

# MANOBRAS EVASIVAS EM AMBIENTES DE FRAGMENTAÇÃO

**Rafael Ribeiro de Sousa<sup>1</sup>; Antônio Delson C. de Jesus<sup>2</sup>**

1. Bolsista PROBIC-UEFS, Graduando em Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, email: [rafanw72@gmail.com](mailto:rafanw72@gmail.com)
2. Orientador, Departamento de Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, email: [ald1j1@gmail.com](mailto:ald1j1@gmail.com)

**PALAVRAS-CHAVE:** Detritos Espaciais, Manobras Evasivas, Fragmentação.

## INTRODUÇÃO

A realização de manobras evasivas é uma medida segura e uma estratégia bastante utilizada nas missões espaciais em ambientes de detritos espaciais (DE). Detritos espaciais são partículas que orbitam a Terra com velocidades relativas altas suficientes para causar danos graves aos veículos, podendo ocasionar a falha operacional total da missão. Estudos mostram que em faixas de altitudes operacionais, para as missões espaciais, a proliferação de detritos espaciais tem um caráter auto-sustentável, ou seja, mesmo que não sejam inseridos novos detritos espaciais as colisões entre estes encarregam de aumentar a sua população (KESSLER, 1991). Portanto um veículo espacial operacional pode em sua missão encontrar algo pior do que um detrito colisional: uma nuvem de detritos colisionais. Esta nuvem de detritos são produzidas quando há colisões mutuas entre os detritos abrindo um processo de fragmentação dos materiais que os constituem. Particularmente, em regiões operacionais (LEO, MEO e GEO), a fragmentação de um detrito espacial multiplica a dificuldade para a implementação de manobras evasivas. Isto é devido ao fato destas manobras serem realizadas não mais para escapar de um único detrito, mas de uma nuvem de detritos de tamanhos inferiores ao primeiro. Neste trabalho estudamos as manobras evasivas entre veículos e detritos espaciais baseado no trabalho de Jesus (JESUS et al., 2012), levando em conta a fragmentação dos DE a partir do modelo de distribuição de fragmentos de Aström (ASTRÖM et al., 2004), adaptado para esta investigação. O modelo de Aström (2004) foi derivado de experimentação realizado em materiais considerados frágeis, submetidos a esforço externo. Esse modelo pode ser utilizado quando detritos e veículos espaciais sofrem um impacto relativamente alto de forma que se possa desconsiderar a dureza dos materiais constituintes dos objetos colisionais.

## METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste estudo obedece aos seguintes passos:

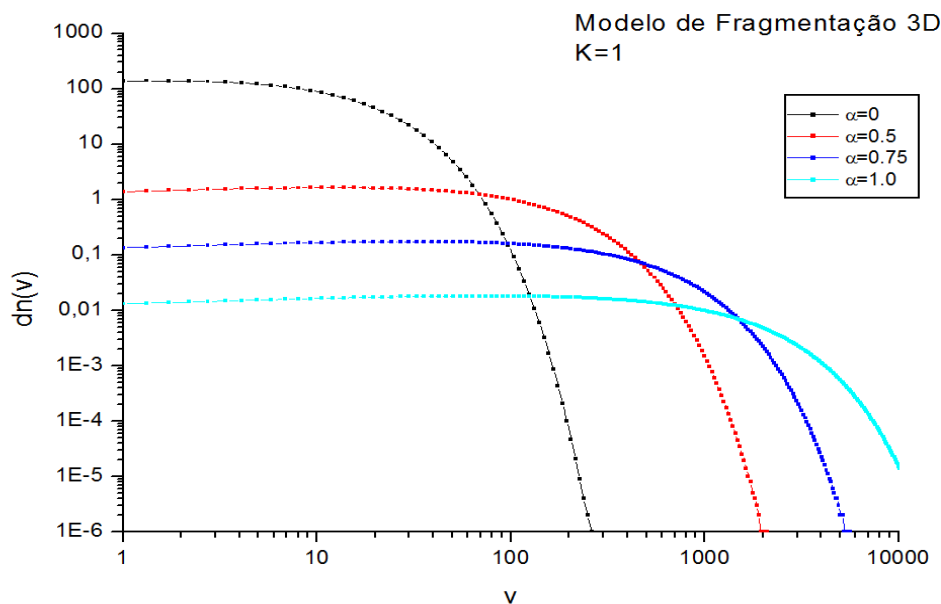
- 1) Estudo do modelo de fragmentação de Aström;
- 2) Modificação do modelo de Aström;
- 3) Simulação numérica do modelo de fragmentação de Aström e ajustes necessários;
- 4) Simulação numérica das manobras evasivas diante dos fragmentos gerados pelo modelo de Aström;
- 5) Análise de parâmetros tecnológicos associados à dinâmica relativa e ao sistema de propulsão que permitem o escape do veículo espacial na presença dos fragmentos;

## RESULTADOS

Nesta seção estaremos apresentando os resultados das simulações da dinâmica relativa entre objetos espaciais em ambiente de detritos espaciais em processo de fragmentação. As manobras evasivas são analisadas a partir dos parâmetros tecnológicos adequados para o escape do veículo espacial frente a uma nuvem de fragmentos derivados de um detrito espacial inicial que sofreu esforço e produziu fragmentação. A fragmentação básica é tida como frágil, a partir do modelo de Aström, que foi modificado neste trabalho para atender também a fragmentações com outros níveis de fragilidade.

Na Figura 1 temos a distribuição de fragmentos,  $dn(v)$ , em 3 dimensões levando em conta outros níveis de fragilidade do material, representados pelo parâmetro  $\alpha$ , e o tamanho representado por  $v$ . O parâmetro  $\alpha$  é definido como fator de fragilidade do material e é a contribuição do nosso trabalho a este modelo de distribuição. Este parâmetro foi introduzido no modelo por inferência e exacerba a potência do comprimento de penetração do material, refletindo o quanto o maior é frágil para se fragmentar. Desta forma, quanto menor a fragilidade do material (ou seja, maior o parâmetro  $\alpha$ ) menor a probabilidade de encontrar fragmentos em formas de grãos pequenos.

**Figura 1-Distribuição com fator de fragilidade, D=3.**

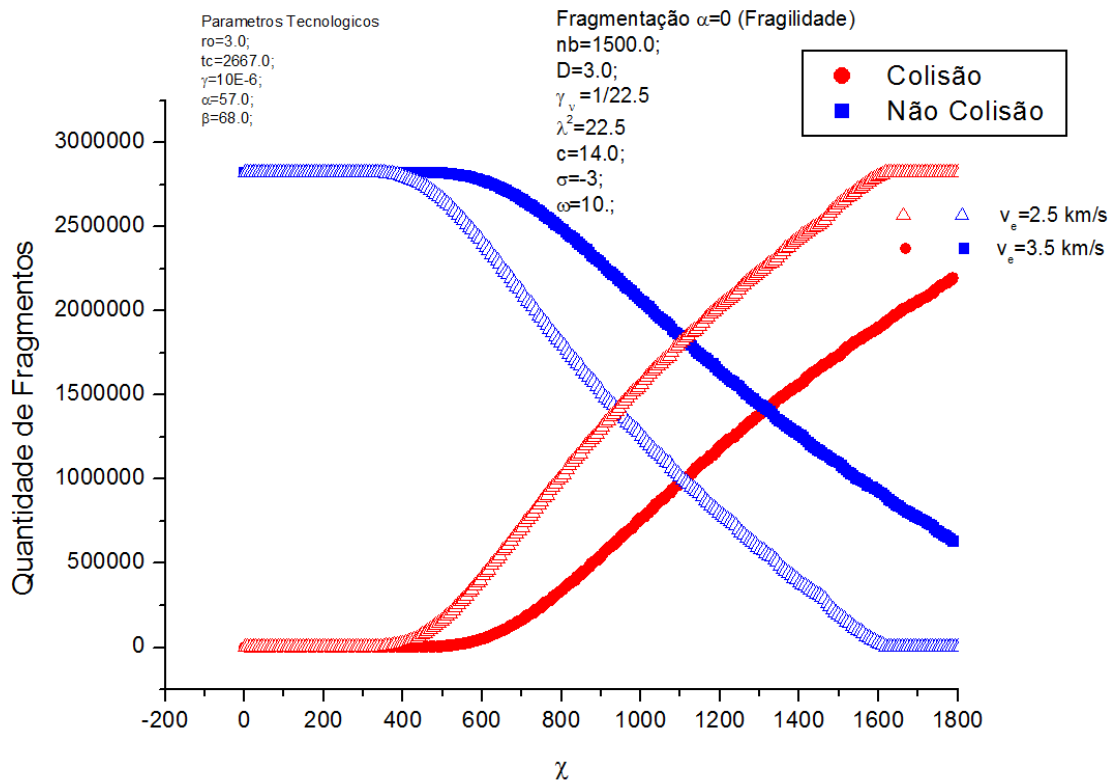


**Fonte: Dados da Pesquisa**

É importante ser dito que a tendência da produção de mais fragmentos de tamanhos grandes com o aumento do fator de fragilidade  $\alpha$  se confirma. A produção de fragmentos muito maiores ocorre, ainda que em quantidades menores. Esta tendência se confirma à medida que  $v$  aumenta e  $\alpha$  aumenta.

O gráfico da Figura 2 mostra a simulação de manobras evasivas de um veículo espacial com uma nuvem de fragmentos de quantidades derivadas do modelo de Astron. O gráfico é a relação entre a quantidade de fragmentos e o fator de massa  $\chi$ , parâmetro tecnológico do propulsor que é responsável pela massa de combustível inicial levada a bordo pelo veículo espacial.

**Figura 2-Distribuição de Fragmentos e Parâmetros tecnológicos**



**Distribuição de fragmentos colisionais e não-colisionais e parâmetros tecnológicos  $\chi$  e  $v_e$ .**

**Fonte: Dados da Pesquisa**

Pelo gráfico vemos que para pequenos valores de  $\chi$ , uma quantidade da ordem de milhões de fragmentos escapam da colisão com o veículo. Mas à medida que o fator de massa aumenta a colisão com os fragmentos se iniciam com o veículo espacial.

Este resultado ocorre para qualquer velocidade de exaustão. Isto é coerente com o fato do fator de massa ser inversamente proporcional à massa do combustível inicial, sendo que quanto maior for esta massa, o propulsor é mais eficiente na sua manobra de escape.

## CONCLUSÃO

A compreensão da dinâmica relativa permitiu estabelecer por simulação numérica trajetórias colisionais do sistema veículo-detrito com vistas às manobras evasivas realizadas pelo sistema propulsor do veículo espacial. Para isto, consideramos sistemas de propulsão caracterizados por parâmetros tecnológicos que indicam a eficiência do propulsor diante a manobra de evasão. Visto que as colisões entre os detritos espaciais geram fragmentos menores, mas ainda ameaçadores aos veículos espaciais, mostramos que a fragmentação do detrito foi controlada pela introdução de um fator de fragilidade, sugerido por nós neste trabalho. Esta foi uma modificação do modelo de distribuição de quantidade e tamanhos de partículas proposto por Aström em 2004. Verificamos por simulação numérica que um conjunto de fragmentos gerados pela fragmentação de Aström podem colidir ou não com o veículo espacial e isto é decidido com os parâmetros tecnológicos apropriados.

## **REFERÊNCIAS**

**JESUS, A. D. C., RIBEIRO, R. S., ROSSI, A., AND VIEIRA NETO, E. (2012).** Evasive Maneuvers in Space Debris Environment and Technological Parameters. *Mathematical Problems in Engineering*, 2012.

**KESSLER, D. J. (1991).** Collision cascading: Limits of population growth in low Earth orbit. *Advances in Space Research*, 11(12):63{66.

**ASTRÖM, J. A., OUCHTERLONY, F., LINNA, R. P., AND TIMONEN, J. (2004).** Universal Dynamic Fragmentation in D Dimensions. *Phys. Rev. Lett.*, 92:245506.