



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**SÍNTESE DO HEXAALUMINATO DE BÁRIO OU LANTÂNIO  
COM MANGANÊS E COBALTO PARA DECOMPOSIÇÃO DO  
PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) E/OU ÓXIDO NITROSO  
(N<sub>2</sub>O) PARA APLICAÇÕES ESPACIAIS EM SISTEMAS DE  
PROPULSÃO A MONOPROPELANTES.**

Rafaela Aparecida Braga de Souza

Relatório de Iniciação Científica  
do programa PIBIC, orientado pela  
Dra. Sayuri Okamoto.

INPE  
Cachoeira Paulista  
2020



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**SÍNTESE DO HEXAALUMINATO DE BÁRIO OU LANTÂNIO  
COM MANGANÊS E COBALTO PARA DECOMPOSIÇÃO DO  
PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) E/OU ÓXIDO NITROSO  
(N<sub>2</sub>O) PARA APLICAÇÕES ESPACIAIS EM SISTEMAS DE  
PROPULSÃO A MONOPROPELANTES.**

Rafaela Aparecida Braga de Souza

Relatório de Iniciação Científica  
do programa PIBIC, orientado pela  
Dra. Sayuri Okamoto.

INPE  
Cachoeira Paulista  
2020



## RESUMO

O presente trabalho, iniciado em novembro de 2019, tem como objetivo sintetizar o hexaaluminato de lantânio e reproduzir a síntese do hexaaluminato de bário após o qual será impregnado com cobalto e manganês para desenvolver um catalisador para a decomposição catalítica do óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) para uso em sistemas propulsivos. O trabalho realizado anteriormente, em 2018 pelo bolsista Leon Balloni Gomes, definiu que o melhor método de síntese de hexaaluminato de bário é por meio da metodologia descrita por GAO et al. (2012). O trabalho atual pretende analisar o hexaaluminato obtido em relação as propriedades de porosidade, de resistência térmica, de resistência à sinterização e de resistência à retração volumétrica além da resistência a presença de água providas da reação de decomposição destes propelentes. Espera-se como resultado final deste trabalho obter um suporte catalítico para realizar a impregnação dos Co<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e MnO<sub>2</sub> obtendo um catalisador para decomposição efetiva do N<sub>2</sub>O e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Para o atual período vigente da bolsa, foi realizada a síntese do hexaaluminato de bário e do precursor do hexaaluminato de lantânio seguindo o método de preparo de GAO et al. (2012), e a caracterização dos materiais obtidos foram realizadas por difratômetro de raios X, termobalança e picnômetro de Hélio. Por meio destas caracterizações foi possível determinar que a síntese do precursor produz como produto da reação química dois compostos distintos que não possuem o alumínio e o lantânio em um único composto. Este precursor sintetizado não se converte em hexaaluminato de lantânio a temperatura de 1200°C/8h como foi para o hexaaluminato de bário indicando que o início de sua formação ocorre a 1300°C. Após obtenção dos hexaaluminatos de bário e lantânio, os pellets já moldados devem ser impregnados com Co<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e MnO<sub>2</sub> para realizar as devidas caracterizações, comparações e avaliações do desempenho na decomposição catalítica de N<sub>2</sub>O e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Palavras-Chave: Hexaaluminato de bário, hexaaluminato de lantânio, Peróxido de hidrogênio, Óxido nitroso, Decomposição catalítica.

## LISTA DE FIGURAS

	<b><u>Pág.</u></b>
Figura 1 – Difratoograma de raios x da amostra GLa sem calcinação.....	12
Figura 2 – Difratoograma de raio x da amostra GLa calcinado a 1200 °C.....	13
Figura 3 – Difratoograma de raios x da amostra de GLa calcinado a 1300 °C.....	14
Figura 4 – Curvas de TG, DTA e DSC obtidas na Análise Termogravimétrica da amostra GLa.....	16

## LISTA DE TABELAS

	<b><u>Pág.</u></b>
Tabela 1 – Reagentes utilizados e suas informações.....	10
Tabela 2 – Densidade das amostras de Gla nas seguintes condições: sem calcinação pó e pellets e calcinado a 1300 °C.....	18

## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>2. DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>8</b>
2.1 Revisão da Literatura.....	8
2.2 Materiais e Métodos .....	9
2.2.1 Equipamentos.....	9
2.2.2 Métodos de Preparo e Síntese .....	10
2.2.3 Síntese do hexaaluminato de Bário e hexaaluminato de Lantânio .....	10
2.2.3.1 Moldagem do precursor .....	11
2.2.3.2 Calcinação.....	11
2.3 Resultados.....	12
2.3.1 Difractometria de Raios X.....	12
2.3.2 Termogravimetria.....	15
2.3.3 Picnometria de Hélio .....	17
2.4 Discussão dos Resultados.....	18
<b>3. CONCLUSÃO .....</b>	<b>20</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>21</b>

## **1. INTRODUÇÃO**

Este trabalho tem como propósito realizar a síntese e caracterização do composto hexaaluminato de bário e hexaaluminato de lantânio para ser utilizado, como suporte catalítico. Em seguida, o hexaaluminato obtido com melhor resultado de porosidade e resistência mecânica e térmica deve ser impregnado com óxido de cobalto ( $\text{Co}_2\text{O}_3$ ) e óxido de manganês ( $\text{Mn}_2\text{O}_3$ ), afim de ser utilizado em sistemas propulsivos para catalisar a decomposição dos propelentes peróxido de hidrogênio e/ou óxido nítrico. Portanto, devem ser feitas a avaliação de suas propriedades, como resistência mecânica, resistência térmica, resistência a umidade, porosidade e analisar seu desempenho cataliticamente.

## **2. DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 Revisão da Literatura**

Este relatório final trata das atividades realizadas do período de novembro de 2019 a julho de 2020. Nele estão descritos os resultados de caracterização dos materiais pelos métodos de Difractometria de Raios X (DRX), Termogravimetria (TG) e Picnometria de Hélio do material obtido na síntese para obtenção do Hexaaluminato de Lantânio .

Baseando-se nos resultados obtidos durante a vigência anterior da bolsa pelo bolsista Leon Balloni Gomes, foi possível concluir que a metodologia do GAO et al. (2012) levaram a resultados satisfatórios, pois após a calcinação do precursor do hexaaluminato a  $1200^\circ\text{C}$  por 8h, foi obtido o hexaaluminato de bário com valores de área específica e porosidade satisfatórias para dar continuidade ao trabalho.

Foi utilizada a metodologia de síntese do GAO et al. (2012) para obter o hexaaluminato de bário para reproduzir o produto obtido pelo bolsista anterior e também foi utilizada a mesma metodologia para obter hexaaluminato de lantânio. Para determinar a temperatura de calcinação, os precursores obtidos nestas sínteses foram

submetidos a análise termogravimétrica (TG), pois a partir do gráfico gerado, é possível analisar a variação de massa da amostra de acordo com a variação do tempo e da temperatura. Nos resultados obtidos durante a vigência anterior da bolsa, foi visto pela análise termogravimétrica que o hexaaluminato de bário é formado na temperatura próxima de 1200°C. Mas, ao realizar a mesma análise durante o projeto atual, com o precursor do hexaaluminato de lantânio, não foi possível determinar com precisão a temperatura necessária para conversão do precursor em hexaaluminato de lantânio, pois o limite máximo de temperatura de 1300°C, imposto para uso do aparelho disponível no laboratório não permitiu demonstrar por esta análise as mudanças do material para obtenção do produto desejado.

Portanto, o precursor de hexaaluminato de lantânio foi calcinado em forno mufla elétrico a 1200°C por 8h com taxa de aquecimento de 5°C/min, dividido em dois patamares: 1º patamar constitui em aquecer o forno da temperatura ambiente até 200°C e mantido nesta temperatura por 1h e posteriormente elevado até 1200°C por 8h. A caracterização por difratometria de raios X mostrou a não obtenção do hexaaluminato, provavelmente devido, a insuficiência de temperatura e/ou tempo, por isso, o precursor foi submetido a calcinação de 1300°C por 8h na mesma condição de aquecimento anterior e submetido a caracterização por difratometria de raios X.

Como os materiais obtidos foram feitos seguindo a metodologia de Gao et al. (2012), eles receberam no início da sigla adotada a letra G, seguida pelo elemento usado no hexaaluminato (Bário ou Lantânio). Caso os materiais já tivessem sido calcinados, foi adicionado a seus nomes a temperatura a qual foram submetidos, nestes casos, 1200°C ou 1300°C.

## **2.2 Materiais e Métodos**

### **2.2.1 Equipamentos**

- Reator de vidro borossilicato 2L IKA equipado com banho termostático IKA HBR4 digital e agitador IKA EUROSTAR 200 P4 control;

- Bomba peristáltica Masterflex L/S modelo 77200-60;
- Forno mufla Fortlab com controlador Flyever modelo Fe50RPN;
- Moinho/almofariz Marconi modelo MA 590;
- Termobalança Netzsch modelo STA 449F3 Júpiter;
- Difractômetro de pó Panalytical modelo X'Pert3 Powder;
- Analisador de área específica Micromeritics ASAP 2020.

## 2.2.2 Métodos de Preparo e Síntese

### 2.2.2.1 Síntese do hexaaluminato de Bário e hexaaluminato de Lantânio

Para realizar a síntese do precursor do hexaaluminato, foi utilizado o método de coprecipitação (GARDNER et al., 2010), da metodologia descrita de (GAO et al., 2012). Os reagentes utilizados estão indicados na Tabela 1 abaixo:

Tabela 1 – Reagentes utilizados e suas informações

Reagente	Pureza (%)	Marca	Lote
Nitrato de Alumínio Nonaidratado $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	98	Vetec	0804085
Nitrato de Bário $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	99	Sigma Aldrich	MKBR1368V
Nitrato de Lantânio Hidratado $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot \text{XH}_2\text{O}$	31,8 La	Sigma Aldrich	MKBR5554V
Carbonato de Amônio $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	30 $\text{NH}_3$	Vetec	0803443
Carbonato de Amônio $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	30 $\text{NH}_3$	Sigma Aldrich	MKCF5830
Hidróxido de Amônio $\text{NH}_4\text{OH}$	28	Cromaline	39677113

Fonte: da autora.

No método de GAO et al. (2012), é necessário preparar uma mistura de nitrato de alumínio 0,9 mol/L e nitrato de bário ou nitrato de lantânio 0,075 mol/L, certificando-se que ela esteja homogênea. Essa solução de nitratos deve ser adicionada sobre uma solução de carbonato de amônio 4,28 mol/L contida no reator de batelada de 2L a 60°C e agitação constante de 300 rpm a uma vazão de 20 mL/min. Devido à baixa solubilidade do carbonato de amônio, a solução foi obtida com agitação constante com uso de um agitador magnético. Depois que toda a solução de nitratos foi adicionada no reator, solução final permaneceu sob envelhecimento por 4 horas, mantendo as mesmas condições da síntese. O produto da reação foi filtrado e lavado por suspensão com 5L de água deionizada, a temperatura ambiente, e por fim seco em estufa a 100 °C por 12 horas.

O material, após estar seco, foi triturado em moinho/almofariz e selecionado granulometricamente com uso de peneiras com malhas de 150 mesh. O material em pó obtido, com granulometria inferior a 150 mesh foi pesado e estocado em frasco adequado para análises e tratamentos posteriores.

#### **2.2.2.2 Moldagem do precursor**

O sólido do precursor obtido na síntese passou pelo processo de peptização, obtendo a forma de cilindros. O processo foi feito utilizando água destilada na proporção de 4:3 de pó para água em um almofariz de porcelana e um pistilo. Após a homogeneização da massa obtida, esta foi introduzida em uma extrusora manual com orifício medindo 3 mm de diâmetro. Após o material ser extrudado, foi seco em estufa a 120°C por 24h. Em seguida, foi cortado manualmente em cilindros equidistantes e calcinados.

#### **2.2.2.3 Calcinação**

A calcinação do material foi realizada no forno mufla, com amostras de 2,00g do pó a fim de obter quantidade suficiente dos materiais para serem analisados.

O processo de calcinação foi programado para se elevar a temperatura da

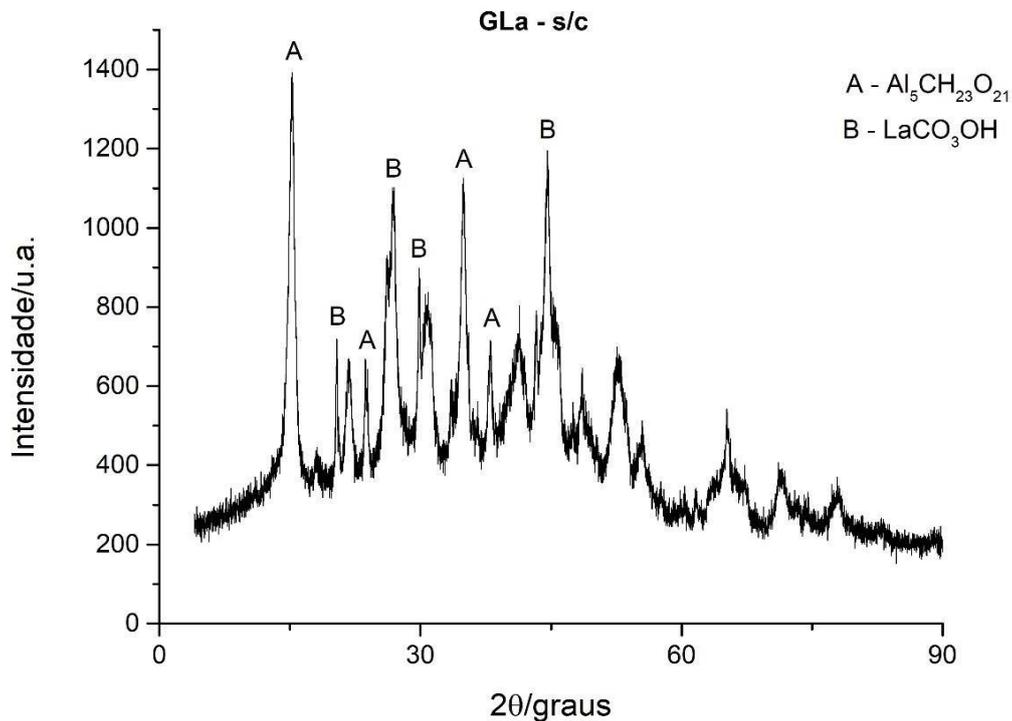
temperatura ambiente até 200°C, na taxa de aquecimento de 5°C/min, e após atingir os 200°C, deve-se manter nesta temperatura por 1 hora. Depois, a temperatura foi elevada de 200°C até 1200°C ou 1300°C à taxa de 5°C/min, e mantida nesta temperatura máxima por 8 horas.

## 2.3 Resultados

### 2.3.1 Difratometria de Raios X

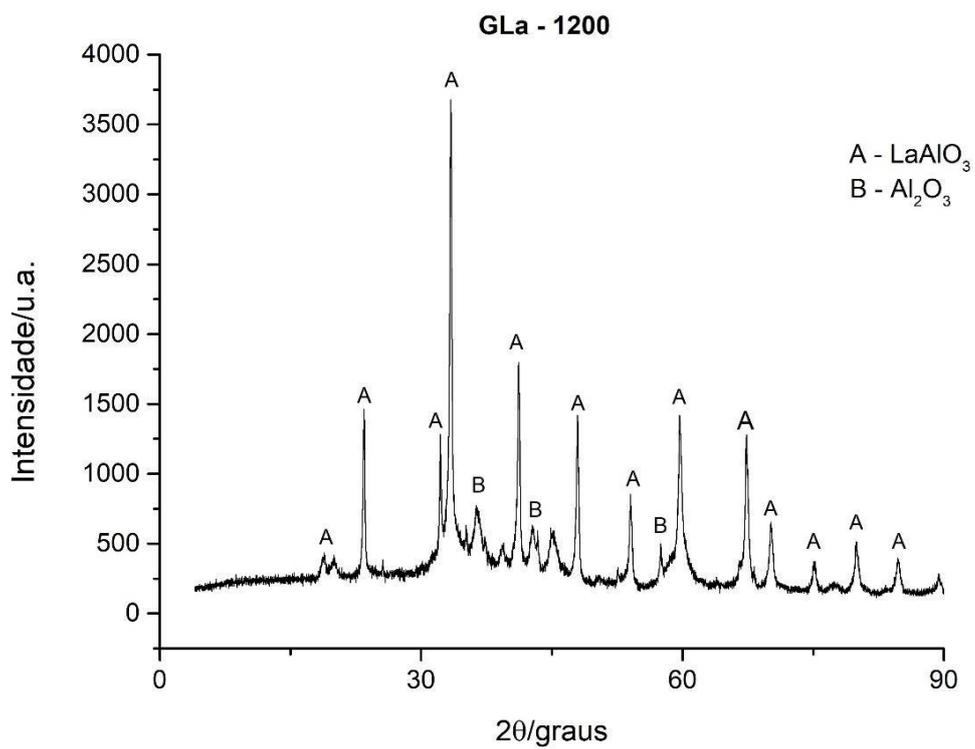
O composto GLa foi analisado por difratometria de raios X, de três maneiras, GLa sem calcinação, GLa calcinado a 1200°C e GLa calcinado a 1300°C por 8h. As Figuras 1, 2, e 3 apresentam os resultados dos difratogramas obtidos para cada uma destas amostras.

Figura 1 - Difrátograma de raios x da amostra GLa sem calcinação.



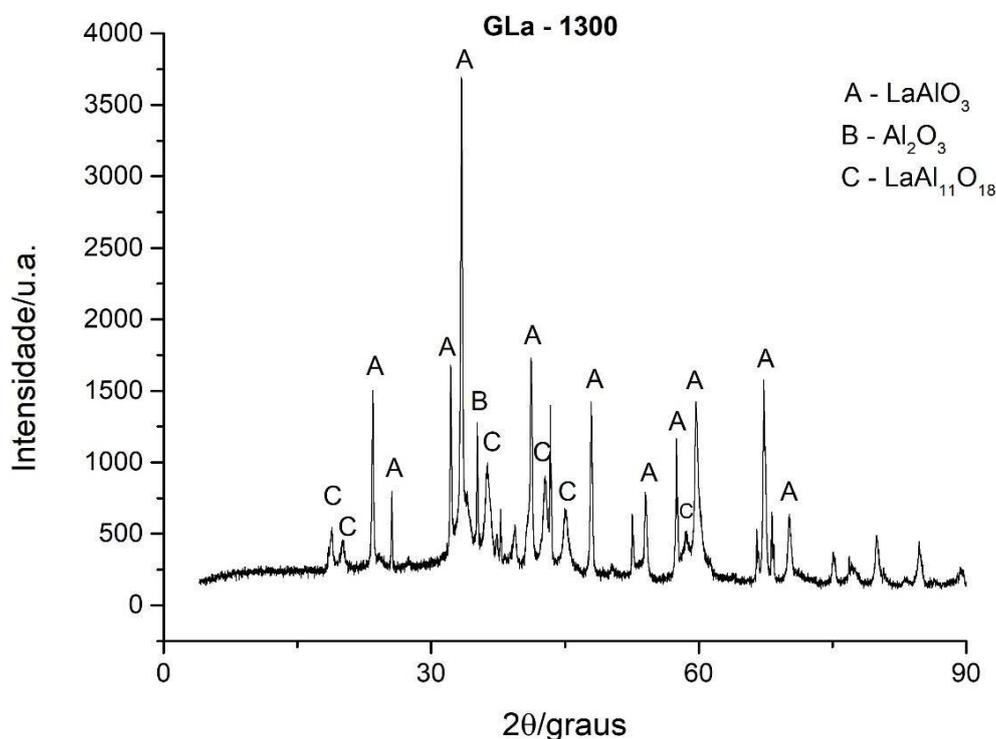
Fonte: da autora

Figura 2- Difrátograma de raios x da amostra GLa calcinado a 1200°C



Fonte: da autora

Figura 3 - Difratoograma de raios x da amostra GLa calcinado a 1300°C



Fonte: da autora

Na Figura 1, as intensidades apontam a presença de hidroxicarbonato de lantânio representado pela ficha ICDD 00-049-0981, e hidroxicarbonato de alumínio hidratado representado pela ficha ICDD 00-012-0627. Como não foi detectada a presença de compostos nitrogenado na composição do precursor do hexaaluminato, conclui-se que o procedimento de lavagem foi eficaz e todo nitrato dos reagentes eliminado. Ainda neste difratograma da Figura 1, observa-se que o produto reacional gera dois compostos diferentes, logo, durante a síntese do precursor não ocorre a formação de um único composto que incorpore o Lantânio ao Alumínio ( $\text{Al}_5\text{CH}_2\text{O}_{21}$  e  $\text{LaCO}_3\text{OH}$ ), e sim que esses dois elementos são incorporados durante a calcinação.

Na Figura 2, as intensidades da amostra de GLa calcinada a 1200°C apontam que existe predominância na presença de aluminato de lantânio, ao qual é atribuído a ficha ICDD 01-085-1071, e a presença de óxido de alumínio, de acordo com a ficha ICDD 01-083-2080. Os dados da Figura 2 indicam que a calcinação a 1200°C foi

capaz de formar dois compostos diferentes, mas não o hexaaluminato de lantânio, logo essa não é a temperatura adequada de calcinação e necessita de temperatura mais alta de calcinação para obter o hexaaluminato de lantânio.

Na Figura 3, as intensidades da amostra de GLa calcinada a 1300°C indica que ocorreu a formação de três compostos distintos, sendo eles: óxido de alumínio representado pela ficha ICDD 01-082-1468, aluminato de lantânio, que esta em maior quantidade, representado pela ficha ICDD 01-085-1071, e hexaaluminato de lantânio ( $\text{LaAl}_{11}\text{O}_{18}$ ), de acordo com a ficha ICDD 00-033-0699. Nessa condição de calcinação, houve a formação de hexaaluminato de lantânio, porém de forma incompleta, pois o difratograma indica a presença de outros compostos (A e B).

Analisando a Figura 3, pode-se perceber que os picos de hexaaluminato de lantânio, representados pela letra C, apresentam baixa intensidade, o que significa que ele estava em processo de formação a temperatura de 1300°C, sendo assim, é necessário realizar uma calcinação a uma temperatura maior que 1300°C ou aumentar o tempo de calcinação, para que tenhamos maior quantidade de hexaaluminato de lantânio formado.

Além disso, a alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) está presente nos difratogramas 2 e 3, o que indica segregação do lantânio com o alumínio, o que pode ocorrer por dois motivos. Primeiramente, pode ser que durante a síntese, não foi adicionado quantidade suficiente de lantânio, ou que a reação incompleta causou a segregação de uma parte do lantânio formando assim a alumina e o aluminato de lantânio, o que pode ser resolvido aumentando-se a temperatura ou o tempo de calcinação.

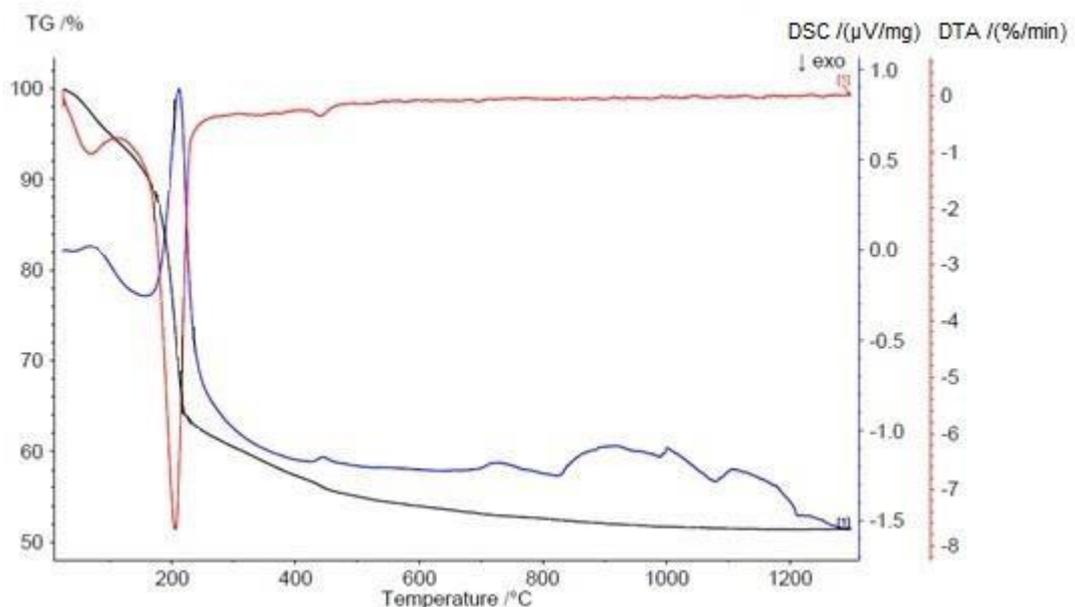
### **2.3.2 Termogravimetria**

A técnica de Termogravimetria (TG) utiliza a variação de massa em função da temperatura e/ou tempo em um ambiente pré-determinado para compreender as propriedades de um composto.

Para realizar a termogravimetria no GLa e determinar a temperatura necessária de calcinação para obtenção do hexaaluminato de lantânio, foi utilizado

ambiente de ar sintético/nitrogênio 80/20 com vazão de 50 mL/min, com a temperatura variando de 30°C a 1250°C com taxa de aquecimento de 5°C/min. Neste processo realizou-se as análises: perda de massa por termogravimetria (TG) que trata da variação da massa dos materiais frente ao aumento de temperatura, a análise térmica diferencial (DTA) que representa a curva máxima e mínima onde ocorre a variação de massa, e a calorimetria exploratória diferencial (DSC), que representa a mudança do fluxo de calor onde pode indicar mudança de fase na estrutura dos compostos analisados.

Figura 4 – Curvas de TG, DTA e DSC obtidas na Análise Termogravimétrica da amostra GLa



Fonte: da autora

Ao realizar a análise da curva de TG (representada pela linha preta), a qual se inicia em 100%, pode-se perceber que o material teve 48% de perda de massa. Pelas curvas de TG e DTA (representada pela linha vermelha) podemos verificar ainda que em 250°C houve o evento referente a perda de massa indicado pelo TG, o que provavelmente seja a perda de água. Entre 250 - 550°C também há certa variação de massa, indicando a provável perda de carbonatos. De 550°C - 1180°C, não houve alteração significativa nas curvas de TG e DTA.

Já na curva de DSC (representada pela cor azul), observa-se que o GLa sofre transformação de fase próximo de 750°C. É observado uma variação que se inicia próximo a 750 °C e se prolonga até o fim da análise. Isto provavelmente indica alteração da estrutura cristalina da alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) presente na amostra que está passando por suas fases de transição até a formação da alfa alumina. Uma vez que se trata do rearranjo da estrutura cristalina do material, não se observa a perda de massa nestas regiões das curvas de TG e DTA.

Na curva de DSC (representada pela cor azul) observa-se ainda uma queda acentuada da curva a partir de 1200°C, o que é um indício do início da formação de hexaaluminato de lantânio. Mas, o equipamento utilizado possuía uma limitação de 1300°C, e por isso a análise foi feita até 1250°C, sendo assim, não foi possível determinar precisamente a temperatura inicial e final para obtenção do hexaaluminato de lantânio. Por esse motivo, foi realizada uma calcinação em forno mufla a 1300°C, a fim de descobrir se nessa temperatura ocorreria a formação de hexaaluminato, e a partir do DRX discutido acima, foi visto que houve a formação desse composto, porém devido a baixas intensidades apresentadas, pode ser indicativo de início de seu processo de formação. Portanto, deve-se utilizar em análises posteriores um equipamento capaz de atingir 1500°C e calcinações a temperaturas mais elevadas.

### **2.3.3 Picnometria de Hélio**

A picnometria de Hélio tem como objetivo determinar densidade e volume real de um material. Trata-se de uma técnica de análise não destrutiva, e possui alta precisão, pois os átomos de gás hélio são pequenos e assim conseguem penetrar em material com diferentes porosidades. A análise ocorre a partir da comparação da variação de pressão do gás Hélio entre duas câmaras, uma delas com volume conhecido, e outra com a amostra a ser analisada.

Na Tabela 2 abaixo estão listados os resultados das análises por picnometria de Hélio em relação a três amostras, GLa sem calcinação em pó, GLa sem calcinação em forma de pellets, e GLa calcinado a 1300°C em pó.

Tabela 2 – Densidade das amostras de GLa nas seguintes condições: sem calcinação pó e pellets e calcinado a 1300°C

<b>Amostra</b>	<b>Forma física</b>	<b>Densidade Média (g/cc)</b>
GLa sem calcinação	Pellets	2,2562
GLa sem calcinação	Pó	2,372
GLa 1300	Pó	4,5216

Fonte: da autora

A partir da tabela, pode-se dizer que a densidade entre GLa em pellets e em pó se diferenciam muito pouco, sendo que essa diferença é causada por pequenos erros durante as pesagens do material. Já o GLa-1300 calcinado possui densidade mais alta, praticamente o dobro que os anteriores, pois como foi visto na Figura 4 na análise de TG, ha redução de 48% em sua massa, pois ocorreu a contração térmica do material de síntese e formação de novo material devido a elevada temperatura ao qual foi submetido.

## 2.4 Discussão dos Resultados

A partir das análises realizadas, foi possível concluir que:

- a) O precursor obtido na síntese do hexaaluminato de lantânio formam produtos que não possuem o alumínio e o lantânio em um único composto;
- b) A calcinação a 1200°C não permite a obtenção do hexaaluminato de lantânio;
- c) A calcinação do GLa a 1300°C permite a formação de hexaaluminato em pequena quantidade com presença de dois outros produtos, observadas pelo difratograma de raio X;
- d) Para determinar precisamente a temperatura de início e término da formação de hexaaluminato torna-se necessário realizar outra análise termogravimetria em uma termobalança com temperaturas mais elevadas.

O projeto não seguiu como planejado no cronograma inicial do projeto pois devido a pandemia do COVID-19, e início do período de quarentena no mês de março

de 2020, prejudicou o progresso desta pesquisa devido a indisponibilidade de acesso aos equipamentos de síntese e caracterização.

### 3. CONCLUSÃO

A partir das análises realizadas, foi possível concluir que ao calcinar o GLa a 1300°C houve uma pequena formação de hexaaluminato, como pode ser visto nas intensidades no difratograma de raio X na Figura 3. Mas, ainda a temperatura de início e término da formação de hexaaluminato ainda não pôde ser identificada pelas curvas de TG, DTG e DSC, logo, é necessário realizar outra análise termogravimétrica em temperaturas mais elevadas.

O projeto não seguiu como planejado pois devido a pandemia do COVID-19, o período de quarentena começou no mês de Março de 2020, assim o trabalho em laboratório foi prejudicado devido a indisponibilidade de acesso aos equipamentos de síntese e caracterização.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CULLITY, B.D. **Elements of X-RAY Diffraction**. 2ed. Addison-Wesley Publishing Company, INC., p. 555, 1978.

GAO, J.; JIA, C.; LI, J.; GU, F.; XU, G.; ZHONG, Z.; SU, F. **Nickel Catalysts Supported on Barium Hexaaluminate for Enhanced CO Methanation**. *Industrial & Engineering Chemistry Research (I&EC research)*, v. 51 (31), p. 10345-10353, 2012. Disponível em:  
<<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ie300566n>>. Acesso em: 8 de agosto de 2018.

GREGG, S. J.; SING, K. S. W.; **Adsorption, Surface Area and Porosity**; Academic Press; London, p. 41 ,1982.

IONASHIRO, M. **Giolito: Fundamentos da Termogravimetria, Análise Térmica Diferencial, Calorimetria Exploratória Diferencial**. São Paulo: Giz, 2005.

NAIR, J.; NAIR, P.; MIZUKAMI, F.; OMMEN, J. G. V.; DOESBURG, G. B. M.; ROSS, J. R. H.; BURGGRAAF, A. J. **Pore Structure Evolution of Lanthana–Alumina Systems Prepared through Coprecipitation**. *Journal of the American Ceramic Society*, v. 83 [8], p.1942–1946, janeiro de 2000.

OLIVEIRA, I. de. **Desenvolvimento de suporte catalítico monolítico para fins aeroespaciais empregando a manufatura aditiva**. 2018. Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da Universidade de São Paulo, Lorena, 2018.

QUITETE, C. P. B.; BITTENCOURT, R. C. P.; SOUZA, M. M. V. M. **Steam Reforming of Tar Model Compounds Over Nickel Catalysts Supported on Barium Hexaaluminate**. Springer Science+Business Media, Nova Iorque, v. 145, p. 541–548, 2014.

SOARES, S. L. **Síntese de Hexaaluminato de Bário, Manganês e Cobalto para**

**Decomposição de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O para Aplicações Espaciais em Sistemas de Propulsão a Monopropelentes.** Cachoeira Paulista: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, p. 40, 2017.