



Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2013/05.14.18.21-RPQ

**RELATÓRIO FINAL OPERAÇÃO CUMÃ:
EXPERIMENTO PEM05-FORNO MULTISUÁRIO PARA
SOLIDIFICAÇÃO (FORMU-S)**

Irajá Newton Bandeira,
Chen Ying An,
César Boschetti,
Manuel Francisco Ribeiro,
Julio César Peixoto,
Silvelene Alessandra da Silva

Relatório de Pesquisa

URL do documento original:
<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3E582SL>>

INPE
São José dos Campos
2013

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE (RE/DIR-204):**Presidente:**

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Membros:

Dr. Antonio Fernando Bertachini de Almeida Prado - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr^a Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Dr. Germano de Souza Kienbaum - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Maria Tereza Smith de Brito - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Luciana Manacero - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2013/05.14.18.21-RPQ

**RELATÓRIO FINAL OPERAÇÃO CUMÃ:
EXPERIMENTO PEM05-FORNO MULTISUÁRIO PARA
SOLIDIFICAÇÃO (FORMU-S)**

Irajá Newton Bandeira,
Chen Ying An,
César Boschetti,
Manuel Francisco Ribeiro,
Julio César Peixoto,
Silvelene Alessandra da Silva

Relatório de Pesquisa

URL do documento original:
<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3E582SL>>

INPE
São José dos Campos
2013



Esta obra foi licenciada sob uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
3.1 Vista geral do forno tubular.	6
3.2 Corte longitudinal do forno.	7
3.3 Vista do sistema completo FORMU. (1) forno; (2) fuso; (3) motor; (4) caixa de transmissão/redução; (5) hastes de deslizamento; (6) hastes de fixação; e (7) porta amostras.	8
3.4 Diagrama de blocos do sistema forno de solidificação, controle de temperatura e aquisição de dados.	10
3.5 Perfil térmico do forno.	11
3.6 Ciclo térmico de resfriamento.	11
3.7 Modelo de voo do forno de solidificação multiusuário e módulo de controle.	12
3.8 Teste de vibração / aceitação efetuado no LIT/INPE.	13
4.1 Experimento integrado na plataforma.	15

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVO CIENTÍFICO/TECNOLÓGICO	3
3 DOCUMENTAÇÃO DO EXPERIMENTO/FACILIDADE	5
4 PERFORMANCE DO EXPERIMENTO ANTES E DURANTE O VÔO	15
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES	17
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19

1 INTRODUÇÃO

O projeto se propôs a construir e qualificar em vôo suborbital (Operação Cumã), juntamente com a realização de um experimento científico piloto, de um forno de solidificação multiusuário para ligas, metais e semicondutores com ponto de fusão de até 1000 °C.

O forno consiste numa estrutura tubular compacta, com capacidade de solidificar amostras de até 15 mm de diâmetro e 70 mm de comprimento. Para o presente experimento o forno é controlado e aquecido no solo a uma temperatura interna de 500 °C, através do cordão umbilical do foguete lançador. Após o lançamento sua temperatura é mantida por inércia térmica e, no ponto desejado da trajetória em microgravidade, seu deslocamento axial é acionado por um único sinal temporizador para que a amostra, que permanece fixa em relação ao sistema, fique localizada na região fria do forno, proporcionando um rápido resfriamento.

O experimento científico consiste na solidificação em microgravidade de uma liga semicondutora de telureto de chumbo. Este material possui importantes aplicações tecnológicas como detetores e lasers de diodo para a região do infravermelho termal. Já dentro do espírito de uma facilidade multiusuário, este primeiro vôo foi compartilhado com um experimento da UFPE que se propôs a estudar a migração térmica de nanopartículas metálicas num material vítreo híbrido.

2 OBJETIVO CIENTÍFICO/TECNOLÓGICO

A área de ciências dos materiais é uma das que mais se beneficia do ambiente de microgravidade. No Brasil não existem facilidades multiusuários capazes de fornecer as condições adequadas de temperatura, gradiente térmico e resfriamento controlado, para processamento, solidificação e crescimento de cristais de materiais inorgânicos. Com a possibilidade de o país participar do Programa da Estação Espacial Internacional (EEI), torna-se interessante o desenvolvimento de uma facilidade desse tipo que possa inclusive, no futuro, ser acondicionada numa gaveta na área pressurizada da EEI, que será disponibilizada como parte dos direitos adquiridos de acesso.

Plataformas suborbitais sempre foram os meios mais utilizados por todos os países para iniciar e testar o desenvolvimento de suas facilidades que, depois de aperfeiçoadas, irão equipar plataformas orbitais recuperáveis e estações espaciais. Esta proposta visa capacitar equipes para o desenvolvimento de um forno de solidificação para ligas, metais e semicondutores com ponto de fusão de até 1000 °C, pois até o momento, o país é dependente de tecnologias estrangeiras para a realização de seus experimentos científicos em microgravidade.

Paralelamente a qualificação do forno, a presente proposta objetivou solidificar uma liga eutética de PbTe sob microgravidade de 10^{-3} g. Várias solidificações foram feitas em solo para serem comparadas com a obtida em microgravidade. Os principais métodos utilizados para medidas são raios-X de alta resolução para análise de estrutura e EDX acoplado a microscópio eletrônico.

No sistema binário Pb-Te, a formação do composto intermediário PbTe ocorre nas vizinhanças da composição estequiométrica, onde a temperatura de fusão congruente é de aproximadamente 925 °C.

O sistema também apresenta uma reação eutética para uma temperatura de 411 °C e composição com 89 percentual atômico de telúrio.

Por meio da solidificação de ligas eutéticas é possível obter materiais compósitos naturais, onde a principal característica, além do baixo ponto de fusão, é a de possuir uma estrutura com alto grau de anisotropia. Em função de ser constituída por mais de uma fase, a sua solidificação pode resultar em uma microestrutura lamelar, fibrosa ou irregular, dependendo, principalmente, da fração volumétrica de cada fase e do modo de crescimento das fases sólidas.

Em geral, a aplicação dos materiais compósitos é limitada ao campo estrutural em

virtude das suas qualidades mecânicas mas, no entanto, por meio de combinação de fases com diferentes propriedades elétricas e magnéticas, estes materiais também podem apresentar propriedades físicas de grande interesse para os campos da termoeletricidade, magneto-resistividade e piezoeletricidade.

Também é desejável que o material resultante apresente um alto grau de homogeneidade, ou seja, com distribuição uniforme do componente minoritário ou com uma estrutura ordenada de larga escala. Como qualquer mudança nos mecanismos de transporte de massa e de calor também resulta na modificação da microestrutura final, a relevância da microgravidade na solidificação aqui também é evidente, uma vez que os materiais polifásicos em geral apresentam constituintes com diferentes densidades, sujeitos aos fenômenos de sedimentação e de convecção na presença da gravidade.

3 DOCUMENTAÇÃO DO EXPERIMENTO/FACILIDADE

Foi construído um forno tubular compacto multiusuário, com capacidade de solidificar amostras de até 15 mm de diâmetro e 70 mm de comprimento, acondicionadas em cartuchos de segurança de aço. Para o presente experimento o forno é controlado e aquecido no solo a uma temperatura interna de 500 °C, através do cordão umbilical do lançador. Após o lançamento sua temperatura é mantida por inércia térmica e, no ponto desejado da trajetória em microgravidade, seu deslocamento axial é acionado por um único sinal temporizador, para que a amostra, que permanece fixa em relação ao sistema, fique localizada na região fria do forno, proporcionando um rápido resfriamento. A temperatura do experimento é monitorada por dois termopares cujos sinais são armazenados a bordo num *data-logger*. Tanto o gradiente de temperatura como a velocidade variável de translação do forno, foram projetados para no futuro, em vôos com maior tempo de microgravidade, permitirem sua utilização como facilidade para crescimento de cristais. Além disto, a isolamento térmica de todo o conjunto foi cuidadosamente projetada para compatibilidade com uma ampla gama de experimentos que venham a participar do mesmo vôo. A concepção do experimento prevê também grande facilidade na troca de componentes que possam vir a falhar, sem comprometer os processos de testes e integração.

Três unidades foram construídas: um protótipo, um modelo de engenharia e um modelo de vôo. O modelo de engenharia fica disponível aos usuários para experimentos no solo, já que existem no país vários grupos que trabalham com ligas, metais e semicondutores, que poderão se beneficiar desta facilidade. Um ponto fundamental da sua múltipla utilização é que o projeto do forno foi concebido para, em vôos orbitais de maior duração, poder ser utilizado tanto em experimentos de solidificação, como em de solidificação unidirecional e crescimento de cristais.

A liga eutética de telureto de chumbo $Pb_{0,11}Te_{0,89}$ (composição em fração atômica) do experimento científico piloto foi extensivamente testada no INPE em fornos convencionais e no modelo de engenharia para medir suas propriedades em gravidade terrestre e posteriormente em microgravidade no modelo de vôo.

O forno tubular em aço inoxidável (Figuras 3.1 e 3.2) tem 200 mm de comprimento e diâmetro externo de 110 mm, com a cavidade interna onde ocorre processamento do material constituída por um tubo de cerâmica com 20 mm de diâmetro interno.

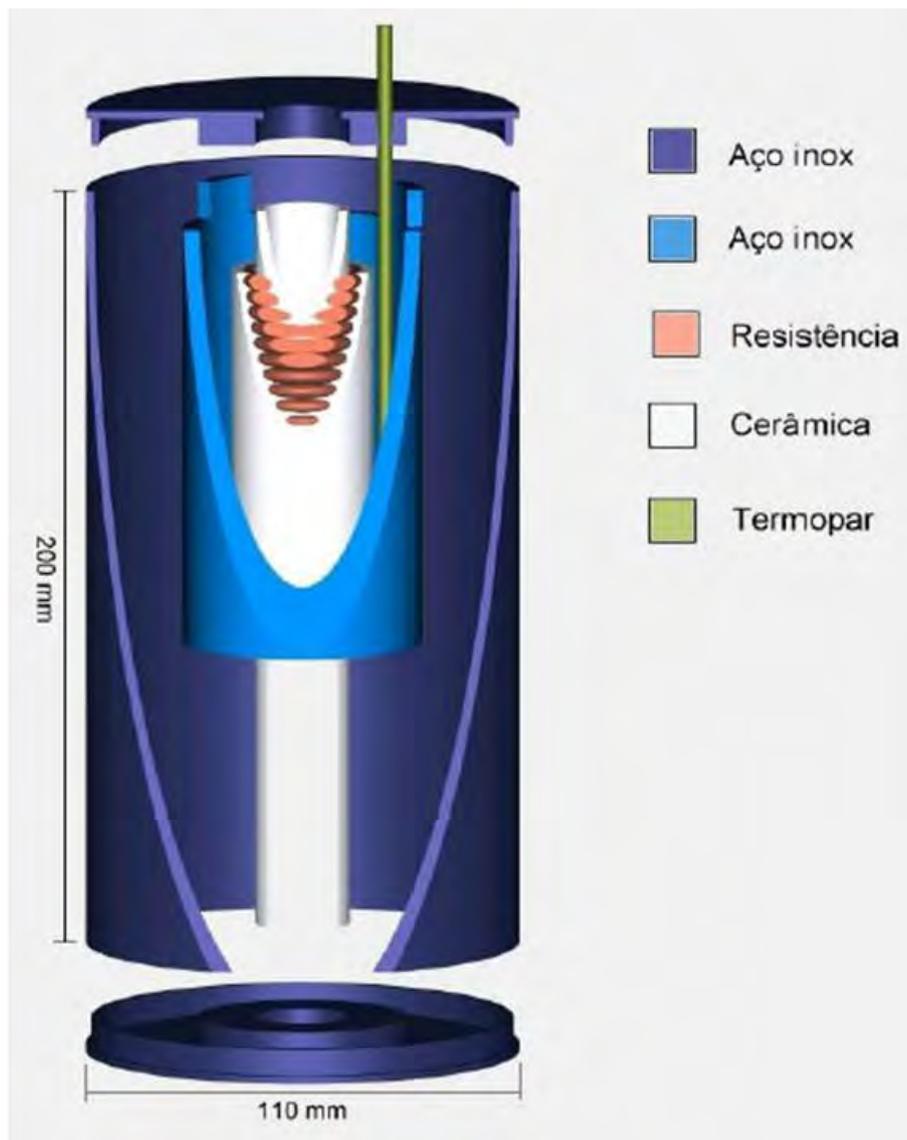


Figura 3.1 - Vista geral do forno tubular.

A resistência blindada de níquel-cromo com 28Ω , envolvendo parcialmente a cavidade interna, é encapsulada em um segundo tubo também cerâmico, formando uma peça monolítica. Para aumentar a inércia térmica do forno, em torno da região da resistência, é colocado um tubo de aço inox com 120 mm de comprimento e 60 mm de diâmetro externo, com paredes de 4 mm. A região do forno com 80 mm de extensão e sem resistência, produz um gradiente térmico de cerca $40 \text{ }^\circ\text{C}/\text{cm}$ que, com a translação do forno, permite solidificar rapidamente a amostra, que ficará então localizada na zona fria. O isolamento térmico é feito com fibra de quartzo compactada. O forno foi projetado para alcançar temperaturas de até $1000 \text{ }^\circ\text{C}$.

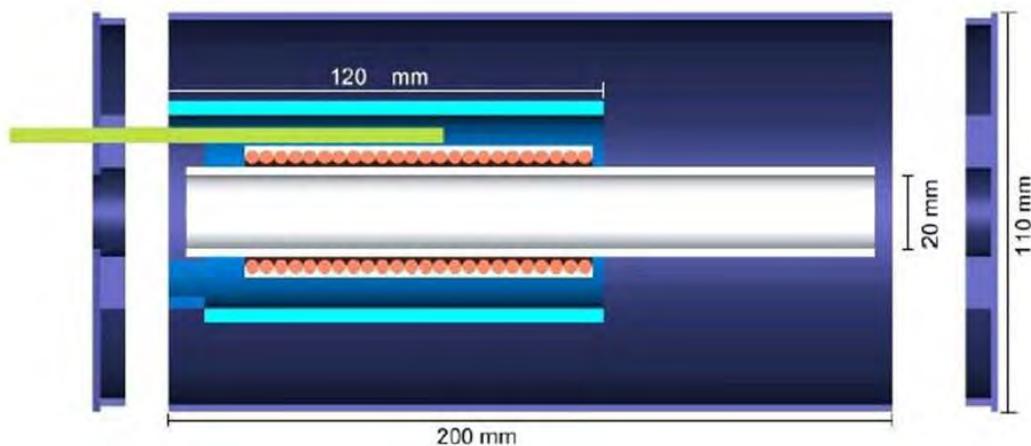


Figura 3.2 - Corte longitudinal do forno.

Em testes preliminares com um protótipo de laboratório, com uma temperatura inicial estabilizada em 1000 °C, verificou-se uma queda de temperatura com taxa de aproximadamente 20 °C por minuto, o que garante um tempo suficiente para manter a amostra fundida até o regime de microgravidade.

No experimento piloto em questão, a liga com ponto de solidificação de 411 °C e uma temperatura inicial de 500 °C, permanecerá líquida por aproximadamente seis minutos a partir do desligamento do forno/lançamento.

Na Figura 3.3 são mostrados, de forma simplificada, os detalhes do sistema de deslocamento, composto pelos seguintes elementos:

1. forno;
2. fuso;
3. motor;
4. caixa de transmissão/redução;
5. hastes de deslizamento;
6. hastes de fixação;
7. porta amostras.

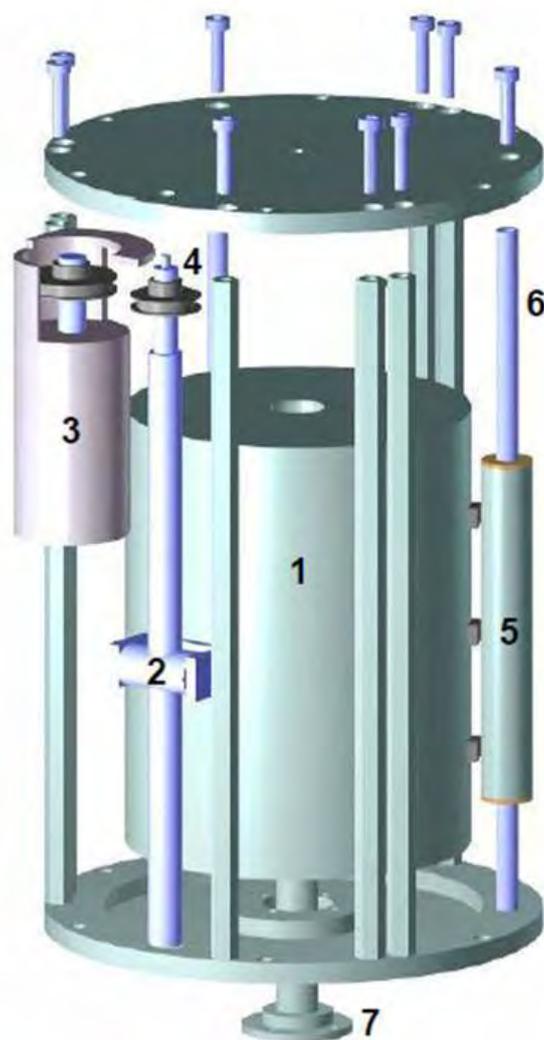


Figura 3.3 - Vista do sistema completo FORMU. (1) forno; (2) fuso; (3) motor; (4) caixa de transmissão/redução; (5) hastes de deslizamento; (6) hastes de fixação; e (7) porta amostras.

O motor DC, alimentado por baterias próprias de 4,8 V, é acoplado ao fuso (2) por um sistema de transmissão (4), permitindo o deslocamento do forno no momento necessário, comandado pelo sinal que acionará um temporizador.

O acionamento do motor e o conseqüente deslocamento do forno ocorrem após o recebimento de um sinal dado pela plataforma.

Um módulo de controle, com dimensões de 70 x 60 x 120 mm, contém a eletrônica associada, que consiste de um transmissor de temperatura, um *data-logger* e o circuito de acionamento do motor e suas baterias.

O aquecimento do forno é realizado pelo chaveamento de 120 VDC (corrente contínua) numa resistência blindada de 28Ω através de um módulo de potência tiristorizado construído no LAS, comandado por um controlador com base na informação vinda de um termopar tipo K.

Tanto o termopar quanto o módulo de potência encontram-se distantes do controlador. Por este motivo as duas ligações são realizadas através de laços de corrente de 4-20 mA. No caso do termopar é utilizado um transmissor de temperatura para converter a tensão em corrente e o módulo de potência é próprio para acionamento via 4-20 mA, sendo que o controlador aceita este padrão tanto na saída como na entrada.

O módulo de potência e a fonte DC serão colocados na base do lançador e o controlador de temperatura na casamata.

Existem dois termopares tipo K ao longo da amostra que devem ser monitorados para o registro das temperaturas ao longo da amostra durante o vôo. Para esta função é utilizado um *data-logger* com dois canais independentes, com juntas frias do tipo K, sendo o registro efetuado pré-vôo, durante o vôo e pós-vôo, até a recuperação da plataforma.

Uma vez recuperados os equipamentos, os dados são transferidos para o microcomputador onde é possível visualizar as temperaturas ao longo do tempo e exportar para outros programas de análise.

O *data-logger* é programável através de interface RS232C com o microcomputador, permitindo o armazenamento de até 8111 medidas (12 bits) em cada canal, com intervalo entre pontos e tempo total definido pelo usuário. Não é necessária alimentação externa, pois o equipamento utiliza bateria própria de lítio.

O esquema da Figura 3.4 apresenta o diagrama de blocos do sistema forno de solidificação, controle de temperatura e aquisição de dados.

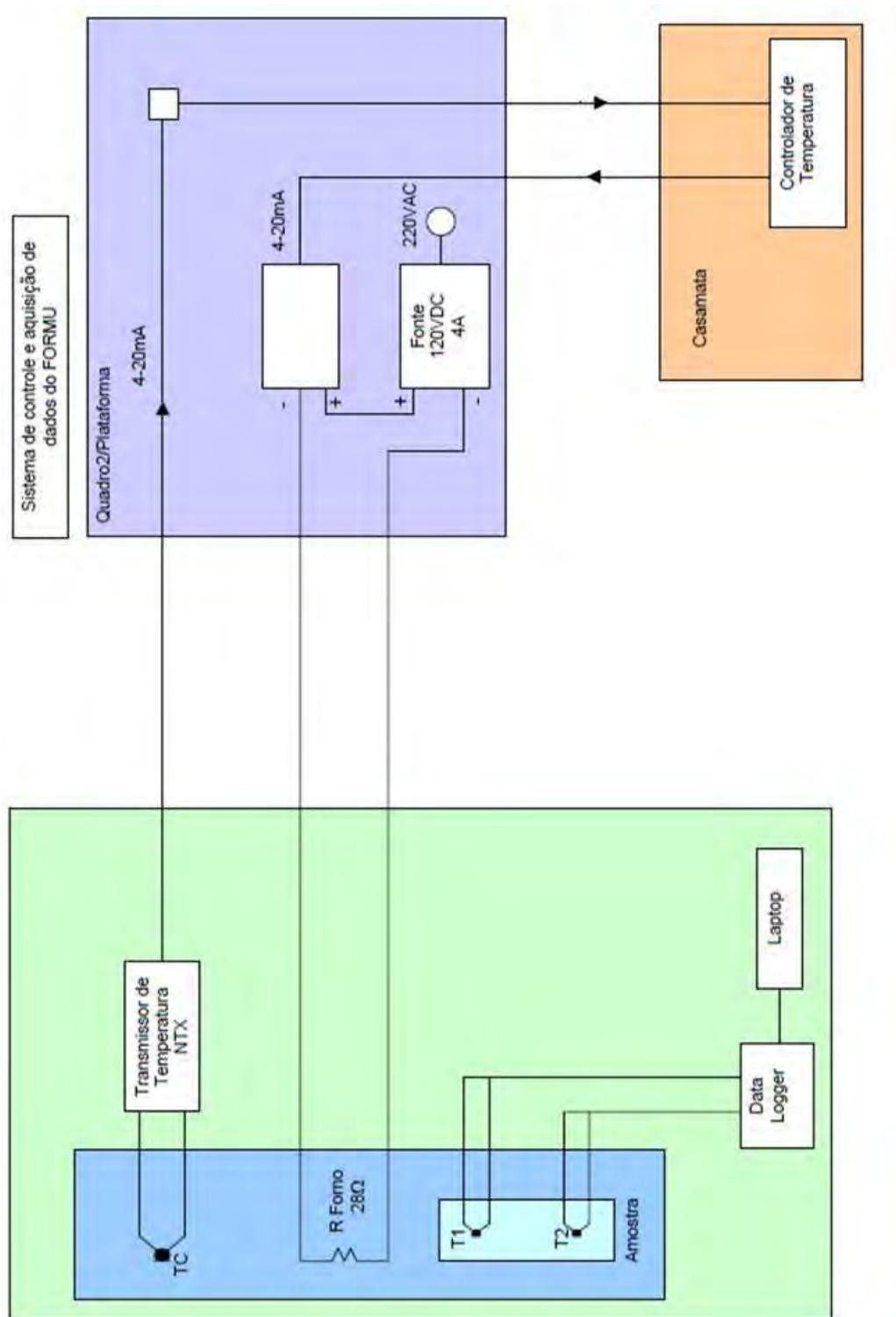


Figura 3.4 - Diagrama de blocos do sistema forno de solidificação, controle de temperatura e aquisição de dados.

As Figuras 3.5 e 3.6 mostram o perfil de temperatura do forno com o posicionamento das amostras do experimento do LAS/INPE e o da UFPE, e o ciclo térmico de seu resfriamento, respectivamente.

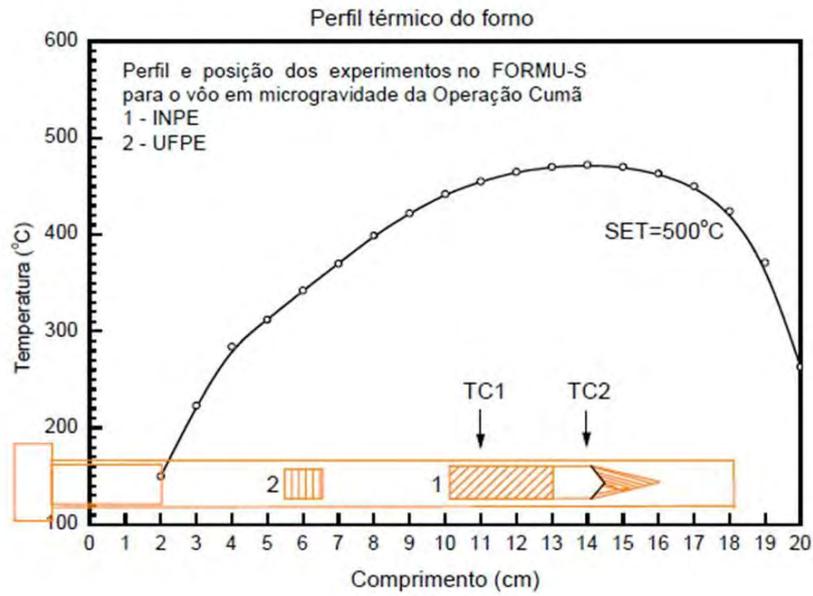


Figura 3.5 - Perfil térmico do forno.

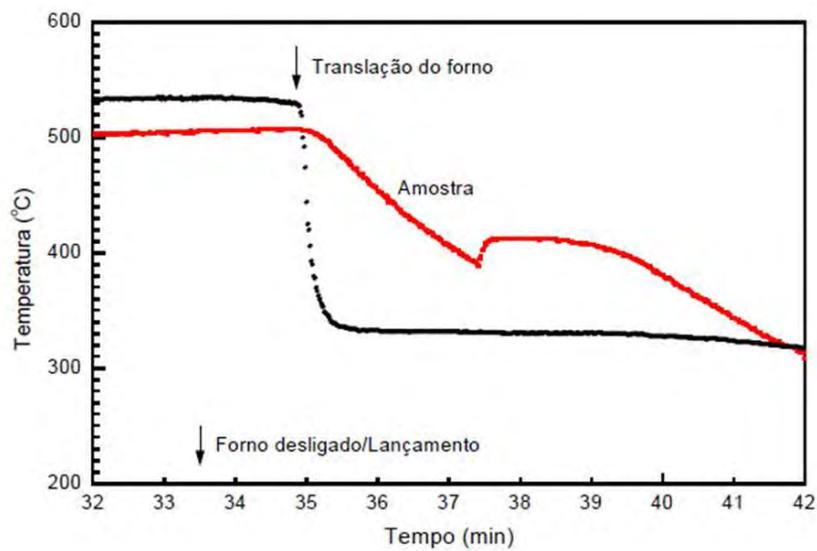


Figura 3.6 - Ciclo térmico de resfriamento.

Na Figura 3.7 mostra a foto do modelo de vôo do forno de solidificação com seu módulo de controle e na e Figura 3.8 os testes de vibração para sua qualificação para vôo efetuados no LIT/INPE.



Figura 3.7 - Modelo de vôo do forno de solidificação multiusuário e módulo de controle.



Figura 3.8 - Teste de vibração / aceitação efetuado no LIT/INPE.

4 PERFORMANCE DO EXPERIMENTO ANTES E DURANTE O VÔO

No Centro de Lançamento de Alcântara (CLA) o experimento foi integrado à plataforma sem nenhum problema (Figura 4.1). Todas as suas funções como controle de aquecimento, aquisição de dados e mecanismo de subida e descida do forno com o sinal de microgravidade foram testados, tanto individualmente como em conjunto com os outros experimentos.



Figura 4.1 - Experimento integrado na plataforma.

Foram também instalados com sucesso, a fonte DC e módulo de potencia na plataforma do lançador, e o controle de temperatura na casamata. Todos os testes de aquecimento e controle efetuados com o equipamento, já montado no VS-30 na plataforma de lançamento, foram bem sucedidos sendo o experimento declarado pronto para o vôo.

Vinte minutos antes do lançamento o forno foi ligado remotamente da casamata, permitindo que sua temperatura se estabilizasse a 500 °C e que a amostra de PbTe fundisse completamente.

Devido aos vários adiamentos do momento do lançamento, o forno foi ligado e desligado várias vezes, o que ocasionou uma falha no módulo de potência. Este foi rapidamente trocado por um sobressalente, voltando o sistema a funcionar perfeitamente. Nos testes posteriores em laboratório com o módulo defeituoso, verificou-se que houve apenas um mau contato num cabo de ligação.

Como após o lançamento houve problemas na trajetória do vôo e com recuperação

da carga, não foi possível analisar os resultados do experimento.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Tendo em vista a perda dos experimentos da Operação Cumã, seria de grande interesse que o mesmo vôo fosse repetido assim que possível.

As fases anteriores ao vôo, bastante complexas, que envolveram o financiamento dos projetos, a construção dos sistemas, os testes dos experimentos, as qualificações para vôo, o deslocamento das equipes para Alcântara, foram extremamente bem sucedidas. Mesmo que a Operação tenha falhado no vôo em si e na recuperação dos dados, certamente estas fases anteriores foram muito úteis para um eventual aperfeiçoamento dos experimentos num próximo vôo e para a formação das equipes participantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMOF, E.; FERREIRA, S. O.; BOSCHETTI, C.; BANDEIRA, I. N. Characterization of $Pb_{0.8}Sn_{0.2}Te$ films grown on KCl substrates by hot wall epitaxy. **Journal of Crystal Growth**, v. 96, n. 3, p. 637–644, 1986.
- _____. Influence of interdiffusion on $n - PbTe / p - Pb_{0.80}Sn_{0.20}Te$ heterojunction diodes. **Infrared Physics**, v. 30, n. 1, p. 85–91, 1990.
- ABRAMOF, E.; FERREIRA, S. O.; RAPPL, P. H. O.; CLOSS, H.; BANDEIRA, I. N. Electrical properties of $Pb_{1-x}Sn_xTe$ layers with $0 \leq x \leq 1$ grown by molecular beam epitaxy. **Journal of Applied Physics**, v. 82, n. 5, p. 2405–2411, 1997. <http://dx.doi.org/10.1063/1.366051>.
- AN, C. Y.; BANDEIRA, I. N. **Lead-tin-telluride growth by VMS under microgravity conditions**. 1983. INPE-2834-RPE/081.
- AN, C. Y.; BANDEIRA, I. N.; FERREIRA, S. O.; MIRANDA, L. C. M.; RAPPL, P. H. O. **Proposal for a Lead-Tin-Telluride Crystal Growth in microgravity Environment using MIR facilities**. 1989. Proposta selecionada pelo Instituto de Pesquisas Cósmicas (IKI) da URSS para colocação do experimento na estação orbital MIR.
- AN, C. Y.; BANDEIRA, I. N.; FRANZAN, A. H.; EULÉRIO, S.; SLOMKA, S. The influence of gravity on PbSnTe crystals grown by the inverse bridgman method. In: INTERNATIONAL WORKSHOP IN HIGH GRAVITY, 2., 1993, Clarkson, USA. **Proceedings...** Clarkson, USA, 1993.
- AN, C. Y.; BANDEIRA, I. N.; FRANZAN, A. H.; EULÉRIO, S.; SLOMKA, S. The influence of gravity on PbSnTe crystals grown by the vertical Bridgman method. In: REGEL, L. L.; WILCOX, W. R. (Ed.). **Materials Processing in High Gravity**. New York, USA: Springer, 1994. p. 95–100. ISBN 978-1-4613-6073-5.
- AN, C. Y.; BANDEIRA, I. N.; ROWE, D. M.; MIN, G. An exact density formula for substitutional solid solution alloys. **Journal of Materials Science Letters**, v. 13, p. 1051–1053, 1994.
- AN, C. Y.; RAPPL, P. H. O.; CLOSS, H.; ABRAMOF, E.; MOTISUKE, P.; BOSCHETTI, C.; UETA, A. Y.; BANDEIRA, I. N. Proposal for lead-tin-telluride crystal growth by VMS method in microgravity at ISS. In: INTERNATIONAL

ASTRONAUTICAL CONGRESS, 51., 2000, Rio de Janeiro, Brasil.

Proceedings... Rio de Janeiro, Brasil, 2000.

AN, C. Y.; RUSSO, L. C.; RIBEIRO, M. F.; BANDEIRA, I. N. A low cost centrifuge for materials processing in high gravity. In: REGEL, L. L.; WILCOX, W. R. (Ed.). **Centrifugal Materials Processing**. New York, USA: Springer, 1997. p. 115–119. ISBN 978-1-4613-7722-1.

AN, C. Y.; SALGADO, E. G.; SILVA, C. R. M.; BANDEIRA, I. N. The influence of convection on axial and radial composition profiles in PbSnTe and HgCdTe. In: REGEL, L. L.; WILCOX, W. R. (Ed.). **Centrifugal Materials Processing**. New York, USA: Springer, 1997. p. 121–132. ISBN 978-1-4613-7722-1.

BANDEIRA, I. N. Lead-tin-telluride growth in a microgravity environment. In: ANNUAL ALABAMA MATERIALS RESEARCH CONFERENCE, 7., 1993, Huntsville, USA. **Proceedings...** Huntsville, USA, 1993. Invited Talk.

BANDEIRA, I. N.; AN, Y. A.; RUSSO, L. C.; RIBEIRO, M. F. **Projeto e construção de um controlador com duas zonas de temperaturas para o forno de cristalização da centrífuga de treinamento de astronautas do Instituto de Pesquisas Cósmicas (IKI) da URSS**. 1992.

BANDEIRA, I. N.; CLOSS, H.; VEISSID, N.; SMITH, S. R.; MCDONALD, W. T.; DELUCAS, L. J. X-ray detector test experiment on MIR. In: STAIF-2000 CONFERENCE, 2000, New Mexico, USA. **Proceedings...** New Mexico, USA, 2000.

BANDEIRA, I. N.; ILA, D. **Technical Proposal for a Lead-Tin-Telluride Growth by VMS Method in Microgravity**. 1993. Projeto apresentado pelo INPE e Alabama A&M University à NASA para colocação de experimento a bordo do Space Shuttle.

BANNISTER, T. C.; GRODZKA, P. G.; SPRADLEY, L. W.; BOURGEOIS, S. V.; HEDDEN, R. O.; FACEMIRE, B. R. **NASA Report No. TMX-64772**. 1973.

BOSCHETTI, C.; BANDEIRA, I. N.; CLOSS, H.; UETA, A. Y.; RAPPL, P. H. O.; MOTISUKE, P.; ABRAMOF, E. Molecular beam epitaxial growth of PbTe and PbSnTe on si(1 0 0) substrates for heterojunction infrared detectors. **Infrared Physics & Technology**, v. 42, n. 2, p. 91–99, 2001.

[http://dx.doi.org/10.1016/S1350-4495\(01\)00061-5](http://dx.doi.org/10.1016/S1350-4495(01)00061-5).

BOSCHETTI, C.; RAPPL, P. H. O.; UETA, A. Y.; BANDEIRA, I. N. Growth of narrow gap epilayers and p-n junctions on silicon for infrared detectors arrays. **Infrared Physics**, v. 34, n. 3, p. 281–287, 1993. DOI: 10.1016/0020-0891(93)90015-Y.

CROUCH, R. K.; AL et. **NASA Technical Memorandum No.85698**. 1983.

CROUCH, R. K.; FRIPP, A. L.; DEBNAM, W. J.; CLARK, I.; CARLSON, F. M. Optimization studies for the growth of $Pb_{1-x}Sn_xTe$ in space. **Advances in Ceramics**, v. 5, p. 186–194, 1983. ISSN 07309546.

ETHRIDGE, E. C.; AL et. **NASA/CP-1999-209628**. 1999.

FABBRI, M.; BANDEIRA, I. N.; MIRANDA, L. C. M. Theoretical model for the solute distribution of a pbsnte growth by vms in microgravity environment. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASTRONAUTICAL FEDERATION, 39., 1988, Bangalore, India. **Proceedings...** Bangalore, India, 1988. INPE-4664-PRE/1365.

_____. A model for mass transfer in VMS crystal growth. **Journal of Crystal Growth**, v. 104, n. 2, p. 435–444, 1990.

FERREIRA, S. O.; ABRAMOF, E.; MOTISUKE, P.; RAPPL, P. H. O.; CLOSS, H.; UETA, A. Y.; BOSCHETTI, C.; BANDEIRA, I. N. Experimental observation of the band inversion in the PbSnTe system. **Journal of Applied Physics**, v. 86, n. 12, p. 7198–7200, 1999. doi: 10.1063/1.371815.

FERREIRA, S. O.; ABRAMOF, E.; RAPPL, P. H. O.; UETA, A. Y.; CLOSS, H.; BOSCHETTI, C.; MOTISUKE, P.; BANDEIRA, I. N. Reciprocal space maps of PbTe/SnTe superlattices. **Journal of Applied Physics**, v. 84, n. 7, p. 3650–3653, 1998. Doi: 10.1063/1.368540.

FERREIRA, S. O.; MOTISUKE, P.; ABRAMOF, E.; RAPPL, P. H. O.; CLOSS, H.; BOSCHETTI, C.; UETA, A. Y.; BANDEIRA, I. N. Band crossing evidence in PbSnTe observed by optical transmission measurements. **Brazilian Journal of Physics**, v. 29, n. 4, p. 771–774, 1999. ISSN 0103-9733. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-97331999000400033>.

FRIPP, A. L.; AL et. **NASA/CP-1998-207891**. 1998.

GLAGOLEVA, N. N.; KRESTOVNIKOU, A. N.; GLAZOV, V. M. **Inorgan. Mater.**, v. 4, p. 1647, 1968.

GLAZOV, V. M.; CHIZHEVSKOYA, S. N.; GLAGOLEVA, N. N. **Liquid semiconductors**. New York: Plenum, 1969.

GUYENNE, T. D. **Material Sciences in Space**: Proceedings of the Third European Symposium Jointly Organised by the European Space Agency, the Centre National D'Études Spatiales and the Commissariat À L'Énergie Atomique, Grenoble. Noordwijk, Netherlands: ESA Scientific and Technical Publications Branch, 1979. Experiment Modules and Facilities in TEXUS I and II.

HALVORSEN, T.; BATTRICK, B.; ROWLEY, C. **European sounding-rocket, balloon and related research with emphasis on experiments at high latitudes**: proceedings of a symposium held in ajaccio. Noordwijk, Netherlands: ESA Scientific and Technical Publications Branch, 1978. Performance of Apparatus and Equipment in TEXUS I.

J.R.CARRUTHERS. Thermal convection instabilities relevant to crystal growth from liquids. In: WILCOX, W. R.; DEKKER, M. (Ed.). **Preparation and Properties of Solid State Materials**. New York, USA: Inc., 1977. v. 3, p. 1–121.

KINOSHITA, K.; MIYAZAWA, S. Large homogeneous $Pb_{1-x}Sn_xTe$ single crystal growth by vapor-melt-solid mechanism. **Journal of Crystal Growth**, v. 57, n. 1, p. 141–144, 1982. [Http://dx.doi.org/10.1016/0022-0248\(82\)90260-3](http://dx.doi.org/10.1016/0022-0248(82)90260-3).

KINOSHITA, K.; SUGII, K. $PbTe - SnTe$ mutual diffusion coefficient at just above the $Pb_{0.8}Sn_{0.2}Te$ solidus temperature. **Journal of Crystal Growth**, v. 67, n. 2, p. 375–379, 1984. ISSN 00220248.

KINOSHITA, K.; YAMADA, T. Surface tension of $Pb_{0.8}Sn_{0.2}Te$ melt and the effect of marangoni convection in microgravity crystal growth. **Journal of Crystal Growth**, v. 96, n. 4, p. 953–956, 1989. ISSN 00220248.

_____. $Pb_{1-x}Sn_xTe$ crystal growth in space. **Journal of Crystal Growth**, v. 147, n. 1-2, p. 91–98, 1995. ISSN 00220248.

PARKER, S. G.; JOHNSON, R. E. Preparation and properties of (pb,sn)te. In: WILCOX, W. R.; DEKKER, M. (Ed.). **Preparation and Properties of Solid State Materials**. New York, USA: Inc., 1981. v. 6, p. 1–65.

RAPPL, P. H. O.; CLOSS, H.; FERREIRA, S. O.; ABRAMOF, E.; BOSCHETTI, C.; MOTISUKE, P.; UETA, A. Y.; BANDEIRA, I. N. Molecular beam epitaxial

growth of high quality $Pb_{1-x}Sn_xTe$ layers with $0 \leq x \leq 1$. **Journal of Crystal Growth**, v. 191, n. 3, p. 466–471, 1998. ISSN 1350-4495.

REGEL, L. L.; OLENIKOV, A. Y.; TURCHANINOV, A. M.; SHUMAEV, O. V.; AN, C. Y.; BANDEIRA, I. N. **Growth of PbSnTe crystals by the vapor-liquid-solid technique using the kristalizator furnace for MIR**. 1990. USSR Space Research Institute Report #1661.

REGEL, L. L.; OLENIKOV, A. Y.; TURCHANINOV, A. M.; SHUMAEV, O. V.; BANDEIRA, I. N.; AN, C. Y.; RAPPL, P. H. O. Growth of PbSnTe crystals under high-gravity. **Journal of Crystal Growth**, v. 119, n. 1-2, p. 94–97, 1992. DOI: 10.1016/0022-0248(92)90208-Z.

ROBINSON, M. B.; AL et. **NASA/CP-1998-208868**. 1998.

ROSENBERGER, F. **Fundamentals of Crystal Growth I**. 2. ed. New York: Springer-Verlag, 1979. (Springer Series in Solid-State Sciences Series). ISBN 9783540090236.

SCHEIL, E. Bemerkungen zur schichtkristallbildung. **Zeitschrift für Metalkunde**, p. 70–72, 1942.

SMITH, K. A. On convective instability induced by surface-tension gradients. **Journal of Fluid Mechanics**, v. 24, n. 2, p. 401–414, 1966. ISSN 0022-1120. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S0022112066000727>.

SMITH, V. G.; TILLER, W. A.; RUTTER, J. W. A mathematical analysis of solute redistribution during solidification. **Canadian Journal of Physics**, v. 33, n. 12, p. 723–745, 1955. Doi: 10.1139/p55-089.

ZASAVITSKII, I. I.; BUSHUEV, E. V.; FERREIRA, S. O.; MOTISUKE, P.; BANDEIRA, I. N. Quantum-size shift in $PbTe/BaF_2$ MQW structure photoluminescence spectra. **Superlattices and microstructures**, v. 25, n. 3, p. 537–554, 1999. ISSN 0749-6036. International Conference on Superlattices, Microstructures and Microdevices N°9, Liege , Belgique.

