



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

## **ANÁLISE E SIMULAÇÃO DE REENTRADAS ATMOSFÉRICAS**

### **RELATÓRIO PARCIAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC/CNPq/INPE)**

Bolsista: Grazielle Cunha Cardoso (ETEP Faculdades, Bolsista CNPq/INPE)

E-mail: [graziellecunha@yahoo.com.br](mailto:graziellecunha@yahoo.com.br)

Orientador: Dr. Marcelo Lopes de Oliveira e Souza (DMC/ETE/INPE)

E-mail: [marcelo@dem.inpe.br](mailto:marcelo@dem.inpe.br)

São José dos Campos

Julho de 2011

## RESUMO

Este trabalho, iniciado em agosto de 2008, tem como objetivo analisar e simular reentradas atmosféricas controladas visando elaborar programas que simulem uma situação real de reentrada. A reentrada é a parte final de uma missão, ou seja, é quando um satélite ou veículo espacial retorna para a atmosfera da Terra. Esse retorno pode ser natural ou controlado. A diferença entre a reentrada natural e a reentrada controlada está nas incertezas, na posição e na velocidade com que o satélite chega ao solo. A ONU solicita a países e empresas lançadoras de foguetes que colocam satélites em órbita, que planejem meios de desorbitá-los usando o decaimento orbital controlado e, depois, a reentrada controlada na atmosfera, com a finalidade de diminuir a quantidade de detritos espaciais. A maior preocupação que se tem na reentrada é o impacto que o corpo reentrante causará na superfície terrestre, especialmente se houver o risco de se ter vítimas humanas. O trabalho atual faz um estudo sobre o ambiente de software *Debris Risk Assessment and Mitigation Analysis* (DRAMA), desenvolvido pela *European Space Agency* (ESA) que é um pacote de software composto por cinco módulos de software individuais (ARES, MIDAS, OSCAR, SESAM, SERAM) unidos dentro de uma interface comum com o usuário. Suas aplicações foram desenvolvidas visando observar diferentes aspectos do movimento de detritos espaciais, como manobras preventivas para evitar colisões, fluxos de colisão e estatísticas de risco, manobras de eliminação de detritos desorientados, reentrada de detritos e análise de risco das reentradas. Essas ferramentas permitem ao usuário uma abordagem numérica e gráfica satisfatória dos riscos dos detritos espaciais controláveis e não controláveis. A proposta do DRAMA é de possibilitar aos programas espaciais efetuarem suas missões dentro das condições e recomendações do Código de Conduta Europeu. Este trabalho faz: 1.) um estudo sobre o ambiente de software DRAMA 1.0; 2.) um estudo de caso usando os módulos de software SESAM e SERAM do ambiente DRAMA. 3.) uma comparação entre os ambientes DRAMA 1.0 e o "*Debris Assessment Software 2.0.1*" (DAS 2.0.1) desenvolvido pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA).

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E BREVE HISTÓRICO.....	06
1.1 Introdução .....	06
1.2 Breve Histórico.....	06
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	07
2.1 O Ambiente de Software DRAMA .....	07
2.2 O Módulo <i>Spacecraft Entry Survival Analysis Module</i> (SESAM).....	07
2.3 O Módulo <i>Spacecraft Entry Risk Analysis Module</i> (SERAM) .....	13
3. ESTUDO DE CASO .....	15
4. CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS.....	27
5. REFERÊNCIAS.....	28

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Formas geométricas consideradas pelo SESAM.....	11
Figura 2: Modelo de fragmentação do SESAM.....	12
Figura 3: Aumento das dimensões do objeto principal.....	12
Figura 4: Densidade da população mundial (resolução do gráfico $\Delta\lambda \times \Delta\Phi = 1^\circ \times 1^\circ$ ) O pequeno círculo de latitude média de cobertura do solo (em%), e da densidade populacional média e máxima (em km <sup>2</sup> ) é dada para a direita. ....	14
Figura 5: Fragmentação/Altitude de impacto de todos os objetos .....	16
Figura 6: Fragmentação/Altitude de impacto de todos os objetos .....	17
Figura 7: Fragmentação/Altitude de impacto de todos os objetos .....	18
Figura 8: Fragmentação/Altitude de impacto de todos os objetos .....	19
Figura 9: Logaritmo do número de impactos x Altitude da órbita .....	20
Figura 10: Faixa de Terra onde está previsto a zona de impacto.....	21
Figura 11: Faixa de Terra onde está previsto a zona de impacto em 3D .....	22
Figura 12: Aproximação da zona de impacto para melhor visualização.....	23
Figura 13: Densidade da probabilidade de impacto em função da distância do centro de impacto, para 1D (somente ao longo da trajetória) e 2D (ao longo da trajetória e área).....	24
Figura 14: Densidade da probabilidade de acidente para a área média, mínima e máxima do objeto número 2, em função da distância do centro de impacto, com densidade da população .....	25

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Métodos orientados a objetos.....	09
Tabela 2: Resumo dos dados de entrada para os métodos de análise de reentrada ...	09
Tabela 3: Condições iniciais da órbita em estudo .....	15
Tabela 4: Definições dos objetos para o caso em estudo .....	15
Tabela 5: Análise do risco de impacto na superfície da Terra .....	26

## 1- INTRODUÇÃO E BREVE HISTÓRICO

**1.1 Introdução:** Este trabalho foi desenvolvido baseado no conceito de Reentradas Atmosféricas e Elementos Keplerianos, aplicando esses conceitos ao ambiente de software *Debris Risk Assessment and Mitigation Analysis* (DRAMA), desenvolvido pela *European Space Agency* (ESA) que é um pacote de software composto por cinco módulos de software individuais (ARES, MIDAS, OSCAR, SESAM, SERAM) unidos dentro de uma interface comum com o usuário. Suas aplicações foram desenvolvidas visando observar diferentes aspectos do movimento de detritos espaciais, como manobras preventivas para evitar colisões, fluxos de colisão e estatísticas de risco, manobras de eliminação de detritos desorientados, reentrada de detritos e análise de risco das reentradas. Essas ferramentas permitem ao usuário uma abordagem numérica e gráfica satisfatória dos riscos dos detritos espaciais controláveis e não controláveis. A proposta do DRAMA é de possibilitar aos programas espaciais efetuarem suas missões dentro das condições e recomendações do Código de Conduta Europeu. Este trabalho exemplifica o uso dos módulos de software SESAM e SERAM no estudo do caso de um satélite similar aos satélites brasileiros em fim de vida.

**1.2 Breve Histórico:** No período de agosto de 2010 a julho de 2011 foram realizados: 1.) um estudo sobre o ambiente de software *Debris Risk Assessment Mitigation Analysis 1.0* (DRAMA 1.0) desenvolvido pela *European Space Agency* (ESA); 2.) Um estudo de caso usando os módulos de software SESAM e SERAM do ambiente DRAMA. 3.) Uma comparação entre os ambientes DRAMA 1.0 e o *Debris Assessment Software 2.0.1* (DAS 2.0.1) desenvolvido pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA).

## 2 FUNDAMENTAÇÕES TEÓRICAS

### 2.1 O ambiente de software DRAMA

Os programas de análise de detritos espaciais são desenvolvidos visando proteger a área útil espacial e preservar o ambiente orbital. O desenvolvimento de programas e meios consistentes de rastreamento de detritos espaciais vem sendo conduzido há alguns anos. O DRAMA (*Debris Risk Assessment and Mitigation Analysis*) 1.0, é um ambiente de software que foi desenvolvido por uma equipe europeia através de um contrato com a Agência Espacial Europeia (ESA), de acordo com o Código de Conduta Europeu sobre os detritos espaciais. O DRAMA 1.0 é composto de cinco módulos de software individuais, unidos dentro de uma interface comum com o usuário. Suas aplicações foram desenvolvidas visando observar diferentes aspectos do movimento de detritos espaciais, como manobras preventivas para evitar colisões, fluxos de colisão e estatísticas de risco, manobras de eliminação de detritos desorientados, reentrada de detritos e análise de risco das reentradas. Essas ferramentas permitem ao usuário uma abordagem numérica e gráfica satisfatória dos riscos dos detritos espaciais controláveis e não-controláveis. A proposta do DRAMA é de possibilitar aos programas espaciais efetuarem suas missões dentro das condições e recomendações do Código de Conduta Europeu.

O DRAMA consiste essencialmente de ferramentas de software dispostas dentro de uma interface gráfica. As principais ferramentas de software do DRAMA são:

1. **ARES (*Assessment of Risk Event Statistics*)**: Possibilita avaliar manobras de prevenção de colisões.
2. **MIDAS (*Master Impact Flux and Damage Assessment Software*)**: Possibilita avaliar fluxos de colisão e análises de risco.
3. **OSCAR (*Orbital Spacecraft Active Removal*)**: Possibilita avaliar manobras de eliminação de corpos espaciais inativos.
4. **SESAM (*Spacecraft Entry Survival Analysis Module*)**: Possibilita avaliar a reentrada de sistemas na atmosfera terrestre.
5. **SERAM (*Spacecraft Entry Risk Analysis Module*)**: Possibilita avaliar o risco da reentrada de sistemas na atmosfera terrestre.

Para a realização deste trabalho foram estudados apenas os softwares que tratam de reentradas atmosféricas que são o SESAM e o SERAM.

## **2.2 O módulo *Spacecraft Entry Survival Analysis Module* (SESAM)**

O módulo de software *Spacecraft Entry Survival Analysis Module* (SESAM) do DRAMA 1.0 foi desenvolvido para fornecer algoritmos e métodos que permitam aos projetistas e operadores de sistemas espaciais analisar os riscos da reentrada atmosférica controlada e não controlada. O programa permite fazer uma análise da trajetória dinâmica da reentrada, a aerodinâmica, a aerotermodinâmica e a análise térmica para a reentrada de corpos com formas simples e composição uniforme. O usuário define as condições iniciais da trajetória e o modelo do foguete. Este modelo pode ser definido por um conjunto de componentes do foguete, especificada por sua forma, tamanho e material.

O programa fornece dados como a massa, a área transversal, a velocidade, o ângulo de incidência e o local de impacto. Os dados fornecidos pelo SESAM servem como dados de entrada para o *Spacecraft Entry Risk Analysis Module* (SERAM), que faz a análise de risco de acidentes, ou seja, os dados de saída do SESAM são os dados de entrada do SERAM.

O SESAM faz toda a análise através de métodos voltados ao objeto, ou seja, analisa o comportamento de cada componente durante o processo de reentrada. Os métodos disponíveis para a análise da reentrada estão divididos em duas categorias:

1. Métodos orientados a objetos
2. Métodos orientados a espaçonave

A diferença entre eles é que o primeiro analisa o comportamento de cada objeto durante o processo de reentrada, isto é, o programa assume que, a certa altitude, a nave espacial é decomposta em elementos individuais; e, para cada elemento crítico decomposto, é realizada uma análise. Os Métodos orientados a espaçonave considera todo o modelo da nave e a sua destruição completa durante o processo de reentrada. Conseqüentemente,

fornecem uma simulação mais realista da reentrada e do processo de destruição que os códigos orientados a objetos. Mas requerem grandes recursos computacionais.

A Tabela 1 mostra alguns programas que utilizam métodos orientados a objetos.

Tabela1: Programas que utilizam métodos orientados a objetos [1].

<b>Nome</b>	<b>Origem</b>
DAS (Debris Assessment Software)	NASA
ORSAT (Object Re-entry Survival Analysis Tool)	NASA
MORSAT (Miniature ORSAT)	NASA
ORSAT-J (Japanese ORSAT)	NASDA
Orbital Spacecraft Re-entry Break-up	Aerospace Corporation
Screws and Bolts Destruction Analysis	HTG

A Tabela 2 mostra um resumo dos dados de entrada exigidos pelos dois tipos de métodos para a análise de uma reentrada.

Tabela 2: Resumo dos dados de entrada para os métodos de análise de reentrada [1].

<b>Método de Análise da Reentrada</b>	<b>Dimensões</b>	<b>Espessura da Parede</b>	<b>Massa</b>	<b>Centro de Massa e Momentos de Inércia</b>	<b>Posição Relativa</b>	<b>Material</b>
<b>Orientados a Objetos</b>	Aproximada	Desnecessária	Exata	Desnecessários	Desnecessária	Apenas o material principal
<b>Orientados a Espaçonave</b>	Exata	Aproximada	Exata	Exata	Exata	Todos os materiais usados.

O método de estudo do SESAM tem sido orientado pelo *Debris Assessment Software* (DAS) da NASA, que é uma ferramenta padrão da NASA usada para assegurar a conformidade dos projetos espaciais dos Estados Unidos da América com o padrão de segurança aplicado pela NASA. A abordagem selecionada para o SESAM é a orientada a objetos, também usada pelo DAS como mostra a Tabela 1, pois requer menor esforço computacional.

Os principais recursos do SESAM são semelhantes aos recursos do DAS e do ORSAT. São eles:

- A definição do modelo e o processo de modelagem são semelhantes aos que são feitos no DAS.
- As equações de aerodinâmica e aerotermodinâmica usadas no SESAM são semelhantes às que são usadas no ORSAT, com as mesmas considerações geométricas (cilindro, esfera, placa e cubo). As formas geométricas consideradas pelo SESAM são mostradas na Figura 1.
- São considerados apenas os objetos que caem aleatoriamente, pois esses são os movimentos mais prováveis durante o processo de reentrada.
- A trajetória é bidimensional (altitude x distância percorrida pela nave), já que o arrasto na queda aleatória é considerado nulo, ou seja, igual a zero com a dispersão dos fragmentos que sobreviverem.
- Como no DAS, é considerada apenas uma única fragmentação de eventos.
- A altitude de fragmentação não é editada pelo usuário, usa-se um valor padrão de 78 km.
- É considerado que a separação dos painéis solares acontece a uma altitude de aproximadamente 95 km.

Os resultados fornecidos pelo SESAM não podem ser manipulados, fator importante na análise de risco na superfície da Terra.

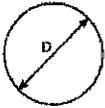
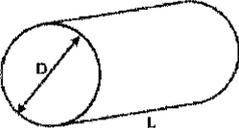
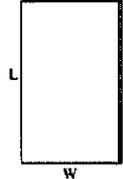
Geometric Shape	Geometric Parameters
Spheres 	$D$ Diameter
Cylinders 	$D$ Diameter $L$ Length
Flat Plates 	$L$ Length ( $L \geq W$ ) $W$ Width
Boxes 	$L$ Length ( $L \geq W \geq H$ ) $W$ Width $H$ Height

Figura 1: Formas geométricas consideradas pelo SESAM. [1]

Como no DAS ou no ORSAT, a análise de reentrada feita pelo SESAM é baseada no conceito de pai/filho. Inicialmente a nave espacial é modelada como um objeto principal (pai) que representa a nave completa dada aproximadamente pelas dimensões globais e pela massa total. Os objetos filhos representam todas as partes internas da nave. Durante a reentrada, quando a altitude de fragmentação é atingida, o objeto pai desaparece e então os objetos filhos são liberados. Os objetos filhos terminam a reentrada separadamente até o impacto com o solo ou até o seu desaparecimento.

Foi introduzida no SESAM uma extensão do conceito pai/filho para a separação dos painéis solares. Quando a nave for equipada com painéis solares saindo do corpo principal, o arrasto do satélite aumenta devido à presença desses painéis, fazendo com que a trajetória de reentrada seja diferente da trajetória resultante de uma análise feita para o objeto principal. Além disso, a separação dos painéis solares acontece, normalmente, em uma altitude acima da altitude de fragmentação. Portanto, os painéis solares são modelados separadamente dos

outros objetos filhos. O modelo de fragmentação do SESAM é mostrado na Figura 2.

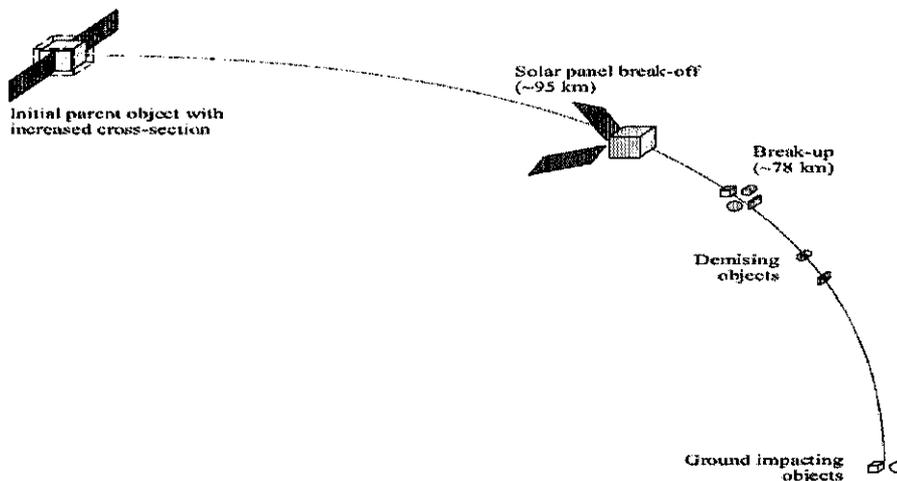


Figura 2: Modelo de fragmentação do SESAM [1].

O arraste maior do objeto principal devido à presença dos painéis solares em anexo é modelado através de um aumento das dimensões desse objeto. Esse fato não muda a forma do objeto principal (coeficiente de arrasto), mas aumenta a área transversal média e aumenta também as forças de arrasto. O aumento das dimensões do objeto principal é ilustrado na Figura 3.

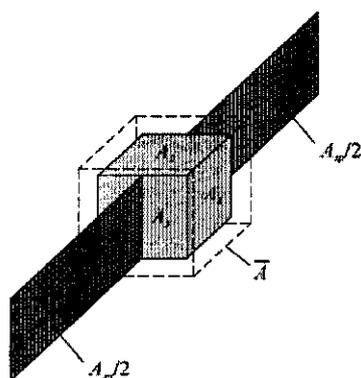


Figura 3: Aumento das dimensões do objeto principal [1].

Após a separação dos painéis solares a análise continua com as dimensões originais do modelo que foram inseridas nos dados de entrada do modelo.

Resumindo, o SESAM considera os dois eventos de fragmentação:

- Separação dos painéis solares a 95 km de altitude.
- Fragmentação do satélite a 78 km de altitude.

### **2.3 O módulo *Spacecraft Entry Risk Analysis Module* (SERAM)**

Segundo Bunte et al (2005), desde o início das atividades espaciais em 1957, 28400 objetos foram catalogados pela *US Strategic Command* (USSTRATCOM) e por organizações que a antecederam. Em qualquer época, a maioria dos objetos catalogados (aproximadamente 70%) estão em orbitas baixa da Terra com a maioria deles em altitudes abaixo de 1000 km. Cerca de 66% (~18800) objetos são catalogados por esse processo. Alguns destes já reentraram de maneira controlada, mas a grande maioria reentrou sem controle ou com controle insuficiente. Tais objetos podem representar um risco, quer devido às cargas perigosas, como por exemplo o Cosmos 954 e 1042 que foram equipados com reatores nucleares carregando 31 quilogramas de Urânio 235, ou eles podem ser um risco devido às grandes massas onde partes substanciais podem sobreviver ao impacto na Terra. Este foi o caso do *Skylab-1* (com 25,6 m x 6.6 m e 74,1 toneladas) e do *Skylab-7* (com 27 m x 4,2 m e 39,7 toneladas).

Vários padrões nacionais e internacionais de mitigação de detritos espaciais, relacionados com a missão, solicitam que objetos e estágios dos foguetes não devem permanecer em órbita por mais de 25 anos. Este é um meio eficaz encontrado para controlar o ambiente espacial a longo prazo, com metas para remover detritos espaciais com tamanho potencial para causar colisões que poderiam impulsionar o crescimento da quantidade de detritos no futuro. É recomendado tirar o satélite da órbita, imediatamente ou mesmo um pouco depois, após a conclusão da missão. Alguns padrões de mitigação de detritos espaciais também solicitam que o risco de impacto no chão devido a um evento de reentrada única não deve exceder a uma probabilidade tolerada (por exemplo, 1 em cada 10.000)

Em um dos modos de sua análise o DAS verifica a sobrevivência de uma nave espacial, que é composta de vários objetos com formas simplificadas e propriedades do material uniforme que é exposta a uma re-entrada, começando com as condições iniciais da trajetória edadas. O risco resultante é avaliado com base na área em que os objetos sobreviventes caíram,

para uma latitude que depende do modelo de população mundial.

O objetivo do DRAMA é uma análise mais refinada de alta resolução em relação ao DAS, para verificar a conformidade com as diretrizes de redução de detritos (por exemplo, a *European Space Debris Safety and Mitigation Standard*, agora o *European Code of Conduct for Space Debris Mitigation*). O software SERAM, usa como entrada os resultados gerados pelo SESAM, apresentado no capítulo anterior.

O modelo da população mundial é ajustado para o ano em análise, de acordo com:

$$\rho_{\mu}(\lambda, \phi, t) = \rho_{\mu, 1994}(\lambda, \phi) \exp\left(\frac{t - 1994.5}{59.63}\right) \quad [1]$$

Onde t é em anos. E também é assumido um crescimento uniforme e proporcional da população.

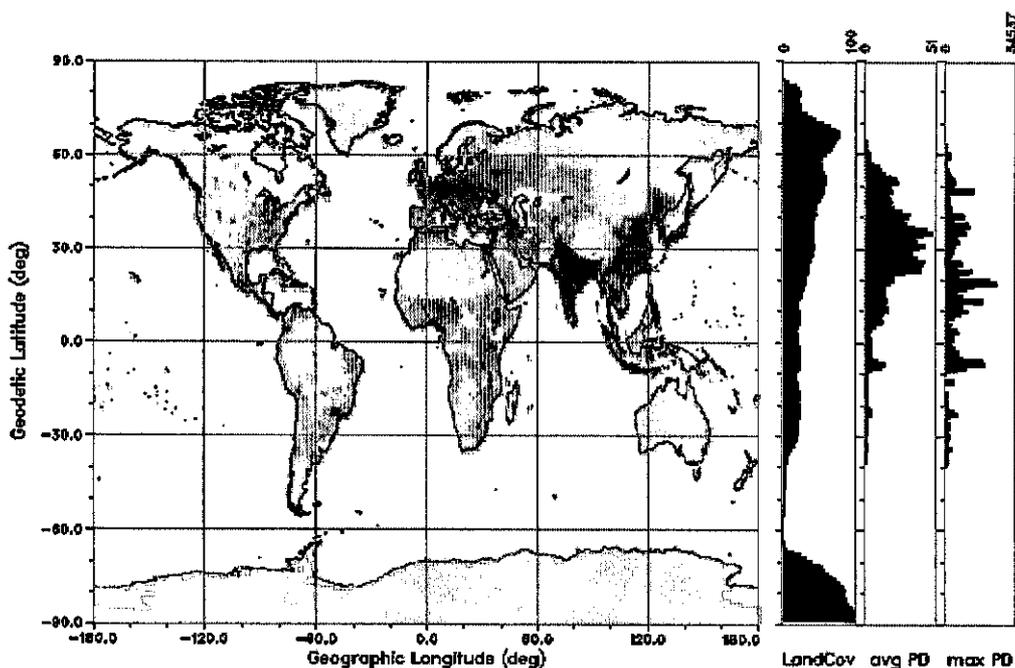


Figura 4: Densidade da população mundial (resolução do gráfico  $\Delta\lambda \times \Delta\Phi = 1^\circ \times 1^\circ$ ) O pequeno círculo de latitude média de cobertura do solo (em%), e da densidade populacional média e máxima (em  $\text{km}^2$ ) é dada para a direita. [1]

### 3. ESTUDO DE CASO

Com base nos conceitos descritos nos capítulos anteriores, foi executado um caso fictício que estava no manual do programa. Dado um satélite com condições iniciais descritas na Tabela 3, e assumindo que a fragmentação do objeto principal ocorre a 78 quilômetros de altitude, foi executado este caso no programa e os resultados obtidos são demonstrados ao longo deste capítulo.

Tabela 3: Condições iniciais da órbita em estudo [1]

<b>Data de início da missão</b>	25 de Outubro de 2005 às 16:56:45 hs
<b>Semi-eixo maior (km)</b>	6500
<b>Excentricidade</b>	0.0002
<b>Inclinação</b>	35
<b>Ascensão Reta do Nó Ascendente (RAAN) (°)</b>	130
<b>Argumento do Perigeu (°)</b>	90
<b>Anomalia Verdadeira (°)</b>	10

Tabela 4: Definições dos objetos para o caso em estudo [1]

<b>Nome</b>	<b>Forma</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Largura Diâmetro (m)</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Massa (kg)</b>	<b>Material</b>
Parent	Cilindro	1	1,7	4,8	0	1200	n/a
Solar P	Placa	2	2	2	0	20	n/a
RWL	Cilindro	4	0,31	0,05	0	6,1	A316
EL 1	Cubo	2	0,3	0,2	0,1	5	AA7075
EL 2	Cubo	2	0,5	0,3	0,2	25	AA7075
OBDH	Cubo	1	0,4	0,3	0,3	16	AA7075
Bateria	Cubo	3	0,2	0,3	0,2	14	AA7075
Tanque	Esfera	1	0,4	0	0	6	TiAl6V4

Ao ser executado esses dados no DRAMA, o programa forneceu os seguintes resultados, mostrados nas figuras abaixo.

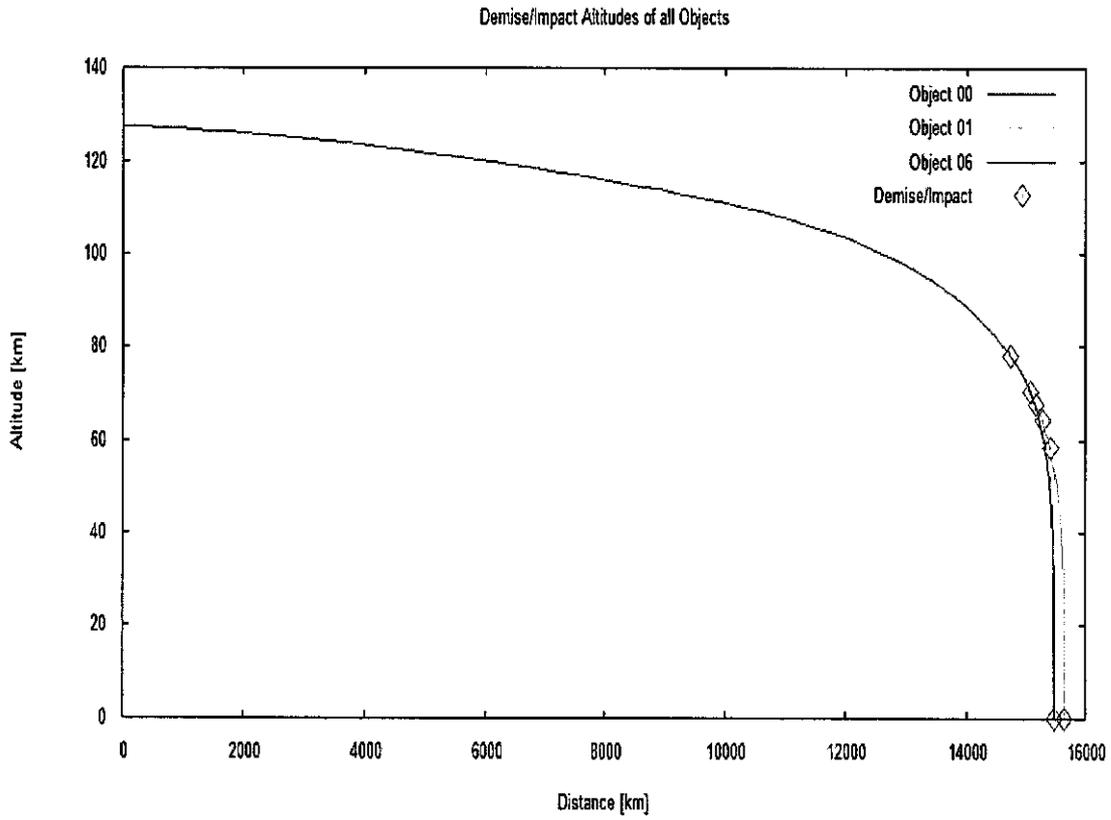


Figura 5: Fragmentação/Altitude de impacto de todos os objetos

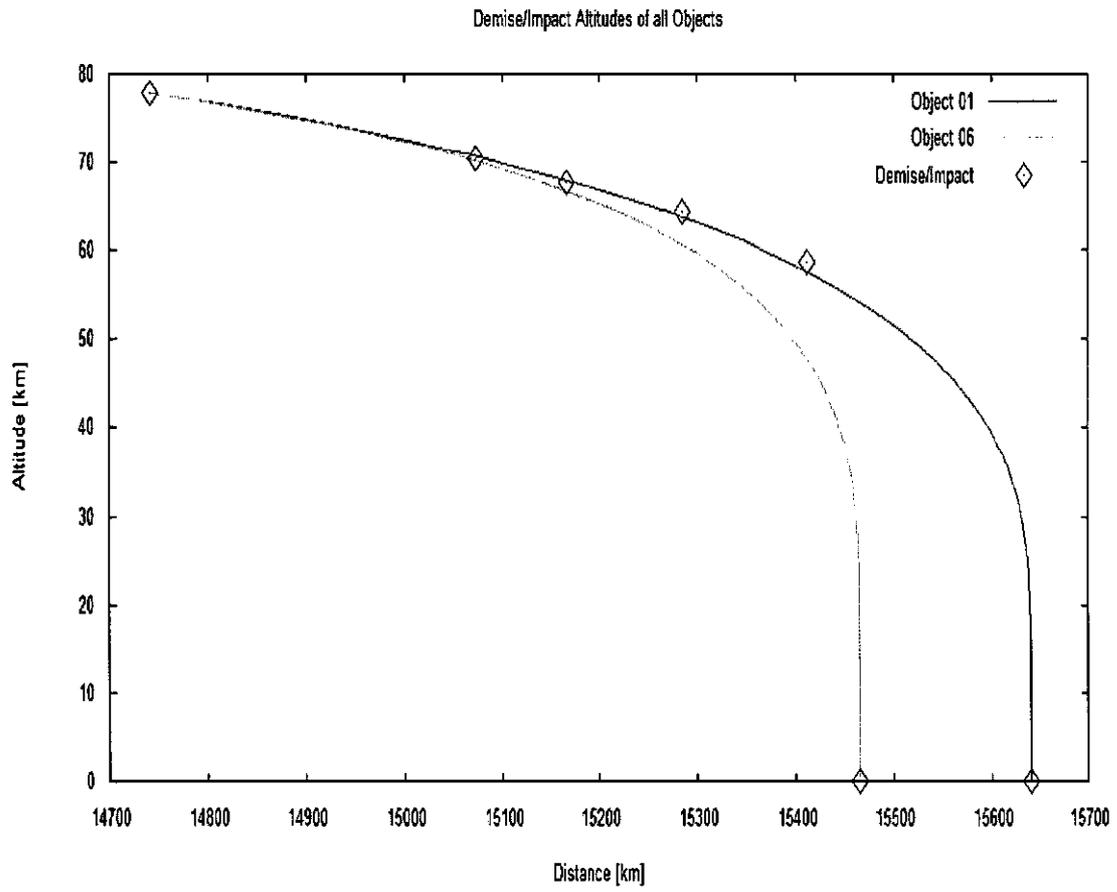


Figura 6: Fragmentação/Altitude de impacto de todos os objetos

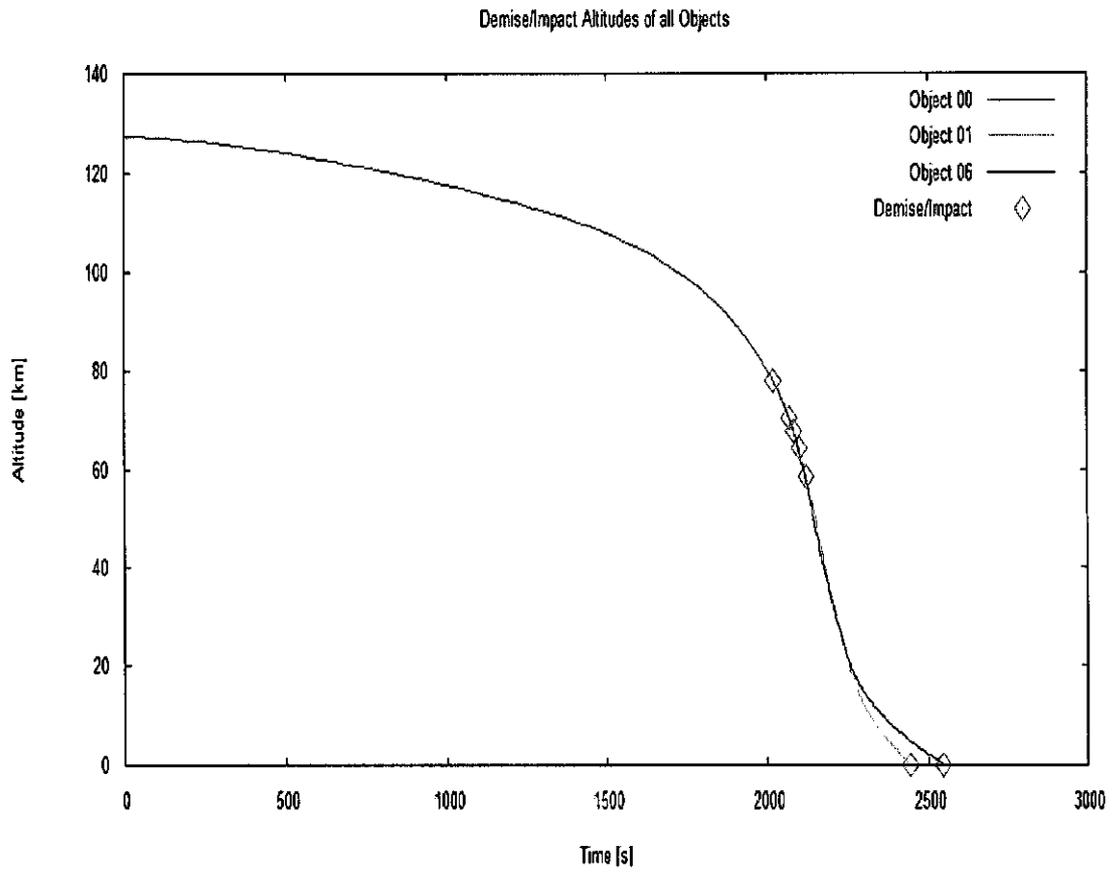


Figura 7: Fragmentação/Altitude de impacto de todos os objetos

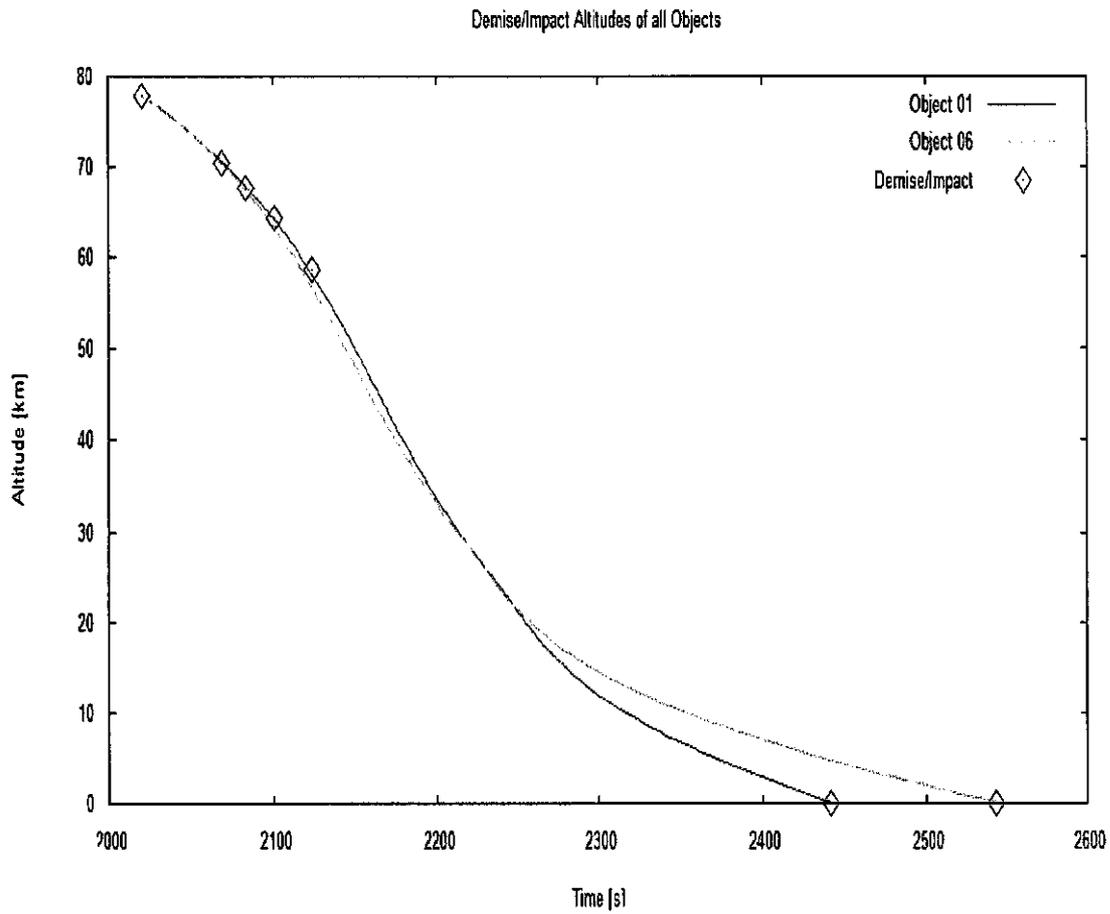


Figura 8: Fragmentação/Altitude de impacto de todos os objetos

Com as mesmas condições iniciais da órbita em estudo, foi feita uma aplicação destes dados no programa *Debris Assessment Software* versão 2.0.1 da NASA. A Figura abaixo mostra o logaritmo da quantidade de impactos em determinada altura.

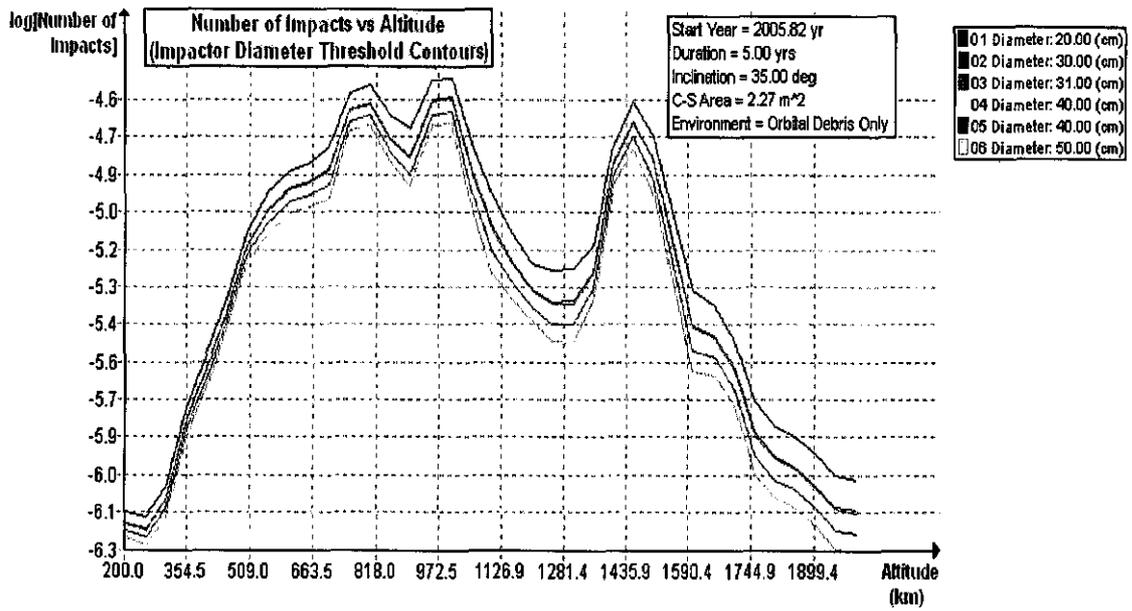


Figura 9: Logaritmo do número de impactos x Altitude da órbita

DRAMA

total cas. prob. for 2D swaths, PD=fct(lon,lat), Pop=6.400E+09

run ID: default, Pc[-] = 0.000E+00; objects: 5; Ac[m\*2]= 2.55

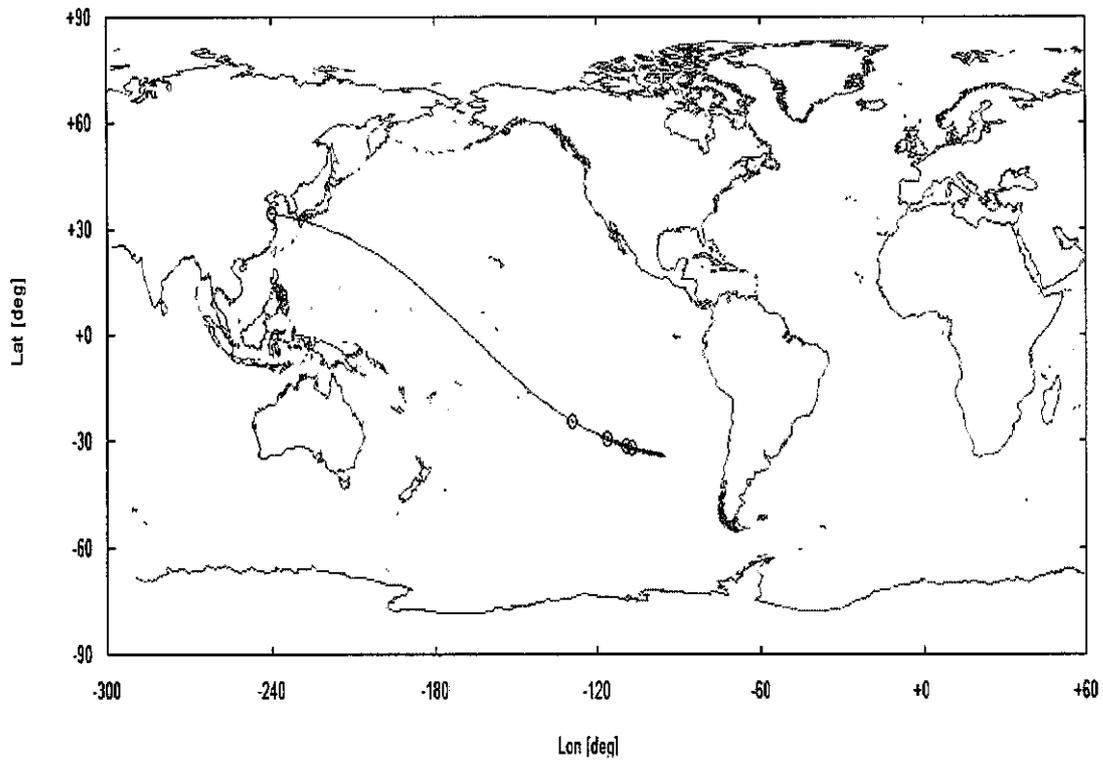


Figura 10: Faixa de Terra onde está previsto a zona de impacto

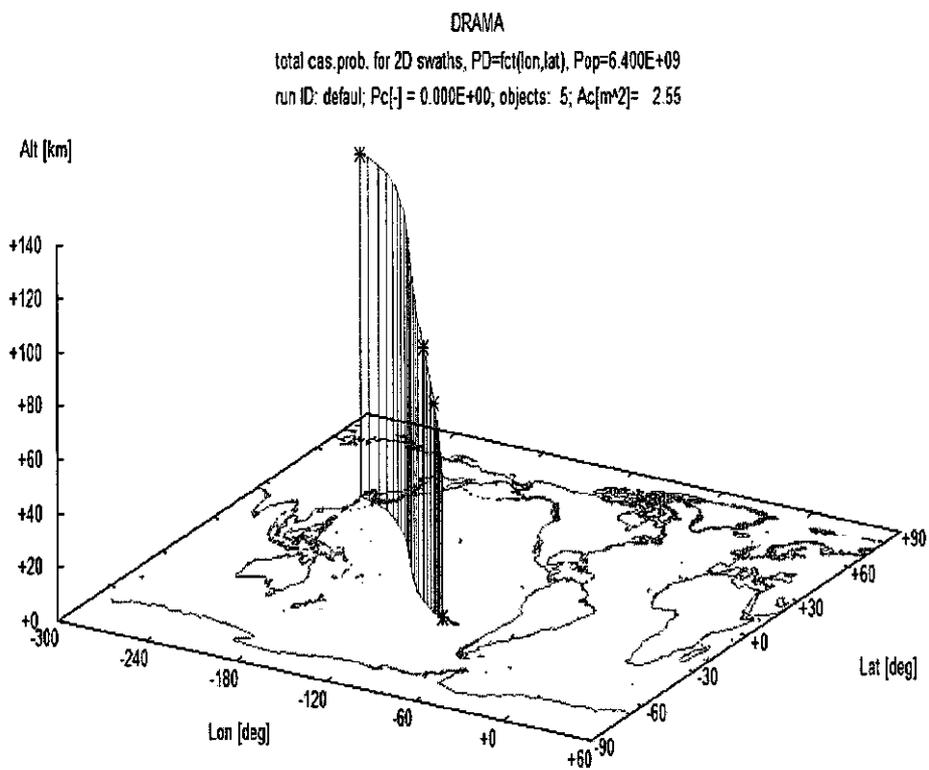


Figura 11: Faixa de Terra onde está previsto a zona de impacto em 3D

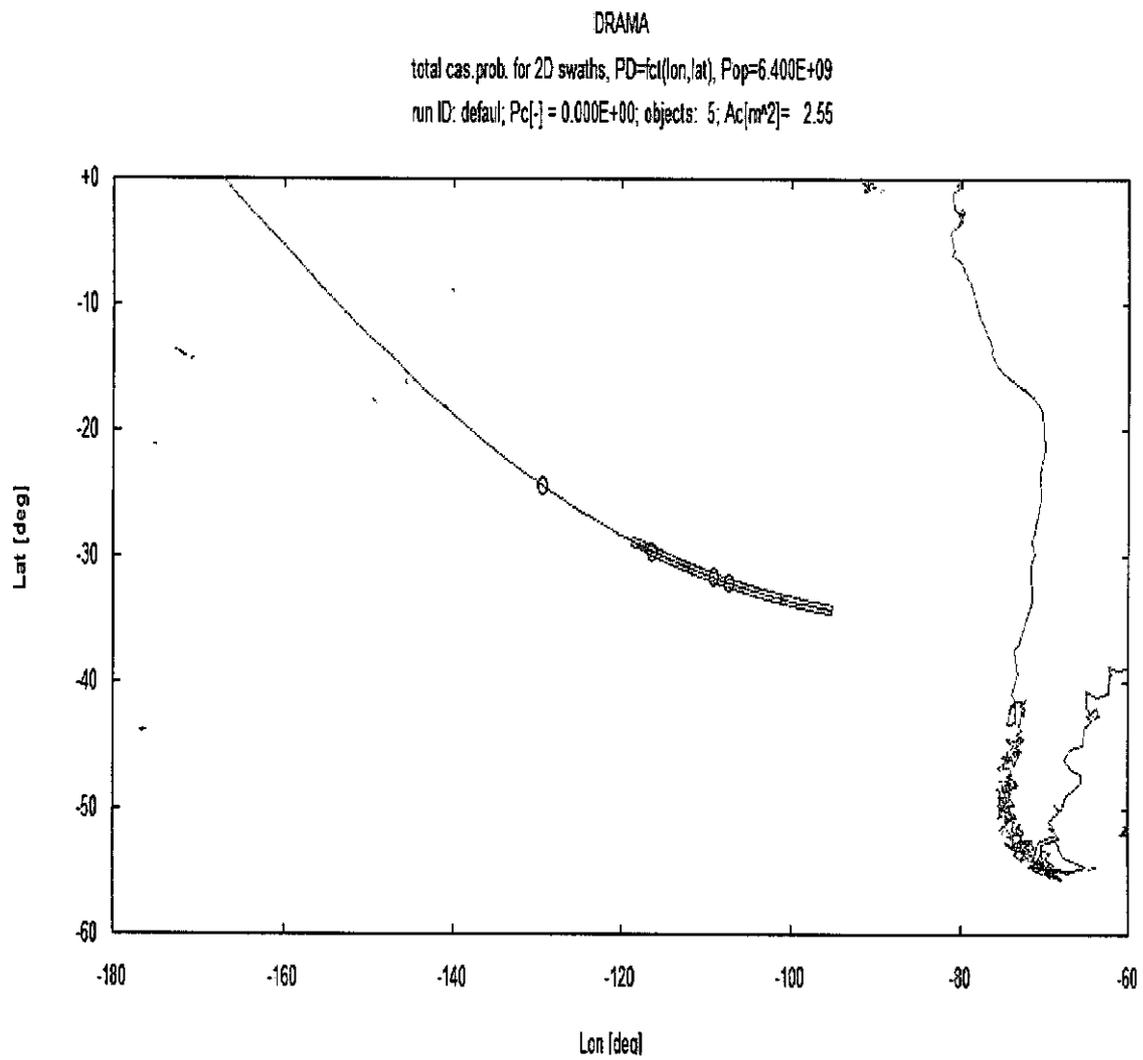


Figura 12: Aproximação da zona de impacto para melhor visualização

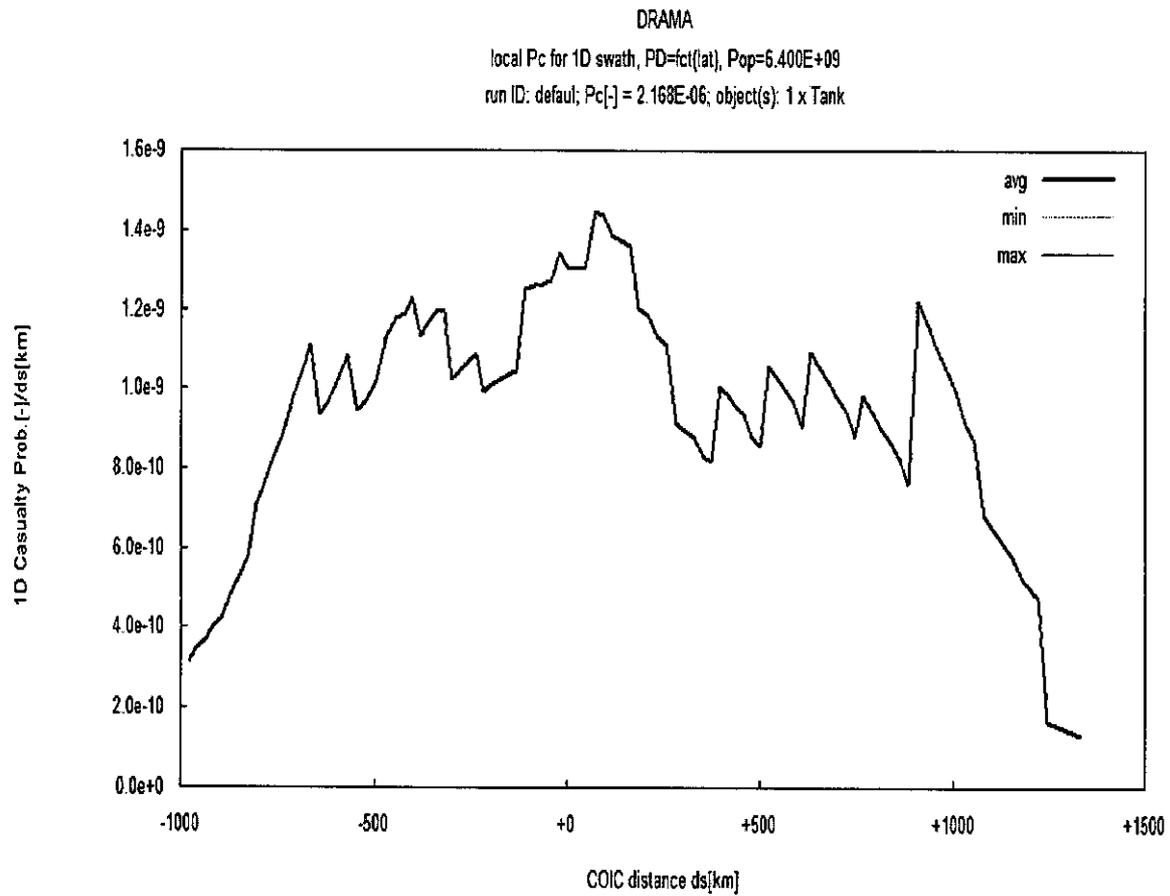


Figura 13: Densidade da probabilidade de impacto em função da distância do centro de impacto, para 1D (somente ao longo da trajetória) e 2D (ao longo da trajetória e área)

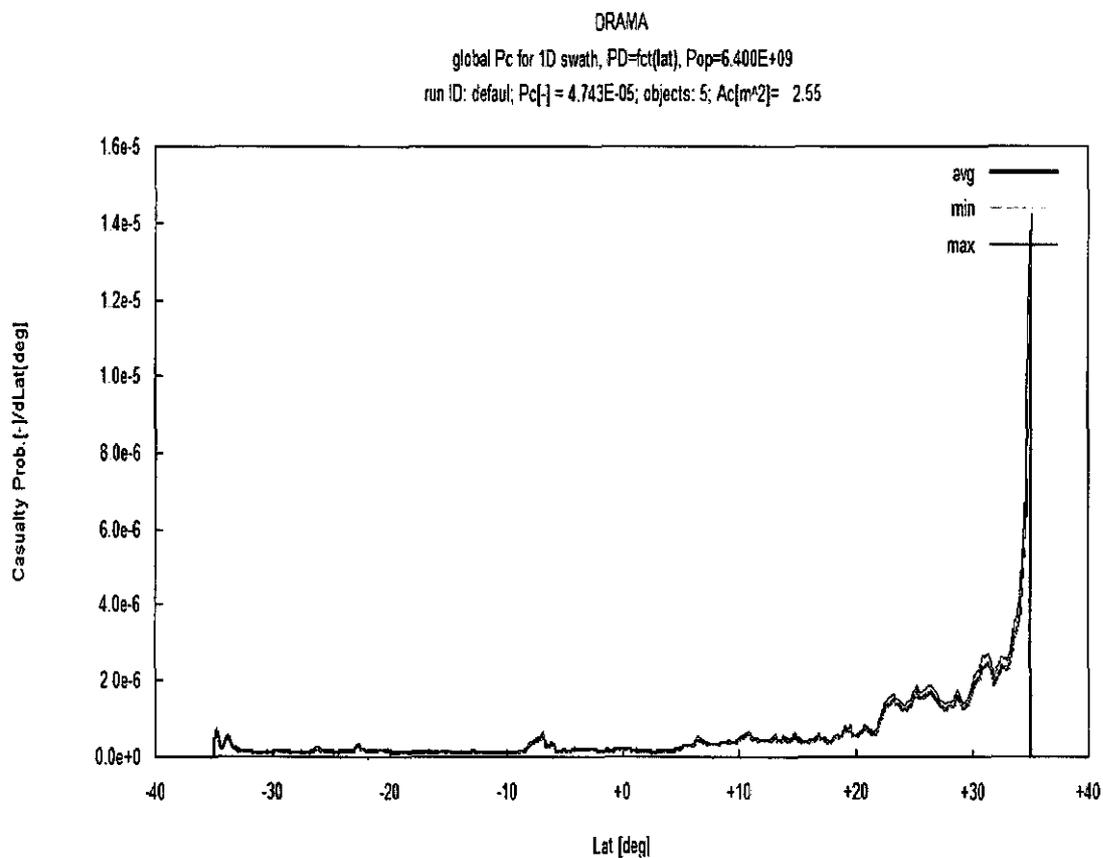


Figura 14: Densidade da probabilidade de acidente para a área média, mínima e máxima do objeto número 2, em função da distância do centro de impacto, com densidade da população

De acordo com o programa DAS versão 2.0.1 da NASA há o risco de se ter vítimas, já que três objetos filhos irão sobreviver a reentrada e se impactarão com a superfície da Terra. Esses dados são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5: Análise do risco de impacto na superfície da Terra

<b>Nome</b>	<b>Status</b>	<b>Risco de Vítima</b>	<b>Altitude de Fragmentação(km)</b>	<b>Energia Cinética (J)</b>
Parent	Observado	1	0	1
Bateria	Observado	1	0	2
Tanque	Observado	1	0	1

Com os resultados obtidos pode-se observar que os dois programas abordam o mesmo tema, mas cada um a sua maneira . O DAS trata da reentrada da missão como um todo e não enfatiza muito a parte de fragmentação do satélite. Já o DRAMA preocupa-se mais com a fragmentação do satélite e local da queda dos objetos que sobreviverem a reentrada.

#### 4. CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS

Este relatório apresenta o trabalho realizado no período de agosto de 2010 a julho de 2011, bem como um estudo sobre a teoria abordada pelo programa DRAMA (*Debris Risk Assessment and Mitigation Analysis*) 1.0 desenvolvida pela ESA (*European Space Agency*), que foi uma das ferramentas usadas para o desenvolvimento do projeto.

Foram aplicados dados de satélites fictícios a esse programa e ao programa DAS 2.0 (*Debris Assessment Software*) da NASA para verificar se era possível uma comparação entre eles. Foi observado que cada um deles fornece resultados de maneiras diferentes de modo que se pôde comparar os resultados obtidos com o DRAMA somente com dois itens abordados pelo DAS. Sendo que o primeiro preocupa-se mais com a fragmentação do satélite e o risco de impacto na superfície da Terra. Já o segundo faz uma análise voltada para a variação da velocidade, do apogeu e perigeu da órbita entre outros itens que já foram apresentados em relatórios passados. O DAS também faz uma análise do risco de impacto na superfície da Terra mas não faz um detalhamento como o DRAMA, que prevê até mesmo a faixa de terra onde acontecerá o impacto.

Com base neste programa, objetiva-se, posteriormente, estudar as propriedades desse processo mais detalhadamente bem como a fragmentação dos satélites, ou objetos, após a sua reentrada na atmosfera terrestre. Assim, será possível analisar os problemas de colisão e interferência dos detritos espaciais com outros objetos encontrados no espaço como satélites, ônibus espaciais, e estações espaciais.

## REFERÊNCIAS

- 1) BUNTE, K. CHEESE. FRISTSCHKE, B. KLINKRAD H. KOPPENWALLNER, G. LIPS, T. MARTIN, J. C. ORTIZ, N. S. *Final Report: Debris Risk Assessment and Mitigation Analysis (DRAMA) Tool*, ESA, ESOC Darmstadt, Alemanha, 2005.
- 2) GUEDES, U. T.V.; KUGA, H. K.; SOUZA, M.L.O. *Reentradas Atmosféricas*. In: Winter, O.C., Prado, A.F.B.A. (orgs.) *A Conquista do Espaço-do Sputnik à Missão Centenário*. AEB-Livraria da Física Editora, São Paulo, SP, Brasil, 2007.
- 3) HENNIGAN, M., HILLARY, E., OPIELA, J. N., WHITLOCK, D. O. *Debris Assessment Software Version 2.0 User's Guide*, NASA, Houston, TX, EUA, 2007.
- 4) KUGA, H.K. *Introdução à Dinâmica Orbital*. INPE, S.J.Campos, SP, Brasil, 2002.