

Workshop – Controle de Sobrepeso: Políticas e soluções tecnológicas

Estudo Francês para Fiscalização Direta do Excesso de Carga

Gustavo Garcia Otto
LabTrans/UFSC



IFSTTAR



Escopo da apresentação

- Descrição do Projeto
 - Organização e objetivos do estudo francês
- Pista do Carrossel de Fadiga em Nantes/França :
 - Características da pista
 - Equipamentos e sensores
 - Sequencia de testes
 - Resultados e perspectivas
- Caracterização dos Sensores de Pesagem
 - Ensaios em Laboratório
 - Modelo do comportamento sensores WIM
 - Comparação com ensaios no Carrossel de Fadiga
- Modelo de correção do efeito dinâmico da carga (tema de tese)
- Futuro da pesagem no Brasil

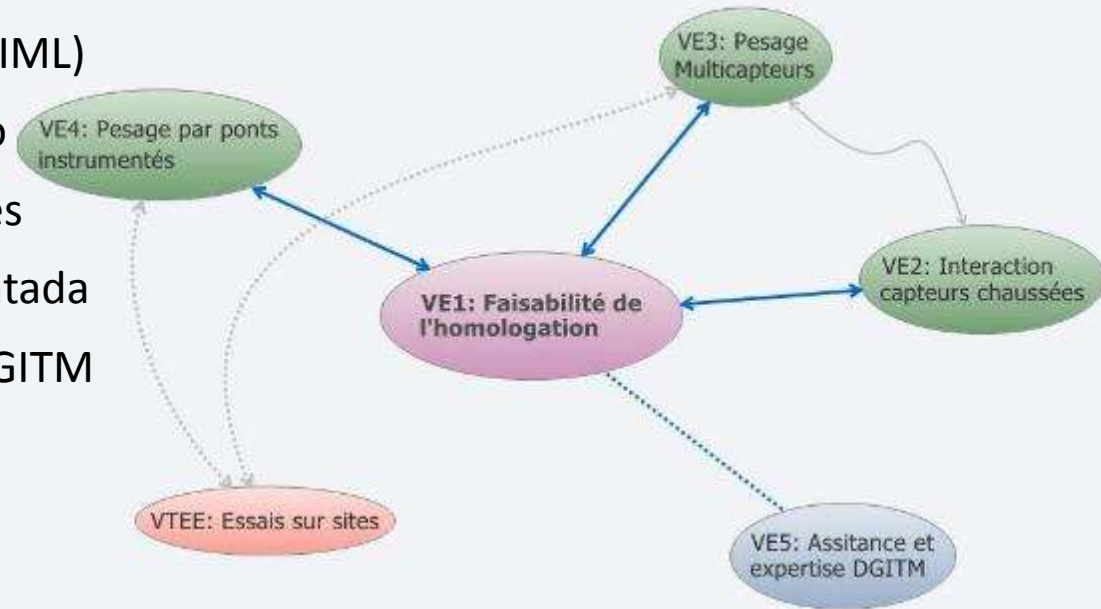
Descrição do Projeto

Controle a Sanção Automáticos do Excesso de Carga

- Título: “CSA – Surcharge”
- Projeto de 4 anos : 2013 – 2016
- IFSTTAR / CEREMA *CEREMA – Centro de estudos e de experiências sobre o risco, o meio ambiente, a mobilidade e o desenvolvimento*
- Objetivo: Implementação de pesagem em movimento em alta velocidade (HS-WIM) para a fiscalização direta do excesso de carga
- Duas (2) fases:
 - Fase 1 (2013-2014): estudo de viabilidade para homologação OIML de sistemas HS-WIM
 - Fase 2 (2015-2016): construção e teste de um protótipo

Organização do Projeto

- VE1 – viabilidade de homologação (OIML)
- VE2 – interação sensor e o pavimento
- VE3 – pesagem por múltiplos sensores
- VE4 – pesagem por pontes instrumentada
- VE5 – assistência e conhecimentos DGITM



Equipe IFSTTAR (Nantes):

Louis-Marie Cottineau
Pierre Hornich
Jean-Michel Piau
Jean-Michel Simonin
Olivier Chupin
Ivan Gueguen

Equipe IFSTTAR (Paris):

Bernard Jacob
Franzisca Schimidt

Equipe CEREMA:

Romain Dronneau (VE1)
Eric Klein (VE3 e VTEE)
J-P Gentil (VE3 e VTEE)

Projeto:

VE2 – interação sensor pavimento

■ Objetivo:

- Estudar o comportamento dos sensores de pesagem e comportamento do pavimento para aumento da precisão dos sistemas de pesagem

■ Dois estudos realizados em Nantes:

- Na pista do Carrossel de Fadiga, e
- Caracterização de sensores em laboratório

■ Estudos em Saint Avoild (Bouchepon) estudos em uma seção da rodovia A4 (estudo ainda será realizado)

Carrossel de fadiga

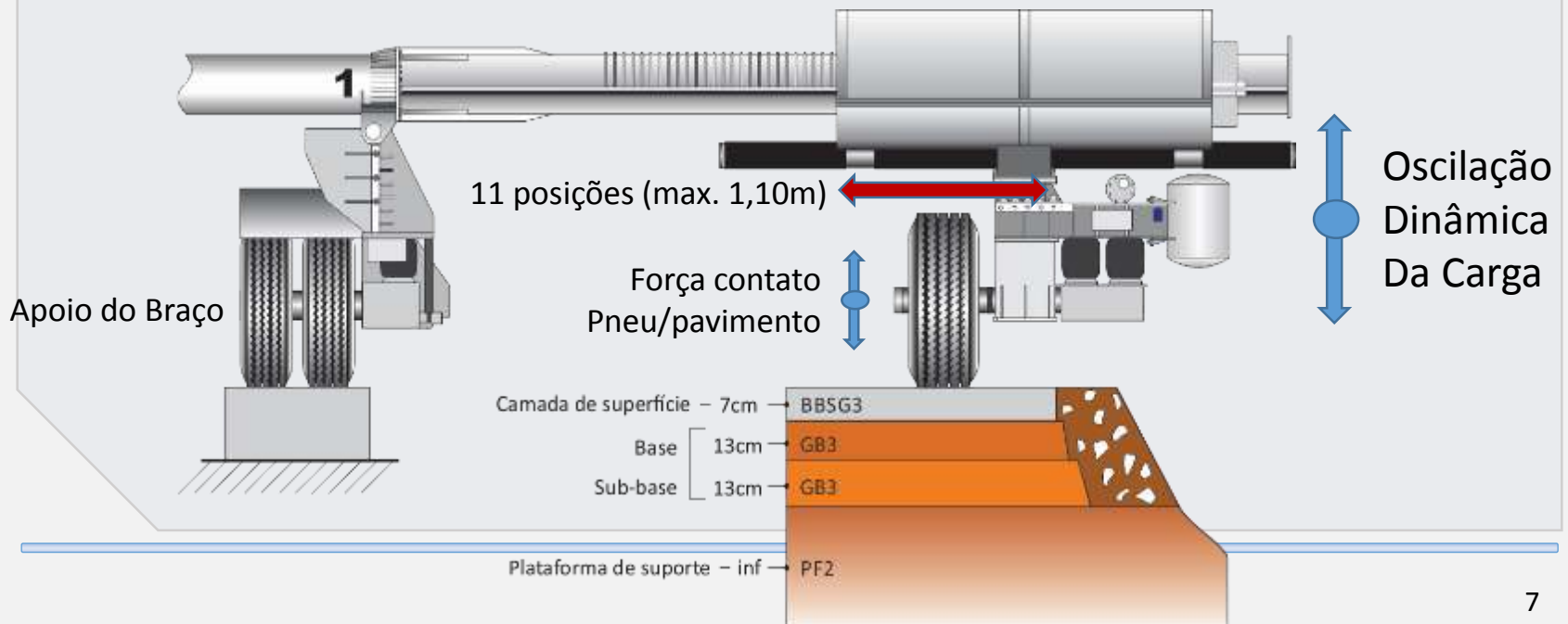
IFSTTAR / LAMES - Laboratório de Auscultação, Modelização, Experimentação de Infraestrutura de Transportes

- 4 braços (4 semieixos configuráveis)
- Diâmetro: 40 metros (120m percorridos por volta)
- Pavimento de 6 metros de largura
- Cargas acima de 65kN por braço
- Velocidade máxima de 100 km/h



Pista do Carrossel de Fadiga

- Estrutura do pavimento do tipo GB3, concepção para rodovias de tráfego pesado:
 - Camada de rolamento de 7cm
 - Comadas de base tratadas com ligante betuminoso



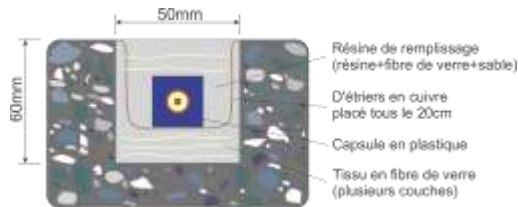
Instrumentação

- Braços do equipamento:
 - Velocidade, posição da roda, número de voltas, ...
 - Acelerômetros
- Pista experimental:
 - Sensores de pesagem WIM: tecnologias quartzo, cerâmico e polímero (10 sensores)
 - Sensores no pavimento: temperatura (diferentes profundidades, deformação longitudinal e velocidade de deslocamento vertical (geofones), deflexão do pavimento (sensores ancorados))

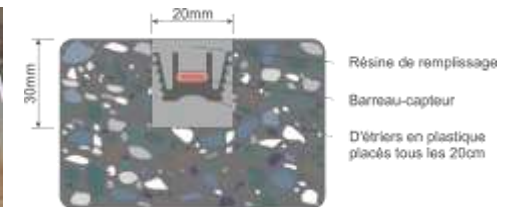


Tecnologias WIM testadas

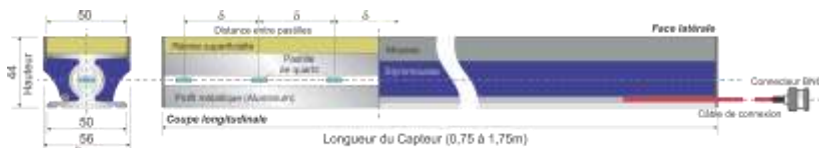
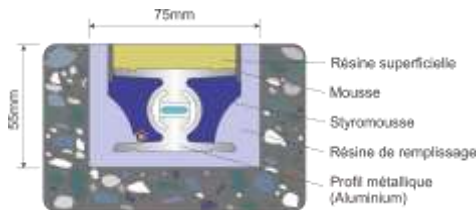
Ceramico – Thermocoax



Polímero – BL Meas-Spec



Quartzo – Kistler



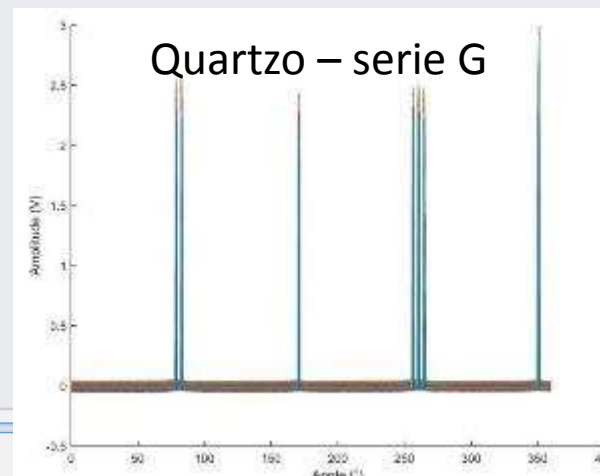
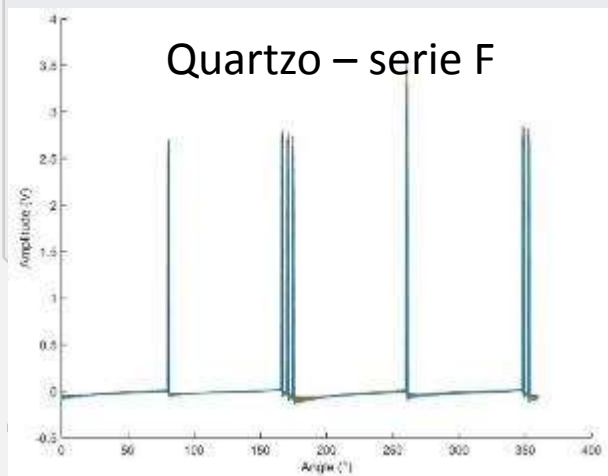
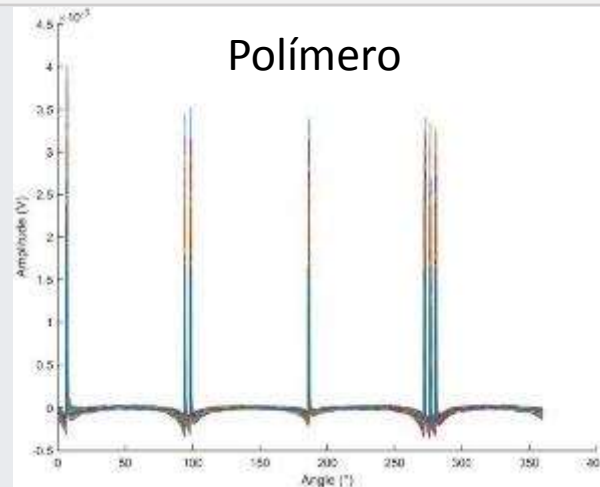
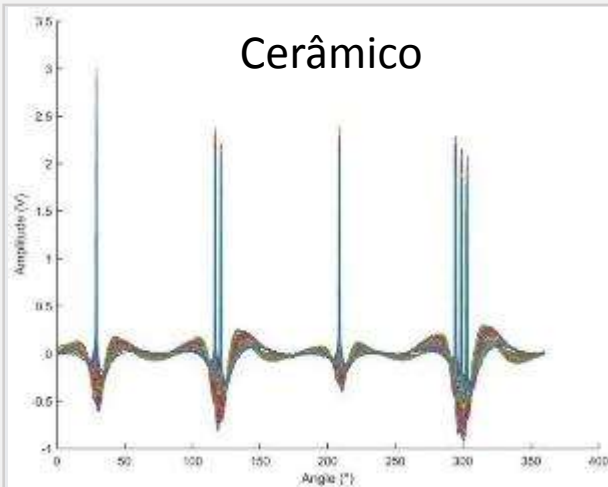
Tecnologias de sensores de pesagem:

- Piezoelectrico Quartzo
- Piezoelectrico Cerâmico
- Piezoelectrico Polímero

Sequencia de testes

- Sequencia 1: (sequencia de referencia)
 - 4 braços com rodado simples, mesma carga (45kN), pressão nos pneus (8,5bar)
 - 11 posições, 3 velocidades e 2 temperaturas (manhã e a tarde) = 66 condições
- Sequencia 2:
 - Variação da carga (45kN vs 55kN)
 - Pressão: sub-inflado (7bars) e super-inflado (9bars)
 - 11 posições, 3 velocidades e 2 temperatura = 2x66 condições
- Sequencia 3:
 - Pneu simples (45kN), Rodado simples (65kN), Tadem (90kN) e Tridem (135kN) – somente duas velocidades possíveis
 - 44 condições gravadas

Resultados: Sequencia 3



Todas 44 condições
12 passadas
529 voltas

SIMONIN, J.M.
apresentação visita DNIT ao
LAMES, IFSTTAR/Nantes,
nov. 2014.

Processamento dos dados

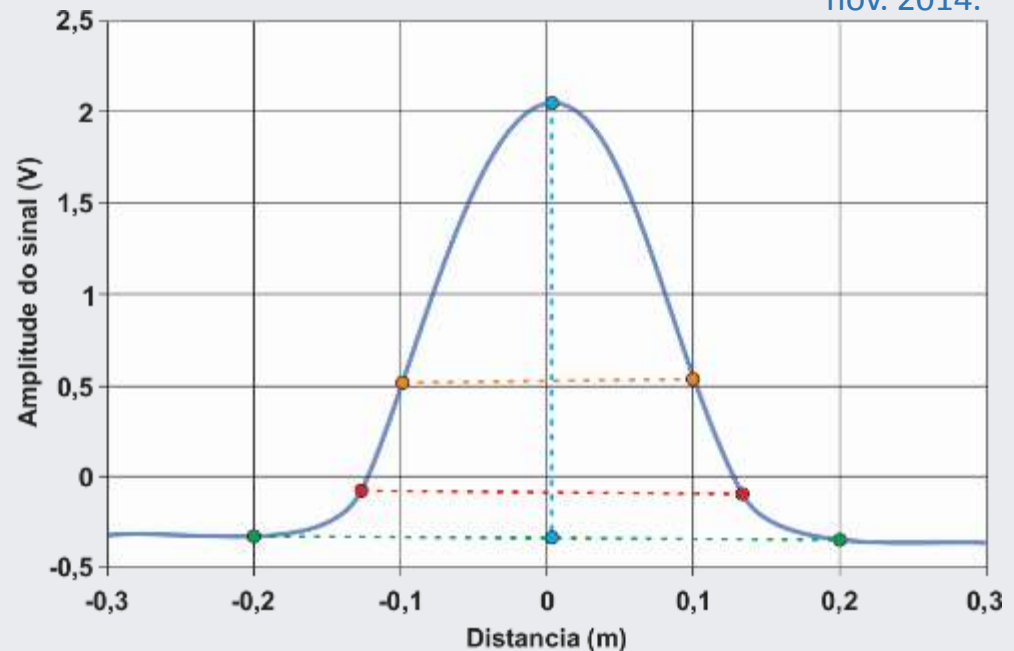
■ Processo:

- Encontrar o centro do pulso
- Definir a linha de base (40cm de comprimento, nível da curvatura)
- Estimar os indicadores (superfície, máximo, largura)

SIMONIN, J.M.

apresentação visita DNIT ao
LAMES, IFSTTAR/Nantes,
nov. 2014.

Sinal ———
Máximo/4 - - - -
Largura do sinal em 10% - - - -
Base de 40cm centrado - - - -
Altura do sinal para 40cm - - - -

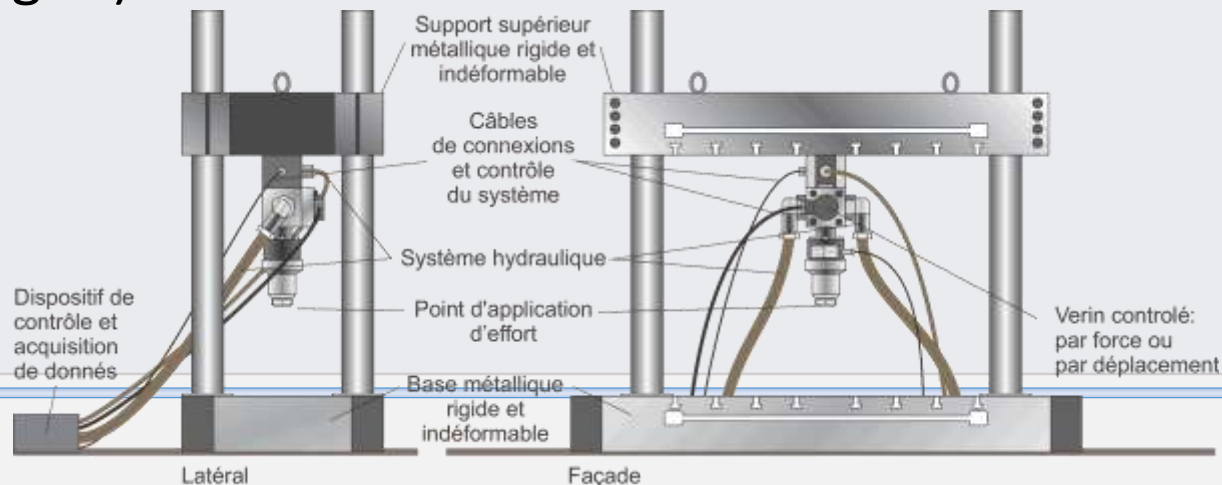


Conclusões e perspectivas

- Boa repetitividade entre os sensores ($\approx 3\%$)
- Efeitos devido a:
 - Temperatura (sensor polímero)
 - Dinâmica da carga ($>15\%$)
 - Posição transversal da carga com relação os sensor
- Análise a serem completadas:
 - Reprodutibilidade (posição + velocidade, posição + velocidade + temperatura)
 - Uso de acelerômetros para estimar a carga dinâmica
 - Como estimar a carga dinâmica em campo?

Estudos de Caracterização dos sensores

- Estudos em Laboratório
 - Ensaio de punção pura
 - Ensaios de flexão 3 pontos
- Tecnologias sensor quartzo (serie F) e sensor cerâmico (dificuldades de montagem devido ao tamanho e a baixa rigidez)
- Comparações com os estudos no Carrossel de fadiga (3 tecnologias)



Modelo do comportamento elétrico dos sensores WIM

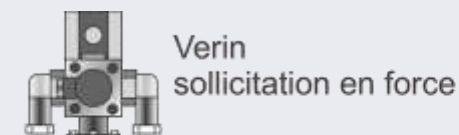
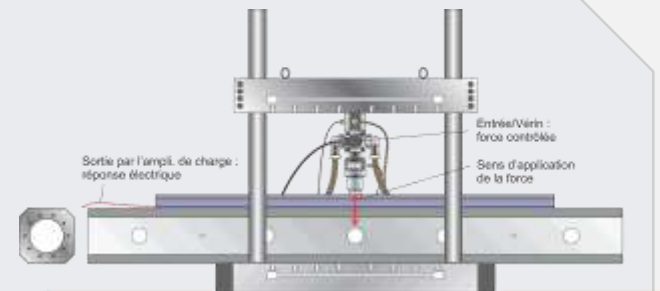
- Hipótese de base: resposta elétrica do sensor Q (saída do sensor) em função:

- ação direta da força no contato pneu/sensor
- flexão do sensor colado ao pavimento

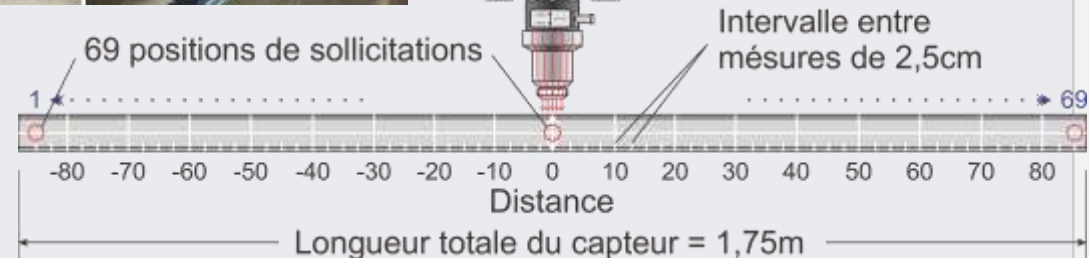
$$Q^* = \int_0^l p^*(s)f^*(s)ds + \int_0^l r^*(s)C^*(s)ds$$

- Vamos supor que a carga elétrica produzida no comprimento do sensor é dependente linearmente da distribuição de força $f^*(s)$ aplicada a superfície e da curvatura $C^*(s)$
- Objetivo: determinar em laboratório os coeficientes p^* e r^* e assim determinar o que a relação entre as duas condições

Estudos em Laboratório: Ensaio de punção pura – sensor Kistler

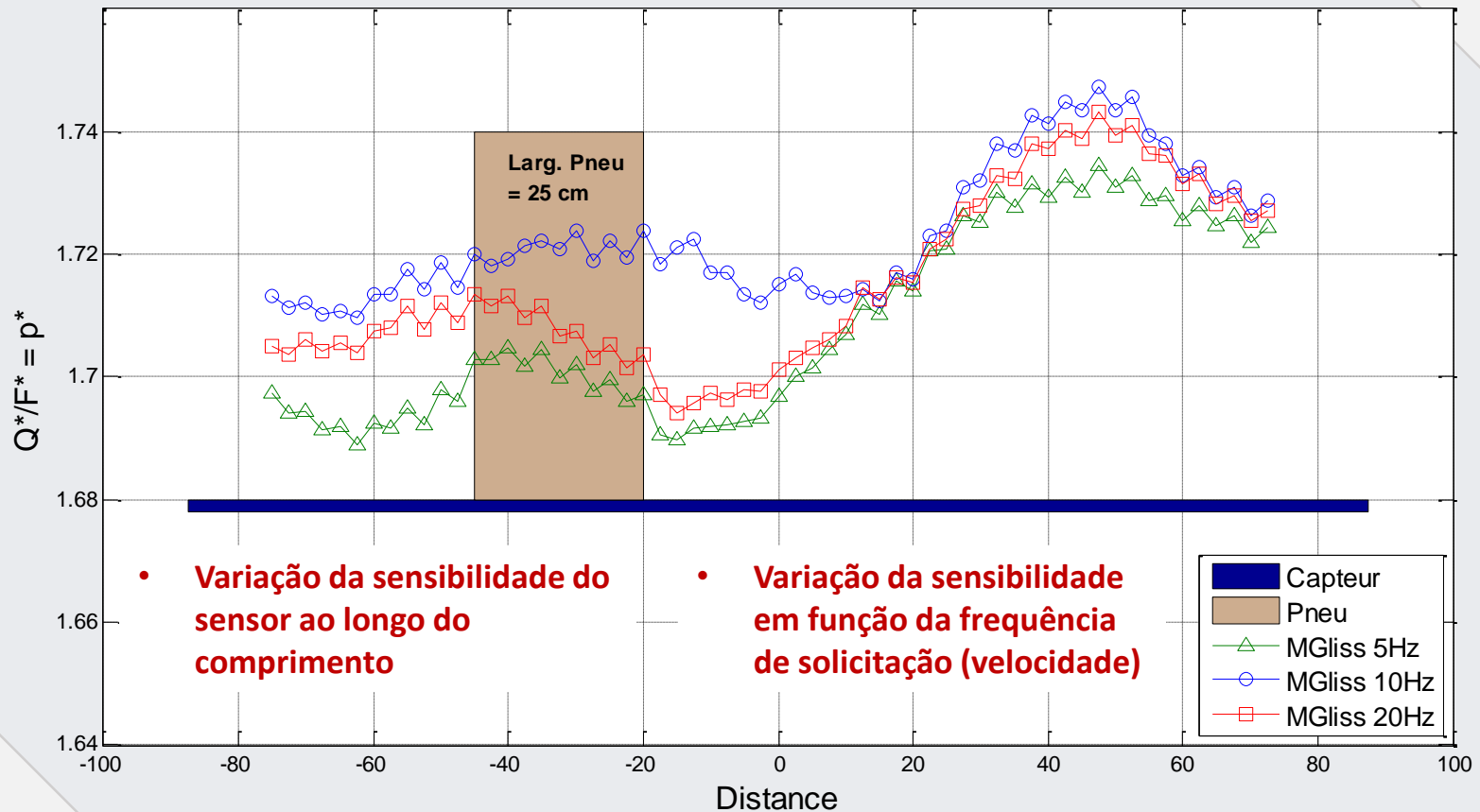


- Distância entre solicitações – 2,5cm
- Posicionado no eixo central do sensor
- Frequências de solicitação: 5, 10 e 20Hz



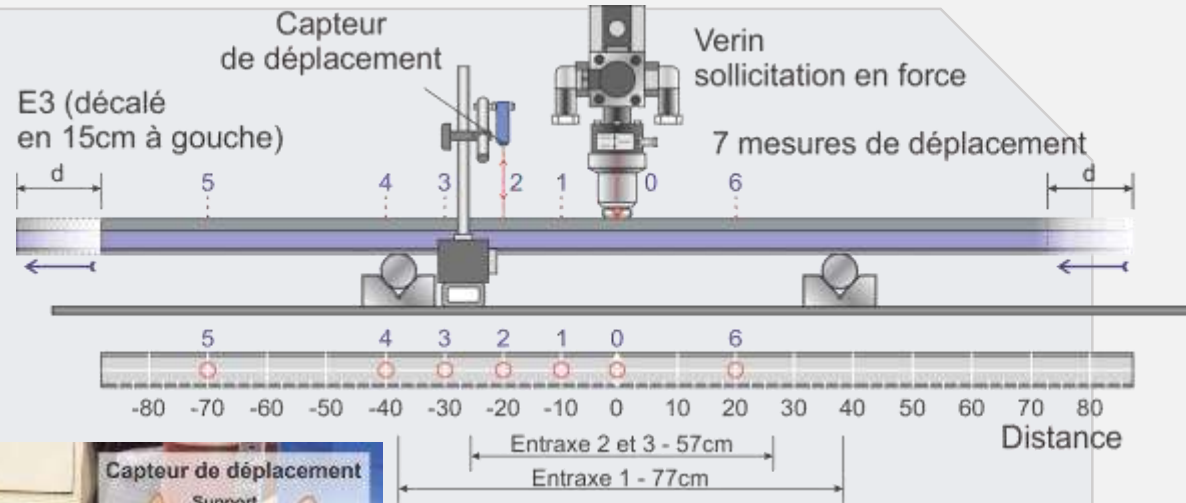
Estudos em Laboratório:

Ensaio de punção pura – sensor Kistler serie F



Estudos em Laboratório: Ensaio de flexão 3 pontos – sensor Kistler serie F

- 2 condições (face A e B) e
- 3 distâncias entre apoios (77, 57 e 57cm deslocado 15cm)
- Frequências: 0,5 até 20Hz

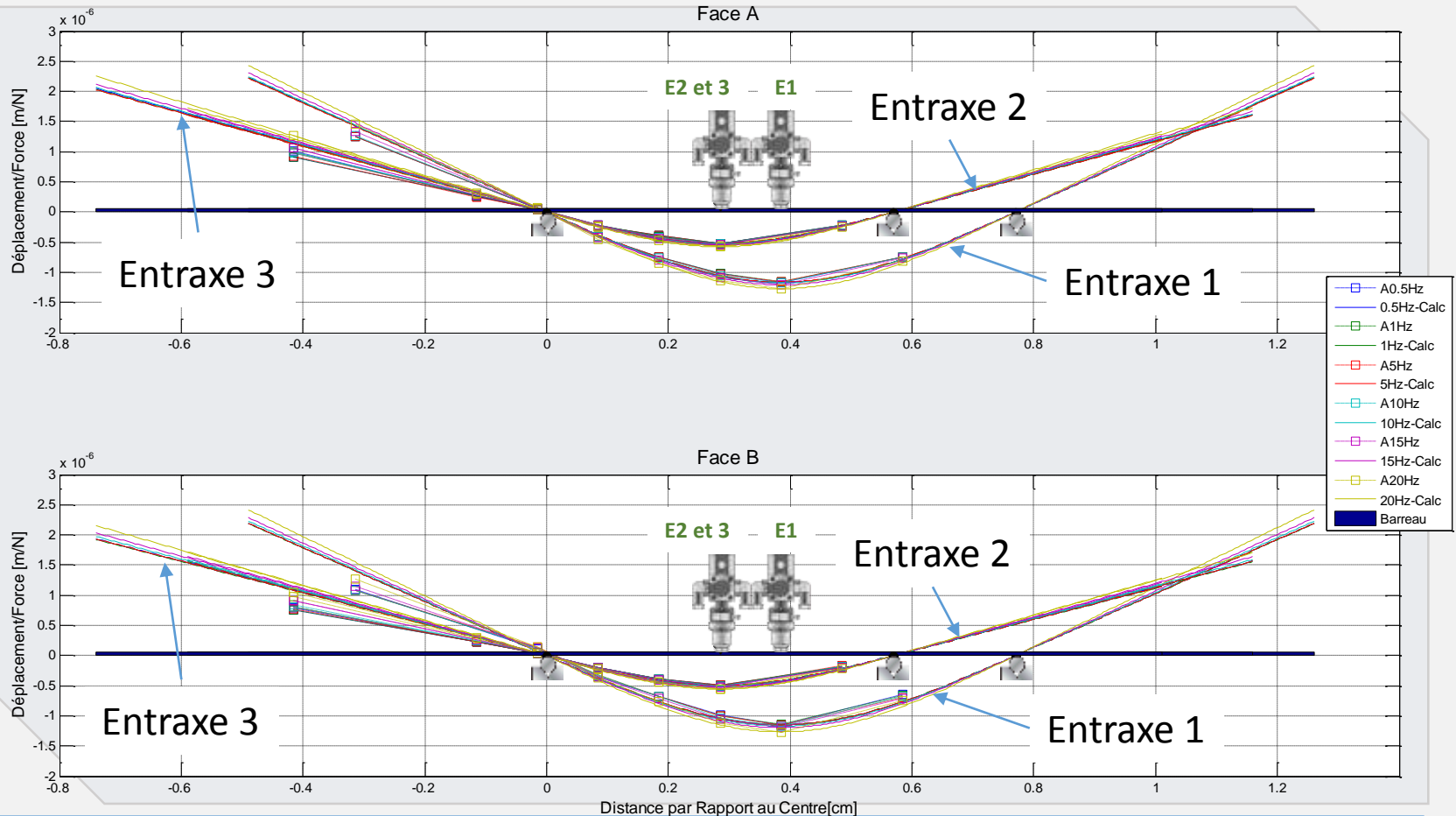


Face A

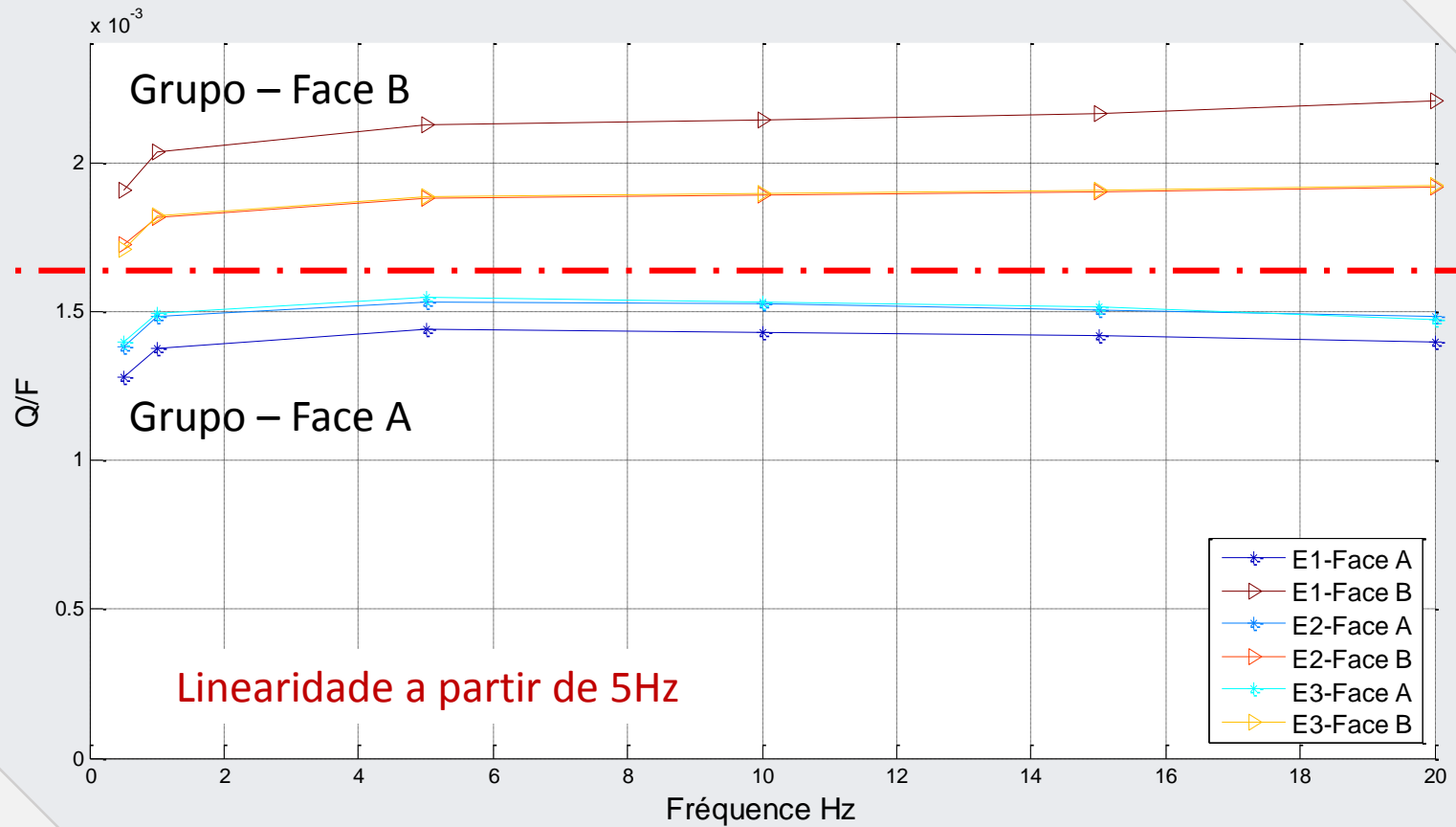
Face B



Estudos em Laboratório: Rigidez mecânica



Estudos em Laboratório: Comportamento elétrico



Relação entre Punção e Flexão

Sensor Kistler - serie F

$$Q_A^* = 1,6 * F^* - \int_0^l 18,1 C^*(s) ds \quad Q_B^* = 1,7 * F^* + \int_0^l 49,7 C^*(s) ds$$

- Se $F^*=65$ kN e $C^*=1/2000$, então a integral é negligenciável

$$Q_A^* = 1,6 * 65 - 18,1 \int_0^{1,75} C^*(s) ds \quad Q_B^* = 1,7 * 65 + 49,7 \int_0^{1,75} C^*(s) ds$$

$$\int_0^l C^*(s) ds = \int_0^{1,75} 1/2000 ds = 0,000875$$

- Conclusão: C^* est negligenciável (em torno de 0,02% - 0,04%)

$$Q_A^* = 103,47 - 0,02 = 103,45$$

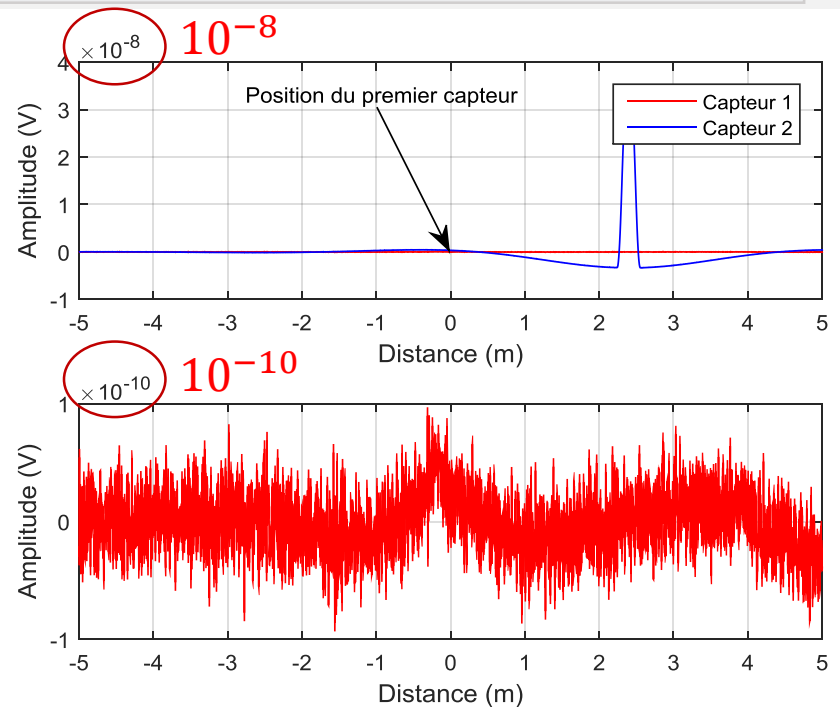
99,98%	0,02%
--------	-------

$$Q_B^* = 110,54 + 0,04 = 110,58$$

99,96%	0,04%
--------	-------

Estudos na Pista: Ensaio com placa - Kistler

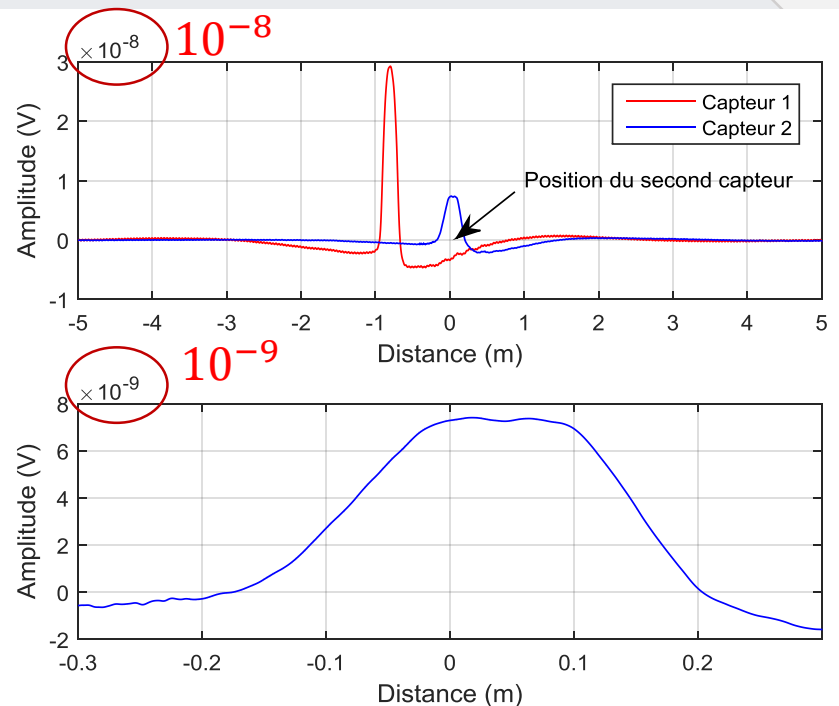
- Na presença da placa o sinal é quase nulo
- O máximo medido representa menos de 0,3% daquele medido se a placa.
- A resposta do sensor é proveniente principalmente do efeito de punção pura



Estudos na Pista:

Ensaio com placa - Thermocoax

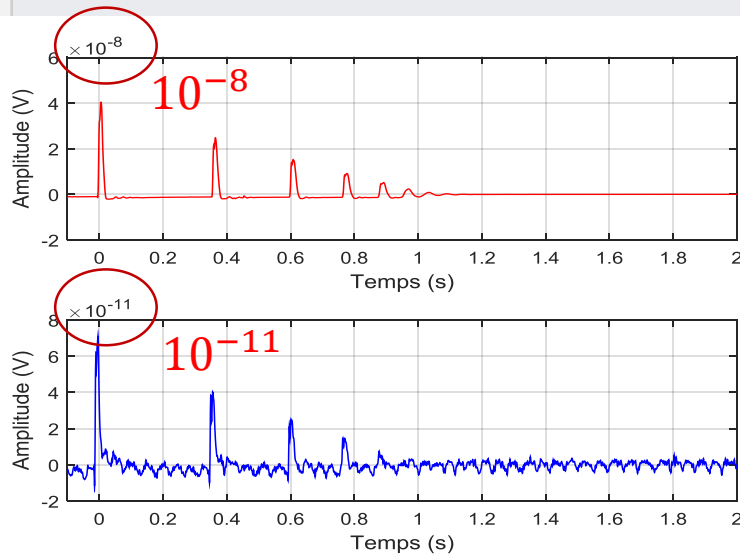
- Os sinais observados em presença da placa não é negligenciável
- Representa próximo de 25% do nível medida de medições
- A rigidez do pavimento, em sua flexão tem influência sobre o nível das medições



Estudos na Pista: Ensaio com FWD

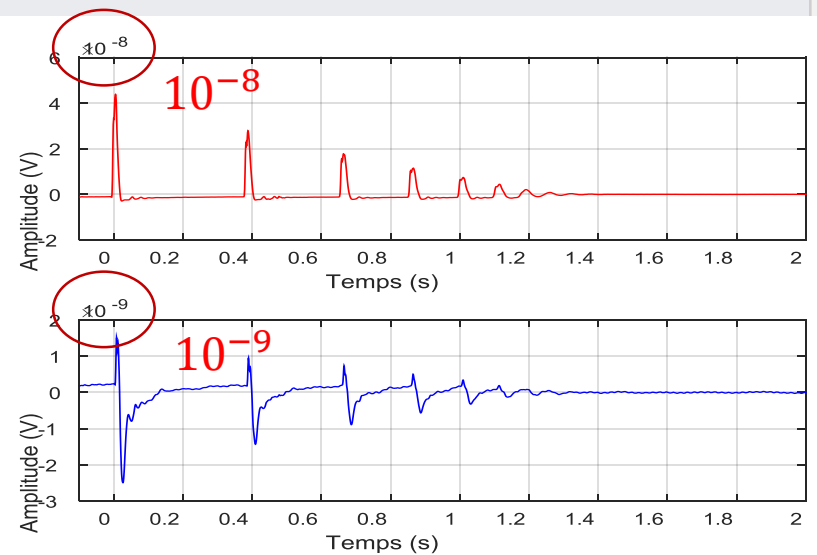


■ Sinal dos sensor Kistler série G



Relação de amplitude de 0.2%

■ Sinal dos sensor Thermocoax



Relação de amplitude de 10%

Modelo:

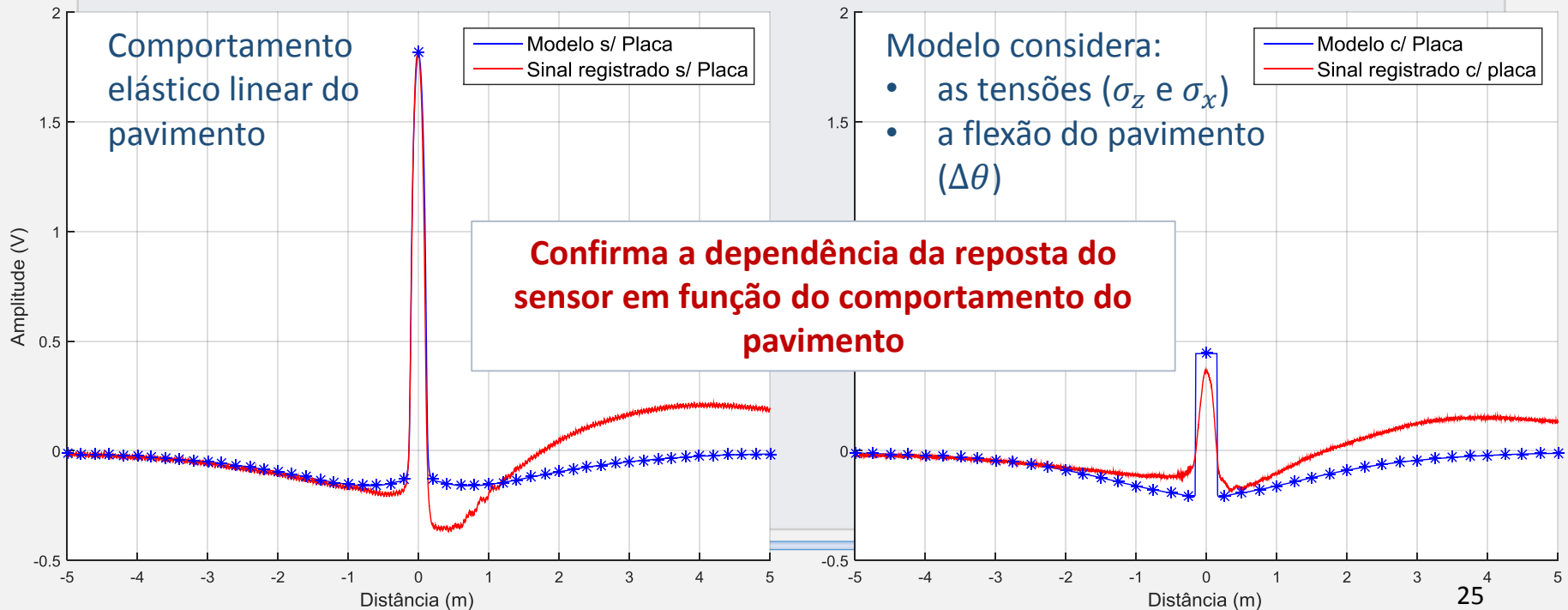
Resposta de sensor Q^* em função do comportamento do pavimento

- Modelo função do comportamento do pavimento e da carga passante sobre o sensor, nas das condições: com e sem a placa

Coeficientes Ajuste do Modelo

$$p^* = 3,9 \quad r^* = -1600$$

$$Q^* = \int_0^l p^* f^*(s) ds + \int_0^l r^* C^*(s) ds$$

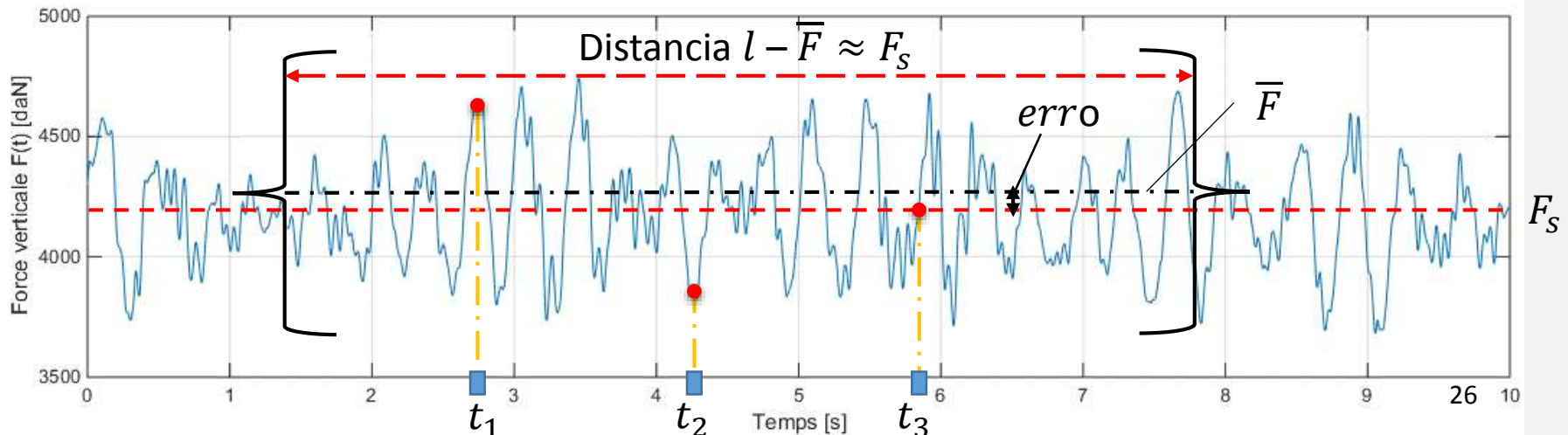


Proposta para tese:

Estimar efeito dinâmico da carga

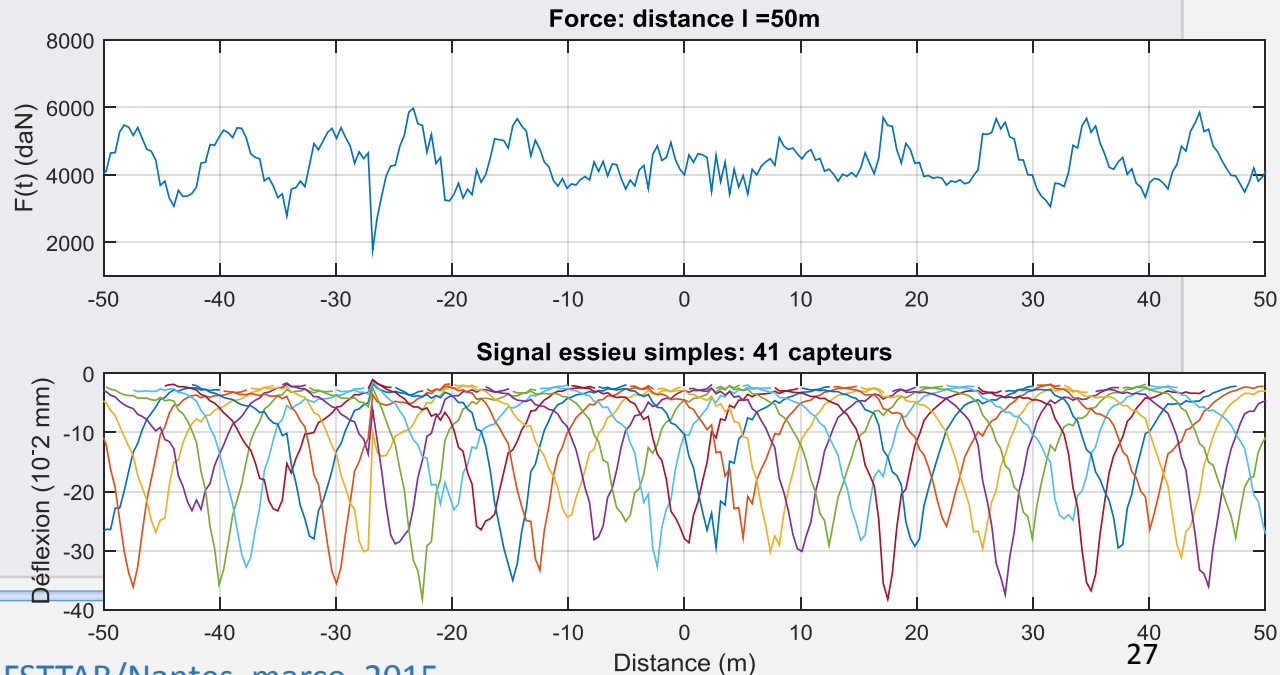
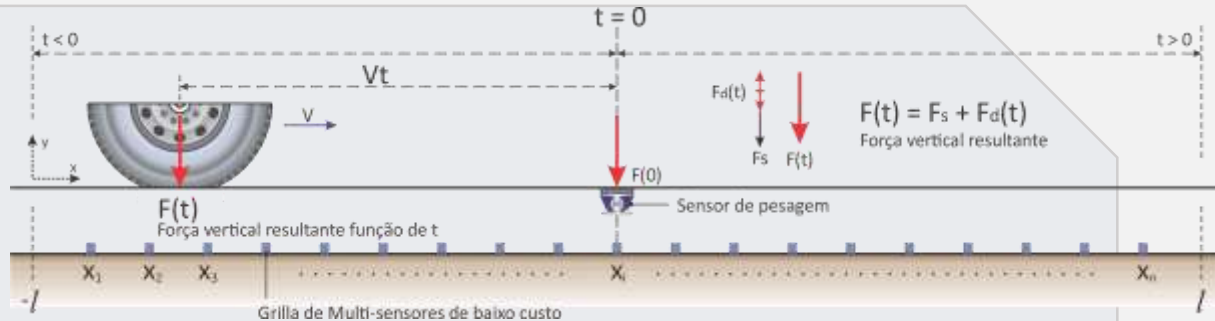
- Oscilação dinâmica da carga é um dos principais desafios da pesagem em movimento
- Método proposto:
 - correção do valor da Força medido pelo sensor de pesagem utilizando uma grelha de sensores no pavimento (**baixo custo**)

OTTO, G.G. Apresentação LAMES, IFSTTAR/Nantes, março. 2015.



Proposta para tese: Estimar efeito dinâmico da carga

- Sensor de pesagem situado em $x = 0$, permite registrar precisamente a força $F(0)$ neste ponto
- Grelha de sensores posicionados dentro do intervalo l onde $\bar{F} \approx F_{estático}$
- Sensores no pavimento permitem identificar a força (**menor precisão**) dentro do intervalo l
- Conjunto de medições permitem corrigir a força medida em $x = 0$



Próximas fases da pesquisa França

Pista de Saint Avoird A4

- As próximas etapas são os testes a serem realizados no sítio experimental de Sant Avoird A4
- Características:
 - Uso de diferentes tecnologias de pesagem
 - Aberto ao tráfego
 - Velocidade diretriz da via
 - Variação de condições climáticas

Futuro da pesagem no Brasil:

Pesquisas em andamento no Brasil em WIM

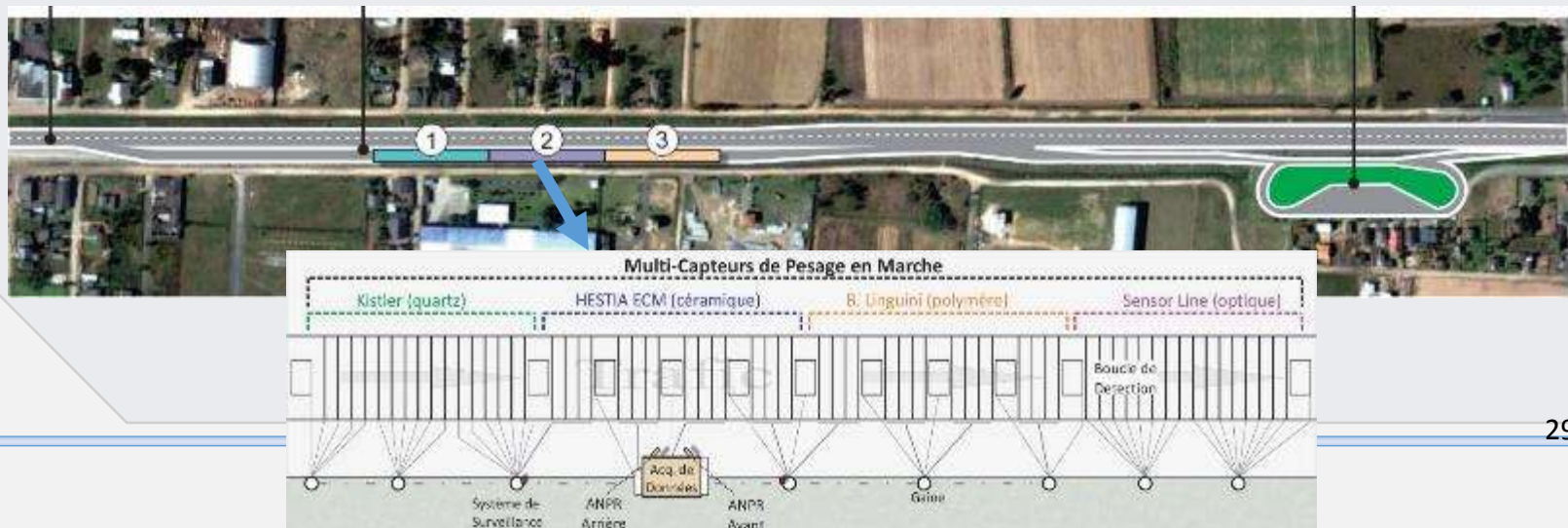
■ Pesquisa de pesagem em movimento no Brasil

- Pista experimental – 700m acesso controlados aos veículos pesados
 - Diferentes tecnologias de sensores (quartzo, cerâmico, polímero, ótico)
- Piste – 200m aberto ao tráfego
 - Diferentes tecnologias de sensores (quartzo e extensômetros)
 - Estrutura do pavimento (método de dimensionamento Francês)

Pista 200m

Pista expérimantal – 700m

Posto de Pesagem - DNIT



Futuro da pesagem no Brasil:

Próximas fases em WIM Brasil

- Unidade avançada de pesquisa de operações rodoviárias
- Restruturação da Pista Experimental e Posto de Fiscalização:
 - 6 Seções de pavimentos:
 - Sendo 3 Seções com estruturas concebidas para HS-WIM (**Sistemas HS-WIM para a Fiscalização Direta**)
 - Melhorias das pistas de acesso ao posto

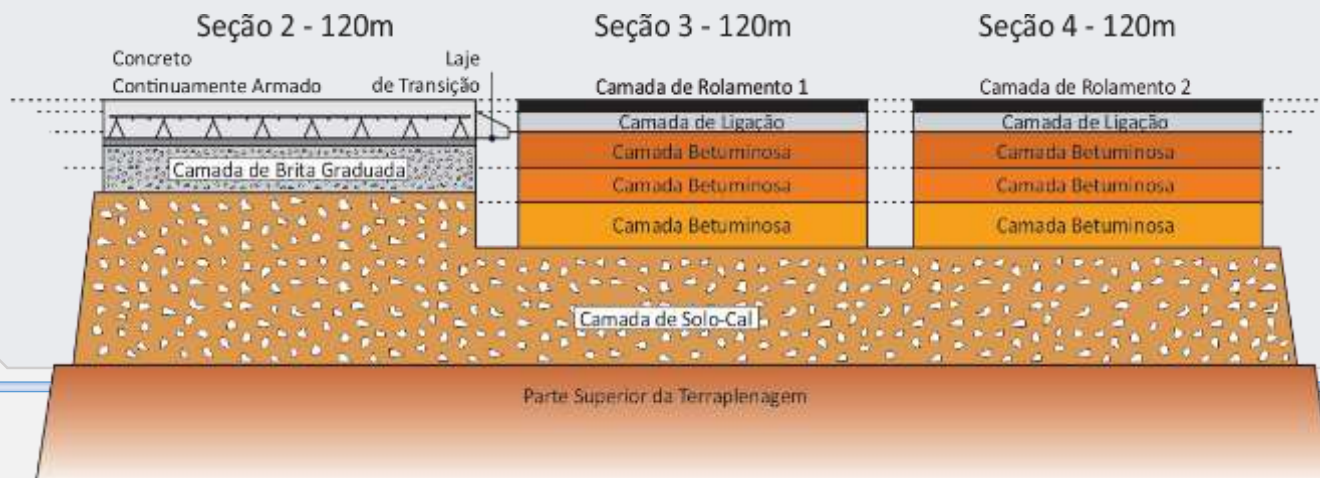


- Pavimento em placas de concreto armado
- Pavimento em concreto continuamente armado
- Pavimento betuminoso (CAP 35/45)
- Pavimento betuminoso (CAP 35/45 + polímero)
- Recapeamento betuminoso

Futuro da pesagem no Brasil:

Próximas fases em WIM Brasil

- Idealização dos projetos de estruturas de pavimentos:
 - 3 x Segmentos de 120m
 - Uma estrutura em concreto continuamente armado, como definido para o PIAF
 - Duas estruturas em concreto asfálticos com diferenciação de uso de aditivo melhorador do comportamento mecânico (relação sensor/pavimento)



Conclusões

- Testes no Carrossel de Fadiga mostram boa repetitividade dos sensores
- Variações no processo de calculo podem resultar aumento de precisão desde que considerado o comportamento do pavimento
- Necessidade de correção em função da posição da roda sobre os sensores (dependente da tecnologia)
- Necessidade de correção do efeito da temperatura (dependente da tecnologia)

Conclusões

- Correção em função do comportamento do pavimento podem melhorar a precisão dos sensores (dependente da tecnologia)
- Método de correção do efeito dinâmico da carga pode permitir aumento na precisão dos sistemas de pesagem (necessidade de testes para validação, conclusão dos trabalhos teóricos até final de 2015)



Muito Obrigado

Eng. Civil Gustavo Garcia Otto

Telefone: (48) 3229-1773

otto@labtrans.ufsc.br

www.labtrans.ufsc.br