

## Avaliação de tecnologias alternativas de detecção veicular para Scoot

Denise Lima Lopes  
Virgílio dos Santos  
José Vinicius Silva Bastos <sup>(1)</sup>

### Introdução

Desde o início dos anos 1980 as grandes cidades do mundo já apresentavam significativa preocupação com os problemas gerados pelo trânsito. Vários dispositivos e sistemas vinham sendo desenvolvidos com o objetivo de melhorar ou otimizar a circulação veicular. Entre outros, foi desenvolvido, naquela década, um sistema de controle de tráfego em tempo real denominado SCOOT - *Split Cycle Offset Optimisation Technique*, ou seja, Técnica de Otimização da Porcentagem de Verde, Ciclo e Defasagem (MING, 1997).

Neste sistema, os dados de fluxo de veículos detectados são recolhidos pelos controladores semaforicos que os envia, por meio do sistema de transmissão de dados, a um computador central. Este, por sua vez, processa as informações recebidas em tempo real dos vários locais, calcula os tempos semaforicos e envia-os aos controladores que, então, os implementam nos grupos focais. O objetivo dos complexos cálculos realizados pelo SCOOT é a otimização dos tempos semaforicos a cada instante, o que, conseqüentemente, resulta em melhor fluidez do tráfego veicular nos locais em que é adequadamente utilizado.

---

<sup>1</sup> J. Vinicius é estudante do 5º ano do curso de Engenharia Elétrica e é estagiário da CET. Trabalha na Gerência de Gestão Tecnológica desde 14/10/14.

Na cidade de São Paulo, para efeitos de controle semafórico, sistemas como este passaram a operar em três das cinco áreas em que foi dividida a cidade no final da década de 1990 (VILANOVA, 2005).

É importante ressaltar que toda a eficiência do sistema depende da obtenção de dados precisos de fluxo veicular para uso pelo computador central. Por esse motivo são implantados dispositivos de detecção veicular nos locais, a partir dos quais se deseja coletar a informação.

Historicamente, o sistema de detecção mais comumente utilizado tem sido o que faz uso do laço indutivo, também conhecido como IDL – Inductive Loop Detector, cujo funcionamento assemelha-se ao dos detectores de metal. O sensor é composto por um cabo metálico, disposto como uma grande bobina, conforme Figura 1 abaixo.

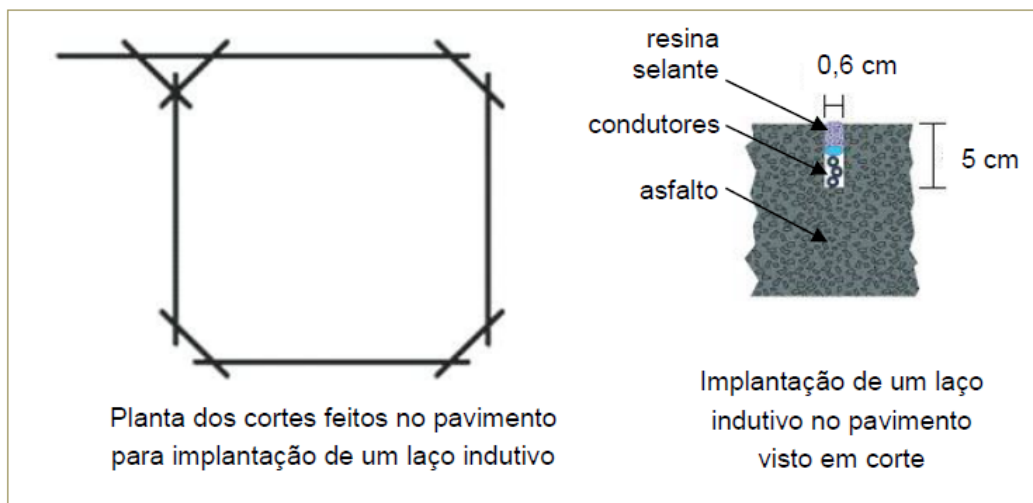
Figura 1 - Perspectiva da implantação de um laço indutivo na capa asfáltica



Fonte: DIAMOND TRAFFIC PRODUCTS. Inductive Loop Guide, 2011.

Essa bobina é formada por 3 a 5 voltas sobrepostas do cabo metálico e é inserida na camada superficial do pavimento da pista por meio de um corte no asfalto, conforme Figura 2, adiante. Este corte é posteriormente preenchido com uma resina selante para vedação (NETO, 2016b).

Figura 2 - Exemplo de construção de um laço indutivo



Fonte: DIAMOND TRAFFIC PRODUCTS. Inductive Loop Guide, 2011.

Uma corrente alternada é aplicada à bobina (condutor), o que, conforme a Lei de Ampère, resulta na formação de um campo magnético constante no seu entorno. Esse campo magnético é proporcional à corrente aplicada no condutor, mas a interação com massas metálicas (como as de veículos) produz perturbações nesse campo.

Com a proximidade de uma massa metálica, o campo magnético se altera e, conseqüentemente, a corrente elétrica que o gera, bem como a tensão no laço diminuem. Isso ocorre pelo tempo em que a massa permanecer dentro da área de atuação do detector (HAYT; BUCK, 2003). É a variação percebida na tensão que é usada para indicar a presença de veículos (massas metálicas), e esses dados podem ser processados para estimar a ocupação veicular. O registro da variação da tensão é obtido por meio do que se denomina “placa detectora veicular”, normalmente instalada internamente ao gabinete do controlador de tráfego.

Esse tipo de sistema oferece alta precisão em termos de ocupação veicular<sup>2</sup>.

Contudo, uma vez que este sensor é embutido na camada superficial do pavimento, fica muito sujeito a diversas situações adversas que comumente resultam no rompimento dos laços indutivos (por exemplo, a deformação do asfalto pela passagem de veículos pesados, ou a realização de fresagem para recomposição de pavimento desgastado).

<sup>2</sup> No intuito de esclarecer a diferença entre ocupação veicular e contagem veicular, sugere-se obter informações complementares sobre esta última em Neto (2016a).

A restauração de laços rompidos requer então a interdição da via, causando enormes transtornos ao tráfego, ainda que seja realizada em poucas horas. Ademais, o sistema de otimização do tráfego fica como que cego durante todo o tempo em que os laços indutivos permanecem inoperantes, ou seja, até que ocorra a sua restauração, acrescentando mais prejuízos.

Em vista desses problemas, há vários anos os fabricantes de equipamentos para o trânsito vêm propondo soluções alternativas para a detecção veicular. Assim, em 2015, a CET – Companhia de Engenharia de Tráfego desenvolveu um plano para avaliar a eficiência de sistemas alternativos (overhead e magnético) de detecção veicular, visando sua utilização com o sistema SCOOT existente na cidade de São Paulo.

Detalhes e resultados deste projeto, elaborado e desenvolvido pelo corpo técnico da GGT – Gerência de Gestão Tecnológica (contando com a cooperação do DCS-SO e SSI), são apresentados a seguir.

### **PROPOSTA DE AVALIAÇÃO: SISTEMAS ALTERNATIVOS DE DETECÇÃO**

A avaliação dos sistemas alternativos de detecção foi proposta com base na comparação dos desempenhos desses sistemas com o já reconhecido sistema indutivo, em termos de ocupação veicular.

Para tanto foram formatados testes de campo nos quais os sistemas alternativos funcionariam simultaneamente com o sistema indutivo, registrando a passagem de veículos por um local pré-definido da cidade. Ambos os sistemas enviariam os dados de ocupação, que seriam então armazenados em arquivos de dados do sistema SCOOT na Central de Operações da CET, para análise e avaliação técnica comparativa de desempenho.

Em vista disso, as empresas deveriam disponibilizar sistemas de detecção que preenchessem os requisitos técnicos necessários para a sua conexão com o Sistema de Semáforos de Tempo Real (SCOOT).

A aprovação de sistemas alternativos de detecção os tornaria elegíveis para participar de futuras licitações desse objeto. Para tanto, necessitavam alcançar os índices mínimos pré-estabelecidos de desempenho compatíveis com os do sistema de detecção por laço indutivo.

Dando início ao processo, a CET publicou um Chamamento Público para que as empresas interessadas em participar dos testes se apresentassem. Inscreveram-se empresas oferecendo sistemas de detecção magnéticos e *overhead* (não intrusivos), com diversas tecnologias, conforme brevemente descrito a seguir.

## **TECNOLOGIAS AVALIADAS**

### **Magnético (intrusivo)**

Os detectores magnéticos são constituídos por magnetômetros que podem se comunicar sem fio e que utilizam bateria interna de alta durabilidade (em alguns casos até 10 anos de funcionamento). O magnetômetro em questão detecta as alterações do campo magnético da Terra causadas pela presença de objetos ferrosos (veículos) em sua área de atuação. Seu funcionamento é similar ao do laço indutivo, já retratado anteriormente. Diferencia-se, porém, quanto ao método construtivo e ao custo.

### **Vídeo-detecção (não intrusivo)**

O sistema de vídeo-detecção funciona com base no prévio mapeamento da área de interesse de detecção (ou laço virtual) por um técnico responsável. A área do laço virtual deve ser equivalente àquela coberta pela detecção original com laço indutivo. A(s) câmera(s) é(são) conectada(s) a um sistema capaz de codificar o vídeo em busca de ações incomuns no ambiente (neste caso, a presença de veículos na área do laço), de forma que quando um objeto (veículo) entra na área de atuação do laço virtual, ocorre a detecção.

### **Micro-ondas (radar) (não intrusivo)**

Neste sistema, a detecção dos veículos é efetuada por meio da emissão e recepção de ondas eletromagnéticas através do ar. Conforme Halliday e Resnick (2012), a parte dos sinais emitidos que reflete nos veículos e retorna ao sensor pode ser processada para determinar os parâmetros do tráfego.

### **Sônico (não intrusivo)**

O princípio de operação desses sensores é exatamente o mesmo do sonar usado pelo morcego para detectar objetos e presas durante o seu voo. Os detectores sônicos, normalmente, operam em frequências superiores a 20KHz e utilizam a reflexão das ondas sonoras que atingem objetos como os veículos em trânsito para identificar a presença dos mesmos (HALLIDAY; RESNICK, 2012).

## **PROCEDIMENTO**

Para a avaliação técnica do desempenho foi estabelecido um tempo mínimo de 72 horas, distribuídas dentro de um período de 10 dias corridos, para registro de dados visando comparação.

Findo esse prazo e comprovada a necessidade (em razão de não atingimento do desempenho esperado devido à constatação de não conformidades), seria concedido um prazo suplementar de 5 dias úteis, de maneira a permitir que a empresa pudesse realizar ajustes no sistema, buscando aprimorá-lo de forma a alcançar o desempenho mínimo necessário em um período subsequente de testes.

Assim, posteriormente ao período de ajustes, um segundo e derradeiro prazo de 10 dias corridos seria concedido para nova coleta de, no mínimo, 72 horas de dados. Dessa forma, a empresa teria uma segunda chance para comprovar a compatibilidade do desempenho do sistema de detecção alternativo em relação ao sistema indutivo.

Devido à capacidade limitada de entradas do controlador semafórico, já se sabia da impossibilidade de realização simultânea dos testes de todas as tecnologias. Assim, o procedimento descrito anteriormente foi repetido, individualmente para cada tecnologia, conforme sequência previamente definida por sorteio.

## **LOCALIZAÇÃO**

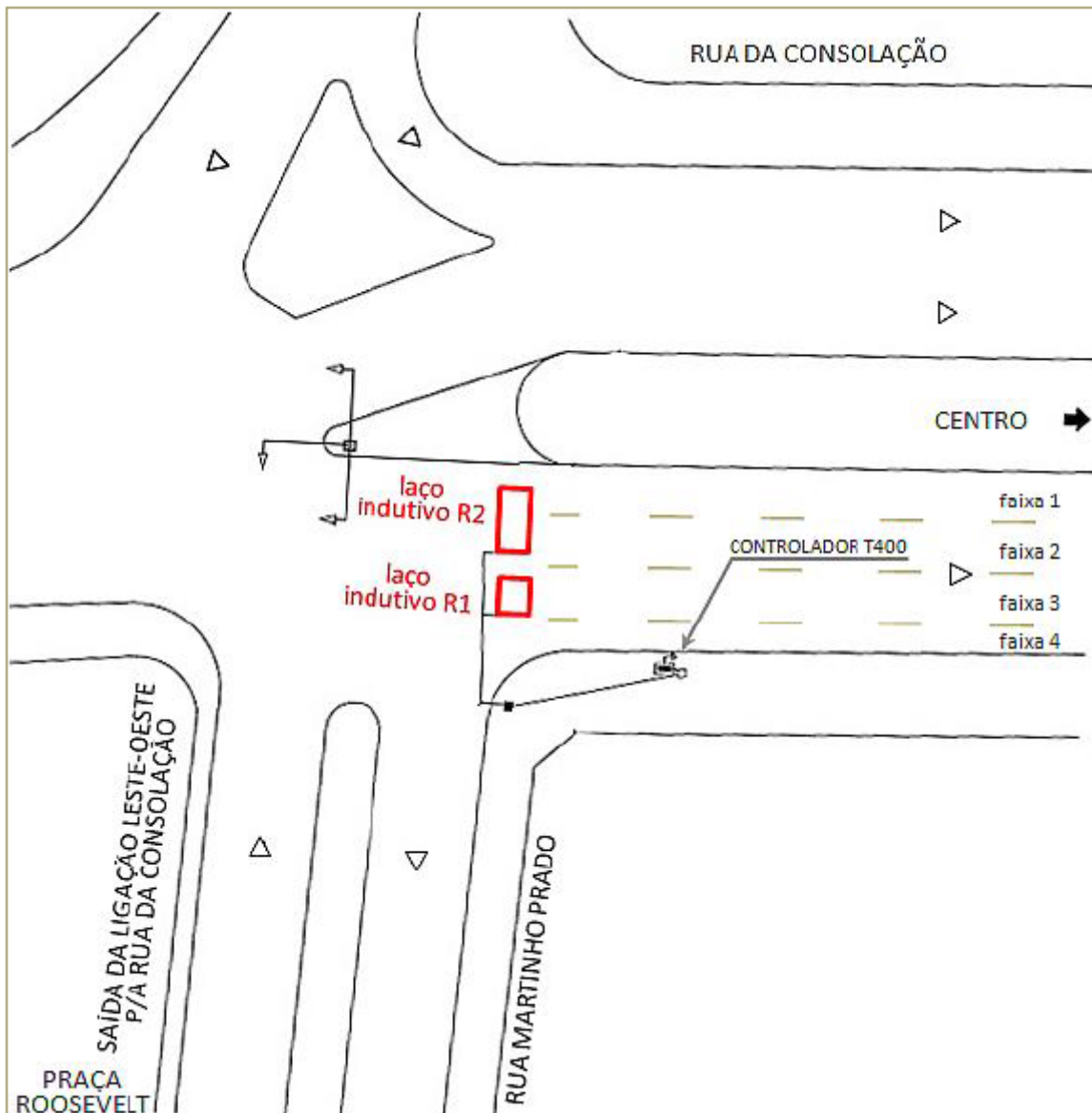
O local definido para os testes foi o cruzamento da Rua da Consolação (sentido centro) esquina com a Rua Martinho Prado e com a saída do acesso da Ligação Leste-Oeste, próximo à Praça Roosevelt, no centro de São Paulo. A localização da implantação dos laços indutivos pode ser vista na Figura 3, na próxima página.

No local, embora a pista tenha largura para 4 faixas veiculares, somente em três delas há fluxo normal de veículos, uma vez que o estacionamento na faixa da direita da pista é permitido pela regulamentação local. Conforme se pode verificar, o laço chamado R1 fica à direita do fluxo cobrindo uma única faixa (faixa 3) enquanto que o laço R2 cobre as duas faixas da esquerda (faixas 1 e 2).

Anteriormente ao período de avaliação dos sistemas alternativos de detecção foram efetuados testes do sistema indutivo (laços) do local, constando-se o seu correto funcionamento.

Convém informar que a área onde se encontra o local dos testes é gerenciada pelo DCS-SO - Departamento de Controle Semafórico – Sudoeste (tendo em vista que, para efeitos de controle semafórico, a cidade de São Paulo é dividida em regiões) de forma que os dados seriam coletados junto ao CTA1 – Controle de Tráfego em Área 1, subordinado àquele departamento.

Figura 3 - Esquema da localização dos laços indutivos existentes no local dos testes



Fonte: Criada pelos autores com base em dados da CET.

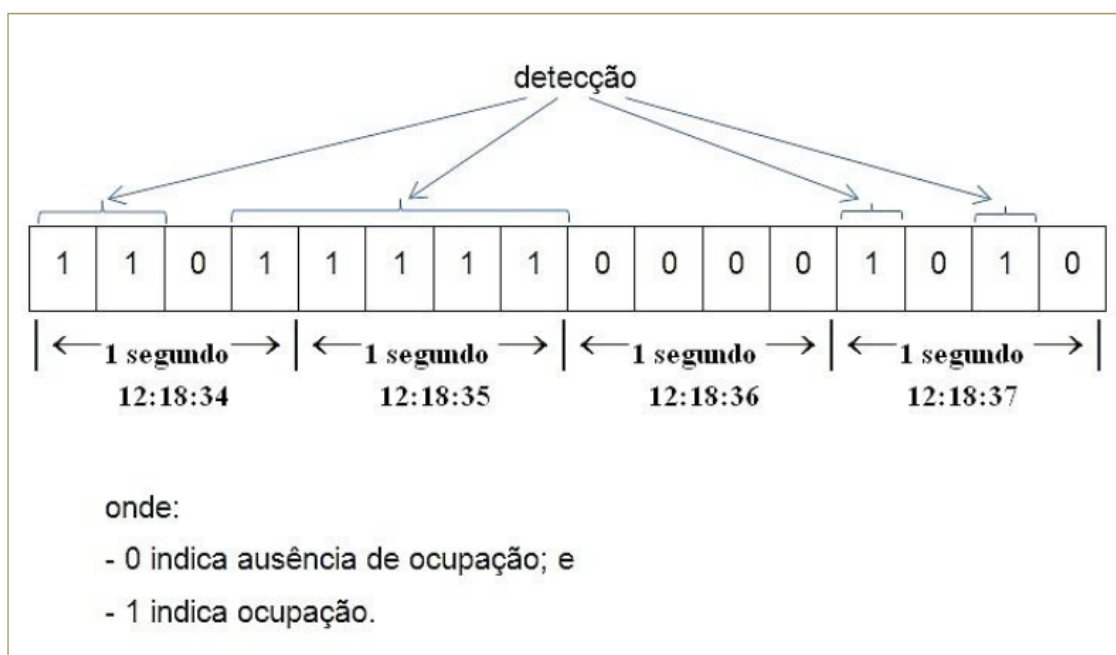
### DESCRIÇÃO DOS TESTES

Inicialmente, cada empresa interessada deveria apresentar a documentação própria além das especificações técnicas do(s) sistema(s) a ser(em) testado(s). Avaliada essa documentação, o sistema seria implantado e ajustado pela empresa, permitindo então o início do primeiro período de testes e respectiva avaliação de desempenho (denominada Avaliação Funcional).

O método adotado para realizar as comparações das Avaliações Funcionais previstas foi o de extrair dados do relatório de ocupação veicular armazenado pelo Sistema SCOOT (relatório M19).

Cabe aqui uma explicação de como o SCOOT registra a ocupação veicular para processamento. Segundo Ming (1997), a cada ¼ de segundo o sistema de detecção (laço indutivo ou alternativo) verifica se existe massa metálica (veículo) em sua área de atuação. Identificada a presença, o sistema atribui o valor 1 àquele período de ¼ de segundo (ou 250 milissegundos). Caso contrário, o valor zero é atribuído ao período. E prossegue permanentemente fazendo esta verificação para subsidiar os cálculos de otimização dos tempos semafóricos.

Figura 4 - Representação do registro de ocupação veicular para o SCOOT



Fonte: Criada pelos autores com base em MING (1997, p.5).



Dessa forma, o relatório M19 exibe uma sequência de números composta por “0” e/ou “1” que representam a permanência dos veículos na área de atuação do detector ao longo do tempo. A Figura 4, na página anterior, ilustra um exemplo de como poderia ser registrada a detecção no decorrer de 4 segundos consecutivos.

A partir de bancos de dados de registros como este, o SCOOT elabora o relatório M19, que inclui algumas informações complementares de extrema relevância, como se poderá verificar no exemplo da Figura 5 adiante. Note-se que os dados da Figura anterior representam a detecção do sensor N12232K2, conforme será apresentado na próxima Figura.

Assim, a Figura 5 apresenta um exemplo de relatório M19, no qual se verifica que cada linha representa os registros de ocupação de um detector no período de 1 segundo. As colunas da esquerda de cada linha exibem o dia da semana (em inglês) e o horário (hh:mm:ss). Na primeira linha, por exemplo, lê-se “Tu 12:18:34”, onde “Tu” refere-se à terça-feira (do inglês Tuesday) e o horário indica a ocupação às 12 horas, dezoito minutos e trinta e quatro segundos.

Na sequência são exibidos o nome do relatório (M19), o número do detector (na primeira linha do exemplo, N12232K1), e por fim as palavras “Detector State” seguidas de um conjunto de 4 números (0 ou 1), cada um destes caracterizando a situação do detector em um quarto daquele segundo.

Figura 5 - Exemplo de arquivo de relatório M19 do Sistema SCOOT

Day	Time	Report	Detector	State
Tu	12:18:34	M19	N12232K1	DETECTOR STATE 0000
Tu	12:18:34	M19	N12232K2	DETECTOR STATE 1101
Tu	12:18:34	M19	N12251R1	DETECTOR STATE 0000
Tu	12:18:34	M19	N12251R2	DETECTOR STATE 1011
Tu	12:18:35	M19	N12232K1	DETECTOR STATE 0000
Tu	12:18:35	M19	N12232K2	DETECTOR STATE 1111
Tu	12:18:35	M19	N12251R1	DETECTOR STATE 0000
Tu	12:18:35	M19	N12251R2	DETECTOR STATE 1100
Tu	12:18:36	M19	N12232K1	DETECTOR STATE 1111
Tu	12:18:36	M19	N12232K2	DETECTOR STATE 0000
Tu	12:18:36	M19	N12251R1	DETECTOR STATE 1111
Tu	12:18:36	M19	N12251R2	DETECTOR STATE 0001

Fonte: Elaborada pelos autores, 2015.

Assim, a primeira linha do exemplo acima mostra que aos 34 segundos das 12h18min, o detector N12232K1 não registrou nenhuma ocupação veicular. Por outro lado, a segunda linha indica que, no mesmo segundo, o detector N12232K2 registrou ocupação nos dois primeiros quartos do segundo e, novamente, no último quarto (tendo esta ocupação perdurado pelos quatro quartos do segundo subsequente, ou seja, 12:18:35, conforme a sexta linha).

Considerando que o procedimento proposto estabelecia que os dois sistemas, (indutivo e alternativo) trabalhassem simultaneamente para efeito de avaliação, e que no local dos testes já existiam instalados dois laços indutivos (conforme apresentado na Figura 3), os sistemas alternativos testados deveriam reproduzir a ocupação de forma similar. É por esse motivo que se verifica que são registradas quatro linhas consecutivas de dados para cada período de um segundo, uma para cada detector. Assim, duas linhas representam a ocupação para os 2 detectores do sistema em teste (N12232K1 e N12232K2, referidos resumidamente nas planilhas de avaliação como K1 e K2) e outras duas linhas subsequentes representam a ocupação dos 2 laços indutivos pré-existentes (N12251R1 e N12251R2, referidos analogamente como R1 e R2).

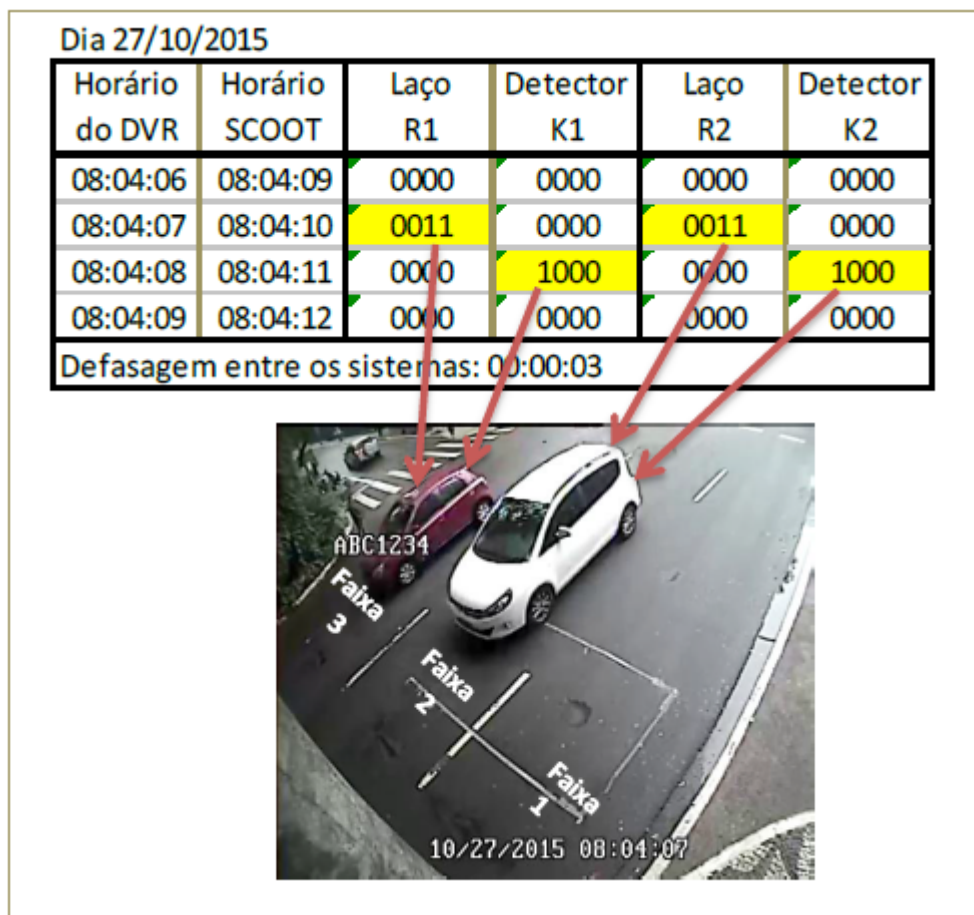
Para efeitos das Avaliações Funcionais, os dados de cada detector foram agrupados em intervalos de 5 minutos, visando a realização da comparação. Esse procedimento visou reduzir pequenas diferenças de posicionamento entre os detectores dos sistemas alternativos em teste e do sistema original indutivo.

Vale lembrar que antes do início dos testes foi informado, a cada empresa, que o sistema de laços indutivos estava ajustado para a menor sensibilidade possível, de forma a não detectar motocicletas e bicicletas, haja vista estes veículos não contribuírem para a formação de fila. Isso porque o sistema SCOOT é usado para otimizar os ciclos semaforicos com base na detecção de filas de veículos (resultante de congestionamento ou pela espera semaforica). E também porque, no Brasil, a circulação de motocicletas entre as faixas veiculares não é proibida.

Seguindo as exigências do Chamamento Público, além da coleta dos dados pelo sistema SCOOT, as empresas participantes também deveriam efetuar a gravação das imagens na zona de detecção dos sensores, com o intuito de dirimir dúvidas quando da ocorrência de não conformidades. Assim, a avaliação das imagens gravadas possibilitaria também a orientação dos ajustes nos sistemas em teste, se constatadas divergências.

Além da tabela, é apresentada uma (ou mais) imagem(ns) retirada(s) da gravação de vídeo. Neste exemplo, a imagem exibe a passagem de dois veículos. A presença do veículo vermelho na faixa 3 da imagem é registrada pelo laço indutivo R1 e, logo em seguida, por K1. Ao mesmo tempo, o veículo branco que aparece na faixa 2 na imagem é detectado pelo laço R2 e imediatamente depois, pelo detector K2. Percebe-se que suas presenças são registradas pelos dois sistemas, embora os registros de K1 e K2 ocorram cerca de  $\frac{1}{4}$  de segundo após o registro pelo sistema indutivo.

Figura 6 - Exemplo de relacionamento entre os dados do Sistema SCOOT e os registros de imagens de vídeo



Fonte: Elaborada pelos autores, 2015.

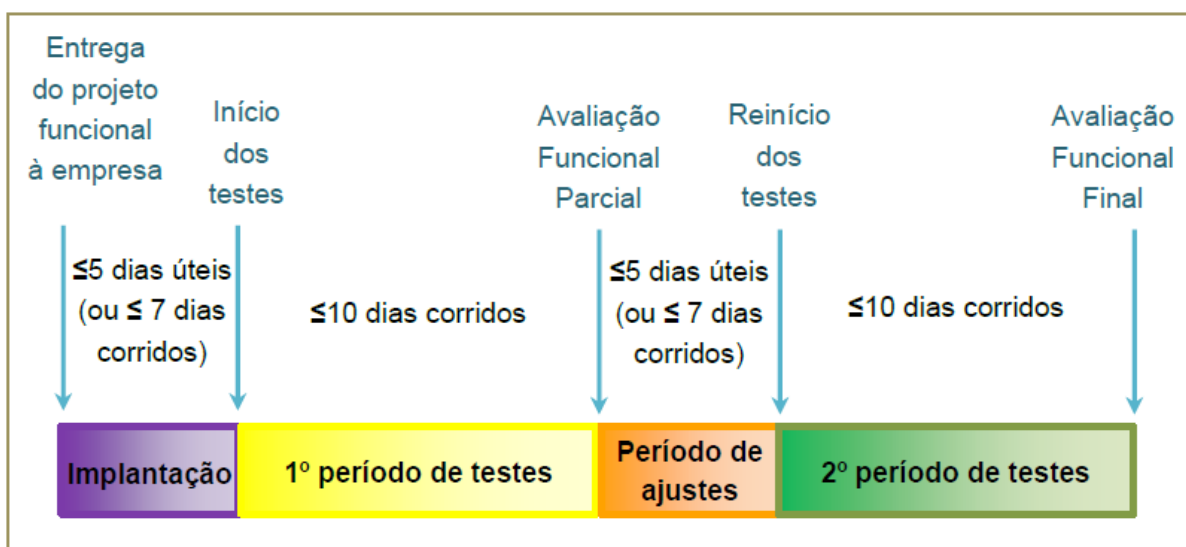
Observe-se por fim que neste exemplo, tanto o detector K1 como o K2 registram a presença dos veículos por menos tempo que os laços R1 e R2 (apenas  $\frac{1}{4}$  de segundo para K1 e K2, enquanto R1 e R2 registram  $\frac{2}{4}$  de segundo para cada veículo). Vale lembrar que, algumas ocorrências como essa poderiam não constituir um problema, mas a ocorrência sistêmica de sub-registro poderia resultar em não conformidades, considerando os parâmetros de avaliação anteriormente apresentados. Considere-se que figuras como a deste exemplo serão apresentados mais adiante para demonstrar todos os tipos de problemas encontrados.

### DURAÇÃO E CRONOGRAMA DAS AVALIAÇÕES

Tendo em vista que cinco empresas participaram deste projeto, sendo que uma delas apresentou dois tipos diferentes de sistemas alternativos, foram realizados seis grupos de testes envolvendo as tecnologias mencionadas anteriormente.

No total, o período de testes estendeu-se por quase um ano, tendo sido iniciado em 02 de março de 2015 e concluído em 23 de fevereiro de 2016. Vale informar que, além dos intervalos necessários para as reuniões de apresentação dos resultados das avaliações funcionais, houve também algumas interrupções em virtude de problemas técnicos imprevistos e, eventualmente, demora entre a remoção de um sistema implantado/testado e o início da implantação do sistema a ser testado na sequência. A Figura 7 abaixo apresenta o modelo de cronograma de atividades proposto e aplicado aos testes das empresas.

Figura 7 - Cronograma básico de atividades



Fonte: Elaborada pelos autores, 2015.

### PARÂMETROS PARA A AVALIAÇÃO

Conforme o Chamamento Público divulgado, foram definidos os seguintes indicadores de controle a serem considerados na avaliação:

- **Média do valor absoluto das diferenças entre os dois sistemas de detecção** (em porcentagem), definida a seguir (Expressão 1):

$$M = \frac{\sum \frac{100|Y_i - X_i|}{Y_i}}{n} \quad (1)$$

onde:

$Y_i$  = valor do parâmetro do  $i$ -ésimo intervalo de 5 minutos do sistema de detecção por laço indutivo;

$X_i$  = valor do parâmetro do  $i$ -ésimo intervalo de 5 minutos do sistema de detecção em teste; e

$n$  = número total de intervalos de 5 minutos.

- **Coefficiente de correlação**, definido abaixo (Expressão 2):

$$r = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2 \sum(Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (2)$$

onde:

$X_i$  = valor do parâmetro do  $i$ -ésimo intervalo de 5 minutos do sistema de detecção em testes;

$Y_i$  = valor do parâmetro do  $i$ -ésimo intervalo de 5 minutos do sistema de detecção por laço indutivo;

$X$  = média aritmética dos valores do parâmetro do sistema de detecção em testes;

$Y$  = média aritmética dos valores do parâmetro do sistema de detecção por laço indutivo.

As especificações técnicas também definiram o desempenho mínimo aceitável para que o sistema em testes pudesse ser aceito como tendo desempenho similar ao do sistema de laços indutivos, conforme descrito a seguir:

- em qualquer intervalo de 5 minutos, não deve haver diferença superior a 40% entre os valores registrados pelo sistema em testes e pela detecção por laços indutivos;
- a média dos valores absolutos das diferenças (em porcentagem) entre o sistema em testes e a detecção por laços indutivos (Expressão 1), dos intervalos de 5 minutos, não poderá ser superior a 15%;
- o coeficiente de correlação (Expressão 2) entre os dados do sistema em testes e a detecção por laços indutivos não poderá ser inferior a 0,90.

Para subsidiar a comparação dos dados de ambos os sistemas de detecção foram desenvolvidas planilhas apresentando os parâmetros obtidos para períodos de 2 horas.

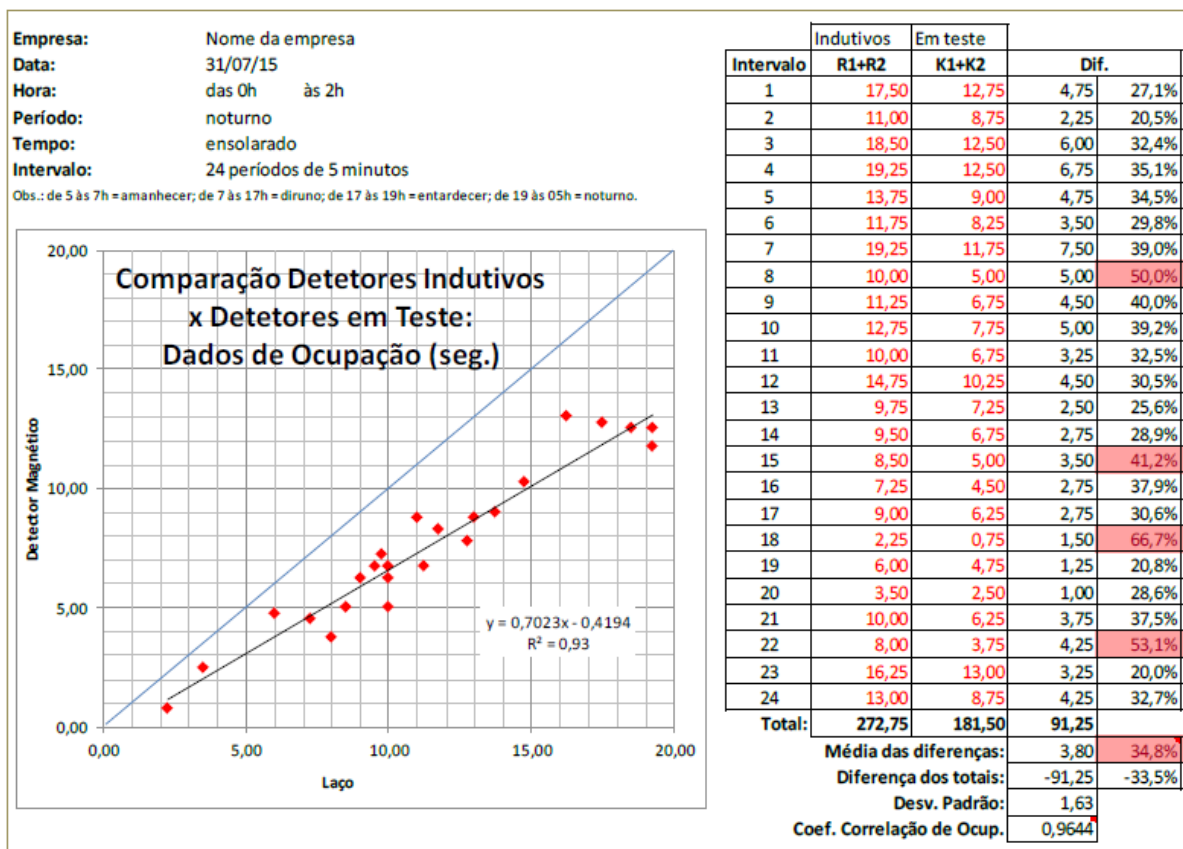
Adiante, a Figura 8 mostra um exemplo, composto por um gráfico e uma tabela.

Pode-se ver na tabela, à direita da Figura, que a coluna da esquerda, intitulada “Intervalo”, indica cada um dos 24 intervalos de 5 minutos dentro do período de 2 horas analisado. Por exemplo, na figura, o período analisado vai de 0 hora até as 2 horas da manhã, assim, o primeiro intervalo de 5 minutos inicia-se em 00:00:00 e termina em 00:04:59, e assim por diante.

Já as duas colunas seguintes apresentam a soma dos valores de ocupação veicular do sistema indutivo (laço R1 + laço R2) e do sistema em testes (detector K1 + detector K2) nos respectivos intervalos de 5 minutos. Ou seja, para o intervalo de 00:00:00 a 00:04:59, o sistema indutivo teria registrado uma soma do valor de ocupação igual a 17,50 segundos, enquanto que o sistema alternativo teria registrado uma soma de 12,75 segundos.

As duas últimas colunas da direita apresentam a diferença entre os valores obtidos pelos dois sistemas em módulo e em porcentagem. Por exemplo, para o primeiro intervalo de 5 minutos, a relação entre a ocupação obtida pelo sistema indutivo (17,50s) e pelo sistema alternativo (12,75s) teria resultado em uma diferença de 4,75 segundos ou 27,1% entre os dois sistemas.

Figura 8 - Exemplo de apresentação dos valores de ocupação dos 24 intervalos de 5 minutos e parâmetros de avaliação obtidos pelo sistema de laços indutivos e por um sistema alternativo



Fonte: Criada pelos autores com base em dados da CET.

Na linha denominada de “Total” são somados os valores de ocupação de cada sistema durante o período de 2 horas e identificada a diferença entre esses totais. No exemplo acima, o tempo total de ocupação registrado para o sistema indutivo teria sido de 272,75 segundos contra os 181,50 segundos do sistema alternativo, ou seja, uma variação de -91,25 segundos ou -33,5%.

É importante observar que, para que o sistema seja aprovado, a diferença entre os valores de ocupação de cada intervalo de 5 minutos não pode ser superior a 40%. Assim, se algum valor da última coluna entre as linhas de 1 a 24 ultrapassar os 40%, a respectiva célula será preenchida em cor vermelha, indicando uma não conformidade. A tabela da Figura 8 apresenta quatro não conformidades verificadas nos intervalos 8, 15, 18 e 22 por indicar valores superiores em mais de 40% do valor obtido pelo sistema de laços indutivos.



E na tabela da Figura 8, à direita do gráfico, são apresentados os valores dos demais indicadores para comparação do desempenho dos sistemas. E tem-se:

- a média das diferenças entre valores de ocupação nos intervalos de 5 minutos (igual a 34,8% no exemplo acima); e
- o coeficiente de correlação entre os conjuntos de valores dos dois sistemas (que corresponde a 0,9644 no mesmo exemplo).

É importante ressaltar que, caso a média das diferenças supere os 15% definidos na documentação técnica do Chamamento Público, o resultado será considerado não conforme e a célula corresponde será preenchida em vermelho, conforme se constata na Figura 8.

Da mesma forma, se o coeficiente de correlação estiver fora do limite aceitável (abaixo de 0,90) o item será considerado não conforme e a célula se apresentará em vermelho. Assim, verifica-se que o valor de 0,9644 (referente ao coeficiente de correlação no exemplo) encontra-se em uma célula de fundo branco já que está acima do limite mínimo de 0,90.

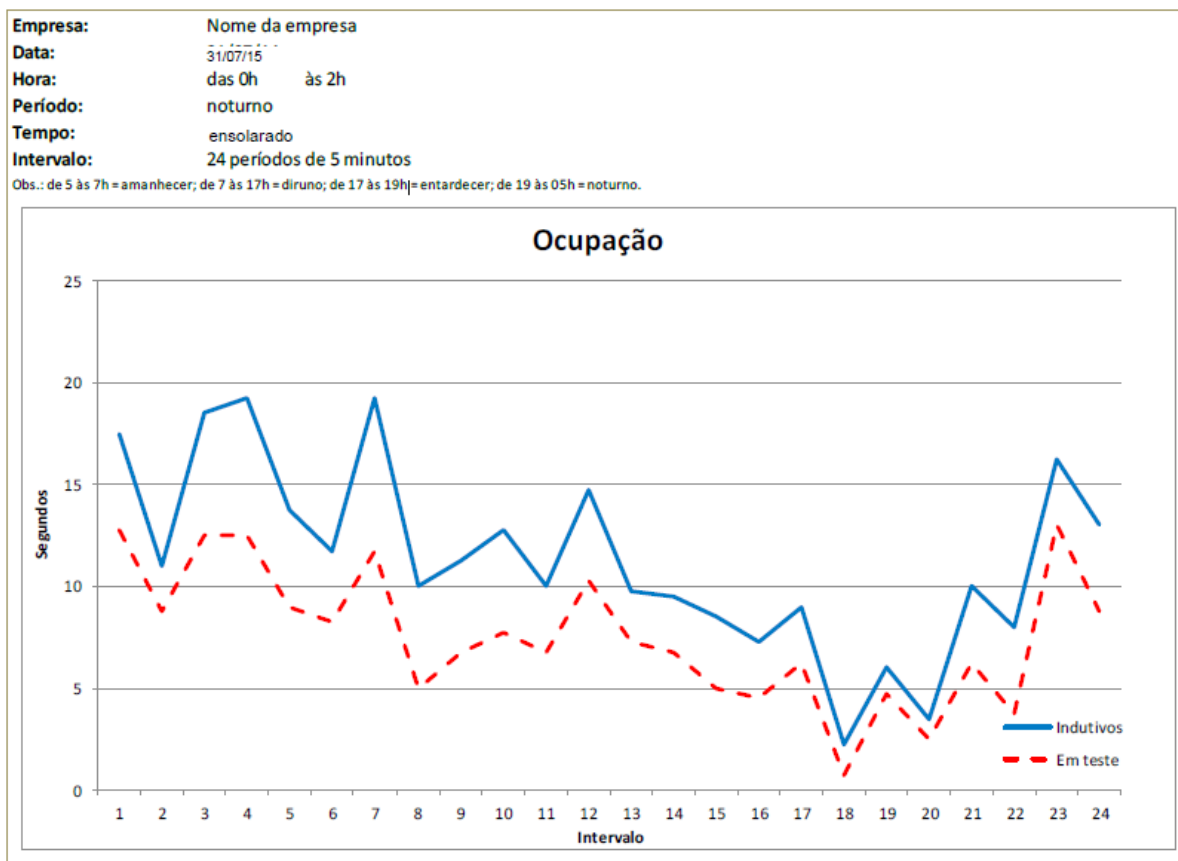
Os valores de ocupação obtidos pelos dois sistemas são representados graficamente pela nuvem de pontos, no gráfico à esquerda da tabela. A linha azul do gráfico indica a situação ideal em que os valores obtidos pelos dois sistemas seriam idênticos. A regressão linear resultante da nuvem de pontos registrada pelos dois sistemas é representada pela linha preta, cuja função se vê no canto inferior direito do gráfico.

Na parte superior esquerda da Figura 8, são exibidos dados complementares: a identificação da Empresa (incluindo a tecnologia correspondente dos equipamentos); a Data (do período avaliado); a Hora (considerados os intervalos de 2 horas consecutivas); o Período (classificado em: amanhecer, das 5 às 7 horas; diurno, das 7 às 17 horas; entardecer, das 17 às 19 horas; e noturno, das 19 às 05 horas); e Tempo (ou seja, as condições climáticas durante o período analisado: ensolarado, nublado, chuva ou sem chuva). A indicação de condição climática foi incluída, sempre que identificável por vídeo, para que se pudesse verificar sua correlação com a ocorrência de divergências.

Por fim, para auxiliar na identificação comparativa dos registros dos dois sistemas ao longo do tempo, bem como para facilitar a identificação de eventuais divergências, foi elaborado mais um gráfico, conforme se verifica pela Figura 9, na página seguinte.



Figura 9 - Exemplo de gráfico comparativo dos valores de ocupação do sistema de laços indutivos e do sistema em testes ao longo do período de duas horas (24 intervalos de 5 minutos)



Fonte: Criada pelos autores com base em dados da CET.

Por permitir a rápida identificação de disparidades em cada período de 5 minutos, o gráfico da Figura 9 auxilia o avaliador a buscar as imagens de vídeo correspondentes aos intervalos e, conseqüentemente, dirimir dúvidas e orientar possíveis ajustes do sistema em testes. Vale lembrar que o eixo horizontal representa os mesmos intervalos de 5 minutos indicados na tabela da Figura 8 (nestes exemplos, entre 0 e 2 horas da manhã de 31/07/15).

Ao final, os principais indicadores de cada período de 2 horas são juntados num Quadro Resumo para oferecer uma visão geral dos resultados de cada teste ao avaliador. Um exemplo pode ser visto na Figura 10, adiante.

Similarmente ao que ocorria nas planilhas de avaliação para períodos de 2 horas de testes, esta planilha apresenta os principais indicadores calculados, sendo que as células da planilha



## **RESUMO DOS PROBLEMAS OBSERVADOS**

Conforme mencionado anteriormente, 5 empresas se apresentaram para participar dos testes, sendo que uma delas ofereceu dois sistemas com tecnologias diferentes.

Todas as empresas usaram ambos os períodos de avaliação para os testes do(s) sistema(s) apresentado(s). Contudo, em vista das inúmeras não conformidades registradas, nenhuma delas conseguiu demonstrar que os sistemas proporcionavam desempenho similar ao sistema indutivo.

A seguir, são apresentados exemplos das não conformidades encontradas no decorrer dos testes, agrupadas por tecnologia. Contudo, no intuito de preservar a imagem das empresas, elas serão identificadas por letras de A até E na apresentação dos resultados obtidos. Todas as figuras apresentadas neste item foram extraídas de planilhas de testes e dos Relatórios Finais constantes dos expedientes da CET.

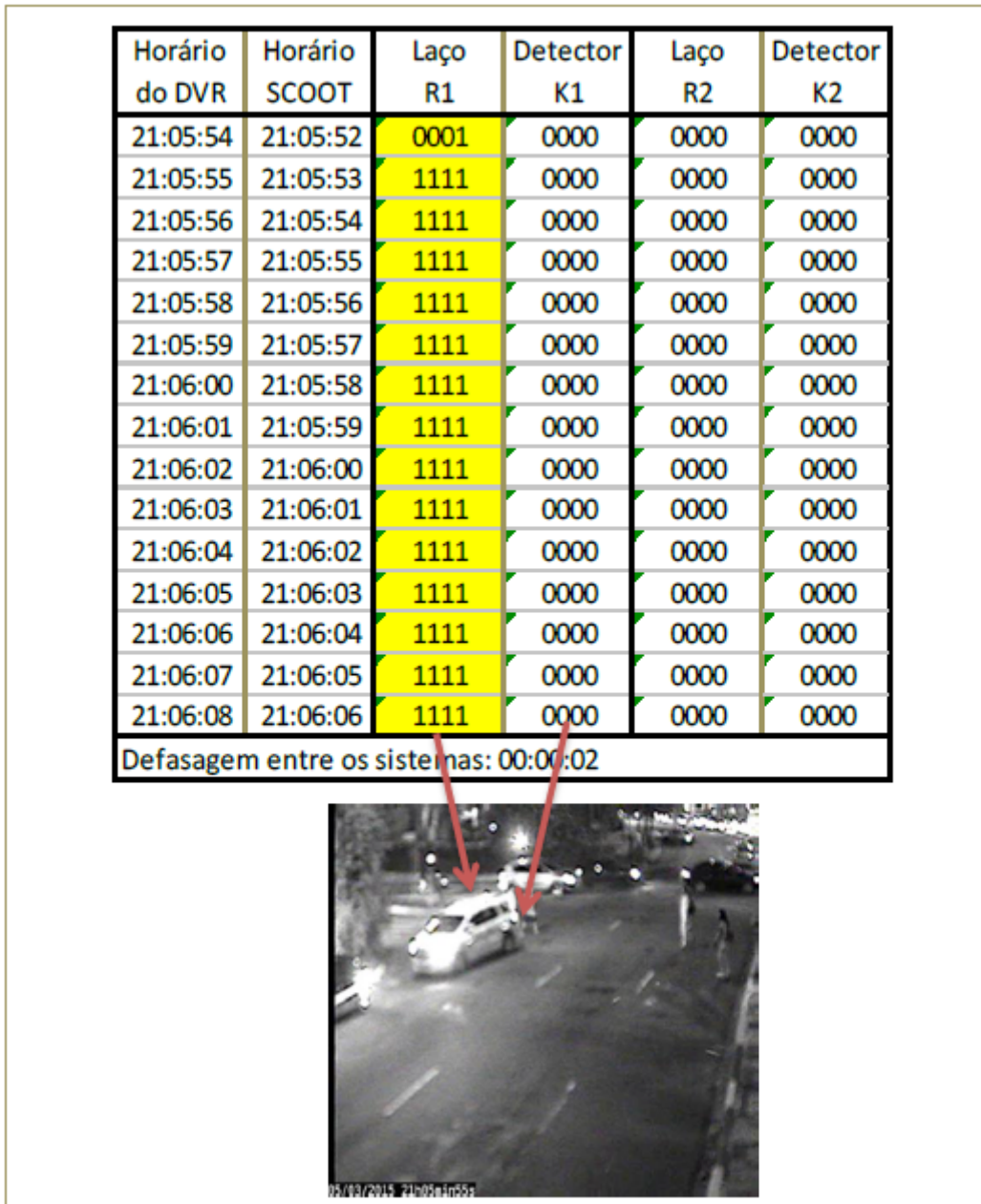
### **Magnético (intrusivo)**

Duas empresas, (A e B), ofereceram sistemas magnéticos para avaliação e, na descrição dos problemas encontrados, apresentada adiante, foram incluídas ilustrações para facilitar o entendimento das situações relatadas.

A avaliação do primeiro período de testes do sistema da empresa A indicou que a escolha de posicionamento dos magnetômetros (instalados adiante dos laços) resultava em defasagem nos registros em relação ao sistema indutivo. Esta situação não necessariamente geraria não conformidades, uma vez que os dados foram agrupados em intervalos de 5 minutos. Contudo, a reincidência de situações como as da Figura 11, abaixo, revelou divergências indesejáveis.

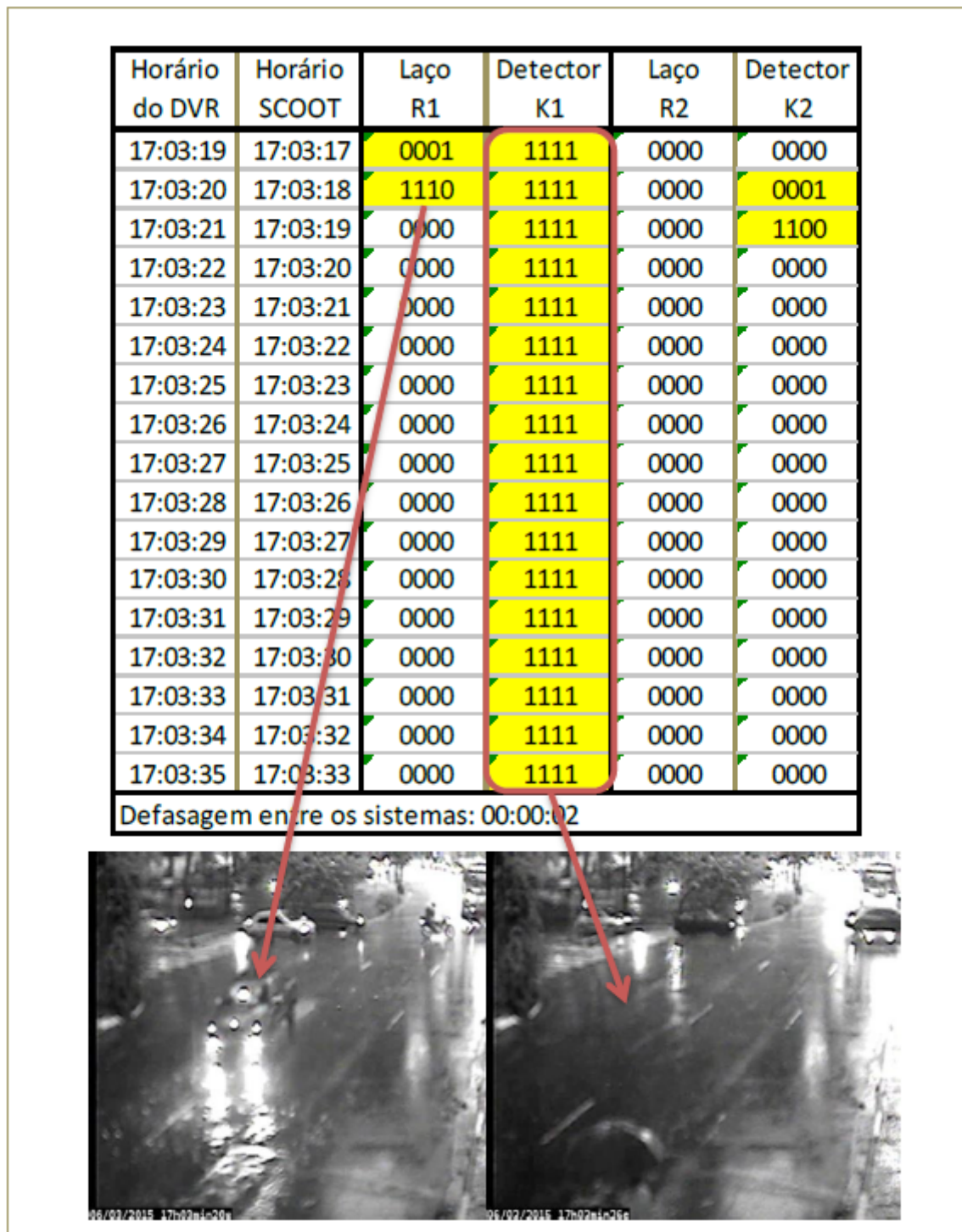
Na Figura, o veículo que parou e aguardava para estacionar teve sua presença registrada pelo sistema indutivo durante toda a sua permanência sobre o laço (R1). Como o detector K1 estava posicionado mais adiante, o sistema em teste não chegou a registrar a presença deste veículo, que posteriormente deslocou-se para estacionar na faixa 4 (onde não são feitas leituras de ocupação por não ser ela considerada uma faixa de trânsito veicular).

Figura 11 - Divergência de registros devido ao posicionamento dos magnetômetros da empresa A



Já a excessiva distância inicial entre o suporte do receptor de comunicação e os magnetômetros (sem fio) resultou em instabilidade no sistema, conforme se verifica pela Figura 12, na página a seguir.

Figura 12 - Exemplo de instabilidade no sistema da empresa A

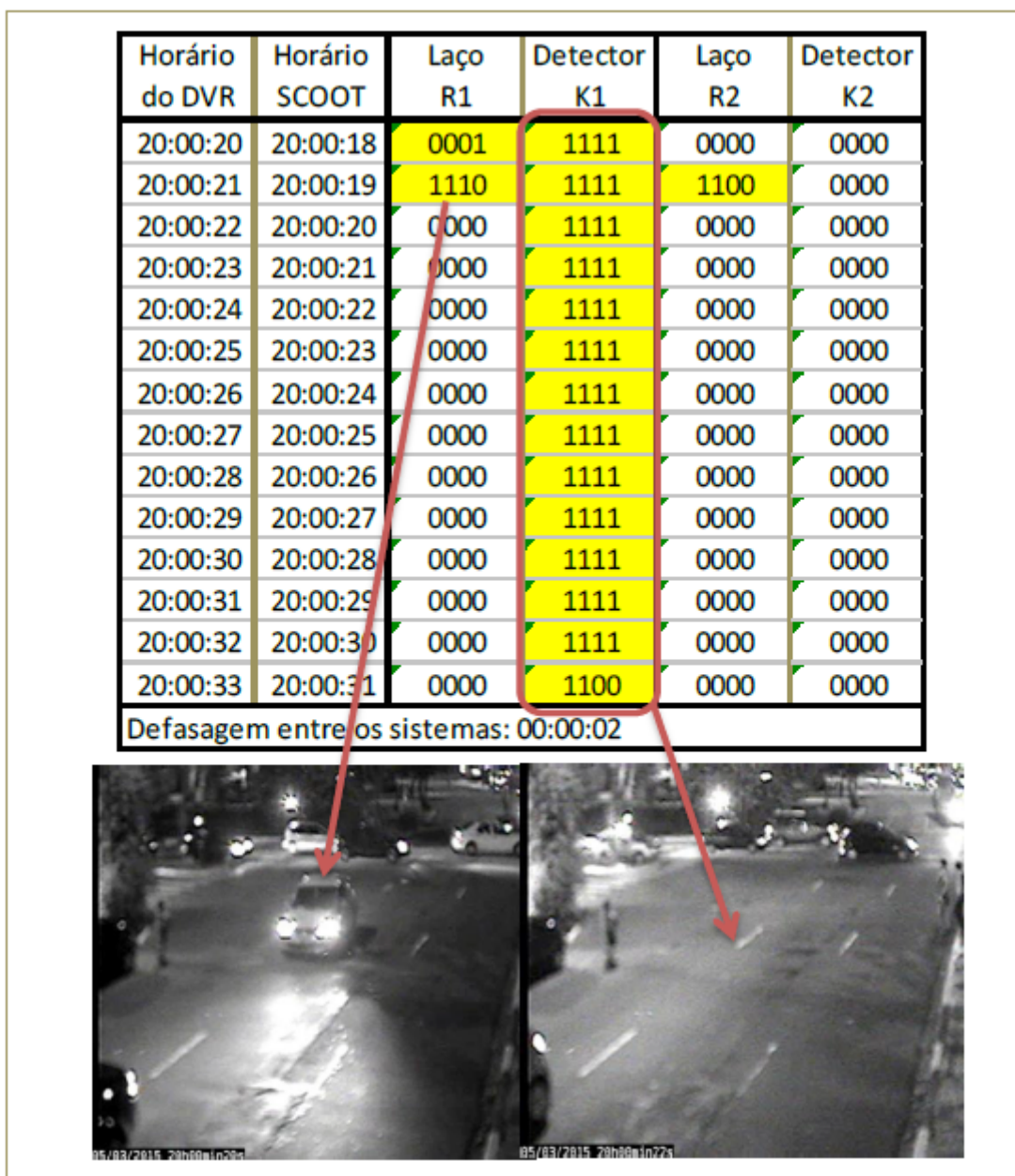


Por diversas vezes o sistema registrou ocupação em períodos em que não havia qualquer presença veicular. A empresa atribuiu esta ocorrência à perda de comunicação entre o sensor



e o circuito de recepção do sinal, que no sistema seria registrada como ocupação (ou seja, “1”). Assim, nos exemplos da Figura 12 anterior, bem como no exemplo da Figura 13 a seguir, o sistema indutivo (laço R1, e, neste caso também R2) registrou a passagem do veículo enquanto que o sistema avaliado (sensor K1) permaneceu por longo tempo indicando uma presença que não mais existia, possivelmente por falha de comunicação.

Figura 13 - Exemplo de instabilidade no sistema da empresa A



O fato de a não conformidade ocorrer tanto em condições de chuva (como na Figura 12) como sob tempo seco (como o da Figura 13) indica que o problema que as causou não estava correlacionado às condições meteorológicas.

Em vista da frequente ocorrência deste tipo de problema, o resultado em vários períodos de 5 minutos apresentou sobre-registro, ou seja, valores consistentemente elevados em relação aos registrados pelo sistema indutivo, acarretando não conformidade com os parâmetros definidos.

Para corrigir o problema, no segundo período a empresa realocou os magnetômetros e deslocou o suporte, posicionando-o ao lado dos sensores. Contudo outros problemas foram verificados.

Por sua vez, a empresa B implantou seu sistema desde o início posicionando os magnetômetros próximos ao centro dos laços indutivos e em vista disso, não apresentou o mesmo tipo de instabilidade identificado na avaliação dos testes da empresa A.

Contudo, foi verificada a ausência de registro durante a passagem de veículos, o que ocorreu tanto para a empresa A, quanto para a empresa B, conforme se percebe na Figura 14 abaixo e na Figura 15, a seguir.

Figura 14 - Exemplo de ausência de registro de ocupação – empresa A

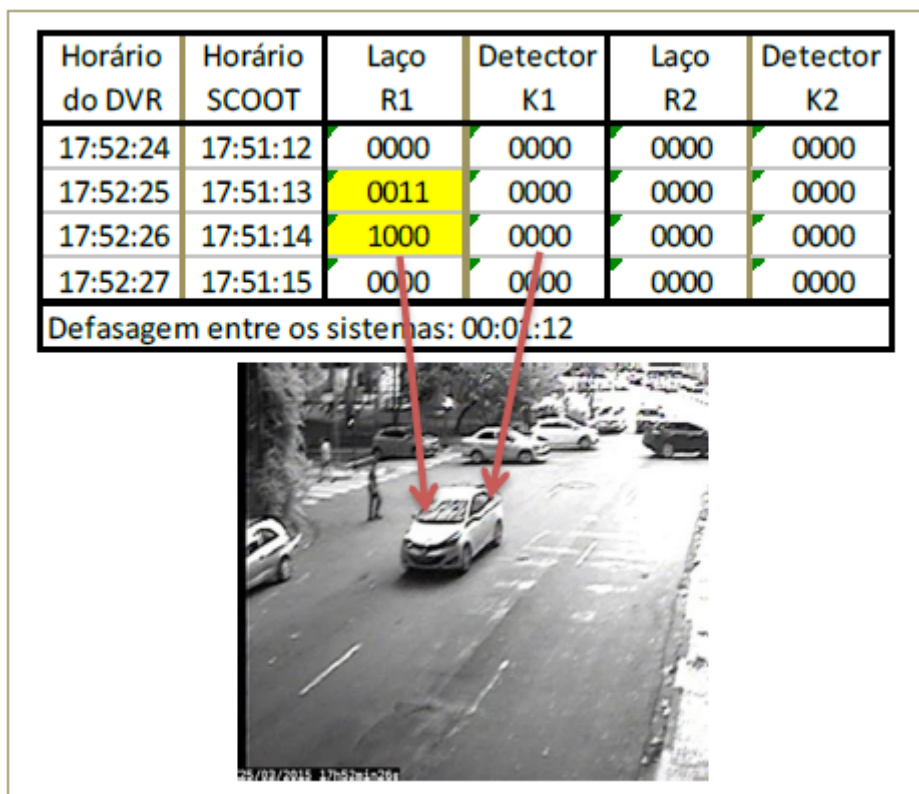
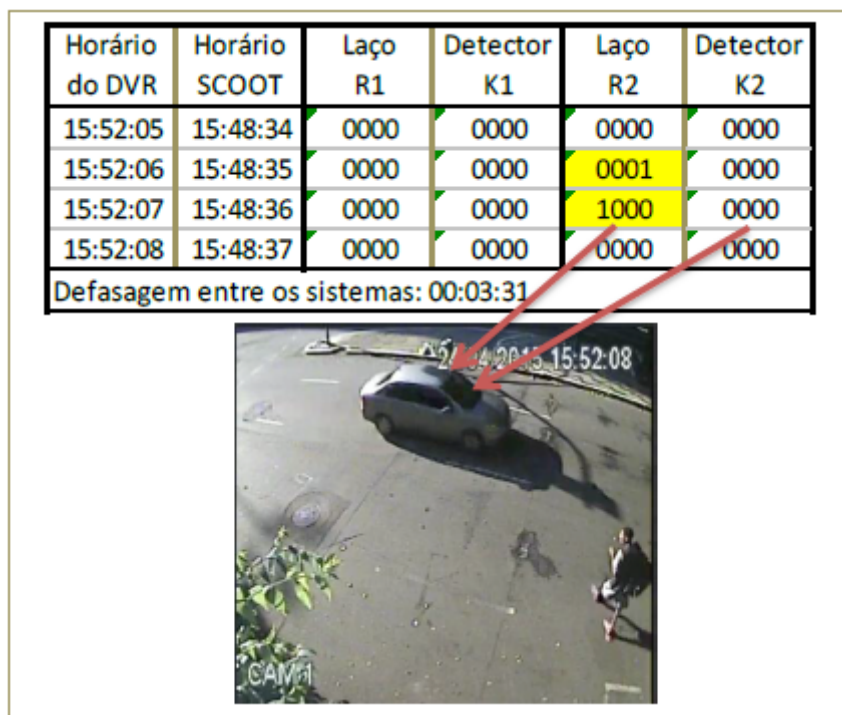
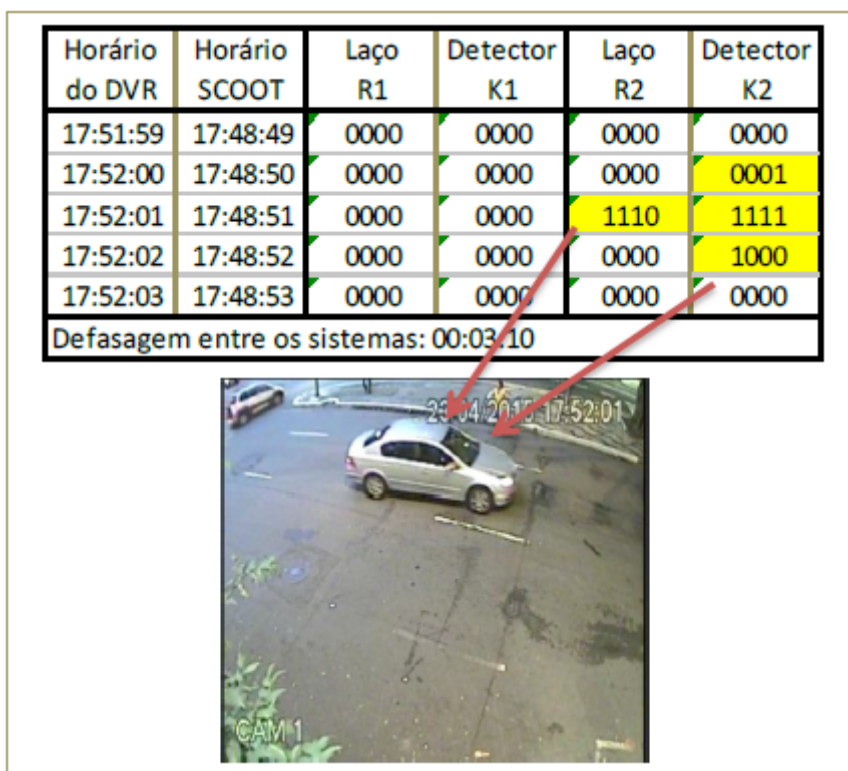


Figura 15 - Exemplo de ausência de registro de ocupação – empresa B



Apesar de os dois sistemas deixarem de registrar a passagem de alguns veículos, o que se verificou no geral foi que ambos registraram maior tempo de ocupação que o sistema indutivo. Isso porque a sensibilidade adotada permitiu a detecção em uma área maior que a do sistema indutivo.

Figura 16 - Exemplo de sobre-registro na passagem de veículo - empresa B

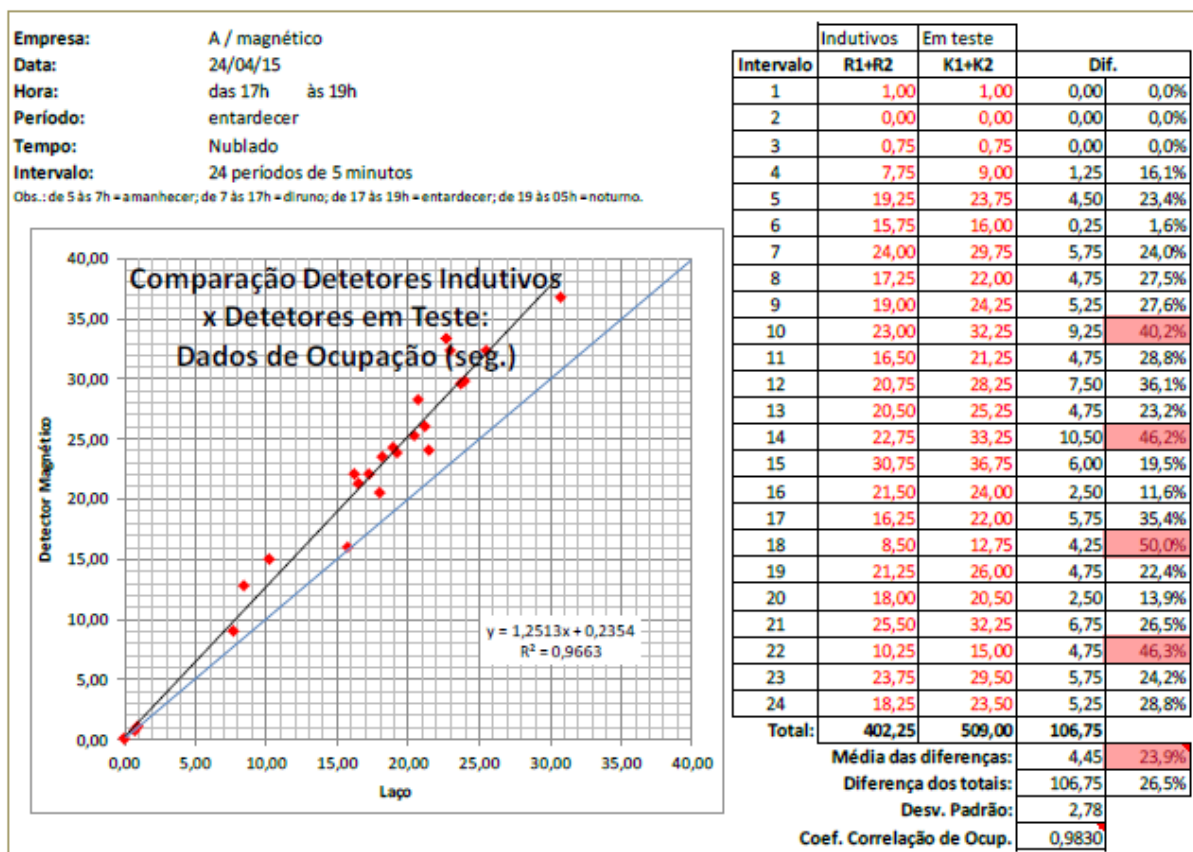




A Figura 16, anterior, ilustra a situação descrita na qual se verifica que a passagem de um veículo é registrada por mais tempo pelo sistema em testes.

Como resultado disso, o agrupamento dos dados da detecção em períodos de 5 minutos gerou avaliações similares às da Figura 17 abaixo.

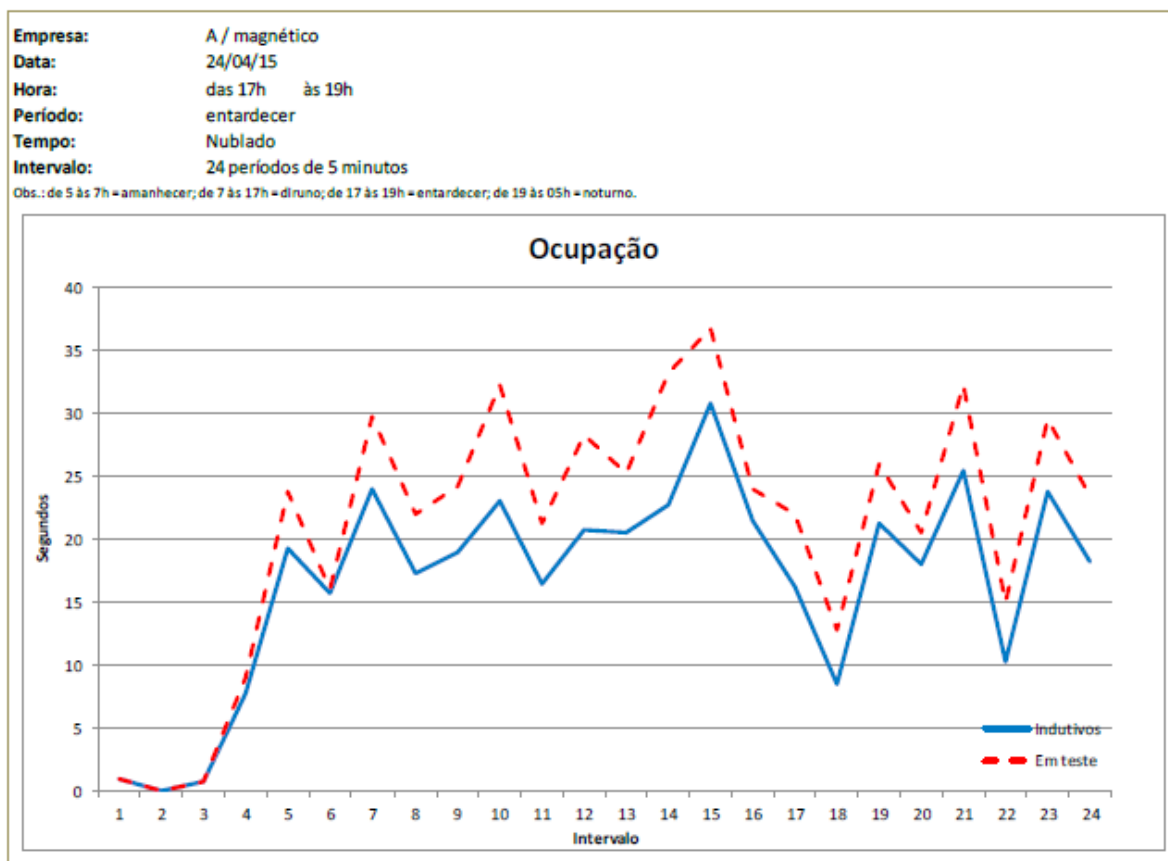
Figura 17 - Exemplo de sobre-registro na detecção veicular pela empresa A



Na tabela, verifica-se que a detecção pelos sensores K1 e K2 resultou em quatro não conformidades nas diferenças entre os valores absolutos (expressos em porcentagem) dos dois sistemas, bem como na média das diferenças.

Outra forma de visualizar este problema é exibida pela Figura 18, a seguir, onde se verifica que a linha vermelha pontilhada (que representa os valores absolutos de detecção registrados pelo sistema em testes para um período de 2 horas, subdivididas em intervalos de 5 minutos) permanece todo o tempo acima da linha azul contínua (que representa a detecção correspondente para o sistema indutivo).

Figura 18 - Exemplo de sobre-registro na detecção veicular pela empresa A



Embora o reposicionamento dos equipamentos da empresa A tenha tido resultado positivo, eliminando o problema de instabilidade, no segundo período verificou-se que ainda existiram casos em que a presença de veículos circulando na área de detecção não foi registrada. E, por outro lado, os ajustes efetuados fizeram com que a presença veicular que vinha sendo registrada por tempo maior que aquela indicada pelo sistema indutivo fosse compensada pela perda de registro de presença em diversos períodos. Assim, o resultado geral passou de uma situação de sobre-registro para sub-registro.

Para a empresa B, por sua vez, manteve-se a situação de sobre-registro no segundo período de testes, embora atenuado, mas não foi possível a identificação das causas das divergências nos registros, uma vez que não houve gravação de imagens por problemas técnicos desconhecidos. (Lembrando que a disponibilização da gravação em vídeo dos períodos de testes era condição *sine qua non* para a aprovação dos sistemas).

### Vídeo-deteção (não intrusivo)

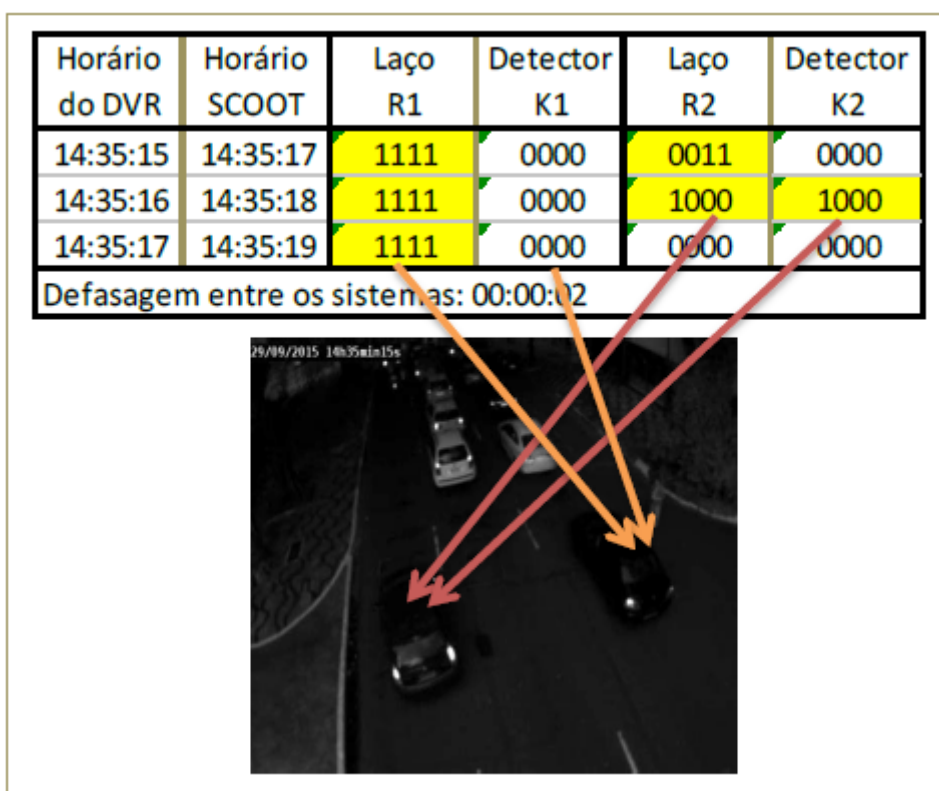
Duas empresas (A e E) ofereceram sistemas de vídeo-deteção para avaliação e a descrição dos problemas encontrados é apresentada a seguir.

É importante mencionar que, devido a falhas técnicas do sistema de gravação DVR da empresa A, não foi possível recuperar as imagens de vídeo do primeiro período de testes e, conseqüentemente, não puderam ser apresentadas as prováveis causas dos problemas ocorridos.

Assim, embora os resultados da Avaliação Funcional Parcial tenham indicado sub-registro (ou seja, registro de ocupação significativamente abaixo do indicado pelo sistema indutivo), não puderam ser encontradas as causas da ocorrência.

Para a Avaliação Funcional Final da empresa A, repetiu-se a condição geral de sub-registro, com a presença veicular sendo registrada em períodos mais curtos que aqueles registrados pelo sistema indutivo, conforme se verifica pela comparação de R2 e K2 na Figura 19.

Figura 19 - Exemplo de sub-registro e não identificação da presença veicular pela empresa A - condição do tempo: nublado

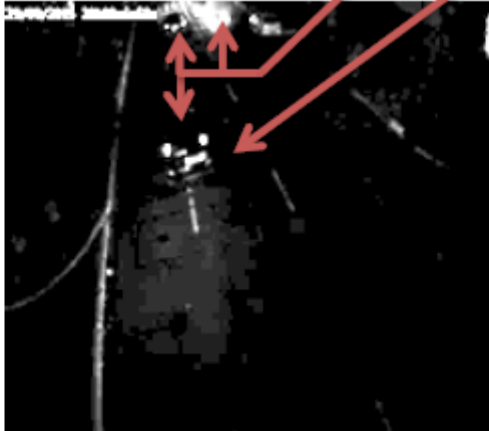


Verificou-se ainda que o sistema em teste deixou de registrar a presença dos veículos em todas as situações, fossem períodos diurnos (como no caso de K1, na Figura 19, anterior), ou noturnos (como na Figura 20, a seguir), seja com tempo nublado, sob chuva ou ainda em dias ensolarados (como na Figura 21, adiante).

Figura 20 - Exemplo de não identificação de presença veicular pela empresa A - período noturno

Horário do DVR	Horário SCOOT	Laço R1	Detector K1	Laço R2	Detector K2
20:08:56	20:08:58	0000	0000	0000	0000
20:08:57	20:08:59	0000	0000	0110	0000
20:08:58	20:09:00	0000	0000	0001	0000
20:08:59	20:09:01	0000	0000	1000	0000
20:09:00	20:09:02	0000	0000	0011	0000
20:09:01	20:09:03	0000	0000	0000	0000

Defasagem entre os sistemas: 00:00:02




Vale informar que, na situação acima, uma sequência de 3 veículos passou pela área de detecção, sendo incorretamente ignorada pelo sistema em testes (detector K2).

A Figura 21, adiante, ilustra um dia ensolarado em que as sombras das árvores se destacam da cor do pavimento, mas quase não contrastam com veículos de cores mais escuras. Nessa situação, o sistema em teste não identifica a presença desses veículos.

Figura 21 - Exemplo de não identificação de presença veicular pela empresa A - período ensolarado e baixo contraste entre as sombras das árvores e o veículo

Horário do DVR	Horário SCOOT	Laço R1	Detector K1	Laço R2	Detector K2
13:03:48	13:03:50	0111	0000	0000	0000
13:03:49	13:03:51	1111	0000	0000	0000
13:03:50	13:03:52	1111	0000	0000	0000
13:03:51	13:03:53	1111	0000	0000	0000
13:03:52	13:03:54	1111	0000	0000	0000
13:03:53	13:03:55	1111	0000	0000	0000
13:03:54	13:03:56	1111	0000	0000	0000
13:03:55	13:03:57	1111	0000	0001	0001
13:03:56	13:03:58	1111	0000	1110	1100

Defasagem entre os sistemas: 00:00:02




Por outro lado, um problema de registro indevido foi verificado em dias de sol intenso, quando a iluminação do pavimento (com alto contraste entre sombras e manchas de luz, movimentadas pelo vento) foi identificada como presença veicular, conforme Figura 22, adiante. Esta situação repetiu-se em ambos os períodos para a empresa E, bem como no segundo período da empresa A.

Para a empresa E, foram verificados os mesmos problemas registrados pela empresa A. Contudo, os problemas de não identificação de presença veicular em períodos noturnos se atenuaram no segundo período de testes.

Ambas as empresas apresentaram também problemas de identificação indevida tanto de pedestres quanto de motocicletas no segundo período.

Figura 22 - Exemplo de identificação indevida de iluminação do pavimento como presença veicular pela empresa E

Horário do DVR	Horário SCOOT	Laço R1	Detector K1	Laço R2	Detector K2
12:07:30	12:07:16	0000	1111	0000	0111
12:07:31	12:07:17	0000	1111	0000	1111
12:07:32	12:07:18	0000	1111	0000	1111
12:07:33	12:07:19	0000	1111	0000	1111
12:07:34	12:07:20	0000	1111	0000	1111
12:07:35	12:07:21	0000	1111	0000	1111
12:07:36	12:07:22	0000	1111	0000	1111
12:07:37	12:07:23	0000	1111	0000	1111
12:07:38	12:07:24	0000	1111	0000	1111
12:07:39	12:07:25	0000	1111	0000	1111
12:07:40	12:07:26	0000	1111	0000	1111
12:07:41	12:07:27	0000	1111	0000	1111
12:07:42	12:07:28	0000	1111	0000	1111
12:07:43	12:07:29	0000	1111	0000	1111
Defasagem entre os sistemas: 00:00:14					



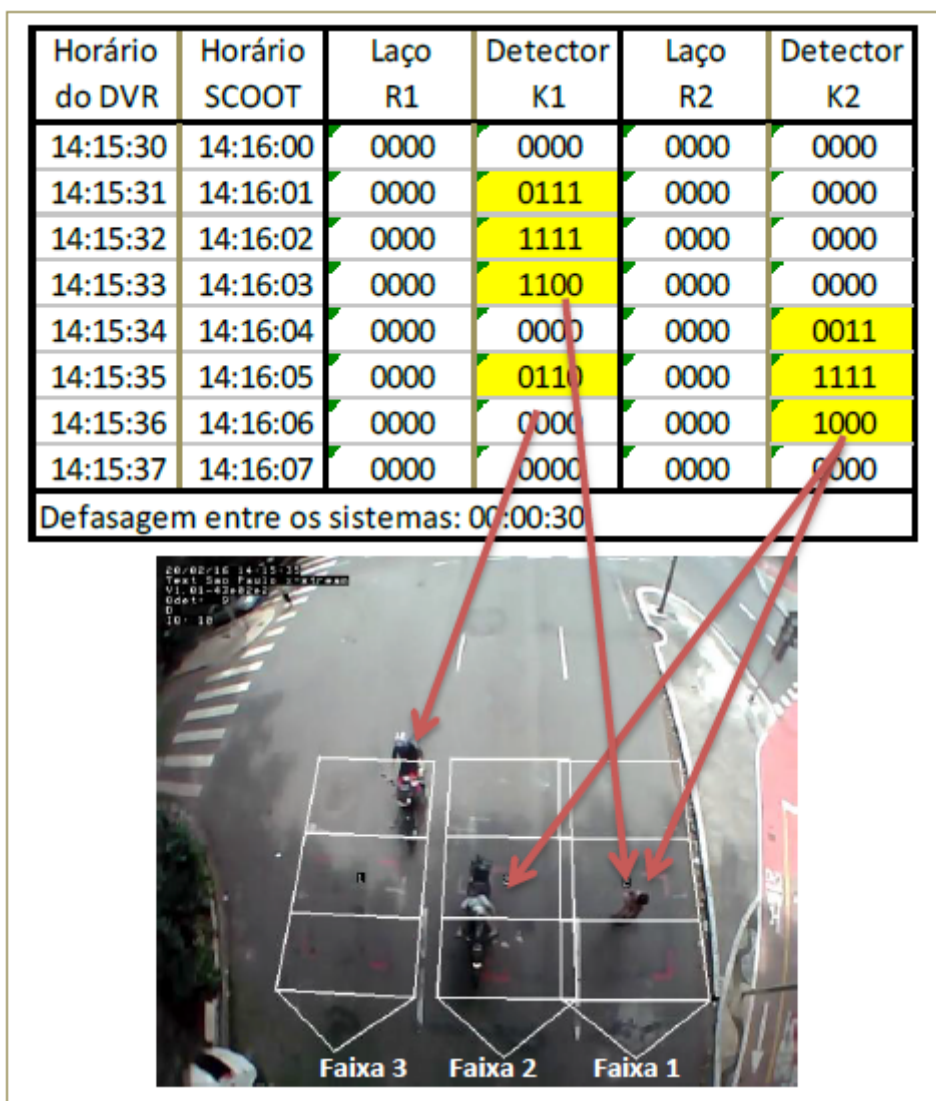
E, isso já ocorria desde o primeiro período de testes. (Lembrando que, para a empresa A, não foi possível encontrar os motivos das não conformidades do primeiro período, dada a



indisponibilidade de gravação de vídeo).

A Figura 23 a seguir exemplifica a detecção indevida de motocicletas, bem como de pedestre. Aqui, o pedestre que cruzou a via (da faixa 3 à esquerda para a faixa 1 à direita) é visível no centro do laço virtual da faixa 1, e pode-se verificar que ele foi identificado por K1 entre 14:15:31 e 14:15:33, e posteriormente por K2 entre 14:15:34 e 13:15:36.

Figura 23 - Exemplo de identificação indevida da presença de motocicletas e pedestres pela empresa E



Observe que, as bordas que delimitam os laços virtuais deste sistema aparecem em preto quando em *standby*, mas tornam-se brancas se o sistema identifica a presença de elemento

(que será registrado no relatório do SCOOT). Portanto, nesta figura, todos os laços virtuais encontram-se ativados, cada qual por um elemento distinto (moto na faixa 3, moto na faixa 2 e pedestre na faixa 1).

Note que, quando o pedestre já estava sendo detectado por K2 na faixa 1, uma motocicleta atravessou a área de detecção pela faixa 3, acionando o detector K1 às 14:15:36.

Vale lembrar que as empresas foram informadas de que seus sistemas deveriam ser ajustados para não detectar pedestres nem motocicletas.

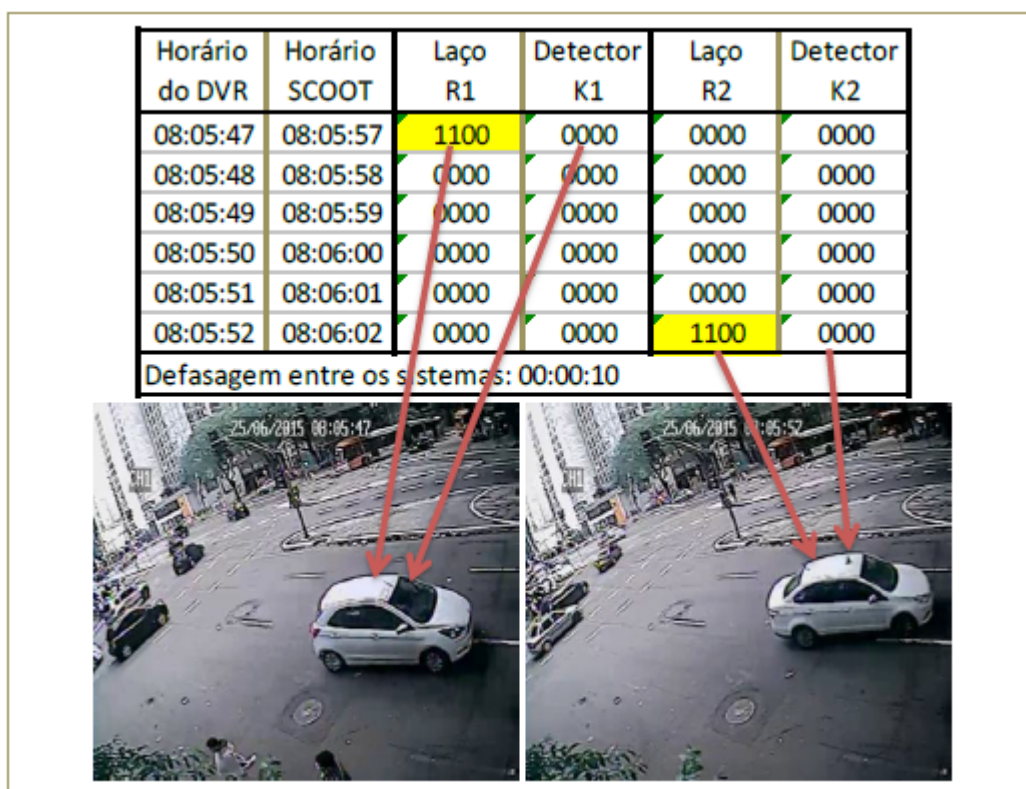
### Micro-ondas (radar) (não intrusivo)

A empresa C foi a única a apresentar para testes um sistema de detecção veicular baseado em tecnologia de micro-ondas.

No primeiro período de testes, o sistema revelou diversas não conformidades, destacando-se: sobre-registro nas detecções; não identificação da presença dos veículos que realizavam conversão a partir da saída da Ligação Leste-Oeste e entrando na R. da Consolação; e registro indevido de motocicletas e de pedestres.

Um exemplo da não identificação de veículos adentrando a área de detecção a partir da conversão pode ser visto na Figura 24, abaixo.

Figura 24 - Exemplo de não identificação de veículos vindos da conversão - empresa C





Na Figura 24 anterior pode-se perceber que dois veículos diferentes atravessaram a área de detecção com intervalo de poucos segundos. Contudo, enquanto o sistema indutivo registrava normalmente a ocupação correspondente a cada um daqueles veículos, o sistema em testes ignorou a presença de ambos.

Apesar da perda de registros neste tipo de situação, o resultado geral dos testes do primeiro período apresentou sobre-registro, e é possível que os frequentes registros indevidos de pedestres e motocicletas tenham contribuído para o resultado adverso.

A empresa atribuiu parte das divergências encontradas ao posicionamento do dispositivo sensor, inicialmente implantado no braço projetado do semáforo, visualizando os veículos na área de detecção pela parte traseira.

Para a realização da Avaliação Funcional Final, a empresa C remanejou o equipamento que foi então instalado adiante do local de detecção, passando a visualizar os veículos pela frente. Contudo, este e os demais ajustes realizados não obtiveram o efeito desejado, tendo permanecido todos os problemas indicados no decorrer do período da Avaliação Funcional Parcial, e tendo acarretado ainda em problemas de instabilidade do sistema.

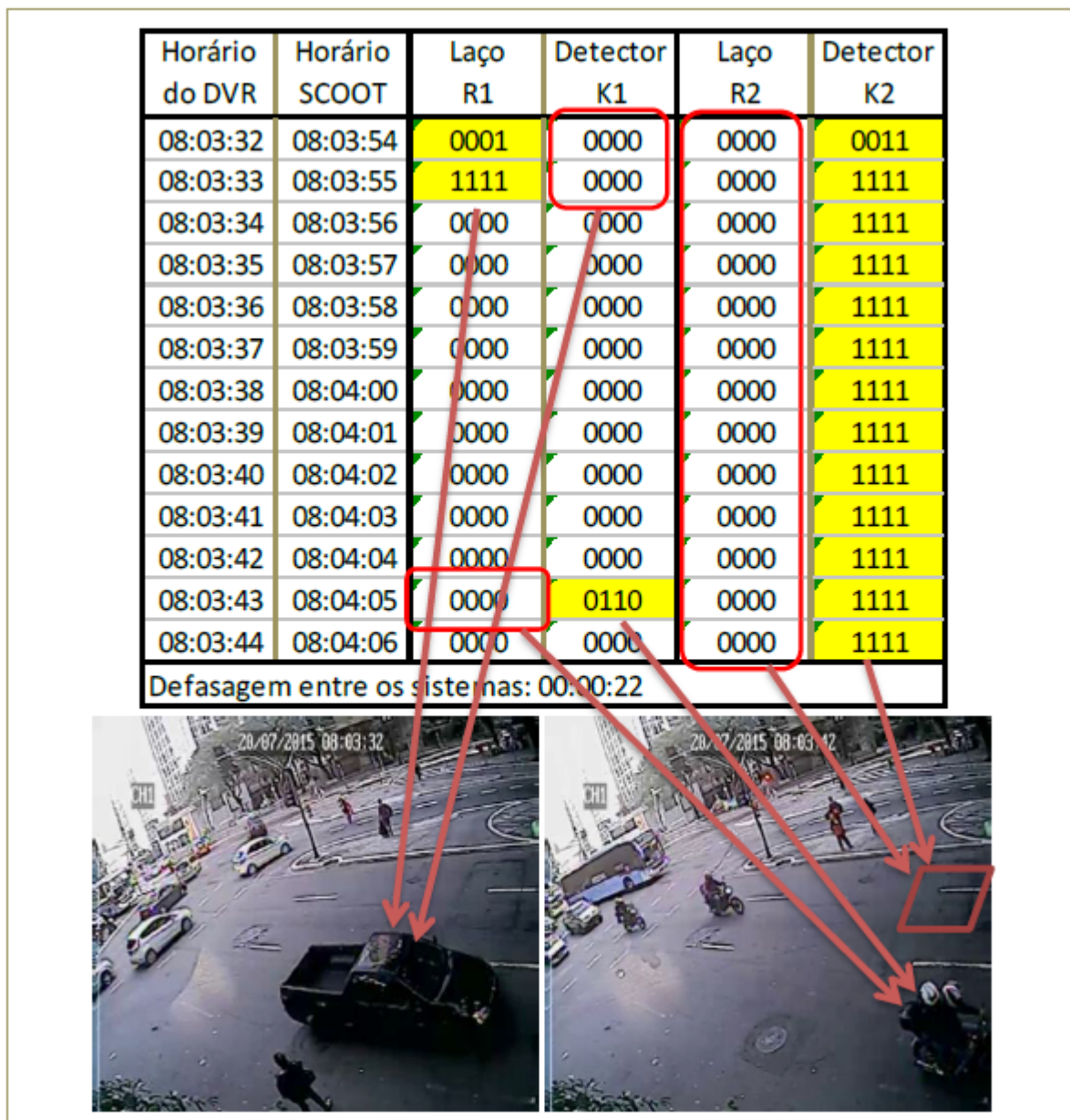
Assim, travamentos que não tinham sido verificados no primeiro período de testes passaram a ocorrer. Um exemplo de alguns dos problemas verificados no decorrer do período da Avaliação Funcional Final pode ser visto na Figura 25 adiante.

Nela verifica-se que o veículo preto proveniente da conversão, à esquerda, não é registrado pelo sistema em testes (K1), ao contrário do que ocorre com o sistema indutivo (R1). Por outro lado, a motocicleta (à direita) que não deveria ser registrada tem sua presença indicada pelo sensor K1.

Para completar, a comparação das colunas do laço R2 e do detector K2 com a respectiva imagem registrada, revela que K2 parece ter ficado “travado” já que não se verifica nenhum veículo que justifique os registros anotados.

Os demais problemas não serão novamente ilustrados, uma vez que já foram apresentados exemplos deles anteriormente.

Figura 25 - Exemplo de diversos problemas apresentados pelo sistema da empresa C no segundo período de testes



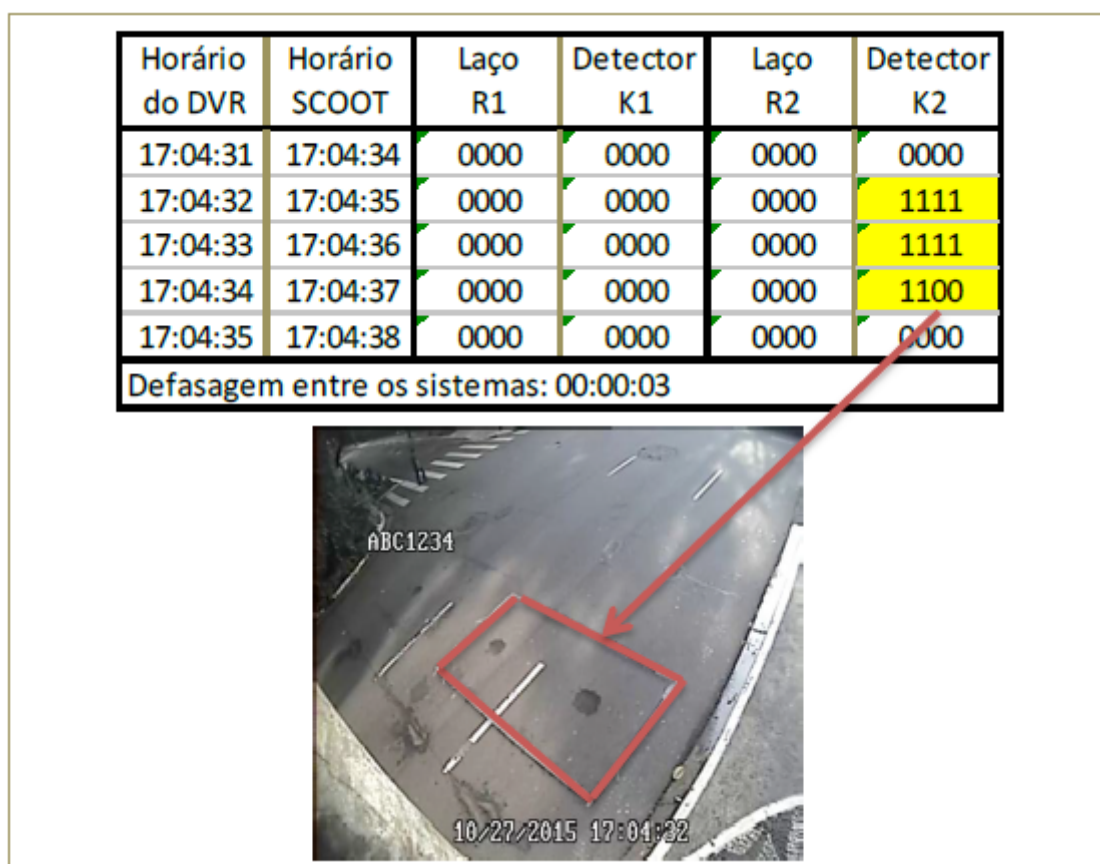
**Sônico (não intrusivo)**

Apenas um sistema baseado em tecnologia ultrassônica foi apresentado para os testes, o da empresa D.

Entre os problemas verificados no primeiro período de testes pode-se mencionar o de instabilidade, identificada por períodos em que era registrada presença, mesmo sem que nenhum veículo fosse encontrado no entorno da área de detecção.

Como o sistema sônico usa um princípio similar ao do radar, identificando a presença dos elementos por meio do registro do sinal refletido por eles, a empresa atribuiu este problema específico ao posicionamento dos sensores, que poderiam estar recebendo algum tipo de “eco” do sinal emitido, que era então indevidamente registrado. Um exemplo desta situação é ilustrado pela Figura 26, abaixo.

Figura 26 - Exemplo de instabilidade do sistema: registro de presença veicular inexistente pela empresa D




Vale mencionar que este problema foi verificado tanto em condições estáveis de meteorologia, quanto nos períodos de chuva. Contudo, sob chuva os problemas de instabilidade do sistema foram potencializados, como se pode perceber pela Figura 27, na próxima página.

Figura 27 - Exemplo de instabilidade do sistema: registros indevidos em condições de chuva - empresa D

Horário do DVR	Horário SCOOT	Laço R1	Detector K1	Laço R2	Detector K2
21:58:36	21:58:39	0000	0000	0000	0000
21:58:37	21:58:40	0000	1111	0000	0000
21:58:38	21:58:41	0000	1111	0000	0000
21:58:39	21:58:42	0000	1111	0000	0000
21:58:40	21:58:43	0000	1110	0000	0000
21:58:41	21:58:44	0000	1100	0000	0000
21:58:42	21:58:45	0000	1000	0000	0000
21:58:43	21:58:46	0000	0011	0000	0000
21:58:44	21:58:47	0000	1111	0000	0000
21:58:45	21:58:48	0000	1111	0000	0000
21:58:46	21:58:49	0000	0100	0000	0000
21:58:47	21:58:50	0000	1111	0000	0000
21:58:48	21:58:51	0000	1111	0000	0000
21:58:49	21:58:52	0000	1100	0000	0000
21:58:50	21:58:53	0000	0000	0000	0000

Defasagem entre os sistemas: 00:00:03



Além da instabilidade, o sistema sônico apresentou também problemas de sub-registro (indicando ocupação por tempo menor que o sistema indutivo) e perda de registro que foram verificadas fosse no período diurno ou noturno, e sob qualquer condição climática. Na próxima página, a Figura 28, ilustra estes dois problemas.

Figura 28 - Exemplos de sub-registro e não identificação de veículos pelo sensor da empresa D



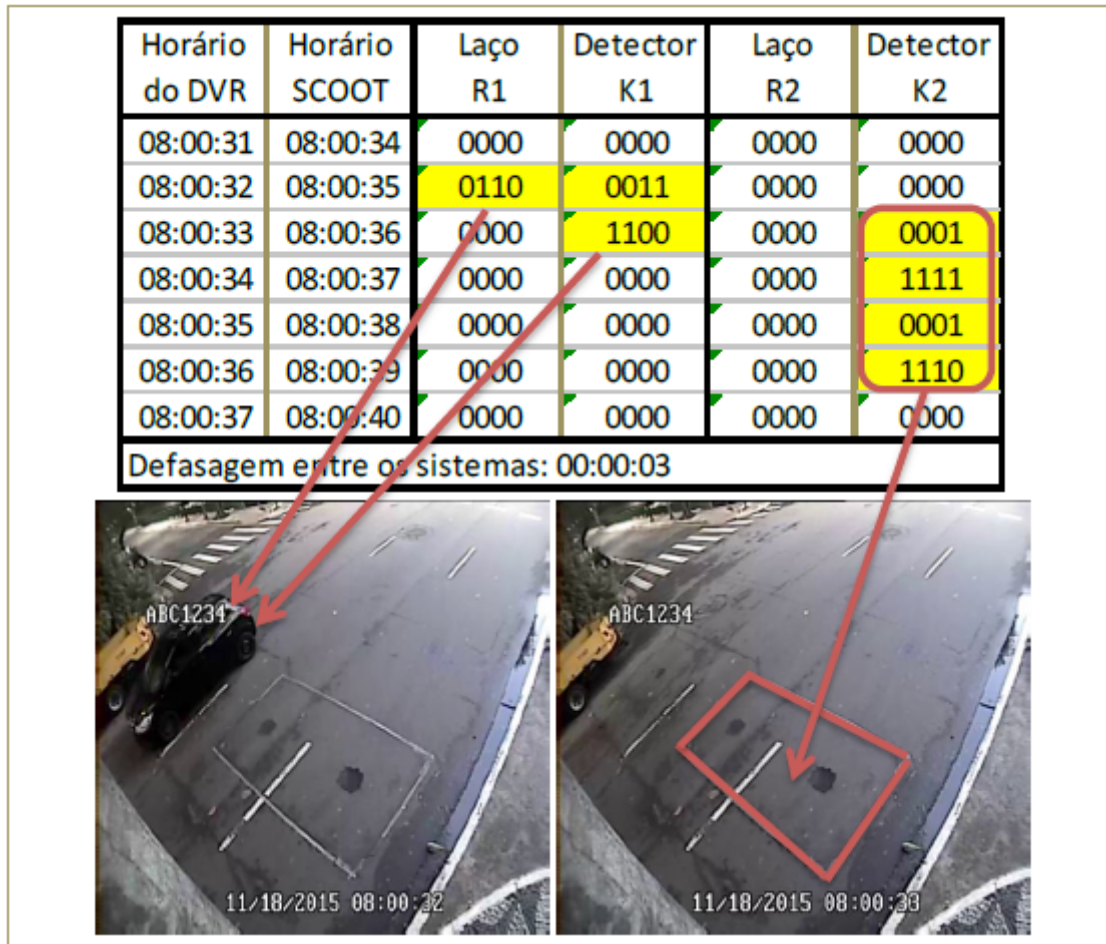
Nesta figura, a presença do veículo multi-colorido da faixa 3 é registrada por  $\frac{3}{4}$  de segundo pelo laço R1, mas por apenas  $\frac{1}{4}$  de segundo pelo sistema sônico, indicando o sub-registro. Por outro lado o veículo vermelho que transita pela faixa 2, bem como o veículo prata que passa em seguida pela mesma faixa não são registrados pelo sistema em testes.

Ao término do primeiro período de testes, a empresa atribuiu os problemas ao posicionamento dos sensores. Ela percebeu que, além de estarem focalizando um local um pouco adiante da área de influência dos laços indutivos, os cones ultrassônicos não conseguiam abranger toda a área correspondente aos respectivos laços, ocasionando a não identificação da presença de veículos em várias situações.

Em vista disso, a empresa D reposicionou os sensores antes de dar início ao segundo período de testes. Mas embora tenha havido reversão quanto ao problema de sub-registro, todos os demais problemas permaneceram no período da Avaliação Funcional Final, inviabilizando a aprovação também para este sistema.



Figura 29 - Exemplo de persistência de problemas no segundo período de testes - empresa D



A Figura 29 acima, exibe um exemplo da instabilidade do sistema (no qual o detector K2 registra indevidamente presença) e do problema de sobre-registro que passou a ocorrer neste período (com o detector K1, que anteriormente registrava a ocupação veicular por menos tempo que R1, agora detectando por intervalo maior).

## **CONCLUSÃO**

Foram realizados dois períodos de testes com cada tecnologia/empresa, sendo estes intercalados por um período no qual os responsáveis tiveram oportunidade de otimizar o desempenho comparativo dos sistemas apresentados. Verificou-se que, com base nos parâmetros propostos para as Avaliações Funcionais, nenhum dos sistemas com tecnologia alternativa pôde ser considerado similar ao sistema indutivo, conforme descrito anteriormente.

Um resumo geral dos problemas encontrados durante as Avaliações Parcial e Final separados por tecnologia e empresa pode ser visto na Tabela 1, adiante.

Nela pode-se verificar que, em alguns casos, o período adicional de testes trouxe pequenos benefícios, contudo, no cômputo geral não foram suficientemente significativos para a aprovação nas Avaliações Finais.

Por outro lado, a Tabela 2 mais adiante agrupa os problemas identificados por grupo, de forma que se verifica que o sistema sônico foi o que mais apresentou problemas de instabilidade, enquanto que os sistemas de vídeo detecção foram os que mais sofreram por influência das condições climáticas (como contrastes e sombras em dias ensolarados; sob chuva; ou pela diminuição da iluminação natural nos períodos noturnos).

Também pode-se perceber que tanto o sistema com tecnologia de radar quanto os sistemas de vídeo detecção apresentaram problemas de detecção indevida de pedestres e motocicletas. Três empresas oscilaram de sobre-registro para sub-registro (ou vice-versa) após o período de ajustes, enquanto duas empresas mantiveram o sobre-registro e uma manteve o sub-registro, mas nenhuma chegou a equiparar à sensibilidade dos laços indutivos.

Por fim, todas as empresas/tecnologias deixaram de identificar veículos registrados pelo sistema indutivo em diversas situações.

Tabela 1 - Descrição dos resultados das Avaliações Funcionais Parciais e Finais por tecnologias/ empresa participante dos testes.

PROBLEMAS REGISTRADOS	Aval. Func. Parcial	Aval. Func. Final	EMPRESA A	EMPRESA B	EMPRESA C	EMPRESA D	EMPRESA E	EMPRESA A
			MAGNÉTICO		RADAR (microondas)	SÔNICO	VÍDEO DETECÇÃO	
Divergências devida ao posicionamento dos sensores (área de detecção não coincidente com a dos laços; posição)	X	X						
Instabilidade do sistema devido a problema de comunicação (pela profundidade de implantação dos sensores na capa asfáltica e sua distância do receptor) ⇒ travamento e sobre-registro (qualquer período/condição meteorológica)	X	-						
Não identificação de veículos presentes na área de detecção (qualquer período)	X	X						
Registro de presença veicular por tempo superior ao registrado pelo sistema indutivo (so bre-registro)	X	-						
Registro de presença veicular por tempo inferior ao registrado pelo sistema indutivo (sub-registro)	-	X						
Não identificação de veículos presentes na área de detecção (qualquer período)	X	S/I						
Registro de presença veicular por tempo superior ao registrado pelo sistema indutivo (so bre-registro)	X	X						
Registro de presença veicular por tempo superior ao registrado pelo sistema indutivo (so bre-registro)	X	-						
Não identificação de veículos presentes na área de detecção (veículos provenientes da conversão)	X	X						
Registro indevido de pedestres e motocicletas	X	X						
Divergências devida ao posicionamento dos sensores (área de detecção não coincidente com a dos laços; posição)	X	X						
Instabilidade do sistema ⇒ travamento (qualquer período/condição meteorológica)	-	X						
Instabilidades no sistema (possivelmente devido a "eco" de sinal emitido) potencializadas sob chuva	X	X						
Registro de presença veicular por tempo inferior ao registrado pelo sistema indutivo (sub-registro)	X	-						
Não identificação de veículos presentes na área de detecção (qualquer período)	X	X						
Divergências devida ao posicionamento e à amplitude da área de detecção (não coincide com a dos laços; com e menor)	X	X						
Registro de presença veicular por tempo superior ao registrado pelo sistema indutivo (so bre-registro)	-	X						
Registro de presença veicular por tempo superior ao registrado pelo sistema indutivo (so bre-registro)	X	-						
Registro de presença veicular por tempo inferior ao registrado pelo sistema indutivo (sub-registro)	-	X						
Não identificação de veículos presentes na área de detecção (diurno / qualquer condição meteorológica, inclusive devido ao contraste entre sol e sombras)	X	X						
Não identificação de veículos presentes na área de detecção (noturno / qualquer condição meteorológica)	X	-						
Registro indevido de pedestres e motocicletas	X	X						
Registro indevido de iluminação no pavimento (contraste entre sombras e luz)	X	X						
Registro de presença veicular por tempo inferior ao registrado pelo sistema indutivo (sub-registro)	X	X						
Não identificação de veículos presentes na área de detecção (qualquer período / condição meteorológica, inclusive devido ao contraste entre sol e sombras)	S/I	X						
Registro indevido de pedestres e motocicletas	S/I	X						
Registro indevido de iluminação no pavimento (contraste entre sombras e luz)	S/I	X						



Tabela 2 - Resumo dos problemas verificados nas Avaliações Funcionais Parcial e Final por empresas/tecnologias.

TECNOLOGIA e AVALIAÇÃO PROBLEMA	EMPRESA A		EMPRESA B		EMPRESA C		EMPRESA D		EMPRESA E		EMPRESA A	
	MAGNÉTICO				RADAR (microondas)		SÔNICO		VÍDEO DETECÇÃO			
	parcial	final	parcial	final	parcial	final	parcial	final	parcial	final	parcial	final
POSICIONAMENTO DOS DISPOSITIVOS	X	X	-	S/I	X	X	X	X	-	-	S/I	-
INSTABILIDADE DO SISTEMA	X	-	-	S/I	-	X	X	X	-	-	S/I	-
DEIXAR DE REGISTRAR VEÍCULOS	X	X	X	S/I	X	X	X	X	X	X	S/I	X
AGRAVAMENTO COM SOL (contraste/sombras)	-	-	-	S/I	-	-	-	-	X	X	S/I	X
AGRAVAMENTO SOB CHUVA	-	-	-	S/I	-	-	X	X	X	X	S/I	X
AGRAVAMENTO NO PERÍODO NOTURNO	-	-	-	S/I	-	-	-	-	X	-	S/I	X
REGISTRO INDEVIDO DE MOTOS	-	-	-	S/I	X	X	-	-	X	X	S/I	X
REGISTRO INDEVIDO DE PEDESTRES	-	-	-	S/I	X	X	-	-	X	X	S/I	X
SOBRE-REGISTRO	X	-	X	X	X	X	-	X	X	-	-	-
SUB-REGISTRO	-	X	-	-	-	-	X	-	-	X	X	X

Depreende-se de todo o exposto que a definição da área de detecção de sistemas alternativos é uma questão bastante sensível quando se pretende substituir o sistema indutivo nos trabalhos de identificação veicular para uso com o Sistema SCOOT. Em vista disso, seria desejável um estudo mais aprofundado sobre a área de influência dos laços e a necessária correspondência com os sistemas alternativos.

Outra questão que merece maiores estudos é a sensibilidade dos vários sistemas, que deveriam registrar única e exclusivamente veículos automotores, excetuando-se aí as motocicletas. É preciso identificar como evitar o registro indevido não só das motos, mas também das bicicletas, dos pedestres e até de pedestres com guarda-chuvas.

É interessante perceber que houve, de início, bastante otimismo por parte das empresas quanto à aprovação de seus sistemas. Contudo, após a constatação dos problemas (auxiliada pelas imagens de vídeo) e as dificuldades encontradas nas tentativas de ajustes, todas consideraram que seria desejável um número maior de oportunidades de correção de seus sistemas para atingir o desempenho desejado.

Assim, é importante ressaltar que, em virtude de todas as dificuldades verificadas, restam dúvidas quanto à aderência e grau de transferibilidade dos resultados obtidos para outros locais com características distintas àquelas do local dos testes, caso venha a haver aprovação de sistemas no futuro.

**Agradecimentos:**

Agradecemos pelo apoio técnico e operacional que nos foi prestado em implantações, manutenções e remoções de equipamentos pelos funcionários e respectivas chefias dos Departamentos de Engenharia de Tráfego - DET CN3, de Controle de Semáforos - DCS SO, e da Superintendência de Engenharia de Sinalização – SSI, e sem os quais não teria sido possível a realização dos testes.

**Referências bibliográficas:**

DIAMOND TRAFFIC PRODUCTS. Oakridge. Inductive Loop Guide. Disponível em: <<http://support.diamondtraffic.com/knowledgemanager/questions/23/Inductive+Loop+Guide>>. Acesso em: 31 ago. 2016.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. Fundamentos de Física II: gravitação, ondas e termodinâmica. 9 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

HAYT, Willian H; BUCK, John A. Eletromagnetismo. Tradução: Antônio Romeiro Sapienza 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003. 339p.

MING, Sun Hsien. Uma breve descrição do sistema SCOOT. São Paulo: Companhia de Engenharia de Tráfego, 1997. 19p. – (Nota técnica da CET, 201).

NETO, João Cucci. Um pequeno estudo sobre contagens veiculares na área central da cidade. São Paulo: Companhia de Engenharia de Tráfego, 2016a. 17p. – (Nota técnica da CET, 242).

NETO, João Cucci. Semáforo: ser ou não ser inteligente? Uma comparação entre tempos fixos e o em tempo real. São Paulo: Companhia de Engenharia de Tráfego, 2016b. 33p. – (Nota técnica da CET, 243).

VILANOVA, Luis Molist. O controle de semáforos em tempo real: a experiência de São Paulo. São Paulo: Companhia de Engenharia de Tráfego, 2005. 63p.- (Boletim técnico da CET, 38).