



Uso do GPS na estimativa de emissões de gases causadores do efeito estufa (GEE)

Prof. Dr. Flávio Vaz

flaviovaz@usp.br



Agenda

- Apresentação do problema
- Apresentação sistema GPS
- Trabalho de campo
- Análise dos receptores
- Modelo matemático de emissões:
 - *Comprehensive Modal Emission Model (CMEM)*
- Resultados e conclusões
- Próximas etapas e aplicações futuras



Agenda

- Desafio:
 - Estimar as emissões dos gases causadores do efeito estufa pelos veículos de carga
- Problemas
 - Transporte é responsável por cerca de 40% das emissões de CO₂ no setor de energia
 - Modal rodoviário representa 60% transporte de carga na logística e 90% das emissões
 - Predominância de transporte de longo curso (1.000 km)
 - Frota obsoleta (18 anos)
 - Não padronização dos veículos
 - Maioria autônomos



Agenda

- Abordagem
 - Estimativa a partir de uma abordagem energética
 - Coleta de dados de forma acessível e de baixo custo para um grande número de veículos
 - Modelos matemáticos de estimativa de emissões dinâmicos e instantâneos (europeus)
 - Disponibilização dos dados na nuvem computacional



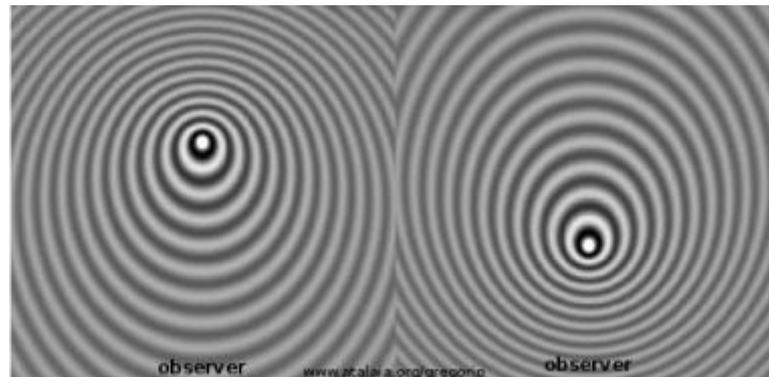
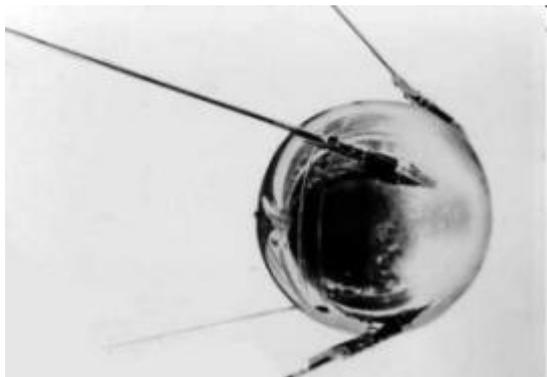
Sistema GPS





GPS - Histórico do Sistema

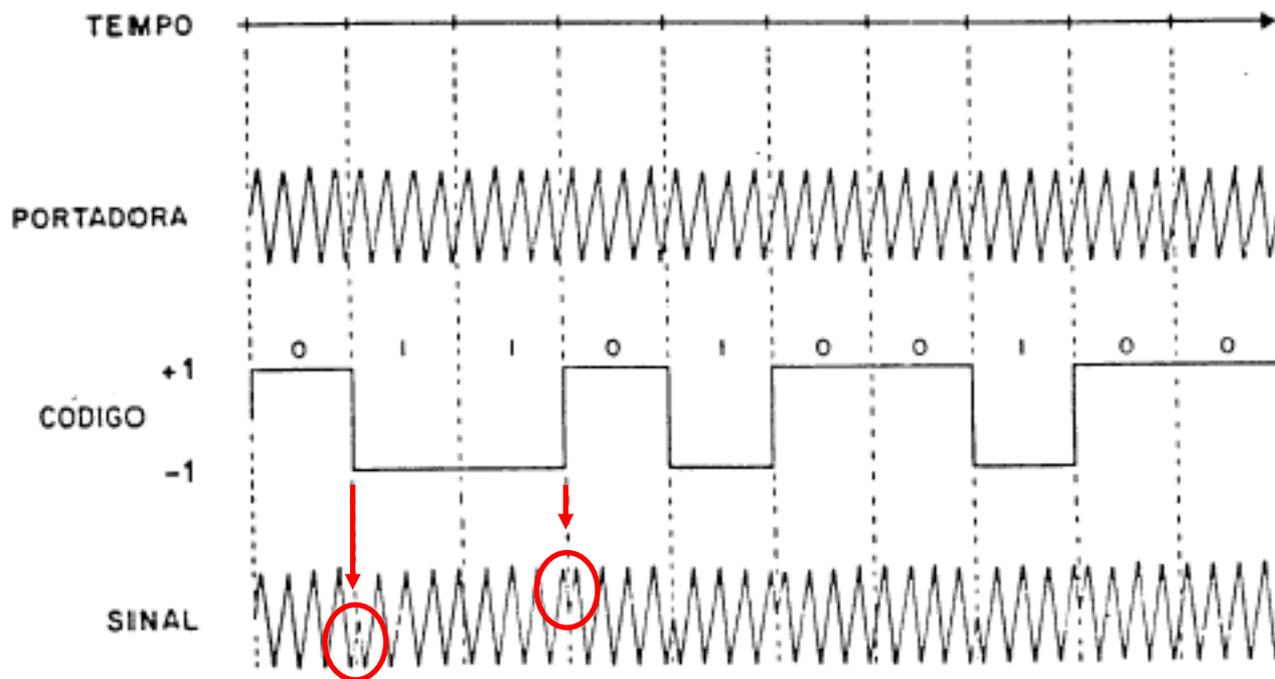
- Início da era espacial: SPUTNIK I (4/10/1957)
- Utilização do efeito Doppler-Fizeau na determinação da órbita dos satélites por Guier e Weiffenbach
- Determinação da posição a partir de órbitas conhecidas por McClure





GPS - Sinais Transmitidos

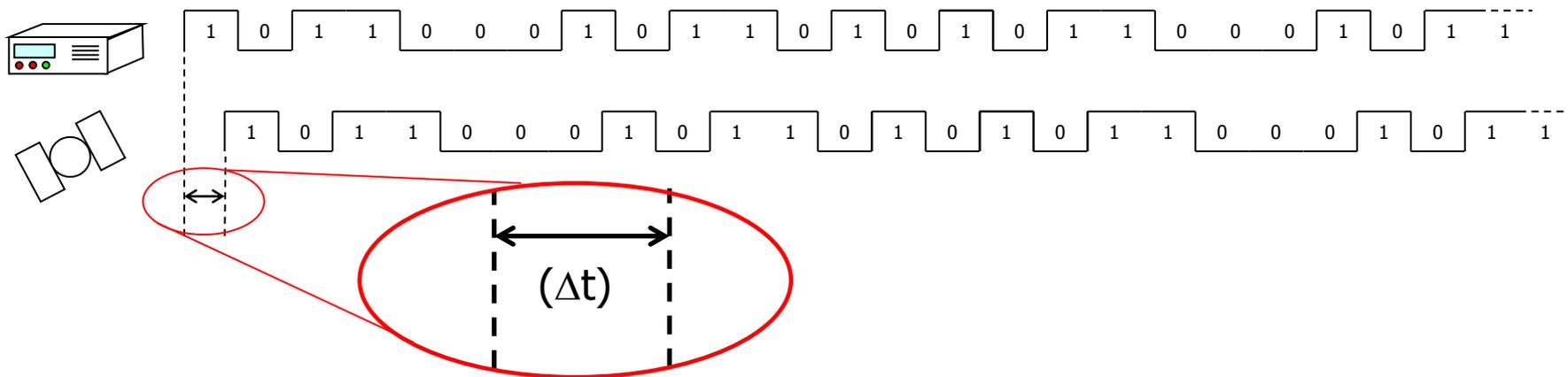
- Modulação em fase





Tempo GPS

- Obtenção do tempo de viagem do sinal
 - Uso do código C/A:
 - Princípio da correlação entre os sinais
 - O código C/A é gerado no interior do receptor e comparado com o código C/A do sinal recebido
 - obtém-se o atraso entre os sinais (Δt)





Cálculo da Posição

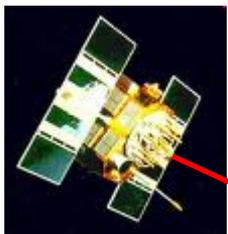
Sat.2 (X_2, Y_2, Z_2)



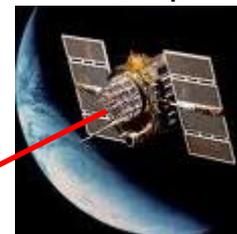
Sat.3 (X_3, Y_3, Z_3)



Sat.1 (X_1, Y_1, Z_1)



Sat.4 (X_4, Y_4, Z_4)



$$d_2 = c.(\Delta t_2 + \epsilon)$$

$$d_3 = c.(\Delta t_3 + \epsilon)$$

$$d_1 = c.(\Delta t_1 + \epsilon)$$

$$d_4 = c.(\Delta t_4 + \epsilon)$$



Receptor (X_r, Y_r, Z_r)



Cálculo da Posição

Transformado as equações:

$$c.(\Delta t_i + \varepsilon_i) = [(X_i - X_r)^2 + (Y_i - Y_r)^2 + (Z_i - Z_r)^2]^{1/2}$$

Sistema para 4 satélites e o receptor:

$$\left\{ \begin{array}{l} c.(\Delta t_1 + \varepsilon) = [(X_1 - X_r)^2 + (Y_1 - Y_r)^2 + (Z_1 - Z_r)^2]^{1/2} \quad - \text{satélite 1} \\ c.(\Delta t_2 + \varepsilon) = [(X_2 - X_r)^2 + (Y_2 - Y_r)^2 + (Z_2 - Z_r)^2]^{1/2} \quad - \text{satélite 2} \\ c.(\Delta t_3 + \varepsilon) = [(X_3 - X_r)^2 + (Y_3 - Y_r)^2 + (Z_3 - Z_r)^2]^{1/2} \quad - \text{satélite 3} \\ c.(\Delta t_4 + \varepsilon) = [(X_4 - X_r)^2 + (Y_4 - Y_r)^2 + (Z_4 - Z_r)^2]^{1/2} \quad - \text{satélite 4} \end{array} \right.$$

Incógnitas (~~ε~~ , X_r, Y_r, Z_r) \rightarrow Coordenadas do receptor (ϕ, λ, h)



Erros do Sistema

- Erros sistemáticos envolvidos:
 - Observáveis GPS: pseudodistância e fase;
 - Satélite: erro da órbita, erro do relógio, relatividade e atraso entre as duas portadoras;
 - Propagação do sinal: troposfera, ionosfera, perda de ciclos, multicaminhamento e rotação da Terra.



Erros do Sistema

- Erros sistemáticos envolvidos:
 - Receptor/antena: erro do relógio, canais e centro de fase;
 - Estação: erro nas coordenadas, multicaminhamento, marés terrestres, movimento do pólo, carga dos oceanos e pressão atmosférica;
 - Usuários e casualidades.



Receptores de Navegação





Receptores SIG



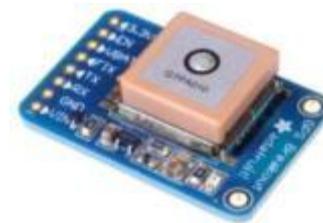


Receptores Topográficos





Receptores Telemetria Veicular





Aplicação

- Aplicação do uso de receptores GPS de alta frequência de amostragem para a estimativa de emissão de GEE





Trabalho de campo

- Motivação
 - Estimativa da emissão dos gases causadores do efeito estufa (GEE)
 - Existência de modelos Europeus e Norte Americanos para estimativa de emissão de GEE
 - Falta de dados primários sobre consumo / emissão de gases
 - Ajustar os modelos aos dados primários
 - GPS pode fornecer dados sobre o deslocamento do veículo.



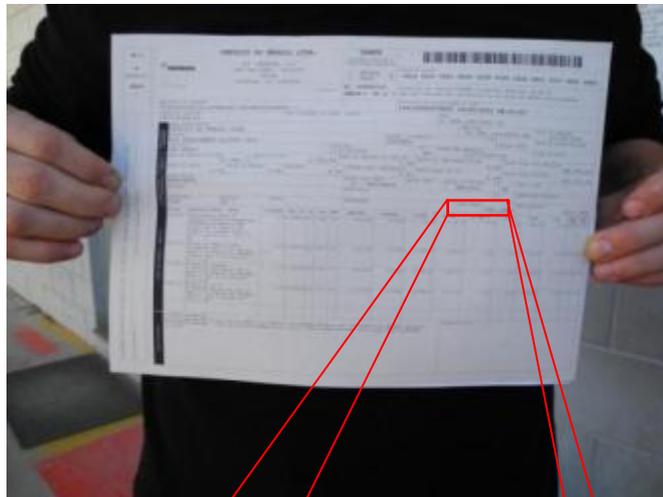
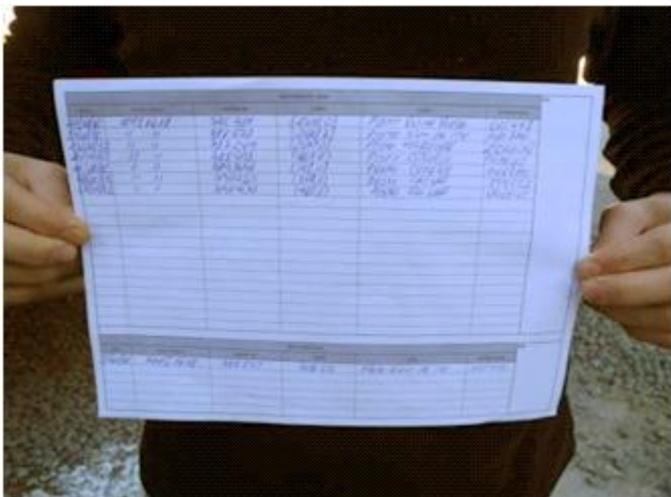
Operação



Mercedes Benz - Axor 1933



Operação



Hodômetro	Distância	Litros	km/l
785781		204	
786573	792	264,7	2,992066
787249	676	200	3,38
788418	1169	463	2,524838
789324	906	312	2,903846
790769	1445	465	3,107527
791424	655	208	3,149038

	UF	IN
PESO BRUTO		PE
5911,840		
ICMS	BC.ICMS ST	V.ICMS ST
4.785,76	0,00	0,00



Materiais e Métodos

- Instalação do GPS





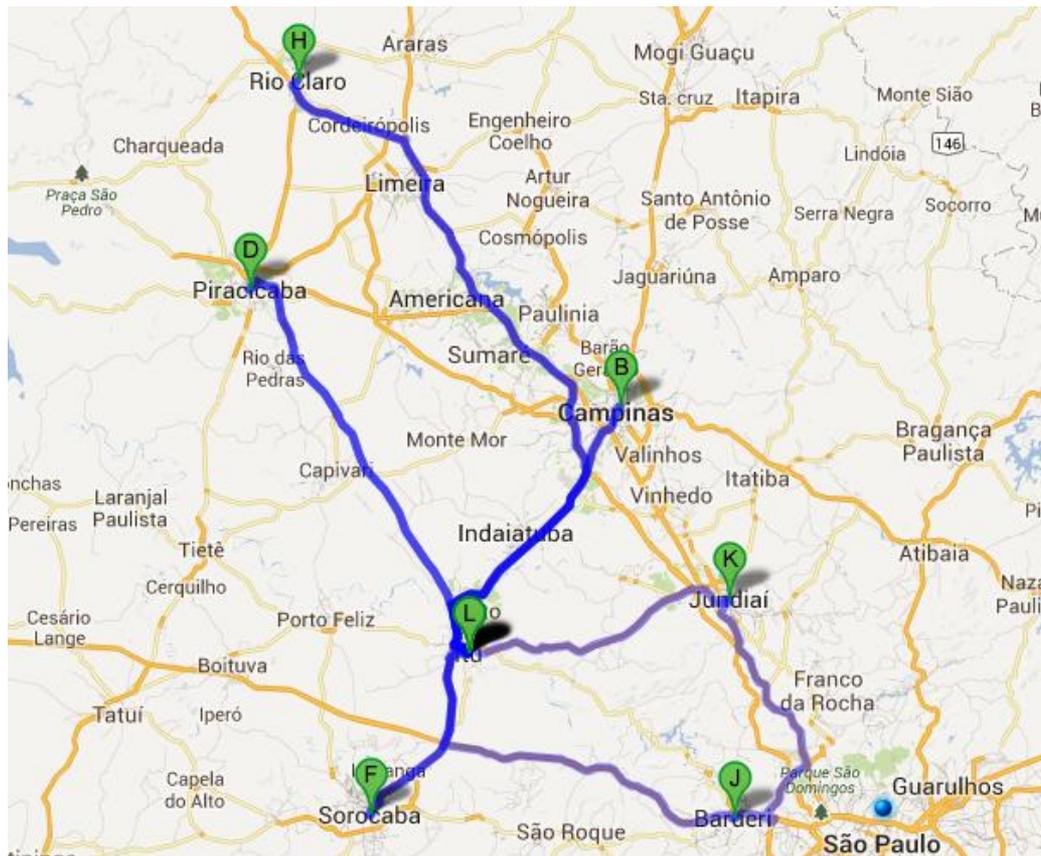
Materiais e Métodos

- Instalação do GPS





Operação - Itinerário





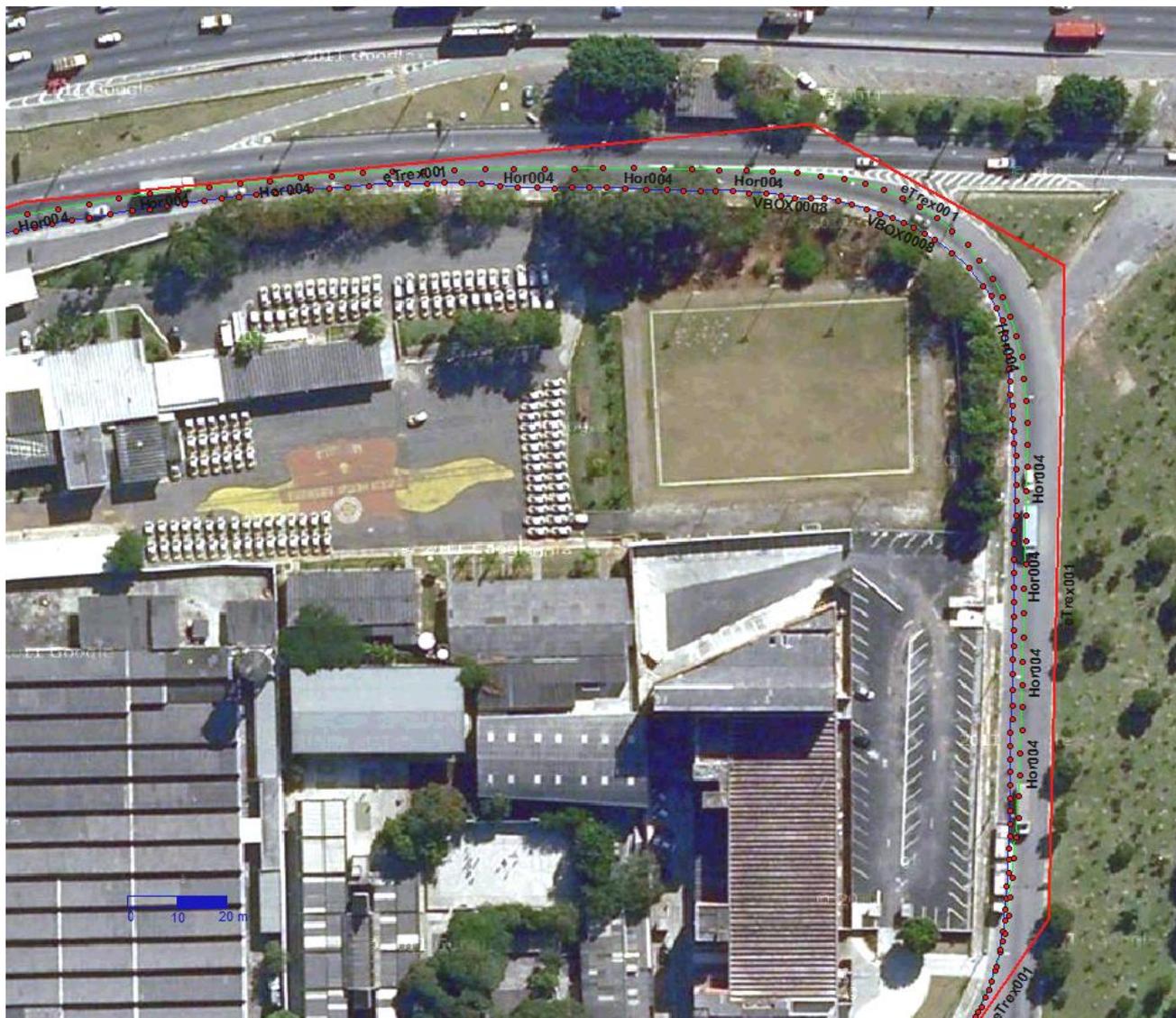
Trajeto



- GPS código CA 10Hz
- GPS geodésico 2Hz
- GPS navegação 1Hz



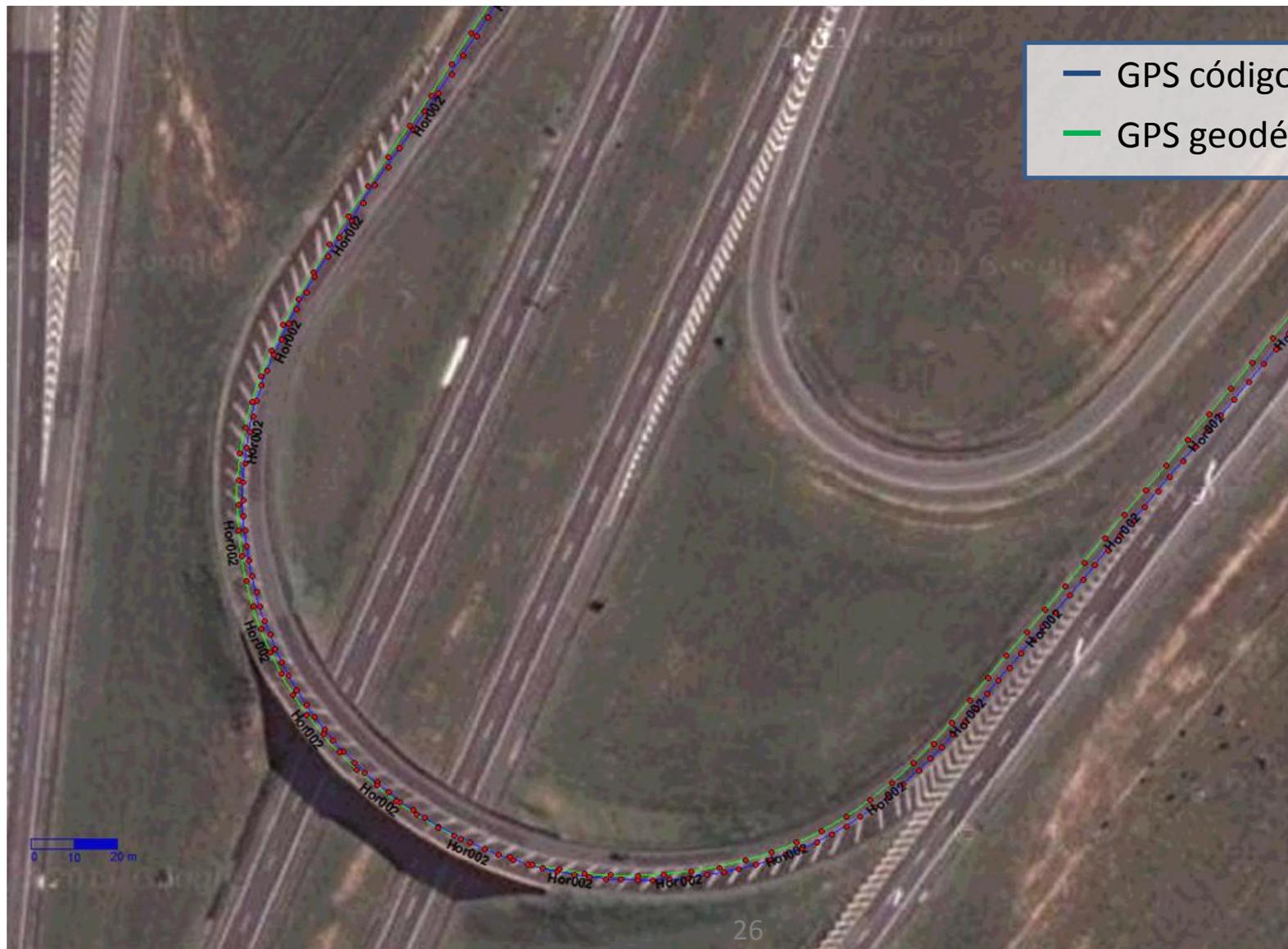
Trajeto



- GPS código CA 10Hz
- GPS geodésico 2Hz
- GPS navegação 1Hz



Trajeto





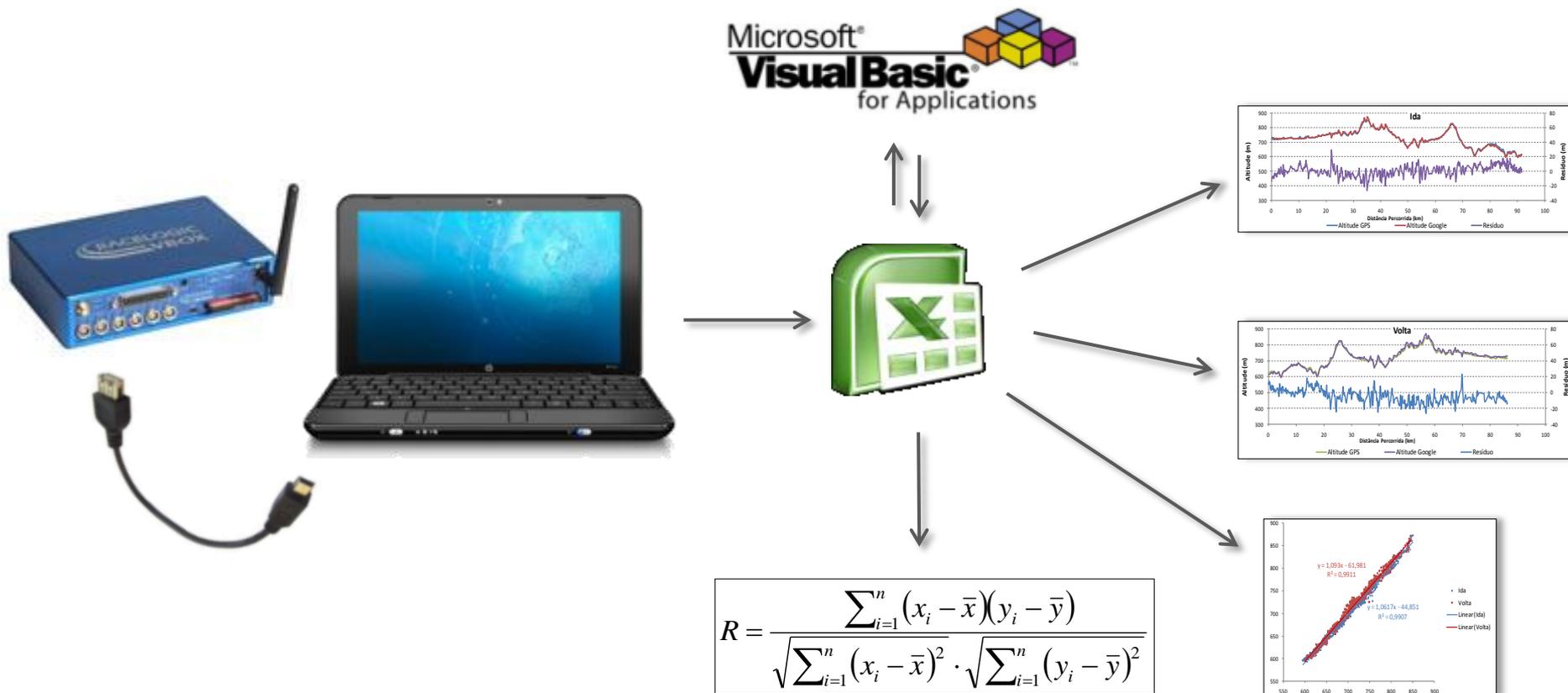
Materiais e Métodos

- Informações do GPS:
 - 1 receptor VBOX PRO - Racelogic (UK)
 - Taxa de amostragem de 10 Hz.
 - Especificações técnicas:
 - Precisão estimada de 0,2 km/h na velocidade
 - Leituras para velocidade mínima de 0,1 km/h e máxima de 1600 km/h com resolução de 0,01 km/h.
 - Acurácia na distância é de 0,05% (<50 cm por km) com resolução de 1 cm.
 - Acurácia planimétrica de 5 m (2D) para 95% do círculo de erro provável (CEP) e
 - altimétrica de 10 m (3D) para 95% (CEP).





Materiais e Métodos





Materiais e Métodos

- Modelo de emissão utilizado:
 - *Comprehensive Modal Emission Model (CMEM)*
 - Desenvolvido pela Universidade da Califórnia, Riverside, em conjunto com o *State of California Business, Transportation, and Housing Agency, Department of Transportation* e o *United States Department of Transportation, Federal Highway Administration*.
 - Patrocinado pelo *National Cooperative Research Project*



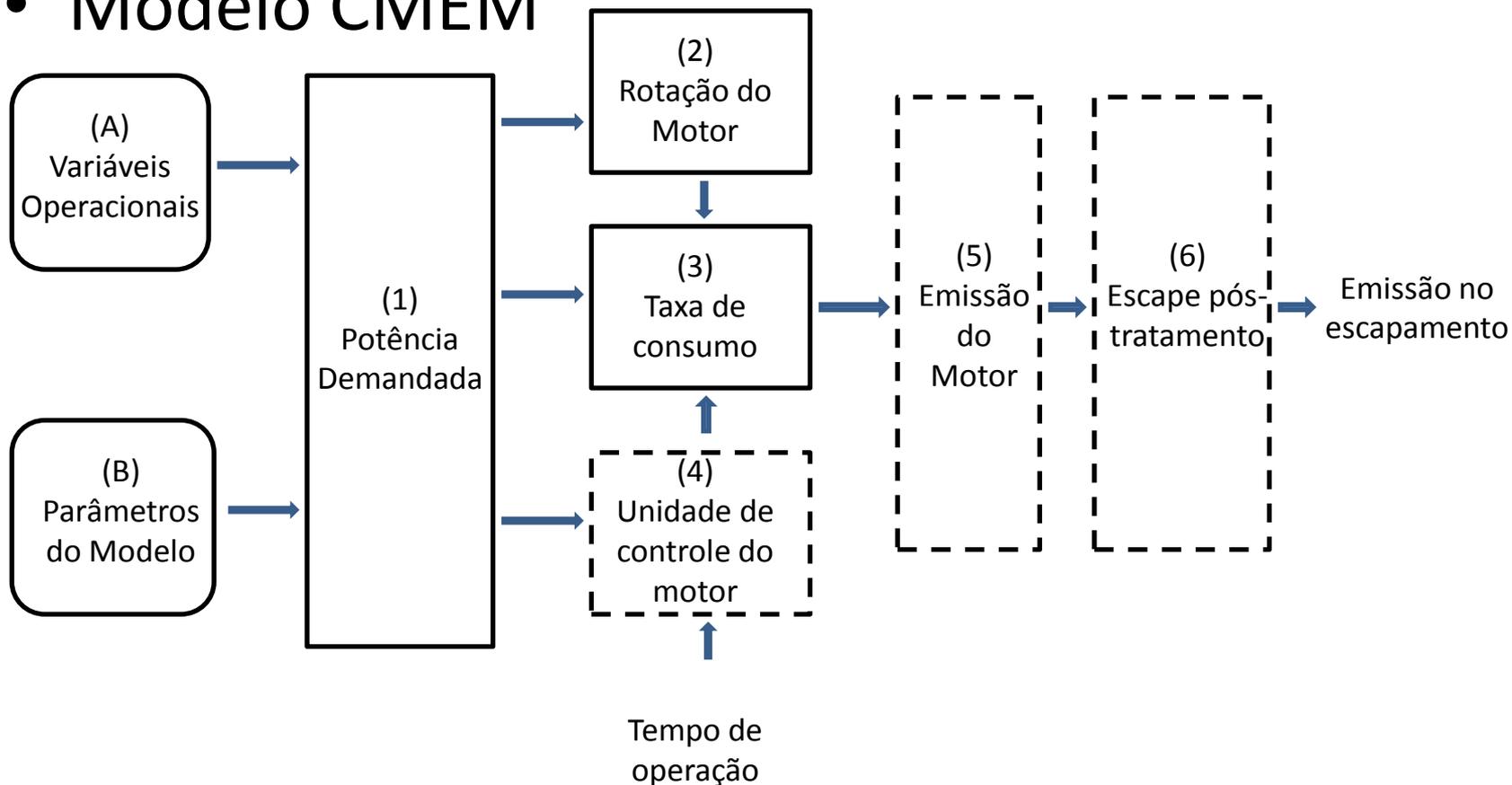
Materiais e Métodos

- Modelo CMEM:
 - Baseia-se na potência demandada no motor de um veículo e, a partir disso, ele estima o consumo de combustível.
 - Com isso, o modelo pode fornecer parâmetros para estimar as emissões de CO, HC, NO_x e CO₂ segundo a segundo
 - Composto por seis módulos:
 - (1) Potência demandada
 - (2) Rotação do motor
 - (3) Taxa de consumo
 - (4) Unidade de controle do motor
 - (5) Emissão do motor
 - (6) Escape pós-tratamento.



Materiais e Métodos

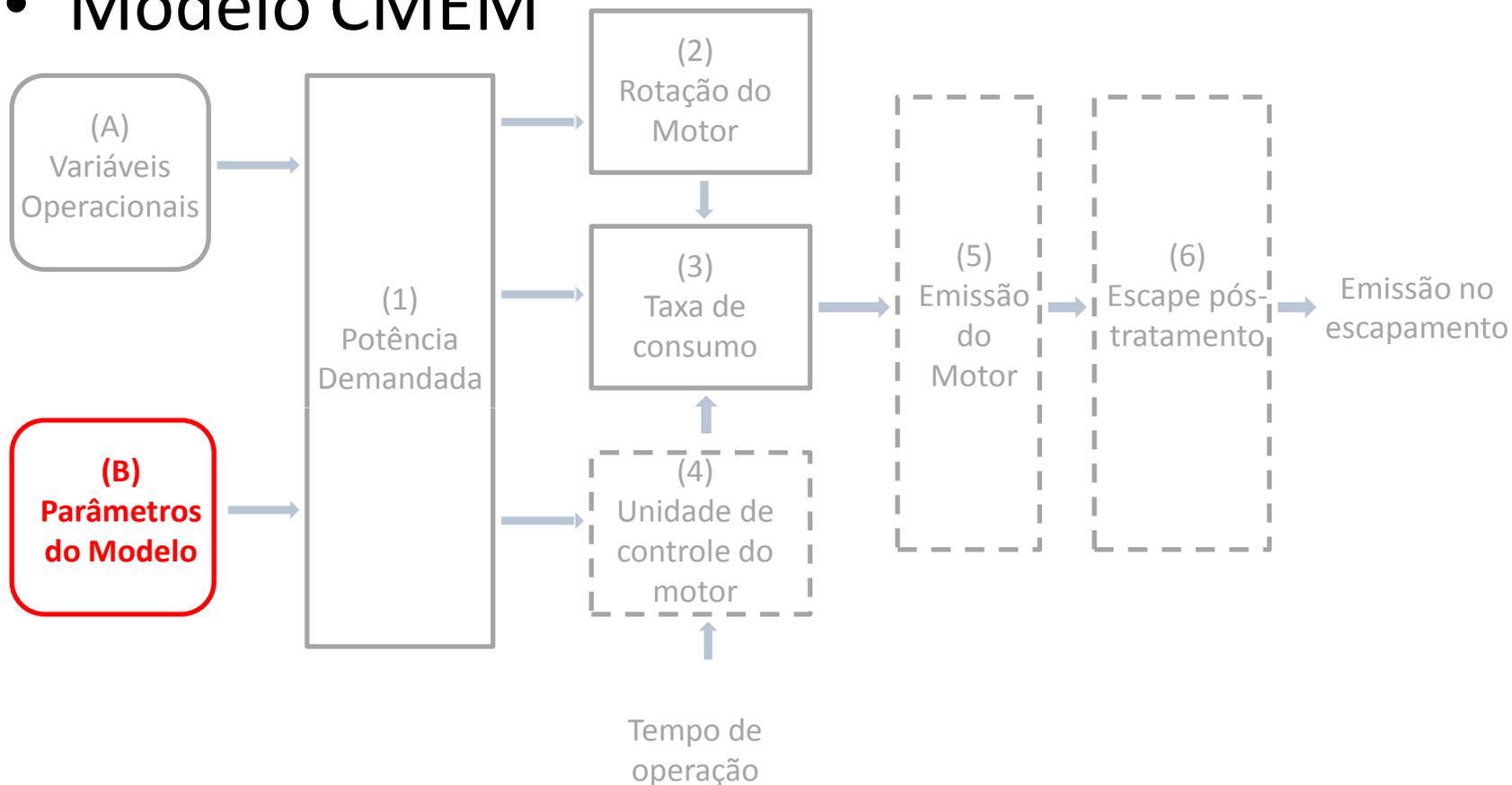
- Modelo CMEM





Materiais e Métodos

- Modelo CMEM





- **Modelo CMEM**

- (1) Potência demandada
- (2) Rotação do motor
- (3) Módulo da taxa de consumo de combustível



- Modelo CMEM

- (1) Potência demandada

$$P_{tração} = (M \cdot a + M \cdot g \cdot \sin\theta + \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot A \cdot \rho \cdot v^2 + M \cdot g \cdot C_R \cdot \cos\theta) \cdot v / 1000$$

$$P = \frac{P_{tração}}{\varepsilon} + P_{acc}$$

- (2) Rotação do motor

$$N = N(t) = S \cdot \frac{R(L)}{R(L_g)} \cdot v(t)$$

- (3) Módulo da taxa de consumo de combustível

$$FR \approx \left(k \cdot N \cdot V + \frac{P}{\eta} \right) \cdot \frac{1}{43,2} \cdot (1 + b_1 \cdot (N - N_0)^2)$$

$$N_0 \approx 30 \cdot \sqrt{\frac{3,0}{V}}$$



- Modelo CMEM

- (1) Potência demandada

$$P_{tração} = (M \cdot a + M \cdot g \cdot \sin\theta + \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot A \cdot \rho \cdot v^2 + M \cdot g \cdot C_R \cdot \cos\theta) \cdot v / 1000$$

$$P = \frac{P_{tração}}{\varepsilon} + P_{acc}$$

- (2) Rotação do motor

$$N = N(t) = S \cdot \frac{R(L)}{R(L_g)} \cdot v(t)$$

- (3) Módulo da taxa de consumo de combustível

$$FR \approx \left(k \cdot N \cdot V + \frac{P}{\eta} \right) \cdot \frac{1}{43,2} \cdot (1 + b_1 \cdot (N - N_0)^2)$$

$$N_0 \approx 30 \cdot \sqrt{\frac{3,0}{V}}$$





- **Modelo CMEM**

- (1) Potência demandada

$$P = \frac{P_{tração}}{\varepsilon} + P_{acc}$$

- (2) Rotação do motor
- (3) Módulo da taxa de consumo de combustível



- Modelo CMEM

- (1) Potência demandada

$$P = \frac{P_{tração}}{\varepsilon} + P_{acc}$$
$$P_{tração} = (M \cdot a + M \cdot g \cdot \sin\theta + \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot A \cdot \rho \cdot v^2 + M \cdot g \cdot C_R \cdot \cos\theta) \cdot v / 1000$$

- (2) Rotação do motor
- (3) Módulo da taxa de consumo de combustível



- Modelo CMEM

- (1) Potência demandada

$$P = \frac{P_{tração}}{\varepsilon} + P_{acc}$$

$$P_{tração} = (M \cdot a + M \cdot g \cdot \sin\theta + \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot A \cdot \rho \cdot v^2 + M \cdot g \cdot C_R \cdot \cos\theta) \cdot v / 1000$$

Força

- (2) Rotação do motor
- (3) Módulo da taxa de consumo de combustível



- Modelo CMEM

- (1) Potência demandada

$$P = \frac{P_{tração}}{\varepsilon} + P_{acc}$$

$$P_{tração} = (M \cdot a + M \cdot g \cdot \sin\theta + \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot A \cdot \rho \cdot v^2 + M \cdot g \cdot C_R \cdot \cos\theta) \cdot v / 1000$$

Inclinação

- (2) Rotação do motor
- (3) Módulo da taxa de consumo de combustível



- Modelo CMEM

- (1) Potência demandada

$$P = \frac{P_{tração}}{\varepsilon} + P_{acc}$$

$$P_{tração} = (M \cdot a + M \cdot g \cdot \sin\theta + \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot A \cdot \rho \cdot v^2 + M \cdot g \cdot C_R \cdot \cos\theta) \cdot v / 1000$$

Resistência aerodinâmica

- (2) Rotação do motor
- (3) Módulo da taxa de consumo de combustível



Materiais e Métodos

- Modelo CMEM

- (1) Potência demandada

$$P = \frac{P_{tração}}{\varepsilon} + P_{acc}$$

$$P_{tração} = (M \cdot a + M \cdot g \cdot \sin\theta + \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot A \cdot \rho \cdot v^2 + M \cdot g \cdot C_R \cdot \cos\theta) \cdot v / 1000$$

Resistência ao rolamento

- (2) Rotação do motor
- (3) Módulo da taxa de consumo de combustível



- **Modelo CMEM**

- (1) Potência demandada
- (2) Rotação do motor

$$N = N(t) = S \cdot \frac{R(L)}{R(L_g)} \cdot v(t)$$

- (3) Módulo da taxa de consumo de combustível



- **Modelo CMEM**

- (1) Potência demandada
- (2) Rotação do motor

$$N = N(t) = S \cdot \frac{R(L)}{R(L_g)} \cdot v(t)$$

Rotação no período t

- (3) Módulo da taxa de consumo de combustível



- **Modelo CMEM**

- (1) Potência demandada
- (2) Rotação do motor

$$N = N(t) = S \cdot \frac{R(L)}{R(L_g)} \cdot v(t)$$

Fator de desmultiplicação do câmbio

- (3) Módulo da taxa de consumo de combustível



- **Modelo CMEM**

- (1) Potência demandada
- (2) Rotação do motor

$$N = N(t) = S \cdot \frac{R(L)}{R(L_g)} \cdot v(t)$$

Relação de multiplicação na marcha atual

- (3) Módulo da taxa de consumo de combustível



- **Modelo CMEM**

- (1) Potência demandada
- (2) Rotação do motor

$$N = N(t) = S \cdot \frac{R(L)}{R(L_g)} \cdot v(t)$$

Relação do câmbio em última marcha

- (3) Módulo da taxa de consumo de combustível



- **Modelo CMEM**

- (1) Potência demandada
- (2) Rotação do motor

$$N = N(t) = S \cdot \frac{R(L)}{R(L_g)} \cdot v(t)$$

Velocidade no período t

- (3) Módulo da taxa de consumo de combustível



- **Modelo CMEM**

- (1) Potência demandada
- (2) Rotação do motor
- (3) Módulo da taxa de consumo de combustível

$$FR \approx \left(k \cdot N \cdot V + \frac{P}{\eta} \right) \cdot \frac{1}{43,2} \cdot (1 + b_1 \cdot (N - N_0)^2)$$

$$N_0 \approx 30 \cdot \sqrt{\frac{3,0}{V}}$$



- **Modelo CMEM**

- (1) Potência demandada
- (2) Rotação do motor
- (3) Módulo da taxa de consumo de combustível

$$FR \approx \left(k \cdot N \cdot V + \frac{P}{\eta} \right) \cdot \frac{1}{43,2} \cdot (1 + b_1 \cdot (N - N_0)^2)$$

$$N_0 \approx 30 \cdot \sqrt{\frac{3,0}{V}}$$



- **Modelo CMEM**

- (1) Potência demandada
- (2) Rotação do motor
- (3) Módulo da taxa de consumo de combustível

$$FR \approx \left(k \cdot N \cdot V + \frac{P}{\eta} \right) \cdot \frac{1}{43,2} \cdot (1 + b_1 \cdot (N - N_0)^2)$$

$$N_0 \approx 30 \cdot \sqrt{\frac{3,0}{V}}$$



- **Modelo CMEM**

- (1) Potência demandada
- (2) Rotação do motor
- (3) Módulo da taxa de consumo de combustível

$$FR \approx \left(k \cdot N \cdot V + \frac{P}{\eta} \right) \cdot \frac{1}{43,2} \cdot (1 + b_1 \cdot (N - N_0)^2)$$

$$N_0 \approx 30 \cdot \sqrt{\frac{3,0}{V}}$$

Rotação em marcha lenta



- **Modelo CMEM**

- (1) Potência demandada
- (2) Rotação do motor
- (3) Módulo da taxa de consumo de combustível

$$FR \approx \left(k \cdot N \cdot V + \frac{P}{\eta} \right) \cdot \frac{1}{43,2} \cdot (1 + b_1 \cdot (N - N_0)^2)$$

$$N_0 \approx 30 \cdot \sqrt{\frac{3,0}{V}}$$

Parâmetros...



Materiais e Métodos

Parâmetro	Significado	Unidade	Valor adotado	Referência
C_R	Coefficiente de resistência ao rolamento	-	0,01	(Demir, E. <i>et al.</i> , 2011)
k	Fator de fricção do motor	-	0,2	(Demir, E. <i>et al.</i> , 2011)
η	Eficiência do motor	-	0,45	(Barth <i>et al.</i> , 2005)
C_d	Coefficiente de arrasto	-	0,7	(Demir, E. <i>et al.</i> , 2011)
ε	Eficiência da transmissão	-	0,4	(Demir, E. <i>et al.</i> , 2011)
P_{acc}	Perdas de potência	kW	0	Ar cond. desligado
FR	Taxa de Consumo do combustível	g/s	Calculado	(Barth <i>et al.</i> , 2005)
P	Potência do motor	kW	Calculado	(Barth <i>et al.</i> , 2005)
N_0	Rotação em marcha lenta	rps	Calculado	(Barth <i>et al.</i> , 2005)
N	Rotação	rps	Calculado	(Barth <i>et al.</i> , 2005)
$P_{tração}$	Potência de tração	kW	Calculado	(Barth <i>et al.</i> , 2005)
v	Velocidade do veículo	m/s	Calculado	GPS
a	Aceleração do caminhão	m/s ²	Calculado	GPS
θ	Inclinação	°	Calculado	GPS
V	Capacidade cúbica do motor	litros	7,201	(Benz, M., 2012)
M	Massa total do caminhão (tara+carga)	kg	21.000 (ida) 15.000 (volta)	Cia. de Alimentos
A	Área Frontal	m ²	6,1	Estimado
g	Gravidade	m/s ²	9,8	-
ρ	Densidade do ar	kg/m ³	1,225	-



Estimativa do consumo

Microsoft Excel - Livro1 - 18032008_Itu_SP.xlsx

ver-eel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1																			
2			Mínimo	0,1					0	0,000	0,01	306,12	-13,764	0	0	-13493,37			42480
3			Média	0,2					47,25814	47,237	543,1903	703,5340	0,450029	0	0	044,7952	13607,5305		57279
4			Máximo	0,3					82,205	82,440	333,57	830,43	2,018	0	1000	28425,2			
5			lat		long	velocity	heading	height	vert-eel	slip	turn-radius	Centre-Line	Solution	SAbHead	distance				
5	#	115144,500	115144,9	-1397,05	-25,2042	2838,235	47,3015	0	0,000	158,87	822,84	0,612	0,00E+00	0,00E+00	1,51E+02	0	0	0	
6	#	115143,000	115145,0	-1397,05	-25,2042	2838,235	47,3015	0	0,000	159,38	822,84	0,612	0,00E+00	0,00E+00	1,51E+02	0	0,49		
7	#	115145,100	115145,1	-1397,05	-25,2042	2838,235	47,3015	0	0,000	160,01	822,84	0,612	0,00E+00	0,00E+00	1,51E+02	0	1,14		
8	#	115145,200	115145,2	-1397,05	-25,2042	2838,235	47,3015	0	0,000	159,1	822,84	0,612	0,00E+00	0,00E+00	1,51E+02	0	0,23		
9	#	115145,300	115145,3	-1397,05	-25,2042	2838,235	47,3015	0	0,000	157,64	822,84	0,576	0,00E+00	0,00E+00	1,51E+02	0	-1,21		
10	#	115145,400	115145,4	-1397,05	-25,2042	2838,235	47,3015	0	0,000	155,23	822,84	0,576	0,00E+00	0,00E+00	1,51E+02	0	-3,44		
11	#	115145,500	115145,5	-1397,05	-25,2042	2838,235	47,3015	0	0,000	154,06	822,84	0,576	0,00E+00	0,00E+00	1,51E+02	0	-5,81		
12	#	115145,600	115145,6	-1397,05	-25,2042	2838,235	47,3015	0	0,000	152,82	822,84	0,612	0,00E+00	0,00E+00	1,51E+02	0	-6,05		
13	#	115145,700	115145,7	-1397,05	-25,2042	2838,235	47,3015	0	0,000	151,11	822,84	0,612	0,00E+00	0,00E+00	1,51E+02	0	-5,76		
14	#	115145,800	115145,8	-1397,05	-25,2042	2838,235	47,3015	0	0,000	150,07	822,84	0,612	0,00E+00	0,00E+00	1,51E+02	0	-5,8		
15	#	115145,900	115145,9	-1397,05	-25,2042	2838,235	47,3015	0	0,000	150,88	822,82	0,612	0,00E+00	0,00E+00	1,51E+02	0	-4,99		
16	#	115146,000	115146,0	-1397,05	-25,2042	2838,235	47,3015	0	0,000	154,72	822,82	0,612	0,00E+00	0,00E+00	1,51E+02	0	-4,25		
17	#	115146,100	115146,1	-1397,05	-25,2042	2838,235	47,3015	0	0,000	155,27	822,81	0,576	0,00E+00	0,00E+00	1,51E+02	0	-3,6		
18	#	115146,200	115146,2	-1397,05	-25,2042	2838,235	47,3015	0	0,000	155,71	822,81	0,576	0,00E+00	0,00E+00	1,51E+02	0	-3,16		
19	#	115146,300	115146,3	-1397,05	-25,2042	2838,235	47,3015	0	0,000	154,32	822,81	0,576	0,00E+00	0,00E+00	1,51E+02	0	-4,36		
20	#	115146,400	115146,4	-1397,05	-25,2042	2838,235	47,3015	0	0,000	152,08	822,81	0,576	0,00E+00	0,00E+00	1,51E+02	0	-6,81		
21	#	115146,500	115146,5	-1397,05	-25,2042	2838,235	47,3015	0	0,000	149,66	822,8	0,612	0,00E+00	0,00E+00	1,51E+02	0	-5,21		
22	#	115146,600	115146,6	-1397,05	-25,2042	2838,235	47,3015	0	0,000	149,37	822,77	0,576	0,00E+00	0,00E+00	1,51E+02	0	-5,5		
23	#	115146,700	115146,7	-1397,05	-25,2042	2838,235	47,3015	0	0,000	149,83	822,77	0,576	0,00E+00	0,00E+00	1,51E+02	0	-5,94		
24	#	115146,800	115146,8	-1397,05	-25,2042	2838,235	47,3015	0	0,000	151,85	822,74	0,576	0,00E+00	0,00E+00	1,51E+02	0	-7,02		
25	#	115146,900	115146,9	-1397,05	-25,2042	2838,235	47,3015	0	0,000	153,74	822,7	0,576	0,00E+00	0,00E+00	1,51E+02	0	-5,13		
26	#	115147,000	115147,0	-1397,05	-25,2042	2838,235	47,3015	0	0,000	154,71	822,67	0,54	0,00E+00	0,00E+00	1,51E+02	0	4,16		
27	#	115147,100	115147,1	-1397,05	-25,2042	2838,235	47,3015	0	0,000	155,36	822,64	0,54	0,00E+00	0,00E+00	1,51E+02	0	-5,31		
28	#	115147,200	115147,2	-1397,05	-25,2042	2838,235	47,3015	0	0,000	155,71	822,61	0,576	0,00E+00	0,00E+00	1,51E+02	0	-5,16		
29	#	115147,300	115147,3	-1397,05	-25,2042	2838,235	47,3015	0	0,000	155,72	822,61	0,576	0,00E+00	0,00E+00	1,51E+02	0	-5,15		
30	#	115147,400	115147,4	-1397,05	-25,2042	2838,235	47,3015	0	0,000	155,16	822,6	0,54	0,00E+00	0,00E+00	1,51E+02	0	-5,71		
31	#	115147,500	115147,5	-1397,05	-25,2042	2838,235	47,3015	0	0,000	154,98	822,59	0,564	0,00E+00	0,00E+00	1,51E+02	0	-3,89		
32	#	115147,600	115147,6	-1397,05	-25,2042	2838,235	47,3015	0	0,000	155,14	822,59	0,54	0,00E+00	0,00E+00	1,51E+02	0	-3,78		
33	#	115147,700	115147,7	-1397,05	-25,2042	2838,235	47,3015	0	0,000	153,54	822,58	0,576	0,00E+00	0,00E+00	1,51E+02	0	-3,23		
34	#	115147,800	115147,8	-1397,05	-25,2042	2838,235	47,3015	0	0,000	153,75	822,59	0,576	0,00E+00	0,00E+00	1,51E+02	0	-3,12		
35	#	115147,900	115147,9	-1397,05	-25,2042	2838,235	47,3015	0	0,000	156,57	822,58	0,54	0,00E+00	0,00E+00	1,51E+02	0	-2,3		
36	#	115148,000	115148,0	-1397,05	-25,2042	2838,235	47,3015	0	0,000	156,55	822,53	0,54	0,00E+00	0,00E+00	1,51E+02	0	-2,22		
37	#	115148,100	115148,1	-1397,05	-25,2042	2838,235	47,3015	0	0,000	155,78	822,54	0,576	0,00E+00	0,00E+00	1,51E+02	0	-3,09		
38	#	115148,200	115148,2	-1397,05	-25,2042	2838,235	47,3015	0	0,000	153,02	822,54	0,612	0,00E+00	0,00E+00	1,51E+02	0	-3,85		



Estimativa do consumo



novos dados - VBO0003_Bu_SP.xlsx - Microsoft Excel

Modelo instantâneo $(M^*F7+M^*g^*J7+0,5^*Cd^*A^*ro_ar^*E7^*2+M^*g^*Cr^*K7)^*E7/(1000^*EficiênciaT)$

0,00 1,48 0,00 L

Distância (m)	Tempo decorrido (s)	Velocidade (m/s)	Aceleração (m/s²)	Média Móvel (1) Velocidade (m/s)	Média Móvel (2) Aceleração (m/s²)	Média Móvel (3) Atitude (m/s)	Atitude Google (m/s)	Atitude Google cos(teta)	Potência Motor (KW)	Taxa de consumo (g/s)	Diesel consumido (g)	Diesel consumido (L)	Potência Motor (KW)	Taxa de consumo (g/s)	Diesel consumido (L)
0	0	0,1													
5	0,02	0,1	0,20												
6	0,03	0,1	0,30	1,00	0,30										
7	0,04	0,1	0,40	1,00	0,40	1,00									
8	0,05	0,1	0,50	1,00	0,50	1,00									
9	0,06	0,1	0,60	1,00	0,58	0,88									
10	0,06	0,1	0,50	-1,00	0,60	0,67									
11	0,07	0,1	0,70	2,00	0,68	0,88									
12	0,07	0,1	0,70	0,00	0,70	0,67									
13	0,07	0,1	0,70	0,00	0,77	0,67									
14	0,09	0,1	0,90	2,00	0,83	0,67									
15	0,09	0,1	0,90	0,00	0,93	1,00									
16	0,1	0,1	1,00	1,00	0,97	0,55									
17	0,1	0,1	1,00	0,00	1,03	0,67									
18	0,11	0,1	1,10	1,00	1,03	0,00									
19	0,1	0,1	1,00	-1,00	1,10	0,67									
20	0,12	0,1	1,20	2,00	1,13	0,33									
21	0,12	0,1	1,20	0,00	1,23	1,00									
22	0,13	0,1	1,30	1,00	1,23	0,00									
23	0,12	0,1	1,20	-1,00	1,27	0,88									
24	0,18	0,1	1,80	1,00	1,28	-0,88									
25	0,12	0,1	1,20	-1,00	1,27	0,88									
26	0,13	0,1	1,30	1,00	1,28	-0,88									
27	0,12	0,1	1,20	-1,00	1,27	0,55									
28	0,13	0,1	1,30	1,00	1,30	0,55									
29	0,14	0,1	1,40	1,00	1,33	0,55									
30	0,13	0,1	1,30	-1,00	1,37	0,55									
31	0,14	0,1	1,40	1,00	1,33	-0,55									
32	0,13	0,1	1,30	-1,00	1,37	0,55									
33	0,14	0,1	1,40	1,00	1,40	0,55									
34	0,15	0,1	1,50	1,00	1,43	0,33									
35	0,14	0,1	1,40	-1,00	1,47	0,33									
36	0,15	0,1	1,50	1,00	1,50	0,33									
37	0,16	0,1	1,60	1,00	1,53	0,33									
38	0,15	0,1	1,50	-1,00	1,53	0,00									
39	0,15	0,1	1,50	0,00	1,47	-0,67									

DADOS Plan5 VBO0003_Bu_SP Plan2 Plan3



Estimativa do consumo

The image displays three overlapping Microsoft Excel windows. The primary window shows a spreadsheet titled 'Modelo instantâneo' with the following table:

Distância (m)	Tempo decorrido (s)	Velocidade (m/s)	Aceleração (m/s²)	Média Móvel (1) Velocidade (m/s)	Média Móvel (2) Velocidade (m/s)	Média Móvel (3) Velocidade (m/s)	Altitude GPS (m)	Média Móvel (3) Altitude (m/s)	sen(θ) cos(θ)
0	0	0,1							
5	0,02	0,1	0,20						
6	0,03	0,1	0,30	1,00	0,30				
7	0,04	0,1	0,40	1,00	0,40	1,00			
8	0,05	0,1	0,50	1,00	0,50	1,00			
9	0,06	0,1	0,60	1,00	0,58	0,88			
10	0,06	0,1	0,50	-1,00	0,60	0,67			
11	0,07	0,1	0,70	2,00	0,68	0,88			
12	0,07	0,1	0,70	0,00	0,70	0,67			
13	0,07	0,1	0,70	0,00	0,77	0,67			
14	0,09	0,1	0,90	2,00	0,83	0,67			
15	0,09	0,1	0,90	0,00	0,93	1,00			
16	0,1	0,1	1,00	1,00	0,97	0,55			
17	0,1	0,1	1,00	0,00	1,03	0,67			
18	0,11	0,1	1,10	1,00	1,03	0,00			
19	0,1	0,1	1,00	-1,00	1,10	0,67			
20	0,12	0,1	1,20	2,00	1,13	0,33			
21	0,12	0,1	1,20	0,00	1,23	1,00			
22	0,13	0,1	1,30	1,00	1,23	0,00			
23	0,12	0,1	1,20	-1,00	1,27	0,88			
24	0,18	0,1	1,80	1,00	1,28	-0,88			
25	0,12	0,1	1,20	-1,00	1,27	0,88			
26	0,13	0,1	1,30	1,00	1,28	-0,88			
27	0,12	0,1	1,20	-1,00	1,27	0,55			
28	0,13	0,1	1,30	1,00	1,30	0,55			
29	0,14	0,1	1,40	1,00	1,33	0,55			
30	0,13	0,1	1,30	-1,00	1,37	0,55			
31	0,14	0,1	1,40	1,00	1,33	-0,55			
32	0,13	0,1	1,30	-1,00	1,37	0,55			
33	0,14	0,1	1,40	1,00	1,40	0,55			
34	0,15	0,1	1,50	1,00	1,43	0,55			
35	0,14	0,1	1,40	-1,00	1,47	0,55			
36	0,15	0,1	1,50	1,00	1,50	0,55			
37	0,16	0,1	1,60	1,00	1,53	0,55			
38	0,15	0,1	1,50	-1,00	1,53	0,00			
39	0,15	0,1	1,50	0,00	1,47	-0,67			

The second window shows a table of vehicle parameters:

Parâmetro	Valor	Referência
Veículo	Avor 1993	
Peso (M)	2000 kg	20000
Ano	2005	
Área Frontal (A)	6,01 m²	
Rota	112 - São Paulo	
Eficiência de transmissão		
Perdas (ar condicionado)		
Velocidade média (v)	32,22222 m/s	
Aceleração Média (a)	0	
Aceleração da gravidade (g)	9,8 m/s²	
Coef. de Atrasto (Cd)	0,7	para camioneta e caminhão: 0,4-0,7
Coef. de Resist. Ao Rolamento (C _r)	0,01	para caminhão: 0,006-0,01
Densidade do ar (ρ _{o,ar})	1,225 kg/m³	
Fator de atrito do motor (f)		
Rotação do motor (N _o) - Tírax	25 rpm	1500 rpm
Rotação do motor (N _o) - Pírax	36,96667 rpm	2200 rpm
Volume do motor (V _o)	7,201 L	
Eficiência do motor à diesel	0,40	
N _o	15,36557 rpm	
C _r	0,00125	
f ₁	0,0001	

The third window shows mathematical formulas for calculating forces and power:

$$P_{\text{total}} = (M a + M g \sin \theta + 0,5 C_d \rho_a v^3 + M g C_r \cos \theta) v / 1000$$

$$P = \frac{P_{\text{total}}}{\eta} + P_{\text{mec}}$$

$$P B = (k - N) P + \frac{P_o}{41,2} (1 - k - N - N_o)$$

$$K = K_1 (1 + C (N - N_o))$$

$$N_o = 30 \sqrt{\frac{10}{V}}$$



Resultados / Conclusões

- Viagens consideradas: 15
- Diferença entre valores de consumo medido e estimados pelo CMEM:
 - Máximo foi de 4,61%
 - Médio foi de 2,76%
 - O desvio padrão foi de 1,21%.
- A diferença estabelecida nos abastecimentos em viagens iguais deve-se, principalmente, a diferença no peso bruto carregado pelo caminhão.
- O modelo estudado atingiu uma **boa representatividade** quando comparado com o consumo (**<5% de divergência**), podendo ser considerado apropriado, dentro deste limite, para ser usado em futuros estudos da estimativa da emissão de GEE.



Recomendação de continuidade

- Utilizar instrumentos medidores de gases e materiais particulados instalado no veículo teste
- Usar o modelo CMEM com todos os módulos desenvolvidos
- Realizar uma análise de sensibilidade mais profunda sobre os coeficientes estáticos do modelo CMEM
- Análise de outros modelos de emissão.



ANPET
BELEM PARA
04. 05
2013

AVALIAÇÃO DO MODELO CMEM A PARTIR DE DADOS GPS PARA A ESTIMATIVA DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL EM UM VEÍCULO DE CARGA

Flávio Guilherme Vaz de Almeida Filho
Carlos Eduardo Cugnasca
José Henrique Leite Rodrigues
Guilherme Garuti dos santos
Rodrigo Hagen Bianchi

CISLog – Centro de Inovação em Sistemas Logísticos – EPUSP

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo avaliar os resultados das estimativas de consumo de combustível obtidas pelo modelo *Comprehensive Modal Emission Model* (CMEM) aplicado aos dados coletados por um receptor GPS embarcado em um veículo pesado de carga ao longo de rodovias no Estado de São Paulo. O CMEM considera parâmetros estáticos e variáveis associados à dinâmica do veículo e à topografia. O receptor GPS embarcado forneceu os valores cinemáticos e altimétricos de 15 viagens avaliadas. Verificou-se uma grande coerência entre o consumo estimado pelo modelo e o consumo obtido nos abastecimentos. O valor máximo destas diferenças foi de 4,61%. A média foi de 2,76% e o desvio padrão foi de 1,21%. Portanto, o modelo estudado pode ser considerado apropriado, dentro deste limite, para ser usado em futuros estudos de estimativas da emissão de gases do efeito estufa (GEE).

ABSTRACT

The objective of this paper is to evaluate the results obtained by the *Comprehensive Modal Emission Model* (CMEM) which data were obtained by a GPS receiver. This receiver was shipped in a heavy duty truck that made routes on highways within the State of São Paulo. Observing the formula used, the CMEM considers static and variables parameters associated with the vehicle dynamics, and topography. The GPS receiver provided dynamic values of 15 selected routes. Comparing the values obtained with the estimated results of CMEM was found close coherence between the consumption of each reference. The maximum value of these differences was 4.61%, the average was 2.76% and the standard deviation was 1.21%. Therefore, the model can be considered appropriate, within certain systematic and GPS errors, and thus to be used in future studies of emission estimates of greenhouse gases (GHG).

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo avaliar os resultados das estimativas de consumo obtidas pelo modelo *Comprehensive Modal Emission Model* (CMEM) (Barth et al., 2005) aplicado aos dados coletados por um receptor do sistema *Global Positioning System* (GPS) embarcado em um conjunto caminhão trator com 2 eixos e um semi-reboque baú de alumínio de 3 eixos em percurso misto rodoviário e urbano. O veículo movimentou-se por estradas de duas a quatro faixas de rolagem em boas condições de pavimento e manutenção no Estado de São Paulo por aproximadamente 30 dias, interligando as cidades de Barueri, Campinas, Itu, Jundiaí, Piracicaba, Rio Claro e Sorocaba. Neste trabalho 15 viagens foram analisadas.

A popularização dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) aliados à crescente facilidade de acesso às técnicas de posicionamento de alta precisão a partir de satélites artificiais, como o *Global Positioning System* (GPS), tem permitido diferentes soluções para o rastreamento de veículos nas principais vias de transporte de cargas. O posicionamento de alta precisão a partir da técnica de rastreamento de satélites artificiais do sistema GPS foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD) e disponibilizado para usuários civis no final do século passado. Esta técnica de posicionamento, hoje já bastante popular, é baseada na estimativa das distâncias do receptor aos satélites pertencentes a uma constelação composta de 27 veículos espaciais em órbita a aproximadamente 20.200 km de altitude. Conhecido o tempo de viagem do sinal de cada satélite ao receptor e sua posição na órbita,



ANPET
BELEM PARA
04. 05
2013

ANÁLISE COMPARATIVA DE MODELOS DE ESTIMATIVA DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL PARA VEÍCULOS DE CARGA

Anderson Oliveira de Ornelas Paschoal
Departamento de Engenharia de Produção
Universidade de São Paulo

Flavio G. Vaz de Almeida
CISLog – Centro de Inovação em Sistemas Logísticos
Universidade de São Paulo

Hugo Tsugunobu Yoshida Yoshizaki
CISLog – Centro de Inovação em Sistemas Logísticos
Departamento de Engenharia de Produção
Universidade de São Paulo

RESUMO

O principal objetivo deste estudo é comparar as estimativas de consumo de combustível a partir de 4 modelos com dados de campo. O percurso considerado foi o de ida e volta de uma fábrica de produtos alimentícios em Itu (SP) até seu depósito no bairro do Jaguaré em São Paulo (SP). Os modelos utilizados foram: (1) *instantaneous fuel consumption model*; (2) *four mode elemental fuel consumption model*; (3) *running speed fuel consumption model* e (4) *comprehensive modal emission model*. O *Microsoft Excel* foi utilizado no processamento dos dados coletados por um equipamento GPS embarcado no veículo teste. As estimativas das médias de consumo para os respectivos modelos foram de 3,24, 3,34, 3,43 e 3,21 km/l, resultando em divergências de 5,05%, 2,18%, 0,65% e 5,79% entre o estimado e o consumido. Assim, para as condições tratadas neste estudo o modelo que obteve a melhor estimativa foi o modelo (3).

ABSTRACT

The main goal of this study is to compare the estimates of fuel consumption from 4 different models in a field study. The route to be considered in this work starts at a food product factory in Itu (SP), going to its deposit in Jaguaré neighborhood in São Paulo (SP), including the return. The models used were: (1) *instantaneous fuel consumption model*, (2) *four mode elemental fuel consumption model*, (3) *running speed and fuel consumption model* (4) *comprehensive modal emission model*. The *Microsoft Excel* was used to process the data collected by a GPS device embedded in the test vehicle. Estimates of the average consumption from each model were 3.24, 3.34, 3.43 and 3.21 km/l, resulting in differences of 5.05%, 2.18%, 0.65% and 5.79%, respectively, between the estimated and consumed values. Thus, for the conditions addressed in this study, the model (3) had the best estimate.

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo comparar as estimativas de consumo de diesel a partir de quatro modelos de consumo com os dados de abastecimento fornecidos por uma empresa de produtos alimentícios. Os modelos utilizados foram: (1) *instantaneous fuel consumption model*; (2) *four mode elemental fuel consumption model*; (3) *running speed fuel consumption model* (Bowyer et al., 1985) e (4) *comprehensive modal emission model* (Barth et al., 2005). A ferramenta utilizada para o processamento foi o *Microsoft Excel*, aplicada aos dados coletados em campo por um equipamento do *Global Positioning System* (GPS) embarcado no veículo teste.

Os gases causadores do efeito estufa têm como principal característica a absorção do calor das radiações solares na atmosfera. Uma grande quantidade destes gases é produzida pela ação do homem em várias de suas atividades. Um dos efeitos diretos disso e que já está sendo sentido é o aquecimento global (Eggleston et al., 2006). Alguns destes gases são: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nítrico (N₂O).

Próximas Etapas

- Expandir o trabalho para outros tipos de veículos
 - Equipamentos portáteis
 - Ajuste dos parâmetros
 - Estudo de viabilidade no uso de instrumentos medidores de gases e materiais particulados instalado no veículo teste
- Depósito de Patente (10.2013.021698-4)
 - Rastreador de alta freq. com transmissão 3G
 - Análise do comportamento em **frota** de veículos





OBRIGADO!

Prof. Dr. Flávio Vaz

flaviovaz@usp.br