de base em Seropédica, em especial o operador de guincho José Antonio dos Reis Medeiros pela disposição e grande ajuda na realização das atividades de campo efetuadas para esta pesquisa. Agradeço a Valeria Cristina de Faria pelo apoio. Ao Marcos Brunelli e José Donizetti da Silva pela visita à balança de Guararema e orientações sobre o sistema de pesagens. Ao Juliano Fideles por informações gerais sobre os sistemas. À Elenice Marcondes pela visita à praça de pedágio e orientações técnicas. Ao amigo Fernando de Oliveira Fortes, faço uma

menção honrosa por todo apoio, fornecimento dos dados utilizados nesta pesquisa, esclarecimentos e fundamental participação para a realização dos trabalhos com o guincho pesado na região da Serra das Araras.

Aos amigos da CCR-Engellog dos quais destaco, em especial, Maurício Yamamoto que auxiliou na obtenção de informações referentes ao projeto geométrico da Serra das Araras.

Às ilustres pesquisadoras Sandra Oda da UFRJ, Lenice Mirian da Silva do ITA e Maria Carolina Rodezno da NCAT pela amizade e valiosas recomendações e orientações. Menciono também Armelle Chabot da IFFSTAR-LCPC que contribuiu significativamente disponibilizando uma licença para uso do Software Viscoroute, assim como orientações e comentários importantes a respeito do programa.

À Universidade Federal de Santa Catarina pela oportunidade de participar deste programa de pós graduação, viabilizando a conquista deste sonho.

À Concessionária CCR NovaDutra e à CCR Engellog pela disponibilidade de informações e materiais que foram de vital importância para a realização desta pesquisa.

À empresa Tesc – Sistemas de Controle, na pessoa de Mario Piai Junior pelas informações sobre analisadores de tráfego.

À empresa PatTraffic, através de Otair de Souza pelas informações sobre as balanças.

À empresa GEA – *Grenobloise d'Eletronique et d'Automatismes* através de Aguinaldo Campos pelas informações sobre sistemas dos pedágios.

Agradeço a muitas outras pessoas que certamente minha memória me trai e me faz deixar de citar no momento, mas que nem por isso deixam de estar em meu coração ou merecem menor agradecimento.

*“Quando não houver caminho
Mesmo sem amor, sem direção
A sós ninguém está sozinho
É caminhando
Que se faz o caminho”*

Enquanto houver sol – Titãs

*“Até a jornada de mil milhas começa com um
pequeno passo”*

Provérbio japonês

RESUMO

O presente trabalho objetiva apresentar os estudos efetuados com dados provenientes de fontes de informações de volumes de tráfego e pesagens da Rodovia Presidente Dutra, BR-116 no trecho de ligação entre as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro. Para tanto, foram analisados os dados obtidos por contagens feitas no ano de 2009 em analisadores de tráfego, que são laços indutores, distribuídos ao longo da rodovia, volumes de veículos comerciais contados nas seis praças de pedágio durante o período de 1997 a 2009 classificados por número de eixos, dados provenientes de duas balanças dinâmicas em um período de três meses com pesagens classificadas por eixo. Dados a respeito de áreas de aplicação de carga foram obtidos em atividade de campo, assim como cronometragem de tempo de percurso de veículos comerciais em condições de trechos em rampas, realizada na Serra das Araras. Todos os dados foram avaliados de maneira a caracterizar o comportamento da frota, determinar fatores de tráfego como tipo de veículos, cargas totais e por eixos, pressão de inflação de pneus, áreas de contato entre pneu e pavimento e velocidades de deslocamento, que concorrem à obtenção dos parâmetros de análise de estruturas de pavimento. Dentre os resultados obtidos, destaca-se a distribuição de cargas por eixo e por tipo de veículo, evidenciando as faixas de cargas que são praticadas para cada situação. Os estudos revelaram porcentagens significativas na ordem de 30% de eixos pesados acima da carga máxima legal e abaixo do limite adicionado da tolerância de 7,5% permitida. Os dados provenientes dos analisadores de tráfego mostram que, de maneira geral, os veículos comerciais compõem em torno de 32% da frota circulante e destes veículos, aproximadamente 75% dos veículos comerciais trafegam na faixa mais carregada. Os dados de área de contato entre pneu e pavimento e cronometragem dos tempos de percurso em rampas permitem análises mais aprofundadas de estruturas de pavimento, considerando-se simulações e análises termoviscoelásticas, evidenciando a aplicação dos parâmetros obtidos nesta pesquisa. Os dados foram concedidos pela Companhia de Concessões Rodoviárias - CCR Novadutra, portanto tratam de uma frota volumosa que quase não apresenta sazonalidades anuais geralmente observadas pelos escoamentos de produções agrícolas.

Palavras chave: tempo de aplicação de carga, área de contato entre pneu e pavimento, excesso de carga por eixo, cargas de peso bruto total, parâmetro para análise de viscoelasticidade de pavimentos.

ABSTRACT

This research aims to present studies done with data provided by information sources related to traffic volume and vehicles weight from Presidente Dutra Highway, BR-116, which connects São Paulo City and Rio de Janeiro City. It has been taken data from analyzers devices with magnetic loops all highway long for 2009, data collection from six tool boots during the period from 1996 to 2009, three months data from two weight-in-motion stations with values sorted by axles. Data related to contact area of tire and pavement and timing of heavy trucks passing by places with steep grade has been done at Serra das Araras in Rio de Janeiro State. All data were evaluated in order to characterize the behavior of the fleet, to determine traffic factors such as type of vehicle, total loads and axles, tire inflation pressure, contact area between tire and pavement and travel speeds, needed as parameters obtained for structure pavement analysis. Among the obtained results, there is the distribution of axle loads and by type of vehicle, showing the ranges of loads that are applied to each situation. The studies revealed significant percentages of around 30% of axle with loads over maximum legal load limit permitted and under the limit added to 7.5% tolerance allowed. Data from traffic analyzers show, in general, that commercial vehicles sum about 32% of fleet vehicles, and approximately 75% of commercial vehicles traveling in the heavy traffic lane. Tire contact area between tire and pavement and timing at steep grade make possible to analyze pavement structures deeply, considering thermoviscoelastics simulations and analysis, highlighting obtained parameters in this research. Data collect had been provided by CCR NovaDutra and it is a very big sample with a huge traffic volume and with almost insignificant annual seasonality from harvest production transport.

Key words: loading application time, contact area between tire and pavement, overloaded axle, gross load, viscoelasticity pavement analysis parameters.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Eixo simples de rodas simples – ESRS.....	54
Figura 2.2 Eixo simples de rodas duplas - ESRD	54
Figura 2.3 Eixo tandem duplo - ETD	55
Figura 2.4 Eixo tandem triplo - ETT	55
Figura 2.5 Pneus extralargos.	55
Figura 2.6 Configurações de veículos comerciais observados na Via Dutra.....	56
Figura 2.7 Variação de comprimentos das áreas carregadas com a pressão de inflação dos pneus	60
Figura 2.8 Representação do módulo complexo através do plano Cole-Cole	62
Figura 2.9 Diagrama de módulo complexo através do espaço de Black das misturas asfálticas	63
Figura 2.10 Análise de velocidades desenvolvidas em rampas.....	64
Figura 2.11 Valores de deformações horizontais medidos e calculados	65
Figura 2.12 Deformações transversais na face inferior da camada asfáltica	66
Figura 2.13 Estudo comparativo entre resultados de análises com camadas elásticas e viscoelásticas.....	66
Figura 2.14 Dados de entrada de geometria de carga.....	67
Figura 2.15 Deformações específicas máximas longitudinais na face inferior do revestimento	67
Figura 3.1 Fluxograma de atividades	69
Figura 3.2 Número de viagens da Rodovia Presidente Dutra.....	70
Figura 3.3 Mapa de localização da Rodovia Presidente Dutra.....	71
Figura 3.4 Foto da inauguração da Via Dutra.	71
Figura 3.5 Seção-tipo da Rodovia Presidente Dutra - Vias Expressas..	73
Figura 3.6 Analisadores de tráfego (ATs) para cada faixa – km 170+400	73
Figura 3.7 Croquis esquemáticos de funcionamento de ATs	74
Figura 3.8 Praças de pedágio da Rodovia Presidente Dutra.....	77
Figura 3.9 Detalhe dos dispositivos de detecção e contagem de eixos .	78
Figura 3.10 Mapa de localização das balanças da Rodovia Presidente Dutra.....	80
Figura 3.11 Esquema geral de funcionamento da balança dinâmica.....	81
Figura 3.12 Detalhe da balança seletiva	81
Figura 3.13 Detalhes da balança lenta.....	82
Figura 3.14 Guincho pesado utilizado.....	83
Figura 3.15 Pressões de inflação de pneus.	84

Figura 3.16 Dimensões do guincho pesado.....	85
Figura 3.17 Impressões em EVA para pressão de inflação de 758,42 kPa (110 psi)	86
Figura 3.18 Impressão de pneus do guincho pesado.....	86
Figura 3.19 Croquis de localização da Serra das Araras – Pista Sul.....	87
Figura 4.1 Porcentagens gerais de veículos	89
Figura 4.2 Porcentagens de veículos por período	91
Figura 4.3 Porcentagens de veículos nos dias da semana	91
Figura 4.4 Porcentagens de veículos nos meses.....	92
Figura 4.5 Porcentagens de veículos comerciais nas faixas de rolamento ao longo da Via Dutra	93
Figura 4.6 Velocidades desenvolvidas em condição de chuva durante o dia – km 209+100	95
Figura 4.7 Velocidades desenvolvidas em condição de chuva durante a noite - km 209+100.....	96
Figura 4.8 Velocidades desenvolvidas em condição de chuva durante o dia - km 228+400.....	96
Figura 4.9 Velocidades desenvolvidas em condição de chuva durante a noite - km 228+400.....	97
Figura 4.10 Porcentagens de veículos comerciais classificados por número de eixos	98
Figura 4.11 Evolução da frota de veículos com 2 eixos.....	99
Figura 4.12 Evolução da frota de veículos com 3 eixos.....	99
Figura 4.13 Evolução da frota de veículos com 4 eixos.....	99
Figura 4.14 Evolução da frota de veículos com 5 eixos.....	99
Figura 4.15 Evolução da frota de veículos com 6 eixos.....	100
Figura 4.16 Evolução da frota de veículos com 7 eixos.....	100
Figura 4.17 Evolução da frota de veículos com 8 eixos.....	100
Figura 4.18 Evolução da frota de veículos com 9 eixos.....	100
Figura 4.19 Evolução da frota de veículos com 10 eixos.....	101
Figura 4.20 Volumes de veículos comerciais no sentido norte da rodovia	101
Figura 4.21 Volumes de veículos comerciais no sentido sul da rodovia	102
Figura 4.22 Dados gerais 2009 – Balança de Queluz	106
Figura 4.23 Dados gerais 2009 - Balança de Guararema.....	107
Figura 4.24 Porcentagens de ESRS classificados por faixas de carga - Queluz.....	109
Figura 4.25 Porcentagens de ESRD classificados por faixas de carga - Queluz.....	110

Figura 4.26 Porcentagem de ETD classificados por faixas de carga - Queluz	111
Figura 4.27 Porcentagem de ETT classificados por faixas de carga - Queluz	111
Figura 4.28 Porcentagem de ESRS classificados por faixas de carga - Guararema	113
Figura 4.29 Porcentagem de ESRD classificados por faixas de carga - Guararema	114
Figura 4.30 Porcentagem de ETD classificados por faixas de carga - Guararema	114
Figura 4.31 Porcentagem de ETT classificados por faixas de carga - Guararema	115
Figura 4.32 Impressões dos pneus do guincho	116
Figura 4.33 Detalhe das polilinhas geradas a partir das impressões dos pneus	116
Figura 4.34 Relação entre temperaturas do ar e superfície do pavimento pelo levantamento FWD.....	121
Figura 4.35 Variação de temperatura ao longo da profundidade do revestimento asfáltico.....	122
Figura 4.36 Croquis de área carregada do eixo dianteiro - medidas em cm.....	123
Figura 4.37 Página de entrada de dados de estrutura para espessura de revestimento de 23cm (Viscoroute)	124
Figura 4.38 Dados de carregamento para a área de roda do eixo dianteiro do guincho.....	124
Figura 4.39 Dados de carregamento para a área de rodas do eixo padrão	125
Figura 4.40 Deflexões máximas no topo do revestimento	126
Figura 4.41 Deformação específica de tração horizontal no sentido do movimento do veículo na face inferior do revestimento	126
Figura 4.42 Deformação específica de tração horizontal no sentido transversal do movimento do veículo na face inferior do revestimento	127
Figura 4.43 Deformação específica de compressão vertical no topo do subleito	127
Figura 4.44 Saída de resultados do Viscoroute - Deformação ϵ_{xx} para ETT $v=6,41\text{ m/s}$ $t=25\text{C}$	132
Figura 4.45 Taxas de variação das Deflexões - ESRS	133
Figura 4.46 Taxas de variação das Deformações do eixo X - ESRS...	134
Figura 4.47 Taxas de variação das Deformações do eixo Y - ESRS...	134
Figura 4.48 Taxas de variação das Deformações do eixo Z - ESRS ...	135

Figura 4.49 Taxas de variação das Deflexões - ESRD	136
Figura 4.50 Taxas de variação das Deformações do eixo X - ESRD..	136
Figura 4.51 Taxas de variação das Deformações do eixo Y - ESRD..	137
Figura 4.52 Taxas de variação das Deformações do eixo z - ESRD...	137
Figura 4.53 Taxas de variação das Deflexões - ETD	138
Figura 4.54 Taxas de variação das Deformações do eixo X - ETD	139
Figura 4.55 Taxas de variação das Deformações do eixo Y - ETD	139
Figura 4.56 Taxas de variação das Deformações do eixo Z - ETD.....	140
Figura 4.57 Taxas de variação das Deflexões - ETT	141
Figura 4.58 Taxas de variação das Deformações do eixo X - ETT.....	141
Figura 4.59 Taxas de variação das Deformações do eixo Y – ETT	142
Figura 4.60 Taxas de variação das Deformações do eixo Z - ETT	142
Figura 4.61 Áreas de contato para duplas de pneus emparelhados	148
Figura 4.62 Deformações ϵ_{yy} no sentido longitudinal do deslocamento para temperatura de 45,1° C provocadas pela passagem de um semi-eixo tandem triplô	150
Figura 4.63 - Deformações horizontais na face inferior do revestimento mediante carga de ETD.....	151
Figura A.1 Croquis de localização do AT12277.....	165
Figura A.2 Croquis de localização do AT12178.....	165
Figura A.3 Croquis de localização do (a) AT12000 (b) AT11868	166
Figura A.4 Croquis de localização do (a) AT11803 (b) AT11739	166
Figura A.5 Croquis de localização do (a) AT11704 (b) AT11684	166
Figura A.6 Croquis de localização do (a) AT11496	167
Figura A.7 Croquis de localização do (a) AT11375 (b) AT21185	167
Figura A.8 Croquis de localização do (a) AT20145 (b) AT33109	167
Figura A.9 Croquis de localização do (a) AT32857 (b) AT32657	168
Figura A.10 Croquis de localização do (a) AT32582 (b) AT32284	168
Figura A.11 Croquis de localização do (a) AT42193 (b) AT42091	168
Figura A.12 Croquis de localização do (a) AT42085 (b) AT41807	169
Figura A.13 Croquis de localização do (a) AT41745 (b) AT41663	169
Figura A.14 Croquis de localização do (a) AT41662 (b) 41660.....	169
Figura A.15 Curvas de correlação - Paratef (a) norte (b) sul	179
Figura A.16 Curvas de correlação - Jacaref (a) norte (b) sul	179
Figura A.17 Curvas de correlação - Moreira Cesar (a) norte (b) sul...	180
Figura A.18 Curvas de correlação - Itatiaia (a) norte (b) sul	180
Figura A.19 Curvas de correlação - Viúva Graça (a) norte (b) sul	180
Figura A.20 Distribuição do PBT - 2C	181
Figura A.21 Distribuição do PBT - 3C	181
Figura A.22 Distribuição do PBT - 2S2.....	181

Figura A.23 Distribuição do PBT - 2S3	182
Figura A.24 Distribuição do PBT - 3S3	182
Figura A.25 Distribuição do PBT - 2C2.....	182
Figura A.26 Distribuição do PBT - 3I3	183
Figura A.27 Distribuição do PBT - 3D4	183
Figura A.28 Distribuição de cargas por eixo - 2C.....	183
Figura A.29 Distribuição de cargas por eixo - 3C.....	184
Figura A.30 Distribuição de cargas por eixo - 2S2	184
Figura A.31 Distribuição de cargas por eixo - 2S3	184
Figura A.32 Distribuição de cargas por eixo - 3S3	185
Figura A.33 Distribuição de cargas por eixo - 2C2.....	185
Figura A.34 Distribuição de cargas por eixo - 3I3	185
Figura A.35 Distribuição de cargas por eixo - 3D4.....	186
Figura A.36 Distribuição de frota por dia da semana - 2C.....	186
Figura A.37 Distribuição de frota por dia da semana - 3C.....	186
Figura A.38 Distribuição de frota por dia da semana - 2S2	187
Figura A.39 Distribuição de frota por dia da semana - 2S3	187
Figura A.40 Distribuição de frota por dia da semana - 3S3	187
Figura A.41 Distribuição de frota por dia da semana - 2C2.....	188
Figura A.42 Distribuição de frota por dia da semana - 3I3	188
Figura A.43 Distribuição de frota por dia da semana - 3D4.....	188
Figura A.44 Distribuição de frota por hora - 2C	189
Figura A.45 Distribuição de frota por hora - 3C	189
Figura A.46 Distribuição de frota por hora - 2S2.....	189
Figura A.47 Distribuição de frota por hora - 2S3	190
Figura A.48 Distribuição de frota por hora - 3S3.....	190
Figura A.49 Distribuição de frota por hora - 2C2	190
Figura A.50 Distribuição de frota por hora - 3I3.....	191
Figura A.51 Distribuição de frota por hora - 3D4.....	191
Figura A.52 Distribuição do PBT - 2C.....	191
Figura A.53 Distribuição do PBT - 3C.....	192
Figura A.54 Distribuição do PBT - 2S2.....	192
Figura A.55 Distribuição do PBT - 2S3	192
Figura A.56 Distribuição do PBT - 3S3	193
Figura A.57 Distribuição do PBT - 2C2.....	193
Figura A.58 Distribuição do PBT - 3I3	193
Figura A.59 Distribuição do PBT - 3D4	194
Figura A.60 Distribuição de cargas por eixo - 2C.....	194
Figura A.61 Distribuição de cargas por eixo - 3C.....	194
Figura A.62 Distribuição de cargas por eixo - 2S2	195
Figura A.63 Distribuição de cargas por eixo - 2S3	195

Figura A.64 Distribuição de cargas por eixo - 3S3	195
Figura A.65 Distribuição de cargas por eixo - 2C2.....	196
Figura A.66 Distribuição de cargas por eixo - 3I3	196
Figura A.67 Distribuição de cargas por eixo - 3D4	196
Figura A.68 Distribuição de frota por dia da semana - 2C	197
Figura A.69 de frota por dia da semana - 3C	197
Figura A.70 de frota por dia da semana - 2S2.....	197
Figura A.71 de frota por dia da semana - 2S3.....	198
Figura A.72 de frota por dia da semana - 3S3.....	198
Figura A.73 de frota por dia da semana - 2C2	198
Figura A.74 de frota por dia da semana - 3I3	199
Figura A.75 de frota por dia da semana - 3D4.....	199
Figura A.76 Distribuição de frota por hora - 2C	199
Figura A.77 Distribuição de frota por hora - 3C	200
Figura A.78 Distribuição de frota por hora - 2S2	200
Figura A.79 Distribuição de frota por hora - 2S3	200
Figura A.80 Distribuição de frota por hora - 3S3	201
Figura A.81 Distribuição de frota por hora - 2C2.....	201
Figura A.82 Distribuição de frota por hora - 3I3	201
Figura A.83 Distribuição de frota por hora - 3D3.....	202
Figura A.84 Impressão de pneus do guincho com polilinhas delimitando as áreas.....	203
Figura A.85 Velocidades desenvolvidas na Serra das Araras – Pista Sul – 2C.....	208
Figura A.86 desenvolvidas na Serra das Araras – Pista Sul – 2S2	208
Figura A.87 desenvolvidas na Serra das Araras – Pista Sul – 2S3	209
Figura A.88 desenvolvidas na Serra das Araras – Pista Sul – 3C	209
Figura A.89 desenvolvidas na Serra das Araras – Pista Sul – 3S3	209
Figura A.90 Deflexões Sentido Transversal - ESRS - Temperatura 25C	210
Figura A.91 Deflexões Sentido Transversal - ESRS - Temperatura 45,1C.....	210
Figura A.92 Deflexões Sentido Transversal - ESRS - Temperatura 52,5C.....	210
Figura A.93 Deflexões Sentido Transversal - ESRS - Velocidade 3,65 m/s.....	211
Figura A.94 Deflexões Sentido Transversal - ESRS - Velocidade 6,41 m/s.....	211
Figura A.95 Deflexões Sentido Transversal - ESRS - Velocidade 11,9 m/s.....	211

Figura A.96 Deflexões Sentido Transversal - ESRS - Velocidade 15,47 m/s	212
Figura A.97 Deflexões Sentido Transversal - ESRS - Velocidade 22,22 m/s	212
Figura A.98 Deflexões Sentido Transversal - ESRS - Velocidade 25 m/s	212
Figura A.99 Deflexões Sentido Transversal - ESRS – Velocidade 30,56m/s	213
Figura A.100 Deflexões Sentido Transversal - ESRD – Temperatura 25C	213
Figura A.101 Deflexões Sentido Transversal - ESRD – Temperatura 45,1C	213
Figura A.102 Deflexões Sentido Transversal - ESRD – Temperatura 52,5C	214
Figura A.103 Deflexões Sentido Transversal - ESRD – Velocidade 6,41m/s	214
Figura A.104 Deflexões Sentido Transversal - ESRD – Velocidade 6,41m/s (2S3)	214
Figura A.105 Deflexões Sentido Transversal - ESRD – Velocidade 11,11m/s	215
Figura A.106 Deflexões Sentido Transversal - ESRD – Velocidade 15,47m/s	215
Figura A.107 Deflexões Sentido Transversal - ESRD – Velocidade 22,22m/s	215
Figura A.108 Deflexões Sentido Transversal - ESRD – Velocidade 25m/s	216
Figura A.109 Deflexões Sentido Transversal - ESRD – Velocidade 30,56m/s	216
Figura A.110 Deflexões Sentido Transversal - ETD – Temperatura 25C	216
Figura A.111 Deflexão Sentido Transversal - ETD – Temperatura 45,1C	217
Figura A.112 Deflexão Sentido Transversal - ETD – Temperatura 52,5C	217
Figura A.113 Deflexão Sentido Transversal - ETD – Velocidade 3,65m/s	217
Figura A.114 Deflexão Sentido Transversal - ETD – Velocidade 11,39m/s	218
Figura A.115 Deflexão Sentido Transversal - ETD – Velocidade 15,47m/s	218

Figura A.116 Deflexão Sentido Transversal - ETD – Velocidade 22,22m/s.....	218
Figura A.117 Deflexão Sentido Transversal - ETD – Velocidade 25m/s	219
Figura A.118 Deflexão Sentido Transversal - ETD – Velocidade 30,56m/s.....	219
Figura A.119 Deflexão Sentido Transversal - ETT – Temperatura 25C	219
Figura A.120 Deflexão Sentido Transversal - ETT – Temperatura 45,1C	220
Figura A.121 Deflexão Sentido Transversal - ETT – Temperatura 52,5C	220
Figura A.122 Deflexão Sentido Transversal - ETT – Velocidade 6,41m/s	220
Figura A.123 Deflexão Sentido Transversal - ETT – Velocidade 10,96m/s.....	221
Figura A.124 Deflexão Sentido Transversal - ETT – Velocidade 14,31m/s.....	221
Figura A.125 Deflexão Sentido Transversal - ETT – Velocidade 14,31m/s (2S3).....	221
Figura A.126 Deflexão Sentido Transversal - ETT – Velocidade 22,22m/s.....	222
Figura A.127 Deflexão Sentido Transversal - ETT – Velocidade25m/s	222
Figura A.128 Deflexão Sentido Transversal - ETT – Velocidade 30,56m/s.....	222
Figura A.129 Deflexões Sentido Longitudinal - ESRS – Temperatura 25C.....	223
Figura A.130 Deflexões Sentido Longitudinal - ESRS – Temperatura 45,1C.....	223
Figura A.131 Deflexões Sentido Longitudinal - ESRS – Temperatura 52,5C.....	223
Figura A.132 Deflexões Sentido Longitudinal - ESRS – Velocidade 3,65m/s.....	224
Figura A.133 Deflexões Sentido Longitudinal - ESRS – Velocidade 6,41m/s.....	224
Figura A.134 Deflexões Sentido Longitudinal - ESRS – Velocidade 11,9m/s.....	224
Figura A.135 Deflexões Sentido Longitudinal - ESRS – Velocidade 15,47m/s.....	225

Figura A.136 Deflexões Sentido Longitudinal - ESRS – Velocidade 22,22m/s	225
Figura A.137 Deflexões Sentido Longitudinal - ESRS – Velocidade 25m/s	225
Figura A.138 Deflexões Sentido Longitudinal - ESRS – Velocidade 30,56m/s	226
Figura A.139 Deflexão Sentido Longitudinal - ESRD – Temperatura 25C	226
Figura A.140 Deflexão Sentido Longitudinal - ESRD – Temperatura 45,1C	226
Figura A.141 Deflexão Sentido Longitudinal - ESRD – Temperatura 52,5C	227
Figura A.142 Deflexão Sentido Longitudinal - ESRD – Velocidade 6,41m/s	227
Figura A.143 Deflexão Sentido Longitudinal - ESRD – Velocidade 6,41m/s (2S3)	227
Figura A.144 Deflexão Sentido Longitudinal - ESRD – Velocidade 11,11m/s	228
Figura A.145 Deflexão Sentido Longitudinal - ESRD – Velocidade 15,47m/s	228
Figura A.146 Deflexão Sentido Longitudinal - ESRD – Velocidade 22,22m/s	228
Figura A.147 Deflexão Sentido Longitudinal - ESRD – Velocidade 25m/s	229
Figura A.148 Deflexão Sentido Longitudinal - ESRD – Velocidade 30,56m/s	229
Figura A.149 Deflexão Sentido Longitudinal - ETD – Temperatura 25C	229
Figura A.150 Deflexão Sentido Longitudinal - ETD – Temperatura 45,1C	230
Figura A.151 Deflexão Sentido Longitudinal - ETD – Temperatura 52,5C	230
Figura A.152 Deflexão Sentido Longitudinal - ETD – Velocidade 3,65m/s	230
Figura A.153 Deflexão Sentido Longitudinal - ETD – Velocidade 11,39m/s	231
Figura A.154 Deflexão Sentido Longitudinal - ETD – Velocidade 15,47m/s	231
Figura A.155 Deflexão Sentido Longitudinal - ETD – Velocidade 22,22m/s	231

Figura A.156 Deflexão Sentido Longitudinal - ETD – Velocidade 25m/s	232
Figura A.157 Deflexão Sentido Longitudinal - ETD – Velocidade 30,56m/s.....	232
Figura A.158 Deflexão Sentido Longitudinal - ETT – Temperatura 25C	232
Figura A.159 Deflexão Sentido Longitudinal - ETT – Temperatura 45,1C.....	233
Figura A.160 Deflexão Sentido Longitudinal - ETT – Temperatura 52,5C.....	233
Figura A.161 Deflexão Sentido Longitudinal - ETT – Velocidade 6,41m/s.....	233
Figura A.162 Deflexão Sentido Longitudinal - ETT – Velocidade 10,96m/s.....	234
Figura A.163 Deflexão Sentido Longitudinal - ETT – Velocidade 14,31m/s.....	234
Figura A.164 Deflexão Sentido Longitudinal - ETT – Velocidade 14,31m/s.....	234
Figura A.165 Deflexão Sentido Longitudinal - ETT – Velocidade 22,22m/s.....	235
Figura A.166 Deflexão Sentido Longitudinal - ETT – Velocidade 25m/s	235
Figura A.167 Deflexão Sentido Longitudinal - ETT – Velocidade 30,56m/s.....	235
Figura A.168 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ESRS – Temperatura 25C	236
Figura A.169 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ESRS – Temperatura 45,1C	236
Figura A.170 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ESRS – Temperatura 52,5C	236
Figura A.171 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ESRS – Velocidade 3,65m/s.....	237
Figura A.172 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ESRS – Velocidade 6,41m/s.....	237
Figura A.173 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ESRS – Velocidade 11,9m/s.....	237
Figura A.174 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ESRS – Velocidade 15,47m/s.....	238
Figura A.175 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ESRS – Velocidade 22,22m/s.....	238

Figura A.176 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ESRS – Velocidade 25m/s.....	238
Figura A.177 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ESRS – Velocidade 30,56m/s.....	239
Figura A.178 Deformação Horizontal X Sentido Transversal– ESRD – Temperatura 25C.....	239
Figura A.179 Deformação Horizontal X Sentido Transversal– ESRD – Temperatura 45,1C.....	239
Figura A.180 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ESRD – Temperatura 52,5C.....	240
Figura A.181 Deformação Horizontal X Sentido Transversal– ESRD – Velocidade 6,41m/s.....	240
Figura A.182 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ESRD – Velocidade 6,41m/s (2S3).....	240
Figura A.183 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ESRD – Velocidade 11,11m/s.....	241
Figura A.184 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ESRD – Velocidade 15,47m/s.....	241
Figura A.185 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ESRD – Velocidade 22,22m/s.....	241
Figura A.186 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ESRD – Velocidade 25m/s.....	242
Figura A.187 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ESRD – Velocidade 30,56m/s.....	242
Figura A.188 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ETD – Temperatura 25C.....	242
Figura A.189 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ETD – Temperatura 45,1C.....	243
Figura A.190 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ETD – Temperatura 52,5C.....	243
Figura A.191 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ETD – Velocidade 3,65m/s.....	243
Figura A.192 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ETD – Velocidade 11,39m/s.....	244
Figura A.193 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ETD – Velocidade 15,47m/s.....	244
Figura A.194 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ETD – Velocidade 22,22m/s.....	244
Figura A.195 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ETD – Velocidade 25m/s.....	245

Figura A.196 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ETD – Velocidade 30,56m/s.....	245
Figura A.197 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ETT – Temperatura 25C	245
Figura A.198 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ETT – Temperatura 45,1C	246
Figura A.199 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ETT – Temperatura 52,5C	246
Figura A.200 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ETT – Velocidade 6,41m/s.....	246
Figura A.201 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ETT – Velocidade 10,96m/s.....	247
Figura A.202 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ETT – Velocidade 14,31m/s.....	247
Figura A.203 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ETT – Velocidade 14,31m/s.....	247
Figura A.204 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ETT – Velocidade 22,22m/s.....	248
Figura A.205 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ETT – Velocidade 25m/s.....	248
Figura A.206 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ETT – Velocidade 30,56m/s.....	248
Figura A.207 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRS – Temperatura 25C	249
Figura A.208 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRS – Temperatura 45,1C	249
Figura A.209 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRS – Temperatura 52,5C	249
Figura A.210 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRS – Velocidade 3,65m/s.....	250
Figura A.211 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRS – Velocidade 6,41m/s.....	250
Figura A.212 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRS – Velocidade 11,9m/s.....	250
Figura A.213 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRS – Velocidade 15,47m/s.....	251
Figura A.214 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRS – Velocidade 22,22m/s.....	251
Figura A.215 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRS – Velocidade 25m/s.....	251

Figura A.216 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRS – Velocidade 30,56m/s	252
Figura A.217 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRD – Temperatura 25C.....	252
Figura A.218 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRD – Temperatura 45,1C.....	252
Figura A.219 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRD – Temperatura 52,5C.....	253
Figura A.220 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRD – Velocidade 6,41m/s	253
Figura A.221 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRD – Velocidade 6,41m/s	253
Figura A.222 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRD – Velocidade 11,11m/s	254
Figura A.223 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRD – Velocidade 15,47m/s	254
Figura A.224 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRD – Velocidade 22,22m/s	254
Figura A.225 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRD – Velocidade 25m/s.....	255
Figura A.226 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRD – Velocidade 30,56m/s.....	255
Figura A.227 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ETD – Temperatura 25C.....	255
Figura A.228 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ETD – Temperatura 45,1C.....	256
Figura A.229 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ETD – Temperatura 52,5C.....	256
Figura A.230 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ETD – Velocidade 3,65m/s.....	256
Figura A.231 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ETD – Velocidade 11,39m/s.....	257
Figura A.232 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ETD – Velocidade 15,47m/s.....	257
Figura A.233 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ETD – Velocidade 22,22m/s	257
Figura A.234 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ETD – Velocidade 25m/s.....	258
Figura A.235 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ETD – Velocidade 30,56m/s.....	258

Figura A.236 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ETT – Temperatura 25C	258
Figura A.237 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ETT – Temperatura 45,1C	259
Figura A.238 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ETT – Temperatura 52,5C	259
Figura A.239 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ETT – Velocidade 6,41m/s.....	259
Figura A.240 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ETT – Velocidade 10,96m/s.....	260
Figura A.241 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ETT – Velocidade 14,31m/s.....	260
Figura A.242 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ETT – Velocidade 14,31m/s.....	260
Figura A.243 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ETT – Velocidade 22,22m/s.....	261
Figura A.244 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ETT – Velocidade 25m/s.....	261
Figura A.245 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ETT – Velocidade 30,56m/s.....	261
Figura A.246 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRS – Temperatura 25C	262
Figura A.247 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRS – Temperatura 45,1C	262
Figura A.248 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRS – Temperatura 52,5C	262
Figura A.249 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRS – Velocidade 3,65m/s.....	263
Figura A.250 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRS – Velocidade 6,41m/s.....	263
Figura A.251 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRS – Velocidade 11,9m/s.....	263
Figura A.252 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRS – Velocidade 15,47m/s.....	264
Figura A.253 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRS – Velocidade 22,22m/s.....	264
Figura A.254 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRS – Velocidade 25m/s.....	264
Figura A.255 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRS – Velocidade 30,56m/s.....	265

Figura A.256 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRD – Temperatura 25C.....	265
Figura A.257 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRD – Temperatura 45,1C.....	265
Figura A.258 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRD – Temperatura 52,5C.....	266
Figura A.259 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRD – Velocidade 6,41m/s.....	266
Figura A.260 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRD – Velocidade 6,41m/s.....	266
Figura A.261 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRD – Velocidade 11,11m/s.....	267
Figura A.262 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRD – Velocidade 15,47m/s.....	267
Figura A.263 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRD – Velocidade 22,22m/s.....	267
Figura A.264 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRD – Velocidade 25m/s.....	268
Figura A.265 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRD – Velocidade 30,56m/s.....	268
Figura A.266 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ETD – Temperatura 25C.....	268
Figura A.267 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ETD – Temperatura 45,1C.....	269
Figura A.268 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ETD – Temperatura 52,5C.....	269
Figura A.269 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ETD – Velocidade 3,65m/s.....	269
Figura A.270 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ETD – Velocidade 11,39m/s.....	270
Figura A.271 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ETD – Velocidade 15,47m/s.....	270
Figura A.272 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ETD – Velocidade 22,22m/s.....	270
Figura A.273 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ETD – Velocidade 25m/s.....	271
Figura A.274 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ETD – Velocidade 30,56m/s.....	271
Figura A.275 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ETT – Temperatura 25C.....	271

Figura A.276 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ETT – Temperatura 45,1C	272
Figura A.277 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ETT – Temperatura 52,5C	272
Figura A.278 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ETT – Velocidade 6,41m/s.....	272
Figura A.279 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ETT – Velocidade 10,96m/s.....	273
Figura A.280 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ETT – Velocidade 14,31m/s.....	273
Figura A.281 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ETT – Velocidade 14,31m/s.....	273
Figura A.282 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ETT – Velocidade 22,22m/s.....	274
Figura A.283 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ETT – Velocidade 25m/s.....	274
Figura A.284 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ETT – Velocidade 30,56m/s.....	274
Figura A.285 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRS – Temperatura 25C	275
Figura A.286 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRS – Temperatura 45,1C	275
Figura A.287 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRS – Temperatura 52,5C	275
Figura A.288 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRS – Velocidade 3,65m/s.....	276
Figura A.289 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRS – Velocidade 6,41m/s.....	276
Figura A.290 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRS – Velocidade 11,9m/s.....	276
Figura A.291 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRS – Velocidade 15,47m/s.....	277
Figura A.292 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRS – Velocidade 22,22m/s.....	277
Figura A.293 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRS – Velocidade 25m/s.....	277
Figura A.294 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRS – Velocidade 30,56m/s.....	278
Figura A.295 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRD – Temperatura 25C	278

Figura A.296 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRD – Temperatura 45,1C.....	278
Figura A.297 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRD – Temperatura 52,5C.....	279
Figura A.298 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRD – Velocidade 6,41m/s.....	279
Figura A.299 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRD – Velocidade 6,41m/s.....	279
Figura A.300 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRD – Velocidade 11,11m/s.....	280
Figura A.301 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRD – Velocidade 15,47m/s.....	280
Figura A.302 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRD – Velocidade 22,22m/s.....	280
Figura A.303 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRD – Velocidade 25m/s.....	281
Figura A.304 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRD – Velocidade 30,56m/s.....	281
Figura A.305 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ETD – Temperatura 25C.....	281
Figura A.306 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ETD – Temperatura 45,1C.....	282
Figura A.307 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ETD – Temperatura 52,5C.....	282
Figura A.308 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ETD – Velocidade 3,65m/s.....	282
Figura A.309 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ETD – Velocidade 11,39m/s.....	283
Figura A.310 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ETD – Velocidade 15,47m/s.....	283
Figura A.311 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ETD – Velocidade 22,22m/s.....	283
Figura A.312 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ETD – Velocidade 25m/s.....	284
Figura A.313 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ETD – Velocidade 30,56m/s.....	284
Figura A.314 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ETT – Temperatura 25C.....	284
Figura A.315 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ETT – Temperatura 45,1C.....	285

Figura A.316 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ETT – Temperatura 52,5C	285
Figura A.317 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ETT – Velocidade 6,41m/s.....	285
Figura A.318 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ETT – Velocidade 10,96m/s.....	286
Figura A.319 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ETT – Velocidade 14,31m/s.....	286
Figura A.320 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ETT – Velocidade 14,31m/s.....	286
Figura A.321 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ETT – Velocidade 22,22m/s.....	287
Figura A.322 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ETT – Velocidade 25m/s.....	287
Figura A.323 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ETT – Velocidade 30,56m/s.....	287
Figura A.324 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRS - Temperatura 25C	288
Figura A.325 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRS - Temperatura 45,1C	288
Figura A.326 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRS - Temperatura 52,5C	288
Figura A.327 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRS - Velocidade 3,65m/s.....	289
Figura A.328 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRS - Velocidade 6,41m/s (2S3).....	289
Figura A.329 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRS - Velocidade 11,9m/s.....	289
Figura A.330 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRS - Velocidade 15,47m/s.....	290
Figura A.331 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRS - Velocidade 22,22m/s.....	290
Figura A.332 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRS - Velocidade 25m/s.....	290
Figura A.333 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRS - Velocidade 30,56m/s.....	291
Figura A.334 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRD - Temperatura 25C	291
Figura A.335 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRD - Temperatura 45,1C	291

Figura A.336 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRD - Temperatura 52,5C.....	292
Figura A.337 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRD - Velocidade 6,41m/s.....	292
Figura A.338 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRD - Velocidade 6,41m/s (2S3).....	292
Figura A.339 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRD - Velocidade 11,11m/s.....	293
Figura A.340 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRD - Velocidade 15,47m/s.....	293
Figura A.341 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRD - Velocidade 22,22m/s.....	293
Figura A.342 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRD - Velocidade 25m/s.....	294
Figura A.343 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRD - Velocidade 30,56m/s.....	294
Figura A.344 Deformação Vertical Sentido Transversal - ETD - Temperatura 25C.....	294
Figura A.345 Deformação Vertical Sentido Transversal - ETD - Temperatura 45,1C.....	295
Figura A.346 Deformação Vertical Sentido Transversal - ETD - Temperatura 52,5C.....	295
Figura A.347 Deformação Vertical Sentido Transversal - ETD - Velocidade 3,65m/s.....	295
Figura A.348 Deformação Vertical Sentido Transversal - ETD - Velocidade 11,39m/s.....	296
Figura A.349 Deformação Vertical Sentido Transversal - ETD - Velocidade 15,47m/s.....	296
Figura A.350 Deformação Vertical Sentido Transversal - ETD - Velocidade 22,22m/s.....	296
Figura A.351 Deformação Vertical Sentido Transversal - ETD - Velocidade 25m/s.....	297
Figura A.352 Deformação Vertical Sentido Transversal - ETD - Velocidade 30,56m/s.....	297
Figura A.353 Deformação Vertical Sentido Transversal - ETT - Temperatura 25C.....	297
Figura A.354 Deformação Vertical Sentido Transversal - ETT - Temperatura 45,1C.....	298
Figura A.355 Deformação Vertical Sentido Transversal - ETT - Temperatura 52,5C.....	298

Figura A.356 Deformação Vertical Sentido Transversal - ETT - Velocidade 6,41m/s.....	298
Figura A.357 Deformação Vertical Sentido Transversal - ETT - Velocidade 10,96m/s.....	299
Figura A.358 Deformação Vertical Sentido Transversal - ETT - Velocidade 14,31m/s.....	299
Figura A.359 Deformação Vertical Sentido Transversal - ETT - Velocidade 14,31m/s (4C)	299
Figura A.360 Deformação Vertical Sentido Transversal - ETT - Velocidade 22,22m/s.....	300
Figura A.361 Deformação Vertical Sentido Transversal - ETT - Velocidade 25m/s.....	300
Figura A.362 Deformação Vertical Sentido Transversal - ETT - Velocidade 30,56m/s.....	300
Figura A.363 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRS - Temperatura 25C	301
Figura A.364 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRS - Temperatura 45,1C	301
Figura A.365 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRS - Temperatura 52,5C	301
Figura A.366 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRS - Velocidade 3,65m/s.....	302
Figura A.367 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRS - Velocidade 6,41m/s (2S3).....	302
Figura A.368 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRS - Velocidade 11,9m/s.....	302
Figura A.369 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRS - Velocidade 15,47m/s.....	303
Figura A.370 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRS - Velocidade 22,22m/s.....	303
Figura A.371 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRS - Velocidade 25m/s.....	303
Figura A.372 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRS - Velocidade 30,56m/s.....	304
Figura A.373 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRS - Temperatura 25C	304
Figura A.374 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRS - Temperatura 45,1C	304
Figura A.375 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRS - Temperatura 52,5C	305

Figura A.376 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRD - Velocidade 6,41m/s	305
Figura A.377 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRD - Velocidade 6,41m/s	305
Figura A.378 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRD - Velocidade 11,11m/s	306
Figura A.379 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRD - Velocidade 15,47m/s	306
Figura A.380 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRD - Velocidade 22,22m/s	306
Figura A.381 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRD - Velocidade 25m/s	307
Figura A.382 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRD - Velocidade 30,56m/s	307
Figura A.383 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ETD - Temperatura 25C	307
Figura A.384 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ETD - Temperatura 45,1C	308
Figura A.385 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ETD - Temperatura 52,5C	308
Figura A.386 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ETD - Velocidade 3,65m/s	308
Figura A.387 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ETD - Velocidade 11,39m/s	309
Figura A.388 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ETD - Velocidade 15,47m/s	309
Figura A.389 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ETD - Velocidade 22,22m/s	309
Figura A.390 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ETD - Velocidade 25m/s	310
Figura A.391 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ETD - Velocidade 30,56m/s	310
Figura A.392 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ETT - Temperatura 25C	310
Figura A.393 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ETT - Temperatura 45,1C	311
Figura A.394 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ETT - Temperatura 52,5C	311
Figura A.395 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ETT - Velocidade 6,41m/s	311

Figura A.396 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ETT - Velocidade 10,96m/s.....	312
Figura A.397 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ETT - Velocidade 14,31m/s.....	312
Figura A.398 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ETT - Velocidade 14,31m/s (4C)	312
Figura A.399 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ETT - Velocidade 22,22m/s.....	313
Figura A.400 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ETT - Velocidade 25m/s.....	313
Figura A.401 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ETT - Velocidade 30,56m/s.....	313

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 Dispositivos de controle da Rodovia Presidente Dutra	72
Quadro 3.2 Modelo de resultado de contagens por comprimento	74
Quadro 3.3 Modelo de resultado de contagens por velocidade	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Limite de transporte de cargas por Peso Bruto Total (PBT)	57
Tabela 2.2 Limite de transporte de cargas por tipo de eixo	58
Tabela 2.3 Áreas de contato entre pneu e pavimento. Fonte: Albano (1998).....	59
Tabela 2.4 Pressões de inflação e área de contato.....	60
Tabela 2.5 Porcentagens de veículos comerciais na faixa mais carregada	61
Tabela 3.1 Localização dos ATs	76
Tabela 3.2 Localização de praças de pedágio da Rodovia Presidente Dutra	79
Tabela 3.3 Carregamentos medidos nos eixos do guincho	84
Tabela 3.4 Características geométricas das rampas na Serra das Araras – Pista Sul	88
Tabela 4.1 Resumo de dados gerais dos ATs – Volumes horários médios de veículos por faixa	90
Tabela 4.2 Estações meteorológicas e ATs próximos.....	94
Tabela 4.3 Taxas percentuais de variação anual da frota e do PIB	103
Tabela 4.4 Modelos de correlação entre as variações percentuais anuais dos volumes de veículos e do PIB brasileiro	104
Tabela 4.5 Horários de maior fluxo dos veículos comerciais na balança de Queluz	108
Tabela 4.6 Comportamento dos histogramas de PBT - Queluz	109
Tabela 4.7 Horários de maior fluxo dos veículos comerciais na balança de Guararema	112
Tabela 4.8 Comportamento dos histogramas de PBT - Guararema	112
Tabela 4.9 Medidas das áreas de contato dos pneus	117
Tabela 4.10 Velocidades desenvolvidas na Serra das Araras para veículos comerciais	118
Tabela 4.11 Parâmetros dos materiais adotados para análise da estrutura de pavimento.....	120
Tabela 4.12 Temperaturas encontradas na Serra das Araras.....	121
Tabela 4.13 Matriz de processamento de estruturas para ESRS	129
Tabela 4.14 Matriz de processamento de estruturas para ESRD	129
Tabela 4.15 Matriz de processamento de estruturas para ETD	130
Tabela 4.16 Matriz de processamento de estruturas para ETT	130
Tabela 4.17 Resultados esperados	131
Tabela 4.18 Resumo de resultados obtidos para ESRS.....	133
Tabela 4.19 Resumo de resultados obtidos para ESRD	135
Tabela 4.20 Resumo de resultados obtidos para ETD	138

Tabela 4.21 Resumo de resultados obtidos para ETT	140
Tabela 4.22 Comparativo entre veículos comerciais de maior incidência	144
Tabela 4.23 Principais sobrecargas observadas.....	145
Tabela 4.24 Excessos acima das classes das tolerâncias.....	146
Tabela 4.25 Excessos de cargas no PBT	147
Tabela 4.26 Porcentagens de decréscimo de deformações máximas de tração na face inferior do revestimento	152
Tabela A.1 Valores de volume médio diário de veículos	170
Tabela A.2 Resumo de velocidades em chuva – AT42091	173
Tabela A.3 Resumo de velocidades em chuva – AT32284	174
Tabela A.4 Dados gerais de contagens de veículos e cronometragens para o percurso da Serra das Araras Pista Sul	204

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
AASHO	<i>American Association of State Highway Officials</i>
Ac	Área de Contato Medida
Acirc	Área Circular
AET	Autorização Especial de Trânsito
ANTT	Agencia Nacional de Transportes Terrestres
AT	Analizador de Tráfego
AVI	<i>Automatic Vehicle Identification</i>
CCR	Companhia de Concessões Rodoviárias
CFTV	Circuito Fechado de Televisão
CML	Carga Máxima Legal
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
DERSA	Desenvolvimento Rodoviário S.A.
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
E padrão	Eixo padrão
ELSYM5	<i>Elastic Layered System 5</i>
ESRD	Eixo Simples com Rodas Duplas
ESRS	Eixo Simples com Rodas Simples
ESRSg	Eixo Simples de Rodas Simples do guincho
ETD	Eixo Tandem Duplo
ETT	Eixo Tandem Triplo
EUA	Estados Unidos da América
EVA	Etil Vinil Acetato
FWD	<i>Falling Weight Deflectometer</i>
GEA	<i>Grenobloise d'Eletronique et d'Automatismes</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFSTTAR	<i>Institut Français des Sciences et Technologies des</i>

Transports, de l'aménagement et des réseaux

INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
ITA	Instituto Tecnológico da Aeronáutica
LASTRAN	Laboratorio de Sistemas de Transportes
LCPC	<i>Laboratoire Central des Ponts et Chaussées</i>
Mdot	<i>Michigan Department of Transportation</i>
NCAT	<i>National Center for Asphalt Technology</i>
PBT	Peso Bruto Total
PIB	Produto Interno Bruto
PN	Pista Norte
PPGEC	Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil
PS	Pista Sul
RJ	Rio de Janeiro
RNTRC	Registro Nacional de Transportes de Cargas
SP	São Paulo
SUV	<i>Sport Utility Vehicle</i>
Tar	Temperatura do Ar
Tp	Temperatura do Pavimento
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
USACE	<i>United States of Army Corps of Engineers</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	47
1.1 OBJETIVOS.....	48
1.1.1 Objetivo Geral	48
1.1.2 Objetivos Específicos.....	48
1.2 Delimitações da Abrangência da Pesquisa	49
1.3 Relevância do Tema: Justificativas.....	50
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	53
2.1 VEÍCULOS COMERCIAIS	53
2.2 PRESSÕES DE INFLAÇÃO E ÁREAS DE CONTATO	59
2.3 DISTRIBUIÇÃO DE VOLUMES DE TRÁFEGO NAS FAIXAS DE ROLAMENTO.....	61
2.4 COMPORTAMENTO DOS PAVIMENTOS	61
2.5 PROGRAMA DE ANÁLISE DE PAVIMENTOS	65
2.6 TRATAMENTOS ESTATÍSTICOS	68
3. METODOLOGIA	69
3.1 INFORMAÇÕES GERAIS DA RODOVIA	70
3.2 ANALISADORES DE TRÁFEGO	73
3.3 PRAÇAS DE PEDÁGIO.....	77
3.4 POSTOS DE PESAGEM	79
3.5 DADOS PARA CARACTERIZAÇÃO DE ÁREAS DE CONTATO PNEU- PAVIMENTO	83
3.6 DADOS PARA DETERMINAÇÃO DAS VELOCIDADES DESENVOLVIDAS EM RAMPAS.....	86
4. RESULTADOS	89
4.1 DADOS PROVENIENTES DOS ANALISADORES DE TRÁFEGO (ATs)	89
4.1.1 Dados de Contagens de Veículos.....	89
4.1.2 Dados de Pluviometria.....	94
4.2 DADOS PROVENIENTES DAS CONTAGENS EM PRAÇAS DE PEDÁGIO	97
4.3 DADOS PROVENIENTES DAS BALANÇAS DINÂMICAS	105
4.3.1 Balança de Queluz – km 0+800 – Pista Norte.....	108
4.3.2 Balança de Guararema – km 179+400 – Pista Sul	112
4.4 AVALIAÇÕES REFERENTES ÀS ATIVIDADES DE CAMPO.....	115
4.4.1 Obtenção das Áreas de Contato entre Pneu e Pavimento	115
4.4.2 Determinação das Velocidades dos Veículos Comerciais em Rampa	117
4.5 APLICAÇÃO DE DADOS DE TRÁFEGO À ANÁLISE DE PAVIMENTOS	119
4.5.1 Parâmetros de Análise.....	119

4.6 ANÁLISE DE ESTRUTURAS CONSIDERANDO CAMADAS COM COMPORTAMENTO ELÁSTICO LINEAR	123
4.7 ANÁLISE DE ESTRUTURAS CONSIDERANDO CAMADAS COM COMPORTAMENTO TERMOVISCOELÁSTICO	129
4.8 COMENTÁRIOS GERAIS	142
4.8.1 Analisadores de Tráfego.....	142
4.8.2 Praças de Pedágio	143
4.8.3 Balanças de Queluz e Guararema	144
4.8.4 Levantamentos de Campo.....	147
4.8.5 Análise de Pavimentos com Camadas Elásticas	149
4.8.6 Análise de Pavimentos Considerando Revestimento com Comportamento Viscoelástico	149
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	154
5.1 CONCLUSÕES	154
5.1.1 Classificação da frota de veículos comerciais e percentagens de veículos comerciais em relação ao volume total	154
5.1.2 Distribuição porcentual de veículos comerciais nas faixas de rolamento.....	154
5.1.3 Evolução da frota de veículos comerciais e sua relação com o PIB ao longo dos anos	155
5.1.4 Faixas de carga praticadas para cada tipo de eixo dos veículos comerciais, sobrecargas e percentagens de excessos encontradas	155
5.1.5 Tempos de aplicação de cargas em rampa.....	156
5.1.6 Parâmetros de análise de pavimentos	157
5.1.7 Análise de Pavimentos	157
5.2 RECOMENDAÇÕES	158
REFERÊNCIAS	159
APÊNDICE	165
A1 – ANALISADORES DE TRÁFEGO (ATs) – CROQUIS DE LOCALIZAÇÃO.....	165
A2 – ANALISADORES DE TRÁFEGO (ATs) – VOLUME DIÁRIO MÉDIO	170
A3 – ANALISADORES DE TRÁFEGO (ATs) – VELOCIDADES E PRECIPITAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS	173
A4 – GRÁFICOS DE REGRESSÕES DO STATGRAPHCS PARA MODELAGEM DE VEÍCULOS COMERCIAIS X PIB.....	179
A5 GRÁFICOS DE PBT – BALANÇA DE QUELUZ	181
A6 GRÁFICO DE CARGAS POR EIXOS - QUELUZ	183
A7 GRÁFICOS DE DISTRIBUIÇÃO DIÁRIA SEMANAL - QUELUZ	186
A8 GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO HORÁRIA - QUELUZ.....	189
A9 GRÁFICO DE PBT – BALANÇA DE GUARAREMA.....	191
A10 GRÁFICO DE CARGAS POR EIXOS - GUARAREMA.....	194

A11 GRÁFICOS DE DISTRIBUIÇÃO DIÁRIA SEMANAL - GUARAREMA	197
A12 GRÁFICOS DE DISTRIBUIÇÃO HORÁRIA - GUARAREMA	199
A13 IMPRESSÃO DE PNEUS COM DELIMITAÇÃO DAS POLILINHAS	202
A14 TEMPOS DE SUBIDA DOS VEÍCULOS COMERCIAIS NA SERRA DAS ARARAS.....	204
A15 GRÁFICOS DE VELOCIDADES DESENVOLVIDAS PELOS VEÍCULOS COMERCIAIS CRONOMETRADOS NA SERRA DAS ARARAS – PISTA SUL.....	208
A16 GRÁFICOS ORIGINADOS COM OS DADOS PROCESSADOS NO VISCOROUTE CONSIDERANDO CAMADA DE REVESTIMENTO COM COMPORTAMENTO TERMOVISCOELÁSTICO.....	210

1 INTRODUÇÃO

Os pavimentos implantados e submetidos às solicitações de cargas, às intempéries climáticas e à ação do tempo passam por transformações que exigem intervenções de restauração e reabilitação para que possam suportar um novo período de serviço.

Diversos procedimentos são utilizados para a determinação das intervenções a que se deva submeter uma estrutura, de tal forma que ela seja capaz de oferecer um desempenho satisfatório.

No Brasil, são normatizados alguns procedimentos de cálculo preconizados pelo Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (DNER) como os procedimentos PRO-10 (A) elaborado pelo Eng. Armando Martins Pereira, DNER (1979 a), PRO-11 (B) elaborado pelo Eng. Francisco Bolívar Lobo Carneiro e equipe DNER (1979 b), PRO-159, baseado na tese de doutorado do Eng. César Augusto Vieira Queiroz DNER (1985) e PRO-269 de autoria dos Engs. Ernesto Preussler e Salomão Pinto DNER (1994).

Observa-se que a metodologia mais recente em vigor já possui 17 anos de normatização. Na realidade, a metodologia PRO-269, conhecida também como o “método da resiliência” é utilizada para o dimensionamento de estruturas desde a década de 80 na região de São Paulo, nos projetos elaborados para a Desenvolvimento Rodoviário S.A (DERSA). Embora a idade dos estudos não signifique necessariamente que esteja obsoleto, há que se considerar a grande evolução que ocorreu nestas últimas décadas, em termos de equipamentos para a determinação dos parâmetros de análise de pavimentos, assim como das teorias que procuram explicar o comportamento das estruturas.

Tanto os pavimentos novos quanto os pavimentos a serem restaurados, podem também ser avaliados em sua capacidade de absorver tensões e deformações ao longo de toda a estrutura, no que antes eram verificados praticamente apenas pelos níveis deflectométricos que atingiam. Estas avaliações tornaram-se possíveis com o desenvolvimento de computadores capazes de processar informações rapidamente, assim como pela criação de programas capazes de simular cargas em estruturas, determinando tensões, deformações e deslocamentos gerados em qualquer posição da estrutura.

O programa mais utilizado no Brasil para este tipo de análise tem sido o *Elastic Layered System* (ELSYM5), de Kopperman, Tiller e Tseng (1986), desenvolvido na Universidade de Berkley na década de 70. Entretanto outros programas foram desenvolvidos e seus resultados

foram largamente verificados quanto à confiabilidade de resultados, assim como o desempenho do pavimento no campo.

Os resultados obtidos com estes programas fornecem as respostas dos pavimentos para a avaliação da estrutura segundo critérios que geralmente consideram solicitação de tráfego, representado por número equivalente de solicitações ao eixo padrão de 8,2tf, que representa o dano equivalente provocado pelas diversas configurações de eixos e cargas neles transportados dentro do período admitido para projeto.

As considerações acerca do dano, seja por critério de deformações no topo do subleito ou por deformação no revestimento, foram tomadas, em sua maioria, numa época em que as cargas que solicitavam a estrutura de pavimento eram diferentes das encontradas atualmente, assim como veículos diferentes, com configurações de eixo diferentes, além do que, atualmente, as pressões de inflação dos pneus são maiores.

Tais considerações levam à reflexão da real validade dos dados de tráfego que estão sendo utilizados nos dimensionamentos de pavimentos. Sendo o tráfego um dos parâmetros de maior relevância nos projetos de pavimentação, é inerente a sua grande importância para uma boa análise de projeto.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral é a caracterização do comportamento da frota de veículos comerciais circulante em uma rodovia brasileira de tráfego elevado, no que se refere aos tipos de veículos, eixos, cargas por eixo e carga total.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Classificação da frota de veículos comerciais circulantes e percentagem de veículos comerciais em relação ao volume total;
- Determinação de faixas de cargas praticadas para cada tipo de eixo dos veículos comerciais;

- Determinação de faixas de sobrecargas encontradas por veículos e por eixos, assim como as percentagens de excesso encontradas;
- Verificação da distribuição porcentual de veículos comerciais nas faixas de rolamento;
- Análise temporal de evolução da frota e determinação de correlação do volume de tráfego com índice econômico de produção;
- Avaliação dos tempos de aplicação de carga ao pavimento em condições reais de tráfego em rampa;
- Determinação dos parâmetros de análise de pavimentos considerando área carregada real e os tempos reais de aplicação de carga.

1.2 DELIMITAÇÕES DA ABRANGÊNCIA DA PESQUISA

A pesquisa foi feita com dados e contagens obtidos da concessionária CCR NovaDutra que administra a Rodovia Presidente Dutra, BR-116, trecho que liga as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro.

Nenhuma extrapolação ou interpolação foi realizada, conferindo à pesquisa a condição de maior proximidade à amostra real.

Com exceção dos dados de contagens provenientes das praças de pedágio, que fornecem volumes de veículos entre 1996 e 2009, as demais informações advindas do banco de dados da concessionária, referem-se a contagens realizadas no ano de 2009. Apenas contagens de veículos feitas para determinação do tempo de aplicação de cargas foram efetuadas no ano de 2010.

Os dados de pesagens utilizados são valores provenientes das pesagens efetuadas nas balanças seletivas, onde são pesados todos os veículos comerciais que passaram em um determinado período. Os dados de pesagens na balança lenta não foram obtidos e, portanto, não foram utilizados nesta pesquisa. Os erros de aferição obtidos para o sistema de pesagens é de no máximo 0,5% para as balanças lentas, considerando valores de referência tomados em balança estática e as medidas efetuadas nas balanças dinâmicas lentas. O procedimento de aferição resulta em documento expedido pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) para as balanças lentas, já que o excesso observado nas balanças seletivas é confirmado

na balança lenta. Nas balanças seletivas utilizadas na Dutra o erro de calibração não deve exceder 3%.

Os dados de analisadores de tráfego utilizados são referentes às pistas expressas, não sendo consideradas as contagens de vias marginais e acessos.

Nenhuma informação original, obtido do banco de dados da concessionária pode ser divulgada por ser considerado documento confidencial. Os dados foram disponibilizados para a pesquisa sob este compromisso. Estão apresentados todos os tratamentos de dados, tabelas geradas e calculadas assim como gráficos e esquemas resultantes dos estudos efetuados com os dados brutos fornecidos.

Os valores apresentados nesta pesquisa destinam-se a caracterização de frota para exclusivo uso em engenharia de tráfego, com dados modelados e trabalhados exclusivamente visando parâmetros de análise de pavimentos. Desta forma, os volumes e taxas apresentados, não constituem base de informação para pesquisas de ordem financeira ou administrativa. Os tratamentos de dados filtram as informações de maneira proposital para proteção dos dados brutos fornecidos, sem prejuízos às análises a que esta pesquisa se destina.

As análises de estrutura de pavimento foram realizadas em programa computacional de avaliação de pavimentos, considerando características de materiais asfálticos determinados por parâmetros da metodologia francesa, que considera módulos complexos admitidos pela lei de Huet-Sayeg. O programa escolhido foi o Viscoroute que permite a análise de pavimentos considerando cargas não circulares e camadas que apresentem características termoviscoelásticas.

Os parâmetros para estas análises foram extraídos da tese de Barra (2009), que se reportam a materiais brasileiros com valores compatíveis e necessários aos processamentos. Nenhum ensaio foi realizado com material do pavimento da Rodovia Presidente Dutra e os processamentos realizados têm a única finalidade de mostrar aplicação de dados obtidos na pesquisa em um programa de análise de pavimento por viscoelasticidade. Não é objetivo deste trabalho analisar a estrutura de pavimento real da rodovia.

1.3 RELEVÂNCIA DO TEMA: JUSTIFICATIVAS

A aproximação e simplificação de procedimentos de análise de pavimentos podem incorrer em imprecisões nos resultados, seja por subdimensionamento como por superdimensionamento.

É bem percebido que os tipos de veículos, pressão de inflação de pneus e intensidades das cargas praticadas atualmente são diferentes daqueles por ocasião da concepção da grande maioria das premissas e metodologias seguidas mais comumente nos procedimentos de dimensionamento de pavimentos novos e restauração de pavimentos existentes.

As diferenças entre estas épocas, que quase chegam a 60 anos quando se considera os testes da *American Association of State Highway Officials* (AASHO) *Road Test* realizados na década de 50, fazem com que sejam dimensionadas intervenções que podem estar muito aquém das reais necessidades. Nesta situação, as falhas podem ser atribuídas à execução, materiais utilizados, etc. Entretanto, o problema pode estar na concepção da solução.

As análises de estruturas de pavimentos devem considerar as características do subleito, as características das camadas constituintes da estrutura e o carregamento a que ela estará submetida. São parâmetros essenciais ao desenvolvimento da avaliação de pavimentos.

Os trabalhos pioneiros no país, que geraram as metodologias em vigor preconizadas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), como o DNER PRO-10, DNER (1979 a) e DNER PRO-11, DNER (1979 b) para restauração de pavimentos, assim como as metodologias de dimensionamento de pavimentos novos, como o método do DNIT do Engenheiro Murilo Lopes de Souza, DNER (1979 c), são da década de 70 e representaram grande avanço na engenharia de pavimentação, dados os recursos disponíveis naquela época.

Nestas quatro últimas décadas, de maneira geral, pode-se dizer que a análise de estruturas de pavimento passou por pelo menos mais três gerações. A criação de computadores pessoais, com processadores cada vez mais velozes e com maior capacidade e eficiência, possibilitaram a operação de programas complexos e sofisticados de análise de estruturas, baseados em teorias de elementos finitos e diferenças finitas. As avaliações de estruturas considerando comportamentos elástico-lineares representaram um grande avanço nesta área. Modelos mecanicistas foram concebidos de maneira à melhor interpretar o comportamento de cada camada das estruturas de pavimento.

Posteriormente, uma nova geração de análise considerava comportamentos elásticos não lineares, ou seja, considerações a respeito da anisotropia característica dos materiais são parâmetros de importância na análise das estruturas e finalmente, avaliações de camadas com características relacionadas à termoviscoelasticidade

foram introduzidas nas análises de estruturas de pavimento. Para esta última, a temperatura e o tempo de aplicação de cargas são parâmetros de vital importância.

Novos conceitos de dimensionamento, para pavimentos flexíveis, não lançam mão dos fatores de equivalência de cargas e dos fatores de veículos. Há a necessidade de se conhecer mais profundamente a frota em si, como os veículos trafegam distributivamente às faixas de rolamento, conhecer as cargas que são transportadas, o que se transmite em cada eixo ao pavimento nas novas configurações de veículos, considerando os pneus radiais atualmente utilizados e que permitem a calibração com pressões muito mais elevadas e conseqüentemente, reduzindo as áreas de contato do pneu ao pavimento. O conhecimento do tempo de aplicação de carga é um fator relevante, porque o dano ao pavimento é afetado drasticamente na medida em que a velocidade de deslocamento da carga diminui.

A compreensão da importância destes parâmetros de tráfego, para uma aproximação maior dos valores a serem adotados em dimensionamentos às condições reais de operações, motivou a realização desta pesquisa.

Este trabalho está estruturado nos seguintes capítulos descritos a seguir:

- Capítulo 1: apresenta-se uma contextualização do assunto e os objetivos da pesquisa realizada;
- Capítulo 2: destina-se a apresentação da revisão bibliográfica que consubstancia esta pesquisa;
- Capítulo 3: descreve-se a metodologia utilizada e o tratamento dos dados coletados;
- Capítulo 4: são apresentados os resultados obtidos;
- Capítulo 5: destina-se às conclusões e recomendações às pesquisas futuras.
- Apêndice: apresentam-se todos os resultados e gráficos intermediários e de apoio que foram produzidos para chegar-se aos resultados finais;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo destina-se a apresentação de conceituações e informações referentes aos trabalhos desenvolvidos para a pesquisa proposta.

Pretende-se também conduzir à leitura e entendimento dos procedimentos realizados de maneira a atingir plenamente a compreensão de cada etapa da pesquisa.

2.1 VEÍCULOS COMERCIAIS

Os veículos comerciais de carga são, de maneira geral, compostos pelos caminhões, semi-reboques e reboques.

No estudo desenvolvido pela *Land Transportation Standards Subcommittee* (1997) são apresentados como os veículos de maior ocorrência no Canadá, semi-reboques com 5 eixos (51%) e semi-reboques com 6 eixos (18,5%). Nos Estados Unidos da America (EUA) são os semi-reboque com 5 eixos (42,2%) seguidos de caminhões de 2 eixos (35,5%) e, no México, semi-reboques com 6 eixos (37,3%) e semi-reboques com 5 eixos (35,2%). No Brasil, o Registro Nacional de Transporte de Cargas (RNTRC) da Agencia Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) mostra que entre os veículos cadastrados, 35,0% são veículos médios com capacidade de carga entre 8t e 29t e 26,7% são semi-reboques com 5ª roda (ANTT, 2011).

Cada uma das configurações possui uma codificação que é normalizada pelos órgãos rodoviários. O DNIT (2009) apresenta todas as configurações de veículos, indicando seus limites de comprimento e cargas vigentes no Brasil.

Cada veículo possui sua configuração de eixos que são compostos pelos seguintes tipos:

- Eixo simples de rodas simples (ESRS): este tipo de eixo, geralmente é o eixo direcional (dianteiro) de todos os veículos comerciais. Alguns pequenos caminhões possuem este tipo de eixo na parte traseira do veículo. É composto de roda singela a cada lado do eixo.
- Eixo simples de rodas duplas (ESRD): este é o tipo de eixo encontrado nos caminhões médios, coloquialmente chamados de “toco” e também em vários veículos com capacidade superior de cargas. Possui duas rodas de cada lado em seu eixo.

- Eixo tandem duplo (ETD): são eixos com 4 rodas de cada lado do eixo, com suspensão unificada. São capazes de transportar cargas maiores que os eixos simples.
- Eixo tandem triplo (ETT): são eixos compostos por 3 conjuntos de rodas duplas, totalizando 6 rodas de cada lado com suspensão unificada.

Os tipos de eixos descritos estão apresentados nas Figuras 2.1 a 2.4.



Figura 2.1 Eixo simples de rodas simples – ESRs

Fonte: Autora



Figura 2.2 Eixo simples de rodas duplas - ESRD

Fonte: Autora



Figura 2.3 Eixo tandem duplo - ETD

Fonte: Autora



Figura 2.4 Eixo tandem triplo - ETT

Fonte: Autora

A maioria dos eixos traseiros é composta por rodas duplas. Alguns veículos possuem eixos traseiros com pneus extralargos como mostra a Figura 2.5.



Figura 2.5 Pneus extralargos.

Fonte: Tamiya3Speed (2011)

Diversas são as combinações de eixos que são encontrados nos veículos que circulam nas rodovias brasileiras. A Figura 2.6 apresenta os tipos de veículos comerciais que foram encontrados com maior frequência na Rodovia Presidente Dutra. As figuras dos veículos foram extraídas de DNIT (2009).

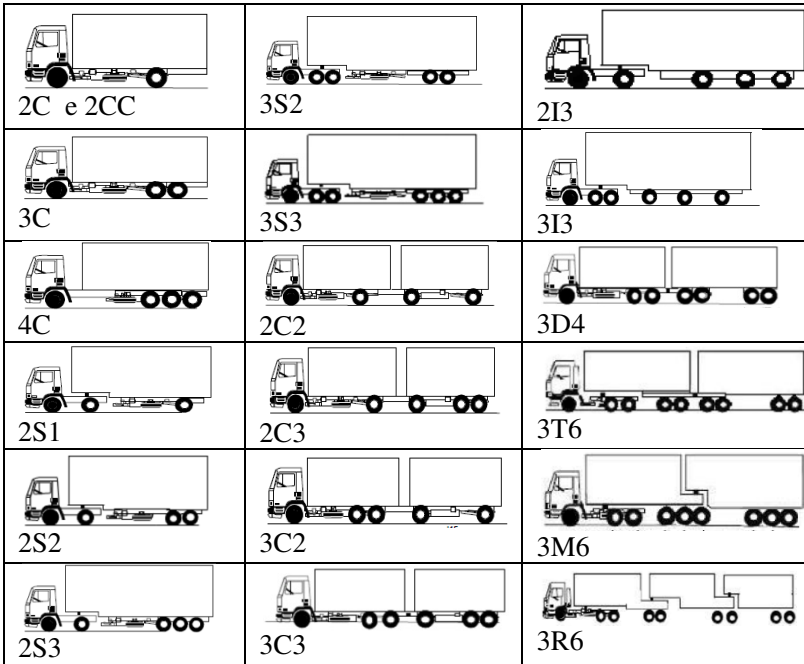


Figura 2.6 Configurações de veículos comerciais observados na Via Dutra

Fonte: Modificado de DNIT (2009)

Os veículos 2C diferem do 2CC pela configuração do eixo traseiro onde o 2C possui ESRD e o 2CC possui ESRs.

Os veículos comerciais são conhecidos por nomes populares. Além dos caminhões “toco”, existem os caminhões “trucados” que são os caminhões com eixos traseiros tandem (3C e 4C). Os “bitrens” são veículos com dois semi-reboques (3T6 e 3M6) e os chamados “treminhões” ou “rodotrens” são veículos com mais de dois semi-reboques (3R6).

As resoluções que regulamentam os limites de cargas a serem transportados em cada tipo de eixo e tipo de veículo são as resoluções

expedidas pelo Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN). Atualmente em vigor estão as Resoluções 210 (CONTRAN, 2006) e 365 (CONTRAN, 2010). Esta última altera o artigo 17 da resolução 258/2007, permitindo a tolerância máxima de 7,5% sobre os limites de peso bruto transmitido por eixo de veículo à superfície das vias públicas até dia 31 de dezembro de 2011. Os valores admitidos estão apresentados nas Tabelas 2.1 e 2.2, para o Peso Bruto Total (PBT) e para cada tipo de eixo, respectivamente.

Tabela 2.1 Limite de transporte de cargas por Peso Bruto Total (PBT)

Veículo	PBT (t)	PBT + Tolerância 5% (t)	Comprimentos (m) Resolução CONTRAN 210/2006
2C	16,0	16,800	-
3C	23,0	24,150	-
4C	31,5	33,075	-
2S1	26,0	27,300	-
2S2	33,0	34,650	-
2S3	41,5	43,575	-
3S2	40,0	42,000	-
3S3	45,0	47,250	$c \leq 16m$
	48,5	50,925	$16,0m < c \leq 18,6m$
2C2	36,0	37,800	-
2C3	43,0	45,500	$c \leq 19,8m$ (com AET $c \leq 25m$)
3C2	43,0	45,150	-
3C3	45,0	47,250	$c \leq 17,5 m$
	50,0	52,500	$17,5m < c \leq 19,8m$ (c/ AET $c \leq 25m$)
2I3	45,0	47,250	$c \leq 16m$
	46,0	48,300	$16,0m < c \leq 18,6m$
3I3	45,0	47,250	$c \leq 16m$
	53,0	55,650	$16,0m < c \leq 18,6m$
3D4	45,0	47,250	$c \leq 17,5 m$
	57,0	59,850	$17,5m < c \leq 19,8m$ (c/ AET $c \leq 25m$)
3T6	74,0	77,700	$25,0m \leq c \leq 30,0m$
3M6	74,0	77,700	$25,0m \leq c \leq 30,0m$
3R6	74,0	77,700	$25,0m \leq c \leq 30,0m$

Fonte: Autora

Tabela 2.2 Limite de transporte de cargas por tipo de eixo

Tipo de Eixo		Limite Máximo (t)	Limite Máximo + tolerância 7,5% (t)
ESRS	Eixo simples de rodas simples	6	6,4500
ESRD	Eixo simples de rodas duplas	10	10,7500
ETD	Eixo tandem duplo	17	18,2750
ETT	Eixo tandem triplo	25,5	27,4125

Fonte: Autora

Para os caminhões 3S3, 3C3, 2I3, 3I3 e 3D4, existem dois limites de PBT, dependendo do comprimento total do veículo. Estes limites e os respectivos intervalos de comprimento de veículos estão descritos na Resolução 210/2006 do CONTRAN (2006). No caso dos veículos 2C3, 3C3 e 3D4 há a possibilidade do comprimento do veículo exceder o limite estipulado até o máximo de 25m, desde que haja uma Autorização Especial de Trânsito (AET), registrados até 30 dias após a publicação da Portaria.

A tolerância por eixo, antes estipulada em 5%, passou a 7,5%, por consenso entre o Ministério dos Transportes e os caminhoneiros em 1999, sem aplicação de multa. Albano (2004) comenta que comprovou-se a redução de 10 a 15% na vida prevista dos pavimentos devido a este acréscimo de tolerância, de acordo com as hipóteses de composição de frota e cálculos desenvolvidos no Laboratório de Sistemas de Transportes (LASTRAN) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

De acordo com Albano (2005), a pesagem através de balanças com veículos em movimento, cresceu durante os últimos anos como tentativa de aumentar o desempenho e precisão no controle de peso além de reduzir os custos. Estes equipamentos podem ser usados isoladamente ou em conjunto com um posto de pesagem estática onde pode funcionar como elemento classificador dos veículos com excesso, desviando-os para pesagem estática, se for o caso.

Para que haja o controle das cargas transportadas, são instaladas balanças nas rodovias, onde a passagem de veículos comerciais é obrigatória. Grande é a importância em se controlar e manter os carregamentos ao mínimo possível, pois os danos ao pavimento são proporcionais, e de ordem exponencial, às cargas que são aplicadas.

De acordo com Uhimeyer, Kapur e Strattonet (2006) a relação entre as cargas dos eixos e o dano ao pavimento não é linear e sim exponencial. Os autores dão um exemplo: um eixo simples com excesso de carga a 40.000 lbs (18.160 kg) causa 16 vezes mais dano que um eixo simples na carga legal de 20.000 lbs (9.080 kg). Esta proporção converge a hipótese da lei da 4ª potência.

2.2 PRESSÕES DE INFLAÇÃO E ÁREAS DE CONTATO

As pressões de inflação, áreas de contato e conseqüentemente os parâmetros provenientes deles são destaques nas avaliações do tráfego com enfoque aos projetos de pavimentação.

Albano (1998) apresentou a relação entre área de contato medida e área circular calculada, como na Tabela 2.3. Na maioria dos casos apresentados nota-se que a área circular (A_{circ}) calculada é menor do que a área de contato medida (A_c), o que leva a concluir que a pressão de inflação não é igual a pressão de contato entre pneu e pavimento.

Tabela 2.3 Áreas de contato entre pneu e pavimento.

Carga/ Eixo (kN)	Pressão de Inflação kPa (psi)	AC medida p/rodado duplo (cm ²)	Área Contato de um pneu A_c (cm ²)	Área Circular de um pneu – A_{circ} (calculada) (cm ²)
120	689 (100)	857,15	428,58	427,35
100	689 (100)	814,35	407,18	356,13
82	689 (100)	767,75	383,88	292,02
120	620 (90)	852,45	426,23	474,68
100	620 (90)	801,70	400,85	395,57
82	620 (90)	764,75	382,38	324,37
120	552 (80)	936,05	468,03	534,76
100	552 (80)	864,85	432,43	445,63
82	552 (80)	801,50	400,75	365,42

Fonte: Albano (1998)

A pesquisa de Albano (1998) apresenta informações a respeito das pressões de inflação de pneus que já eram escassas naquela época. Utilizando-se do simulador de tráfego, determinou a área de contato dos pneus do simulador com a superfície do pavimento. Desta forma, foi possível fazer as comparações entre a área circular calculada e a área de contato obtida. Os valores de pressões de contato calculados são apresentados em Albano (2000), conforme apresentado na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 Pressões de inflação e área de contato

Carga kN/eixo	Pressão de Inflação		Área de Contato cm ²	Pressão de Contato		
	kPa	psi		kgf/cm ²	psi	kPa
120	689	100	857,15	6,999	99,749	687,3
100	689	100	814,35	6,139	87,499	602,8
82	689	100	767,75	5,340	76,098	524,3
120	620,1	90	852,45	7,038	100,299	691,1
100	620,1	90	801,70	6,236	88,873	612,3
82	620,1	90	764,75	5,361	76,397	526,4
120	551,2	80	936,05	6,409	91,341	629,3
100	551,2	80	864,85	5,781	82,384	567,6
82	551,2	80	801,50	5,115	72,894	502,2

Fonte: Albano (2000)

O autor comenta no mesmo trabalho que quanto maior a carga por eixo e pressão de inflação, a forma da figura impressa aproxima-se de um retângulo com cantos arredondados. Por outro lado, quanto menor a carga e pressão, a forma configura-se como constituída por retângulo central, delineado por arcos de curvas nas extremidades, lembrando uma elipse. Constatou-se também que as larguras das marcas dos pneus mantiveram-se praticamente constantes, variando apenas o comprimento para cada nova composição dos níveis dos fatores.

Amlin (1996) mostra como Albano (2000) que as larguras se mantém praticamente constantes e os comprimentos das áreas carregadas aumentam a medida que a pressão de inflação dos pneus diminui (Figura 2.7).

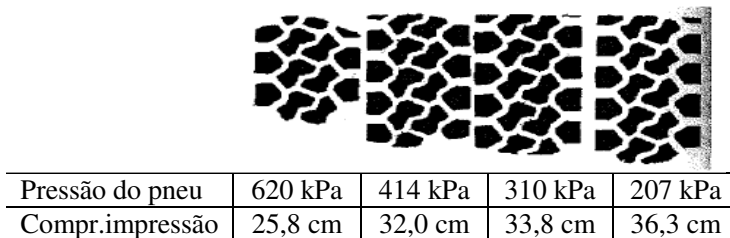


Figura 2.7 Variação de comprimentos das áreas carregadas com a pressão de inflação dos pneus

Fonte: Modificado de Amlin (1996)

STRATA (2007) apresenta impressões de contato pneu-pavimento para pressão de enchimento (80 a 85 psi) e reduzidos tempos de aplicação de carga (1s) com formato circular.

2.3 DISTRIBUIÇÃO DE VOLUMES DE TRÁFEGO NAS FAIXAS DE ROLAMENTO

O Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (2006) apresenta algumas aproximações utilizadas para os projetos de pavimentação, para o caso do projetista não ter valores mais precisos disponíveis. Estas porcentagens são de veículos comerciais para volumes bi-direcionais e estão apresentadas na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 Porcentagens de veículos comerciais na faixa mais carregada

Número de faixas de tráfego na rodovia	Percentual de veículos comerciais na faixa de projeto (mais carregada)
2 (pista simples)	50%
4 (pista dupla)	35 a 48%
6 ou mais (pista dupla)	25 a 48%

Fonte: DNIT (2006)

2.4 COMPORTAMENTO DOS PAVIMENTOS

As estruturas de pavimento são constituídas de materiais que possuem características particulares e que por este motivo podem oferecer respostas distintas quando submetidas a solicitações.

A análise de pavimentos fornece tensões, deformações e deflexões. Os pontos de inspeção para análises de pavimento são tipicamente, na profundidade relativa à face inferior de camadas de misturas asfálticas a quente, na profundidade média de bases e sub-bases não tratadas com aglomerantes e no topo do subleito.

À luz da teoria da elasticidade pode-se esperar que a resposta deste material às solicitações de tráfego seja linear, ou seja, de características isotrópicas. Considerando materiais elástico-não lineares, como são os casos das camadas granulares e solos, presume-se obter respostas destes materiais que variam em função do seu estado de tensões, a cada profundidade. Medina (1997) comenta que, nem sempre o comportamento do solo segue a elasticidade linear e, ao invés, a não

linearidade obriga a busca de relações empíricas entre o módulo resiliente e o estado de tensões.

Principalmente os materiais asfálticos possuem a característica de se comportarem de maneira diferenciada a medida que varia a temperatura e o tempo de aplicação de carga. São denominados materiais de comportamento termoviscoelásticos. Os parâmetros para análise com base nos procedimentos franceses, originários dos trabalhos de Huet e Sayeg, para as camadas asfálticas, de acordo com Barra (2009) são:

- E_{∞} módulo instantâneo do modelo de Huet, obtido quando $\omega\tau$ tende ao infinito, para as elevadas frequências e para as baixas temperaturas;
- τ é o tempo de relaxação dos amortecedores, que se assemelha ao tempo de retardo;
- h, k parâmetros dos elementos parabólicos do modelo. Os valores variam entre $0 < k < h < 1$;
- δ constante adimensional, função da natureza do ligante e da curva granulométrica;
- ω $2\pi f$, onde f = frequência de solitação

A determinação dos parâmetros descritos acima é essencialmente obtida na interpretação de dois gráficos que são o plano Cole-Cole e o espaço de Black. As Figuras 2.8 e 2.9 apresentam os gráficos mencionados, sempre apresentando em escala menor a visão geral do diagrama completo e em escala maior as extrapolações realizadas para as determinações dos módulos.

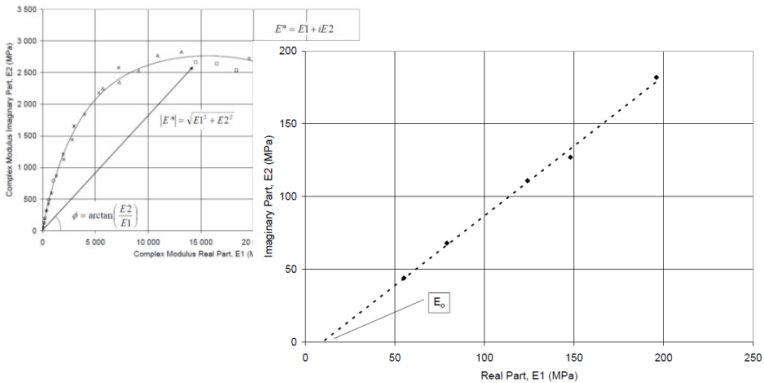


Figura 2.8 Representação do módulo complexo através do plano Cole-Cole
Fonte: Doucet e Auge (2010)

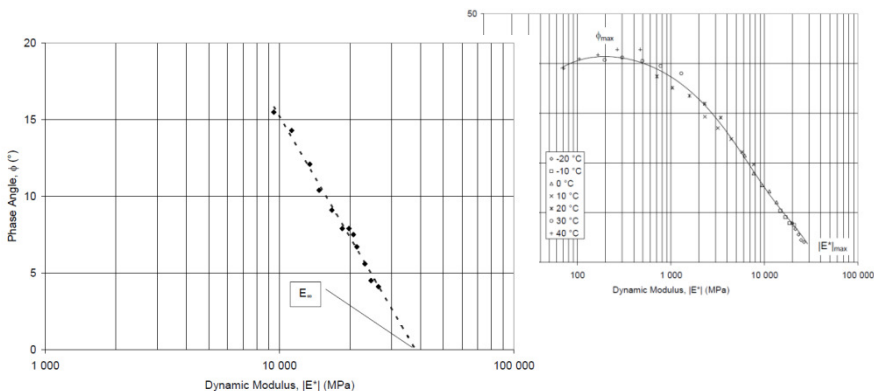


Figura 2.9 Diagrama de módulo complexo através do espaço de Black das misturas asfálticas

Fonte: Doucet e Auge (2010)

Estes parâmetros permitem que sejam estudados os comportamentos viscoelásticos dos revestimentos de acordo com critérios de Huet e Sayeg.

Segundo Terrel e Rimsritong (1974), é geralmente conhecido que a resposta do pavimento varia com a taxa e a duração (velocidade) da carga aplicada (tipo de caminhão). A causa desta variação é resultante da natureza viscoelástica dos materiais de pavimentação, particularmente subleito argiloso e concreto asfáltico.

Como descrita por Garg e Hayhoe (2001), longa duração de cargas a baixas velocidades aumentam a parcela de resposta viscosa e induzem a acréscimos significativos na deformação total na mistura asfáltica a medida que a velocidade diminui.

Além disso, Siddharthan, Yao e Sebaaly (1998), nas simulações com o programa 3D-Move, chegaram a reduções de deformações máximas específicas de tração de 452μ para 350μ (um decréscimo de 23%) quando a velocidade aumenta de 36 km/h para 108 km/h em pavimentos com revestimentos delgados. A redução desta mesma deformação para pavimentos com revestimentos espessos foi de, aproximadamente, 33%.

O MDot (2007) estipula a velocidade máxima de circulação para caminhões, semi-reboques ou reboques com peso bruto total, carregado ou não, acima de 10.000 lb (4.535,93 kg) para 35 mph (56,315 km/h) nos períodos de restrição sazonal de pesos, ou seja, no período de degelo.

Segundo Montalbán (1948), um comboio de caminhões apresenta a maior sobrecarga ao estacionar-se sobre a obra, já que neste caso só é preciso uma pequena separação ente eles, enquanto que ao circular, a separação entre os veículos é tanto maior quanto maior seja a sua velocidade. Desta forma há uma concentração maior de cargas a medida que a velocidade diminui.

Widmer (2002) apresenta um gráfico de curva de velocidades por rampas de aclave onde nota-se que os veículos desenvolveram velocidades entre 20 km/h e 40 km/h para rampas de 5%. Para rampas de 8% o valor médio de velocidade caiu para menos de 20 hm/h. Estes valores podem ser observados na Figura 2.10.

Considerando que as rodovias brasileiras possuem velocidade diretriz geralmente na faixa entre 80 km/h e 90 km/h, a velocidade mínima de circulação, de acordo com o artigo 62 do Código de Trânsito Brasileiro (CTB, 1997) seria a metade da velocidade máxima estabelecida, ou seja, entre 40 km/h e 45 km/h para as velocidades indicadas. Desta forma as velocidades identificadas para rampas de 5% ferem a lei mencionada para a velocidade máxima de 80 km/h como é na pista de subida da Serra das Araras na Rodovia Presidente Dutra.

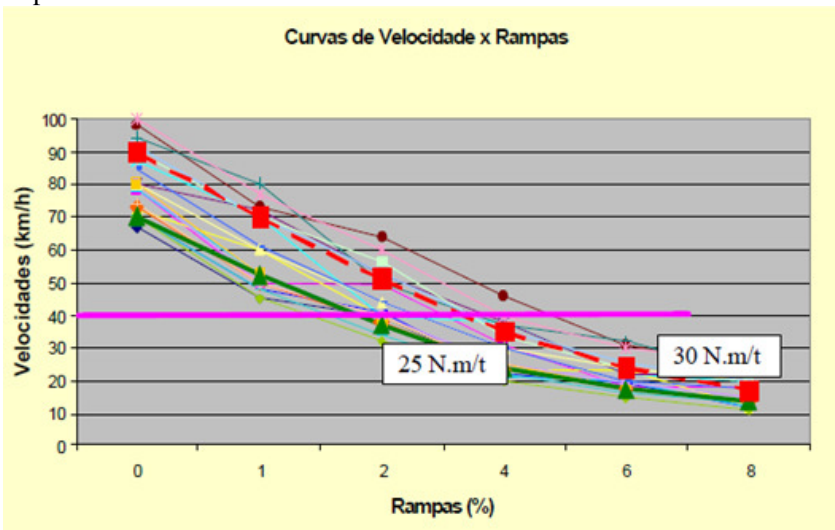


Figura 2.10 Análise de velocidades desenvolvidas em rampas

Fonte: Widmer (2002)

As linhas mais espessas, indicadas na figura em vermelho e verde, referem-se a velocidades para veículos com relação tração/peso

de 30N.m/t e 25 N.m/t respectivamente. Desta forma o autor sinaliza a necessidade de se ter relações de tração/peso maiores quanto maior e mais capacidade de carga o veículo tiver.

As velocidades podem ser relacionadas às condições climáticas, especificamente aos dados de pluviometria para a análise de velocidades desenvolvidas nestas condições. Conforme a classificação indicada no Portal São Francisco (2011), os valores podem ser divididos em três categorias. Abaixo de 2,5mm por hora foi considerada chuva ligeira (leve), entre 2,6mm e 7,6mm moderada (média) e acima de 7,6mm pesada (intensa).

2.5 PROGRAMAS DE ANÁLISE DE PAVIMENTOS

Diversos são os programas de análises de pavimentos disponíveis para as simulações de aplicações das cargas aos pavimentos. Programas com simulação de cargas com áreas de contatos diferentes das circulares são encontrados, embora em menor número, para que seja possível a simulação de cargas retangulares ou elípticas. Dentre os programas capazes destas simulações estão o SAP2000, ViscoRoute e o 3D-Move, sendo que os dois últimos são de uso específico para pavimentos.

A diferença entre eles é principalmente a utilização dos parâmetros de análise de camadas termoviscoelásticas, com considerações aos critérios franceses e americanos respectivamente.

A validação dos resultados que se obtém às análises realizadas pelo ViscoRoute é apresentada por Duhamel et al (2005) no confronto de resultados gerados nos processamentos e valores medidos em campo. A Figura 2.11 mostra deformações horizontais ϵ_{yy} na face inferior do revestimento asfáltico, medidas para temperaturas de 10°C, 12°C e 13°C e calculadas.

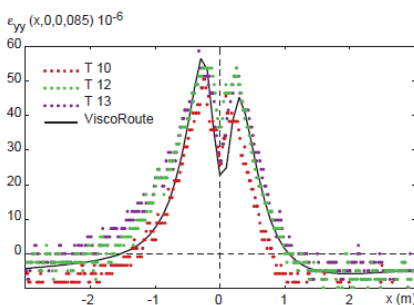


Figura 2.11 Valores de deformações horizontais medidos e calculados

Fonte: Duhamel et al (2005)

Bodin (2005) mostra uma figura que apresenta deformações na face inferior do revestimento, no sentido transversal ao movimento, com valores medidos e calculados no ViscoRoute para carregamento de um semi-eixo tandem duplo. Esta figura está reproduzida na Figura 2.12.

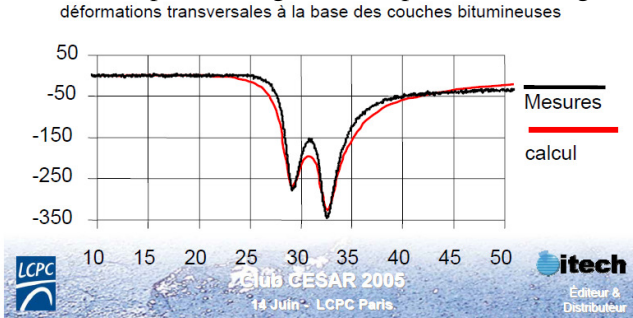


Figura 2.12 Deformações transversais na face inferior da camada asfáltica
Fonte: Bodin (2005)

Chabot, Tamagny e Poché (2006) mostra diferenças entre as respostas obtidas por análises elásticas e análises viscoelásticas ilustradas na Figura 2.13. As premissas consideradas para o material betuminoso foram de coeficiente de Poisson 0,30, módulo de Young $E_0 = 70$ MPa e $E_{\infty} = 29.914$ MPa para análise viscoelástica e módulo elástico de 14.992 MPa para análise elástica. As profundidades consideradas foram $z_1 = -0,0165$ m e $z_2 = -0,2444$ m.

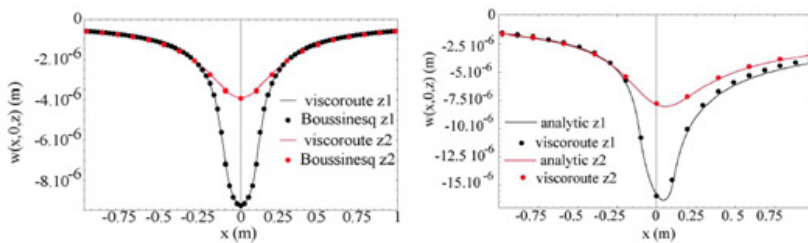


Figura 2.13 Estudo comparativo entre resultados de análises com camadas elásticas e viscoelásticas
Fonte: Chabot, Tamagny e Poché (2006)

A observação dos gráficos mostra a diferença de magnitude de resultados que ocorrem entre a análise elástica e a análise viscoelástica. Os valores máximos chegam quase ao dobro do valor quando se analisa

pela viscoelasticidade. Nota-se também que a simetria dados resultados encontrados no gráfico referente a análise elástica não ocorre no gráfico de análise viscoelástica, já que nesta última o pavimento tem resposta de recuperação influenciada pela característica viscoelástica do material.

Os dados de carregamentos são introduzidos considerando-se áreas não circulares. Na Figura 2.14 está apresentada a nomenclatura de configuração da carga para o programa.

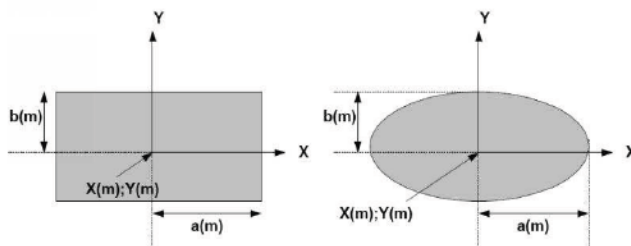


Figura 2.14 Dados de entrada de geometria de carga

Fonte: Chabot et al (2010)

Siddharthan, Yao e Seebaaly (1998) apresentaram em seu trabalho um gráfico mostrando os valores de deformação longitudinal na face inferior do revestimento espesso (25cm de CA) e delgado (15cm de CA) submetido ao carregamento de um ERSD (indicado como wide-base tires) com 45 kN de carga em cada roda e um ETD (indicado como dual tires) com 25 kN de carga por roda. Este gráfico está representado na Figura 2.15.

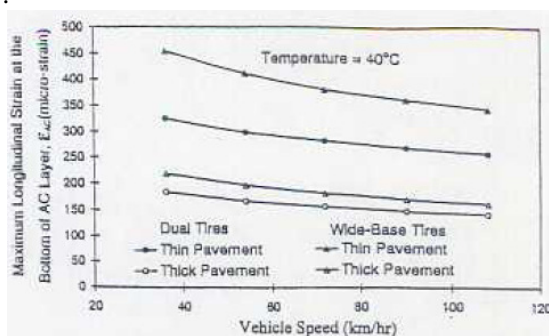


Figura 2.15 Deformações específicas máximas longitudinais na face inferior do revestimento

Fonte: Siddharthan, Yao e Seebaaly (1998)

Nota-se que as variações de deformações são mais expressivas quando as velocidades são baixas. A medida que as velocidades forem maiores, os resultados tendem a ser da mesma magnitude. Estes resultados foram obtidos por análises realizadas no programa 3D-Move.

2.6 TRATAMENTOS ESTATÍSTICOS

Os dados foram tratados estatisticamente visando a obtenção dos valores e gráficos que permitem as avaliações para se atingir os objetivos a que este trabalho se dispõe. Os procedimentos e considerações admitidos estão apresentados em diversas bibliografias das quais se destacam Barbeta (2005), Farias, Soares e Cesar (2003), Lapponi (2005), Mirshawka (1981) e Spiegel (1993). Foram utilizados procedimentos simples como cálculos de médias, desvio padrão, análise de amostras para elaboração de histogramas e modelagens de dados. Para este último foi necessária a utilização de um programa de análise estatística, que neste trabalho foi escolhido o Statgraphics Centurion XVI.

3 METODOLOGIA

Apresentam-se neste capítulo os procedimentos de obtenção dos dados da pesquisa. Para cada um dos dados coletados, há um procedimento específico de onde os dados são então introduzidos no sistema de controle da Concessionária. Visa-se basicamente compreender o processo de obtenção dos dados e também conhecimento geral dos programas utilizados para o tratamento dos dados obtidos. As atividades previstas para esta pesquisa são apresentadas na Figura 3.1.

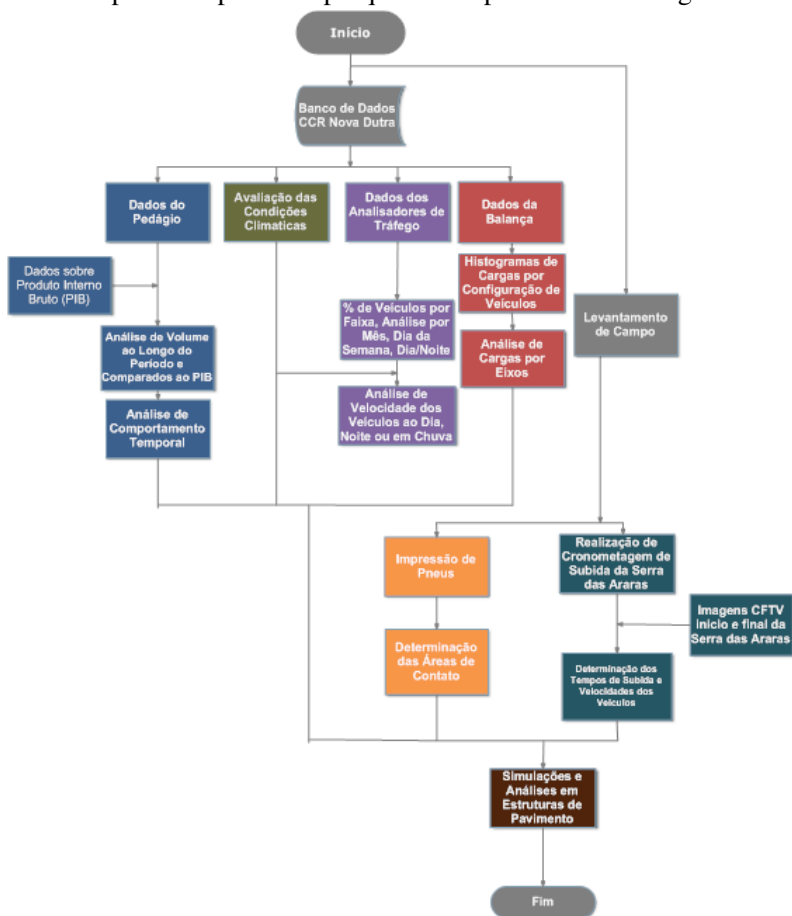


Figura 3.1 Fluxograma de atividades
Fonte: Autora

Cada etapa está indicada com uma cor diferente. Os tratamentos gerais dos dados estão com cores azul (Dados do Pedágio), marrom (Avaliação das Condições Climáticas); lilás (Dados dos Analisadores de Tráfego) e vinho (Dados da Balança). As atividades para levantamento de campo que estão indicadas em laranja (impressão dos pneus) e verde (cronometragens) e as simulações em marrom café.

3.1 INFORMAÇÕES GERAIS DA RODOVIA

A Rodovia Presidente Dutra, é um segmento da Rodovia Federal BR-116 e se situa entre as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro. Este simples fato já faz com que esta Rodovia tenha características especiais e relevância diferenciada entre as demais do país. De acordo com a concessionária são 872.706 viagens ao dia na rodovia, somando-se todos os segmentos considerados. As variações de fluxo ao longo da rodovia estão apresentadas na Figura 3.2.

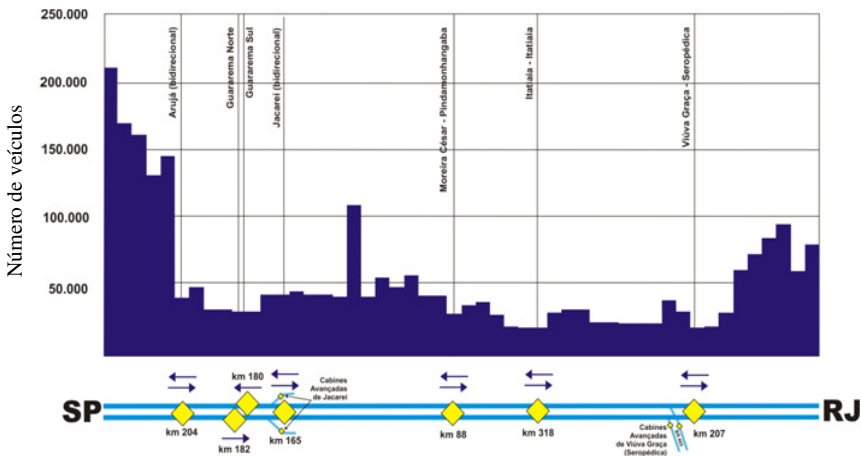


Figura 3.2 Número de viagens da Rodovia Presidente Dutra.

Fonte: CCR NovaDutra (2011a)

A Figura 3.3 apresenta a localização da Rodovia Presidente Dutra.

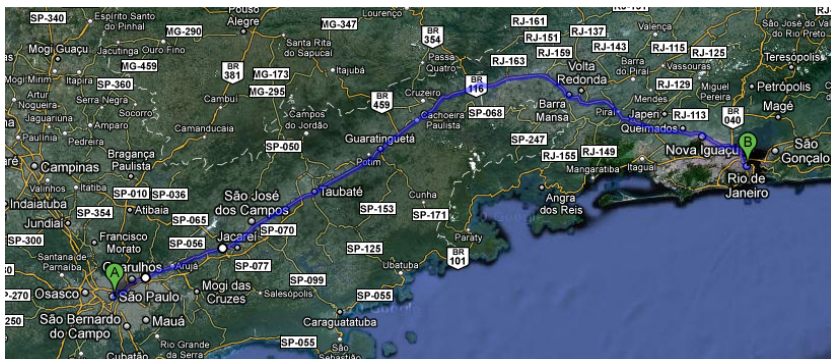


Figura 3.3 Mapa de localização da Rodovia Presidente Dutra.

Fonte: Google Maps (2011)

A Rodovia Presidente Dutra, antes chamada de Rodovia Rio – São Paulo (BR-02), foi inaugurada em 19 de janeiro de 1951, de acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2011) e a CCR NovaDutra (2011b). Ela ainda informa que a Via Dutra foi duplicada entre os anos de 1965 e 1967 e recebeu melhoramentos nas décadas seguintes. A Figura 3.4 apresenta uma fotografia na inauguração da Via Dutra.



Figura 3.4 Foto da inauguração da Via Dutra.

Fonte: CCR NovaDutra (2011b)

Esta Rodovia foi concessionada ao início de 1996 e, desde então, vem sendo administrada pela CCR NovaDutra. A concessão é para um período de 25 anos e, desta forma, mais da metade do período já se passou.

São 402 km de extensão sendo 230 km no Estado de São Paulo e 172 km no Estado do Rio de Janeiro. Totalmente duplicada, denomina-

se pista norte a pista São Paulo – Rio de Janeiro e pista sul a pista Rio de Janeiro – São Paulo.

Para a operação da rodovia, a configuração de serviços no período de coleta dos dados, constituía-se dos dispositivos indicados no Quadro 3.1.

Dispositivo	Descrição
Praças de cobrança de pedágio	Arujá (SP) – km 204 – PN Parateí (SP) – km 180 – PS Jacareí (SP) – km 165 – PN/PS Moreira Cesar (SP) – km 87 – PN/PS Itatiaia (RJ) – km 318 – PN/PS Viúva Graça (RJ) – km 207 – PN/PS
Postos de pesagens – balanças fixas	Guararema (SP) – km 179,4 PS Queluz (SP) – km 0,8 PN Resende (RJ) – km 301,4 PS Paracambi (RJ) – km 217,2 PS
Analisadores de tráfego (ATs)	35 pontos de contagens distribuídos ao longo do trecho, em faixas de pista expressa, marginais e acessos.
Estações meteorológicas	M12075S – km 207,5 PS M20270S – km 27 PS M32272 – km 227,2 entre pistas M42101N – km 210,1 PN
Postos de polícia rodoviária federal	8 postos no trecho paulista e 6 postos no trecho carioca
Câmeras de Circuito fechado de TV (CFTV)	27 câmeras ao longo da rodovia
Bases operacionais – SOS usuário	5 bases no trecho carioca e 6 bases no trecho paulista

Quadro 3.1 Dispositivos de controle na Rodovia Presidente Dutra

Fonte: CCR NovaDutra (2011b)

A velocidade máxima permitida varia ao longo do trecho. De maneira geral, a velocidade diretriz é de 110 km/h, havendo reduções para 100 km/h em trechos que atravessam perímetros urbanos, 80 km/h em trechos sinuosos e 40 km/h no segmento da Serra das Araras na pista norte, que é na posição do traçado antigo da via quando era em pista simples, hoje utilizada como pista de descida. A Figura 3.5 apresenta uma seção típica da pista expressa da rodovia.

3,0m	3,6m	3,6m	variável	3,6m	3,6m	3,0m
Acostamento	Faixa 2 Norte	Faixa 1 Norte	Canteiro Central	Faixa 1 Sul	Faixa 2 Sul	Acostamento

Figura 3.5 Seção-tipo da Rodovia Presidente Dutra - Vias Expressas

Fonte: Autora

Apresentam-se cada uma das fontes de dados utilizadas nesta pesquisa.

3.2 ANALISADORES DE TRÁFEGO

Os analisadores de tráfego (ATs) são dispositivos de captação de passagem de massas metálicas sobre o sistema implantado nas faixas de rolamento. Os ATs instalados na rodovia foram fornecidos pela empresa TESC – Sistemas de Controle Ltda.

Ao todo são trinta e cinco posições de laços distribuídos ao longo do trecho.

Os ATs implantados não possuem câmeras de captação de imagens, como é apresentado na Figura 3.6. São laços que trabalham com campos magnéticos gerados por cabos instalados nas faixas de rolamento, que captam a passagem de massas metálicas.



Figura 3.6 Analisadores de tráfego (ATs) para cada faixa – km 170+400

Fonte: Autora

O sistema é formado por dois conjuntos de laços magnéticos que formam solenóides. O campo magnético gerado possui frequência conhecida. Quando o veículo passa pelos laços, a carcaça metálica

provoca modificação no campo magnético. O sistema capta os instantes em que há a variação magnética e calcula o comprimento do veículo e sua velocidade de passagem. Cada um dos dois laços faz medidas distintas e o sistema utiliza-se dos dois resultados para verificação de valores. Este sistema não detecta a presença de motocicletas porque sua massa total não é suficiente para provocar a alteração de campo magnético necessária à contagem.

A Figura 3.7 apresenta em croqui esquemático de funcionamento dos laços.

A Contagem e a Classificação com dois laços detetores:

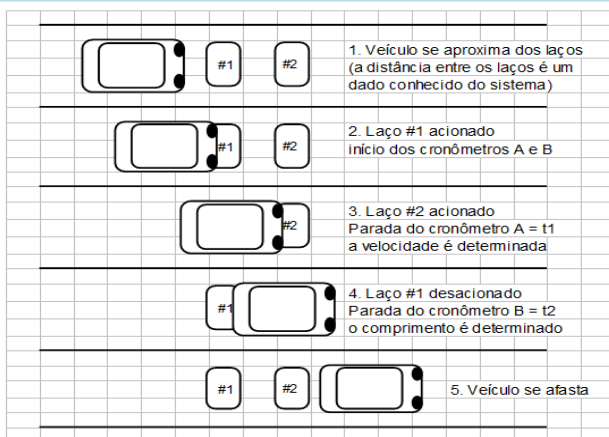


Figura 3.7 Croquis esquemáticos de funcionamento de ATs

Fonte: TESC (2007)

Os resultados são apresentados no formato indicado nos Quadros 3.2 e 3.3 para contagens por comprimento e por velocidade, respectivamente.

At	Data	Hora	< 5	5 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 25	> 25	Intervalos
A11496N1	01/01/2009	00:00	0	0	0	0	0	0	10
A11496N1	01/01/2009	01:00	0	0	0	0	0	0	10
A11496N1	01/01/2009	02:00	0	0	0	0	0	0	10
A11496N1	01/01/2009	03:00	0	0	0	0	0	0	10
A11496N1	01/01/2009	04:00	0	0	0	0	0	0	10
A11496N1	01/01/2009	05:00	0	0	0	0	0	0	10
A11496N1	01/01/2009	06:00	0	0	0	0	0	0	10

Quadro 3.2 Modelo de resultado de contagens por comprimento

Fonte: CCR NovaDutra (2010)

As colunas indicadas na primeira linha referem-se às faixas de comprimentos de veículos que formam os grupos de contagens. Desta forma, são computadas as quantidades de veículos com comprimentos menores que 5m, onde são considerados todos os veículos de passeio e faixas de 5m a 10m, 10m a 15m, 15m a 20m, 20m a 25m e veículos com comprimentos maiores que 25m. Embora a faixa entre 5m e 10m possa conter veículos leves grandes como alguns SUVs (*Sport Utilities Vehicles* ou, veículos utilitários) ou automóveis com reboques, por observação, nota-se que a grande maioria é formada por caminhões pequenos com ESRS traseiros.

At	Data	Hora	< 40	40 a 60	60 a 80	80 a 100	100 a 120	> 120	Intervalos
A11496N1	01/01/2009	00:00	0	0	0	0	0	0	10
A11496N1	01/01/2009	01:00	0	0	0	0	0	0	10
A11496N1	01/01/2009	02:00	0	0	0	0	0	0	10
A11496N1	01/01/2009	03:00	0	0	0	0	0	0	10
A11496N1	01/01/2009	04:00	0	0	0	0	0	0	10
A11496N1	01/01/2009	05:00	0	0	0	0	0	0	10
A11496N1	01/01/2009	06:00	0	0	0	0	0	0	10

Quadro 3.3 Modelo de resultado de contagens por velocidades

Fonte: CCR NovaDutra (2010)

As faixas de velocidades indicadas no Quadro 3.3 mostram velocidades menores que 40km/h, 40km/h a 60km/h, 60km/h a 80km/h, 80km/h a 100km/h, 100km/h a 120km/h e velocidades superiores a 120km/h.

Estas faixas de comprimento e de velocidades, para a classificação e avaliação horária do comportamento da frota, foram escolhidas pela CCR NovaDutra por ocasião da implantação do sistema.

As contagens efetuadas nos laços são totalizadas a cada 6 minutos. Desta forma, não havendo anomalias no sistema de contagem e armazenamento dos dados, são totalizados 10 intervalos a cada hora de contagem. Horários em que foram realizadas menos de 10 totalizações horárias representam pontos em que a contagem horária está incompleta. Nos horários em que o número de totalizações de intervalos são diferentes entre o relatório de comprimentos e velocidades, indicam inconsistência de valores, já que as fontes dos dados são as mesmas.

Algumas ocorrências de falta de dados foram observadas ocasionalmente em alguns relatórios. A interrupção da alimentação de informações pode ocorrer por diversos motivos. Os mais comuns são problemas no computador onde os dados são armazenados e enviados ao sistema da concessionária; ruptura de laço ou cabos de transmissão de dados; entrada de água no indutor e movimentações no pavimento. Os analisadores de tráfego (ATs) instalados ao longo da Via Dutra

monitoram os volumes de veículos que trafegam na rodovia, classificando-os por faixas de comprimento e velocidade desenvolvida para cada faixa de rolamento das pistas.

Dos 35 ATs instalados, foram selecionados 25 que fornecem os dados para as pistas expressas. A localização destes analisadores está indicada na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 Localização dos ATs

Analisador de tráfego	Localização (km)	Analisador de tráfego	Localização (km)
AT1227.7	227,7 (SP)	AT3310.9	310,9 (RJ)
AT1217.8	217,8 (SP)	AT3285.7	285,7 (RJ)
AT1200.2	200,2 (SP)	AT3265.7	265,7 (RJ)
AT1186.8	186,8 (SP)	AT3258.2	258,2 (RJ)
AT1180.3	180,3 (SP)	AT3228.4	228,4 (RJ)
AT1173.9	173,9 (SP)	AT4219.3	219,3 (RJ)
AT1170.4	170,4 (SP)	AT4209.1	209,1 (RJ)
AT1168.4	168,4 (SP)	AT4208.5	208,5 (RJ)
AT1149.6	149,6 (SP)	AT4180.7	180,7 (RJ)
AT1137.5	137,5 (SP)	AT4174.5	174,5 (RJ)
AT2118.5	118,5 (SP)	AT4166.2	166,2 (RJ)
AT2014.5	14,5 (SP)	AT4166.0	166,0 (RJ)
		AT4166.3	166,3 (RJ)

Fonte: Autora

Os códigos dos ATs são compostos por números, sendo o primeiro referente a um número de lote da rodovia onde o número 1 representa o primeiro segmento da Dutra na região de São Paulo e o número 4 representa o último segmento na região da baixada fluminense. Os demais números referem-se ao quilômetro de localização. Todos os croquis dos laços utilizados estão apresentados no Apêndice A1.

Com os dados brutos obtidos das contagens nos laços foi criado um grande banco de dados com quase 1.400.000 registros. Estes dados são resultado de um extenso trabalho de triagem de informações, onde foram eliminados todos os dados em que não haviam as totalizações completas de 10 conjuntos por hora, tanto individualmente quanto na análise conjunta entre dados de volume por comprimentos e dados agrupados por faixas de velocidade. Foram eliminadas também as contagens que se apresentavam inconsistentes, com volumes totais

superiores a 3.600 veículos por hora em cada faixa. Os dados remanescentes foram então tratados de maneira a permitir que se conhecesse o comportamento da frota no que se refere a sua distribuição de veículos comerciais nas faixas de rolamento.

3.3 PRAÇAS DE PEDÁGIO

Ao longo da rodovia, e em algumas saídas, estão instaladas as praças de pedágio. No ano de 2009, quando foram coletadas as informações para a realização desta pesquisa, as praças em operação são as indicadas no Quadro 3.1 e apresentadas na Figura 3.8.

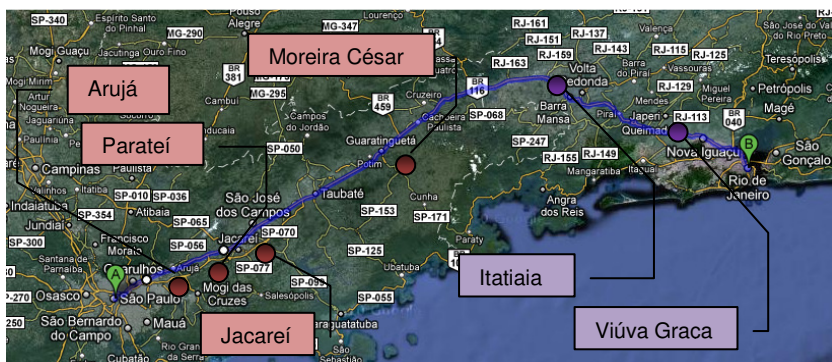


Figura 3.8 Praças de pedágio da Rodovia Presidente Dutra.

Fonte: GoogleMaps (2011)

Todas as praças indicadas operam na pista expressa da rodovia. Nas praças de Jacareí e Viúva Graça existem cobranças em acessos próximos a praça principal.

Existem dois tipos de cobranças nestas praças de pedágio. As cabines de cobrança manual e as passagens automatizadas, chamadas de *Automatic Vehicle Identification* (AVI). A diferença entre elas está no fato de que nas cabines AVI, o usuário passa a velocidade reduzida de no máximo de 40 km/h e o sistema fotografa e identifica o veículo para a cobrança. Nas cabines manuais o usuário para o veículo para fazer o pagamento. Ainda assim, a detecção dos veículos é feita pelo mesmo sistema que consiste em sensores instalados na placa de pavimento de concreto na posição imediatamente após a passagem pelas cabines de cobrança. Estes sensores são capazes de identificar o número de eixos de cada veículo que passou pela cabine, por meio do dispositivo apresentado na Figura 3.9. Nas cabines de cobrança manual, o tipo de

veículo classificado por número de eixos é uma informação adicionada pelo arrecadador e confirmada pelo sistema. Nas cabines do tipo AVI, as contagens são feitas exclusivamente pelo sistema.

Os laços não são capazes de classificar os veículos da maneira como é realizada nas balanças, onde a classificação é feita pelos tipos de veículos e configurações de eixos. Desta forma, os veículos são classificados em automóveis, motocicletas e veículos comerciais com 2 a 9 eixos e veículos com 10 ou mais eixos. Os sistemas implantados são da empresa GEA – *Grenobloise d'Eletronique et d'Automatismes*.

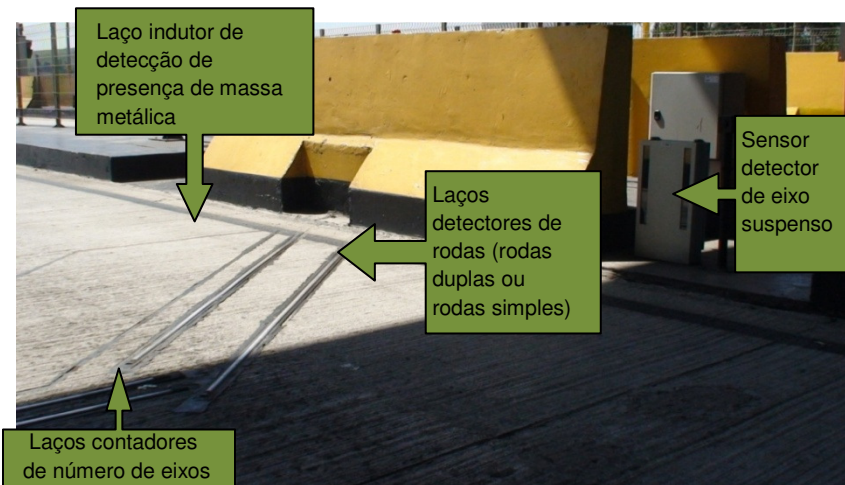


Figura 3.9 Detalhe dos dispositivos de detecção e contagem de eixos

Fonte: Autora

Os volumes de tráfego foram obtidos na forma de totalizações diárias, separadas em veículos leves, motos e veículos comerciais classificados por número de eixos. Foram obtidas contagens desde o início de operação das praças sob concessão, em agosto de 1996 para todas as praças, exceto as praças de Jacareí que passaram a operar a partir de agosto de 2001.

As ocorrências que podem afetar as contagens efetuadas nas praças de pedágio se relacionam a falhas de envio de informações entre os sistemas em operação em cada cabine e a alimentação do servidor da concessionária. O processo é bastante sofisticado e as falhas de comunicação podem ser rastreadas e editadas manualmente. As praças de pedágio são grandes fontes de dados do volume de veículos em rodovias concessionadas. A sua forma de computação de valores é

peculiar, uma vez que os volumes são classificados pelo número de eixos que cada veículo tem, independentemente da configuração que ele tenha.

É preciso esclarecer que número de eixos nas contagens de praças de pedágio representa número de conjuntos emparelhados de rodas que o veículo possua. Desta forma, um caminhão do tipo 3C, por exemplo, nas contagens efetuadas para o pedágio possui 3 eixos, pois o ETD conta com dois conjuntos de rodas que se somam ao eixo dianteiro.

As praças de pedágio consideradas neste estudo estão localizadas nos quilômetros apresentados na Tabela 3.2. A maioria delas iniciou atividades ao final de 1996. Apenas as de Jacareí começaram a operar ao final de 2001. Duas novas praças foram implantadas em 2010 e não fazem parte deste trabalho, porque os dados considerados são até 2009.

Tabela 3.2 Localização de praças de pedágio da Rodovia Presidente Dutra

Praça de Pedágio	Localização	Ano de início de operação
Parateí Norte	km 204 (SP)	1996
Parateí Sul	km 180 (SP)	1996
Jacareí Norte	km 165 (SP)	2001
Jacareí Sul	km 165 (SP)	2001
Moreira César Norte	km 80 (SP)	1996
Moreira César Sul	km 80 (SP)	1996
Itatiaia Norte	km 318 (RJ)	1996
Itatiaia Sul	km 318 (RJ)	1996
Viúva Graça Norte	km 207 (RJ)	1996
Viúva Graça Sul	km 207 (RJ)	1996

Fonte: Autora

3.4 POSTOS DE PESAGEM

Dos quatro postos fixos de pesagens da Rodovia Presidente Dutra, Queluz é o único posto que pesa veículos na pista norte. Todos os demais fazem controle de cargas na pista sul. Todas as balanças são dinâmicas, ou seja, com pesagens em movimento. Balanças dinâmicas, propriamente ditas, formam um conjunto de acessos que canalizam o fluxo de veículos e constituídas de duas balanças, chamadas seletiva e lenta. Os postos de pesagens da rodovia estão esquematicamente indicados na Figura 3.10.

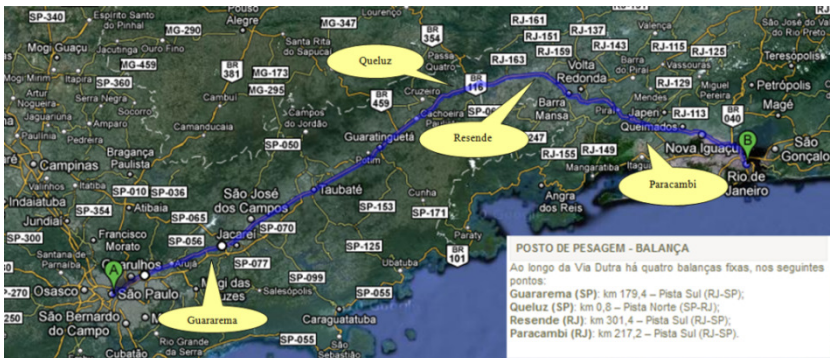


Figura 3.10 Mapa de localização das balanças da Rodovia Presidente Dutra.

Fonte: GoogleMaps (2011)

Os dados de pesagem para esta pesquisa foram obtidos nas balanças dinâmicas, no período entre outubro e dezembro de 2009. São pesagens realizadas na balança seletiva, por onde todos os veículos comerciais de cargas devem passar.

No caso das balanças cujos dados são utilizados nesta pesquisa, a primeira pesagem é feita com limite máximo de velocidade de 50 km/h na balança seletiva. O limite de velocidade é imposto para que não ocorram problemas significativos de precisão nos valores de pesagens obtidos nesta balança.

São verificados os valores de pesagens tanto por eixo quanto pelo peso bruto total de cada veículo. Caso ocorra a passagem de um veículo que esteja trafegando com cargas acima da carga máxima legal – CML ou que tenha passado com velocidade acima de 50 km/h, o veículo é conduzido para a balança lenta, onde uma nova pesagem é feita com velocidade não superior a 10 km/h. Caso nesta última pesagem seja confirmado o excesso de carga, o veículo é conduzido ao estacionamento e receberá a autuação. A Figura 3.11 apresenta uma imagem com as posições dos eventos no processo de pesagem.

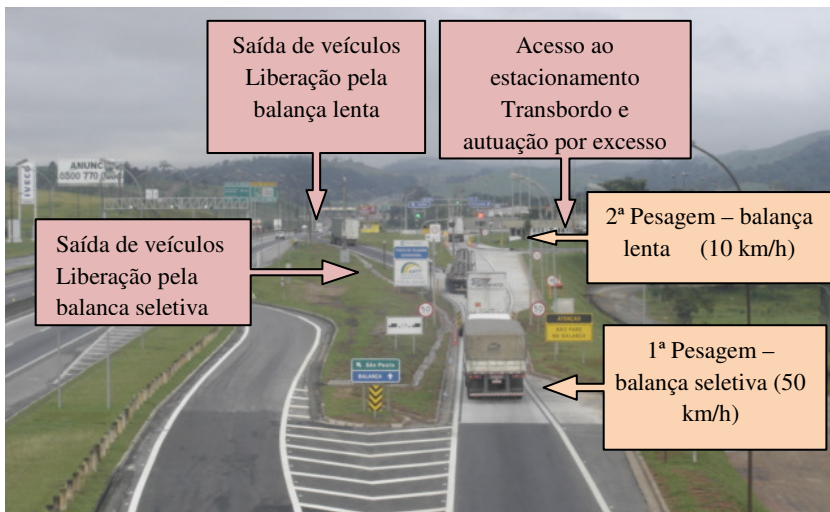


Figura 3.11 Esquema geral de funcionamento da balança dinâmica

Fonte: Autora

A balança seletiva, que trabalha com velocidades até 50 km/h, está localizada no início do sistema viário de pesagem da balança dinâmica. A Figura 3.12 mostra a imagem desta balança.



Figura 3.12 Detalhe da balança seletiva

Fonte: Autora

A Figura 3.13 mostra um detalhe da balança de pesagem lenta.

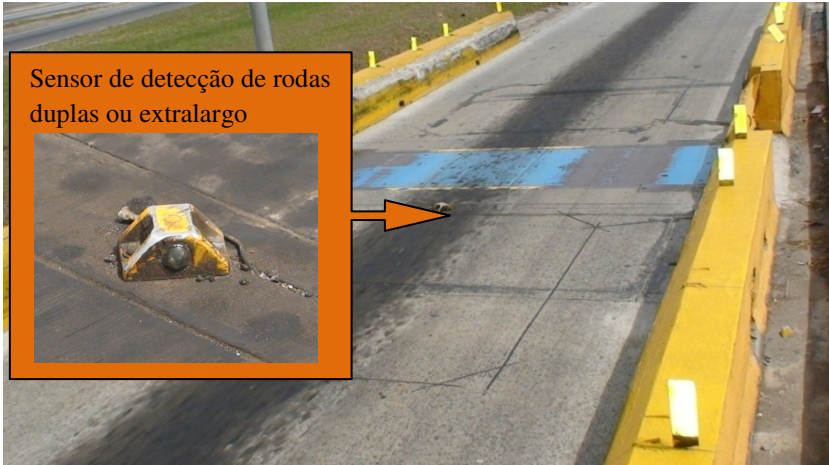


Figura 3.13 Detalhes da balança lenta

Fonte: Autora

O laço a montante orienta o sistema com informações sobre o início de um eixo passante e o laço a jusante indica o final da passagem do eixo. A chapa metálica azulada é a placa de pesagem e o dispositivo extrudado ao centro da faixa é um sensor que indica o tipo de pneu do veículo. Com ele é possível saber se o pneu é do tipo extralargo ou se são rodas duplas. Esta informação é importante para que seja conhecida a área carregada que se difere com aplicação de tipos diferentes de pneus.

As balanças são sistematicamente paralisadas em suas atividades algumas vezes por ano para que seja feita a manutenção e verificação de todo o sistema. Ainda assim, podem ocorrer situações em que os valores obtidos sejam invalidados. A presença de muita água na pista ou a infiltração dela no sistema pode criar inconsistências nas medidas.

Foram obtidas pesagens dos veículos comerciais que trafegaram pela Rodovia, nas balanças de pesagem dinâmica situadas em Guararema (km 179+400 – Pista Sul) e em Queluz (km 0+800 – Pista Norte), nos meses de outubro, novembro e dezembro de 2009. As pesagens foram efetuadas pela balança seletiva por onde todos os veículos comerciais obrigatoriamente devem passar.

Os registros contem informações quanto à classificação do veículo de acordo com o DNIT (2009). São apresentadas as datas em que o veículo passou pela balança seletiva, o peso bruto total e carga por eixo.

Foram expurgados valores inconsistentes onde faltavam pesagens de eixos ou que os valores fossem incoerentes, como cargas muito elevadas no eixo dianteiro com cargas desprezíveis no eixo traseiro.

Vale salientar que os caminhões com classificação 2CC (com ESRS dianteiro e traseiro) não são obrigados a pesar. Os equipamentos e sensores das balanças seletivas não estão preparados para detectar este tipo de eixo e fazer as verificações de limites do eixo traseiro adequadamente.

3.5 DADOS PARA CARACTERIZAÇÃO DE ÁREAS DE CONTATO PNEU-PAVIMENTO

Para a obtenção dos dados relativos às áreas de contato entre pneu e pavimento foi necessário proceder-se uma atividade prática. Esta atividade foi realizada no dia 8 de junho de 2010, um guincho pesado (Figura 3.14) da Concessionária NovaDutra foi deslocado para as atividades durante todo o período da manhã. Foram também disponibilizadas imagens do circuito fechado de TV (CFTV) da concessionária de maneira que possibilitasse a identificação de veículos comerciais circulantes na região da Serra das Araras.



Figura 3.14 Guincho pesado utilizado

Fonte: Autora

Para que fosse possível obterem-se essas impressões foram utilizadas folhas de Etil vinil acetato (EVA) e na superfície dos pneus passou-se, com o auxílio de um rolo de pintura, óleo queimado. A impressão foi obtida de cada um dos pneus para posterior tratamento das figuras e obtenção das áreas reais de contato.

Antes da obtenção das impressões das áreas de contato, foram verificadas as pressões de inflação dos pneus. Todos os pneus do guincho foram calibrados com pressão de 110psi (equivalente a 758,42 kPa).

Os pneus que estavam colocados no guincho eram da marca Michellin. Os dianteiros são XZU2 (4 bandas) e os traseiros são XZE2 (5 bandas). As especificações destes pneus indicam pressões de operação entre 520kPa e 830kPa (75psi a 120psi) para os XZU2 e entre 480kPa e 830kPa (70psi a 120psi) para os XZE2.

De acordo com Albano e Lindau (1998) as variações de pressões de inflação observadas estão indicadas na Figura 3.15, para pneus dianteiros e não dianteiros.

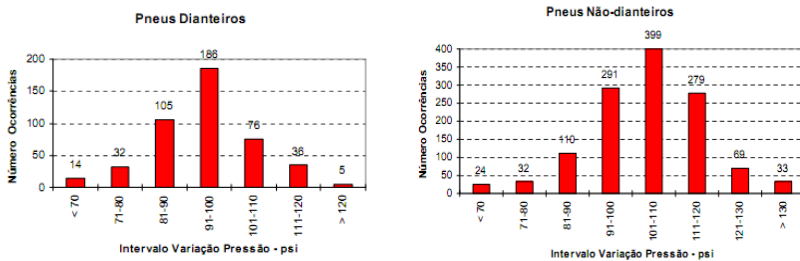


Figura 3.15 Pressões de inflação de pneus.

Fonte: Albano e Lindau (1998)

A carga pesada em cada eixo está apresentada na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 Carregamentos medidos nos eixos do guincho

Eixo	Carga (kN)
Dianteiro (eixo simples de rodas simples)	64,0
Traseiro (eixo tandem duplo)	161,1
Peso Bruto Total	225,1

Fonte: Autora

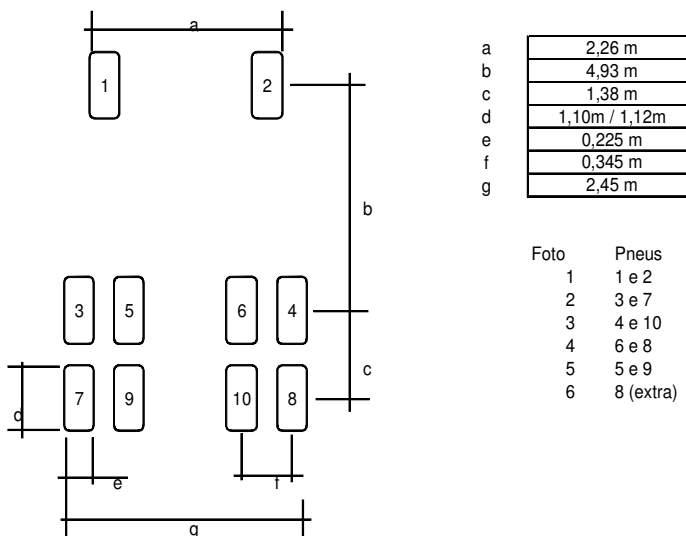
Também foram feitas medidas no guincho conforme apresentadas na Figura 3.16.

Caracterização de equipamento
Guincho pesado

Dimensões

Comprimento total	9,138 m
Largura total	2,450 m

Distancia entre eixos



Pressão de inflação de pneus

110 psi

Carga nos eixos:

Eixo dianteiro	6400 kg
----------------	---------

Eixo traseiro	8090 kg
	8020 kg

PBT	22510 kg
-----	----------

Figura 3.16 Dimensões do guincho pesado

Fonte: Autora

O veículo, calibrado nas condições normais de operação e com sua carga característica foi elevado em cada um de seus semi-eixos para que fosse possível obter-se a impressão dos pneus. Este procedimento foi realizado na Base Operacional da Concessionária CCR NovaDutra em Japeri-RJ.

A princípio, tentou-se obter as impressões com tinta acrílica preta sobre placas de *Etil Vinil Acetato* (EVA). Os resultados não foram

satisfatórios, pois a tinta era expulsa da placa, não resultando em impressão. As impressões foram obtidas pela aplicação de óleo queimado a superfície do pneu elevado por uso de um macaco e cuidadosamente abaixado sobre a placa de EVA, conforme mostrado na Figura 3.17. No total foram 10 impressões, já que o guincho tem eixos tandem duplos traseiros. Na Figura 3.18 estão apresentadas duas das impressões obtidas.



Figura 3.17 Impressões em EVA para pressão de inflação de 758,42 kPa (110 psi)

Fonte: Autora



Figura 3.18 Impressão de pneus do guincho pesado

Fonte: Autora

3.6 DADOS PARA DETERMINAÇÃO DAS VELOCIDADES DESENVOLVIDAS EM RAMPAS

Para esta etapa de atividade, inicialmente foi feito o trajeto da Serra das Araras no Rio de Janeiro a bordo do guincho pesado, cronometrado o seu tempo de percurso. Para que fosse possível a realização desta tarefa, um veículo de apoio da própria Concessionária

fez o trajeto na frente do guincho para que, no caso de haver alguma ocorrência no caminho, o veículo de apoio pararia para prestar o socorro inicial, dando tempo para que o guincho pudesse concluir a passagem do segmento sem parar. Este cuidado foi tomado para que não ferisse a norma da empresa em prestação de socorro imediato pelas suas viaturas. Com esta cronometragem foi realizada definindo-se locais específicos de início e final de segmento conforme indicado na Figura 3.19.

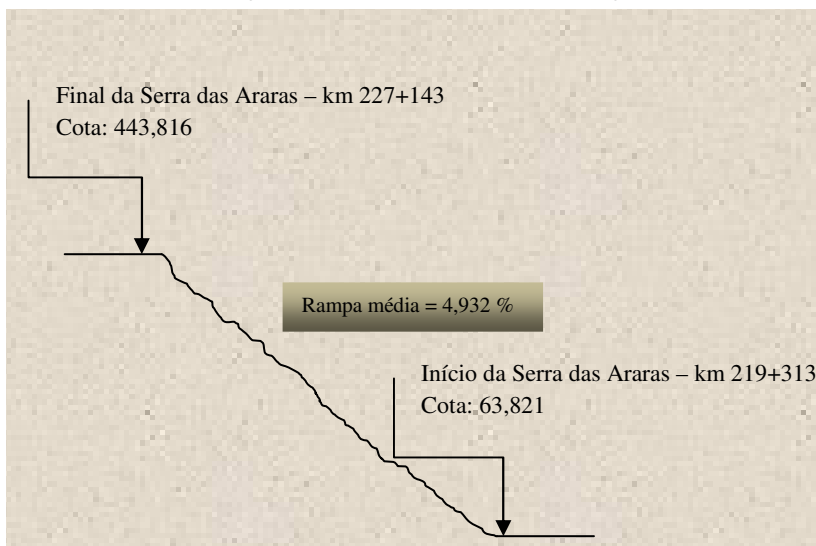


Figura 3.19 Croquis de localização da Serra das Araras – Pista Sul
Fonte: Autora

As posições definidas para início e final do segmento de interesse foram escolhidas a partir de observação da área de alcance das câmeras CFTV.

As velocidades de passagem de veículos comerciais em rampas foram obtidas com o objetivo de conhecer o tempo de aplicação de cargas em situações críticas de circulação. Para isso, escolheu-se o trecho de subida da Serra das Araras onde há vários segmentos com rampas íngremes na ordem de 7% e 8%. O trecho possui 7,83 quilômetros de percurso em região montanhosa. O projeto geométrico do trecho foi fornecido, de onde foi possível extrair cotas e detalhes do trecho em questão.

Este segmento de serra possui vários subtrechos com rampas variadas. Dentro de seus 7.830m com rampa média ponderada de

4,932%, existem subtrechos com rampas mais elevadas e desenvolvimentos significativos como mostra a Tabela 3.4.

Tabela 3.4 Características geométricas das rampas na Serra das Araras – Pista Sul

i%	Desenv(m)	i%	Desenv(m)	i%	Desenv(m)
4,293	110,000	3,072	90,000	5,809	230,000
4,334	14,000	5,019	120,000	5,150	80,000
-3,574	4,000	6,024	590,000	6,150	170,000
-2,053	65,000	6,343	140,000	5,961	120,000
0,485	70,000	5,330	10,000	6,519	35,000
0,839	55,000	6,210	10,000	5,732	130,000
0,541	280,000	5,976	218,543	6,158	165,000
0,300	365,000	5,850	355,000	5,863	25,000
5,012	79,518	7,000	310,000	5,248	35,000
4,192	85,000	1,750	30,000	6,561	5,000
5,495	195,000	1,100	45,000	5,287	55,000
6,537	190,000	2,230	30,000	4,939	190,000
8,000	90,000	5,509	80,000	2,193	10,000
5,827	140,000	5,035	25,000	0,522	130,000
7,000	235,000	6,226	110,000	0,732	20,000
8,000	183,647	7,000	90,000		

Fonte: Autora

Através da observação dos veículos em posição no pé da serra com a posição cronometrada e a passagem do mesmo veículo na posição final na crista da serra, foi possível obter-se as primeiras informações a respeito do tempo de percurso destes veículos. Para esta avaliação foi feita a cronometragem de 113 veículos.

Para que fosse garantido o sincronismo dos tempos indicados nas duas câmeras, foi realizada a subida na Serra das Araras com o guincho pesado cedido pela concessionária e cronometrada a sua passagem. Com os tempos registrados nas câmeras por ocasião da passagem do guincho nas posições de início e final do segmento, foi possível fazer os ajustes de tempos para todos os demais veículos. Esta etapa da pesquisa subsidia avaliações relativas a análises de termoviscoelasticidade de revestimentos asfálticos.

4 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados das análises efetuadas com base nos dados obtidos, tanto os que foram provenientes do banco de dados, como os dados obtidos por consultas e atividades de campo.

4.1 DADOS PROVENIENTES DOS ANALISADORES DE TRÁFEGO (ATS)

4.1.1 Dados de Contagens de Veículos

Para que fosse possível fazer as avaliações do fluxo de veículos que passaram pelos ATs, os dados foram organizados de forma que os volumes fossem visualizados em período noturno e diurno, com totalizações horárias médias por dia de semana e por mês. A Tabela 4.1 apresenta os valores gerais das análises efetuadas.

Considerando-se os dados globais, como é mostrado na Figura 4.1, nota-se que para a Via Dutra, 67,9% dos veículos são leves e 32,1% são veículos comerciais.

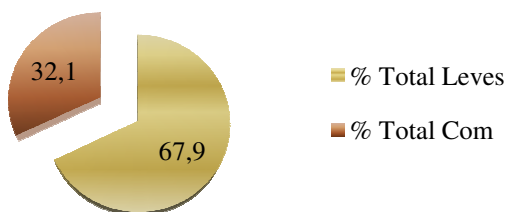


Figura 4.1 Porcentagens gerais de veículos

Fonte: Autora

Tabela 4.1 Resumo de dados gerais dos ATs – Volumes horários médios de veículos por faixa

		Período Diurno - 7h - 19h			Período Noturno - 19h - 7h			Dia completo - 24h			Leves		Comerciais		Totais	
		vol total	leves	com	vol total	leves	com	vol total	leves	com	%dia	%noite	%dia	%noite	Auto	Com
Valores por mês	Jan	509,03	372,45	136,58	248,75	149,31	99,44	378,86	260,86	118,01	49,15	19,70	18,02	13,12	68,85	31,15
	Fev	516,31	374,25	142,06	267,47	162,02	105,45	392,92	269,01	123,91	47,75	20,67	18,12	13,45	68,42	31,58
	Mar	507,61	356,53	151,08	271,12	159,35	111,77	389,12	257,74	131,38	45,78	20,46	19,40	14,35	66,25	33,75
	Abr	539,28	399,40	139,88	272,92	171,04	101,89	410,34	288,85	121,49	49,17	21,06	17,22	12,54	70,23	29,77
	Jul	602,35	440,82	161,54	309,02	188,76	120,27	455,86	314,94	140,93	48,37	20,71	17,72	13,20	69,08	30,92
	Ago	625,00	456,51	168,50	305,50	190,90	114,60	465,14	323,61	141,53	49,06	20,52	18,11	12,32	69,58	30,42
	Set	562,43	401,09	161,35	293,76	172,45	121,31	429,09	287,61	141,47	46,85	20,14	18,84	14,17	66,99	33,01
	Out	599,06	424,94	174,11	297,70	175,52	122,18	448,71	300,51	148,20	47,39	19,57	19,42	13,62	66,96	33,04
	Nov	549,01	389,23	159,78	298,91	176,78	122,13	424,57	283,52	141,05	45,90	20,85	18,84	14,40	66,75	33,25
Dez	556,09	402,31	153,78	300,21	179,55	120,66	429,13	291,78	137,35	46,98	20,97	17,96	14,09	67,95	32,05	
Valores por dia da semana	Dom	502,89	412,77	90,11	272,76	204,76	68,00	388,03	308,95	79,08	53,22	26,40	11,62	8,77	79,62	20,38
	Seg	571,82	405,43	166,40	282,24	167,09	115,15	428,33	287,33	141,00	47,47	19,56	19,48	13,48	67,03	32,97
	Ter	565,36	385,79	179,57	283,31	151,74	131,58	424,30	268,73	155,57	45,46	17,88	21,16	15,50	63,34	36,66
	Qua	552,61	370,56	182,05	284,84	147,10	137,74	419,44	259,42	160,02	44,25	17,57	21,74	16,45	61,81	38,19
	Qui	552,17	375,59	176,58	290,56	155,29	135,27	422,07	266,03	156,04	44,57	18,43	20,95	16,05	63,00	37,00
	Sex	584,46	413,29	171,17	326,00	195,23	130,77	456,02	304,92	151,09	45,39	21,44	18,80	14,36	66,84	33,16
	Sab	553,02	430,78	122,25	264,08	179,90	84,18	408,93	305,67	103,26	52,72	22,02	14,96	10,30	74,74	25,26
Total		554,44	399,18	155,26	286,23	171,70	114,53	420,91	285,93	134,98	47,48	20,42	18,47	13,62	67,91	32,09

Fonte: Autora

Dos 67,9% dos veículos da frota que são compostos por veículos leves, apenas 20,4% passaram no período noturno e dos 32,1% restantes, que são compostos dos veículos comerciais, 19,5% viajaram durante o dia, como é apresentado na Figura 4.2. Estas percentagens referem-se sempre ao total de 100% de veículos que passaram nos ATs.

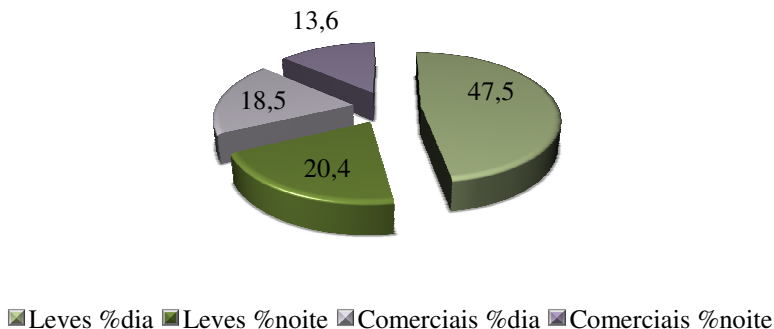


Figura 4.2 Percentagens de veículos por período

Fonte: Autora

As contagens separadas por dias da semana ou pelos meses não mostraram oscilações significativas nas percentagens de veículos comerciais em relação ao valor global obtido. Na Figura 4.3 observa-se mais facilmente que os veículos leves tendem a apresentar percentagens maiores em relação aos veículos comerciais nos finais de semana. Consequentemente, nota-se a participação maior dos veículos comerciais nos dias entre terça-feira e quinta-feira.

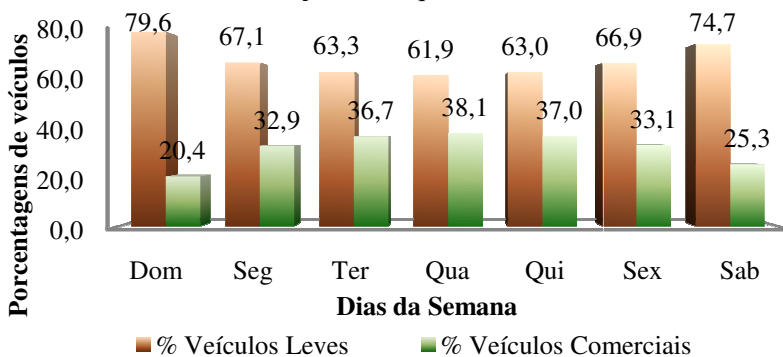


Figura 4.3 Percentagens de veículos nos dias da semana

Fonte: Autora

A Figura 4.4 mostra as proporções de veículos comerciais e leves em relação aos meses. Nota-se relativa homogeneidade nas proporções.

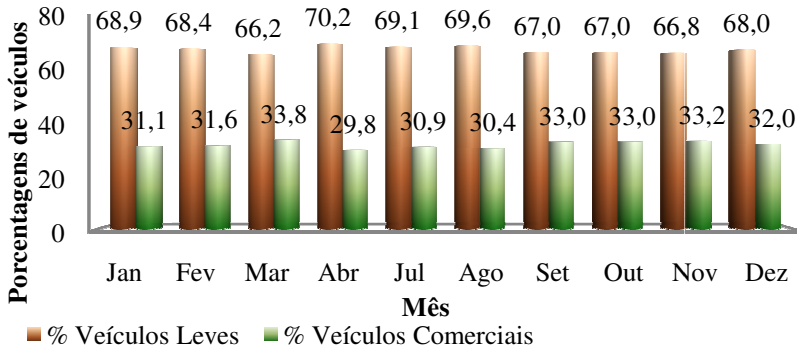


Figura 4.4 Percentagens de veículos nos meses

Fonte: Autora

Outra análise realizada foi a avaliação da frota que circula por faixa de rolamento que se destina a verificar as porcentagens distribuídas de veículos comerciais que trafegam na rodovia.

A Figura 4.5 apresenta as porcentagens de veículos comerciais nas faixas de rolamento. Nota-se que as porcentagens são no geral constantes, na ordem de 20% de veículos comerciais na faixa interna e 80% de veículos comerciais na faixa externa.

Na pista sul, os analisadores de tráfego AT1217.8 e AT2118.5 apresentam porcentagens diferenciadas em relação aos demais. Os mais de 80% de veículos comerciais na faixa 1 (interna) ocorrem porque o primeiro AT está posicionado em Guarulhos, na região do acesso ao Bairro Cumbica, onde há um fluxo intenso de veículos saindo e entrando na rodovia. No caso do segundo laço, no km 118,5 fica na região urbana de Taubaté, no acesso principal da cidade, onde muitos veículos acessam o centro da cidade. Estas demandas especiais nas faixas 2 (externas) justifica a passagem dos veículos comerciais pela faixa interna.

Na pista norte, os ATs que apresentam comportamento diferenciado da maioria são AT1227.7 e AT3285.7. O primeiro encontra-se na região de Guarulhos, no acesso a Av. Aricanduva e para a BR-381 – Rodovia Fernão Dias. O segundo está em nas proximidades do posto da Polícia Rodoviária Federal.

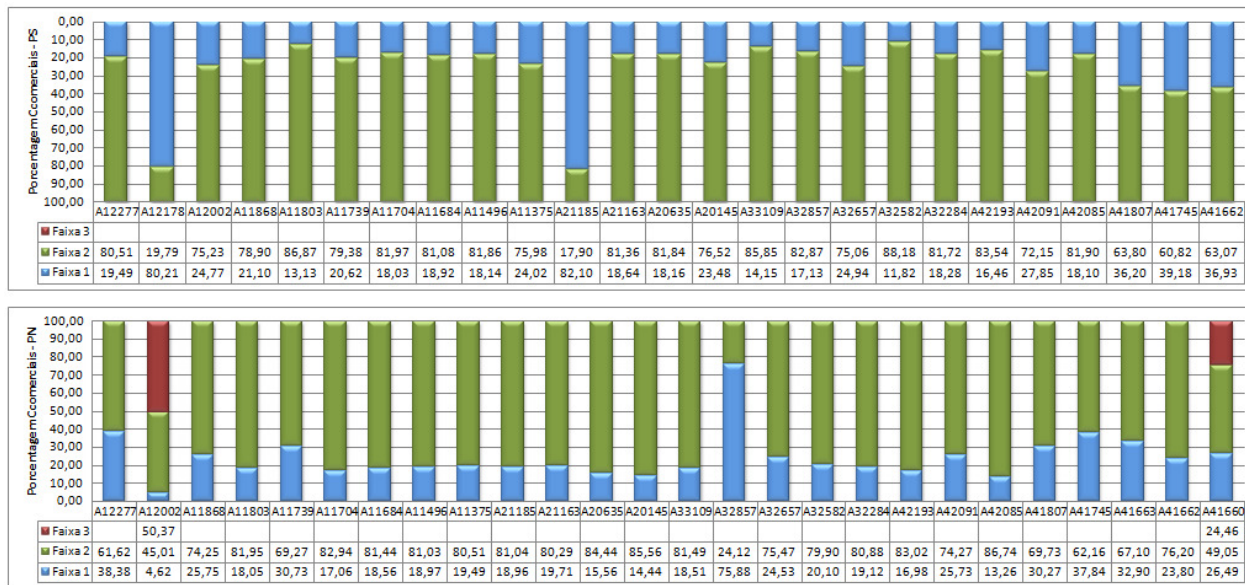


Figura 4.5 Percentagens de veículos comerciais nas faixas de rolamento ao longo da Via Dutra

Fonte: Autora

É notada oscilação de porcentagem de veículos comerciais nas faixas na região da baixada fluminense nas 2 pistas, que se justifica pela presença de diversos acessos para a pista expressa, além dos constantes congestionamentos por excesso de veículos.

No Apêndice A2 estão apresentados os VDM equivalentes calculados para cada AT.

4.1.2 Dados de Pluviometria

Através dos dados provenientes das estações meteorológicas, é possível detectar alguns momentos em que chovia no segmento. Das estações existentes foram detectadas as proximidade de ATs às estações meteorológicas Como mostra a Tabela 4.2.

Tabela 4.2 Estações meteorológicas e ATs próximos

Analisador de Tráfego	Estação Meteorológica	Distância entre dispositivos
AT3228.4	M32272	1,2 km
AT4209.1	M42101N	1,0 km

Fonte: Autora

Os dados de meteorologia de 2009, provenientes das estações, possuem várias lacunas de inoperância. Dentro das medidas que foram coletadas, seguindo a mesma metodologia utilizada para os ATs, foram eliminados todos os dados relativos às horas em que o número de totalizações fosse diferente de 10.

Das informações consideradas utilizáveis, foram destacados os períodos em que se observaram precipitação pluviométrica.

Foram separadas faixas de precipitações e consideradas para a análise de velocidades dos veículos em condições de chuva quando ocorresse ao menos 3h seguidas de precipitações pluviométricas, uma vez que a localização dos dispositivos de medidas não é a mesma.

As tabelas com todos os horários em que se observou a ocorrência de precipitações em pelo menos 3 horas seguidas estão apresentadas no Apêndice A3.

As Figuras 4.6 e 4.7 apresentam os resultados da comparação entre os valores de velocidade e precipitação obtidos para chuvas no período diurno e noturno respectivamente, no AT4209.1. Para o AT3228.4, nas mesmas premissas estão apresentadas as Figuras 4.8 e 4.9.

Em todos os locais, a velocidade diretriz da via é de 110 km/h para veículos leves e 90 km/h para veículos comerciais.

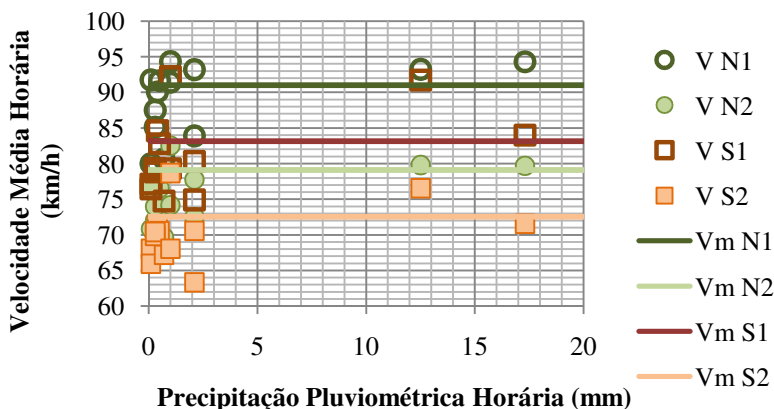


Figura 4.6 Velocidades desenvolvidas em condição de chuva durante o dia – km 209+100

Fonte: Autora

Nota: V = Velocidade horária; Vm = Velocidade média do laço para o ano de 2009; N1 = Velocidade horária na faixa 1 (interna) da pista norte; N2 = Velocidade horária na faixa 2 (externa) da pista norte; S1 = Velocidade horária na faixa 1 (interna) da pista sul; S2 = Velocidade horária na faixa 2 (externa) da pista sul;

A observação das velocidades encontradas para este AT, no período diurno, mostram que vários veículos que passaram pela faixa 1 com velocidades acima da média anual, indicada pelas linhas horizontais, principalmente nas precipitações maiores. Por exemplo, houve uma ocorrência de precipitação de 17,3 mm onde o laço detectou velocidade média do horário de 94,29 km/h. A velocidade média anual de velocidades na faixa 1 foi de 91 km/h. As velocidades médias da faixa 2 são aproximadamente 10 km/h menores em relação a faixa 1 e a maioria dos veículos passaram abaixo da média em condição de chuva.

No período noturno com chuvas, os veículos trafegaram com velocidades menores na maioria dos casos, quando a precipitação foi maior do que 2,5mm. Em condição de chuva pesada, as velocidades dos veículos foram muito menores do que a média anual.

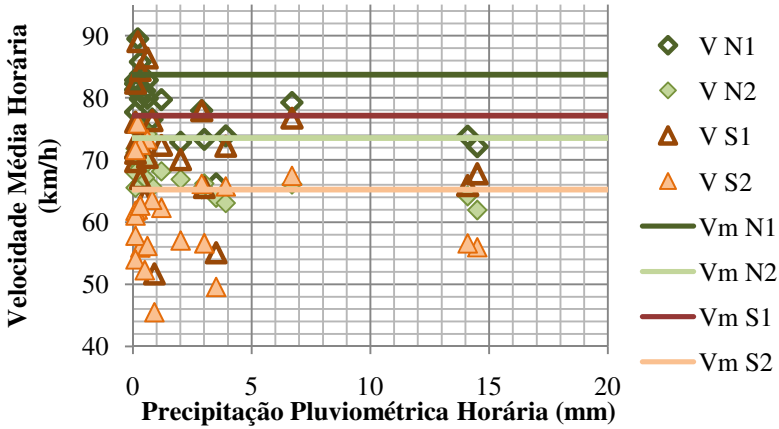


Figura 4.7 Velocidades desenvolvidas em condição de chuva durante a noite - km 209+100

Fonte: Autora

Na Figura 4.8 a seguir estão apresentadas as velocidades desenvolvidas para o AT 3228.4 no período diurno.

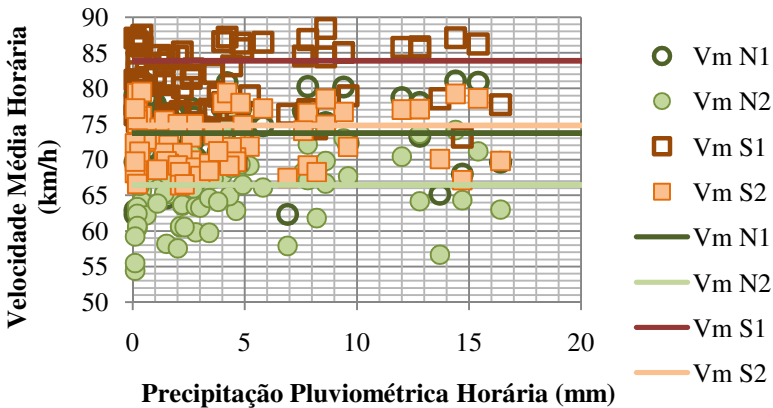


Figura 4.8 Velocidades desenvolvidas em condição de chuva durante o dia - km 228+400

Fonte: Autora

Constata-se que o tempo chuvoso não influenciou muito na velocidade dos veículos que trafegaram nesta região em nenhuma das faixas observadas. São observadas velocidades acima da média no laço

mesmo em chuvas pesadas, acima de 10mm. Salienta-se que este laço fica na crista da Serra das Araras. Assim sendo, os veículos na pista norte estariam entrando no trecho de serra em leve declive e os veículos da pista sul, finalizando a subida. Na Figura 4.9 são apresentadas as velocidades desenvolvidas para o AT 3228.4 no período noturno e em condições de chuva.

A maioria das chuvas que se observa são chuvas leves a medianas e também não demonstram grande variação de comportamento em relação a média anual. O destaque fica pela precipitação de 35mm/h que ocorreu às 19h de 18 de janeiro, que poderia ser considerada como torrencial, e as velocidades na pista sul mantiveram-se próximas as médias anuais.

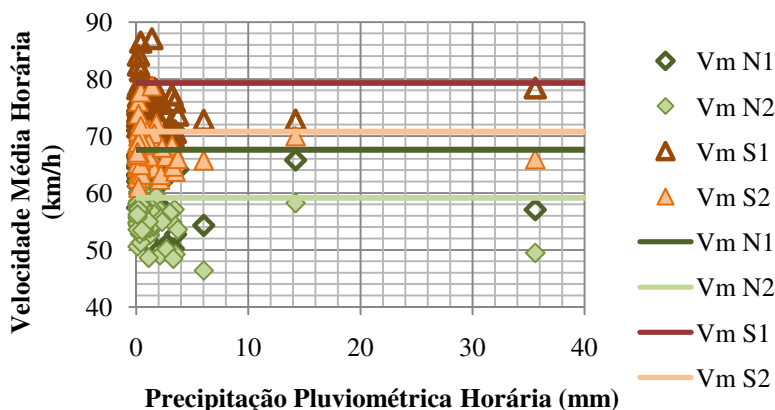


Figura 4.9 Velocidades desenvolvidas em condição de chuva durante a noite - km 228+400

Fonte: Autora

Vale observar que os dados de precipitação que estavam disponíveis não abrangem todo o ano. As estações ficaram inativas por muitos meses. A estação M32272 forneceu valores apenas nos meses de janeiro, outubro e novembro e a estação M42091, apenas em outubro e novembro. Ainda assim, a análise foi realizada, entendendo-se que os valores que estavam disponíveis abrangem meses de chuvas intensas.

4.2 DADOS PROVENIENTES DAS CONTAGENS EM PRAÇAS DE PEDÁGIO

Dos dados do volume de veículos obtidos pelas contagens das praças de pedágio foram identificadas informações ao longo do tempo.

Foram verificadas as variações de contribuição percentual para cada grupo classificado por números de eixos em relação ao volume total. A Figura 4.10 demonstra o comportamento de cada grupo ao longo do período de análise.



Figura 4.10 Porcentagens de veículos comerciais classificados por número de eixos

Fonte: Autora

Os veículos com 2 eixos sempre tiveram contribuição na ordem de 20%. Houve um crescimento no número destes veículos interrompida em 2003. Os veículos de 3 eixos, embora sejam a maioria dos veículos em circulação na rodovia, sofreram queda gradativa desde 1999, dando espaço para os veículos com 6 eixos ou mais. Os veículos comerciais com 6 eixos ou 7 eixos mostram crescimento contínuo na frota.

As Figuras 4.11 a 4.19 apresentam a evolução da frota de veículos comerciais para o período de 2007 a 2009 separados por número de eixos.

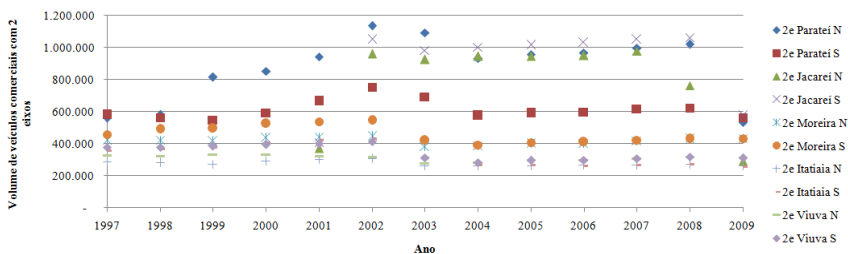


Figura 4.11 Evolução da frota de veículos com 2 eixos
Fonte: Autora

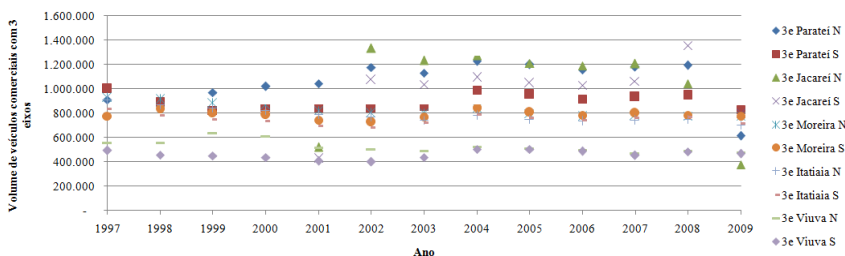


Figura 4.12 Evolução da frota de veículos com 3 eixos
Fonte: Autora

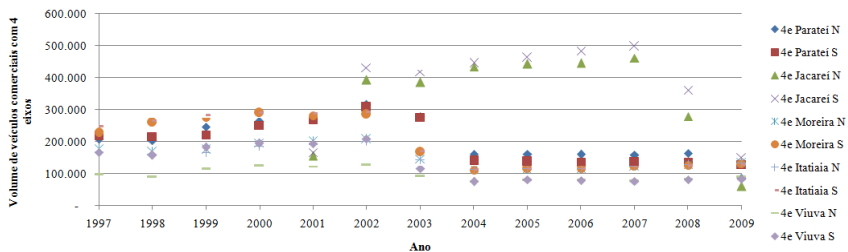


Figura 4.13 Evolução da frota de veículos com 4 eixos
Fonte: Autora

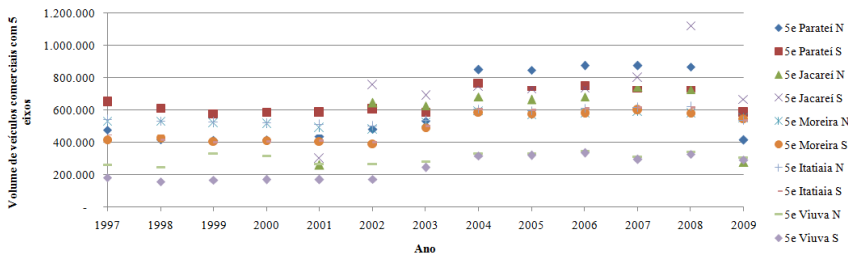


Figura 4.14 Evolução da frota de veículos com 5 eixos
Fonte: Autora

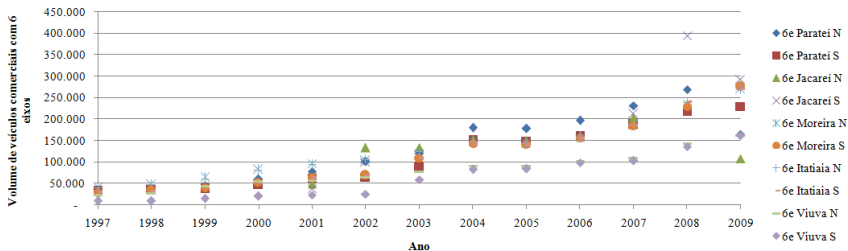


Figura 4.15 Evolução da frota de veículos com 6 eixos

Fonte: Autora

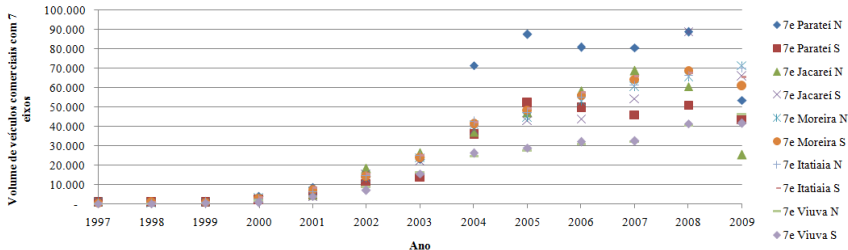


Figura 4.16 Evolução da frota de veículos com 7 eixos

Fonte: Autora

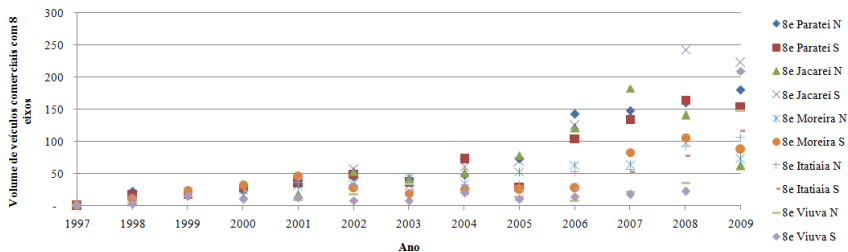


Figura 4.17 Evolução da frota de veículos com 8 eixos

Fonte: Autora

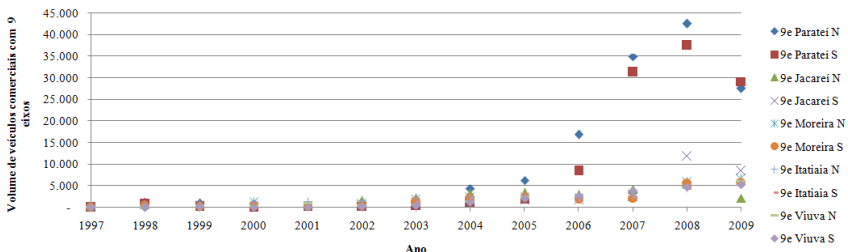


Figura 4.18 Evolução da frota de veículos com 9 eixos

Fonte: Autora

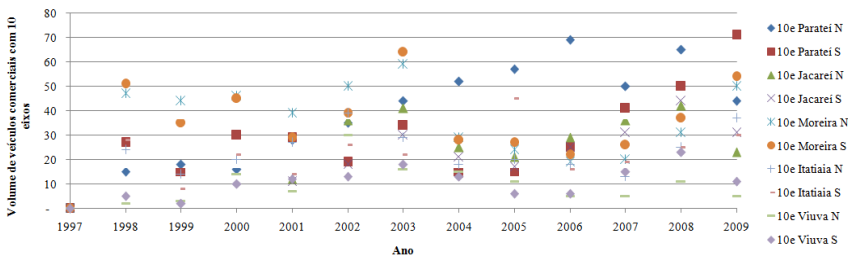


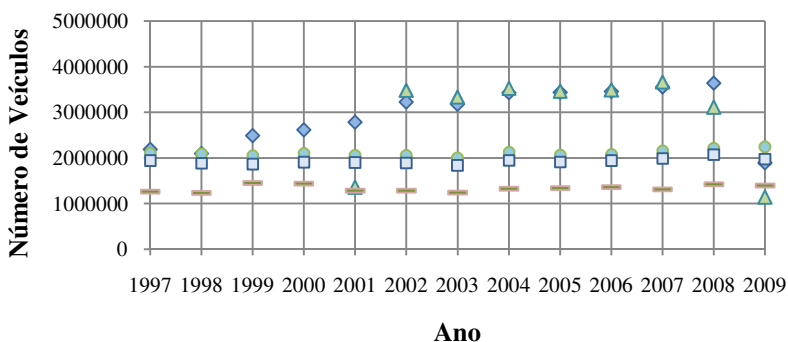
Figura 4.19 Evolução da frota de veículos com 10 eixos

Fonte: Autora

Para os veículos com dois e três eixos, nota-se maiores flutuações de valores para os pedágios de Parateí e Jacareí.

Para veículos com quatro eixos nota-se queda de volume a partir de 2003 para todos os pedágios exceto Jacareí. Os veículos com cinco eixos tiveram aumento de volume em 2004. Para veículos com seis a nove eixos, nota-se volume crescente ao longo do período em todos os pedágios até o ano de 2008. No ano de 2009 nota-se, em geral, o reflexo da crise mundial em todos os pedágios e veículos comerciais. A avaliação de comportamento para veículos com 10 eixos é pouco significativa para o contexto global, por representarem um volume muito pequeno de veículos e por se tratarem, na maioria dos casos, de transportes especiais.

As Figuras 4.20 e 4.21 apresentam os volumes de veículos comerciais obtidos para o período de análise considerado, para fluxos de veículos trafegando no sentido norte e sul, respectivamente.



◆ Parateí N ▲ Jacareí N ● Moreira N □ Itatiaia N — Viúva N

Figura 4.20 Volumes de veículos comerciais no sentido norte da rodovia

Fonte: Autora

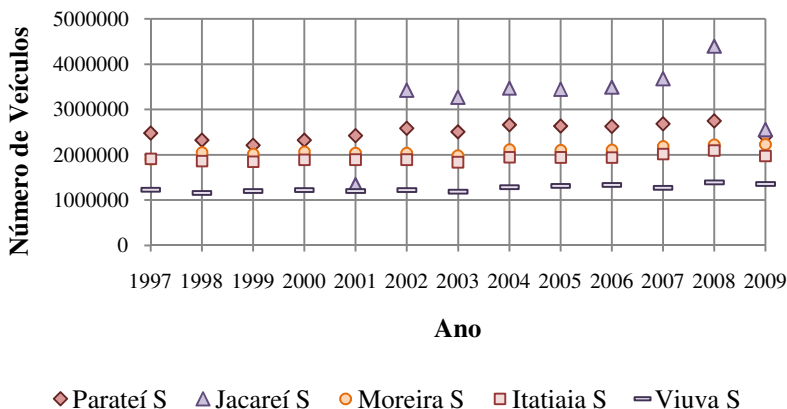


Figura 4.21 Volumes de veículos comerciais no sentido sul da rodovia

Fonte: Autora

A observação das figuras mostra que a frota possui variações que apontam diferenças entre cada uma das praças e sentido de pedágio. Fatores como criação e extinção de pólos geradores de tráfego são ocorrências que podem explicar este comportamento flutuante.

A fim de verificar a relação destas oscilações em relação a economia do país, os valores foram então avaliados em relação a um índice econômico de grande relevância para o país. O índice escolhido foi o Produto Interno Bruto (PIB).

Para que os valores fossem compatíveis para a avaliação, foram calculadas as taxas percentuais de variação de frota em relação aos anos consecutivos e comparadas as taxas anuais de PIB divulgadas pelos relatórios anuais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2011). Estes valores estão apresentados na Tabela 4.3.

As taxas apresentadas para os anos de 2008 e 2009 nas praças de pedágio de Jacareí são inconsistentes e discrepantes. Isto ocorreu dada a implantação de um novo sistema de controle de arrecadações que afetou o banco de dados. Desta forma, foram eliminadas da análise.

Tabela 4.3 Taxas percentuais de variação anual da frota e do PIB

Ano	PIB	Parateí Norte	Parateí Sul	Jacareí Norte	Jacareí Sul	Moreira Cesar Norte	Moreira Cesar Sul	Itatiaia Norte	Itatiaia Sul	Viúva Graça Norte	Viúva Graça Sul
1997	3,27	-2,05	-2,21			-5,89	-10,47	-4,00	-2,90	-16,15	-14,93
1998	0,13	-4,26	-6,23			-0,64	7,09	-2,56	-2,70	-2,22	-5,43
1999	0,81	18,90	-4,84			-1,62	-1,18	-1,32	-0,61	17,67	3,32
2000	4,36	5,11	5,40			2,42	2,50	2,34	2,34	-0,99	1,93
2001	1,31	6,44	3,97			-1,99	-1,41	-0,46	-0,28	-10,74	-1,79
2002	2,66	15,78	6,77	-2,75	-3,41	-0,42	-0,49	-0,33	-0,05	-0,02	2,19
2003	1,15	-1,46	-2,90	-4,29	-4,57	-2,37	-2,24	-3,06	-2,97	-3,54	-3,01
2004	5,71	7,86	6,01	5,81	6,23	6,52	6,76	6,35	6,43	6,99	8,36
2005	3,16	0,30	-0,98	-1,72	-0,63	-2,96	-1,08	-1,73	-0,56	0,89	2,06
2006	3,96	0,58	-0,29	0,84	1,28	0,62	0,33	1,33	0,28	1,68	1,56
2007	6,09	2,93	2,27	4,89	5,37	3,79	4,27	2,76	3,87	-3,55	-4,75
2008	5,16	2,37	2,26	-15,03	19,42	2,46	1,54	4,17	3,85	8,33	9,41
2009	-0,2	-8,36	-12,35	-63,95	-42,48	1,09	0,15	-4,87	-5,79	-1,98	-2,21

Fonte: Autora

Para que fosse possível fazer a correlação e modelagem dos valores foi utilizado um programa específico de tratamento estatístico, chamado Statgraphics Centurion XVI.I. Os gráficos de ajustes dos modelos gerados no programa estão apresentados no Apêndice A4.

Os modelos obtidos para cada um dos sentidos de cada pedágio estão apresentados na Tabela 4.4.

Notam-se relações com bons ajustes como os obtidos com os dados de Parateí Sul, Moreira Cesar Norte, Itatiaia Norte e Sul que deram correlações na ordem de 70%. Excelentes correlações foram observadas para Jacareí Norte e Sul onde os erros quadráticos são maiores que 95%. Estes valores mostram que de fato há uma relação entre o volume de veículos comerciais da frota e o PIB.

Tabela 4.4 Modelos de correlação entre as variações percentuais anuais dos volumes de veículos e do PIB brasileiro

Modelo	R ²	P- Valor
Pedágio Parateí Norte %PN = -0,540554 PIB² + 3,7322 PIB -0,633133	0,093812	0,6118
Pedágio Parateí Sul %PS = 0,275377 PIB³ - 2,98606 PIB² + 10,2544 PIB -9,15445	0,696068	0,0150
Pedágio Jacareí Norte %JN = 0,169902 PIB² + 0,876865 PIB - 5,79663	0,968011	0,0057
Pedágio Jacareí Sul %JS = 0,106989 PIB² + 1,50871 PIB - 6,85397	0,958263	0,0085
Pedágio Moreira César Norte %MCN = -0,0788701 PIB³ + 1,25725 PIB² - 3,89651 PIB + 0,37833	0,719585	0,0074
Pedágio Moreira César Sul %MCS = -0,0503462 PIB³ + 1,22883 PIB² - 5,0643 + 2,75435	0,455023	0,1251
Pedágio Itatiaia Norte %IN = 0,028012 PIB³ - 0,0865992 PIB² + 0,890726 PIB - 3,28719	0,718699	0,0015
Pedágio Itatiaia Sul %IS = 0,0986569 PIB³ - 0,759155 PIB² + 2,58047 PIB - 3,84734	0,797258	0,0018
Pedágio Viúva Graça Norte %VGN = -0,0561437 PIB³ + 0,983193 PIB² - 3,52354 PIB + 0,998867	0,05430	0,9124
Pedágio Viúva Graça Sul %VGS = -0,1227 PIB³ + 1,22343 PIB² - 2,17486 PIB - 1,86226	0,12200	0,7452

Fonte: Autora

É importante salientar que a relação constatada entre os valores indica a importância de se atentar, não só às oscilações de grande volume de veículos que podem ser provenientes de criação ou extinção de pólos geradores de tráfego, mas também às grandes flutuações da economia quando se busca valores de taxas de crescimento de tráfego para subsidiar previsões de evolução para projeto.

A baixa correlação apresentada para os valores provenientes de Parateí Norte pode ser explicada por sua localização na região metropolitana de São Paulo e ter influência significativa do tráfego urbano e não apenas do transporte de longas distâncias. Na praça de

Viúva Graça, próxima a região metropolitana do Rio de Janeiro, nota-se uma significativa redução de frota em comparação as demais, que evidencia um desvio do fluxo de veículos comerciais que passam pelo pedágio de Itatiaia e servem aos pólos siderúrgicos locais como a CSN – Companhia Siderúrgica Nacional em Volta Redonda e a CSA – Companhia Siderurgia do Atlântico em Santa Cruz. Desta forma, apesar dos transportes de mercadorias entre o Rio de Janeiro e o sul do país pela BR-116, a característica da frota de veículos comerciais se modifica, provavelmente fazendo com que os valores não tenha boa relação ao PIB brasileiro.

4.3 DADOS PROVENIENTES DAS BALANÇAS DINÂMICAS

O tratamento dos dados provenientes das pesagens dos veículos comerciais nas balanças de pesagem dinâmica situadas em Guararema (km 179+400 – Pista Sul) e em Queluz (km 0+800 – Pista Norte), nos meses de outubro, novembro e dezembro de 2009, possibilitaram o conhecimento das faixas de cargas que os veículos utilizam para o transporte das mercadorias, assim como as eventuais sobrecargas que ocorreram.

Nas Figuras 4.22 e 4.23 estão apresentadas fichas resumo das balanças com informações a respeito dos dias que a balança estava operando, porcentagens de pesagens úteis, ou seja, aquelas que passaram pela consistência de informações e os veículos que foram considerados nas análises. Estes veículos aparecem nos gráficos com a cor marrom e representam veículos com mais de 1% de contribuição da frota observada.

Os valores que aparecem no resumo geral de dados como contagem de erros são ocorrências que se relacionam a dados inconsistentes. A maioria se refere a registros onde não se dispunha dos pesos em todos os eixos.

BALANÇAS PARA VEÍCULOS COMERCIAIS DE CARGA - RODOVIA PRESIDENTE DUTRA - BR-116

DADOS GERAIS

Balança Queluz Quilômetro 0+800



Situada na pista norte, quase na divisa entre os estados de São Paulo e Rio de Janeiro, possui sistema de pesagem dinâmica

Calendário de Pesagens Classificadas

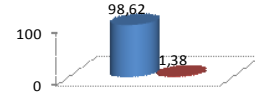
OUTUBRO										NOVEMBRO										DEZEMBRO									
D	S	T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q	Q	S	S									
							1	2	3	4	5	6	7																
							8	9	10	11	12	13	14																
							15	16	17	18	19	20	21	13	14	15	16	17	18	19									
							18	19	20	21	22	23	24	22	23	24	25	26	27	28									
							25	26	27	28	29	30	31	29	30	27	28	29	30	31									

12 - N. Srª Aparecida 2 - Finados 25 - Natal
 15 - Procl. da República

RESUMO GERAL DE DADOS

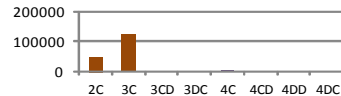
	Out	Nov	Dez
Total	72829	156027	153465
Uteis	71996	153173	151859
Erros	833	2854	1606

PERCENTAGENS GERAIS

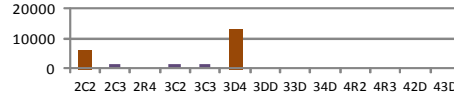


ESTATÍSTICA DE DADOS UTILIZADOS

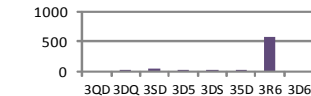
Caminhões



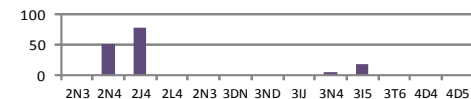
Caminhões com Reboque



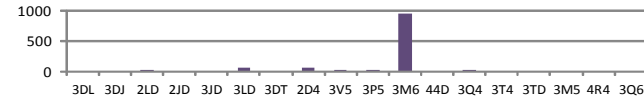
Caminhões c/ Três Semi-Reboques



Caminhões com Semi-reboque + Reboque



Caminhões com Dois Semi-reboques



Caminhões com Semi-reboque

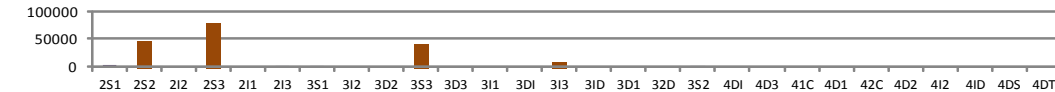


Figura 4.22 Dados gerais 2009 – Balança de Queluz
 Fonte: Autora

BALANÇAS PARA VEÍCULOS COMERCIAIS DE CARGA - RODOVIA PRESIDENTE DUTRA - BR-116

DADOS GERAIS

Balança Guararema Quilômetro 179+000

Situada na pista sul, no estado de São Paulo entre Jacareí e Arujá, possui sistema de pesagem dinâmica

Calendário de Pesagens Classificadas

OUTUBRO							NOVEMBRO							DEZEMBRO							
D	S	T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q	Q	S	S	
			1	2	3		1	2	3	4	5	6	7				1	2	3	4	5
4	5	6	7	8	9	10	8	9	10	11	12	13	14	6	7	8	9	10	11	12	
11	12	13	14	15	16	17	15	16	17	18	19	20	21	13	14	15	16	17	18	19	
18	19	20	21	22	23	24	22	23	24	25	26	27	28	20	21	22	23	24	25	26	
25	26	27	28	29	30	31	29	30						27	28	29	30	31			

12 - N. Srª Aparecida
2 - Finados
15 - Procl. da República

25 - Natal

RESUMO GERAL DE DADOS

	Out	Nov	Dez
Total	160110	168647	160229
Uteis	158501	166967	158603
Erros	1609	1680	1626

PERCENTAGENS GERAIS

ESTATÍSTICA DE DADOS UTILIZADOS

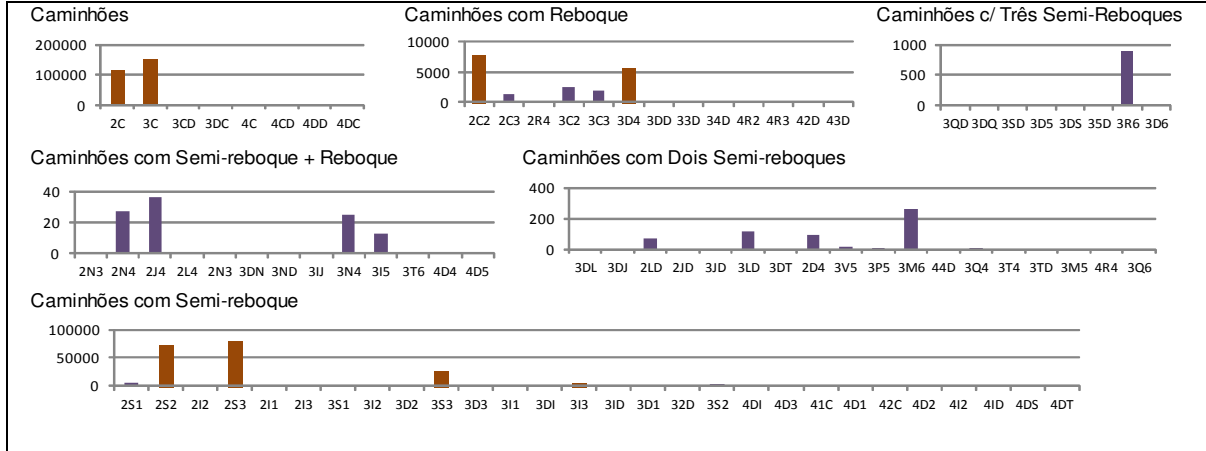


Figura 4.23 Dados gerais 2009 - Balança de Guararema

Fonte: Autora

4.3.1 Balança de Queluz – km 0+800 – Pista Norte

Os dados obtidos pelas pesagens na balança de Queluz mostram que a concentração de circulação da frota está nos dias de terça, quarta e quinta-feira de cada semana. Esta informação confirma o comportamento observado nos resultados dos analisadores de tráfego e apresentado na Figura 4.3. Foram também observados os horários de maior fluxo de cada tipo de veículo na balança. A Tabela 4.5 apresenta estes horários.

Tabela 4.5 Horários de maior fluxo dos veículos comerciais na balança de Queluz

Veículo	Horário de maior fluxo	Veículo	Horário de maior fluxo
2C	8h às 9h	3S3	9h às 10h e 19h às 20h
3C	1h às 2h	2C2	19h às 20h
2S2	8h às 9h	3I3	8h às 9h e 19h às 20h
2S3	8h às 9h	3D4	10h às 11h

Fonte: Autora

O único veículo que tem pico de movimento na balança na madrugada é o caminhão 3C, que é o veículo comercial de maior incidência na rodovia.

Os veículos, passando às 8h, devem ter como destino as cidades ao sul de Minas, já que os volumes observados nos pedágios principalmente de Viúva Graça, não sinalizam a chegada desses veículos comerciais na cidade do Rio de Janeiro. No ano de 2009, a Concessionária Autopista Fernão ainda estava iniciando os trabalhos de restauração de pavimentos na Rodovia Fernão Dias, fato que provavelmente atraiu fluxo para a Via Dutra.

As cargas foram avaliadas segundo o conjunto, considerando o PBT e também separadas por conjunto de eixos. Os histogramas de PBT, assim como fluxos por dia de semana e por hora, estão apresentados nos Apêndices A5 ao A8. A Tabela 4.6 mostra os pontos destacáveis das análises dos gráficos de PBT.

Nota-se que todos os histogramas apresentaram assimetria, o que indica que não há atendimento ao comportamento à curva normal. Estas

assimetrias não são sempre para o mesmo lado, portanto não apresentam a mesma tendência de comportamento. A maioria dos veículos apresenta mais de uma moda e a média dos valores nem sempre se encontra em uma das modas.

Tabela 4.6 Comportamento dos histogramas de PBT - Queluz

Veículo	Lado da Assimetria	Número de Modas	Faixa da Moda Principal	Faixa da Moda Secundária	Média de Valores
2C	Direita	2	5t a 6t	8t a 9t	8,09t
3C	Esquerda	1	22t a 23t	-	18,28t
2S2	Direita	2	18t a 19t	29t a 30t	21,61t
2C2	Direita	1	18t a 19t	-	20,04t
2S3	Esquerda	2	40t a 41t	35t a 36t	34,69t
3S3	Esquerda	2	47t a 48t	42t a 43t	43,77t
3I3	Esquerda	2	52t a 53t	44t a 45t	48,56t
3D4	Esquerda	2	56t a 57t	49t a 50t	54,80t

Fonte: Autora

As análises referentes às cargas transportadas por eixo foram feitas através de gráficos separados por tipo de eixo.

A Figura 4.24 mostra as porcentagens de ESRS passando em cada faixa de carga.

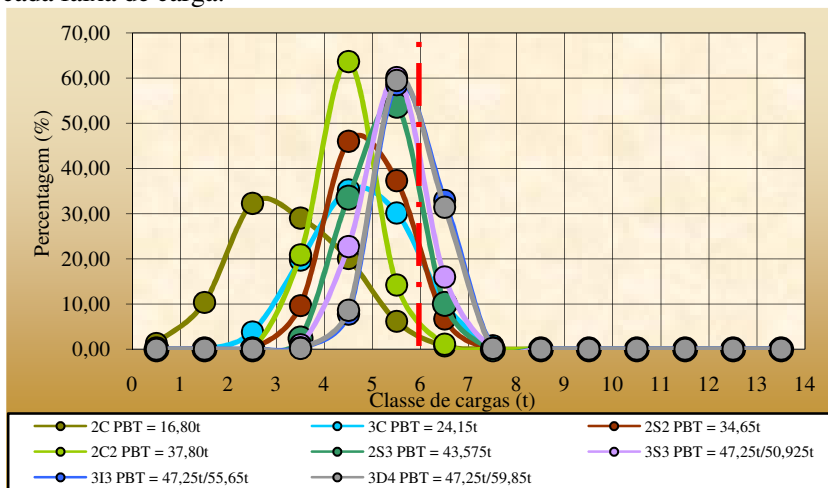


Figura 4.24 Porcentagens de ESRS classificados por faixas de carga - Queluz

Fonte: Autora

As modas estão todas abaixo do limite de carga máxima legal (CML), mas porcentagens significativas passam acima deste limite, como é o caso dos veículos 3I3 e 3D4 que estão com mais de 30% dos eixos passando acima do limite. Estas modas variam em função do PBT de cada veículo. Desta forma, a carga de moda para o 2C, que tem PBT de 16,8t com a tolerância, tem moda com 2,5t. Por outro lado, o 3D4 que tem PBT de 47,25t tem a moda em 5,5t. A linha vermelha vertical representa o limite de CML sem tolerância para melhor visualização das cargas obtidas em relação aos limites de transporte.

Destaca-se a ocorrência acima de 30% de eixos dos veículos 2S3 e 3S3 que passam na faixa entre 6t e 7t.

Na Figura 4.25 são apresentadas as porcentagens para os ESRD. O fato da tendência da moda de carga no eixo estar relacionada ao PBT do veículo se verifica na maioria dos casos. Nota-se que neste eixo, para os veículos 3I3 (1º eixo) 3I3 (2º eixo) e 2S3 há entre 20% e 30% de eixos passando acima de 10t.

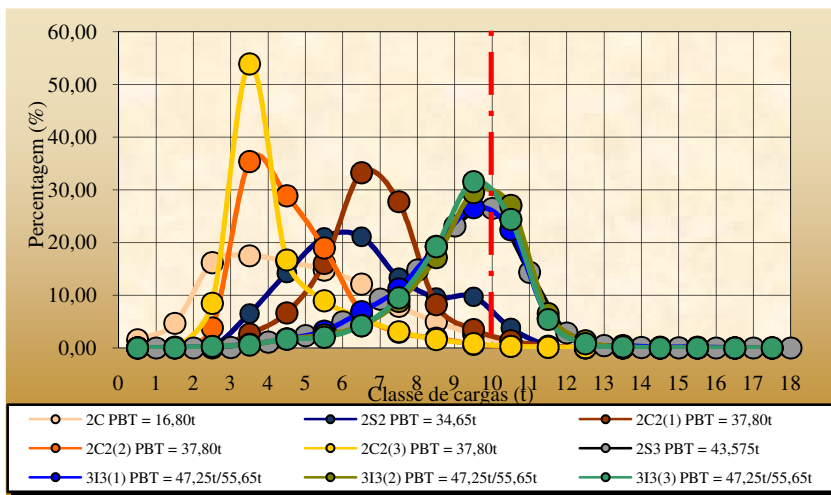


Figura 4.25 Porcentagens de ESRD classificados por faixas de carga - Queluz

Fonte: Autora

A Figura 4.26 mostra as porcentagens para os ETD. A moda para este eixo concentra-se no limite da CML, exceto para o veículo 2S2 que tem uma das modas em 7,5t.

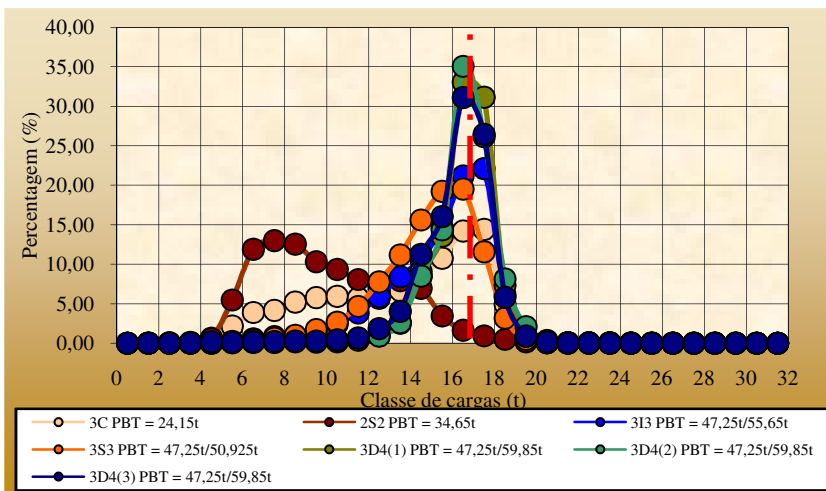


Figura 4.26 Porcentagem de ETD classificados por faixas de carga - Queluz
Fonte: Autora

Observa-se porcentagens significativas, entre 20 e 30% acima do limite (17t para ETD) nos eixos de veículos com capacidade de maior de cargas.

Finalmente, os ETT, que estão apresentados na Figura 4.27, possuem moda na faixa que inclui o limite de carga transportável. O excesso também ocorre neste eixo.

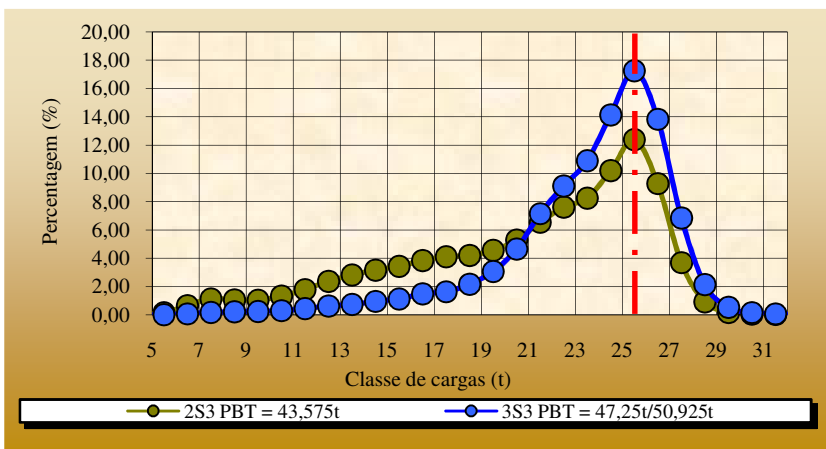


Figura 4.27 Porcentagem de ETT classificados por faixas de carga - Queluz
Fonte: Autora

4.3.2 Balança de Guararema – km 179+400 – Pista Sul

Para os dados de Guararema procedeu-se aos tratamentos realizados para a balança de Queluz “*mutatis mutandis*”.

De maneira geral, o comportamento da frota comercial durante os dias de semana é de fluxo intenso, principalmente nos dias de terça-feira, quarta-feira e quinta-feira. Em alguns casos, como é para o veículo 2C2, apresenta fluxo intenso aos sábados também. Na Tabela 4.7 estão apresentados os horários de maior fluxo de cada veículo, passando pela balança de Guararema.

Tabela 4.7 Horários de maior fluxo dos veículos comerciais na balança de Guararema

Veículo	Horário de maior fluxo	Veículo	Horário de maior fluxo
2C	16h às 17h	3S3	10h às 11h
3C	5h às 6h	2C2	12h às 13h e 20h às 21h
2S2	21h às 22h	3I3	10h às 11h
2S3	5h às 6h e 10h às 11h	3D4	10h às 11h

Fonte: Autora

A exemplo dos dados tratados para a balança de Queluz, as cargas foram avaliadas segundo o conjunto, considerando o PBT e também separadas por eixos. Os histogramas de PBT, assim como fluxos por dia de semana e por hora, estão apresentados nos Apêndices A9 ao A12. A Tabela 4.8 mostra os pontos destacáveis das análises dos gráficos de PBT.

Tabela 4.8 Comportamento dos histogramas de PBT - Guararema

Veículo	Lado da Assimetria	Número de Modas	Faixa da Moda Principal	Faixa da Moda Secundária	Média de Valores
2C	Esquerda	2	5t a 6t	7t a 8t	7.43t
3C	Direita	2	10t a 11t	21t a 22t	15.72t
2S2	Direita	2	15t a 16t	29t a 30t	20.67t
2C2	Direita	1	19t a 20t	-	20.23t
2S3	Esquerda	2	40t a 41t	16t a 17t	34.19t
3S3	Esquerda	2	47t a 48t	36t a 37t	30.37t
3I3	Esquerda	3	53t a 54t	29t a 30t	45.86t
3D4	Esquerda	3	56t a 57t	48t a 49t	53.90t

Fonte: Autora

Neste conjunto de dados, nota-se assimetria em todos os histogramas gerados, a maioria com assimetria para a esquerda. Apenas para o reboque 2C2 ocorre 1 moda; as demais possuem 2 ou 3. Na maioria dos casos as médias não estão inclusas nos intervalos de moda dos histogramas, repetindo o comportamento observado para os dados provenientes da balança de Queluz.

As análises referentes às cargas transportadas por eixo foram efetuadas por elaboração dos gráficos de porcentagens de cargas em faixas de 1 t cada.

Na Figura 4.28 observa-se que a maioria dos veículos possui moda de carga no ESRS abaixo da carga máxima legal (CML).

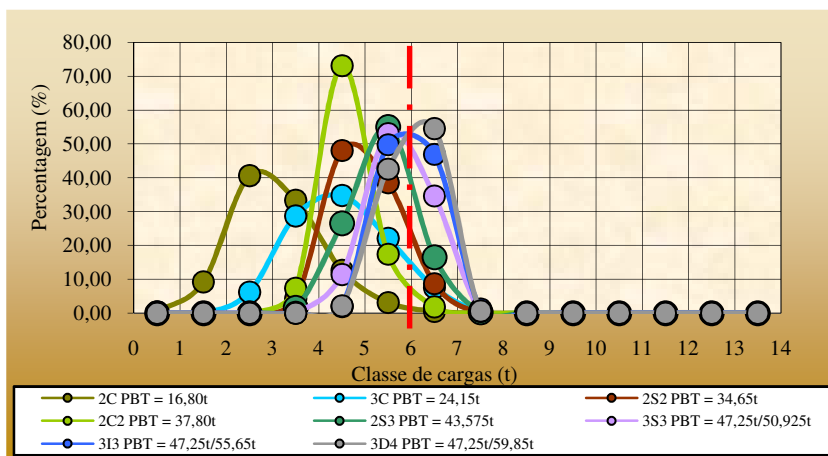


Figura 4.28 Porcentagem de ESRS classificados por faixas de carga - Guararema

Fonte: Autora

A exceção está para o 3D4 que apresenta moda na faixa entre 6t e 7t. Nota-se que mais de 45% deste eixo (ESRS) para os 3I3 também estão na mesma faixa com média de 6,5t além de mais de 30% para os veículos 3S3.

Os eixos ESRD para 2S3, 1° e 3° eixos do 3I3 estão apresentando modas acima do limite de 10t, com contribuições importantes entre 20% e 35% nestas condições, como mostra a Figura 4.29. Os demais eixos estão com modas abaixo do valor limite da CML.

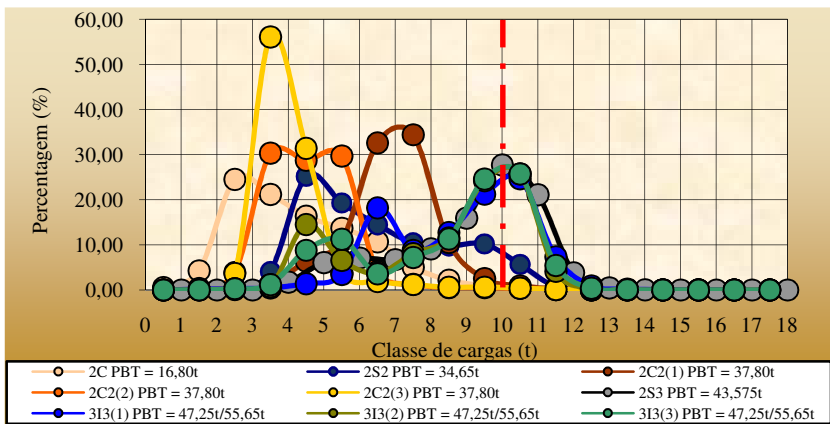


Figura 4.29 Porcentagem de ESRD classificados por faixas de carga - Guararema

Fonte: Autora

Os eixos tandem duplos, como se visualiza na Figura 4.30, apresentam modas abaixo da CML. Ainda assim, porcentagens significativas de eixos acima do limite de carga máxima legal são observadas. O primeiro eixo tandem duplo do veículo 3I3, representado no gráfico como 3I3(1), tem mais de 25% de ocorrências acima da CML. O primeiro eixo tandem duplo do veículo 3D4 apresentou mais de 30% de cargas acima da CML e os segundo e terceiro eixos do 3D4 apresentaram mais de 40% de cargas acima da CML.

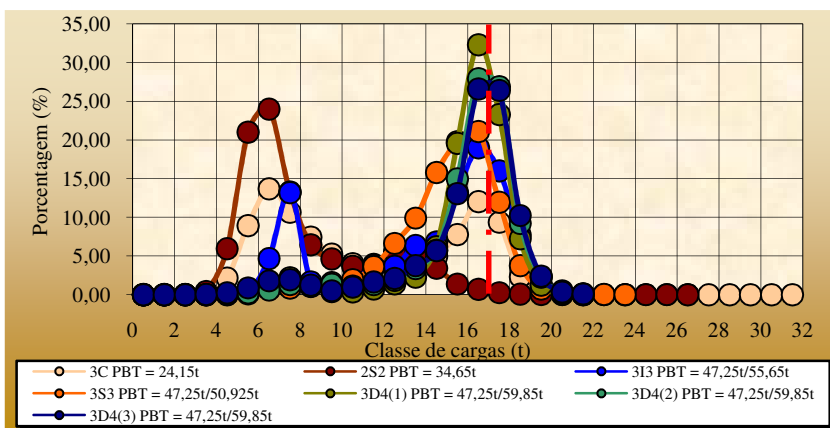


Figura 4.30 Porcentagem de ETD classificados por faixas de carga - Guararema

Fonte: Autora

Finalmente, para os eixos tandem triplos, as modas se apresentam no limite da CML ainda com contribuições acima de 15% de eixos acima da CML, conforme demonstrado na Figura 4.31.

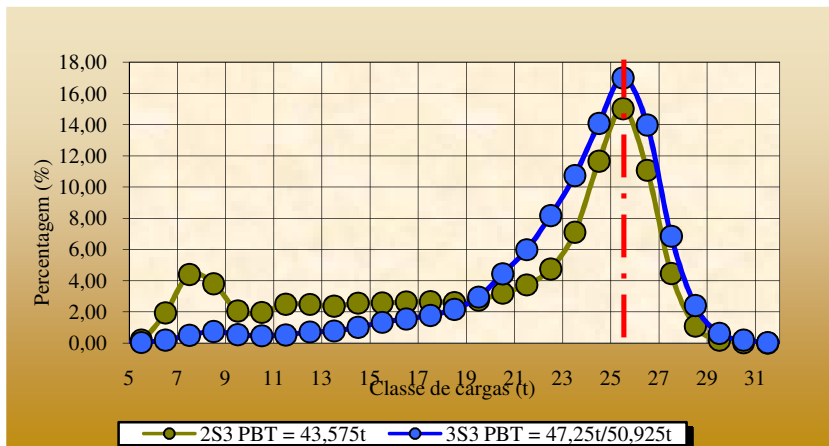


Figura 4.31 Porcentagem de ETT classificados por faixas de carga - Guararema
Fonte: Autora

Da mesma forma como efetuado para a balança de Queluz, os histogramas de PBT, cargas por eixo e por veículo e os histogramas de volumes de veículos comerciais por dia de semana e por hora para cada veículo estão apresentados nos Apêndices A9 ao A12.

4.4 AVALIAÇÕES REFERENTES ÀS ATIVIDADES DE CAMPO

Neste capítulo são abordadas as análises realizadas com os levantamentos efetuados em campo. Foram determinadas áreas de contato entre pneus e pavimento, bem como cronometragens para a determinação dos tempos e velocidades dos veículos comerciais em condição de rampa.

4.4.1 Obtenção das Áreas de Contato entre Pneu e Pavimento

As impressões das áreas de contato entre pneu e pavimento obtidas estão apresentadas na Figura 4.32. Tiraram-se fotos com uma escala para que fosse possível ter uma referência métrica (Figura 3.18).

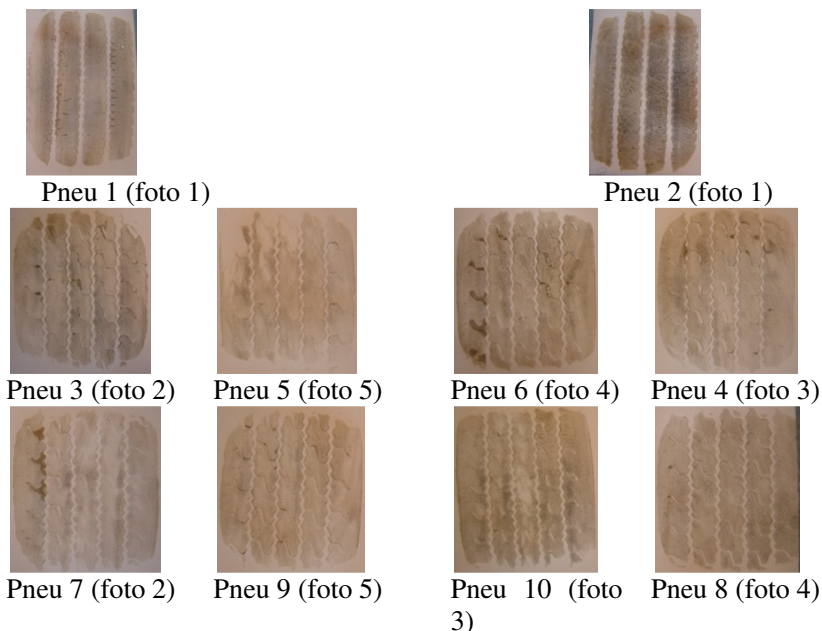


Figura 4.32 Impressões dos pneus do guincho

Fonte: Autora

A partir da obtenção deste material, foi possível desenhar os limites das áreas carregadas e determinar as áreas de contato de cada pneu. Para esta atividade foi utilizado o programa AutoCad.

A Figura 4.33 mostra parte de uma das áreas delimitadas pelas polilinhas geradas.

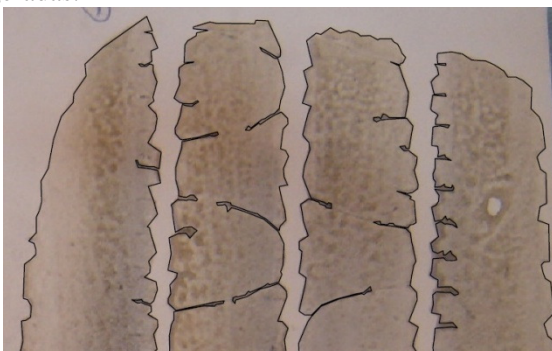


Figura 4.33 Detalhe das polilinhas geradas a partir das impressões dos pneus

Fonte: Autora

As imagens com as polilinhas criadas para todas as impressões estão apresentadas no Apêndice A13.

A Tabela 4.9 apresenta as áreas obtidas pela delimitação das polilinhas bem como o perímetro das áreas. Mostra a área, perímetro, largura e comprimento das áreas tomadas por medidas simples em escalímetro, sem considerar os vazios entre as bandas de rolagem dos pneus.

Tabela 4.9 Medidas das áreas de contato dos pneus

Pneu	Impressão		Medida			
	Área (cm ²)	Perímetro (cm)	Área (cm ²)	Perímetro (cm)	Larg (cm)	Compr (cm)
1	507,4	100,0	770	114	22	35
2	521,8	113,8	770	114	22	35
3	422,9	110,5	493,5	89	21	23,5
4	413,5	114,6	493,5	89	21	23,5
5	378,3	103,7	493,5	89	21	23,5
6	392,5	111,4	493,5	89	21	23,5
7	425,7	128,0	495,6	89,2	21	23,6
8	455,4	123,0	495,6	89,2	21	23,6
9	365,1	107,7	495,6	89,2	21	23,6
10	374,7	117,7	495,6	89,2	21	23,6

Fonte: Autora

4.4.2 Determinação das Velocidades dos Veículos Comerciais em Rampa

As velocidades foram determinadas à partir das cronometragens efetuadas para os diversos veículos que passaram pela Serra das Araras durante o período de avaliação. Com as cronometragens da subida com o guincho pesado e observando os horários indicados nas CFTV, para as passagens do guincho tanto no início quanto no final da Serra, foi possível ajustar os relógios para as câmeras que não estavam sincronizadas.

Foi elaborada uma tabela com o cadastro de todos os veículos que passaram pelo segmento por um período curto (37'34"), mas que desse uma amostra de pelo menos 100 veículos comerciais. Ao todo foram cadastrados 113 veículos. A tabela de cadastro destes veículos está apresentada no Apêndice A14.

A Tabela 4.10 apresenta valores máximos, mínimos e médias de velocidades, assim como o desvio padrão para cada tipo de veículo. Os veículos 2S1, 3D4, 3I3 e 3T6 estão representados por um único evento cada. Entretanto, a análise de pavimento a ser realizada solicitará velocidade de deslocamento de eixos distintos e não a velocidade média para cada tipo de veículo. Desta forma, a amostra de velocidades para eixos ESRs, ESRD, ETD e ETT torna-se suficiente para os objetivos da pesquisa.

Tabela 4.10 Velocidades desenvolvidas na Serra das Araras para veículos comerciais

Veículo	Quantidade	Velocidade máxima (km/h)	Velocidade mínima (km/h)	Velocidade média (km/h)	Desvio padrão
2C	17	55,71	32,25	43,36	6,29
2S1	1	35,91	35,91	35,91	-
2S2	11	52,10	28,97	40,95	6,40
2S3	29	51,34	23,07	37,82	8,03
3C	33	55,71	13,14	41,43	10,68
3C3	2	50,97	26,44	38,71	17,35
3D4	1	54,73	54,73	54,73	-
3I3	1	38,04	38,04	38,04	-
3S3	15	50,97	23,67	40,80	8,47
3T6	1	37,79	37,79	37,79	-
4C	2	51,53	49,37	50,45	1,53
Total	113	55,71	13,14	40,78	8,77

Fonte: Autora

Como pode ser observado, as velocidades máximas não superam 55,71 km/h, apesar do segmento possuir limite de velocidade de 80 km/h. O próprio guincho realizou o percurso com velocidade média de 41,51 km/h. As baixas velocidades se justificam pela geometria vertical, horizontal e relevo do segmento.

Foram gerados gráficos com as velocidades dos veículos com mais de 2 eventos no período. Estes gráficos estão apresentados no Apêndice A15.

4.5 APLICAÇÃO DE DADOS DE TRÁFEGO À ANÁLISE DE PAVIMENTOS

Neste capítulo estão apresentadas as análises realizadas para avaliação de respostas das estruturas de pavimento, utilizando alguns dos valores obtidos ao longo deste estudo.

Para a realização desta parte da pesquisa, algumas informações complementares necessárias foram admitidas.

Estes parâmetros complementares, principalmente no que se refere a parâmetros da camada viscoelástica, são valores extraídos da pesquisa de Barra (2009) com o objetivo de permitir a simulação de processamentos e obter percepção do comportamento dos resultados em função da variação dos parâmetros de velocidade e aplicando-se as áreas de contato obtidas. Os processamentos apresentados, apesar de considerarem as espessuras de camadas do pavimento existente obtidas por sondagens locais, não representam fidedignamente a estrutura de pavimento da Serra das Araras por não dispor de resultados de ensaios com os materiais nativos. Entretanto, os resultados são válidos para os propósitos a que se destinam as análises realizadas.

4.5.1 Parâmetros de Análise

Para as avaliações foi considerada uma estrutura média que foi obtida a partir da análise dos perfis dos poços de inspeção efetuados por ocasião do projeto de restauração do pavimento da Serra das Araras. As estruturas são em pavimento flexível com camadas de concreto asfáltico que somam 23cm de espessura sobre camada granular do tipo brita graduada com 31cm de espessura. A Tabela 4.11 apresenta os parâmetros utilizados para a caracterização de cada camada para os processamentos.

Os parâmetros indicados constituem grupos de valores a serem utilizados em dois tipos de análises distintos; um considerando apenas camadas elásticas e outro considerando a característica viscoelástica da camada de revestimento.

Os valores de E (módulos elásticos) e ν (coeficiente de Poisson) para cada camada da estrutura, foram extraídos de projetos de restauração do pavimento. Os parâmetros para análises viscoelásticas do material asfáltico foram extraídos do trabalho de Barra (2009). Apesar dos resultados indicados por ele tratar-se de uma mistura nova e

produzida em laboratório, ainda assim, optou-se por usar estes valores, uma vez que são parâmetros obtidos com materiais brasileiros.

Tabela 4.11 Parâmetros dos materiais adotados para análise da estrutura de pavimento

Revestimento em concreto asfáltico (23cm)	Base em material granular (31cm)	Subleito em material argilo-siltoso
Análise elástica: E = 4.500 MPa $\nu = 0,30$	Análise elástica: E = 120 MPa $\nu = 0,35$	Análise elástica E = 100 MPa $\nu = 0,40$
Análise termoviscoelástica E _∞ = 22.000 MPa E ₀ = 6,27 MPa h = 0,6 k = 0,15 δ = 1,26 A ₀ = 3,109059103 A ₁ = -0,410633302 A ₂ = 0,00220626		

Fonte: Autora

Com relação à temperatura de análise, foram obtidos valores referenciais pela estação meteorológica M32272 que fica na crista da Serra das Araras.

Dois segmentos de medida de deflexões obtidos por ensaio com *Falling Weight Deflectometer* (FWD) na Serra das Araras permitiram a elaboração de um gráfico de relação entre temperatura do ar e temperatura na superfície do pavimento. A Figura 4.34 apresenta este gráfico.

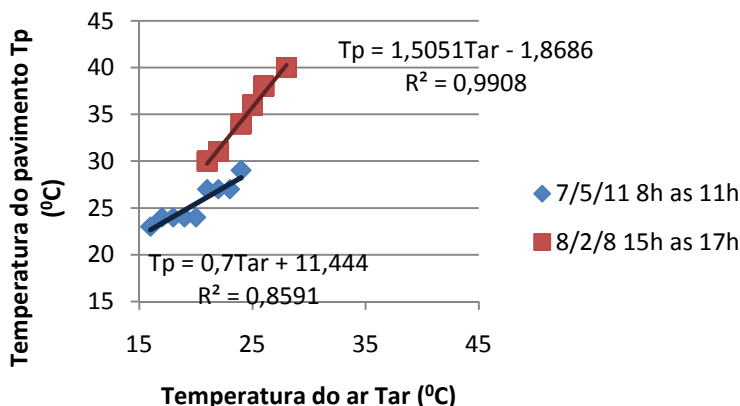


Figura 4.34 Relação entre temperaturas do ar e superfície do pavimento pelo levantamento FWD

Fonte: Autora

Nota-se que a temperatura do pavimento apresentou valores maiores em relação a temperatura do ar quando o período do dia é vespertino. Dada esta informação e considerando que as análises críticas de pavimentos se dão quanto maior for a temperatura, buscou-se nos dados da estação meteorológica, valores no período da tarde. A busca resultou em temperatura do ar máxima de $36,1^{\circ}\text{C}$ no dia 2/1/2009 às 13h e média de $22,22^{\circ}\text{C}$. Foi também localizada uma temperatura de $36,7^{\circ}\text{C}$, às 10h nos dias 1, 9 e 15 de janeiro de 2009, que foi considerada na avaliação.

A aplicação dos modelos obtidos pelos levantamentos FWD às temperaturas do ar resultaram nas temperaturas de topo do revestimento apresentadas na Tabela 4.12.

Tabela 4.12 Temperaturas encontradas na Serra das Araras

Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$)	Temperatura na superfície do pavimento ($^{\circ}\text{C}$)	Período de ocorrência
36,7	37,1	Manhã
36,1	52,5	Tarde
22,2	31,5	Tarde

Fonte: Autora

Pela aplicação dos modelos de Ayres, Rodrigues e Bells, apresentados em Medina (1997), foi possível conhecer o gradiente de

temperaturas ao longo da profundidade da camada de revestimento asfáltico. A Figura 4.35 mostra o gráfico de variação das temperaturas.

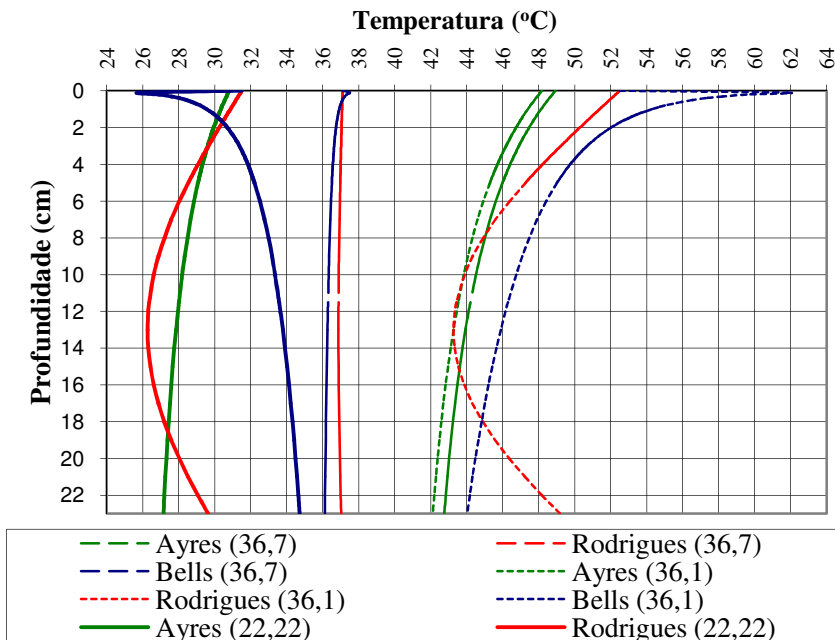


Figura 4.35 Variação de temperatura ao longo da profundidade do revestimento asfáltico

Fonte: Autora

Na profundidade de 23cm as médias de temperaturas obtidas, considerando as 3 metodologias) foram 38,6°C, 45,1°C e 30,5°C para as temperaturas de topo do revestimento de 37,1°C, 52,5°C e 31,5°C respectivamente.

O programa de análise não considera a variação de temperatura em função da profundidade da camada asfáltica. Desta forma, há a necessidade de se efetuar cálculos com valores que possibilitem a avaliação da camada com a temperatura na profundidade de análise. Para uma abrangência eficiente das diversas condições e enfatizando as temperaturas elevadas, foram destacadas as temperaturas de 52,5°C, 45,1°C e 25°C, como temperaturas de referência.

4.6 ANÁLISE DE ESTRUTURAS CONSIDERANDO CAMADAS COM COMPORTAMENTO ELÁSTICO LINEAR

Realizou-se um estudo considerando camadas elásticas lineares determinando as respostas computacionais da estrutura ao submeter-se ao carregamento do eixo dianteiro do guincho pesado e também ao carregamento do eixo padrão de 8,2tf com área circular carregada.

O programa permite a inserção de áreas de carregamentos retangulares e de formato elíptico. Lançando-se mão desta possibilidade, a área considerada para o semi-eixo dianteiro do guincho pesado foi constituída por faixas de cargas que estão apresentados na Figura 4.36, simulando o formato obtido nas impressões dos pneus dianteiros apresentados na Figura 4.32. A aproximação efetuada representa com muita proximidade as áreas reais obtidas pelas impressões dos pneus.

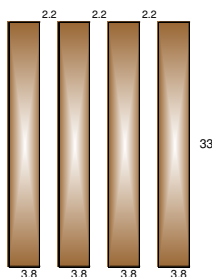


Figura 4.36 Croquis de área carregada do eixo dianteiro - medidas em cm
Fonte: Autora

Baseado nos dados de cargas apresentados na Tabela 3.3 é possível perceber que a carga por roda no eixo dianteiro é maior que em cada roda do eixo tandem. Ao passo que o eixo dianteiro recebe 32 kN por roda, no tandem duplo cada roda recebe aproximadamente 20,14 kN. Considerando, portanto, o eixo dianteiro como crítico neste veículo, justifica-se as análises serem efetuadas para este eixo.

Para que fosse feita uma simulação do comportamento de estruturas, considerou-se a estrutura real do pavimento da Serra das Araras e também revestimentos com 13cm, 18cm e 28cm sobre os 31 cm de material granular.

O processamento das estruturas foi realizado pelo programa Viscoroute, do LCPC. O programa possui interface amigável e se

propõe a análises complexas de estruturas de pavimentação. A Figura 4.37 mostra a página de entrada de dados de estrutura de pavimento.

	Z (m)	Epais. (m)	Module E (MPa)	Coef. de Poisson	Mas. Vol. (kg/m3)	Type de matériau	Comport.	Type de liaison	Module E0 (MPa)	T (°C)	k (loi H-S)	h (loi H-S)
1	0.230	0.230	4500.00000	0.300	2400.000	autre	Elastique	collée	0.00000	0.000	0.000	0.000
2	0.540	0.310	120.00000	0.350	1900.000	autre	Elastique	collée	0.00000	0.000	0.000	0.000
3		infini	100.00000	0.400	1700.000	autre	Elastique	collée	0.00000	0.000	0.000	0.000

Figura 4.37 Página de entrada de dados de estrutura para espessura de revestimento de 23cm (Viscoroute)

Fonte: Autora

Os dados para carregamento real do eixo simples de rodas simples do guincho (ESRS g) estão apresentados na Figura 4.38. Já os dados para o eixo simples de rodas duplas do eixo padrão (E Padrão) podem ser visualizados na Figura 4.39.

	Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)	Type de charge	a (m)	b (m)	x (m)	y (m)
1	0.000	0.000	8000.000	Rectangle	0.165	0.019	0.000	-0.090
2	0.000	0.000	8000.000	Rectangle	0.165	0.019	0.000	-0.030
3	0.000	0.000	8000.000	Rectangle	0.165	0.019	0.000	0.030
4	0.000	0.000	8000.000	Rectangle	0.165	0.019	0.000	0.090

Figura 4.38 Dados de carregamento para a área de roda do eixo dianteiro do guincho

Fonte: Autora



Figura 4.39 Dados de carregamento para a área de rodas do eixo padrão
Fonte: Autora

Como pode ser observado, o Viscoroute precisa de parâmetros de carga e geometria da área carregada para a realização dos cálculos. Como ocorre em vários programas de análise de pavimentos, a pressão considerada é função destes dois parâmetros fornecidos. A pressão de enchimento de pneus fica implícita, já que a área carregada é a área determinada para um pneu com pressão de inflação de 110 psi

Cabe salientar que a velocidade que figura com 20 m/s não tem efeito na análise, tendo em vista que todas as camadas foram tomadas por comportamento elástico como mostra a Figura 4.37.

Os resultados destes processamentos estão apresentados nas Figuras 4.40 a 4.43, respectivamente, para deflexões recuperáveis no topo do revestimento, deformação máxima unitária de tração radial no sentido do movimento do veículo na profundidade da face inferior do revestimento, deformação máxima unitária de tração radial no sentido transversal do movimento na face inferior do revestimento e deformação máxima unitária de compressão vertical no topo do subleito.

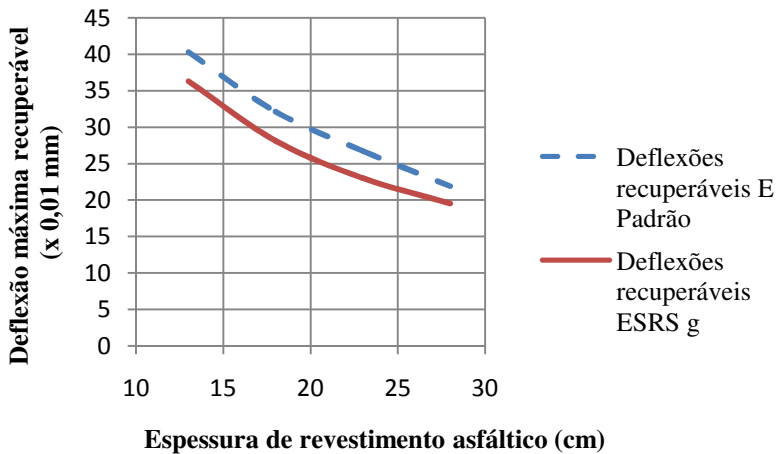


Figura 4.40 Deflexões máximas no topo do revestimento

Fonte: Autora

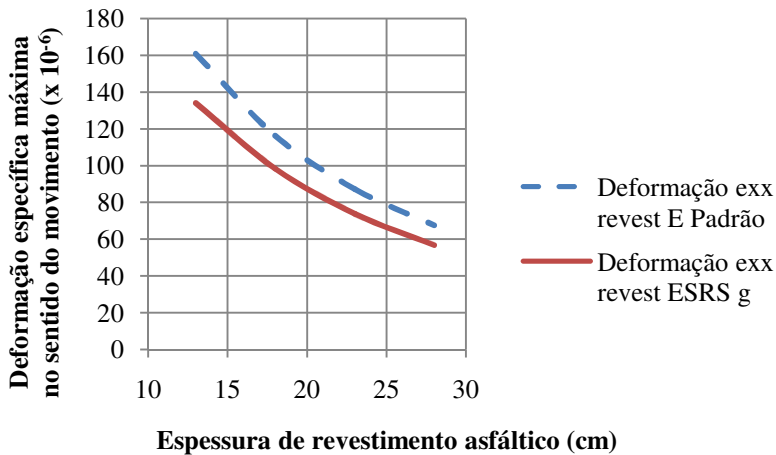


Figura 4.41 Deformação específica de tração horizontal no sentido do movimento do veículo na face inferior do revestimento

Fonte: Autora

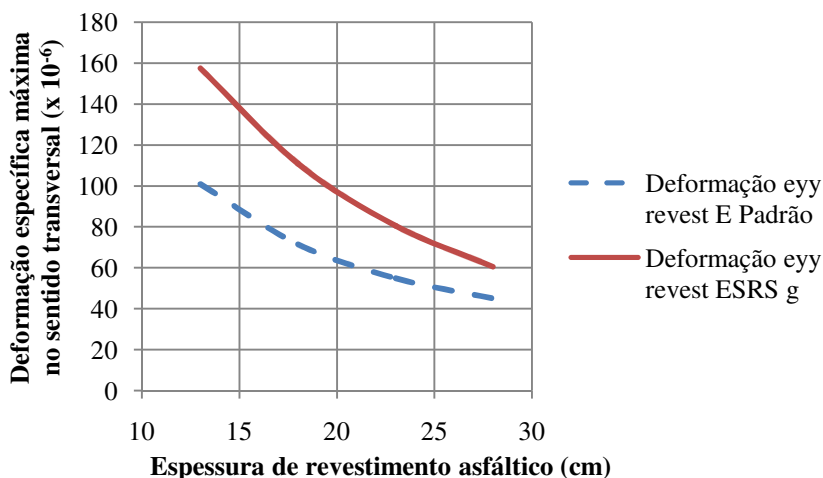


Figura 4.42 Deformação específica de tração horizontal no sentido transversal do movimento do veículo na face inferior do revestimento

Fonte: Autora

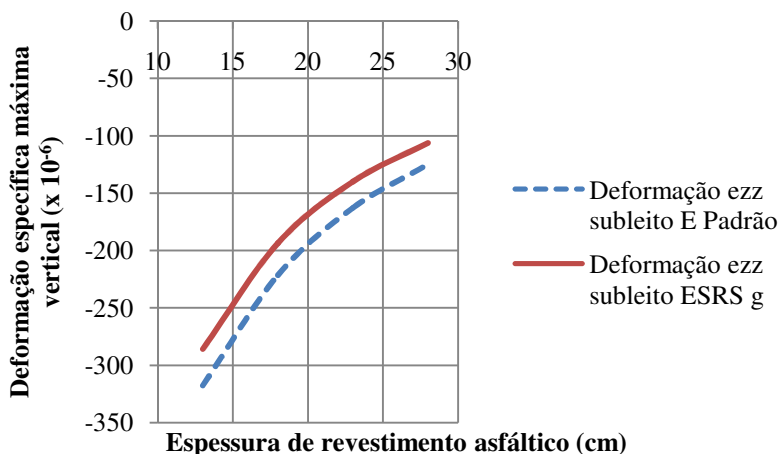


Figura 4.43 Deformação específica de compressão vertical no topo do subleito

Fonte: Autora

A visualização da Figura 4.40 indica que as deflexões encontradas para os dois tipos de carregamento tem relativa

proximidade de valores, embora o eixo padrão sempre tenha resultados maiores.

As deformações horizontais no sentido do fluxo também se mostram, na Figura 4.41, com valores maiores para o eixo padrão. Entretanto, nas deformações no sentido transversal ao movimento, os valores referentes ao carregamento do guincho são maiores que os valores calculados para o eixo padrão (Figura 4.42).

Finalmente, para os valores de deformação vertical de compressão no topo do subleito, as deformações do eixo padrão se mostraram ligeiramente superiores aos encontrados para a roda do guincho, como mostra a Figura 4.43.

Para os parâmetros analisados, os resultados obtidos, na maioria dos casos, mostram que os maiores valores são encontrados para o eixo padrão. Se a avaliação estivesse sendo feita para eixo simples de rodas duplas com área real, presumir-se-ia que na maioria dos valores a adoção de cálculos pelo eixo padrão colocaria os cálculos a favor da segurança. Entretanto, lembrando que o carregamento real é de um eixo simples de rodas simples, os resultados tornam-se preocupantes.

A proximidade das respostas entre as duas hipóteses pode indicar a necessidade de maior atenção aos dimensionamentos que são efetuados, porque indicam que os resultados de tensões, deformações e deflexões podem ser muito maiores do que os valores que normalmente são obtidos ao se aproximar as áreas e cargas às condições do eixo padrão.

Há que se considerar a questão de que a carga utilizada é resultado do contrapeso que o guincho possui e que solicita o eixo dianteiro de maneira mais intensa que os demais caminhões. Em condições de operação do guincho carregado, há alívio de carga no eixo dianteiro.

De acordo com o apresentado no item 3.3 desta dissertação, os estudos estatísticos com pesagens de veículos nas balanças de Queluz e Guararema mostram que um mesmo tipo de eixo apresenta moda de cargas diferentes dependendo da configuração e do peso bruto total (PBT) do veículo.

Nas Figuras 3.16 e 3.20 estão apresentadas as modas obtidas para eixos simples de rodas duplas para os dados de balança de Queluz e Guararema respectivamente, mostrando que porcentagens substanciais de veículos trafegam com esta magnitude de carga, girando no entorno de 6,2 t.

4.7 ANÁLISE DE ESTRUTURAS CONSIDERANDO CAMADAS COM COMPORTAMENTO TERMOVISCOELÁSTICO

Para esta etapa dos estudos, foram feitas várias simulações de carregamentos com velocidades e temperaturas variáveis. As velocidades utilizadas referem-se às velocidades indicadas na Tabela 4.10. A estrutura de pavimento utilizada é a da Serra das Araras com os parâmetros indicados na Tabela 4.11.

A matriz de situações avaliadas neste trabalho está apresentada na Tabela 4.13 para ESRS, Tabela 4.14 para ESRD, Tabela 4.15 para ETD e Tabela 4.16 para ETT.

Tabela 4.13 Matriz de processamento de estruturas para ESRS

Tipo de eixo	Temperatura (°C)	Velocidade (m/s)	Velocidade (km/h)	Carga por roda considerada (kN)	Tipo de Veículo de Referência
ESRS	25; 45,1 e 52,5	30,56	110	22.500	3C
		25,00	90	22.500	3C
		22,22	80	22.500	3C
		15,47	55,71	22.500	3C
		11,39	41,01	22.500	3C
		3,65	13,14	22.500	3C
		6,41	23,07	27.500	2S3

Fonte: Autora

Tabela 4.14 Matriz de processamento de estruturas para ESRD

Tipo de eixo	Temperatura (°C)	Velocidade (m/s)	Velocidade (km/h)	Carga por roda considerada (kN)	Tipo de Veículo de Referência
ESRD	25; 45,1 e 52,5	30,56	110	8.750	2C
		25,00	90	8.750	2C
		22,22	80	8.750	2C
		15,47	55,71	8.750	2C
		11,11	39,99	8.750	2C
		6,41	23,07	8.750	2C
		6,41	23,07	23.750	2S3

Fonte: Autora

Tabela 4.15 Matriz de processamento de estruturas para ETD

Tipo de eixo	Temperatura (°C)	Velocidade (m/s)	Velocidade (km/h)	Carga por roda considerada (kN)	Tipo de Veículo de Referência
ETD	25; 45,1 e 52,5	30,56	110	21.875	3C
		25,00	90	21.875	3C
		22,22	80	21.875	3C
		15,47	55,71	21.875	3C
		11,39	41,01	21.875	3C
		3,65	13,14	21.875	3C

Fonte: Autora

Tabela 4.16 Matriz de processamento de estruturas para ETT

Tipo de eixo	Temperatura (°C)	Velocidade (m/s)	Velocidade (km/h)	Carga por roda considerada (kN)	Tipo de Veículo de Referência
ETT	25; 45,1 e 52,5	30,56	110	21.250	2S3
		25,00	90	21.250	2S3
		22,22	80	21.250	2S3
		14,31	51,53	21.250	2S3
		14,31	51,53	11.250	4C
		10,96	39,34	21.250	2S3
		6,41	23,07	21.250	2S3

Fonte: Autora

As velocidades e cargas consideradas para ESRS e ESRD com veículo de referência 2S3 e 4C para eixos ETT referem-se a veículos que passaram nas velocidades indicadas. Para que houvesse uma relação de resultados entre estas velocidades para veículos e cargas diferentes, foram consideradas também para estas mesmas velocidades, o veículo de referência principal de cada tipo de eixo.

Os processamentos foram realizados, visando a obtenção dos resultados computacionais indicados na Tabela 4.17.

Tabela 4.17 Resultados esperados

Resultados esperados	Posição de análise
Deflexão máxima recuperável	Superfície do revestimento
Deformação específica horizontal – sentido X	Face inferior do revestimento
Deformação específica horizontal – sentido Y	Face inferior do revestimento
Deformação específica vertical	Topo do subleito

Fonte: Autora

Com estes processamentos foram elaborados diversos gráficos que mostram o comportamento da estrutura em cada uma das situações. Cada resposta computacional gerou duas matrizes de dados que permite a elaboração de dois gráficos, um no sentido do movimento do veículo (eixo X) e outro no sentido transversal (eixo Y). Os gráficos apresentados no Apêndice A16 mostram para cada tipo de eixo, gráficos no sentido X e no sentido Y para cada resultado, agrupados por velocidade (demonstrando a variação de valores pela variação de temperaturas) e agrupados por temperatura (demonstrando a variação de valores pela variação de velocidades). Muito embora os resultados mostrem-se bastante interessantes, somam uma quantidade muito grande de gráficos.

A Figura 4.44 mostra, a título de ilustração, uma saída de resultados do Viscoroute. O número de pontos é definido pelo programa para apresentação dos resultados. Geralmente são matrizes muito grandes de dados e, estes dados foram exportados para planilhas Excel. Usando formatação condicional de cores, foi possível fazer a visualização dos valores críticos mais facilmente. Este processo foi realizado para cada processamento e para cada resposta computacional. Na figura nota-se os pontos com maiores deformações de tração x nas regiões azuladas, que são locais sob a projeção das rodas de um ETT. Tomando-se, virtualmente por base, o eixo vertical representa o eixo X, que é no sentido do movimento e o eixo horizontal representa o eixo Y, que é o sentido transversal.

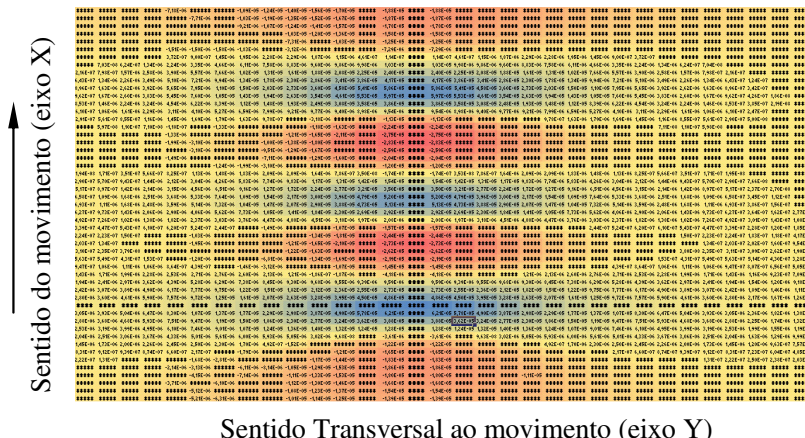


Figura 4.44 Saída de resultados do Viscoroute - Deformação ϵ_{xx} para ETT
 $v=6,41\text{m/s}$ $t=25\text{C}$
Fonte: Autora

De maneira geral, como seria previsível, todos os resultados esperados tendem a aumentar à medida que se aumenta a temperatura do pavimento e se diminui a velocidade de passagem do veículo. Ou seja, quanto maior a temperatura e menor a velocidade, maior será o valor destes resultados.

Estão apresentados na sequência os valores máximos de respostas obtidas para cada estrutura e situação de maneira a obterem-se relações das taxas de reduções ou acréscimos de valores em função das variáveis admitidas para este estudo.

A referência utilizada para a elaboração destes gráficos foi para velocidade de 90km/h, que é a velocidade diretriz da rodovia, e temperatura de 25°C. As relações foram obtidas dividindo-se o valor obtido para uma dada velocidade e temperatura e o valor obtido para a velocidade de 90km/h e temperatura de 25°C.

A Tabela 4.18 e as Figuras 4.45 a 4.48 apresentam os resultados para os cálculos feitos para o ESRS.

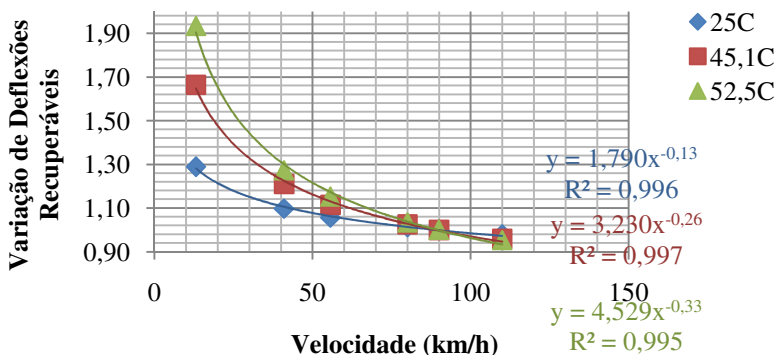
Tabela 4.18 Resumo de resultados obtidos para ESRS

Veículo	Carga por Eixo(N)	Temperatura (°C)	Velocidade (m/s)	Velocidade (km/h)	Deflexão uz (0,01mm)	Deformação máxima radial xx na face inferior do revestimento	Deformação máxima radial yy na face inferior do revestimento	Deformação máxima vertical zz no topo do subleito	Taxas de variação das respostas (valor de referência 90km/h e 25C)			
									Deflexão	DeformaçãoX	Deformação Y	Deformação z
2S3	27500	25	6,41	23,07	25,05	7,64E-05	1,14E-04	-1,56E-04	1,45	1,72	1,77	1,55
3C	22500		3,65	13,14	22,26	7,32E-05	1,10E-04	-1,50E-04	1,29	1,65	1,71	1,40
3C	22500		11,39	41,01	18,96	5,37E-05	7,91E-05	-1,23E-04	1,10	1,21	1,23	1,14
3C	22500		15,47	55,71	18,24	4,97E-05	7,27E-05	-1,16E-04	1,06	1,12	1,13	1,08
3C	22500		22,22	80,00	17,49	4,57E-05	6,60E-05	-1,09E-04	1,01	1,03	1,03	1,02
3C	22500		25,00	90,00	17,27	4,45E-05	6,41E-05	-1,07E-04	1,00	1,00	1,00	1,00
3C	22500		30,56	110,00	16,93	4,26E-05	6,09E-05	-1,04E-04	0,98	0,96	0,95	0,97
2S3	27500		6,41	23,07	69,34	2,83E-04	3,94E-04	-3,51E-04	1,73	1,59	1,54	1,42
3C	22500		3,65	13,14	66,79	2,49E-04	3,47E-04	-3,03E-04	1,66	1,40	1,36	1,22
3C	22500		11,39	41,01	48,57	2,10E-04	2,96E-04	-2,71E-04	1,21	1,18	1,16	1,09
3C	22500		15,47	55,71	44,75	1,98E-04	2,81E-04	-2,62E-04	1,12	1,11	1,10	1,06
3C	22500		22,22	80,00	41,17	1,83E-04	2,62E-04	-2,51E-04	1,03	1,03	1,02	1,01
3C	22500	25,00	90,00	40,14	1,78E-04	2,56E-04	-2,48E-04	1,00	1,00	1,00	1,00	
3C	22500	30,56	110,00	38,51	1,70E-04	2,46E-04	-2,42E-04	0,96	0,95	0,96	0,98	
2S3	27500	6,41	23,07	110,66	3,29E-04	4,79E-04	-4,00E-04	1,91	1,41	1,47	1,37	
3C	22500	3,65	13,14	112,25	2,81E-04	4,31E-04	-3,42E-04	1,93	1,20	1,32	1,17	
3C	22500	11,39	41,01	73,91	2,57E-04	3,61E-04	-3,11E-04	1,27	1,10	1,11	1,07	
3C	22500	15,47	55,71	66,95	2,49E-04	3,47E-04	-3,03E-04	1,15	1,06	1,07	1,04	
3C	22500	22,22	80,00	60,03	2,38E-04	3,31E-04	-2,94E-04	1,03	1,02	1,02	1,01	
3C	22500	25,00	90,00	58,05	2,34E-04	3,25E-04	-2,91E-04	1,00	1,00	1,00	1,00	
3C	22500	30,56	110,00	55,37	2,27E-04	3,16E-04	-2,86E-04	0,95	0,97	0,97	0,98	

Fonte: Autora

Foram inseridos os resultados para veículo 2S3 e velocidade de 23,07km/h na tabela. Estes valores foram calculados porque este ESRS passou a baixa velocidade e a título de verificação foram calculados os parâmetros para comparação. Entretanto, para se traçar curvas de comportamento, foram utilizados os resultados para um mesmo tipo de veículo, com carga igual para todos os processamentos.

A Figura 4.45 apresenta o comportamento das taxas de variação de deflexões máximas recuperáveis para as velocidades e temperaturas simuladas.

**Figura 4.45** Taxas de variação das Deflexões - ESRS

Fonte: Autora

Nota-se bom ajuste de valores para modelagem em potência. Para a temperatura mais alta, nota-se elevação de deflexões de 91% quando se varia a velocidade de 90km/h para 13,14km/h

Na Figura 4.46 estão apresentadas as deformações específicas máximas unitárias no sentido X na posição de face inferior do revestimento. Também os ajustes obtidos foram em modelos de potência com boa correlação de dados.

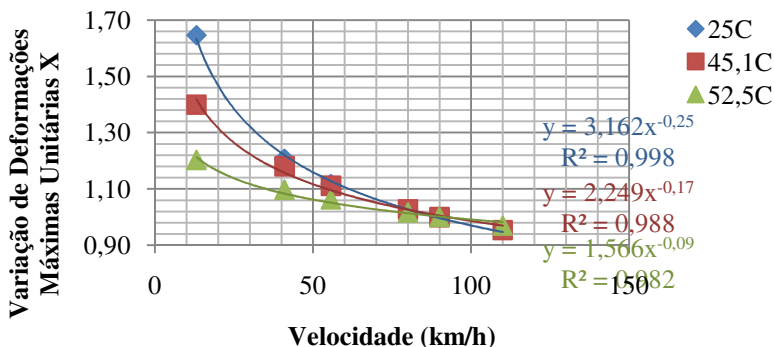


Figura 4.46 Taxas de variação das Deformações do eixo X - ESRS

Fonte: Autora

O mesmo pode ser observado na Figura 4.47 onde estão apresentados os resultados para deformações máximas unitárias em Y na face inferior do revestimento e também na Figura 4.48 para os resultados de deformações máximas unitárias em Z.

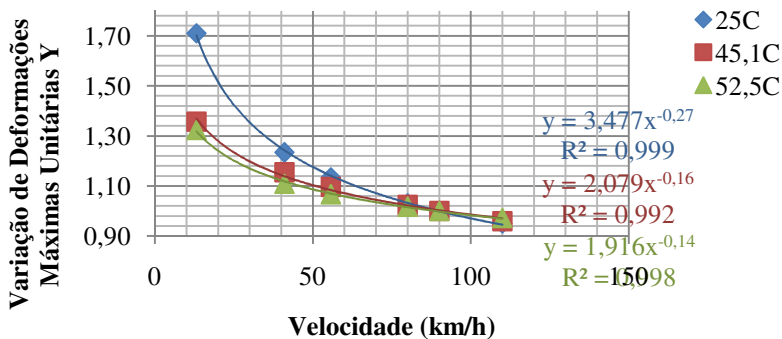


Figura 4.47 Taxas de variação das Deformações do eixo Y - ESRS

Fonte: Autora

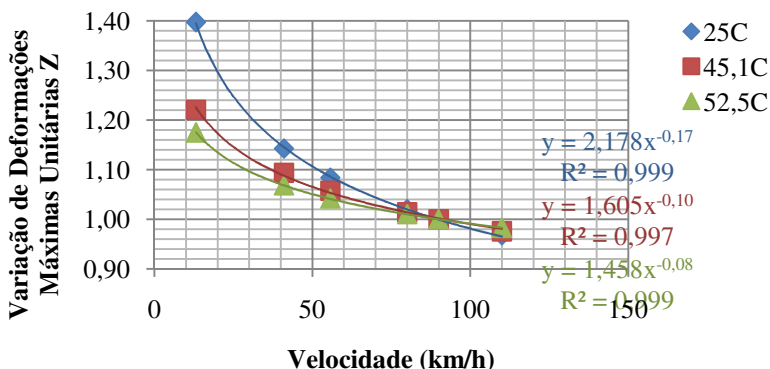


Figura 4.48 Taxas de variação das Deformações do eixo Z - ESRS

Fonte: Autora

A Tabela 4.19 e as Figuras 4.49 a 4.52 apresentam os resultados para os cálculos feitos para o ESRD.

Tabela 4.19 Resumo de resultados obtidos para ESRD

Veículo	Carga por Eixo(N)	Temperatura (°C)	Velocidade (m/s)	Velocidade (km/h)	Deflexão uz (0,01mm)	Deformação máxima radial xx na face inferior do revestimento	Deformação máxima radial yy na face inferior do revestimento	Deformação máxima vertical zz no topo do subleito	Taxas de variação das respostas (valor de referência 90km/h e 25C)			
									Deflexão	DeformaçãoX	Deformação Y	Deformação z
2S3	95000	25	6,41	23,07	37,86	1,16E-04	9,53E-05	-2,58E-04	3,87	5,36	4,49	5,11
2C	35000		6,41	23,07	11,02	2,97E-05	3,12E-05	-6,02E-05	1,13	1,37	1,47	1,19
2C	35000		11,11	39,99	13,13	3,72E-05	3,13E-05	-8,68E-05	1,34	1,72	1,47	1,72
2C	35000		15,07	55,71	12,69	3,43E-05	2,92E-05	-8,23E-05	1,30	1,58	1,37	1,63
2C	35000		22,22	80,00	9,86	2,22E-05	2,19E-05	-5,11E-05	1,01	1,02	1,03	1,01
2C	35000		25,00	90,00	9,78	2,17E-05	2,12E-05	-5,04E-05	1,00	1,00	1,00	1,00
2C	35000		30,56	110,00	9,66	2,08E-05	2,02E-05	-4,92E-05	0,99	0,96	0,95	0,98
2S3	95000		6,41	23,07	82,77	3,95E-04	2,37E-04	-2,58E-04	3,08	3,54	1,84	2,21
2C	35000		6,41	23,07	26,08	1,11E-04	1,27E-04	-1,15E-04	0,97	0,99	0,99	0,99
2C	35000		11,11	39,99	27,09	1,35E-04	8,13E-05	-1,74E-04	1,01	1,21	0,63	1,49
2C	35000		15,47	55,71	25,44	1,27E-04	7,83E-05	-1,69E-04	0,95	1,14	0,61	1,45
2C	35000		22,22	80,00	27,70	1,14E-04	1,31E-04	-1,18E-04	1,03	1,02	1,02	1,01
2C	35000	25,00	90,00	26,85	1,11E-04	1,29E-04	-1,17E-04	1,00	1,00	1,00	1,00	
2C	35000	30,56	110,00	25,48	1,08E-04	1,23E-04	-1,15E-04	0,95	0,96	0,97	0,98	
2S3	95000	6,41	23,07	123,34	4,89E-04	2,91E-04	-5,55E-04	6,47	6,41	3,00	5,53	
2C	35000	6,41	23,07	41,30	1,34E-04	1,59E-04	-1,31E-04	2,16	1,62	1,63	1,31	
2C	35000	11,11	39,99	38,47	1,59E-04	9,85E-05	-1,96E-04	2,02	1,92	1,01	1,96	
2C	35000	15,47	55,71	35,17	1,55E-04	9,41E-05	-1,91E-04	1,84	1,86	0,97	1,90	
2C	35000	22,22	80,00	19,50	8,53E-05	9,99E-05	-1,02E-04	1,02	1,03	1,03	1,01	
2C	35000	25,00	90,00	19,08	8,30E-05	9,77E-05	-1,00E-04	1,00	1,00	1,00	1,00	
2C	35000	30,56	110,00	18,42	7,91E-05	9,25E-05	-9,81E-05	0,97	0,95	0,95	0,98	

Fonte: Autora

A Figura 4.49 apresenta o comportamento das taxas de variação de deflexões máximas recuperáveis para as velocidades e temperaturas simuladas. Nota-se péssimo ajuste de valores para modelagem em potência. Para a temperatura mais alta, nota-se elevação de deflexões em mais de 110% quando se varia a velocidade de 90km/h para 23,07km/h

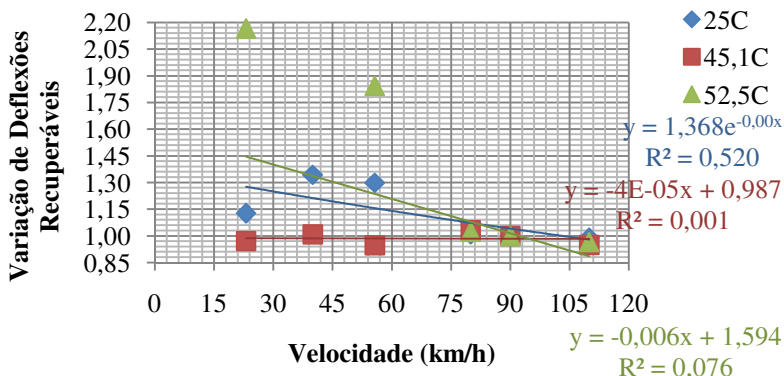


Figura 4.49 Taxas de variação das Deflexões - ESRD

Fonte: Autora

Na Figura 4.50 estão apresentadas as deformações específicas máximas unitárias no sentido X na posição de face inferior do revestimento. Também os ajustes obtidos foram péssimos não se verificando correlação de dados.

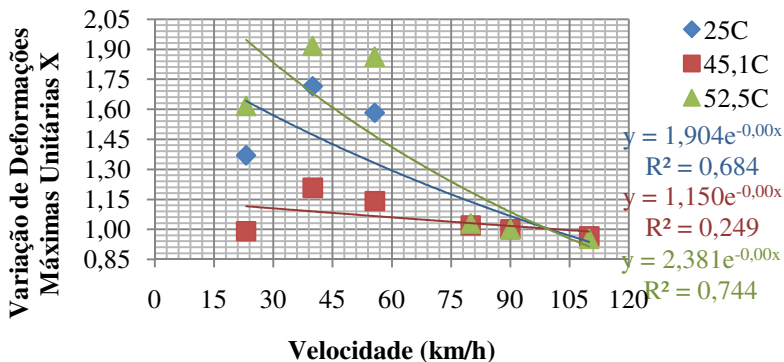


Figura 4.50 Taxas de variação das Deformações do eixo X - ESRD

Fonte: Autora

O mesmo pode ser observado na Figura 4.51 onde estão apresentados os resultados para deformações máximas unitárias em Y na face inferior do revestimento e também na Figura 4.52 para os resultados de deformações máximas unitárias em Z.

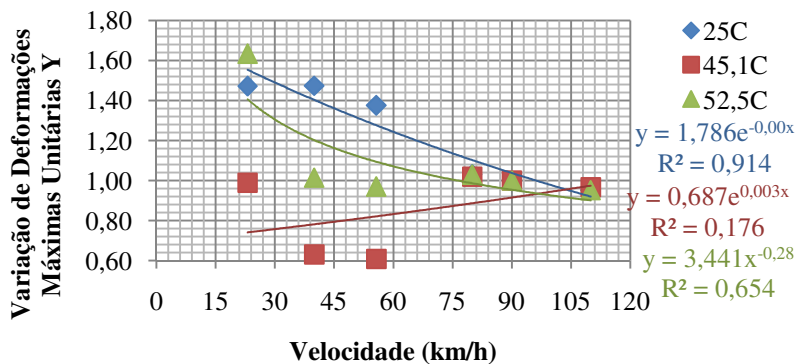


Figura 4.51 Taxas de variação das Deformações do eixo Y - ESRD

Fonte: Autora

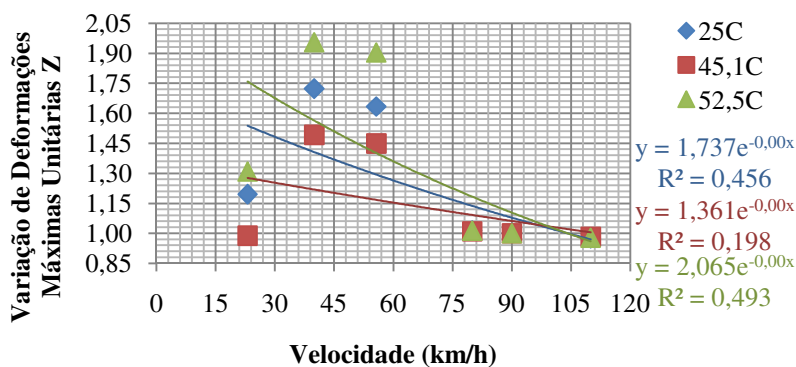


Figura 4.52 Taxas de variação das Deformações do eixo z - ESRD

Fonte: Autora

A Tabela 4.20 e as Figuras 4.53 a 4.56 apresentam os resultados para os cálculos feitos para o ETD.

Tabela 4.20 Resumo de resultados obtidos para ETD

Veículo	Carga por Eixo(N)	Temperatura (°C)	Velocidade (m/s)	Velocidade (km/h)	Deflexão uz (0,01mm)	Deformação máxima radial vx na face inferior do revestimento	Deformação máxima radial vy na face inferior do revestimento	Deformação máxima vertical zz no topo do subleito	Taxas de variação das respostas (valor de referência 90km/h e 25C)			
									Deflexão	Deformação X	Deformação Y	Deformação z
3C	87500	25	3,65	13,14	47,14	1,13E-04	1,07E-04	-2,64E-04	1,13	1,69	1,32	1,27
3C	87500		11,39	41,01	43,50	8,16E-05	9,02E-05	-2,28E-04	1,05	1,22	1,11	1,10
3C	87500		15,47	55,71	42,68	7,53E-05	8,78E-05	-2,19E-04	1,03	1,13	1,08	1,06
3C	87500		22,22	80,00	41,84	6,88E-05	8,27E-05	-2,10E-04	1,01	1,03	1,02	1,01
3C	87500		25,00	90,00	41,59	6,69E-05	8,10E-05	-2,08E-04	1,00	1,00	1,00	1,00
3C	87500		30,56	110,00	41,20	6,39E-05	7,84E-05	-2,03E-04	0,99	0,96	0,97	0,98
3C	87500		3,65	13,14	106,24	3,89E-04	2,36E-04	-4,71E-04	1,51	1,37	1,29	1,18
3C	87500		11,39	41,01	81,68	3,32E-04	1,99E-04	-4,27E-04	1,16	1,17	1,09	1,07
3C	87500		15,47	55,71	76,56	3,13E-04	1,93E-04	-4,16E-04	1,09	1,10	1,06	1,04
3C	87500		22,22	80,00	71,84	2,91E-04	1,85E-04	-4,04E-04	1,02	1,03	1,01	1,01
3C	87500		25,00	90,00	70,48	2,84E-04	1,83E-04	-3,99E-04	1,00	1,00	1,00	1,00
3C	87500		30,56	110,00	68,37	2,69E-04	1,78E-04	-3,91E-04	0,97	0,95	0,96	0,96
3C	87500	45,1	3,65	13,14	165,57	4,38E-04	3,30E-04	-5,24E-04	1,74	1,20	1,52	1,15
3C	87500		11,39	41,01	115,64	4,00E-04	2,52E-04	-4,83E-04	1,22	1,09	1,16	1,06
3C	87500		15,47	55,71	106,56	3,88E-04	2,36E-04	-4,72E-04	1,12	1,06	1,09	1,04
3C	87500		22,22	80,00	97,50	3,71E-04	2,20E-04	-4,59E-04	1,03	1,01	1,02	1,01
3C	87500		25,00	90,00	94,92	3,66E-04	2,17E-04	-4,55E-04	1,00	1,00	1,00	1,00
3C	87500		30,56	110,00	90,87	3,56E-04	2,11E-04	-4,49E-04	0,96	0,97	0,97	0,99

Fonte: Autora

A Figura 4.53 apresenta o comportamento das taxas de variação de deflexões máximas recuperáveis para as velocidades e temperaturas simuladas. Nota-se ótimo ajuste de valores para modelagem em potência. Para a temperatura mais alta, nota-se elevação de deflexões de 74% quando se varia a velocidade de 90km/h para 13,14km/h.

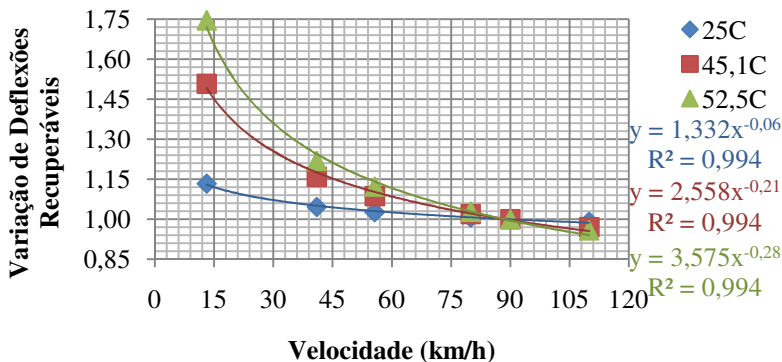


Figura 4.53 Taxas de variação das Deflexões - ETD

Fonte: Autora

Na Figura 4.54 estão apresentadas as deformações específicas máximas unitárias no sentido X na posição de face inferior do revestimento. Também os ajustes obtidos foram em modelos de potência com ótima correlação de dados.

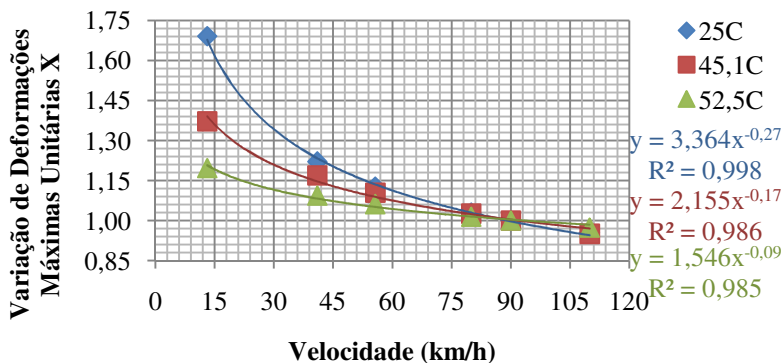


Figura 4.54 Taxas de variação das Deformações do eixo X - ETD

Fonte: Autora

O mesmo pode ser observado na Figura 4.55 onde estão apresentados os resultados para deformações máximas unitárias em Y na face inferior do revestimento e também na Figura 4.56 para os resultados de deformações máximas unitárias em Z.

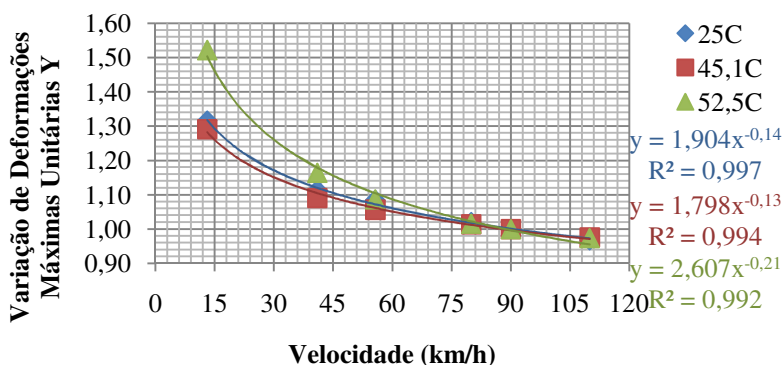


Figura 4.55 Taxas de variação das Deformações do eixo Y - ETD

Fonte: Autora

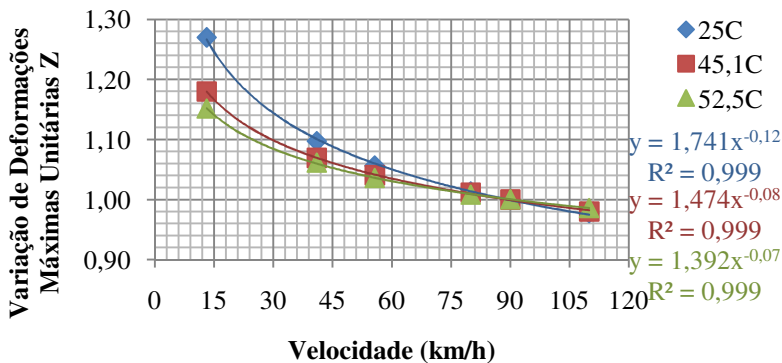


Figura 4.56 Taxas de variação das Deformações do eixo Z - ETD

Fonte: Autora

A Tabela 4.21 e as Figuras 4.57 a 4.60 apresentam os resultados para os cálculos feitos para o ETT.

Tabela 4.21 Resumo de resultados obtidos para ETT

Veículo	Carga por Eixo(N)	Temperatura (°C)	Velocidade (m/s)	Velocidade (km/h)	Deflexão uz (0,01mm)	Deformação máxima radial xx na face inferior do revestimento	Deformação máxima radial yy na face inferior do revestimento	Deformação máxima vertical zz no topo do subleito	Taxas de variação das respostas (valor de referência 90km/h e 25C)			
									Deflexão	DeformaçãoX	Deformação Y	Deformação z
4C	135000	25	14,31	51,53	26,98	3,92E-05	4,82E-05	-1,16E-04	0,54	0,59	0,58	0,56
253	255000		6,41	23,07	53,32	9,29E-05	1,04E-04	-2,39E-04	1,08	1,39	1,25	1,16
253	255000		10,96	39,34	51,70	7,97E-05	9,61E-05	-2,25E-04	1,04	1,19	1,15	1,09
253	255000		14,31	51,53	50,96	7,41E-05	9,10E-05	-2,18E-04	1,03	1,11	1,09	1,06
253	255000		22,22	80,00	49,92	6,62E-05	8,51E-05	-2,08E-04	1,01	0,99	1,02	1,01
253	255000		25,00	90,00	49,54	6,69E-05	8,36E-05	-2,06E-04	1,00	1,00	1,00	1,00
253	255000		30,56	110,00	49,26	6,14E-05	8,10E-05	-2,01E-04	0,99	0,92	0,97	0,98
4C	135000		14,31	51,53	45,12	1,64E-04	1,00E-04	-2,13E-04	0,58	0,59	0,56	0,56
253	255000		6,41	23,07	99,18	3,55E-04	2,11E-04	-4,32E-04	1,27	1,28	1,18	1,13
253	255000		10,96	39,34	89,36	3,26E-04	1,95E-04	-4,13E-04	1,14	1,18	1,08	1,08
253	255000		14,31	51,53	75,66	3,10E-04	1,89E-04	-4,03E-04	0,97	1,12	1,05	1,06
253	255000		22,22	80,00	79,53	2,84E-04	1,82E-04	-3,86E-04	1,02	1,03	1,01	1,01
253	255000	25,00	90,00	78,21	2,76E-04	1,79E-04	-3,82E-04	1,00	1,00	1,00	1,00	
253	255000	30,56	110,00	76,16	2,64E-04	1,75E-04	-3,74E-04	0,97	0,95	0,98	0,98	
4C	135000	14,31	51,53	61,81	2,03E-04	1,30E-04	-2,42E-04	0,61	0,57	0,61	0,56	
253	255000	6,41	23,07	146,63	4,15E-04	3,03E-04	-4,85E-04	1,44	1,16	1,41	1,13	
253	255000	10,96	39,34	125,51	3,95E-04	2,63E-04	-4,66E-04	1,24	1,10	1,23	1,08	
253	255000	14,31	51,53	116,62	3,84E-04	2,46E-04	-4,56E-04	1,15	1,07	1,15	1,06	
253	255000	22,22	80,00	104,58	3,64E-04	2,21E-04	-4,41E-04	1,03	1,02	1,03	1,02	
253	255000	25,00	90,00	101,55	3,58E-04	2,15E-04	-4,30E-04	1,00	1,00	1,00	1,00	
253	255000	30,56	110,00	97,69	3,49E-04	2,05E-04	-4,31E-04	0,96	0,97	0,96	1,00	

Fonte: Autora

A Figura 4.57 apresenta o comportamento das taxas de variação de deflexões máximas recuperáveis para as velocidades e temperaturas simuladas. Nota-se bom ajuste de valores para modelagem em potência, com algumas distorções. Para a temperatura mais alta, nota-se elevação real de deflexões de 44% quando se varia a velocidade de 90km/h para 23,07km/h

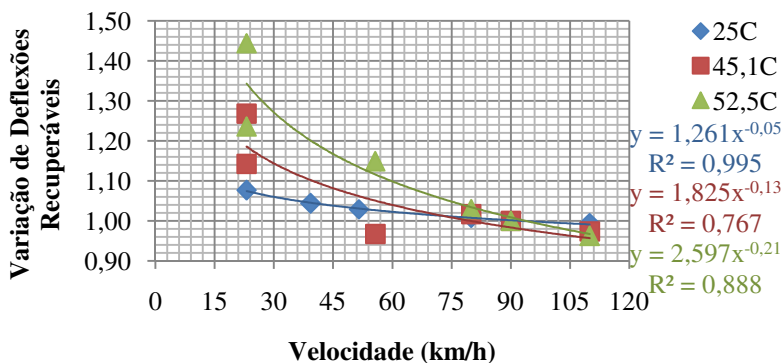


Figura 4.57 Taxas de variação das Deflexões - ETT

Fonte: Autora

Na Figura 4.58 estão apresentadas as deformações específicas máximas unitárias no sentido X na posição de face inferior do revestimento. Também os ajustes obtidos foram em modelos de potência com boa correlação de dados.

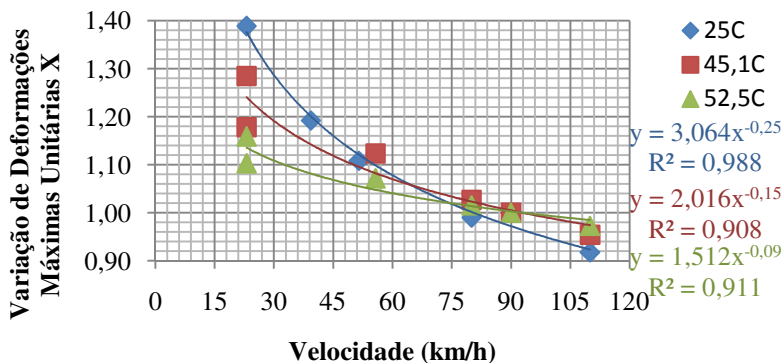


Figura 4.58 Taxas de variação das Deformações do eixo X - ETT

Fonte: Autora

O mesmo pode ser observado na Figura 4.59 onde estão apresentados os resultados para deformações máximas unitárias em Y na face inferior do revestimento e também na Figura 4.60 para os resultados de deformações máximas unitárias em Z.

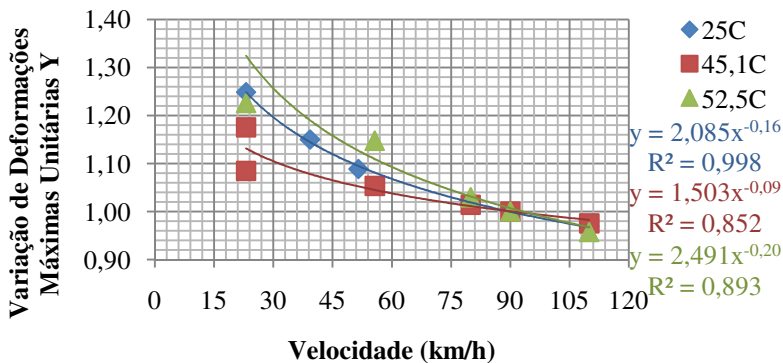


Figura 4.59 Taxas de variação das Deformações do eixo Y – ETT

Fonte: Autora

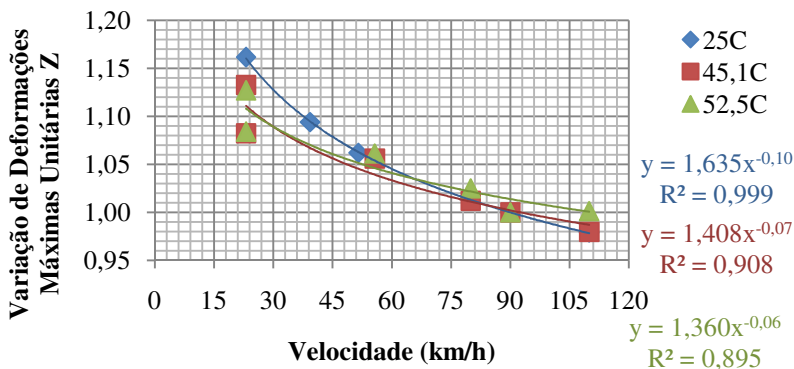


Figura 4.60 Taxas de variação das Deformações do eixo Z - ETT

Fonte: Autora

4.8 COMENTÁRIOS GERAIS

A seguir estão apresentados comentários a respeito dos valores obtidos nas análises apresentadas.

4.8.1 Analisadores de Tráfego

De maneira geral, a composição de frota indica 32% de veículos comerciais (Figura 4.1) e nota-se sazonalidade nos dias de semana, onde

no cômputo total, a porcentagem de veículos comerciais variou entre 20,38% aos domingos e 38,15% às quartas-feiras (Figura 4.3).

Nas distribuições de veículos comerciais pelas faixas de rolamento, a recomendação indicada na Tabela 2.5 do DNIT (2006) é de 35 a 48% de veículos comerciais para 4 faixas e 25 a 48% para 6 faixas, bidirecionais.

Para os segmentos monitorados da Rodovia Presidente Dutra, a grande maioria dos segmentos possui 2 faixas em cada sentido, portanto a faixa de veículos comerciais admitida seria de 70 a 96% unidirecional. Os valores encontrados e apresentados na Figura 4.5 indicam na média 80% dos veículos comerciais trafegando na faixa mais carregada, salvo exceções onde o fluxo sofre influência de movimentos relacionados a acessos importantes.

Há dois ATs em locais com 3 faixas de rolamento, um em Guarulhos (região metropolitana de São Paulo) e outro em Nova Iguaçu (região metropolitana do Rio de Janeiro). Os resultados obtidos mostram que a distribuição da frota comercial nas faixas pode variar dependendo das condições operacionais locais, mas há uma redistribuição de porcentagens que leva a avaliar qual seria a faixa mais carregada. No caso do AT em Guarulhos as porcentagens estão distribuídas em 4,62% na faixa 1, 45,01 na faixa 2 e 50,37 na faixa 3. Já em Nova Iguaçu, a faixa 1 recebeu 26,49% dos veículos comerciais, 49,05% passaram pela faixa 2 e os 24,46% remanescentes passaram pela faixa 3. Nos casos de 3 faixas, a faixa mais solicitada teria porcentagem de veículos comerciais entre 50% e 96% unidirecional, de acordo com a orientação do DNIT apresentada na Tabela 2.5. Em relação aos percentuais obtidos para Guarulhos, quase todos os veículos comerciais se dividiram em proporções quase iguais nas faixas 2 e 3, que de certa forma, estaria compatível com a orientação do Manual dos Estudos de Tráfego. Entretanto, as porcentagens observadas na Baixada Fluminense, indicam outro tipo de comportamento, com praticamente metade dos veículos comerciais na faixa 2 e o restante distribuindo-se entre as faixas 1 e 3.

4.8.2 Praças de Pedágio

Os dados provenientes das praças de pedágio permitem a visualização do comportamento da frota ao longo dos anos da concessão. Observando a Figura 3.11 destacam-se algumas considerações.

As maiores porcentagens de veículos indicadas pelo *Land Transportation Standards Subcommittee* (1997) indicavam a presença

significativa de veículos com cinco eixos no Canadá, EUA e Mexico. A Tabela 4.22 apresenta um comparativo entre os valores:

Tabela 4.22 Comparativo entre veículos comerciais de maior incidência

País	Maior porcentagem	2 ^a Maior
Canadá	5 eixos (51,0%)	6 eixos (18,5%)
EUA	5 eixos (42,2%)	2 eixos (35,5%)
Mexico	6 eixos (37,3%)	5 eixos (35,2%)
Brasil (ANTT 2011)	8t a 29t (35,0%)	5 eixos (26,7%)
Brasil(NovaDutra 1997)	3 eixos (42,6%)	5 eixos (23,3%)
Brasil (NovaDutra	3 eixos (34,0%)	5 eixos (24,5%)

Fonte: Autora

Como pode ser observado, o maior volume de veículos comerciais que circulam na Rodovia Presidente Dutra são veículos com três eixos, tanto em 1997 como em 2009. O segundo maior volume está entre os veículos com cinco eixos, confirmando a tendência identificada no estudo de 1997. Os valores obtidos para o ano de 2009 apresentam-se muito próximos aos valores da ANTT, apesar de que veículos com capacidade de carga até 29t englobam veículos com dois e três eixos.

4.8.3 Balanças de Queluz e Guararema

No que se refere aos resultados das análises feitas com os dados provenientes das balanças de Queluz (Pista Norte) e Guararema (Pista Sul), há diversas considerações a serem feitas.

De acordo com os estudos da *Land Transportation Standards Subcommittee*, cujos valores estão apresentados no item 2.1, no Canadá os dois veículos que compõem maior volume de tráfego são os de cinco e seis eixos. Para os Estados Unidos, cinco e dois eixos e para o México foram seis e cinco eixos. Nas balanças analisadas, os maiores volumes de tráfego foram de três e cinco eixos (3C e 2S3) para Queluz e três e dois eixos (3C e 2C) para Guararema. A visualização dos gráficos de histogramas de cargas, apresentados nos Apêndices A5 e A8, e a observação dos valores referenciais apresentados nas Tabelas 4.6 e 4.8 para balanças de Queluz e Guararema, respectivamente, mostram que as distribuições, em nenhum dos gráficos gerados, possuem simetria de valores em relação à moda, ou seja, não possuem comportamento da curva normal. Possuem assimetrias que variam para esquerda e para direita, além de possuírem, na grande maioria duas modas. Os valores

médios de cargas no geral não estão incluídos em nenhuma das faixas de moda para cada veículo. Tais observações sugerem maior cautela ao projetista quando fizer tratamento dos dados para projeto.

Considerações de valores característicos calculados por valores de médias adicionados ao desvio padrão são comportamentos de curva normal o valor de média mais desvio padrão pode ser diferente da mesma média menos o desvio padrão, gerando áreas de probabilidade diferentes. Esta consideração se agrava com o fato da média, na maioria dos casos, sequer estar incluída nas faixas de moda.

Nas Figuras 4.24 a 4.27 para a balança de Queluz e Figuras 4.28 a 4.31 para a balança de Guararema estão apresentadas as faixas de cargas e sobrecargas para cada tipo de eixo. No comportamento geral das curvas, nota-se a tendência dos valores de moda para cada eixo se deslocarem para faixas de cargas maiores, a medida que o veículo em que este eixo está instalado tenha PBT maiores. Desta forma, a moda de valores de um mesmo tipo de eixo aumenta quanto maior a capacidade de carga que o veículo possuir. Este fato sugere que seria mais adequado se o valor máximo admitido para cada um dos eixos fosse atrelado também ao PBT do veículo.

As sobrecargas nos eixos ocorrem nas duas balanças e em todos os tipos de eixos. Na maioria dos casos os excessos estão dentro da tolerância permitida por lei de 7,5%. A Tabela 4.23 mostra, de forma resumida, os maiores excessos observados.

Tabela 4.23 Principais sobrecargas observadas

Eixo	Balança	Sobrecargas	Tolerância
ESRS	Queluz	30% 2S3 e 3S3 (6t a 7t)	6t a 6,45t
	Guararema	50% 3D4 (6t a 7t)	
		45% 3I3 (6t a 7t)	
		30% 3S3 (6t a 7t)	
		15% 2S3 (6t a 7t)	
ESRD	Queluz	40% 2S3 e 3I3 1° e 3° eixo (10t a 12t)	10t a 10,75t
	Guararema	20% 2S3 e 3I3 1°, 2° e 3° eixo (10t a 12t)	
ETD	Queluz	30% 3D4 1° e 3° eixo (17t a 19t)	17t a 18,275t
	Guararema	30% 3D4 1°, 2° e 3° eixo (17t a 20t)	
ETT	Queluz	10% 2S3 e 20% 3S3 (26t a 29t)	25,5t a 27,41t
	Guararema	17% 2S3 e 23% 3S3 (26t a 29t)	

Fonte: Autora

As porcentagens são expressivas, na maioria dos casos acima de 20% o que sugere que os carregamentos são dimensionados considerando o acréscimo de carga da tolerância.

Os excessos observados acima da faixa de tolerância não apresentam volumes tão expressivos, pois os excessos praticados estão massivamente dentro da tolerância permitida por lei.

A Tabela 4.24 apresenta estes excessos por eixo. Foram também indicadas as porcentagens de eixos que passaram com cargas acima da tolerância e que representaram mais de 1% dos eixos daquele tipo de veículo, dentro da faixa de maior incidência de excessos, que é sempre a faixa contígua superior ao da tolerância.

Tabela 4.24 Excessos acima das classes das tolerâncias

Tipo de eixo	Porcentagem acima da tolerância (Guararema/ Queluz)	Porcentagem ao tipo de veículo, de eixos com excesso acima de 1%	Faixa de maior incidência de excessos (t)
ESRS	0,29% / 0,30%	1,25% 3I3	7t a 8t
ESRD	1,79% / 2,35%	7,35% 3I3 (1) 4,12% 3I3 (2) 5,43% 3I3 (3) 3,84% 2S3 5,72% 3I3 (1) 6,56% 3I3 (2) 5,41% 3I3 (3)	11t a 12t
ETD	0,49% / 1,20%	1,24% 3D4 (1) 2,25% 3D4 (2) 2,39% 3D4 (3) 2,11% 3D4 (2)	19t a 20t
ETT	1,90% / 1,70%	2,41% 3S3 1,09% 2S3 213% 3S3	28t 29t

Fonte: Autora

Os excessos observados em relação ao PBT estão apresentados na Tabela 4.25.

Tabela 4.25 Excessos de cargas no PBT

Veíc.	Intervalo de tolerância (t)	Excesso no intervalo (%)		Excesso além do intervalo (%)	
		Queluz	Guararema	Queluz	Guararema
2C	16t - 16,8t	0,30	0,19	0,13	0,06
3C	23t - 24,15t	8,08	4,28	2,89	1,08
2S2	33t -34,65t	0,66	0,96	0,18	0,18
2C2	36t - 37,8t	0,14	0,22	0,14	0,12
2S3	41,5t -43,57	5,99	9,86	0,56	1,66
3S3	45t - 47,25t e 48,5t - 50,925t	-	-	0,99	2,33
3I3	45t - 47,25t e 57t - 59,85t	-	-	0,03	0,06
3D4	45t - 47,25t e 57t - 59,85t	-	-	3,39	4,16

Fonte: Autora

Nota-se quantidade expressiva de veículos 3C e 2S3 circulando com excessos dentro do limite da tolerância. Estes veículos, assim como os 3S3 e 3D4 também apresentam porcentagens significativas de veículos acima do limite de tolerância.

Vale comentar que a tolerância de pesagem se dá para que se cubram eventuais imprecisões de pesagens, isto é, a tolerância seria para a balança e não para a carga transportada. Os erros admitidos nas calibrações e aferições dos sistemas de balanças impõem erro máximo na balança lenta de 0,5% e o sistema de balança seletiva opera nas balanças da NovaDutra com erros de até 3%.

4.8.4 Levantamentos de Campo

Na Tabela 4.9 estão apresentadas as áreas de contato obtidas através do tratamento das impressões obtidas nas placas de EVA com os pneus do guincho pesado da concessionária.

As cronometragens realizadas na Serra das Araras possibilitaram conhecer-se o tempo de percurso, conseqüentemente conhecer a velocidade média que os veículos comerciais desenvolvem em condições de rampas acentuadas. Para o tempo que se havia de filmagens disponibilizadas e que foram coletadas as informações, foram avaliados 113 veículos onde a velocidade máxima desenvolvida foi de 55,17km/h; a mínima foi de 13,14km/h e a velocidade média foi de

40,78km/h. De acordo com o estudo de Wildmer (2002), para rampas de aproximadamente 5%, a velocidade de trânsito estaria entre 20 e 40 km/h com média de 30km/h. A amostra obtida mostra uma faixa mais larga de valores com média acima do valor indicado no trabalho mencionado. A velocidade desenvolvida pelo guincho foi de 41,5 km/h, valor superior ao valor máximo da faixa indicada.

A velocidade diretriz da rodovia é de 90km/h. Em trechos sinuosos de serra como a pista de subida da Serra das Araras no sentido sul onde foram feitas estas avaliações a velocidade máxima permitida é de 80km/h. O único trecho com velocidade ainda menores está na pista norte da Serra das Araras que por seu traçado com raios pequenos tem controle de velocidade para máximo de 40km/h.

Devido ao fato das câmeras disponíveis estarem situadas ao início e final da Serra, não houve a possibilidade de se determinar velocidades parciais específicas para as rampas mais severas, na ordem de 7% e 8%. Por outro lado, comprimentos muito pequenos podem não ser suficientes para caracterizar a velocidade de transito dos veículos.

As pressões de inflação dos pneus do guincho foram de 110 psi para todos os pneus. O estudo de Albano (1998) indica áreas de contato para pressões de até 100 psi. A ocorrência mais próxima vista neste trabalho é no primeiro grupo de pneus do tandem duplo (dianteiro – conjuntos 3+5 e 6+4) que pesou pouco mais de 80 kN. No estudo mencionado, para pressão de 100 psi e 82 kN no eixo ESRD a área de contato obtida foi de 767,75 cm². Considerando que a pressão dos pneus do guincho eram maiores, esperar-se-ia áreas no entorno de 767,75 cm² para cada conjunto de dois pneus traseiros. Dos conjuntos de pneus avaliados o mais próximo do valor é o conjunto 7+9 que resultou em área total de 790,8 cm². Os valores estão apresentados na Figura 4.61.

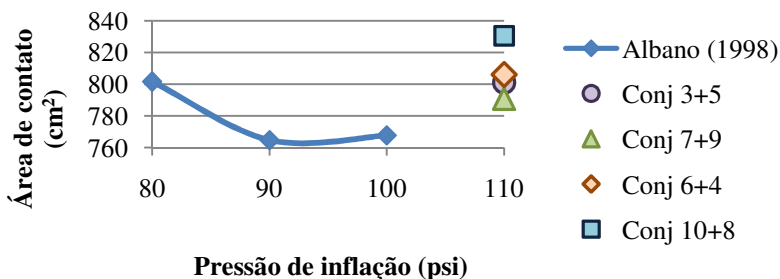


Figura 4.61 Áreas de contato para duplas de pneus emparelhados

Fonte: Autora

Sendo a extrapolação de valores uma prática não recomendável, fica a intuitiva consideração de que as áreas obtidas podem estar maiores que esperadas em relação ao estudo mencionado. Dos fatores que podem influenciar nas respostas obtidas, indica-se a utilização de pneus que, embora sejam radiais como os avaliados no trabalho referenciado, podem apresentar comportamentos diferenciados característicos do produto resultante do processo de fabricação. Condições climáticas tais como temperatura e pressão atmosférica podem também influenciar nos resultados, bem como o tipo de pavimento.

No que se refere à geometria da área de contato obtidas dos pneus, nota-se o formato retangular com bordas arredondadas em todas as impressões, que confirmam a afirmação feita por Albano (2000) que indica este tipo de geometria para cargas e pressões de inflação elevadas. Não se verificou áreas com formato circular como apresentado pela STRATA (2007), provavelmente pelas condições diferentes de obtenção das impressões, que foram para pressão de 80 a 85psi e tempo de aplicação de 1s.

4.8.5 Análise de Pavimentos com Camadas Elásticas

As análises efetuadas, considerando-se camadas com comportamento elástico, mostram que para a condição de carregamento de eixo dianteiro do guincho pesado, as respostas computacionais ficam próximas aquelas calculadas para um eixo simples de rodas duplas com carga padrão de 8,2t.

Os valores de fator de equivalência de eixo, para um eixo simples de roda simples com 6,3t, resultam em 0,360 e 0,432 do eixo padrão calculados pelas premissas do *United States Army Corps of Engineers* (USACE) e da *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) respectivamente. Estes fatores estão muito aquém da relação entre valores obtidos nos cálculos apresentados.

4.8.6 Análise de Pavimentos Considerando Revestimento com Comportamento Viscoelástico

A visualização dos gráficos gerados com os resultados dos processamentos pelo Viscoroute, nas matrizes definidas para análise, apresentados no Apêndice A16, mostram as variações das respostas computacionais escolhidas para a estrutura analisada.

A Figura 4.62 mostra representativamente as deformações transversais no sentido longitudinal pela passagem do eixo tandem triplo em diversas velocidades. O comportamento confirma a afirmativa de que as deformações aumentam a medida que a velocidade de deslocamento do veículo diminui, apresentada pela referência de Garg e Hayhoe (2001).

A curva indicada em linha tracejada refere-se aos resultados obtidos para o veículo 4C que foi observado se deslocando a 14,31 m/s. O gráfico serve para mostrar as respostas que este veículo gerou, mas para a análise de sensibilidade de resultados, vale considerar os demais resultados que são todos com o eixo do 2S3 e com a mesma carga.

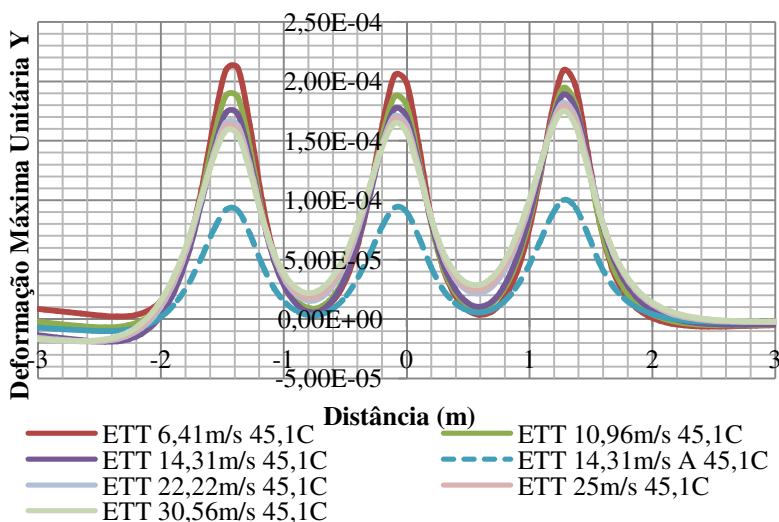


Figura 4.62 Deformações ϵ_{yy} no sentido longitudinal do deslocamento para temperatura de $45,1^\circ\text{C}$ provocadas pela passagem de um semi-eixo tandem triplo

Fonte: Autora

O gráfico apresentado por Bodin (2005) que relaciona valores medidos com valores calculados pelo Viscoroute, refere-se ao carregamento de um semi-eixo tandem duplo com 311 kN, trafegando a 2 km/h (equivalente a 0,56 m/s), aplicado no conjunto a um pavimento espesso com 32cm de material betuminoso. A resposta apresentada possui como título “Deformação transversal na face inferior das camadas asfálticas”. Considerando as cargas, temperaturas, velocidades e estruturas da pesquisa, foram escolhidos os resultados que mais se

aproximassem das condições apresentada na referência. Os resultados apresentados referem-se ao tandem duplo e as deformações foram geradas com a velocidade de 3,65 m/s que equivale a 13,14 km/h. A temperatura considerada é de 25°C, pois a referência não menciona este parâmetro, mas nas orientações gerais do programa, há um valor *default* de 15°C como valor recomendado para análises. Os gráficos estão apresentados na Figura 4.63.

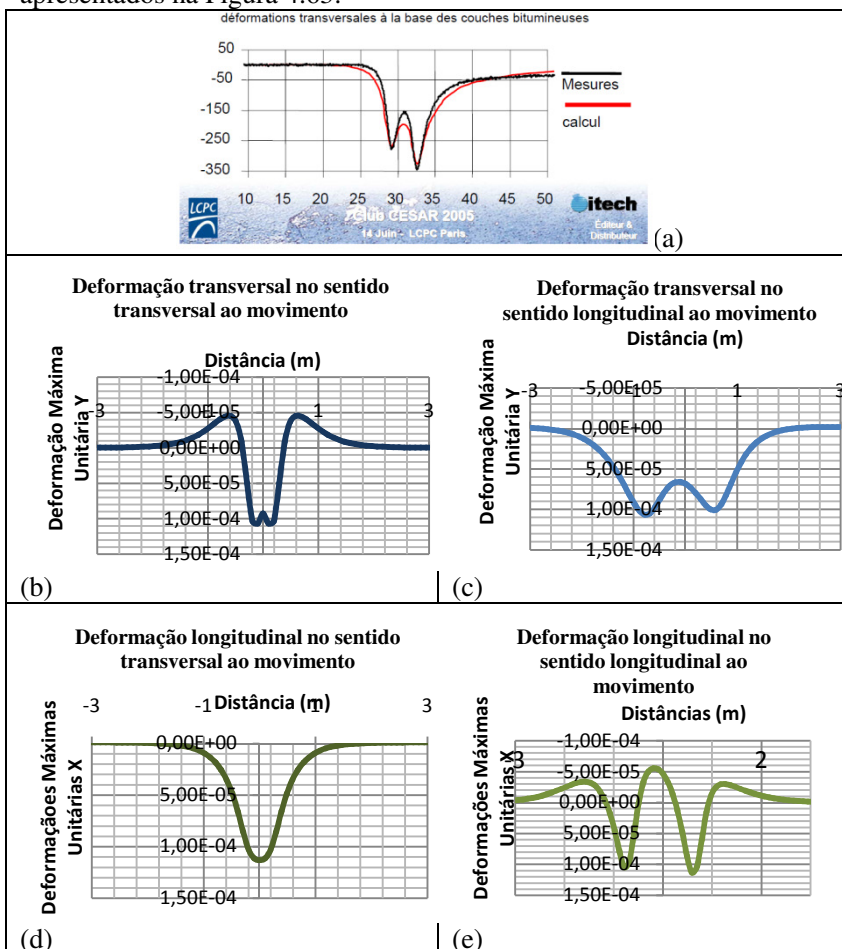


Figura 4.63 - Deformações horizontais na face inferior do revestimento mediante carga de ETD

Fonte: Autora

Os gráficos obtidos no sentido transversal para deformações ϵ_{xx} e ϵ_{yy} são simétricos em relação ao eixo como podem ser vistos nas Figuras 4.63 (b) e (d). As assimetrias de comportamento são observadas no sentido longitudinal (sentido do movimento do veículo), uma vez que a passagem do primeiro grupo de rodas interfere na resposta do pavimento no segundo grupo de rodas. Desta forma, as deformações na posição da passagem do 2º grupo de rodas no eixo tandem duplo é maior que as deformações do 1º grupo e no caso dos eixos tandem triplo, o 3º grupo de rodas terá deformações maiores que as demais.

Salienta-se que no Apêndice A15 estão apresentados todos os gráficos obtidos no plano fatorial escolhido para as análises. Os gráficos visualizados na Figura 4.63 apenas foram tratados no que se refere à inversão de valores do eixo vertical para melhor visualização aos dados apresentado por Bodin (2005).

No que se refere às variações de deformações indicadas por Siddharthan, Yao e Sebaaly (1998), as taxas de variação de deformações máximas de tração, variando-se velocidades de 36 km/h para 108 km/h, obteve-se decréscimo de 23% para pavimentos delgados (15 cm de revestimento asfáltico) e 33% para pavimentos espessos (25 cm de revestimento asfáltico). Os valores obtidos nos cálculos deste trabalho que podem ser comparados a esta condição de avaliação estão indicados na Tabela 4.26.

Tabela 4.26 Percentagens de decréscimo de deformações máximas de tração na face inferior do revestimento

Tipo de Eixo	Temperatura 25°C	Temperatura 45,1° C	Temperatura 52,5° C
Siddharthan ETD 36 km/h > 108 km/h	23 % (15 cm CA) e 33% (25 cm CA) temperatura de 40° C		
ESRS 41 km/h > 110 km/h	23%	19%	12%
ESRD 39,99 km/h > 110 km/h	44%	20%	50%
ETD 41,01 km/h > 110 km/h	22%	19%	17%
ETT 39,34 km/h > 110 km/h	23%	19%	22%

Fonte: Autora

Para a estrutura de pavimento utilizada, com 23 cm de revestimento asfáltico, o valor a ser comparado seria de 19% de redução contra 33% do trabalho de referência.

Fatores como estruturas de pavimento diferentes, parâmetros de análise diferentes podem fazer com que os valores não sejam convergentes. Siddharthan, Yao e Sebaaly utilizaram o programa 3D-Move que considera a viscoelasticidade de maneira diferente que o programa ViscoRoute.

Os gráficos ilustram amplamente os comportamentos que ocorrem dadas as variações de velocidades e temperaturas a que se submeteu a estrutura, indicando o comportamento tanto na longitudinal, quanto na transversal ao movimento dos veículos. Entretanto, ao realizarem-se as análises para gerar as taxas de variação das respostas máximas, ocorreram comportamentos imprevistos e observados para os ESRD, como mostram os gráficos nas Figuras 4.49 ao 4.52. Todos os demais tiveram boas correlações e resultados dentro do esperado.

Consultada a respeito, Dra Armelle Chabot, da IFSTTAR-LCPC e autora do Viscoroute, ela acredita que os resultados possam se relacionar a um comportamento que ela observou em um trabalho onde se comparavam os resultados do Veroad (análise elástica) e o Viscoroute. Nas comparações ocorriam algumas variações nas respostas. Segundo Chabot et al (2010), uma explicação para estas diferenças podem ser encontradas pelas diferentes formas de soluções computacionais e a introdução da lei de termoviscoelasticidade de Huet-Sayeg. De fato, Veroad introduziu a lei de viscoelasticidade pela média de viscoelasticidade linear de cisalhamento e módulo bruto elástico linear. O Viscoroute integra viscoelasticidade de maneira diferente usando o módulo complexo e admite que o coeficiente de Poisson é elástico e constante.

Analisando os resultados obtidos, nota-se que as deflexões máximas obtidas são muito pequenas, na ordem de 10 a 20 centésimos de mm. Podem ocorrer descontinuidades nas análises elásticas para respostas assim. Embora a análise da porção asfáltica da estrutura seja viscoelástica, o restante é tratado como camada de comportamento elástico e por isso, ocorrem distorções nos resultados obtidos.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As avaliações e estudos realizados e apresentados remetem às análises finais e considerações de relevância que corroboram os objetivos propostos para esta pesquisa.

5.1 CONCLUSÕES

5.1.1 Classificação da frota de veículos comerciais e percentagens de veículos comerciais em relação ao volume total

Os veículos comerciais identificados no estudo compõem uma frota variada onde o maior volume de veículos observados é do tipo 3C ou caminhões trucados. As contagens de pedágio mostram que, no ano de 2009 o maior volume de veículos comerciais é de 3 eixos com 34% de veículos desta configuração, seguido de veículos de 5 eixos com 24% e os veículos de 2 eixos com 20% de frota.

Salienta-se a contribuição dos veículos com maior número de eixos que, embora não sejam os maiores volumes identificados, possuem parcela significativa da frota, como é o caso dos veículos com 6 e 7 eixos que somam quase 14% da frota em 2009.

As análises dos dados referentes aos ATs apresentam basicamente o comportamento da frota de veículos comerciais ao longo da rodovia. As contagens efetuadas mostraram que a porcentagem global de veículos comerciais é de 32% em relação ao total de veículos. Esta porcentagem pode variar dependendo do dia da semana entre 38,15% a 20,38% e também em relação ao mês onde se encontrou porcentagens variando de 33,76% a 29,31%.

5.1.2 Distribuição percentual de veículos comerciais nas faixas de rolamento

As contagens provenientes dos ATs ainda permitem verificar as porcentagens de veículos separadas por faixas. A Rodovia Presidente Dutra apresenta, em sua grande maioria, seção composta por duas faixas de rolamento e os percentuais de veículos comerciais estão na faixa entre 11,82% e 39,12% passando na faixa esquerda (rápida). Notam-se distribuições diferentes em locais influenciados pela presença de acessos importantes e também distribuições diferenciadas em locais com três faixas de rolamento.

A análise dos dados obtidos, em locais com três faixas de rolamento, mostra que a porcentagem que se aproxima mais da real condição para projeto, precisa de análises minuciosas e que considere os diversos fatores locais para uma boa avaliação e adoção de valores de projeto, não havendo um valor fixo de adoção para as diversas condições rodoviárias.

5.1.3 Evolução da frota de veículos comerciais e sua relação com o PIB ao longo dos anos

A frota de veículos comerciais da Rodovia Presidente Dutra, desde o início da concessão em 1996 mostra que a maior quantidade de veículos circulantes são os compostos por 3 eixos. Das demais avaliações realizadas, poder-se-ia afirmar que são os caminhões 3C que nos últimos anos representaram em torno de 35% da frota comercial. Este percentual, ao início da concessão, foi maior, mostrando redução de frota de 3C a partir de 2001, dando lugar aos veículos com 6, 7 e 9 eixos. Até o ano de 1997 não havia contagens de veículos com 8, 9 ou 10 eixos.

A maioria das modelagens resultou em correlações satisfatórias, confirmando que o comportamento da frota tem relação estreita às flutuações da economia. O parâmetro econômico adotado neste trabalho foi o PIB. A maioria das modelagens resultou em erro quadrático na ordem de 70%. As modelagens efetuadas com os dados das praças de pedágio de Jacareí, tanto no sentido Sul quanto no Norte, apresentaram erros quadráticos superiores a 95%, indicando excelente correlação de valores. Algumas praças não resultaram em tão boas correlações por serem fortemente influenciadas por fatores locais.

5.1.4 Faixas de carga praticadas para cada tipo de eixo dos veículos comerciais, sobrecargas e percentagens de excessos encontradas

Os histogramas efetuados para as análises de PBT mostram assimetrias para todos os veículos comerciais considerados e com resultados nas duas balanças. Estas assimetrias variam, não sendo observada uma tendência de comportamento fixo e indicam que os dados não se comportam de acordo com a curva normal. Apresentam, na maioria dos casos, duas modas de valores e para os dados de Guararema, ocorrem três modas para os veículos 3I3 e 3D4. O valor médio de

valores pesados nunca está incluído no intervalo de moda principal e 77% não se encontram nem na moda secundária. Esta constatação mostra que a adoção de valores médios para análises em projetos deve ser avaliada com cautela sob pena de utilizarem-se valores que não refletem a real carga transportada.

Foram observados excessos de carga em diversos eixos e veículos. A maioria dos excessos situa-se dentro da tolerância de 7,5% em cada eixo e 5% por veículo. Este fato demonstra a importância da existência de balanças nas rodovias, pois limitam as cargas transportadas.

Para os ESRS da balança de Queluz, mais de 30% dos eixos dos veículos 2S3 e 3S3 estão entre 6t e 7t. O mesmo eixo para a balança de Guararema mostra mais de 50% dos 3D4, mais de 45% dos 3I3, mais de 30% dos 3S3 e mais de 15% dos 2S3 estão dentro da faixa de 6t a 7t.

No caso dos ESRD 40% dos 2S3 e 3I3 (1° e 2° eixos) passaram pela balança de Queluz com cargas entre 10t e 12t. Na balança de Guararema, os mesmos eixos identificados para Queluz, além do 3° eixo do 3I3 estão com mais de 20% na mesma faixa de 10t a 12t.

Mais de 30% dos ETD dos 3D4 (1° e 3° eixos) estão entre 17t e 19t em Queluz. Em Guararema, mais de 30% dos 3 eixos do 3D4 apresentam-se entre 17t e 20t.

Para os ETT, de 10% a 20% dos eixos dos 2S3 e 3S3 estão entre 26t e 29t em Queluz. Mais de 20% destes mesmos veículos estão com cargas neste mesmo intervalo.

Os excessos acima da faixa de tolerância são baixas e não atingem 3% dos eixos pesados na amostra. Estes excessos estão situados, na sua maioria, na faixa adjacente superior aos limites de carga com tolerância.

5.1.5 Tempos de aplicação de cargas em rampa

Os tempos de subida cronometrados na Serra das Araras na Rodovia Presidente Dutra mostram as velocidades desenvolvidas nos veículos identificados no experimento. As velocidades observadas variam entre 13,14km/h e 55,71km/h para o trecho com rampa média ponderada de 4,932%. Os dados são importantes para que seja conhecido o tempo de aplicação de carga real, que é diferente da velocidade diretriz da rodovia.

As áreas de contato entre pneus e pavimentos, para o caso do guincho utilizado indica áreas com formatos retangulares com bordas arredondadas que confirmam indicações de estudos anteriores.

5.1.6 Parâmetros de análise de pavimentos

Os parâmetros de tráfego obtidos nesta pesquisa constituem um conjunto de informações que se denominam fatores de tráfego. Estes fatores, expressos pela identificação dos tipos de veículos comerciais, as cargas que neles são transportadas, o conhecimento das pressões de inflação praticadas e em sua consequência, as áreas de contato entre pneu e pavimento e o tempo de aplicação destas cargas são os parâmetros necessários às análises das estruturas de pavimento. Todos estes fatores foram determinados para esta pesquisa e apresentadas nos capítulos correspondentes e resumidamente neste capítulo.

5.1.7 Análise de Pavimentos

Apesar de não ser objetivo desta pesquisa a apresentação de resultados de análises de pavimentos, como foram feitas simulações para análise de sensibilidade de resultados tendo em vista as variações de dados de tráfego, são apresentadas as conclusões que estas análises mostraram.

Análises de estruturas de pavimento constituídas de camadas com comportamento elástico mostram que o carregamento do eixo dianteiro do tipo ESRS pode resultar em respostas computacionais ao pavimento próximas aquelas calculadas para um ESRD com carga padrão de 8,2t, quando consideradas as áreas de contato reais e pressões de inflações maiores para aquele eixo.

As análises considerando camadas viscoelásticas no pavimento mostram influência da temperatura e do tempo de aplicação de cargas a que se submete a estrutura de pavimento. Geralmente, quanto maior a temperatura, maiores serão os valores de resposta da estrutura, sejam deflexões, deformações ou tensões. À medida que a velocidade de passagem dos veículos diminui, aumenta o tempo de aplicação da carga e consequentemente, as respostas também aumentam em valor.

As curvas elaboradas para a visualização das variações dos valores de deflexões e deformações em função da temperatura e velocidades mostram comportamentos uniformes, previsíveis por modelos com boa precisão exceto para os resultados obtidos para os ESRD. Destaca-se para este grupo de resultados que os comportamentos diferem para velocidades a partir de 80 km/h dos resultados para velocidades menores, o que sugere que os valores podem assumir comportamentos diferentes dependendo da velocidade que se aplica.

5.2 RECOMENDAÇÕES

Para a análise do comportamento atípico encontrado nos resultados de simulações viscoelásticas para ESRD, coloca-se uma sugestão de análise futura para que seja explicado este comportamento, realizando-se mais simulações e inclusive com a comparação com outros programas de análise viscoelástica como o 3D-Move. Seria interessante que a pesquisa previsse a realização de ensaios com materiais implantados em pista e que as simulações refletissem o comportamento de um pavimento real. Desta forma os resultados de processamentos poderão ser avaliados a critérios e modelos já concebidos para as camadas e a análise do pavimento poderá ser completa e real.

As velocidades definidas nesta pesquisa contemplaram veículos em condição de subida de rampas compostas por várias elevações. Sugere-se a avaliação destas velocidades para condições de rampas de uma única elevação, tanto em subida como em descida onde muitas vezes os veículos comerciais trafegam a baixas velocidades. Valores obtidos para trechos planos seriam interessantes para representar um referencial de valor.

As análises com relação a pesagens foram feitas para valores obtidos nas balanças seletivas. Um estudo em que possa contar com as pesagens tanto da balança seletiva, quanto da balança lenta pode trazer informações interessantes com relação às diferenças de cargas medidas em cada um dos sistemas.

REFERÊNCIAS

- ALBANO, J. F. **Efeitos da Variação da Carga por Eixo, Pressão de Inflação e Tipo de Pneu na Resposta Elástica de um Pavimento**. Dissertação de Mestrado – UFRGS, Brasil, 1998.
- ALBANO, J. F. **Área e pressão de contato dos pneus com a superfície de um pavimento**. In: XIV ANPET, Brasil, 2000.
- ALBANO, J.F. **Efeitos dos Excessos de Cargas sobre a Durabilidade de Pavimentos**. Tese de Doutorado pela UFRGS, Brasil, 2005.
- ALBANO, J.F. **Excessos de carga e pesagem de veículos comerciais**. In: III Semana de Engenharia de Produção e Transportes, UFRGS, Brasil, 2004.
- AMLIN, E. *Avances in Log Truck Technologies*. FERIC Special Report – SR-116, Canada, 1996.
- ANTT. **Registro nacional de transporte de cargas, RNTRC**. Disponível em: http://www.antt.gov.br/rntrc_numeros/rntrc_TransportadorFrotaTipoVeiculo.asp. Acesso em dez. 2011.
- BARBETTA, P.A. **Estatística Aplicada às Ciências Sociais**. Editora UFSC, Brasil, 2005.
- CCR NovaDutra. **Banco de Dados Privado da CCR NovaDutra**. Brasil, 2010.
- CCR NovaDutra. **Apresentação Institucional – CCR NovaDutra**. Brasil, 2011(a).
- CCR NovaDutra. **Fiscalização e Controle**. Disponível em: <http://www.novadutra.com.br/>. Acesso em jun. 2011(b).
- CHABOT, A.; TAMAGNY, P.; POCHÉ, D. *Visco-elastic modelling for asphalt pavements – Software ViscoRoute*. In: 10th International Symposium on Asphalt Pavement, Canada, 2006.

CHABOT, A; CHUPIN, O.; DELOFFRE, L; DUHAMEL, D.
Viscoroute 2.0: A Toll for the Simulation of Moving Load Effects on Asphalt Pavement. RMPD – Recent Advances in Numerical Simulation of Pavements – Special Issue, França, 2010.

CONSELHO NACIONAL DE TRANSITO. **Resolução 210 de 13 de novembro de 2006.** Ministério das Cidades, Brasil, 2006.

CONSELHO NACIONAL DE TRANSITO. **Resolução 365 de 24 de novembro de 2010.** Ministério das Cidades, Brasil, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM.
DNER-PRO 010/79: Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis – Procedimento A, Eng. Armando Martins Pereira. Brasil, 1979 (a).

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM.
DNER-PRO 011/79: Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis – Procedimento B, Eng. Francisco Bolívar Lobo Carneiro. Brasil, 1979 (b).

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM.
Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis: Eng. Murilo Lopes de Souza. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Brasil, 1979 (c).

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM.
DNER-PRO 159/85: Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos , Eng. César Augusto Vieira Queiroz. Brasil, 1985.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM.
DNER-PRO 269/94: Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis – TECNAPAV, Eng. Ernesto Simão Preussler e Eng Salomão Pinto. Brasil, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Estudos de Tráfego.** Brasil, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Quadro de Fabricantes de Veículos.** Coordenação Geral de Operações Rodoviárias – Diretoria de Infraestrutura Viária, Brasil, 2009.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Disponível em:

<<http://www.dnit.gov.br/planejamento-e-pesquisa/historico-do-planejamento-de-transportes>>. Acesso: maio 2011.

DUHAMEL, D.; CHABOT, A.; TAMAGNY, P.; HARFOUCHE, L. *Viscoelastic modeling for asphalt pavements*. Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées, França, 2005.

FARIAS, A.A.; SOARES, J.F.; CESAR, C.C. **Introdução à Estatística**. Livros Técnicos Científicos Editora, Brasil, 2003.

GARG, N.; HAYHOE, G.F. *Asphalt concrete strain responses at high loads and low speeds at the national airport pavement test facility*. EUA, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.

Contas Nacionais Trimestrais. Disponível em:

<<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em jul.2011.

KOPPERMAN, S., G. TILLER, M. TSENG. *Elsym5, Interactive Microcomputer Version, User's Manual*. Report n. FHWA-TS-87-206, Federal Highway Administration, EUA, 1986.

LAND TRANSPORTATION STANDARDS SUBCOMMITTEE.

Working Group 2, North American Free Trade Agreement, Harmonization of Vehicle Weight and Dimension Regulations. Within NAFTA Partnership, Report, EUA, 1997.

LAPPONI, J.C. **Estatística usando Excel**. Editora Campus / Elsevier, Brasil, 2005.

MARCON, A.F., MORAES, M.S.N. **Análise de amostra de pesagens de uma frota de veículos comerciais quanto a distribuição de cargas por eixo**. In:

40ª RAPv – Reunião Anual de Pavimentação, Brasil, 2010.

MARCON, A.F., MORAES, M.S.N., TRICHÊS, G. *Commercial vehicles fleet analysis considering axle loads distribution*. In: 5th International Conference Bituminous Mixtures and Pavements, Grecia, 2011.

MEDINA, J. **Mecânica dos pavimentos**. Editora UFRJ, Brasil, 2007.

MICHIGAN DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. **Maximum Legal Truck Loadings and Dimensions – T-1 (3/07)**. EUA, 2007.

MIRSHAWKA, V. (1981) – Exercícios de Probabilidade e Estatística – Editora Nobel, Brasil

MONTALBÁN, R. **Sobrecarga Móvil, em Carreteras**. In: Revista de Obras Publicas, Espanha, 1948.

MORAES, M.S.N., MARCON A.F., TRICHÊS, G. **Velocidade de deslocamento de uma amostra de veículos comerciais em trechos em rampas**. In: 5o Congresso de Infraestrutura de Transportes – CONINFRA, Brasil, 2011 (a).

MORAES, M.S.N., MARCON A.F., TRICHÊS, G. **Temporal analysis of commercial vehicle fleet behavior in high traffic highway in Brazil**. In: 8th International Conference on Managing Pavement Assets – ICMFA, Chile, 2011 (b).

MORAES, M.S.N., MARCON A.F., TRICHÊS, G. **Avaliação do efeito de cargas no pavimento considerando aplicação de cargas com áreas de contato reais**. In: XVI CILA – Congresso Ibero Latinoamericano do Asfalto, Brasil, 2011 (c).

PORTAL SÃO FRANCISCO. **Classificação de precipitações pluviométricas**. Disponível em:
<<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/chuvas/chuvas-5.php>>.
Acesso em set. 2011.

SIDDHARTHAN, B.R.; YAO, J; SEBAALY, P E. **Pavement Strain from Moving Dynamic 3D Load Distribution**. Journal do Transportation Engineering, EUA, 1998.

SPIEGEL, M.R. **Estatística**. Coleção Schaum – Editora Makron Books, Brasil, 1993.

STRATA Avaliação do Efeito das Novas Configurações do Tráfego de Veículos Pesados sobre o Desempenho dos Pavimentos das

Rodovias do Anel de Integração do Estado do Paraná. Relatório Técnico ABCR-PR, Brasil, 2007.

TERREL, R.L.; RIMSRTONG, S. *Pavement response and equivalencies for various truck axle-tire configurations*. Washington State Highway Department Research Program Report 17.1, EUA, 1974.

TESC Sistemas de Controle Ltda. **Contador/Classificador de Veículos.** Brasil, 2007.

UHIMEYER, J.S., KAPUR, J., STRATTONET, E. *Legal Load Limits, Overweight Loads and Pavements and Bridges*. Washington State Department of Transportation, EUA, 2006.

WILDMER, J.A. **Compatibilidade de Tráfego de Bitrens de 25m com a Infra-estrutura Viária Brasileira.** In: 2º Colloquium Internacional de Suspensões e do 1º Colloquium de Implementos Rodoviários das SAE, Brasil, 2002.

APÊNDICE

Apresentam-se a seguir os dados auxiliares referentes aos estudos apresentados nos capítulos anteriores. Estes dados estão reunidos no formato de tabelas e figuras que obedecem a sequência utilizada e indicada no corpo do texto principal.

A1 ANALISADORES DE TRÁFEGO (ATs) – CROQUIS DE LOCALIZAÇÃO

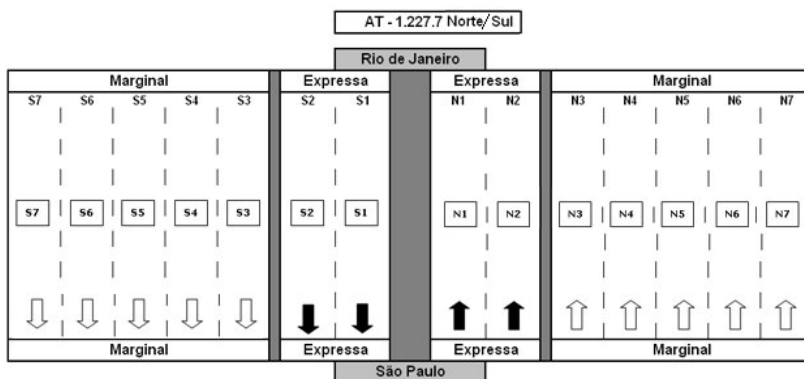


Figura A.1 Croquis de localização do AT12277

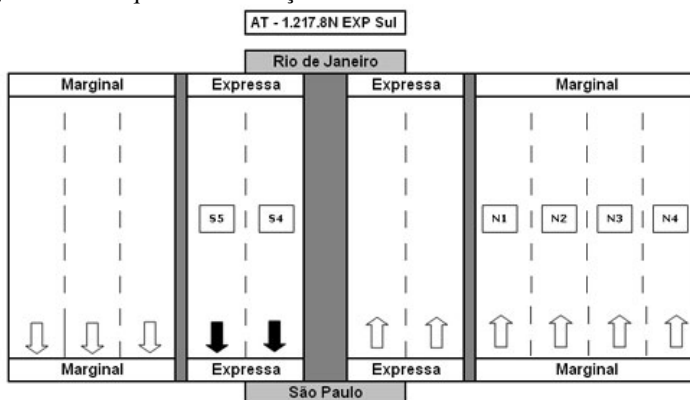


Figura A.2 Croquis de localização do AT12178

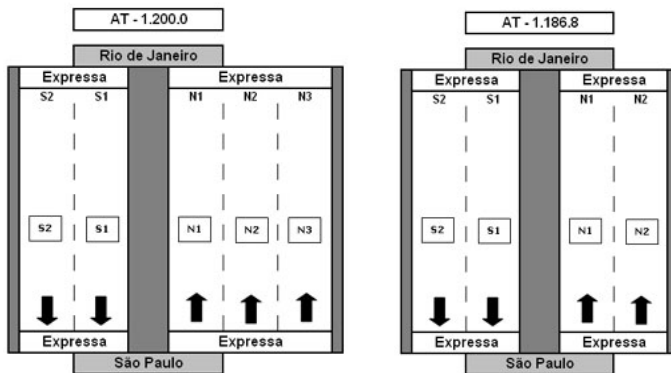


Figura A.3 Croquis de localização do (a) AT12000 (b) AT11868

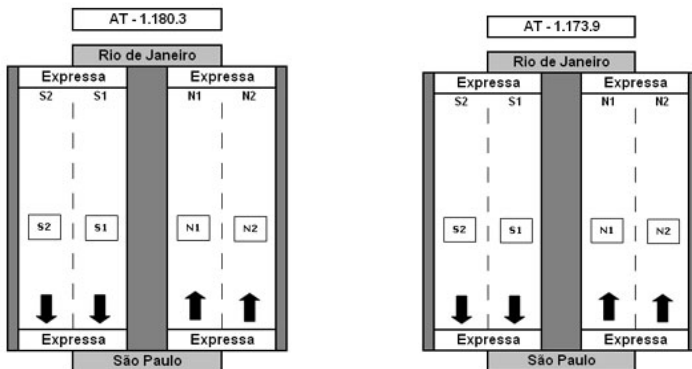


Figura A.4 Croquis de localização do (a) AT11803 (b) AT11739

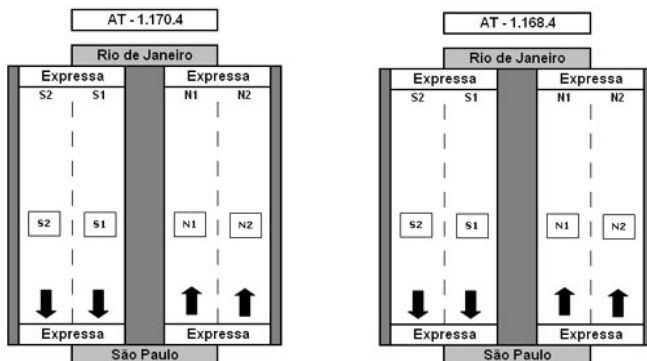


Figura A.5 Croquis de localização do (a) AT11704 (b) AT11684

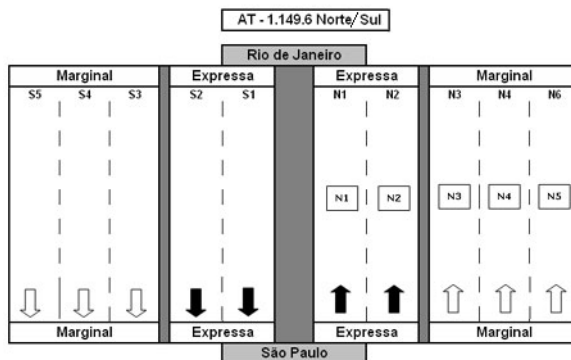


Figura A.6 Croquis de localização do (a) AT11496

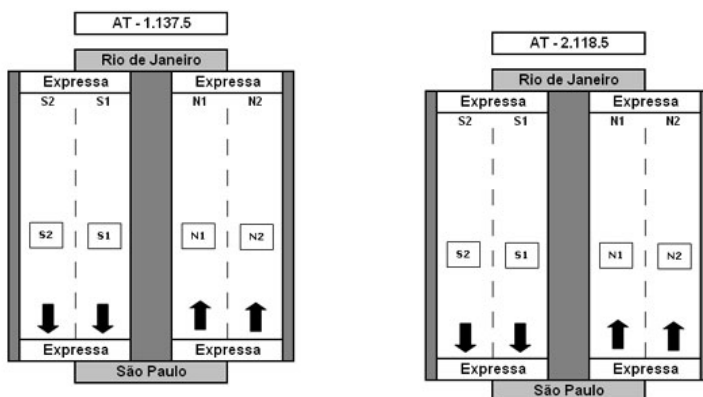


Figura A.7 Croquis de localização do (a) AT11375 (b) AT21185

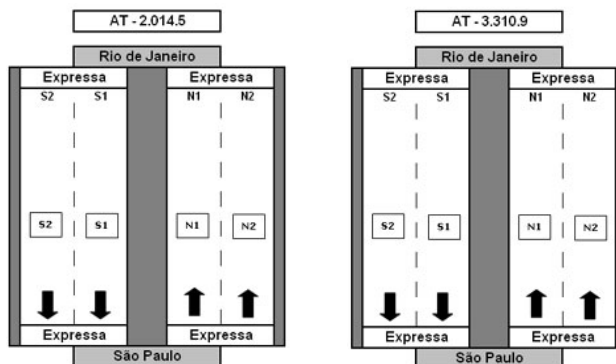
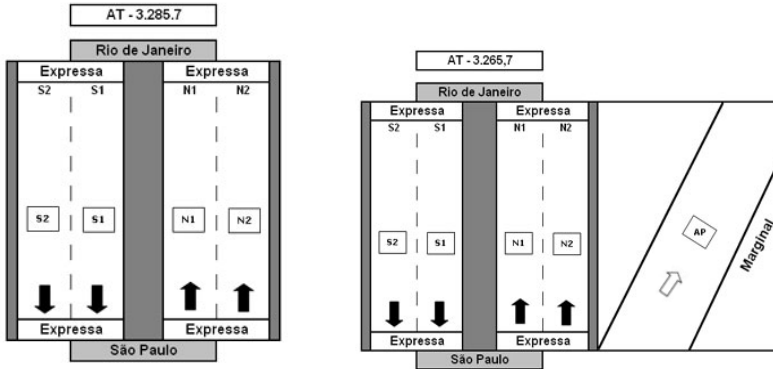
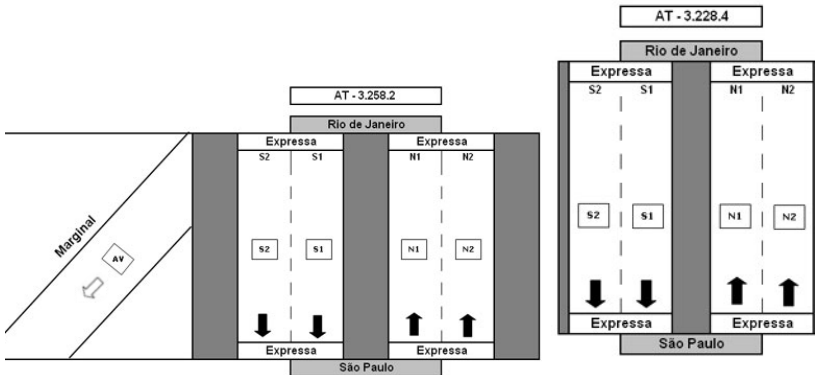


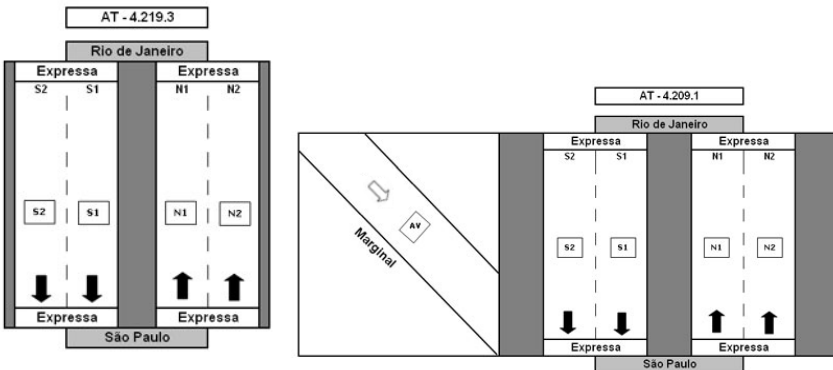
Figura A.8 Croquis de localização do (a) AT20145 (b) AT33109



FiguraA.9 Croquis de localização do (a) AT32857 (b) AT32657



FiguraA.10 Croquis de localização do (a) AT32582 (b) AT32284



FiguraA.11 Croquis de localização do (a) AT42193 (b) AT42091

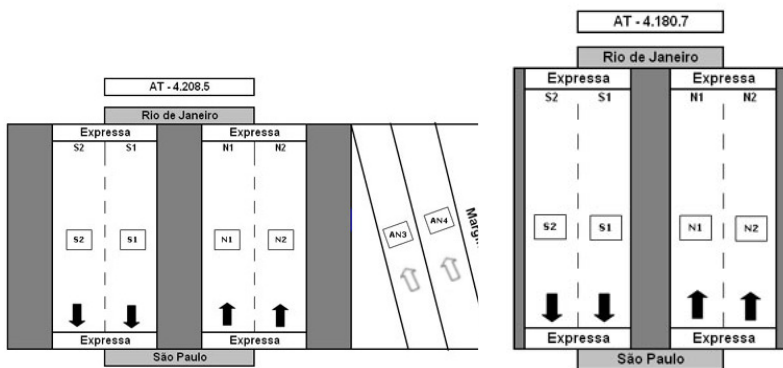


Figura A.12 Croquis de localização do (a) AT42085 (b) AT41807

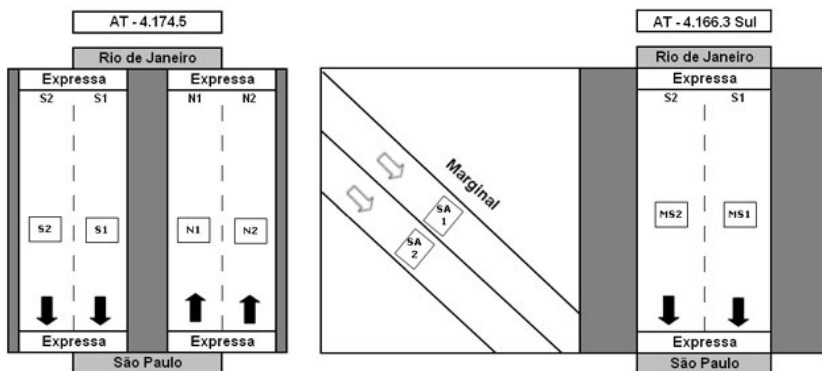


Figura A.13 Croquis de localização do (a) AT41745 (b) AT41663

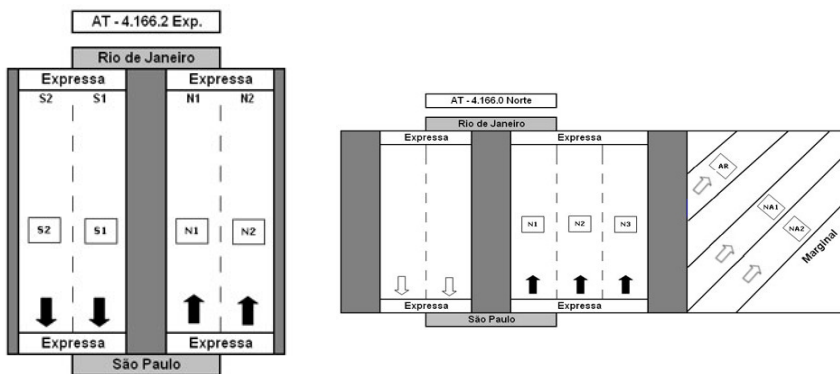


Figura A.14 Croquis de localização do (a) AT41662 (b) 41660

A2 ANALISADORES DE TRÁFEGO (ATs) – VOLUME DIÁRIO MÉDIO

Tabela A.1 Valores de volume médio diário de veículos

Laço	VDM tot eq fx	Leves tot eq fx	Com tot eq fx	VDM tot eq	Leves tot eq	Com tot eq
A11375N1	14.646	12.934	1.711			
A11375N2	12.555	5.487	7.069	27.201	18.421	8.780
A11375S1	18.576	16.247	2.330			
A11375S2	15.194	7.825	7.368	33.770	24.072	9.698
A11496N1	10.613	8.973	1.640			
A11496N2	11.503	4.497	7.006	22.116	13.470	8.646
A11496S1	11.205	9.547	1.659			
A11496S2	11.501	4.525	6.976	22.706	14.072	8.634
A11684N1	10.984	9.345	1.639			
A11684N2	11.913	4.720	7.193	22.896	14.065	8.832
A11684S1	10.459	9.061	1.398			
A11684S2	10.854	4.866	5.988	21.313	13.927	7.386
A11704N1	8.184	7.040	1.144			
A11704N2	10.077	4.515	5.562	18.262	11.555	6.706
A11704S1	9.333	8.026	1.306			
A11704S2	10.489	4.550	5.939	19.822	12.576	7.245
A11739N1	11.194	9.183	2.011			
A11739N2	7.747	3.213	4.533	18.940	12.396	6.544
A11739S1	9.684	8.381	1.303			
A11739S2	9.164	4.151	5.014	18.848	12.531	6.316
A11803N1	10.018	8.458	1.560			
A11803N2	20.565	13.484	7.081	30.583	21.942	8.641
A11803S1	7.276	6.382	894			
A11803S2	9.575	3.659	5.915	16.850	10.041	6.809
A11868N1	9.242	7.259	1.983			
A11868N2	10.163	4.446	5.718	19.405	11.705	7.700
A11868S1	8.103	6.843	1.260			
A11868S2	8.725	4.015	4.710	16.829	10.859	5.970

Laço	VDM tot eq fx	Leves tot eq fx	Com tot eq fx	VDM tot eq	Leves tot eq	Com tot eq
A12002N1	6.861	6.452	409			
A12002N2	10.756	6.777	3.979			
A12002N3	6.566	2.113	4.453	24.183	15.342	8.841
A12002S1	14.046	11.802	2.245			
A12002S2	11.699	4.881	6.818	25.745	16.682	9.063
A12178S4	8.242	3.181	5.061			
A12178S5	10.316	9.068	1.248	18.559	12.249	6.310
A12277N1	8.728	5.867	2.861			
A12277N2	9.153	4.560	4.593	17.881	10.427	7.454
A12277S1	17.935	16.504	1.431			
A12277S2	13.563	7.652	5.911	31.498	24.156	7.342
A20145N1	3.729	2.957	772			
A20145N2	9.054	4.481	4.573	12.784	7.438	5.345
A20145S1	6.565	5.343	1.222			
A20145S2	6.307	2.324	3.984	12.872	7.666	5.206
A20635N1	7.684	6.683	1.001			
A20635N2	10.911	5.476	5.435	18.595	12.158	6.436
A20635S1	9.398	8.197	1.200			
A20635S2	11.440	6.030	5.410	20.837	14.227	6.610
A21163N1	15.899	14.253	1.645			
A21163N2	14.448	7.745	6.703	30.347	21.999	8.348
A21163S1	14.649	13.182	1.467			
A21163S2	16.165	9.760	6.405	30.814	22.942	7.872
A21185N1	12.361	10.880	1.481			
A21185N2	11.592	5.260	6.333	23.954	16.140	7.814
A21185S1	11.841	5.549	6.292			
A21185S2	11.607	10.235	1.371	23.448	15.784	7.663
A32284N1	5.329	4.431	898			
A32284N2	6.735	2.936	3.799	12.064	7.367	4.697
A32284S1	4.614	3.742	872			
A32284S2	7.598	3.700	3.898	12.211	7.441	4.770
A32582N1	5.215	4.255	960			
A32582N2	7.375	3.560	3.816	12.590	7.815	4.775

Laço	VDM tot eq fx	Leves tot eq fx	Com tot eq fx	VDM tot eq	Leves tot eq	Com tot eq
A32582S1	2.986	2.455	531			
A32582S2	7.003	3.045	3.959	9.989	5.500	4.489
A32657N1	4.880	3.792	1.088			
A32657N2	5.379	2.032	3.347	10.259	5.824	4.434
A32657S1	6.611	5.072	1.539			
A32657S2	10.529	5.897	4.631	17.139	10.969	6.170
A32857N1	9.234	4.339	4.895			
A32857N2	6.961	5.405	1.556	16.195	9.745	6.450
A32857S1	6.682	5.514	1.168			
A32857S2	9.571	3.919	5.652	16.253	9.433	6.820
A33109N1	6.756	5.591	1.165			
A33109N2	9.851	4.721	5.130	16.607	10.312	6.295
A33109S1	5.596	4.728	868			
A33109S2	10.821	5.556	5.265	16.417	10.285	6.133
A41660N1	10.301	8.680	1.622			
A41660N2	9.294	6.292	3.002			
A41660N3	6.380	4.882	1.498	25.975	19.853	6.122
A41662N1	10.920	9.526	1.394			
A41662N2	10.613	6.152	4.460	21.533	15.679	5.854
A41662S1	14.673	12.805	1.868			
A41662S2	7.771	4.581	3.190	22.444	17.386	5.057
A41663MS1	11.222	9.524	1.699			
A41663MS2	10.683	7.218	3.465	21.906	16.742	5.164
A41745N1	25.513	22.270	3.243			
A41745N2	17.934	12.607	5.327	43.447	34.877	8.570
A41745S1	29.227	25.243	3.984			
A41745S2	18.992	12.808	6.185	48.219	38.051	10.169
A41807N1	19.103	17.107	1.997			
A41807N2	13.437	8.836	4.600	32.540	25.943	6.597
A41807S1	18.821	16.474	2.347			
A41807S2	14.457	10.322	4.136	33.278	26.795	6.483
A42085N1	4.448	3.921	527			
A42085N2	5.835	2.385	3.450	10.283	6.306	3.977

Laço	VDM tot eq fx	Leves tot eq fx	Com tot eq fx	VDM tot eq	Leves tot eq	Com tot eq
A42085S1	4.993	4.255	738			
A42085S2	6.684	3.345	3.339	11.676	7.599	4.077
A42091N1	8.068	4.150	3.917			
A42091N2	6.099	4.742	1.357	14.166	8.892	5.274
A42091S1	4.572	3.453	1.119			
A42091S2	6.541	3.642	2.899	11.114	7.095	4.019
A42193N1	4.153	3.339	814			
A42193N2	7.922	3.942	3.980	12.075	7.280	4.795
A42193S1	4.970	4.151	818			
A42193S2	7.198	3.045	4.153	12.168	7.197	4.972

A3 ANALISADORES DE TRÁFEGO (ATs) – VELOCIDADES E PRECIPITAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS

Tabela A.2 Resumo de velocidades em chuva - AT42091

Data	Hora	Prec Tot (mm)	V N1 (kmh)	V N2 (km/h)	V S1 (km/h)	V S2 (km/h)
15/10/09	08:00	0,4	90,06	76,53	84,61	71,34
15/10/09	09:00	0,5	91,63	76,56	82,78	70,52
15/10/09	10:00	0,1	91,75	76,62	76,45	68,02
16/10/09	16:00	2,1	93,18	77,75	80,31	70,57
16/10/09	17:00	17,3	94,29	79,69	84,00	71,56
18/10/09	17:00	1	94,33	82,52	92,21	78,68
18/10/09	18:00	12,5	93,22	79,79	91,72	76,52
18/10/09	19:00	0,6	82,83	74,12	86,42	73,31
18/10/09	21:00	0,2	89,51	74,83	89,03	75,90
23/10/09	06:00	0,1	80,00	70,84	77,13	65,93
23/10/09	07:00	0,7	80,66	69,65	74,74	67,20
23/10/09	08:00	0,3	85,13	72,00	78,83	69,87
23/10/09	09:00	0,3	87,47	73,98	79,32	70,40
09/11/09	19:00	1,2	79,73	68,18	72,33	62,27
09/11/09	20:00	0,3	79,83	66,28	66,99	55,89
09/11/09	21:00	0,2	81,55	69,58	73,47	62,05
11/11/09	21:00	14,5	72,13	61,92	67,73	55,98
11/11/09	22:00	0,1	81,28	70,37	69,70	57,81

Data	Hora	Precip Total (mm)	V N1 (kmh)	V N2 (km/h)	V S1 (km/h)	V S2 (km/h)
11/11/09	23:00	0,6	79,91	69,58	70,38	56,18
12/11/09	00:00	3	73,33	66,20	65,52	56,55
12/11/09	01:00	2	72,86	66,89	70,00	57,03
12/11/09	02:00	3,5	66,18	63,93	55,00	49,57
12/11/09	03:00	0,9	39,91	39,37	51,60	45,49
12/11/09	04:00	0,1	70,31	65,54	71,94	54,00
15/11/09	19:00	0,3	85,77	74,95	84,40	72,44
15/11/09	20:00	2,9	77,97	65,31	77,92	66,17
15/11/09	21:00	6,7	79,25	66,09	76,72	67,46
15/11/09	22:00	0,8	76,54	65,70	76,29	63,59
15/11/09	23:00	0,5	81,10	67,13	63,84	52,22
16/11/09	00:00	0,1	77,70	67,90	76,03	61,82
16/11/09	01:00	0,1	82,29	71,83	71,03	61,05
16/11/09	04:00	14,1	73,83	64,18	65,83	56,57
16/11/09	05:00	3,9	73,89	63,08	72,17	65,76
16/11/09	16:00	1	91,41	74,14	79,29	68,03
16/11/09	17:00	2,1	83,89	72,50	74,89	63,31
16/11/09	19:00	0,3	83,79	71,24	73,72	62,65

TabelaA.3 Resumo de velocidades em chuva - AT32284

Data	Hora	Precip Total (mm)	V N1 (km/h)	V N2 (km/h)	V S1 (km/h)	V S2 (km/h)
03/01/09	13:00	0,2	77,72	72,64	86,05	77,98
03/01/09	14:00	4	77,14	74,11	86,58	78,00
03/01/09	15:00	4,2	80,84	75,93	87,22	79,37
03/01/09	16:00	14,4	81,03	74,16	87,13	79,24
03/01/09	17:00	12,8	78,03	73,66	85,83	77,10
03/01/09	18:00	4	71,91	67,89	78,04	71,35
03/01/09	19:00	0,6	69,21	64,85	77,55	70,98
04/01/09	07:00	5,2	76,67	69,13	78,96	71,83
04/01/09	08:00	9,6	72,33	67,64	78,96	71,81
04/01/09	09:00	0,2	75,35	71,05	82,36	73,92
10/01/09	18:00	7,8	80,26	72,13	86,88	76,56
15/01/09	19:00	3,4	70,94	57,12	75,98	66,82

Data	Hora	Precip Total (mm)	V N1 (km/h)	V N2 (km/h)	V S1 (km/h)	V S2 (km/h)
15/01/09	20:00	0,2	62,57	54,24	71,48	63,62
15/01/09	21:00	0,2	63,03	57,66	72,64	64,85
15/01/09	23:00	0,2	66,11	57,30	75,08	70,00
16/01/09	00:00	14,2	65,79	58,23	72,73	70,00
16/01/09	01:00	1,2	64,59	58,95	78,00	71,03
16/01/09	02:00	1,8	64,86	57,52	78,00	68,06
16/01/09	03:00	0,2	65,28	60,22	75,22	67,87
17/01/09	16:00	9,4	80,19	73,02	85,06	76,68
18/01/09	10:00	15,4	80,88	71,17	86,25	78,60
18/01/09	12:00	0,2	79,59	75,84	86,54	79,32
18/01/09	13:00	0,4	81,02	71,59	87,45	79,51
18/01/09	14:00	12	78,69	70,42	85,77	77,03
18/01/09	15:00	4,8	77,08	69,34	86,36	77,93
18/01/09	16:00	8,6	75,22	69,81	88,42	78,51
18/01/09	17:00	5,8	74,77	66,10	86,50	77,17
18/01/09	19:00	35,6	57,07	49,49	78,43	65,96
18/01/09	20:00	6	54,34	46,39	72,73	65,70
18/01/09	21:00	3,2	66,10	54,80	77,15	68,36
18/01/09	23:00	1,2	62,56	52,61	73,41	66,99
19/01/09	00:00	1,6	61,24	54,08	74,47	69,00
19/01/09	01:00	1	68,00	59,24	76,21	70,99
19/01/09	02:00	1,8	66,70	59,48	76,00	72,18
19/01/09	03:00	0,2	65,85	56,21	84,17	76,03
19/01/09	04:00	0,4	67,93	55,14	79,57	72,42
19/01/09	05:00	0,4	71,92	61,41	86,43	77,71
19/01/09	06:00	1,4	75,99	64,24	87,07	78,72
19/01/09	07:00	0,4	77,13	65,70	85,90	76,11
19/01/09	10:00	0,2	77,96	67,92	83,73	76,07
19/01/09	11:00	0,2	77,44	68,78	83,60	74,18
19/01/09	12:00	7,6	76,85	68,22	84,55	74,07
19/01/09	13:00	2,6	77,22	70,82	81,91	69,86
19/01/09	14:00	4,6	77,40	71,57	70,00	70,29
19/01/09	15:00	4,4	75,38	68,83	83,16	71,72
19/01/09	16:00	1,2	76,16	67,66	84,63	74,49

Data	Hora	Precip Total (mm)	V N1 (km/h)	V N2 (km/h)	V S1 (km/h)	V S2 (km/h)
19/01/09	17:00	1	77,84	68,46	81,97	72,53
19/01/09	18:00	2,6	73,22	68,16	81,40	73,17
19/01/09	23:00	1	63,00	55,79	71,36	66,08
20/01/09	00:00	1,4	61,23	57,25	76,79	69,00
20/01/09	01:00	0,2	66,39	59,83	76,92	68,56
20/01/09	02:00	0,8	64,52	57,40	73,53	71,33
20/01/09	03:00	0,2	66,36	58,58	78,80	70,81
20/01/09	10:00	0,2	72,71	63,85	82,39	73,79
20/01/09	11:00	3,6	74,05	67,35	82,10	73,51
20/01/09	12:00	1,6	78,96	70,05	84,16	74,87
20/01/09	13:00	1,4	76,49	68,31	83,56	75,45
20/01/09	14:00	1,6	71,20	65,17	78,93	72,05
20/01/09	15:00	1,4	69,35	65,22	80,56	70,93
20/01/09	16:00	0,4	69,50	64,13	80,42	72,96
20/01/09	17:00	0,2	68,73	63,35	77,48	68,51
20/01/09	18:00	2,2	70,61	63,54	80,12	70,92
21/01/09	06:00	1,6	64,46	56,30	78,34	70,36
21/01/09	07:00	0,6	71,34	62,19	82,33	73,26
21/01/09	08:00	0,2	71,77	62,42	83,82	75,62
21/01/09	09:00	0,2	69,23	60,41	81,06	72,47
21/01/09	10:00	2,2	73,78	63,65	85,11	74,79
21/01/09	11:00	8,6	75,00	66,65	84,43	74,90
21/01/09	12:00	0,6	78,65	67,90	81,55	72,85
22/01/09	16:00	16,4	69,65	63,00	77,72	69,82
22/01/09	17:00	7,8	75,66	67,12	77,05	69,19
22/01/09	18:00	1,6	75,96	67,77	78,48	69,41
07/10/09	21:00	0,1	71,65	58,06	78,32	68,98
07/10/09	22:00	0,6	65,95	57,51	73,69	65,33
07/10/09	23:00	0,1	63,26	54,86	71,64	64,53
08/10/09	00:00	1,5	61,30	54,13	70,74	64,35
08/10/09	02:00	0,1	57,41	50,62	68,18	62,61
08/10/09	04:00	0,4	58,15	51,28	74,44	65,54
08/10/09	05:00	1,2	63,40	53,84	74,52	66,97
08/10/09	07:00	0,1	62,29	54,42	76,28	68,11

Data	Hora	Precip Total (mm)	V N1 (km/h)	V N2 (km/h)	V S1 (km/h)	V S2 (km/h)
08/10/09	08:00	1,5	64,60	58,17	78,08	69,79
08/10/09	10:00	2	66,20	57,55	76,46	69,19
08/10/09	13:00	2,8	67,04	59,81	75,21	68,22
08/10/09	14:00	4,6	69,53	62,82	77,18	69,71
08/10/09	15:00	2,8	70,26	63,45	76,54	68,86
08/10/09	16:00	2,1	66,31	60,53	76,78	68,23
08/10/09	18:00	0,2	67,74	60,68	75,32	66,59
08/10/09	19:00	0,1	64,80	57,15	75,43	66,58
08/10/09	20:00	0,4	65,38	56,67	72,92	64,61
08/10/09	22:00	3	64,43	56,48	71,70	64,01
08/10/09	23:00	2,1	57,76	49,08	69,84	62,36
09/10/09	00:00	0,5	62,67	53,30	71,95	63,24
09/10/09	05:00	0,3	62,26	53,71	76,27	68,61
09/10/09	07:00	0,1	69,70	59,21	81,19	72,29
10/10/09	23:00	0,6	62,75	57,42	73,26	66,19
11/10/09	00:00	0,2	61,17	55,45	67,75	60,92
15/10/09	14:00	3	68,93	63,25	74,55	67,70
15/10/09	16:00	4,3	70,56	64,90	76,95	69,13
17/10/09	16:00	8,2	68,86	61,80	74,34	68,25
17/10/09	17:00	14,7	67,99	64,32	73,16	67,13
17/10/09	18:00	2,1	68,64	60,62	73,40	66,42
19/10/09	17:00	4,9	73,06	66,47	85,59	74,82
19/10/09	18:00	6,9	62,32	57,89	76,36	67,44
19/10/09	20:00	0,4	63,03	54,12	74,59	65,81
19/10/09	21:00	0,2	64,84	57,39	74,65	66,31
19/10/09	23:00	0,1	63,04	54,62	72,62	65,23
25/10/09	11:00	0,1	79,20	69,79	87,07	77,17
25/10/09	12:00	2,7	76,00	65,97	82,76	75,00
25/10/09	13:00	2	76,51	69,47	84,52	74,97
09/11/09	16:00	3,4	71,30	64,62	77,11	69,46
09/11/09	17:00	0,3	73,30	66,31	80,50	71,10
09/11/09	18:00	1,1	70,56	63,85	74,95	68,59
09/11/09	19:00	2,2	65,45	55,47	72,11	63,20
09/11/09	20:00	0,1	66,60	58,19	73,53	66,81

Data	Hora	Precip Total (mm)	V N1 (km/h)	V N2 (km/h)	V S1 (km/h)	V S2 (km/h)
09/11/09	21:00	0,4	67,07	57,93	73,79	64,94
11/11/09	13:00	13,7	65,14	56,64	78,56	70,09
11/11/09	23:00	0,7	58,89	53,38	74,58	67,57
12/11/09	00:00	3,5	52,72	49,26	70,60	63,77
12/11/09	01:00	2,7	50,90	50,12	70,00	66,39
12/11/09	02:00	3,3	50,22	48,46	70,00	64,68
12/11/09	03:00	1,1	51,39	48,63	71,11	66,47
15/11/09	19:00	0,4	68,94	61,23	81,39	71,73
15/11/09	20:00	2,3	62,01	54,94	75,74	67,94
15/11/09	21:00	0,7	63,09	53,82	75,86	68,43
15/11/09	22:00	1,1	65,22	54,97	75,00	68,73
15/11/09	23:00	0,1	66,41	55,74	72,62	68,03
16/11/09	00:00	0,3	61,35	52,83	73,68	66,95
16/11/09	03:00	0,1	64,43	53,61	74,14	66,76
16/11/09	04:00	3,7	64,15	53,59	73,64	66,00
16/11/09	05:00	0,5	63,27	53,48	77,27	69,20
16/11/09	06:00	0,2	65,70	57,12	74,34	68,86
16/11/09	07:00	0,1	62,91	55,48	77,67	69,73
16/11/09	17:00	3,4	69,20	59,73	74,20	68,42
16/11/09	18:00	2,3	66,51	60,54	74,95	66,54
16/11/09	19:00	0,1	62,00	56,24	75,98	67,10

A4 GRÁFICOS DE REGRESSÕES PARA MODELAGEM DE VOLUME DE VEÍCULOS COMERCIAIS X PIB

- Curva de ajuste
- Limites de previsão
- 95% de confiabilidade

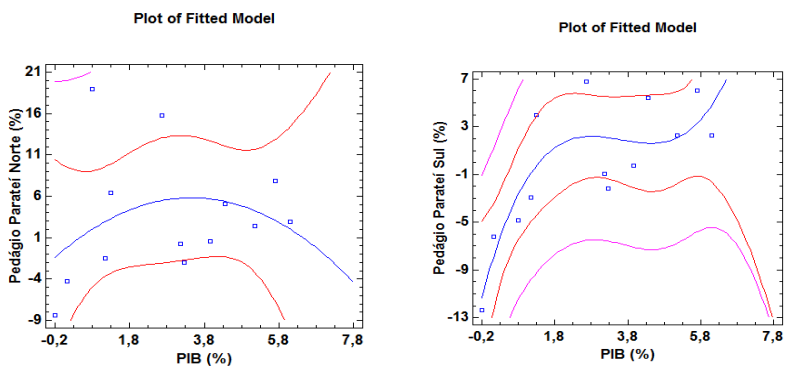


Figura A.15 Curvas de correlação - Parateí (a) norte (b) sul

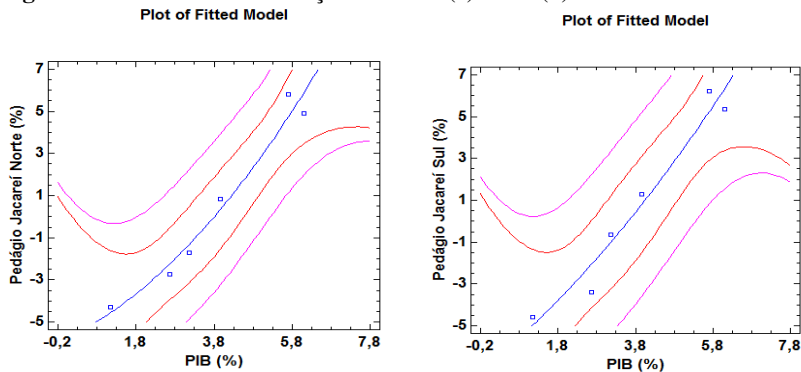


Figura A.16 Curvas de correlação - Jacareí (a) norte (b) sul

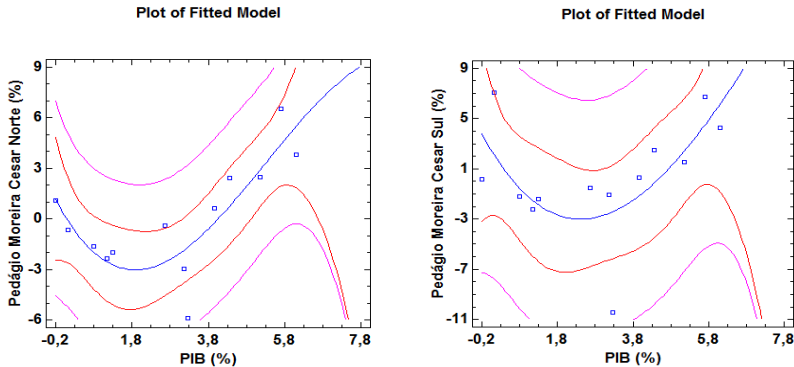


Figura A.17 Curvas de correlação - Moreira Cesar (a) norte (b) sul

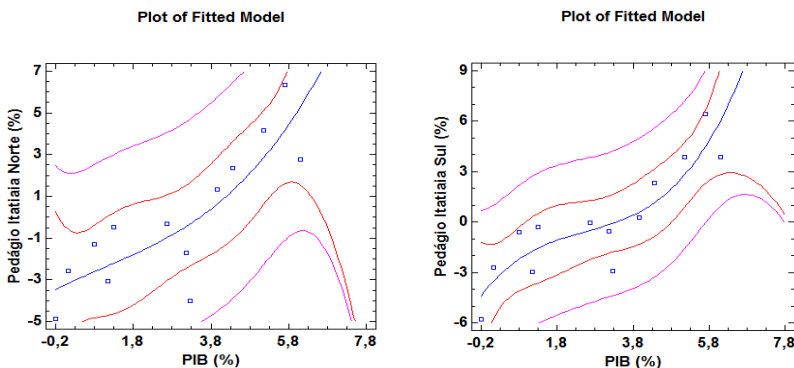


Figura A.18 Curvas de correlação - Itatiaia (a) norte (b) sul

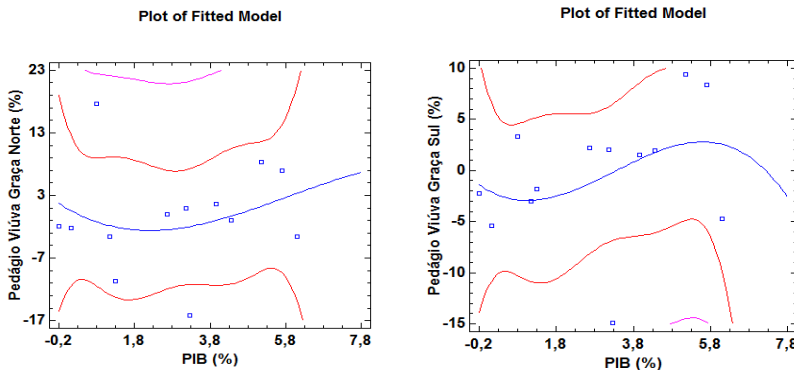


Figura A.19 Curvas de correlação - Viúva Graça (a) norte (b) sul

A5 GRÁFICOS DE PBT – BALANÇA DE QUELUZ

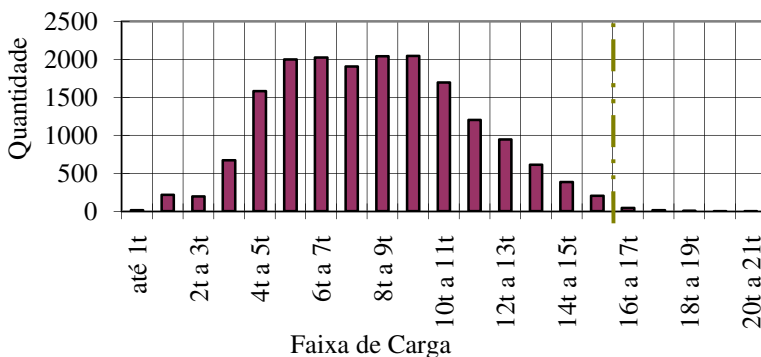


Figura A.20 Distribuição do PBT - 2C

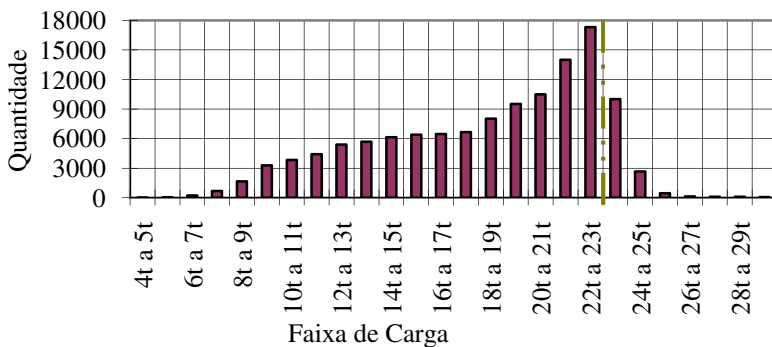


Figura A.21 Distribuição do PBT - 3C

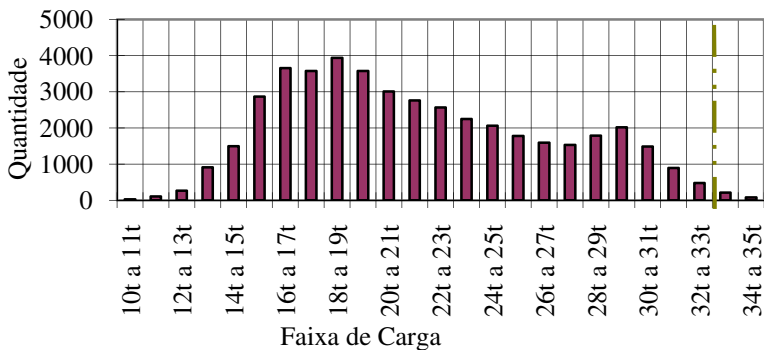


Figura A.22 Distribuição do PBT - 2S2

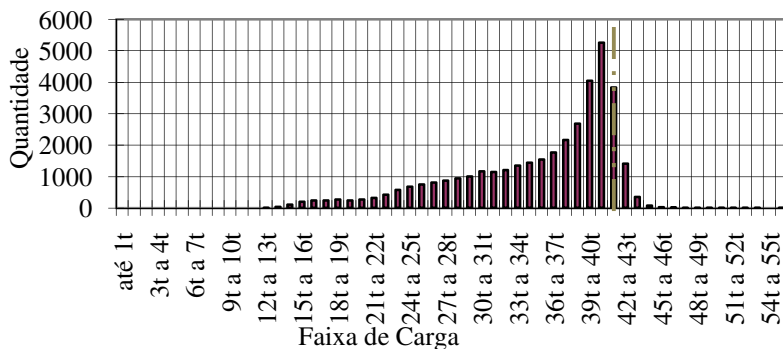


Figura A.23 Distribuição do PBT - 2S3

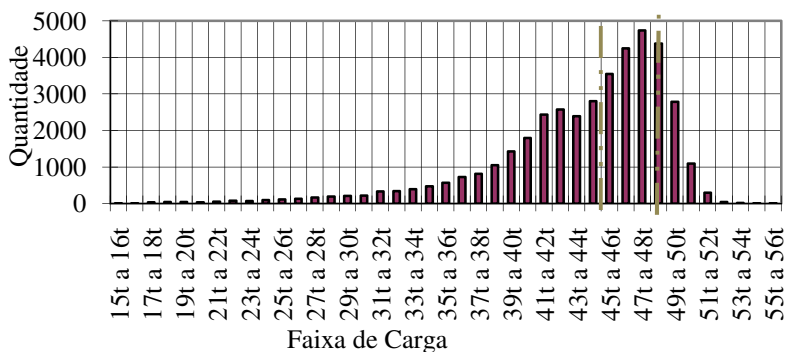


Figura A.24 Distribuição do PBT - 3S3

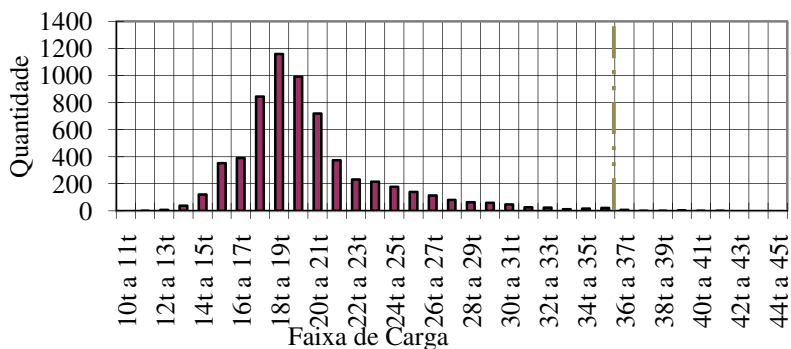


Figura A.25 Distribuição do PBT - 2C2

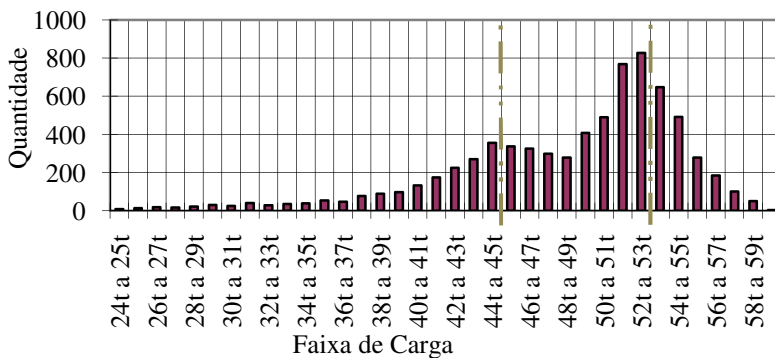


Figura A.26 Distribuição do PBT - 3I3

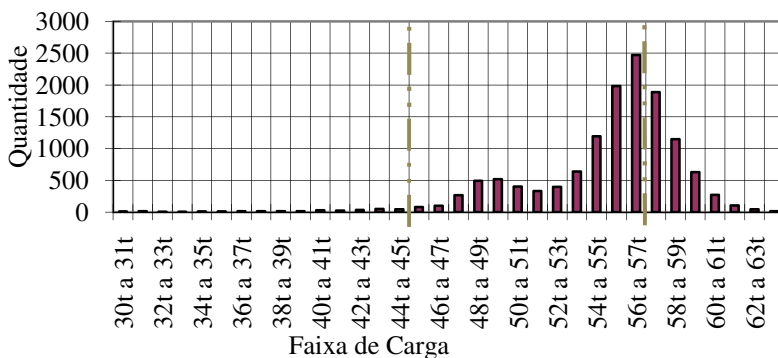


Figura A.27 Distribuição do PBT - 3D4

A6 GRÁFICO DE CARGAS POR EIXOS - QUELUZ

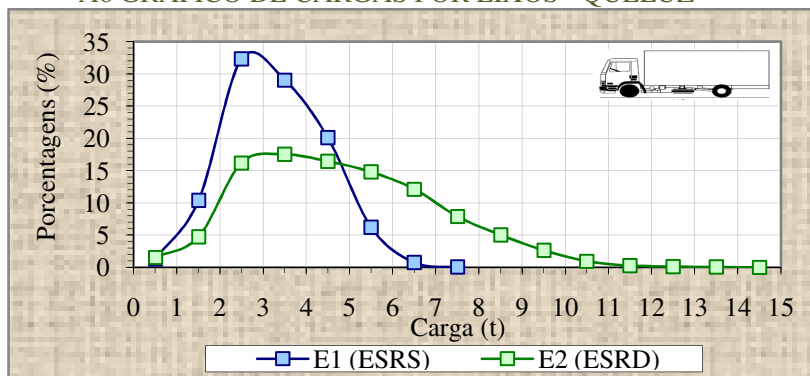


Figura A.28 Distribuição de cargas por eixo - 2C

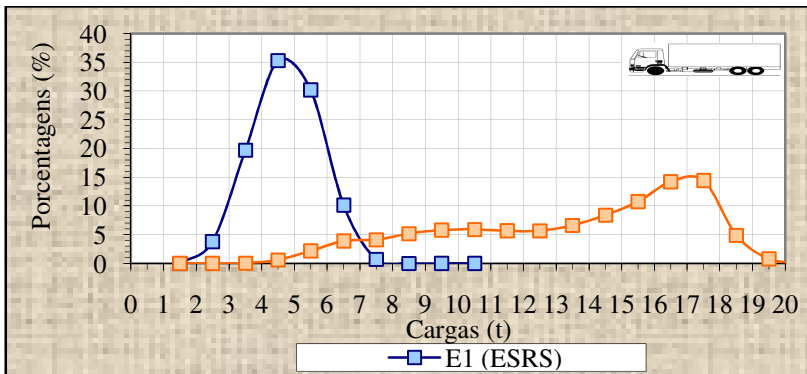


Figura A.29 Distribuição de cargas por eixo - 3C

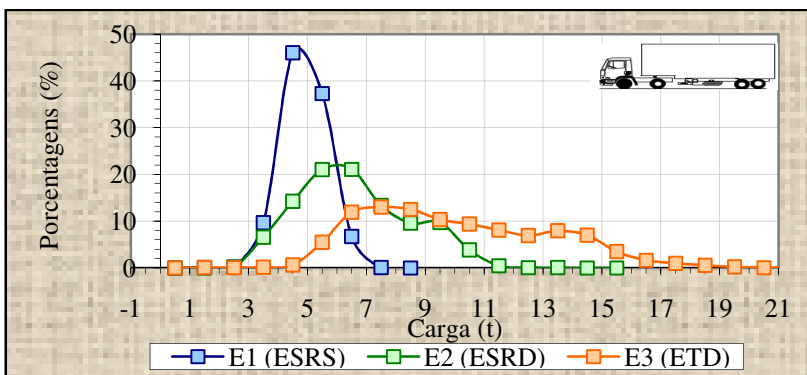


Figura A.30 Distribuição de cargas por eixo - 2S2

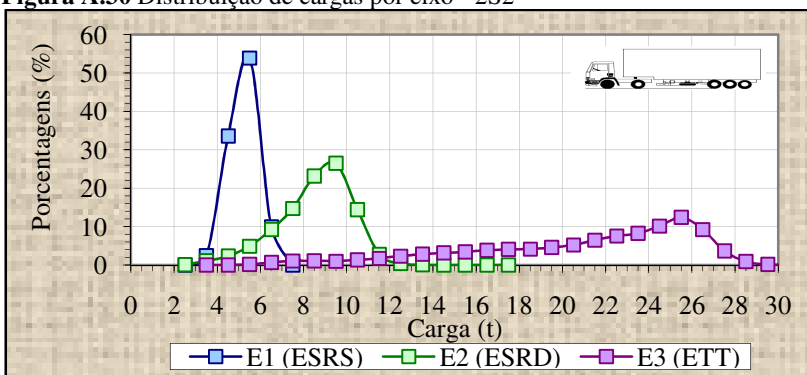


Figura A.31 Distribuição de cargas por eixo - 2S3

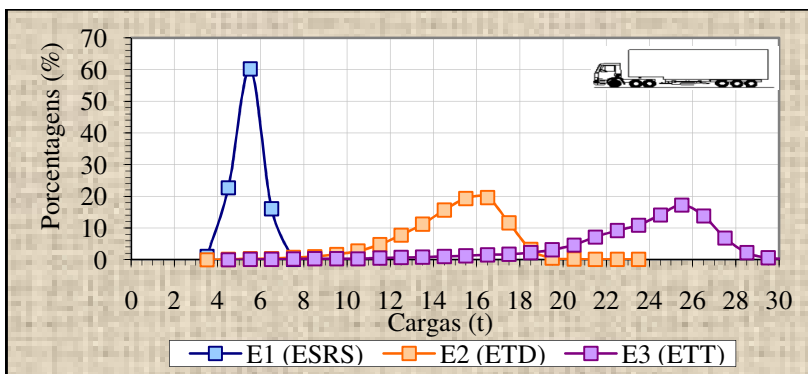


Figura A.32 Distribuição de cargas por eixo - 3S3

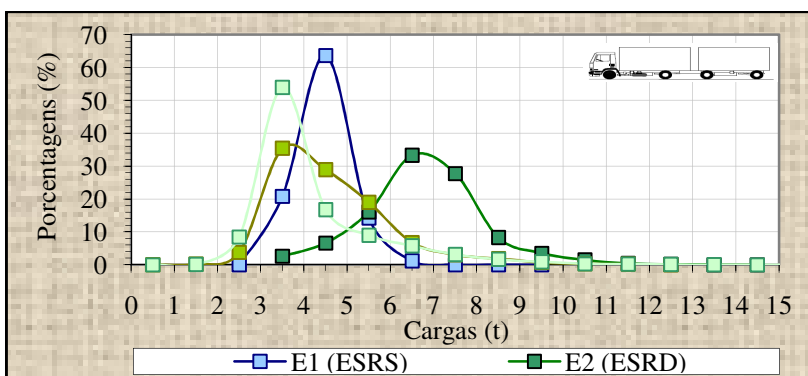


Figura A.33 Distribuição de cargas por eixo - 2C2

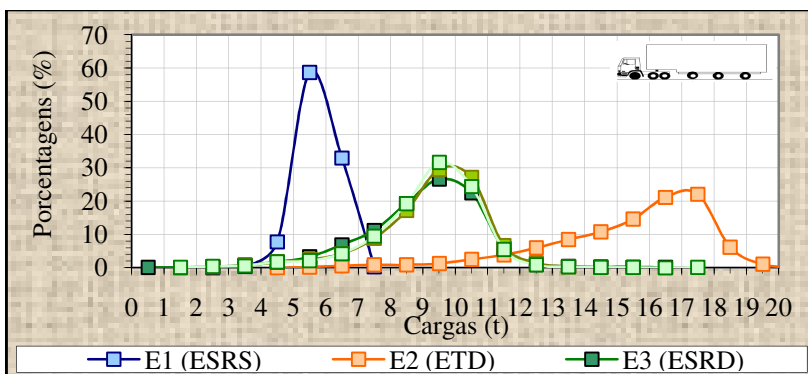


Figura A.34 Distribuição de cargas por eixo - 3I3

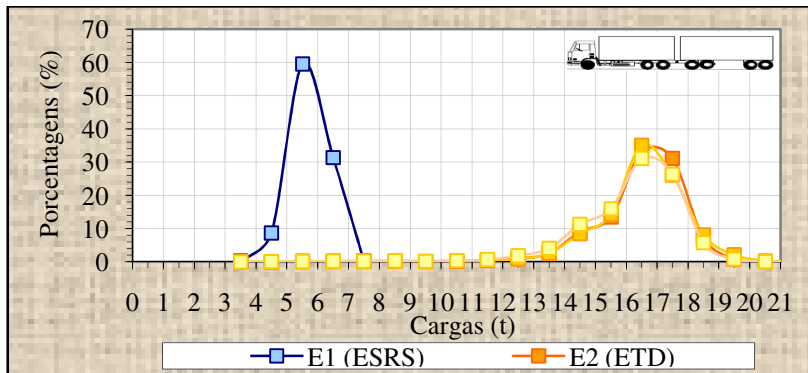


Figura A.35 Distribuição de cargas por eixo - 3D4

A7 GRÁFICOS DE DISTRIBUIÇÃO DIÁRIA SEMANAL - QUELUZ

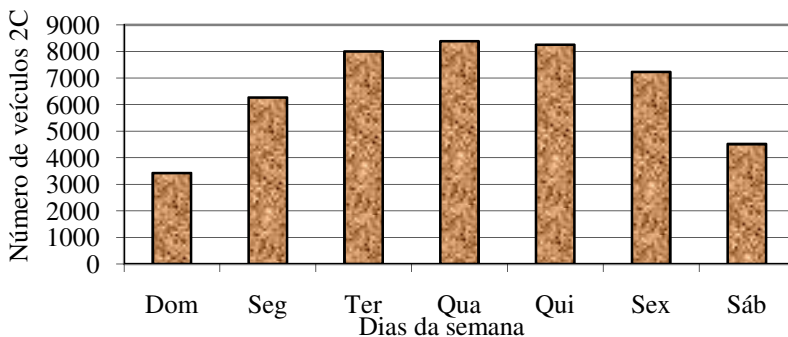


Figura A.36 Distribuição de frota por dia da semana - 2C

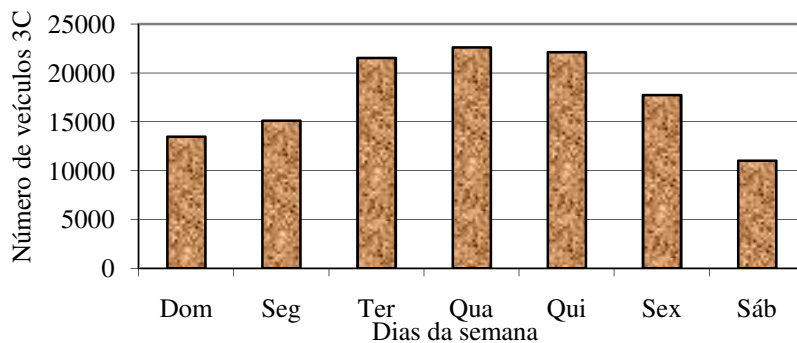


Figura A.37 Distribuição de frota por dia da semana - 3C

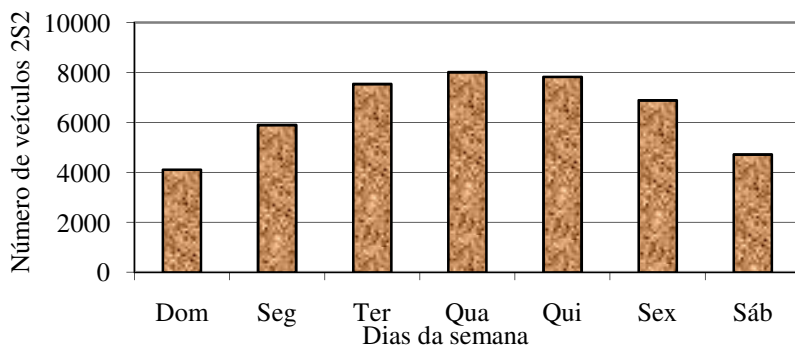


Figura A.38 Distribuição de frota por dia da semana - 2S2

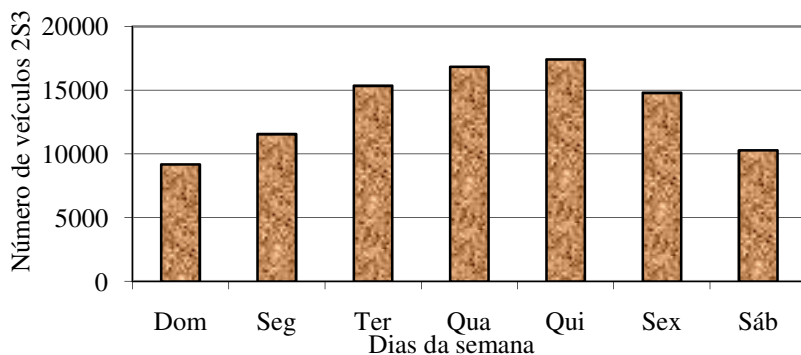


Figura A.39 Distribuição de frota por dia da semana - 2S3

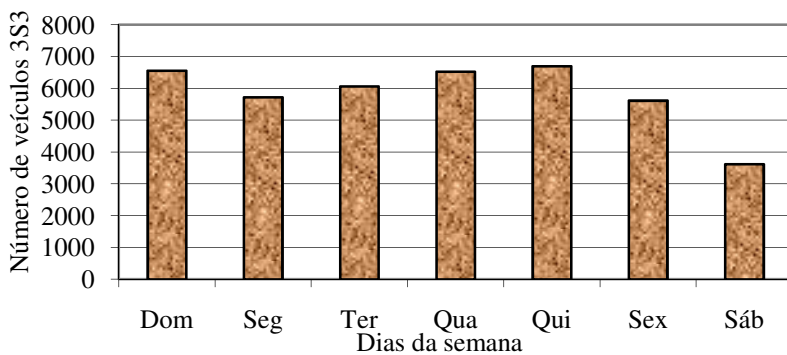


Figura A.40 Distribuição de frota por dia da semana - 3S3

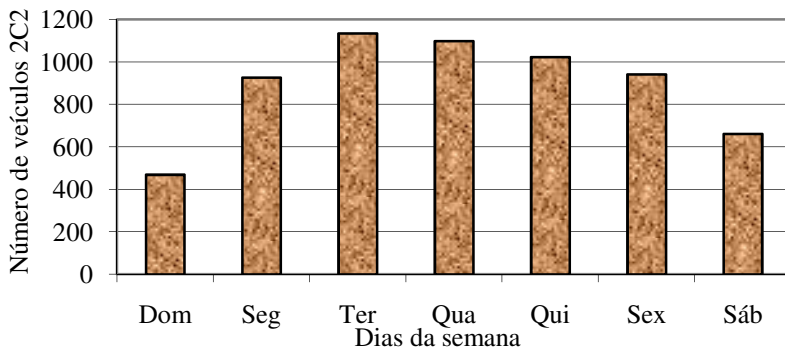


Figura A.41 Distribuição de frota por dia da semana - 2C2

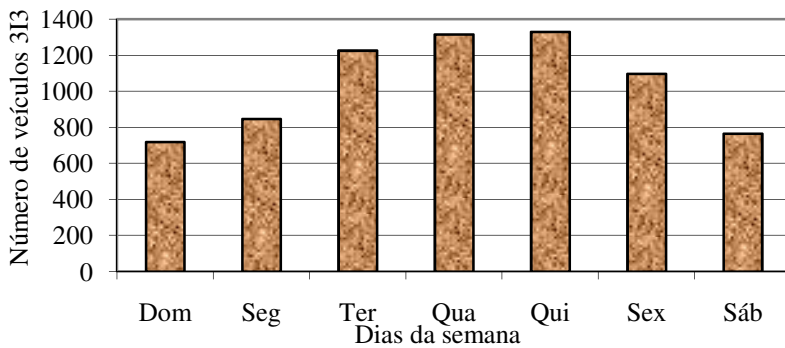


Figura A.42 Distribuição de frota por dia da semana - 3I3

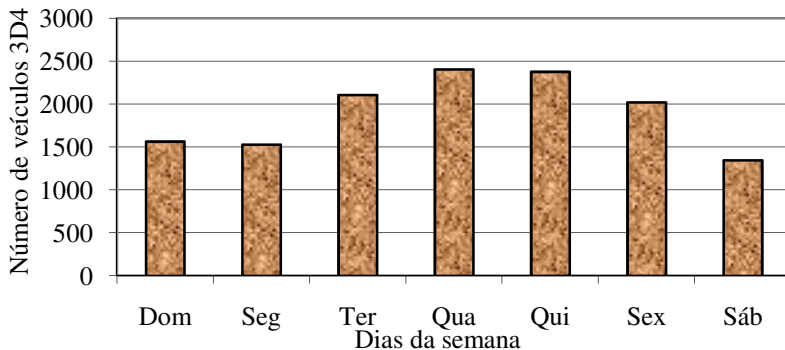


Figura A.43 Distribuição de frota por dia da semana - 3D4

A8GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO HORÁRIA - QUELUZ

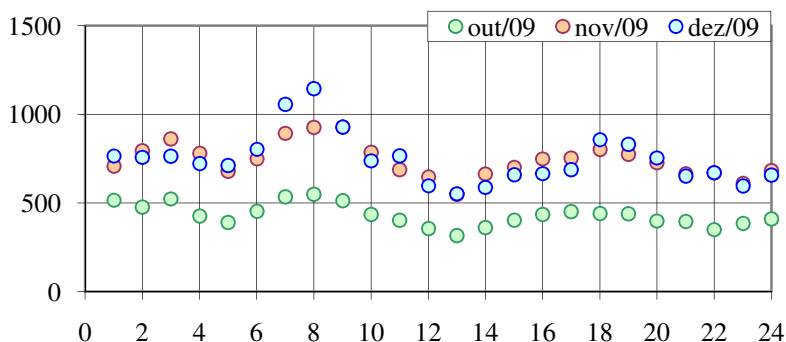


Figura A.44 Distribuição de frota por hora - 2C

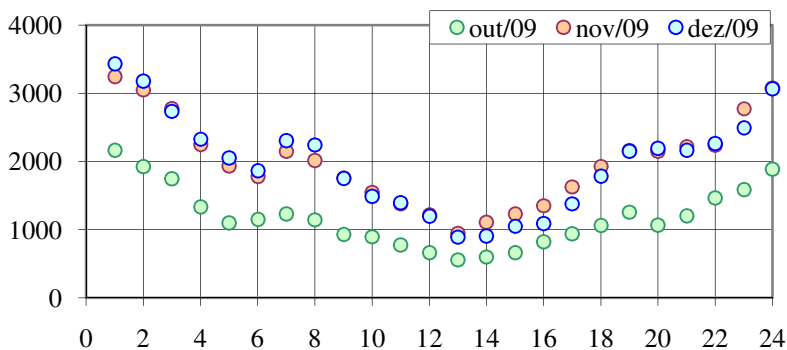


Figura A.45 Distribuição de frota por hora - 3C

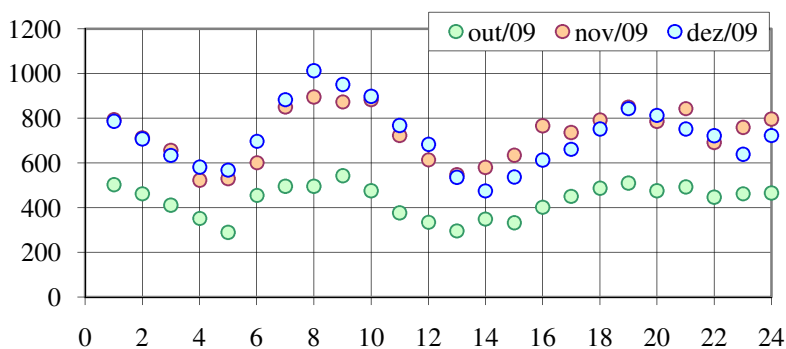


Figura A.46 Distribuição de frota por hora - 2S2

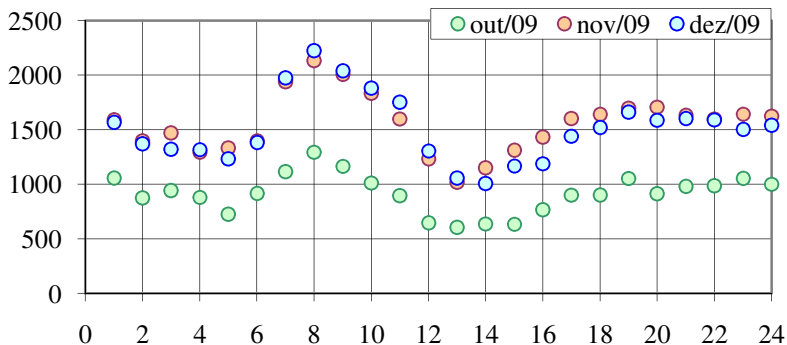


Figura A.47 Distribuição de frota por hora – 2S3

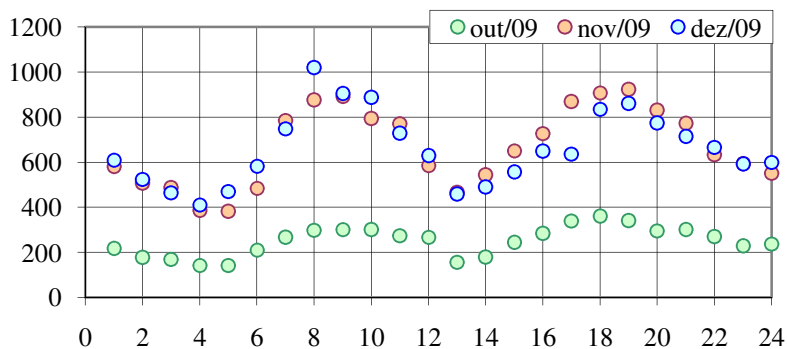


Figura A.48 Distribuição de frota por hora - 3S3

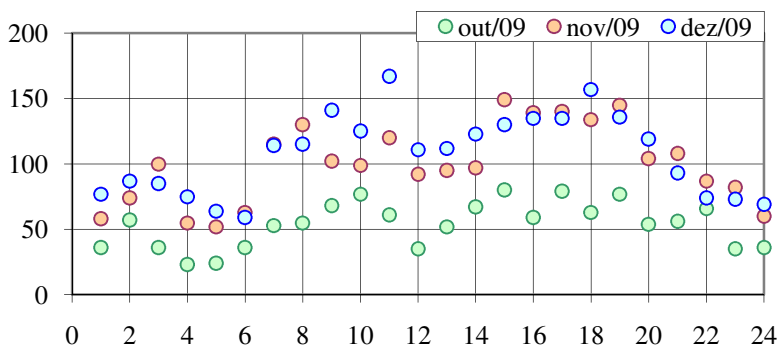


Figura A.49 Distribuição de frota por hora - 2C2

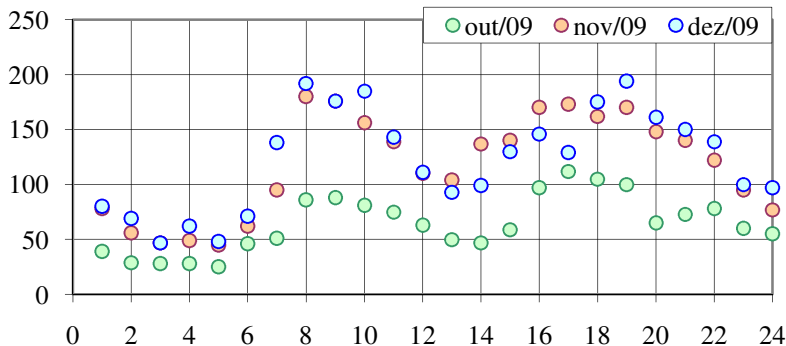


Figura A.50 Distribuição de frota por hora - 3I3

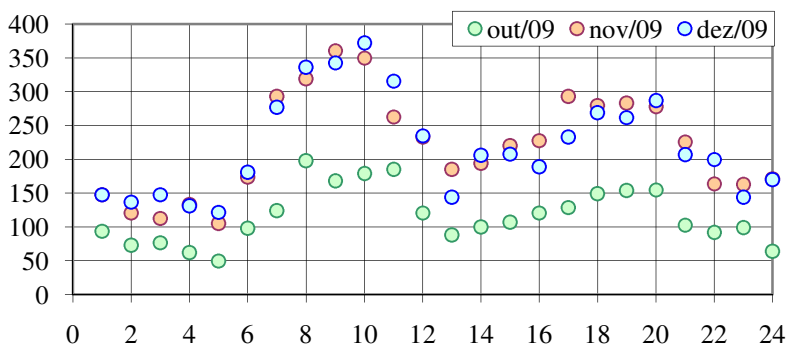


Figura A.51 Distribuição de frota por hora - 3D4

A9 GRÁFICO DE PBT – BALANÇA DE GUARAREMA

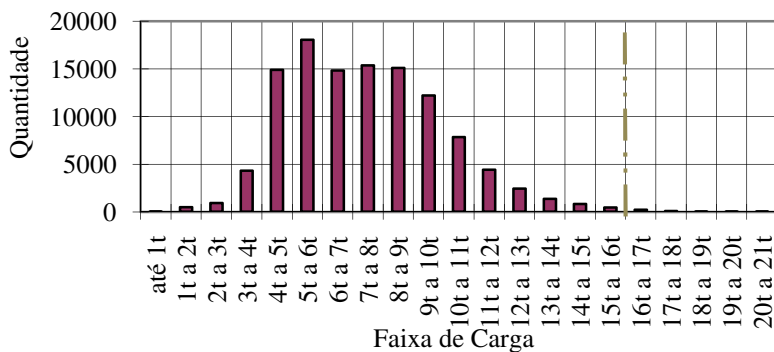


Figura A.52 Distribuição do PBT - 2C

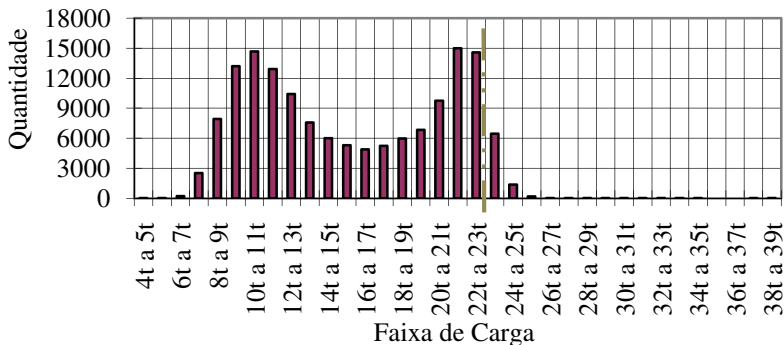


Figura A.53 Distribuição do PBT - 3C

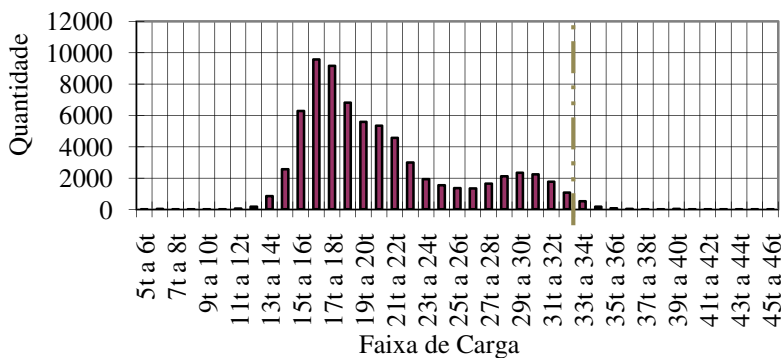


Figura A.54 Distribuição do PBT - 2S2

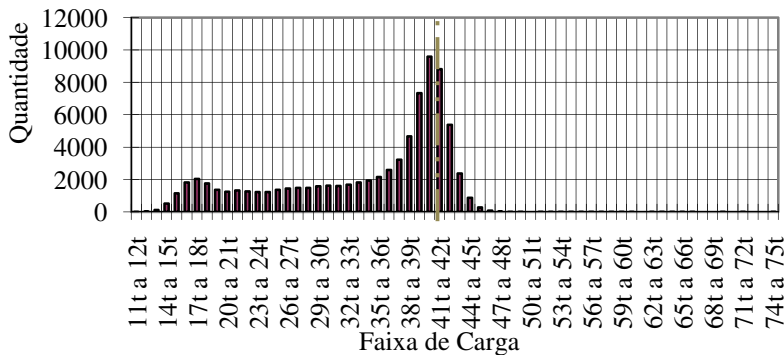


Figura A.55 Distribuição do PBT - 2S3

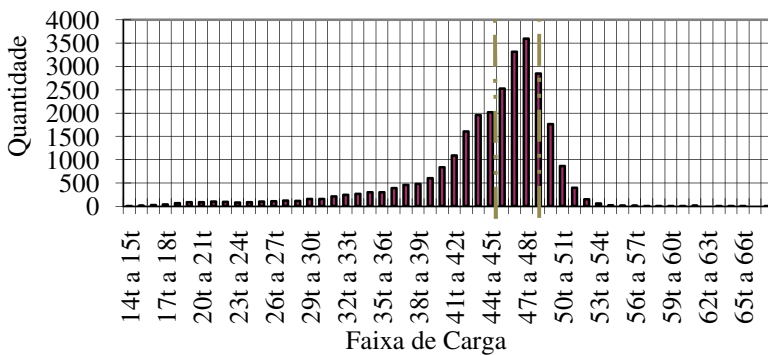


Figura A.56 Distribuição do PBT - 3S3

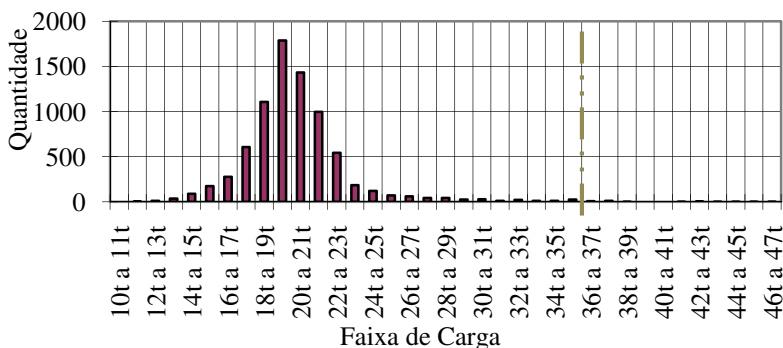


Figura A.57 Distribuição do PBT - 2C2

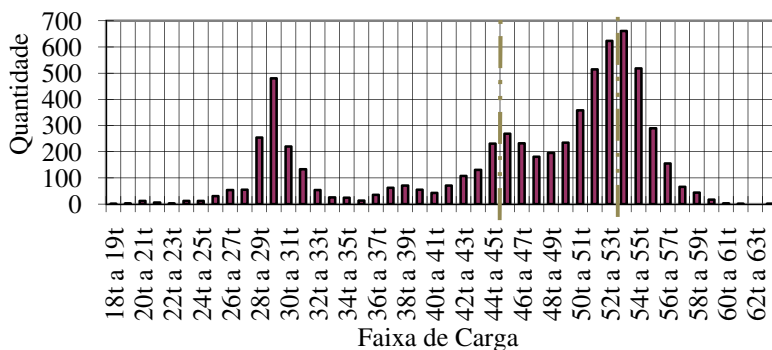


Figura A.58 Distribuição do PBT - 3I3

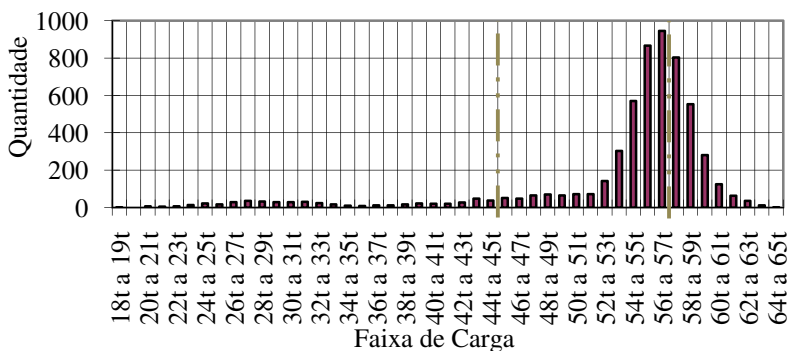


Figura A.59 Distribuição do PBT - 3D4

A10 GRÁFICO DE CARGAS POR EIXOS - GUARAREMA

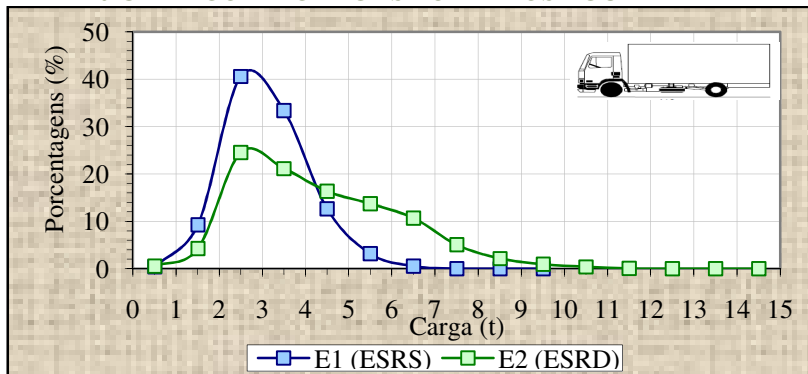


Figura A.60 Distribuição de cargas por eixo - 2C

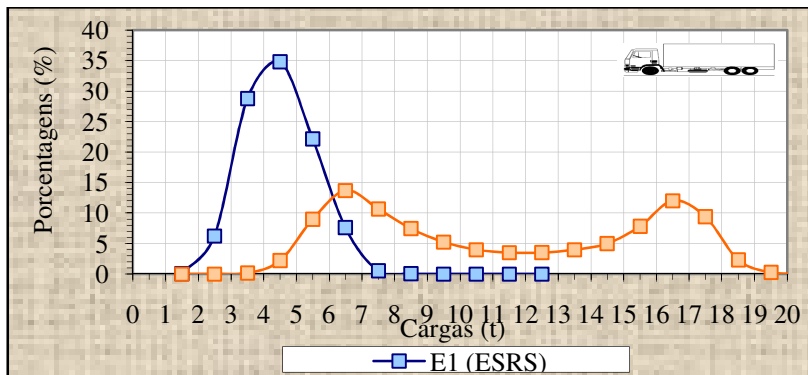


Figura A.61 Distribuição de cargas por eixo - 3C

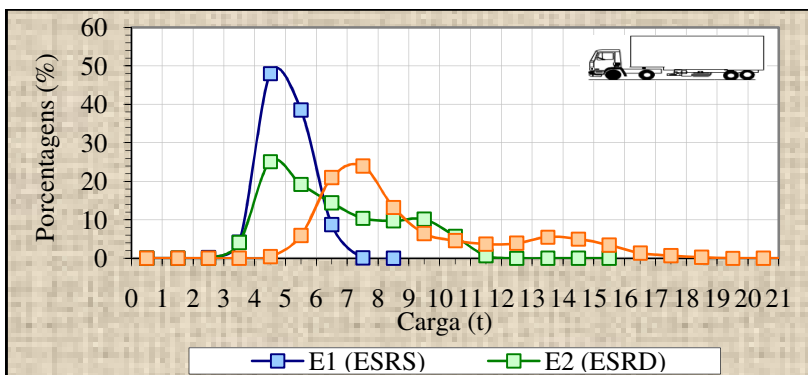


Figura A.62 Distribuição de cargas por eixo - 2S2

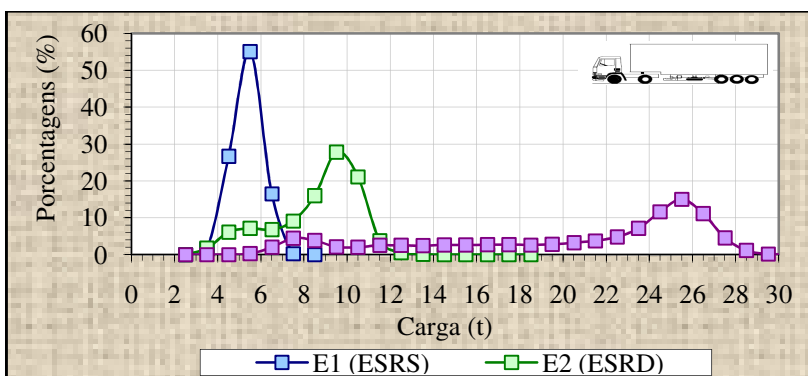


Figura A.63 Distribuição de cargas por eixo - 2S3

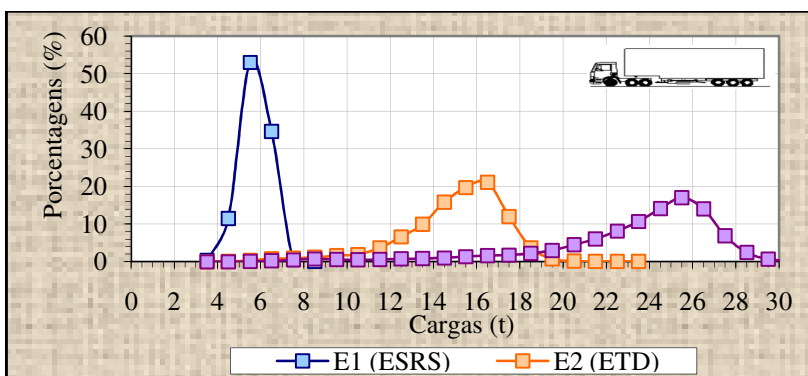


Figura A.64 Distribuição de cargas por eixo - 3S3

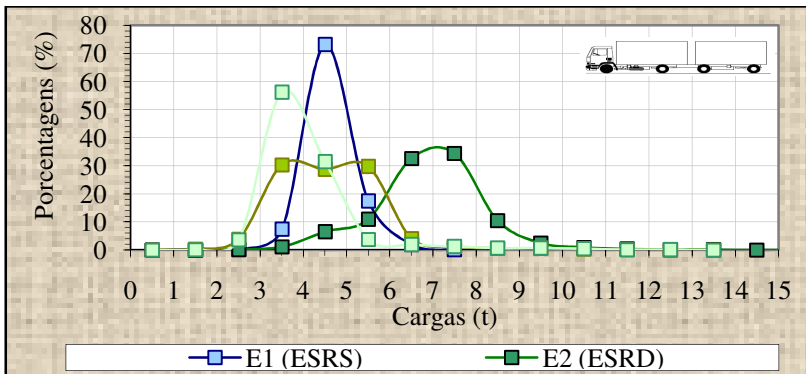


Figura A.65 Distribuição de cargas por eixo - 2C2

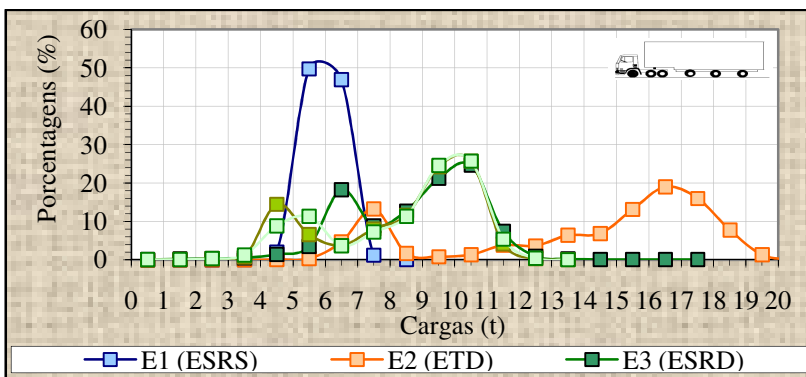


Figura A.66 Distribuição de cargas por eixo - 3I3

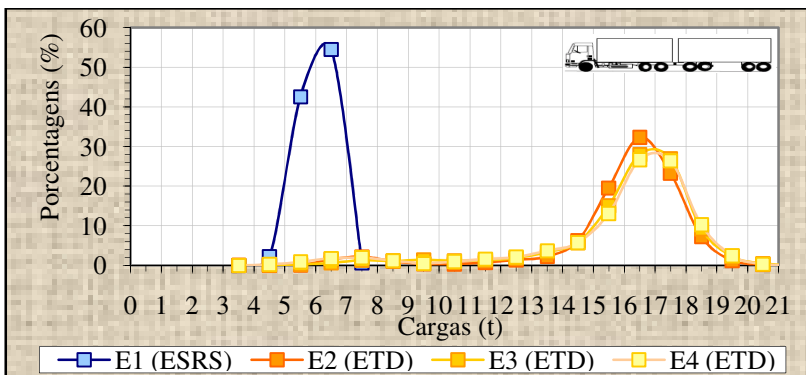


Figura A.67 Distribuição de cargas por eixo - 3D4

A11 GRÁFICOS DE DISTRIBUIÇÃO DIÁRIA SEMANAL - GUARAREMA

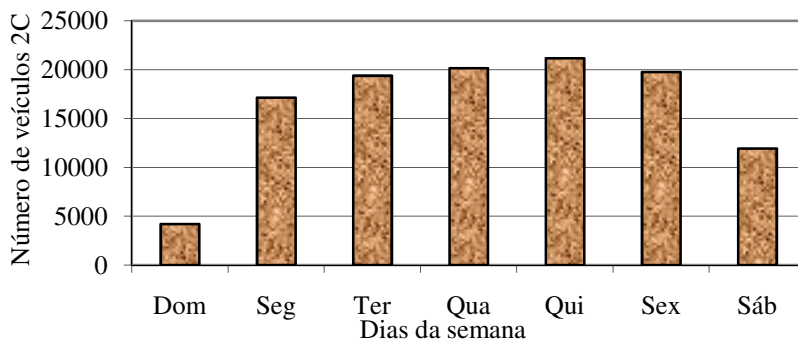


Figura A.68 Distribuição de frota por dia da semana - 2C

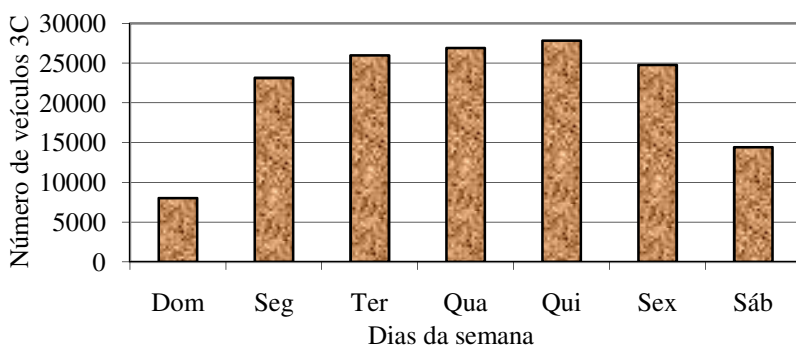


Figura A.69 de frota por dia da semana - 3C

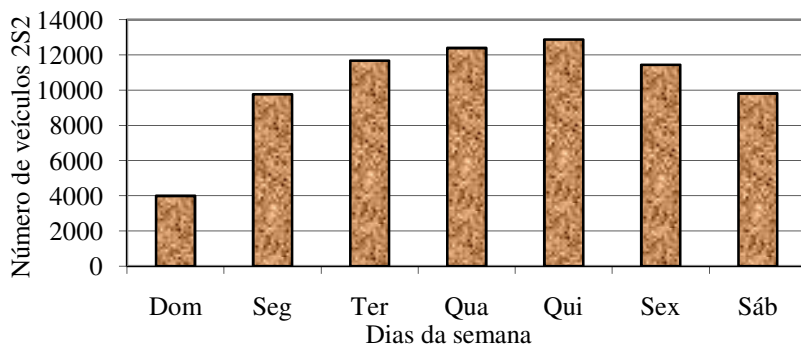


Figura A.70 de frota por dia da semana - 2S2

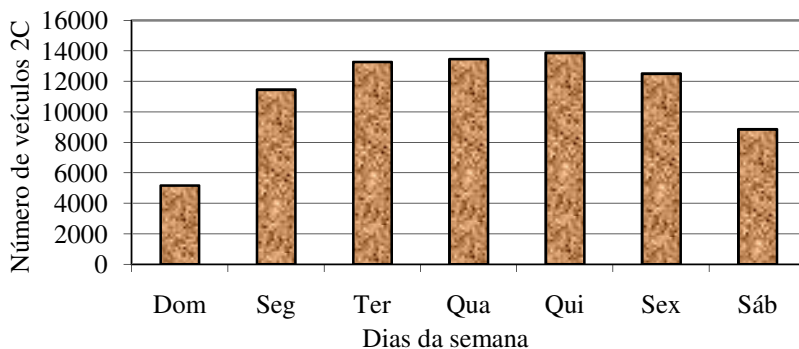


Figura A.71 de frota por dia da semana - 2S3

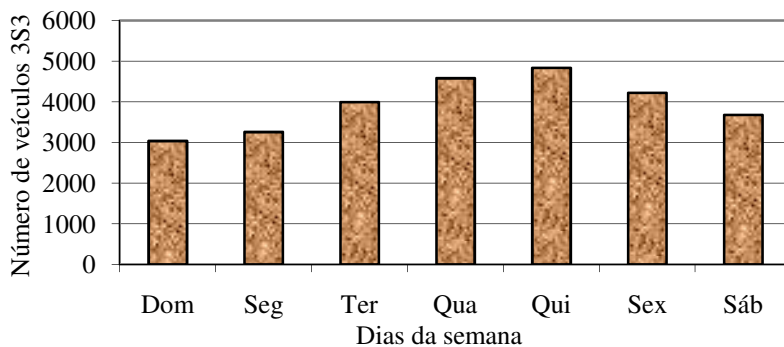


Figura A.72 de frota por dia da semana - 3S3

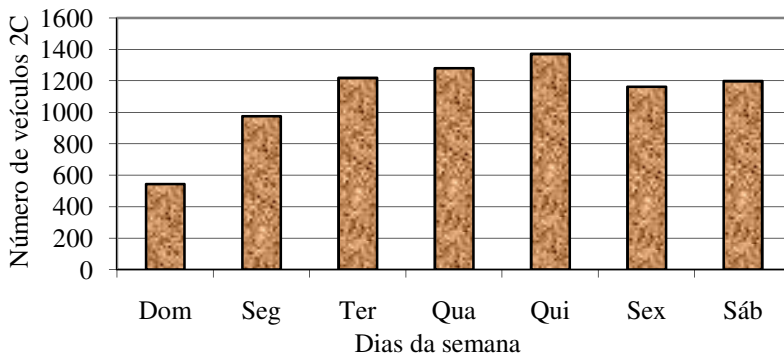


Figura A.73 de frota por dia da semana - 2C2

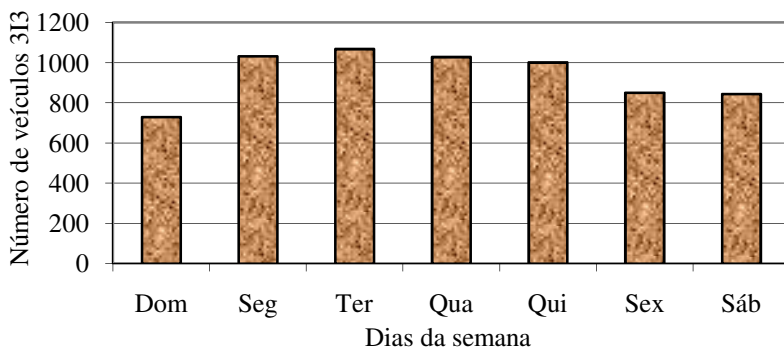


Figura A.74 de frota por dia da semana - 3I3

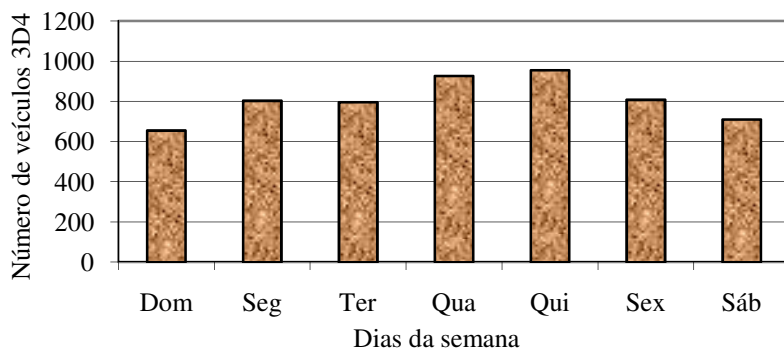


Figura A.75 de frota por dia da semana - 3D4

A12 GRÁFICOS DE DISTRIBUIÇÃO HORÁRIA - GUARAREMA

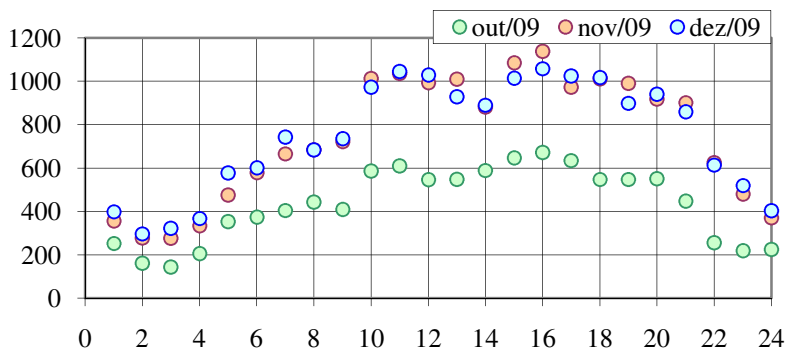


Figura A.76 Distribuição de frota por hora - 2C

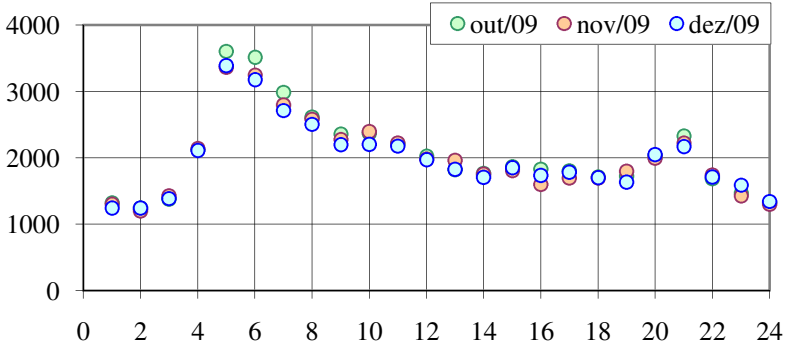


Figura A.77 Distribuição de frota por hora - 3C

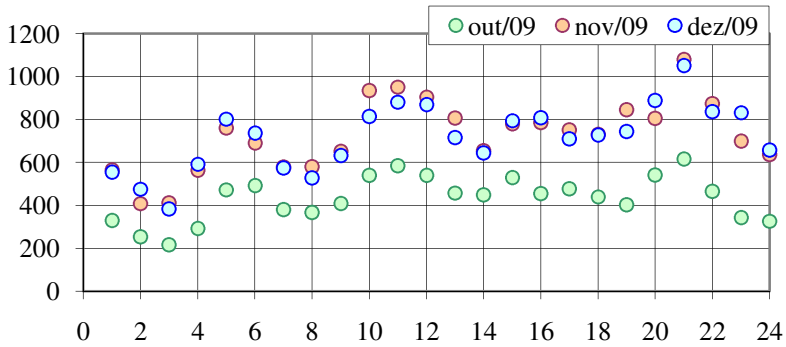


Figura A.78 Distribuição de frota por hora - 2S2

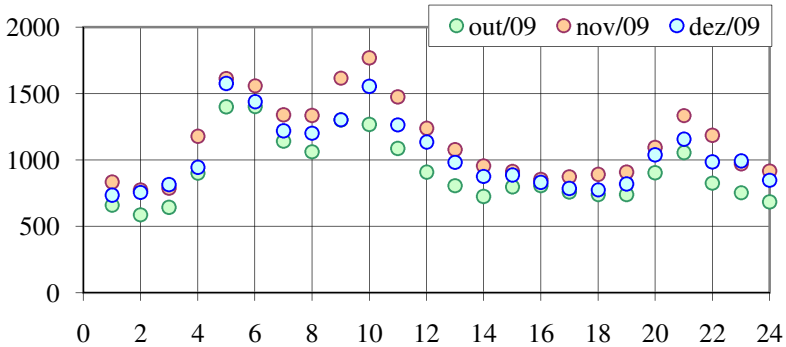


Figura A.79 Distribuição de frota por hora - 2S3

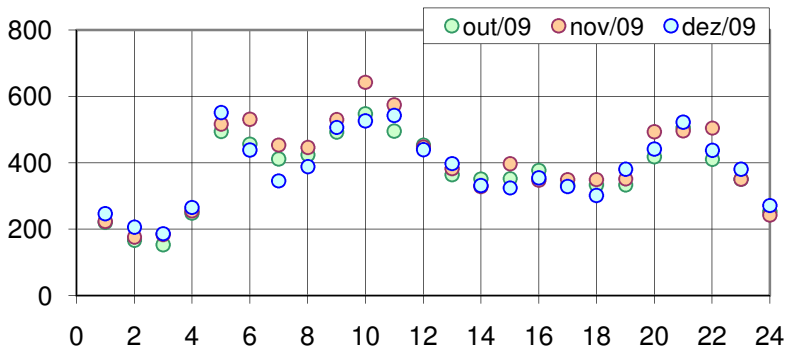


Figura A.80 Distribuição de frota por hora - 3S3

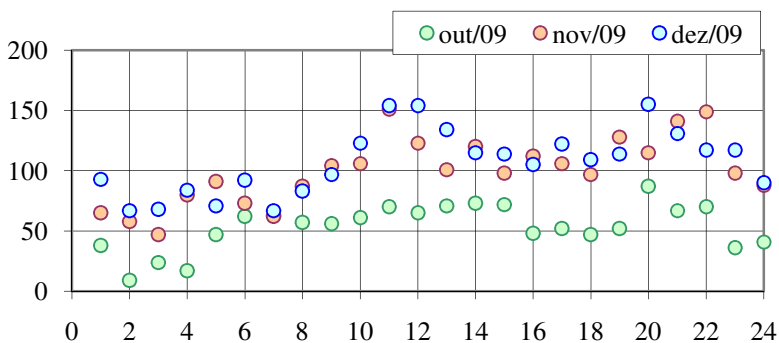


Figura A.81 Distribuição de frota por hora - 2C2

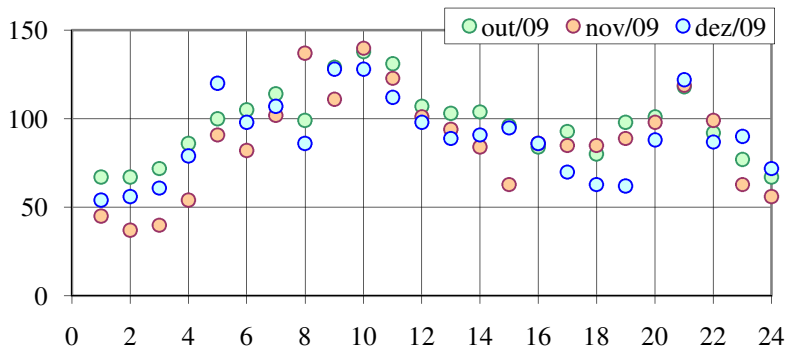


Figura A.82 Distribuição de frota por hora - 3I3

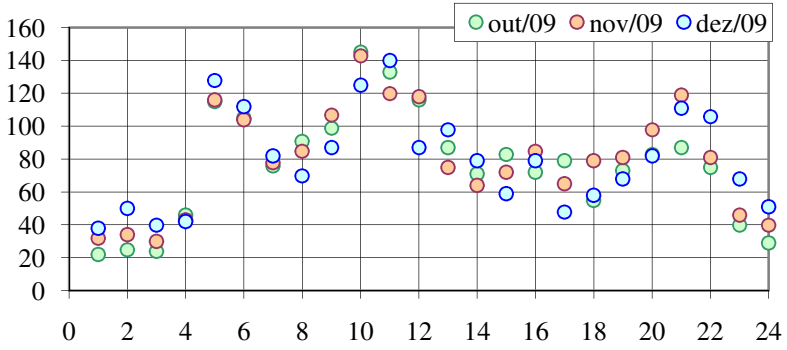


Figura A.83 Distribuição de frota por hora - 3D3

A13 IMPRESSÃO DE PNEUS COM DELIMITAÇÃO DAS POLILINHAS

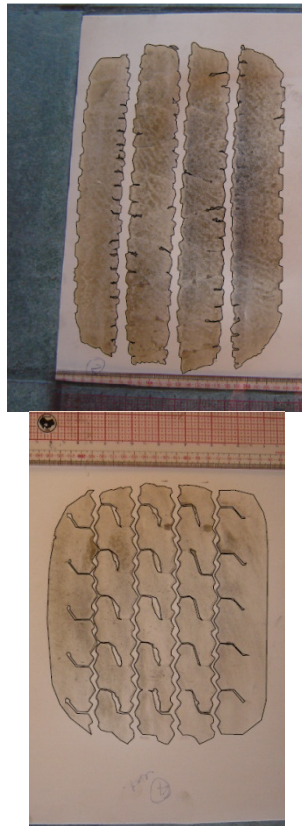
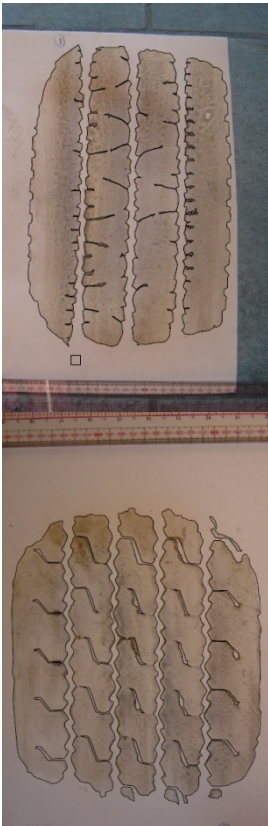




Figura A.84 Impressão de pneus do guincho com polilinhas delimitando as áreas

A14 TEMPOS DE SUBIDA DOS VEÍCULOS COMERCIAIS NA SERRA DAS ARARAS

Tabela A.4 Dados gerais de contagens de veículos e cronometragens para o percurso da Serra das Araras Pista Sul

Tempo de subida	Velocidade (km/h)	Configuração		Tipo de carroceria					Carga		
		Repres. gráfica	Código	baú	aberta	tanque	cegonha	basculante	vazio	1/2 carga	carregado
0:14:38	32,10	0+0+000	3S3	x							
0:11:03	42,52	0+00	3C	x							
0:19:51	23,67	0+00+000	3S3	x							
0:12:46	36,80	0+0+00	2S2	x							
0:10:48	43,50	0+0+00	2S2	x							
0:14:12	33,08	0+0+000	2S3		x						x
0:10:34	44,46	0+0+00	2S2	x							
0:10:34	44,46	0+0+00	2S2	x							
0:14:20	32,78	0+00+000	3S3		x						x
0:11:48	39,81	0+0	2C		x					x	
0:12:15	38,35	0+0+000	2S3		x						x
0:14:34	32,25	0+0	2C	x							
0:11:23	41,27	0+0	2C								
0:11:19	41,51	0+00	3C								
0:11:38	40,38	0+0+000	2S3	x							
0:11:37	40,44	0+0+000	2S3	x							
0:11:35	40,56	0+0	2C	x							
0:11:22	41,33	0+0+000	2S3		x				x		
0:35:45	13,14	0+00	3C					x			x
0:11:23	41,27	0+00+000	3S3	x							
0:11:30	40,85	0+00	3C	x							
0:11:22	41,33	0+0+00	2S2	x							
0:11:18	41,58	0+0+000	2S3	x							
0:11:25	41,15	0+00+000	3S3		x						x
0:11:16	41,70	0+0+00	2S2	x							
0:14:49	31,71	0+0+00	2S2	x							
0:11:01	42,64	0+00	3C	x							
0:14:29	32,44	0+0+000	2S3		x						x
0:09:42	48,43	0+00	3C	x							

Tempo de subida	Velocidade (km/h)	Configuração		Tipo de carroceria					Carga		
		Repres. gráfica	Código	baú	aberta	tanque	cegonha	basculante	vazio	1/2 carga	carregado
0:14:36	32,18	0+0+000	2S3	x							
0:11:30	40,85	0+00	3C		x						x
0:11:08	42,20	0+0+00	2S2	x							
0:10:15	45,83	0+0+000	2S3	x							
0:13:05	35,91	0+0	2C	x							
0:12:26	37,79	0+00+00+00+00	3T6		x						x
0:14:45	31,85	0+0+000	2S3	x							
0:16:39	28,22	0+00	3C		x					x	
0:12:21	38,04	0+00+0+0+0	3I3			x					
0:13:20	35,24	0+0+000	2S3					x			x
0:11:52	39,59	0+0+000	2S3			x					
0:11:56	39,37	0+00	3C					x		x	
0:18:59	24,75	0+00	3C	x							
0:12:53	36,47	0+00	3C		x						x
0:17:57	26,17	0+00+000	3S3	x							
0:13:26	34,97	0+00	3C			x					
0:10:15	45,83	0+0	2C		x				x		
0:10:59	42,77	0+0	2C	x							
0:11:41	40,21	0+00	3C		x					x	
0:10:24	45,17	0+0+000	2S3		x						x
0:13:58	33,64	0+0+000	2S3					x			x
0:10:40	44,04	0+0+000	2S3		x						x
0:10:20	45,46	0+00	3C		x				x		
0:12:48	36,70	0+0+000	2S3	x							
0:10:52	43,23	0+0+00	2S2	x							
0:22:43	20,68	0+00	3C		x						x
0:09:22	50,16	0+0	2C	x							
0:10:05	46,59	0+00+000	3S3	x							
0:09:34	49,11	0+0+000	2S3		x					x	
0:10:15	45,83	0+00	3C		x				x		
0:08:50	53,18	0+00	3C		x					x	

Tempo de subida	Velocidade (km/h)	Configuração		Tipo de carroceria					Carga		
		Repres. gráfica	Código	baú	aberta	tanque	cegonha	basculante	vazio	1/2 carga	carregado
0:09:59	47,06	0+00	3C	x							
0:23:37	19,89	0+00	3C	x							
0:09:48	47,94	0+0	2C	x							
0:09:50	47,78	0+0+000	2S3		x						x
0:10:27	44,96	0+00	3C		x				x		
0:09:32	49,28	0+00	3C	x							
0:10:38	44,18	0+00+000	3S3	x							
0:10:09	46,29	0+0	2C	x							
0:10:11	46,13	0+00	3C		x						
0:17:46	26,44	0+00+0+00	3C3		x						x
0:08:26	55,71	0+00	3C		x						x
0:08:26	55,71	0+0	2C	x							
0:14:33	32,29	0+00	3C		x						x
0:09:11	51,16	0+00	3C		x						x
0:08:35	54,73	0+00+00+00	3D4			x					
0:13:16	35,41	0+0	2C	x							
0:10:50	43,37	0+00	3C		x						x
0:10:17	45,69	0+00+000	3S3	x							
0:08:41	54,10	0+00	3C		x					x	
0:10:35	44,39	0+0	2C		x				x		
0:10:03	46,75	0+0	2C		x				x		
0:09:16	50,70	0+00	3C	x							
0:20:13	23,24	0+0+000	2S3		x						x
0:20:22	23,07	0+0+000	2S3		x						x
0:09:09	51,34	0+0+000	2S3			x					
0:09:56	47,30	0+0+000	2S3			x					
0:09:07	51,53	0+000	4C		x				x		
0:11:07	42,26	0+00	3C	x							
0:11:46	39,93	0+00+000	3S3			x					
0:16:41	28,16	0+0+000	2S3		x						x

Tempo de subida	Velocidade (km/h)	Configuração		Tipo de carroceria					Carga		
		Repres. gráfica	Código	baú	aberta	tanque	cegonha	basculante	vazio	1/2 carga	carregado
0:13:21	35,19	0+0	2C	x							
0:09:36	48,94	0+0	2C		x				x		
0:10:52	43,23	0+00+000	3S3	x							
0:13:59	33,60	0+00	3C	x							
0:08:40	54,21	0+00	3C	x							
0:09:38	48,77	0+00+000	3S3	x							
0:08:45	53,69	0+00	3C		x						x
0:09:13	50,97	0+00+000	3S3		x					x	
0:13:05	35,91	0+0+0	2S1				x			x	
0:09:31	49,37	0+000	4C		x						
0:09:01	52,10	0+0+00	2S2	x							
0:13:04	35,95	0+0+000	2S3	x							
0:10:13	45,98	0+0+000	2S3					x	x		
0:10:29	44,81	0+00+000	3S3	x							
0:09:16	50,70	0+00+000	3S3		x				x		
0:09:51	47,70	0+0+000	2S3	x							
0:09:47	48,02	0+0	2C	x							
0:15:47	29,77	0+0+000	2S3	x							
0:16:13	28,97	0+0+00	2S2		x						x
0:16:22	28,70	0+0+000	2S3		x						x
0:09:13	50,97	0+00+0+00	3C3			x					
0:09:27	49,71	0+00	3C		x						x
0:17:33	26,77	0+0+000	2S3		x						x

A15 GRÁFICOS DE VELOCIDADES DESENVOLVIDAS PELOS VEÍCULOS COMERCIAIS CRONOMETRADOS NA SERRA DAS ARARAS – PISTA SUL

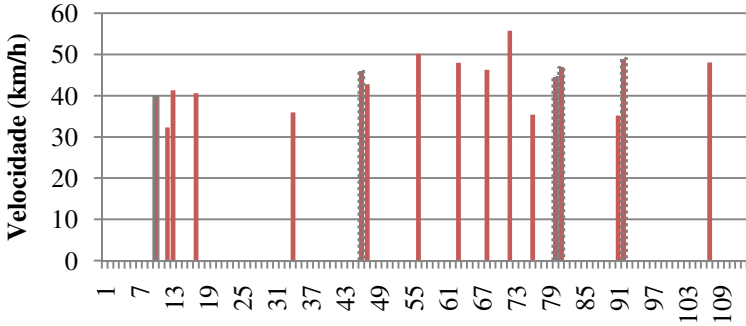


Figura A.85 Velocidades desenvolvidas na Serra das Araras – Pista Sul – 2C

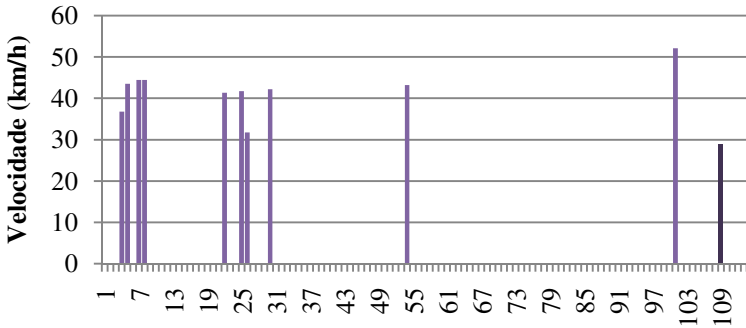


Figura A.86 desenvolvidas na Serra das Araras – Pista Sul – 2S2

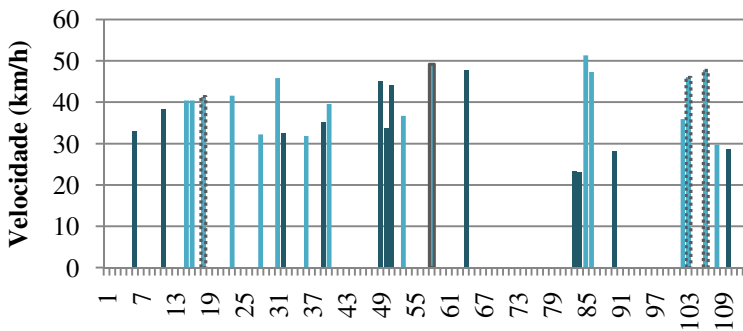


Figura A.87 desenvolvidas na Serra das Araras – Pista Sul – 2S3

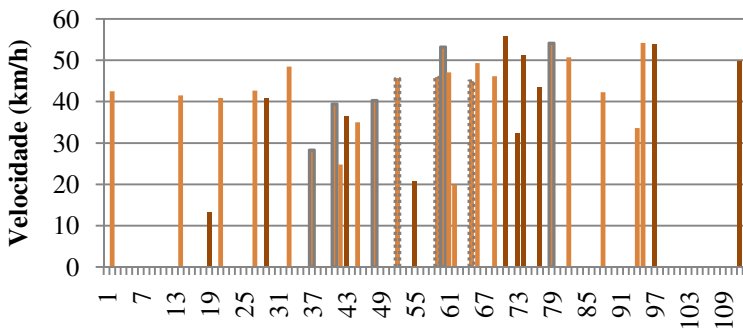


Figura A.88 desenvolvidas na Serra das Araras – Pista Sul – 3C

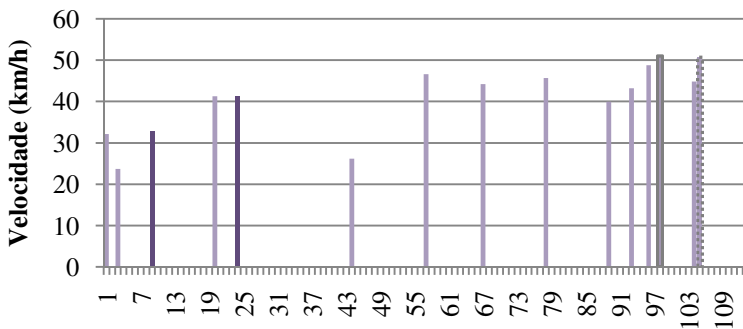


Figura A.89 desenvolvidas na Serra das Araras – Pista Sul – 3S3

**A16 GRÁFICOS ORIGINADOS COM OS DADOS
PROCESSADOS NO VISCOROUTE CONSIDERANDO
CAMADA DE REVESTIMENTO COM COMPORTAMENTO
TERMOVISCOELÁSTICO**

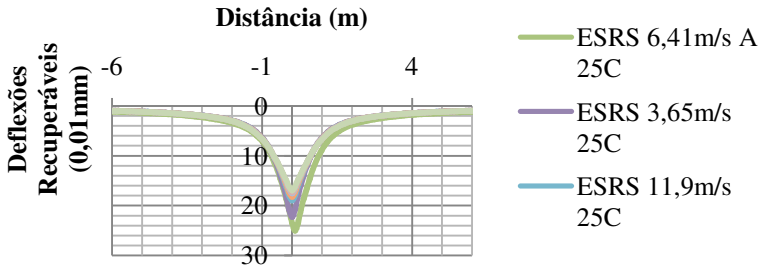


Figura A.90 Deflexões Sentido Transversal - ESRS - Temperatura 25C

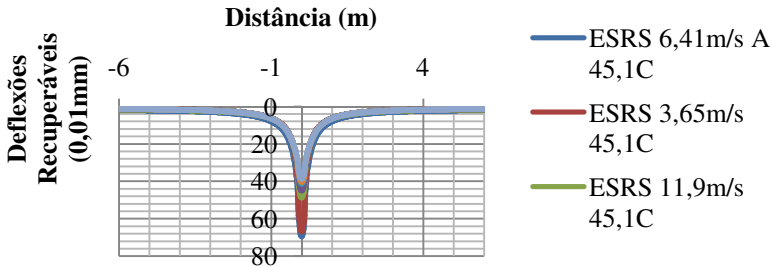


Figura A.91 Deflexões Sentido Transversal - ESRS - Temperatura 45,1C

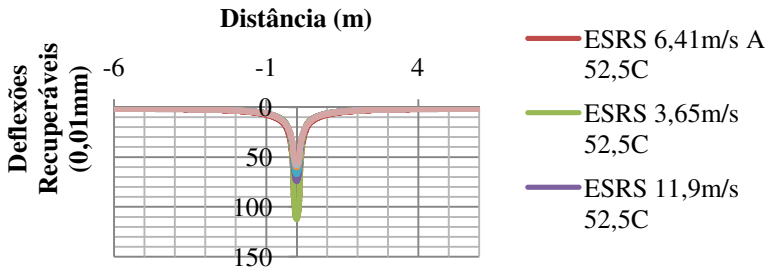


Figura A.92 Deflexões Sentido Transversal - ESRS - Temperatura 52,5C

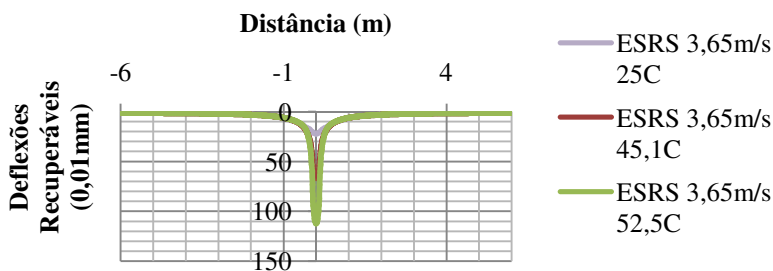


Figura A.93 Deflexões Sentido Transversal - ESRS - Velocidade 3,65 m/s

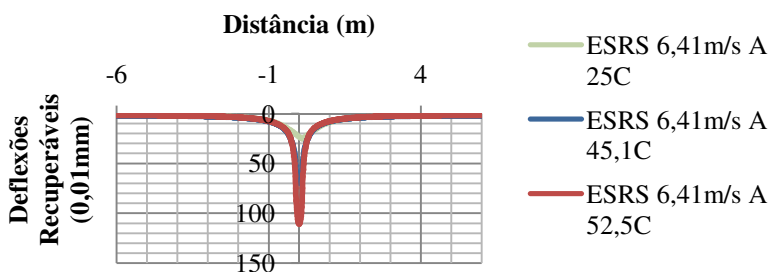


Figura A.94 Deflexões Sentido Transversal - ESRS - Velocidade 6,41 m/s

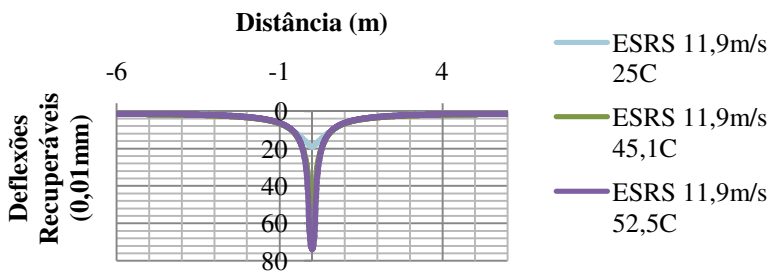


Figura A.95 Deflexões Sentido Transversal - ESRS - Velocidade 11,9 m/s

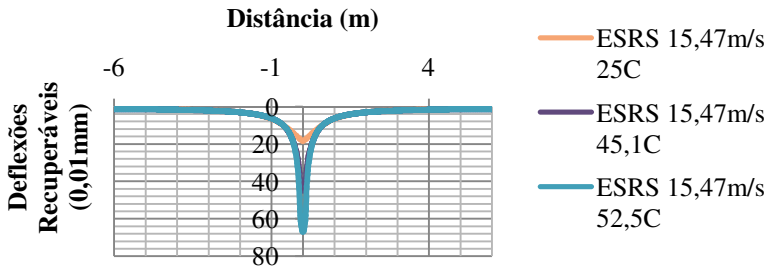


Figura A.96 Deflexões Sentido Transversal - ESRS - Velocidade 15,47 m/s

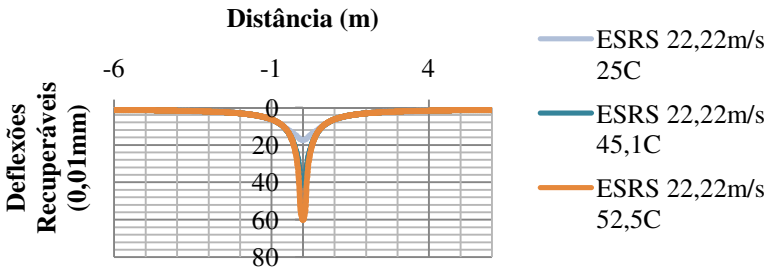


Figura A.97 Deflexões Sentido Transversal - ESRS - Velocidade 22,22 m/s

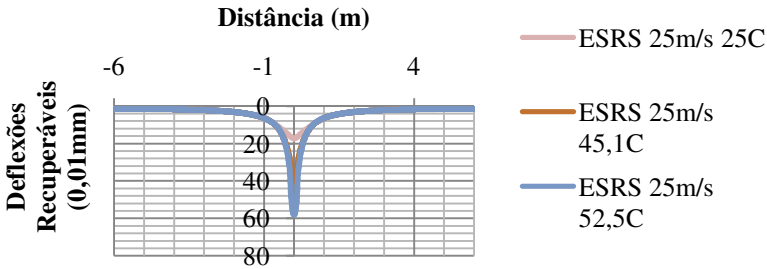


Figura A.98 Deflexões Sentido Transversal - ESRS - Velocidade 25 m/s

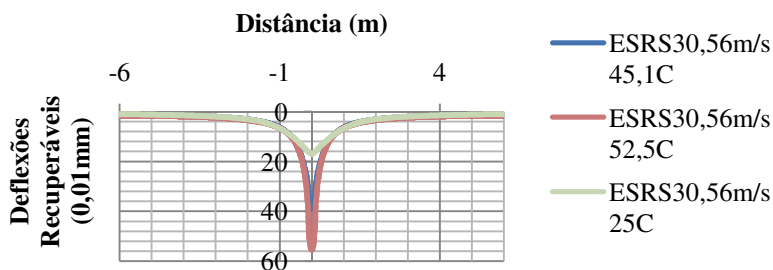


Figura A.99 Deflexões Sentido Transversal - ESRs – Velocidade 30,56m/s

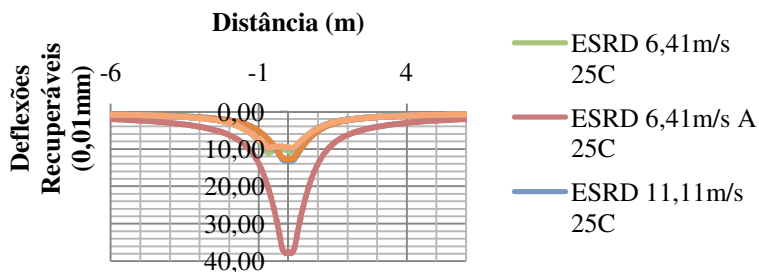


Figura A.100 Deflexões Sentido Transversal - ESRD – Temperatura 25C

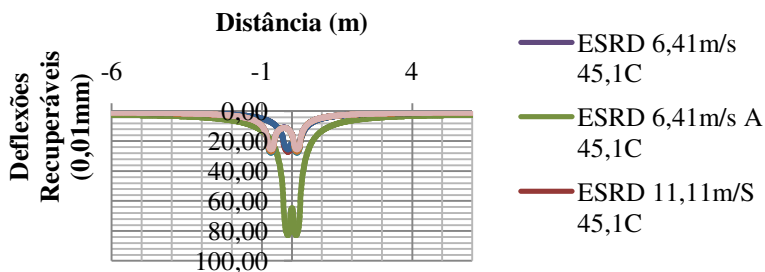


Figura A.101 Deflexões Sentido Transversal - ESRD – Temperatura 45,1C

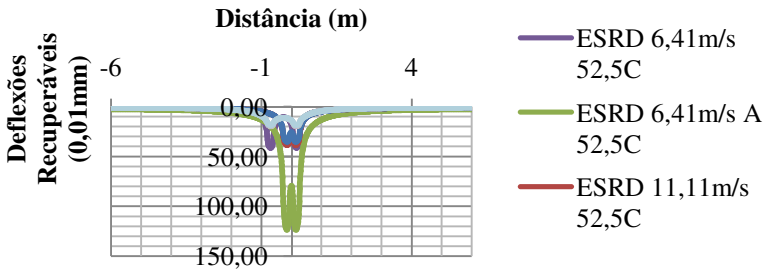


Figura A.102 Deflexões Sentido Transversal - ESRD – Temperatura 52,5C

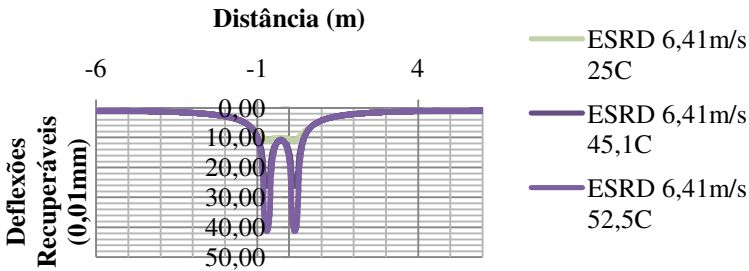


Figura A.103 Deflexões Sentido Transversal - ESRD – Velocidade 6,41m/s

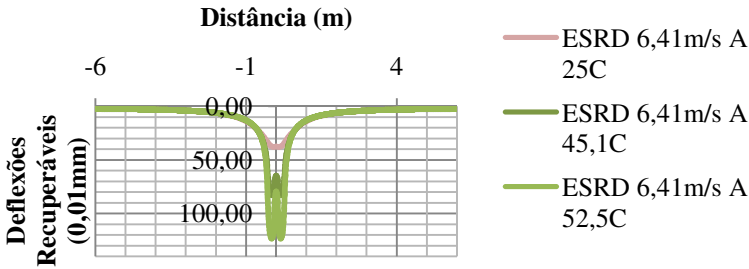


Figura A.104 Deflexões Sentido Transversal - ESRD – Velocidade 6,41m/s (2S3)

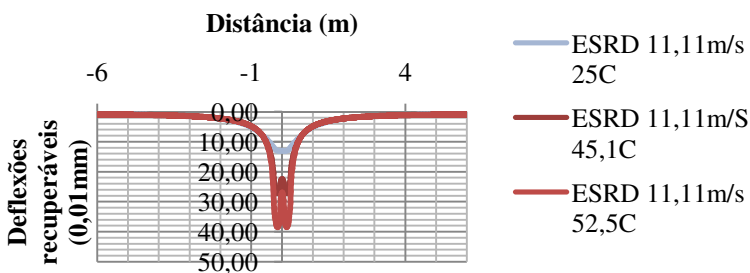


Figura A.105 Deflexões Sentido Transversal - ESRD – Velocidade 11,11m/s

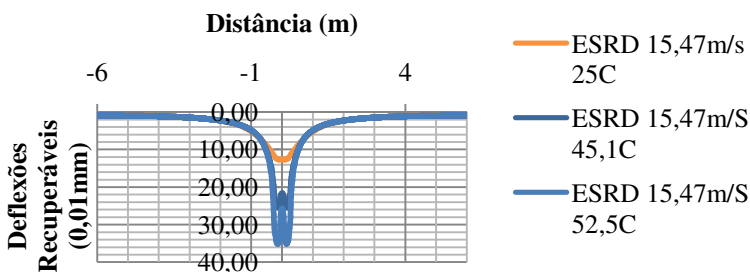


Figura A.106 Deflexões Sentido Transversal - ESRD – Velocidade 15,47m/s

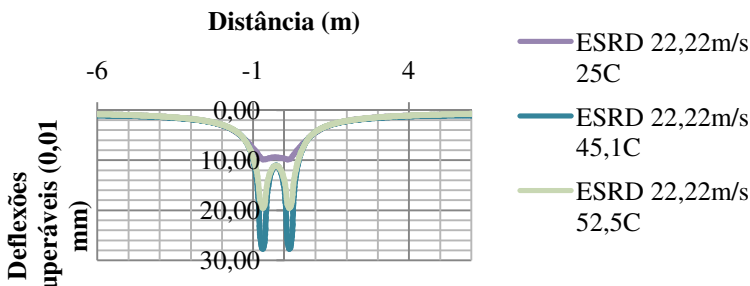


Figura A.107 Deflexões Sentido Transversal - ESRD – Velocidade 22,22m/s

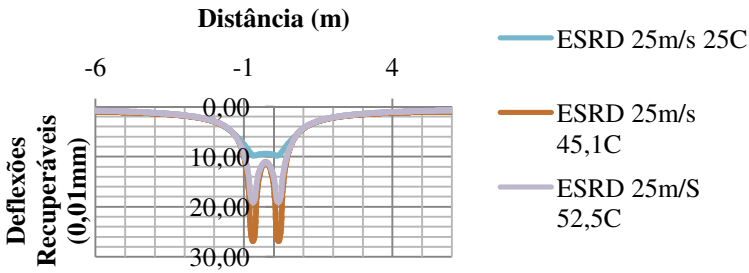


Figura A.108 Deflexões Sentido Transversal - ESRD – Velocidade 25m/s

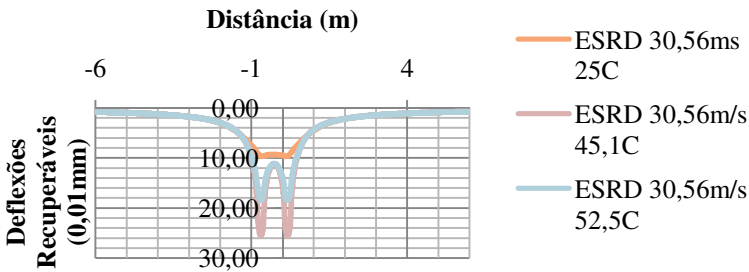


Figura A.109 Deflexões Sentido Transversal - ESRD – Velocidade 30,56m/s

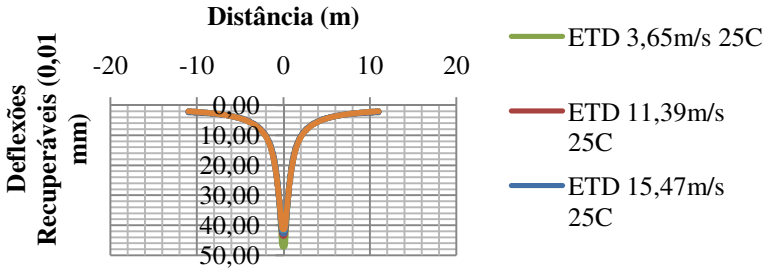


Figura A.110 Deflexões Sentido Transversal - ETD – Temperatura 25C

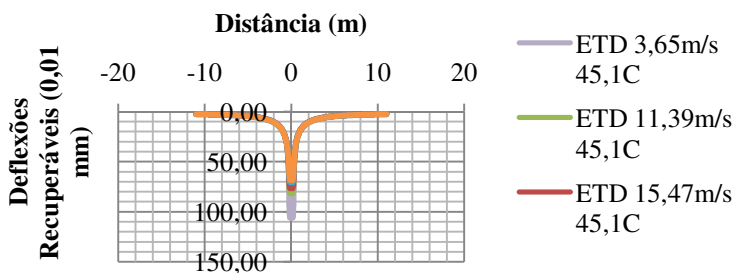


Figura A.111 Deflexão Sentido Transversal - ETD – Temperatura 45,1C

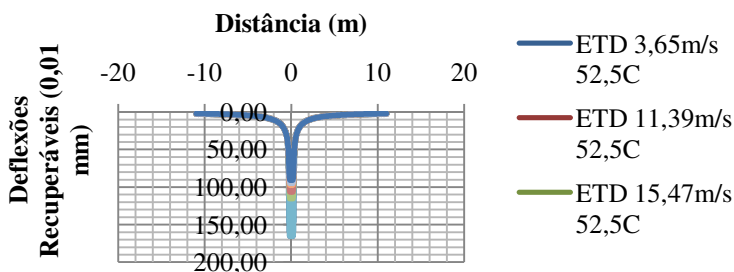


Figura A.112 Deflexão Sentido Transversal - ETD – Temperatura 52,5C

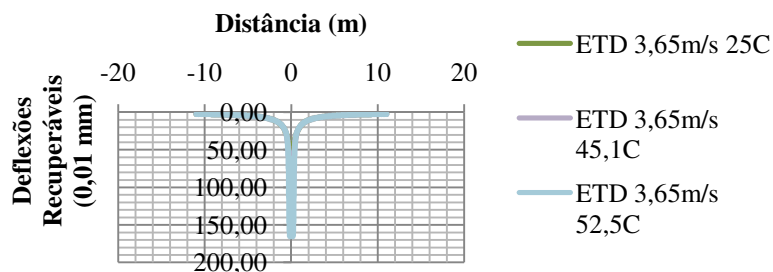


Figura A.113 Deflexão Sentido Transversal - ETD – Velocidade 3,65m/s

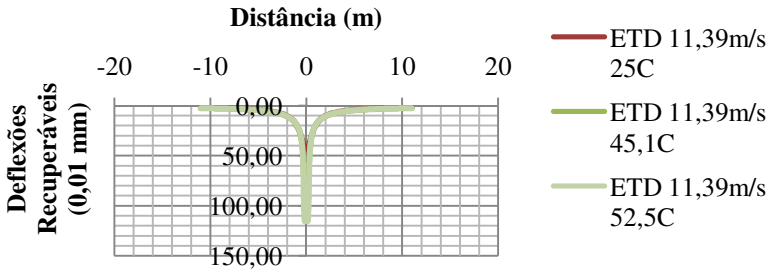


Figura A.114 Deflexão Sentido Transversal - ETD – Velocidade 11,39m/s

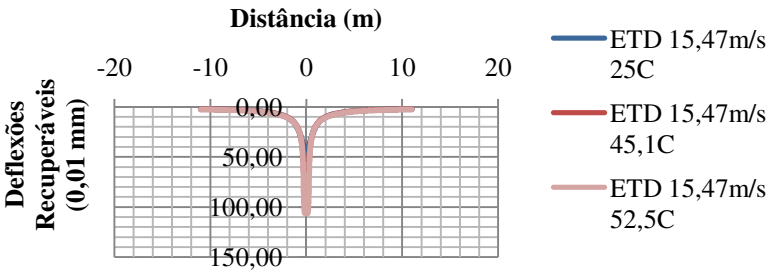


Figura A.115 Deflexão Sentido Transversal - ETD – Velocidade 15,47m/s

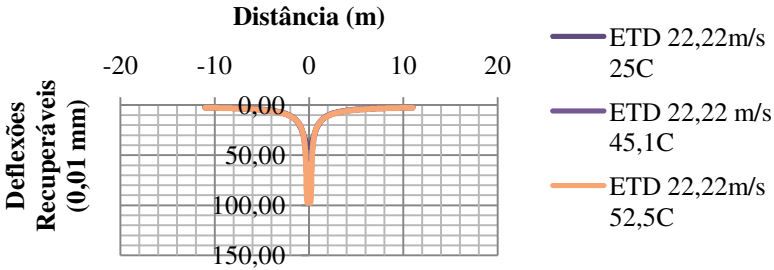


Figura A.116 Deflexão Sentido Transversal - ETD – Velocidade 22,22m/s

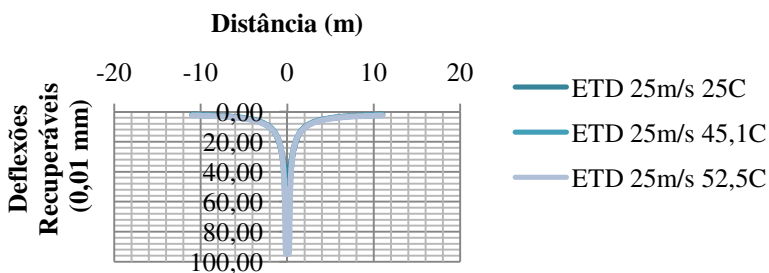


Figura A.117 Deflexão Sentido Transversal - ETD – Velocidade 25m/s

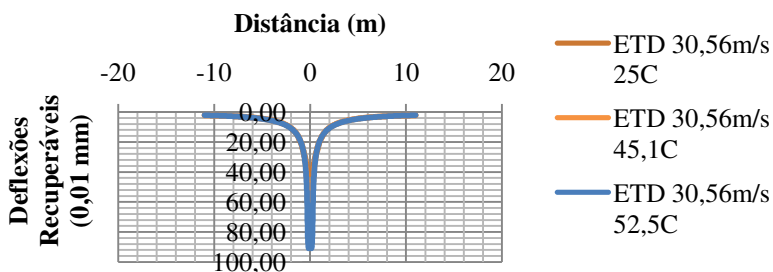


Figura A.118 Deflexão Sentido Transversal - ETD – Velocidade 30,56m/s

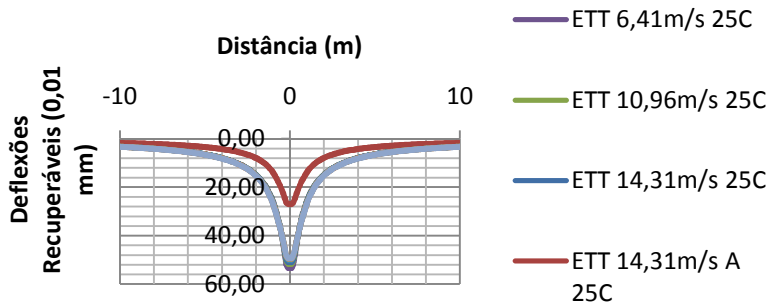


Figura A.119 Deflexão Sentido Transversal - ETT – Temperatura 25C

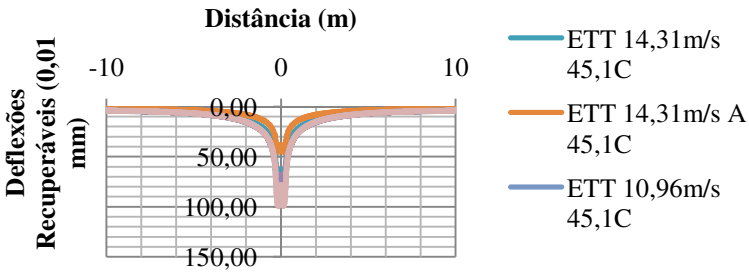


Figura A.120 Deflexão Sentido Transversal - ETT – Temperatura 45,1C

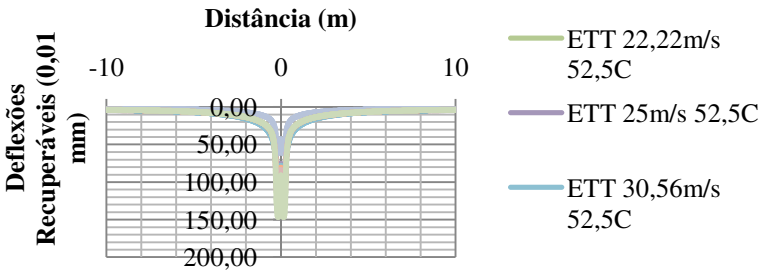


Figura A.121 Deflexão Sentido Transversal - ETT – Temperatura 52,5C

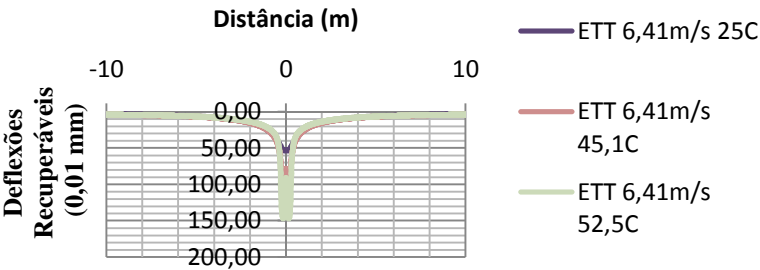


Figura A.122 Deflexão Sentido Transversal - ETT – Velocidade 6,41m/s

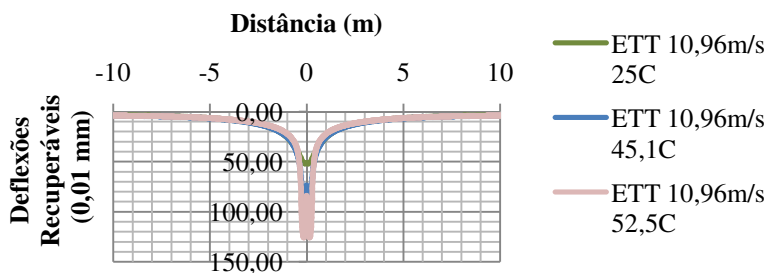


Figura A.123 Deflexão Sentido Transversal - ETT – Velocidade 10,96m/s

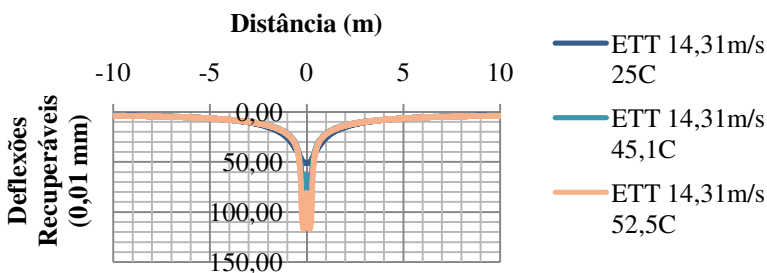


Figura A.124 Deflexão Sentido Transversal - ETT – Velocidade 14,31m/s

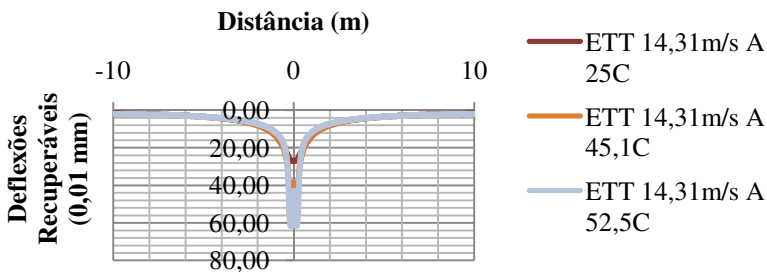


Figura A.125 Deflexão Sentido Transversal - ETT – Velocidade 14,31m/s (2S3)

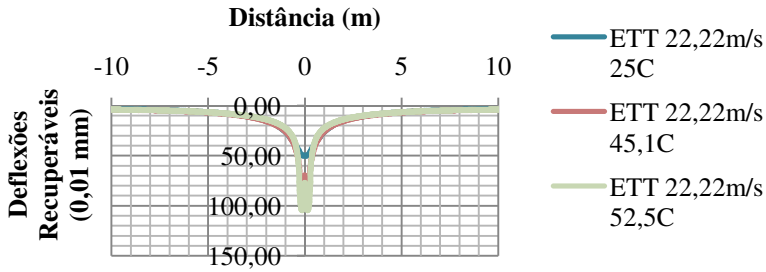


Figura A.126 Deflexão Sentido Transversal - ETT – Velocidade 22,22m/s

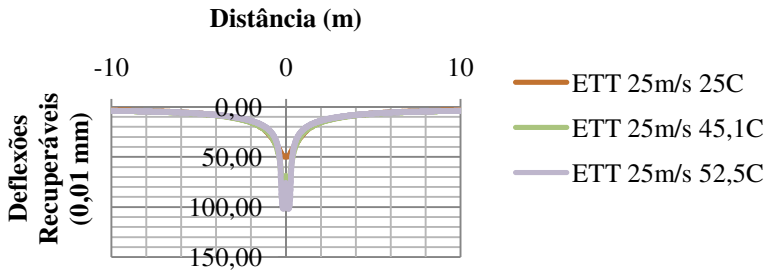


Figura A.127 Deflexão Sentido Transversal - ETT – Velocidade 25m/s

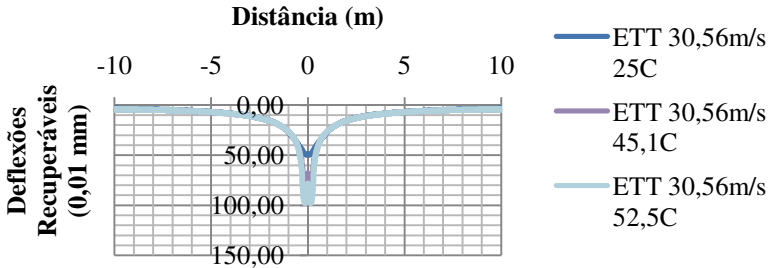


Figura A.128 Deflexão Sentido Transversal - ETT – Velocidade 30,56m/s

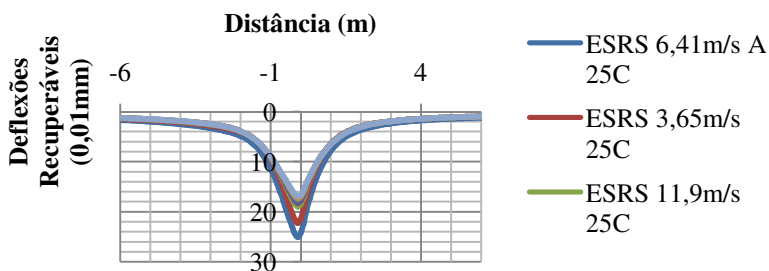


Figura A.129 Deflexões Sentido Longitudinal - ESRS – Temperatura 25C

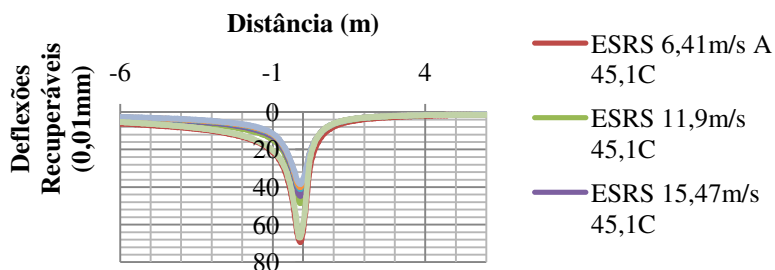


Figura A.130 Deflexões Sentido Longitudinal - ESRS – Temperatura 45,1C

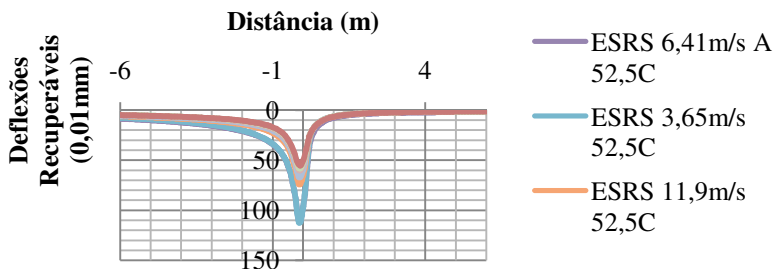


Figura A.131 Deflexões Sentido Longitudinal - ESRS – Temperatura 52,5C

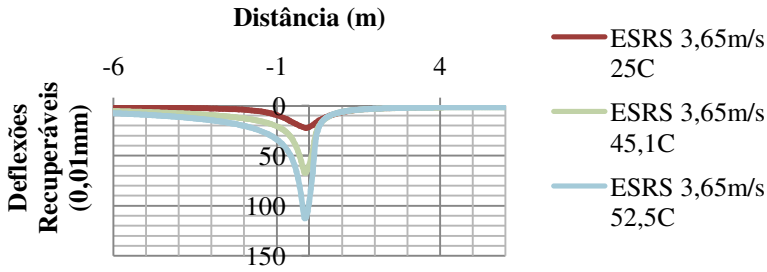


Figura A.132 Deflexões Sentido Longitudinal - ESRS – Velocidade 3,65m/s

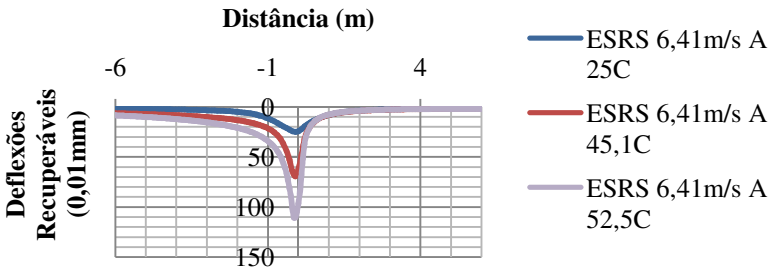


Figura A.133 Deflexões Sentido Longitudinal - ESRS – Velocidade 6,41m/s

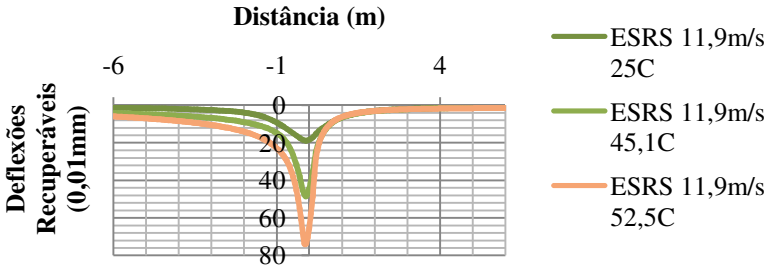


Figura A.134 Deflexões Sentido Longitudinal - ESRS – Velocidade 11,9m/s

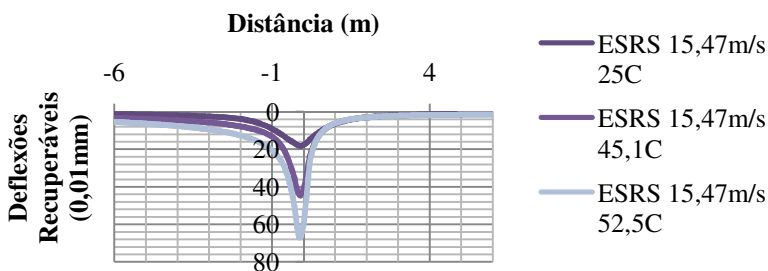


Figura A.135 Deflexões Sentido Longitudinal - ESRS – Velocidade 15,47m/s

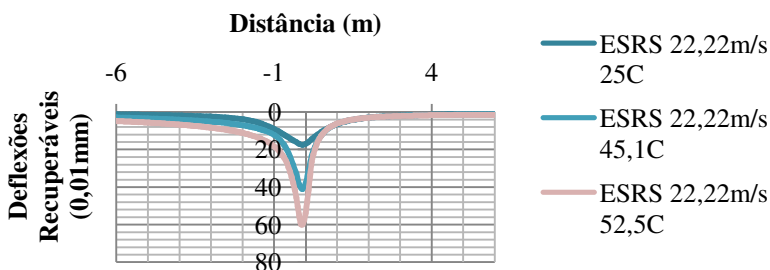


Figura A.136 Deflexões Sentido Longitudinal - ESRS – Velocidade 22,22m/s

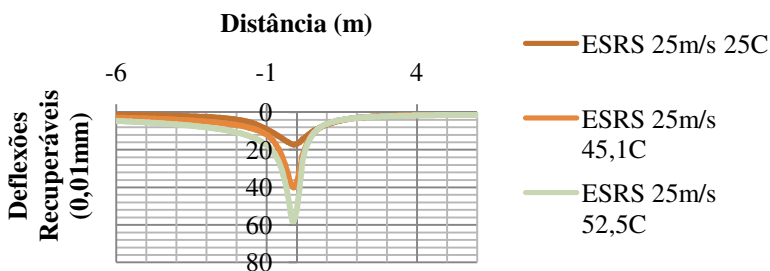


Figura A.137 Deflexões Sentido Longitudinal - ESRS – Velocidade 25m/s

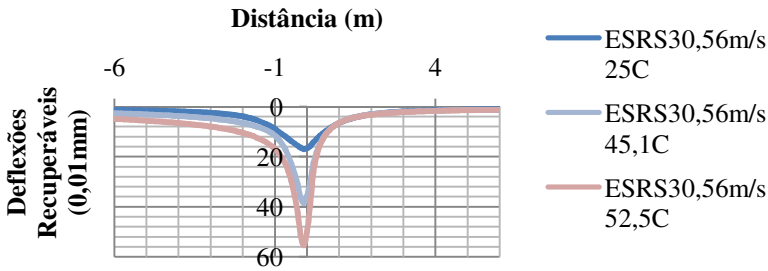


Figura A.138 Deflexões Sentido Longitudinal - ESRS – Velocidade 30,56m/s

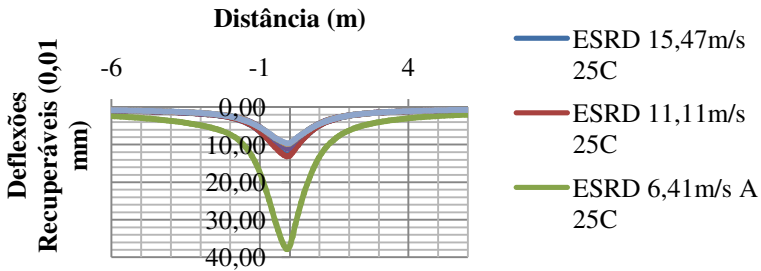


Figura A.139 Deflexão Sentido Longitudinal - ESRD – Temperatura 25C

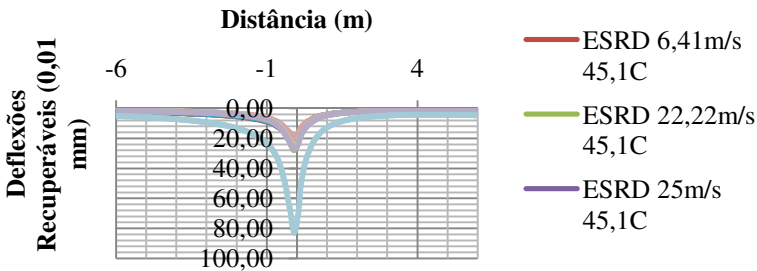


Figura A.140 Deflexão Sentido Longitudinal - ESRD – Temperatura 45,1C

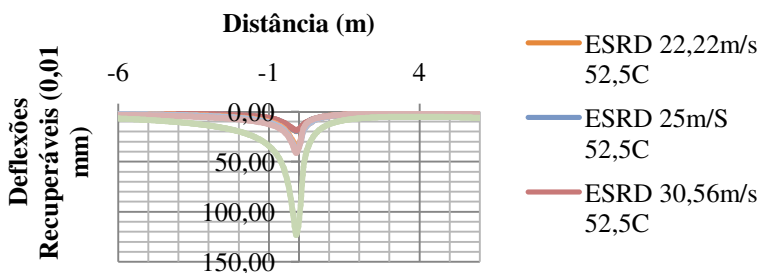


Figura A.141 Deflexão Sentido Longitudinal - ESRD – Temperatura 52,5C

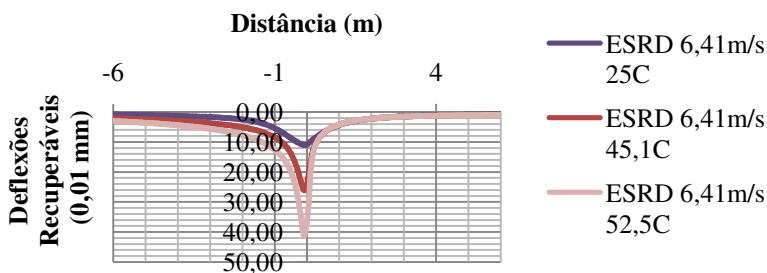


Figura A.142 Deflexão Sentido Longitudinal - ESRD – Velocidade 6,41m/s

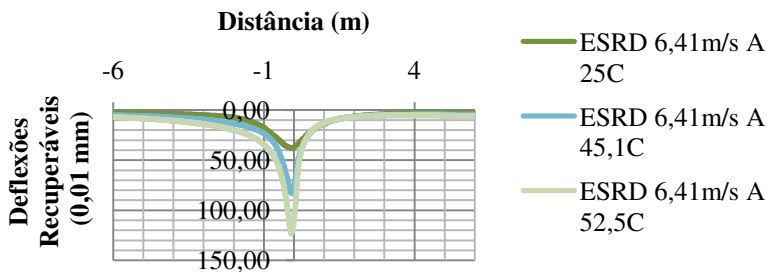


Figura A.143 Deflexão Sentido Longitudinal - ESRD – Velocidade 6,41m/s (2S3)

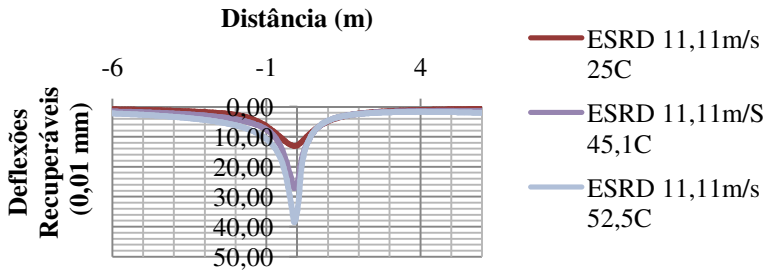


Figura A.144 Deflexão Sentido Longitudinal - ESRD – Velocidade 11,11m/s

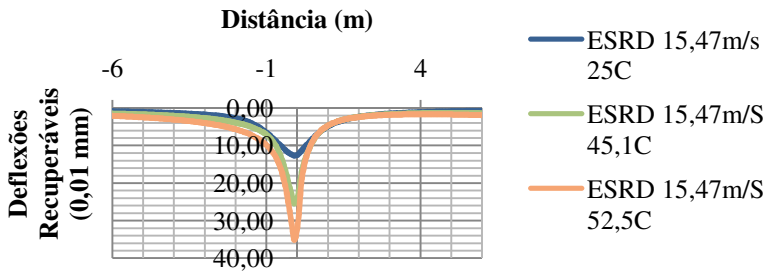


Figura A.145 Deflexão Sentido Longitudinal - ESRD – Velocidade 15,47m/s

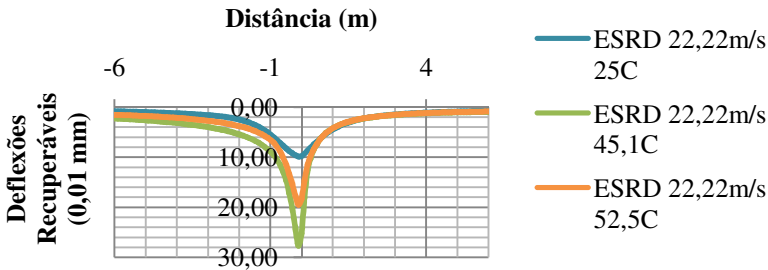


Figura A.146 Deflexão Sentido Longitudinal - ESRD – Velocidade 22,22m/s

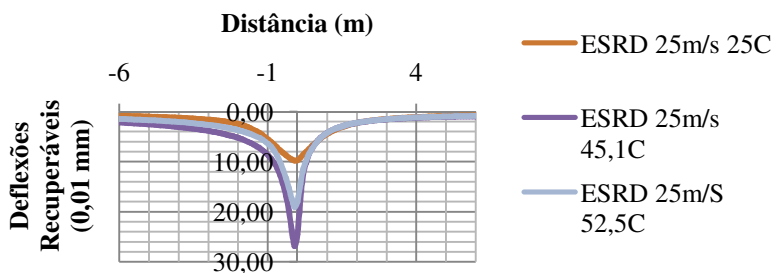


Figura A.147 Deflexão Sentido Longitudinal - ESRD – Velocidade 25m/s

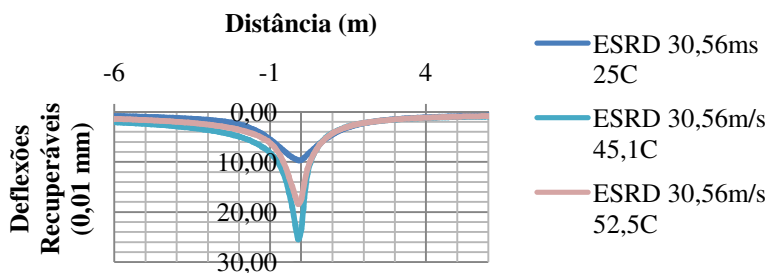


Figura A.148 Deflexão Sentido Longitudinal - ESRD – Velocidade 30,56m/s

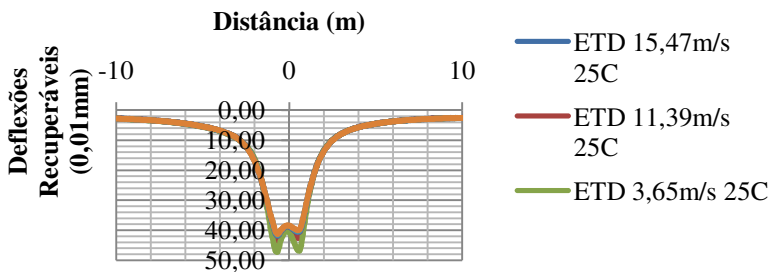


Figura A.149 Deflexão Sentido Longitudinal - ETD – Temperatura 25C

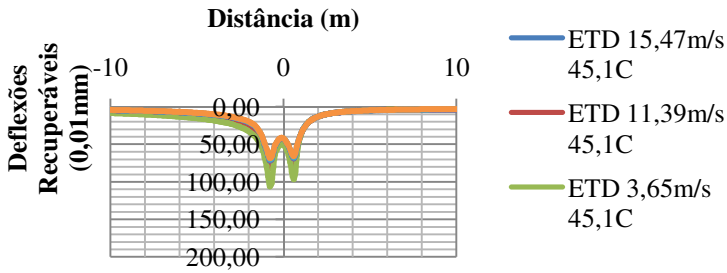


Figura A.150 Deflexão Sentido Longitudinal - ETD – Temperatura 45,1C

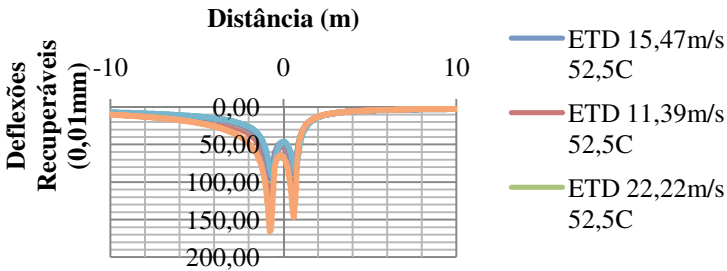


Figura A.151 Deflexão Sentido Longitudinal - ETD – Temperatura 52,5C

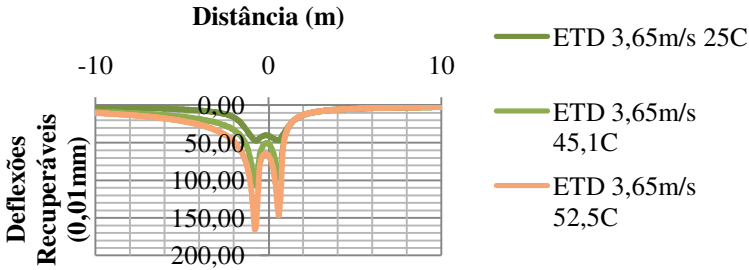


Figura A.152 Deflexão Sentido Longitudinal - ETD – Velocidade 3,65m/s

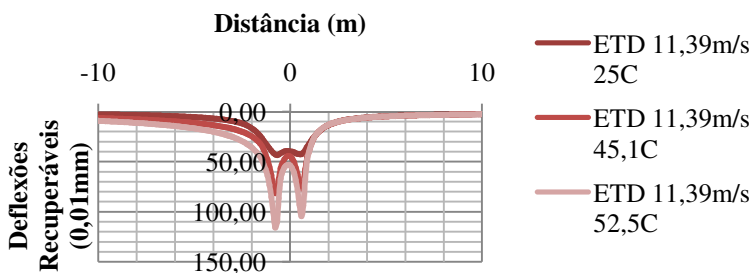


Figura A.153 Deflexão Sentido Longitudinal - ETD – Velocidade 11,39m/s

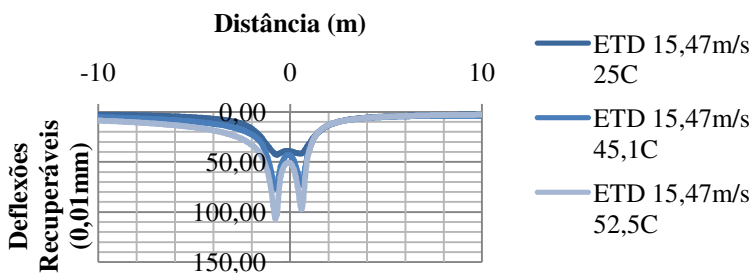


Figura A.154 Deflexão Sentido Longitudinal - ETD – Velocidade 15,47m/s

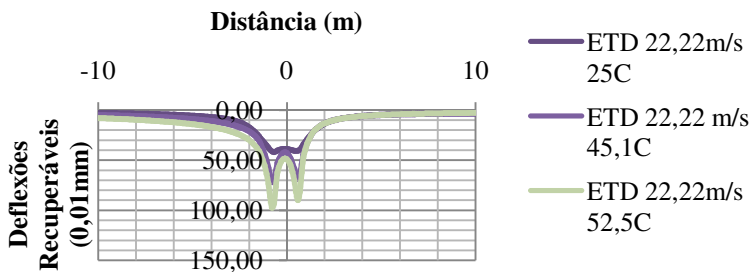


Figura A.155 Deflexão Sentido Longitudinal - ETD – Velocidade 22,22m/s

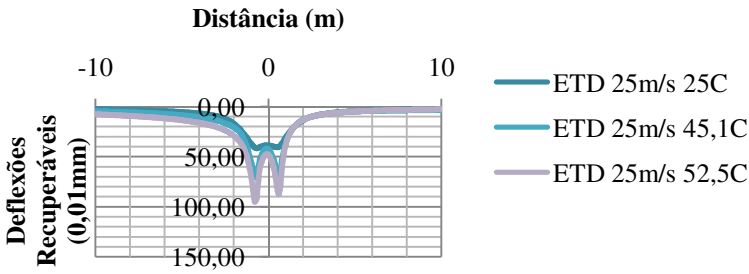


Figura A.156 Deflexão Sentido Longitudinal - ETD – Velocidade 25m/s

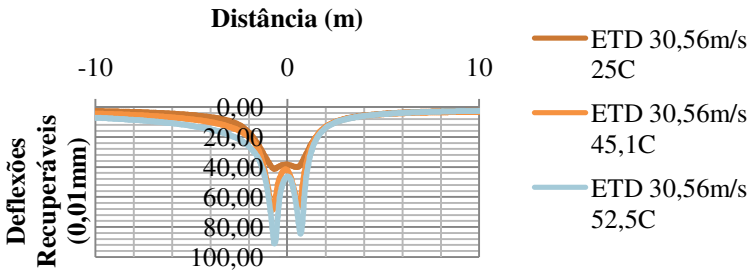


Figura A.157 Deflexão Sentido Longitudinal - ETD – Velocidade 30,56m/s

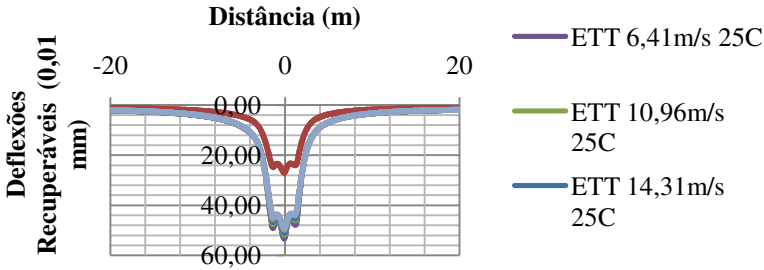


Figura A.158 Deflexão Sentido Longitudinal - ETT – Temperatura 25C

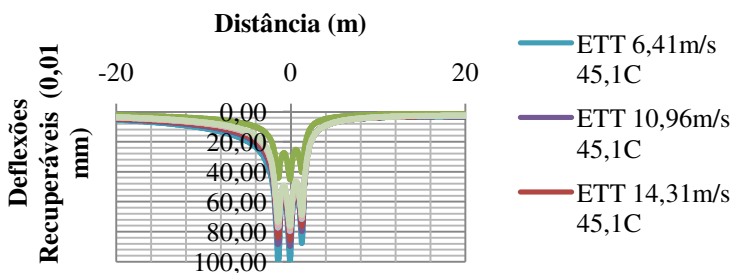


Figura A.159 Deflexão Sentido Longitudinal - ETT – Temperatura 45,1C

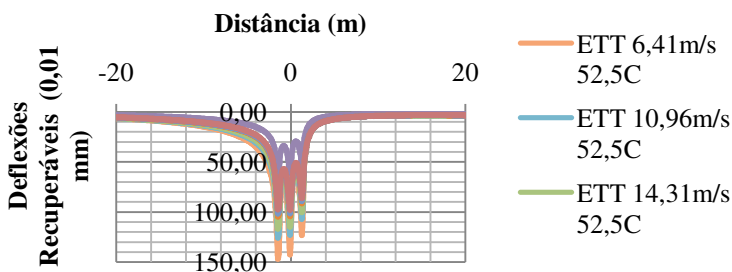


Figura A.160 Deflexão Sentido Longitudinal - ETT – Temperatura 52,5C

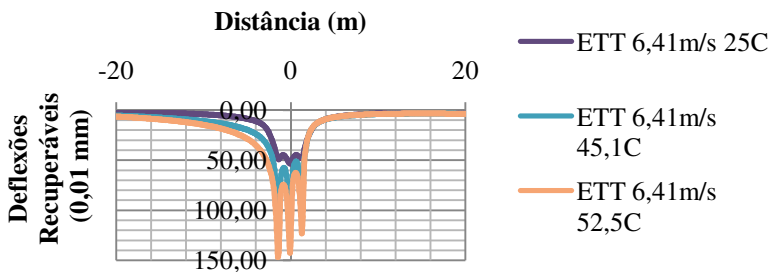


Figura A.161 Deflexão Sentido Longitudinal - ETT – Velocidade 6,41m/s

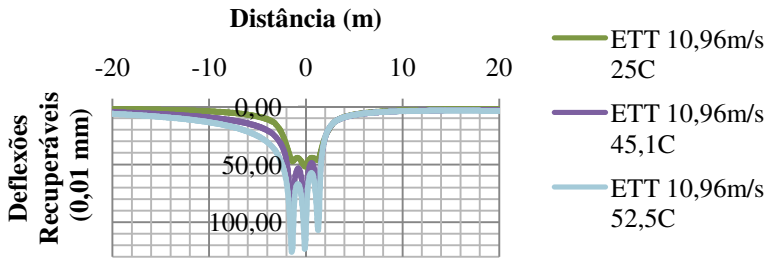


Figura A.162 Deflexão Sentido Longitudinal - ETT – Velocidade 10,96m/s

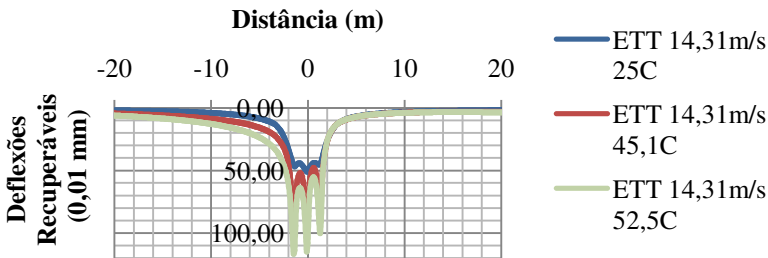


Figura A.163 Deflexão Sentido Longitudinal - ETT – Velocidade 14,31m/s

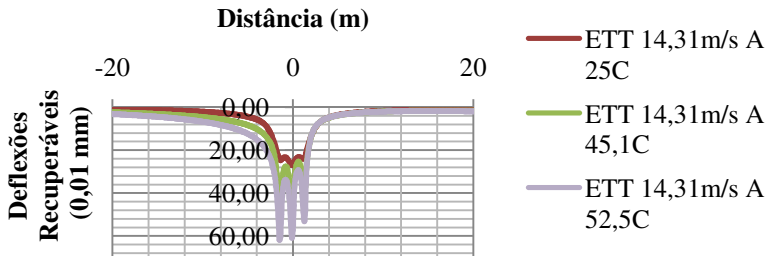


Figura A.164 Deflexão Sentido Longitudinal - ETT – Velocidade 14,31m/s

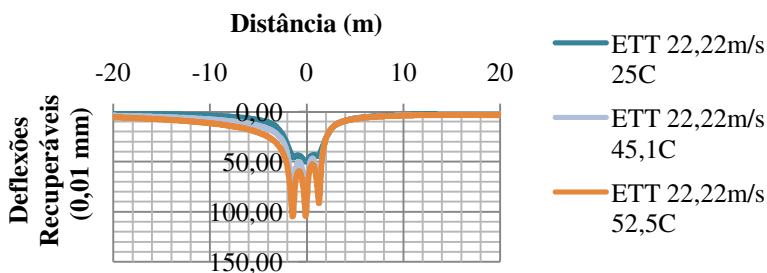


Figura A.165 Deflexão Sentido Longitudinal - ETT – Velocidade 22,22m/s

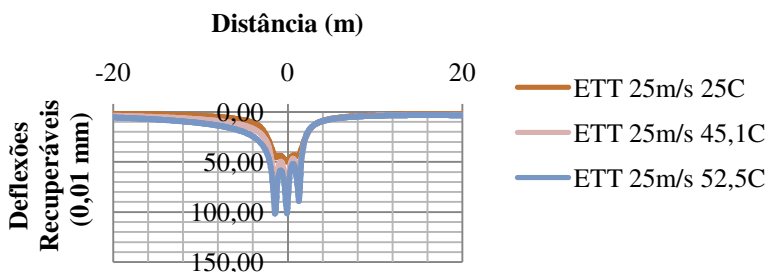


Figura A.166 Deflexão Sentido Longitudinal - ETT – Velocidade 25m/s

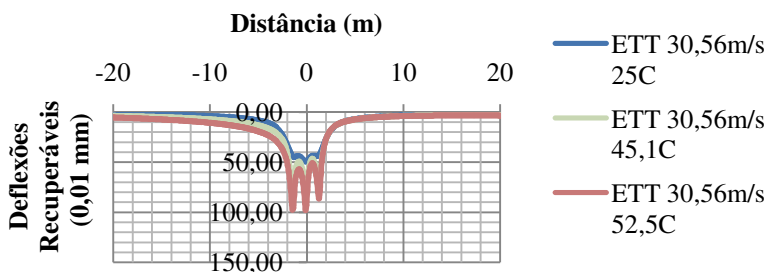


Figura A.167 Deflexão Sentido Longitudinal - ETT – Velocidade 30,56m/s

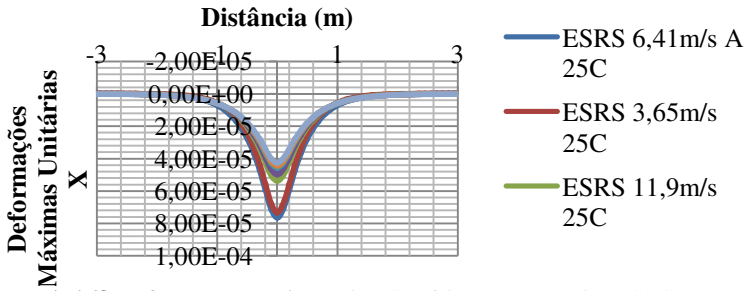


Figura A.168 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ESRS – Temperatura 25C

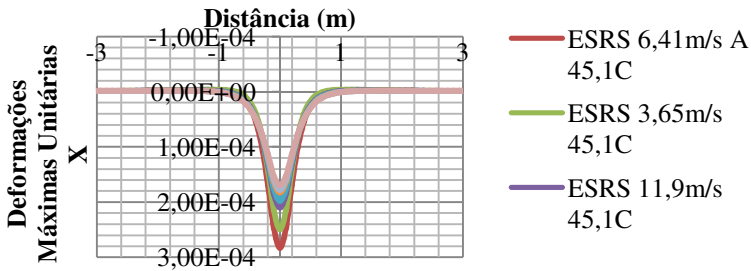


Figura A.169 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ESRS – Temperatura 45,1C

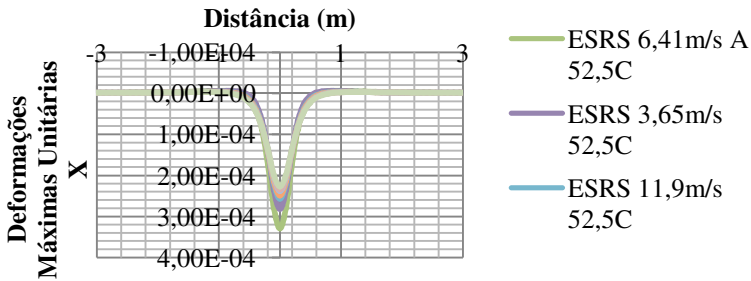


Figura A.170 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ESRS – Temperatura 52,5C

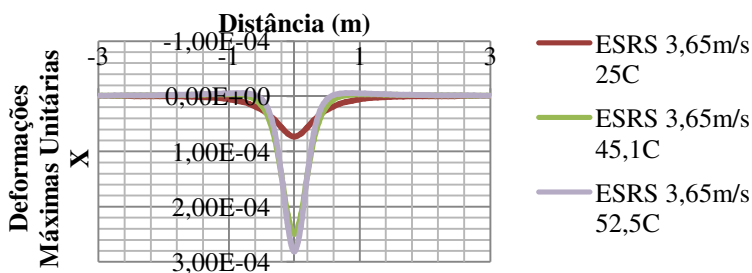


Figura A.171 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ESRS – Velocidade 3,65m/s

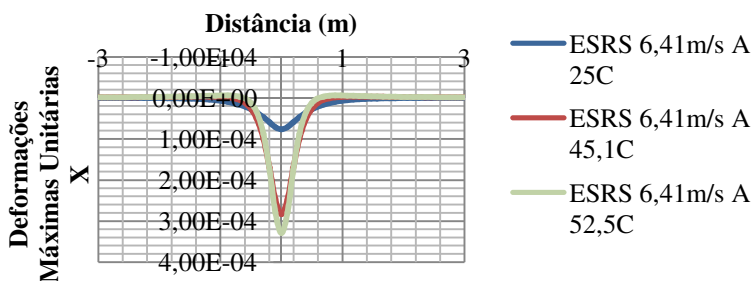


Figura A.172 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ESRS – Velocidade 6,41m/s

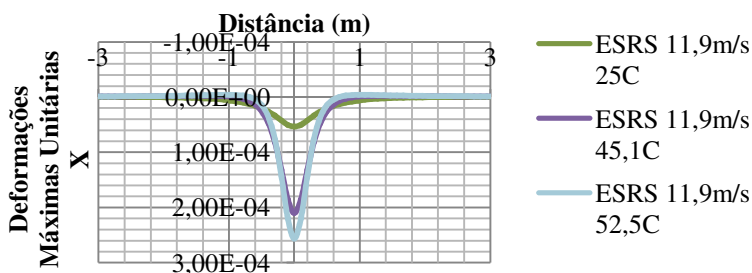


Figura A.173 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ESRS – Velocidade 11,9m/s

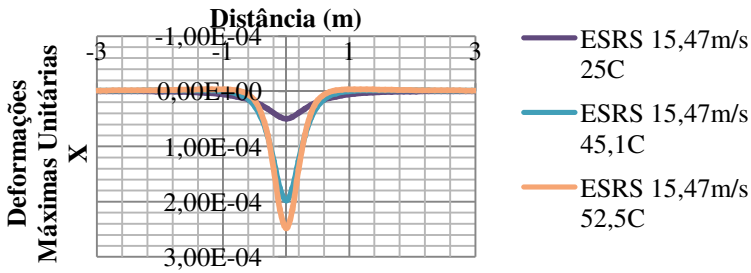


Figura A.174 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ESRS – Velocidade 15,47m/s

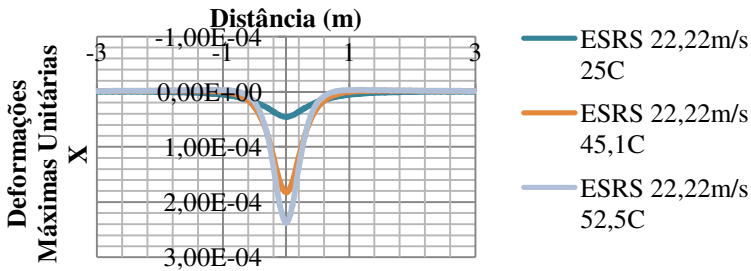


Figura A.175 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ESRS – Velocidade 22,22m/s

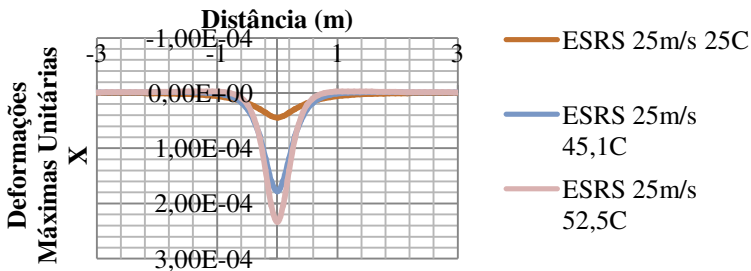


Figura A.176 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ESRS – Velocidade 25m/s

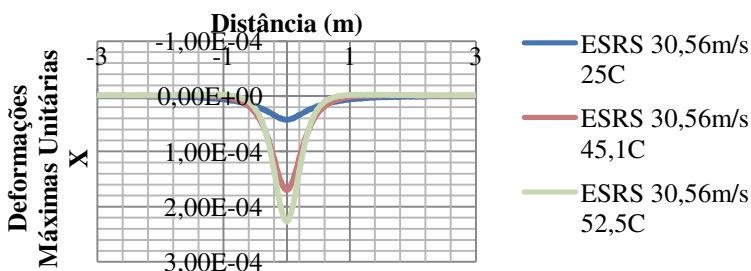


Figura A.177 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ESRs – Velocidade 30,56m/s

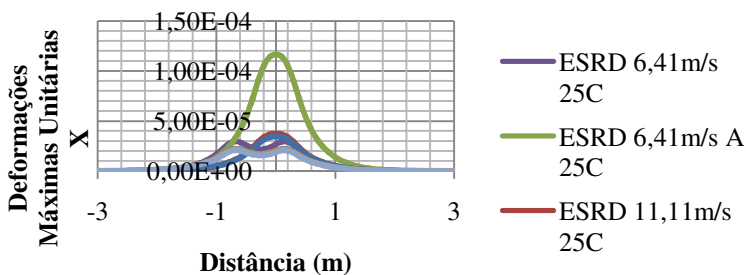


Figura A.178 Deformação Horizontal X Sentido Transversal– ESRD – Temperatura 25C

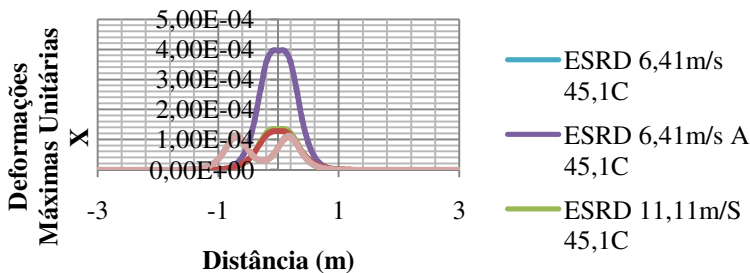


Figura A.179 Deformação Horizontal X Sentido Transversal– ESRD – Temperatura 45,1C

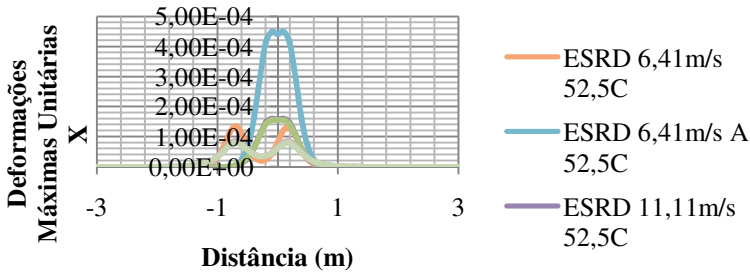


Figura A.180 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ESRD – Temperatura 52,5C

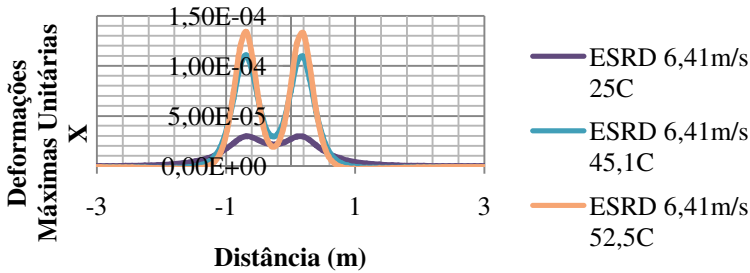


Figura A.181 Deformação Horizontal X Sentido Transversal– ESRD – Velocidade 6,41m/s

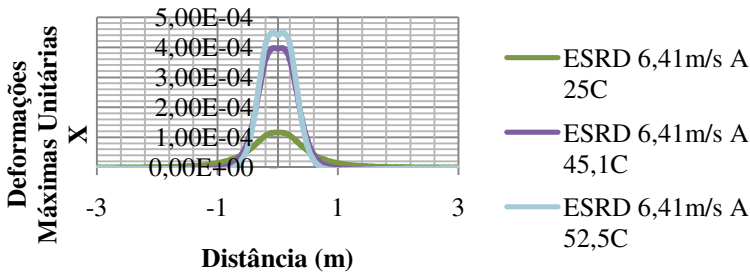


Figura A.182 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ESRD – Velocidade 6,41m/s (2S3)

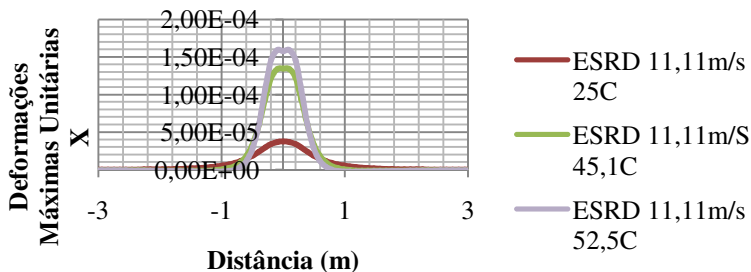


Figura A.183 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ESRD – Velocidade 11,11m/s

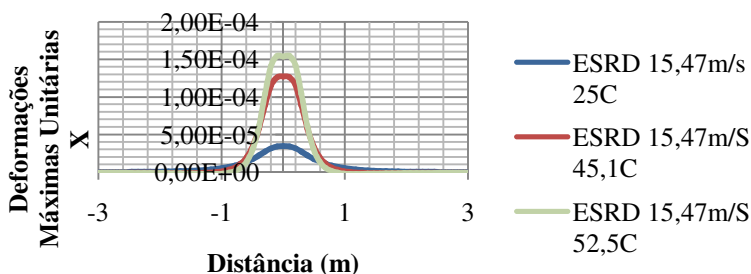


Figura A.184 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ESRD – Velocidade 15,47m/s

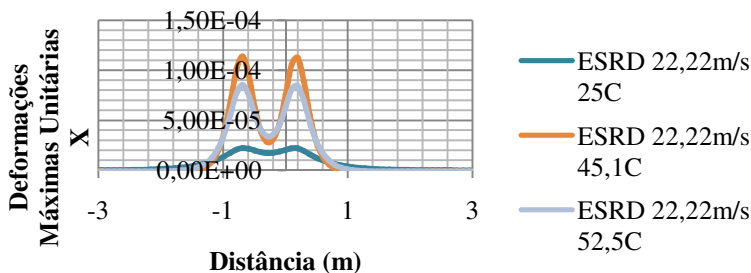


Figura A.185 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ESRD – Velocidade 22,22m/s

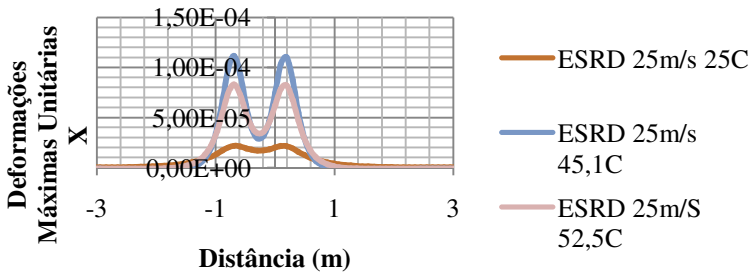


Figura A.186 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ESRD – Velocidade 25m/s

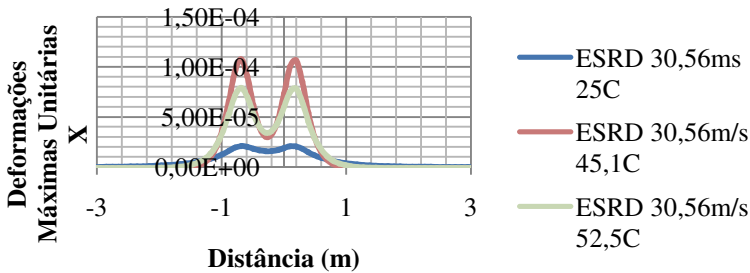


Figura A.187 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ESRD – Velocidade 30,56m/s

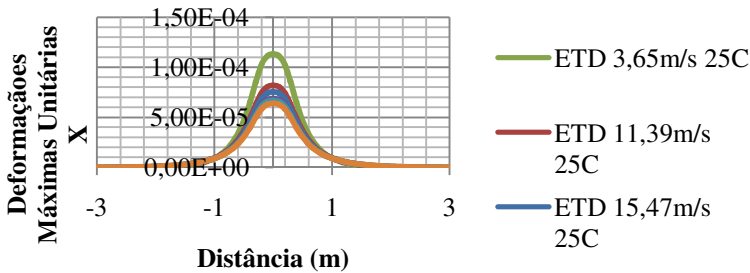


Figura A.188 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ETD – Temperatura 25C

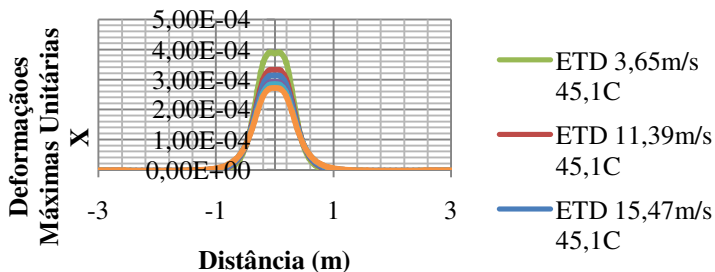


Figura A.189 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ETD – Temperatura 45,1C

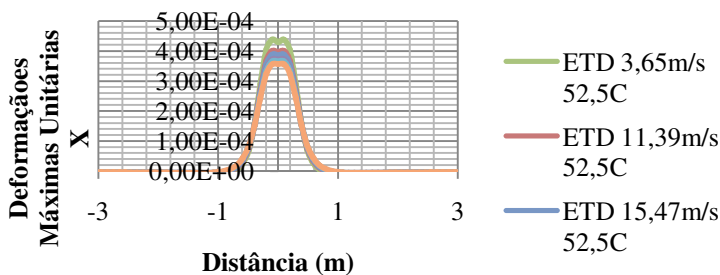


Figura A.190 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ETD – Temperatura 52,5C

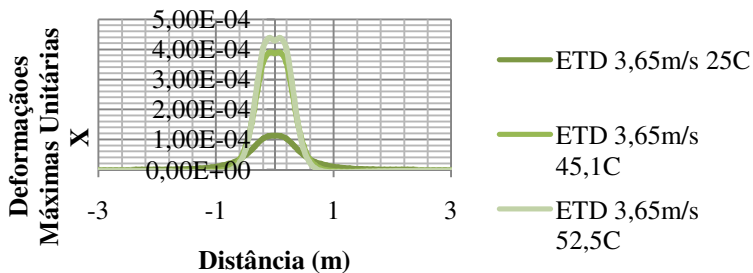


Figura A.191 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ETD – Velocidade 3,65m/s

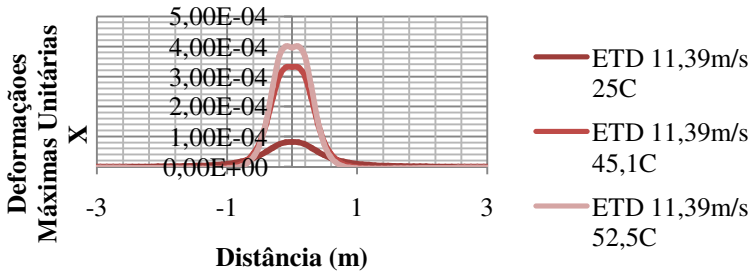


Figura A.192 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ETD – Velocidade 11,39m/s

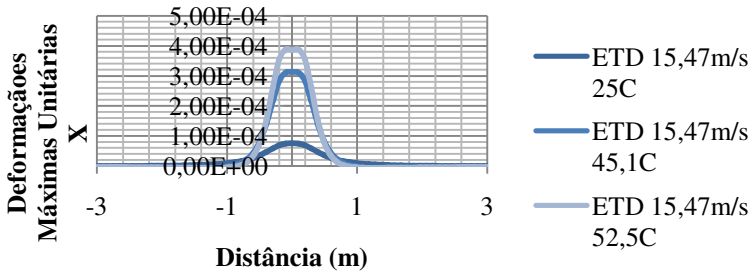


Figura A.193 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ETD – Velocidade 15,47m/s

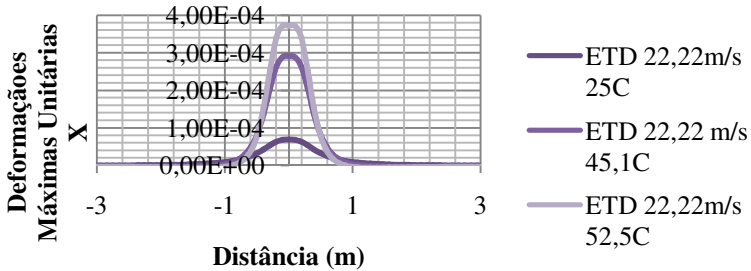


Figura A.194 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ETD – Velocidade 22,22m/s

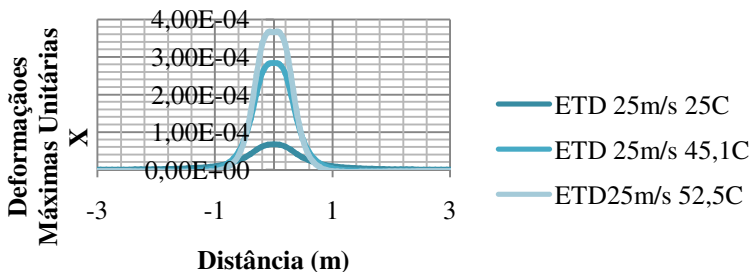


Figura A.195 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ETD – Velocidade 25m/s

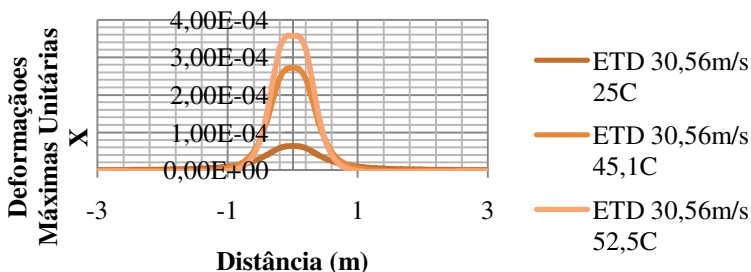


Figura A.196 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ETD – Velocidade 30,56m/s

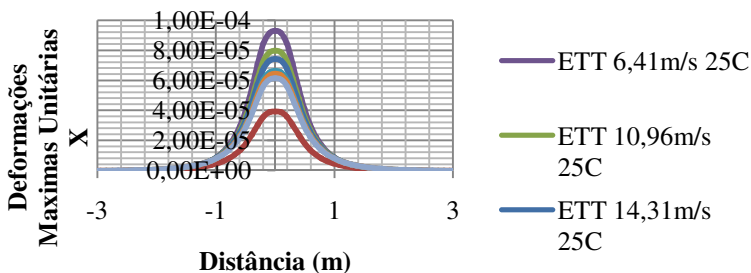


Figura A.197 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ETT – Temperatura 25C

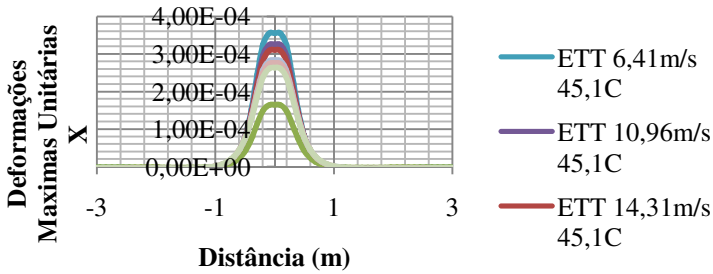


Figura A.198 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ETT – Temperatura 45,1C

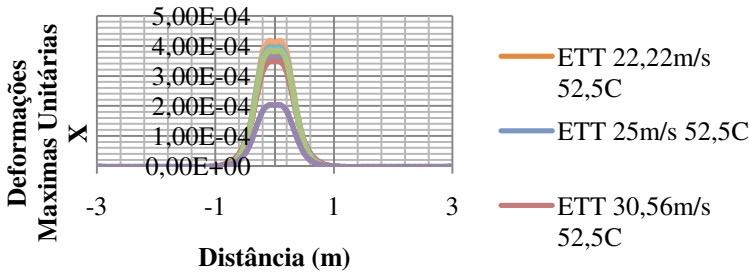


Figura A.199 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ETT – Temperatura 52,5C

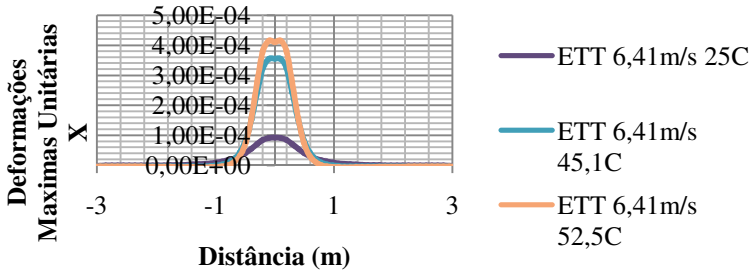


Figura A.200 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ETT – Velocidade 6,41m/s

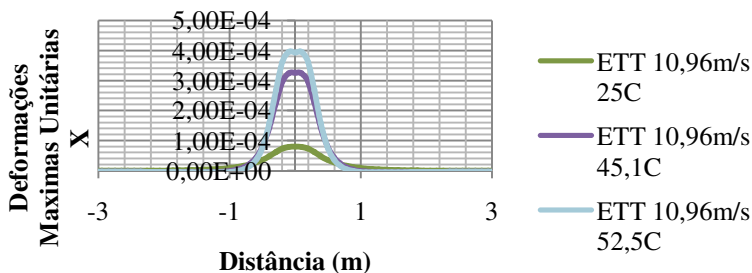


Figura A.201 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ETT – Velocidade 10,96m/s

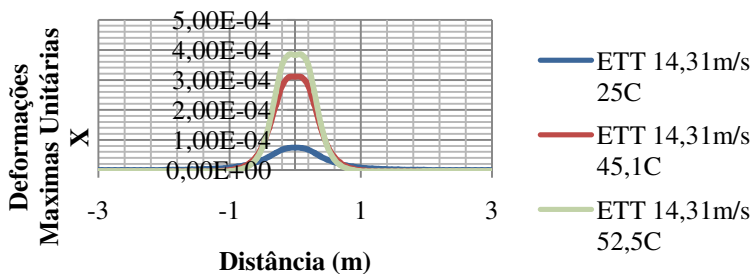


Figura A.202 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ETT – Velocidade 14,31m/s

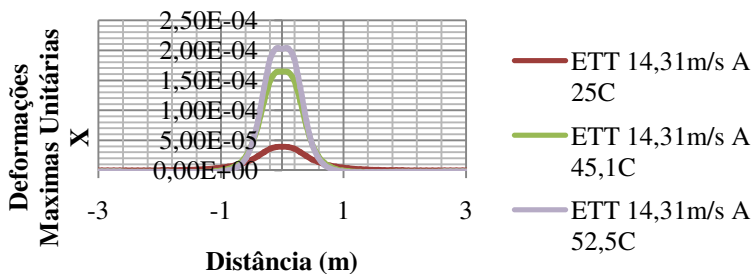


Figura A.203 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ETT – Velocidade 14,31m/s

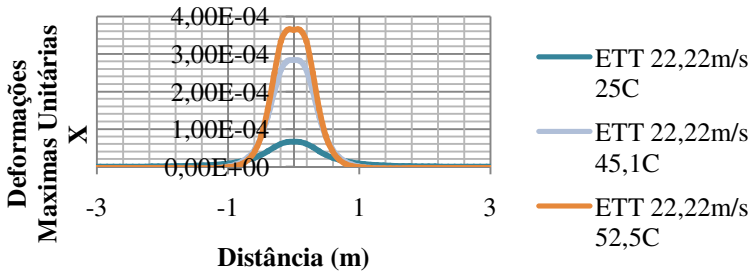


Figura A.204 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ETT – Velocidade 22,22m/s

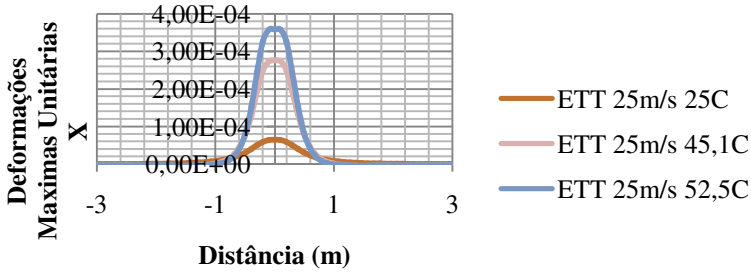


Figura A.205 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ETT – Velocidade 25m/s

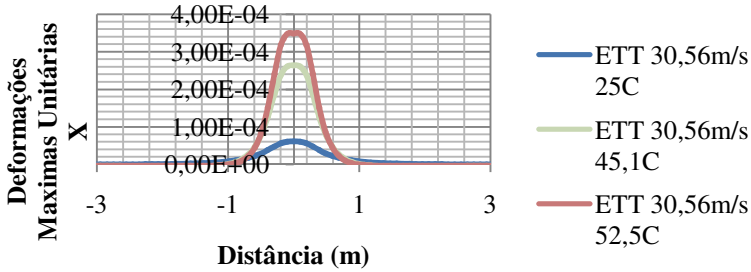


Figura A.206 Deformação Horizontal X Sentido Transversal – ETT – Velocidade 30,56m/s

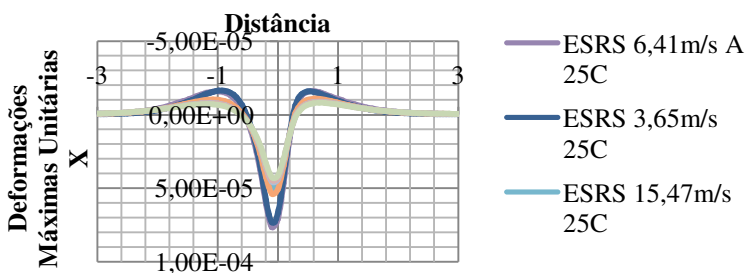


Figura A.207 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRS – Temperatura 25C

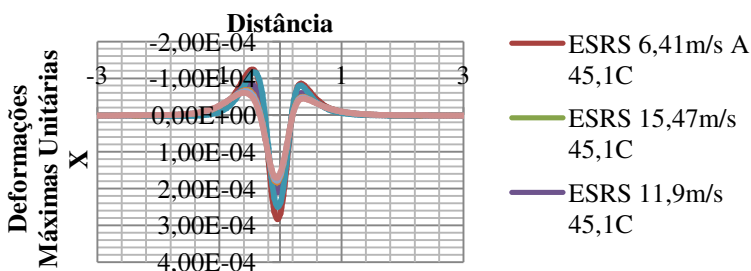


Figura A.208 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRS – Temperatura 45,1C

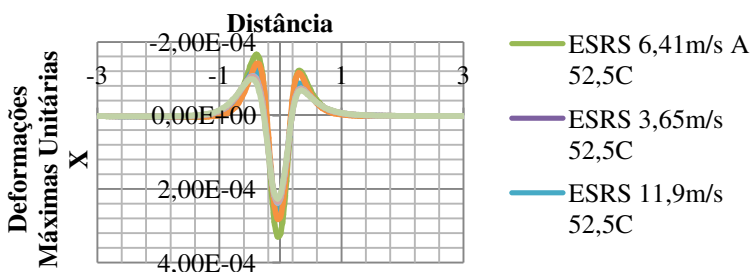


Figura A.209 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRS – Temperatura 52,5C

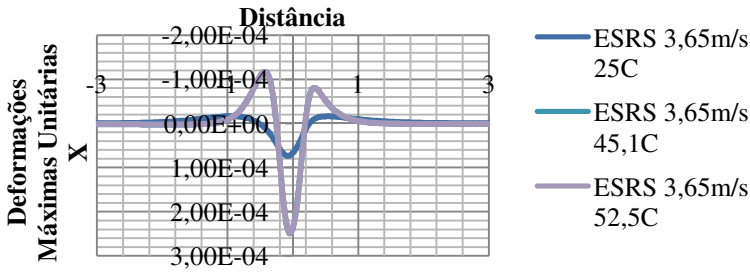


Figura A.210 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRS – Velocidade 3,65m/s

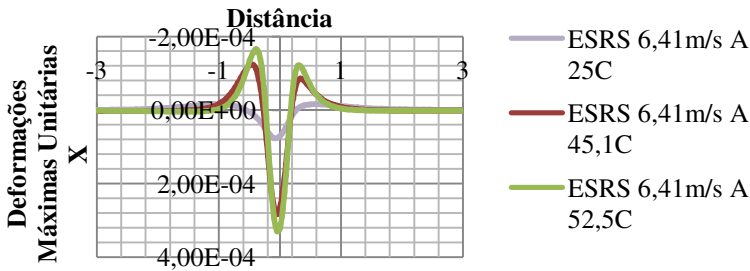


Figura A.211 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRS – Velocidade 6,41m/s

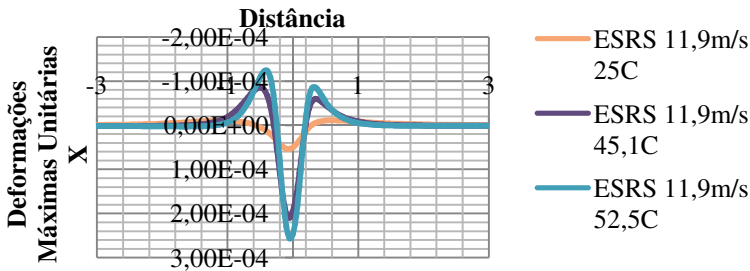


Figura A.212 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRS – Velocidade 11,9m/s

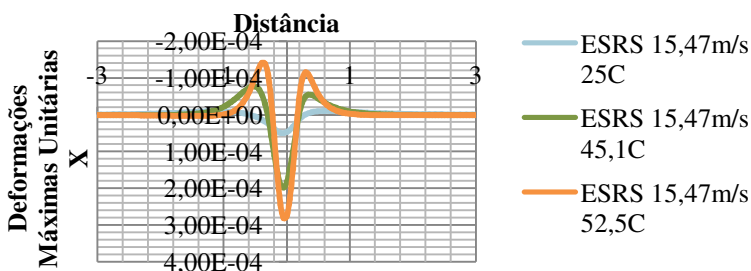


Figura A.213 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRS – Velocidade 15,47m/s

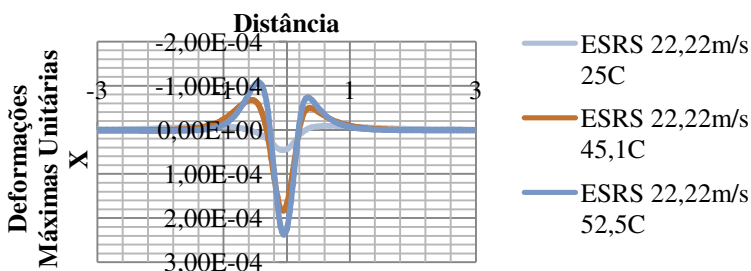


Figura A.214 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRS – Velocidade 22,22m/s

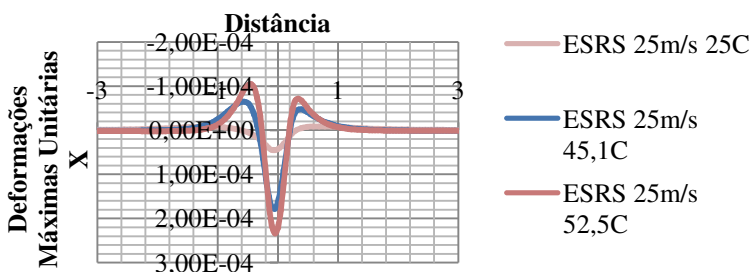


Figura A.215 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRS – Velocidade 25m/s

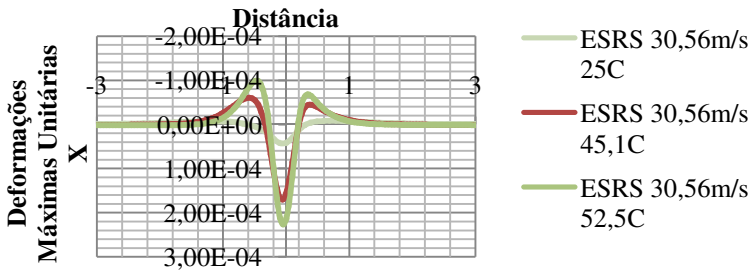


Figura A.216 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRs – Velocidade 30,56m/s

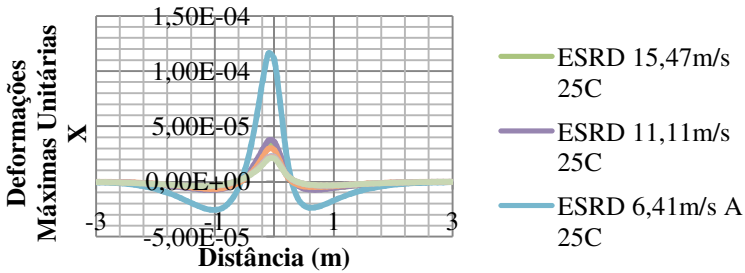


Figura A.217 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRD – Temperatura 25C

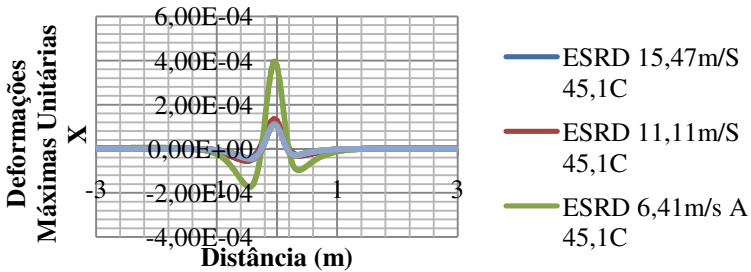


Figura A.218 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRD – Temperatura 45,1C

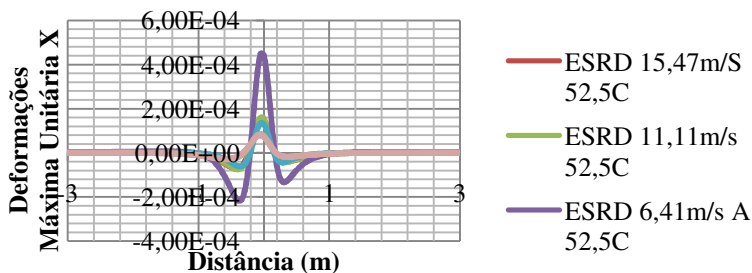


Figura A.219 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRD – Temperatura 52,5C

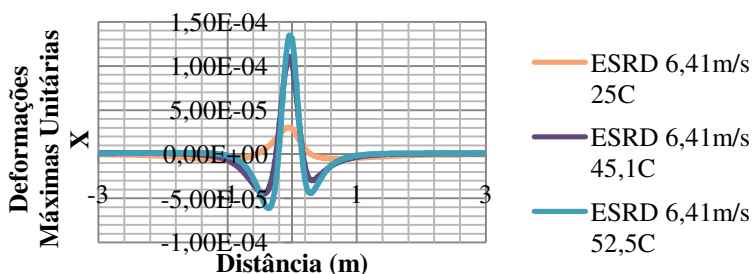


Figura A.220 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRD – Velocidade 6,41m/s

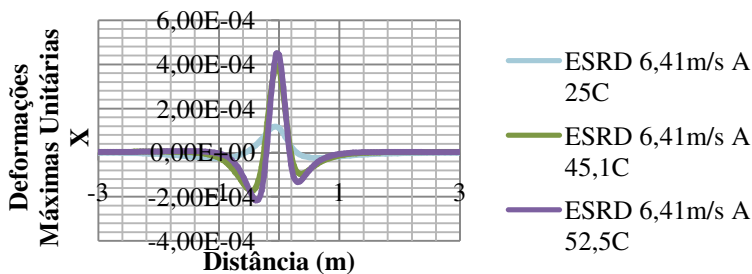


Figura A.221 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRD – Velocidade 6,41m/s

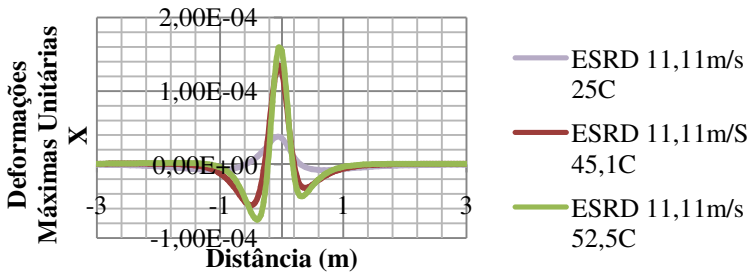


Figura A.222 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRD – Velocidade 11,11m/s

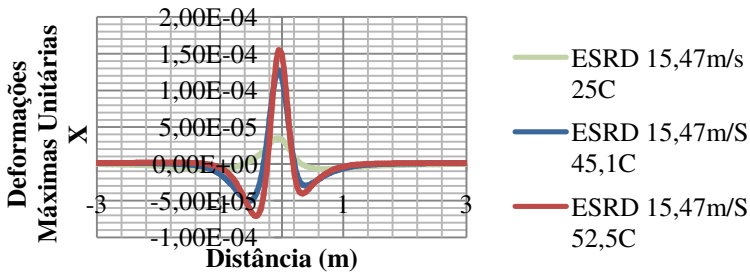


Figura A.223 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRD – Velocidade 15,47m/s

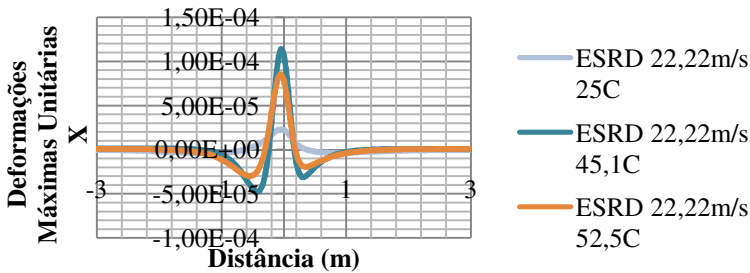


Figura A.224 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRD – Velocidade 22,22m/s

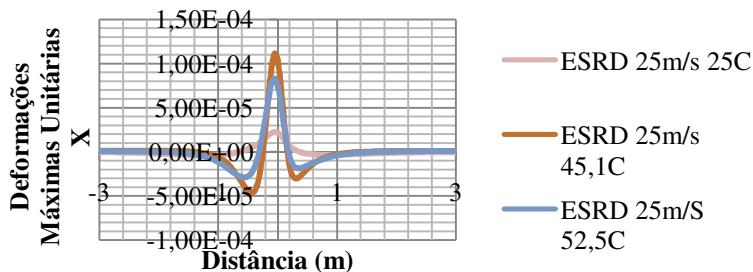


Figura A.225 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRD – Velocidade 25m/s

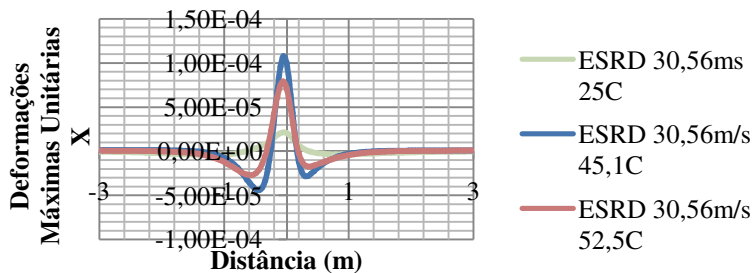


Figura A.226 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ESRD – Velocidade 30,56m/s

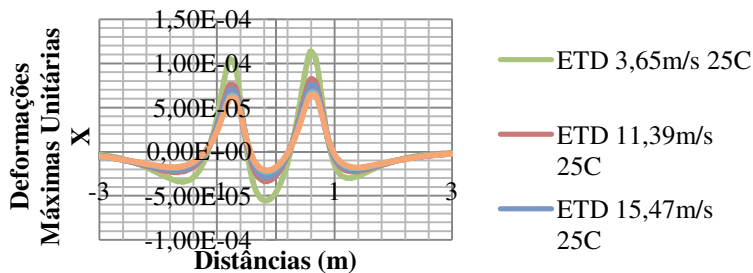


Figura A.227 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ETD – Temperatura 25C

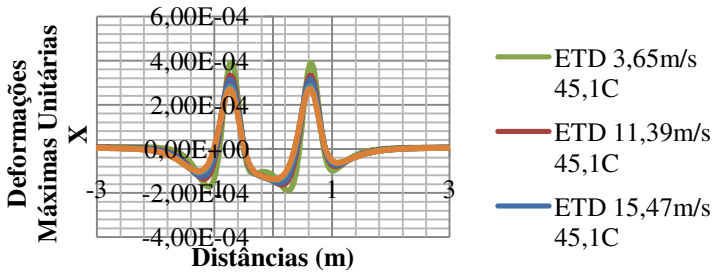


Figura A.228 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ETD – Temperatura 45,1C

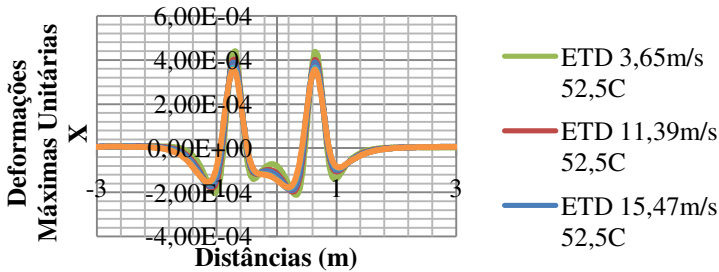


Figura A.229 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ETD – Temperatura 52,5C

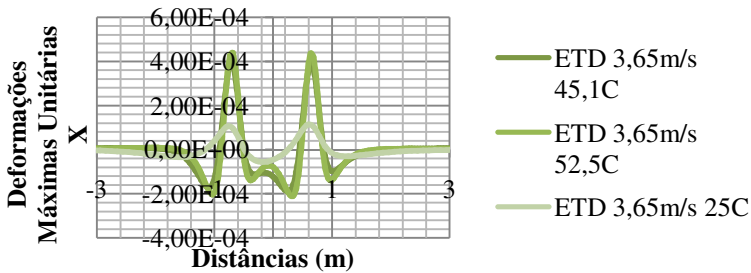


Figura A.230 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ETD – Velocidade 3,65m/s

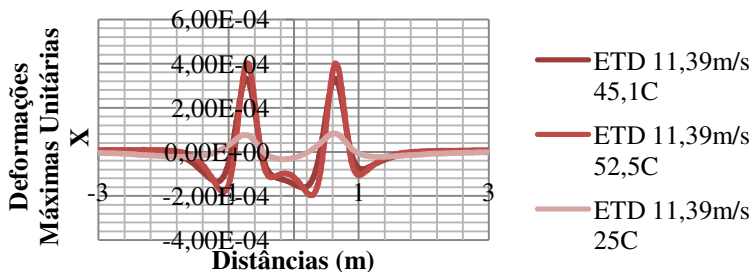


Figura A.231 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ETD – Velocidade 11,39m/s

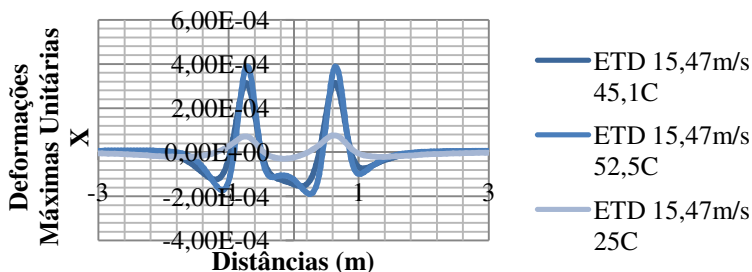


Figura A.232 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ETD – Velocidade 15,47m/s

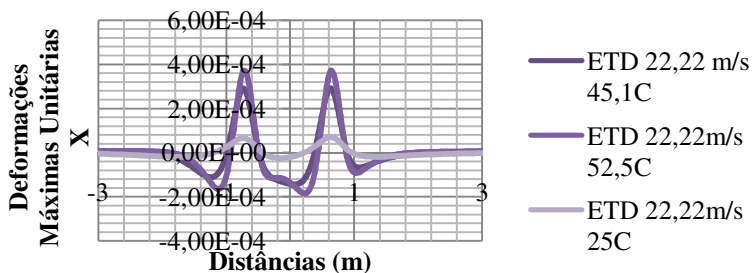


Figura A.233 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ETD – Velocidade 22,22m/s

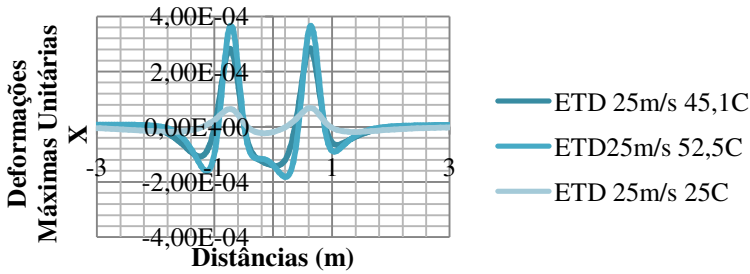


Figura A.234 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ETD – Velocidade 25m/s

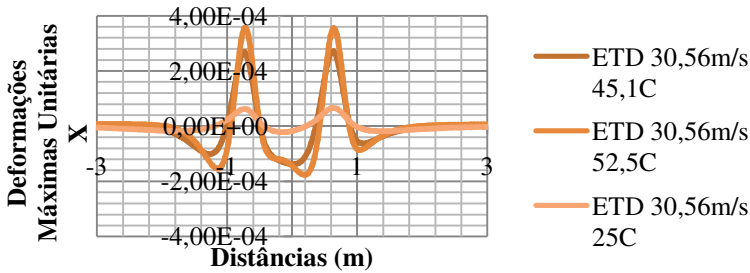


Figura A.235 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ETD – Velocidade 30,56m/s

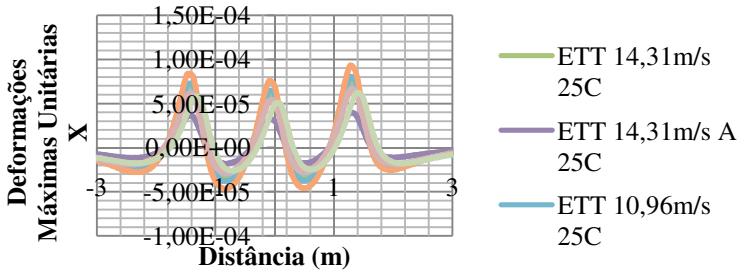


Figura A.236 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ETT – Temperatura 25C

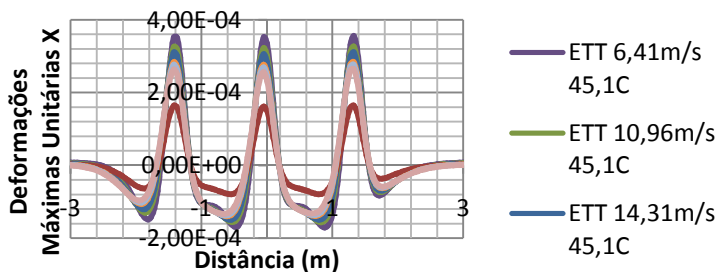


Figura A.237 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ETT – Temperatura 45,1C

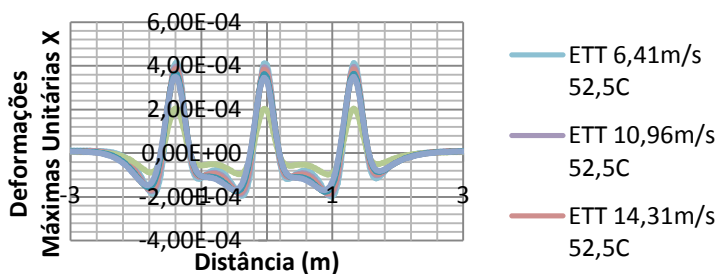


Figura A.238 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ETT – Temperatura 52,5C

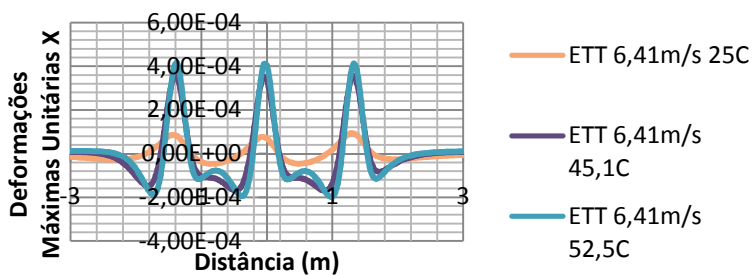


Figura A.239 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ETT – Velocidade 6,41m/s

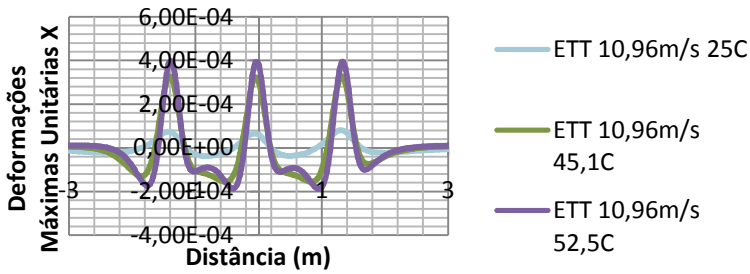


Figura A.240 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ETT – Velocidade 10,96m/s

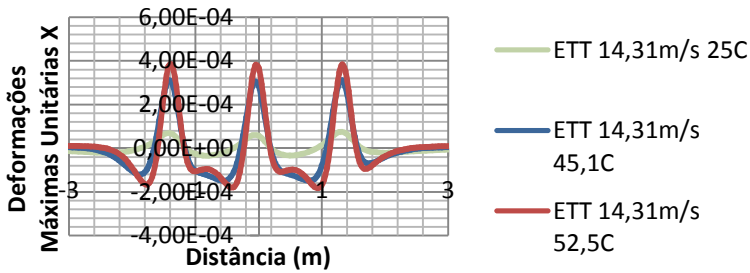


Figura A.241 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ETT – Velocidade 14,31m/s

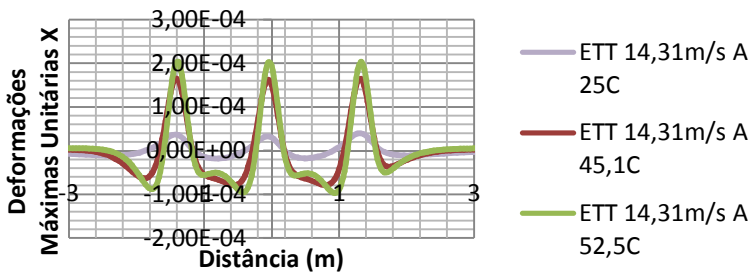


Figura A.242 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ETT – Velocidade 14,31m/s

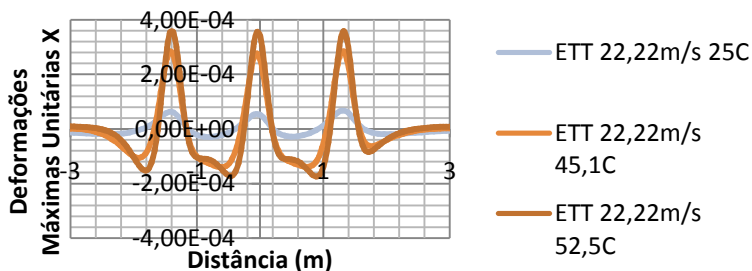


Figura A.243 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ETT – Velocidade 22,22m/s

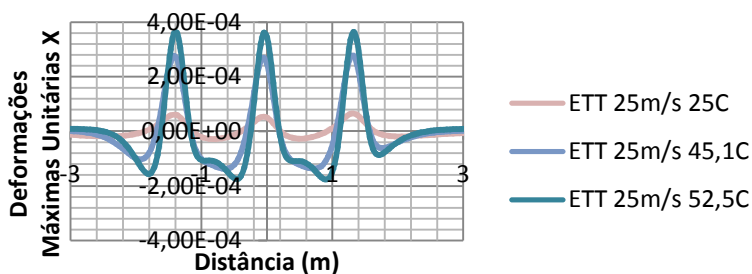


Figura A.244 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ETT – Velocidade 25m/s

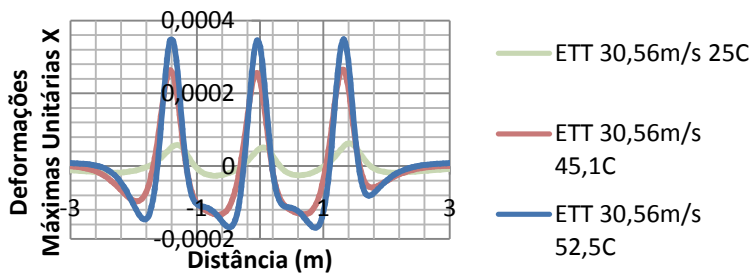


Figura A.245 Deformação Horizontal X Sentido Longitudinal – ETT – Velocidade 30,56m/s

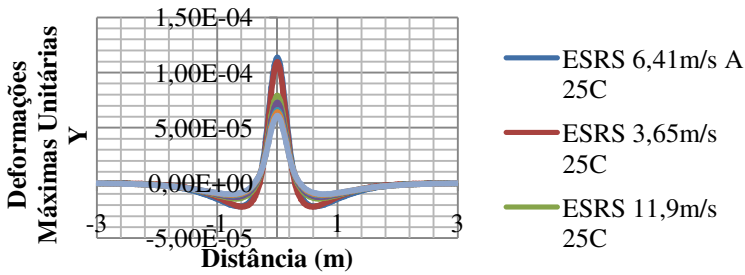


Figura A.246 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRS – Temperatura 25C

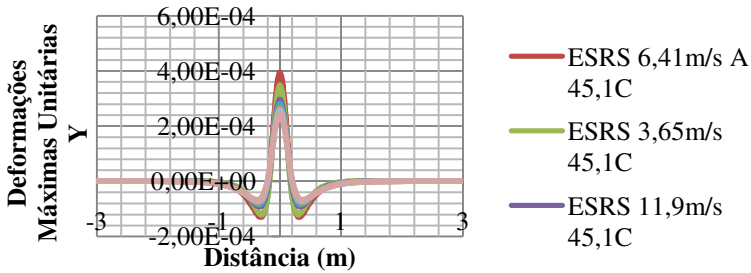


Figura A.247 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRS – Temperatura 45,1C

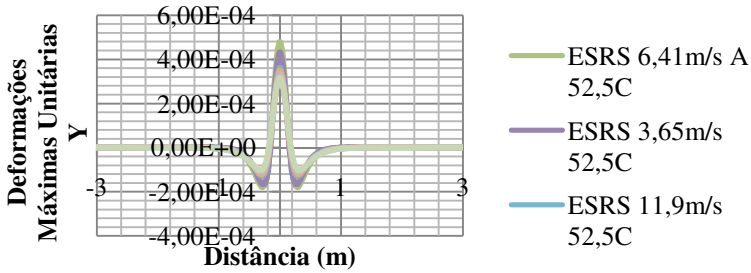


Figura A.248 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRS – Temperatura 52,5C

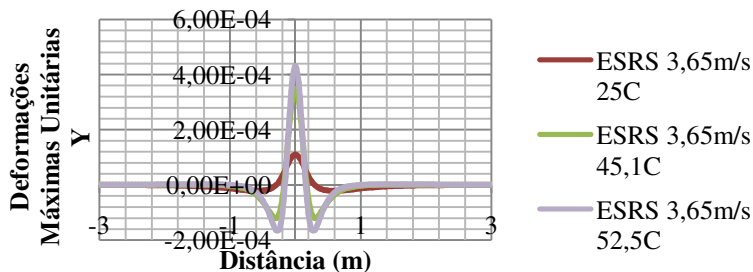


Figura A.249 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRS – Velocidade 3,65m/s

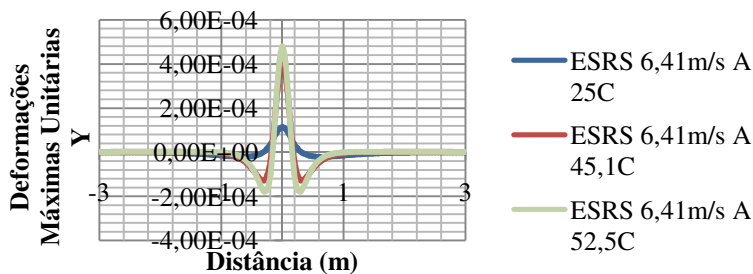


Figura A.250 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRS – Velocidade 6,41m/s

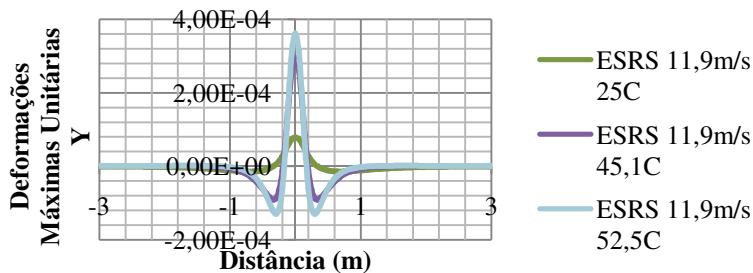


Figura A.251 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRS – Velocidade 11,9m/s

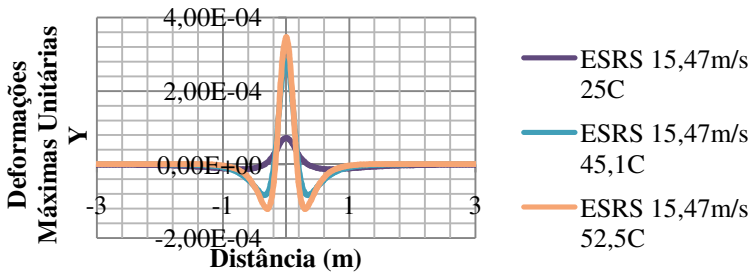


Figura A.252 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRS – Velocidade 15,47m/s

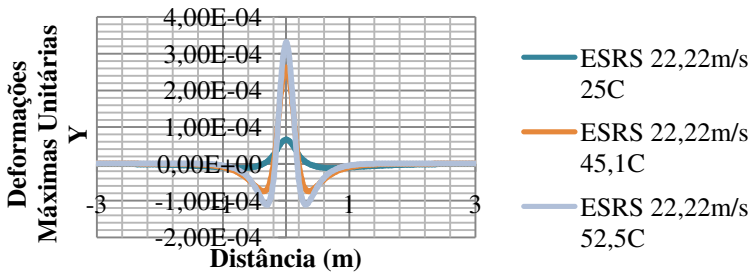


Figura A.253 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRS – Velocidade 22,22m/s

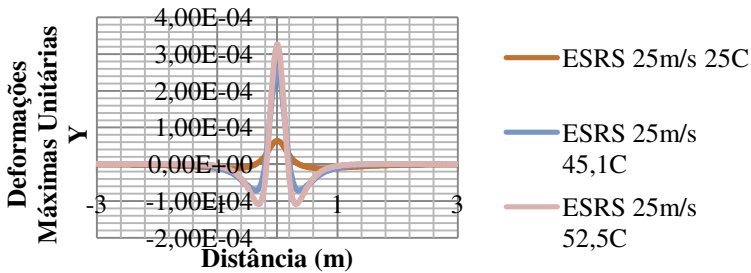


Figura A.254 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRS – Velocidade 25m/s

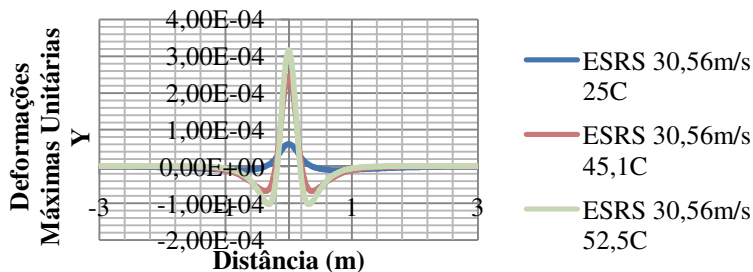


Figura A.255 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRs – Velocidade 30,56m/s

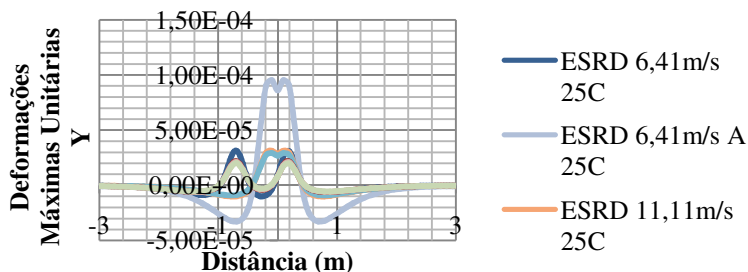


Figura A.256 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRD – Temperatura 25C

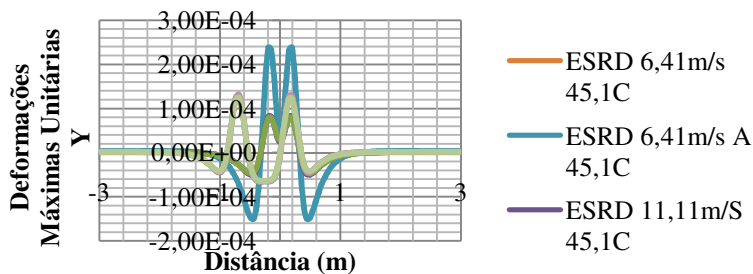


Figura A.257 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRD – Temperatura 45,1C

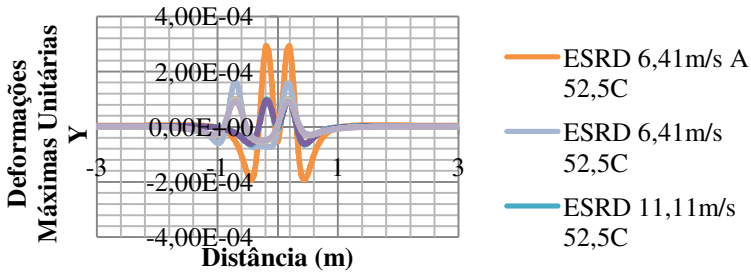


Figura A.258 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRD – Temperatura 52,5C

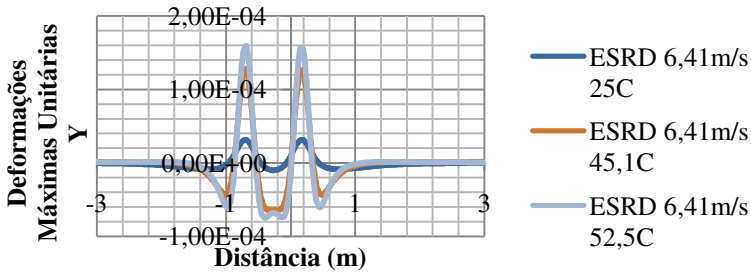


Figura A.259 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRD – Velocidade 6,41m/s

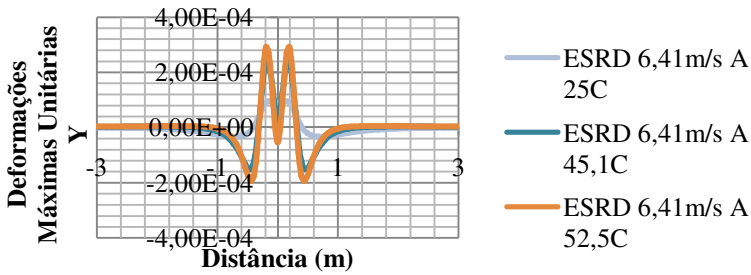


Figura A.260 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRD – Velocidade 6,41m/s

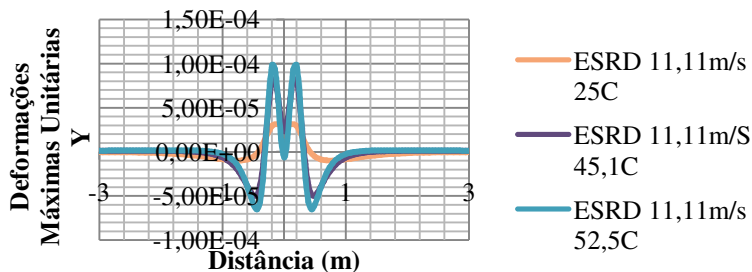


Figura A.261 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRD – Velocidade 11,11m/s

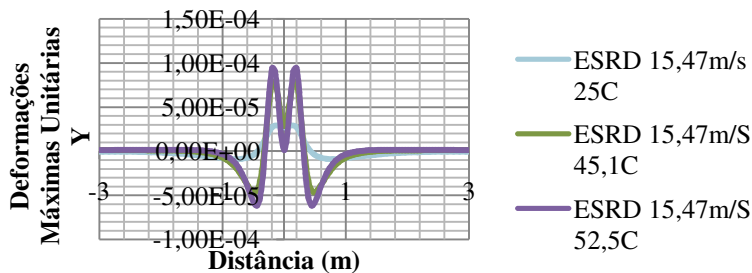


Figura A.262 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRD – Velocidade 15,47m/s

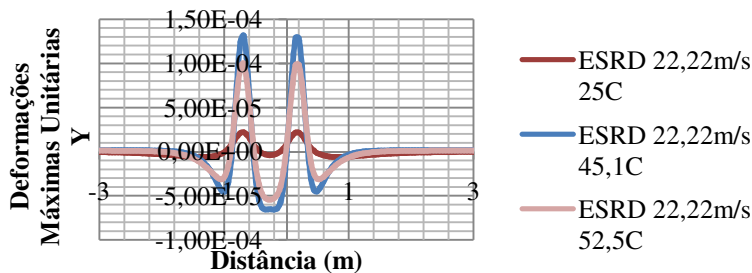


Figura A.263 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRD – Velocidade 22,22m/s

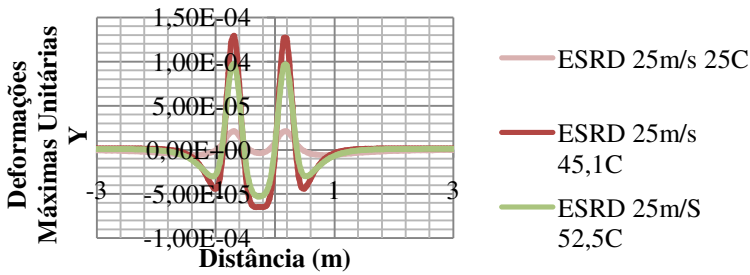


Figura A.264 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRD – Velocidade 25m/s

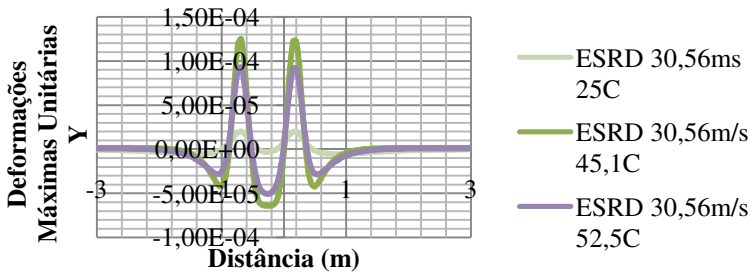


Figura A.265 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ESRD – Velocidade 30,56m/s

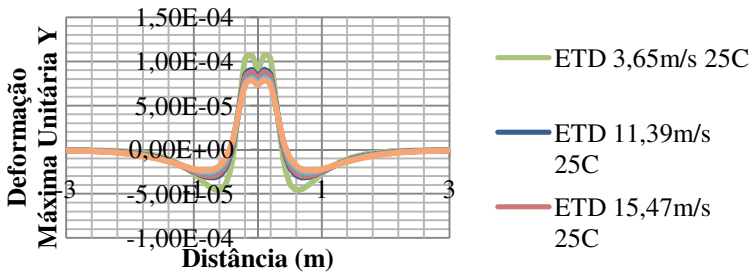


Figura A.266 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ETD – Temperatura 25C

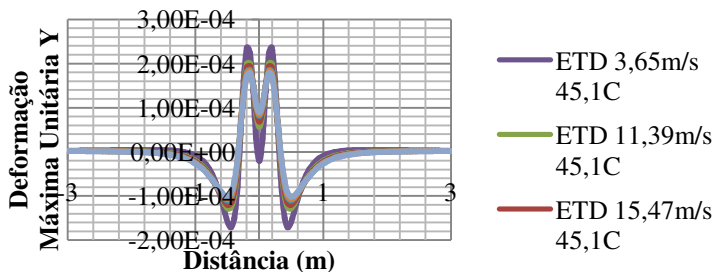


Figura A.267 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ETD – Temperatura 45,1C

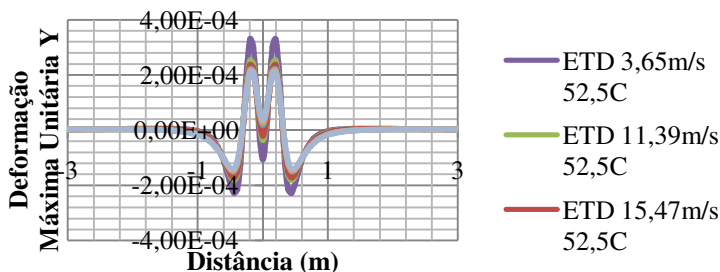


Figura A.268 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ETD – Temperatura 52,5C

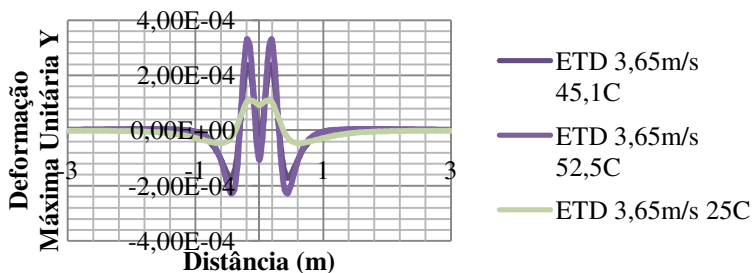


Figura A.269 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ETD – Velocidade 3,65m/s

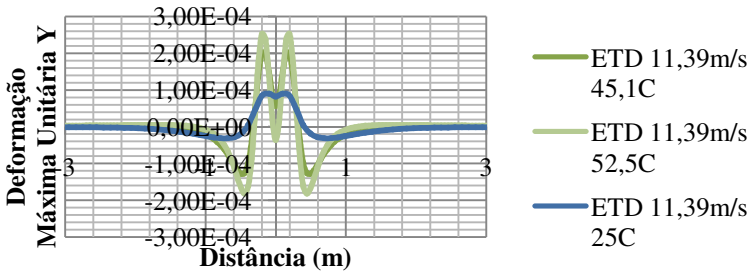


Figura A.270 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ETD – Velocidade 11,39m/s

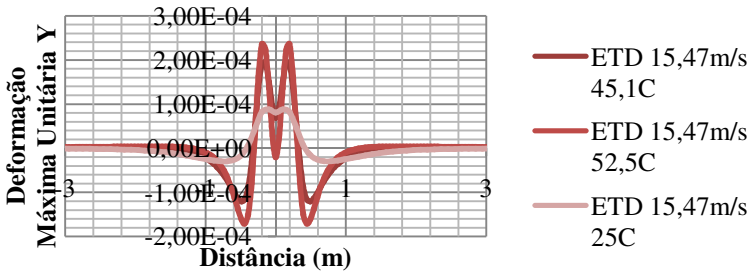


Figura A.271 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ETD – Velocidade 15,47m/s

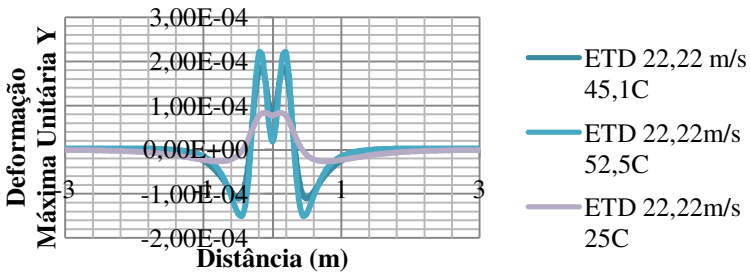


Figura A.272 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ETD – Velocidade 22,22m/s

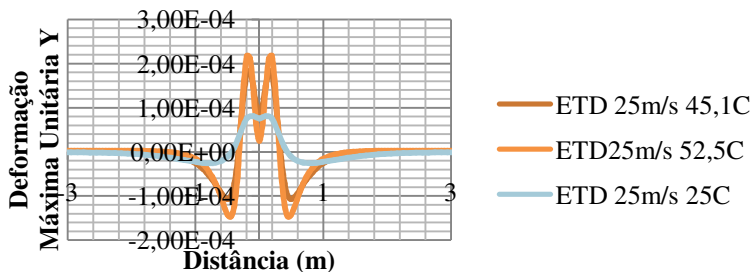


Figura A.273 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ETD – Velocidade 25m/s

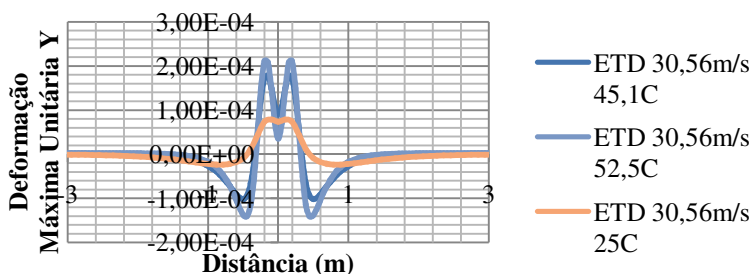


Figura A.274 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ETD – Velocidade 30,56m/s

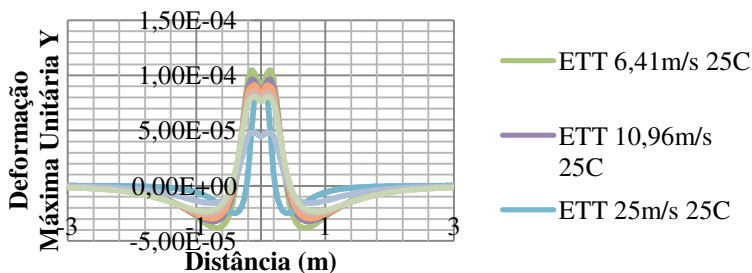


Figura A.275 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ETT – Temperatura 25C

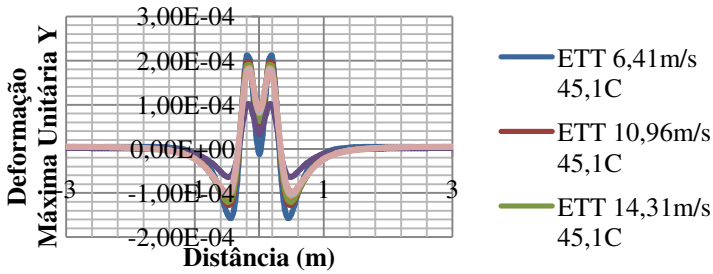


Figura A.276 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ETT – Temperatura 45,1C

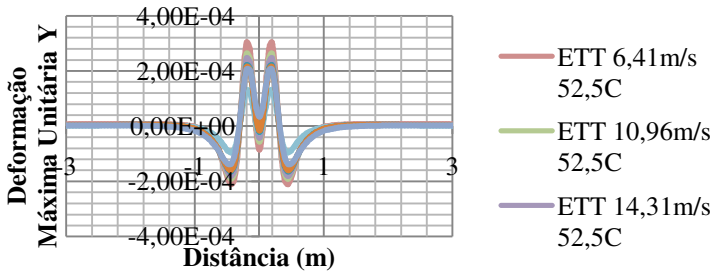


Figura A.277 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ETT – Temperatura 52,5C

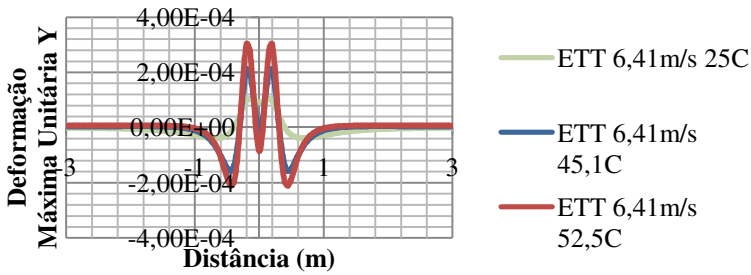


Figura A.278 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ETT – Velocidade 6,41m/s

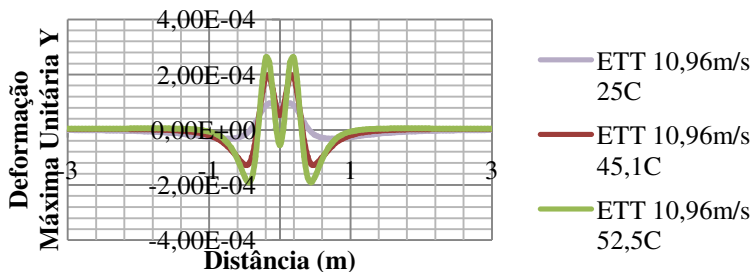


Figura A.279 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ETT – Velocidade 10,96m/s

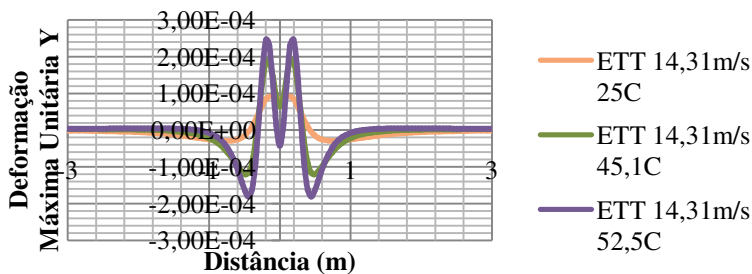


Figura A.280 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ETT – Velocidade 14,31m/s

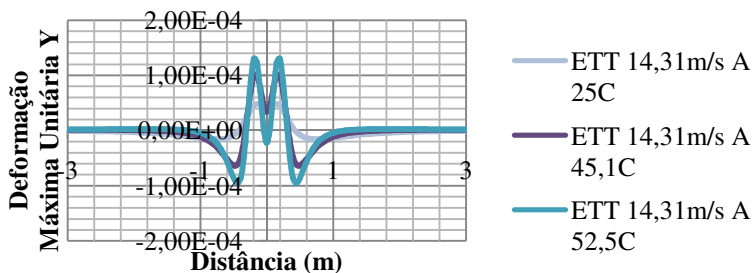


Figura A.281 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ETT – Velocidade 14,31m/s

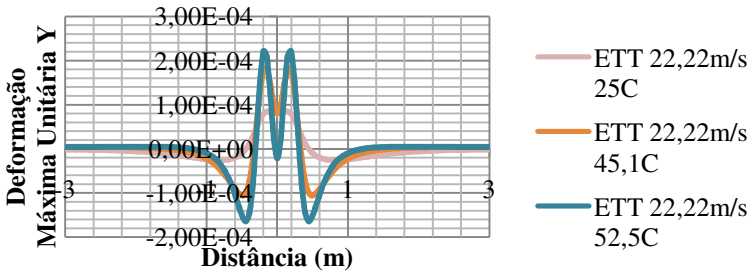


Figura A.282 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ETT – Velocidade 22,22m/s

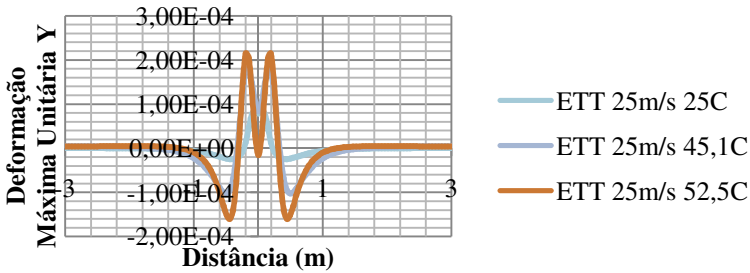


Figura A.283 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ETT – Velocidade 25m/s

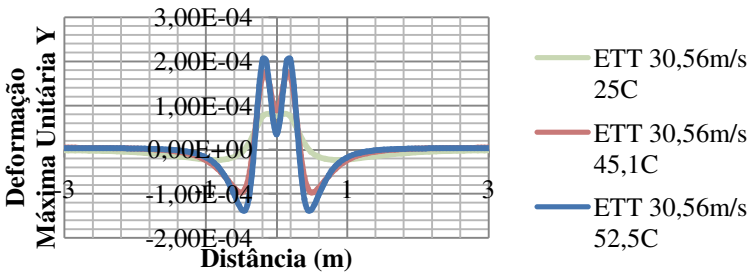


Figura A.284 Deformação Horizontal Y Sentido Transversal – ETT – Velocidade 30,56m/s

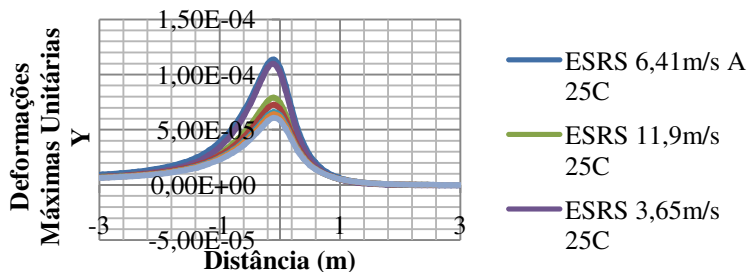


Figura A.285 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRS – Temperatura 25C

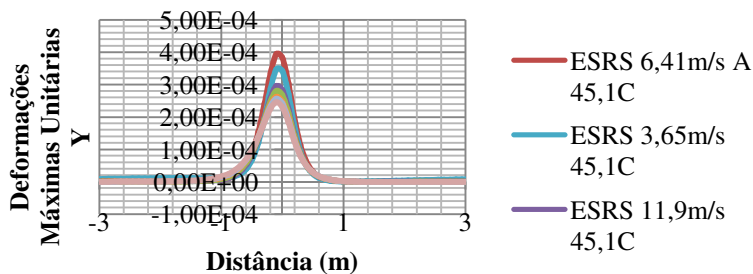


Figura A.286 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRS – Temperatura 45,1C

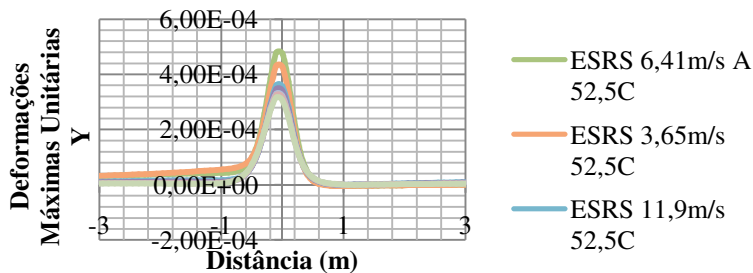


Figura A.287 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRS – Temperatura 52,5C

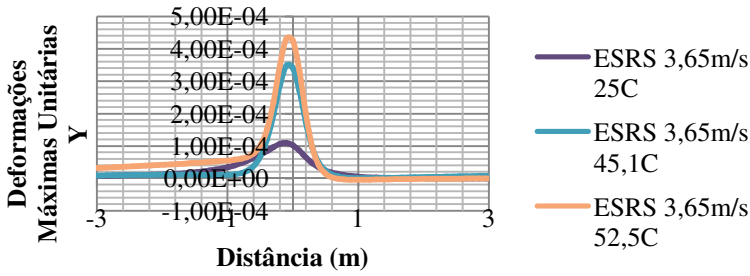


Figura A.288 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRS – Velocidade 3,65m/s

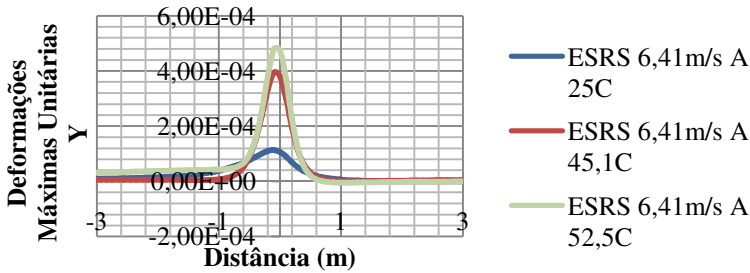


Figura A.289 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRS – Velocidade 6,41m/s

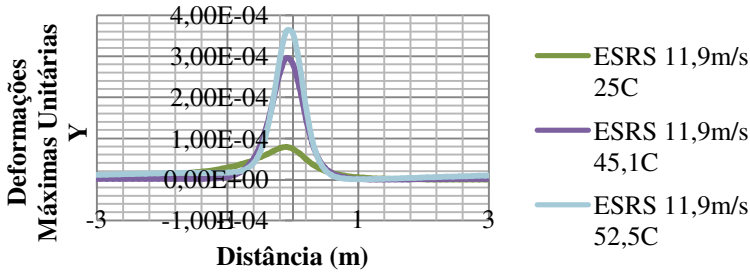


Figura A.290 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRS – Velocidade 11,9m/s

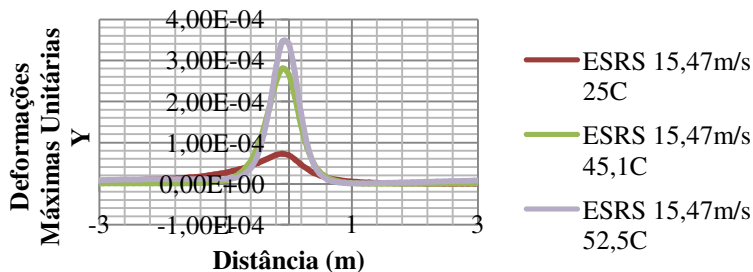


Figura A.291 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRS – Velocidade 15,47m/s

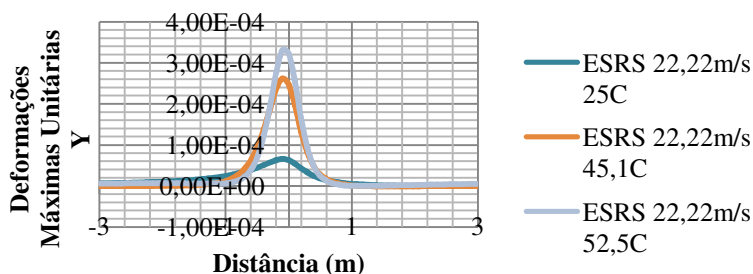


Figura A.292 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRS – Velocidade 22,22m/s

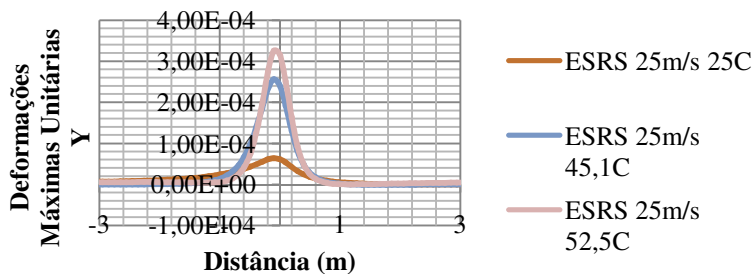


Figura A.293 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRS – Velocidade 25m/s

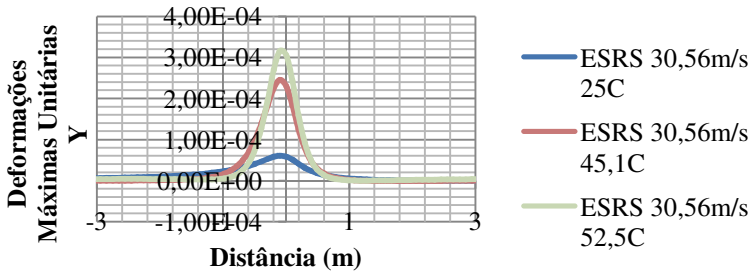


Figura A.294 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRS – Velocidade 30,56m/s

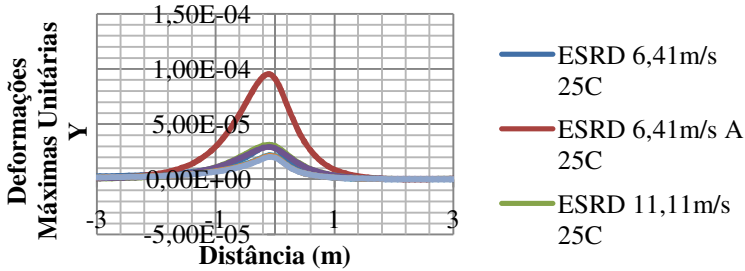


Figura A.295 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRD – Temperatura 25C

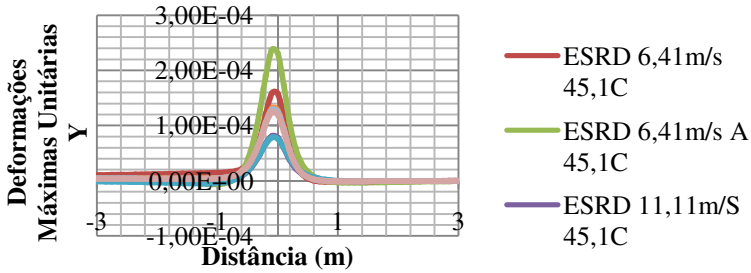


Figura A.296 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRD – Temperatura 45,1C

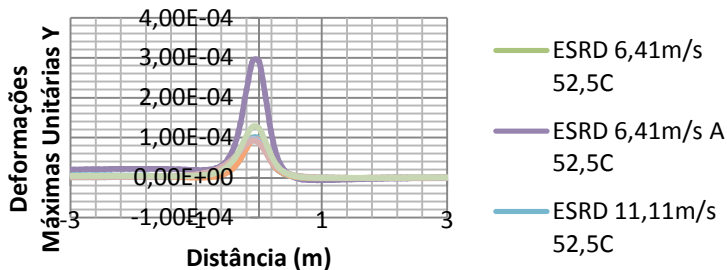


Figura A.297 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRD – Temperatura 52,5C

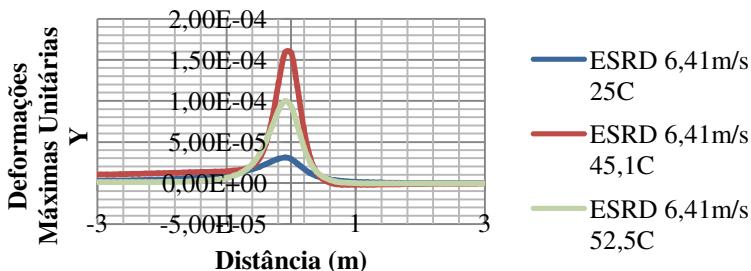


Figura A.298 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRD – Velocidade 6,41m/s

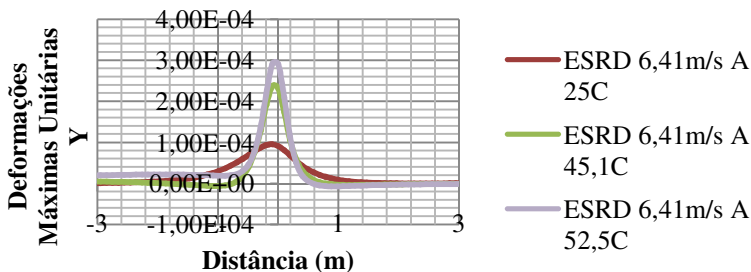


Figura A.299 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRD – Velocidade 6,41m/s

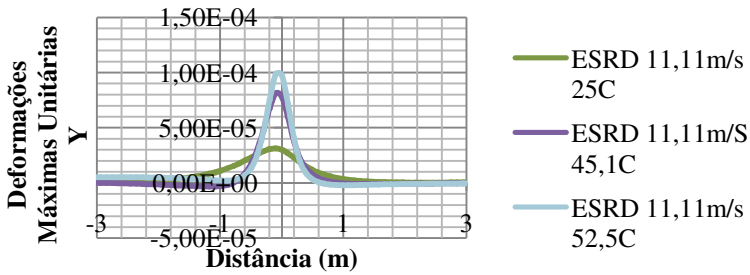


Figura A.300 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRD – Velocidade 11,11m/s

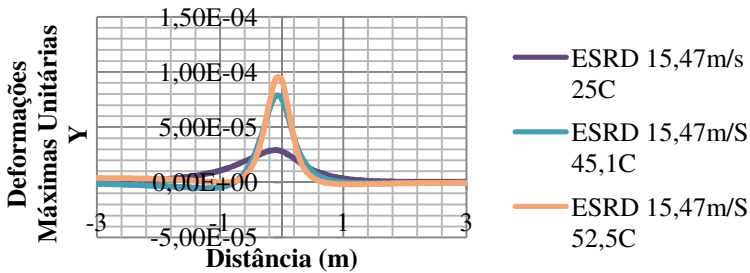


Figura A.301 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRD – Velocidade 15,47m/s

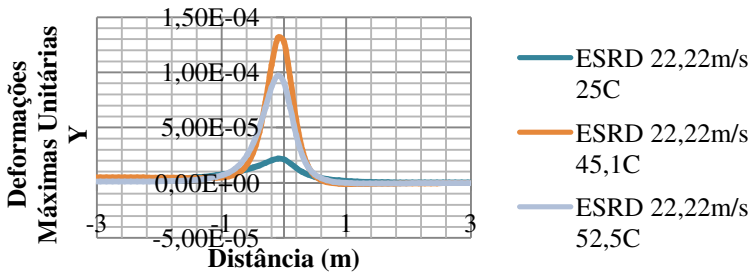


Figura A.302 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRD – Velocidade 22,22m/s

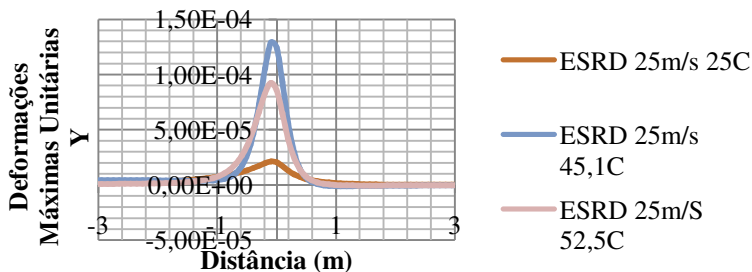


Figura A.303 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRD – Velocidade 25m/s

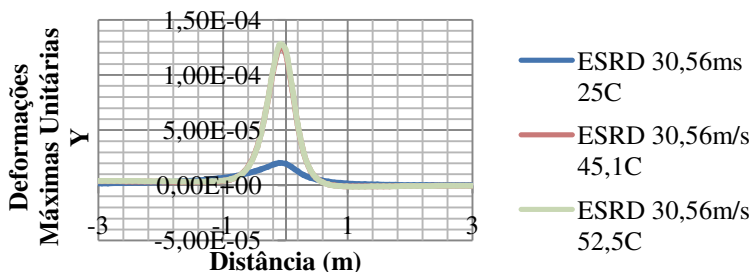


Figura A.304 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ESRD – Velocidade 30,56m/s

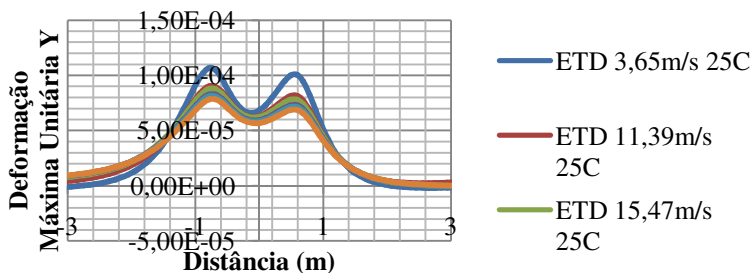


Figura A.305 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ETD – Temperatura 25C

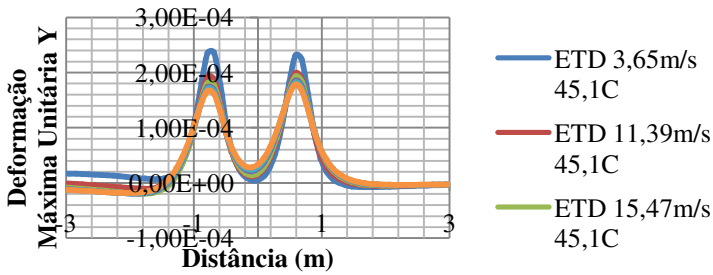


Figura A.306 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ETD – Temperatura 45,1C

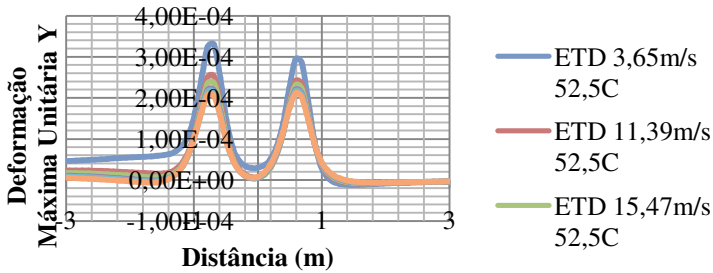


Figura A.307 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ETD – Temperatura 52,5C

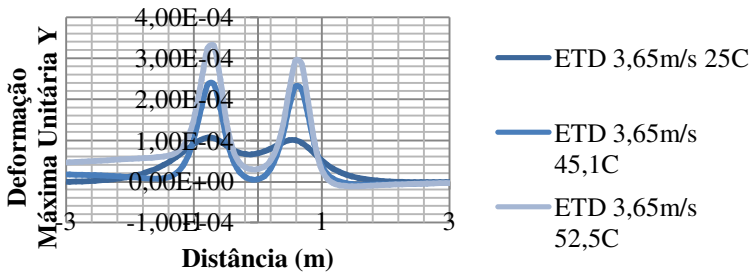


Figura A.308 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ETD – Velocidade 3,65m/s

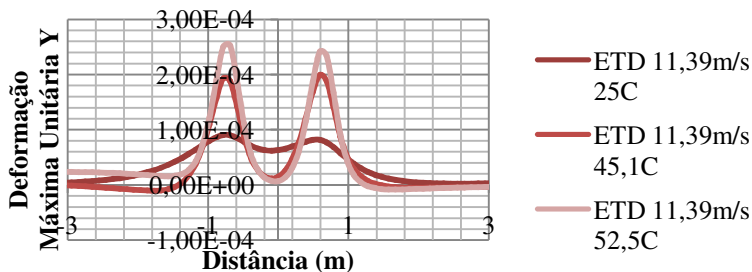


Figura A.309 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ETD – Velocidade 11,39m/s

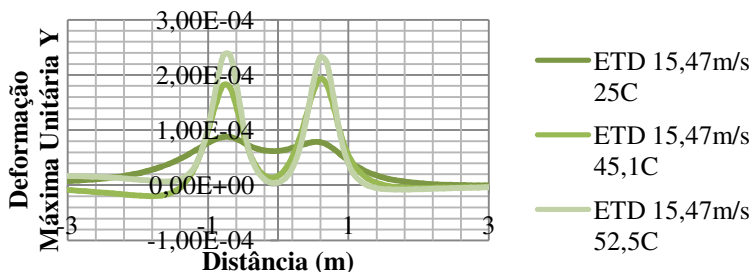


Figura A.310 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ETD – Velocidade 15,47m/s

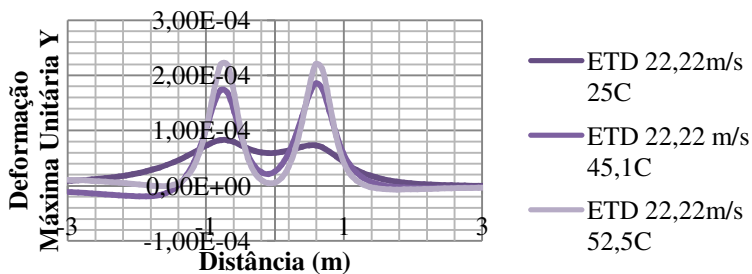


Figura A.311 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ETD – Velocidade 22,22m/s

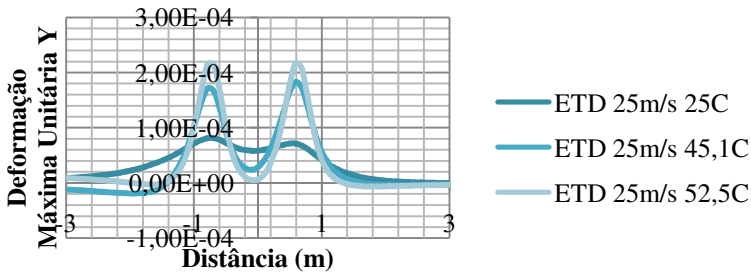


Figura A.312 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ETD – Velocidade 25m/s

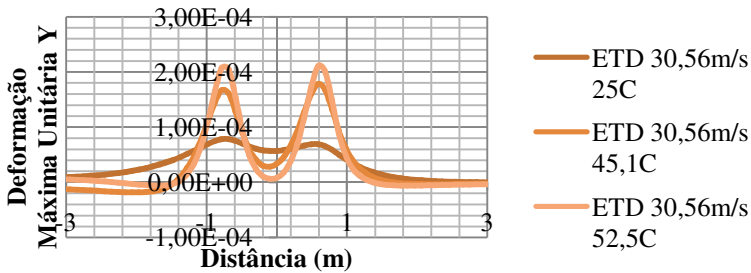


Figura A.313 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ETD – Velocidade 30,56m/s

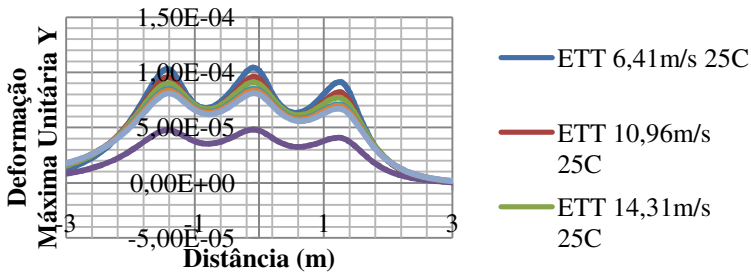


Figura A.314 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ETT – Temperatura 25C

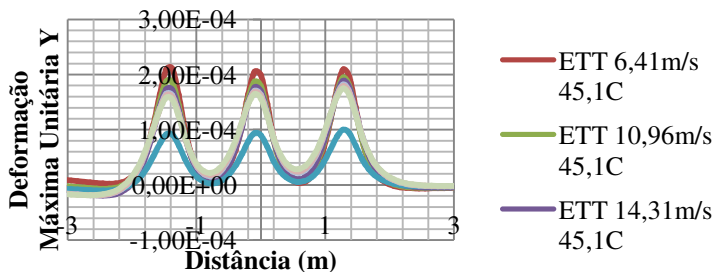


Figura A.315 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ETT – Temperatura 45,1C

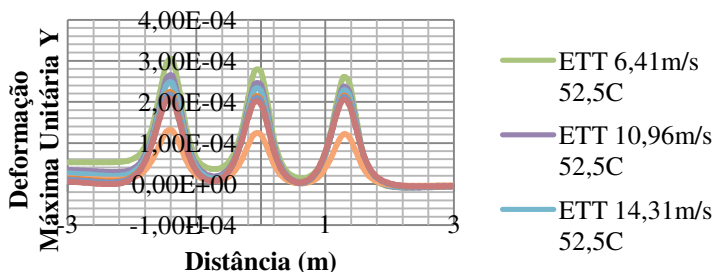


Figura A.316 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ETT – Temperatura 52,5C

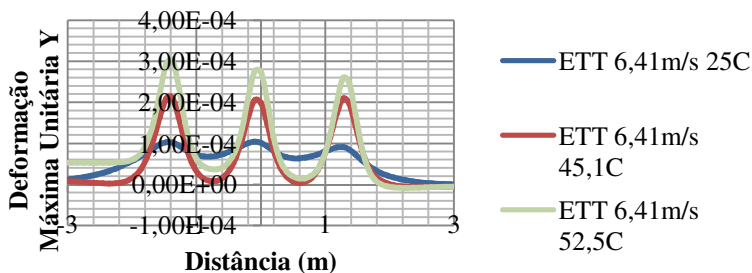


Figura A.317 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ETT – Velocidade 6,41m/s

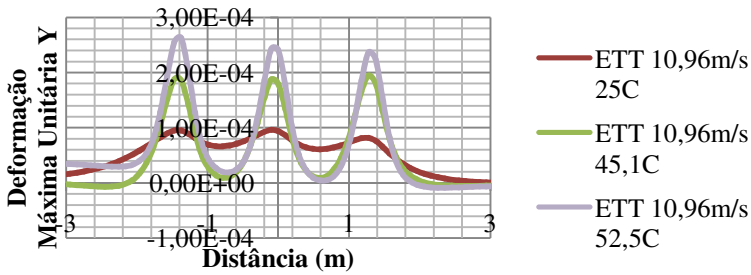


Figura A.318 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ETT – Velocidade 10,96m/s

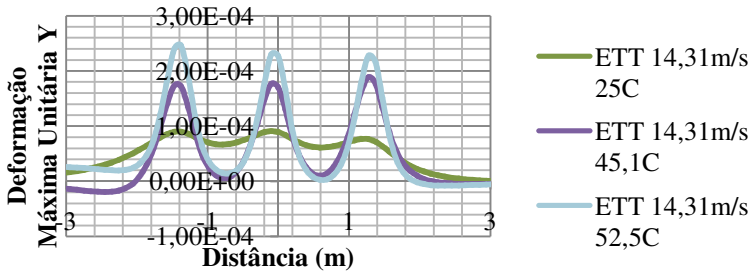


Figura A.319 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ETT – Velocidade 14,31m/s

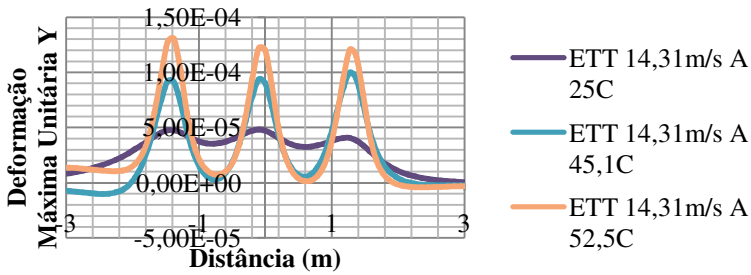


Figura A.320 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ETT – Velocidade 14,31m/s

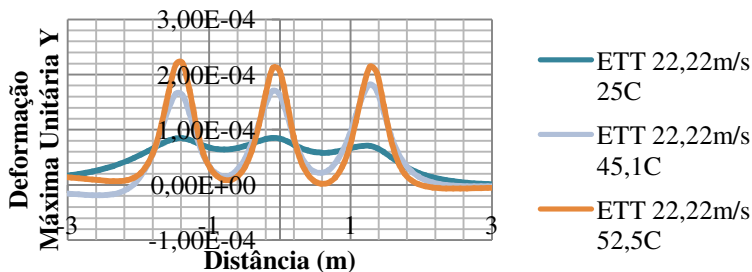


Figura A.321 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ETT – Velocidade 22,22m/s

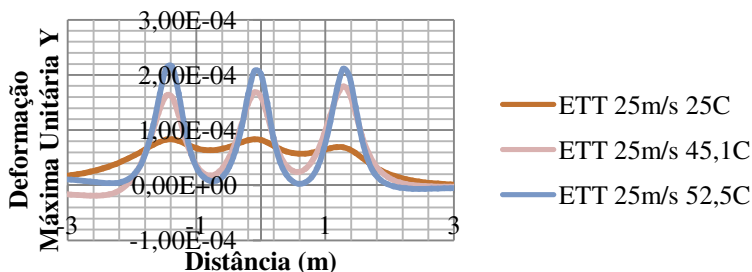


Figura A.322 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ETT – Velocidade 25m/s

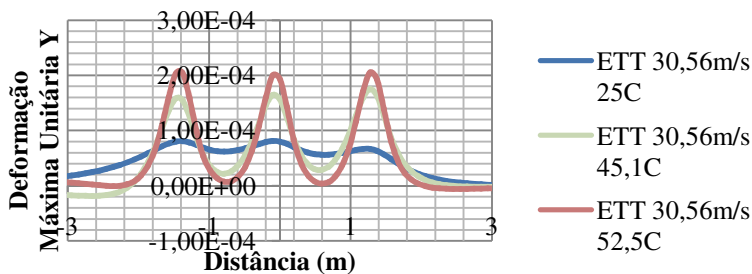


Figura A.323 Deformação Horizontal Y Sentido Longitudinal – ETT – Velocidade 30,56m/s

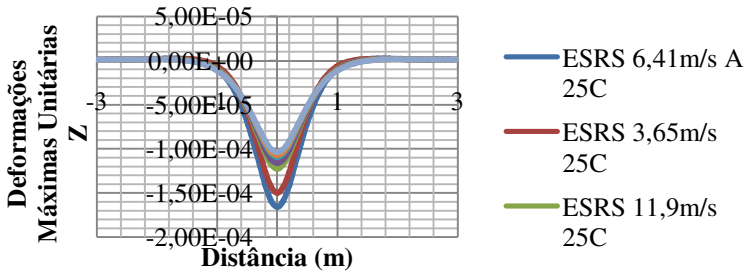


Figura A.324 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRS - Temperatura 25C

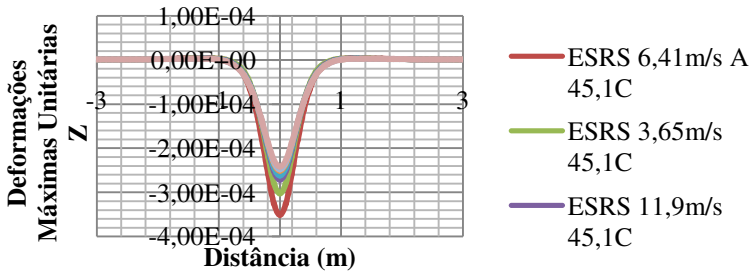


Figura A.325 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRS - Temperatura 45,1C

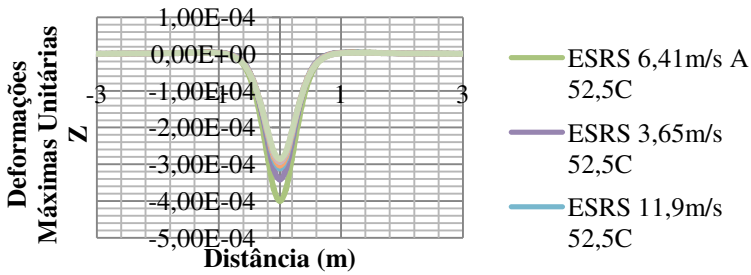


Figura A.326 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRS - Temperatura 52,5C

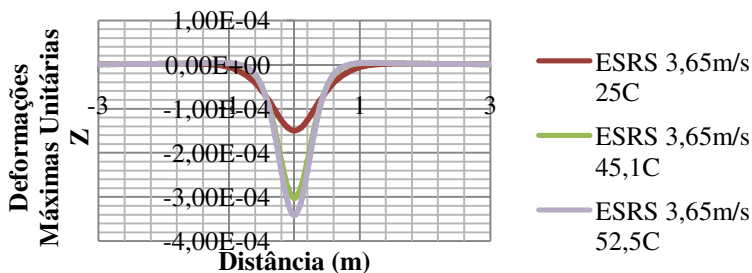


Figura A.327 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRS - Velocidade 3,65m/s

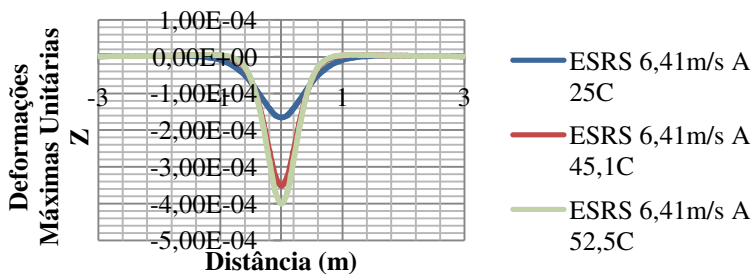


Figura A.328 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRS - Velocidade 6,41m/s (2S3)

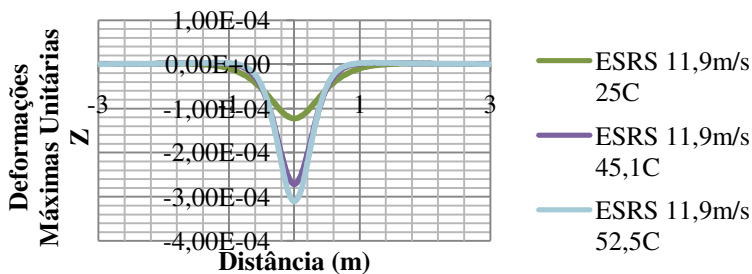


Figura A.329 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRS - Velocidade 11,9m/s

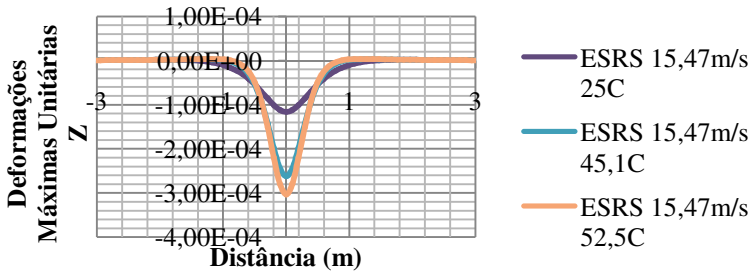


Figura A.330 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRS - Velocidade 15,47m/s

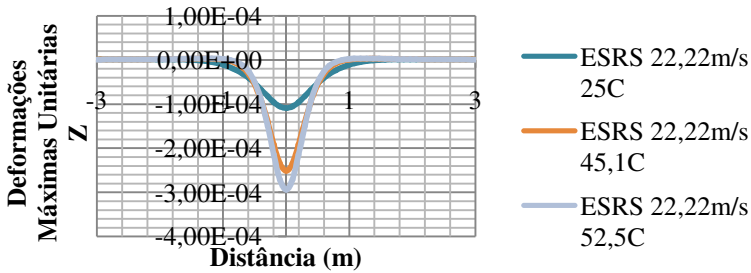


Figura A.331 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRS - Velocidade 22,22m/s

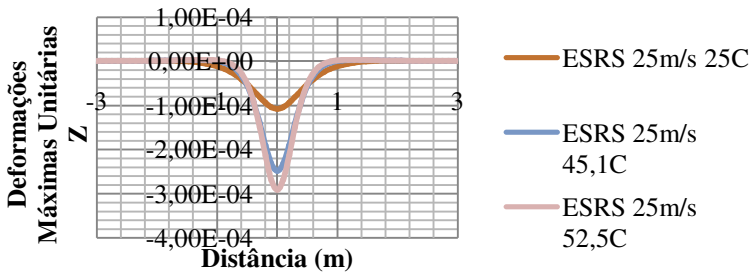


Figura A.332 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRS - Velocidade 25m/s

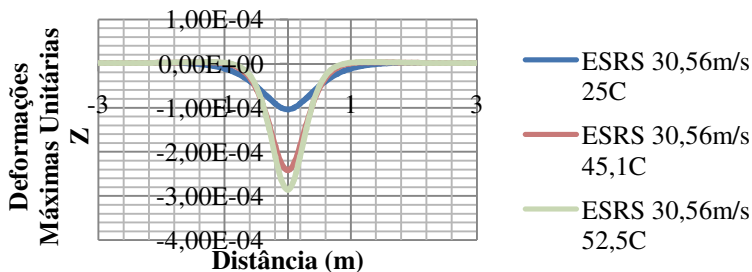


Figura A.333 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRs - Velocidade 30,56m/s

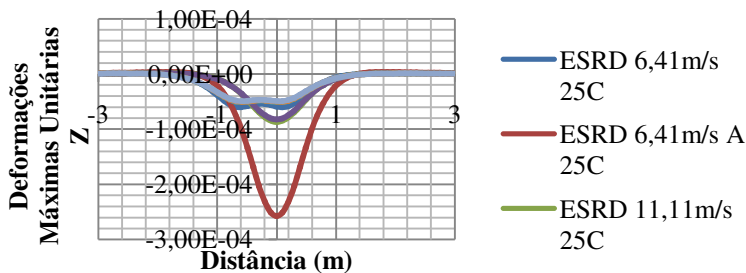


Figura A.334 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRD - Temperatura 25C

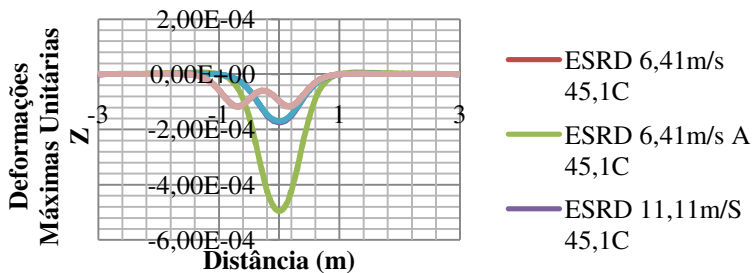


Figura A.335 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRD - Temperatura 45,1C

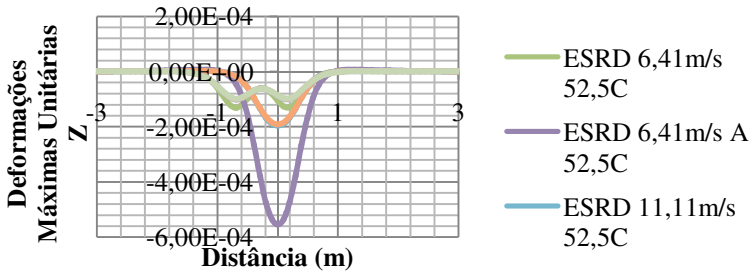


Figura A.336 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRD - Temperatura 52,5C

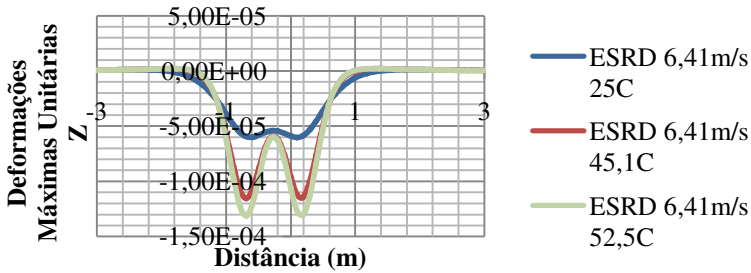


Figura A.337 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRD - Velocidade 6,41m/s

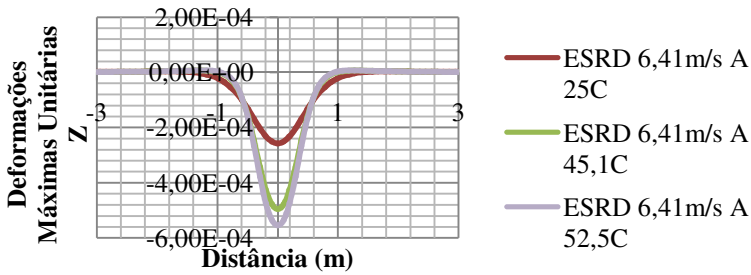


Figura A.338 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRD - Velocidade 6,41m/s (2S3)

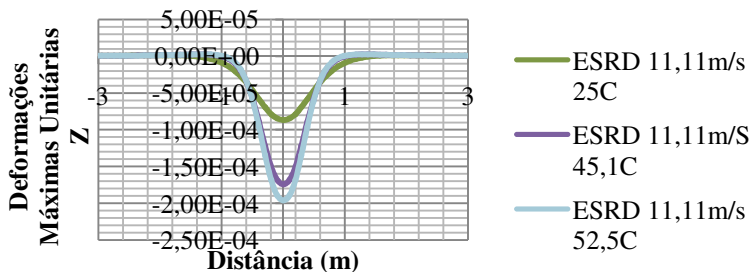


Figura A.339 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRD - Velocidade 11,11m/s

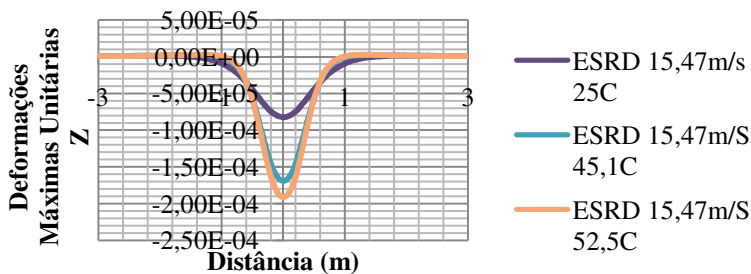


Figura A.340 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRD - Velocidade 15,47m/s

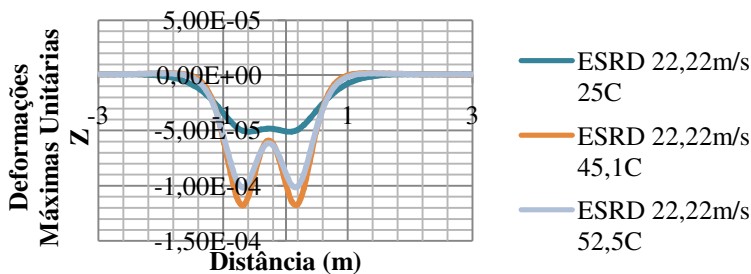


Figura A.341 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRD - Velocidade 22,22m/s

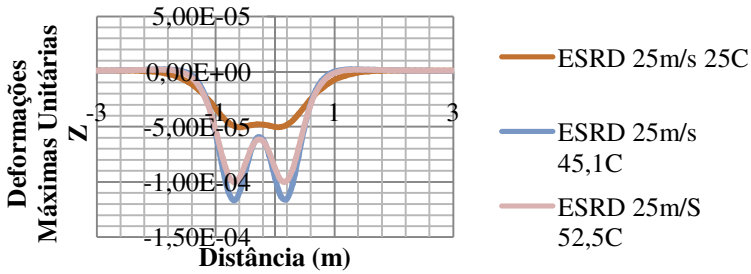


Figura A.342 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRD - Velocidade 25m/s

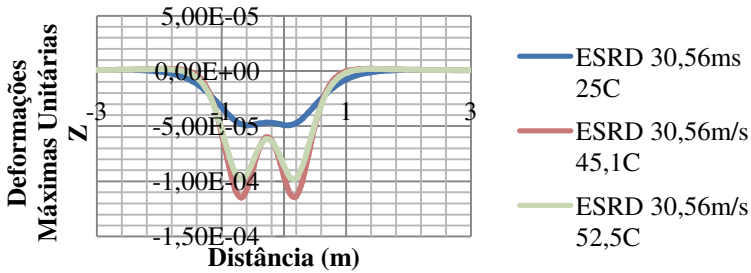


Figura A.343 Deformação Vertical Sentido Transversal - ESRD - Velocidade 30,56m/s

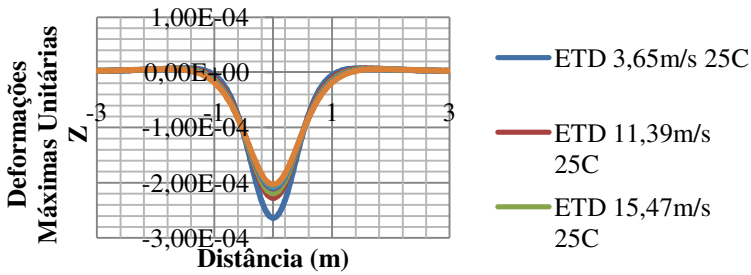


Figura A.344 Deformação Vertical Sentido Transversal - ETD - Temperatura 25C

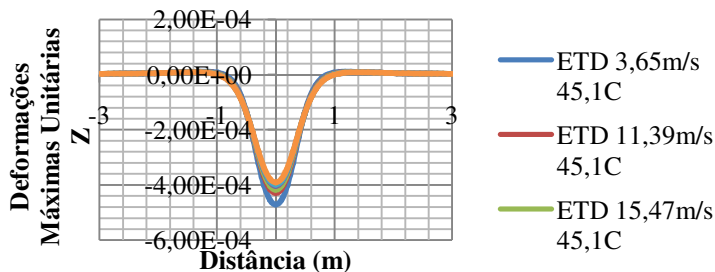


Figura A.345 Deformação Vertical Sentido Transversal - ETD - Temperatura 45,1C

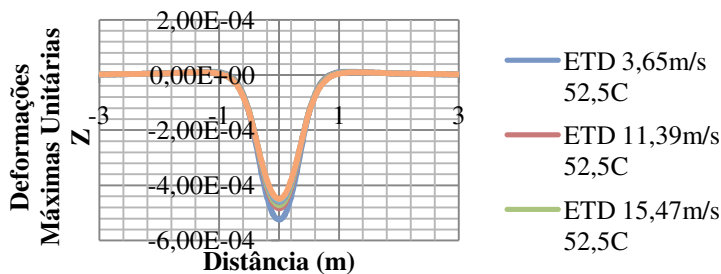


Figura A.346 Deformação Vertical Sentido Transversal - ETD - Temperatura 52,5C

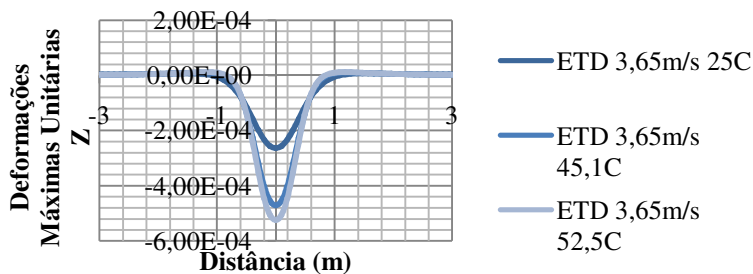


Figura A.347 Deformação Vertical Sentido Transversal - ETD - Velocidade 3,65m/s

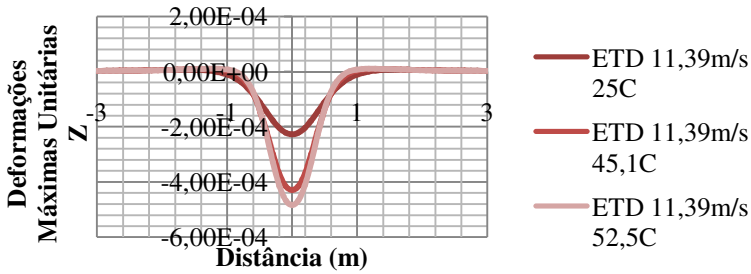


Figura A.348 Deformação Vertical Sentido Transversal - ETD - Velocidade 11,39m/s

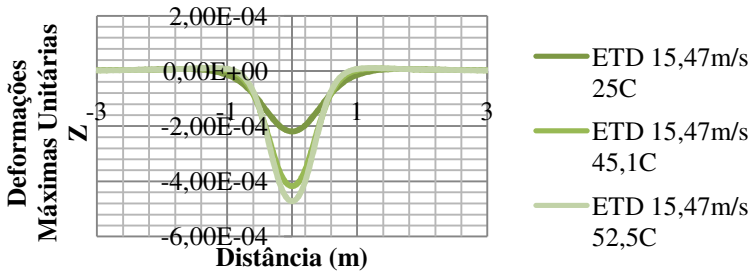


Figura A.349 Deformação Vertical Sentido Transversal - ETD - Velocidade 15,47m/s

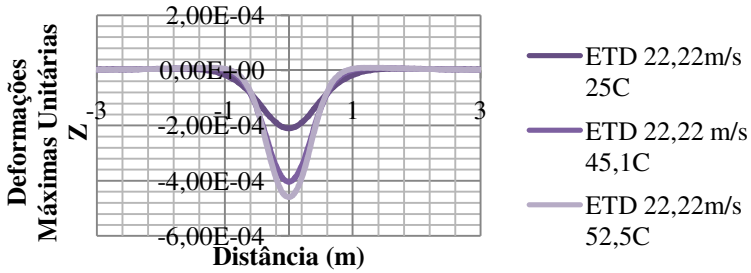


Figura A.350 Deformação Vertical Sentido Transversal - ETD - Velocidade 22,22m/s

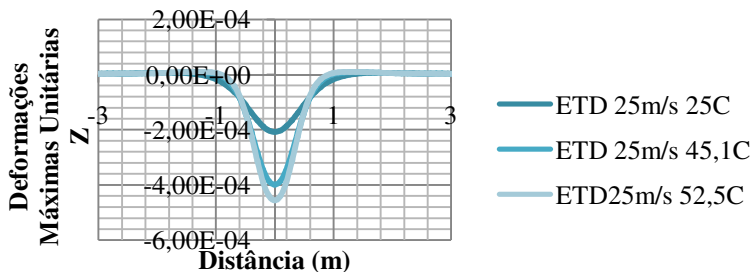


Figura A.351 Deformação Vertical Sentido Transversal - ETD - Velocidade 25m/s

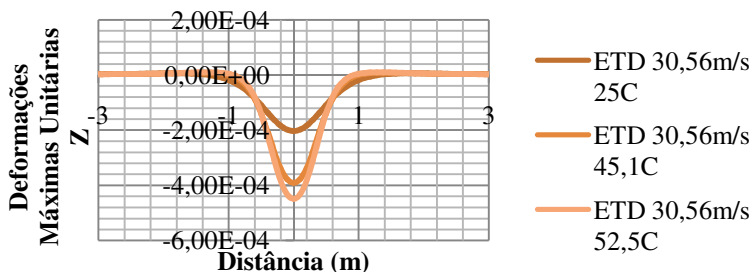


Figura A.352 Deformação Vertical Sentido Transversal - ETD - Velocidade 30,56m/s

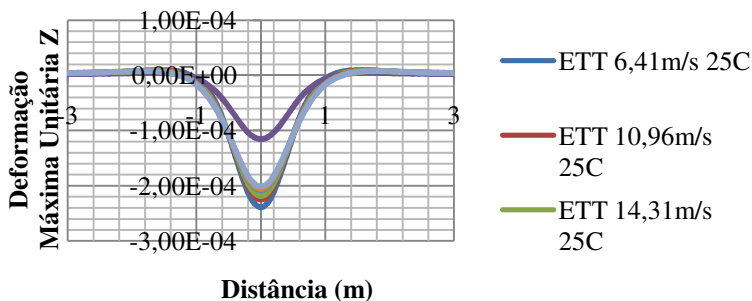


Figura A.353 Deformação Vertical Sentido Transversal - ETT - Temperatura 25C

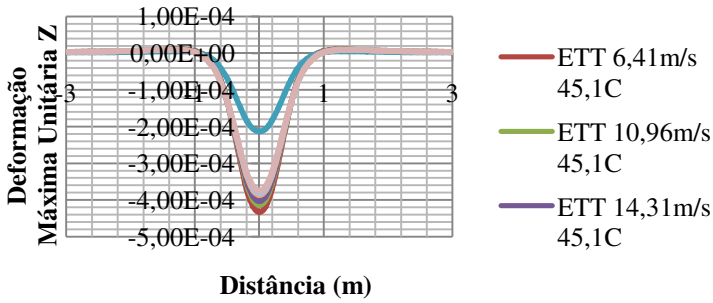


Figura A.354 Deformação Vertical Sentido Transversal - ETT - Temperatura 45,1C

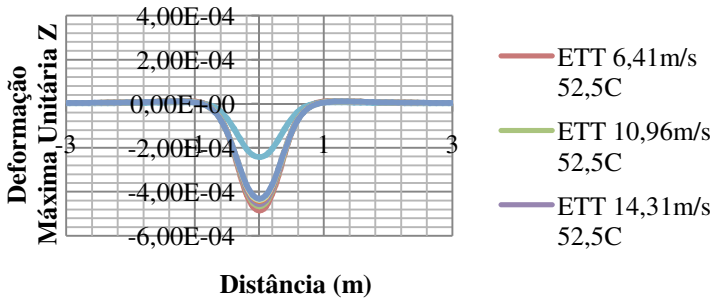


Figura A.355 Deformação Vertical Sentido Transversal - ETT - Temperatura 52,5C

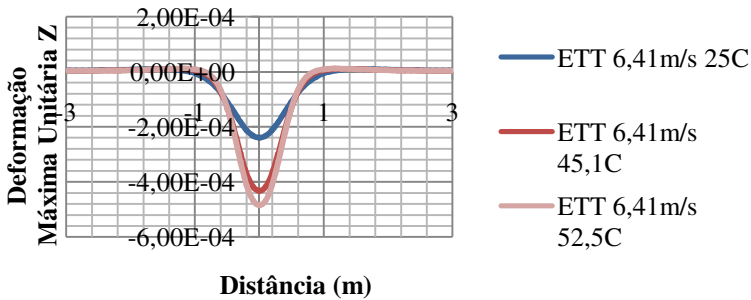


Figura A.356 Deformação Vertical Sentido Transversal - ETT - Velocidade 6,41m/s

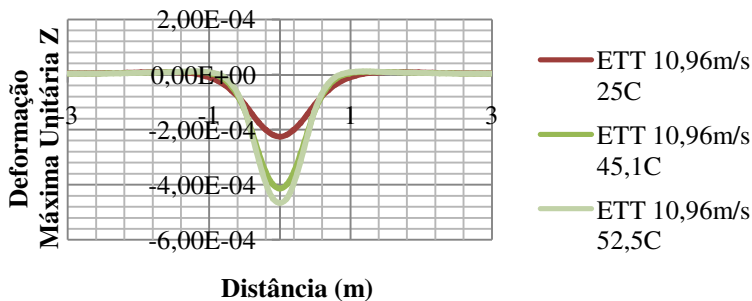


Figura A.357 Deformação Vertical Sentido Transversal - ETT - Velocidade 10,96m/s

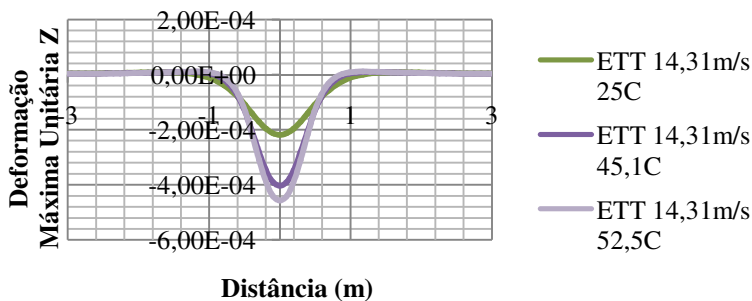


Figura A.358 Deformação Vertical Sentido Transversal - ETT - Velocidade 14,31m/s

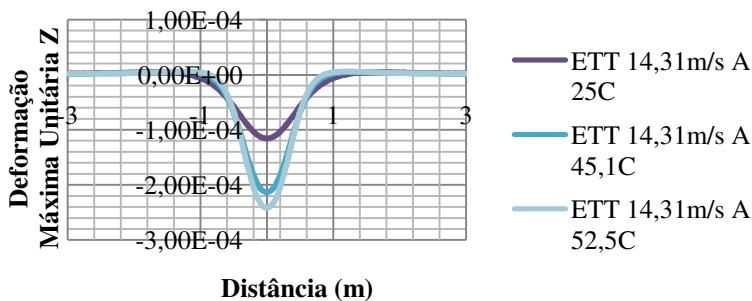


Figura A.359 Deformação Vertical Sentido Transversal - ETT - Velocidade 14,31m/s (4C)

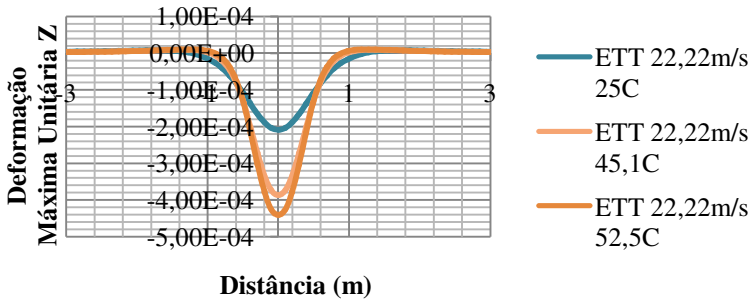


Figura A.360 Deformação Vertical Sentido Transversal - ETT - Velocidade 22,22m/s

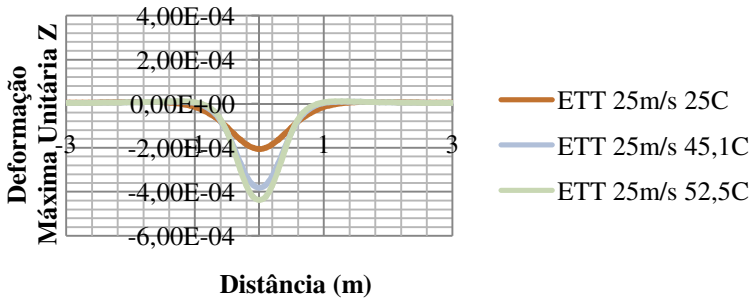


Figura A.361 Deformação Vertical Sentido Transversal - ETT - Velocidade 25m/s

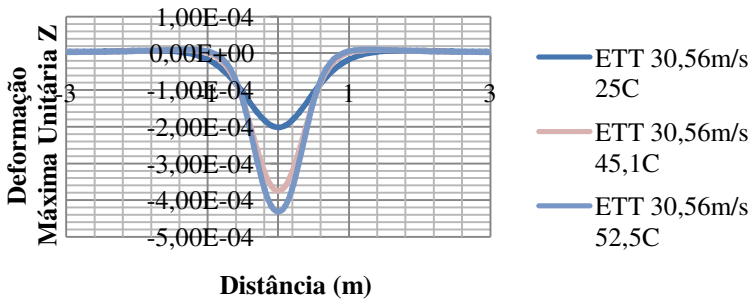


Figura A.362 Deformação Vertical Sentido Transversal - ETT - Velocidade 30,56m/s

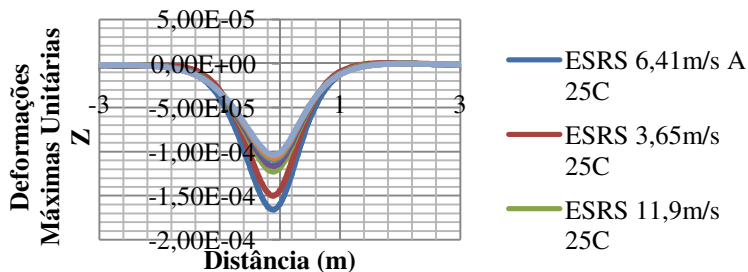


Figura A.363 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRS - Temperatura 25C

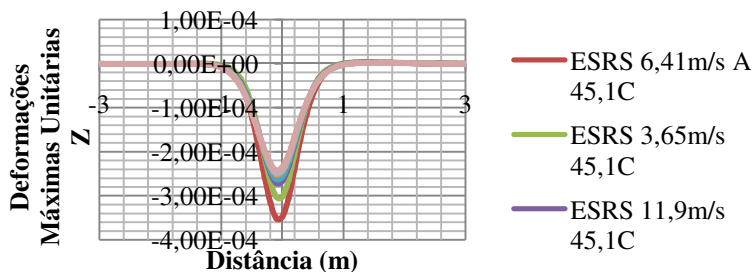


Figura A.364 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRS - Temperatura 45,1C

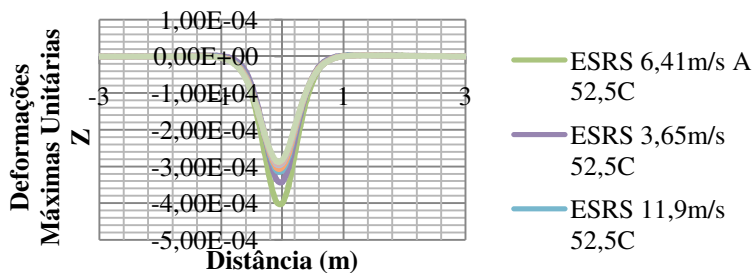


Figura A.365 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRS - Temperatura 52,5C

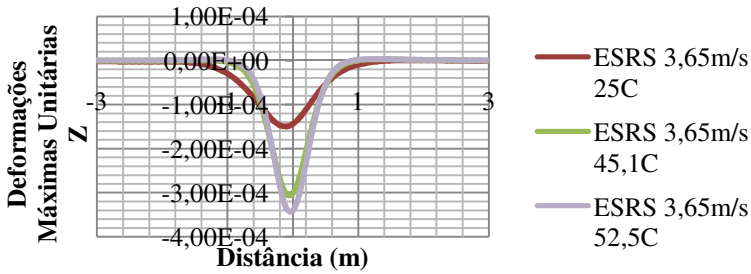


Figura A.366 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRS - Velocidade 3,65m/s

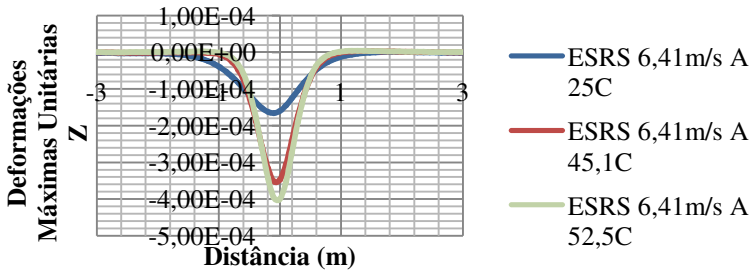


Figura A.367 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRS - Velocidade 6,41m/s (2S3)

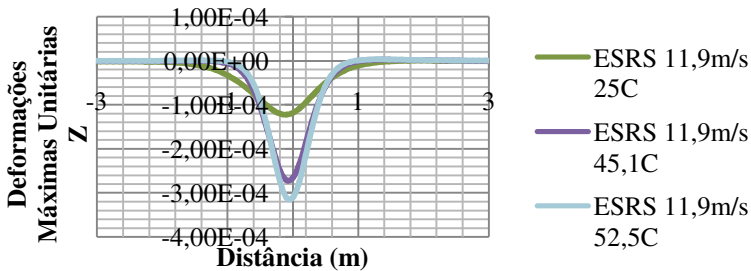


Figura A.368 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRS - Velocidade 11,9m/s

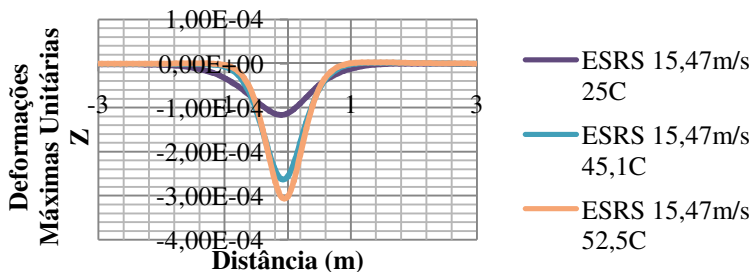


Figura A.369 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRS - Velocidade 15,47m/s

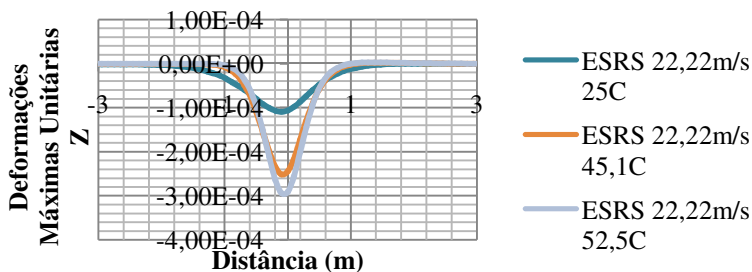


Figura A.370 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRS - Velocidade 22,22m/s

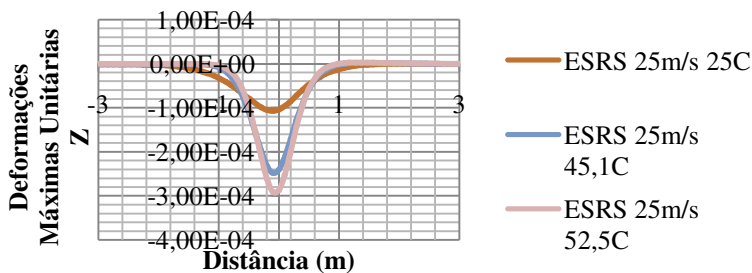


Figura A.371 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRS - Velocidade 25m/s

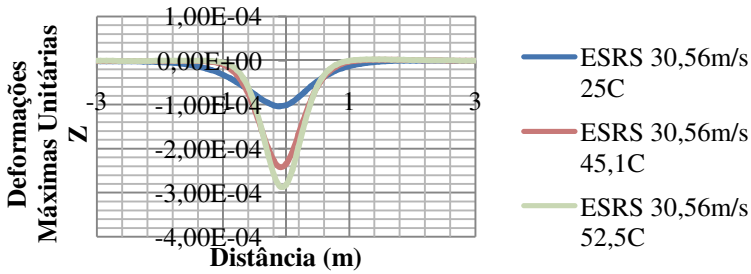


Figura A.372 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRS - Velocidade 30,56m/s

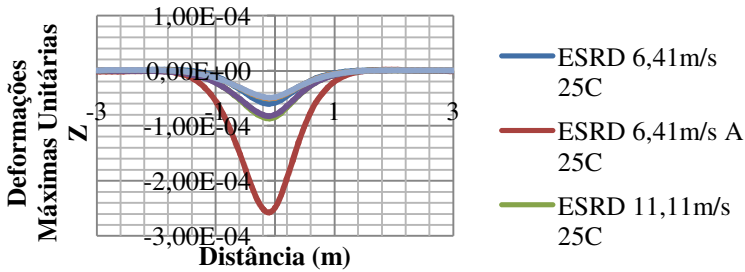


Figura A.373 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRD - Temperatura 25C

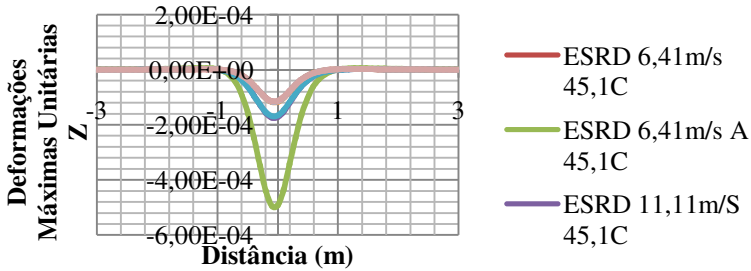


Figura A.374 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRD - Temperatura 45,1C

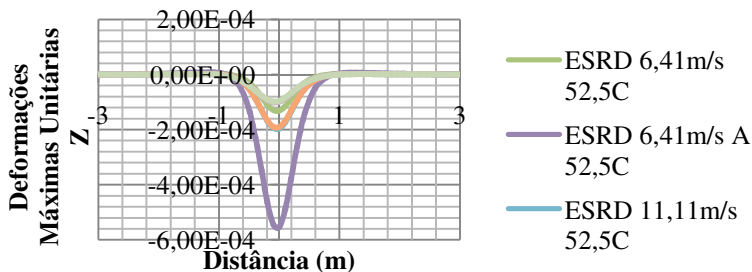


Figura A.375 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRD - Temperatura 52,5C

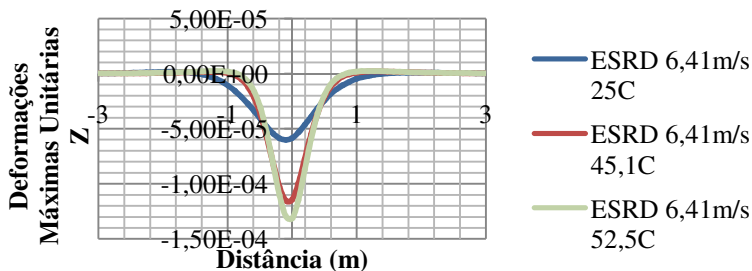


Figura A.376 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRD - Velocidade 6,41m/s

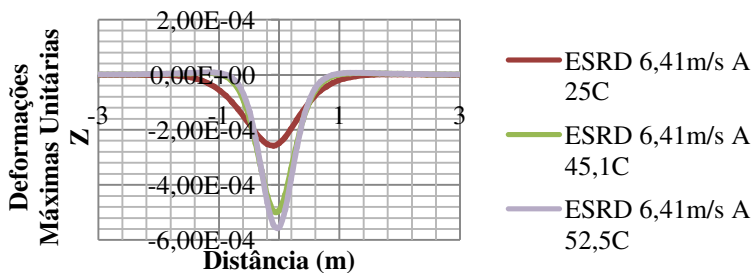


Figura A.377 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRD - Velocidade 6,41m/s

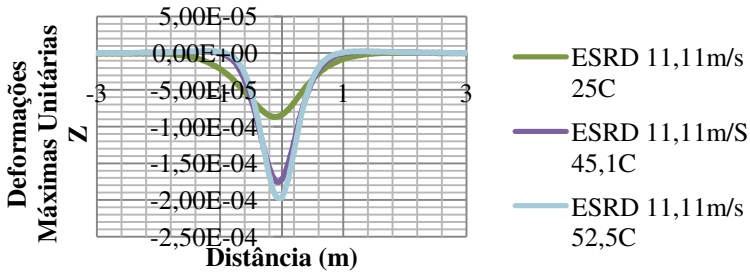


Figura A.378 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRD - Velocidade 11,11m/s

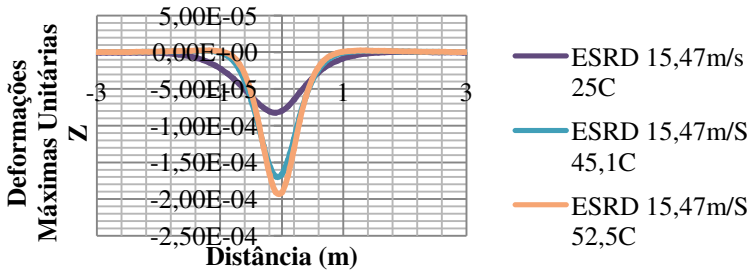


Figura A.379 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRD - Velocidade 15,47m/s

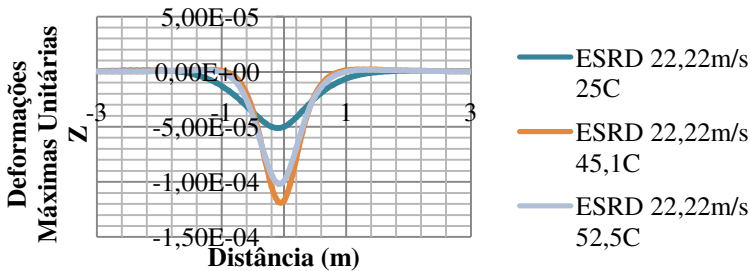


Figura A.380 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRD - Velocidade 22,22m/s

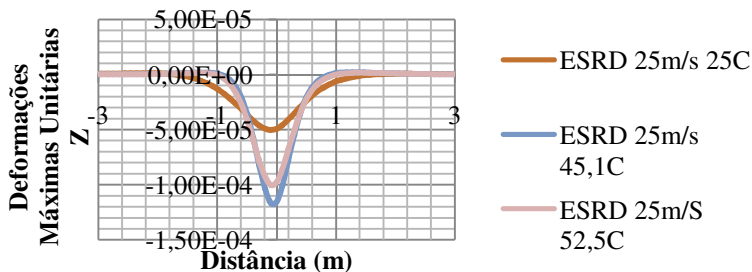


Figura A.381 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRD - Velocidade 25m/s

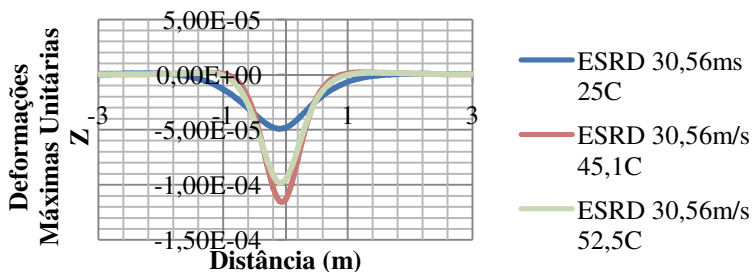


Figura A.382 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ESRD - Velocidade 30,56m/s

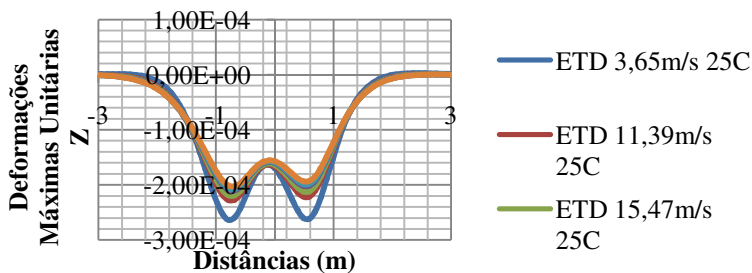


Figura A.383 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ETD - Temperatura 25C

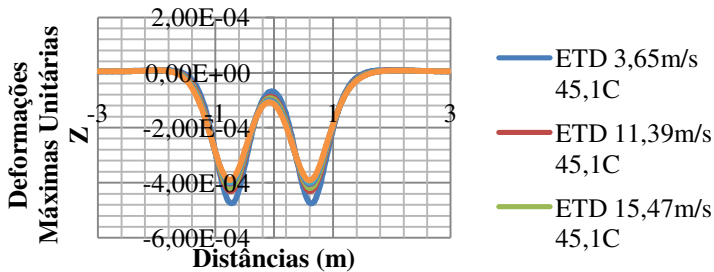


Figura A.384 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ETD - Temperatura 45,1C

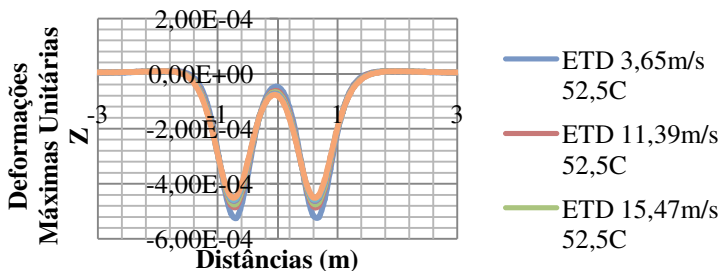


Figura A.385 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ETD - Temperatura 52,5C

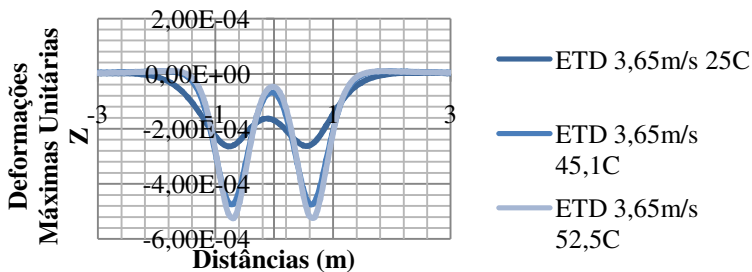


Figura A.386 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ETD - Velocidade 3,65m/s

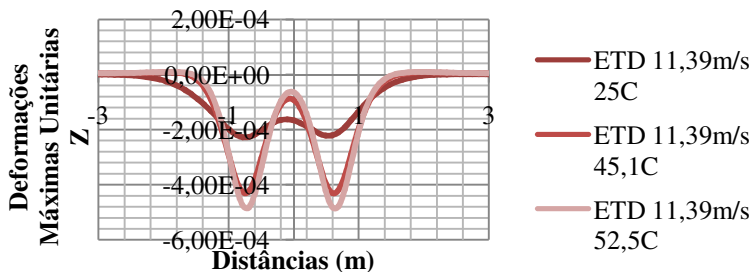


Figura A.387 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ETD - Velocidade 11,39m/s

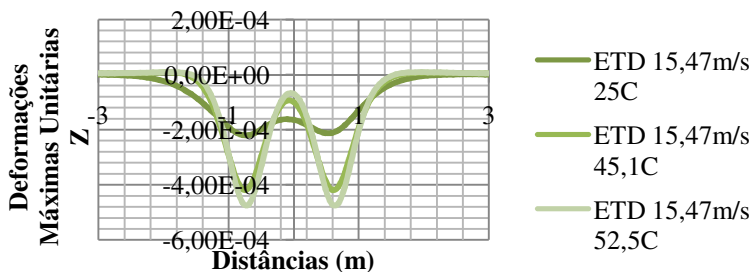


Figura A.388 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ETD - Velocidade 15,47m/s

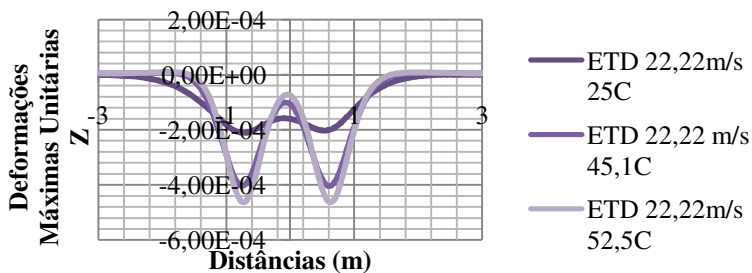


Figura A.389 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ETD - Velocidade 22,22m/s

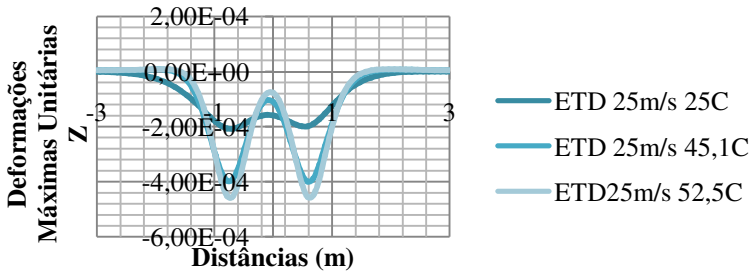


Figura A.390 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ETD - Velocidade 25m/s

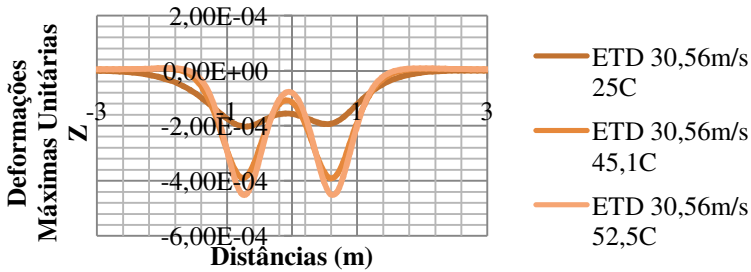


Figura A.391 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ETD - Velocidade 30,56m/s

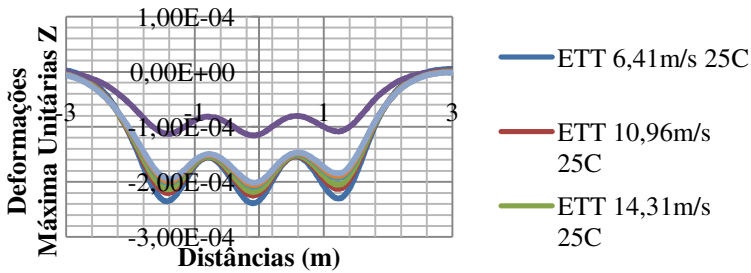


Figura A.392 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ETT - Temperatura 25C

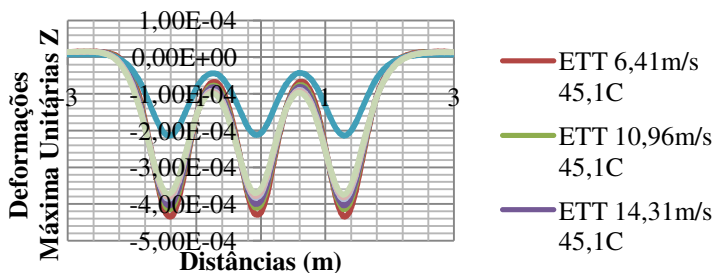


Figura A.393 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ETT - Temperatura 45,1C

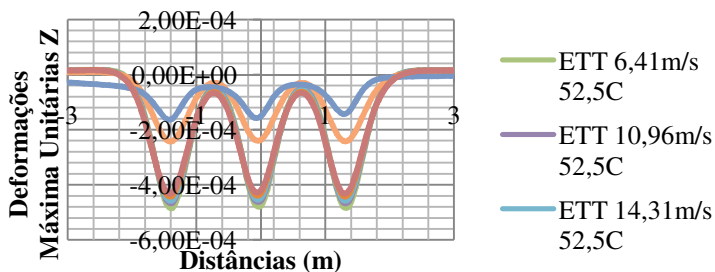


Figura A.394 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ETT - Temperatura 52,5C

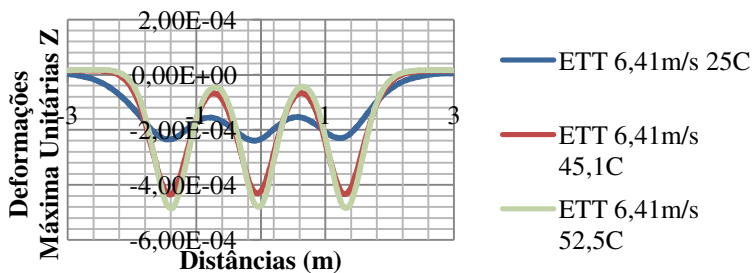


Figura A.395 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ETT - Velocidade 6,41m/s

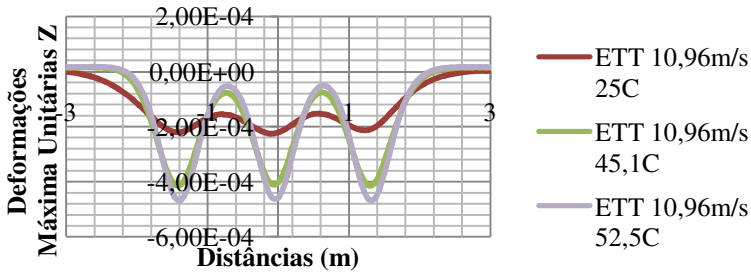


Figura A.396 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ETT - Velocidade 10,96m/s

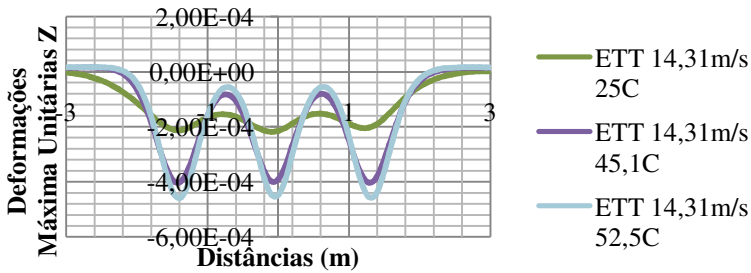


Figura A.397 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ETT - Velocidade 14,31m/s

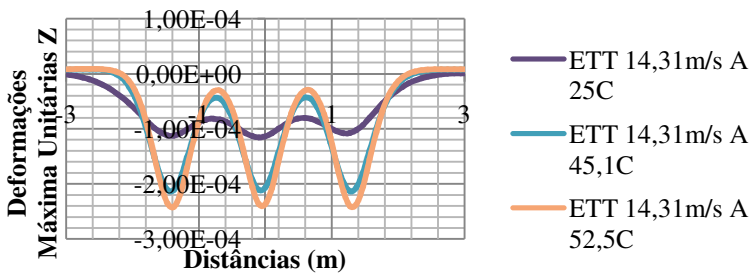


Figura A.398 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ETT - Velocidade 14,31m/s (4C)

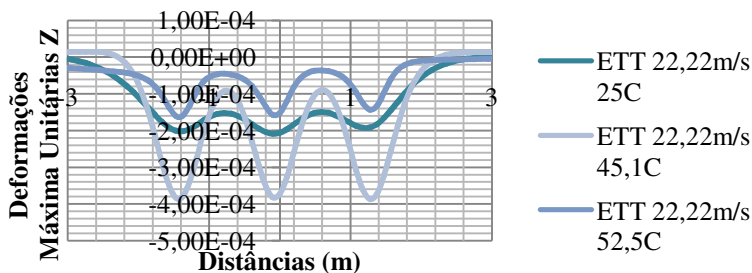


Figura A.399 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ETT - Velocidade 22,22m/s

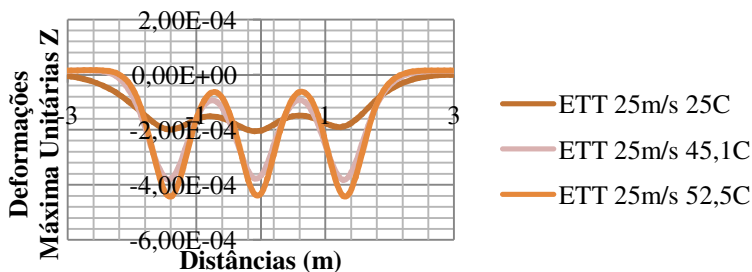


Figura A.400 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ETT - Velocidade 25m/s

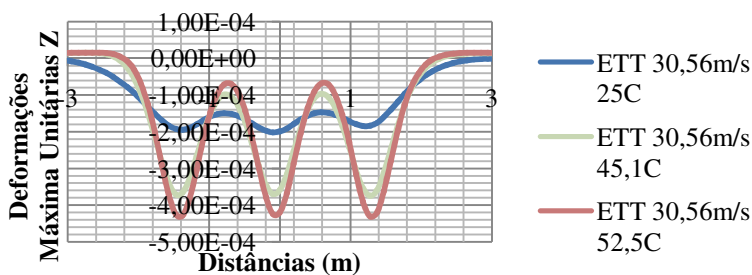


Figura A.401 Deformação Vertical Sentido Longitudinal - ETT - Velocidade 30,56m/s