

Caracterização de lâminas Niti e compósitos ativos através de ensaios Eletrotermomecânicos**Characterization of Niti and active composites blades through Electrothermechanical tests**

DOI:10.34117/bjdv6n8-097

Recebimento dos originais: 08/07/2020

Aceitação para publicação: 11/08/2020

Paulo Ricardo de Oliveira Queiroz

Engenheiro Mecânico

Instituição: Universidade Federal da Paraíba

Endereço: Rua Melo Franco, 1638- Bairro: Santo Antônio; Mossoró-RN/Brasil

E-mail: pauloricardo.eq@hotmail.com

Luiz Paulo de Oliveira Queiroz

Mestre

Instituição: Instituto Federal do Ceará- IFCE

Endereço: Rua Estevão Remígio de Freitas, 1145 - Bairro: Monsenhor Otávio; Limoeiro do Norte-CE/ Brasil

E-mail: luiz.paulo@ifce.edu.br

Fernanda Monique da Silva

Mestra

Instituição: Instituto Federal do Ceará- IFCE

Endereço: Rodovia CE-377, Km 2 - Sítio Taperinha; Tabuleiro do Norte-CE/ Brasil

E-mail: fernanda.monique@ifce.edu.br

Rafael Leandro Fernandes Melo

Mestre

Instituição: Instituto Federal do Ceará- IFCE

Endereço: Rodovia CE-377, Km 2 - Sítio Taperinha; Tabuleiro do Norte-CE/ Brasil

E-mail: rafael.melo@ifce.edu.br

Isabel Cristina da Costa Souza

Doutora

Instituição: Secretaria do Estado do Rio Grande do Norte

Endereço: Rua Ferreira Itajubá, 296 – Bairro: Santo Antônio; Mossoró-RN, Brasil

E-mail: bel.cris@outlook.com

João Dehon da Rocha Junior

Mestre

Instituição: Instituto Federal do Ceará- IFCE

Endereço: Rodovia CE-377, Km 2 - Sítio Taperinha; Tabuleiro do Norte-CE/ Brasil

E-mail: dehon.junior@ifce.edu.br

Allan da Silva Maia

Especialista

Instituição: Instituto Federal do Ceará- IFCE

Endereço: Rua Dr Gaspar de Oliveira, 2101- Bairro: Monsenhor Otávio; Tabuleiro do Norte-CE/
Brasil

E-mail: allanmaia@ifce.edu.br

Zoroastro Torres Vilar

Doutor

Instituição: Universidade Federal do Semi-Árido

Endereço: Avenida Francisco Mota, 572- Bairro: Pres. Costa e Silva; Mossoró-RN, Brasil

E-mail: zoroastro@ufersa.edu.br

RESUMO

As ligas com memória de forma (LMF), são materiais metálicos que têm a capacidade de, depois de serem sujeitos a deformações a frio, retornam à sua forma pré-deformada ("memória") quando submetidas a uma ativação térmica ou induzida pela aplicação de uma corrente elétrica (Souza e Aliaga, 2020). O fenômeno de memória de forma pode ser visto principalmente nas ligas a base de cobre-zinco, cobre-alumínio, cobre-estanho e níquel-titânio. Quando comercializados, esses materiais apresentam-se em diversos formatos, sendo os mais comuns em formas de fio, barra e lâmina. Nesta pesquisa, utilizaram-se como materiais de trabalho, amostras de compósitos embutidas com lâminas de NITI. As lâminas (fitas) foram disponibilizadas pelo Laboratório multidisciplinar de materiais e estruturas ativas-LaMEA, já os compósitos GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) foram fabricados no próprio laboratório da UFERSA. Para esta fabricação, seguiu-se o ciclo de cura proposto pelo fornecedor da resina epóxi, com auxílio de um forno e um molde projetado especificamente para essa finalidade. Para embutir as lâminas de NITI, inicialmente foi realizado um tratamento térmico utilizando uma temperatura de 450 °C durante 30 minutos, com posterior resfriamento ao ar. Após esse procedimento, realizou-se o embutimento das lâminas através de moldes metálicos, onde foi possível direcionar e alinhar as fitas com distâncias conhecidas, de forma homogênea. No total, fabricaram-se 3 amostras GFRP/NITI, com frações volumétricas de 3.51%, 7.88% e 9.2%. Para a caracterização dos compósitos GFRP/NITI, a princípio foram realizados ensaios mecânicos, para que pudéssemos obter dados suficientes para a caracterização termomecânica. Dessa forma, realizaram-se ensaios de tração nas lâminas e nas amostras GFRPs até sua ruptura, com o objetivo de determinar as constantes elásticas de cada material ensaiado. Através desses ensaios foi possível gerar gráficos de tensão/deformação e localizar a zona ideal (elástica) dos compósitos GFRP/NITI, para efetuar a caracterização de forma segura, sem comprometer as amostras. Para a obtenção das temperaturas de transição das lâminas com memória de forma foram realizados ensaios do tipo RET (resistência/temperatura), utilizando para isso uma fonte de corrente contínua e uma unidade de aquisição de dados LXI. Com este ensaio, determinaram-se os pontos iniciais e finais das fases martensita e austenita. Já para verificar o comportamento das fitas durante a mudança de fase, foram realizados ensaios de geração de força, que consiste na passagem de fluxo de corrente pelas amostras, aquecendo-as por efeito joule e provocando sua mudança de fase. Para realizar este ensaio utilizou-se uma fonte de corrente contínua e uma máquina de ensaios universal, a qual foi útil para auxiliar na obtenção dos dados. Com esse resultado, obteve-se um gráfico de força em função da corrente, onde foi possível analisar o esforço que a lâmina conseguiu gerar para cada valor de corrente e durante a sua transformação Austenita-Martensita. Por último, foi feita a caracterização termomecânica, onde as amostras dos compósitos ativos foram imersas em um sistema de banho termoregulável, adaptado a uma máquina

universal. Nesse dispositivo foi possível realizar ensaios de tração na região elástica dos compósitos, variando a temperatura a cada 10°C dentro de um intervalo (-10 °C a 110 °C), e observar a ativação do compósito GFRP/NITI com fração volumétrica 9.2%.

Palavras-chave: Compósitos ativos, SMA, GFRP/NITI, Caracterização.

ABSTRACT

As ligas com memória de forma (LMF), são materiais metálicos que têm a capacidade de, depois de serem sujeitos a deformações a frio, retornam à sua forma pré-deformada ("memória") quando submetidas a uma ativação térmica ou induzida pela aplicação de uma corrente elétrica (Souza e Aliaga, 2020). O fenômeno de memória de forma pode ser visto principalmente nas ligas a base de cobre-zinco, cobre-alumínio, cobre-estanho e níquel-titânio. Quando comercializados, esses materiais apresentam-se em diversos formatos, sendo os mais comuns em formas de fio, barra e lâmina. Nesta pesquisa, utilizaram-se como materiais de trabalho, amostras de compósitos embutidas com lâminas de NITI. As lâminas (fitas) foram disponibilizadas pelo Laboratório multidisciplinar de materiais e estruturas ativas-LaMEA, já os compósitos GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) foram fabricados no próprio laboratório da UFERSA. Para esta fabricação, seguiu-se o ciclo de cura proposto pelo fornecedor da resina epóxi, com auxílio de um forno e um molde projetado especificamente para essa finalidade. Para embutir as lâminas de NITI, inicialmente foi realizado um tratamento térmico utilizando uma temperatura de 450 °C durante 30 minutos, com posterior resfriamento ao ar. Após esse procedimento, realizou-se o embutimento das lâminas através de moldes metálicos, onde foi possível direcionar e alinhar as fitas com distâncias conhecidas, de forma homogênea. No total, fabricaram-se 3 amostras GFRP/NITI, com frações volumétricas de 3.51%, 7.88% e 9.2%. Para a caracterização dos compósitos GFRP/NITI, a princípio foram realizados ensaios mecânicos, para que pudéssemos obter dados suficientes para a caracterização termomecânica. Dessa forma, realizaram-se ensaios de tração nas lâminas e nas amostras GFRPs até sua ruptura, com o objetivo de determinar as constantes elásticas de cada material ensaiado. Através desses ensaios foi possível gerar gráficos de tensão/deformação e localizar a zona ideal (elástica) dos compósitos GFRP/NITI, para efetuar a caracterização de forma segura, sem comprometer as amostras. Para a obtenção das temperaturas de transição das lâminas com memória de forma foram realizados ensaios do tipo RET (resistência/temperatura), utilizando para isso uma fonte de corrente contínua e uma unidade de aquisição de dados LXI. Com este ensaio, determinaram-se os pontos iniciais e finais das fases martensita e austenita. Já para verificar o comportamento das fitas durante a mudança de fase, foram realizados ensaios de geração de força, que consiste na passagem de fluxo de corrente pelas amostras, aquecendo-as por efeito joule e provocando sua mudança de fase. Para realizar este ensaio utilizou-se uma fonte de corrente contínua e uma máquina de ensaios universal, a qual foi útil para auxiliar na obtenção dos dados. Com esse resultado, obteve-se um gráfico de força em função da corrente, onde foi possível analisar o esforço que a lâmina conseguiu gerar para cada valor de corrente e durante a sua transformação Austenita-Martensita. Por último, foi feita a caracterização termomecânica, onde as amostras dos compósitos ativos foram imersas em um sistema de banho termoregulável, adaptado a uma máquina universal. Nesse dispositivo foi possível realizar ensaios de tração na região elástica dos compósitos, variando a temperatura a cada 10°C dentro de um intervalo (-10 °C a 110 °C), e observar a ativação do compósito GFRP/NITI com fração volumétrica 9.2%.

Keywords: Active composites, SMA, GFRP/NITI, Characterization.

1 INTRODUÇÃO

O grande desenvolvimento que a engenharia vem proporcionando para o setor produtivo mundial, induz de forma instantânea a realização de pesquisas, na qual venham favorecer a evolução e o crescimento das tecnologias. Um dos principais pilares de estudo são os materiais mecânicos. Estes, quando utilizados de forma correta, são responsáveis pelo progresso de muitas empresas. Dessa forma, torna-se viável estudar as propriedades mecânicas dos materiais, analisar sua relevância e sua disposição inovadora.

O estudo e a caracterização de materiais é uma área importante, pois permite a seleção adequada do material fundamentado no desempenho do sistema em trabalho, além de orientar para o desenvolvimento de novos materiais. Dependendo da linha de pesquisa a que o material ou o sistema será submetido, a caracterização poderá abranger a avaliação de propriedades mecânicas, elétricas, magnéticas, óticas, químicas ou térmicas. Um dos métodos que vem sendo muito difundido nos laboratórios de engenharia de materiais é a caracterização através do banho térmico. Este sistema é utilizado como fonte de ativação térmica, na qual o material em estudo é embebido por um fluido com temperaturas de fusão e ebulição adequadas para o objeto de análise, e sobre ele, dependendo da propriedade que se deseja obter é conectado uma fonte de corrente contínua e uma unidade de aquisição de dados.

Pesquisas recentes demonstram que a utilização desse sistema em materiais inteligentes tem sido bastante eficaz. Materiais inteligentes são elementos capazes de reduzir custos e aperfeiçoar operações, sua capacidade adaptativa proporciona um desempenho diferenciado dos sistemas de engenharia. Em essência, esses materiais são caracterizados pelo acoplamento entre meios físicos diferentes, o que lhes confere características singulares que podem ser aplicadas de diferentes formas. O uso dos materiais inteligentes na vida cotidiana é uma realidade que vem se ampliando nos últimos anos. A utilização desses materiais permite imaginar sistemas mais eficientes e versáteis com reflexos na qualidade de vida, segurança e inovação. Dentro da classe de matérias inteligentes podemos citar as cerâmicas piezelétricas, que são elementos capazes de transformar esforços em corrente elétrica, fluidos eletro e magneto-reológicos e ligas com memória de forma (LMF), (SAVI, 2013).

No estudo do caso, utilizaram-se ligas de NITI com efeito de memória de forma em formato de lâminas. A proposta inicialmente foi inseri-las no banho térmico regulável, utilizando uma fonte de corrente contínua, um sistema de aquisição de dados e uma máquina de ensaios universal, com o objetivo de possibilitar a sua caracterização eletrotermomecânica. Esta caracterização pode ser aplicada em qualquer tipo de material, para o caso das ligas LMF, esta importância enfatiza-se pelas

suas grandes aplicações, as quais podem ser vistas em robótica, indústrias navais, aeronáutica, automobilística e em materiais biomecânicos, por possuírem propriedades semelhantes ao nitinol, entretanto, estes estudos ainda não são conclusivos (Lagoudas, 2008)

Neste trabalho é apresentado o projeto, a fabricação e a montagem de um protótipo para ensaios de natureza eletrotermomecânica, assim como os ensaios realizados para a caracterização das ligas e compósitos GFRP/NITI.

2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Inicialmente, foi elaborado um planejamento do projeto, com o intuito de identificar a estrutura adequada para o banho térmico regulável. Desta feita, desenvolveu-se um protótipo através de um software do tipo CAD, com o objetivo de realizar caracterizações termomecânicas em diferentes materiais mecânicos, através de ensaios de tração, flexão e resistência dois pontos. O banho térmico regulável, possui uma adaptação desenvolvida para realizar ensaios em máquinas universais do tipo Emic, dessa forma, para atender todos os critérios do sistema foi necessário fabricar algumas peças, tais como: 2 suportes (tração e compressão), 2 garras, 1 cuba e 2 barras de sustentação. Logo abaixo, na figura 1, podemos ver algumas peças do sistema de banho térmico modeladas pelo software CAD e posteriormente fabricadas por máquinas operatrizes.

Figura 1- Modelo estrutural do banho térmico



Como o método de caracterização das amostras necessita de um controle de temperatura durante o banho térmico, utilizou-se na cuba um revestimento com fibra de vidro, com o propósito de evitar trocas de calor com o meio ambiente e controlar a inércia térmica durante a realização dos ensaios. Outra observação importante no processo foi a utilização do silicone como fluido principal para a realização dos ensaios. Como as análises tinham uma variação de temperatura entre -10 a 110 °C, seria inviável utilizar um fluido com pontos de fusão e evaporação dentro desse intervalo, como

por exemplo a água, portanto, diante da necessidade, selecionou-se um líquido com características superiores aos dados de referência. Este fluido foi o óleo de silicone, um líquido incolor e inerte, usado como lubrificante para vários fins por manter suas propriedades em uma ampla faixa de temperatura. Suas temperaturas de fusão e ebulição são respectivamente -55 e 145 °C, logo um faixa de temperatura ideal para a realização da caracterização dos materiais.

2.1 CONTROLE DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO E AQUECIMENTO

Para a realização da caracterização termomecânica das ligas foi necessário associar ao projeto da cuba, um sistema de refrigeração e aquecimento, a qual pode ser visualizado na figura 2. O Sistema de refrigeração utilizado neste trabalho é constituído por: compressor hermético (1), Condensador (2), Cuba+ Evaporador (3) e válvula de expansão (4). Este sistema é baseado no ciclo real de refrigeração e foi utilizado para refrigerar as amostras até -10 °C. Já o sistema de aquecimento foi composto apenas por um aquecedor portátil, sendo responsável pelo aquecimento das amostras até 110 °C. A união desses sistemas tem como objetivo ativar as amostras para coletar dados das suas propriedades mecânicas e elétricas.

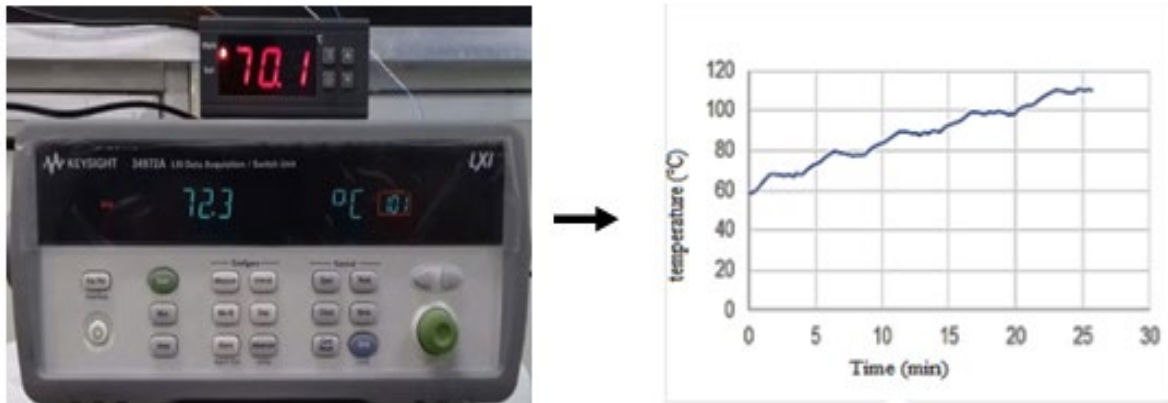
Figura 2- Sistema de refrigeração e aquecimento utilizados durante os ensaios



Uma das características importantes para o sistema termoregulável é o controle das temperaturas do processo. Neste trabalho, o controle foi efetuado através de controladores de temperaturas eletrônicos, figura 3, que tinham a função de estabilizar as temperaturas nos pontos de trabalho, com o objetivo de analisar através de ensaios termomecânicos, como se comportaria as propriedades de cada material variando-se a temperatura a cada 10°C. Esta análise tem grande

relevância, uma vez que através dela, pode-se garantir o comportamento de um material sob diferentes condições de temperatura e ao mesmo tempo identificar em qual fase se encontram.

Figura 3- Estabilização das temperaturas durante os ensaios



2.2 CARACTERIZAÇÃO ELETROTÉRMICA DAS LIGAS NITI

Para realizar a caracterização eletrotérmica das ligas, no caso as com efeito de memória de forma é necessário impor uma variação de temperatura suficiente para promover a mudança de fase. Como meio de aquecimento para ativação, utiliza-se geralmente duas formas, a primeira consiste na aplicação de uma corrente elétrica que aquece o material por efeito joule e a segunda consiste na ativação térmica do material através de aquecimento e/ou resfriamento por uma fonte externa, no qual o material é submetido a variações de temperaturas e conseqüentemente ensaiado em várias condições para análise das propriedades. Dessa forma, com os dados indicados pelos ensaios, pode-se identificar como cada material se comporta em cada temperatura e em cada fase da sua constituição. Nesta etapa um dos ensaios realizados foi o do tipo RET (resistência/Temperatura). Neste foi possível detectar a variação da resistência elétrica em cada temperatura de trabalho. Na figura 4, pode-se ver a configuração utilizada para realizar esses ensaios.

Figura 4- Lâmina de NiTi conectada a fonte elétrica e imersa no banho térmico



Nesta pesquisa, utilizou uma unidade de aquisição de dados LXI, figura 5, o mesmo possui até 11 sinais de entrada diferentes, incluindo temperatura com termopares, termorresistências (RTDs) e termistores, tensão ou corrente CC/CA, resistência a 2 ou 4 fios, frequência e período, (Technologies, 2017). Este equipamento foi disponibilizado pela universidade federal rural do Semi- Árido. Através dele foi possível realizar ensaios de resistência dois fios e registrar o comportamento das ligas NITI entre as temperaturas -10 a 110° C, utilizando o banho termoregulável. Foram investigadas amostras de Lâmina NITI tratadas termicamente com diferentes taxas de aquecimentos, onde determinou-se através de ensaios eletrotérmicos parâmetros físicos de cada amostra, tais como: temperaturas críticas de transformações e a variação dessas temperaturas ao longo dos ciclos térmicos de trabalho mecânico realizado.

Figura 5- Unidade de aquisição de dados LXI

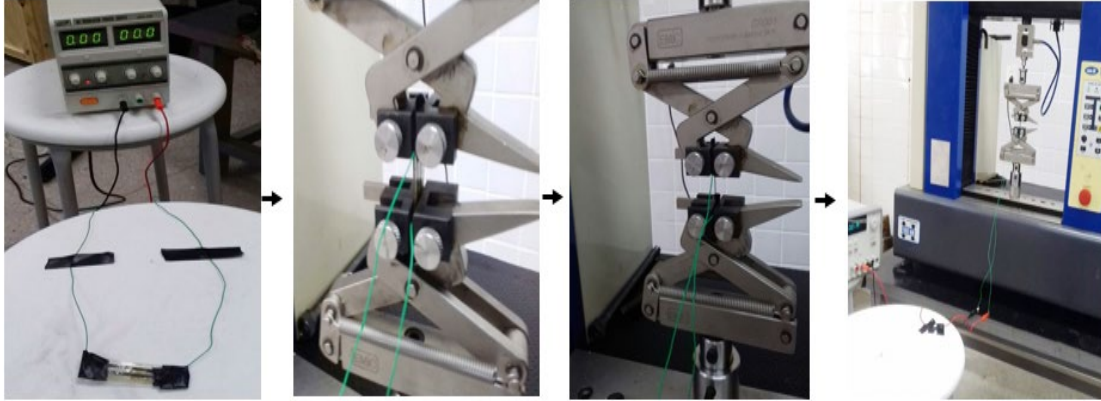


2.3 METODOLOGIA PARA ENSAIO DE GERAÇÃO DE FORÇA

O ensaio de geração de força é realizado para determinação do esforço gerado pela liga no momento da sua transição de fase. Nesta análise, para determinar esse fenômeno, inicialmente verificou-se por meio de testes experimentais a corrente elétrica de ativação da lâmina LMF, para não ultrapassar o limite de escoamento. Em seguida, fixou-se a liga de NITI em uma máquina de

ensaio com a configuração para esforço de tração e adicionou-se uma pré-carga. Com ensaio preparado, conectou-se ao sistema, figura 6, uma fonte de corrente contínua para promover a ativação liga.

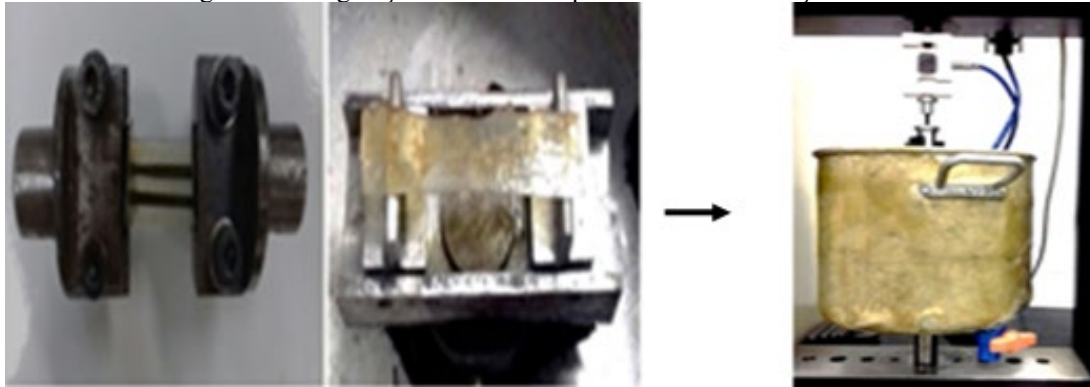
Figura 6- Metodologia para ensaio de geração de força



2.4 CARACTERIZAÇÃO TERMOMECÂNICA DE COMPÓSITOS GFRP/NITI

Para verificar o comportamento termomecânico, inicialmente realizou-se ensaios mecânicos de tração com as Lâminas de NITI e compósitos a base de fibra de vidro, para determinação da região de trabalho, uma vez que os ensaios termomecânicos seriam desenvolvidos na zona elástica do compósito GFRP/NITI (Glass Fiber Reinforced Polymer). Após os testes iniciais, os compósitos embutidos com NITI foram fixados no banho térmico regulável e submetidos a variações térmicas entre -10°C a 110°C , onde a cada intervalo de 10°C realizava-se ensaios de tração para verificar o comportamento de ativação do compósito GFRP/NITI. Na figura 7, encontra-se o arranjo adotado para os ensaios de tração e flexão respectivamente. No caso dos ensaios de tração, para fixação das amostras foi necessário manter a área de contato entre as garras em perfeito alinhamento, além da superfície bastante polida, pois as amostras eram frágeis e apresentavam áreas muito pequenas, aumentando significativamente o risco de deslizamento ou ruptura dentro do dispositivo.

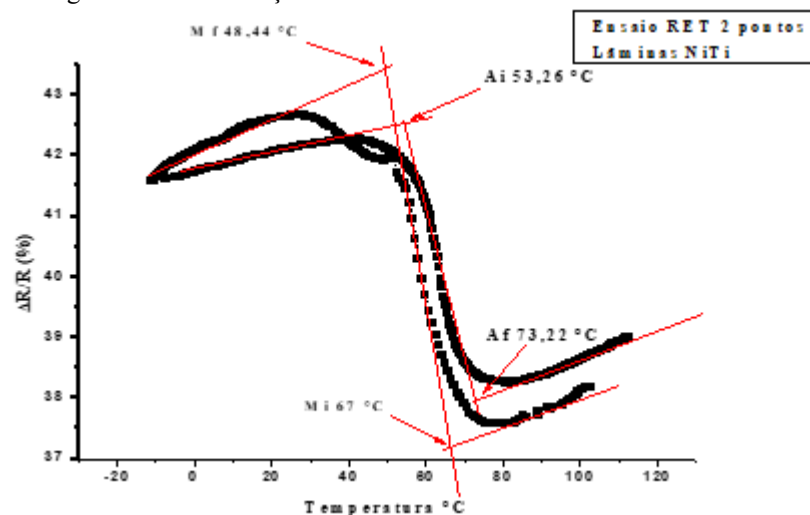
Figura 7-Configuração das amostras para os ensaios de tração e flexão



3 RESULTADOS

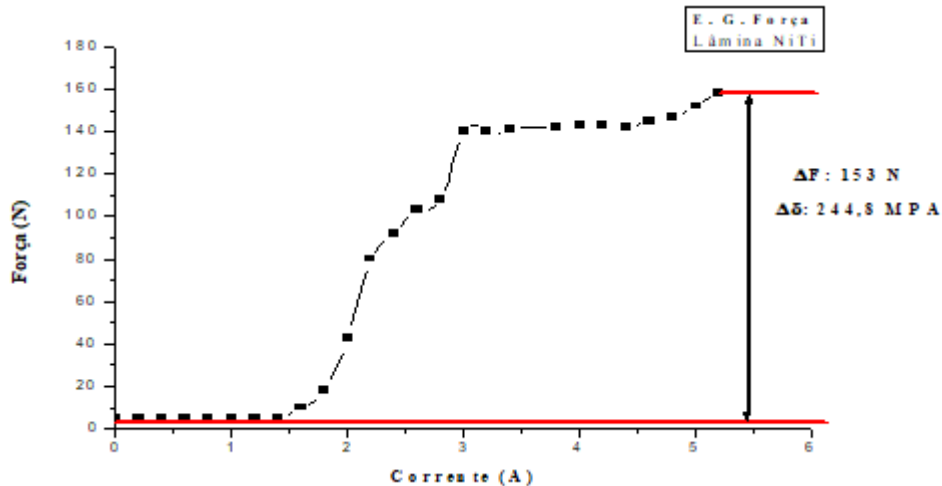
Com o projeto do banho, conseguiu-se obter resultados bastante satisfatórios. Nos ensaios eletrotérmicos do tipo RET, o sistema quantificou temperaturas negativas e positivas entre (-10 a 110 °C), na qual foi possível desenvolver curvas de transformação de fase Austenita-Martensita nas lâminas de NITI. Estas fases podem ser identificadas através dos picos crescentes e decrescentes de resistência elétrica. Para esta identificação, utilizou-se o método das tangentes, como pode ser visualizado na figura 8.

Figura 8- Caracterização eletrotérmica da Lâmina NITI – Ensaio RET



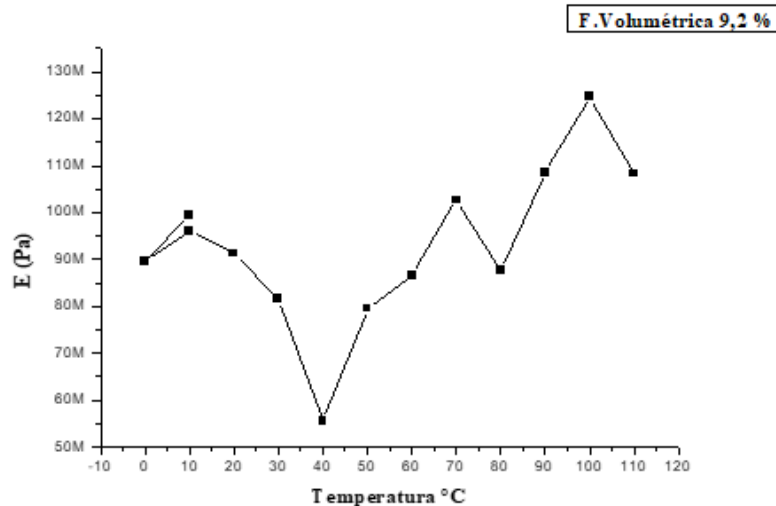
Para o ensaio de geração de força com a lâmina de NITI foi possível observar a variação de força e da tensão mecânica com a mudança da corrente elétrica a cada 0.5 A, figura 9. O esforço gerado pela liga foi contabilizado pelo mostrador digital da máquina de ensaios universal.

Figura 9- Ensaio de Geração de força para a lâmina NITI



Outro ponto importante, agora nos ensaios termomecânicos foi a eficácia das análises de tração. Com o auxílio da máquina de ensaios universal e com os compósitos GFRP/NITI (Glass Fiber Reinforced Polymer) embebidos com silicone, analisou-se o comportamento do módulo elástico das amostras em diferentes temperaturas. Segundo Otsuka, K (2003), esperava-se um comportamento positivo em relação ao módulo elástico das ligas com o aumento da temperatura. Portanto entre as 3 amostras com diferentes frações volumétricas utilizadas nesta caracterização, apenas uma conseguiu ser ativada com as características da liga LMF e seguir de forma coerentemente a fonte citada. Para a amostra com fração volumétrica de 9.2% o módulo elástico aumentou progressivamente no ponto 70°C , justamente onde ocorre a transformação de fase da liga NITI, figura 10. De forma indireta, este equipamento abriu oportunidade para outros estudos de interesse nesta área, com outros materiais, como por exemplo avaliar a temperatura de transição vítrea em materiais amorfos entre um estado relativamente rígido e um estado mole e “borrachoso”.

Figura10. Caracterização termomecânica do compósito GRFP/NITI



REFERÊNCIAS

SAVI, Marcelo; OLIVEIRA, Sergio A.. Os Materiais Inteligentes e suas Aplicações. Revista Marítima Brasileira, Rio de Janeiro, v. 5, n. 8, p.22-55, abr. 2013.

TECHNOLOGIES, Keysight. 34972A Unidade de aquisição, comutação e registro de dados LXI. Disponível em: <<https://www.keysight.com/pt/pd-1756491-pn-34972A/lxi-data-acquisition-data-logger-switch-unitcc=BR&lc=por>>. Acesso em: 24 nov. 2017.

Xu, Y.; Otsuka, K.; Nagai, H.; Yoshida, H.; Asai, M.; Kishi, T.; A SMA/CFRP Hybrid Composite with Damage Suppression Effect at Ambient Temperature. Scripta Materialia, v. 49, pp. 587–593, 2003.

Lagoudas, D.C, (2008), Shape Memory Alloys Modeling and Engineering Applications, Springer.

SOUZA, Yuri Rocha; SOUZA, Pedro Henrique P.; ALIAGA, Luis César R.. Estudo das transformações martensíticas em ligas niti via simulação de dinâmica molecular. Brazilian Journal Of Development, [S.L.], v. 6, n. 4, p. 19067-19080, 2020. Brazilian Journal of Development. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n4-175>.