

Construção de equipamento para testes de microbalança de quartzo: aplicação no ensino de engenharias

Alisson Rodolfo Leite

Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) – São
Paulo – Brasil
alisson_rodolfo5@yahoo.com.br

Roberto da Rocha Lima

Instituto de Física da USP - São Paulo – Brasil
rrlima@if.usp.br

Resumo – A microbalança de quartzo é um instrumento valioso, nas áreas da ciência e da tecnologia, para pesar com precisão pequenas quantidades. Portanto, este trabalho teve o objetivo de desenvolver um equipamento para medidas simultâneas de até cinco microbalanças de quartzo acopladas a um computador. A metodologia utilizada foi de projeto e de produto e as condições de contorno, o baixo custo e a possibilidade de uso por várias pessoas. O equipamento e software produzidos mostraram performance similar a equipamento comercial, com precisão de $1:10^6$. O sistema tem custo menor que R\$ 300,00, mostrou-se capaz de medir valores na faixa de mg ou menor e seu uso não demanda treinamento, ou seja, pode ser útil ao ensino de engenharias.

Palavras-chave: Ensino, construção de equipamento, projeto eletrônico, microrcontrolador, microbalança de quartzo.

Introdução

A microbalança de quartzo é um instrumento de medida de precisão que apresenta uma série de vantagens [1,2,3]. Com uso primordial na área de pesquisa e desenvolvimento e/ou análises instrumentais, esse equipamento propicia a medida de massas muito pequenas e com grande precisão. Assim, as microbalanças de quartzo são encontradas comercialmente e adaptadas para uma série de funções, tais como: eletroquímica, filmes finos, estudos de corrosão/oxidação, polímeros, biomateriais e MEMS (Microelectromechanical systems) [4,5]. Além disso, a microbalança é também comum como medidor e/ou detector internamente a equipamentos maiores. Por exemplo, a microbalança pode ser usada para a determinação da espessura de filmes finos em equipamentos de deposição ou como medidor de variação de massa em equipamentos de termoanálise.

A microbalança de quartzo é composta essencialmente por um cristal

piezolétrico e um sistema oscilador. Em geral, quando a precisão requerida é grande, pequenas variações no ambiente influem significativamente nas medidas. Por exemplo, a variação de temperatura influenciando na medida de massa ou das condições de fluxo em medidas de eletroquímica, etc. Nesses casos, é comum o uso de dois cristais, mantidos muito próximos e em condições semelhantes; assim, um cristal funciona como referência e outro como medidor.

A variação da frequência do cristal piezolétrico presente na microbalança de quartzo é proporcional à massa que porventura possa aderir à superfície deste cristal (equação de Sauerbrey, Equação 1), portanto, quanto maior a massa maior a variação. Esta variação, contudo, é pequena e a medida requer um frequencímetro com boa precisão [6]. Porém, como a precisão da medida também depende da frequência do cristal, o equipamento requerido para a medida de frequência normalmente deve atuar em alta frequência (da ordem de MHz) e apresentar precisão de $1:10^6$; portanto, o principal custo do equipamento recai sobre essa medida, e algumas estratégias para a diminuição deste custo são normalmente adotadas. Uma possibilidade é o uso de um comparador de frequências [7], o que permite que a medida ocorra na faixa de frequência entre alguns Hz a centenas de Hz. Outra hipótese é o desenvolvimento de medidores de frequência de menor custo [8]. Nessas duas abordagens, contudo, não é comum a existência de sistemas de baixo custo e com possibilidade de medição de várias microbalanças simultaneamente. Por outro lado, essa estratégia inegavelmente apresenta vantagens, especialmente para o ensino, uma vez que permite a monitoração de vários sistemas distintos e a um custo sensivelmente menor. Portanto, foi objetivo deste trabalho desenvolvimento de um equipamento para medidas simultâneas de até cinco microbalanças de quartzo com sistema de medição acoplado. Foram consideradas condições de contorno, uma vez que se deseja aplicação no ensino de engenharias, o baixo custo e a possibilidade de uso por vários grupos distintos de pessoas.

$$\Delta F = -\frac{2\Delta m f^2}{A\sqrt{\mu\rho}} \quad \text{Equação 1}$$

Onde f é a frequência ressonante do cristal antes da variação da massa (Δm), por adsorção no cristal; A é a área ativa da superfície e ρ a densidade do cristal e μ é uma constante do cristal.

Metodologia, materiais e métodos

Metodologia

Este trabalho seguiu a metodologia de projeto e produto para a área de eletroeletrônicos. As etapas seguidas para o desenvolvimento de hardware, estão de acordo com Jung [9] e, são:

1. Requisitos básicos do produto;
2. Análises em produtos similares encontrados no Mercado:
 - a. Análise em relação ao uso;
 - b. Análise estrutural;
 - c. Análise funcional;
 - d. Análise morfológica.
3. Resultados das análises;
4. Estruturação do conceito;
5. Projeto;
6. Prototipagem;
7. Verificação.

A produção de software está de acordo com Rouiller [10], que considera as etapas do ciclo de vida do projeto de software como segue: prospecção; proposta; execução; garantia e finalização. Além disso, por tartar-se de software educacional, de acordo com Perry [11], considera-se que “os estudantes, ao participarem da avaliação, contribuem para dar a medida da eficiência do software”, ou seja, justifica-se desta maneira a necessidade de propor uma metodologia participativa e cooperativa, como o CESD (*Cooperative Experimental System Development*). Por fim, são também ferramentas bastante úteis as reuniões de grupo e a engenharia simultânea, que permite a integração do projeto do produto e do processo [12].

Materiais e Métodos

A construção de cada bloco seguiu regras de projeto eletrônico e as partes e peças foram construídas em bancada eletrônica.

O trabalho utilizou como condição de contorno os 12 princípios de Engenharia Verde [13], assim, os reagentes são ambientalmente corretos e utilizados em pequenas quantidades, podendo ser descartados sem qualquer tratamento. Água destilada e vidraria comum de laboratório foi empregada em várias etapas de teste.

Resultados

A placa montada possui 5 partes principais 1) Estabilizador de tensão contínua, 2) Sistema de interface com o computador, 3) Módulos contadores de pulso, 4) Centro microcontrolado e 5) Circuito oscilador.

O circuito de estabilização de tensão é um circuito com um diodo (D1) 1N4007, dois capacitores (C1 e C2) e um circuito integrado (U1) LM7805 [14], conforme demonstrado na figura 1, o diodo possui a função de impedir que a tensão de entrada seja inserida invertida, os capacitores são para atenuar possíveis ripples e oscilações na tensão, o circuito integrado LM7805 é capaz de

regular a tensão de entrada no intervalo +7 Vcc a +25 Vcc para +5 Vcc [14] para alimentação do circuito eletrônico.

O circuito de interface, pode ser visto na figura 2, é composto de um circuito integrado (U3) MAX232, que em conjunto com alguns capacitores de 1 μ F x 50 V, é capaz de fazer a conversão dos níveis lógicos TTL (significa valor 0 no intervalo 0 V a 0,8 V e valor 1 para 2 V a 5 V) [15], para sinais lógicos do protocolo de comunicação RS232 (valor 0 no intervalo 3 V a 15 V e valor 1 para -15 V a -3 V) [16-18] e vice versa, para fazer a interface do computador com a placa.

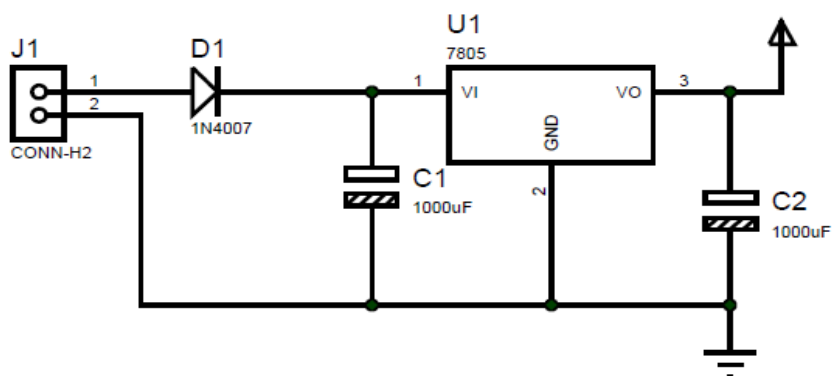


Fig. 1 Circuito estabilizador de tensão

Note que na figura os pinos descritos como Rx_PC e Tx_PC, se caso for um conector do padrão DB9, deve-se conectá-los na porta RS232 do computador respectivamente nos pinos 2 e 3 do conector.

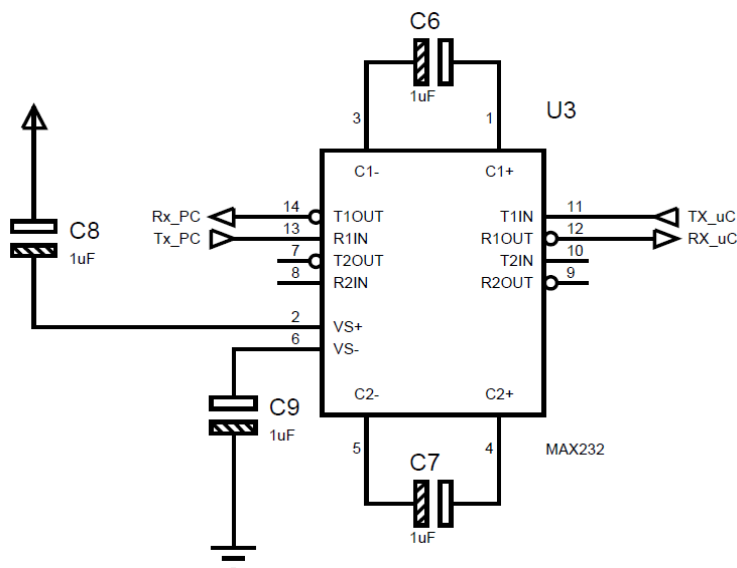


Fig. 2 Circuito de interface

Os cinco módulos contadores de pulso são formados de contadores cíclicos de borda de descida de quatro bits, estes foram utilizados para conseguir uma minituarização do circuito. Quando completar um ciclo de contagem gera-se uma borda de descida no próximo estágio sem a necessidade de uma porta lógica adicional. Neste módulo tem-se portas lógicas do tipo tri-state, que são portas com objetivo de receber um bit de controle do microrcontrolador/demultiplexador e

permitir a seleção de um byte por vez para que o microcontrolador possa executar a leitura dos diversos estágios. Na Figura 3 tem-se a representação de um módulo de contagem, note que há sempre uma ligação do bit mais significativo de um estágio para o pulso do outro estágio intermediário e que a porta lógica 74ls541, porta tri-state, permite a conexão de várias saídas em um mesmo fio.

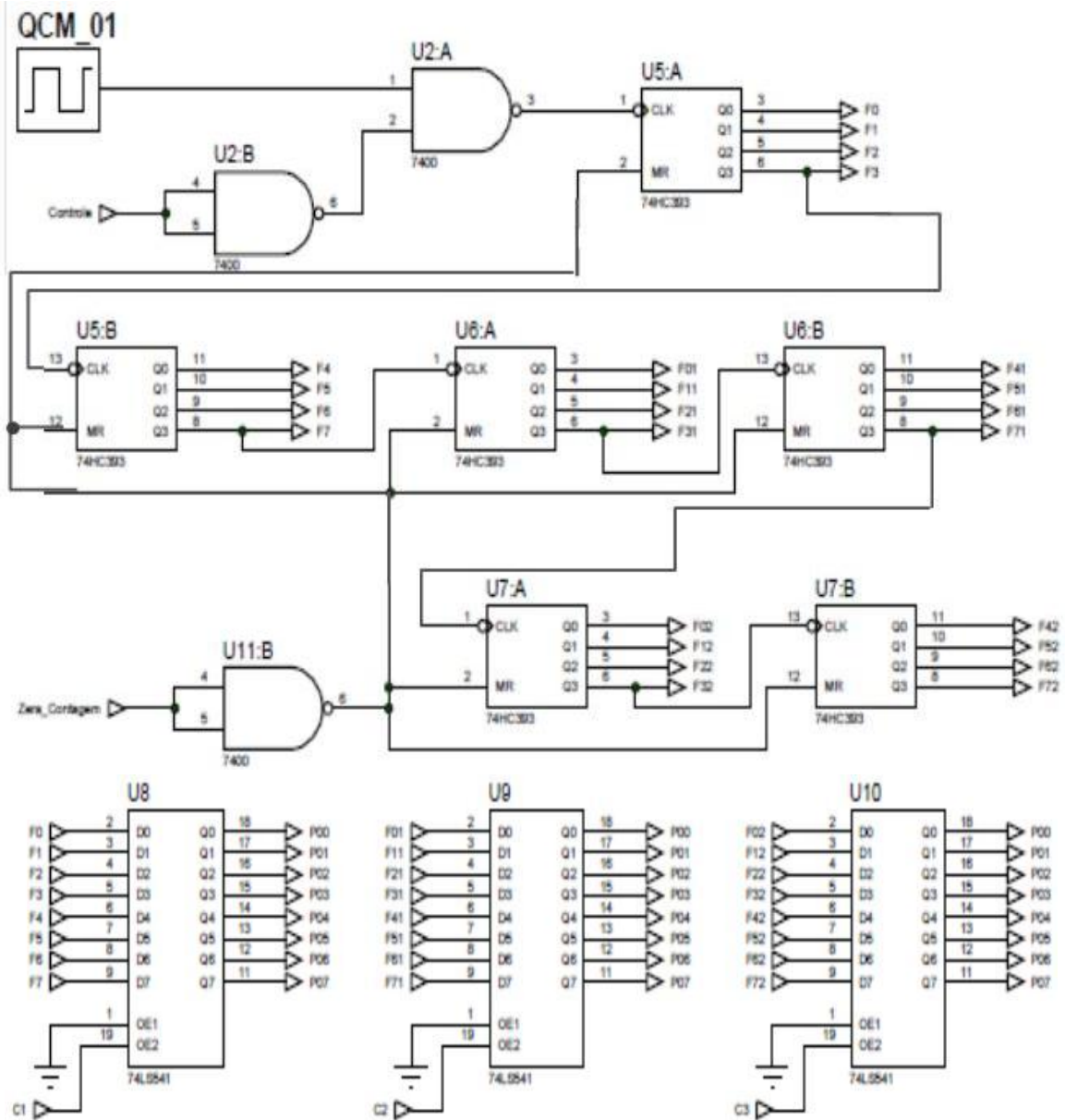


Fig. 3 Representação de um módulo de contagem

A placa (Figura 4) possui um microcontrolador que em conjunto com um demultiplexador faz o controle da contagem de pulsos, a leitura dos módulos contadores, agrupamento e organização das informações das leituras e por meio da interface faz o envio online para o computador. O programa do microcontrolador foi desenvolvido em linguagem de programação C, utilizando a plataforma de desenvolvimento “MIDE-51”, que é obtido gratuitamente no site www.opcube.com.

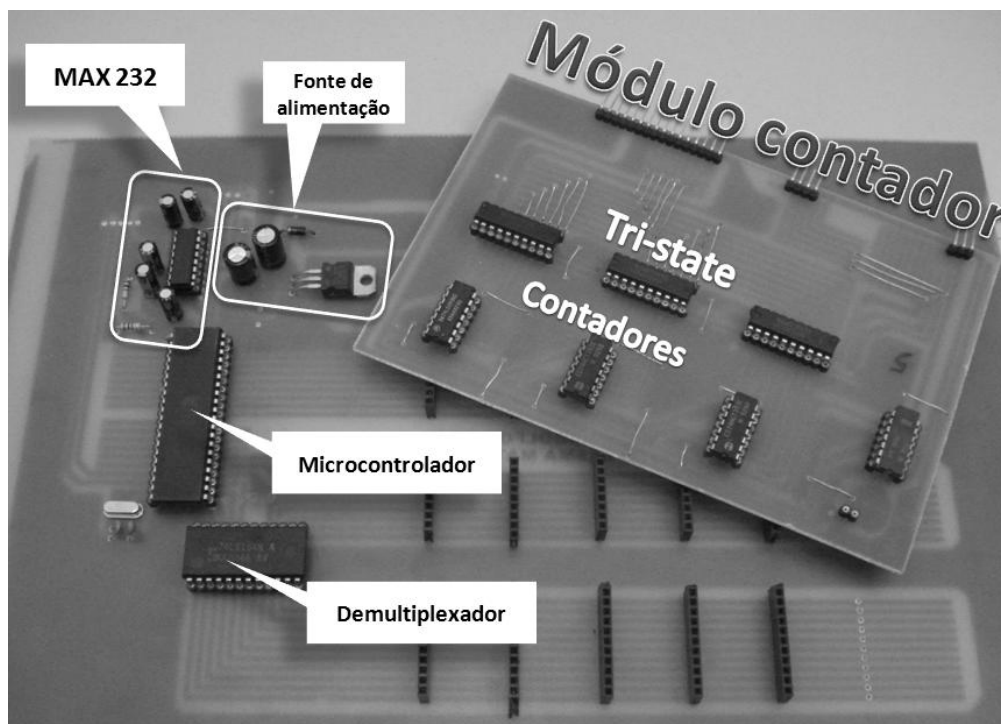


Fig. 4 Fotografia sinalizando as várias partes da placa

O software do computador foi desenvolvido em delphi e tem como característica receber os dados enviados pela placa através do canal serial RS232, fazer a conversão para frequência de cada módulo contador e relacionar os dados calculados com o tempo, gravar estes em um banco de dados em ACCESS e finalmente os dados podem ser exportados para uma planilha de dados em EXCEL (.XML), podendo assim, serem manipulados com maior facilidade, permitindo as opções de impressão, plotagem e análise de gráficos, determinação de linhas de tendência, arquivamento, entre outras. Na figura 5, pode ser visto a tela do software.

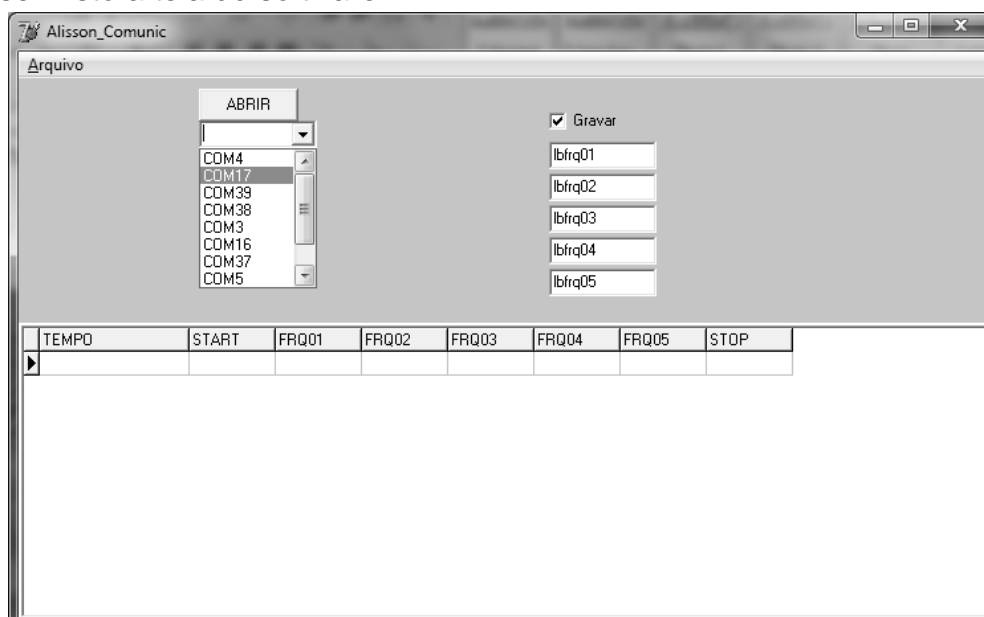


Fig. 5 Tela do software desenvolvido

O sistema foi simulado e testado usando um circuito ressonante que utiliza um cristal piezelétrico de quartzo, um circuito integrado 74ls04, dois resistores de 470 Ω e um capacitor de cerâmica de 10 nF, baseado em [6], na Figura 6 é mostrado as ligações elétricas do circuito ressonante, este circuito tem como saída uma onda quadrada de frequência igual a frequência de ressonância do cristal piezelétrico.

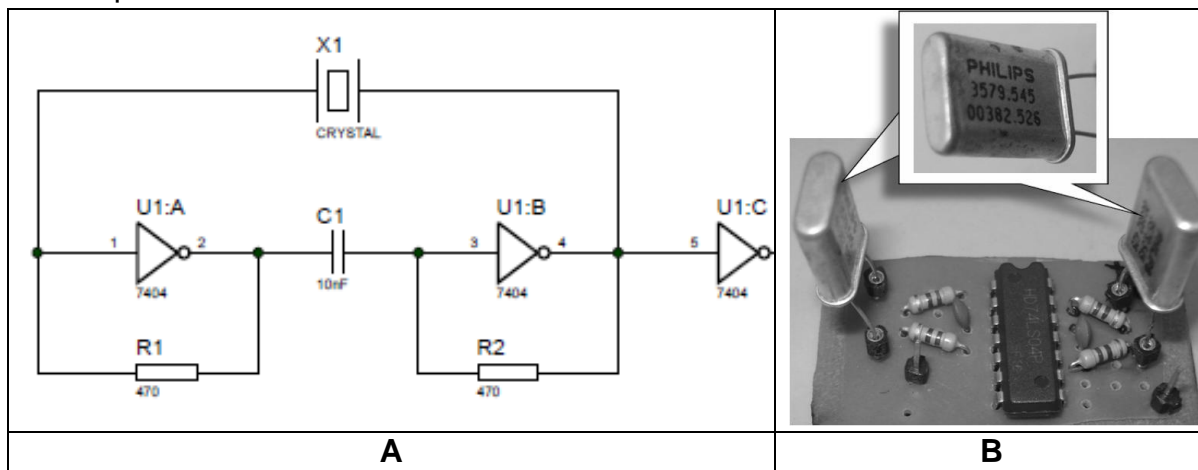


Fig. 6 Diagrama do circuito ressonante (A) e fotografia do circuito utilizado (B)

Discussão e Conclusões

Pelos testes iniciais foi possível observar baixo ruído e estabilidade de sinal no sistema. Além disso, quando comparado com equipamento comercial tomado como referência, a performance é aceitável, com uma linha de calibração linear e resolução de 2 Hz com tempo de amostragem de 1 segundo. O Figura 7 apresenta a variação de frequência comparando o sistema produzido e o comercial.

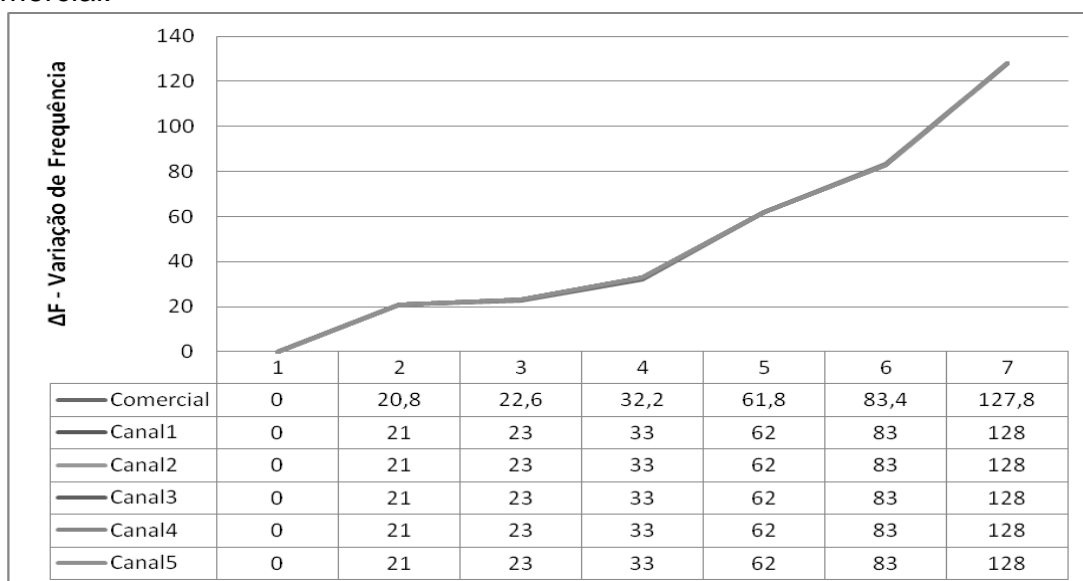


Fig 7 Variação de frequência comparando a comercial com os 5 canais no mesmo cristal

O sistema foi preliminarmente utilizado para a pesagem de fitas de papel alumínio de 1 cm² e apresentou variação de frequência em torno de 10 Hz. Assim, a tara da microbalança pode ser feita utilizando-se pequenos pedaços de papel alumínio comercial (27,0 g/cm², determinado com pesagem em balança analítica).

O uso deste sistema compacto e de baixo custo (valor para reprodução do protótipo da ordem de R\$ 300,00) pode ser muito útil em ensino e em equipamentos de tamanho reduzido, como micro-reatores.

Agradecimentos

À Profa. Dra. Ana Neilde R. da Silva pela produção das placas, a Profa. Dra. Maria Lúcia P. da Silva pelas valiosas sugestões e críticas, a FAPESP e CNPq pelo apoio financeiro.

Referências

- [1] Tuantranont, A., Wisitsora-at, A., Sritongkham, P., Jaruwongrungrsee, K. (2011) “A review of monolithic multichannel quartz crystal microbalance: A review” *Analytica Chimica Acta*, 687 p.114-128.
- [2] Varela, H., Malta, M., Torresi, R.M. (2000) “Técnicas *in situ* de baixo custo em eletroquímica: a Microbalança de Quartzo” *Química Nova*, v.23, n.5, p.664-679.
- [3] Pejčić, B., Barton, C., Crooke, E., Eadington, P., Jee, E., Ross A. (2009) “Hydrocarbon sensing. Part 1: Some important aspects about sensitivity of a polymer-coated quartz crystal microbalance in the aqueous phase” *Sensors and Actuators B* v.135 p.436-443.
- [4] <<http://www.ambriex.com.br/Produto.aspx?idProduct=24>> acesso em 12/09/2011.
- [5] <http://www.labsolutions.com.br/produtos.php?id_categoria=24&id_produto=74> acesso em 12/09/2011.
- [6] Santos L. C., et. al. (2006) “Desenvolvimento de Testes Semi-Automatizados de Miniestruturas” *Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo*, v.25, n. 2; p.75-81.
- [7] Ferreira, E.S. (2010) “Sistema eletrônico de precisão para medida de frequências em Microbalanças de Quartzo” *Boletim Técnico da FATEC-SP*, BT/28, p.38-41.
- [8] Menezes, G.R., Hernandez, L.F. (2009) “Desenvolvimento de equipamento de análise de baixo custo visando aplicação em pesquisa básica ou ensino” *Anais do Workshop de Pós-Graduação e Pesquisa do CEETEPS*, <<http://www.centropaulasouza.sp.gov.br/pos-graduacao/workshop-de-pos-graduacao-e-pesquisa/anais/2009/Trabalhos/gestao-e-desenvolvimento-da-formacao-tecnologica/trabalhos->

- completos/MENEZES,%20Gustavo%20Richieri.pdf>.
- [9] Jung, C.F., CATEN, C. S. T (2007) “Aplicação de uma metodologia singular para o desenvolvimento de um produto inovador” *VII SEPROSUL – Semana de Engenharia de Produção Sul-Americana*, UDELAR, Salto, Uruguay.
- [10] Rouiller, A.C. (2008) “Gerência de Projetos de Software” *Curso de Pós-graduação “Lato Sensu” (Especialização) a Distância – Produção de Software (com ênfase em Software Livre)*, UFLA/FAEPE, Lavras-MG, 85 p.:il.
- [11] Perry, G.T., “Proposta de uma metodologia participativa para o desenvolvimento de *software* educacional”, dissertação, *Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção*, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, novembro de 2005.
- [12] Prasad, B (1997). “Concurrent engineering fundamentals: integrated product development”. v. 2, New Jersey, Prentice Hall.
- [13] Leite, A.R., Matsuy, E.Y., leiri, M.Y., Lima, R.R., Da Silva, M.L.P. (2009) "Proposta de uso de sensores de baixo custo no ensino: vantagens para a inserção de minorias", *Anais do IV Workshop de pós-graduação e pesquisa do centro Paula Souza*, 08 e 09 de Outubro de 2009.
- [14] <<http://www.fairchildsemi.com/ds/LM%2FLM7805.pdf>>, acesso em 09/09/2011
- [15] <<http://www.josematias.pt/Alunos/IntroducaoSistDigitais.pdf>>, acesso em 12/09/2011.
- [16] <<http://www2.eletronica.org/artigos/eletronica-digital/padrao-serial-rs-232>> acesso em 09/09/2011.
- [17] <<http://pt.wikipedia.org/wiki/RS-232>> acesso em 12/09/2011.
- [18] <http://www.capriconsultorios.com/Aula4-Comun_serial.pdf> acesso em 12/09/2011.

Contato

Alisson Rodolfo Leite, IFUSP, Rua do Matão travessa R, 187, Butantã, São Paulo, SP, 05508-090, <alisson_rodolfo5@yahoo.com.br>.