4
Metodologia da Estimação

Neste capítulo detalha-se o procedimento da estimação dos parâmetros dinâmicos do veículo, assim como as partes que o compõe.

4.1
Procedimento Numérico

A estimação dos parâmetros em sistemas dinâmicos veiculares pode ser tratada como um sistema de múltiplos entradas e saídas, onde as entradas são os diferentes tipos de manobras realizadas pelos motoristas. As saídas são consideradas como as obtidas dos sensores montados no veículo, ou medidas estimadas, que podem ser: velocidade lateral, aceleração lateral v_y, velocidade angular de guinada $\dot{\psi}$, ângulo de rolagem ϕ, entre outros. As manobras são de diferentes tipos, já que, os modos de excitação do veículo dependem do tipo de entrada. Partindo deste ponto de vista, deve-se definir as seguintes partes que compõem a estimação:

Entrada do Sistema: A entrada do sistema é obtida por meio do sensor Logitech G25 Racing Wheel, que é um volante utilizado normalmente em video-game. A leitura de dados deste sensor é desenvolvida utilizando a biblioteca *Simple Directmedia Library* (SDL) que fornece ferramentas para obter dados de qualquer tipo de hardware externo ao computador, esta biblioteca está disponível em linguagem C++.

Modelos Matemáticos: Modelos utilizados para a estimação dos parâmetros dinâmicos. Neste trabalho são utilizados dois modelo: o descrito na Seção 2 e um desenvolvido por meio da biblioteca (*.dll*) do programa de simulação veicular, sendo que este último é tratado como uma "caixa preta", onde a dinâmica do veículo é feita com mais de 15GDL mecânicos e as funções que a descrevem estão em linguagem C++.

Parâmetros: Define-se o conjunto de parâmetros dinâmicos estimados (parâmetros inerciais, parâmetros geométricos, entre outros) tanto para

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1121430/CA

o modelo de 4GDL, como para o modelo desenvolvido utilizando a biblioteca do programa de simulação veicular.

Plano de estudo da estimação: Desenvolve-se um analise de sensibilidade para determinar que tipo de entrada excita mais uma determinada saída por meio da variação de um parâmetro ou um conjunto deles. Também define-se a função objetivo que é utilizada no processo de estimação, esta função objetivo será a mesma para todos os métodos de otimização.

4.1.1 Modelos do Veículo e Parâmetros Dinâmicos

Neste trabalho foram utilizados dois modelos do veículo para a estimação dos parâmetros dinâmicos. O primeiro é descrito na Seção 2, que possui de 4GDL: translação nos eixos x e y e rotação em torno do eixos x e z, conforme ilustrado na Figura 4.1. Neste modelo os parâmetros estimados são definidos pelo vetor x_{param_4GDL}:

$$x_{param_4GDL} = [m, a, h, I_{xx}, I_{yy}, I_{zz}, K_\phi, C_\phi] \tag{4-1}$$

no qual m é a massa do veículo, a é a distância do eixo frontal ao centro de gravidade (CG) do veículo, h altura do CG do veículo relativo ao solo, I_{xx}, I_{yy}, I_{zz} os momentos de inércia do veículo em relação ao sistema de coordenadas S_v e K_ϕ, C_ϕ os coeficientes de rigidez e amortecimento de rolagem respectivamente.

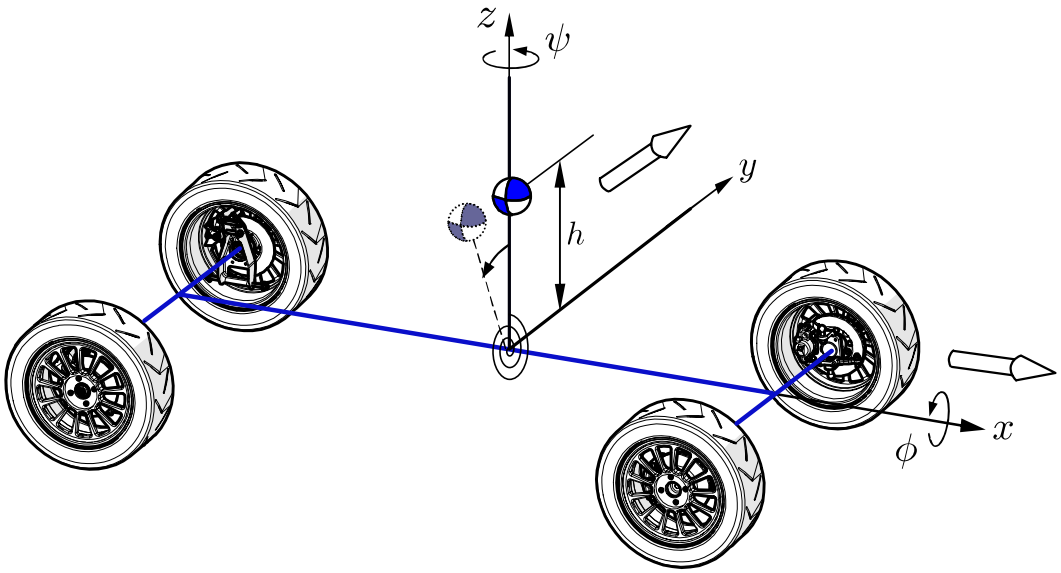

Figura 4.1: Diagrama esquemático do modelo de 4GDL.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1121430/CA

O programa de simulação veicular utilizado nesta dissertação pode ser usado em simulações interativas em tempo real, assim como para testar controladores. Também possui uma interface gráfica com o usuário, que permite alterar suas configurações internas mediante de diferentes opções. Portanto não é possível alterar as características do veículo (parâmetros dinâmicos) em cada iteração ou geração de acordo com os algoritmos de otimização, devido a que o fluxo de dados para a estimação deve ser contínuo.

Para solucionar este problema é utilizado no MATLAB a biblioteca (*.dll*) do simulador, para controlar diretamente as variações dos parâmetros dinâmicos de acordo com a evolução dos métodos de otimização. Para fazer este uso direto do simulador, primeiro deve-se conhecer como ele trabalha.

O simulador, cria um arquivo chamado *simfile* que contém todos os arquivos utilizados para as simulações de um determinado veículo. Um exemplo deste arquivo é mostrado na Figura 4.2.

```
SIMFILE
INPUT D:\Sim_Data\Runs\Run320_all.par
ECHO D:\Sim_Data\Runs\Run320_echo.par
FINAL D:\Sim_Data\Runs\Run320_end.par
LOGFILE D:\Sim_Data\Runs\Run320_log.txt
ERDFILE D:\Sim_Data\Runs\Run320.erd
DLLFILE D:\Program Files\SimProg\Programs\Solvers\Default\i_i.dll
END
```

Figura 4.2: Exemplo do um arquivo *simfile* construído pelo programa de simulação na inicialização do programa.

Todos estes arquivos do *simfile* são de muita importância na simulação, mas o necessário para modificar os parâmetros dinâmicos do veículo é o **Run320_all.par**, já que neste se configuram todas as propriedades tanto geométricas como inerciais em estudo, assim como as entradas (do volante, velocidade longitudinal, entre outras). Logo, o software usa todos os arquivos no *simfile* e faz a simulação por meio da biblioteca de ligações dinâmicas (*.dll*), obtendo como saídas as variáveis de estado do sistema dinâmico (acelerações, velocidades angulares, ângulos de rolagem, arfagem, entre outras). O fluxo de dados que são requeridos para o controle do programa de simulação é mostrado na Figura 4.3. Neste modelo, os parâmetros estimados são definidos pelo vetor x_{param_Sim}:

$$x_{param_Sim} = [m, a, h, I_{xx}, I_{yy}, I_{zz}] \tag{4-2}$$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1121430/CA

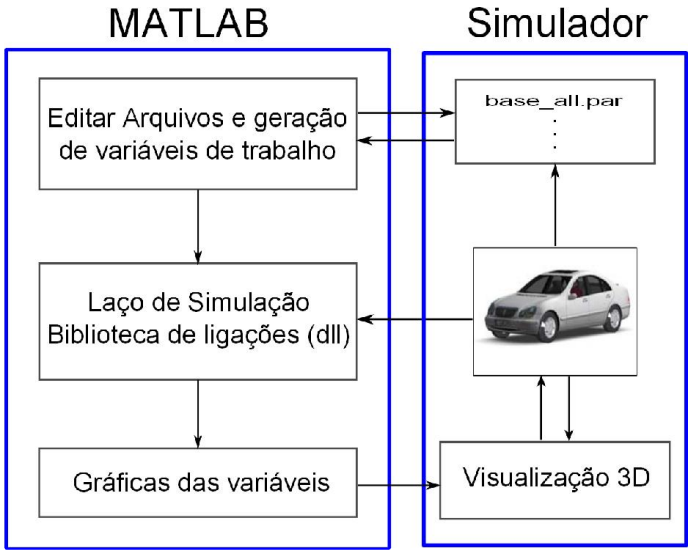

Figura 4.3: Fluxo de dados para o controle do programa de simulação usando da plataforma *MATLAB*.

4.1.2 Plano de Estimação

Para poder estimar parâmetros de um sistema dinâmico qualquer, sobretudo se este possui um elevado numero deles, é preciso fazer um estudo de sensibilidade do sistema em estudo. Esta análise de sensibilidade fornece informação relevante de como um determinado parâmetro dinâmico afeta as saídas do sistema tendo uma determinada entrada. Para esta pesquisa utiliza-se os diferentes tipos de manobras (Step Steer, Sinusoidal e DLC). Então, esta entrada é aplicada ao sistema conjuntamente com uma pequena variação de um parâmetro, para logo analisar a mudança nas saídas. Este processo é repetido para todos os parâmetros dinâmicos em estudo. Esta informação é utilizada para calcular a função objetivo do problema, considerando quais parâmetros são mais sensíveis a uma determinada entrada e como esta afeta a uma ou mais saídas do sistema.

Encontra-se diferentes caminhos para realizar o estudo de sensibilidade em sistema dinâmicos [41]. A função de sensibilidade de primeira ordem é determinada pela expressão:

$$S_{primeiro\ ordem} = \frac{\Delta x_i}{\Delta p_j}$$

que é a função de sensibilidade, e x_i é a variável de estado (saída) j e p_j é o parâmetro que se está variando na análise. Neste trabalho, define-se uma

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1121430/CA

função mais representativa conhecida como função de sensibilidade logarítmica de primeira ordem, expressa como:

$$S_v = \frac{|\Delta x_i|\, p}{|x_{max}|\, \Delta p_j} \tag{4-3}$$

no qual $|\Delta x_i|$ é a variação da variável de saída, $|\Delta x_{max}|$ é o valor máximo absoluto da variável i, Δp_j é a variação do parâmetro j, e p_j é o valor nominal do parâmetro em estudo.

A função objetivo utilizada neste trabalho é:

$$\text{Função Objetivo } (p_e) = \sum_{i=1}^{n} [R(i) - G(i)]^2 \tag{4-4}$$

na qual i é a resposta discreta no tempo t_i, $R(i)$ é a resposta de referência e $G(i)$ é a resposta do método de estimação. O objetivo do método de otimização é minimizar a função objetivo, identificando para isto um vetor de valores de parâmetros dinâmicos do veículo p_e, que nesta pesquisa são expressas pelas Equações (4-1) e (4-2). Na Figura 4.4 apresenta-se o fluxo de dados de todos os componentes da estimação de parâmetros dinâmicos do veículo utilizando o modelo de 4GDL.

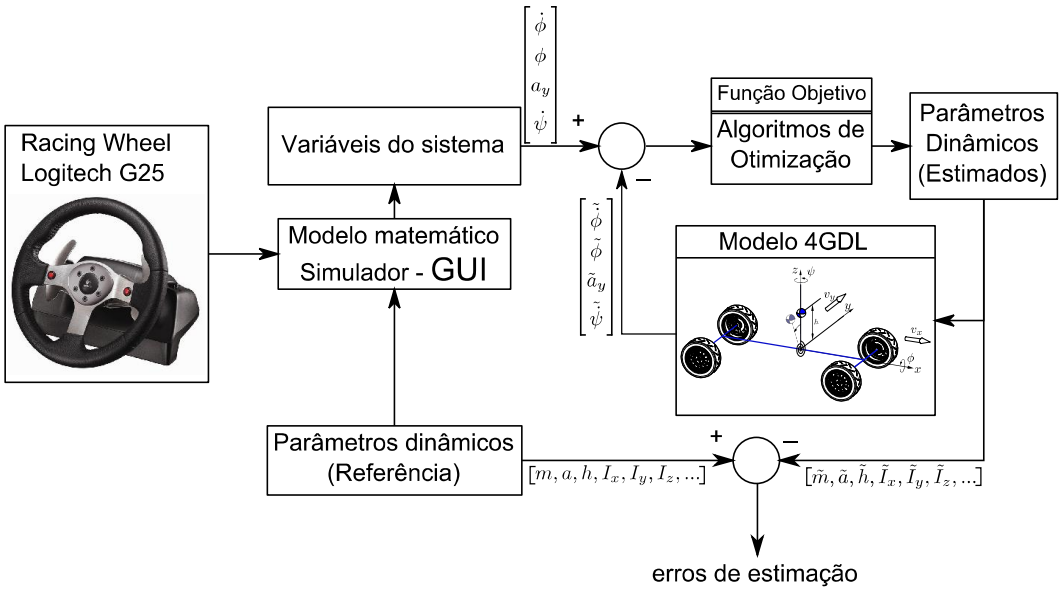

Figura 4.4: Fluxo de dados para a estimação do parâmetros dinâmicos, utilizando o modelo de 4GDL desenvolvido na plataforma MATLAB.

Para a estimação utilizando o modelo desenvolvido na biblioteca de ligações (.dll) do programa de simulação veicular, o fluxo de dados seria o

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1121430/CA

mesmo, mas o modelo do veículo de 4GDL seria trocado, como se mostra na Figura 4.5.

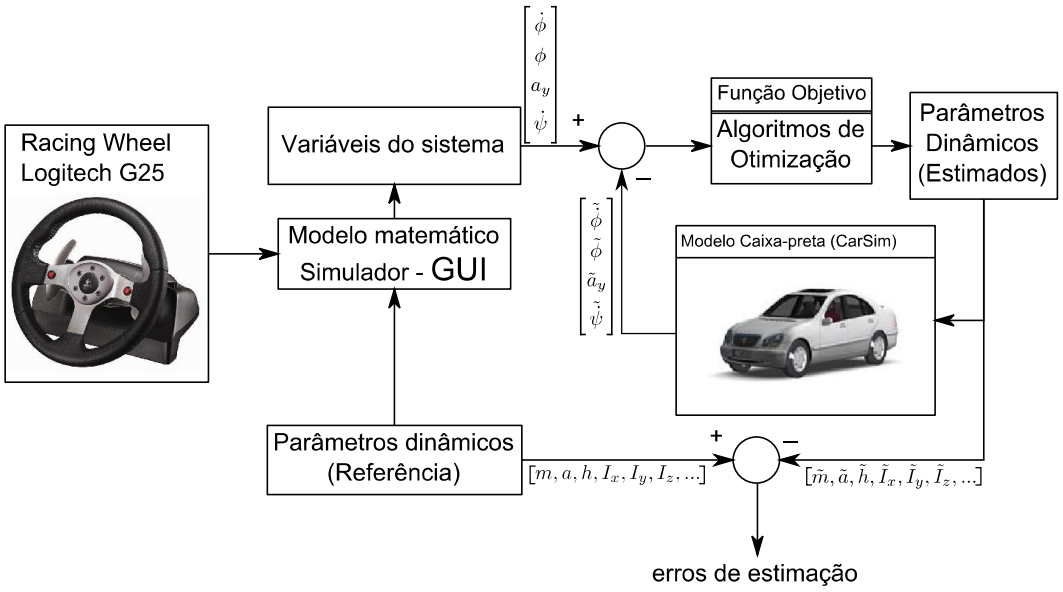

Figura 4.5: Fluxo de dados para a estimação do parâmetros dinâmicos, utilizando o modelo feito com a biblioteca do simulador.

É importante ressaltar que o processo de estimação desenvolvido nesta pesquisa serve também para dados reais, ou seja, dados obtidos de um Sistema de Aquisição de Dados montado no veículo real. Nesta suposição, o fluxo para a estimação dos parâmetros dinâmicos seria como se mostra na Figura 4.6.

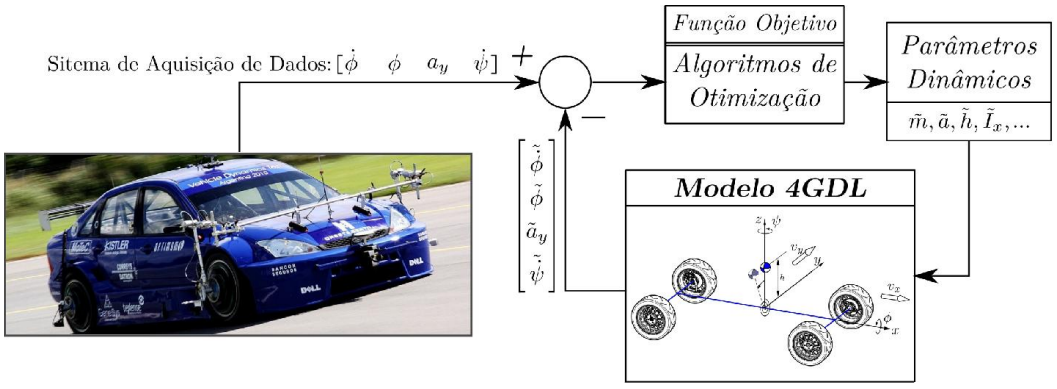

Figura 4.6: Fluxo de dados para a estimação do parâmetros dinâmicos, utilizando dados reais obtidos por um Sistema de Aquisição de Dados.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1121430/CA

4.2 Configuração dos Métodos de Otimização

Para todos os métodos de otimização é utilizada a mesma função objetivo definida na Equação (4-4). A Tabela 4.1 apresenta as características principais dos métodos utilizados nesta pesquisa.

Tabela 4.1: Características do Métodos de Otimização

Método de Otimização	Restrição de Bordas	Ponto Inicial
Evolução Diferencial (ED)	✓	×
Generalized Pattern Search (GPS)	✓	✓
Mesh Adaptative Direct Search (MADS)	✓	✓
Nelder-Mead (NM)	×	✓

Uma vez que os modelos do veículo já foram definidos e tendo os métodos de otimização já configurados, pode-se aplicar estes métodos, de acordo com o fluxo de dados da Figura 4.5. Isto para o modelo feito com o programa de simulação e o de 4GDL feito em MATLAB.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1121430/CA