

2 Procedimentos para Análise de Colisão de Veículos Terrestres Deformáveis

Com o objetivo de aumentar a segurança de seus veículos, os fabricantes automotivos estudam acidentes nos quais seus produtos estejam envolvidos realizando testes destrutivos com razoável frequência, a despeito do custo elevado e da alta tecnologia empregada. Estes testes de impacto, denominados "crash tests", seguem diversas normas de acordo com as exigências locais e raramente têm seus resultados divulgados por completo. Neste trabalho, a importância dos "crash tests", se resume ao fato de através deles ser possível estimar os parâmetros estruturais dos veículos objetos da simulação, tais como rigidez, constantes de amortecimento e momentos de inércia.

Durante a colisão propriamente dita dois tipos de análises podem ser feitas:

- veículos rígidos - se estuda o problema com foco nas propriedades dinâmicas resultantes de um choque instantâneo, sem considerar os fenômenos que ocorrem durante o mesmo.
- veículos deformáveis - o choque é considerado em evento dinâmico, ou seja, os elementos envolvidos sofrem deformações e forças que variam ao longo do tempo de contato.

Apresenta-se, resumidamente, o modelo para simulação de diferentes choques envolvendo veículos flexíveis, recebendo as condições imediatamente anteriores ao choque, como entrada e, retornando, para os mesmos simuladores, as condições imediatamente após a perda de contato. A implementação destes modelos foi realizada através do programa MATLAB e, para tal, foi utilizado o esquema mostrado na Figura 1.

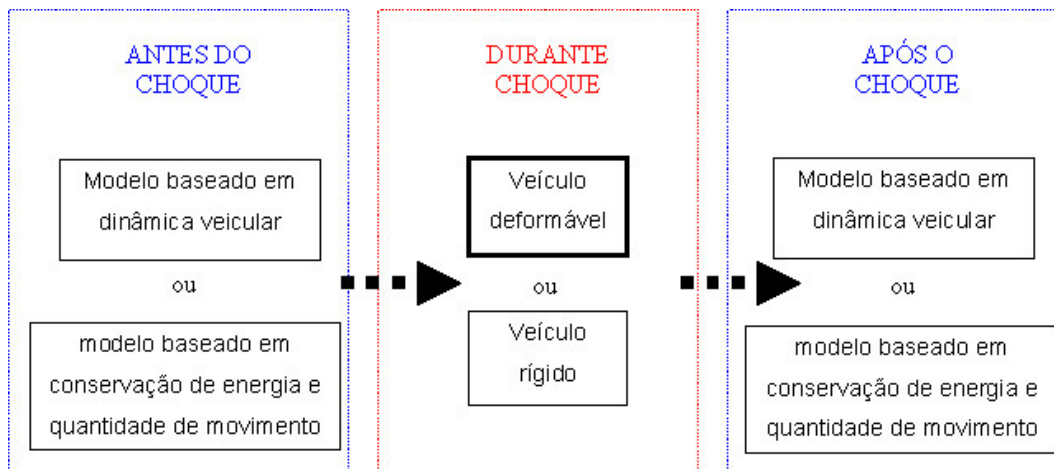


Figura 1 - Esquema da estrutura proposta.

Um dos dados mais importantes que pode ser obtido a partir de ensaios de impacto é o gráfico de deformação sofrida pelo esforço aplicado, representado na Figura 2.

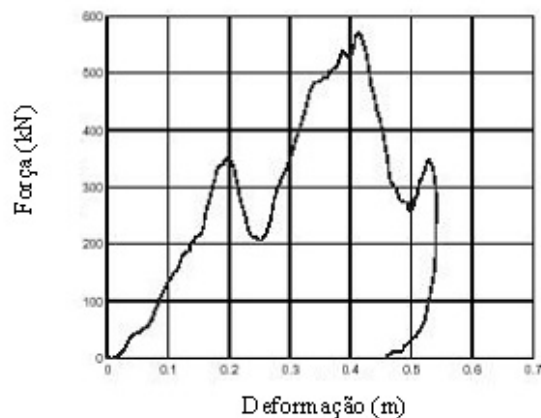


Figura 2 - Gráfico Força x Deformação típico, traçado a partir de testes de impacto.

Porém, para uma abordagem numérica deste comportamento, se faz necessária a caracterização do carregamento sofrido pela estrutura em relação à deformação, baseada na dependência, verificada em ensaios, entre a velocidade imediatamente antes do impacto e a deformação residual no choque contra uma

barreira rígida. Uma vez ultrapassada esta etapa, é possível determinar os parâmetros de rigidez dos veículos analisados, que são variáveis fundamentais para o modelo. Devido à dificuldade e ao custo na obtenção prática de parâmetros individuais e à enorme variedade de modelos existentes, na modelagem numérica geralmente emprega-se parâmetros de rigidez generalizados por classes veiculares.

2.1. Modelos computacionais para o estudo de colisões veiculares

A modelagem por elementos finitos exige tempo computacional muito alto e possui aplicação restrita a respectivo veículo, o que representa desvantagem frente à diversidade de marcas e tipos existentes no mercado. Os modelos baseados em massas discretizadas, parâmetros concentrados e em conservação de quantidade de movimento são mais utilizados. Dentre estes modelos, o que foi utilizado para a produção deste trabalho foi o baseado em elementos discretos mola-amortecedor em série, que será visto a seguir.

2.1.1. Modelo para veículo deformável, baseado em elementos discretos mola – amortecedor em série

Uma das formas usuais de se modelar as deformações associadas a uma colisão veicular é a discretização da geometria do veículo envolvido, considerando-se o veículo como um conjunto de vários corpos rígidos conectados entre si por diversos elementos. Baseado neste artifício de modelagem, tem-se o modelo apresentado por Lozano et al. – 1998, usado no programa SINRAT III de reconstituição de acidentes veiculares. Este modelo possui características dinâmicas, onde o intervalo de tempo em que ocorre a colisão é dividido, calculando-se os esforços envolvidos a cada instante. As estruturas dos veículos são discretizadas em regiões e fazendo-se um mapeamento constante de seus limites, determinando-se as regiões que estão envolvidas no choque a cada incremento de tempo. Uma vez determinadas estas áreas, são inseridos, em cada

uma das regiões envolvidas de cada veículo, um elemento transversal e outro longitudinal, constituídos de uma mola linear em série com um amortecedor viscoso não-linear e em paralelo com um amortecedor coulombiano, conforme o modelo físico ilustrado na Figura 3.

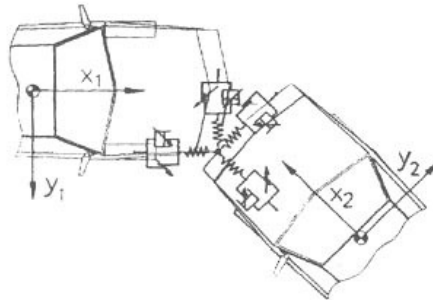


Figura 3 - Representação do contato entre dois veículos segundo o modelo de Vera et al..

Estes elementos modelam o comportamento elastoplástico da estrutura do veículo. As molas representam o comportamento elástico, ou seja, a deformação que é recuperada ao término do contato, e os amortecedores viscosos representam a deformação plástica, ou seja, a deformação permanente após o término do choque.

Os valores para as relações constitutivas utilizadas nos elementos deformáveis são próprios de cada veículo e são obtidos de testes experimentais, que, segundo Lozano et al - 1998 apontam uma distribuição percentual entre as regiões do veículo.

2.2. Modelos para colisões planas de veículos deformáveis

2.2.1. Colisão frontal contra uma barreira rígida

Considerando uma colisão frontal contra um obstáculo fixo, tal como em um teste de impacto, a força exercida pelo obstáculo sobre o veículo, $F(t)$, varia no tempo como mostrado na Figura 4a, onde se nota que a curva gerada é bastante

irregular, já que a parte frontal do veículo sofre grandes modificações durante o processo de deformação devido à existência de não linearidades geométricas, dobramento da estrutura e outros elementos.

Com exceção da parte frontal que sofre o processo de deformação, o veículo pode ser considerado como um corpo rígido e a posição do centro de massa como fixa à parte não deformada do veículo. A aceleração pode então ser relacionada proporcionalmente com a força $F(t)$ de acordo com a massa do veículo. Num teste de colisão a aceleração é usualmente medida por acelerômetros localizados no veículo, possibilitando, por esta aproximação, a obtenção direta da força, além da velocidade e da deformação do veículo.

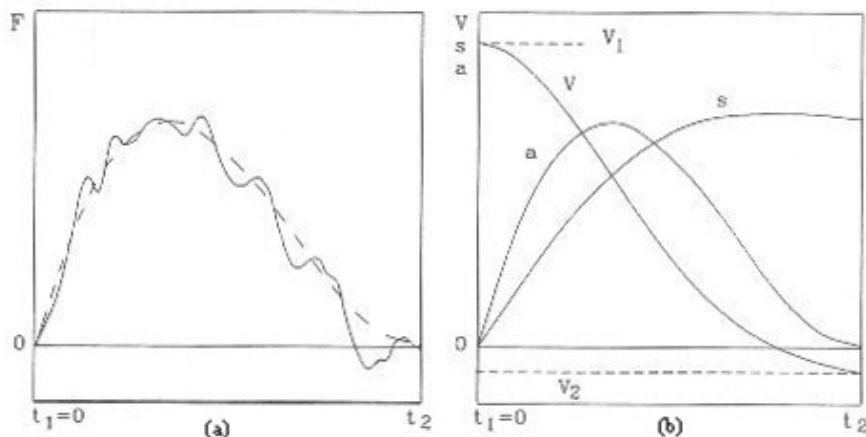


Figura 4 - (a) Força que o veículo recebe do obstáculo durante um teste de impacto como uma função de tempo. Curva experimental e lei empírica matemática. (b) Histórico $V(t)$, $a(t)$ e $s(t)$ obtidos através da lei empírica $F(t)$.

2.2.2. Colisão frontal entre veículos

A colisão frontal entre veículos pode ser modelada da mesma forma que a colisão de um veículo contra uma barreira rígida, assumido-se que a superfície de contato é plana e as características do impacto, particularmente a $F(t)$, são independentes da taxa de deformação. Cada veículo pode então ser modelado como uma massa, provido de uma mola não-linear, cujas características são as mesmas de uma colisão contra uma barreira rígida.

2.2.3. Colisão oblíqua entre veículos

Segundo Guenta – 1997, se for possível encontrar os valores relevantes para impactos laterais ou traseiros, a dependência das características rigidez global, resistência ao impacto e rigidez dianteira do veículo em relação ao ângulo de impacto (Figura 5) pode ser aproximada por dois arcos de elipse, com eixos iguais aos valores aferidos K_f , para a rigidez da região frontal, K_l , para a região lateral e K_p para a parte posterior do veículo.

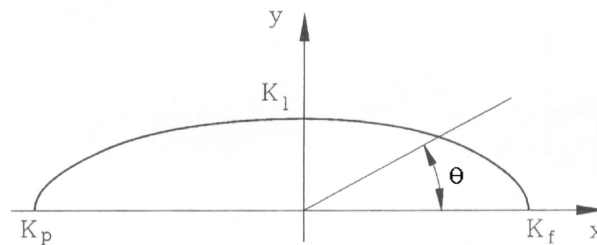


Figura 5 - Diagrama polar $K(\theta)$ aproximado por dois arcos de elipse.

2.3. Modelo de Choque Central Frontal Veículo Deformável – Barreira Rígida

Como anteriormente mencionado, foi utilizado um elemento mola-amortecedor em série, representando o comportamento elastoplástico de um veículo durante um choque frontal contra uma barreira rígida fixa, representado na Figura 6.

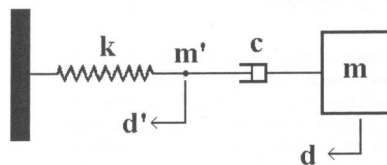


Figura 6 - Representação física do modelo utilizado.

Foi criado inicialmente um modelo numérico simples para colisão frontal de um veículo flexível contra uma barreira rígida fixa, baseado no modelo analítico, com o objetivo de comparar os resultados obtidos com os fornecidos pela literatura, além de servir como base de validação para modelos mais complexos subsequentes. Foi seguida a linha descrita por Lozano et al. – 1998 e Huang - 2002, onde a elastoplasticidade do veículo é representada por elementos mola-amortecedor em série.

Neste modelo foi utilizado um único elemento flexível, que recebe como entrada um deslocamento equivalente à deformação sofrida pelo veículo e fornece como saída, para a massa do veículo, uma força. A mola e o amortecedor, por estarem em série sofrem forças iguais e a soma dos seus deslocamentos será igual ao deslocamento total.

2.4. Modelo de Choque Central – Frontal entre Dois Veículos

Considerando um choque unidimensional entre dois veículos, cada um deles é representado por um elemento flexível mola – amortecedor em série ligando sua massa ao ponto de contato entre ambos P, conforme esquematizado na Figura 7, onde b_1 e K_1 e b_2 e K_2 são os amortecimentos viscosos e os coeficientes de rigidez referentes aos elementos flexíveis dos veículos 1 e 2 respectivamente e M_1 e M_2 as referidas massas.

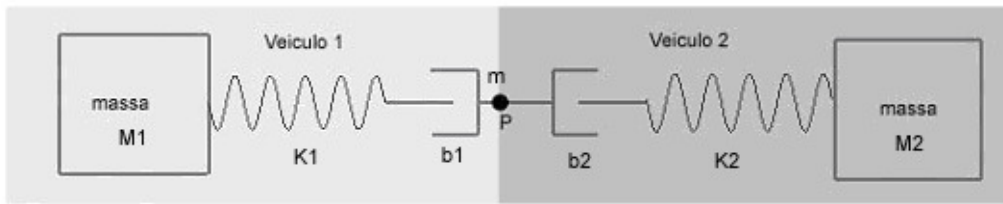


Figura 7 - Esquema físico do modelo para colisões unidimensionais entre dois veículos.

2.5. Modelo para choque frontal entre dois veículos

Este modelo implementa numericamente o equacionamento analítico utilizado pelo modelo de choque frontal e central entre dois veículos seguindo o conceito de variáveis potência entre seus componentes, onde a troca de sinais entre os componentes do sistema é feita por meio de velocidades e forças. São consideradas as velocidades relativas dos veículos em relação ao ponto de contato P, ou seja, suas taxas de deformação, que são as entradas dos elementos flexíveis representativos da elastoplasticidade dos veículos, fazendo-os retornarem uma força aplicada sobre os veículos e sobre o ponto de contato, conforme mostrado na Figura 8.

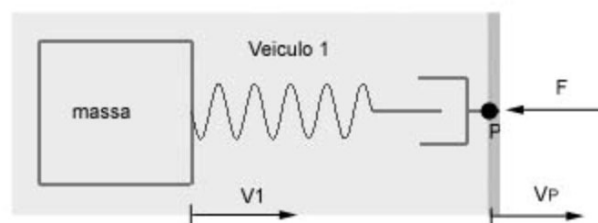


Figura 8 - Força aplicada sobre o ponto de contato pelo veículo 1 (F), devido a deformação resultante da velocidade relativa ($V1-VP$), onde $V1$ é a velocidade do veículo 1 e VP a velocidade do ponto P.

2.6. Modelo para colisões bidimensionais entre dois veículos

Com base no mesmo princípio para a modelagem da elastoplasticidade dos veículos foi usado um terceiro modelo, mais complexo que os anteriores, com o objetivo de simular colisões entre dois veículos onde as velocidades não tenham obrigatoriamente a mesma direção e onde as áreas dos veículos possam ser parcialmente envolvidas. O meio utilizado para isto é a discretização das regiões de cada veículo envolvidas em diferentes elementos flexíveis dispostos em duas direções ortogonais entre si, definidas transversalmente e longitudinalmente ao respectivo veículo, possibilitando assim a ocorrência de diferentes deformações em direções distintas ao longo das regiões afetadas.

O contato entre regiões de veículos distintos deforma os elementos flexíveis correspondentes, ocasionando uma força e um momento sobre cada veículo. As forças e momentos de todas as regiões de um veículo que estão em contato com outro são somadas gerando o esforço resultante sobre o mesmo. A representação física do modelo utilizado está apresentada nas Figuras 9 e 10.

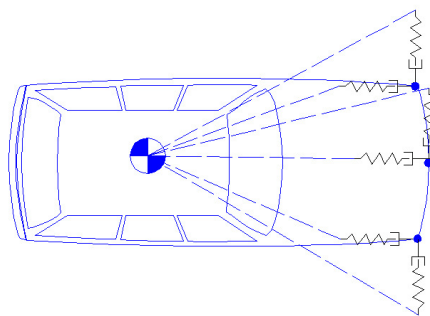


Figura 9 - Modelo físico de um veículo com divisão de sua região frontal em três elementos.

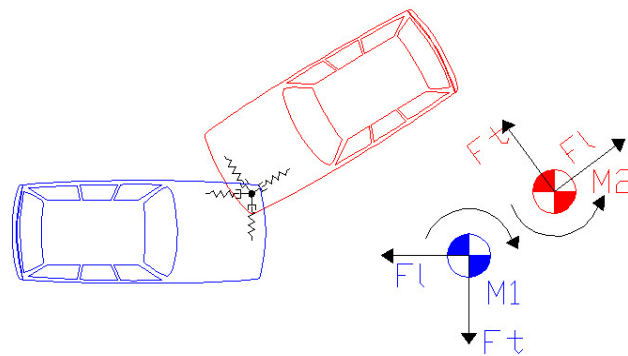


Figura 10 - Representação do contato entre dois veículos, segundo o modelo bidimensional criado.

Para a modelagem deste problema, a taxa de deformação é considerada igual em toda a área de contato, ou seja, se em um determinado instante três elementos flexíveis do veículo 1 encontram-se em contato com o veículo 2, todos eles se deformam com a mesma velocidade, enquanto que para os demais esta taxa é nula. Para a determinação da taxa de deformação subtrai-se a velocidade do centro de massa do veículo da velocidade da região de contato, que é obtida aplicando-se a resultante das forças exercidas por ambos os veículos sobre um ponto de massa desprezível com relação às dos veículos envolvidos. Como não é possível a determinação de uma forma para a região de contato, os momentos são desprezados. Um fluxograma do modelo criado é apresentado na Figura 11. As etapas iniciais (entradas de dados e discretização dos veículos) são feitas por arquivos e funções do MATLAB.

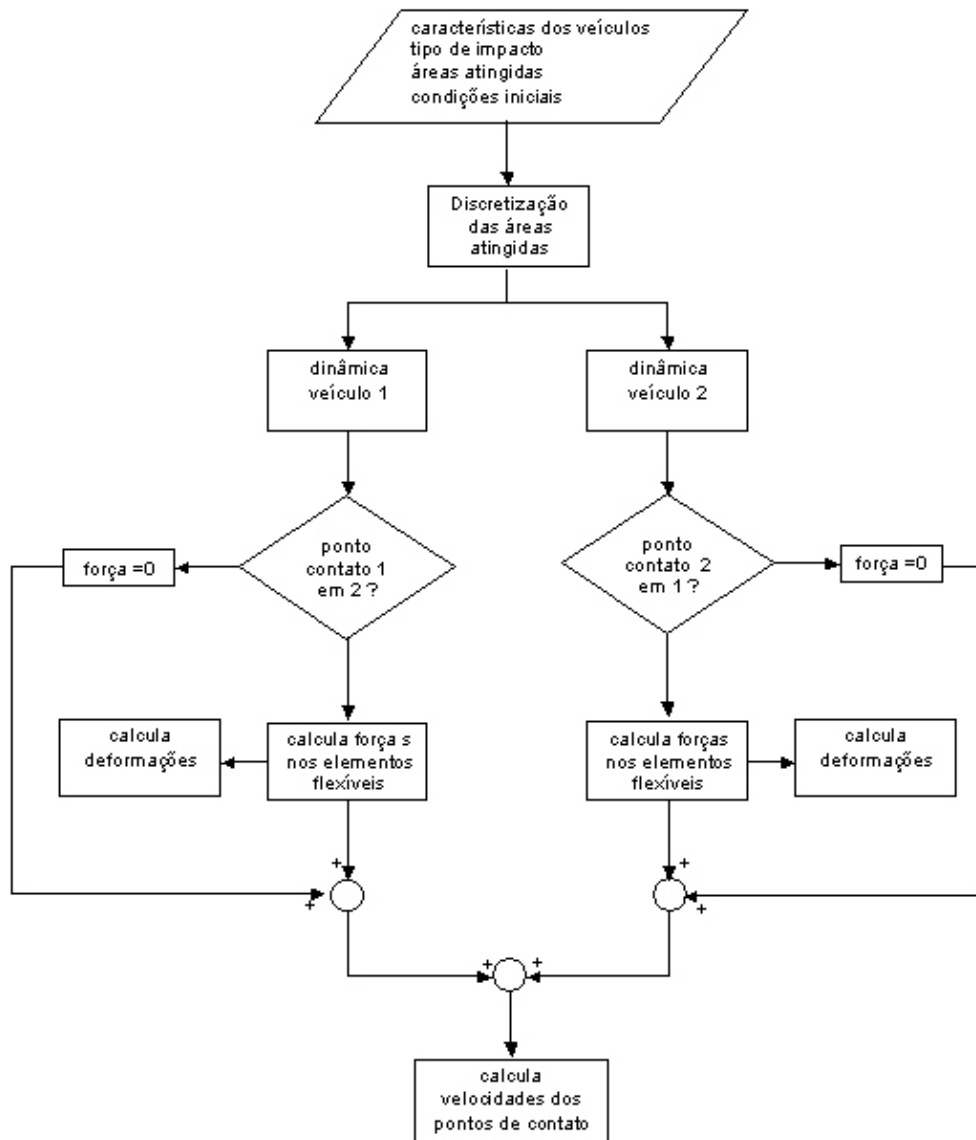


Figura 11 - Fluxograma do modelo bidimensional.

2.7. Simulações de colisões planas de veículos deformáveis

Foram realizadas diversas simulações semelhantes às reconstituições encontradas na literatura referenciada objetivando uma validação qualitativa inicial dos modelos desenvolvidos, procurando abranger os mais diversos casos de colisão. Como os parâmetros de rigidez não são exatos e os dados disponíveis para cada caso não são completos, uma análise quantitativa rígida dos resultados não é apropriada.

2.8. Principais características da modelagem utilizada

As principais características da modelagem a ser utilizada em conjunto com o AG são:

- a disposição dos elementos do modelo permite a inserção de esforços adicionais atuando sobre as massas dos veículos, tornando possível a inclusão de elementos como o atrito e esforços de tração, além de uma integração com um modelo para simulação dinâmica;
- há a necessidade de se determinar parâmetros de rigidez específicos para o uso com o modelo determinado;
- a ausência de atrito na modelagem pode influir sensivelmente nos resultados, diminuindo a desaceleração existente nos choques e, conseqüentemente, aumentando a duração do choque;
- a discretização das áreas afetadas deve ser cuidadosamente testada, pois os valores de rigidez dos elementos discretizados envolvidos na simulação de choques localizados podem ocasionar um comportamento indesejado da deformação.