



21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

AVALIAÇÃO DE DISPOSITIVO ELETRÔNICO PARA AQUECIMENTO DE LIGA NI-TI EM ENSAIOS DE MICRODUREZA

Diego Gabriel Gomes Rosa, diegogabriel@id.uff.br
José Flávio Silveira Feiteira, joseflavio@vm.uff.br
Gláucio Soares da Fonseca, glaucio@metal.eeimvr.uff.br

Universidade Federal Fluminense, Av. dos Trabalhadores, 420, Vila Sta. Cecília. 27255-125, Volta Redonda, RJ.

Resumo: Este trabalho apresenta a elaboração e a avaliação de um dispositivo experimental para uso em aquecimento de liga Ni-Ti em ensaios mecânicos. Essa liga possui como principal propriedade o efeito memória de forma, o que implica em sua crescente aplicação na Engenharia. Porém, o Ni-Ti possui uma difícil caracterização macro e microestrutural. Um dos fatores complicadores decorre do fato de suas propriedades serem geralmente estudadas em testes que envolvem variação de temperatura e aplicação de forças, simultaneamente. Por um lado, o uso de máquinas de ensaio dotadas de fornos e/ou dispositivos criogênicos facilita a obtenção de resultados. Por outro lado, determinados tipos de máquinas de ensaio não possuem esses equipamentos acoplados. Assim, surge a necessidade de criar-se dispositivos externos que possibilitem a realização de ensaios nessas condições. Neste contexto, busca-se aqui elaborar um dispositivo que seja removível, controlado por microcontrolador, com atuador baseado em uma pastilha termoelétrica e com sistema de aquisição de dados de temperatura que funcione de forma integrada a um microcomputador e em tempo real. O equipamento deve também ser compatível com as dimensões e características de máquinas de indentação, nas quais os testes serão futuramente realizados. E todo o processo deve priorizar um aquecimento uniforme e preciso da liga, a fim de nela não ocorrerem mudanças de fase indesejadas. Através de alguns testes, percebe-se que o aparelho montado é capaz de realizar o controle de temperatura indicado, ainda que com algumas ressalvas. Também é possível observar, através desses testes, como os parâmetros do processo, as características da liga e as condições ambientes interferem no comportamento do sistema de controle proposto.

Palavras-chave: dispositivo experimental, controle de aquecimento, ensaios mecânicos, liga Ni-Ti.

1. INTRODUÇÃO

Ligas com memória de forma são materiais que possuem a capacidade de recuperar um formato previamente definido, mesmo depois de severamente deformados. Existem diversas formas de induzir esse efeito em uma liga. Uma delas, conforme ocorre com a liga Ni-Ti (ou Nitinol), é através da variação de temperatura (Chopra et al., 2013). Neste caso, o efeito de recuperação de forma está relacionado às transformações de fase que ocorrem no material quando nele se realiza alguma variação de energia. Assim, quando utilizado em temperaturas baixas, o material possui uma microestrutura martensítica, apresentando elevada plasticidade e, portanto, podendo ser facilmente deformado. Ao ter sua temperatura gradualmente elevada, uma microestrutura austenítica é formada em meio à martensita. Ao mesmo tempo, a liga realiza seu processo de recuperação de forma. Por fim, quando um valor de temperatura mais alto é atingido, a liga se torna completamente austenítica e sua forma original é totalmente recuperada (Mizar, 2015). Dentre as aplicações desse tipo de liga, destacam-se seu uso na medicina (*stents*), na ortodontia (arcos ortodônticos), na automobilística, na aeronáutica e para fins militares. E, no futuro, há perspectivas de que essa liga possa também ser empregada em sensores e atuadores de alta eficiência (Anadón, 2002; Strittmatter et al., 2013).

Entretanto, ainda que já esteja em uso, o Ni-Ti possui inúmeras propriedades ainda desconhecidas, especialmente nas regiões de temperatura em que ambas fases, martensita e austenita, coexistem. Assim, inúmeros trabalhos têm focado no estudo do comportamento da liga nessa região de transição (Fuentes et al., 2002). Uma técnica encontrada recentemente utiliza-se de ensaios de dureza para o mapeamento da distribuição de propriedades no material (Maletta et al., 2012). Porém, as máquinas que realizam esse tipo de ensaio geralmente não possuem dispositivos para o controle da temperatura do material testado. Torna-se, assim, indispensável implantar algum aparelho que realize esta tarefa.

Dentre as técnicas de variação de temperatura que normalmente são utilizadas em testes com o Nitinol, destaca-se o uso do efeito Joule (Miková et al., 2015). Neste caso, o aquecimento é feito ao se percorrer uma corrente elétrica no interior do material. Tal efeito é modelado a partir da Eq. (1), onde Q (J) é a quantidade de energia necessária para o aquecimento da liga, desprezando possíveis perdas, I (A) é a corrente elétrica que atravessa o material, R (Ω) é a resistência do material e depende de sua resistividade (ρ), de seu comprimento (l) e da área de sua seção transversal (A), e t (s) é o tempo em que há efetiva passagem de corrente elétrica pela liga.

$$Q = I^2 \times R \times t = I^2 \times (\rho \times l/A) \times t \quad (1)$$

Entretanto, a aplicação dessa técnica foi impossibilitada devido a duas limitações. Primeiramente, devido a resistência elétrica estar diretamente relacionada às dimensões do material, correntes muito elevadas podem ser necessárias. De fato, o efeito Joule é útil no aquecimento de fios, que possuem elevado comprimento e pequena seção transversal, conforme se pode depreender da Eq. (1). Em se tratando de ensaios de microdureza, os corpos de prova necessitam ter uma maior área e um menor comprimento. Portanto, isso torna a aplicação desta técnica inviável. Além disso, conforme estudado por Lacković et al. (2009), o uso do efeito Joule minimiza a capacidade de controlar a temperatura do Ni-Ti a nível local, isto é, as propriedades da liga, não sendo uniformes, não permitem uma variação uniforme de temperatura em seu interior.

Tendo em vista as limitações de aquecimento por efeito Joule, uma alternativa é o uso de um atuador térmico com acionamento elétrico. Para isso, uma pastilha Peltier, também chamada pastilha termoeletrônica, pode ser utilizada. Algumas vantagens em seu uso são a facilidade em se controlar a temperatura na sua superfície do material e suas dimensões serem apropriadas para uso em máquinas de microdureza. Além disso, é importante ressaltar que as transformações de fases do Ni-Ti, responsáveis pelo efeito memória de forma, ocorrem em temperaturas próximas à temperatura ambiente, ao contrário da maioria dos metais. Isso sugere que a pastilha termoeletrônica possa ser usada, em vantagem, se comparada ao efeito Joule, tanto para aquecimentos quanto para resfriamentos. Porém, neste segundo caso, seria necessário utilizar um dissipador térmico, conforme visto em Abadie et al. (2009). E como as dimensões do dispositivo com dissipador excederiam os limites espaciais disponíveis na máquina de microdureza, aqui a pastilha será usada apenas para o aquecimento da liga.

2. MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS

Nesta seção são apresentados os materiais utilizados para a confecção do dispositivo experimental e como se deu a programação do circuito utilizado no controle do sistema.

2.1. Materiais utilizados

Deseja-se aqui conceber um sistema de controle simplificado e em malha fechada. Este sistema deve possuir, portanto, três elementos básicos: um controlador, um atuador e um sistema de sensoriamento. Neste trabalho, um Arduino Due, baseado no microcontrolador Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 CPU, é utilizado. Para atuação térmica, é utilizada uma pastilha termoeletrônica, conforme citado anteriormente, e que opera a 12 V e possui 6 A de corrente máxima. O sensoriamento é feito a partir de termistores do tipo NTC (*Negative Temperature Coefficient*). Estes termistores, bem como os resistores usados nos divisores de tensão do circuito eletrônico, possuem resistência de 10 k Ω . Como os termistores ficam em contato com a pastilha termoeletrônica, uma pasta térmica de baixa condutividade elétrica é usada para melhorar a condução térmica entre os materiais.

O sinal de referência utilizado é um sinal modulado por largura de banda, ou PWM (*Pulse Width Modulation*), gerado no microcontrolador. Assim, para a interface entre o sistema de controle e de potência, um CI (circuito integrado) L298 é empregado. A Fig. 1 apresenta o desenho do circuito elaborado. Já a Fig. 2 apresenta o circuito inicialmente montado em uma *proto-board* e seus principais componentes. Devido às limitações de corrente do CI L298, uma fonte de 12 V e de 2 A é empregada. Apesar de fornecer apenas um terço da potência máxima, as temperaturas que se podem alcançar com ela estão dentro do esperado para o aquecimento do dispositivo.

O *software* Matlab é utilizado neste trabalho, para transmissão e aquisição de dados. Através dele foi implementada a equação de Steinhart-Hart, que relaciona valores de temperatura para cada valor lido de resistência do termistor. Este método é descrito através da Eq. (2), onde T (K) é a temperatura, R (Ω) é a resistência lida e os coeficientes “A”, “B” e “C” são os chamados coeficientes de Steinhart-Hart. Estes coeficientes variam com o tipo de termistor utilizado. O *software* também é utilizado para realização do controle da temperatura e na geração de gráficos para análise posterior.

$$\frac{1}{T} = A + B \ln(R) + C [\ln(R)]^3 \quad (2)$$

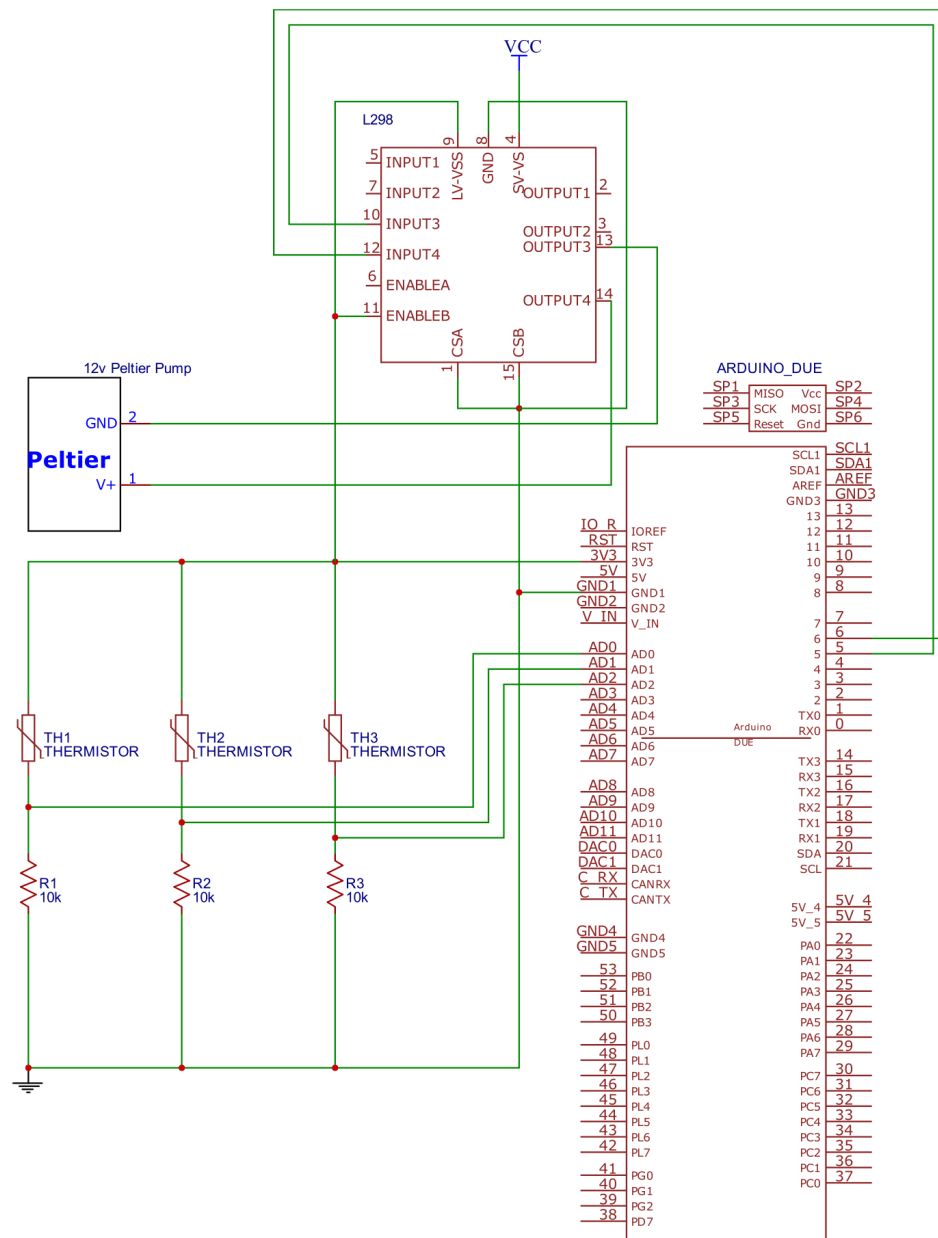


Figura 1. Circuito utilizado para aquecimento da pastilha termoeétrica

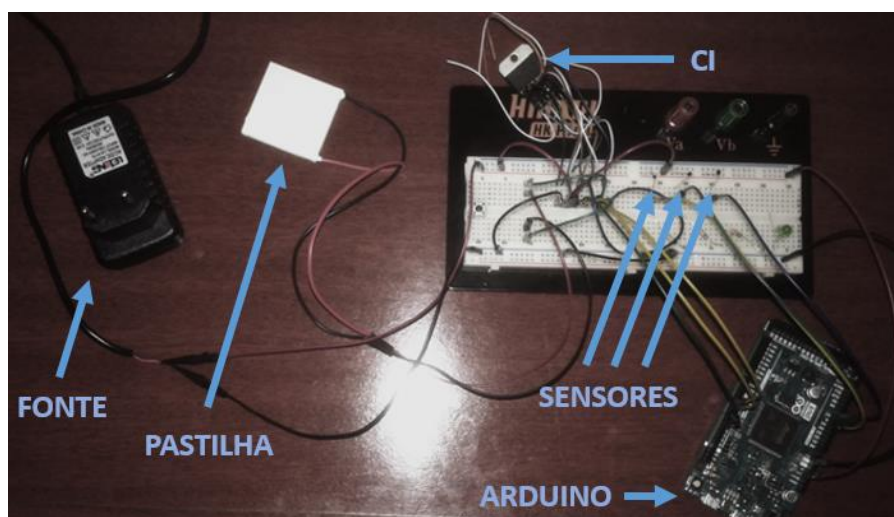


Figura 2. Circuito inicialmente implementado

2.2. Controle do dispositivo

A parte mais complexa na elaboração deste trabalho está relacionada ao controle de temperatura. Além das limitações dimensionais da máquina de ensaios, algumas propriedades físicas da liga dificultam o controle do aquecimento. A principal delas é em relação a uma histerese presente nas transformações de fase do Ni-Ti, responsável pela absorção de energia durante a mudança de forma (Mizar, 2015).

Considere “A” a fase austenítica, “M” a fase martensítica e os índices “i” e “f” o indicando o início e o fim das transformações de fase. Lembrando também que em baixas temperaturas a liga é totalmente martensítica e em temperaturas mais elevadas é totalmente austenítica. A Fig. 3 mostra que as curvas de transformação durante o aquecimento e o resfriamento não coincidem. Isto significa, em última análise, que para uma temperatura intermediária, as frações de austenita e martensita dependerão do fenômeno que ocorre: aquecimento ou resfriamento. Logo, para eliminar erros durante os ensaios, é preciso garantir que transformações indesejadas não ocorram. Isto é, o aquecimento e o resfriamento da liga devem ser constantes e uniformes. E a temperatura final deve ser igualmente precisa, a fim de ser possível, futuramente, comparar os resultados obtidos nos ensaios com o que fornecem os modelos atualmente existentes.

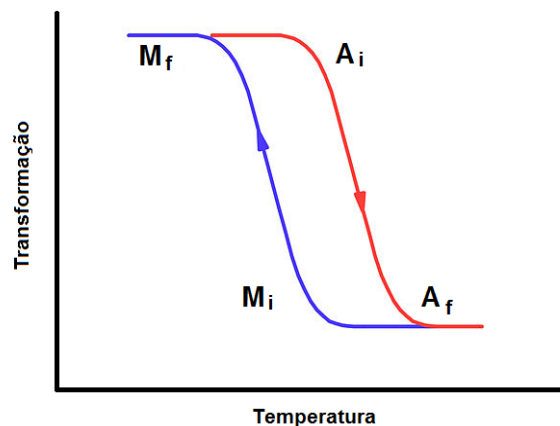


Figura 3. Histerese presente nas transformações de fase (Wikimedia, 2012)

Por conta dessa histerese, as ações de controle a serem utilizadas devem ser bem avaliadas. Por exemplo, os sinais de resposta usuais em um controle do tipo proporcional, geralmente aplicados em sistemas térmicos, apresentam variações em torno da temperatura de estabilização desejada. Durante este processo, a cada variação, inúmeras transformações de fase poderiam ocorrer e a análise do material seria comprometida. Isso impossibilita, portanto, o uso desse tipo de ação de controle neste trabalho.

Da mesma forma, a tecnologia do atuador influencia diretamente no comportamento dinâmico do processo. Aqui, a pastilha termoeletrônica utilizada apresenta um comportamento bastante não-linear. Ou seja, ela não possui uma temperatura de estabilização quando nela são aplicadas tensões e correntes elétricas conhecidas e constantes. Pelo contrário, as temperaturas mantêm uma tendência de crescimento com o decorrer do tempo. A Fig. 4 mostra o comportamento dinâmico do atuador usado neste trabalho em um teste de aquecimento com duração de 120 segundos. O *duty cycle*, mostrado na legenda, indica a fração de tempo, em porcentagem, na qual o sinal PWM está ativo, permitindo assim a passagem de potência elétrica do circuito de potência para o atuador.

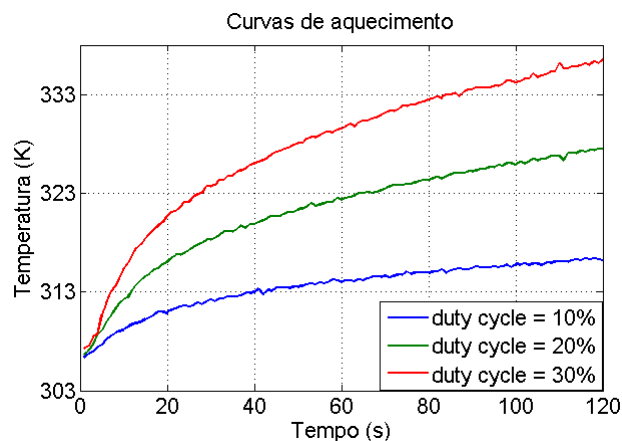


Figura 4. Curvas de aquecimento para diferentes valores de *duty cycle*

Tendo em vista as limitações previamente listadas, pode-se proceder com a escolha do tipo de controle a ser utilizado. Partindo das soluções mais simples, seria natural escolher um controle proporcional para o sistema térmico. Entretanto, o uso de ações de controle proporcionais ou a combinação delas com outras ações de controle foi previamente descartado, por conta das limitações relacionadas à histerese, anteriormente citadas. Outra estratégia clássica é o uso de uma ação de controle *on/off*. Neste caso, o atuador tem sua temperatura elevada gradativamente e de forma homogênea. Quando um patamar de temperatura é atingido, tem-se um resultado dentro de uma margem de erro preestabelecida, a qual deve ser o menor possível. A desvantagem, neste caso, é a presença de um erro estacionário, que sempre aparece ao se utilizar esse tipo de ação de controle.

Admitindo-se então o uso de um controle *on/off*, alguns ajustes podem ser executados, para a melhoria do desempenho do sistema. Sabe-se que o erro estacionário surge principalmente devido ao contraste entre as amplitudes dos valores de potência fornecidos ao atuador em um pequeno intervalo de tempo. Isto é, variar o sinal de entrada entre as potências máxima e mínima causa uma oscilação considerável na resposta do sistema. Porém, um controle *on/off* pode ser interpretado não apenas como uma chave liga-desliga, mas também como uma chave entre dois ou mais valores intermediários quaisquer de (Barron et al., 2014). Assim, depreende-se que seria interessante obter dois valores de potência de atuação que não estejam muito distantes um do outro. Essa tarefa seria bastante fácil, não fosse a ausência de estabilidade, mostrada na Fig. 4.

Uma forma encontrada para avaliar os melhores valores de entrada (potência elétrica) para um sinal de saída desejado (temperatura) pode ser obtida experimentalmente. Observando novamente a Fig. 4, admita-se que um tempo de 20 segundos seja o suficiente para realizar o aquecimento da liga até as temperaturas presentes no eixo das abscissas do gráfico. Para este tempo fixo, 45 novos ensaios são realizados, mas agora com valores de *duty cycle* aleatórios. Estes valores, ainda que aleatórios, são fixados para uma potência entre 0 e 30% da capacidade máxima de aquecimento da pastilha; acima disso, a temperatura da placa eleva-se além do necessário. A temperatura alcançada é então registrada para cada sinal PWM. Este sinal, por sua vez, varia de zero a 255. A partir desse processo, o gráfico presente na Fig. 5 é então obtido. Cada pequeno círculo apresentado no gráfico corresponde a um registro de temperatura e *duty cycle*. Na mesma Fig. 5 é apresentada uma curva que melhor se ajusta aos pontos obtidos. O polinômio do quinto grau que descreve essa curva pode ser visto na Eq. (3).

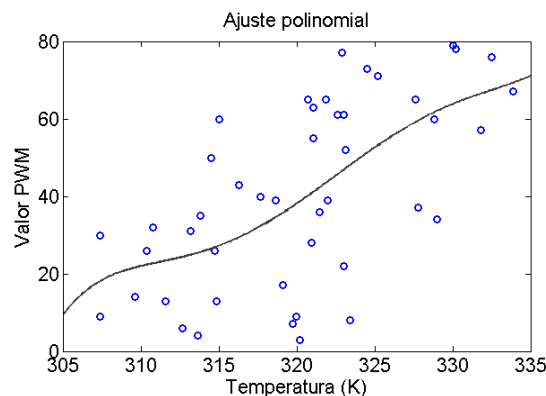


Figura 5. Ajuste de um polinômio do quinto grau

$$PWM = p_1 \times T^5 + p_2 \times T^4 + p_3 \times T^3 + p_4 \times T^2 + p_5 \times T + p_6 \quad (3)$$

Onde “PWM” é o valor do sinal PWM necessário para alcançar a temperatura “T” e os coeficientes são:

$$p_1 = 2,88 \times 10^{-5}; p_2 = -0,01; p_3 = 0,68; p_4 = -32,44; p_5 = 759,29; p_6 = -6996,1$$

Ainda, pela Fig. 5, percebe-se que os sinais PWM necessários para alcançar determinadas temperaturas estão dentro de uma faixa ou gama de valores, ao redor do polinômio ajustado. Esta faixa, resultado da dispersão das medições, depende principalmente da temperatura inicial do sistema, além da quantidade de calor perdida por convecção e da condução entre a pastilha e o material a ser aquecido. Portanto, para se realizar um melhor ajuste, é necessário estabelecer alguns ganhos para o controle *on/off* aqui realizado. Esses ganhos, que basicamente multiplicam o sinal PWM calculado na Eq. (3), são estabelecidos experimentalmente. Aumentando-se o valor do ganho, percebe-se que tempo de subida diminui; entretanto, o erro estacionário cresce. Os valores de ganho testados, bem como os gráficos para análise e validação do sistema de controle, são fornecidos na seção a seguir.

3. VALIDAÇÃO E RESULTADOS

Para realizar a validação do sistema, diversos testes foram realizados, variando-se a temperatura final desejada, os ganhos utilizados, a temperatura inicial do sistema e a temperatura ambiente. Entretanto, apenas os dois primeiros parâmetros modificam consideravelmente o comportamento do sistema controlado, de forma que estes serão aqui analisados. Ainda, deve-se notar que os testes compreendem o controle da temperatura da superfície pastilha apenas. Considera-se aqui que a liga e a pastilha alcançam um equilíbrio de temperatura em um pequeno intervalo de tempo.

Em um primeiro momento, foram realizados testes com a temperatura a controlar fixada em 313 K e os ganhos variáveis. Em testes com ganho de valor 1,0 verificou-se que a temperatura desejada, por vezes, sequer foi alcançada nos primeiros minutos de aquecimento. Isto ocorre porque o ajuste polinomial utilizado acaba por desprezar os pontos mais distantes da curva mostrada na Fig. 5. Além disso, mesmo que o valor fosse alcançado, o tempo necessário para a estabilização de temperatura seria muito elevado. O resultado de um teste com ganho 1,0 é mostrado na Fig. 6(a).

Um melhor comportamento pode ser observado em testes com ganho 1,5, como visto na Fig. 6(b). Nela, observa-se que a temperatura de 313 K é alcançada em aproximadamente 150 segundos. O erro médio, neste caso, é menor que 0,2 K. Na Fig. 6(c), com ganho 2,0, o tempo de estabilização de temperatura é ainda menor, próximo de 50 segundos. Porém, neste caso, observa-se um aumento do erro médio de temperatura, que se manteve em torno de 0,3 K. E para um ganho 2,5, o tempo de estabilização cai drasticamente, alcançado a temperatura desejada em aproximadamente 30 segundos, conforme visto na Fig. 6(d). Por outro lado, o erro médio também aumenta, para algo em torno de 0,5 K. Portanto, tendo em vista equilibrar as condições de se obter um menor tempo de estabilização e ao mesmo tempo ter um menor erro médio, depreende-se que um ganho de 2,0 é suficiente para o aquecimento do sistema e realização dos ensaios.

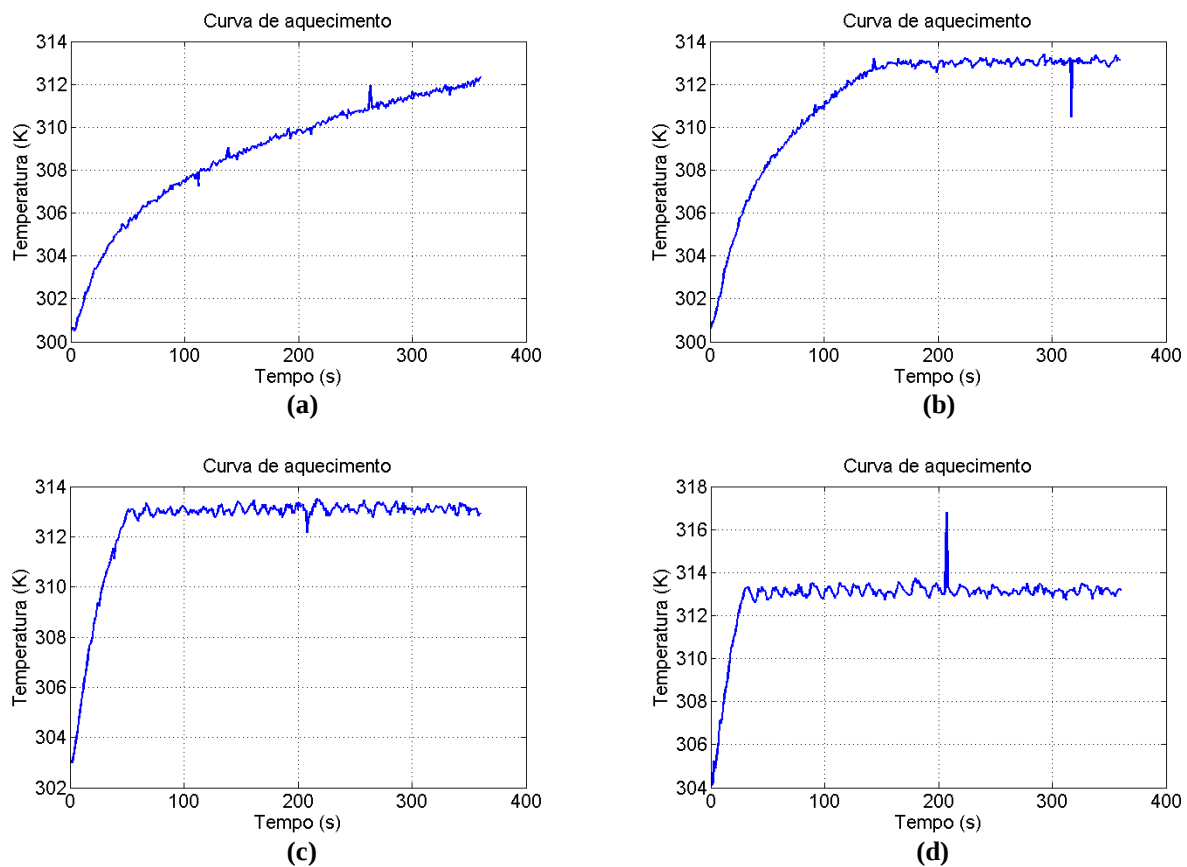


Figura 6. Testes de aquecimento até 313 K para ganho 1,0 (a), ganho 1,5 (b), ganho 2,0 (c) e ganho 2,5 (d)

Utilizando-se o ganho de valor 2,0, procede-se com a realização de novos testes. Agora, mantendo o ganho fixo, a fim de compreender como a temperatura final (desejada) influencia no comportamento do sistema. Para isso, foram feitos testes variando a temperatura da pastilha até 323 e 333 K. Os testes podem ser observados na Fig. 7. Nestes casos, observa-se que, à medida que a temperatura aumenta, o erro médio também cresce.

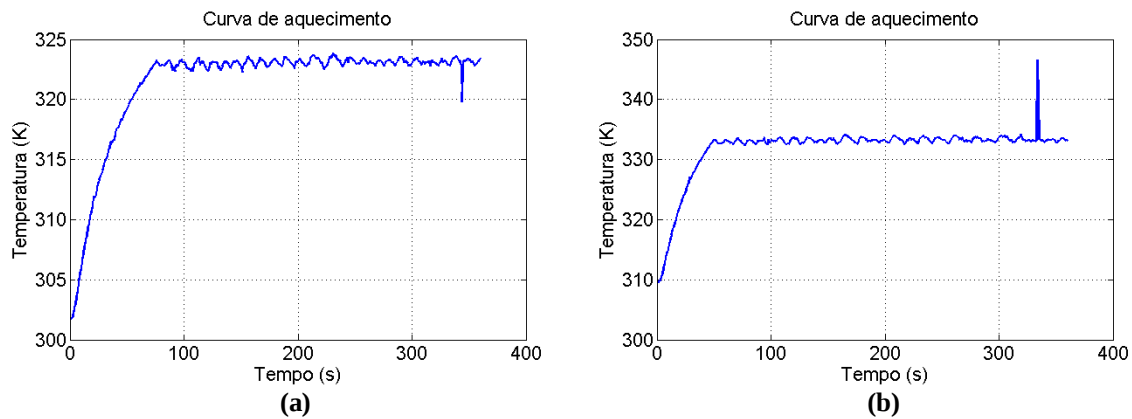


Figura 7. Testes de aquecimento até 323 K (a) e 333 K (b), com ganho fixo

Apesar de o erro não poder ser bem visualizado nos gráficos resultantes destes novos testes, uma aproximação na Fig. 7 (b) pode colaborar com a análise. Este novo gráfico pode ser visto na Fig. 8. O erro médio calculado, no teste de aquecimento até 333 K, é de aproximadamente 1 K. Este valor é razoavelmente alto, ou seja, erros de maior módulo podem gerar imprecisões na avaliação do material. Assim, percebe-se que o controle *on/off*, apesar de simples e preciso para dada gama de temperaturas, pode ser insuficiente em temperaturas mais elevadas. E, para a obtenção de melhores resultados, sugere-se o uso de uma ação de controle mais aprimorada.

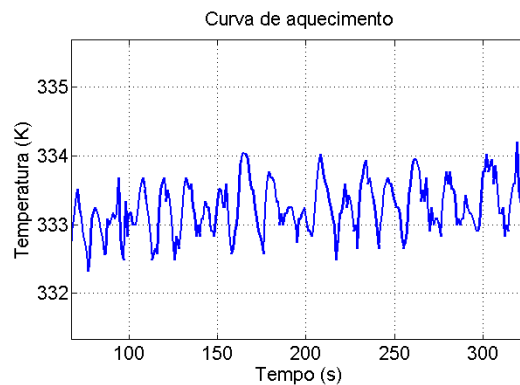


Figura 8. Aproximação no teste de aquecimento a 333 K

4. CONCLUSÕES

O dispositivo eletrônico para aquecimento elaborado neste trabalho demonstrou ser adequado para uso em conjunto com máquinas de ensaio de microdureza. Ainda que, por escassez de espaço físico, ensaios de resfriamento não possam ser executados, a existência de um dispositivo de aquecimento pode colaborar nas pesquisas com a liga aqui estudada ou mesmo com outros materiais.

Ao mesmo tempo, a ação de controle utilizada demonstrou ser eficaz no aquecimento do sistema, principalmente por obedecer às condições de histerese impostas pelas propriedades físicas do Ni-Ti. Ainda, o uso de um modelo baseado em um ajuste polinomial, bem como o emprego de ganhos ao controle *on/off*, foram cruciais para que se conseguisse uma estabilização das temperaturas, algo que não é muito trivial ao se utilizar uma estratégia de controle clássica.

Por outro lado, o sistema de controle demonstrou não ser muito preciso em alguns casos, o que demonstra que ele ainda precisa ser desenvolvido. Outras ações de controle podem ser testadas, a fim de garantir uma maior precisão das temperaturas finais.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à CAPES pelo incentivo fornecido para o desenvolvimento deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Abadie, J., Chaillet, N. and Lexcellent, C., 2009. "Modeling of a new SMA micro-actuator for active endoscopy applications". *Mechatronics*, Elsevier, Vol. 19, No. 4, pp. 437-442.
- Anadón, J. R. S., 2002. "Large force shape memory alloy linear actuator". Dissertation, University of Florida, Florida.

- Barron, M. A. and Sen, M., 2014. "Synchronization of temperature oscillations in heated plates with hysteretic on-off control". Applied Thermal Engineering, Vol. 65, pp. 337-342.
- Chopra, I. and Sirohi, J., 2013. "Smart Structures Theory", Cambridge University Press, Cambridge, 920 p.
- Drebushchak, V. A., 2007. "The Peltier effect". Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Vol. 91, No. 1, 311-315.
- Fuentes, J. M. G., Gümpel, P. and Strittmatter, J., 2002. "Phase Change Behavior of Nitinol Shape Memory Alloys". Advanced Engineering Materials, Vol. 4, No. 7, pp. 437-451.
- Lacković, I., Magjarević, R. and Miklavčič, D., 2009. "Three-dimensional Finite-element Analysis of Joule Heating in Electrochemotherapy and in vivo Gene Electrotransfer". IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 16, No. 5, pp. 1338-1347.
- Maletta, C., Furgiuele, F., Sgambittera, E., Callisti, M., Mellor, B. G. and Wood, R. J. K., 2012. "Indentation response of a NiTi shape memory alloy: modeling and experiments". Frattura ed Integrità Strutturale, Vol. 21, pp. 5-12.
- Miková, Ľ., Medvecká, S., Trebuňa, F. and Virgala, I., 2015. "Application of shape memory alloy (SMA) as actuator". Metalurgija, Vol. 54, No. 1, pp. 169-172.
- Mizar, S. P., 2005. "Thermomechanical characterization of NiTiNOL and NiTiNOL based structures using ACES methodology". Ph.D. thesis, Worcester Polytechnic Institute, Worcester.
- Strittmatter, J., Gümpel, P., Chiru, A. and Gheorghita, V., 2013. "Electrical Activation of the shape memory effect for NiTi wires". Acta Technica Corviniensis, Vol. 4, pp. 65-68.
- Wikimedia, 2012. "A diagram of nitinol transformation hysteresis". Acessado em 10 de abril de 2016 <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nitinol_Transformation.jpg>.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

EVALUATION OF AN ELECTRONIC DEVICE FOR HEATING NI-TI ALLOY IN MICROHARDNESS TESTS

Diego Gabriel Gomes Rosa, diegogabriel@id.uff.br
José Flávio Silveira Feiteira, joseflavio@vm.uff.br
Gláucio Soares da Fonseca, glaucio@metal.eeimvr.uff.br

Universidade Federal Fluminense, Av. dos Trabalhadores, 420, Vila Sta. Cecília. 27255-125, Volta Redonda, RJ.

Abstract: This work presents the elaboration and the evaluation of an experimental device for use in Ni-Ti tests. It is an intelligent material, which contains the "shape memory effect". This alloy is actually used in many engineering applications. However, it contains also a difficult macro and microstructural characterization. It happens because its properties, in general, are studied in tests that involve temperature variation with force application, simultaneously. The use of tester machines with furnaces or cryogenic devices turn the obtaining of results easier. However, many machines do not have this equipment embedded. Thus, it becomes necessary to create external devices to perform this work. In this context, the presented work has the following goal: to create a detachable device, controlled by a microcontroller, with a thermoelectric tablet based actuator and coupled to a data acquisition system, integrated with a microcomputer, which works in real time. The equipment also must be compatible with the dimensions and characteristics of indentation machines, which will be later used in real tests. And all the process should prioritize a precise and uniform heating of the alloy, to avoid possible phase transformations. By some evaluation tests, it is possible to perceive that the mounted apparatus can accomplish the thermal control, even though with some reservation. It is also possible to observe how the parameters of the process, the alloy characteristics and the environment conditions interfere on the behavior of the proposed control system.

Keywords: experimental device, heating control, mechanical tests, Ni-Ti alloy.