

REVISTA

SODEBRAS

SOLUÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DO PAÍS

VOLUME 1 - Nº 04 - Abril/ 2006
ISSN - 1809-3957

ARTIGOS PUBLICADOS

PUBLICAÇÃO MENSAL
Nesta edição

CVD DIAMOND FILMS STRESS GROWTH ON Ti6Al4V ALLOY UNDER VARIOUS HYDROGEN CONCENTRATIONS – T. M. Souza; J. Possato; J. de Oliveira; L. N. Kawakami; V. J. Trava-Airoldi	02
MONITORAMENTO DE TEMPERATURAS DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA – Esdras Evangelista Silva; Teófilo Miguel de Souza	07
PLANILHA ELETRÔNICA PARA DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO O CARNEIRO HIDRÁULICO – Jomar Esteves Bueno; Teófilo Miguel de Souza; Arsênio de Paiva Lopes	11

Atendimento:
sodebras@sodebras.com.br
Acesso:
<http://www.sodebras.com.br>

CVD Diamond Films Stress Growth on Ti6Al4V Alloy under Various Hydrogen Concentrations

T. M. Souza¹, J. Possato¹, J. de Oliveira¹, L. N. Kawakami¹, V. J. Trava-Airoldi²

¹CVD Diamond and New Materials Research Laboratory - CVMat – Unesp Guaratinguetá – SP - Brazil

²National Space Research Institute – INPE - São José dos Campos – SP - Brazil.

E-mail: teofilo@feg.unesp.br

Abstract

Due to its high specific strength the Ti6Al4V alloy can be qualified as a basic structural material for aircraft and aerospace applications. Notwithstanding this evidence, the alloy presents the impairment of low resistance to wear. In this aspect, deposition of a CVD diamond coating on Ti6Al4V alloy duly increases its lifetime. But, also, such deposition found the drawback of poor adherence. In this work, CVD diamond film was deposited on the substrates by a constant lower temperature (600°C) using hot filament assisted technique applied in specimens carefully pretreated and submitted to various methane and hydrogen concentrations, in order to study the adherence between film and substrate. Film quality and stress were evaluated by Raman Scattering Spectroscopy (RSS). Total residual stress (extrinsic and intrinsic) in the deposited diamond films were calculated from the shift of the stressed CVD diamond Raman line, relative to the basic line at 1332.5 cm⁻¹. Thermal stress (extrinsic) was evaluated from the numerical integration of thermal expansion coefficients of the film and the alloy, starting from ambient temperature until film growth temperature. Intrinsic stress was calculated considering the difference between the total and the thermal stresses. Film morphology was studied by Scanning Electron Microscopy (SEM). Adherence tests were performed using the indentation technique.

KEYWORDS: Hot Filament, CVD-Diamond, Stress, Ti6Al4V Alloy.

1. Introduction

Titanium strength-to-weight ratio characterizes it as a basic structural material for aircraft and aerospace applications. Also, Ti6Al4V alloy can be specially applied in prosthetics due its biocompatibility [1, 2]. However, Titanium alloy shows low resistance to wear. In this respect, the employment of diamond films as a protective coating aggregates two advantages to the singular properties of the alloy, such as high hardness and a very low friction coefficient. Development of CVD diamond films on Ti6Al4V substrate requires qualitative evaluation of the adhesion [3] and identification of the best set of parameters in terms of sample preparation, diamond growth conditions and bulk material analysis after growth. In this work, the titanium samples were carefully pretreated and thereafter submitted to CVD diamond film deposition by hot filament assisted technique, maintaining temperature circa 600°C. The adhesion was investigated as a function of deposition time (10 hours) under various methane concentrations between 0.5% to 3.0% vol. Total stress was calculated based on the shift compared to Raman basic line. A strong dependence was observed between the sample preparation technique to some parameters of the film deposition.

2. Experimental procedure

Special attention was devoted to the substrate preparation procedures before diamond deposition, in order to get very clean and smooth surface. Ti6Al4V alloy requires a specific technique of surface preparation including 0.25 μm diamond paste polishing with a solution of oxalic acid (10% in vol.) as a chemical cleanser. CVD diamond films were deposited using a hot filament assisted reactor under methane concentrations ranging from 0.5% to 3% vol. In hydrogen. The total flow rate was 100 sccm and the internal reactor pressure was kept at 50 Torr. Films were deposited on Ti6Al4V specimens of 2 mm thick cut to 8 mm square from same source.

The adhesion study was performed as a function of deposition time with different methane concentrations. Temperature was maintained circa 600°C by a thermocouple applied directly to the bottom of the substrate.

Films were analyzed by high space resolution Raman Scattering Spectroscopy, in order to calculate its total stress. The film adhesion on the substrate was evaluated by means of the indentation method, using a Rockwell “A” hardness tester, with 150 kg load, which is the most commonly used when dealing with hard coatings and substrates. The morphology of the diamond film and the diameter indentation tests were observed by optical microscopy at first and subsequently analyzed by an electron scanning microscopy.

3. Results

Adhesion and stress are the two most important parameters to evaluate the quality of the deposited film onto the substrate. Physical and chemical properties of the interface was investigated as a function of the substrate temperature and time of growth for each methane concentration. For indentation analysis, the diameter of the crater in the region of the indentation and the resulted film peel off were measured. Two diamond film indentation examples grown in different conditions are shown in figure 1. For 600°C substrate temperature and 10 hours of deposition time up to 2.5% vol. methane concentration there was no delamination detected, as shown in figure 1a where only a clear indentation mark can be seen. A completely peeled off film resulted at 600°C in 10 hours deposition time with 3% vol. methane concentration, as shown in the partial view of figure 1b. The crater field was generated around the indentation region as a result of a circular surface wave-like topographic deformation which serves as the driving force for the lateral crack. Thus, the lateral crack extension was used as a measure of the film adhesion. A qualitative assessment of adhesion can be easily made by comparing the interface crack diameters for a given load; however, a quantitative measure of the interface toughness is not yet available.

Raman scattering spectroscopy besides the quality film analysis was also carried out in order to study and evaluate the total stress. In the Raman spectrum for various hydrogen concentrations was observed that the best conditions in terms of film quality (at 600°C) are 0.5 and 1.0 % vol. methane concentrations. Meantime, the relative worst condition is apparent for 2.5% methane concentration. With 3% vol. concentration not any reasonable deposition was obtained.

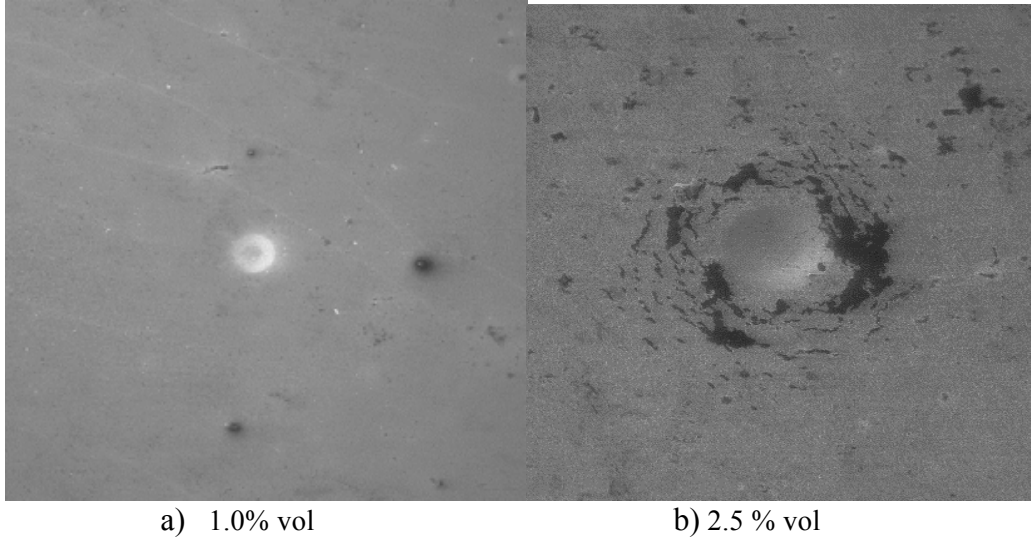


Fig.1- SEM Rockwell “A” micrograph aspect indentation for two methane concentrations.

Shifts were set by comparing Raman’s basic line position (1332.5 cm^{-1}) of the natural diamond without stress. For a quantitative analysis, all experimental spectrum was fitted within a mean square approximation with to Lorentzian curve (referred to diamond). The total stress σ was calculated from the line position shift, considering a linear shift of $2.87 \text{ cm}^{-1}/\text{GPa}$ [4]. In comparison with that of natural diamond, experimental values exhibit a positive shift. This occurs for compressive stresses.

Extrinsic (σ_{ext}) and intrinsic (σ_{int}) stresses are estimated by numerical calculations, from the following expressions [5]:

$$\sigma_{\text{ext}} = k (\alpha_d - \alpha_s)(T_d - T_r), \quad (1)$$

$$\sigma_{\text{int}} = \sigma - \sigma_{\text{ext}}, \quad (2)$$

where $k = 1345 \text{ GPa}$ is Young’s modulus of diamond, α_d and α_s are respectively the thermal expansion coefficients of diamond and substrate material, whether T_d is the substrate temperature during deposition, and T_r is the ambient temperature.

The results are summarized in Table I.

Table I - Shifts and stresses for different hydrogen concentrations and 10 hours deposition time.

Hydrogen Concentration (%)	Raman Shift (cm^{-1})	Total Stress (GPa)	Extrinsic Stress (GPa)	Intrinsic Stress (GPa)	Indentation test (diameter- μm)
0.5	15.275	-5.322	-5.259	-0.063	no delamination
1.0	14.997	-5.225	-5.259	0.034	no delamination
1.5	13.646	-4.755	-5.259	0.504	no delamination
2.0	6.818	-2.375	-5.259	2.884	no delamination
2.5	9.408	-3.278	-5.259	1.981	no delamination
3.0			-5.259		delamination

Experimental data shown in Table I demonstrate that CVD diamond film deposited on Ti6Al4V alloy at 600°C under methane concentrations up to 2.5 % vol. did not peel off. Here, it is evident the influence of the substrate temperature concerning the physical and chemical

processes in the interface of the film and the substrate. Total stress value for the same substrate temperature decreases with an increase of methane concentrations up to 2.5% vol. On the other hand, the intrinsic stress decreases with the methane concentration, showing that the intrinsic stress is also dependent of the film quality. For high methane concentration it was observed a low Raman shift showing that with larger film thickness, total stress must be relieved due to poor adherence results. Thicker films can cause an interface fragility.

Following is a summary of data obtained for comparison purposes.

Table II – Synthesis of film deposition relating temperature, deposition time, stress and adhesion

$T_s(^{\circ}\text{C})$	t (h)	$\Delta k(\text{cm}^{-1})$	$\sigma(\text{GPa})$	$\sigma_{\text{ext}}(\text{GPa})$	$\sigma_{\text{int}}(\text{GPa})$	Indentation(μm)
800	0,20	11,861	-4,133	-6,402	2,269	Partial delamination
800	0,50	9,144	-3,186	-6,402	3,216	Partial delamination
700	0,50	19,906	-6,936	-6,025	-0,938	Partial delamination
700	2,00	3,560	-1,240	-6,025	4,785	Partial delamination
600	2,00	16,450	-5,731	-5,259	-0,472	No delamination
600	5,00	15,210	-5,299	-5,259	-0,040	No delamination
600	6,00	14,818	-5,163	-5,259	0,096	No delamination
600	7,00	13,539	-4,717	-5,259	0,542	No delamination
600	10,00	13,646	-4,755	-5,259	0,504	No delamination

4. Conclusions

Observing all pretreatment procedures carried out on each substrate resulted in a good deposition quality. Indentations tests as well as Raman scattering spectroscopy and scanning electron microscopy of every sample demonstrated the related aspects of dependence of the diamond growth parameters with the total stress in the film, same as between the film and the substrate. From Raman analysis, it is conclusive that the total stress magnitude is in agreement with the forementioned criteria and that it has been possible to introduce some improvement in the process concerning the sample preparation. Also, indentation tests show that the delamination measurements can be used qualitatively to find how strong the adhesion resulted between the film and the substrate. Furthermore, it was found that the adhesion is better for lower growth temperature (other than 800⁰C) at some specific methane concentrations. These results suggest that there is a strong dependence of the diamond growth parameters and the alloy mechanical properties in relation to the total stress of the diamond film. The authors believe that there is still room to find a good set of growth conditions where the total stress between film and substrate can become insignificant.

5. Acknowledgments

The authors want to express their appreciation to Prof. Falconi for the text revision, Mr. Durval Rodrigues (DEMAR-Lorena) for the SEM tests, Mr. Manoel (UNESP) for the indentation tests, FAPESP for its important financial support and particularly to Mr. Falconi for his judicious comments to this work.

REFERENCES

- [1] G. Heinrich, T. Grögler, S. M. Rosiwal, R. F. Singer, R. Stöckel, L. Ley, “The influence of diamond chemical vapor deposition coating parameters on the microstructure and properties of titanium substrates”, *Diamond Relat. Mater.*, 5 (1996) 304-307.
- [2] D. Rats, L. Vandenbulcke, R. Herbin, R. Benoit, R. Erre, V. Serin, J. Sevely, “Characterization of diamond films deposited on titanium and its alloys”, *Thin Solid Films*, 270(1995) 177-183.
- [3] M. D. Drory, M. G. Peters, “Indentation behavior of diamond films on cemented carbide”, 340-345.
- [4] E. Gheeraert, A. Deneuve, A. M. Bonnot, “Defects and stress analysis of the Raman spectrum of diamond films”, *Diamond Relat. Mater.*, 1 (1992) 525-528.
- [5] Nakamura, Y.; Sakagami, S.; Amamoto, Y.; Watanabe, Y., “Measurements of Internal Stresses in CCCVD Diamond Films, *Thin Solid Films* 308-309(1997) 249-253.



MONITORAMENTO DE TEMPERATURAS DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA

Esdras Evangelista Silva

Email:ele03046@feg.unesp.br

Teófilo Miguel de Souza

Centro de Energias Renováveis

Unesp-Campus Guaratinguetá

Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha,333 – Guaratinguetá, SP

Abstract. Neste artigo apresenta-se um sistema que foi construído para monitoramento das temperaturas em um sistema de aquecimento solar. Este sistema poderia ser construído de diversas maneiras e optamos por utilizar uma placa de som como placa de aquisição de dados. Diversos trabalhos têm sido publicados sobre o uso de tal “artifício” no ensino de física porem todos os que encontramos utilizavam termistores como sensor de temperatura. No nosso caso utilizamos termopares pois são mais adequados para nossa aplicação.

Keywords. Joystick, aquisição de dados, termopares.

1.Introdução

Este trabalho surgiu devido à necessidade que tínhamos de avaliar o desempenho de um sistema de aquecimento solar de água. Por isso precisávamos desenvolver um sistema capaz de fazer a coleta e o armazenamento dos dados de forma automática. Inicialmente tivemos de escolher qual seria o sensor de temperatura mais adequado para nossa aplicação, onde optamos por um termopar devido a sua mais ampla faixa de operação. Também tivemos que escolher a forma como realizaríamos a coleta de dados, o que poderia ser feito utilizando-se a porta paralela do PC, porém escolhemos utilizar a porta de jogos para a coleta de dados.

2. Aquecimento solar de água

Uma alternativa bastante interessante para a economia de energia elétrica é a utilização da energia solar para o aquecimento de água. Este tipo de aproveitamento pode causar grande economia de energia e pode ser aplicado tanto para uso doméstico (chuveiros, piscinas,...) como industrial (curtume, calor de processo, lavagem de vasilhames...). Um sistema básico de aquecimento de água por energia solar é composto de coletores solares (placas) e reservatório térmico (Boiler).O sistema em testes no centro de energias renováveis é apresentado na Figura 1.



Figura 1: Sistema para aquecimento de água por energia solar.

As placas coletoras são responsáveis pela absorção da radiação solar. O reservatório térmico, também conhecido por Boiler, é um recipiente preparado para o armazenamento da água aquecida. São cilindros de cobre, inox ou polipropileno, isolados termicamente com poliuretano expandido.

3. Termopares

Um termopar ou par termoelétrico é composto por dois condutores metálicos de metais puros ou ligas homogêneas de natureza distinta. Os fios são soldados ou fundidos em uma extremidade ao qual se denomina junta quente ou junta de medição, sendo outra extremidade conectada a bornera do instrumento que internamente, de forma eletrônica, referencia a temperatura de 0°C, que é chamada junta fria ou junta de referência. O sinal de força eletromotriz, da ordem de milivolts gerado pelo gradiente de temperatura existente entre as juntas quente e fria é então medido.

3.1. Termopares^[9]

Um típico termopar é mostrado na Figura 2. Um termopar ou par termoelétrico é composto por dois condutores metálicos de metais puros ou ligas homogêneas de natureza distinta. Os fios são soldados ou fundidos em uma extremidade ao qual se denomina junta quente ou junta de medição, sendo outra extremidade conectada a bornera do instrumento que internamente, de forma eletrônica, referencia a temperatura de 0°C, que é chamada junta fria ou junta de referência. O sinal de força eletromotriz, da ordem de milivolts gerado pelo gradiente de temperatura existente entre as juntas quente e fria é então medido.



Figura 2: Termopar tipo J.

4. Placas de som^{[5][6]}

A placa de som é geralmente a única interface analógica presente em um microcomputador, podendo ser considerada como um conversor analógico/digital e digital/analógico. A Figura 3 mostra uma placa de som semelhante a utilizada no projeto (Sound Blaster16).



Figura 3: Placa de som^[10].

4.1. Porta Joystick da Placa de Som

A porta joystick usa um conector do tipo DB15(fêmea) e não faz parte da "placa mãe". Em geral ela é implementada em uma placa própria ou, mais frequentemente, colocada na placa de som. Neste último caso o conector tem dois dos seus 15 pinos dedicados à porta MIDI (*musical instruments digital interface*). Os outros pinos dão acesso aos quatro botões e quatro potenciômetros (dois eixos X e dois Y) correspondentes aos dois joysticks, a um potencial de +5 Volts, e a um terra.

Nesta porta, temos quatro entradas (botões) que são utilizadas para receber informações digitais e quatro entradas (sticks) analógicas. A porta de jogos fornece 8 bits (1 byte) para leitura de dados no endereço 513 (decimal). O endereço 512 guarda um byte idêntico. Neste byte, 4 bits informam o estado dos 4 botões, e 4 bits são usados na medida da resistência dos 4 potenciômetros. A Tabela 1 mostra como o estado dos joysticks é mapeado no byte fornecido pela porta.

Tabela 1: mapeamento dos bits da porta joystick.

BIT	7	6	5	4	3	2	1	0
ESTADO	B2	A2	B1	A1	Y2	X2	Y1	X1

A entrada analógica da porta joystick consiste de uma interface eletrônica composta basicamente por quatro multivibradores monoestáveis. Estes multivibradores são circuitos eletrônicos que produzem um pulso retangular cuja duração é diretamente proporcional à corrente existente na entrada. A duração deste pulso é então medida e armazenada usando uma rotina via software. Um diagrama elétrico simplificado da interface de joystick de uma placa de som típica é mostrado na Fig. (4).

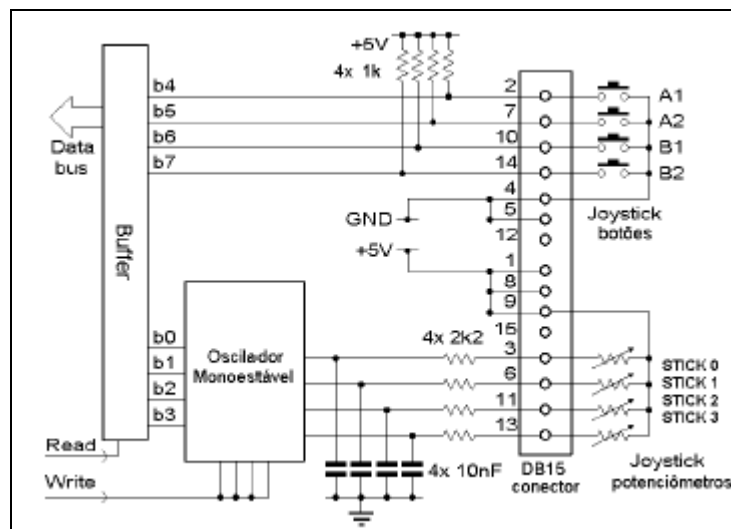


Figura 4: Circuito típico de uma interface de joystick presente na placa de som do PC. Os pinos 12 e 15 não são utilizados^[5].

5. Medindo tensão utilizando a placa de som

A princípio a porta de jogos é construída para a medição de resistência. Para isso construímos um circuito amplificador de instrumentação, pois a tensão fornecida pelo termopar tem valor muito baixo, e conectamos a saída deste amplificador a um fotoacoplador (4n26); que é um componente formado basicamente por um LED e um fototransistor dentro de um CI com a função de transferir uma informação elétrica entre dois circuitos através de luz, ou seja, sem contato elétrico entre eles. A Figura 9 mostra o circuito interno de tal componente.

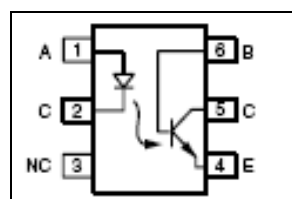


Figura 5: CI 4n26.

6. Montagem utilizada

A Fig. (6) mostra o circuito completo utilizado na montagem.

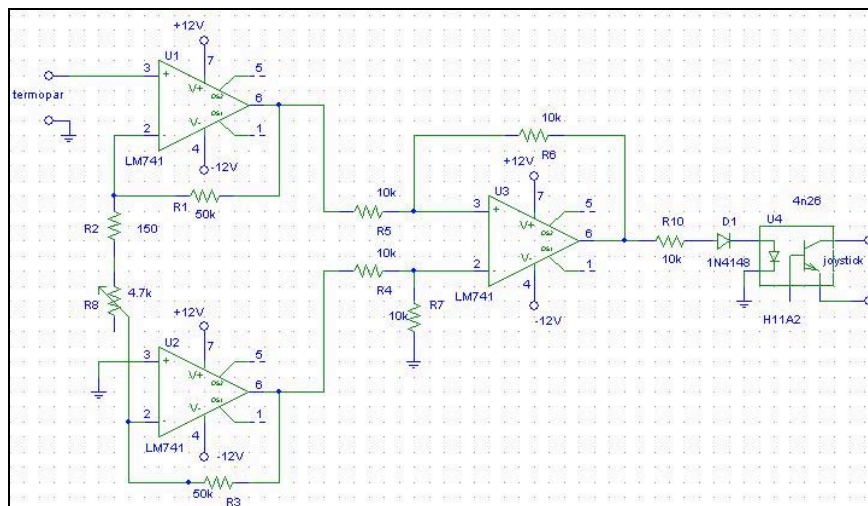


Figura 6: Circuito para aquisição de dados.

Neste circuito, o resistor R8 é utilizado para ajustar o ganho do amplificador. Utilizamos um diodo para conectar o circuito amplificador a fotoacoplador para se evitar danos ao mesmo caso ocorra um erro de ligação no termopar, o que danificaria o CI. Utilizamos um termopar tipo J, pois era o que tínhamos disponível. Para a aquisição utilizamos um computador Pentium 166, com sistema operacional Windows 95 e 32mb de memória. Finalmente foi construído um programa para leitura da porta joystick. Tal programa foi escrito em linguagem Turbo C e além de realizar a leitura da porta de jogos automaticamente converte a tensão de entrada para a temperatura correspondente e armazena o valor encontrado, a data e a hora num arquivo de texto. Para realizar tal trabalho o programa fica em um “laço” verificando as entradas da porta de jogos enquanto os multivibradores não mudam de estado. Assim obtém-se um número proporcional à temperatura no termopar. Para se obter o valor da temperatura e construímos um gráfico no Excel e encontramos uma equação que relaciona este número com a temperatura real. A Fig. (7) mostra o resultado obtido.

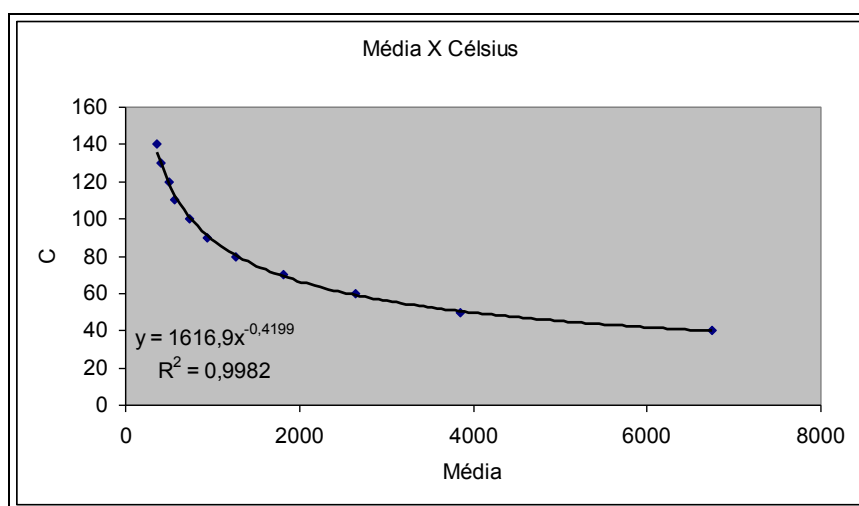


Figura 7: Gráfico obtido para leitura da temperatura.

O gráfico da Fig.(8) mostra a o valor retornado pelo programa e o esperado para diversos valores de temperatura.

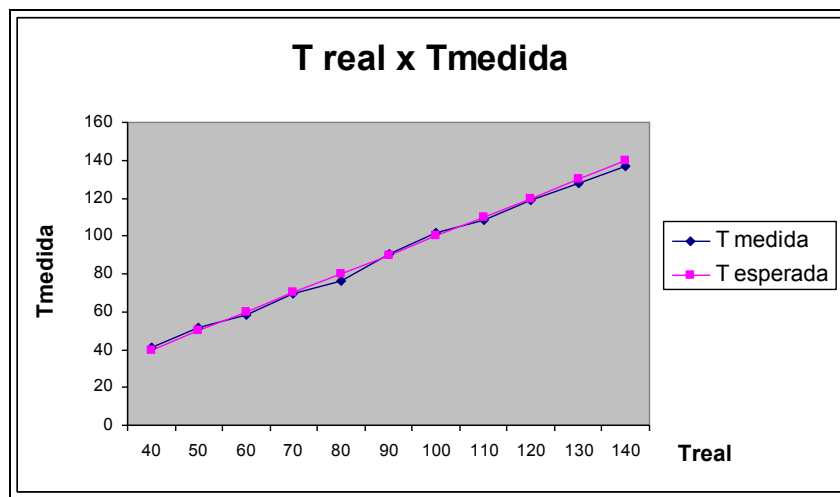


Figura 8: gráfico mostrando o valor retornado pelo sistema e o esperado.

7. Conclusões

Ao final dos testes realizados verificou-se que o sistema funciona de forma satisfatória para aplicações que não exijam muita precisão nas medidas de temperatura, como é o nosso caso. Porém se a precisão nas medidas for um fator essencial devem ser realizadas melhorias no sistema.

8. Referências bibliográficas

- [1] SITE: www.geocities.com/CapeCanaveral/5534/newpage26.htm
- [2] SITE: www.cresesb.cepel.br
- [3] Dendroenergia: fundamentos e aplicações/ Luiz Augusto H. Nogueira, Electo E. Silva Lora; Editora Interciência, 2003
- [4] Centro de Referência para a Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB); Centro de Pesquisas em Energia Elétrica (CEPEL): Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro:
- [5] “Projeto: Novas Tecnologias no Ensino de Física em Nível Médio”-Instituto de Física- Universidade Federal do Rio Grande do Sul- SITE: www.if.ufrgs.br/cref/ntef/
- [6] SITE: www.clubedohardware.com.br
- [7] C. E. Aguiar e F. Laudares “Aquisição de Dados usando Logo e a porta de jogos do PC “ Rev. Bras. Ens. Fís. no.4 São Paulo Dec. 2001
- [8] R. Haag “Utilizando a Placa de Som do Micro PC no Laboratório Didático de Física” Rev. Bras. Ens. Fís., Vol. 23 - nº 2 – 2001
- [9] SITE: www.help-temperatura.com.br
- [10] Site: <http://item.furima.rakuten.co.jp/item/41251508/>

MONITORING OF TEMPERATURES OF A SOLAR WATER HEATING SYSTEM

Abstract. In this article presents a system that was constructed for monitoring of the temperatures in a solar heating system. This system could be constructed in diverse ways and we have chosen to use a sound card as data acquisition card. Many works have been published on the use of such "artifice" in physics education but all these ones that we find use thermistors as temperature sensory. In our work we used thermocouples because they are adjusted for our application.

Keywords. Joystick, data aquisition, thermocouples.

PLANILHA ELETRÔNICA PARA DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO O CARNEIRO HIDRÁULICO

Jomar Esteves Bueno, Teófilo Miguel de Souza, Arsênio de Paiva Lopes.

CER - Centro de Energias Renováveis, Departamento de Engenharia Elétrica, Unesp – Campus de Guaratinguetá

Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha 333, CEP: 12516-410, Guaratinguetá – SP, Brasil

jomar@feg.unesp.br, arsenio.p.Lopes@terra.com.br, teofilo@feg.unesp.br

Resumo: Neste artigo será apresentada uma planilha de cálculos, como ferramenta, para o dimensionamento de um sistema de bombeamento de água utilizando-se de carneiro hidráulico. O artigo tem como objetivo estimular e incentivar o uso de carneiros hidráulicos para bombeamento de água, apresentando, desta forma, uma planilha excel, de utilização bastante simples, porém que garante um resultado prático satisfatório, pois o formulário utilizado para realização dos cálculos do dimensionamento é resultado de um estudo empírico realizado com modelos comerciais populares de carneiros hidráulicos.

Palavras Chaves: *Carneiro Hidráulico, Bombeamento, Fontes Alternativas de Energia.*

1 - Introdução

O bombeamento d'água para irrigação, consumo humano e animal, abastecimento de reservatórios e açudes é uma necessidade na maioria das propriedades rurais, o que pode ser conseguido, tradicionalmente, com bombas acionadas por motores elétricos ou a combustível fóssil. Entretanto, dentre as alternativas “ecologicamente corretas” pode-se incluir o carneiro hidráulico, de baixo custo de aquisição e cujo funcionamento baseia-se no aproveitamento da energia hidráulica. Também conhecido como aríete, o carneiro hidráulico é uma alternativa para o abastecimento de água em sítios, fazendas, chácaras e hotéis-fazendas. De funcionamento simples, utiliza a força de propulsão da própria água de abastecimento para o seu funcionamento sendo, portanto, uma alternativa não poluente, duradoura e barata para bombeamento d'água.

Neste artigo será apresentada uma ferramenta em forma de planilha excel assim como as variáveis necessárias para o dimensionamento de um sistema de bombeamento de água utilizando-se de um carneiro hidráulico.

2 - Considerações Técnicas

O carneiro hidráulico é um dos dispositivos mais simplificados e baratos, utilizados para bombeamento de água. O funcionamento do carneiro hidráulico não requer energia elétrica ou combustível fóssil, tendo como força propulsora a própria água de abastecimento, pois ele é capaz de aproveitar o efeito do “golpe de aríete” para bombear a água. Sendo um equipamento de funcionamento automático e de manejo muito simples, com pouca manutenção, tornando-se uma atrativa opção para localidades que necessitam de bombeamento de água.

O carneiro hidráulico é uma máquina bastante conhecida e utilizada, principalmente nas propriedades rurais e pode ser adquirido no mercado em diversas versões e capacidades, como mostrado na Tabela - 3.

As principais características do Carneiro Hidráulico são:

- Excelente durabilidade;
- Pouca manutenção;
- Trabalho contínuo e rendimento variável;
- Baixo custo de instalação;

3- Princípios Básicos de Funcionamento

A água que desce pela tubulação de adução, com velocidade crescente, passa através de uma válvula externa e ao atingir uma determinada velocidade, a pressão dinâmica provoca o fechamento brusco desta válvula, resultando no “golpe de aríete”. O golpe de aríete é a interrupção abrupta do escoamento de água que ocorre em um tubo, causando um forte surto de pressão. Esse golpe de aríete resultante provoca a abertura de uma válvula interna, permitindo a entrada da água na câmara de ar. O ar então é comprimido e, por sua vez, acarretando no fechamento da válvula interna e conseqüente expulsão da água, que sai pela tubulação de recalque. Após este processo a pressão tende a se equilibrar, implicando no fechamento da válvula interna e a abertura da externa. O processo

então se repete dando início a um novo ciclo, com um período que poderá variar de 25 a 100 repetições por minuto.

4- Dimensionamento de Sistema de Bombeamento com Carneiro Hidráulico

Para que se possa fazer o cálculo da demanda de água por dia em litros, é preciso conhecer a necessidade diária de água dos possíveis consumidores. Costuma-se fazer uma estimativa de necessidade de consumo por população humana, animal e por utilização.

Esta estimativa prática está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Demanda diária d'água (litros/dia)

Consumidor	(l / dia)
Pessoas	100
Aves	0,3
Caprinos	5
Suínos + Higiene	15
Bovinos	35
Eqüinos	50
Hortas m ²	5
Jardins m ²	5

A Tabela 1 é recomendada por expressar praticamente a necessidade de consumo (demanda) diária e deve ser utilizada multiplicando-se o número de consumidores pelo respectivo consumo diário. Ao final faz-se o somatório “Σq” das demandas individuais para se obter a demanda diária total “q” em (litros/dia).

4.1 - Cálculo da Demanda Diária de água “q”

A demanda em litros / dia é dada por:

$$q = \sum q_{\text{consumidor}} \text{ (l/dia)}$$

A Tabela 1 deve ser utilizada para estimar a necessidade diária de consumo humano e animal.

A demanda “q” em litros por minuto é dada por:

$$q = \frac{\sum d \text{ (l/dia)}}{1.440} \text{ (l/min)}$$

4.2 - Cálculo da Vazão de Alimentação “Q” ou Adução

$$Q = (q / R) \cdot (H/h) \text{ (l/min)}$$

Sendo:

R = Relação de aproveitamento

H = Altura da Elevação Vertical (Recalque) (m)

h = Altura da Queda Vertical (Adução) (m)

q = demanda d'água (litros/minuto)

A capacidade de elevação é calculada e o resultado satisfatório é obtido com uma altura vertical de queda de alimentação acima de 1,5 metros.

As relações H/h e R são obtidas conforme relação descrita na Tabela 2.

Tabela 2 - Relação de Aproveitamento – Fundição MARUMBY

H/h	R
1/2	0,84
1/3	0,80
1/4	0,76
1/5	0,72
1/6	0,67
1/7	0,62
1/8	0,56
1/9	0,50
1/10	0,46

O rendimento do sistema dependerá principalmente da Altura da Queda Vertical (Adução) ou Altura de Alimentação “h” e da Altura da Elevação Vertical (Recalque) ou Altura de Abastecimento “H”.

4.3 - Cálculo da Tubulação de Água

O comprimento mínimo da tubulação de alimentação

$$LQ = (H/h) \cdot 0,3 + H \text{ (m)}$$

O comprimento máximo da tubulação de elevação é:

$$Lq = 10 \cdot LQ \text{ (m)}$$

O Diâmetro da Tubulação de Alimentação

A escolha do tamanho do carneiro hidráulico deve ser feita de acordo com o volume d'água de alimentação disponível. Para um determinado valor da Vazão de Alimentação “Q”, calculado no item (4.2) e utilizando-se a Tabela 3, é possível escolher o número (capacidade) do carneiro que atenda a esta vazão.

A tabela a seguir apresenta, além do modelo do carneiro hidráulico, ainda os diâmetros da tubulação de entrada e da tubulação de saída.

Tabela 3 - Carneiro Hidráulico Marumby

Nº	Alimentação	Diâmetro dos Tubos		Peso (kg)	Altura de Queda
	(l/min)	Entrada	Saída		h (m)
2	7 a 11	3/4"	3/8"	12	1,5 a 2,5
3	7 a 15	1"	1/2"	23	2,5 a 4
4	11 a 26	1 1/4"	1/2"	32	3 a 5
5	22 a 45	2"	3/4"	46	4 a 6
6	70 a 120	3"	1 1/4"	80	5 a 7

A Tabela 3 apresenta também o respectivo peso do equipamento e a relação com a altura mínima de queda, necessária para o correto funcionamento do sistema.

5 - Recomendações Importantes

- ✓ O comprimento da tubulação de alimentação não deve exceder mais que 10 % a distância da altura de elevação vertical “H”, sendo este no mínimo 5 vezes a altura de queda vertical “h”.
- ✓ A altura “h” da queda vertical, entre reservatório de abastecimento e o carneiro, devem estar entre um mínimo de 1,5 e um máximo de 8,0 metros;
- ✓ As tubulações de alimentação e de elevação devem estar o mais reto possível a fim de otimizar o aproveitamento do sistema.
- ✓ Toda vez que o comprimento da tubulação de elevação ultrapassar 100 metros, devem-se utilizar válvulas de retenção;
- ✓ Por questões de segurança e durabilidade recomenda-se que o carneiro seja instalado sobre uma base nivelada de concreto a uma distância mínima de 10 metros e no máximo 50 metros do início da queda d'água.
- ✓ Recomenda-se, ainda, a colocação de uma tela na entrada da tubulação de alimentação;
- ✓ Utilizar, quando possível, modelos de Carneiros Hidráulicos que possuam dispositivos para a admissão contínua de ar. Uma alternativa prática, para os modelos que não possuem estes dispositivos, seria a perfuração da tubulação de adução, a uma distância aproximada de 10 a 20 centímetros do carneiro hidráulico.

6 - Descrição da Planilha de Dimensionamento

Optou-se por utilizar planilhas no formato excel por ser uma ferramenta bastante difundida, de fácil utilização e compreensão, atingindo não somente o meio acadêmico mas também o público em geral.

6.1 - Utilização da Planilha

De forma lógica e sequencial o usuário é orientado através da solicitação dos dados de projeto e consequente apresentação dos cálculos e resultados, o que pode ser visualizado na Figura 1, no final do texto.

Para levantamento do consumo diário de água, é apresentada uma tabela iterativa, com as principais necessidades de abastecimento, consumo humano e animal.

[1] Estimativa da Demanda de Água Diária

Consumo				
Consumidor			(l / dia)	Total
Pessoas				
Aves				
Caprinos				
Suínos + Hig				
Bovinos				
Equinos				
Hortas m ²				
Jardins m ²				
Outros (especificar)				
Somatório da Demanda Diária			Σq (l/dia) =	
$q = q$ (l/dia) / 1440 (l/min)			q (l/min) =	

Também é solicitada a altura da queda vertical assim como a altura da elevação.

[3] Cálculo da Vazão de Alimentação - Tab. 1

$$\begin{aligned} (h/H) &= \\ R &= \\ \text{Vazão de Alimentação Necessária } Q \text{ (l/min)} &= \end{aligned}$$

Na sequência a planilha apresenta a vazão de alimentação diária necessária em l/min para suprir o abastecimento necessário.

Por fim pode-se escolher um modelo adequado de Carneiro Hidráulico, em função da relação de aproveitamento considerando-se este diâmetro maior ou no mínimo igual ao calculado.

[4] **Definição do Carneiro Hidráulico - Tab. 2**

Carneiro Hidráulico nº =
 Adotado Tabela Fabricante =

Sendo apresentado ainda o comprimento e o diâmetro da tubulação de alimentação e elevação.

[5] **Cálculo do Comprimento e Diâmetro da Tubulação**

Comprimento Mínimo de Alimentação L_q (m) =

Comprimento Máximo de Elevação L_q (m) =

Tubulação de Alimentação Diâmetro Q =

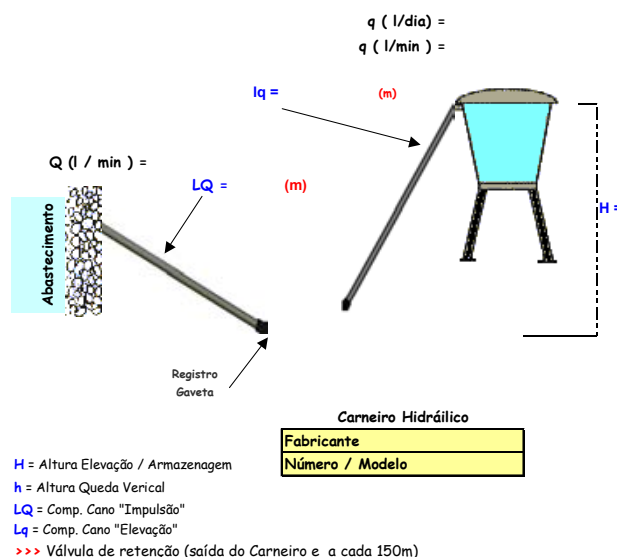
Tubulação de Elevação Diâmetro q =

A planilha também apresenta, em forma de "worksheets", Tabelas, Especificação e um Exemplo, facilitando a compreensão de sua forma de utilização.

Na especificação é apresentado um esboço do sistema e detalhes a serem observadas par um correto funcionamento do sistema.

[6] **Especificação :**

Altura Queda Vertical		(m)
Altura de Elevação (Armazenagem)		(m)
Volume D` água Necessário (Demanda)		(l/min)
Vazão Alimentação (Acionamento)		(l/min)
Carneiro Hidráulico nº		
Fabricante		
Comprimento Mínimo Tubo Alimentação		(m)
Comprimento Máximo Tubo de Elevação		(m)
Diâmetro Tubulação de Alimentação		Fe Galvanizado
Diâmetro Tubulação de Elevação		
Registro Gaveta		



Os cálculos foram realizados com base nos resultados práticos, obtidos com o modelo experimental, utilizando-se um carneiro hidráulico número 3 da Fundação Marumby.

7 - Comentários e Conclusões

A proposta deste trabalho é a de transmitir uma idéia da grande utilidade desse mecanismo, relativamente simples e de baixo custo, para atendimento à necessidade de bombeamento de água, fornecendo ao usuário condições de realizar

a análise de possibilidades de dimensionamento, assim como a de instalação de um sistema de bombeamento utilizando o carneiro hidráulico.

5 - Referências

Manual de Carneiros Hidráulicos Marumby, 2004.

6 - Direitos Autorais

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo desta publicação.

Cliente :		Cidade :	
Logradouro :		Estado :	
Responsável :		Projeto :	Data :

[1] Estimativa da Demanda de Água Diária

Consumo			
Consumidor		(l / dia)	Total
Pessoas			
Aves			
Caprinos			
Suínos + Híg			
Bovinos			
Equinos			
Hortas m ²			
Jardins m ²			
Outros (especificar)			
Somatório da Demanda Diária		Σq (l/dia) =	
$q = \Sigma q$ (l/dia) / 1440 (l/min)		q (l/min) =	

[2] Altura da Queda Disponível e Elevação Necessária

Altura Queda Vertical h (m) =
 Altura Elevação H (m) =

[3] Cálculo da Vazão de Alimentação - Tab. 1

$(h/H) =$
 $R =$
 Vazão de Alimentação Necessária Q (l/min) =

[4] Definição do Carneiro Hidráulico - Tab. 2

Carneiro Hidráulico nº =
 Adotado Tabela Fabricante =

[5] Cálculo do Comprimento e Diâmetro da Tubulação

Comprimento Mínimo de Alimentação L_q (m) =
 Comprimento Máximo de Elevação L_q (m) =
 Tubulação de Alimentação Diâmetro Q =
 Tubulação de Elevação Diâmetro q =

Tab. 1
Relação de Aproveitamento

H/h	R
1/2	0,84
1/3	0,80
1/4	0,76
1/5	0,72
1/6	0,67
1/7	0,62
1/8	0,56
1/9	0,50
1/10	0,43

Tab. 2 - Carneiro Hidráulico

Nº	Alimentação (l/min)	Diâmetro dos Tubos	
		Entrada	Saída
2	7 a 11	3/4"	3/8"
3	7 a 15	1"	1/2"
4	11 a 26	1 1/4"	1/2"
5	22 a 45	2"	3/4"
6	70 a 120	3"	1 1/4"

Figura 1-Planilha Eletrônica para dimensionamento de sistema de bombeamento de água utilizando carneiro hidráulico.