



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

ENG033 TF3 – Projetos de Sistemas de Automóveis I

# Relatório da análise de desempenho veicular

**Rodrigo Teixeira Aguiar 2010017751**

**Bruno Silva de Lima 2010017093**

Belo Horizonte, Maio 2016

## 1- Objetivo

O objetivo deste trabalho é criar o modelo de desempenho de um veículo para poder analisar o desempenho de três carros e comparar com os resultados de referência. Além disso, para um destes carros, deve ser feita uma análise do consumo de combustível para 60, 80, 120 e velocidade máxima.

## 2- Modelagem

Para a modelagem os parâmetros iniciais foram inseridos no matlab utilizando-se diferentes rotinas para cada carro, que podem ser vistos em anexo (anexo 1).

Em seguida, foi montado o diagrama de blocos que representa o veículo, mostrado a seguir:

Modelo completo:

A Figura-1 mostra o modelo completo do sistema com os valores de entrada e saída de cada bloco.

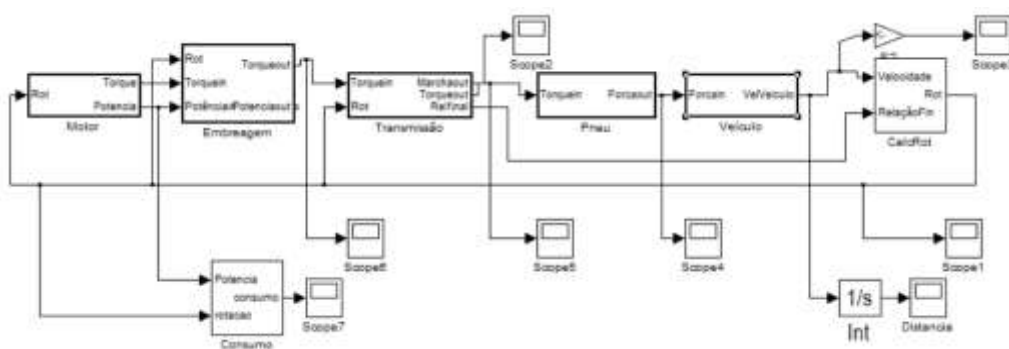


Figura 1 – Modelo de desempenho e consumo

Motor:

A Figura 2 tem como parâmetro de entrada a rotação do motor, que utilizando-se dos dados de uma tabela de torque por rotação, e outra de potência por rotação tem como saída o torque e a rotação para a rotação atual.

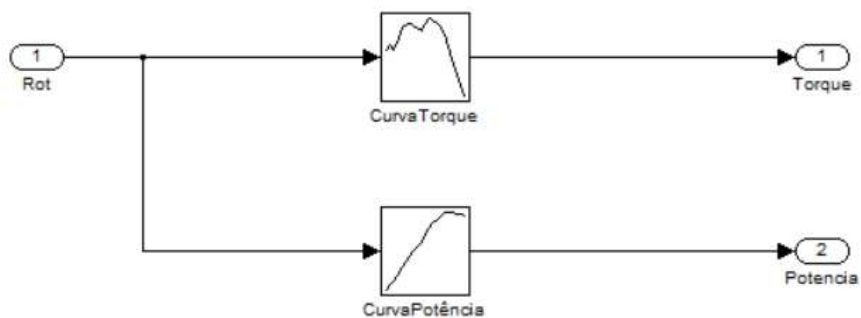


Figura 2 – Bloco representando o motor

### Embreagem:

A Figura 3 representa o diagrama de blocos para a eficiência da embreagem. Esse sistema multiplica o valor vindo do motor por um valor de 0 a 1. Assim que a embreagem é acionada (rotação acima de 6000 rpm) a eficiência vai a zero, fica um tempo nesse valor (tempo para troca de marcha) e então sua eficiência cresce até o valor de 1. Esse procedimento se repete até que o carro esteja na última marcha.

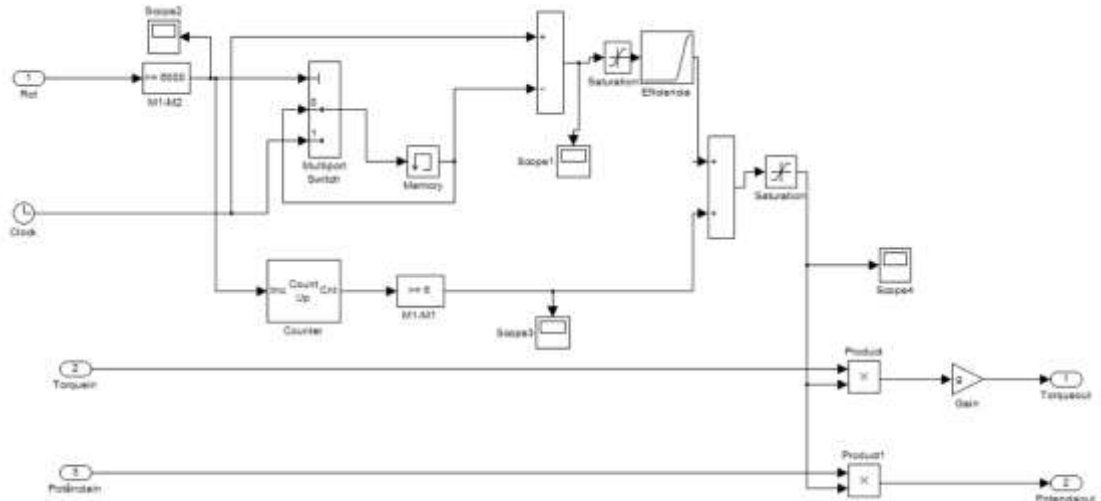


Figura 3 – Bloco representando a embreagem

### Transmissão:

A Figura 4 representa o sistema de transmissão. Toda vez que o motor atinge uma rotação superior a 6000 rpm a troca de marcha é acionada, até que o sistema atinja a última marcha. O valor de torque é então multiplicado pela relação de marcha.

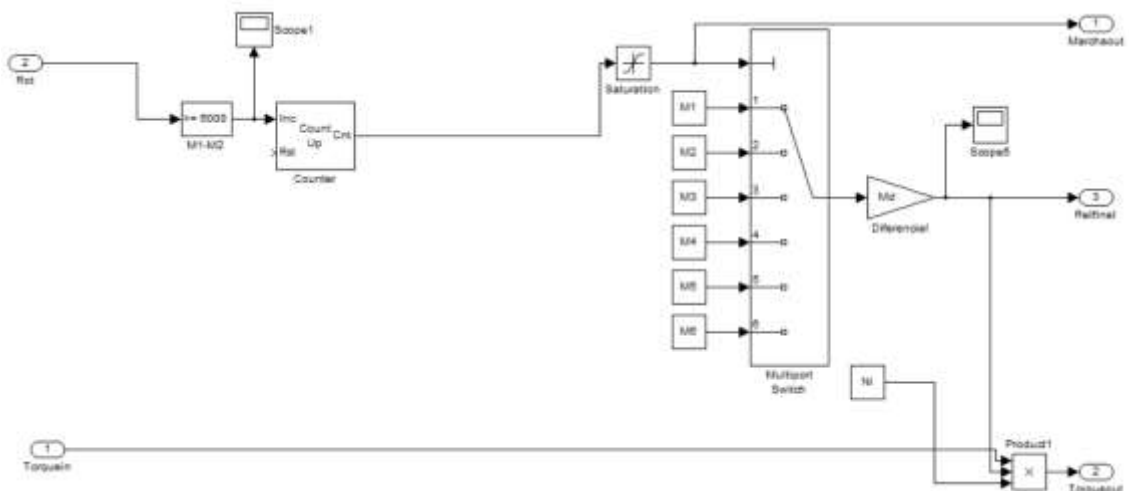


Figura 4 – Bloco representando a transmissão

Pneu e aderência:

A Figura 5 representa o cálculo da força que atua no veículo proveniente do torque do motor. Para tal também foi considerado o limite de força trativo, considerando o momento que a roda começa a deslizar.

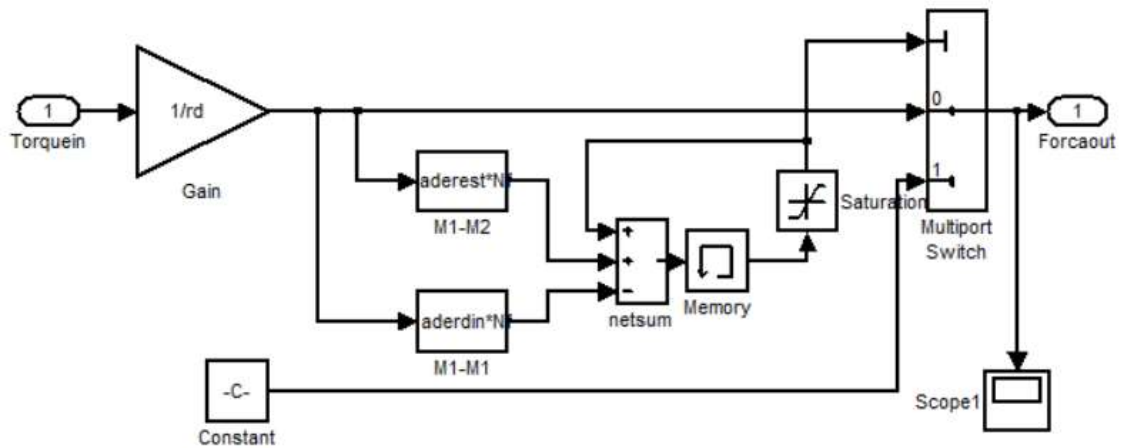


Figura 5 – Força atuando na roda

Forças atuando no sistema:

A Figura 6 representa as forças atuando no sistema, tanto resistivas quanto a força proveniente dos pneus. Com essas forças esse bloco calcula a aceleração e por consequência a velocidade atual do veículo.

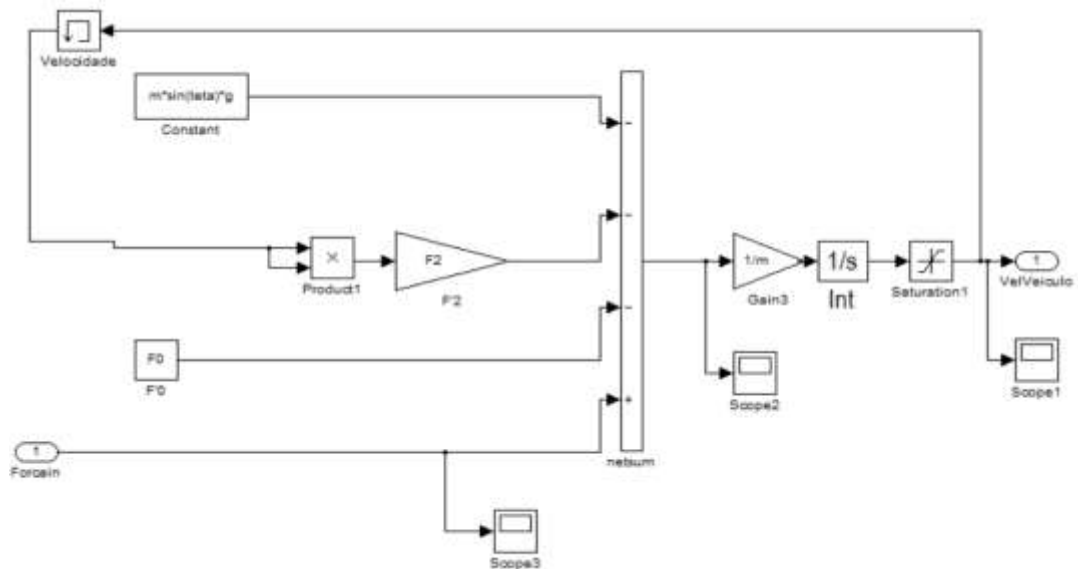


Figura 6 – Cálculo da velocidade do veículo

Cálculo da rotação a partir da velocidade do carro:

A Figura 7 demonstra o diagrama para o cálculo da rotação a partir da velocidade do carro. Esse dado é então usado para realimentar o sistema com a nova rotação do motor.

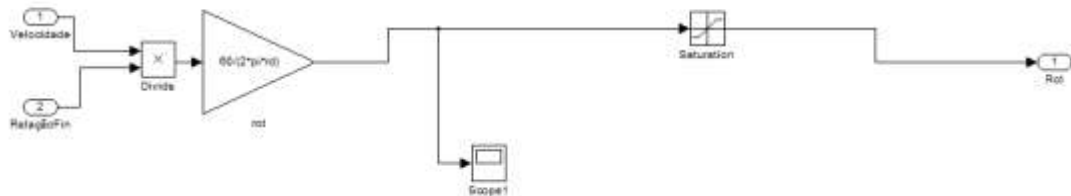


Figura 7 – Cálculo de rotação

Consumo:

A Figura 8 representa o diagrama utilizado para o cálculo da potência a partir da velocidade constante do carro. Cálculo semelhante ao utilizado no modelo de desempenho é utilizado para o cálculo da rotação. Com esses dois dados uma interpolação é feita na tabela de consumo por potência e o consumo instatâneo pode ser definido.

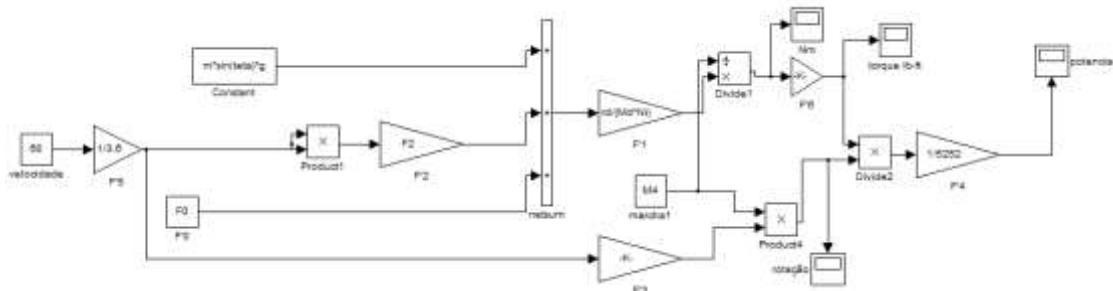


Figura 8 – Diagrama para cálculo de consumo

### 3- Resultados

Para cada carro foram coletados os seguintes dados:

- Curva de Rotação X Tempo: consegue-se a rotação de velocidade máxima.
- Curva de Velocidade X Tempo: consegue-se a velocidade máxima e a aceleração de 0-100 km/h.
- Curva de Distancia Percorrida X Tempo: consegue-se o tempo de 0-400 m e a velocidade alcançada neste tempo.
- Curva da Velocidade X Tempo para quarta marcha: consegue-se o tempo de retomada de 60-100 km/h para esta marcha.
- Curva da Velocidade X Tempo para quinta marcha: consegue-se o tempo de retomada de 80-120 km/h para esta marcha.

Com os dados obtidos podemos comparar com os dados de referência:

Dados reais de ensaio:	1)	2)	3)
Aceleração (0 – 100 km/h)	16,2 s	13,4 s	12,6 s
Aceleração (0 – 400 m)	20,2 s (109,7 km/h)	19,0 s (115,7 km/h)	18,5 s (119,9 km/h)
Retomada (60 – 100 km/h em G4)	16,3 s	12,8 s	14,5 s
Retomada (80 – 120 km/h em G5)	29,5 s	18,8 s	15,8 s
Velo cidade máxima (G4 e/ou G5)	151,3 km/h @ 5990 RPM	159,3 km/h @ 5580 RPM	170,1 km/h @ 5280 RPM

### 3.1 Veículo 1

- Curva de Rotação X Tempo

Na velocidade máxima, a rotação foi de 6130 RPM. Comparando a rotação de velocidade máxima de referência (5990 RPM) o erro é de 140 RPM ou 2,34%.

- Curva de Velocidade X Tempo

A velocidade máxima encontrada foi de 151,3 km/h, que é igual à velocidade de referência dada, portanto um erro de 0%.

A aceleração de 0-100 encontrada foi de 13,77s. Comparada com a velocidade de referência dada (16,2s) há uma diferença de 2,43s (15%).

- Curva de Distancia Percorrida X Tempo

O tempo de 0-400 m foi de 20,67 e a velocidade 113,7 km/h. Porém o modelo foi feito de modo que a embreagem sempre atua com 1 segundo de atraso, até na primeira arrancada. Portanto o tempo de 0-400 m considerado deve ser 19.67s. Comparado com o tempo de referência, de 20,2s e com a velocidade de referência de 109,7 km/h os erros de tempo e de velocidade são, respectivamente, 0,55s (2,72%) e 4 km/h (3,65%)

- Curva da Velocidade X Tempo para quarta marcha

A retomada de 60-100 km/h em quarta marcha foi de 9,37s

- Curva da Velocidade X Tempo para quinta marcha

A retomada de 80-120 km/h em quinta marcha foi de 15,58s

### 3.2 Veículo 2

- Curva de Rotação X Tempo

Na velocidade máxima, a rotação foi de 5512 RPM. Comparando a rotação de velocidade máxima de referência (5580 RPM) o erro é de 68 RPM ou 1,23%.

- Curva de Velocidade X Tempo

A velocidade máxima encontrada foi de 159,44 km/h, que comparada com a referência de 159,3 km/h dá um erro de 0,14 km/h ou 0.1%

A aceleração de 0-100 encontrada foi de 13,31s. Comparando com a referência de 13,4s temos um erro de 0.69s ou 0,68%

- Curva de Distancia Percorrida X Tempo

O tempo de 0-400 m foi de 20,49 e a velocidade 116,4 km/h. Porém o modelo foi feito de modo que a embreagem sempre atua com 1 segundo de atraso, até na primeira arrancada. Portanto o tempo de 0-400 m considerado deve ser 19,49s.

Comparado com o tempo de referência, de 19s e com a velocidade de referência de 115,7 km/h os erros de tempo e de velocidade são, respectivamente, 0,49s (2,5%) e 0,7 km/h (0,6%)

- Curva da Velocidade X Tempo para quarta marcha

A retomada de 60-100 km/h em quarta marcha foi de 8,64s.

- Curva da Velocidade X Tempo para quinta marcha

A retomada de 80-120 km/h em quinta marcha foi de 12,34s.

### 3.3 Veículo 3

- Curva de Rotação X Tempo

Na velocidade máxima, a rotação foi de 5180 RPM. Comparando a rotação de velocidade máxima de referência (5280 RPM) o erro é de 100 RPM ou 1,89%.

- Curva de Velocidade X Tempo

A velocidade máxima encontrada foi de 166,95 km/h, que comparada com a referência de 170,1 km/h dá um erro de 3,15n km/h ou 1,85%

A aceleração de 0-100 encontrada foi de 12,43s. Comparando com a referencia de 12,6s temos um erro de 0,17s ou 1,35%

- Curva de Distância Percorrida X Tempo

O tempo de 0-400 m foi de 19,55 e a velocidade 120,7 km/h. Porém o modelo foi feito de modo que a embreagem sempre atua com 1 segundo de atraso, até na primeira arrancada. Portanto o tempo de 0-400 m considerado deve ser 18,55s.

Comparado com o tempo de referência, de 18,5s e com a velocidade de referência de 119,9 km/h os erros de tempo e de velocidade são, respectivamente, 0,05s (0,3%) e 0,8 km/h (0,7%)

- Curva da Velocidade X Tempo para quarta marcha

A retomada de 60-100 km/h em quarta marcha foi de 7,4s.

- Curva da Velocidade X Tempo para quinta marcha

A retomada de 80-120 km/h em quinta marcha foi de 10,77s.

A tabela 1 resume essas informações

Tabela 1 – Comparação modelo matlab com testes físicos

	Matlab				Físico				Diferença percentual		
	Veículo1	Veículo2	Veículo3		Veículo1	Veículo2	Veículo3		Veículo1	Veículo2	Veículo3
Aceleração (0-100)km/h	13,77	13,31	12,43		16,2	13,4	12,6		-17,65%	-0,68%	-1,37%
Aceleração (0-400)m	19,67	19,49	18,55		20,2	19	18,5		-2,69%	2,51%	0,27%
Aceleração (60-100)km/h em G4	9,37	8,64	7,4		16,3	12,8	14,5		-73,96%	-48,15%	-95,95%
Aceleração (80-120)km/h em G5	15,58	12,34	10,77		29,5	18,8	15,8		-89,35%	-52,35%	-46,70%
Vmax	151,3	159,44	166,95		151,3	159,3	170,1		0,00%	0,09%	-1,89%
@rpm	6130	5512	5180		5990	5580	5280		2,28%	-1,23%	-1,93%

A Tabela 2 apresenta o passo a passo e o resultado do cálculo de consumo para o Veículo 1.

Tabela 2 – Cálculo de consumo

VELOCIDADE	60	80	120	140.646
MARCHA	m3	m4	m5	m4
ROT	3411	3241	3959	5698
rot+	3500,0	3500	4000	5750
rot-	3000,0	3000	3750	5500
POT	5,62	10,93	31,12	48,09
pot(rot+)+	6,0	11	35,2	53,5
pot(rot+)-	3,0	8,7	29,3	47,5
pot(rot-)+	6,1	13	32,5	52,9
pot(rot-)-	3,7	10,8	27,1	46,8
Cpot(rot+)+	2,92715231788	4,06622516556	9,77483443709	16,70198675497
Cpot(rot+)-	2,31788079470	3,73509933775	8,42384105960	14,83443708609
Cpot(rot-)+	2,76821192053	4,19867549669	8,91390728477	16,52980132450
Cpot(rot-)-	2,27814569536	3,74834437086	7,60264900662	14,58278145695
cons3500	2,84997792	4,05614742	8,84058817	15,01807947
cons3000	2,67019868	3,77495485	8,57880795	14,99452828
CONSUMO(L/H)	2,81797722	3,91048967	8,79765621	15,01318082

#### 4 - Conclusão

Observa-se que o modelo se adaptou melhor aos carros com tempos de aceleração e retomadas menores, ajustando-se com boa precisão para acelerações a partir do repouso e velocidade máxima. No entanto esse modelo não é capaz de prever com boa precisão as retomadas. Esse erro pode estar associado ao modelo considerar que o carro consegue fazer a retomada sem altas perdas, fato que não ocorre na realidade.



## Anexo 1

### Parametros iniciais:

#### Parametros iniciais do veiculo 1

```
clc
clear all

%Incremento
incremento=0.01;    %Passo de tempo da simulação
Vini=0;             %Velocidade inicial do veiculo
tmintroca=3.0;      %Tempo minimo q a marcha permanece engatada sem
troca

%Dados motor 1
Rot=[1500 1750 2000 2250 2500 2750 3000 3250 3500 3750 4000 4250 4500
4750 5000 5250 5500 5750 6000 6250 6500];
Pot=[16.4 19.5 21.9 25.7 29.7 32.8 36.0 38.8 41.4 44.1 47.9 51.9 54.7
57.1 59.2 60.9 61.1 60.9 59.8 59.7 59.3];
Tor=[7.83 7.98 7.84 8.18 8.51 8.54 8.59 8.55 8.47 8.42 8.58 8.75 8.71
8.61 8.48 8.31 7.96 7.59 7.14 6.84 6.53];
Nmin=1500;          %Rotação mínima
Nmax=6500;          %Rotação máxima
Rcortesup=6000;     %Rotação para troca de marcha
Rcorteinf=2000;     %Rotação para troca de marcha

%Parâmetros de Trasnmissao
ttroca=1.0;          %Tempo gasto
na troca de marcha
M1=4.273;M2=2.238;M3=1.444;M4=1.029;M5=0.838;M6=0.838; %Relação de
marchas
Md=4.067;           %redução
diferencial
Ni=0.94;            %eficiencia
da caixa

%Embreagem
tefmax=0.5;          %Tempo gasto para embreagem
acoplar perfeitamente

i=1;n=0;temb1(1)=0;
for n = 0:incremento:ttroca-incremento
    i = i+1;
    temb1(i-1)=0;
    temb1(i)=0;
    temb1(i)=temb1(i-1) + incremento;
end
temb2=[incremento:incremento:tefmax];
temb2=[ttroca+incremento:incremento:tefmax+ttroca];
tembc=[temb1,temb2];
temb=[temb1,temb2]; %Tempo gasto ate o acoplamento
final
%efemb=log10(1+((9/tefmax)*tembc)); %Eficiencia da emberagem ate o
acoplamento final
efemb=[1+cos(-pi*pi*tembc/tefmax)]/2; % nova curva com cosseno

%Parametros de pneu
rd=0.274;
aderest=0.88;
aderdin=0.8;
```

```
%gravidade
```

```
g=9.81;
```

```
%Parâmetros do veículo
```

```
m=825;
```

```
F0=96.9;
```

```
F2=0.502;
```

```
Nfr=0.6*m*g;
```

```
%Parametros de pista
```

```
teta=0; %angulo de inclinação
```

## parâmetros iniciais do veiculo 2

```
clc
```

```
clear all
```

```
%Incremento
```

```
incremento=0.01; %Passo de tempo da simulação
```

```
Vini=0; %Velocidade inicial do veiculo
```

```
tmintroca=3.0; %Tempo minimo q a marcha permanece engatada sem  
troca
```

```
%Dados motor 1
```

```
Rot=[1500 1750 2000 2250 2500 2750 3000 3250
```

```
3500 3750 4000 4250 4500 4750 5000 5250 5500
```

```
5750 6000];
```

```
Pot=[22.7 27 31.8 37.4 42.1 46.2 50.4 54.7 58.4
```

```
63.5 68.9 72.8 76.2 80.3 82.2 83.1 83.7 83.9
```

```
84.2];
```

```
Tor=[10.83849333 11.04994286 11.38758 11.90483556 12.060808
```

```
12.03216 12.03216 12.05419692 11.95030857 12.12765333 12.336545
```

```
12.26808471 12.12765333 12.10754947 11.774328 11.33642286
```

```
10.89926182 10.45029217 10.05067333];
```

```
Nmin=1500; %Rotação mínima
```

```
Nmax=6500; %Rotação máxima
```

```
Rcortesup=6000; %Rotação para troca de marcha
```

```
Rcorteinf=2000; %Rotação para troca de marcha
```

```
%Parâmetros de Trasnmissao
```

```
ttroca=1.0; %Tempo gasto
```

```
na troca de marcha
```

```
M1=4.273;M2=2.238;M3=1.444;M4=1.029;M5=0.872;M6=0.872; %Relação de
```

```
marchas
```

```
Md=4.4; %redução
```

```
diferencial
```

```
Ni=0.94; %eficiencia
```

```
da caixa
```

```
%Embreagem
```

```
tefmax=0.5; %Tempo gasto para embreagem
```

```
acoplar perfeitamente
```

```
i=1;n=0;temb1(1)=0;
```

```
for n = 0:incremento:ttroca-incremento
```

```
    i = i+1;
```

```
    temb1(i-1)=0;
```

```
    temb1(i)=0;
```

```
    temb1(i)=temb1(i-1) + incremento;
```

```
end
```

```

tembc2=[incremento:incremento:tefmax];
temb2=[ttroca+incremento:incremento:tefmax+ttroca];
tembc=[tembc1,tembc2];
temb=[temb1,temb2]; %Tempo gasto ate o acoplamento final
%efemb=log10(1+((9/tefmax)*tembc)); %Eficiencia da emberagem ate o acoplamento final
efemb=[1+cos(-pi+pi*tembc/tefmax)]/2; % nova curva com cosseno

%Parametros de pneu
rd=0.2944;
aderest=0.88;
aderdin=0.8;

%gravidade
g=9.81;

%Parâmetros do veículo
m=1111.5;
F0=148.1;
F2=0.591;
Nfr=0.6*m*g;

%Parametros de pista
teta=0; %angulo de inclinação

```

### parâmetros iniciais do veiculo 3

```

clc
clear all

%Incremento
incremento=0.01; %Passo de tempo da simulação
Vini=0; %Velocidade inicial do veículo
tmintroca=3.0; %Tempo minimo q a marcha permanece engatada sem troca

%Dados motor 1
Rot=[1600 2000 2400 2600 2800 3200 3600 4000
4400 4800 5200 5400 5600 6000 6250];
Pot=[31.2 39.6 50.9 59.7 66.8 72.8 76.7 84.3
93.2 97.6 103.2 103.5 104.3 100.9 96.8];
Tor=[13.97 14.18 15.19 16.45 17.09 16.29 15.26 15.09
15.17 14.56 14.21 13.73 13.34 12.04 11.09];
Nmin=1500; %Rotação mínima
Nmax=6500; %Rotação máxima
Rcortesup=6000; %Rotação para troca de marcha
Rcorcteinf=2000; %Rotação para troca de marcha

%Parâmetros de Trasnmissao
ttroca=1.0; %Tempo gasto na troca de marcha
M1=3.909;M2=2.238;M3=1.520;M4=1.156;M5=0.945;M6=0.945; %Relação de marchas
Md=3.733; %redução diferencial
Ni=0.94; %eficiencia da caixa

```

```

%Embreagem
tefmax=0.5; %Tempo gasto para embreagem
acoplar perfeitamente

i=1;n=0;temb1(1)=0;
for n = 0:incremento:ttroca-incremento
    i = i+1;
    tembc1(i-1)=0;
    tembc1(i)=0;
    temb1(i)=temb1(i-1) + incremento;
end
tembc2=[incremento:incremento:tefmax];
temb2=[ttroca+incremento:incremento:tefmax+ttroca];
tembc=[tembc1,tembc2];
temb=[temb1,temb2]; %Tempo gasto ate o acoplamento
final
%efemb=log10(1+((9/tefmax)*tembc)); %Eficiencia da emberagem ate o
acoplamento final
efemb=[1+cos(-pi+pi*tembc/tefmax)]/2; % nova curva com cosseno

%Parametros de pneu
rd=0.3016;
aderest=0.88;
aderdin=0.8;

%gravidade
g=9.81;

%Parâmetros do veículo
m=1192;
F0=143,5;
F2=0.647;
Nfr=0.57*m*g;

%Parametros de pista
teta=0; %angulo de inclinação

```