



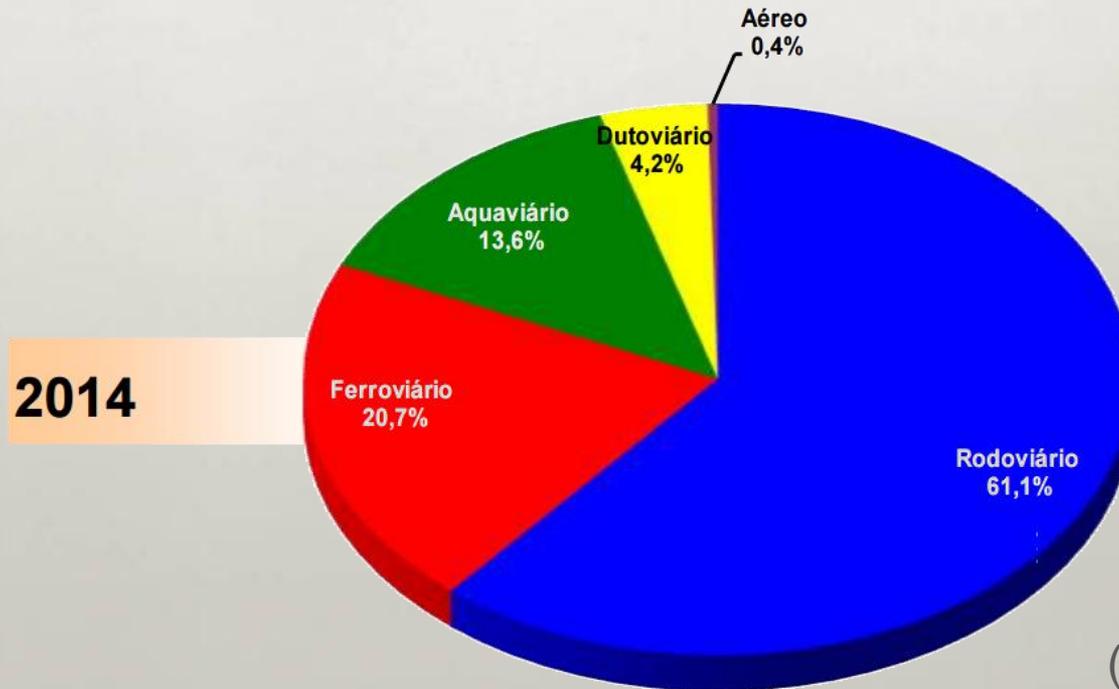
**CARROCERIA GRANELEIRA
SOLUÇÃO EM COMPÓSITOS POLIMÉRICOS**



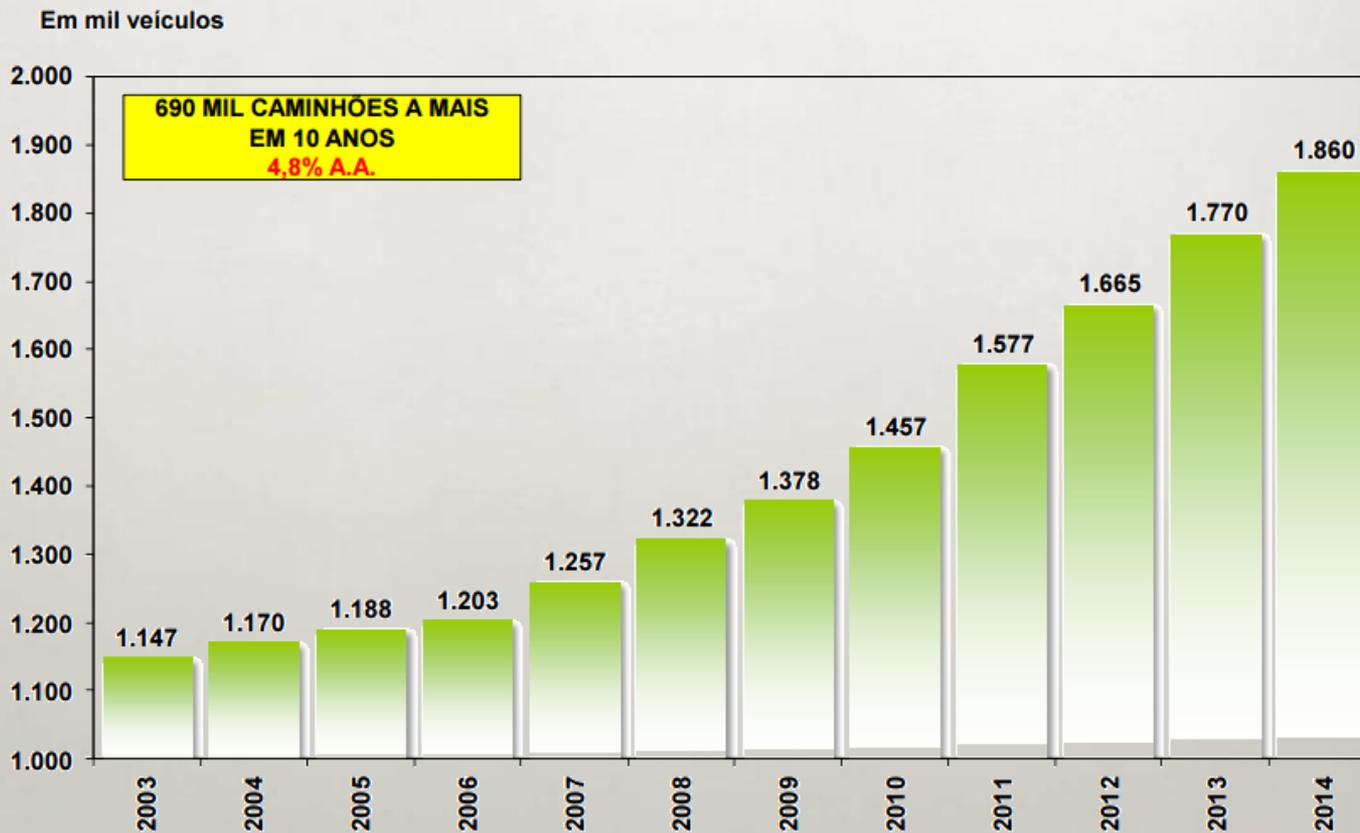
O MERCADO

FROTA NACIONAL DE VEÍCULOS

O MODAL RODOVIÁRIO REPRESENTA **61%**
DA MATRIZ DE TRANSPORTES BRASILEIRA



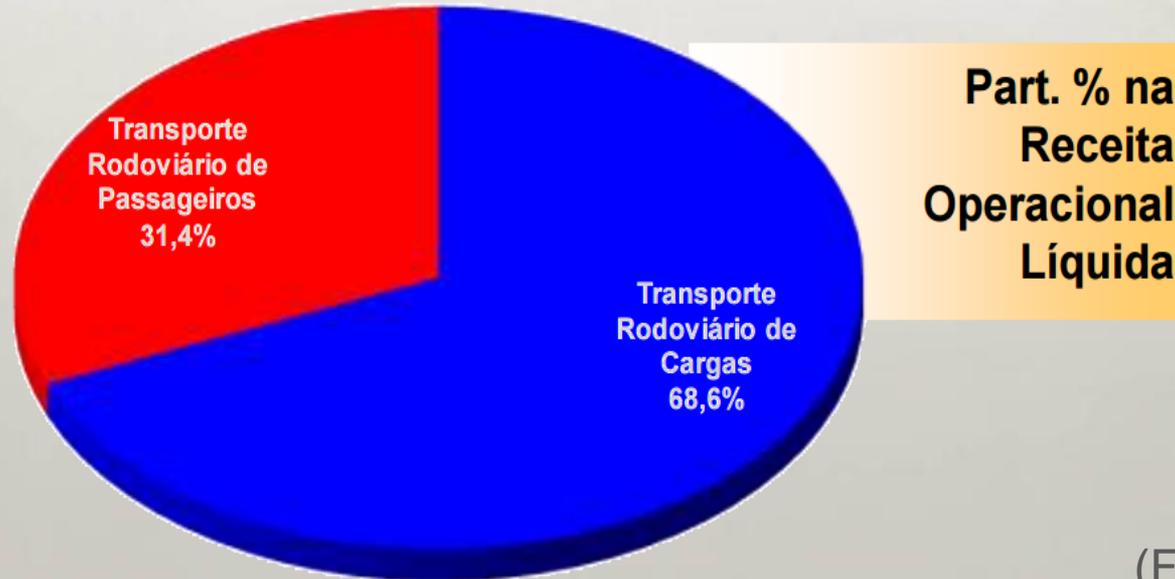
FROTA NACIONAL DE CAMINHÕES



(Fonte: Sindipeças)

FROTA NACIONAL DE VEÍCULOS

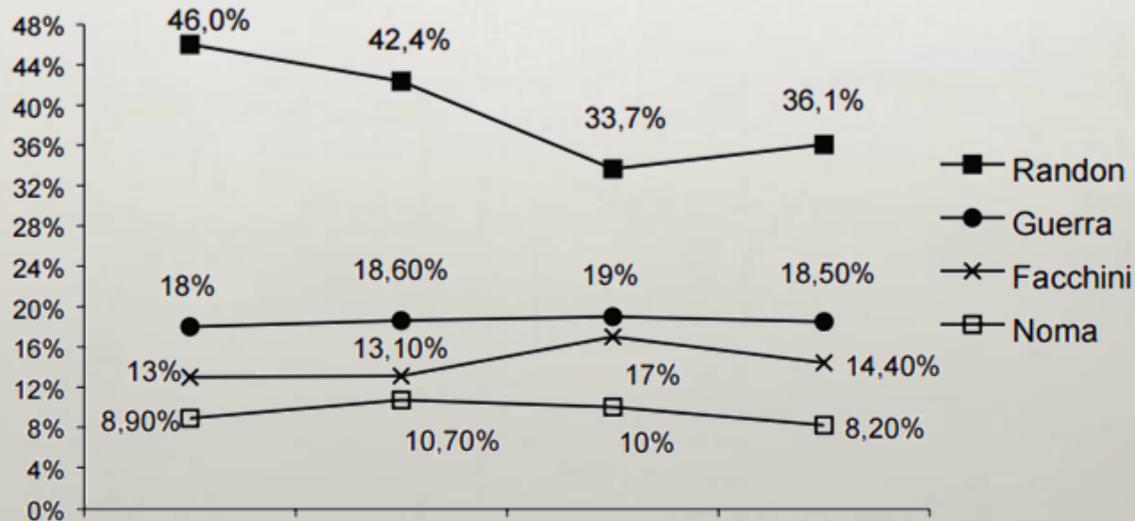
69% DA RECEITA É PROVENIENTE
DO TRANSPORTE DE CARGAS



(Fonte: ANTT)

FROTA NACIONAL DE VEÍCULOS

MARKETSHARE DE IMPLEMENTOS RODOVIÁRIOS



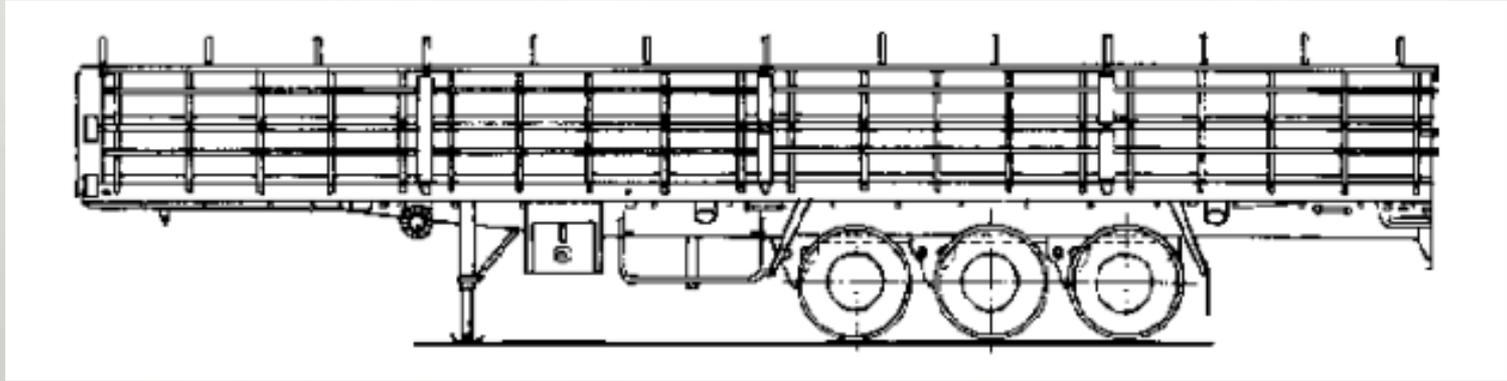
(Fonte: BNDES)



NORMAS E PREMISAS

TERMINOLOGIA

VEÍCULOS RODOVIÁRIOS DE CARGA



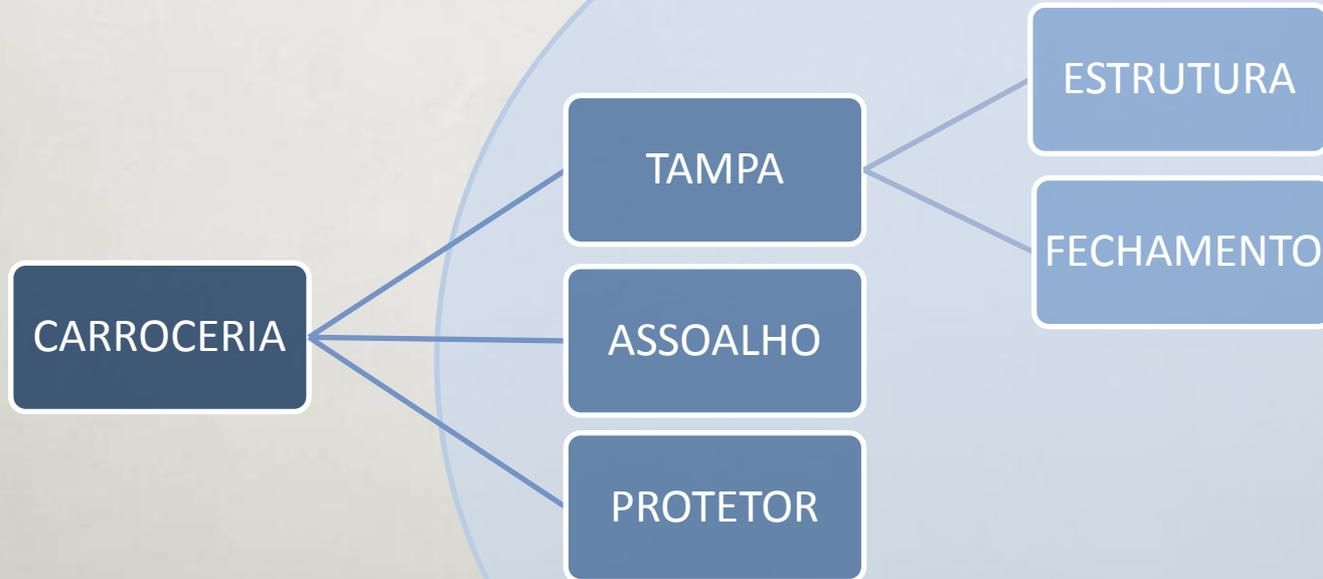
ESBOÇO ABNT NBR 9762:2005

DENOMINAÇÃO: **Compartimento simples aberto agrícola - GRANELEIRO**

PREMISSAS FUNCIONAIS

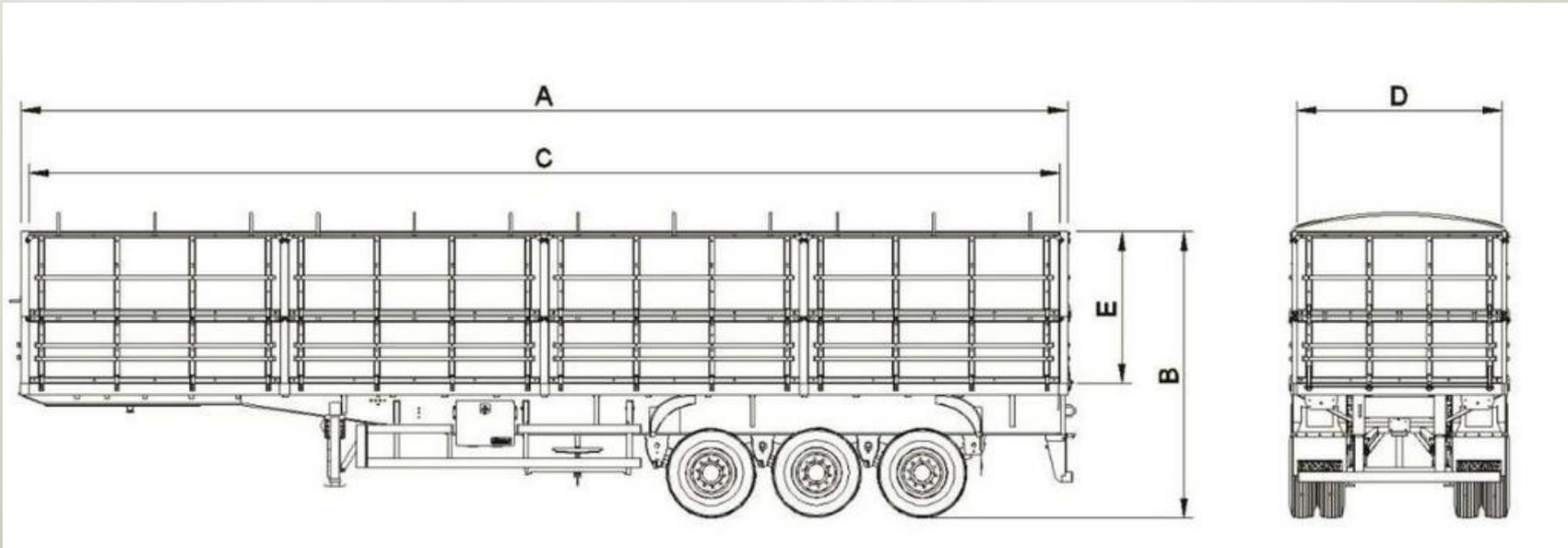
- ABSORSÃO DE UMIDADE;
- BACTÉRIAS ALOJADAS NA MADEIRA;
- CORROSÃO EM FUNÇÃO DE FERTILIZANTES;
- DIFICULDADE DE LIMPEZA (ENCRUSTAÇÃO E RESÍDUO EM VÃOS);
- REDUÇÃO DE PESO;
- RESISTÊNCIA À INTEMPÉRIES;
- RESISTÊNCIA AO IMPACTO;
- CARGA DISTRIBUÍDA (carga hidrostática com densidade soja = $750 \text{ [kg/m}^3\text{] })$

METODOLOGIA



CÁLCULO ESTRUTURAL

OBJETO DE ESTUDO

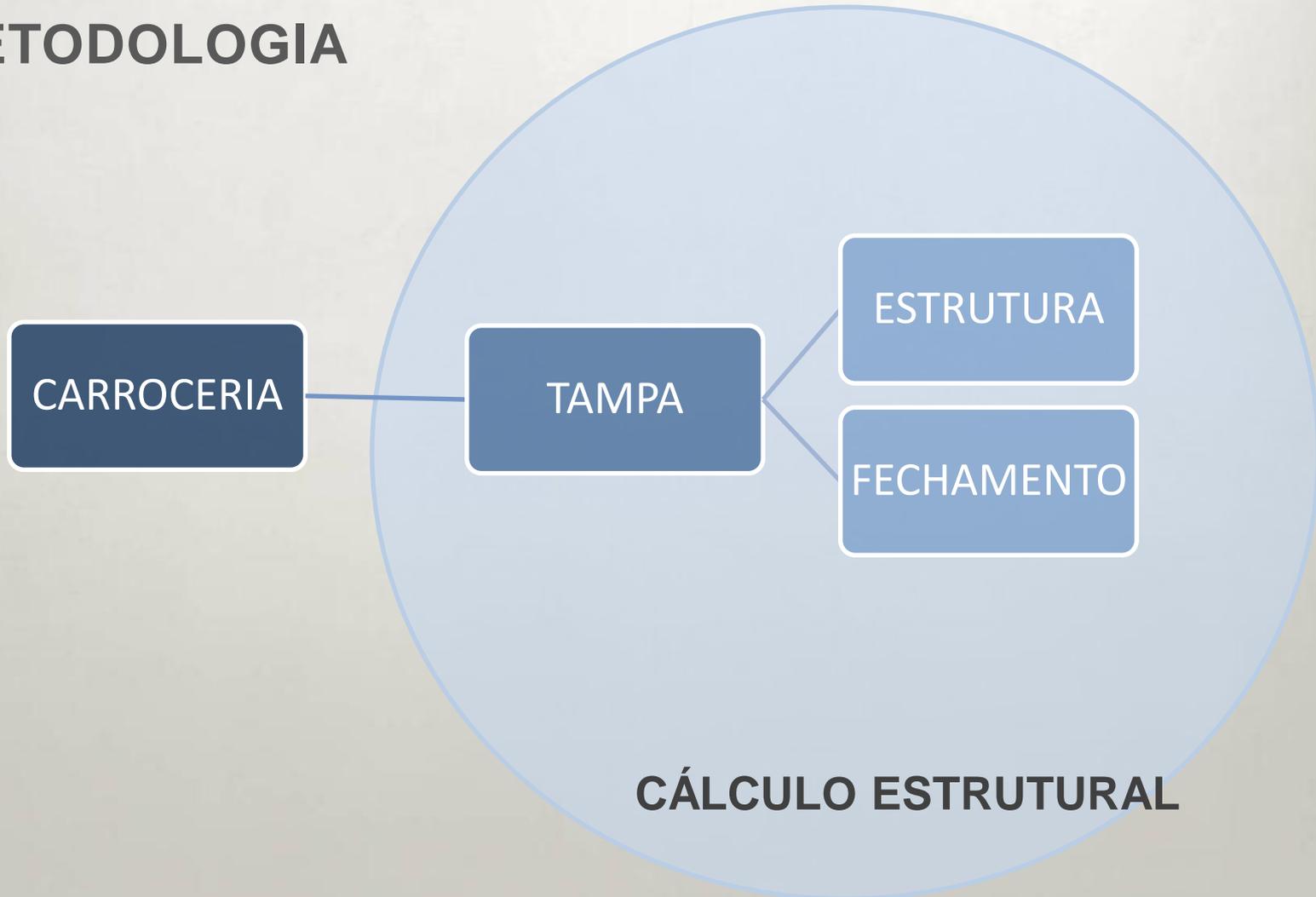


A	=	Comprimento total	=	12530	[mm]
D	=	Largura de carga	=	2430	[mm]
E	=	Altura de carga	=	2000	[mm]



DIMENSIONAMENTOS

METODOLOGIA



CARROCERIA

TAMPA

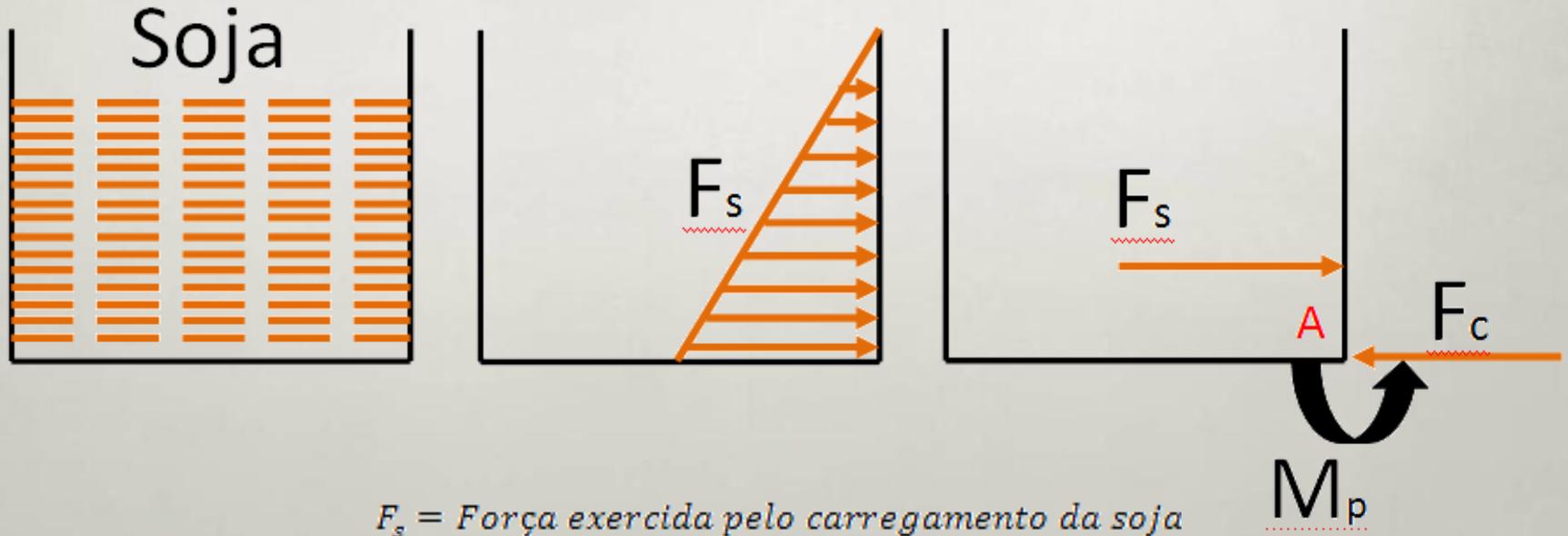
ESTRUTURA

FECHAMENTO

CÁLCULO ESTRUTURAL

CÁLCULO ESTRUTURAL

DIAGRAMA DE CORPO LIVRE



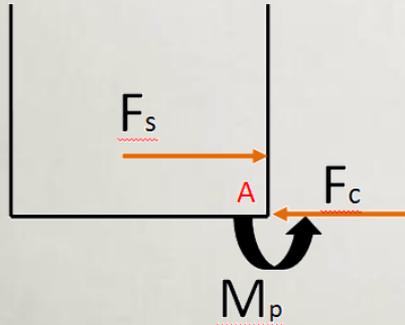
F_s = Força exercida pelo carregamento da soja

F_c = Força da Carroceria

M_p = Momento do Pultrudado

CÁLCULO ESTRUTURAL

DIAGRAMA DE CORPO LIVRE



$$F_s = \int_0^L \rho g \partial L$$

$$\sum M_a = 0$$

$\rho =$ Densidade da soja = $750 \text{ (kg/m}^3\text{)}$

$g =$ Aceleração da gravidade = $(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})$

$L =$ Altura da carroceria = 2 (m)

$$\sum M_a = -F_s \cdot 0,66 + M_p$$

$$F_s = 14715 \text{ (N)}$$

$$M_p = 9712 \text{ (N.m)}$$

Property	Polyester	Vinyl ester	Epoxy	Test Method
Tensile Strength (psi)	11,200	11,800	11,000	ASTM D638
% Elongation	4.5	5	6.3	ASTM D638
Flexural Strength (psi)	17,800	20,000	16,700	ASTM D790
Flexural Modulus (10 ⁶ psi)	0.43	0.54	0.47	ASTM D790
Heat Distortion Temperature (°F)	160	220	330	ASTM D648
Short Beam Shear (psi)	4,500	5,500	8,000	ASTM D2344

Property (coupon values)	ASTM Test	Units	1500/1525 Series	1625 Series
Mechanical				
Tensile Strength (LW)	D638	psi	33,000	37,500
Tensile Strength (CW)	D638	psi	7,500	8,000
Tensile Modulus (LW)	D638	10 ⁶ psi	2.5	3.0
Tensile Modulus (CW)	D638	10 ⁶ psi	0.8	1.0
Compressive Strength (LW)	D695	psi	33,000	37,500
Compressive Strength (CW)	D695	psi	16,500	20,000
Compressive Modulus (LW)	D695	10 ⁶ psi	3.0	3.0
Compressive Modulus (CW)	D695	10 ⁶ psi	1.0	1.2
Flexural Strength (LW)	D790	psi	33,000	37,500
Flexural Strength (CW)	D790	psi	11,000	12,500
Flexural Modulus (LW)	D790	10 ⁶ psi	1.6	2.0
Flexural Modulus (CW)	D790	10 ⁶ psi	0.8	1.0
Modulus of Elasticity (Channels)	Full Section ²	10 ⁶ psi	2.8-3.2	2.8-3.2
(Square and Rectangular Tubes)	Full Section ²	10 ⁶ psi	2.8	2.8
Shear Modulus	Full Section ²	10 ⁶ psi	3.2	3.2
Interlaminar Shear (LW) ³	D2344	psi	0.42	0.42
Shear Strength By Punch (PF)	D732	psi	4,500	4,500
Notched Izod Impact (LW)	D256	ft-lbs/in	5,500	6,000
Notched Izod Impact (CW)	D256	ft-lbs/in	28	30
Maximum Bearing Strength (LW)	D953	psi	4	5
Maximum Bearing Strength (CW)	D953	psi	30,000	30,000
Poisson's Ratio (LW)	D3039	in/in	18,000	18,000
Poisson's Ratio (CW)	D3039	in/in	0.35	0.35
In-plane Shear (LW)	Modified D2344 ⁴	psi	0.15	0.15
			7,000	7,000

LW = lengthwise

CW = crosswise

PF = perpendicular to laminate face

$$\sigma_y = 33000 \text{ (psi)} = 227,52 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_x = 7500 \text{ (psi)} = 51,71 \text{ (MPa)}$$

$$E = 2,8 \cdot 10^6 \text{ (psi)} = 19,3 \text{ (Gpa)}$$

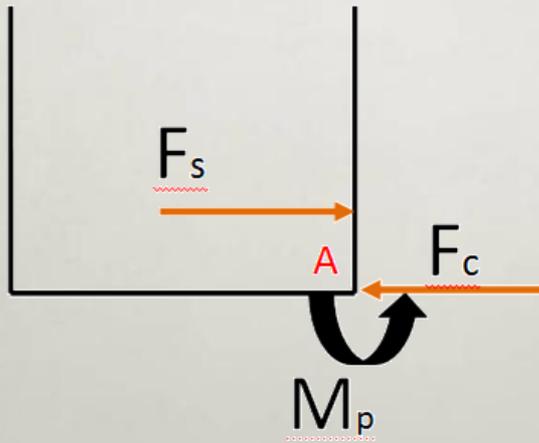
$$G_{xy} = 42000 \text{ (psi)} = 289,57 \text{ (Mpa)}$$

$$\nu = 0,35$$

(Fonte: manual de engenharia PULTRUX)

CÁLCULO ESTRUTURAL

DIAGRAMA DE CORPO LIVRE



Lei de Hooke para determinação
de deslocamentos

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

$$\epsilon_y = 0,0026$$

$$\epsilon_x = 0,0117$$

CÁLCULO ESTRUTURAL

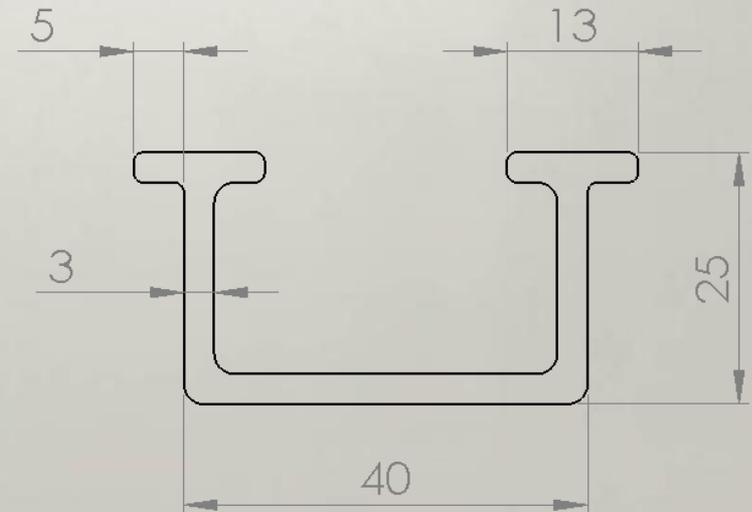
DIMENSIONAMENTO – PERFIL U

$$(N_x)_{cr} = \frac{t^3}{12b_f^2(6+15\xi+10\xi^2)} \left[-20(2+3\xi)E_y v_{xy} + 15.49\sqrt{(2+\xi)}\sqrt{(6+15\xi+10\xi^2)}\sqrt{E_x E_y} + 40(4+6\xi+3\xi^2)G_{xy} \right]$$

$$\xi = \frac{b_w}{b_f} \frac{1}{1 - \frac{6(b_w)^2}{\pi^2(b_f)^2} \frac{G_{xy}}{(\sqrt{E_x E_y} + E_y v_{xy} + 2G_{xy})}}$$

$$\sigma_{cr} = \frac{(N_x)_{cr}}{t}$$

$$t = 3,08 \text{ (mm)}$$



CÁLCULO ESTRUTURAL

DIMENSIONAMENTO – PERFIL TUBULAR

$$\sigma_x^\sigma = \frac{\pi^2 \left(\frac{t_f}{b}\right)^2 \left[\sqrt{q} \left(2 \sqrt{(E_x)_f (E_y)_f} \right) + p \left((E_y)_f (v_{xy})_f + 2 (G_{xy})_f \right) \right]}$$

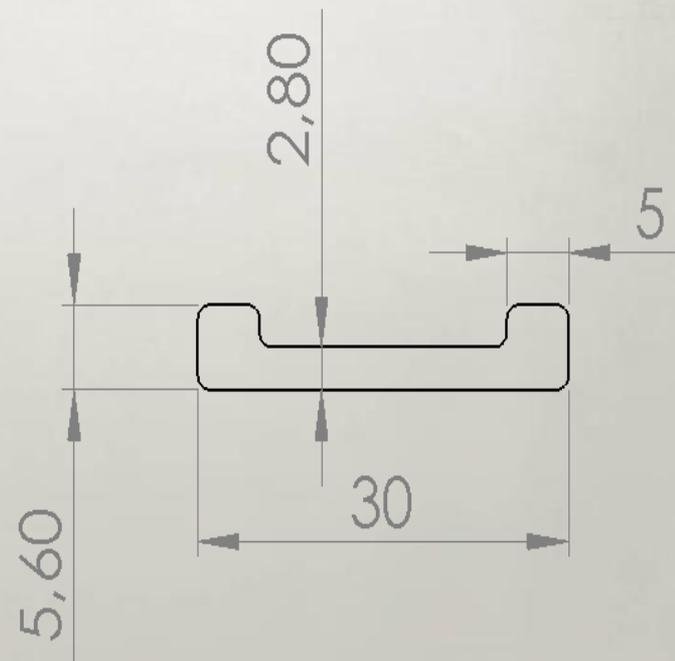
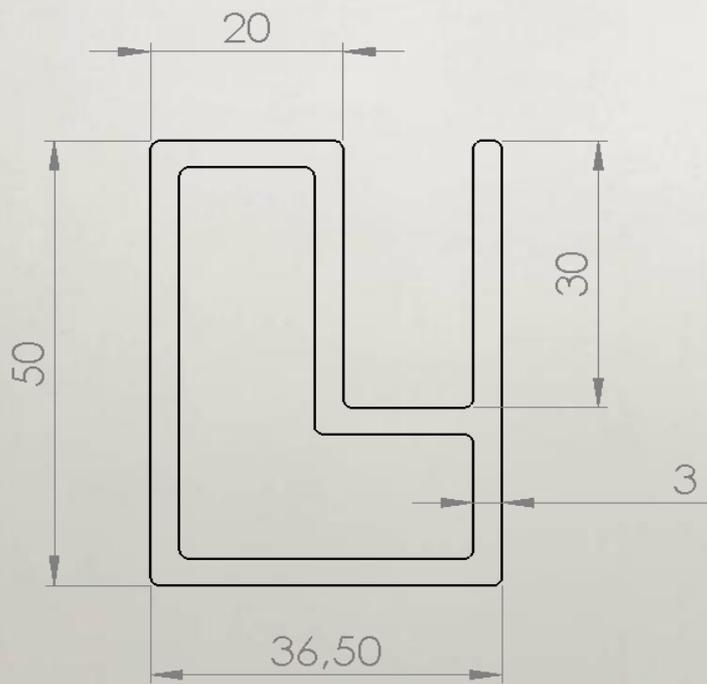
$$p = 2.0 + \left(\frac{0.002}{\zeta - 1.3} \right); q = 1.0 + \left(\frac{0.08}{\zeta + 0.2} \right); \zeta = \frac{b_w (E_y)_f}{b_f (E_y)_w}; b = b_f$$

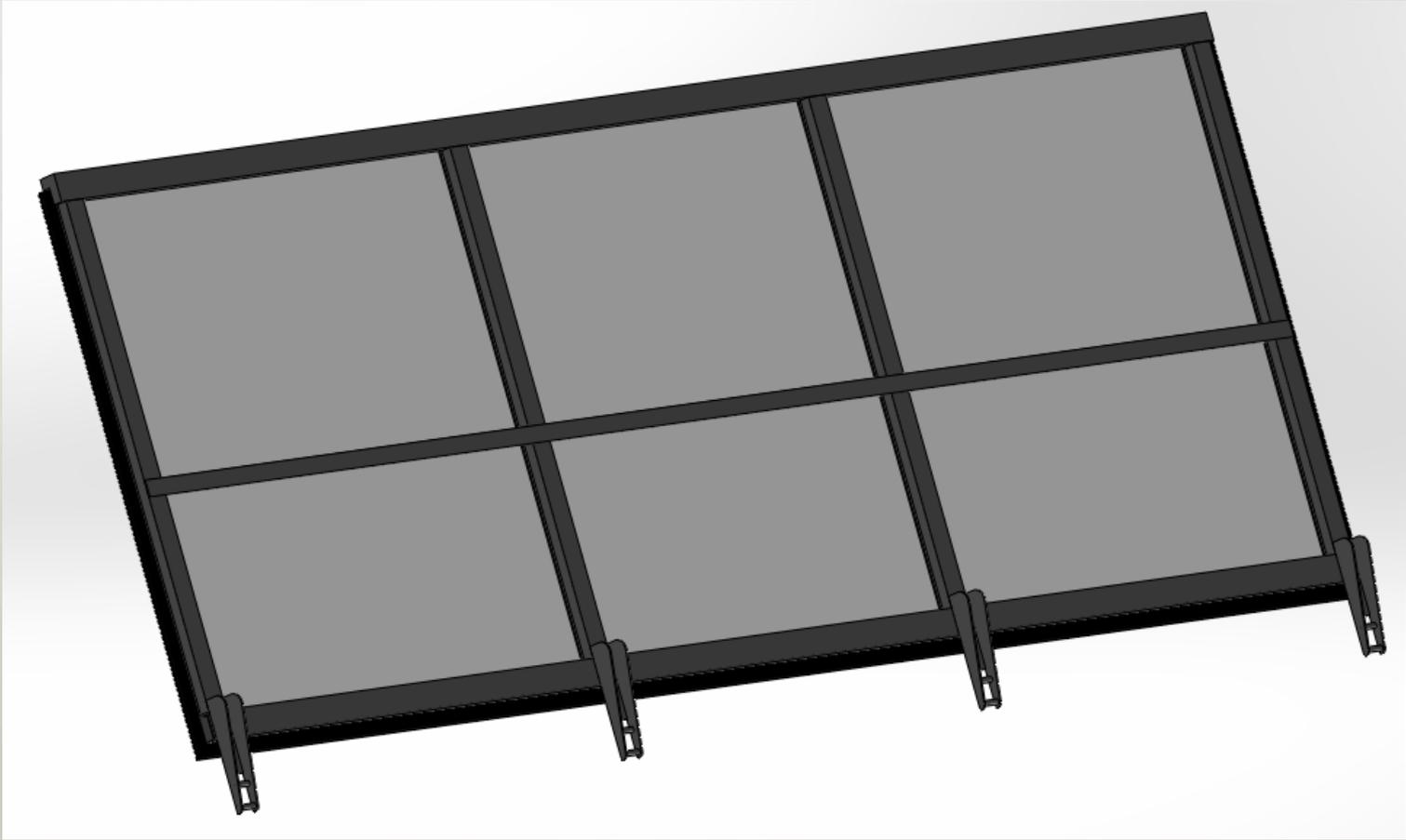
$$t = 2,04 \text{ (mm)}$$

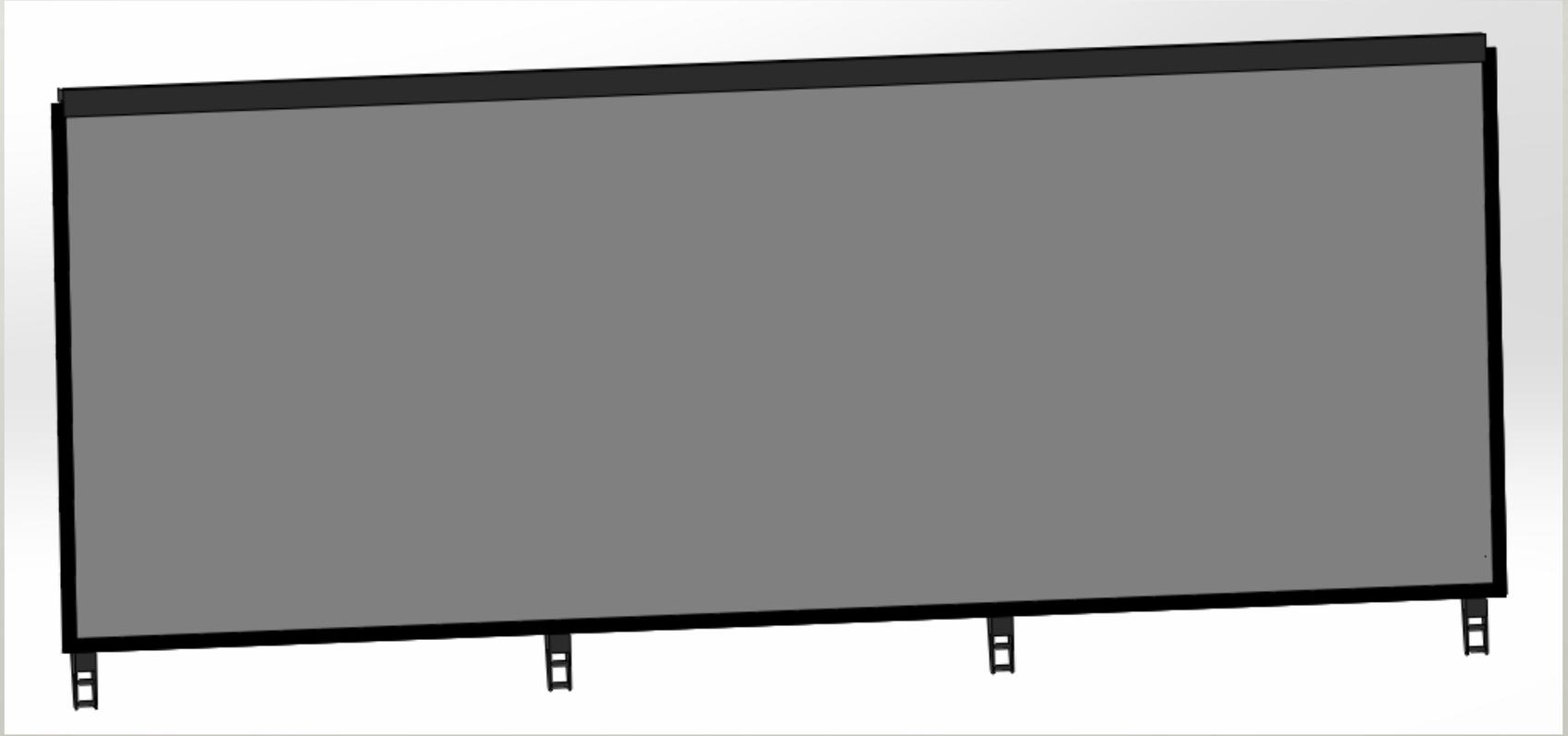


CÁLCULO ESTRUTURAL

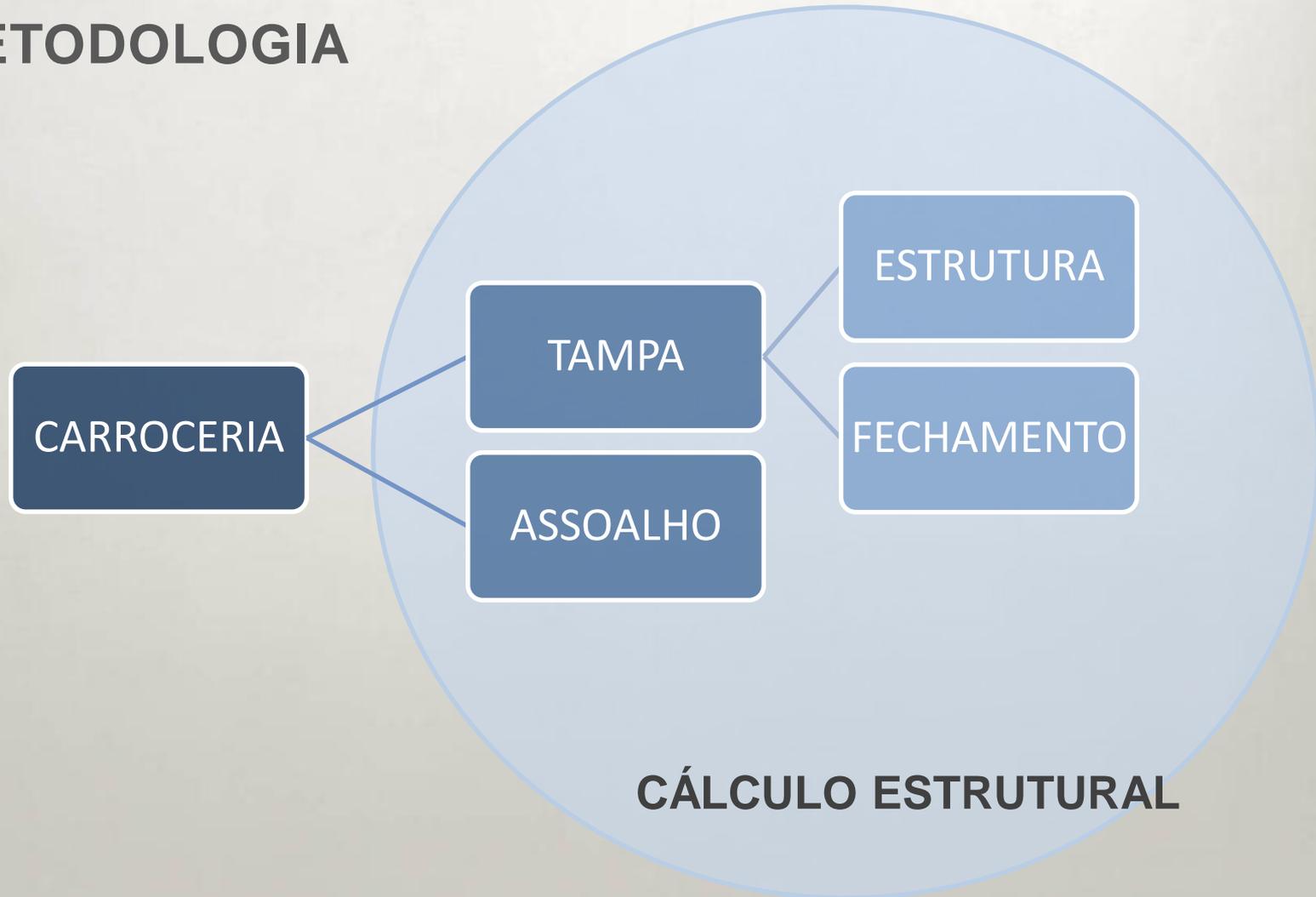
ELEMENTOS NÃO ESTRUTURAIS



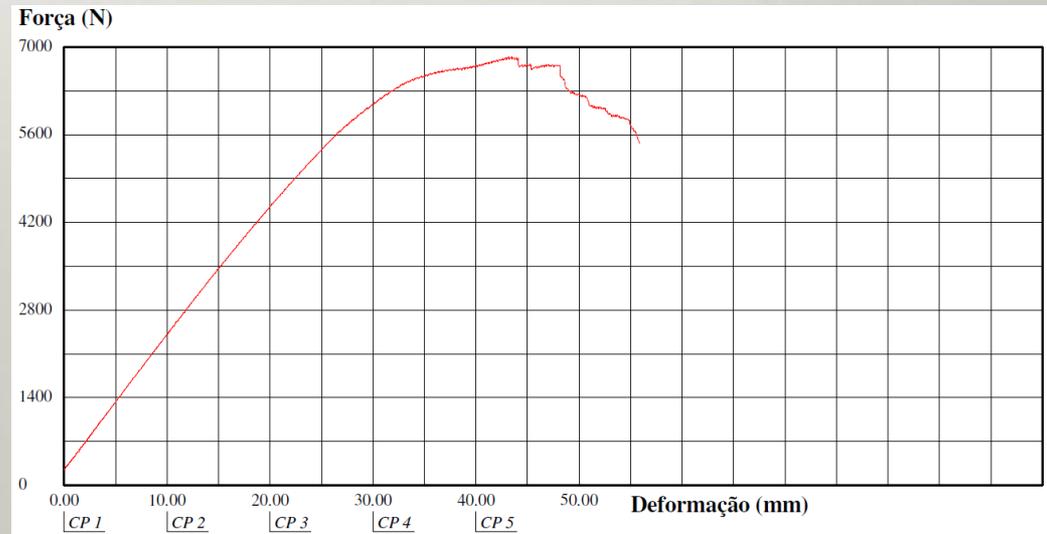




METODOLOGIA



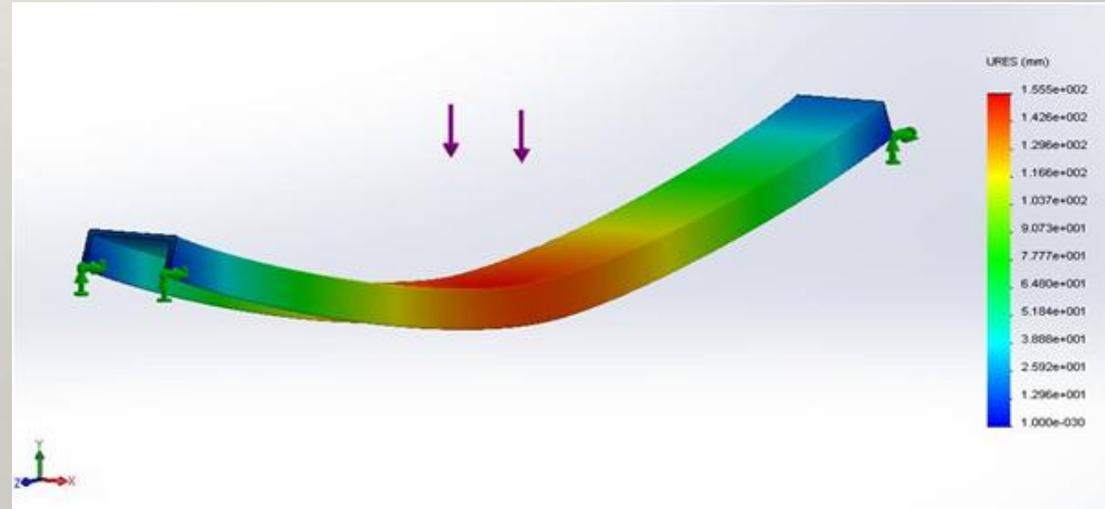
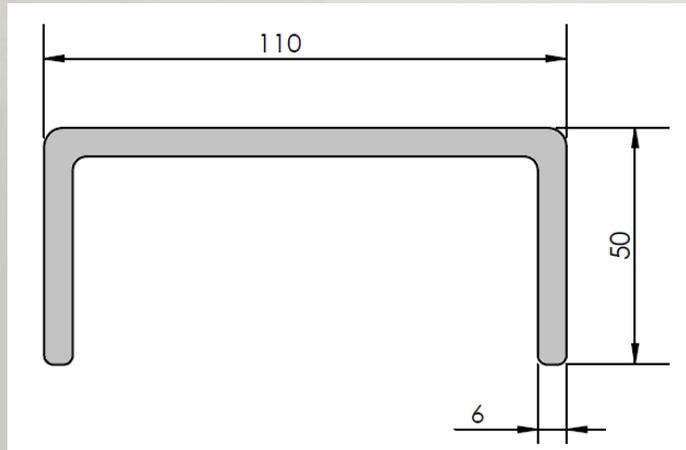
MADEIRA



MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

INPUTS:

- CARGA CONCENTRADA DE 7800 [N];
- BI-APOIADO COM MESMA DISTÂNCIA ENTRE APOIOS – 1000 [mm];
- GEOMETRIA DE PERFIS TIPO "U" CONHECIDAS;
- ENSAIO COM MODELO ORTOTRÓPICO LINEAR ELÁSTICO.



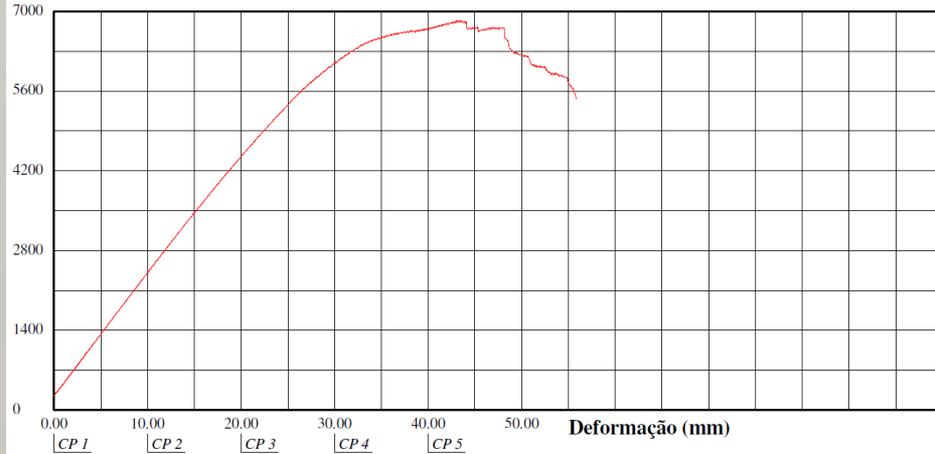
MADEIRA



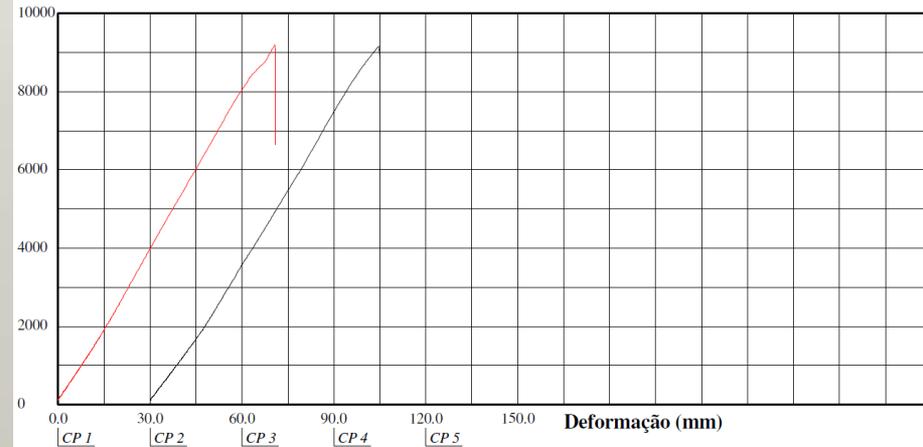
COMPÓSITO



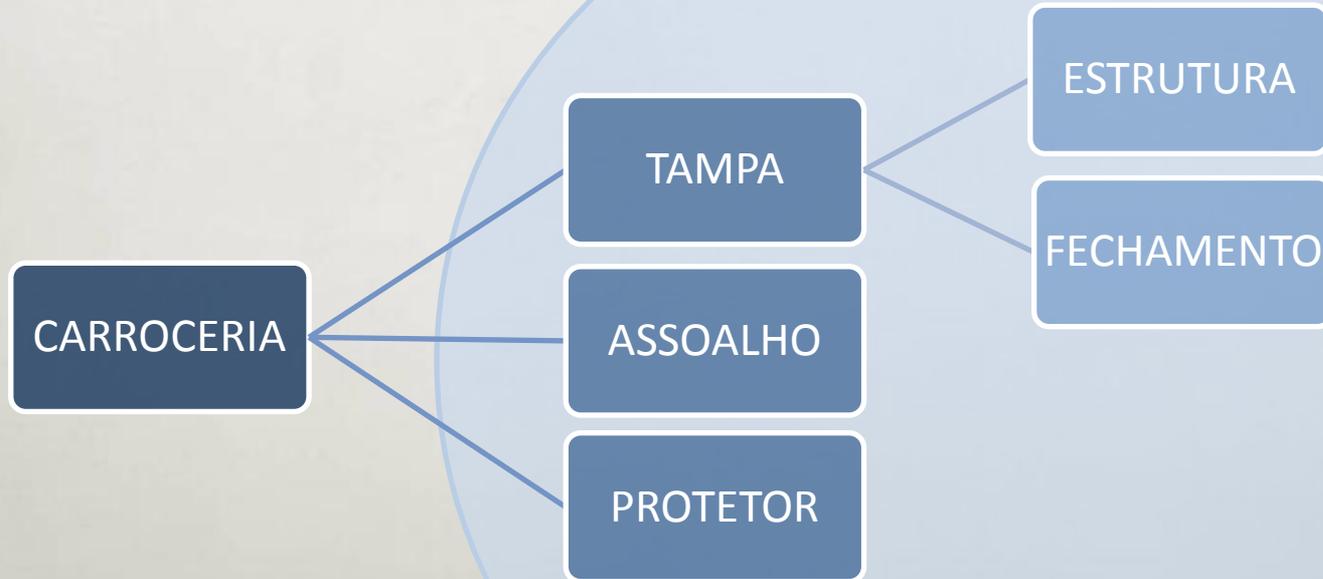
Força (N)



Força (N)



METODOLOGIA



CÁLCULO ESTRUTURAL

REFERENCIAL

Estudo publicado em 2013 por SINHORI, C. A. C. C., VIEIRA, C., LIMA, L. e SILVA, W. M

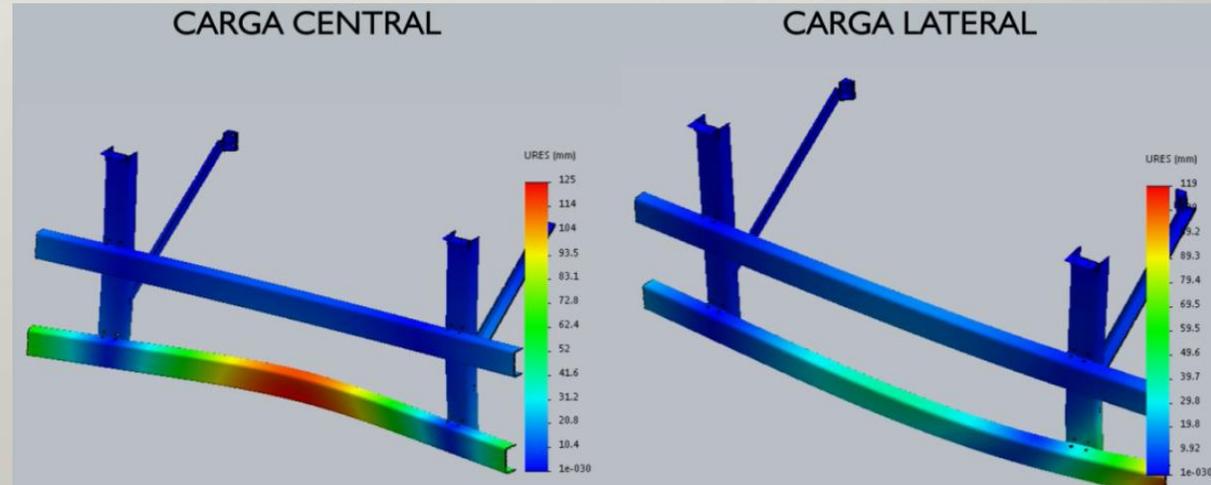
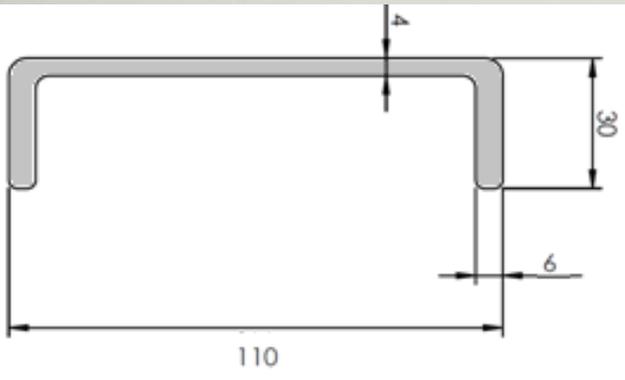
- RESOLUÇÃO CONTRAN 323/09 – RODOVIÁRIOS ACIMA DE 3500 [kg];
- DEFOMAÇÃO MÁXIMA DE 150 [mm] COM CARGA DE 5000 [N].

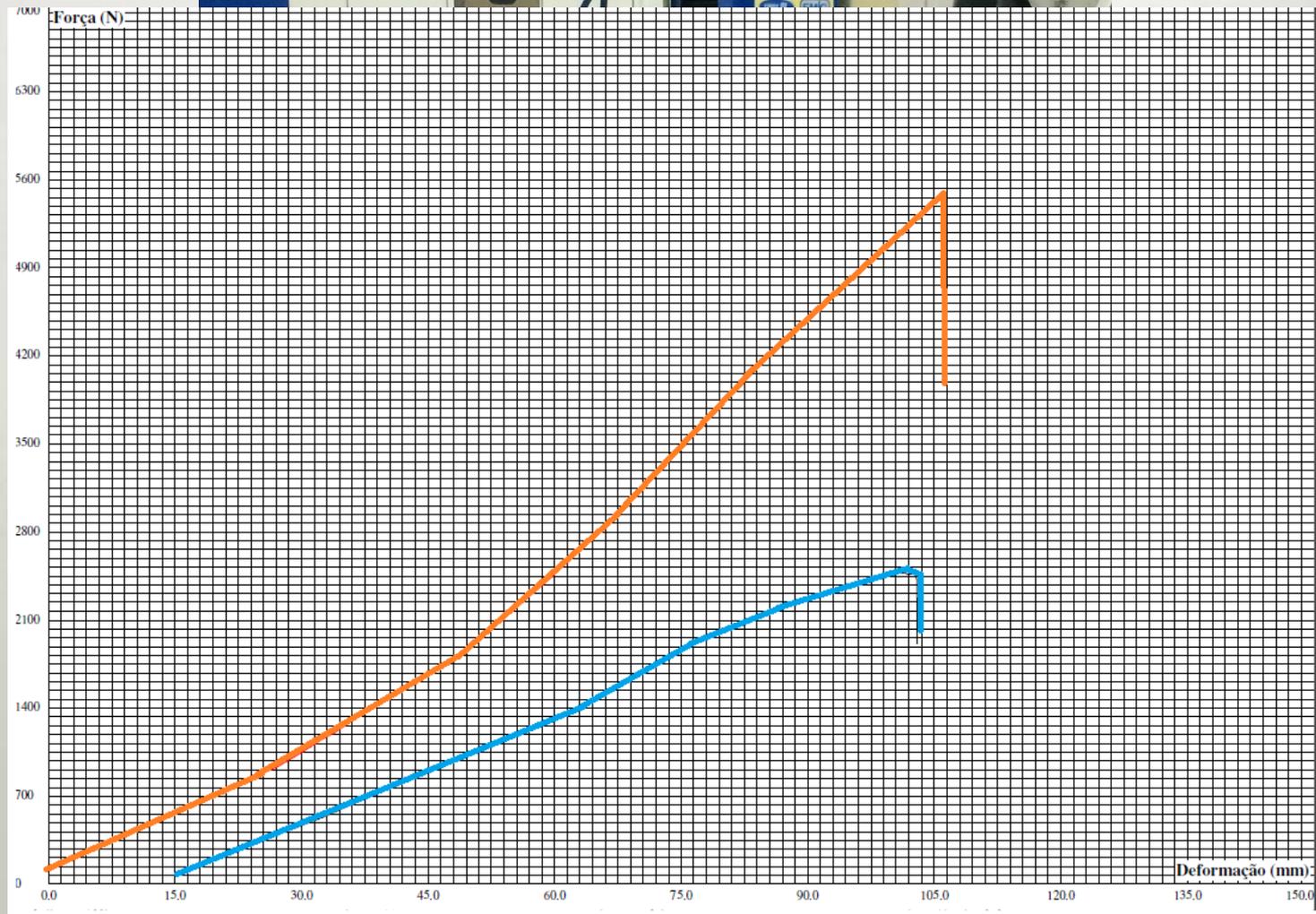


MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

INPUTS:

- CARGA CONCENTRADA DE 5000 [N];
- BI-ENGASTADO COM DISTÂNCIA ENTRE APOIOS DE 1320 [mm];
- GEOMETRIA DE PERFIS TIPO "U" CONHECIDAS;
- ENSAIO COM MODELO ORTOTRÓPICO LINEAR ELÁSTICO.







COMENTÁRIOS

PROBLEMAS FUNCIONAIS

INTRÍNSECOS AO MATERIAL

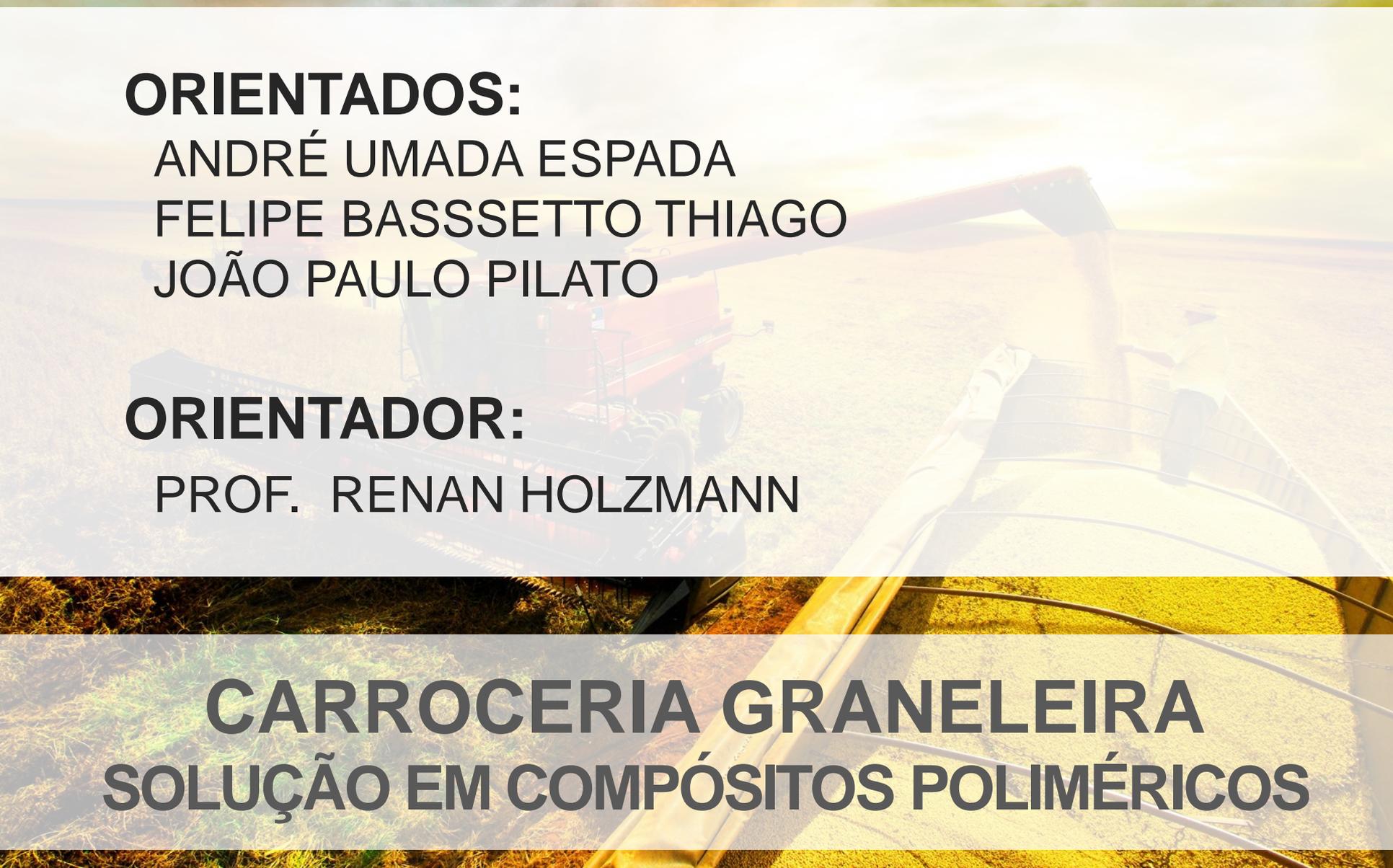
- ABSORÇÃO DE UMIDADE;
- BACTÉRIAS ALOJADAS NA MADEIRA;
- CORROSÃO EM FUNÇÃO DE FERTILIZANTES;
- DIFICULDADE DE LIMPEZA (ENCRUSTAÇÃO E RESÍDUO EM VÃOS);
- REDUÇÃO DE PESO;
- RESISTÊNCIA À INTEMPÉRIES;
- RESISTÊNCIA AO IMPACTO;
- CARGA DISTRIBUÍDA (carga hidrostática com densidade soja = $750 \text{ [kg/m}^3 \text{] })$

REDUÇÃO ESTIMADA DE 4%

ATENDIDO VIA MEF

POSSÍVEIS ESTUDOS FUTUROS

- ESTUDO DE ENVELHECIMENTO ACELERADO, VIA COMPARAÇÃO;
- PESQUISA DE ACEITAÇÃO DE MERCADO;
- ESTUDO DE PAYBACK (MANUTENÇÃO E CONSUMO);
- ESTUDO DE VIABILIDADE PARA LINHA DE PRODUÇÃO DA CARROCERIA.



ORIENTADOS:

ANDRÉ UMADA ESPADA
FELIPE BASSSETTO THIAGO
JOÃO PAULO PILATO

ORIENTADOR:

PROF. RENAN HOLZMANN

**CARROCERIA GRANELEIRA
SOLUÇÃO EM COMPÓSITOS POLIMÉRICOS**