

ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DA CELULIGNINA COMO COMBUSTÍVEL DE PROPULSORES HÍBRIDOS

Jefferson Luiz Nogueira,¹, jeffersonlnogueira@gmail.com¹

¹Centro Universitário Salesiano de São Paulo, Campus São Joaquim

Resumo: O objetivo deste trabalho é estudar a viabilidade do uso de uma substância nova denominada “combustível celulignina catalítica”, como um dos componentes propulsivos de um sistema híbrido sólido-líquido ou sólido-gás. Devem ser estudadas as propriedades mecânicas do grão-propelente confeccionado bem como as propriedades químicas de um oxidante que forme um par hipergólico com a celulignina, com a esperança de resultados satisfatórios podendo tornar-se o maior avanço tecnológico em um programa espacial. Outros trabalhos, tais como nas áreas de geração de energia e da indústria de conformação, podem ser desenvolvidos a partir dos resultados obtidos.

Palavras-chave: Celulignina, propulsão híbrida, propulsão de foguetes.

FEASIBILITY STUDY OF THE USE CELLULIGNIN AS HYBRID FUEL PROPELLANTS

Abstract: The purpose of this work is a study the feasibility or possibility of using a new material called "catalytic cellulignin fuel" as one of the propellant components of a hybrid solid-liquid or solid-gas system. The mechanical properties of the propellant grain-made as well as the chemical properties of an oxidizer that is hypergolic with cellulignin, hoping to satisfactory results could become the biggest technological advance in a space program. Other works, such as in the areas of power generation and forming industry, can be developed from the results obtained

Keywords: Propulsion system, Cellulignin, Hybrid propulsion.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Uma breve Historia dos Foguetes

[8] O primeiro combustível sólido para os foguetes era uma espécie de pólvora, e a referência registrada mais antiga sobre a pólvora vem da China do final do terceiro século antes de Cristo. Tubos de bambu cheios com salitre, enxofre e carvão eram atirados em fogos cerimoniais durante festivais religiosos, na esperança que o barulho da explosão afugentasse os espíritos malignos.

É provável que mais do que alguns destes tubos de bambu estivessem mal selados e, em vez de rebentarem com uma explosão, simplesmente saltassem do fogo, disparados pela pólvora que ardia rapidamente. Alguns observadores mais espertos, cujos nomes ficaram perdidos na história, terão iniciado experiências para produzirem deliberadamente o mesmo resultado que tinham observado nos tubos de bambu que derramavam fogo.

Certamente por volta do ano 1045 d.C. -- 21 anos antes de Guilherme o Conquistador ter chegado às praias de Inglaterra -- o uso de pólvora e de foguetes formaram um aspecto integral das táticas militares chinesas.

Chegamos a um ponto confuso se tentarmos traçar a história dos foguetes antes de 1045. Os documentos chineses registram o uso de "setas de fogo", um termo que tanto pode designar foguetes como uma seta com uma substância inflamável.

No início do séc. XIII, a dinastia Sung chinesa, debaixo da pressão das crescentes hostes mongóis, viu-se forçada a depender cada vez mais da tecnologia para conter a ameaça. Os especialistas da artilharia chinesa introduziram e aperfeiçoaram muitos tipos de projeteis, incluindo granadas explosivas e canhões.

As setas com foguetes foram decerto usadas para repelir os invasores mongóis na batalha de Kai-fung-fu em 1232 d.C.

Os foguetes eram enormes e aparentemente bastante potentes. De acordo com um relatório: "Quando um foguete era disparado, fazia um barulho semelhante a um trovão que podia ser ouvido a cinco léguas -- cerca de 15 milhas (24 km). Quando caía na Terra, o ponto de impacto era devastado até uma extensão de 2,000 pés (600 metros) em todas as direções." Aparentemente estes grandes foguetes militares levavam material incendiário e metralha de ferro. Estes foguetes podem ter incluído a primeira câmara de combustão, porque algumas fontes descreviam o dispositivo como incorporando um "pote de ferro" para conter e dirigir o impulso do propulsor de pólvora.

1.2 Sistemas de propulsão de foguetes

Os sistemas de propulsão de foguetes envolvem muita tecnologia de acordo com o tipo de combustível utilizado.

De um modo geral, a força produzida pela expulsão do fluido de dentro de uma câmara pressurizada provoca uma reação de mesma intensidade, direção e no sentido oposto sobre o próprio sistema, como é mostrado na figura 1.

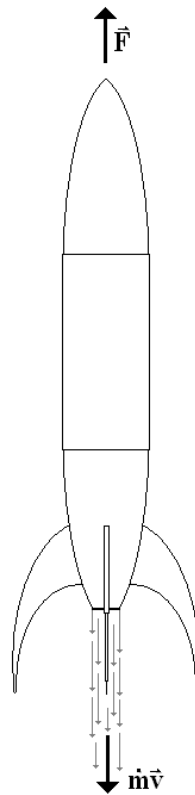


Figura 1: Foguete Espacial

Partindo da Eq. (1) da força, podemos observar e demonstrar os fenômenos envolvidos na propulsão:

$$F = m \cdot \vec{a} \quad (1)$$

Com as devidas deduções aplicadas, a força é demonstrada na Eq. (2) como sendo em função de um fluxo mássico:

$$F = \dot{m} \cdot \vec{v} \quad (2)$$

Onde

\dot{m} ... *fluxo mássico* [kg/s]

\vec{v} ... *velocidade* [m/s]

De uma forma simplificada, um sistema propulsivo é um sistema que, baseado no princípio da ação e reação, produz movimento a uma massa acoplada (por exemplo, um satélite artificial).

Quando um sistema que produz um fluxo mássico a partir de gases quentes, dá-se o nome de propulsor ou motor-foguete. O motor foguete gera uma força de reação devido à expulsão de gases em altas velocidades e perda de massa, gerando uma variação de sua quantidade de movimento traduzida na forma desta força reação denominada empuxo.

Esta força é, para um motor foguete representada pela Eq. (3):

$$F = V_e \cdot \frac{dm}{dt} + (P_e - P_a) \cdot A_e \quad (3)$$

onde:

F - Empuxo (N)

V_e - Velocidade de ejeção dos gases (m/s)

dm/dt - Vazão mássica dos gases de combustão (Kg/s)

P_e - Pressão na saída do motor (N/m²)

P_a - Pressão ambiente (N/m²)

A_e - Área da secção transversal na saída do motor (m²)

O desempenho de um motor foguete é medida por um parâmetro, denominado impulso específico e é definido pela Eq. (4):

$$I_{sp} = \frac{V_e}{g_0} \quad (4)$$

onde

I_{sp} - Impulso específico (s)

g_0 - Aceleração gravitacional (9,81 m/s²)

A tabela (1) apresenta alguns valores típicos de impulsos específicos para alguns tipos de motores:

Tabela 1 : Impulso Específico de Motores-Foguete

TIPO DE MOTOR FOGUETE	IMPULSO ESPECÍFICO (S)	APLICAÇÃO	"STATUS"
motor com propelente sólido (pólvora negra)	60 a 100	Fogos de artifício, espaçomodelismo	Operacional (arcaico)
motor com propelente sólido compósito ou base dupla	150 a 280	mísseis, veículos lançadores, foguetes experimentais	Operacional
motor com propelente líquido	250 a 350	mísseis, veículos lançadores, foguetes experimentais e espaçonaves	Operacional
motor com propelente híbrido (sólido + líquido)	200 a 300	mísseis, veículos lançadores, foguetes experimentais e espaçonaves	Experimental
motor nuclear (reator de fissão)	600 a 1000	espaçonaves	Experimental

Baseado no princípio da conservação da quantidade de movimento, a equação da velocidade de um veículo propulsado a motor foguete, livre de qualquer ação de força externa (arrasto aerodinâmico, forças gravitacionais, etc), é representada por:

$$V = V_e \cdot \ln\left(\frac{m_0}{m_f}\right) \quad (5)$$

onde:

V - Velocidade do veículo (m/s)
*m*₀ - massa inicial do veículo (Kg)
*m*_f - massa final do veículo (Kg)
 obs.: ln () é o logarítimo natural

1.2.1 Elementos Básicos de um Foguete

Um foguete é constituído pelos seguintes elementos básicos:

- Carga Útil;
- Reservatório de Propelente;
- Câmara de Combustão;
- Tubeira (Bocal DeLaval).

1.2.1.1 Carga Útil

A carga útil é o elemento pelo qual o foguete é lançado, pode ser por exemplo um experimento científico, cargas militares (explosivos, etc) e tripulantes humanos ou animais. Esta carga útil pode ser lançada em trajetória balística, ou pode ser lançada para entrar em órbita da terra ou numa trajetória interplanetária, conforme as necessidades da missão.

1.2.1.2 Reservatório de Propelente

O reservatório de propelente tem por objetivo armazenamento do propelente a ser convertido em gases de combustão. Normalmente o reservatório de propelente se confunde com a fuselagem do foguete.

Convém ressaltar que num motor foguete a propelente líquido temos distinção entre os reservatórios de propelente e câmara de combustão enquanto que num motor foguete a propelente sólido a câmara de combustão e o reservatório de propelente se confundem.

1.2.1.3 Câmara de Combustão

Na câmara de combustão temos a conversão do propelente, normalmente sólido ou líquido, em gases, por uma reação de combustão. O propelente é formado por substâncias oxidantes e redutoras. Numa câmara de combustão temos gases formados à elevadas pressões e elevadas temperaturas e baixas velocidades subsônicas, por exemplo nos motores do ônibus espacial mais especificamente nos SSME, cujo propelente é o oxigênio líquido e hidrogênio líquido, temos uma pressão da ordem de 200 atm e temperatura de 3500 °C .

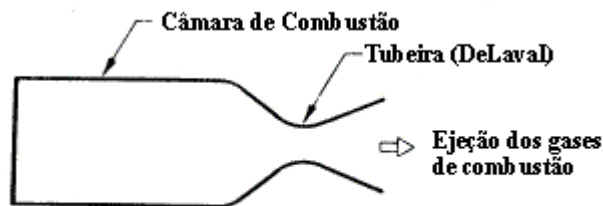


Figura 2 – Tubeira

1.2.2 Motor- foguete

Há dois tipos tradicionais de motores-foguete utilizados pela indústria espacial: os que empregam componentes apenas sólidos e aqueles movidos a combustível e oxidante líquidos.

1.2.2.1 Motor-foguete a propelente sólido

O motor-foguete que emprega o componente sólido é menos complexo. O grão, nome que recebe o propelente sólido, é uma mistura homogênea de substâncias combustíveis e oxidantes na fase sólida.

O motor foguete a propelente sólido oferece grande perigo e riscos de explosão durante sua fabricação, no transporte e na estocagem. Se não existir um controle de qualidade eficiente o risco de explosão aumenta ainda mais quando ocorrer alguma fissura ou trinca no material. Durante um lançamento, a fenda ou trinca causa o aumento da pressão interna do motor e, inevitavelmente, a explosão do foguete.

O veículo lançador de satélites construído no Brasil, por exemplo, utiliza esse tipo de motor-foguete, conforme o desenho esquemático da figura 3.

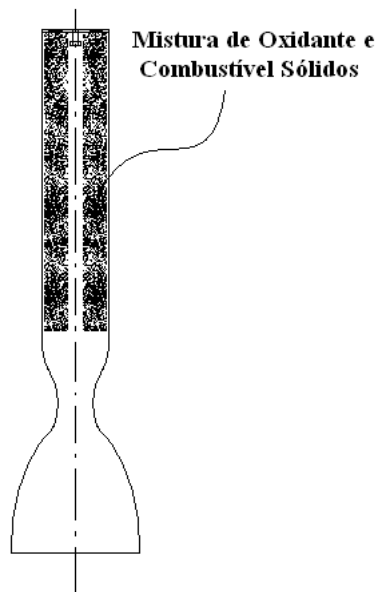


Figura 3: Motor-foguete a propelente sólido

1.2.2.2 Motor-foguete a propelente líquido

O motor –foguete que utiliza o combustível e o oxidante em fase líquida é também chamado de motor-foguete a propelentes líquidos.

É o modelo de propulsor mais seguro em relação ao modelo a propelente sólido. Entretanto, tais motores, altamente complexos e caros, são dominados apenas por países na linha de frente do desenvolvimento tecnológico aeroespacial. É uma tecnologia que depende de sistemas extremamente precisos de placas de injetores e refrigeração. Um desenho esquemático de um motor-foguete a propelente líquido é apresentado na figura 4.

Os propelentes oxidante e combustível, por outro lado, não são totalmente isentos dos riscos de explosão. E existem também os riscos de contaminação por gases tóxicos derivados destas substancias e das reações químicas envolvidas.

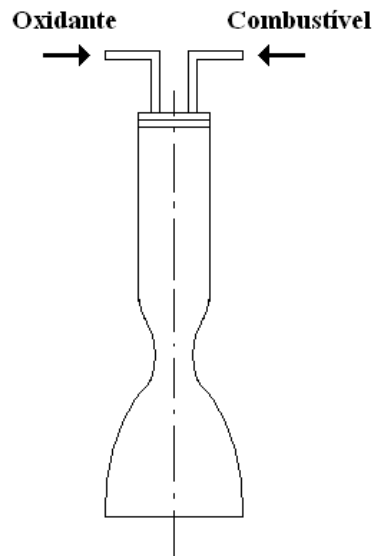


Figura 4: Motor-foguete a combustível e oxidante líquidos

1.2.2.3 Motor-foguete híbrido

Um novo modelo de motor-foguete é visto como uma alternativa para diminuir riscos operacionais. É o motor-foguete híbrido.

O motor-foguete híbrido trabalha com elementos que não são perigosos, de baixa toxicidade e bem mais baratos. Utiliza duas substâncias em fases diferentes.

O combustível, no estado sólido, pode ser polímeros, plásticos utilizados em diversos objetos cotidianos, como computadores ou óculos.

O oxidante geralmente é o oxigênio puro tanto na fase líquido como na fase gasosa. Porém, outro oxidante pode ser empregado desde que se obtenha com o combustível, um par hipergólico. Exemplos de oxidante: peróxido de hidrogênio e o tetróxido de nitrogênio [5].

Os materiais à base de cadeias carbônicas como os polímeros, por exemplo, não apresentam riscos de explosão fora da câmara de combustão. Sua queima só ocorre na presença do oxidante e de uma fonte ignição provocada por uma centelha elétrica, por exemplo. É apresentada na figura 6 uma representação de um sistema híbrido.

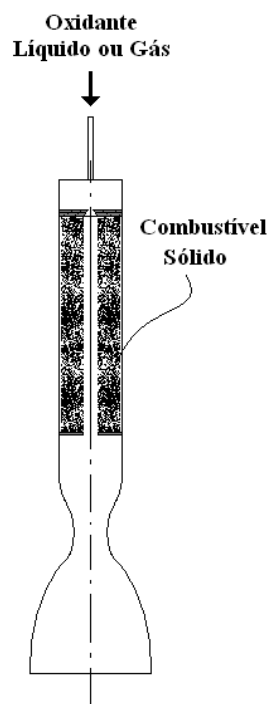


figura 5: Motor-foguete híbrido

Desde o ano de 2001, o “Ames Research Center” da NASA, tem testado um novo combustível de foguetes feito a partir de cera de velas, a parafina. Este pode parecer um combustível primitivo para a tecnologia do século XXI. Qualquer pessoa que já tenha acendido uma vela sabe que a parafina queima lentamente e é difícil queimá-la sem usar um pavio. Mas em presença de um fluxo de oxigênio puro, a parafina queima três vezes mais rápida do que alguma vez se viu, suficientemente rápido para produzir um empuxo em um motor-foguete.

No Brasil, durante o desenvolvimento de sua tese de Doutorado, Cesar Addis Valverde Salvador investigou, de forma experimental, um motor foguete híbrido para veículos espaciais usando parafina ($pci \approx 10000$ kcal/kg) e N_2O_4 (oxidante). É apresentado na figura 6 um diagrama esquemático do aparato experimental dessa pesquisa [9].

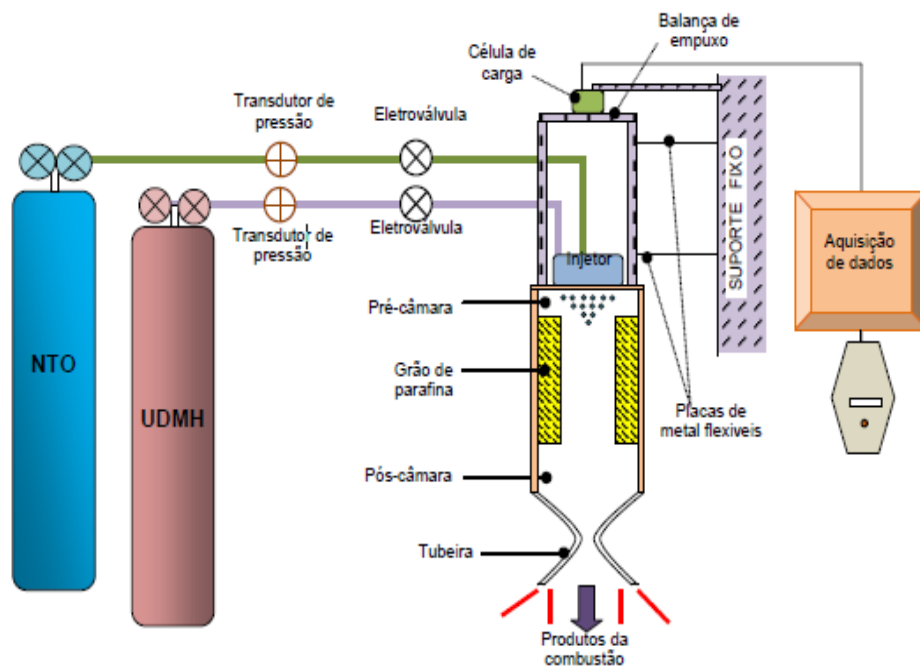


Figura 6 - Esquema da bancada de testes do propulsor híbrido de 70 N LCP/BTCA-INPE.

De acordo com os especialistas, a propulsão híbrida é a tecnologia do futuro que será aplicada nas atividades espaciais no mundo.

A exemplo de aplicação da propulsão híbrida tem-se a SpaceShip One, da empresa Virgin. Esta nave foi desenhada para ser um aeronave suborbital.

Seu motor de foguete híbrido, usa combustível de borracha sólida ($PCI \approx 5000$ Kcal/Kg) com Óxido Nitroso líquido (N_2O).



Figura 7 – Nave sub orbital SpaceShip One

2. MÉTODOS E MATERIAIS

2.1 Celulignina

[1] Uma tecnologia única, inédita no mundo, com tratamento de lixo com poluição zero, foi desenvolvida nos últimos anos pelo Grupo Peixoto de castro, em Lorena/SP. Um investimento de US\$ 10 milhões durante 10 anos pode concluir o desenvolvimento industrial desta tecnologia.

De uma forma simplificada, o lixo orgânico, após ser separado de outros materiais recicláveis, tais como vidro, plásticos e metais, é “cozinhado” com 1% de ácido sulfúrico reciclado de lixo industrial. Esse “cozinhamento” origina 2 (dois) produtos. O caldo vai para produção de furfural e um sólido, na forma de pó, um produto novo que foi denominado “combustível celulignina catalítica”, que pode substituir o óleo combustível e o gás natural usados em caldeiras, fornos e turbinas de geração de energia.

Além de gerar energia utilizando um combustível novo, existe também a contribuição ambiental, pois é uma tecnologia limpa e renovável, e ganhos financeiros com um empreendimento industrial (por exemplo, os lixões da cidade do Rio de Janeiro e de São Paulo) são extremamente promissores [2].

O Brasil necessita de maior desenvolvimento em processos de incineração de lixo urbano, avaliar os resíduos de metais pesados na tecnologia de compostagem sólida, e acompanhar a evolução da tecnologia para “celulignina” especificamente para o lixo. Há uma tecnologia em fase de desenvolvimento no Brasil, para o uso com biomassa em geral, que se propõe para processar a fração orgânica do lixo; essencialmente, é uma pré-hidrólise ácida “leve”, hidrolisando a hemicelulose (destinada a produção de furfural) e deixando a mistura celulose/lignina para compactação e uso como combustível.

Comparada ao material orgânico original – resíduos orgânicos do lixo, através deste processo o teor de carbono sobe cerca de 30%. Há duas características importantes em relação a celulignina. Uma delas é que há uma diminuição nos níveis de potássio e sódio em relação ao material original para a celulignina. Desta forma ela passa a ser um combustível possível de ser queimado em turbinas a gás de ciclo combinado. O outro aspecto é o processo gera uma porosidade na parede celular do produto, pois o ácido penetra na parede celular e há uma ruptura das n-celuloses constituintes, gerando um gás que desencadeia um processo de erupção na parede celular e deixa o material todo poroso, facilitando, em muito, a difusão gasosa no processo de combustão. Acompanhando o teor de açúcar pelo tempo de reação, nota-se que este aumenta muito depois do aquecimento da mistura e logo depois se estabiliza. Esse aumento repentino se explica pelo início das erupções nas paredes celulares. A celulignina sai do reator úmida, passa por um secador e é moída. Sua queima ocorre como se fosse gás, pois ela é pulverizada no combustor [4].

2.2 Métodos

A proposta deste trabalho é estudar a viabilidade de se utilizar o combustível celulignina catalítica como o combustível sólido de um sistema propulsivo híbrido sólido-liquido ou sólido-gás.

O desenvolvimento deste trabalho envolverá 2 (duas) etapas distintas.

A primeira etapa é a aquisição do combustível celulignina catalítica através de uma rota química de hidrólise ácida de materiais orgânicos tais como o bagaço de cana, palha de arroz, orgânicos urbanos, conforme representado no fluxograma da figura 8.

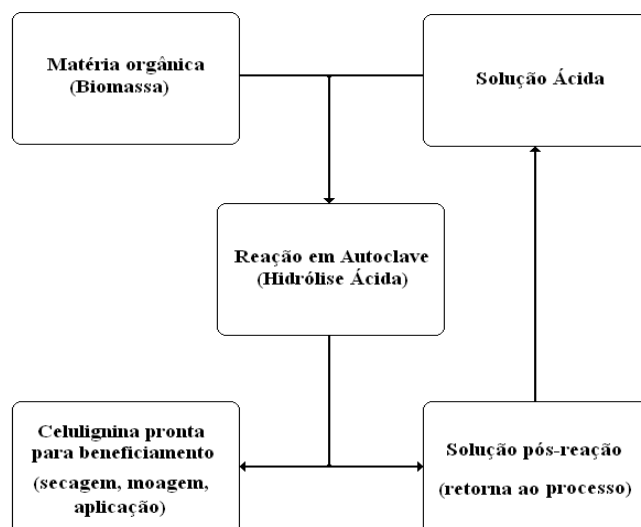


Figura 8: Fluxograma da produção do combustível celulignina catalítica

Após a aquisição do combustível sólido devidamente prensado e conformado em um “grão propelente”, estuda-se as propriedades mecânicas deste grão e só então se faz a escolha do oxidante líquido ou gás. Estudam-se as condições de ignição, ou seja, verifica-se a possibilidade de formação do par hipergólico com a celulignina catalítica. Caso a escolha ou as condições de ignição necessitar de uma fonte de energia de ativação, estuda-se a forma que o mecanismo e seus componentes serão acoplados no sistema híbrido em questão.

Com os estudos realizados e as condições de trabalho definidas, dá-se início a segunda etapa do trabalho: a construção do modelo de um motor-foguete.

Nessa etapa as dimensões do modelo serão obtidas mediante as condições de trabalho do par combustível/oxidante estudados.

São muitas as variáveis que poderão ser determinadas e comparadas com a teoria, tais como pressão na câmara de combustão, o gradiente de temperatura ao longo do propulsor, pressão de alimentação de oxidante, etc.

Quando um motor-foguete é construído, os geradores de gás incluem cargas de longa duração de queima para unidades de energia auxiliar, e cartuchos acionadores de vários modelos.

Os tempos de queima muito longos, até vários minutos, podem ser conseguidos com propulsores (diversas cargas podem ser cimentadas em série).

Em tais aplicações, a pressão de operação varia geralmente de 50 a 100 kgf/cm² e os gases escapam da câmara para a tubeira através de um ou diversos bocais.

Embora pouca informação seja publicada sobre motor-foguete híbrido (um propelente na fase sólida e outro na fase líquida ou gás) parece fornecer uma solução interessante.

Tal sistema funciona com uma baixa razão de mistura e o combustível é sólido, o que minimiza as dimensões da câmara de combustão. Um desenho esquemático é apresentado na figura 9.

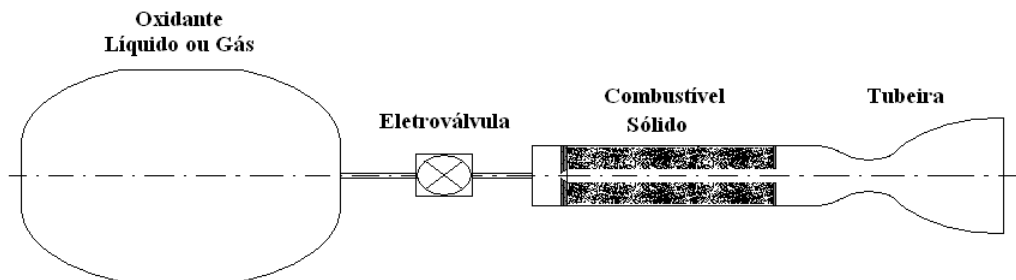


Figura 9: Desenho esquemático de um motor-foguete híbrido

O motor-foguete híbrido permite uma operação intermitente dentro de seus limites. Sua simplicidade e, conseqüentemente, confiabilidade são aquelas de um foguete monopropelente líquido, pois a relação da mistura não pode ser controlada sem os perigos associados com o último, entretanto.

O impulso específico é similar àqueles obtidos com motores-foguete bipropelentes (oxidante e combustível em fase líquida). Além disso, as paredes da câmara podem ser protegidas pelo próprio grão de combustível sólido contra o calor gerado na reação química e o líquido oxidante pode ser usado para refrigerar as paredes da tubeira, quando necessário.

Finalmente, o motor-foguete sólido-líquido não apresenta muitos problemas associados aos propelentes sólidos. As taxas de misturas estequiométricas podem ser usadas sem diminuir as propriedades físicas do grão. A combustão é muito lisa e a operação é completamente insensível às rachaduras ou aos poros no grão.

No motor-foguete híbrido, a taxa de queima do combustível é bem definida e a área de queima deve ser combinada com o fluxo de oxidante para obter a relação apropriada da mistura. A taxa de calor parece ser surpreendentemente constante ao longo do comprimento do grão. Entretanto, uma distribuição uniforme do oxidante sobre a superfície do combustível sólido é imperativa.

Durante uma operação contínua, a queima do combustível como o polietileno juntamente com o oxidante peróxido de hidrogênio, pode ser vista como um processo de duas etapas.

Primeira etapa: um fluxo grande de calor dos gases quentes atinge a superfície do combustível sólido que o decompõe a uma taxa r . Aproximadamente, o ponto de fusão do polipropileno é 115 °C.

Segunda etapa: a combustão ocorre na fase gasosa do polipropileno.

É mostrada, na figura 10, uma representação do processo de combustão do polipropileno como combustível para foguetes.

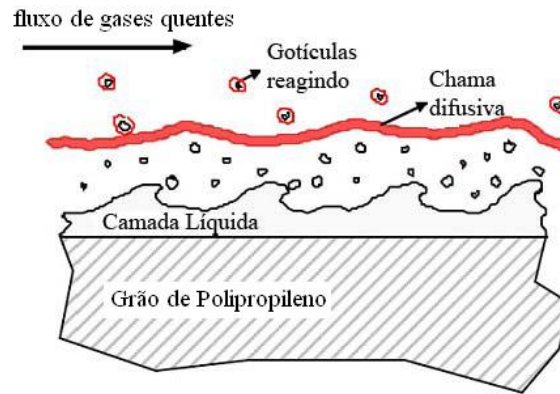


Figura 10: Etapas do processo de combustão do polipropileno como combustível para motor-foguete híbrido

Os dados experimentais sugerem que a taxa de regressão do combustível, que pode ser chamada de taxa de queima do combustível, sendo expressa em termo de velocidade mássica G paralela à superfície, pela relação empírica Eq. (6):

$$r = \alpha \cdot G^{\nu} \quad (6)$$

em que α e ν são aproximadamente constante.

Em um motor-foguete híbrido, a razão de mistura Φ é pequeno ($\Phi < 0,2$) e a velocidade mássica varia muito ao longo do grão. Pode, conseqüentemente, ser feita igual a seu valor na extremidade do bocal do grão, obtendo assim:

$$r = \alpha \left(\frac{\dot{m}}{A_p} \right)^{\nu} \quad (7)$$

onde o A_p é a área portuária que varia durante o tempo de queima, o \dot{m} é o fluxo mássico do oxidante, e r é aproximadamente constante ao longo do comprimento do grão. Conseqüentemente a razão de mistura pode ser escrita:

$$\Phi = \frac{\dot{m}_{fuel}}{\dot{m}_{oxid}} \quad (8)$$

Considera-se um grão cilíndrico representado na seção transversal conforme a figura 9, que dá também as equações de Lamé, que expressam as tensões elásticas, radial e tangencial, nos termos das pressões efetivas internas e externas e dos vários raios. Durante a combustão interna de um grão, por exemplo, a pressão interna eficaz é:

$$p_i = p_c - p_a \quad (17)$$

onde p_c é a pressão absoluta da câmara de combustão e p_a é a pressão atmosférica.

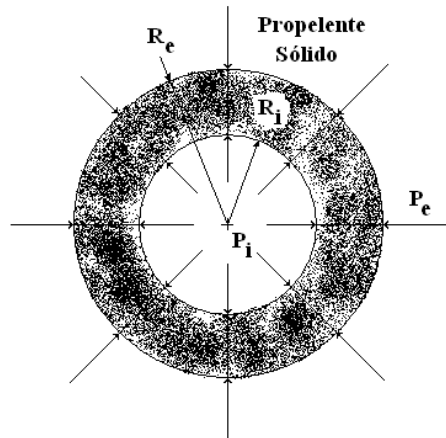


Figura 11: Seção transversal de um grão tubular de parede grossa com as tensões elásticas radiais e tangenciais em função das pressões efetivas internas e externas.

As equações de Lamé são apresentadas em (10) e (11):

$$\sigma_R = \frac{p_i R_i^2 - p_e R_e^2}{R_e^2 - R_i^2} + \frac{R_i^2 R_e^2 (p_e - p_i)}{(R_e^2 - R_i^2) R^2} \quad (10)$$

$$\sigma_\theta = \frac{p_i R_i^2 - p_e R_e^2}{R_e^2 - R_i^2} - \frac{R_i^2 R_e^2 (p_e - p_i)}{(R_e^2 - R_i^2) R^2} \quad (11)$$

2.3 Materiais

A aquisição do combustível celulignina catalítica será em quantidade suficiente para conformar grãos de propelentes que serão usados nos testes de validação da metodologia.

As dimensões dos grãos serão definidas após a primeira etapa de estudos sobre a celulignina, sua conformação e as características mecânicas.

3 CONCLUSÃO

A utilização do combustível celulignina catalítica ($PCI \approx 4400$ Kcal/Kg) vem de encontro com a possibilidade de se empregar uma substância nova, de matéria-prima abundante, através de processo químico simples, sem impacto ambiental e de aplicação nobre, como propelente sólido de um motor foguete híbrido.

Esperam-se resultados satisfatórios, pois um combustível que possui as características físicas e químicas da celulignina pode se tornar o maior avanço tecnológico que um programa espacial desenvolveu e aplicou.

4 TRABALHOS FUTUROS

Os resultados obtidos neste trabalho pode ser aplicados em outros estudos futuros:

- a criação de cartuchos cilíndricos tubulares para maçarico de corte industrial combinando o combustível sólido com oxigênio gasoso;
- desenvolver um protótipo de um veículo lançador de satélites, baseado em propulsão híbrida;
- estudar a possibilidade de utilização da celulignina como combustível prensado na forma de briquetes para ser utilizado em caldeiras geradoras de vapor na produção de energia elétrica (geradores domésticos).

5 BIBLIOGRAFIA

- [1] Pinatti, D.G., “Alta tecnologia na reciclagem do lixo”, Jornal Guaypacaré, Lorena/SP, ed semanal, 10 de Maio de 2000.
- [2] Programa BEM (Biomassa, Energia e Materiais). Publicação RM (Materiais Refratários Ltda), Lorena/SP, Março, 2000.
- [3] Macedo, I.C., “Estado da arte e tendências tecnológicas para energia”, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Secretaria Técnica do Fundo Setorial de Energia, Agosto/2002.
- [4] Oliveira, L.B., “Potencial de aproveitamento energético de lixo e de biodiesel de insumos residuais no Brasil”, Tese defendida no programa de pós-graduação da Universidade Federal do rio de Janeiro, rio de Janeiro/RJ, Setembro, 2004.
- [5] Romero, T., “Lançamentos mais freqüentes”, Notícias – Agencia FAPESP, São Paulo/SP, Setembro, 2006.
- [6] Projeto UniEspaço, 2º Encontro de Gerentes, São José dos Campos/SP, Dezembro, 2001
- [7] Barrère, M., “Rocket Propulsion”, Elsevier Publishing Company, Nederlandse Boekdruk inrichting N.V. Amsterdam, Netherland, 1960
- [8] Hamilton, C.J., Uma Breve História dos Foguetes, *Vistas do Sistema Solar*, <http://www.solarviews.com/portug/rocket.htm>, KSC/NASA, 1997-1999.
- [9] Salvador, C. A. V., “Investigação experimental de um propulsor híbrido para satélites e veículos espaciais usando parafina e N₂O₄ como propelentes”, Tese de Doutorado do Curso de Pos-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Combustão e Propulsão, orientada pelos Drs. Demetrio Bastos Netto e Fernando de Souza Costa, aprovada em 25 de marco de 2009.

6 DIREITOS AUTORAIS

O autor é o único responsável pelo conteúdo do material impresso incluídos no seu trabalho.