



PALAVRAS CHAVES / KEY WORDS

AUTORES / AUTHORS

TRANSDUTOR PIEZOELETRICO
MEDIDAS DE PRESSÃO

AUTORIZADA POR / AUTHORIZED BY

Marco Antonio Raupp
Marco Antonio Raupp
Diretor Geral

AUTOR RESPONSÁVEL / RESPONSIBLE / AUTHOR

F. Fachini
FERNANDO FACHINI FILHO

DISTRIBUIÇÃO / DISTRIBUTION

INTERNA / INTERNAL
 EXTERNA / EXTERNAL
 RESTRITA / RESTRICTED

REVISADA POR / REVISED BY

Carlos Eduardo S. S. Migueis
CARLOS EDUARDO S. S. MIGUEIS

CDU/UDC

681.586.773

DATA / DATE

Novembro 1987

TÍTULO / TITLE	<p>PUBLICAÇÃO Nº / PUBLICATION NO</p> <p>INPE-4417-RPI/086</p> <p>UTILIZAÇÃO DE SENSORES PIEZOELETRICOS PARA MEDIR PRESSÃO EM TESTES DE LONGA DURAÇÃO.</p>
	<p>AUTORES / AUTHORSHIP</p> <p>FERNANDO FACHINI FILHO WALTER GILL</p>

ORIGEM / ORIGIN

DCP

PROJETO / PROJECT

MECB

Nº DE PAG. / NO OF PAGES

17

ULTIMA PAG. / LAST PAGE

11

VERSÃO / VERSION

Nº DE MAPAS / NO OF MAPS

RESUMO - NOTAS / ABSTRACT - NOTES

Este trabalho apresenta um método de utilização de um sensor piezoelétrico para medir pressão na câmara de decomposição, nos testes de longa duração, do propulsor a hidrazina.

OBSERVAÇÕES / REMARKS

ABSTRACT

This work presents a method for using a piezoelectric pressure sensor to measure the pressure of the decomposition chamber of a hydrazine propulsor in long tests.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
<u>LISTA DE FIGURAS</u>	v
1. <u>INTRODUÇÃO</u>	1
2. <u>MODELO MATEMÁTICO</u>	2
3. <u>APLICAÇÃO DO MODELO</u>	5
4. <u>CONCLUSÃO</u>	9
<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	11

•
••

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1 - Esquema da utilização do sistema piezoelétrico para medir a pressão da câmara	2
2 - Resposta adimensional do transdutor para um sinal do tipo pul _u sado	4
3 - Pressão na câmara de combustão versus tempo	6
4 - Resposta do medidor à variação da pressão com o tempo para $\delta = 0,8$ e $\omega_n = 300\text{Hz}$	7
5 - Resposta do medidor à variação da pressão com o tempo para $\delta = 0,7$ e $\omega_n = 343\text{Hz}$	8
6 - Resposta do medidor à variação da pressão com o tempo para $\delta = 0,6$ e $\omega_n = 400\text{Hz}$	9

1. INTRODUÇÃO

O Departamento de Combustão e Propulsão do INPE está desenvolvendo o micromotor foguete para o controle de atitude do satélite da MECB. Este motor antes de ser utilizado será exaustivamente testado para verificar a repetibilidade entre um pulso e outro (pressão na câmara e empuxo). Portanto, é necessário um sistema de instrumentação capaz de registrar com detalhes estes pulsos. Este trabalho propõe resolver o problema da utilização do transdutor piezoelétrico em testes de longa duração para medir a pressão na câmara de decomposição.

O problema do uso de um transdutor de pressão piezoelétrico deve-se ao tempo de operação relativamente curto em comparação com a duração do teste do micromotor. A limitação do tempo de operação de um sistema de medida piezoelétrico está no descarregamento capacitivo do amplificador de carga utilizado para converter o sinal pico coulomb ($10^{-9}C$), gerado pelo sensor piezoelétrico, em um sinal em volts. A solução encontrada para usar o sistema piezoelétrico para medir pressão em testes de longa duração é colocá-lo entre duas válvulas, quando devidamente intercambiadas, isolando o transdutor da câmara de combustão e do meio ambiente.

Todo esse artifício é feito para burlar a incapacidade do amplificador de retornar ao nível básico (pressão ambiente) após uma recarga do circuito, quando o sensor está num ambiente pressurizado, pois o amplificador toma o nível base de pressão no instante da colocação em operação do sistema piezoelétrico.

2. MODELO MATEMÁTICO

A forma com que o transdutor é colocado no micromotor é mostrada na Figura 1.

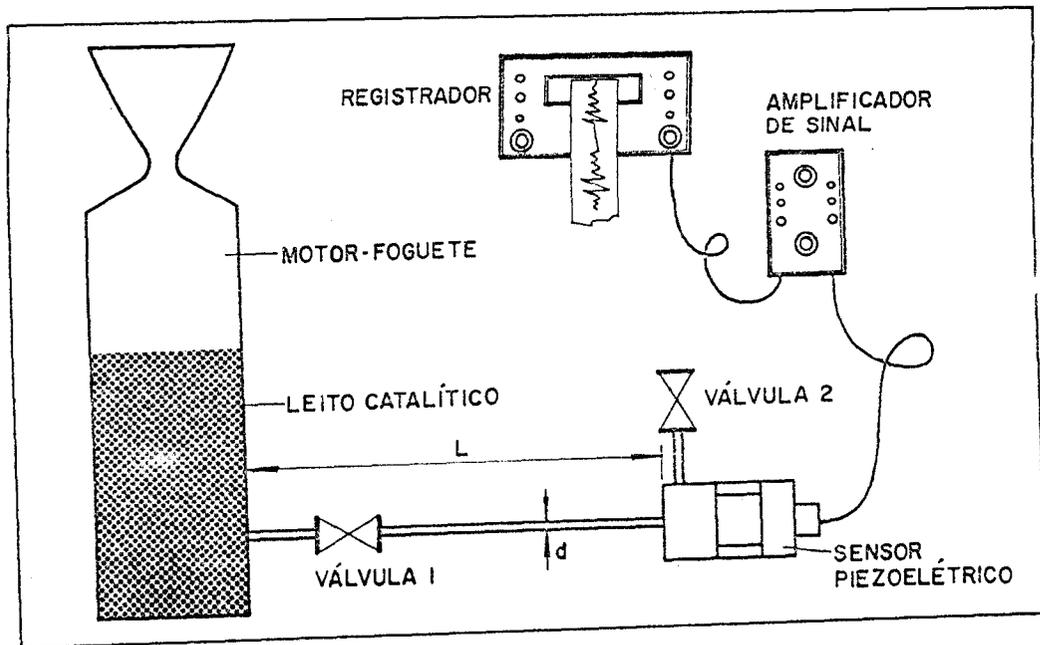


Fig. 1 - Esquema da utilização do sistema piezoelétrico para medir a pressão da câmara.

O modelo matemático que descreve a pressão medida no transdutor colocado num tubo onde se encontra as válvulas que servem de portas de estanque é dado por (Doebelin, 1975):

$$\frac{1}{W_n^2} \frac{d^2 p_m}{dt^2} + \frac{2\delta}{W_n} \frac{dp_m}{dt} + p_m = p_i, \quad (1)$$

onde p_m é a pressão medida, p_i é a pressão na câmara de decomposição, W_n é a frequência natural de oscilação e δ é a razão de amortecimento.

Apresentam-se dois modelos para descrever o fenômeno; o primeiro admite que o volume do tubo seja desprezível em comparação ao volume V (ver Figura 1). Para este modelo tem-se (Doebelin, 1975):

$$W_n = \frac{d}{2} \sqrt{\frac{\pi \gamma p}{L \rho V}} e \quad (2.a)$$

$$\delta = \frac{32\mu}{d^3} \sqrt{\frac{V.L}{\pi \cdot \gamma \cdot p \cdot \rho}}, \quad (3.a)$$

onde ρ é a massa específica, L é o comprimento do tubo, d é o diâmetro, γ é a razão dos calores específicos, μ é a viscosidade e p é a pressão da câmara de decomposição. O segundo modelo admite que o volume do tubo não seja desprezível em comparação ao volume V; assim tem-se:

$$W_n = \frac{\sqrt{\gamma p}}{\sqrt{\rho}} \frac{1}{L \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{V}{V_t}}} e \quad (2.b)$$

$$\delta = \frac{16\mu L}{d^2 \sqrt{\gamma p \rho}} \cdot \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{V}{V_t}}, \quad (3.b)$$

onde V_t é o volume do tubo.

A solução da Equação 1, tomando a parte oscilatória, é:

$$p_m = - p_i \frac{e^{-\delta W_n t}}{\sqrt{1 - \delta^2}} \cdot \text{sen} \left(\sqrt{1 - \delta^2} W_n t + \phi \right) + p_i, \quad (4)$$

onde ϕ é o ângulo da fase dado por:

$$\phi = \text{arc sen} \sqrt{1 - \delta^2}. \quad (5)$$

Os aparelhos de medida têm a razão de amortecimento entre 0,6 a 0,8, isto porque nesta faixa p_m / p_i é próximo de 1, conforme se pode ver na Figura 2.

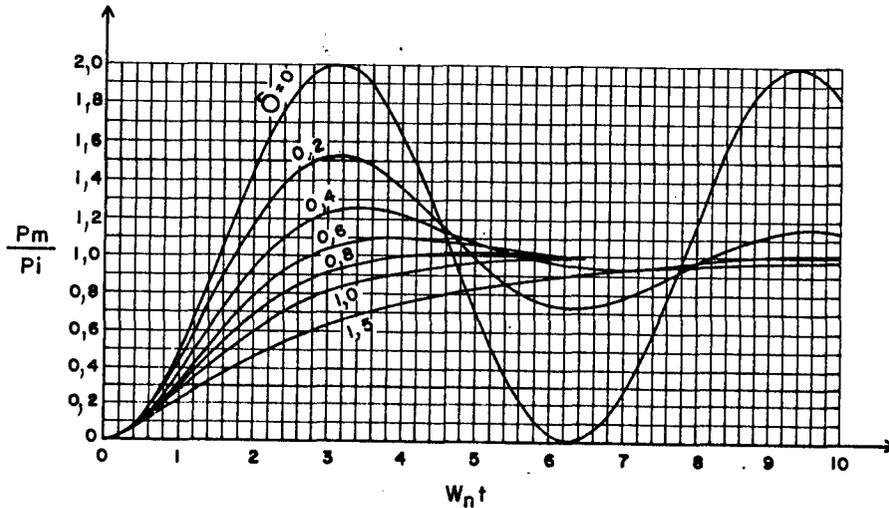


Fig. 2 - Resposta adimensional do transdutor para um sinal do tipo pulsado.

FONTE: Doebelin (1975)

A solução da equação 1 para o intervalo de tempo onde o micromotor não funciona ($p_i = 0$) tem de levar em conta, no instante da interrupção do funcionamento (50ms), que as duas soluções têm o mesmo valor, o mesmo ocorrendo com as primeiras derivadas (solução contínua). Assim, tem-se:

$$p_i = A e^{-\delta W_n t} \text{sen} (\sqrt{1 - \delta^2} W_n \cdot t + \phi'), \quad (6)$$

onde:

$$A = \frac{p_i \left[1 - \frac{e^{-0,05\delta W_n}}{\sqrt{1-\delta^2}} \operatorname{sen} (0,05 \sqrt{1-\delta^2} W_n + \phi) \right]}{e^{-0,05W_n\delta} \operatorname{sen} (0,05 \sqrt{1-\delta^2} W_n + \phi')}, \quad (7)$$

$$\phi' = -0,05 \sqrt{1-\delta^2} W_n + \operatorname{arc\,tg} \left\{ \frac{\delta}{1-\delta^2} + \frac{e^{-0,05\delta W_n}}{\sqrt{1-\delta^2}} \right\}.$$

$$\left. \frac{\left[\frac{\delta}{\sqrt{1-\delta^2}} \operatorname{sen} (0,05 \sqrt{1-\delta^2} W_n + \phi) \cdot \cos (0,05 \sqrt{1-\delta^2} W_n + \phi) \right]}{\left[1 - \frac{e^{-0,05W_n\delta}}{\sqrt{1-\delta^2}} \operatorname{sen} (0,05 \sqrt{1-\delta^2} W_n + \phi) \right]} \right\} \quad (8)$$

3. APLICAÇÃO DO MODELO

Supondo-se que a pressão na câmara de decomposição com porta-se conforme Figura 3.

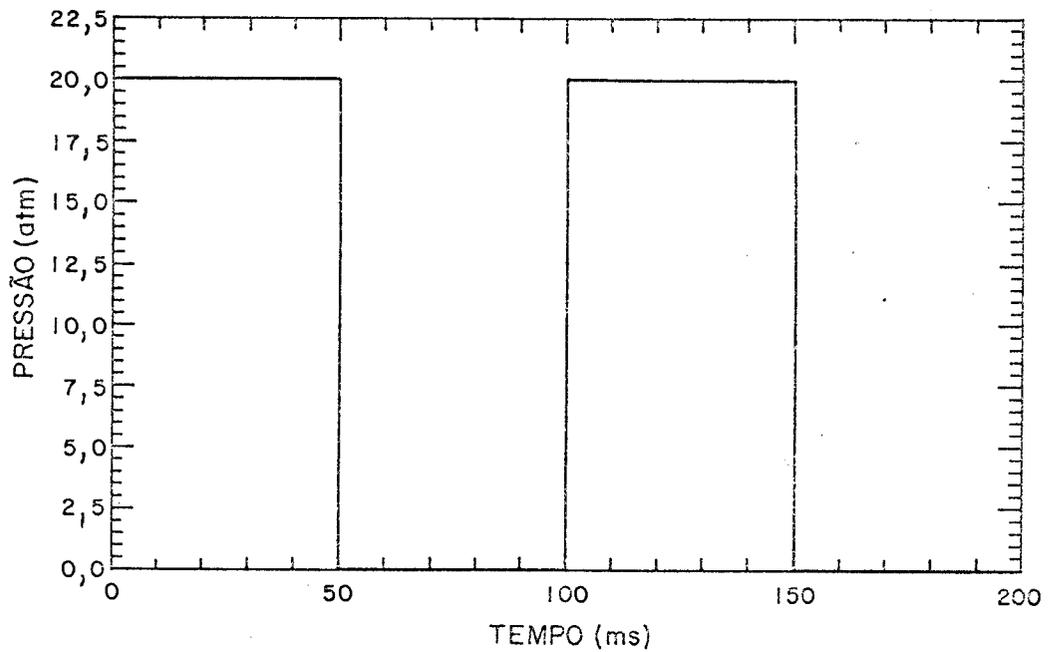


Fig. 3 - Pressão na câmara de combustão versus tempo.

Tomando como exemplo um tubo de diâmetro de 1 milímetro, a viscosidade dos gases produzidos pela decomposição da hidrazina como de $4,5 \times 10^{-5} \text{Ns/m}^2$ (Perry and Chilton, 1985), a razão dos calores específicos (γ) igual a 1,16 (Gill et alii, 1987), a massa específica de 3kg/m^3 (Gordon and McBride, 1971), o volume V igual ao volume do tubo, a pressão da câmara de 20 atmosferas e a razão de amortecimento (δ) de 0,8, 0,7 e 0,6, tem-se pelas Expressões 2.b e 3.b os valores do comprimento do tubo e a frequência natural, assim:

$$\delta = 0,8, \quad L = 2,9\text{m} \quad \text{e} \quad W_n = 300\text{Hz},$$

$$\delta = 0,7, \quad L = 2,56\text{m} \quad \text{e} \quad W_n = 343\text{Hz},$$

$$\delta = 0,6, \quad L = 2,2\text{m} \quad \text{e} \quad W_n = 400\text{Hz}.$$

Substituindo os valores de δ e ω_n , tem-se a resposta do sistema de medida à variação de pressão (conforme Figuras 4, 5 e 6).

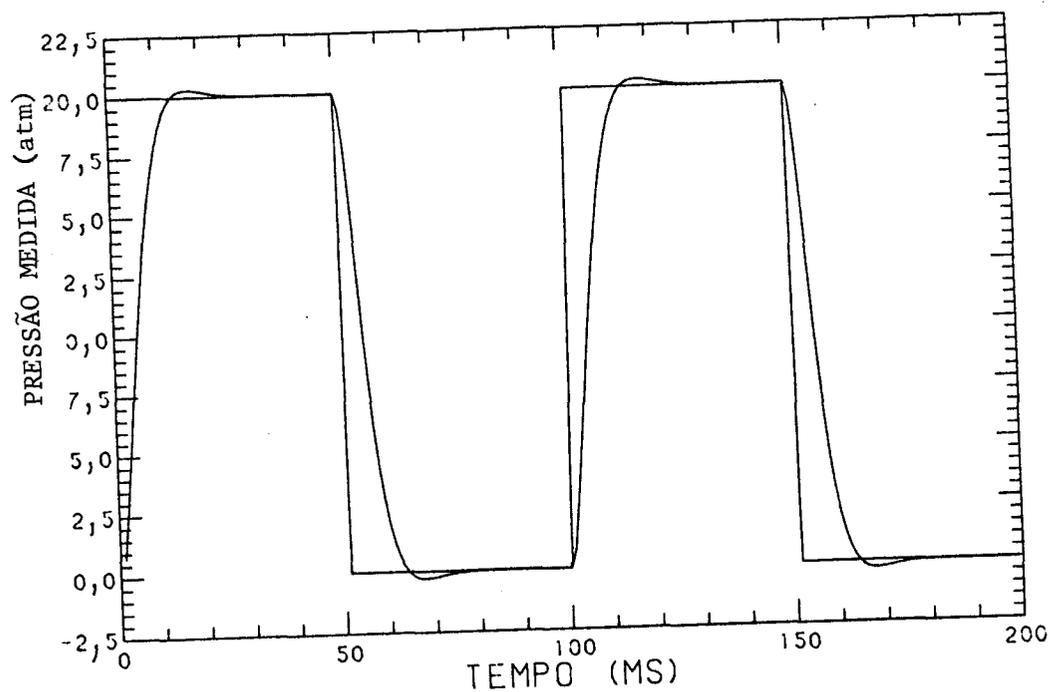


Fig. 4 - Resposta do medidor à variação da pressão com o tempo para $\delta = 0,8$ e $\omega_n = 300\text{Hz}$.

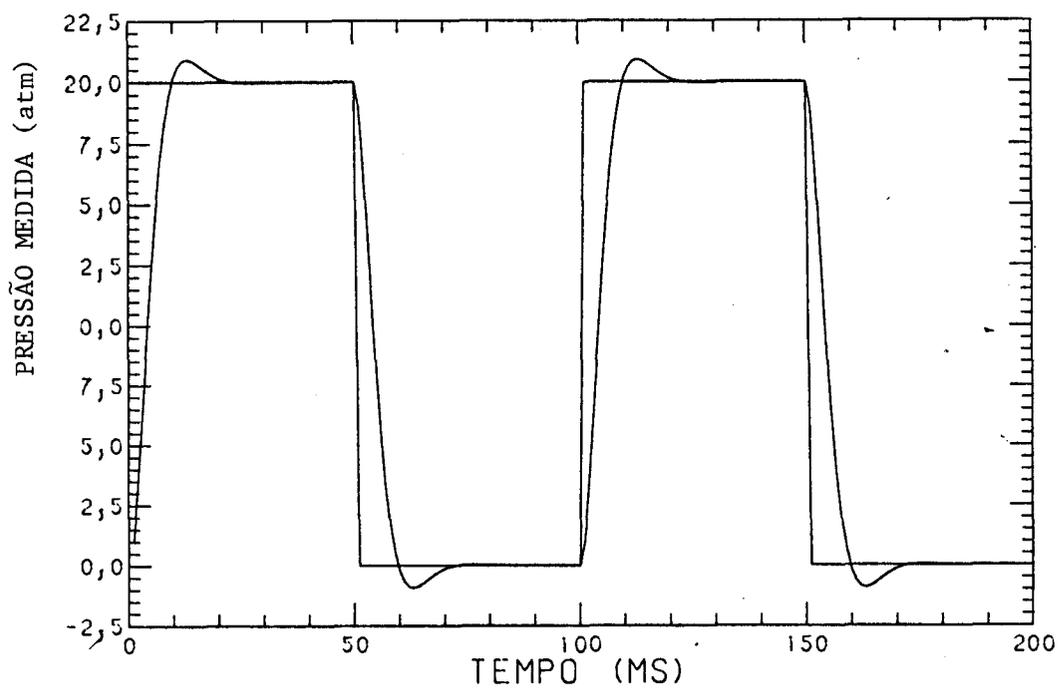


Fig. 5 - Resposta do medidor à variação da pressão com o tempo para $\delta = 0,7$ e $\omega_n = 343\text{Hz}$.

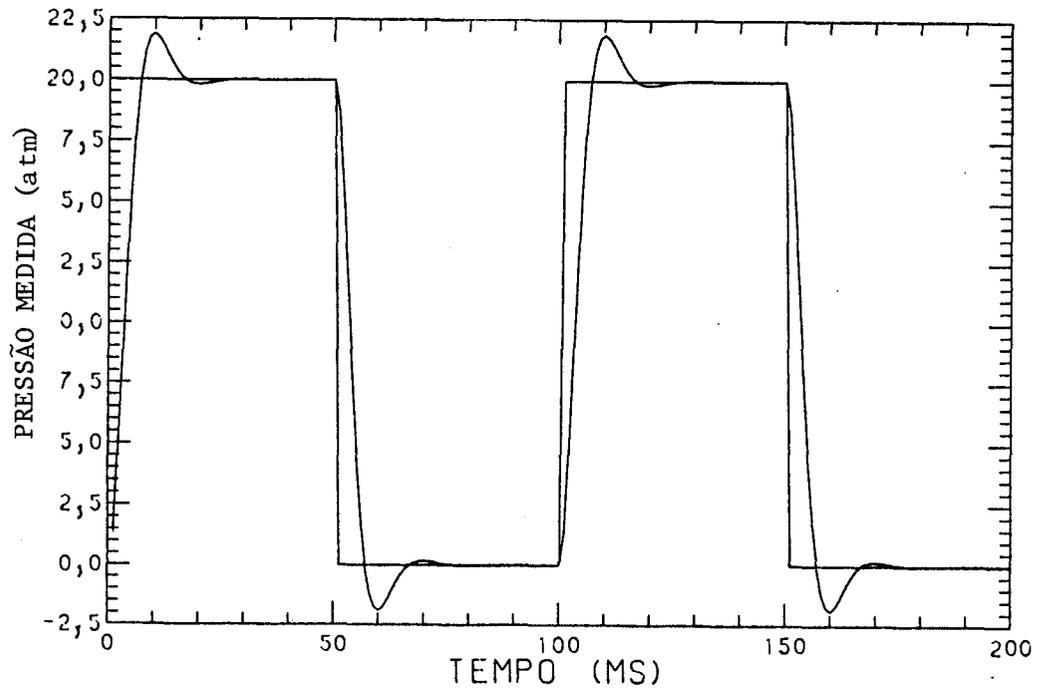


Fig. 6 - Resposta do medidor à variação da pressão com o tempo para $\delta = 0,6$ e $\omega_n = 400\text{Hz}$.

4. CONCLUSÃO

Tem-se que o sinal de pressão junto ao sensor leva aproximadamente 15ms para atingir o nível de pressão da câmara de combustão independente dos valores dados para δ e ω_n , e o sistema entra em regime permanente próximo de 25ms. Portanto, deve-se ter pulsos de duração mínima de 50ms para garantir que o sensor possa registrar a pressão de operação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DOEBELIN, E.O. *Measurement systems application and design*. New York, Mc Graw-Hill, 1975.
- GILL, W.; PAULA, F.C.E.; ARAUJO, T.M. *Decomposição catalítica de hidrazina para micropropulsor*. São José dos Campos, INPE, maio 1987. 17 p. (INPE-4179-NTE/269).
- GORDON, S.; McBRIDE, B.L. *Computer program for calculation of complex chemical equilibrium compositions, rocket performance, incident and reflected shocks, and chapman-jouquet detonations*. Washington, NASA, 1971. (NASA-SP-273).
- PERRY, R.H.; CHILTON, C.H. *Chemical engineers handbook*. 5 ed. New York, Mc Graw-Hill, 1985.



PROPOSTA PARA PUBLICAÇÃO

DATA

IDENTIFICAÇÃO	TÍTULO	
	UTILIZAÇÃO DE SENSORES PIEZOELÉTRICOS PARA MEDIR PRESSÃO EM TESTES DE LONGA DURAÇÃO.	
	AUTORIA	PROJETO/PROGRAMA
	Fernando Fachini Filho Walter Gill	MECB
		DIVISÃO
		DEPARTAMENTO
		DCP
DIVULGAÇÃO <input type="checkbox"/> EXTERNA <input checked="" type="checkbox"/> INTERNA MEIO: <i>RPI - Publicação em Livro</i>		

REVISÃO TÉCNICA	REVISOR TÉCNICO	APROVADO: <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> VER VERSO		APROVAÇÕES
	Carlos Eduardo S. S. Migueis	DATA	CHEFE DIVISÃO	
	RECEBI EM: _____ REVISADO EM: _____	APROVADO: <input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> VER VERSO		
	OBSERVAÇÕES: <input checked="" type="checkbox"/> NÃO HÁ <input type="checkbox"/> VER VERSO	19/10/87	<i>[Signature]</i>	
	DEVOLVI EM: _____ ASSINATURA	DATA	CHEFE DEPARTAMENTO	

REVISÃO DE LINGUAGEM	Nº: <u>257</u> PRIORIDADE: <u>2</u>	O(S) AUTOR(ES) DEVE(M) MENCIONAR NO VERSO, OU ANEXAR NORMAS E/OU INSTRUÇÕES ESPECIAIS		DATILOGRAFIA
	DATA: <u>27.10.87</u>	RECEBIDO EM: _____		
	REVISADO <input type="checkbox"/> COM <input checked="" type="checkbox"/> SEM <input type="checkbox"/> CORREÇÕES <input type="checkbox"/> VER VERSO	CONCLUÍDO EM: _____		
	POR: <i>Leusa Maria Dias Bicudo</i>	DATILOGRAFA: <u>Dinorah C. Azevedo</u>		
	<u>27.10.87</u> DATA <i>Leusa M. Bicudo</i> ASSINATURA	<i>[Signature]</i> ASSINATURA		

PARECER			
FAVORÁVEL: <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	<input type="checkbox"/> VER VERSO <input type="checkbox"/> VERSO	DATA	RESPONSÁVEL/PROGRAMA

EM CONDIÇÕES DE PUBLICAÇÃO EM: _____	<i>[Signature]</i> AUTOR RESPONSÁVEL
--------------------------------------	---

AUTORIZO A PUBLICAÇÃO: <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
DIVULGAÇÃO <input type="checkbox"/> INTERNA <input type="checkbox"/> EXTERNA MEIO: _____
OBSERVAÇÕES: _____
DATA _____ DIRETOR _____

SEC	PUBLICAÇÃO: _____ PÁGINAS: _____ ÚLTIMA PÁGINA: _____
	CÓPIAS: _____ TIPO: _____ PREÇO: _____