

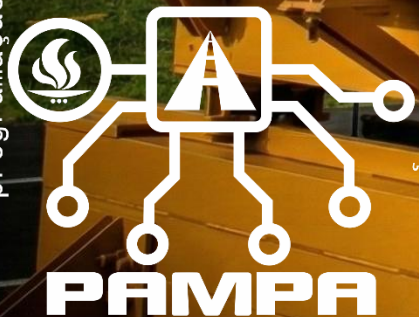
LAPAV
LABORATÓRIO DE PAVIMENTAÇÃO
ESCOLA DE ENGENHARIA - UFRGS

DNIT DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

programação e aprendizado de máquina

LAPAV

em pavimentação



WEBINÁRIO
04 DE MARÇO • 10h

Do Eixo ao Espectro de cargas: A questão da pesagem rodoviária na Era da Ciência de Dados



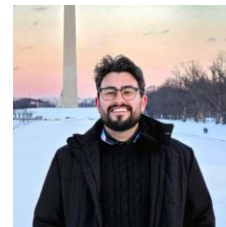
Com o professor **Lélcio Brito** da UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul)



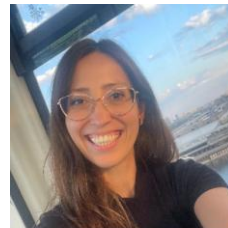
Henrique Grimm



Lucas Heller



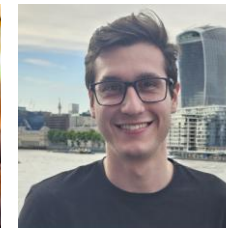
Cassio Horta



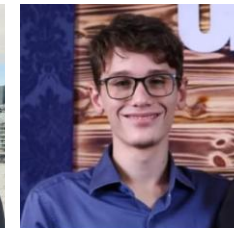
Thais Kleinert



Gracieli Colpo



Igor Moreira



Iuri Kali



Washington Núñez



Jorge Ceratti

TED n°194/2025
DNIT UFRGS

DNIT  **UFRGS**



Luiz Guilherme Mello



Luiz Heleno Albuquerque Filho



Galileu Santos



José Antônio Echeverría



Henrique Coelho

DNIT DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES



UFRGS
8 vezes a melhor Federal do Brasil
INEP / IGC / 2012 - 2019

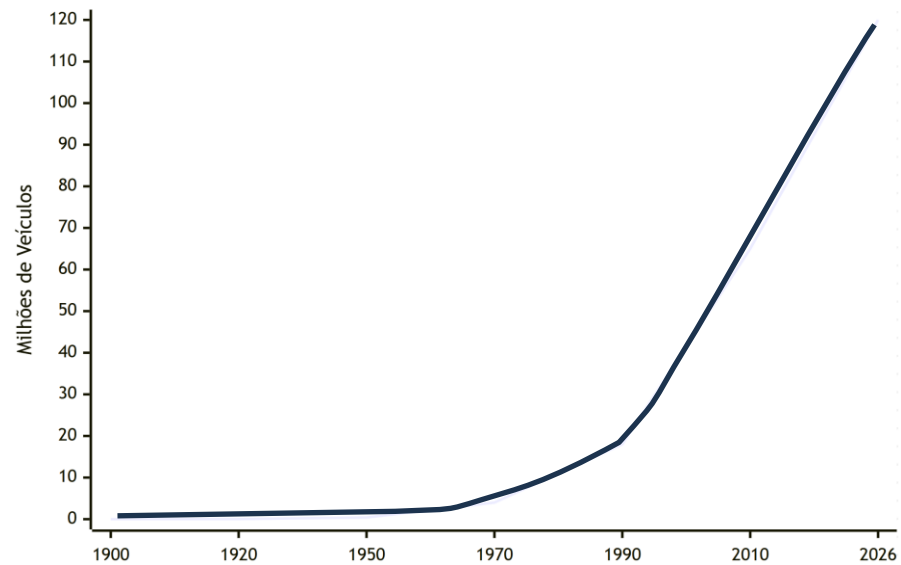
...do Eixo ao Espectro de cargas: A questão da pesagem rodoviária na Era da Ciência de Dados...

- A evolução da pesagem (e dos veículos) no Brasil (e no mundo)
- O que é um espectro de cargas? Qual a diferença da consideração do eixo
- A questão da carga no Brasil (Segurança vs impacto)
- O que já sabemos/fizemos?
- Impacto direto e no curto prazo em pavimentos
- O que estamos fazendo?

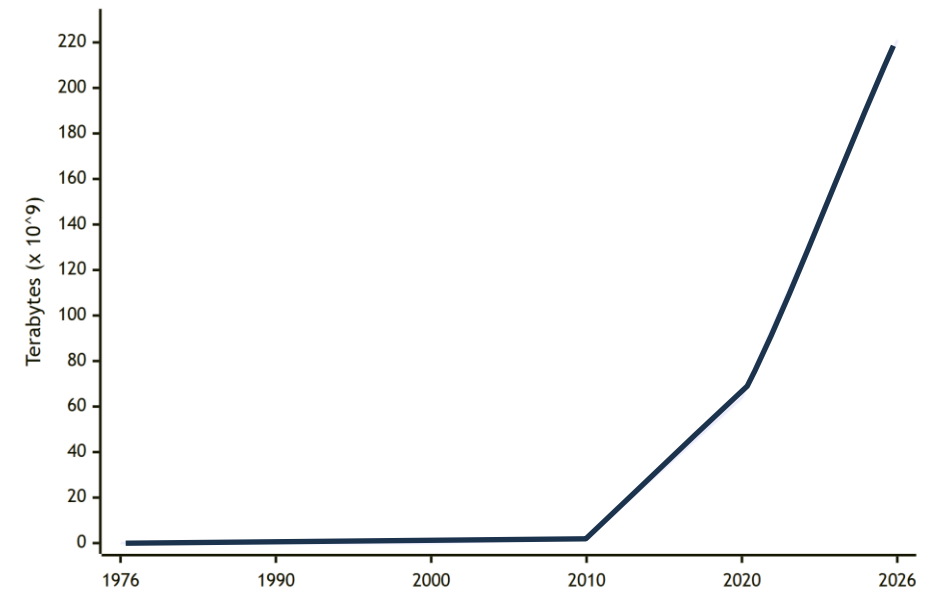
DNIT



Estimativa da Frota de Veículos no Brasil (1900 - 2026)



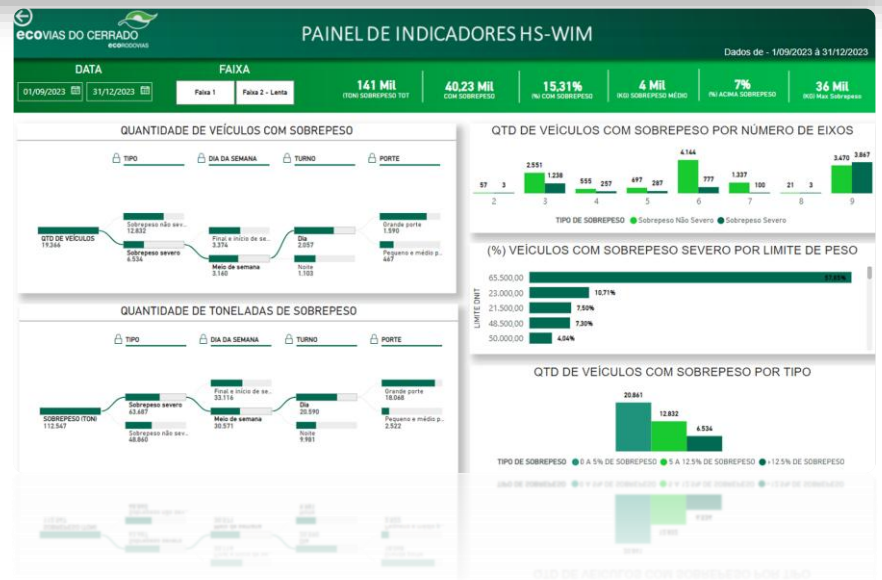
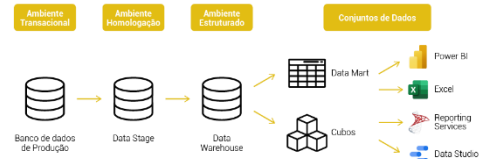
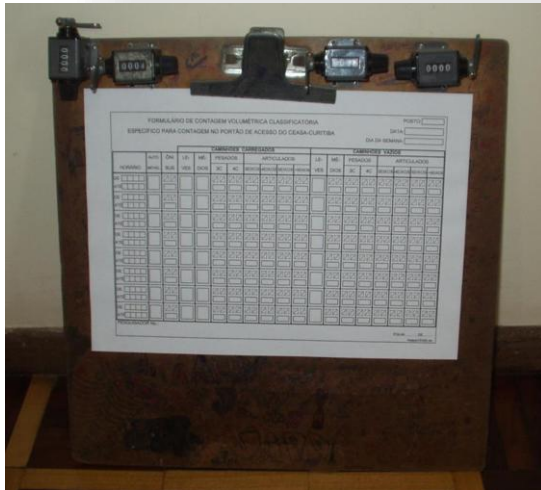
Evolução da Datasfera Global (em Bilhões de Terabytes)



DNIT



A evolução da frota e da tecnologia



		Tolerância PBT	Tolerância eixo	Limite transbordo
1985	Lei nº 7.408	5,0%	5,0%	
1986		5,0%	5,0%	
1987		5,0%	5,0%	
1988		5,0%	5,0%	
1989		5,0%	5,0%	
1990		5,0%	5,0%	
1991		5,0%	5,0%	
1992		5,0%	5,0%	
1993		5,0%	5,0%	
1994		5,0%	5,0%	
1995		5,0%	5,0%	
1996		5,0%	5,0%	
1997		5,0%	5,0%	
1998		5,0%	5,0%	
1999	Resolução CONTRAN nº 102 e 104	5,0%	7,5%	
2000		5,0%	7,5%	
2001		5,0%	7,5%	
2002		5,0%	7,5%	
2003		5,0%	7,5%	
2004		5,0%	7,5%	
2005		5,0%	7,5%	
2006		5,0%	7,5%	
2007	Resolução CONTRAN nº 258	5,0%	7,5%	12,5%²
2008	Resolução CONTRAN nº 301	5,0%	7,5%	12,5% ²
2009	Resolução CONTRAN nº 328 e 337	5,0%	7,5% ¹	12,5% ²
2010	Resolução CONTRAN nº 353 e 365	5,0%	7,5% ¹	12,5% ²
2011		5,0%	7,5% ¹	12,5% ²
2012	Resolução CONTRAN nº 403	5,0%	7,5% ¹	12,5% ²
2013	Resolução CONTRAN nº 430 e 467	5,0%	7,5% ¹	12,5% ²
2014	Resolução CONTRAN nº 489	5,0%	10,0%	12,5%
2015	Lei nº 13.103	5,0%	10,0%	12,5%
2016		5,0%	10,0%	12,5%
2017		5,0%	10,0%	12,5%
2018		5,0%	10,0%	12,5%
2019		5,0%	10,0%	12,5%
2020		5,0%	10,0%	12,5%
2021	Lei nº 14.229	5,0%	12,5%³	12,5%³

¹ Entre 2009 e 2014, havia previsão de retorno da tolerância no eixo ao valor de 5% (art. 5º e art. 17 da Resolução nº 258).

² O limite de 12,5% entre 2007 e 2014 depende da interpretação dada ao art. 9º da Resolução nº 258.

³ O limite de 12,5% é aplicável apenas a veículos com PBT regulamentar superior a 50 t.

Das pesagens estatísticas

... passando pela pesagem estática

... indo pelo LS-WIM

Chegando no HS-WIM

E o embarcador consegue?

E a questão do peso por eixo? Implementos e controle

O que é um espectro de cargas

ESRD_1000:Project ESRD_1000:Traffic*

Vehicle Class Distribution and Growth

Load Default Distribution

Vehicle Class Distribution (%)

Vehicle Class	Distribution (%)	Growth Rate (%)	Growth Function
Class 4	0	0	Linear
Class 5	0	0	Linear
Class 6	0	0	Linear
Class 7	0	0	Linear
Class 8	0	0	Linear
Class 9	0	0	Linear
Class 10	0	0	Linear
Class 11	100	0	Linear
Class 12	0	0	Linear
Class 13	0	0	Linear
Total	100		

Monthly Adjustment

Month	Class 4	Class 5	Class 6	Class 7	Class 8	Class 9	Class 10	Class 11	Class 12	Class 13
January	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
February	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
March	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Axes Per Truck

Vehicle Class	Single	Tandem	Tridem	Quad
Class 4	0	0	0	0
Class 5	0	0	0	0
Class 6	0	0	0	0
Class 7	0	0	0	0
Class 8	0	0	0	0
Class 9	0	0	0	0
Class 10	0	0	0	0
Class 11	0	0	0	0
Class 12	0	1	0	0
Class 13	0	0	0	0

AADTT

- Two-way AADTT: 1000
- Number of lanes: 2
- Percent trucks in design direction: 50
- Percent trucks in design lane: 100
- Operational speed (kph): 100

Traffic Capacity

- Traffic Capacity Cap: Not enforced

Axle Configuration

- Average axle width (m): 2.59
- Tandem axle spacing (m): 1.31
- Dual tire spacing (mm): 305
- Quad axle spacing (m): 1.25
- Tire pressure (kPa): 827.4
- Tridem axle spacing (m): 1.25

Lateral Wander

- Design lane width (m): 3.7
- Mean wheel location (mm): 460
- Traffic wander standard deviation: 254

Wheelbase

- Average spacing of long axles (m): 5.49
- Average spacing of medium axle (m): 4.57
- Percent trucks with long axles: 61
- Percent trucks with medium axle: 22
- Percent trucks with short axles: 17

Traffic Capacity Cap

The average standard deviation of the lateral traffic wander. The recommended.

Month	Class	Total	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000
January	4	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
January	5	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
January	6	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
January	7	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
January	8	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
January	9	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
January	10	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
January	11	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
January	12	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
January	13	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
February	4	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
February	5	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
February	6	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
February	7	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
February	8	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
February	9	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
February	10	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
February	11	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
February	12	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
February	13	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Vehicle Class Distribution and Growth

Load Default Distribution

Hourly Adjustment

Vehicle Class	Distribution (%)	Growth Rate (%)	Growth Function	Time of Day	Percentage
Class 4	0	0	Linear	12:00 am	2.3
Class 5	0	0	Linear	1:00 am	2.3
Class 6	0	0	Linear	2:00 am	2.3
Class 7	0	0	Linear	3:00 am	2.3
Class 8	0	0	Linear	4:00 am	2.3
Class 9	0	0	Linear	5:00 am	2.3
Class 10	0	0	Linear	6:00 am	5
Class 11	100	0	Linear	7:00 am	5
Class 12	0	0	Linear	8:00 am	5
Class 13	0	0	Linear	9:00 am	5
Total	100			10:00 am	5.9
				11:00 am	5.9
				12:00 pm	5.9
				1:00 pm	5.9
				2:00 pm	5.9
				3:00 pm	5.9
				4:00 pm	4.6

Monthly Adjustment

Import Monthly Adjustment

Axes Per Truck

Vehicle	Single	Tandem	Tridem	Quad
Class 4	0	0	0	0
Class 5	0	0	0	0
Class 6	0	0	0	0
Class 7	0	0	0	0
Class 8	0	0	0	0
Class 9	0	0	0	0
Class 10	0	0	0	0
Class 11	0	0	0	0
Class 12	0	1	0	0
Class 13	0	0	0	0

AADTT

- Two-way AADTT: 1000
- Number of lanes: 2
- Percent trucks in design direction: 50
- Percent trucks in design lane: 100
- Operational speed (kph): 100

Traffic Capacity

- Traffic Capacity Cap: Not enforced

Axle Configuration

- Average axle width (m): 2.59
- Tandem axle spacing (m): 1.31
- Dual tire spacing (mm): 305
- Quad axle spacing (m): 1.25
- Tire pressure (kPa): 827.4
- Tridem axle spacing (m): 1.25

Lateral Wander

- Design lane width (m): 3.7
- Mean wheel location (mm): 460
- Traffic wander standard deviation: 254

Wheelbase

- Average spacing of long axles (m): 5.49
- Average spacing of medium axle (m): 4.57
- Percent trucks with long axles: 61
- Percent trucks with medium axle: 22
- Percent trucks with short axles: 17

Matriz de 12x10 linhas x 39 colunas = 4680 valores por tipo de eixo

3 tipos de eixos (ES, ETD, ETT), logo 14.040 valores a serem determinados

ES – varia a cada 500kgs; ETD – varia a cada 1000 kgs; ETT – varia a cada 1500kgs

Uso do Disco

[UFRGS]

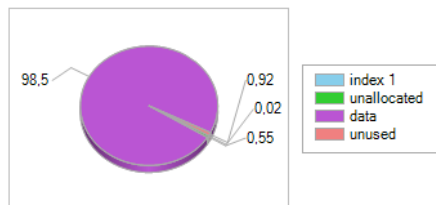
no CORE_I7_64 às 16/12/2018 19:57:42

SQL Server

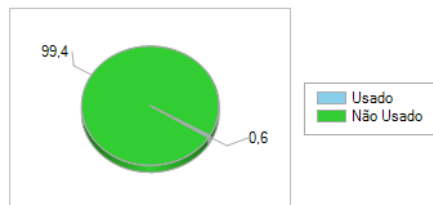
Este relatório fornece uma visão geral da utilização do espaço em disco no Banco de Dados.

Espaço Total Reservado	8,39 GB
Espaço de Arquivos de Dados Reservado	6.088,00 MB
Espaço de Log de Transações Reservado	2.504,00 MB

Uso de Espaço dos Arquivos de Dados (%)



Uso de Espaço do Log de Transações (%)



Nenhuma entrada encontrada para o evento de aumento automático ou redução automática para o banco de dados UFRGS no log de rastreamento.

Espaço em Disco Usado pelos Arquivos de Dados

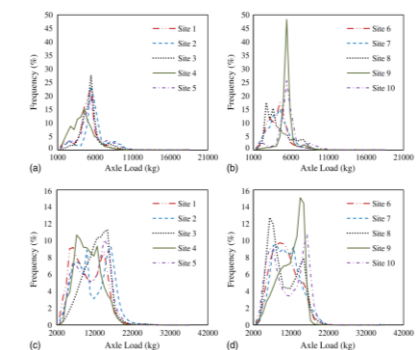
26,5 milhões de pesagens

Número N (função de FEC)

$$EALF = \left(\frac{L_x}{L_s} \right)^4$$

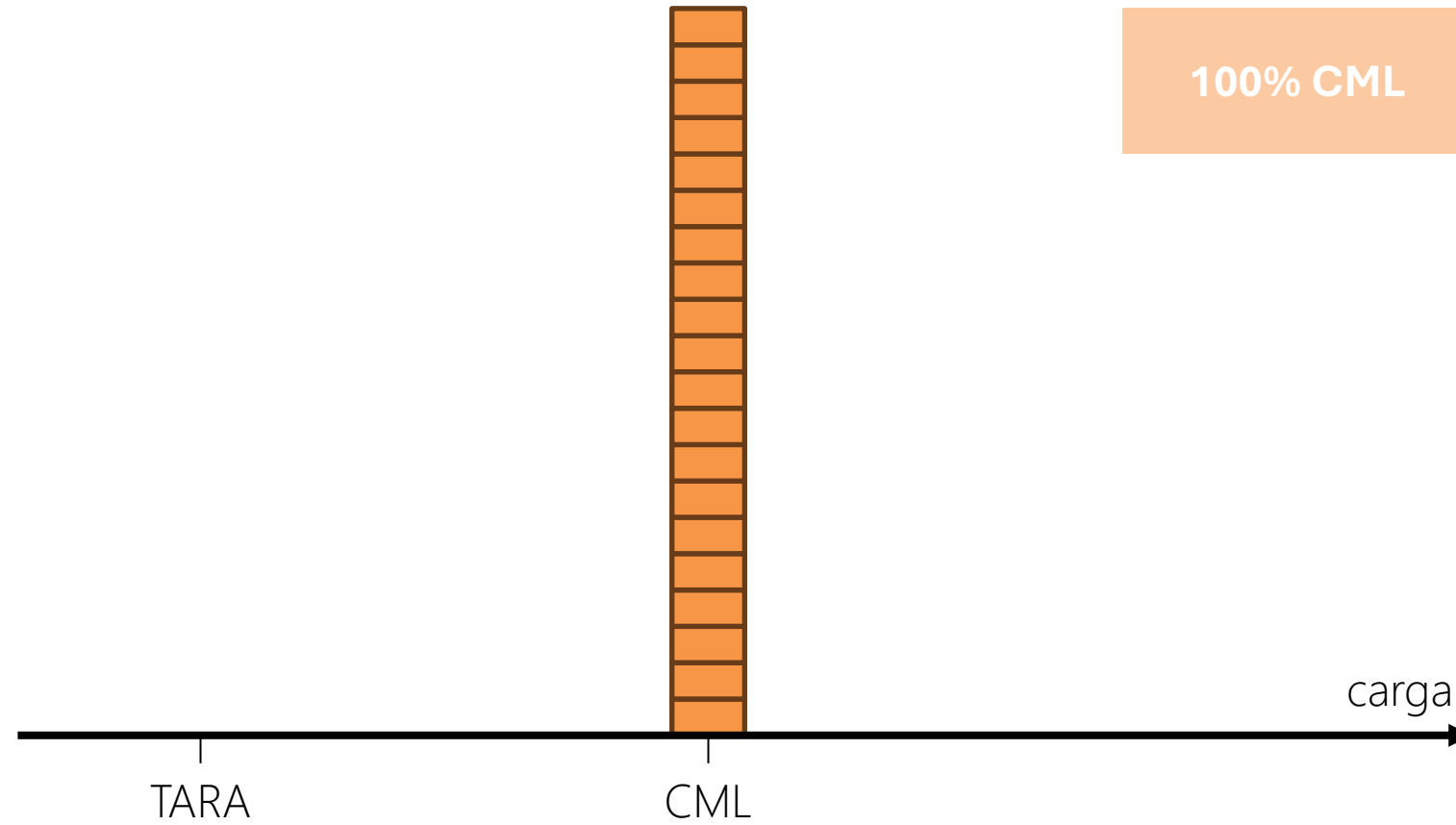
$\sum FC_i =$ número N (equivalent single-axle load – ESAL)

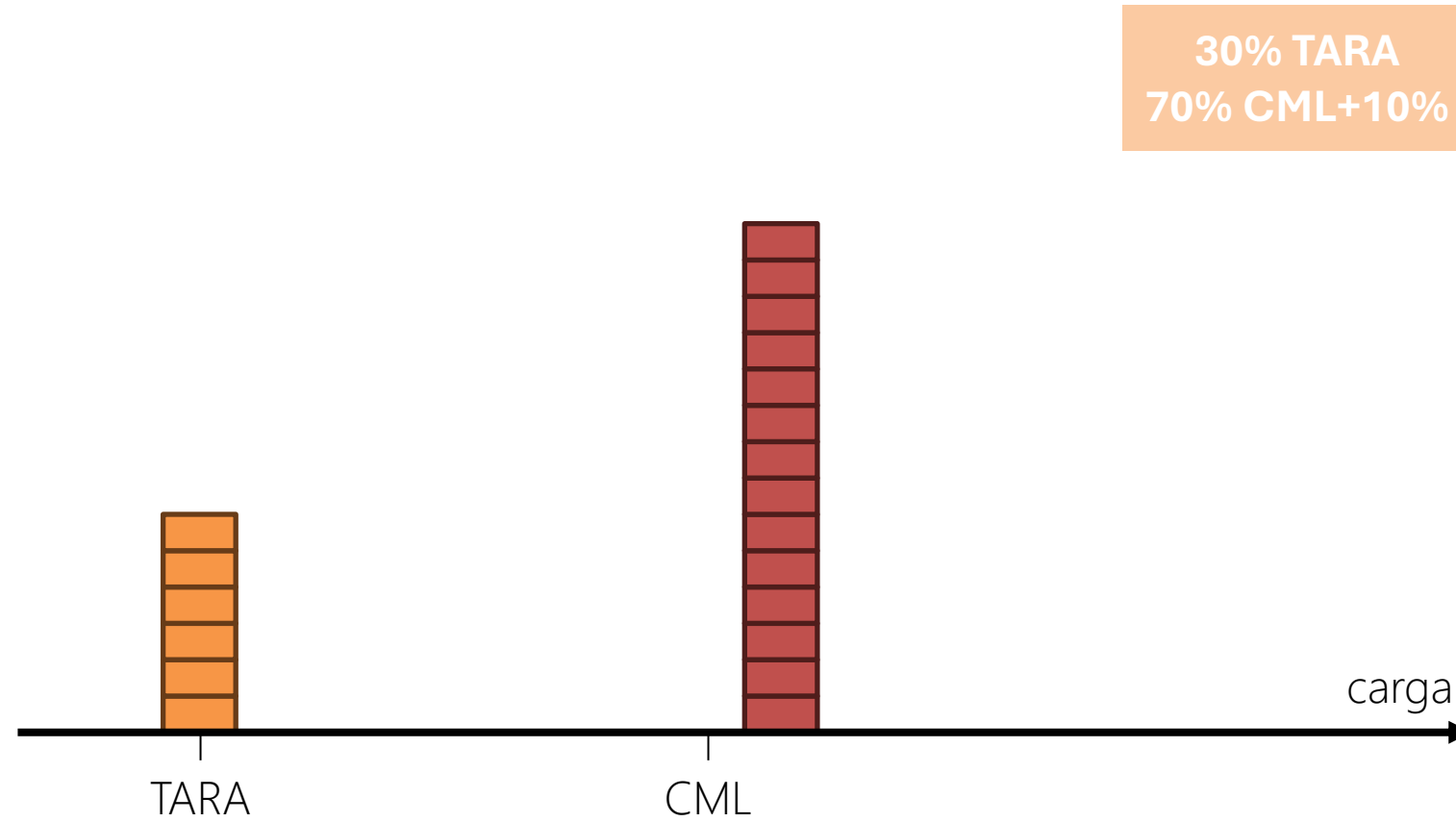
Espectro de Cargas



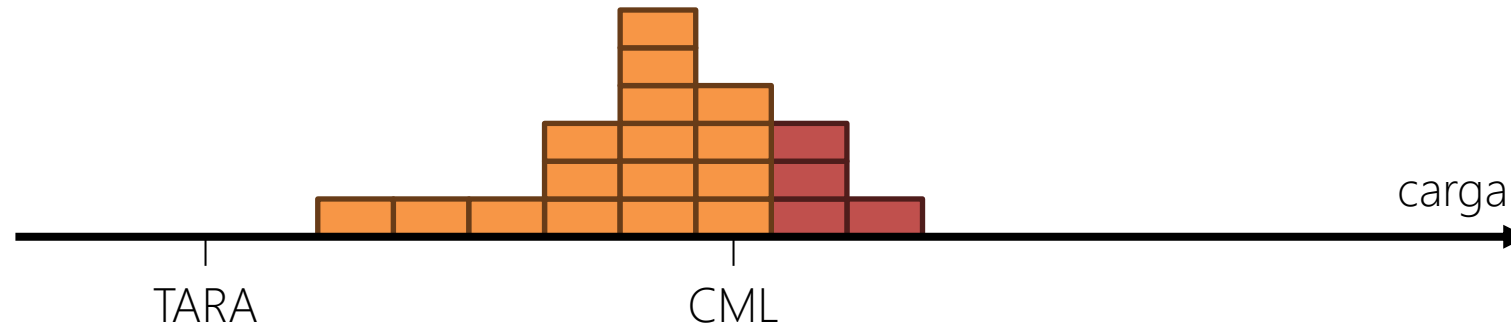
DNIT

programação e aprendizado de máquina
LAPAV em parceria com
PAMPA

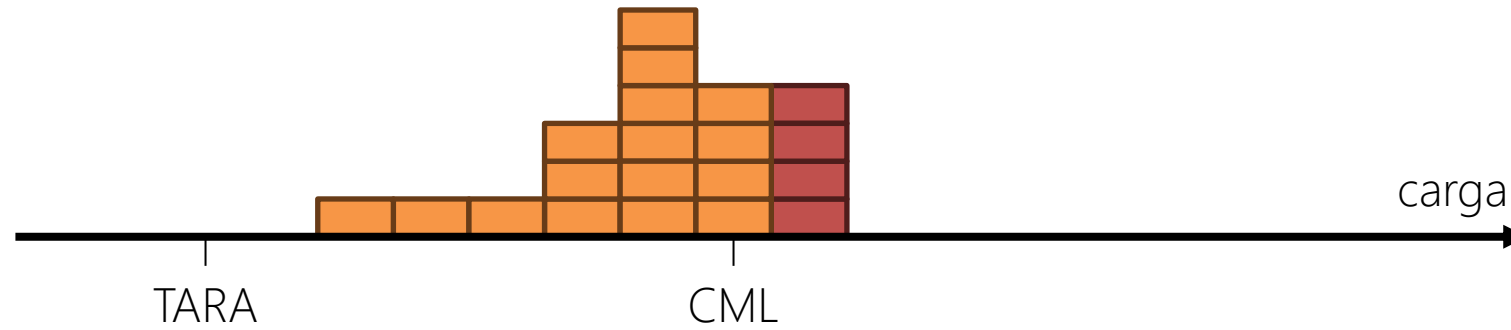




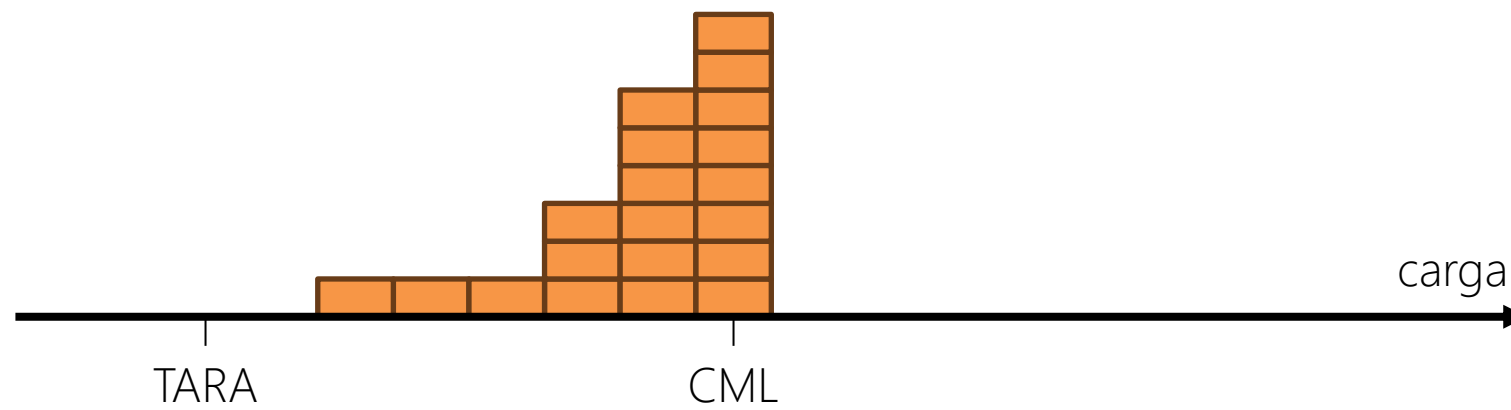
ESPECTRO
REAL

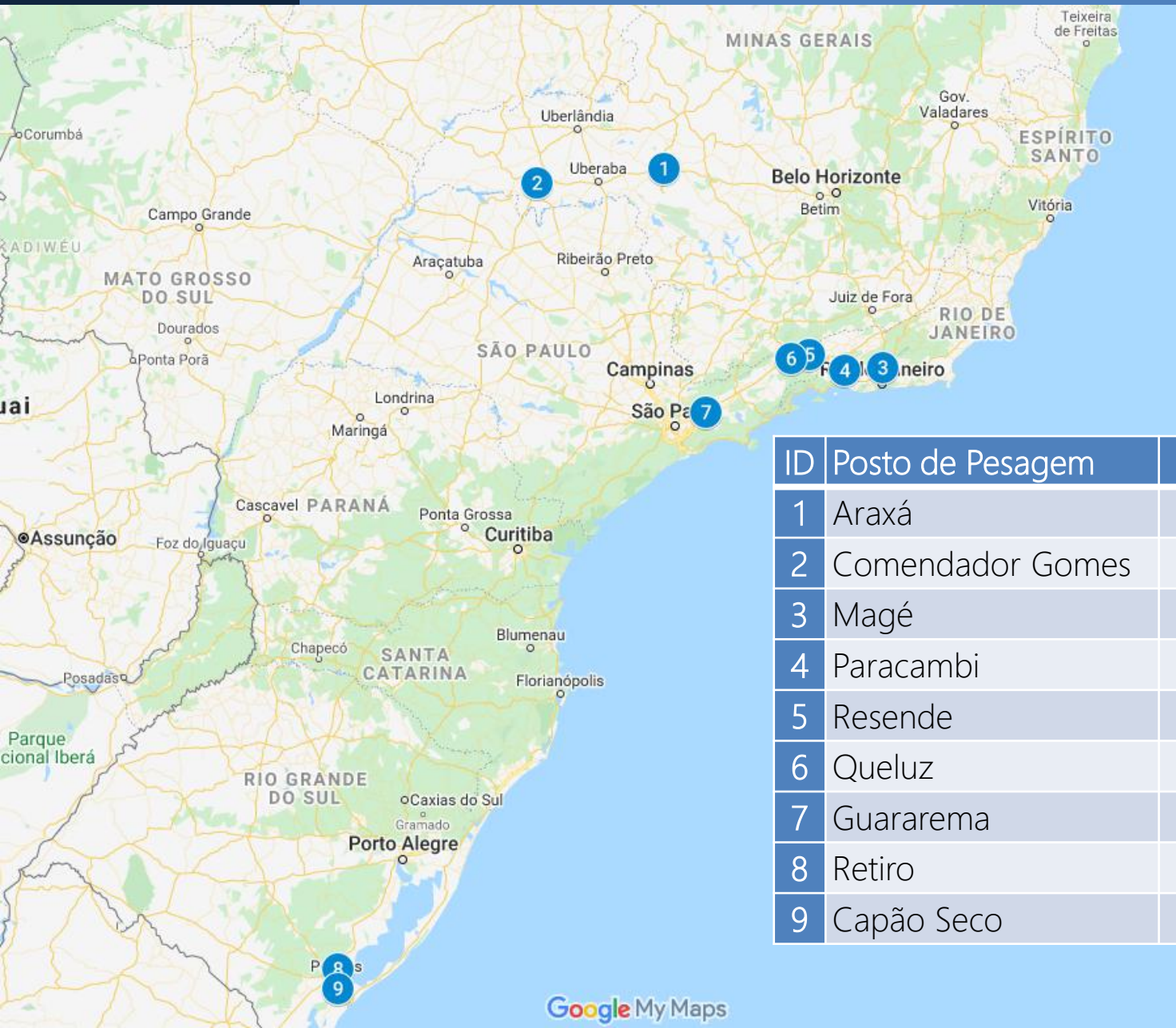


ESPECTRO
CML+10%



ESPECTRO
CML+0%

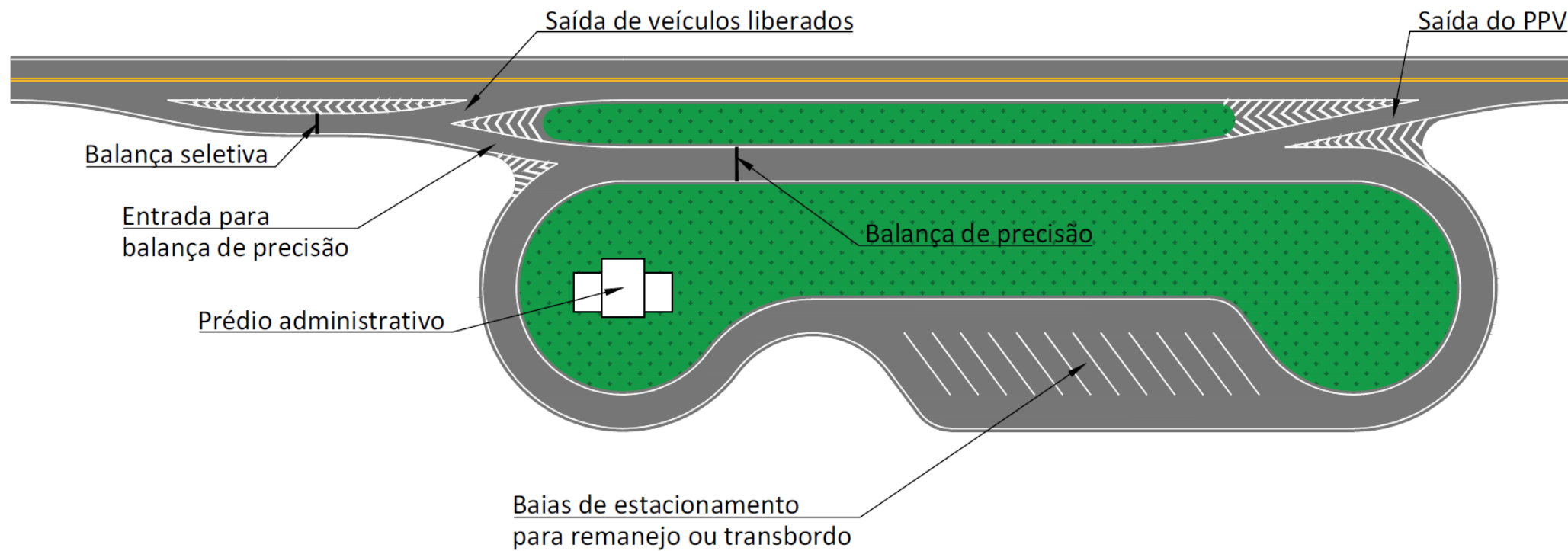




Aprox. 40 milhões de veículos (balança seletiva)
+6 milhões de veículos (balança precisão)

ID	Posto de Pesagem	Rodovia	km	Sentido	Período	Pesagens
1	Araxá	BR-262/MG	678	leste	2015-2020	766.958
2	Comendador Gomes	BR-153/MG	176	norte	2015-2020	583.473
3	Magé	BR-116/RJ	132	sul	2015-2018	3.516.008
4	Paracambi	BR-116/RJ	217	sul	2015-2018	5.438.677
5	Resende	BR-116/RJ	301	sul	2015-2018	7.144.065
6	Queluz	BR-116/SP	001	norte	2013-2018	14.146.645
7	Guararema	BR-116/SP	179	sul	2015-2018	5.634.194
8	Retiro	BR-116/RS	508	norte	2015-2018	256.911
9	Capão Seco	BR-392/RS	048	sudeste	2015-2018	609.383

Esquema de um posto de pesagem veicular fixo

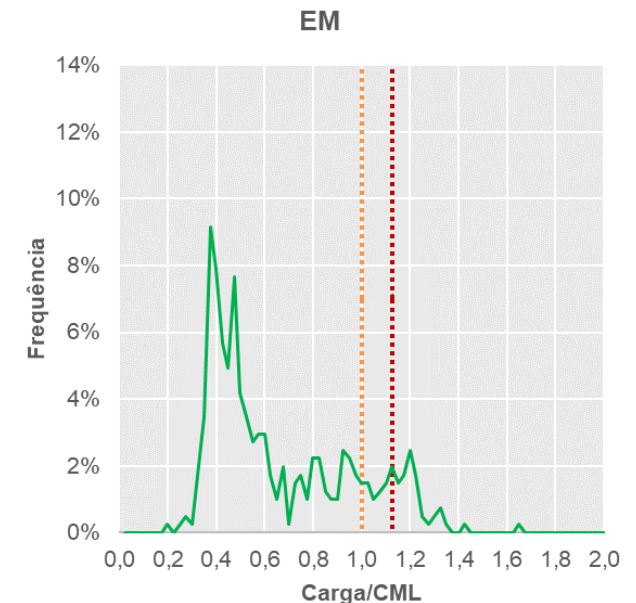
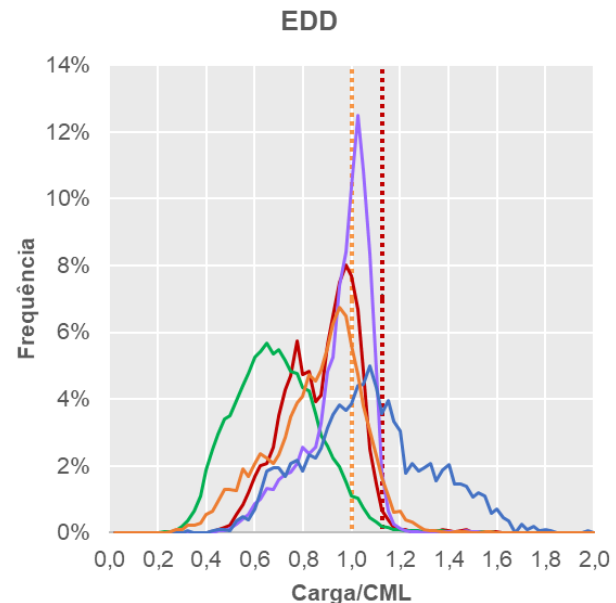
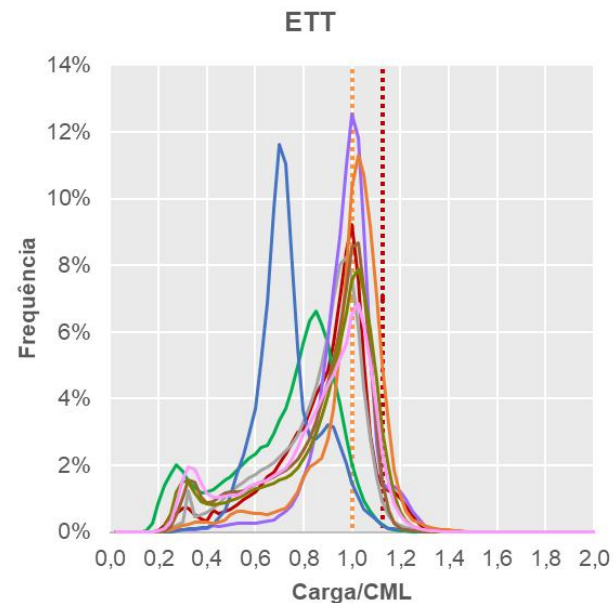
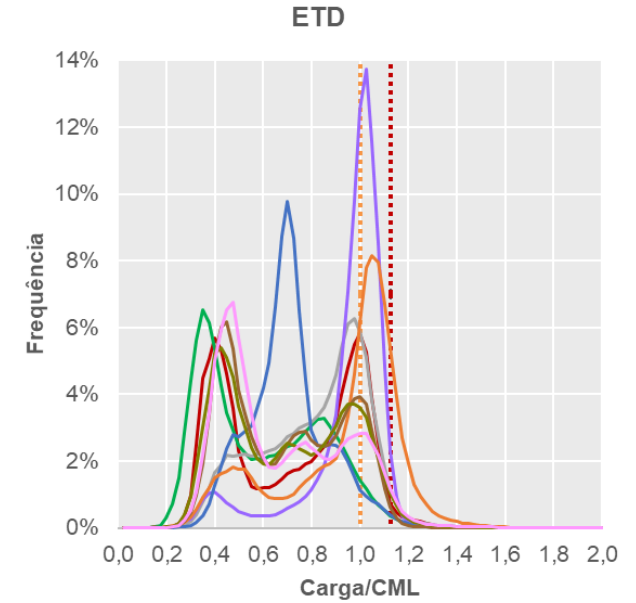
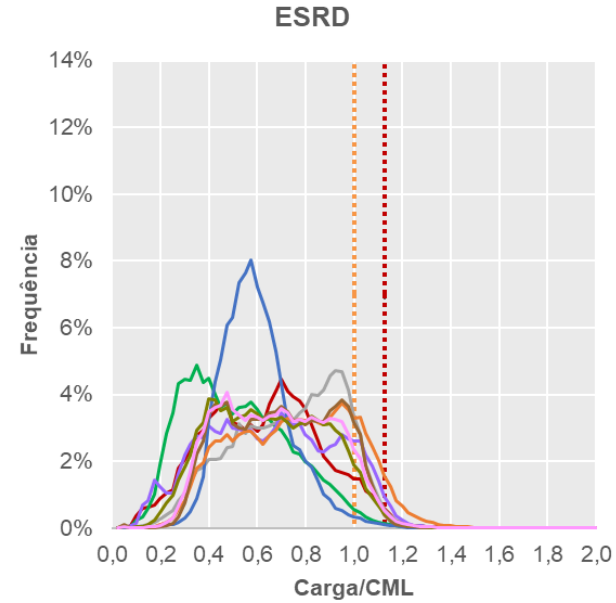
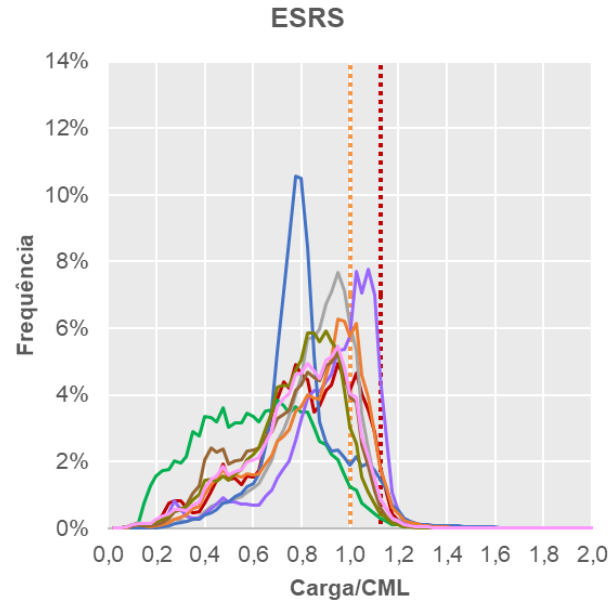


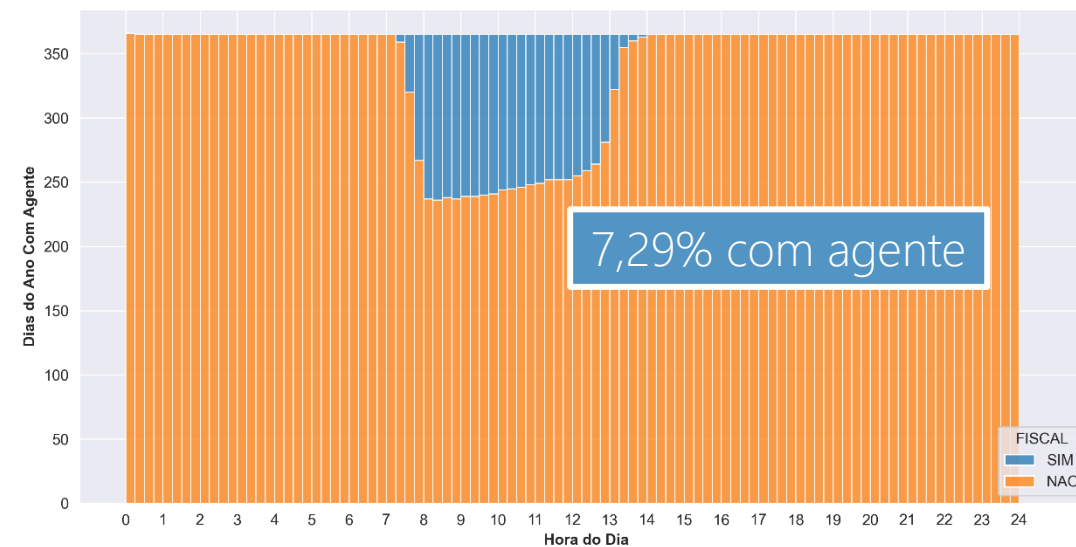
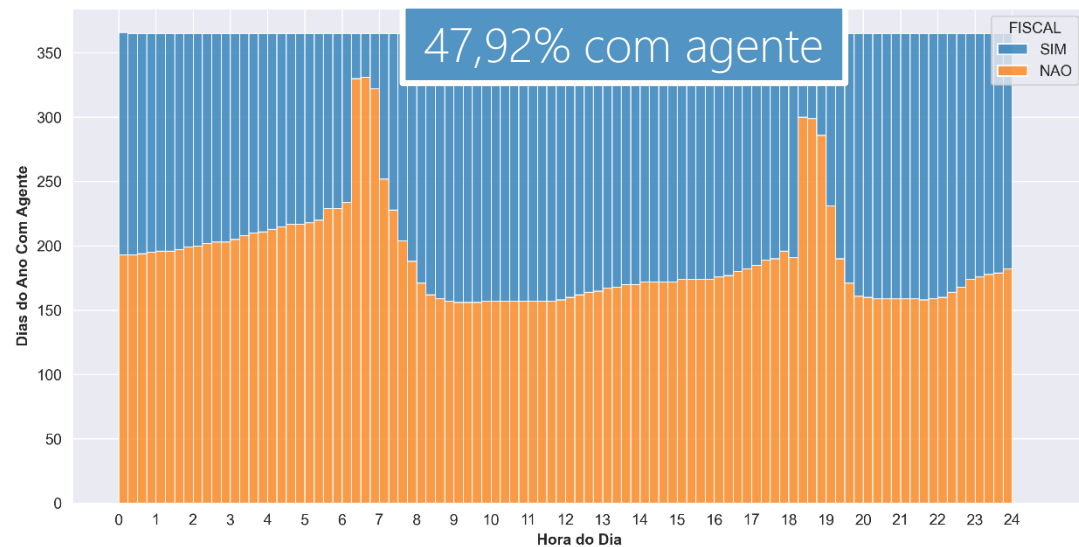
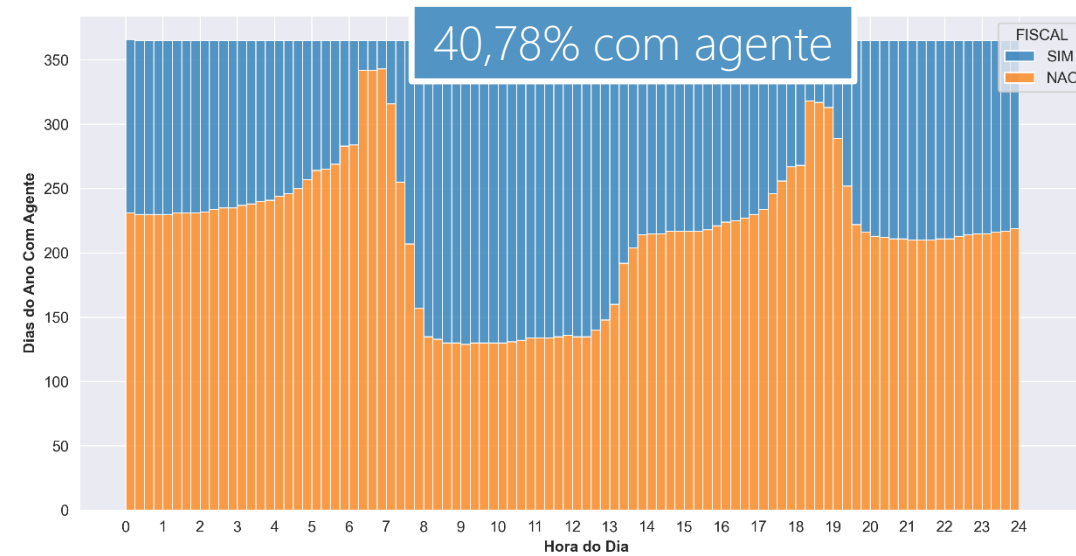
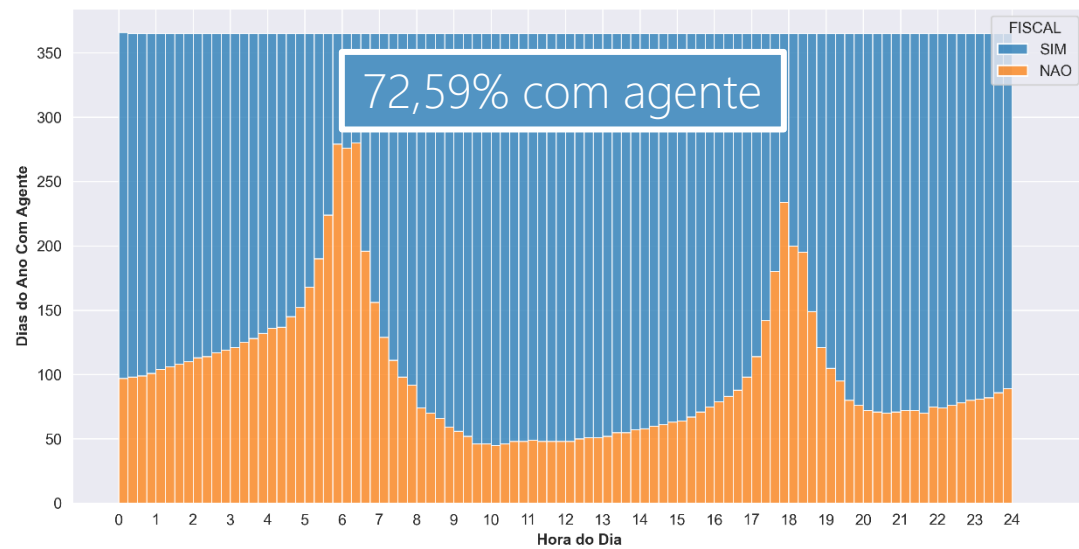


- *pandas*, para manipulação e organização de dados em forma tabular;
- *seaborn*, para a geração de gráficos e análises visuais;
- *tkinter*, para a criação de GUI (*Graphic User Interface*);
- *sqlite*, para a execução de comandos SQL (*Structured Query Language*);
- *SciPy* e *scikit-learn*, para análises baseadas em aprendizado de máquina (*machine learning*).

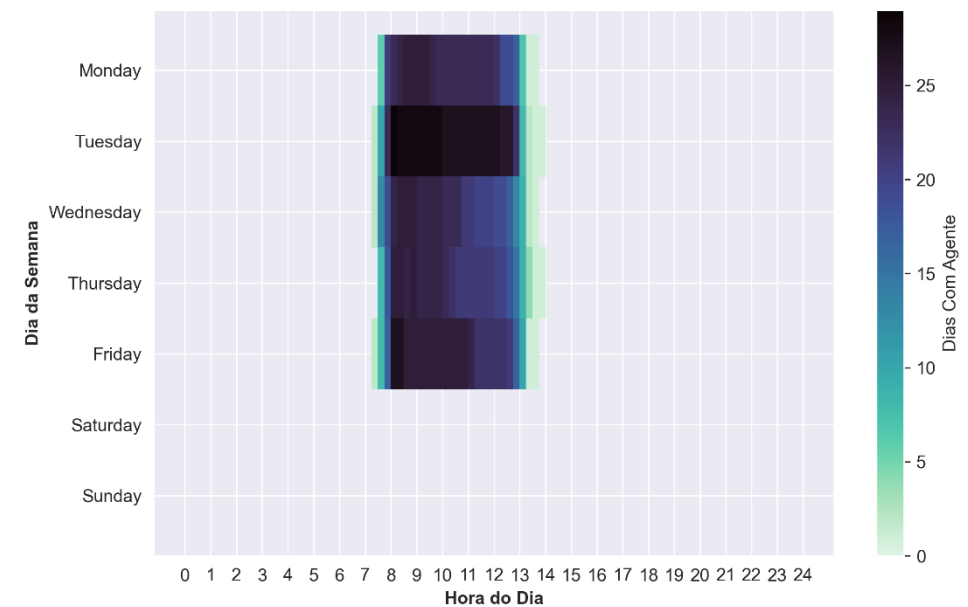
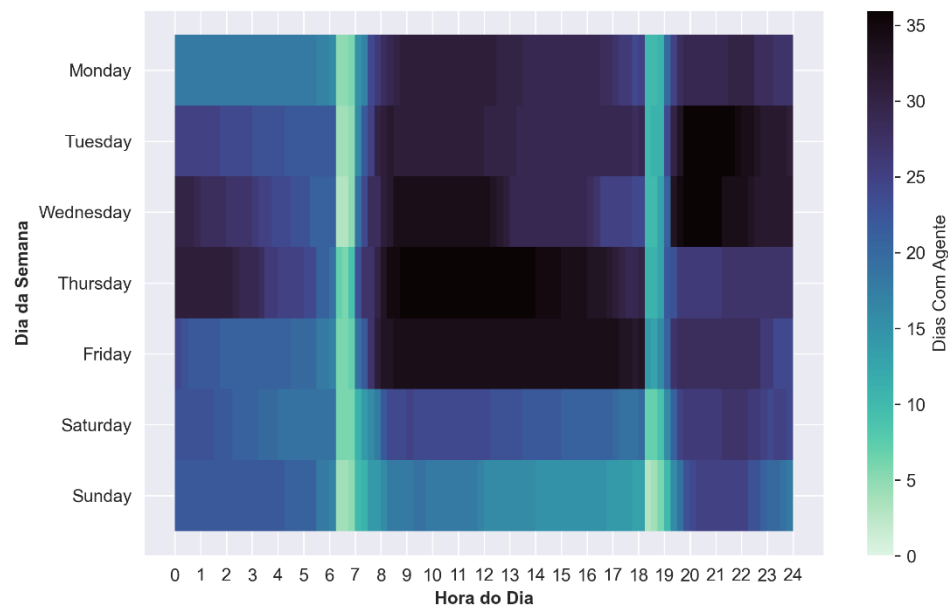
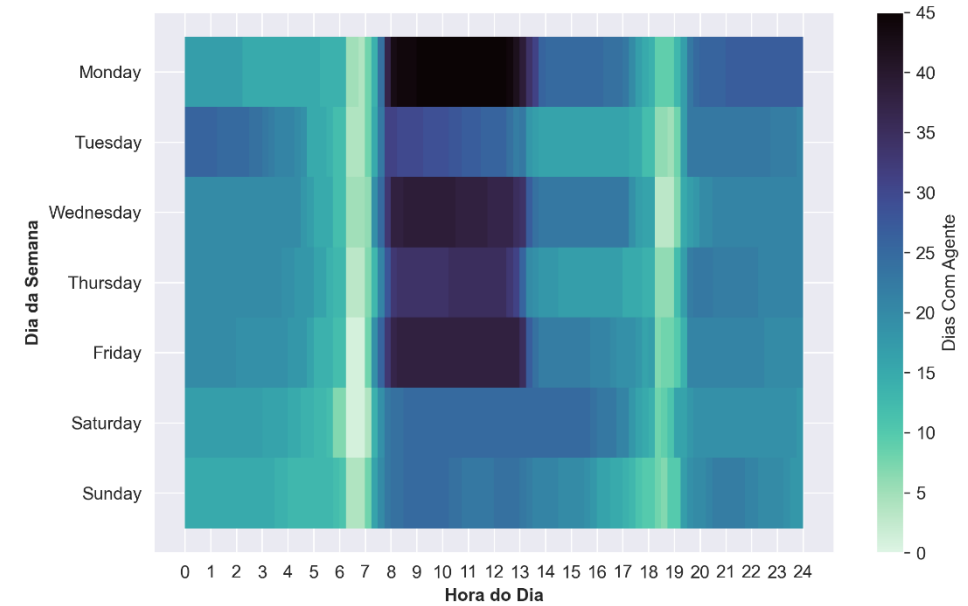
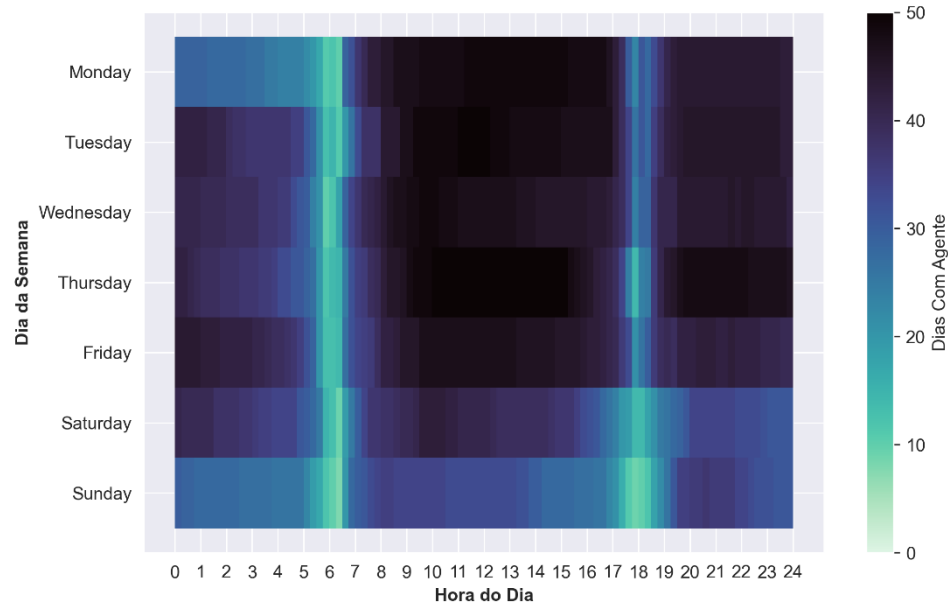
Montagem dos Espectros de Carga

- Retiro | BR-116/RS
- Magé | BR-116/RJ
- Queluz | BR-116/SP
- Capão Seco | BR-392/RS
- Comendador Gomes | BR-153/MG
- Araxá | BR-262/MG
- Guararema | BR-116/SP
- Resende | BR-116/RJ
- Paracambi | BR-116/RJ
- CML
- tolerância 12,5%

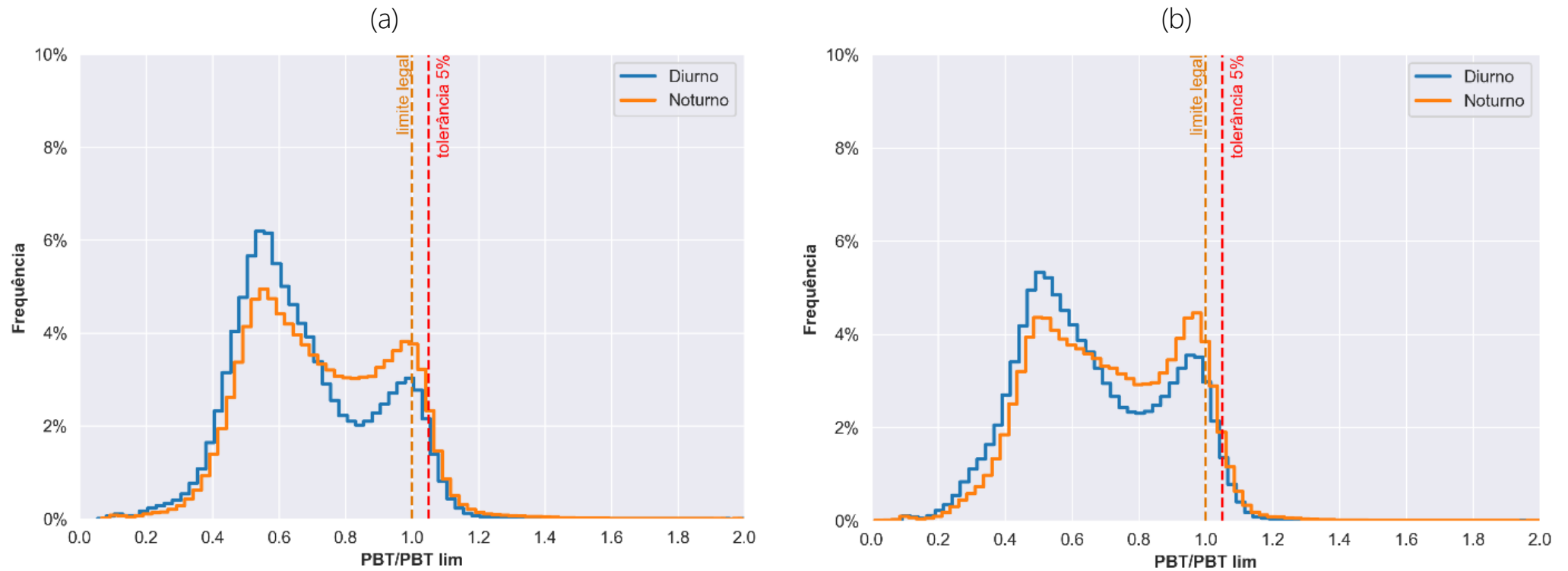




Horário de Fiscalização



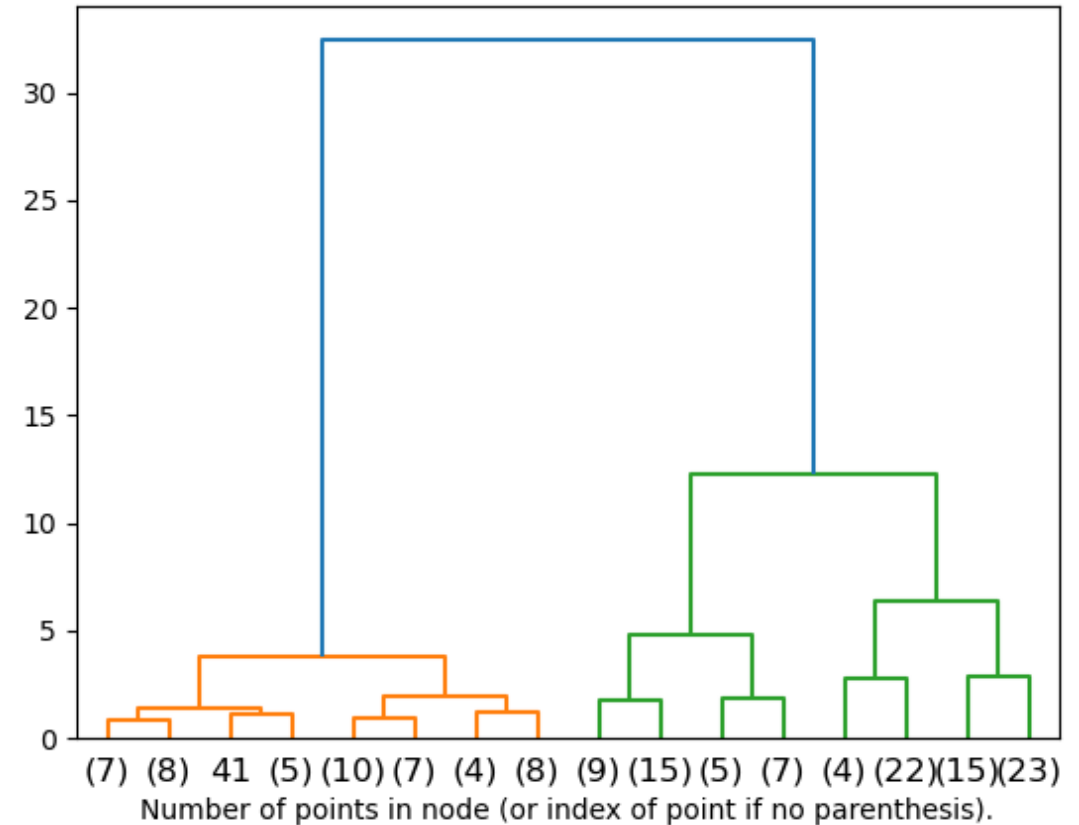
Comparação entre os espectros de carga diurno e noturno em um PPV genérico



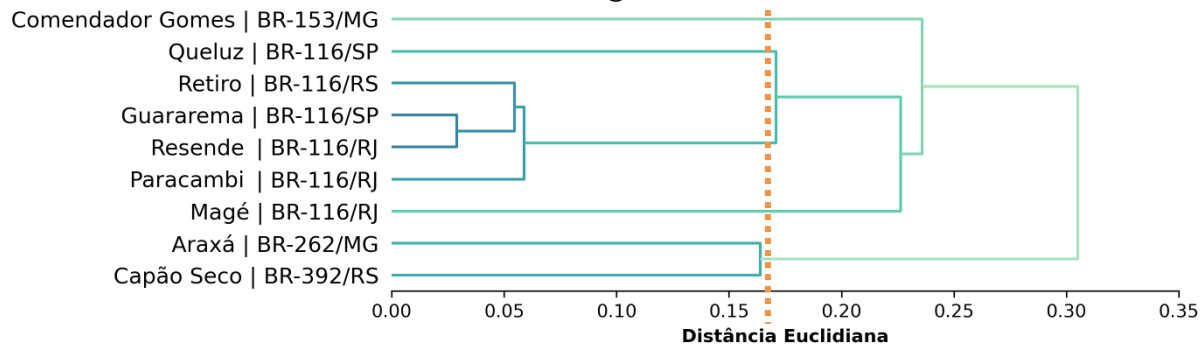
- Hierárquico
 - Aglomerativo (*bottom-up*)
 - Divisivo (*top-down*)

- K-Means

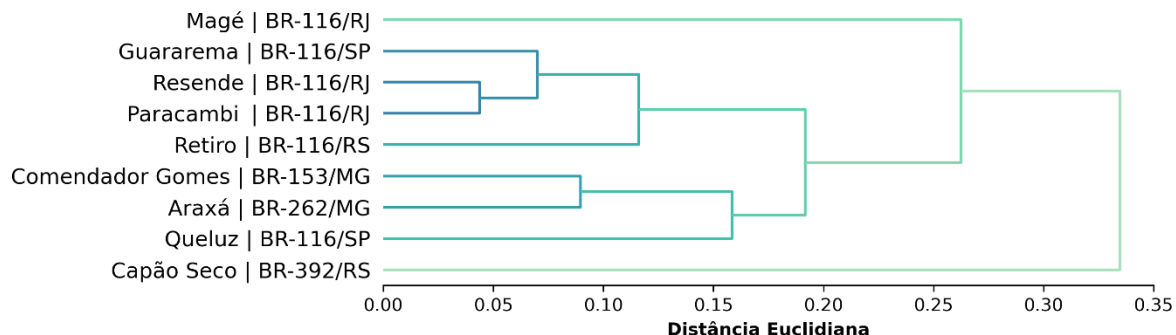
Hierarchical Clustering Dendrogram



Agrupamento dos PPVs de acordo com suas distribuições de carga



Agrupamento dos PPVs de acordo com suas distribuições de classe de veículo



Grupos de balanças e suas características em comum

Grupo	Balanças	Características
1	Magé/RJ	Região urbana 65% da frota composta por caminhões leves (2 e 3 eixos) Elevado número de eixos descarregados (> 70%) Baixo número de eixos sobrecarregados (< 5%)
2	Retiro/RS Guararema/SP Resende/RJ Paracambi/RJ	Região urbana Tráfego intra-estadual 50% da frota composta por caminhões leves (2 e 3 eixos) Número moderado de eixos descarregados (~50%) Número moderado de eixos sobrecarregados (~15%)
3	Queluz/SP	Região urbana Tráfego interestadual 60% da frota composta por caminhões pesados (4 ou mais eixos) Concentração das cargas por eixo em torno da CML
4	Araxá/MG Capão Seco/RS	Região rural Tráfego interestadual Proximidade de portos/terminais ferroviários Elevado número de caminhões com 4 ou mais eixos (acima de 60%) Elevado número de eixos sobrecarregados

Tabela 24 - Fator veicular médio da frota comercial para diferentes cenários de sobrecarga, calculado com os fatores USACE

Balança	CML+0%	CML+5%	CML+7,5%	Lei 13.103/2015	CML+12,5%	Lei 14.229/2021	REAL
Araxá	9,46	11,31 (+19,5%)	12,10 (+7,0%)	12,76 (+5,5%)	13,29 (+4,1%)	14,51 (+9,2%)	15,40 (+6,2%)
Comendador Gomes	4,45	4,82 (+8,3%)	4,97 (+3,0%)	5,09 (+2,5%)	5,19 (+2,0%)	5,53 (+6,4%)	5,66 (+2,4%)
Magé	1,59	1,67 (+5,1%)	1,70 (+1,8%)	1,72 (+1,4%)	1,74 (+1,1%)	1,87 (+7,5%)	1,89 (+0,8%)
Paracambi	3,33	3,68 (+10,7%)	3,81 (+3,6%)	3,91 (+2,6%)	3,99 (+1,9%)	4,31 (+8,1%)	4,35 (+1,0%)
Resende	3,74	4,12 (+10,3%)	4,26 (+3,3%)	4,36 (+2,4%)	4,44 (+1,7%)	4,83 (+8,7%)	4,88 (+1,0%)
Queluz	5,60	6,05 (+8,1%)	6,19 (+2,4%)	6,30 (+1,7%)	6,38 (+1,2%)	6,78 (+6,3%)	6,82 (+0,7%)
Guararema	3,42	3,72 (+8,9%)	3,81 (+2,3%)	3,86 (+1,4%)	3,89 (+0,8%)	3,96 (+1,8%)	3,98 (+0,3%)
Retiro	4,39	4,81 (+9,5%)	4,94 (+2,8%)	5,04 (+2,0%)	5,12 (+1,5%)	5,36 (+4,8%)	5,41 (+0,8%)
Capão Seco	12,35	13,95 (+12,9%)	14,41 (+3,3%)	14,69 (+2,0%)	14,87 (+1,2%)	15,23 (+2,4%)	15,28 (+0,4%)
Média		(+10,4%)	(+3,3%)	(+2,4%)	(+1,7%)	(+6,1%)	(+1,5%)

Tabela 25 - Fator veicular médio da frota comercial para diferentes cenários de sobrecarga, calculado com os fatores AASHTO

Balança	CML+0%	CML+5%	CML+7,5%	Lei 13.103/2015	CML+12,5%	Lei 14.229/2021	REAL
Araxá	3,01	3,37 (+12,1%)	3,52 (+4,4%)	3,64 (+3,4%)	3,73 (+2,6%)	3,95 (+5,8%)	4,08 (+3,4%)
Comendador Gomes	1,78	1,87 (+5,0%)	1,91 (+1,9%)	1,94 (+1,5%)	1,96 (+1,2%)	2,08 (+6,2%)	2,10 (+1,0%)
Magé	0,86	0,89 (+2,9%)	0,90 (+1,0%)	0,91 (+0,8%)	0,91 (+0,6%)	0,95 (+3,8%)	0,95 (+0,3%)
Paracambi	1,90	2,00 (+5,4%)	2,03 (+1,7%)	2,06 (+1,3%)	2,08 (+0,9%)	2,13 (+2,7%)	2,15 (+0,6%)
Resende	1,86	1,95 (+5,1%)	1,99 (+1,6%)	2,01 (+1,2%)	2,03 (+0,8%)	2,08 (+2,4%)	2,09 (+0,8%)
Queluz	2,55	2,67 (+4,8%)	2,71 (+1,4%)	2,74 (+1,0%)	2,76 (+0,7%)	2,83 (+2,5%)	2,84 (+0,5%)
Guararema	1,85	1,94 (+4,8%)	1,97 (+1,2%)	1,98 (+0,8%)	1,99 (+0,5%)	2,01 (+1,0%)	2,02 (+0,3%)
Retiro	1,82	1,93 (+5,9%)	1,96 (+1,8%)	1,99 (+1,3%)	2,01 (+1,0%)	2,06 (+2,7%)	2,07 (+0,3%)
Capão Seco	3,06	3,34 (+9,3%)	3,42 (+2,5%)	3,48 (+1,5%)	3,51 (+0,9%)	3,56 (+1,6%)	3,57 (+0,3%)
Média		(+6,1%)	(+2,0%)	(+1,4%)	(+1,0%)	(+3,2%)	(+0,8%)

Alguns resultados de Carregamentos em Frotas

Balança	Araxá	Com. Gomes	Magé	Para-cambi	Resende	Queluz	Guara-rema	Retiro	Capão Seco	Média
Número de veículos com excesso em pelo menos um eixo:	52%	16%	7%	24%	21%	31%	23%	30%	62%	25%
Número de veículos com excesso no PBT:	35%	4%	2%	10%	8%	10%	8%	11%	38%	9%
Número de veículos com excesso superior a 10% em pelo menos um eixo:	26%	7%	2%	7%	6%	7%	4%	9%	20%	7%
Número de veículos com excesso superior a 12,5% em pelo menos um eixo:	19%	5%	2%	5%	4%	5%	3%	6%	12%	4%
Número de veículos com excesso superior a 5% no PBT:	19%	2%	1%	4%	3%	3%	2%	4%	8%	3%
Número de veículos com excesso acima de 10% no eixo e de 5% no PBT, simultaneamente:	17%	2%	1%	3%	2%	3%	1%	3%	7%	3%
Número de veículos com PBT limite acima de 50 t:	21%	19%	4%	6%	7%	9%	6%	5%	27%	8%
Número de veículos com PBT limite acima de 50 t que apresentam excesso superior a 12,5% no eixo:	7%	1%	0%	1%	1%	1%	0%	1%	5%	1%
Número de veículos com PBT limite acima de 50 t que apresentam excesso superior a 5% no PBT:	7%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	3%	1%
Número de veículos com PBT limite acima de 50 t que apresentam excesso no eixo e no PBT, simultaneamente:	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%
Número de veículos com PBT limite abaixo de 50 t que apresentam excesso superior a 5% no PBT:	11%	2%	1%	4%	3%	3%	2%	3%	5%	3%
Número de veículos com PBT limite abaixo de 50 t que apresentam excesso no eixo e no PBT, simultaneamente:	8%	1%	1%	2%	2%	2%	1%	2%	4%	2%
Número de veículos infratores segundo a Lei nº 13.103/2015:	28%	7%	2%	8%	6%	8%	5%	9%	21%	7%
Número de veículos infratores segundo a Lei nº 14.229/2021:	21%	3%	1%	5%	4%	4%	2%	4%	12%	4%

Alguns resultados de Carregamentos em Frotas

Balança	Araxá	Com. Gomes	Magé	Para-cambi	Resende	Queluz	Guara-rema	Retiro	Capão Seco	Média
Número de veículos com excesso em pelo menos um eixo:	52%	16%	7%	24%	21%	31%	23%	30%	62%	25%
Número de veículos com excesso no PBT:	35%	4%	2%	10%	8%	10%	8%	11%	38%	9%
Número de veículos com excesso superior a 10% em pelo menos um eixo:	26%	7%	2%	7%	6%	7%	4%	9%	20%	7%
Número de veículos com excesso superior a 12,5% em pelo menos um eixo:	19%	5%	2%	5%	4%	5%	3%	6%	12%	4%
Número de veículos com excesso superior a 5% no PBT:	19%	2%	1%	4%	3%	3%	2%	4%	8%	3%
Número de veículos com excesso acima de 10% no eixo e de 5% no PBT, simultaneamente:	17%	2%	1%	3%	2%	3%	1%	3%	7%	3%
Número de veículos com PBT limite acima de 50 t:	21%	19%	4%	6%	7%	9%	6%	5%	27%	8%
Número de veículos com PBT limite acima de 50 t que apresentam excesso superior a 12,5% no eixo:	7%	1%	0%	1%	1%	1%	0%	1%	5%	1%
Número de veículos com PBT limite acima de 50 t que apresentam excesso superior a 5% no PBT:	7%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	3%	1%
Número de veículos com PBT limite acima de 50 t que apresentam excesso no eixo e no PBT, simultaneamente:	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%
Número de veículos com PBT limite abaixo de 50 t que apresentam excesso superior a 5% no PBT:	11%	2%	1%	4%	3%	3%	2%	3%	5%	3%
Número de veículos com PBT limite abaixo de 50 t que apresentam excesso no eixo e no PBT, simultaneamente:	8%	1%	1%	2%	2%	2%	1%	2%	4%	2%
Número de veículos infratores segundo a Lei nº 13.103/2015:	28%	7%	2%	8%	6%	8%	5%	9%	21%	7%
Número de veículos infratores segundo a Lei nº 14.229/2021:	21%	3%	1%	5%	4%	4%	2%	4%	12%	4%

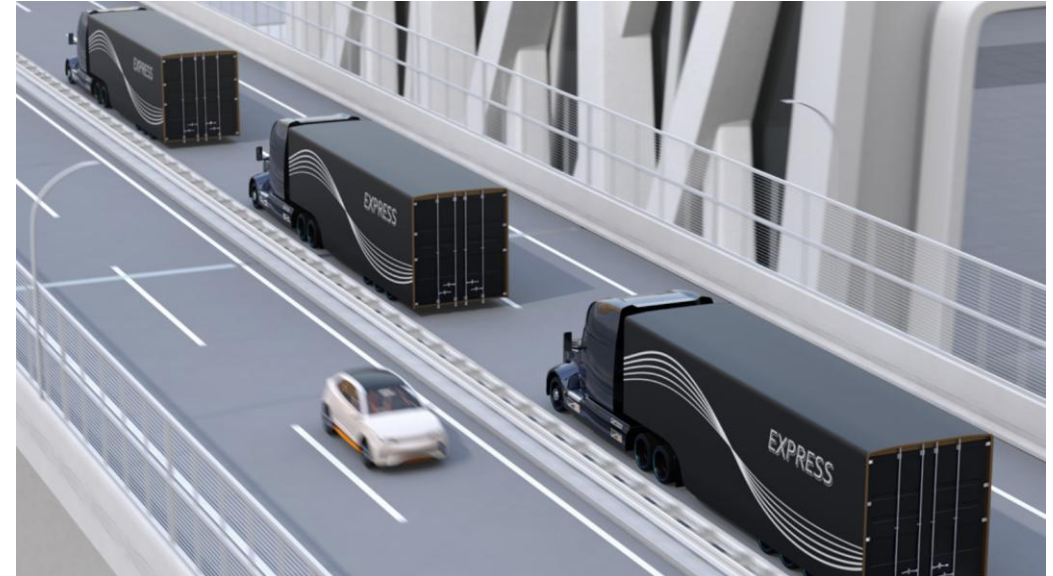
Alguns resultados de Carregamentos em Frotas

Balança	Araxá	Com. Gomes	Magé	Para-cambi	Resende	Queluz	Guara-rema	Retiro	Capão Seco	Média
Número de veículos com excesso em pelo menos um eixo:	52%	16%	7%	24%	21%	31%	23%	30%	62%	25%
Número de veículos com excesso no PBT:	35%	4%	2%	10%	8%	10%	8%	11%	38%	9%
Número de veículos com excesso superior a 10% em pelo menos um eixo:	26%	7%	2%	7%	6%	7%	4%	9%	20%	7%
Número de veículos com excesso superior a 12,5% em pelo menos um eixo:	19%	5%	2%	5%	4%	5%	3%	6%	12%	4%
Número de veículos com excesso superior a 5% no PBT:	19%	2%	1%	4%	3%	3%	2%	4%	8%	3%
Número de veículos com excesso acima de 10% no eixo e de 5% no PBT, simultaneamente:	17%	2%	1%	3%	2%	3%	1%	3%	7%	3%
Número de veículos com PBT limite acima de 50 t:	21%	19%	4%	6%	7%	9%	6%	5%	27%	8%
Número de veículos com PBT limite acima de 50 t que apresentam excesso superior a 12,5% no eixo:	7%	1%	0%	1%	1%	1%	0%	1%	5%	1%
Número de veículos com PBT limite acima de 50 t que apresentam excesso superior a 5% no PBT:	7%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	3%	1%
Número de veículos com PBT limite acima de 50 t que apresentam excesso no eixo e no PBT, simultaneamente:	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%
Número de veículos com PBT limite abaixo de 50 t que apresentam excesso superior a 5% no PBT:	11%	2%	1%	4%	3%	3%	2%	3%	5%	3%
Número de veículos com PBT limite abaixo de 50 t que apresentam excesso no eixo e no PBT, simultaneamente:	8%	1%	1%	2%	2%	2%	1%	2%	4%	2%
Número de veículos infratores segundo a Lei nº 13.103/2015:	28%	7%	2%	8%	6%	8%	5%	9%	21%	7%
Número de veículos infratores segundo a Lei nº 14.229/2021:	21%	3%	1%	5%	4%	4%	2%	4%	12%	4%

DNIT



**E a evolução...
E os novos veículos?**



Veículos Elétricos: Cargas por eixo aumentam?

Sim! Quanto?

Impacto dos veículos autônomos?

Efeito de Pelotão (ou “Platooning Effect”)

Pavimento
Ultrapassagens/Operacional
Áreas de reabastecimento – Infraestrutura de recarga



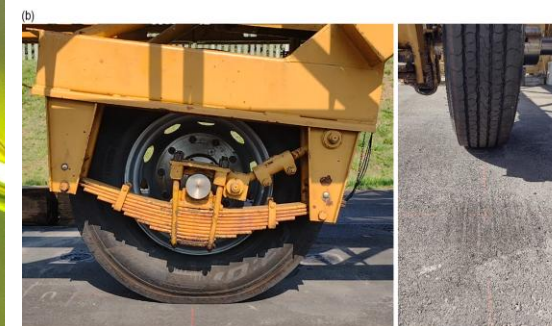
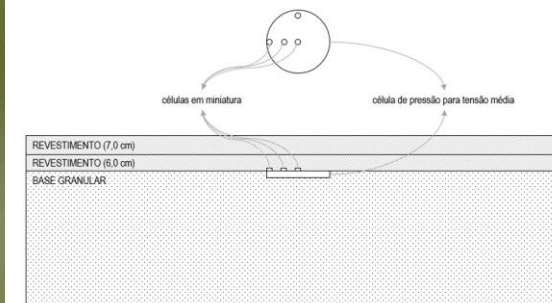
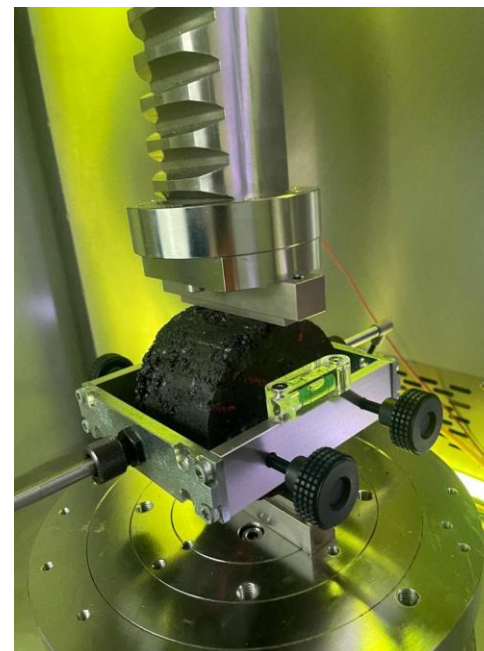
SENATRAN

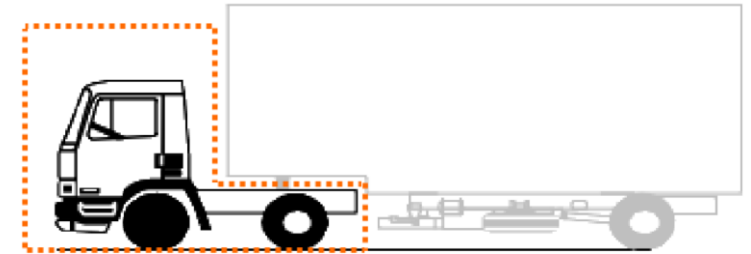
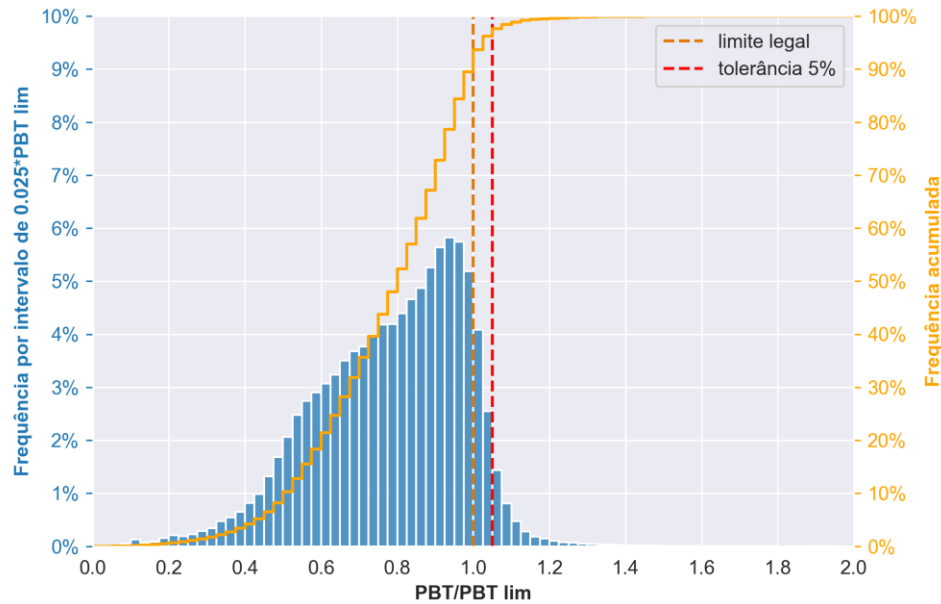
V O L V O

PROMETEON

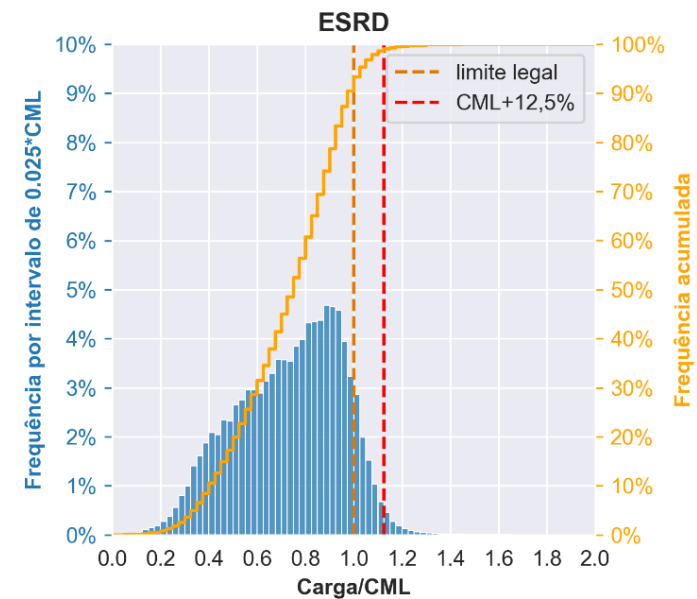
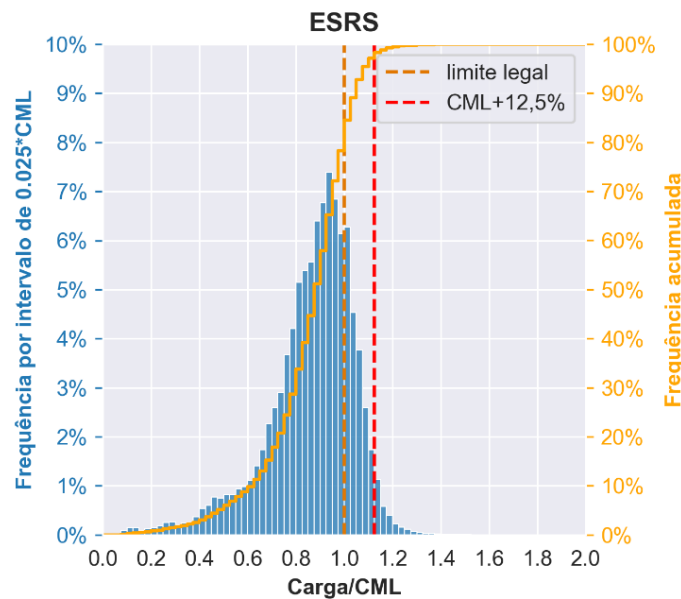


- i. Evolução dos parâmetros de desempenho do pavimento - Impacto em termos do aumento no custo de manutenção do pavimento
- ii. Ensaios de verdadeira grandeza
- iii. Ensaios de laboratório e caracterização de materiais
- iv. Dano ao pavimento gerado pela sobrecarga discreta – modelagem avançada

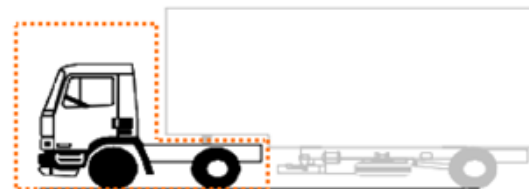




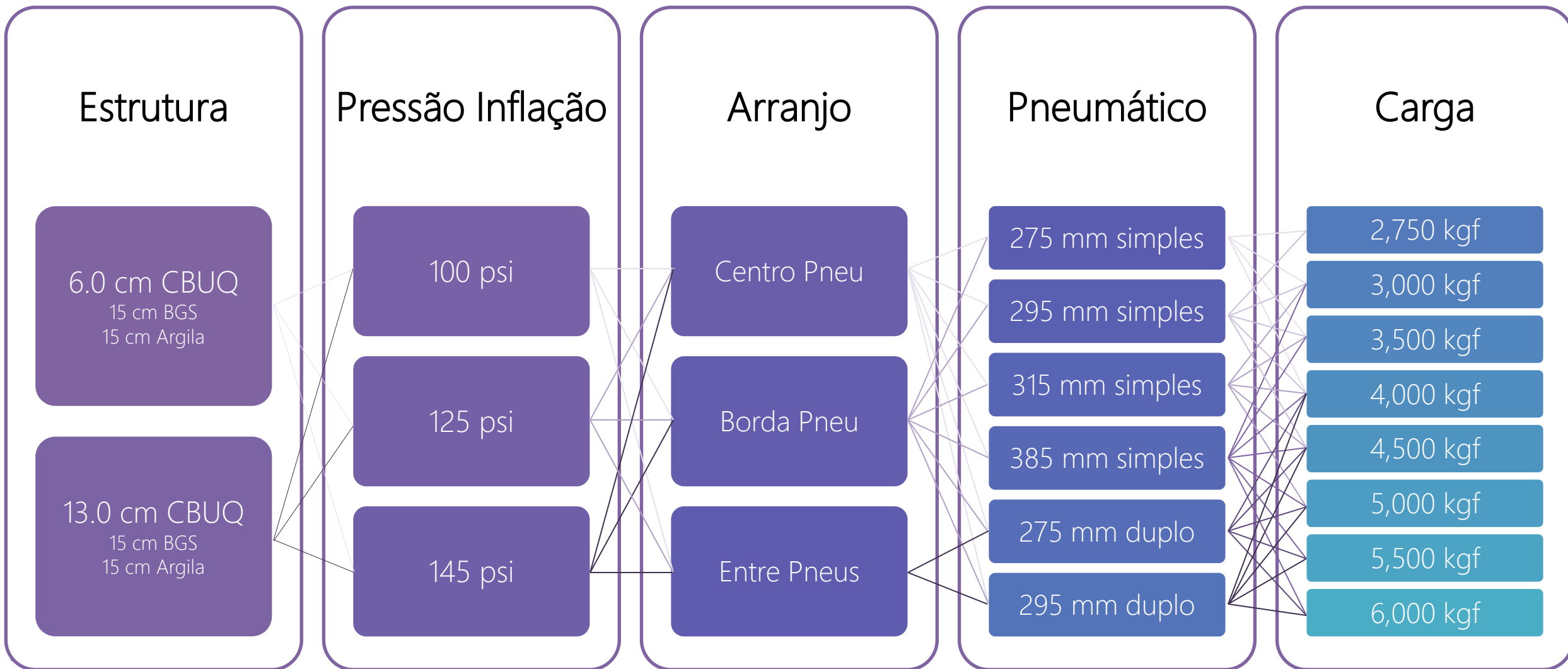
Carga	Diesel	Veículo Teste (VT)
ESRS	variável (CML=6,0 t)	8,96 t (+49%)
ESRD	variável (CML=10,0 t)	9,04 t (-10%)
PBT	variável (CML=16,0 t)	18,0 t (+12,5%)



	4x2			FC USACE	FC AASHTO
Caminhão					
Carga Máxima Legal (CML) Atual					
Grupo 1 (ESRS)	6.000 kg			ESRS	0,3404
Grupo 2 (ESRD)	10.000 kg			ESRD	2,3944
PBTC Atual	16.000 kg			FV	2,7348
Tara do Veículo Elétrico		Diferença para Carga Máxima			
Grupo 1 (ESRS)	8.287 kg	+38,12%		ESRS	1,3735
Grupo 2 (ESRD)	4.787 kg	-52,13%		ESRD	0,0993
PBTC	13.074 kg	-18,29%		FV	1,4729
Carga Útil	2.926 kg				(-68,38%) (-58,71%)
Veículo Elétrico Carregado (2,93 t)					
Grupo 1 (ESRS)	8.523 kg	+42,05%		ESRS	1,5507
Grupo 2 (ESRD)	7.477 kg	-25,23%		ESRD	0,6819
PBTC	16.000 kg	+0,00%		FV	2,2325
Veículo Elétrico Carregado (2,93 + 2,00 t)					(-47,20%) (-37,42%)
Grupo 1 (ESRS)	8.959 kg	+49,32%		ESRS	1,9236
Grupo 2 (ESRD)	9.041 kg	-9,59%	Var até 12ton (+20%)	ESRD	1,5490
PBTC	18.000 kg	+12,50%		FV	3,4726
Veículo Elétrico Carregado (2,93 + 0,80 t)*					(-4,55%) (-2,66%)
Grupo 1 (ESRS)	8.736 kg	+45,60%		ESRS	1,7252
Grupo 2 (ESRD)	8.064 kg	-19,36%		ESRD	0,9451
PBTC	16.800 kg	+5,00%		FV	2,6703
					(-36,39%) (-25,15%)

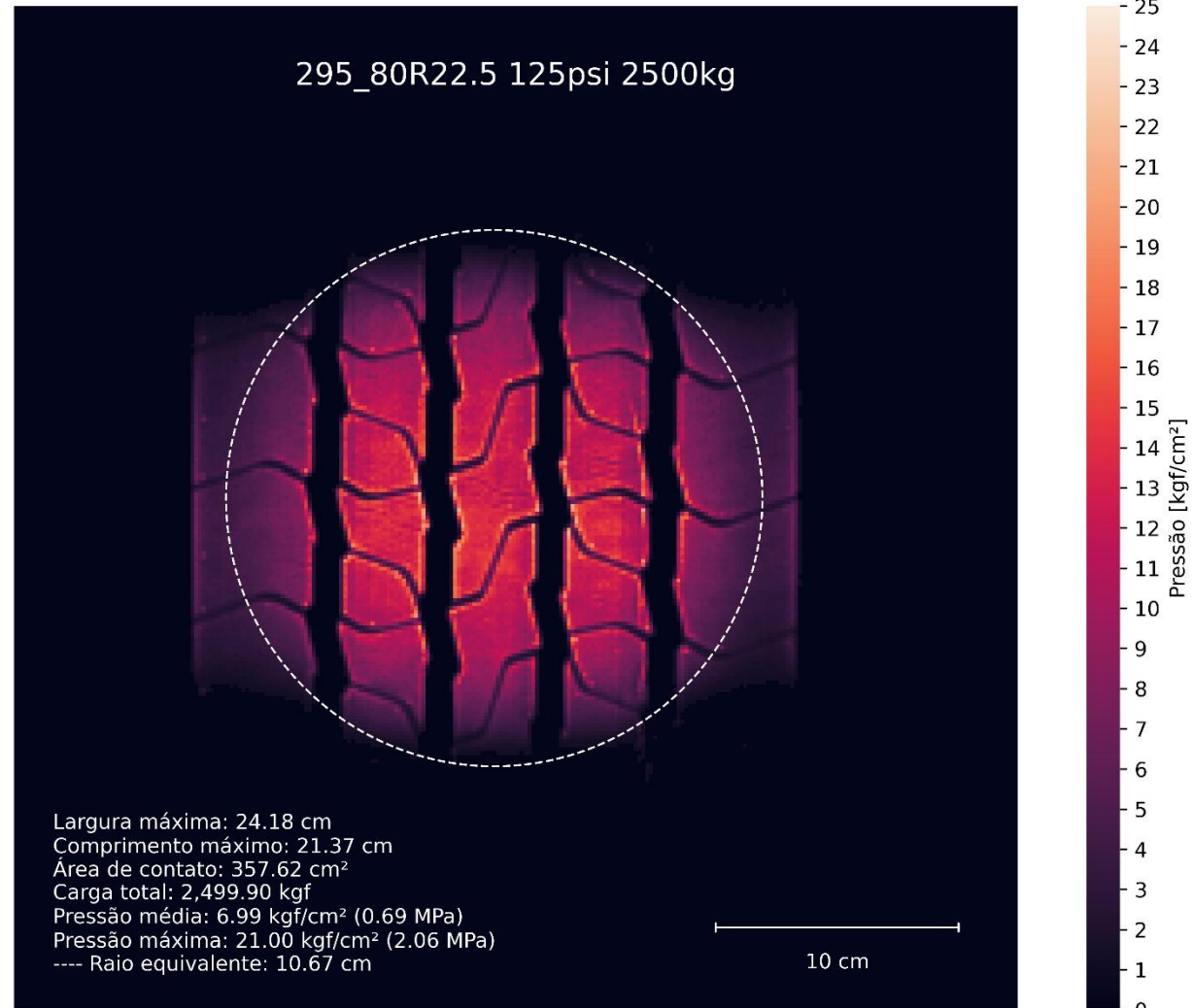


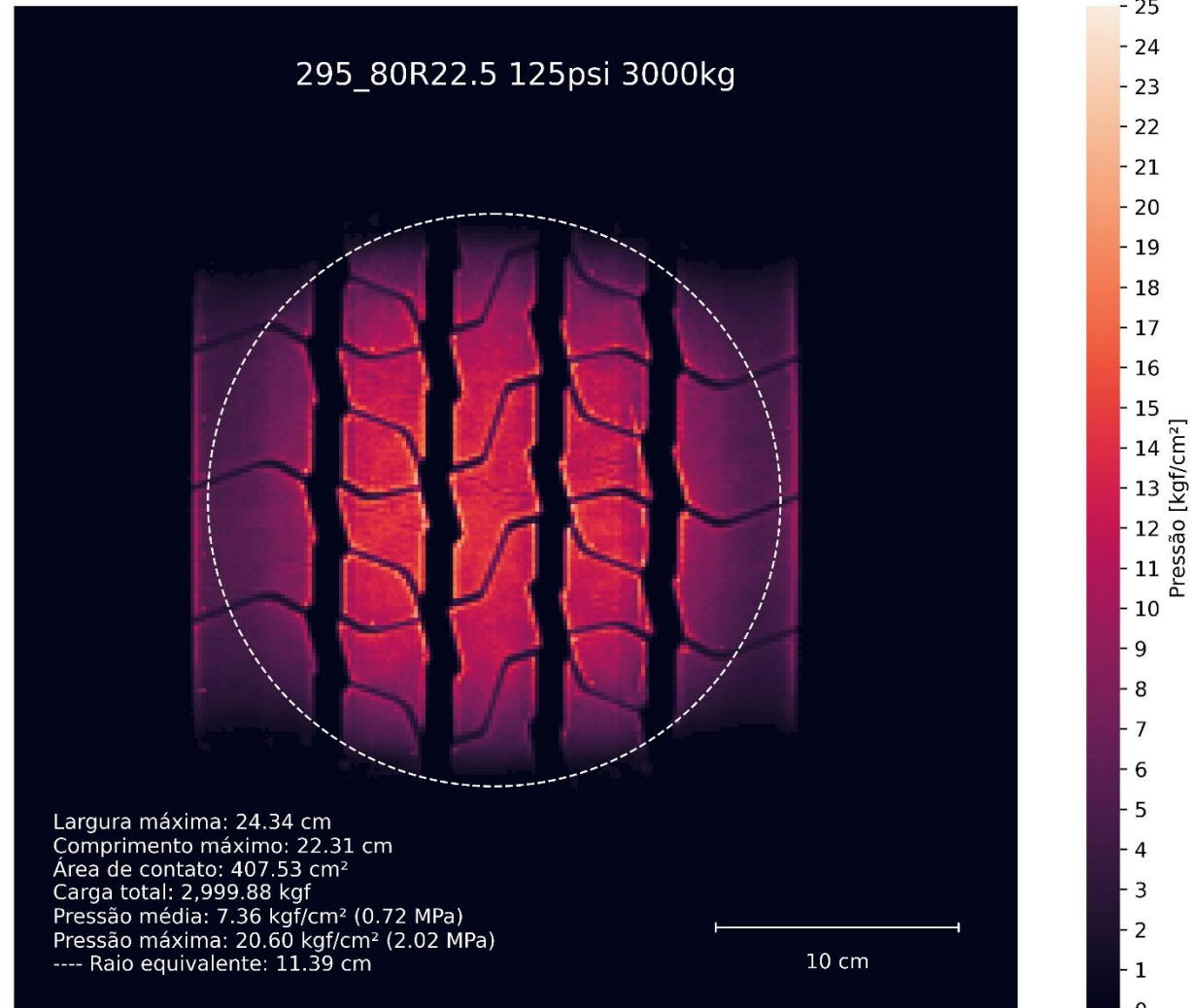
*Veículo teste com até 5% de excesso no PBT (i.e. PBT < 16,80 t) já estariam liberados para trafegar de acordo com a legislação atual

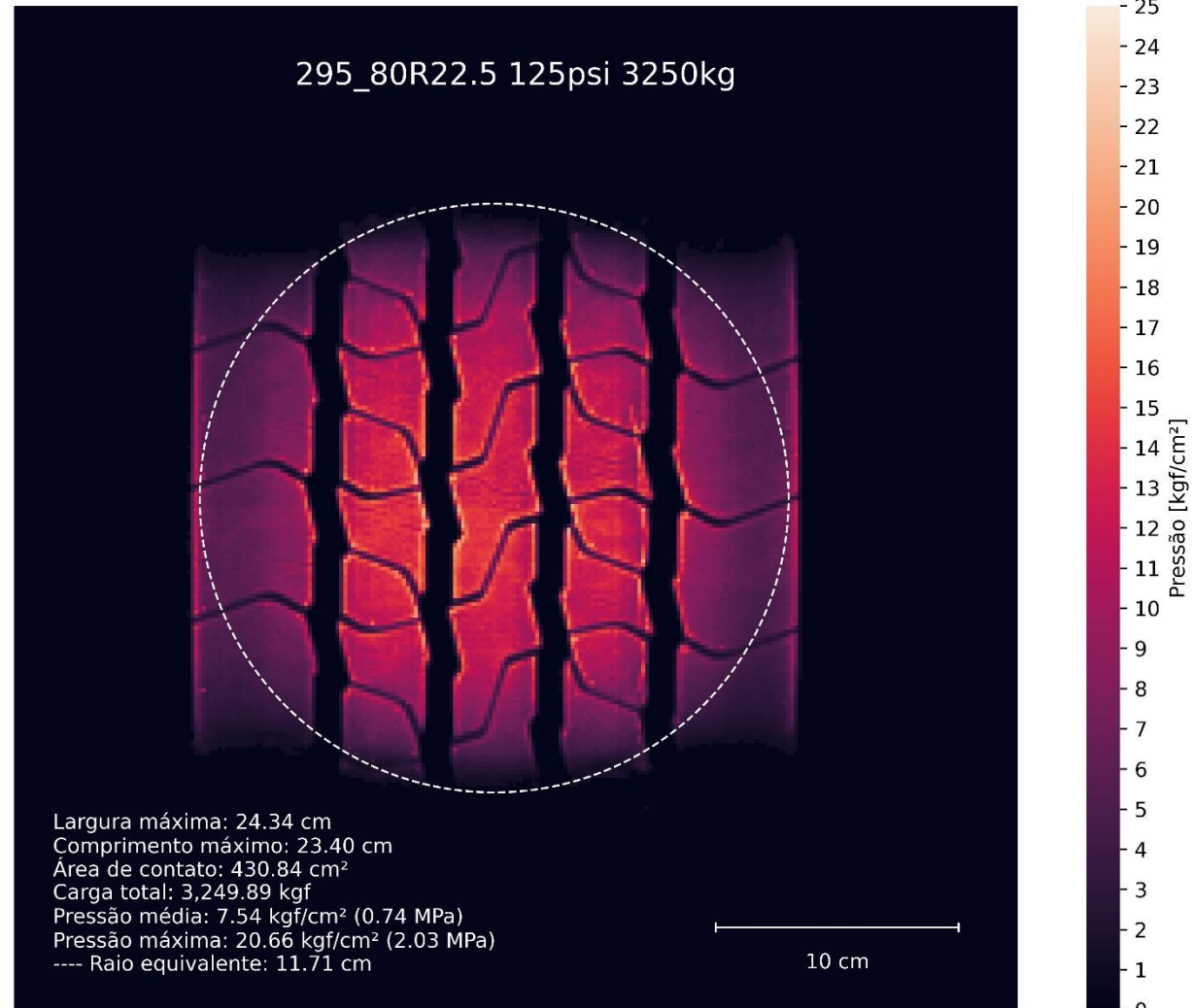


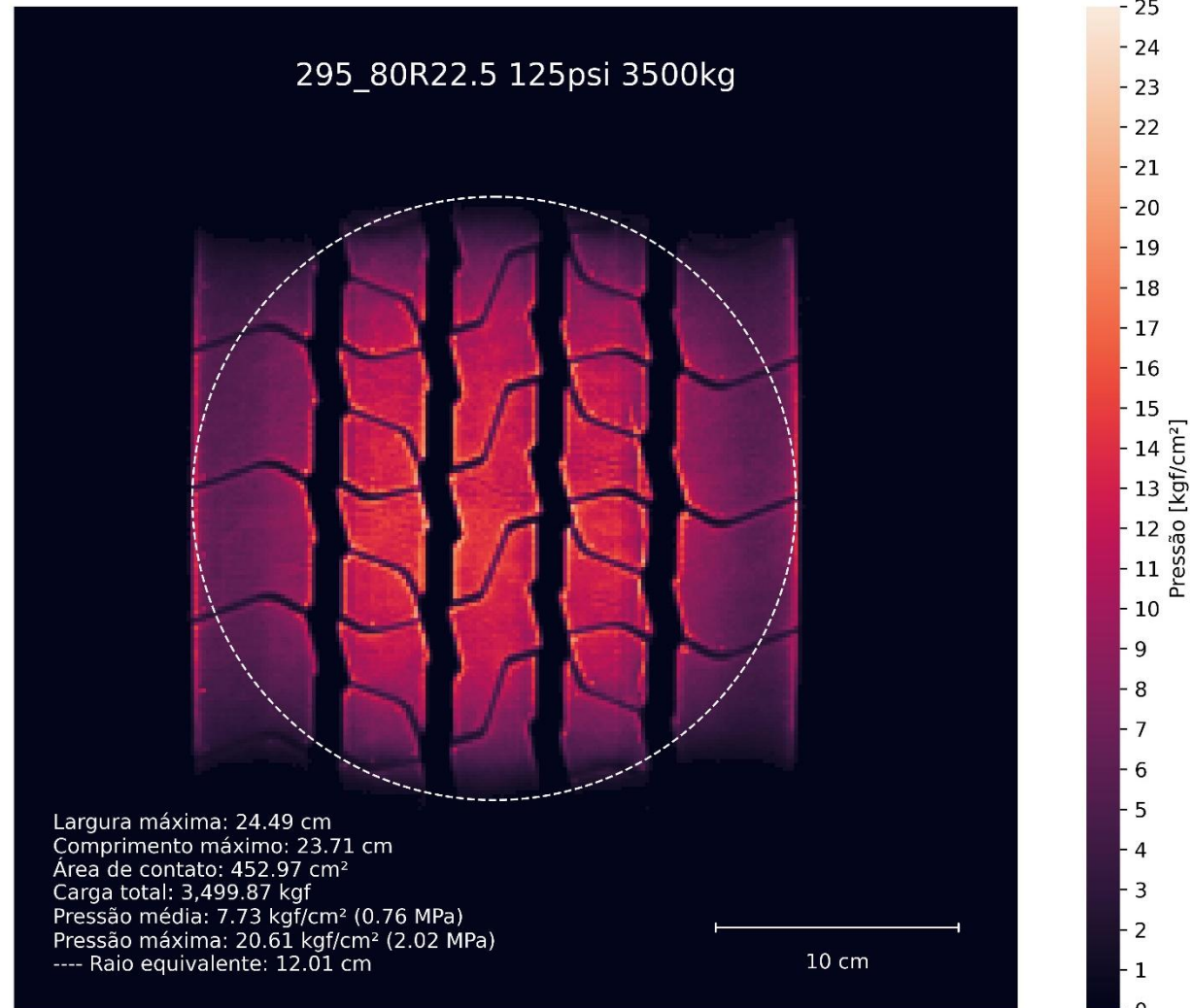
PRESSÃO DE INFLAÇÃO CONSTANTE

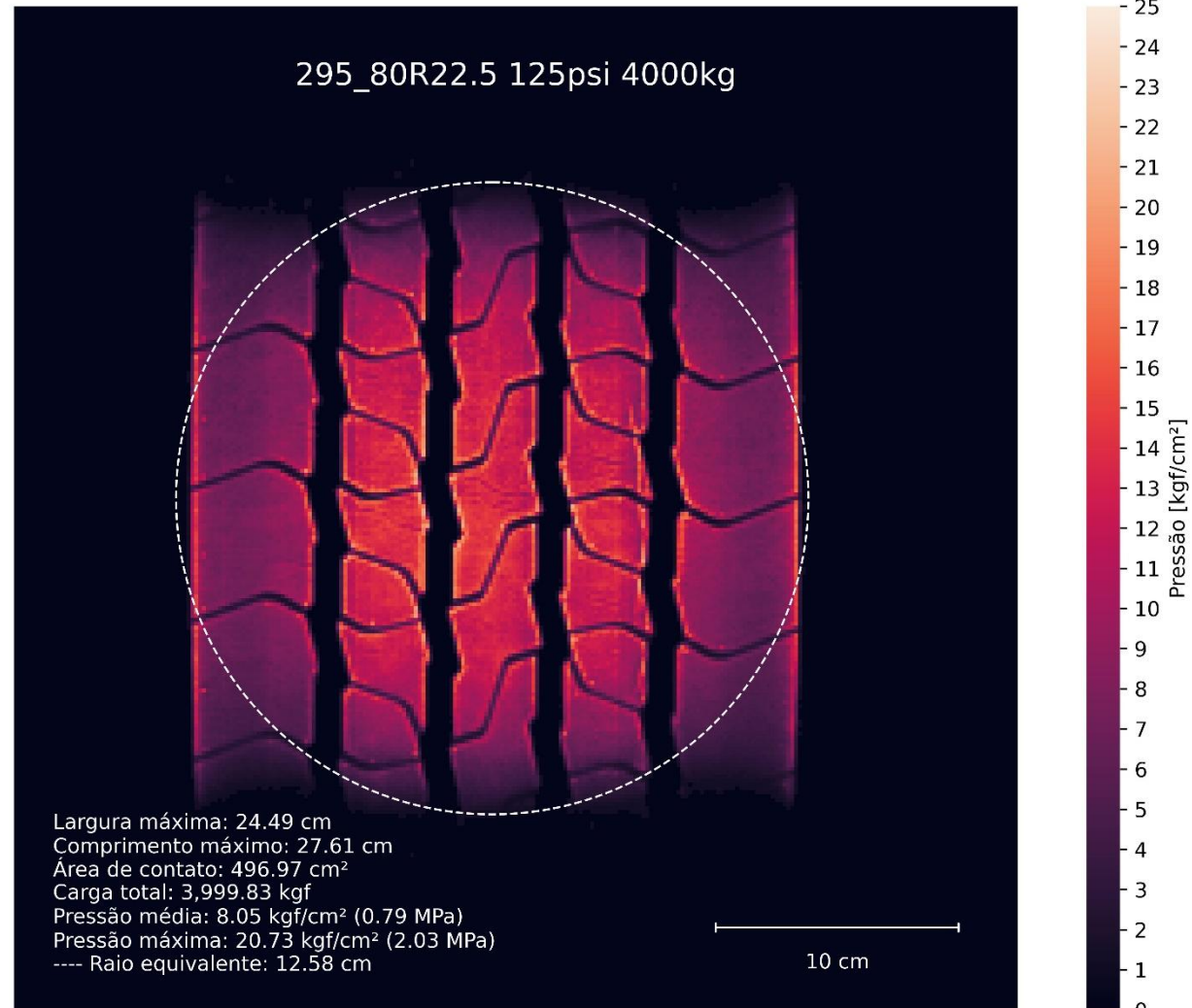
MAPAS DE PRESSÃO PROMETEON

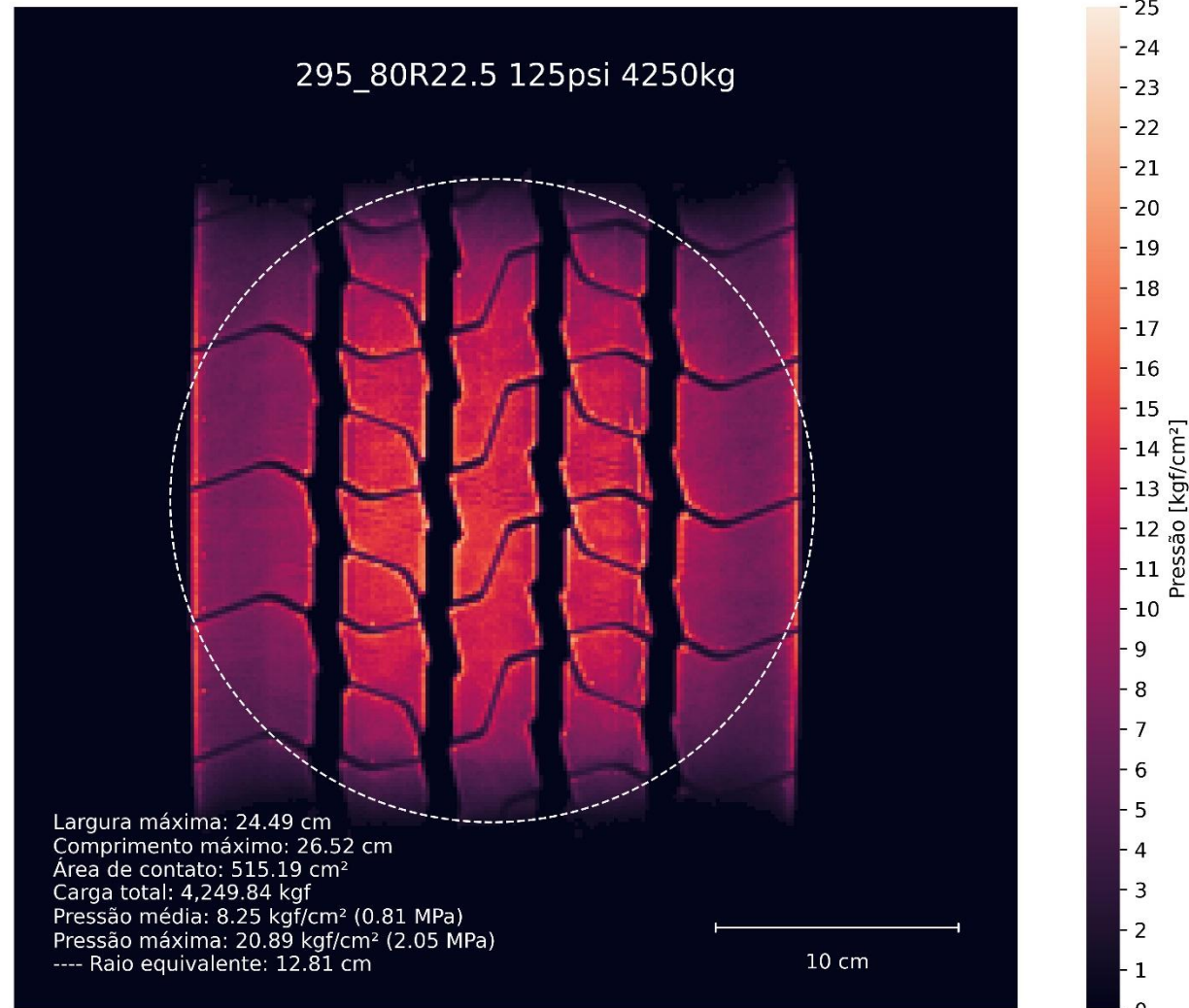


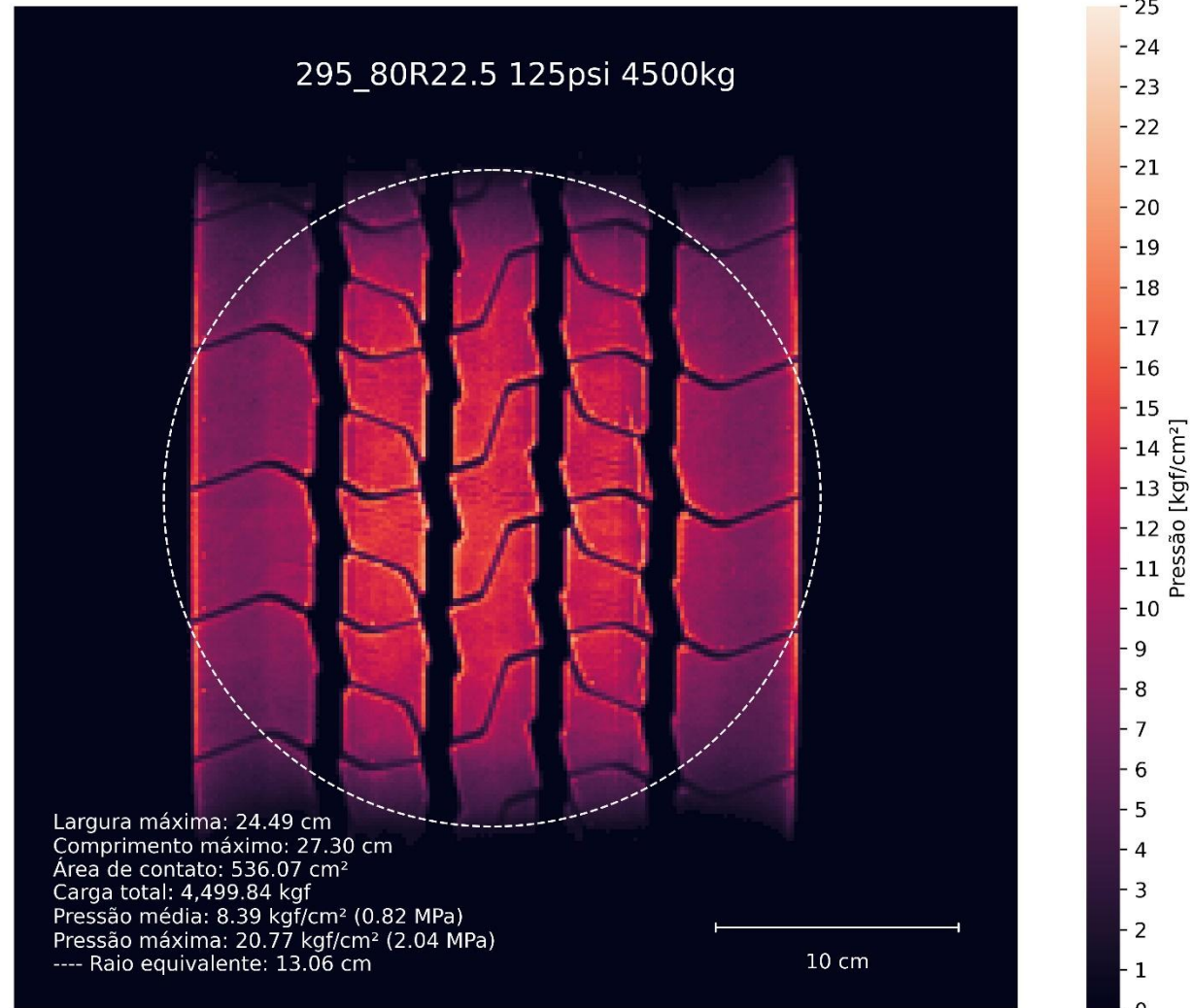


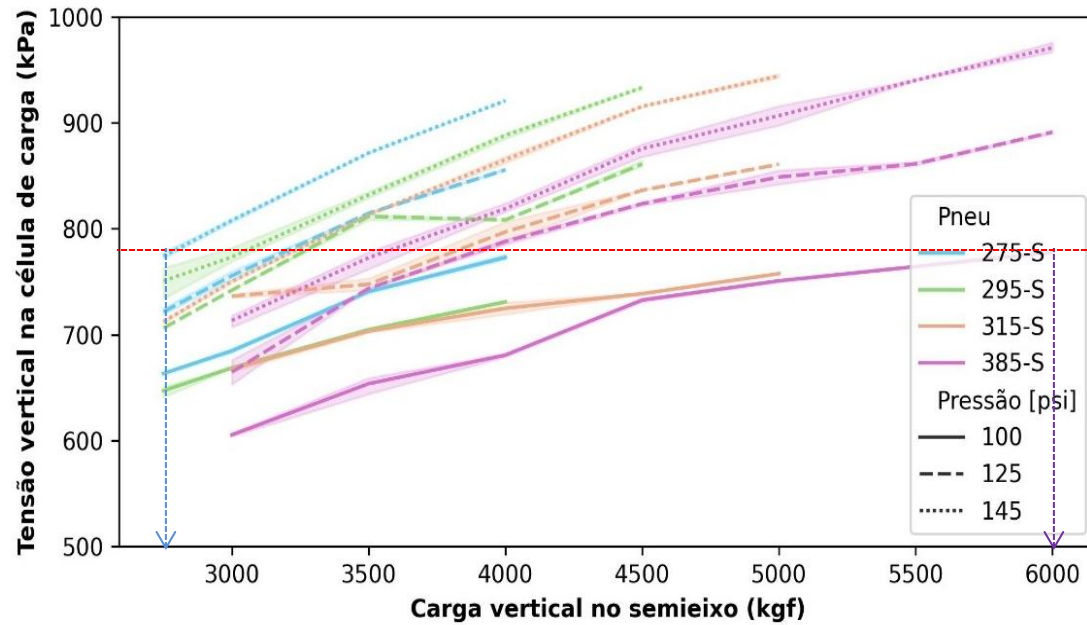






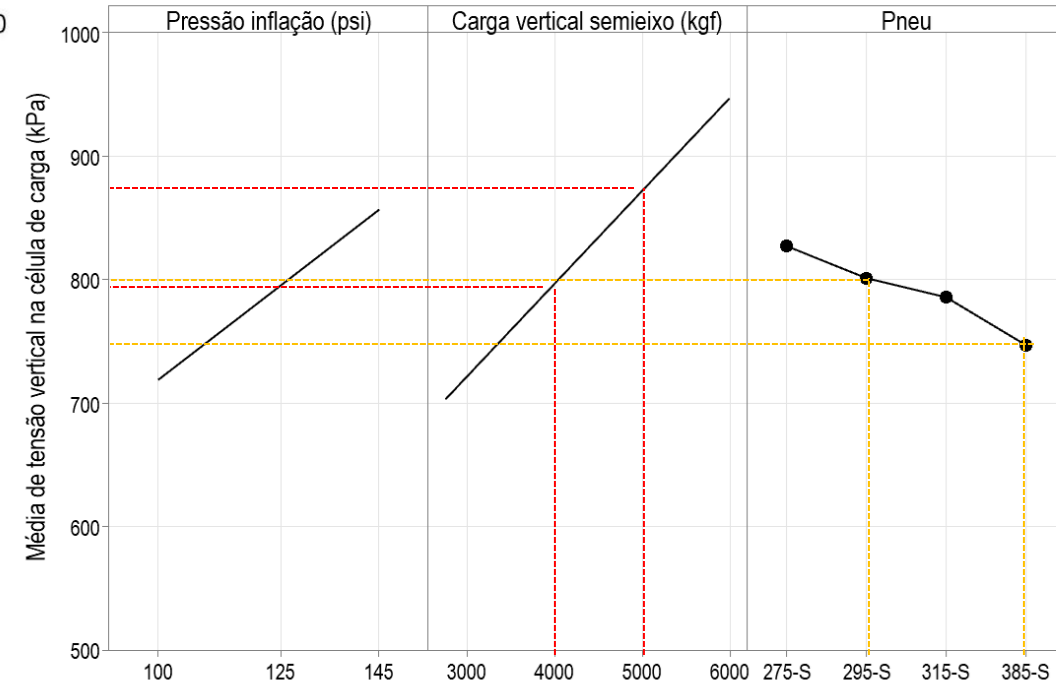






Aumento de 25% na carga -> Aumento de 10% na tensão medida
 Alteração de um pneumático de 295-S para 385-S -> Redução de 6%

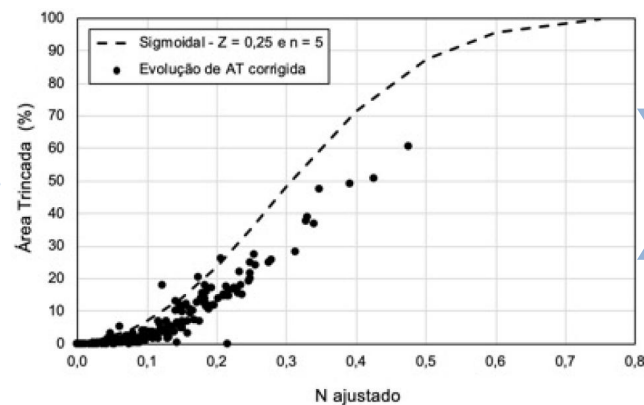
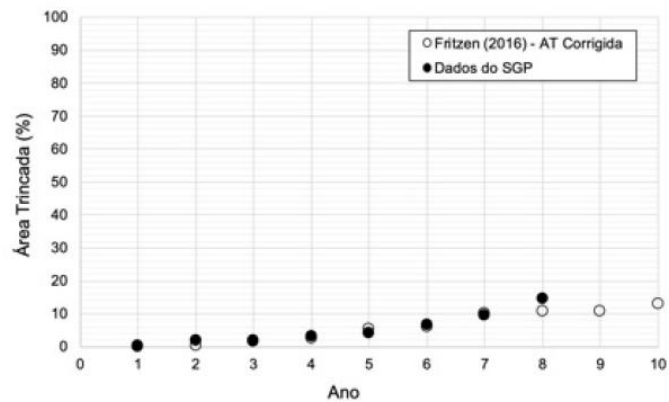
Os pneus como estratégia de mitigação dos aumentos de carga



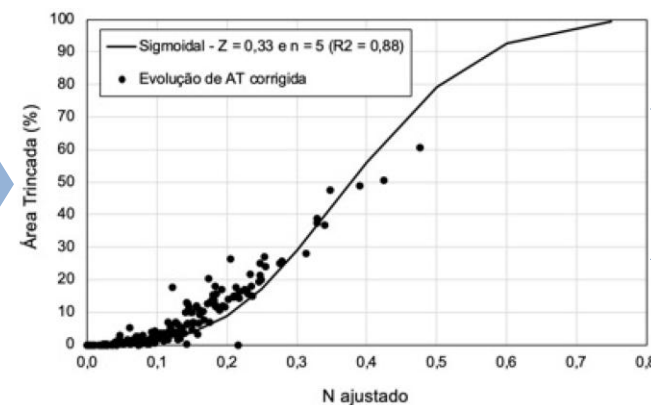
DNIT



Como tudo isso conversa com o estado da prática em análise de pavimentos?

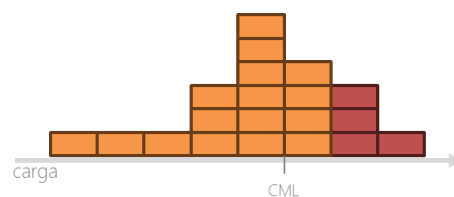


<https://doi.org/10.70859/2764-9539.v3.n3.135>

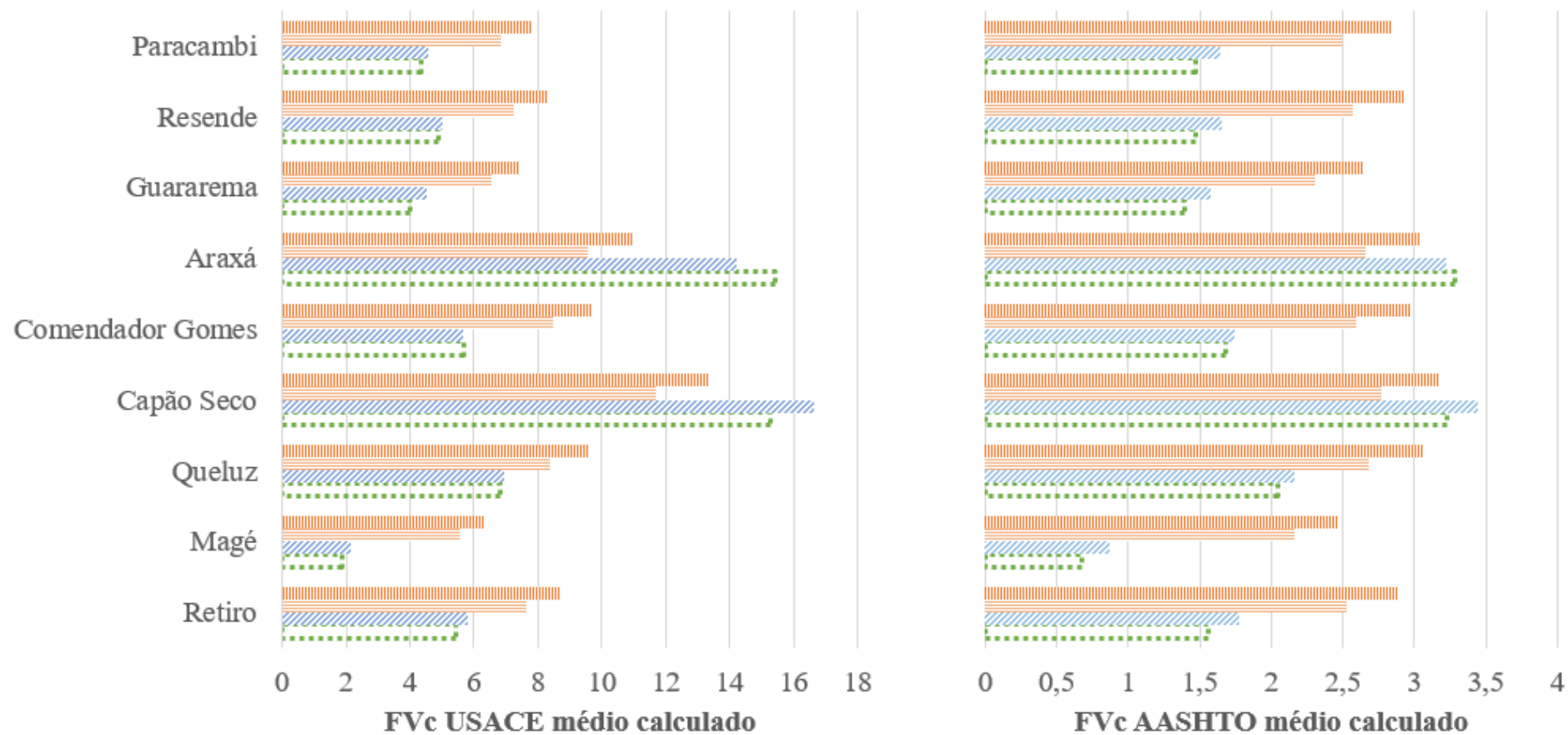


DNIT

programação e aprendizado de máquina
LAPAV em pavimentação
PAMPA

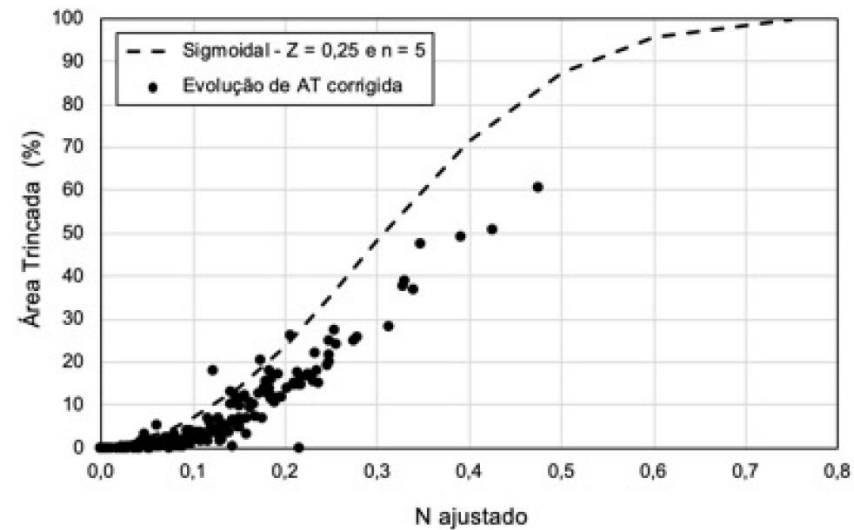
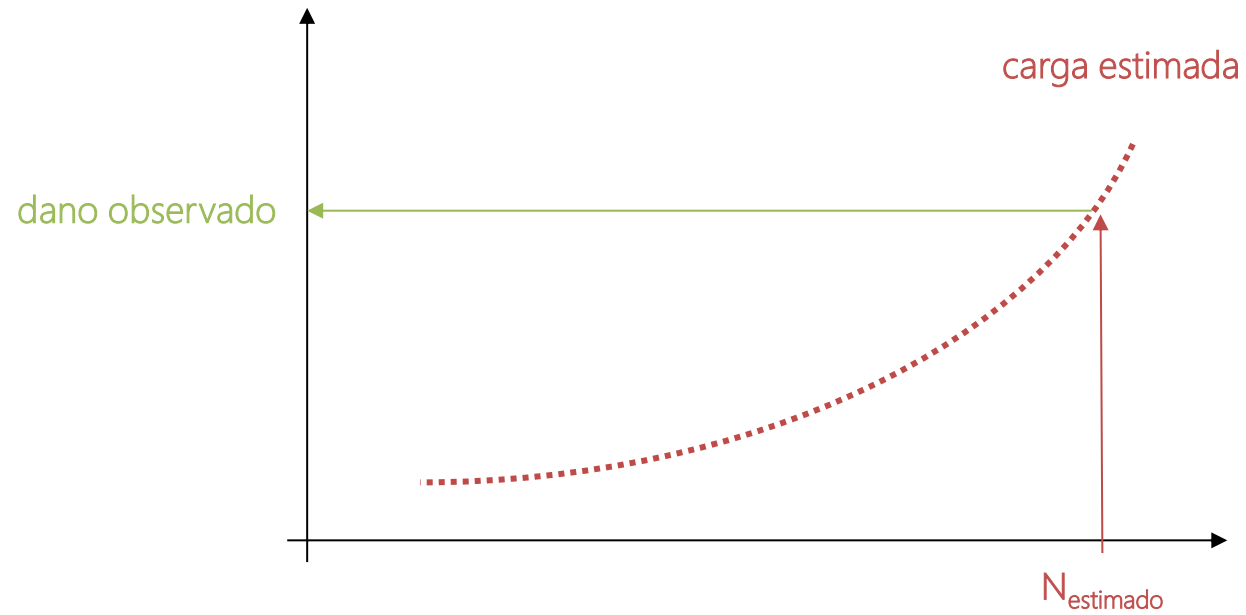


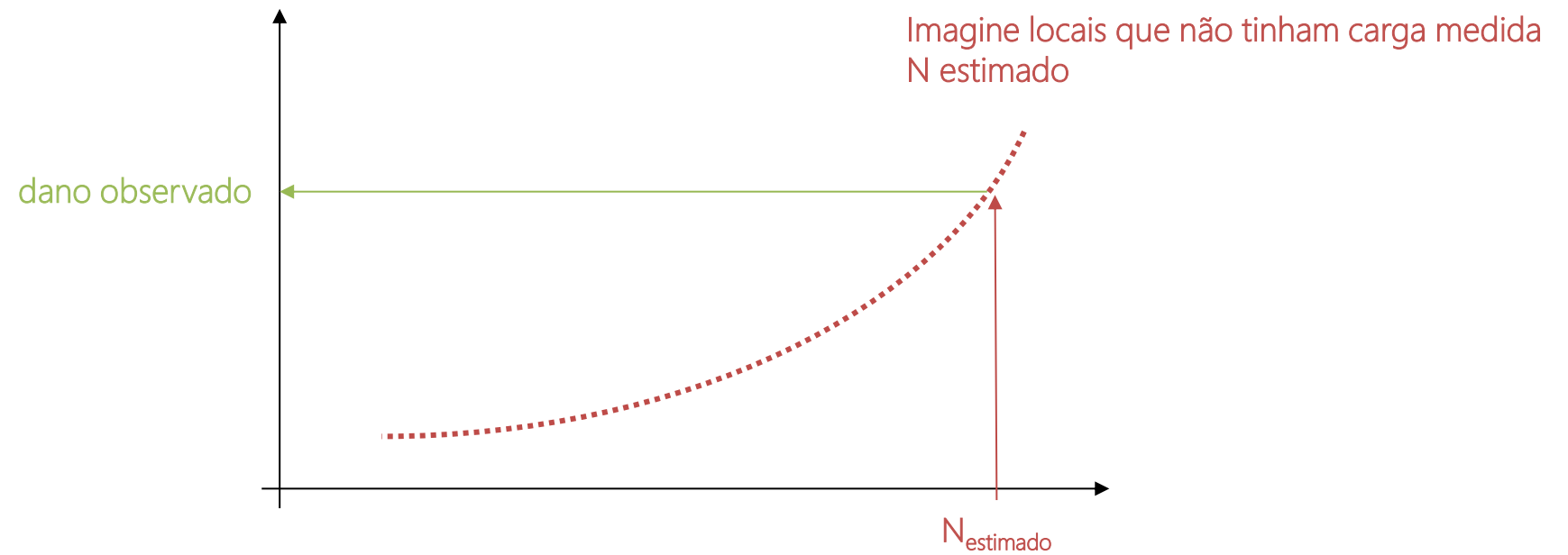
Número N



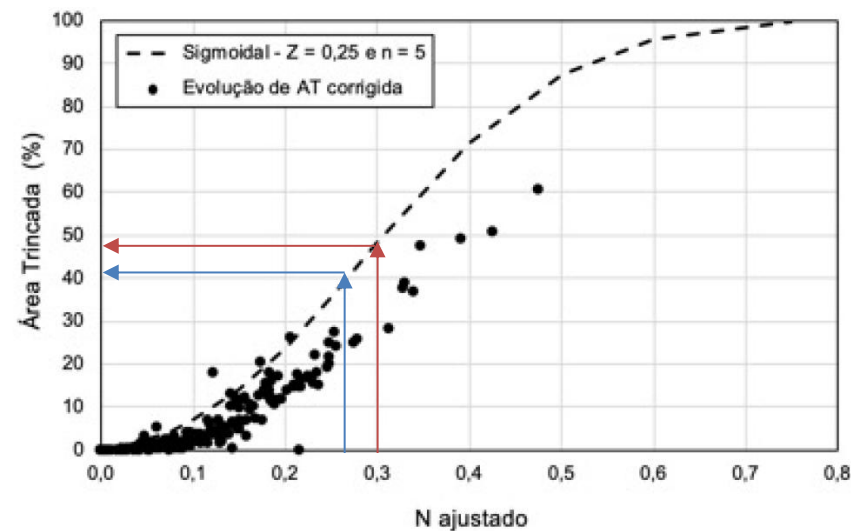
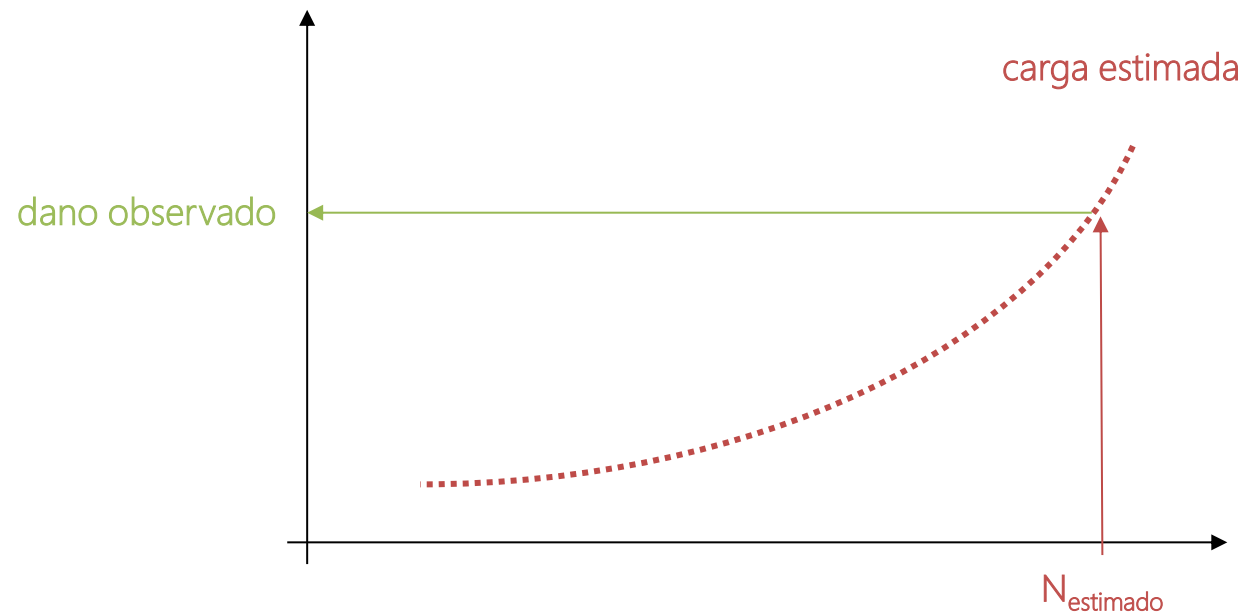
Com base no estudo de Grimm (2022), LAPAV/UFRGS

<https://doi.org/10.58922/transportes.v31i1.2849>

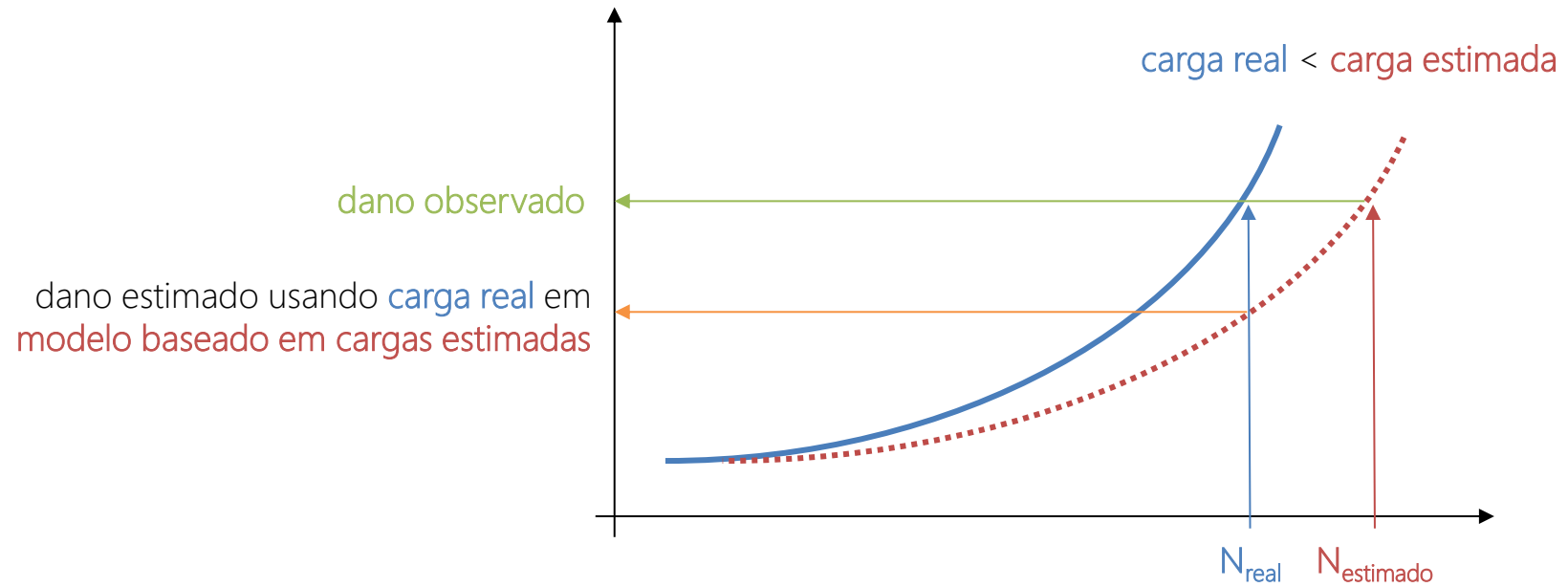




E se observarmos agora: carga real < carga estimada, como Grimm (2022)



carga real < carga estimada
Subestimar  dano de forma errada!
Pode levar a redu o de camada equivocada.



DNIT



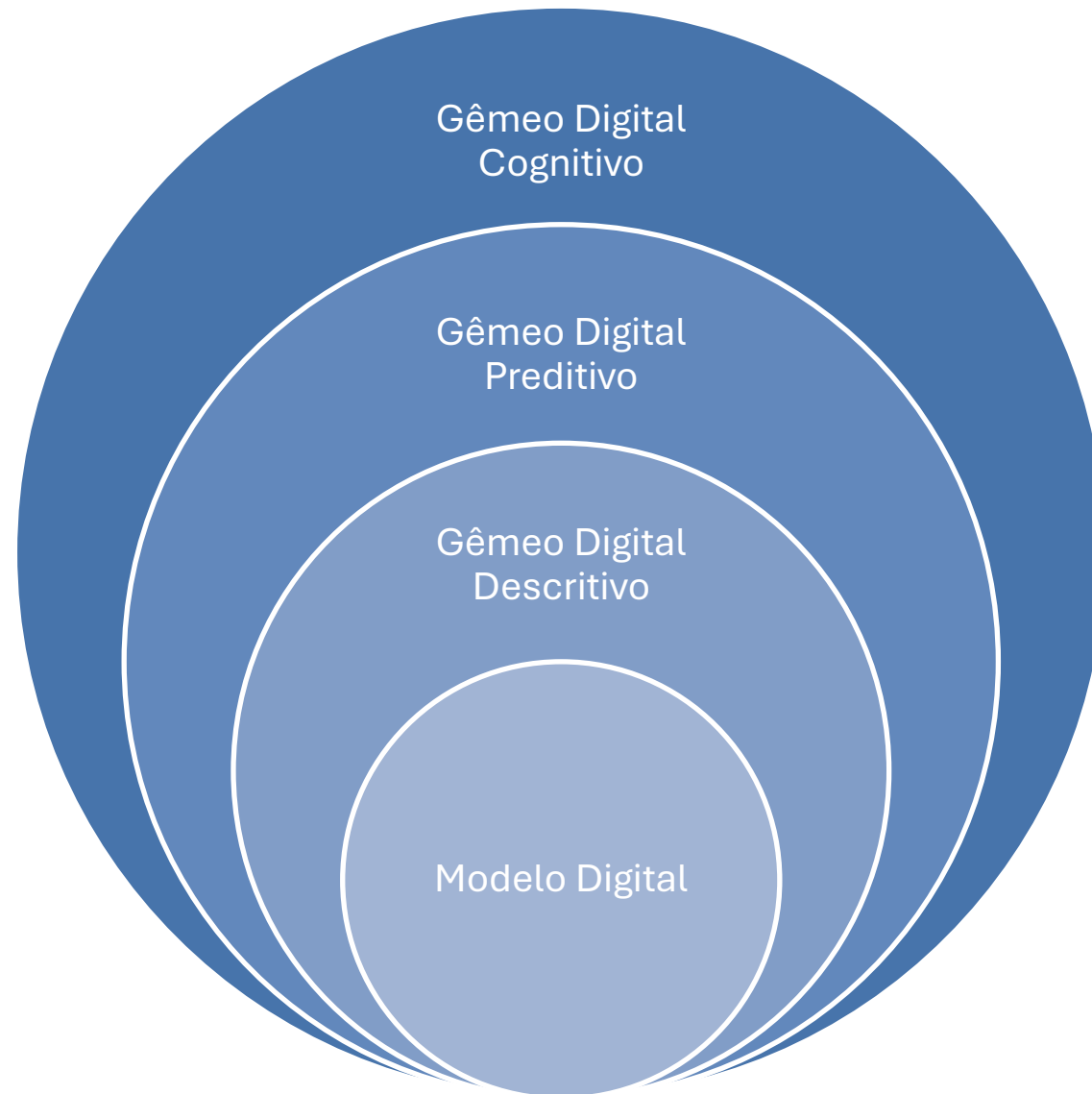
**E o que mais podemos usar os dados
Gêmeos digitais são necessários?**

O que podemos fazer com a tecnologia?

Ideia	Descrição	Dados	Motivo
Rastreamento de Cargas	Identificação de pontos e momentos de cargas e descargas ao longo do trajeto completo de um veículo transportando carga.	Pesagem WIM (PBT e OCR)	Empresas serem possibilitadas de acompanhar a carga ao longo de todo o percurso, através dos dados de pesagem WIM, e identificar possíveis descargas ou cargas “não-planejadas”.
Pedágio Dinâmico baseado no Consumo Estrutural	Utilizando o conceito de GESAL (Ngenérico), pode-se calcular o FECg (Fator de Equivalência de Carga Genérico) para cada Eixo, e atrelar a cobrança de pedágio de forma proporcional ao GESAL (Ng), a partir do preço base.	Pesagem WIM (peso por eixo)	Hoje, as tarifas dos pedágios são estáticas (contagem simples de eixos). A precificação com base no consumo estrutural refletiria o custo financeiro real de manutenção que o veículo gera para a rodovia.
Dimensionamento Assimétrico via Balanceamento Direcional de Carga	Utilizar dados de tráfego para identificar rodovias com desbalanceamento de sentidos (Interior -> Porto com tráfego pesado e carregado, e Porto -> Interior com veículos voltando vazios), para redimensionar as rodovias	Pesagem (bilateral)	Apurar estratégia de manutenção
Passivo de Manutenção em Tempo Real	Com os dados de Ng gerados, pode-se calcular apenas o relativo à sobrecarga para criar o “Passivo de Manutenção”, valor de manutenção não considerado no projeto, exclusivo dos efeitos da sobrecarga na rodovia.	Pesagem WIM (peso por eixo)	Justificar necessidades de manutenção antes dos prazos de projeto, geradas exclusivamente pela sobrecarga nas rodovias

DNIT







PASSIVO DE MANUTENÇÃO ATUAL

R\$ **4.250.800**

ATUALIZADO AGORA

MAPA DE REDE

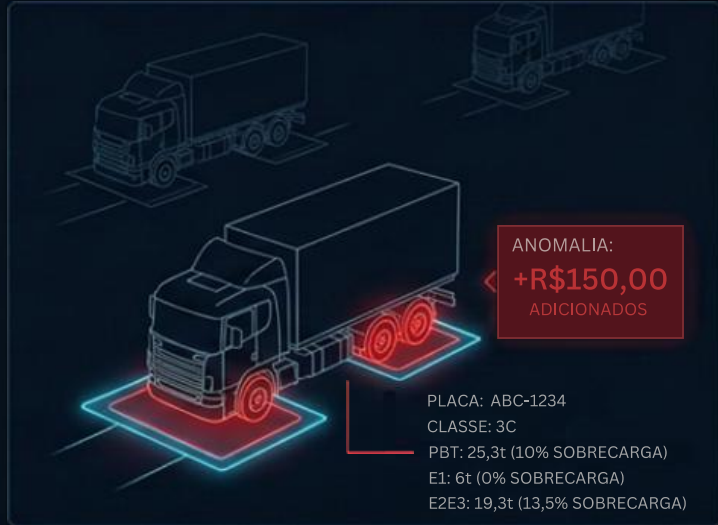


PLACA ID	CLASSE	PBT máx. (t)	PBT (t)	Sobrecarga (0-50%)
ABC-1234	3C	23	25,3	
ABC-1235	3S3	48,5	42	
ABC-1236	2S2	33	39,6	
ABC-1237	2C	16	16,8	
ABC-1238	2S1	26	32,5	
ABC-1239	2S3	41,5	46,7	

TEMPO REAL ESTABILIDADE ■■■



PLACA ID	CLASSE	G1 (t)	G2 (t)	G3 (t)	G4 (t)	G5 (t)	Sobrecarga (t)
ABC-1234	3C	6	19,3	-	-	-	2,3
ABC-1235	3S3	6,2	18,5	25,7	-	-	1,9
ABC-1236	2S2	6	17	17	-	-	2
ABC-1237	2C	5,8	10	-	-	-	-
ABC-1238	2S1	6	11,1	11,1	-	-	2,2
ABC-1239	2S3	6,5	11	27	-	-	3



DETERIORAÇÃO ESTRUTURAL VS. ACÚMULO DE TRAFEGO



DNIT



DNIT DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES



ESCOLA DE ENGENHARIA
UFRGS



PPGCI



DECIV



DNIT DEPARTAMENTO
NACIONAL DE
INFRAESTRUTURA
DE TRANSPORTES



www.ufrgs.br/lapav

Av. Bento Gonçalves, 9500. Prédio 43.816.

Bairro Agronomia. CEP 91501-970.

Porto Alegre/RS. Brasil

Fone: +55 51 3308-7049

e-mail: lapav@ufrgs.br


UFRGS
UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL


LAPAV