



**Identificação de Sistemas de Pesagem em Movimento**  
Convênio 102/2007

**Pré-avaliação dos Equipamentos Disponíveis  
para Utilização nas Pesagens**

Novembro de 2007

**DNIT**

Departamento Nacional de  
Infra-estrutura de Transportes



Laboratório de Transportes e Logística



Universidade Federal de Santa Catarina

**NEP**

Núcleo de Estudos de Pesagens – NEP

---

Convênio 102/2007 DNIT / UFSC  
**IDENTIFICAÇÃO DE SISTEMAS DE PESAGEM EM MOVIMENTO**

**FICHA TÉCNICA**

**DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTES – DNIT**

Luiz Antônio Pagot  
Diretor Geral DNIT

Hideraldo Luiz Caron  
Diretor de Infra-Estrutura Terrestre

Luiz Cláudio dos Santos Varejão  
Coordenador Geral de Operações Rodoviárias

João Batista Berretta Neto  
Coordenador de Operações

**SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL/DNIT/SC**

Engº João José dos Santos  
Superintendente Regional de Santa Catarina

Engº Edegar Martins  
Supervisor de Operações

Engº Névio Antonio Carvalho  
Área de Engenharia e Segurança de Trânsito

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**

Lúcio José Botelho  
Reitor

Ariovaldo Bolzan  
Vice Reitor

Julio Felipe Szremeta  
Diretor do Centro Tecnológico

Jucilei Cordini  
Chefe do Departamento de Engenharia Civil

**LABORATÓRIO DE TRANSPORTES E LOGÍSTICA - LABTRANS**

Amir Mattar Valente, Dr.  
Coordenador Técnico do Convênio

**NÚCLEO DE ESTUDOS DE PESAGEM**

**EQUIPE TÉCNICA**

Valter Zanela Tani, Dr.  
Hélio Goltsman, Engº. Eletrônico  
Márcio Roberto Paiva, Dr.  
Fernando da Rocha Pantoja, PhD.  
Flavio De Mori, Dr.  
Gustavo Garcia Otto, Engº. Civil  
Paula de Oliveira Chaves, Engº. Civil

**EQUIPE DE APOIO**

Daniel Aragão, Administrador

---

---

**APRESENTAÇÃO**

---

## **APRESENTAÇÃO**

Trata o presente relatório de um produto do Convênio 102/2007 – Projeto “Identificação de Sistemas de Pesagem em Movimento”, firmado entre o Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes - DNIT e a Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

Uma das condições prévias à realização da pesquisa objeto do convênio é a identificação e conhecimento dos equipamentos disponíveis para pesagens de veículos de carga, que é objeto deste relatório. Neste relatório são apresentados um conjunto de equipamentos utilizados para pesagem de veículos de carga, detalhando-se os princípios de operação, suas aplicações e usos, um rol de vantagens e desvantagens.

---

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

---



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DNIT	Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes
ILD	Laço Indutivo
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
WIM	Pesagem em Movimento (weigh in motion)

---

## LISTA DE FIGURAS

---



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Princípio do funcionamento do sistema de fibra ótica .....	15
Figura 2 – Sensor WIM de fibra ótica para duas pistas tipo “microbend” .....	17
Figura 3 – Configuração dos sensores com tubo pneumático.....	21
Figura 4 – Parte frontal do display do contador JAMAR TRAX-III. ....	21
Figura 5 – Principais componentes de instalação do sensor de “laço” indutivo .....	24
Figura 6 – Anomalia no campo magnético induzido por dipolo magnético.....	28
Figura 7 – Sensores magnetômetro de fluxo bi-axial: Sistema SPVD.....	29
Figura 8 - Magnetômetros de indução .....	30
Figura 9 – Sensores piezelétricos instalados no leito da rodovia.....	35



## SUMÁRIO

Capítulo 1 – introdução .....	11
1 Introdução .....	12
Capítulo 2 – Sensores de fibra ótica .....	13
2 Sensores de fibra ótica .....	14
2.1 Princípios de operação.....	14
2.2 Aplicações e usos .....	16
2.3 Vantagens .....	17
2.4 Desvantagens .....	17
Capítulo 3 – Sensores com tubo pneumático.....	19
3 Sensores com tubo pneumático.....	20
3.1 Princípios de operação.....	20
3.2 Aplicações e usos .....	20
3.3 Vantagens .....	22
3.4 Desvantagens .....	22
Capítulo 4 – laço indutivo .....	23
4 “Laço” indutivo.....	24
4.1 Princípios de operação.....	24
4.2 Aplicações e usos .....	25
4.3 Vantagens .....	25
4.4 Desvantagens .....	26
Capítulo 5 – Sensores magnéticos.....	27
5 Sensores magnéticos.....	28
5.1 Princípios de operação’ .....	28
5.2 Aplicações e usos .....	28
5.3 Vantagens .....	30
5.4 Desvantagens .....	31
Capítulo 6 – Sensores piezelétricos .....	32
6 Sensores piezelétricos .....	33
6.1 Princípios de operação.....	33
6.2 Aplicações e usos .....	33
6.3 Construção de sensores piezelétricos.....	34
6.4 Vantagens .....	35
6.5 Desvantagens .....	36

---

## **CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO**

---



## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o modal rodoviário é responsável por uma parcela significativa do transporte de cargas. A malha rodoviária nacional é bastante extensa e requer ações de manutenção e controle efetivos para prover condições de trafegabilidade, adequando vias às condições estabelecidas pela dinâmica econômica e da logística de produção.

Neste sentido, sistemas eficazes de acompanhamento e controle das operações rodoviárias de transporte de cargas são demandados para garantir a segurança das operações, o controle do ambiente competitivo e a manutenção da infra-estrutura.

Do ponto de vista dos sistemas de controle para pesagem com a utilização de equipamentos para pesagem em movimento, identifica-se como característica comum, os sensores, dos mais variados tipos, que devem ser instalados sobre a superfície da rodovia, abaixo da superfície da rodovia, inclui-se aqui também as obras de arte, ou ainda embutidos no pavimento. Além destes, existem também os sensores que são colocados fora da rodovia, ou ainda nos “chassis” de veículos, que de alguma forma, também possuem propriedades de prover estimativas de carga de veículos comerciais, dentre outras funções.

Exemplos dos sensores utilizados para pesagem em movimento são: sensor de fibra ótica, tubo pneumático, “laços” indutivos (ILD), cabos piezelétricos, sensores magnéticos e sensores WIM (tais como piezelétrico, “bending plate”, célula de carga - load cell – e tapete capacitivo – “capacitance mat”), os quais serão abordado em detalhes neste relatório.

---

## **CAPÍTULO 2 – SENSORES DE FIBRA ÓTICA**

---



## 2 SENSORES DE FIBRA ÓTICA

Sensores de fibra ótica se utilizam de algumas propriedades mensuráveis da luz tais como potência ótica ou intensidade ótica, bem como da fase ou da polarização da onda de luz para medir parâmetros de interesse tais como temperatura, pressão, tensão, etc. Usualmente, a potência é medida como uma função de outros parâmetros, tais como tempo, posição, e comprimento de onda. Tipicamente, um laser fornece a fonte de luz que pode ser direcionada ao longo de curtas ou longas distâncias para um receptor. A luz é usualmente transmitida por meio de fibras óticas de sílica fundida.

### 2.1 Princípios de operação

Para explicar como essas fibras conduzem a luz considere um nadador no fundo de uma piscina; se ele olhar para a superfície da água com um ângulo de visada suficientemente pequeno, o fundo da piscina será perfeitamente refletido pela interface água-ar. A luz é conduzida ao longo da fibra de forma similar, porém por reflexões internas múltiplas. Nas fibras, a luz lançada dentro de um material central de alto índice de refração (“core”) é refletida de volta para o centro pelo material que cobre esse núcleo (“cladding”) e que possui índice de refração mais baixo. Desse modo a luz se propaga por meio de reflexões múltiplas contínuas. Os principais componentes de um sensor de fibra ótica são: fibra ótica, fonte de luz, detector ótico e modulador ótico. A fibra ótica é usada para tratar o sinal ambiental de duas maneiras distintas: uma pelo método extrínseco e a outra pelo método intrínseco. Na Figura 1 e apresentado o princípio do funcionamento do sistema de fibra ótica.

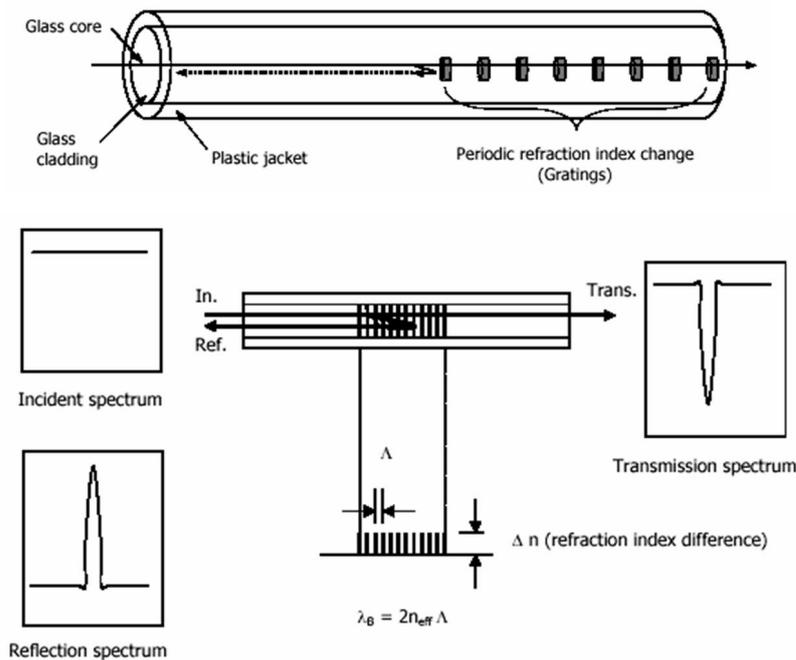


Figura 1 – Princípio do funcionamento do sistema de fibra ótica

No caso extrínseco, uma fibra ótica conduz a luz a uma “caixa preta”, “caixa preta” essa que tem por finalidade fazer o acoplamento entre os efeitos externos ambientais (temperatura, pressão, etc.) e as características da luz, fazendo, portanto, com que o feixe de luz varie suas propriedades em resposta a um efeito ambiental. Essa variação pode se materializar em termos de variação ou alteração na intensidade da luz, na fase, na frequência, na polarização ou mesmo no conteúdo espectral da luz original. Uma fibra ótica então carrega a luz com essa “informação” impressa pelo ambiente de volta para um processador ótico e/ou eletrônico.

Já no método intrínseco se utiliza uma fibra ótica para carregar o feixe de luz e o efeito do ambiente (temperatura, pressão, etc.) sobre o feixe de luz se faz sentir enquanto o feixe de luz se propaga pela fibra ótica. Não há, portanto, necessidade de um circuito específico adicional (“caixa preta”) para prover o acoplamento entre as variações ambientais e as propriedades da luz original. Os sensores de fibra ótica intrínsecos, por não possuírem circuitos adicionais, são usualmente mais sensíveis, uma vez que a informação do sinal ambiental é diretamente passada ou transmitida ao feixe de luz. Entretanto, os sensores de fibra ótica intrínsecos são mais susceptíveis a avarias.



A teoria de operação de um sensor de fibra ótica depende do tipo de sensor (ex: “microbend”, “grating”, “interferometric”, etc.). Por exemplo, a teoria da propagação em fibras óticas apresenta os detalhes e traça um relacionamento entre as perdas devido às curvas (micro-curvas – “microbending”) na fibra, demonstrando que a intensidade de luz propagante é função do raio de curvatura dessas curvas, uma vez que parte da luz propagante num sensor “microbend” é acoplada para fora do centro da fibra (“core”). A perda ocorre quando os modos guiados, de mais alta ordem, são acoplados a modos radiantes (daí as perdas), isto é, com baixa característica de serem guiados em fibras multimodos. Este modo de acoplamento de energia ótica para modos radiantes ocorre quando os efeitos ambientais, tal como uma carga externa que induz curvas físicas na fibra, alteram a geometria da fibra.

## 2.2 Aplicações e usos

Os parâmetros ambientais de importância para sensores usados em aplicações de monitoração de tráfego são a tensão e pressão, uma vez que esses parâmetros podem ser usados para detectar a presença de veículos e de eixos individuais e, em alguns casos, o peso do veículo e do eixo da roda. A informação da presença de veículo e de eixo pode por sua vez ser usada para determinar a velocidade e a classificação da informação.

Por exemplo, foi desenvolvido um sensor de fibra ótica que pode ser usado para classificação de tráfego e aplicações WIM. A aplicação no sistema WIM usa dois sensores “microbend” que são instalados na superfície da rodovia ou embutidos no pavimento. Quando os veículos passam sobre o sensor, ocorre uma perda de luz que corresponde ao peso do veículo e ao período de tempo em que o pneu do veículo faz contato com o sensor. A perda é convertida para um valor de tensão que é então amostrado por um computador que analisa a queda de tensão para determinar as principais características do veículo. A Figura 2 mostra um sensor WIM de fibra ótica para duas pistas do tipo “microbend”.



Figura 2 – Sensor WIM de fibra ótica para duas pistas tipo “microbend”

## 2.3 Vantagens

Sensores de fibra ótica em aplicações de monitoração de tráfego oferecem a capacidade de fornecer contagem, velocidade, classificação e dados WIM (isto é, de peso ou carga dinâmica) com as vantagens adicionais de serem leves, imunes a interferências eletromagnéticas, de poderem ser embutidos na eventualidade de uso em ambientes hostis, além de possuírem largura de banda extremamente alta, o que faz com que esses sensores consigam transmitir e detectar rápidas variações das condições ambientais. Além disso, antecipa-se que sistemas de monitoração de tráfego que utilizam sensores de fibra ótica, uma vez completamente desenvolvidos, terão custo relativo muito mais baixo do que sistemas convencionais (exemplo: aplicação de fibras óticas na área de telecomunicações – relação de custo da fibra para o fio de cobre é na faixa de 1:1000).

## 2.4 Desvantagens

A maior desvantagem dos sistemas de monitoração de tráfego que utilizam sensores de fibra ótica é que a tecnologia de aplicação ainda é imatura e, por isso, não demonstrada e na maioria das vezes não comercialmente disponível. Existem somente poucos desses tipos de sistemas comercialmente disponíveis para aplicações de contagem, velocidade e classificação. Uma outra desvantagem óbvia dos sensores de fibra ótica em aplicações de monitoração de tráfego, com sensores intrínsecos, é a possibilidade de se quebrar a fibra quando uma carga é aplicada



(veículo passando sobre o sensor), obviamente devido a usualmente frágil estrutura da fibra ótica.

---

## **CAPÍTULO 3 – SENSORES COM TUBO PNEUMÁTICO**

---



## **3 SENSORES COM TUBO PNEUMÁTICO**

### **3.1 Princípios de operação**

Os sensores (de tubo) pneumáticos enviam ar pressurizado ao longo de um tubo de borracha quando os pneus de um veículo passam sobre o tubo. O pulso de pressão fecha uma chave de ar, produzindo um sinal elétrico que é transmitido para um contador ou software de análise. O sensor de tubo pneumático é portátil usualmente se utiliza de baterias recarregáveis como fonte de potência.

### **3.2 Aplicações e usos**

O tubo é instalado perpendicular a direção do fluxo de tráfego (ver Figura 3) e é comumente usado para contagem esporádica de veículos (ao contrario dos sistemas de contagem permanentes), classificação de veículos baseado na contagem de eixos e respectivo espaçamento entre eixos, visando fornecer subsídios para planejamento, estudos e pesquisas. Alguns modelos reúnem dados para calcular intervalos entre veículos, intervalos de parada em cruzamentos, saturação do fluxo de tráfego, velocidade tipo como função da classe do veículo e tempo de percurso quando o contador é utilizado em conjunto com veículo que está equipado com um sistema de transmissão de dados (comunicações). Na Figura 4 apresenta como os parâmetros da análise de dados são selecionados para combinar a disposição dos tubos.

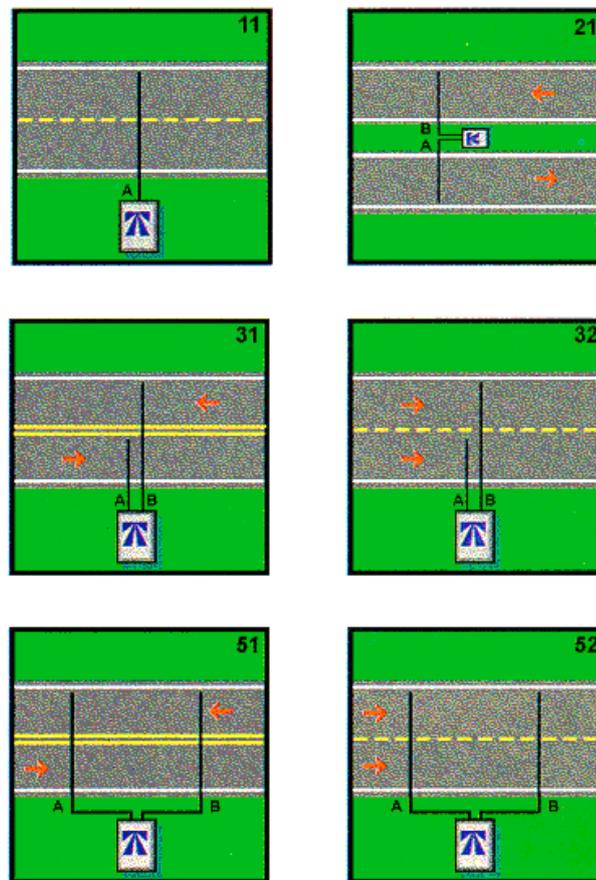


Figura 3 – Configuração dos sensores com tubo pneumático

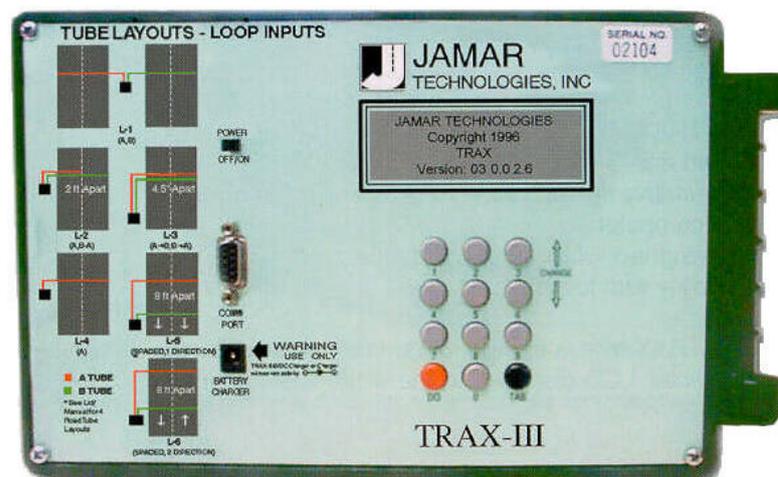


Figura 4 – Parte frontal do display do contador JAMAR TRAX-III.



### **3.3 Vantagens**

As vantagens dos sensores pneumáticos são: a instalação rápida para gravação de dados de forma temporária e a baixa potência necessária ao funcionamento do sistema. Os sensores pneumáticos são usualmente de muito baixo custo e de simples manutenção. Os fabricantes de sensor geralmente fornecem pacotes de software para auxiliar na análise de dados.

### **3.4 Desvantagens**

As desvantagens ficam por conta da não acurácia na contagem de eixos quando o volume de tráfego de veículos é alto, da sensibilidade à temperatura do pavimento da chave de ar do sistema e, obviamente, dos danos físicos que podem comprometer a integridade dos sensores pneumáticos (exemplo: tubos cortados devido ao vandalismo e desgaste dos tubos pneumáticos devido aos pneus dos veículos).

---

## **CAPÍTULO 4 – LAÇO INDUTIVO**

---

## 4 “LAÇO” INDUTIVO

O “laço” indutivo (ILD) é o sensor mais comum em aplicações de tráfego. Seu tamanho e forma variam, existindo ILDs quadrados (5 ft por 5 ft ou 6 ft por 6 ft), ILDs redondos (6 ft de diâmetro), e as configurações de ILDs retangulares (com largura de 6 ft) de comprimento variável. Os principais componentes de um ILD são: uma ou mais voltas de fio (isolado) colocado num corte com pouca profundidade feito no pavimento da rodovia, o circuito de excitação e de detecção do ILD e um cabo que leva o sinal até uma unidade eletrônica localizada na lateral da rodovia. A Figura 5 mostra os principais componentes de instalação dos sensores “laço” indutivo.

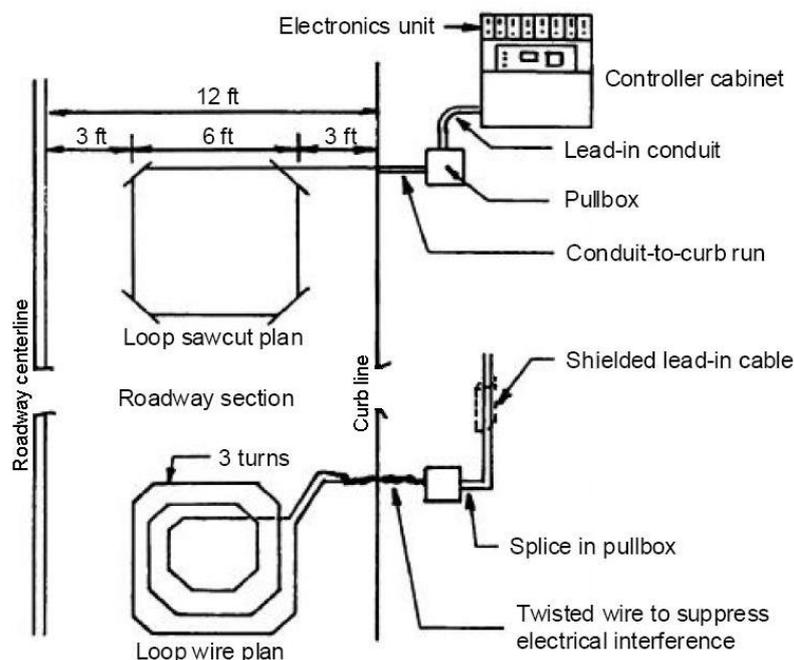


Figura 5 – Principais componentes de instalação do sensor de “laço” indutivo

### 4.1 Princípios de operação

O ILD é excitado com sinais cujas frequências variam de 10 KHz a 50 KHz. O ILD funciona como um elemento indutivo em conjunto com a unidade eletrônica. Quando



um veículo para ou passa sobre o laço indutivo, a indutância do laço diminui. Por sua vez, o decréscimo de indutância faz com que a frequência de oscilação do excitador do ILD aumente e essa variação na frequência de oscilação faz com que o circuito de detecção do ILD envie um pulso para a unidade eletrônica de controle, indicando a presença ou passagem de um veículo.

## 4.2 Aplicações e usos

Os dados fornecidos por ILDs convencionais são passagem de veículo, presença de veículo, contagem e (mais raramente) tipo de carga (específica) do veículo. Embora os ILDs não possam medir diretamente a velocidade, ela pode ser determinada por meio do uso de dois laços indutivos ou por meio de um único laço indutivo, ambos os casos desde que o sistema possua um algoritmo cujas entradas são o comprimento do laço, o comprimento de veículo médio, o tempo sobre o detector, e o número de veículos contados.

Atualmente, nas versões mais novas de ILDs, a classificação de veículos é também feita por meio da identificação de partes específicas de metal do veículo, o que é conseguido ao se utilizar circuitos eletrônicos que excitam o fio do laço em frequências mais altas que as máximas frequências convencionalmente utilizadas (aprox. 50KHz).

## 4.3 Vantagens

A operação dos ILDs é bem entendida, sua tecnologia já está consolidada, e sua aplicação para prover os parâmetros básicos de tráfego (volume, presença, ocupação, velocidade, etc.) se encontra perfeitamente desenvolvida. Assim como no caso dos tubos pneumáticos, o custo de equipamentos com sensores de ILDs é relativamente baixo quando comparado com sensores do tipo radar, câmeras, etc. com as mesmas funções, usualmente colocados fora do leito da rodovia ou acima da rodovia. Uma outra vantagem dos sensores ILDs é sua habilidade em satisfazer uma grande variedade de aplicações devido a permitir projeto flexível e adequações à situação particular de cada aplicação.



## 4.4 Desvantagens

As desvantagens do uso de ILDs incluem a interrupção do tráfego para instalação e reparo, falhas em instalações em rodovias com pavimentação imprópria ou já deteriorada e, não menos comum, uso de procedimentos de instalação inadequados. Além disso, o recapeamento e eventuais reparos das rodovias (principalmente relacionados ao pavimento) podem também criar a necessidade de se reinstalar os ILDs. Os laços são também sujeitos à deteriorização devido ao tráfego intenso e deterioração dos circuitos eletrônicos devido a influência da temperatura ambiente (envelhecimento precoce devido a efeitos térmicos). Por isso, os custos de instalação e manutenção aumentam significativamente o custo durante a vida útil dos ILDs. Além disso, em muitas situações, são requeridos diversos laços (ILDs múltiplos) para instrumentar todo um local de forma a poder extrair, com confiabilidade, todas as informações necessárias.

---

## **CAPÍTULO 5 – sensores magnéticos**

---

## 5 SENSORES MAGNÉTICOS

### 5.1 Princípios de operação'

Sensores magnéticos são dispositivos passivos que indicam a presença de um objeto metálico por meio da variação ou perturbação (anomalia magnética) no campo magnético da Terra quando da presença do referido objeto (ver Figura 6). A anomalia magnética é produzida pelos dipolos magnéticos que existem em qualquer veículo de metal quando ele entra na zona de detecção do magnetômetro (equipamento que mede o campo magnético). A anomalia magnética resulta da soma (vetorial) do campo magnético do dipolo produzido pelo objeto de metal e do campo magnético quiescente da Terra. Ou seja, a anomalia é causada pela distorção induzida no campo magnético da Terra toda vez que um veículo entra e passa através da zona de detecção de um sensor magnético. Um circuito eletrônico conectado ao sensor magnético coleta os dados e os envia para o pós-processamento.

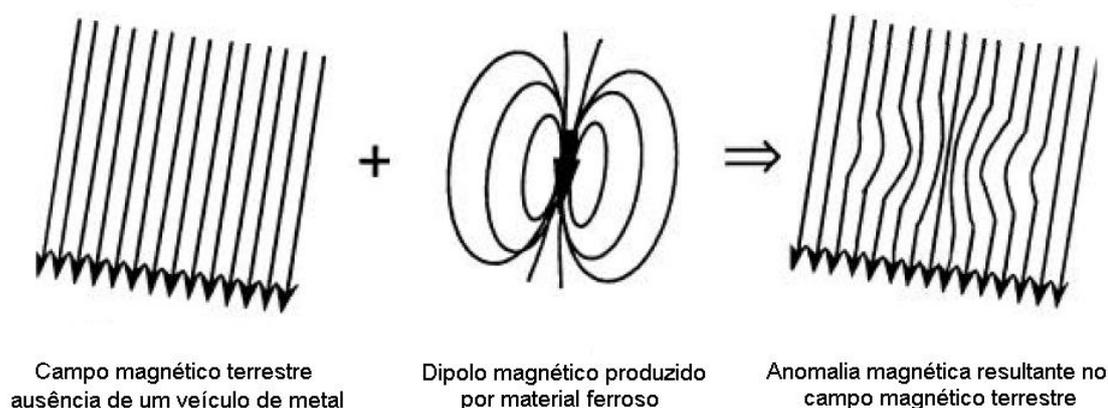


Figura 6 – Anomalia no campo magnético induzido por dipolo magnético

### 5.2 Aplicações e usos

Dois tipos de sensores de campo magnético são usados para medir o fluxo de tráfego. O primeiro tipo, o magnetômetro de fluxo bi-axial (ver Figura 7), detecta

variações nas componentes vertical e horizontal do campo magnético da Terra produzidas pelo veículo (usualmente feito de metal). O magnetômetro de fluxo bi-axial contém um enrolamento primário e dois enrolamentos secundários numa bobina que circunda um núcleo de material magnético de ferro doce de alta permeabilidade. Em resposta a anomalia do campo magnético, isto é, a assinatura magnética de um veículo, o circuito eletrônico do magnetômetro mede a tensão de saída gerada pelos enrolamentos secundários. O critério de detecção do veículo é quando a tensão excede a um limiar pré-determinado. No presente modo de operação, a saída de detecção é mantida até que o veículo deixe a zona de detecção.



Figura 7– Sensores magnetômetro de fluxo bi-axial: Sistema SPVD

O segundo tipo de sensor de campo magnético é um detector magnético usualmente conhecido como magnetômetro de indução (ver Figura 8). Ele detecta a assinatura do veículo medindo a alteração nas linhas de fluxo magnético causada pela alteração nos valores do campo produzida por veículos (de metal) em movimento. Esses dispositivos contêm somente um enrolamento ou laço (feito de espiras), ao redor do núcleo que é uma haste de material magnético permeável. Assim como o magnetômetro de fluxo bi-axial, os detectores magnéticos geram uma tensão quando um objeto ferromagnético perturba o campo magnético da Terra. Entretanto, muitos detectores magnéticos não conseguem detectar veículos parados ou em

movimento lento (isto é, veículos com velocidades aproximadamente menores do que 5 milhas/hora).

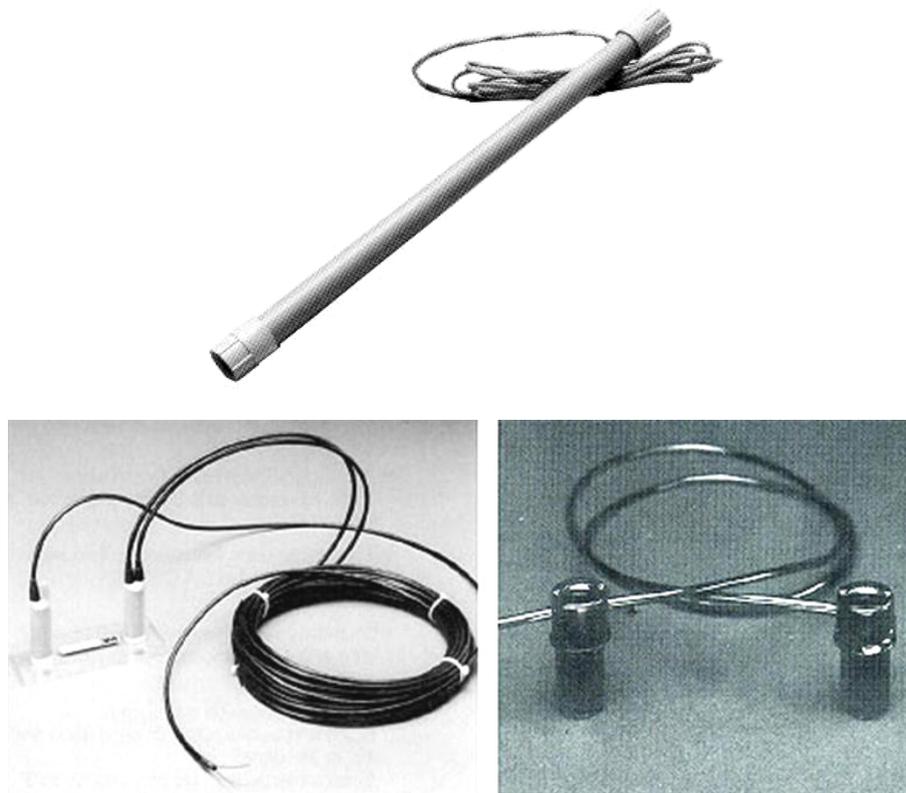


Figura 8 - Magnetômetros de indução

### 5.3 Vantagens

O magnetômetro de fluxo bi-axial é menos susceptível ao tráfego que o magnetômetro de indução ou os ILDs. Também, alguns modelos de magnetômetros de fluxo bi-axial transmitem dados por meio de enlaces de comunicação sem fio utilizando radio-freqüência. Ainda, o magnetômetro de indução é também menos susceptível que os ILDs no que diz respeito ao tráfego. O magnetômetro de indução pode ainda ser usado onde não seja possível o uso ILDs (ex: obras de arte como pontes) e alguns modelos podem ser instalados sob a rodovia sem a necessidade de cortar o pavimento.



## 5.4 Desvantagens

A instalação de sensores magnéticos requer corte do pavimento ou escavação sob a rodovia, e, por isso, requer o fechamento da via durante a instalação. Os detectores magnéticos não podem, como mencionado, detectar veículos estacionados, parados ou em baixa velocidade. Alguns modelos possuem apenas pequenas zonas de detecção, o que representa uma limitação dependendo do tipo de aplicação.

---

## **CAPÍTULO 6 – SENSORES PIEZELÉTRICOS**

---



## 6 SENSORES PIEZELÉTRICOS

Material piezométrico converte energia cinética em energia elétrica. Alguns polímeros exibem essa propriedade e, por isso, esses tipos de materiais são ideais na construção de sensores piezométricos.

### 6.1 Princípios de operação

Materiais piezométricos geram uma tensão quando sujeitos a impactos mecânicos ou vibrações. Cargas elétricas de polaridades opostas aparecem nas faces interna e externa do material e induzem uma tensão. A tensão medida é proporcional a força ou peso do veículo. A magnitude do efeito piezométrico depende da direção da força em relação aos eixos do cristal. Uma vez que o efeito piezométrico é dinâmico, isto é, a carga é gerada somente quando as forças variam, a carga inicial irá decair se a força permanecer constante.

### 6.2 Aplicações e usos

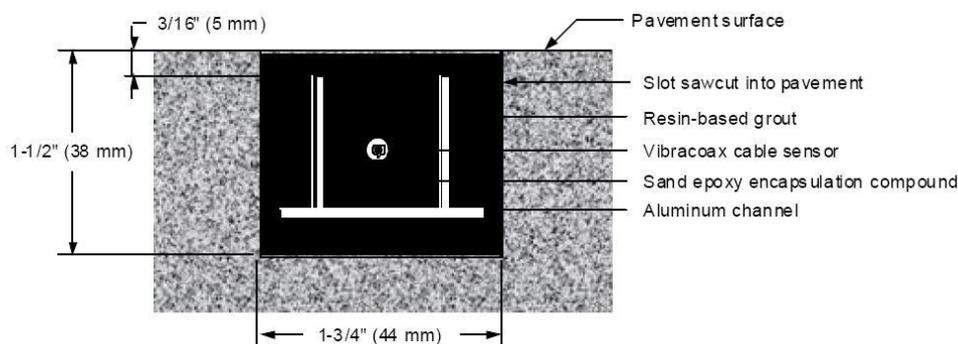
Sensores piezométricos são usados para classificar veículos por número de eixos e espaçamento e para medir o peso e a velocidade do veículo (quando múltiplos sensores são utilizados). Eles são freqüentemente usados como parte de sistemas de pesagem em movimento (“weigh-in-motion” – WIM). Sensores piezométricos classe I (ASTM E1318-02, 2002) detectam e pesam eixos, enquanto sensores classe II (ASTM E1318-02, 2002) somente detectam o eixo. Existe uma vantagem de preço em comprar sensores classe II para aplicações outras que não WIM, embora o custo total instalado de alguns sensores classe I seja apenas um pouco mais do que para sensores classe II, obviamente considerando sensores de mesmo comprimento.

### 6.3 Construção de sensores piezelétricos

Um sensor tubo piezelétrico é construído com um metal, que compõe a estrutura central do sensor, o qual é circundado por material piezelétrico e uma camada mais externa de metal. Durante o processo de fabricação, o sensor é sujeito a um campo elétrico radial intenso, campo elétrico esse que tem por finalidade polarizar o material piezelétrico. O campo elétrico é aplicado antes da jaqueta de metal mais externo ser colocada, e esse campo transforma o polímero amorfo numa forma semicristalina, enquanto retêm muitas das propriedades flexíveis do polímero original. Um outro tipo de sensor piezelétrico usa um pó a base de mineral como um material piezelétrico que forma o dielétrico entre o fio de cobre no centro do cabo coaxial e o tubo de cobre sólido que serve como condutor mais externo. Durante a fabricação, a temperatura do cabo é aumentada para 400<sup>0</sup> C e uma tensão é aplicada entre os condutores mais interno e o externo para polarizar o pó, orientando as cargas elétricas das moléculas do pó. A tensão é mantida uma vez que o cabo é esfriado, estabilizando o campo polarizado. O cabo pode ser fornecido com epóxi dentro de um canal de alumínio para garantir que seja adequadamente instalado (ver Figura 9: a e b).

Este tipo de sensor piezelétrico é recomendado para "weigh-in-motion", classificação de veículo por número de eixo e espaçamento, medida da carga total do veículo, medida da velocidade e aplicações de contagem. Borracha de espuma é colocada ao longo das laterais do sensor durante a instalação quando este tipo de cabo piezo é usado em sistemas WIM. Esta técnica transforma as componentes não verticais em parcelas verticais de esforço, aumentando então a medida de esforço total na vertical e reduzindo consideravelmente a influência do esforço lateral que prejudica o desempenho do sensor para a finalidade WIM.

a)



b)

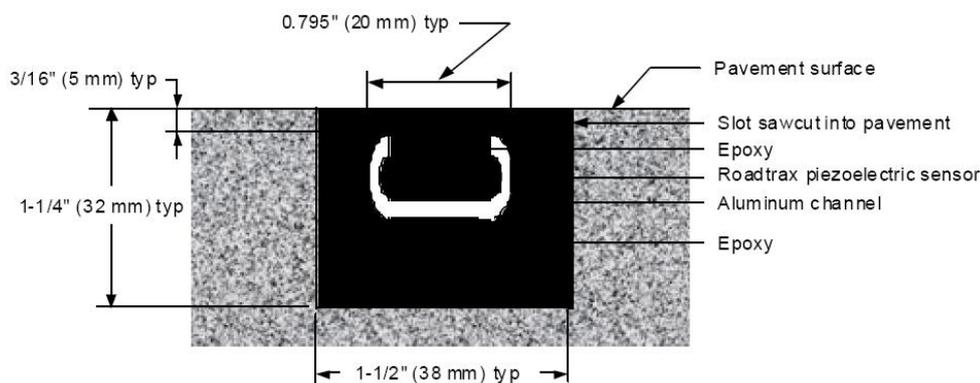


Figura 9 – Sensores piezoelétricos instalados no leito da rodovia

## 6.4 Vantagens

Sensores piezoelétricos são capazes de coletar informações derivadas do pneu passando por sobre o sensor ao produzir um sinal analógico que é proporcional à "pressão" (esforço) exercida no sensor. Esta propriedade dos sensores piezoelétricos permite que eles diferenciem eixos individuais com extrema precisão. Além disso, em termos de custo do sensor instalado, eles são somente marginalmente mais caros do que um laço indutivo, porém disponibilizam mais informação, possuem capacidade de determinar a classificação do veículo baseado no peso e espaçamento do eixo, e capacidade para determinar e monitorar os pesos dos veículos para sistemas WIM.



## **6.5 Desvantagens**

As desvantagens dos sensores com tubo piezelétrico são similares aquelas dos sensores de laço indutivo e incluem a interrupção do tráfego para instalação e reparo, falhas associadas com instalações em rodovias com superfícies danificadas ou desgastadas e uso de procedimentos de instalação inadequados. Em muitos exemplos são requeridos detectores múltiplos para instrumentar uma localização, o que faz o trabalho mais delicado ainda. Além disso, o recapeamento e o reparo das rodovias podem criar a necessidade da reinstalação desses tipos de sensores. Os sensores piezelétricos são conhecidos por sua sensibilidade à temperatura do pavimento e a velocidade do veículo.

