

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICO-QUÍMICA

CONSTRUÇÃO E CALIBRAÇÃO DE UM VISCOSÍMETRO
DE PLACA OSCILANTE INFORMATIZADO.

Tese submetida à Universidade Federal de Santa Catarina
para a obtenção do grau de Mestre em Ciências.

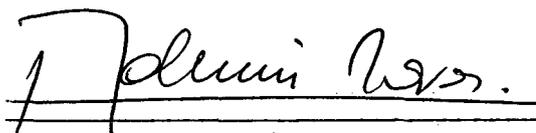
AIRTON CARLOS NOTARI

FLORIANÓPOLIS
SANTA CATARINA - BRASIL
JANEIRO - 1989

CONSTRUÇÃO E CALIBRAÇÃO DE UM VISCOSÍMETRO
DE PLACA OSCILANTE INFORMATIZADO

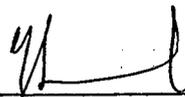
Airton Carlos Notari

ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE "MESTRE EM CIÊNCIA"
ESPECIALIZAÇÃO EM FÍSICO-QUÍMICA, E APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO CURSO DE
PÓS-GRADUAÇÃO.

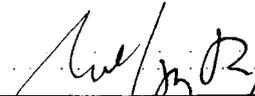


Prof. Ademir Neves, Ph.D.

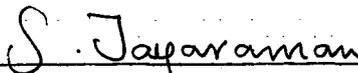
BANCA EXAMINADORA.



Prof. Vitor Hugo Ferreira dos Santos, Dr.



Prof. Wolfgang May, Ph.D.



Prof. Subramania Jayaraman, Ph.D.

Em memória de

Luis Taylor Silveira Siedler

A G R A D E C I M E N T O S

À CAPES, pelo apoio financeiro

Ao CNPq, pelo apoio financeiro

Ao Professor Orientador Vitor Hugo Ferreira dos Santos por sua orientação e acompanhamento no decorrer do trabalho

Ao Professor José Isidoro A. de Magalhães pelo auxílio no desenvolvimento do trabalho

Especial ao Prof. Luis Taylor Silveira Sildler por sua cooperação e orientação nas fases iniciais do trabalho

A todos Professores que participaram direta e indiretamente em minha formação no decorrer desse período

Aos funcionários da Secretaria e Biblioteca de Pós-Graduação em Físico-Química

Especial a Beatriz Liechti, pela sua importante ajuda no decorrer do trabalho e após esse.

RESUMO

Nós construímos um Viscosímetro de Placa Oscilante Informatizado para medir os três coeficientes de viscosidade, conhecidos como coeficientes de Miesowicz, para os cristais líquidos nemáticos, entre outras aplicações.

O equipamento é baseado no amortecimento da oscilação de uma balança analítica causada pela viscosidade da amostra. A amplitude de oscilação é medida através da interceptação da luz de um laser pelas franjas de moiré formadas por duas grades de difração. O pulso de luz é transferido para o computador que processa os dados e fornece a viscosidade da amostra.

ABSTRACT

We have built a Computerized Oscillating Plate Viscosimeter to measure the three viscosity coefficients, know as Miesowicz coefficients, for the nematic liquid cristals, among other applications.

The equipment is based on the damping of the oscillation of an analytic balance caused by the viscosity of the sample. The amplitude of the oscillation is measured through the interception of the laser light by the moiré fringes formed by two diffraction grate . The light pulse is transfered to the computer that processes the data and gives the viscosity of the sample.

ÍNDICE

I - <u>Introdução</u>	1
II- <u>Capítulo I</u>	
1.1 Introdução	3
1.2 Teoria do oscilador Harmônico amortecido	4
1.3 Teoria das franjas de moiré	10
1.4 Teoria dos fotosensores	12
1.5 Teoria reológica	17
1.5.1 Movimento laminar de cisalhamento	17
1.5.2 Tensão de cisalhamento	17
1.5.3 Deformação de cisalhamento	19
1.5.4 Taxa de cisalhamento	22
1.5.5 Viscosidades	22
1.5.6 Numero de Reynolds	23
1.5.7 Viscosidades anisotrópicas	24
III <u>Capítulo II</u>	
2.1 Diagrama em blocos	26
2.2 Descrição da estrutura dos blocos	27
2.3 Montagem	39
2.4 Ajustes	41
2.5 Observações e cuidados	51
IV <u>Capítulo III</u>	
3.1 Introdução	56
3.2 Medidas e calibração	57

3.3	Erros	66
V	<u>Conclusão</u>	81
VI	<u>Anexos</u>	
5.1	Programas	83
5.2	Características elétricas da PIO	92
5.3	Componentes da interface	100

INTRODUÇÃO

O conhecimento preciso sobre o comportamento reológico dos cristais líquidos e dos polímeros, entre outros materiais, tem sido muito estudado [1],[2],[3],[4]. A aplicação prática desses conhecimentos é útil na fabricação de detergentes sintéticos, polímeros sintéticos entre outros produtos de importância econômica, e no uso de cristais líquidos para mostradores digitais e outras aplicações.

Miesowicz [5] realizou experiências para medir as oscilações amortecidas de uma placa de vidro, suspensa ao braço de uma balança analítica e imersa em cristal líquido nemático. A amostra foi orientada por um campo magnético, com isso foi possível determinar três diferentes coeficientes de viscosidade, que são proporcionais ao decaimento da amplitude de oscilação do braço da balança, e levam o seu nome. Zvetkow [6] realizou uma experiência onde um pequeno cilindro de vidro, cheio de cristal líquido nemático, foi suspenso, por um fio metálico, no centro de um campo magnético giratório perpendicular ao eixo do cilindro. Com isso, obteve um coeficiente de viscosidade conhecido na literatura como γ_1 [7],[8],[9], que complementa os de Miesowicz.

Para termos um bom conhecimento sobre o comportamento reológico dos cristais líquidos, e podermos desenvolver a teoria destes cristais [10],[11] é imprescindível conhecer os três coeficientes de Miesowicz e o de Zvetkow. O aparelho que foi construído e calibrado por nós pode medir os coeficientes de Miesowicz. E o quarto coeficiente pode ser obtido usando o equipamento construído e calibrado por Abilio Lenzi [12]. Esses equipamentos se encontram montados no Laboratório de Reologia I (LABREO I) no departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina.

A necessidade da construção, e calibração, do viscosímetro de placa oscilante surgiu quando o então professor Dr. Luis Taylor Silveira Siedler, do departamento de Física, orientou o aluno Abilio Lenzi para a construção e calibração do aparelho de Zvetkow. O viscosímetro de placa oscilante (VPO) iria completar o conjunto dos equipamentos necessários para a medida dos coeficientes de viscosidade dos cristais líquidos.

Com o viscosímetro de placa oscilante podemos medir não sómente os coeficientes de Miesowicz para os cristais líquidos, podemos fazer várias medidas da variação da viscosidade de fluidos [13],[14], tais como : variação da viscosidade de um óleo com a temperatura, a variação da viscosidade de uma solução de polímeros com a concentração, a variação da viscosidade de um líquido com a temperatura e a concentração, etc. Pode-se ainda medir a viscosidade de soluções, óleos, líquidos em geral.

No capítulo I faremos uma introdução a teoria necessária para a compreensão do funcionamento do viscosímetro de placa oscilante. As teorias revisadas são : teoria do oscilador harmônico amortecido, teoria das franjas de "moiré", teoria dos fotosensores e teoria reológica. No capítulo II serão mostradas todas as partes importantes do equipamento e, também será descrito a montagem completa do equipamento, os ajustes necessários para o funcionamento adequado do equipamento e os cuidados e algumas observações sobre o equipamento. No capítulo III mostraremos todos os passos necessários para a obtenção de medidas corretas, e a calibração necessária para tal, ainda neste capítulo, será mostrado como encontrar o erro associado a cada medida da viscosidade absoluta de uma determinada amostra.

CAPITULO I

1.1 INTRODUÇÃO:

Neste capítulo faremos uma revisão da teoria básica sobre alguns assuntos que serão relevantes para a compreensão do Viscosímetro de Placa Oscilante.

Desenvolveremos primeiro a teoria do oscilador harmônico amortecido, já que a parte mecânica do viscosímetro consiste de uma balaça analítica de precisão que é posta a oscilar com uma ponta, pendente de um dos braços, imersa no fluido cuja viscosidade se quer medir e a outra, sustenta uma grade de difração que oscila livremente paralela a uma grade fixa. O momento de inércia da balança será controlado por pesos colocados no fiél, e o fator de amortecimento da balança dependerá da viscosidade do fluido no qual a ponta está imersa.

Desenvolveremos em seguida a teoria das franjas de moiré. Tais franjas escuras são obtidas quando duas grades de interferência, uma pendente de um dos braços da balança e outra fixa, são colocadas com faces paralelas e linhas deslocadas no plano das grades de um pequeno ângulo. Quando tal sistema intercepta um feixe de laser que incide sobre um detector após atravessa-las, o numero de franjas claras e escuras que se alternam em frente ao feixe pode ser usado para medir a amplitude das oscilações da balança.

Em seguida escreveremos sobre a teoria do fotosensor usado como detector, cujo numero de pulsos, transmitidos ao computador, é proporcional ao numero de franjas que interceptam o caminho do laser e, portanto dão uma medida do decréscimo da amplitude de oscilação da balança a cada periodo. Finalmente faremos um resumo da teoria reológica necessária para compreensão do tipo de medida que o viscosímetro de placa oscilante pode realizar.

1.2 TEORIA DO OSCILADOR HARMÔNICO AMORTECIDO :

No caso de um oscilador formado pelo braço de uma balança, o ângulo que o braço desta forma com a horizontal θ , a sua inércia I , a força restauradora K que depende do peso no fiél e a constante de amortecimento C que depende, em parte, da viscosidade do fluido a ser medido, são os parâmetros mais importantes (fig. 1.1).

A equação de segunda ordem que descreve um oscilador harmônico amortecido por uma força diretamente proporcional a velocidade é dada por:

$$I\ddot{\theta} + C\dot{\theta} + K\theta = 0 \quad (1.1)$$

onde θ representa o deslocamento do braço da balança em função do tempo. A equação (1.1) pode ser resolvida assumindo uma solução da forma

$$\theta = e^{pt} \quad (1.2)$$

onde a variável t representa o tempo e p é função dos coeficientes da eq. 1.1 : K, I, C . Aplicando (1.2) na equação (1.1), obtemos a equação característica :

$$p^2 + \frac{C}{I}p + \frac{K}{I} = 0 \quad (1.3)$$

cujas raízes são :

$$p_1 = -\frac{C}{2I} + \sqrt{\frac{C^2}{2I} - \frac{K}{I}} \quad e$$

$$p_2 = -\frac{C}{2I} - \sqrt{\frac{C^2}{2I} - \frac{K}{I}} \quad (1.4)$$

A solução geral é

$$\theta = Ae^{p_1 t} + De^{p_2 t} \quad (1.5)$$

onde A e D são constantes arbitrárias que dependem das condições iniciais.

Em (1.4) observa-se que o comportamento do sistema dependerá do coeficiente de amortecimento C, pois K e I são constantes do oscilador e podem ser conhecidas.

Para encontrarmos o amortecimento crítico C_0 , faz-se com que o radicando da equação (1.4) seja nulo :

$$\left(\frac{C_0}{2I}\right)^2 - \frac{K}{I} = 0$$

então

$$\frac{C_0}{2I} = \sqrt{\frac{K}{I}} = \omega$$

logo

$$C_0 = 2I\omega \quad \text{ou} \quad C_0 = 2\sqrt{KI} \quad (1.6)$$

Da equação (1.6) podemos obter uma constante adimensional b para o amortecimento [15], fazendo

$$b = \frac{C}{C_0} \quad \text{ou} \quad b = \frac{C}{2\sqrt{KI}} \quad (1.7)$$

logo as soluções de (1.4) ficam

$$p_1 = (-b + \sqrt{b^2 - 1})\omega$$

e

$$p_2 = (-b - \sqrt{b^2 - 1})\omega \quad (1.8)$$

Como só nos interessa o amortecimento menor que o crítico ($b < 1$), então $\sqrt{b^2 - 1}$ terá raízes complexas. A solução geral fica :

$$\theta = Ae^{(-b+i\sqrt{1-b^2})\omega t} + De^{(-b-i\sqrt{1-b^2})\omega t} \quad (1.9)$$

Usando as condições iniciais :

$$\theta = \theta_0, \quad \varepsilon = \frac{\pi}{2} \quad \text{para } t=0$$

obtemos

$$\theta = \theta_0 e^{-\omega t b} \text{sen}(\sqrt{1-b^2} \omega t + \varepsilon) \quad (1.10)$$

ou

$$\theta = \theta_0 e^{-\beta t} \text{sen}(\beta t + \varepsilon) \quad (1.11)$$

Onde: $\beta = \sqrt{1-b^2} \omega$ é a oscilação amortecida e ε o ângulo de fase.

Para valores inteiros do período T , teremos $\theta = \theta_{\max}$.

quando:

$$T = \frac{2\pi}{\beta}$$

então

$$t_n = nT \quad \text{para } n=1,2,3,4,\dots \quad (1.12)$$

logo

$$\theta_n = \theta_0 e^{-b\omega t_n} \text{sen}(\beta t_n + \frac{\pi}{2}) \quad (1.13)$$

para $n = 1, 2, 3, 4, \dots$:

$$\theta_n = \theta_0 e^{-\frac{2n\pi b\omega}{\beta}} \text{sen}(2n\pi + \frac{\pi}{2})$$

ou

$$\theta_n = \theta_0 e^{-\frac{2n\pi b\omega}{\beta}} = \theta_0 e^{-nh} \quad (1.14)$$

onde

$$h = \frac{2\pi b\omega}{\beta} = \frac{2\pi b}{\sqrt{1-b^2}} \quad (1.15)$$

onde h é o decremento logaritmico de Gauss.

A equação (1.15) é para $b < 1$:

$$C < C_0, \quad \text{então,} \quad C < 2\sqrt{KI} \quad (1.16)$$

Para termos $b < 1$, mas não muito pequeno, é importante que KI seja grande. Como o torque K é diretamente proporcional a distância do centro de massa ao centro de rotação (giro) do oscilador, representada pela letra d , e I é constante, necessitamos aumentar K para termos C_0 grande.

Fazendo um gráfico de h versus b como mostrado na figura (1.2), observa-se que para $b < 1.5$, o comportamento de h é da ordem de $2\pi b$. Logo podemos usar h como medida do fator de amortecimento C .

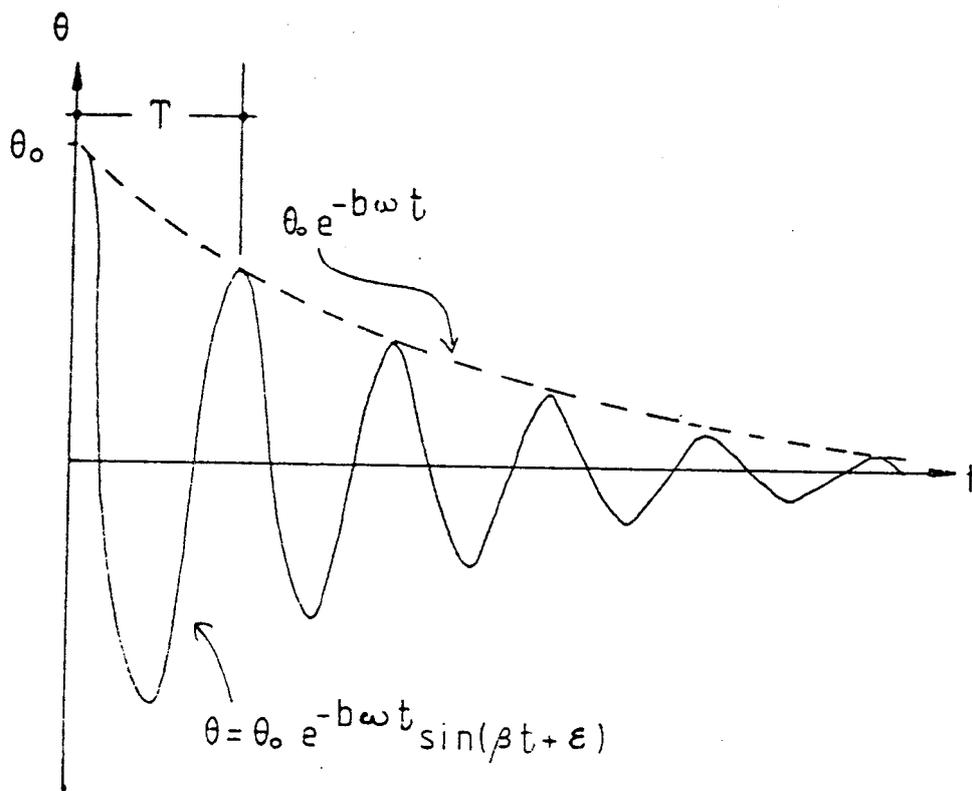


Figura 1.1) Gráfico representando as curvas regidas pela equação do oscilador harmônico amortecido, pela função $\theta_0 \exp(-b\omega t)$. Onde θ = amplitude de oscilação.

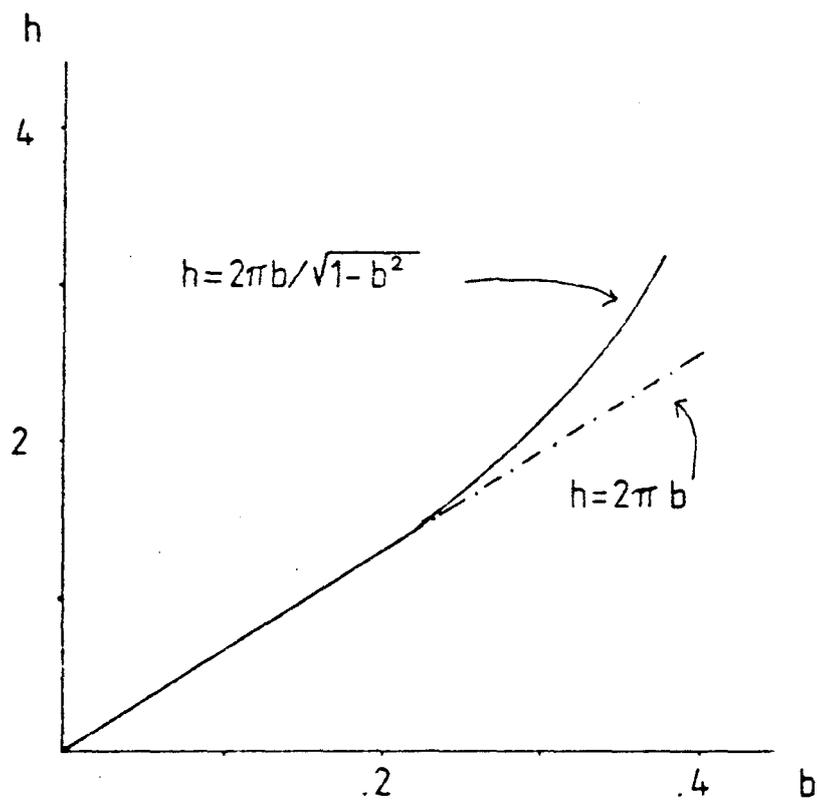


Figura 1.2) Gráfico teórico do decremento logaritmico de Gauss (h) versus a razão de amortecimento (b).

1.3) TEORIA DAS FRANJAS DE MOIRÉ.

Os moldes formados pela sobreposição de duas camadas de tecido fino, chamada de moiré por Tecelões de seda franceses, tem sido usado por seus efeitos decorativos por muitos séculos. Seu estatus científico só foi reconhecido em 1874 por Lord Rayleigh, quando mostrou que as franjas de moiré formadas quando duas grades de difração transparentes similares são sobrepostas, promove um teste muito delicado da uniformidade das sequências das linhas. A geometria da formação das franjas de moiré foi descrita em detalhes em 1887 por Righi [16]. Righi questionou a possibilidade de medir o deslocamento relativo de duas grades pela observação do movimento consequente das franjas.

O primeiro a patentear um instrumento de medida que usava o princípio das franjas de moiré, foi Giambiasi (1922) [17]. Só após Roberts (1950) [18] ter publicado um pequeno artigo com o modelo pioneiro de "Transdutores de grades Lineares" é que a aplicação prática das grades foi ampliada.

Quase no mesmo tempo o Laboratório Nacional de Física foi acionado para desenvolver um novo e barato método de larga fabricação de grades de difração sugerido por Merton (1950) [19]. Guild (1956) [20] estendeu o trabalho de Righi e foi capaz de estabelecer as condições rigorosas para a formação de franjas de moiré por grades [21].

Grades metrológicas usualmente consistem de uma sucessão regular de linhas opacas separadas por espaços claros de iguais larguras. Se duas dessas grades estão alinhadas paralelamente e um feixe de luz incide normalmente na primeira, passando através dessas grades e incidindo em uma fotocélula, que contem uma fenda da largura das linhas opacas das grades, não somente a saída da fotocélula será grandemente aumentada, mas se qualquer das grades tiver alguma irregularidade local ou periódica o efeito médio

causado por esses defeitos, devido ao grande numero de fendas, é insignificante. Esse é o princípio do "melhoramento pela média" que é a diferença essencial entre as medidas com grades e medidas com escalas ordinarias, é um princípio que, paradoxalmente, faz a medida mais precisa que a da grade por si só.

Nós estávamos considerando o que sucede quando as linhas das duas grades são paralelas entre si, mas se uma das duas grades for rotacionada em seu próprio plano através de um pequeno ângulo, as linhas das duas grades cruzan-se e as intersecções serão claramente visíveis como franjas escuras de moiré, correndo aproximadamente em um ângulo reto em relação as linhas da grade. Um movimento transversal da grade móvel faz com que as franjas se movam para cima e para baixo, de modo que um numero grande de franjas ocupa a posição central onde inside o feixe de luz durante uma oscilação completa da grade móvel (fig. 1.3).

O espaçamento e largura das franjas aumentam a medida que o ângulo entre os dois grupos de linhas de grade é reduzido, tornando-se infinitas quando as linhas ficam paralelas. Luz colimada de uma fonte linear ou puntual, incide normalmente sobre a grade móvel e posteriormente passa através da grade fixa para ser lida por uma fotocélula. A distância d de separação das duas grades é escolhida para acomodar seu espaçamento. Para grades com "linhas e espaços" de 25-100 linhas/milimetro, a grade fixa é colocada no primeiro foco de Fresnel da grade móvel, cuja distância é dada por:

$$d = \frac{W^2}{\lambda} \quad (1.17)$$

onde : W é o periodo da grade λ é o comprimento de onda da luz incidente. Para grades com W menor, ou seja mais de 100 linhas/milimetro, o primeiro foco de Fresnel é a uma distância

$$d = \frac{w^2}{2\lambda} \quad (1.18)$$

tornando a claridade insuficiente para evitar o perigo de abrasão, ou seja as franjas são suficientemente escuras para interromper o feixe de luz incidente [22].

1.4) TEORIA DOS FOTSENSORES :

Os dispositivos optoeletrônicos são obtidos de materiais semicondutores, os quais possuem uma diferença de energia entre suas bandas de valência e de condução (tabela 1.1). Se um fóton de energia maior que a diferença de energia entre as bandas, do material, é absorvido, os elétrons de valência do material podem ser excitados à banda de condução, com o qual se criam elétrons (e/ou buracos) livres, portadores de corrente. Esse processo é o funcionamento básico dos fotodetectores [23].

Os fotodiodos possuem uma junção PN, exemplo : Si^+ e Si^- dopados, que pode ser polarizada por uma corrente elétrica reversa. Com isso é criada uma região com baixa densidade de cargas livres (elétrons ou buracos), que atua como um dielétrico em um capacitor, e as partes mais próximas as extremidades, que ficam carregadas, como as placas do capacitor (fig. 1.4). A capacitância do fotodiodo decresce com o aumento da voltagem reversa, e o tempo de transito dos elétrons e buracos através da região de baixa densidade de cargas, i.é o tempo que um elétron (buraco) criado na região P (N) leva para alcançar a região N(P).

Sem iluminação sobre a junção PN, uma corrente reversa muito pequena flui, e é conhecida por corrente no escuro (dark-current). Se luz está incidindo na junção PN, pares de cargas (elétrons e buracos) são gerados aumentando a corrente reversa. Essa fotocorrente, I_p , é proporcional a iluminação, e é uma combinação da corrente gerada pela luz, I_p'' , e a gerada pela

dopagem (dark-current), I_r , sendo $I_p = I_p'' + I_r$. I_r pode ser negligenciada, pois é muito pequena. Consequentemente, uma correlação linear entre I_p e I_p'' é obtida para uma região grande do espectro luminoso [24].

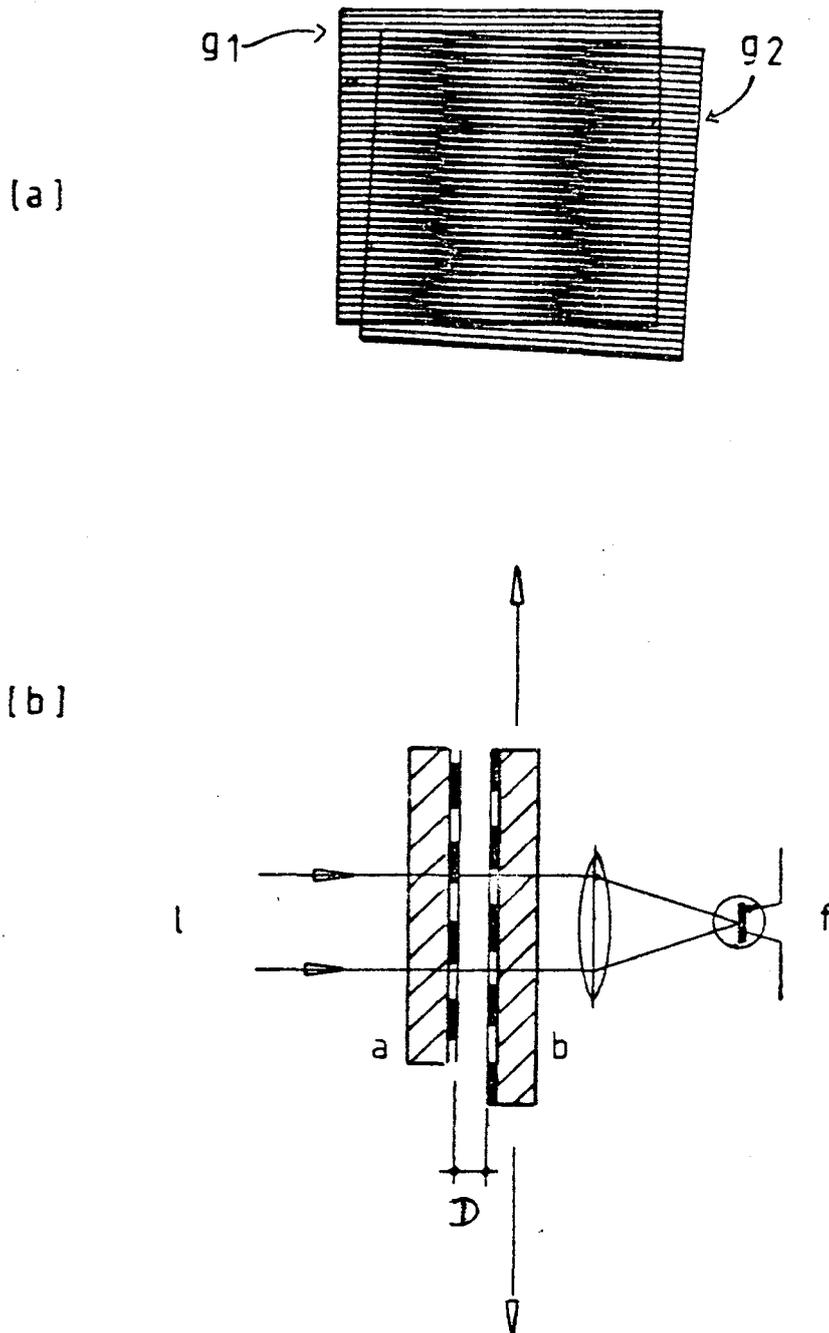


Figura 1.3) a) As franjas de moiré são produzidas por duas grades paralelas g_1 e g_2 com um pequeno ângulo entre suas linhas.

b) O feixe de laser l passa através das grades a e b , onde as franjas de moiré são formadas, fazendo o laser pulsar, quando a grade móvel se movimenta, e o fototransistor f capta esses impulsos óticos e os transforma em impulsos elétricos. A distância D (d) corresponde ao primeiro foco de Fresnel.

Tabela 1.1) Dispositivos optoeletrônicos, componentes e valores da diferença de energia entre as bandas de valência e condução.

Nome	Símbolo	Interv. Energia a 300 K
Sulfato de Cádmió	CdS	2,4 eV
Fosfato de Gálio	GaP	2,2 eV
Selenato de Cádmió	CdSe	1,7 eV
Arsenato de Gálio	GaAs	1,4 eV
Silício	Si	1,1 eV
Germânio	Ge	0,7 eV
Arsenato de Índio	InAs	0,43 eV

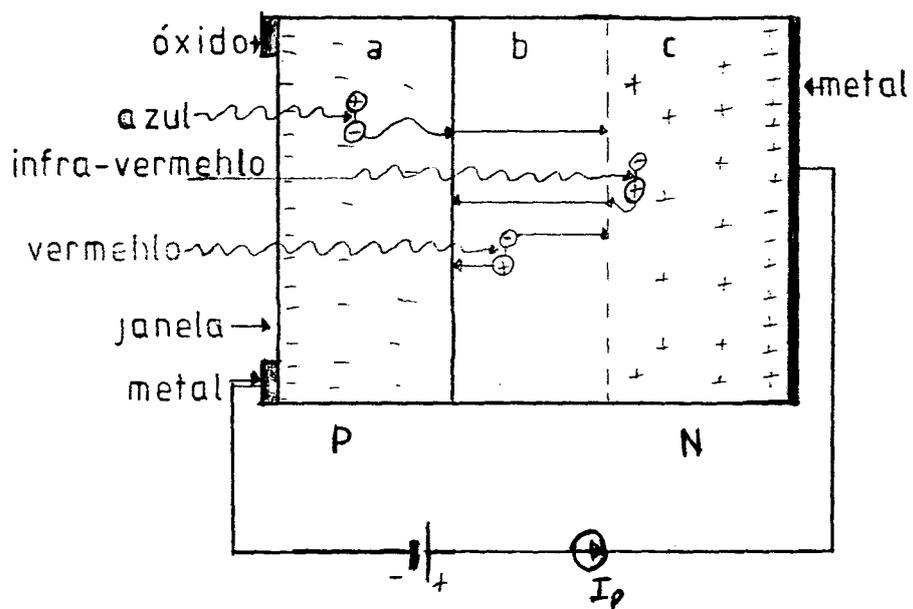


Figura 1.4) Mostra as regiões de um fotodiodo polarizado inversamente : a) região Si^+ (P), b) região com baixa densidade de cargas , c) região Si^- (N). E a penetração da luz.

1.5) TEORIA REOLÓGICA:

1.5.1- Movimento laminar de cisalhamento:

Este movimento é difícil de definir rigorosamente sem fazer apelo a um formalismo matemático que ultrapasse o nível da exposição. Podemos, entretanto, dar uma definição intuitiva :

Um movimento laminar de cisalhamento é um movimento de fluxo de fluido no qual a matéria apresenta uma estrutura em lâminas, em camadas adjacentes, de espessura infinitesimal; a deformação da matéria se efetua por um deslizamento relativo das diferentes camadas, uma sobre a outra, sem entretanto haver transferência de matéria de uma camada a outra; este é um movimento estritamente ordenado e estratificado, o qual se produz sem dobras da matéria e sem variações do volume.

1.5.2- Tensão de cisalhamento (shear stress):

As camadas são animadas de movimento uma em relação a outra, sendo tal movimento de natureza laminar de cisalhamento. Isso resulta na aparição de forças de atrito que são exercidas tangencialmente a superfície da camada: essas forças tangenciais são chamadas Forças de cisalhamento.

Considerando dois elementos de superfície infinitesimais pertencentes a duas camadas consecutivas (1) e (2) de velocidades paralelas v_1 e v_2 (fig. 1.5). Supondo que $v_1 > v_2$, temos que a camada (1) exerce sobre a camada (2), uma força de cisalhamento dF , paralela ao movimento e tende a acelerar a camada (2). Reciprocamente, a camada (2) exerce sobre a camada (1) uma força de cisalhamento $-dF$ tendendo a freia-la. Define-se como constante de cisalhamento T a força tangencial por unidade de área :

$$T = \frac{dF}{dS} \quad (1.19)$$

onde a componente tangencial dF representa a projeção algébrica da força líquida superficial dF sobre um eixo paralelo a direção de movimento.

Observamos que a constante de cisalhamento T é uma função definida em todo os pontos do material e varia em geral de uma camada à outra (por razões de simetria, T permanece constante em todos os pontos de uma mesma camada).

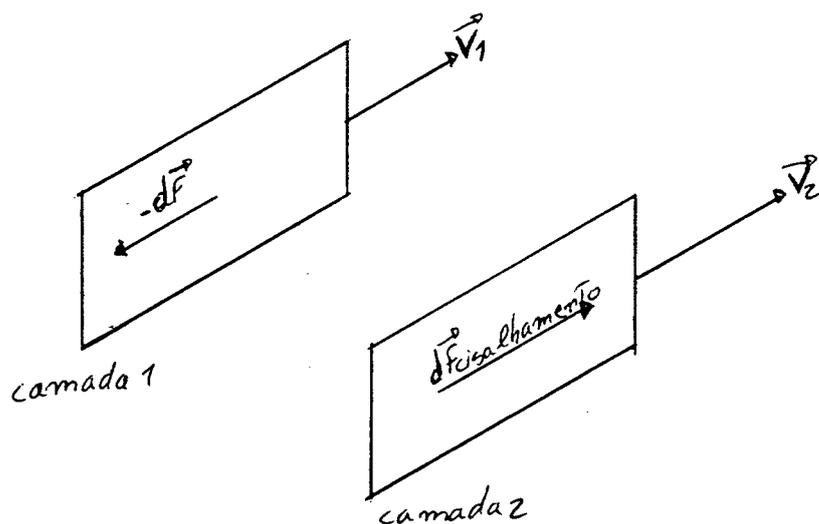


Figura 1.5) Mostra duas camadas infinitesimais de um material sob cisalhamento.

1.5.3- Deformação de cisalhamento (shear strain):

Suponhamos um movimento laminar de cisalhamento com simetria plana, como exposto anteriormente, a materia é cisalhada entre duas placas paralelas, uma móvel outra fixa (fig. 1.6). Consideremos as particulas de materia que se encontram, em um instante de tempo inicial (arbitrariamente escolhido) $t = 0$, em uma certa secção reta. Em um instante de tempo posterior t , cada particula de materia percorreu uma distância $U(x,t)$, onde x é a distância de separação da particula ao plano sólido inferior (placa fixa).

A definição da deformação de cisalhamento representada pela letra ξ , no caso da simetria plana, fica :

$$\xi(x,t) = \frac{dU(x,t)}{dx} \quad (1.20)$$

Observamos pela figura 1.7 que a deformação de cisalhamento

$$\xi(x,t) = \tan \alpha(x,t) \quad (1.21)$$

É claro que em geral $\xi(x,t)$ depende não sómente do tempo t mas tambem de x , isto é, da distância da camada escolhida a parede fixa.

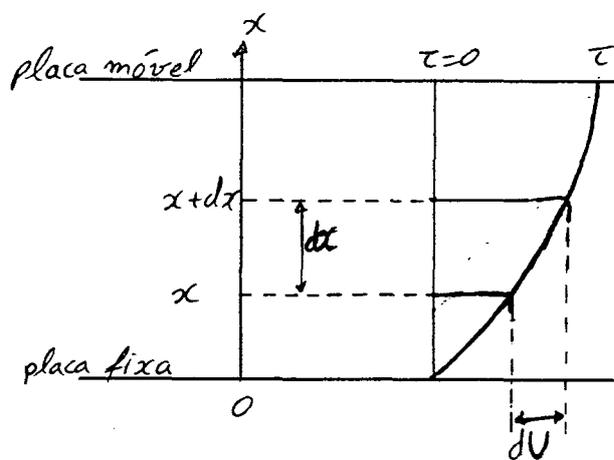


Figura 1.6) Mostra duas placas paralelas infinitesimais, e a função U , distância percorrida por um ponto material, que depende de x e t .

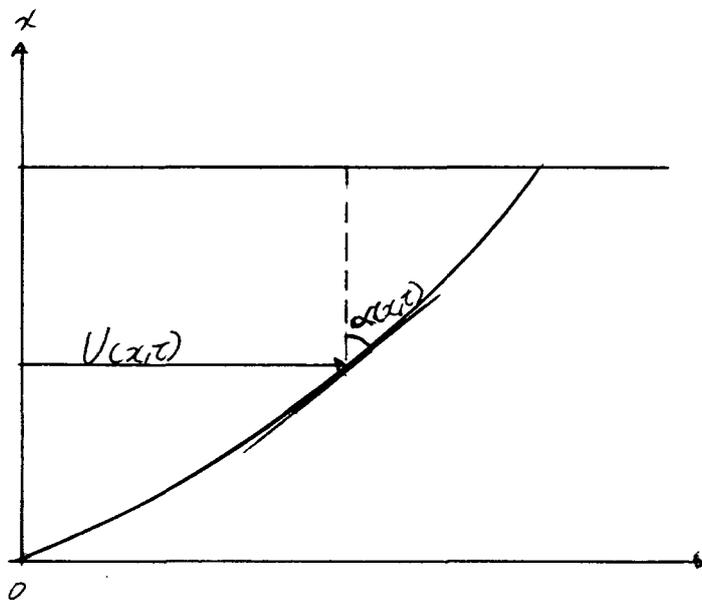


Figura 1.7) Representa a derivada da distância $U(x,t)$.

1.5.4- Taxa de cisalhamento (shear rate):

Por definição a taxa de cisalhamento é a derivada em relação ao tempo da deformação de cisalhamento :

$$\dot{\xi} = \frac{d\xi}{dt} \quad (1.22)$$

Substituindo (1.20) em (1.22) temos :

$$\dot{\xi} = \frac{d}{dt} \frac{dU}{dx} = \frac{d}{dx} \frac{dU}{dt}$$

onde $\frac{dU(x,t)}{dt}$ representa a velocidade, $v(x,t)$, da camada x no instante t , no caso da simetria plana :

$$\dot{\xi} = \frac{dv(x,t)}{dx} \quad (1.23)$$

dimensão de $\dot{\xi}$ é segundo⁻¹ (s⁻¹).

1.5.5- Viscosidades:

Os coeficientes de viscosidades são grandezas físicas importantes para a Reologia. As vezes, são suficientes para a caracterização de maneira precisa o comportamento reológico da matéria. São definidos diferentes coeficientes de viscosidade:

viscosidade dinâmica (μ):

$$\mu = \frac{T}{\dot{\xi}} \quad (1.24)$$

é também conhecida como viscosidade aparente. As unidades são: para o sistema MKS o pascoal segundo (Pa.s) e para o CGS o poise (P), onde :

$$1 \text{ Pa.s} = 10 \text{ P} \quad \text{ou} \quad 1 \text{ mPa.s} = 1 \text{ cP}$$

Para substâncias "newtonianas" :

$$\dot{\xi} = \frac{\tau}{\eta} \quad (1.25)$$

onde $\dot{\xi}$ é constante, e η é chamada viscosidade absoluta.

Viscosidade cinética (ν):

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{\eta}{\rho} \quad (1.26)$$

onde ρ é a densidade do fluido. Sua unidade é o stokes (St) para o CGS e o m²/s no MKS.

Para o estudo das soluções, em geral, é comum usar as seguintes viscosidades :

Viscosidade relativa (μ_{rel}):

$$\mu_{rel} = \frac{\mu}{\mu_s} \quad (1.27)$$

Viscosidade específica (μ_{sp}):

$$\mu_{sp} = \frac{\mu - \mu_s}{\mu_s} = \mu_{rel} - 1 \quad (1.28)$$

Viscosidade intrínseca ($[\mu]$):

$$[\mu] = \lim_{c \rightarrow 0} \left[\frac{\mu_{sp}}{c} \right] \quad (1.29)$$

onde μ = viscosidade dinâmica da solução, μ_s = viscosidade dinâmica do solvente e c = concentração da solução.

1.5.6- Numero de Reynolds:

Considerando um movimento laminar de cisalhamento, se

aumentarmos progressivamente a velocidade relativa do fluxo das camadas uma em relação a outra. Observa-se que apartir de um certo instante, o regime laminar desaparece : as diferentes camadas se desordenam, se misturam. O regime passa a ser turbulento .

O limite entre regime laminar e turbulento é caracterizado, em cada situação experimental particular, pelo valor de R que compreende um numero R chamado numero de Reynolds, que é definido pela função seguinte :

$$R = \frac{V L}{\nu} \quad (1.30)$$

onde : V é a velocidade de deslocamento da camada de matéria mais rápida e, L é um comprimento característico do reômetro (no nosso caso a distância da lâminula de vidro a parede da cuba), ν é a viscosidade cinética da matéria (amostra).

Para definir se o regime é turbulento ou laminar, faz-se a seguinte comparação :

se $R > R_0$ - regime turbulento

se $R < R_0$ - regime laminar.

Tendo o valor de R_0 , é fácil de determinar a velocidade limite, $v_{lim.}$, a fim de ficar dentro do regime laminar [25] :

$$v_{lim.} = \frac{R_0 \nu}{L} \quad (1.31)$$

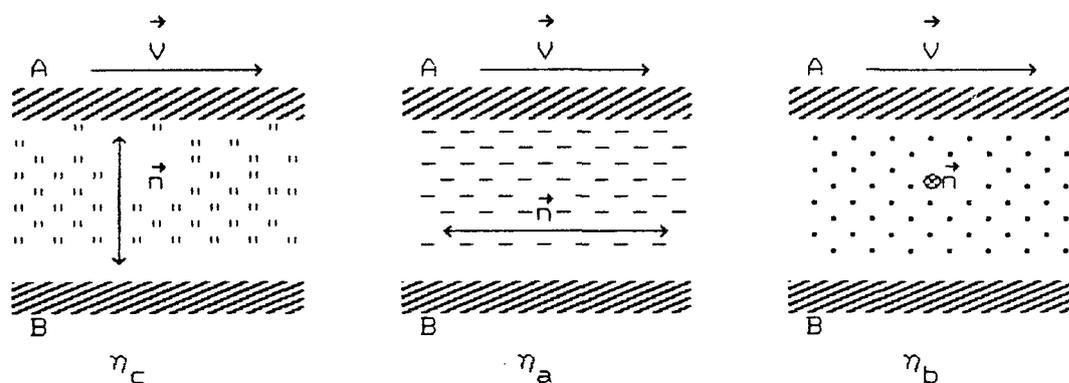
1.5.7- Viscosidades anisotrópicas:

Em muitas substâncias, as orgânicas principalmente, são observadas fases intermediárias entre a sólida e a líquida isotrópica, conhecidas como mesofases [12]. Cristais líquidos ou mesofases fluida ordenada, são mesofases sem ordem posicional nas três dimensões, mas apresenta uma orientação preferencial. As

moléculas que apresentam mesofase fluida ordenada, que geralmente são alongadas, estão arranjadas em estruturas que exibem anisotropia nas propriedades físicas, pois apresentam um certo ordenamento.

A viscosidade aparente ou medível de um cristal líquido nemático não tem um valor constante, mas depende, para um dado material, da temperatura, taxa de cisalhamento e da geometria do fluxo. É particularmente sensível a orientação relativa do diretor (vetor unitário que designa a direção principal que as moléculas de um nemático tende se alinhar) com respeito a velocidade e ao seu gradiente; a viscosidade é altamente anisotrópica e depende do fator que induz a orientação do diretor.

Os três coeficiente de Miesowicz são mostrados abaixo pelos desenhos



onde a placa A, paralela a placa B, esta se movendo com uma velocidade V em relação a placa B, que esta parada; \vec{n} é o diretor.

CAPÍTULO II

Neste capítulo vamos descrever os blocos básicos do viscosímetro de placa oscilante (VPO). Vamos estudar os componentes mais relevantes de cada bloco, quanto aos princípios físicos de seu funcionamento. Poderemos assim entender as possíveis limitações do equipamento e as possíveis fontes de erro. No final faremos considerações sobre possíveis melhoramentos. Vamos iniciar estudando o diagrama em blocos do viscosímetro de placa oscilante (VPO).

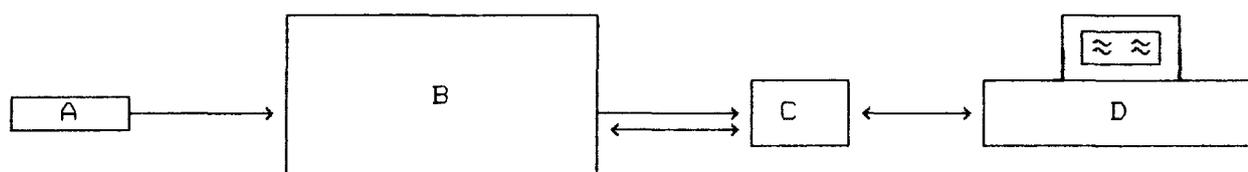
2.1) Diagrama em blocos:

Figura 2.1) representando os blocos que compoem o VPO.

Bloco	Descrição
A	Laser HeNe
B	Viscosímetro de placa ocilante (VPO)
C	Interface para o microcomputador
D	Microcomputador.

2.2) Descrição da estrutura dos blocos.

Bloco A) Laser Hélio-Neon:

Potência	1,0	mw
Comprimento de onda	632,8	nm
Voltagem de partida	4100	V
Voltagem de operação	1300	V
Corrente de operação	3,7	mA
Diâmetro do feixe	0,59	mm
Divergencia do feixe ($1/e^2$)	1,1	mrad
Dimensões (comp.-diâm.)	255,0-44,5	mm
Expectativa de vida	1500	horas
Peso do laser	520	g
Temperatura de operação	-20 a +50	°C

Bloco B) Viscosímetro de placa oscilante (VPO): Este bloco contém o sistema mecânico de oscilação para medida de viscosidade. O diagrama abaixo mostra as partes internas deste bloco:

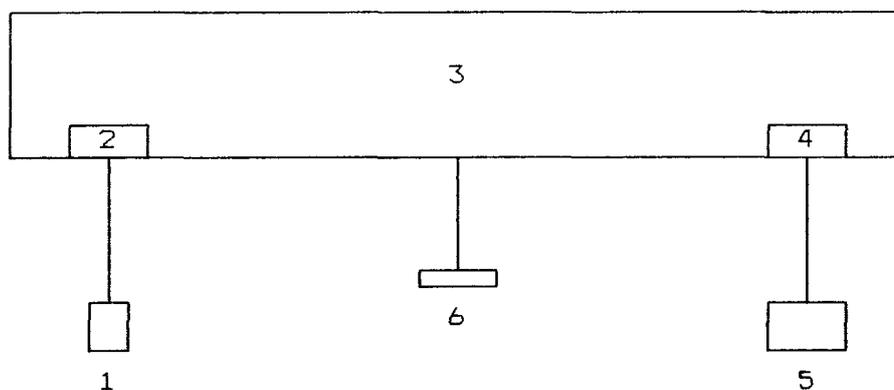


Figura 2.2) Diagrama representativo das partes que compõem o bloco B (VPO).

Parte 1. Aquecimento da amostra

a) NTC (Termistor): Serve para obter a temperatura do líquido dentro da cuba (fig. 2.3 e 2.21).

Resistência (20 °C)	2,200	Ω
---------------------	-------	---

b) Cuba para acondicionamento da amostra (fig. 2.4). O líquido (amostra) cuja viscosidade se quer medir é colocado dentro da cuba, e imerso no líquido fica uma lamínula que está ligada ao braço da balança pelo sistema de sustentação (ver parte 2).

c) Forninho para aquecimento da amostra (fig. 2.5).

Parte 2: Sistema para sustentação da lamínula: A lamínula que fica imersa no líquido, cuja viscosidade se quer medir, é sustentada por um sistema constituído das seguintes partes (fig. 2.6):

a) Tubo de alumínio:

Comprimento	585,00	mm
Diâmetro externo	8,00	mm
Diâmetro interno	7,20	mm

b) Bastão cilíndrico de nylon:

Comprimento	31,70	mm
Diâmetro externo	7,20	mm
Diâmetro do furo	1,05	mm

c) Fio de cobre e lamínula de vidro:

Comprimento do fio	170,00	mm
Diâmetro do fio	1,05	mm
Larg.-alt.-esp. da lamínula	22,0-22,0-0,2	mm

Peso total do sistema	18,88	g
-----------------------	-------	---

d) Sistema de suspensão:

Comprimento	50,30	mm
-------------	-------	----

Peso	8,78	g
------	------	---

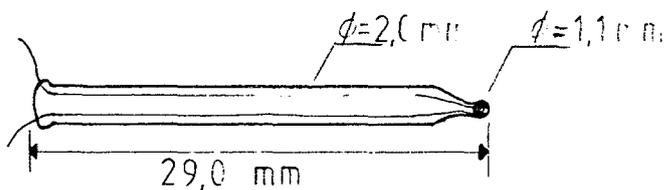


Figura 2.3) Termistor de pequena massa, usado para a leitura da temperatura da amostra. Todas as medidas estão em milímetros.

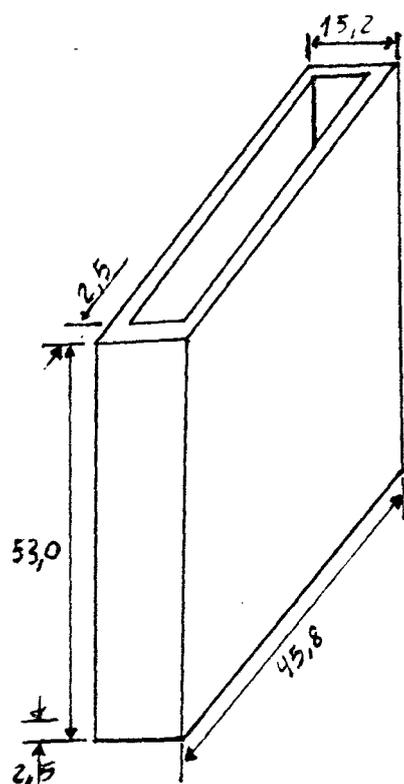


Figura 2.4) Cuba de acrílico para acondicionamento da amostra.
Todas as medidas estão em milímetros.

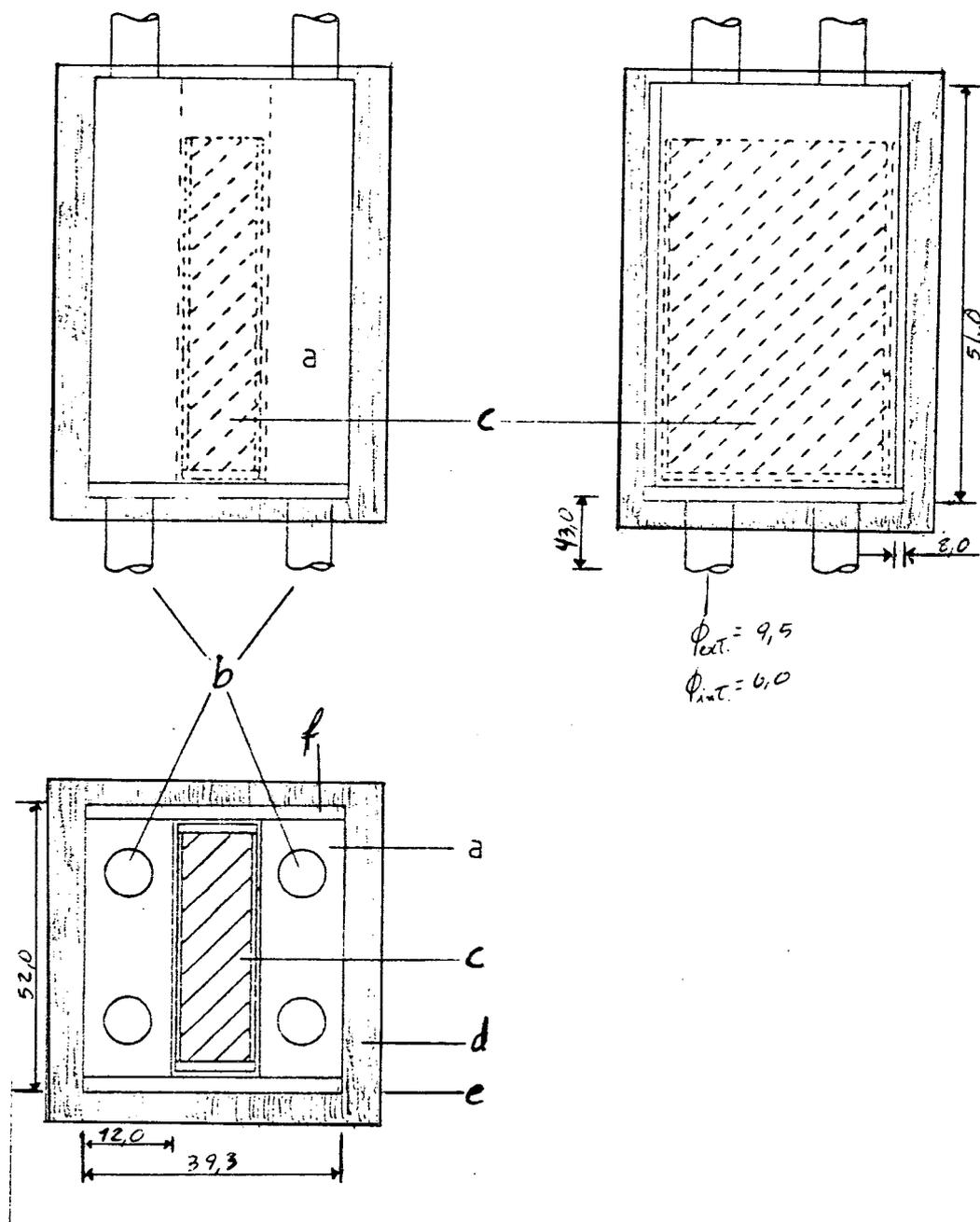


Figura 2.5) Forno usado para aquecer a amostra. Onde: a) bloco de alumínio, b) tubos de latão, c) cuba de acondicionamento da amostra, d) lâ de vidro, e) caixa de alumínio e f) placa de latão. Todas as medidas estão em milímetros.

Parte 3: Travessão da Balança:

a) Travessão da Balança analítica marca Sartorius-Werk, modelo J 1/200g.

Distância entre os primas das extremidades 140.3 mm

Peso 108,49 g

b) Fiél da Balança:

Comprimento 280,00 mm

Peso 11,98 g

c) Peso móvel adicional para controlar o momento de inércia da Balana:

Peso 34,58 g

d) Chapinha metálica cuja função é produzir o pulso do Trigger para a interface (fig. 2.9 e 2.10).

Parte 4: Sistema de sustentação da grade móvel (fig. 2.8):
Essa grade fica paralela a outra grade fixa, formando as franjas de moiré que interceptam a luz do laser.

a) Grade móvel:

Periodo (linhas/milímetro) ,001mm (100)

Largura-altura 22,00-31,00 mm

b) Suporte de nylon (fig. 2.11).

c) Sistema de suspensão:

Comprimento 34,50 mm

d) Peso adicional para a grade ficar na vertical:

Peso total do sistema

27,69

g

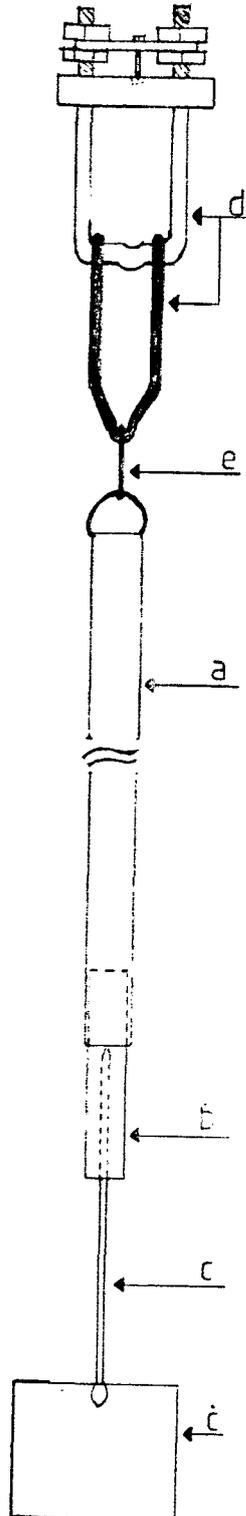


Figura 2.6) Sistema para sustentação da laminula onde: a) tubo de alumínio, b) bastão de nylon, c) fio de cobre, c) laminula de vidro, d) sistema de suspensão original, e) fio fino flexível.

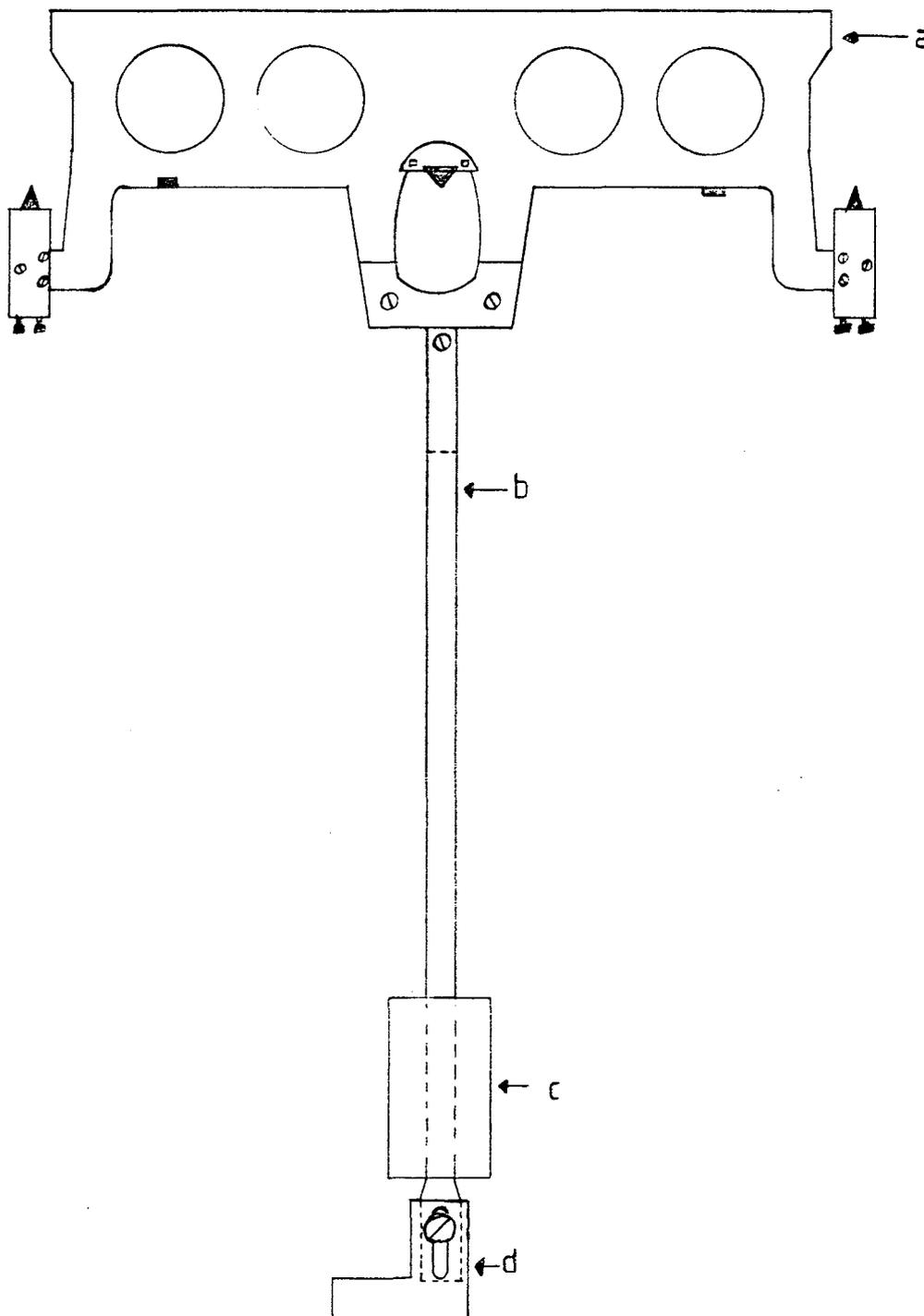


Figura 2.7) Travessão original da balança e o fiél, também original, onde : a) travessão, b) fiél, c) peso adicional e d) lamínula para a produção do pulso de trigger.

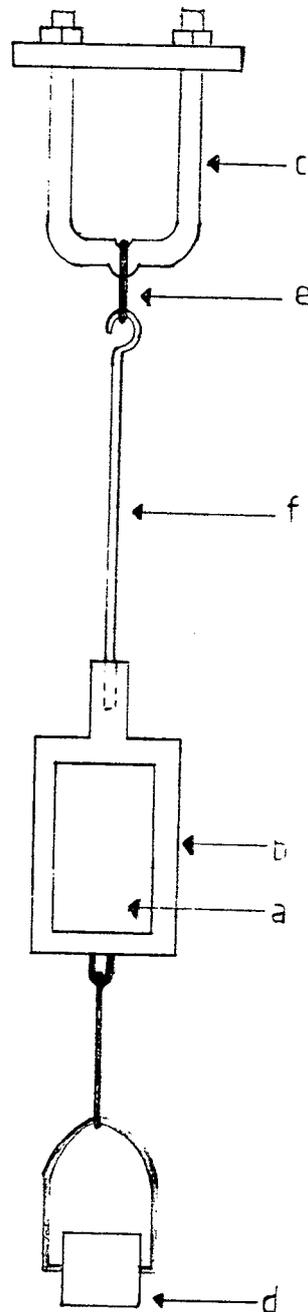


Figura 2.8) Sistema de sustentação da grade móvel, onde : a) grade, b) suporte de nylon, c) sistema de suspensão, d) peso adicional, e) fio metálico fino e f) fio de cobre grosso.

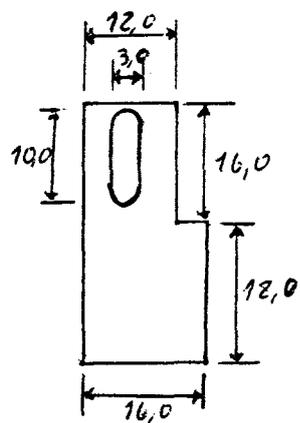
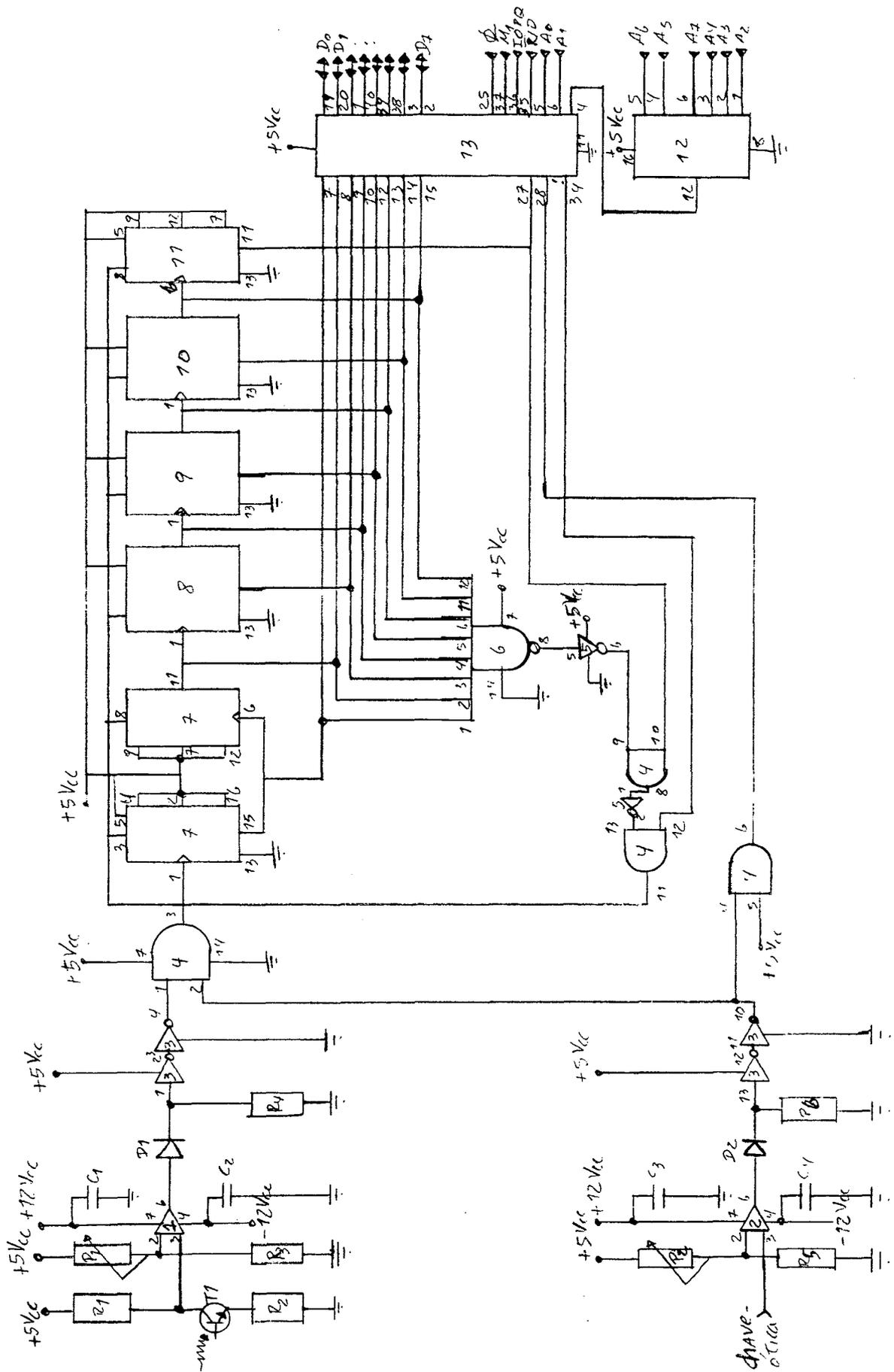


Figura 2.9) Chapinha metálica para produção do pulso de trigger (disparo) para a interface, todas as medidas estão em milímetros.



Parte 5: Sistema de sustentação da grade fixa (fig. 2.12 e 2.13).

a) Este sistema consiste em uma grade fixa que é alinhada paralelamente a grade móvel que pende da balança. O paralelismo é obtido através de um sistema de parafusos de ajustes conforme figura 2.14.

b) Foto-Transistor que conta o número de pulsos óticos que passam através do sistema de grades, fixa e móvel. Esses pulsos óticos são produzidos pela interceptação do laser pelas franjas de moiré.

Diâmetro-comprimento	3,00-5,10	mm
Tipo	IP 381R	
Fotocorrente ($V_{ce}=5V$ $E_V=1000$ luz)	$\geq 0,63$	A
Faixa de sensibilidade espectral	440 a 1070	nm
Voltagem coletor-emisor (V_{cemax})	32	V
Corrente do coletor (I_{cmax})	50	mA

Parte 6: Sistema para a produção do trigger (fig. 2.15): A posição da chave-ótica é ajustada de tal maneira que a saída desta produz um sinal elétrico (fig. 2.16), esse sinal é o pulso de trigger (disparo) para a interface (fig. 2.17).

a) Chave-ótica (fig. 2.18):

Modelo	PCST 1000
--------	-----------

b) Chapa metálica e suporte: O suporte metálico está colado na base da balança, dando rigidez mecânica ao sistema de regulagem da chave-ótica, que é constituído da chapa metálica e a chave-ótica, que está colada na extremidade da chapa metálica (fig. 2.19). A chapa metálica pode ser deslocada soltando o

parafuso de fixação possibilitando a regulagem da posição da chave-ótica, para obtermos sinal simétrico na saída desta.

Bloco C) Interface para o microcomputador: A interface, cujo esquema elétrico está descrito na figura 2.10, tem a função de contar o número de pulsos elétricos proveniente do foto-transistor, ver bloco B parte 5 item b, somente quando o pulso de trigger estiver alto, ver bloco B parte 6. Quando o pulso do trigger baixa, a interface manda um comando ao microcomputador e este, através da Porta lógica de entradas e saídas programável (PIO), armazena no diskette o número de pulsos que a interface contou e após, através da PIO, zera os contadores da interface (apêndices I e II).

Bloco D) Microcomputador: Marca Digitus, modelo DGT 101, trabalha com um microcomputador Z80 da Zilog, de 8 bits. Os programas que estão listados no apêndice II, usam a linguagem Diskbasic que é compatível com a usada nos microcomputadores TRS 80. Os comandos para o uso do diskette para armazenar os dados da interface, estão de acordo com o manual do NewDos/80 versão 2.0(8).

2.3) Montagem : A montagem do sistema começa pelo viscosímetro de placa oscilante (bloco B). Foi construído um suporte de madeira para apoiar uma placa de mármore que servirá como base do VPO (fig. 2.20). Coloca-se o travessão da balança (bloco B parte 3) sobre o suporte central original da balança e, fixa-se o travessão usando o sistema original para isso. Coloca-se então os sistemas de suspensão nas extremidades do travessão apoiados nos prismas. O fiél, com a chapinha metálica e os pesos adicionais, está fixado adequadamente ao travessão. Após, pendura-se o sistema de

sustentação da laminula no sistema de suspensão através de um fio flexível pequeno (ver bloco B parte 2), esse fio serve para evitar a transferência de torque entre os dois sistemas, ou seja qualquer movimento não vertical do sistema da laminula não é transferido ao travessão.

A próxima etapa é pendurar, através de um pequeno fio metálico fino, o sistema de sustentação da grade móvel na outra extremidade do travessão (bloco B parte 4), esse fio serve para eliminar a transferência de torque entre esse sistema e o travessão. Após fixa-se a plataforma de acrílico no suporte central da balança, e coloca-se sobre esse o sistema de sustentação da grade fixa (bloco B parte 5).

O passo seguinte consiste em fixarmos o sistema de produção do trigger na base da balança (bloco B parte 6), como o ajuste da chave-ótica deve ser preciso foram adicionadas pequenas limalhas de latão no interior do tubo de alumínio, do sistema de sustentação da laminula, para obtermos, no osciloscópio, um sinal simétrico na saída da chave-ótica.

Prender o sistema de fixação do fototransistor na plataforma da grade fixa, de maneira que esse fique alinhado horizontalmente e perpendicular a grade fixa, e ligar os terminais do fototransistor à interface do microcomputador via fio blindado (fig. 2.12).

Após ter terminado a montagem do VPO, a etapa seguinte é alinhar o tubo de laser (bloco A) com o VPO. Foi montada uma mesa pequena para servir de apoio para o laser. Essa mesa foi colocada de modo que o feixe de laser incidisse exatamente no centro da grade móvel, e após ter ultrapassado está incidisse no centro da grade fixa e atravessando-a atingi-se o fototransistor. A mesa foi colocada a uma pequena distância do VPO, para não haver qualquer contato físico entre essa e o VPO.

O forninho para aquecimento da amostra foi fixado por um sistema móvel, de maneira que possamos mover o forninho com certa facilidade. Esse sistema deve permitir a troca de amostra, ou seja deve facilitar a retirada da cuba de acondicionamento da amostra, do interior do forninho (bloco B parte 1), e também facilitar a correta fixação do forninho de modo que a lamínula fique no centro da cuba. Após termos fixado corretamente o forninho com a cuba cheia de amostra, fixamos no interior da cuba, em um dos seus cantos, o termistor (NTC) de maneira que não atrapalhe o movimento da lamínula. O forninho foi ligado ao controlador de temperatura de banho termostático "HAAKE", modelo F423 com precisão de 0.1°C , por duas mangueiras de borracha.

A última etapa da montagem é a ligação do fototransistor e a chave-ótica na interface e essa no microcomputador (bloco C e D). Para a ligação entre a interface e o microcomputador foi usado um cabo paralelo com 21 fios, e nas extremidades desse foram colocados conectores próprios. A interface possui uma fonte de alimentação própria, que fornece 5 Volts, 12 Volts e -12 Volts contínuos, com até 0.5 Amperes de corrente.

2.4) Ajustes: Após termos montado todo o equipamento, falta fazer os ajustes necessários para podermos fazer medidas de viscosidade.

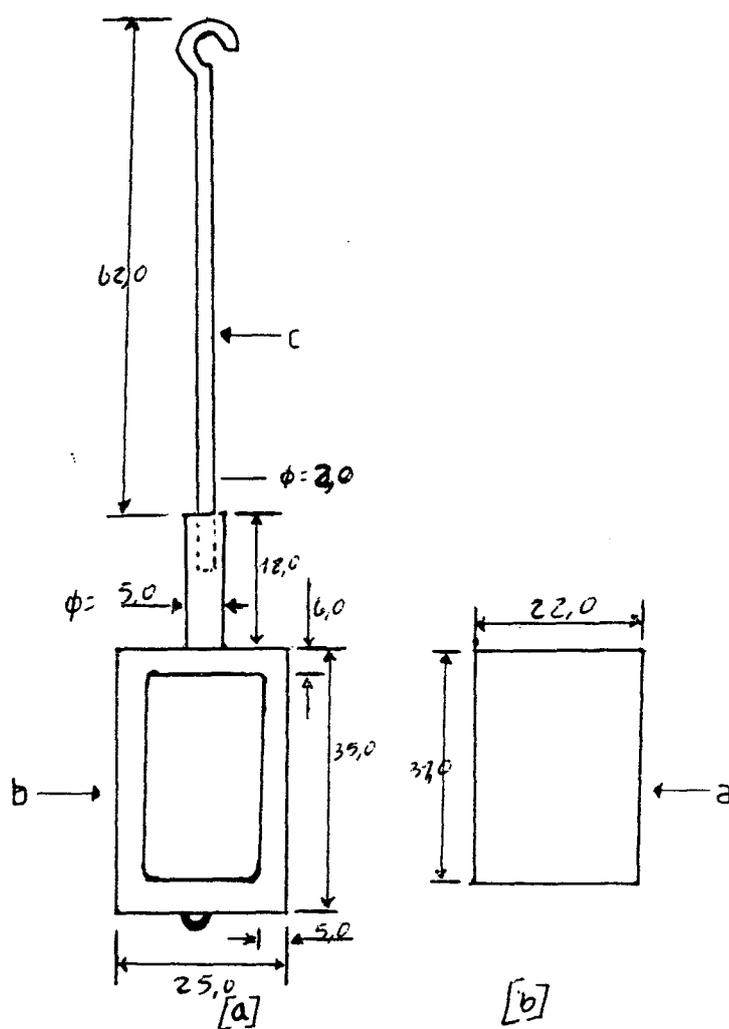


Figura 2.11) Suporte de nylon para a grade móvel, onde: a) grade, b) suporte de nylon e c) fio de cobre grosso. Todas as medidas estão em milímetros.

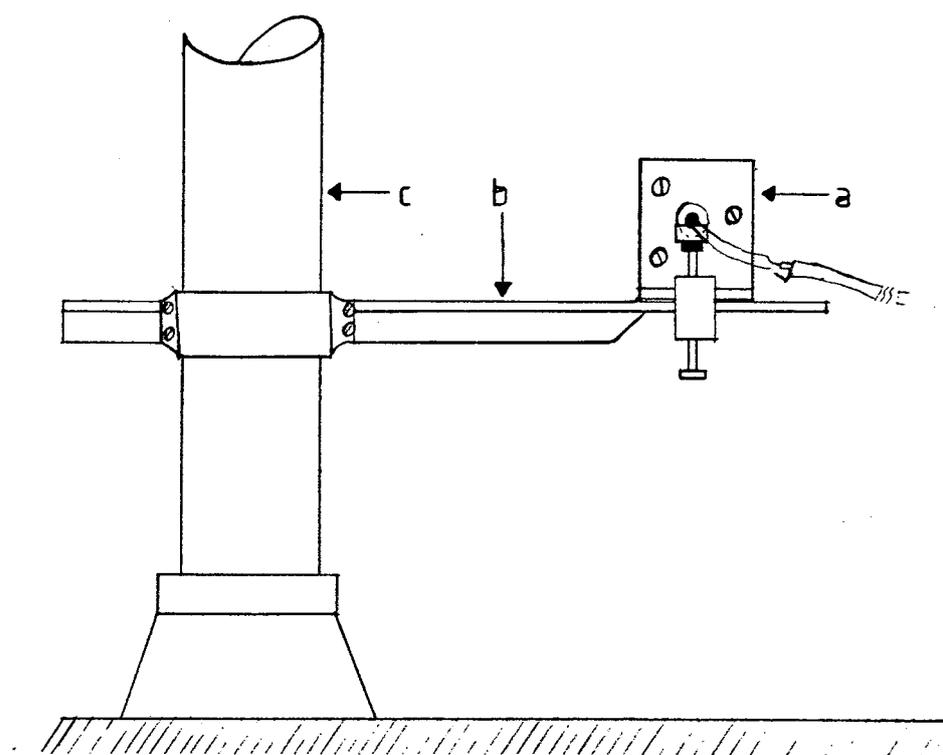


Figura 2.12) Localização do sistema de sustentação da grade fixa (a), está fixado no sistema de apoio (b) que por sua vez, está fixado ao suporte central da balança (c).

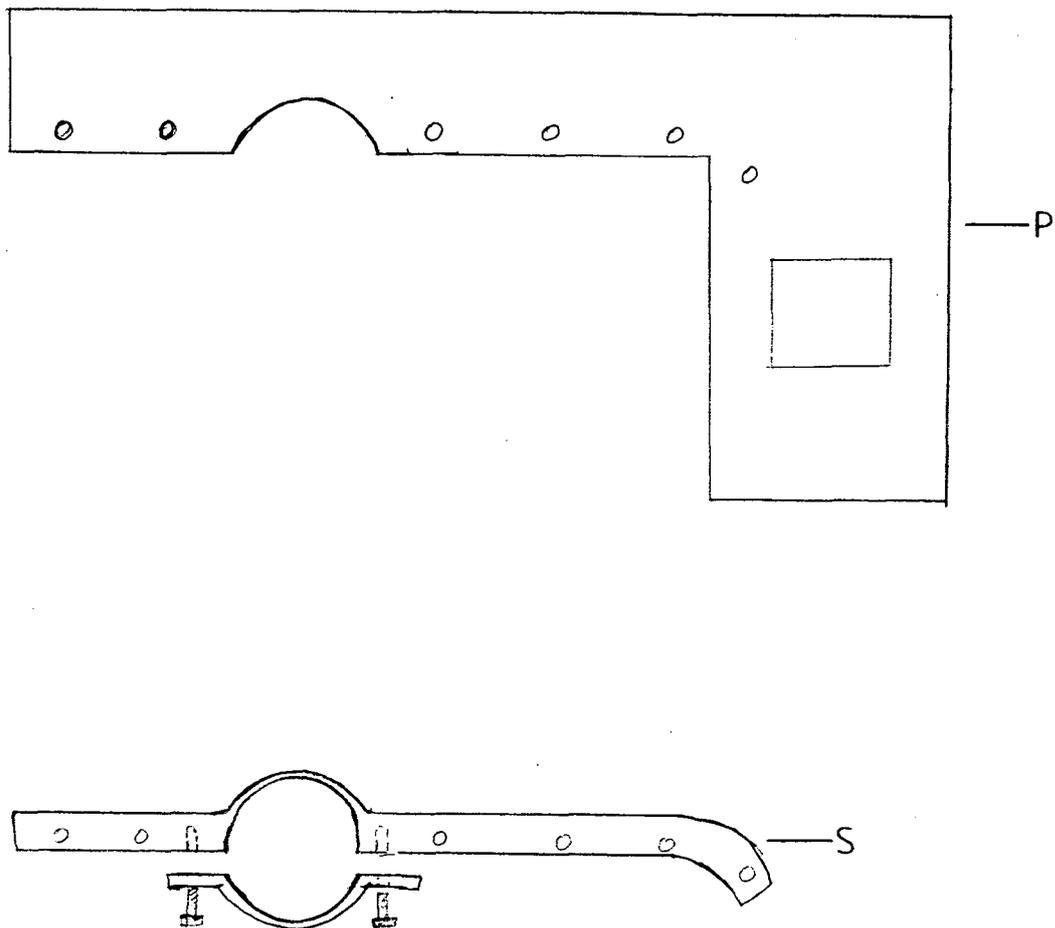


Figura 2.13) Sistema de apoio para o sistema de sustentação da grade fixa, onde: P) plataforma de acrílico e S) sistema de fixação de metal original da balança.

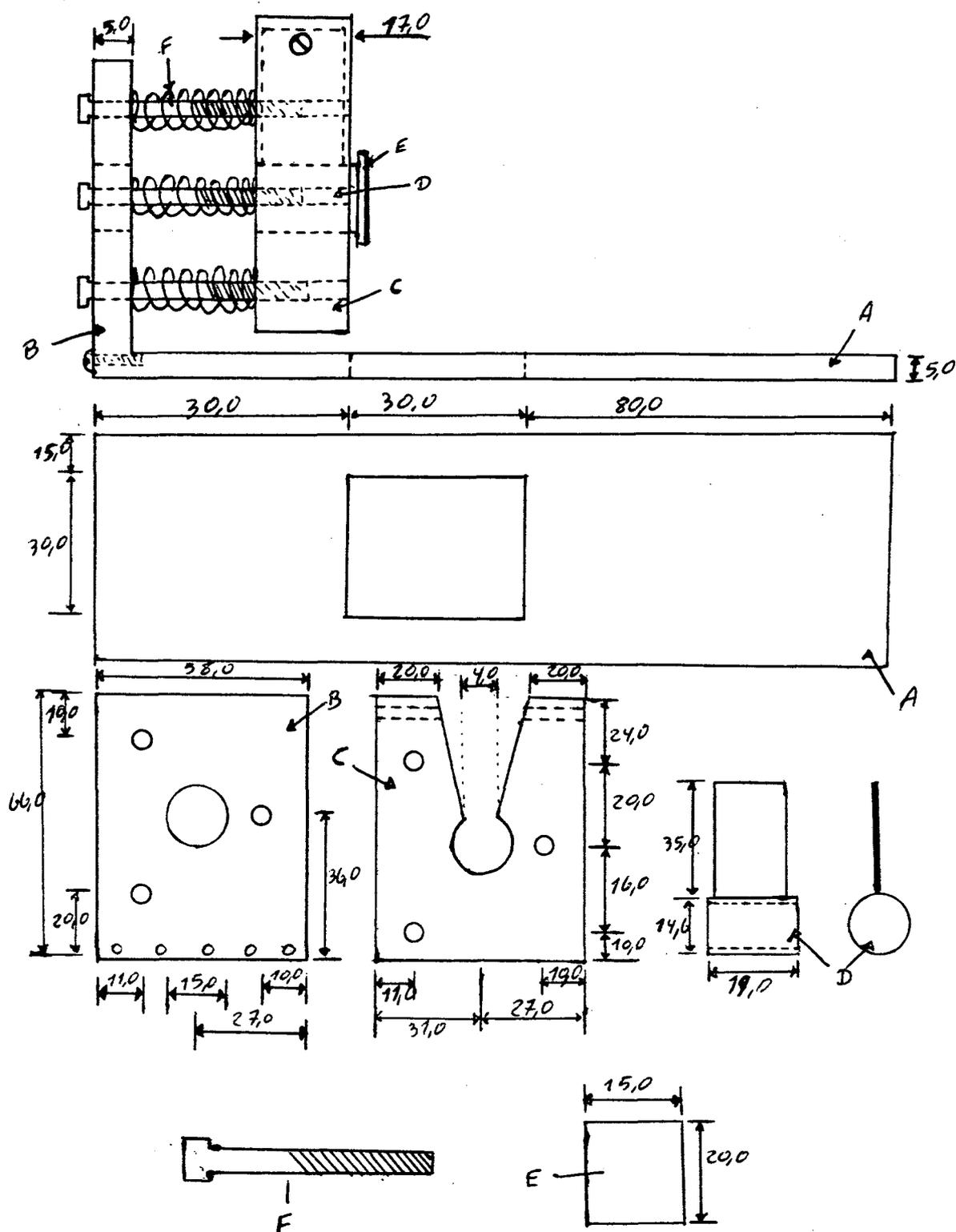


Figura 2.14) Sistema de parafusos para o ajuste fino e sustentação da grade fixa. As peas A,B,C e D são de acrílico, E é a grade e F são os parafusos. Todas as medidas estão em milímetros.

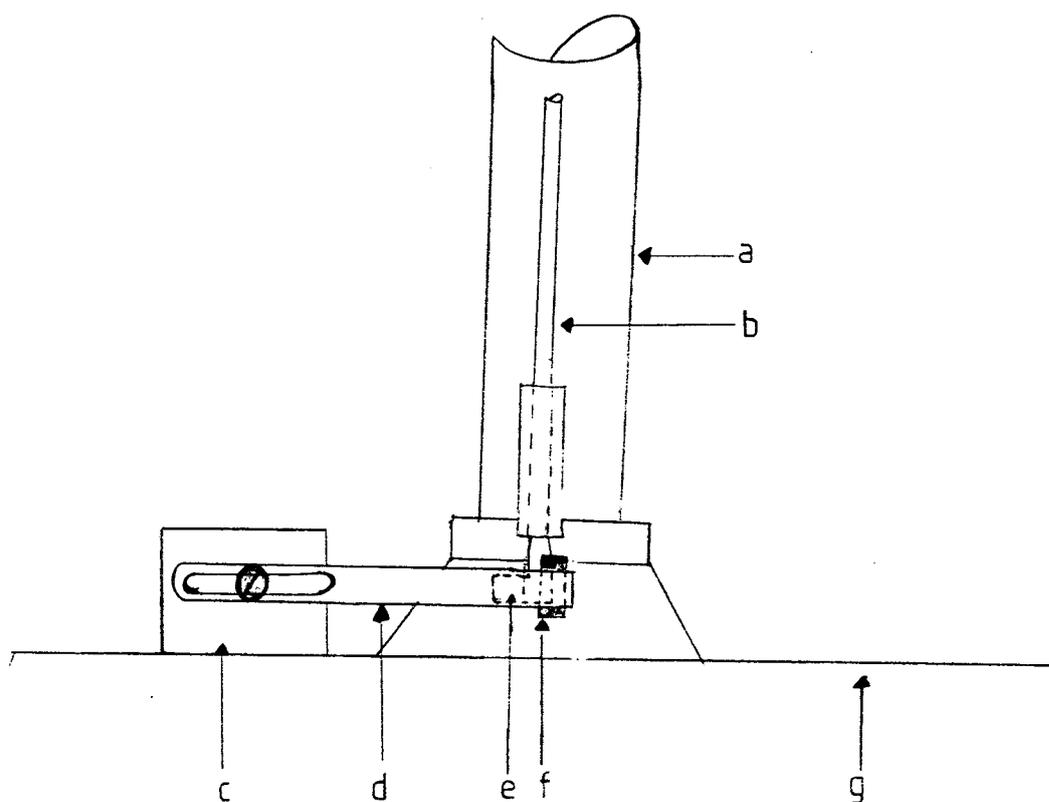


Figura 2.15) Localização do sistema para a produção do pulso de disparo (trigger) para a interface, onde: a) suporte central original da balança, b) fiél, c) suporte da chave-ótica, d) chapa metálica, e) chapinha metálica fixa na extremidade do fiél, f) chave-ótica fixa na extremidade da chapa metálica e g) base de mármore original da balança.

[a]

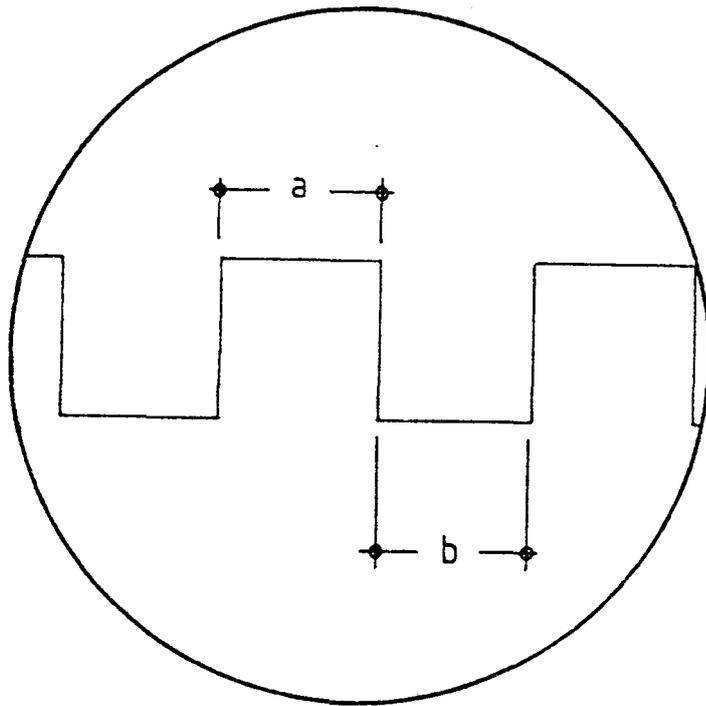


Figura 2.16) Sinal elétrico da saída da chave-ótica. Estando a chave-ótica devidamente ajustada, o sinal é um pulso quadrado, ou seja o tempo que esse permanece alto, a , é igual ao tempo que permanece baixo, b ($a=b$).

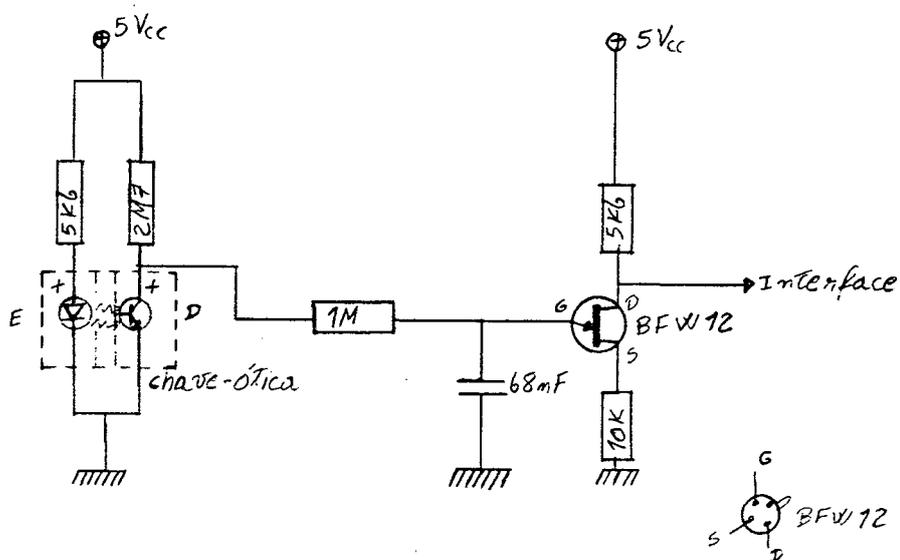


Figura 2.17) Esquema elétrico do acoplador da chave-ótica, que transmite o sinal elétrico gerado pela chave à interface.

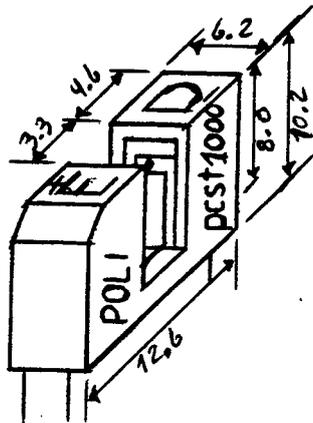


Figura 2.18) Chave-óptica, todas as medidas estão em milímetros.

Em primeiro lugar ajustaremos o feixe de laser na horizontal, para tanto foi preciso pendurar um espelho plano através de um fio flexível longo, dessa maneira garantimos que o espelho está na vertical, pois o seu centro de massa está bem abaixo do seu ponto de apoio. O feixe de laser incidindo no espelho vertical é refletido de volta, e se esse feixe estiver na horizontal retornará na mesma direção.

Com o feixe de laser alinhado, ou seja o tubo do laser, e incidindo sobre as grades, móvel e fixa, alinhamos a grade móvel de maneira que a parte refletida do laser por essa, incida exatamente no orifício do tubo de laser por onde sai o feixe.

Como a grade difrata o feixe em vários máximos de intensidade luminosa, usa-se o máximo central para alinhá-la, pois esse máximo é perpendicular ao plano da grade. Após o alinhamento da grade móvel, foi feita a aproximação das grades, através do sistema de três parafusos que desloca a grade fixa.

Para obtermos as frajas de moiré é preciso que as grades estejam paralelas e distânciadas de 0.158 mm (ver Capítulo I), para sabermos se a distância entre as grades está correta foi introduzido, antes da aproximação, uma chapinha metálica, de espessura de 0.16 mm, entre as grades, após a aproximação foi retirada a chapinha com cuidado para não arranhar as grades, e não tirá-las do lugar. Com isso foram obtidas as franjas de moiré, a largura destas foi escolhida dando uma inclinação, através de um parafuso lateral, as linhas da grade fixa em relação as das grade móvel que são horizontais, para que interrompesse o feixe de laser.

O fototransistor é ajustado de maneira que o máximo central de iluminação, do laser refratado pelas grades, incida sobre ele dando a máxima eficiência na contagem das franjas, quando a grade móvel oscila verticalmente presa ao travessão da balança.

Como a chave-ótica já está posicionada corretamente para produzir o pulso de trigger para a interface, e o fototransistor está operando corretamente, então só falta colocarmos a cuba com o líquido, cuja viscosidade queremos medir, no interior do forninho e, através do banho termostático, controlarmos a temperatura da amostra. O forninho foi ajustado de maneira que a lamínula fique exatamente no centro da cuba e imersa totalmente no líquido. Para sabermos qual a temperatura que o líquido está é colocado, em um dos cantos internos da cuba, o NTC e esse ligado, por dois fios metálicos flexíveis, a um multímetro digital "YU FUNG" da YFE modelo YF 1030C, nas escalas de 2 K Ω e 20 K Ω com uma resolução de 1 Ω e 10 Ω respectivamente.

2.5) Observações e cuidados: Após termos montado e ajustado o equipamento, devemos ter certos cuidados para que a precisão das medidas não seja afetada. Um dos cuidados é referente ao sistema da grade móvel, como esse sistema está pendurado não podemos imprimir qualquer movimento a não ser o movimento vertical, pois se esse sistema começar a oscilar horizontalmente as franjas de moiré se alterarão, dando uma contagem de pulsos, através do fototransistor, errônea para a interface. Outro cuidado está em não produzir qualquer movimento lateral ao braço da balança, pois se esse se deslocar fará com que as grades se afastem ou se aproximem fazendo as franjas se modificarem. Como é preciso um impulso inicial ao travessão, para fazer com que o VPD oscile, foi adaptado um dos braços articulados, existentes na lateral da balança, para que esse braço desse o impulso inicial ao travessão. Ao baixar o braço, que na sua extremidade possui um pino metálico, o tubo de alumínio, do sistema de sustentação da lamínula, é forçado para baixo, pois o pino metálico encosta em um anel metálico fixado no tubo, e aí permanecerá até que o mecanismo

externo a balança seja acionado para subir o braço e liberar o tubo de alumínio. Dessa maneira não produzimos qualquer movimento não desejado ao sistema de sustentação da laminula e ao travessão.

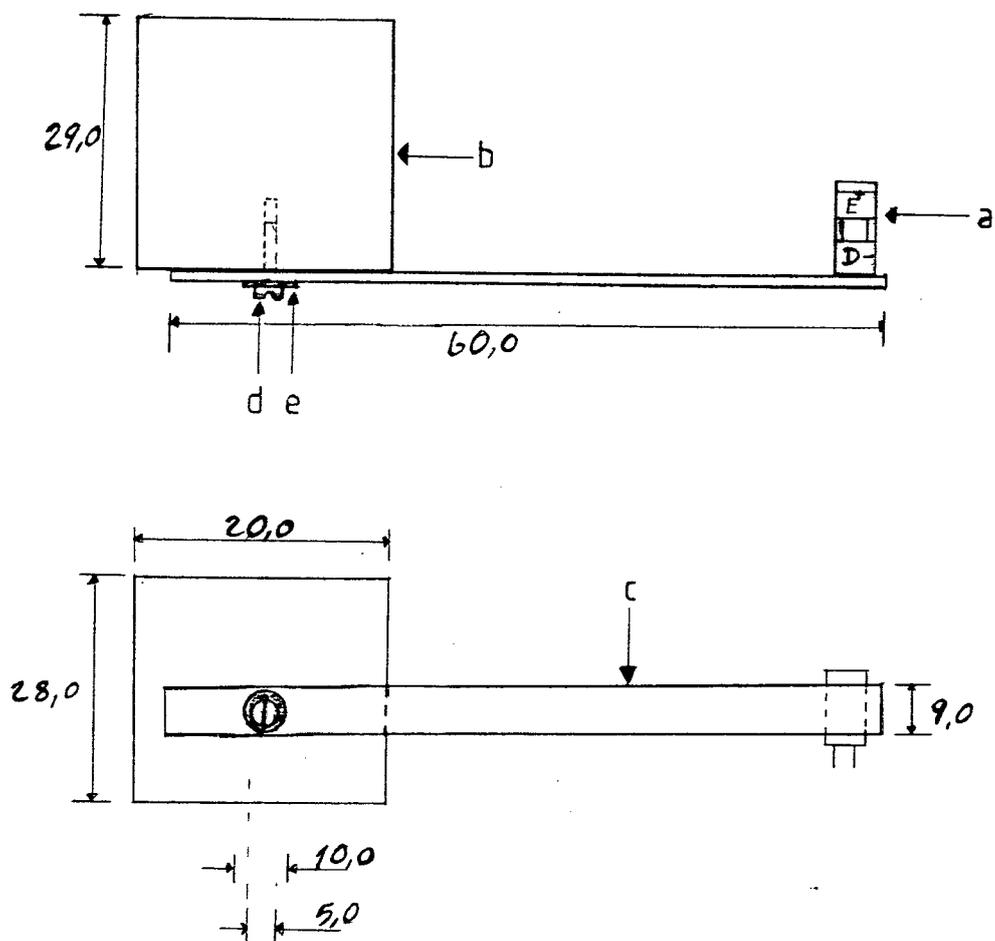


Figura 2.19) Sistema de ajuste e fixação de chave-ótica, onde:
 a) chave-ótica, b) suporte metálico, c) chapa metálica, d) parafuso
 de fixação e e) arruela metálica.

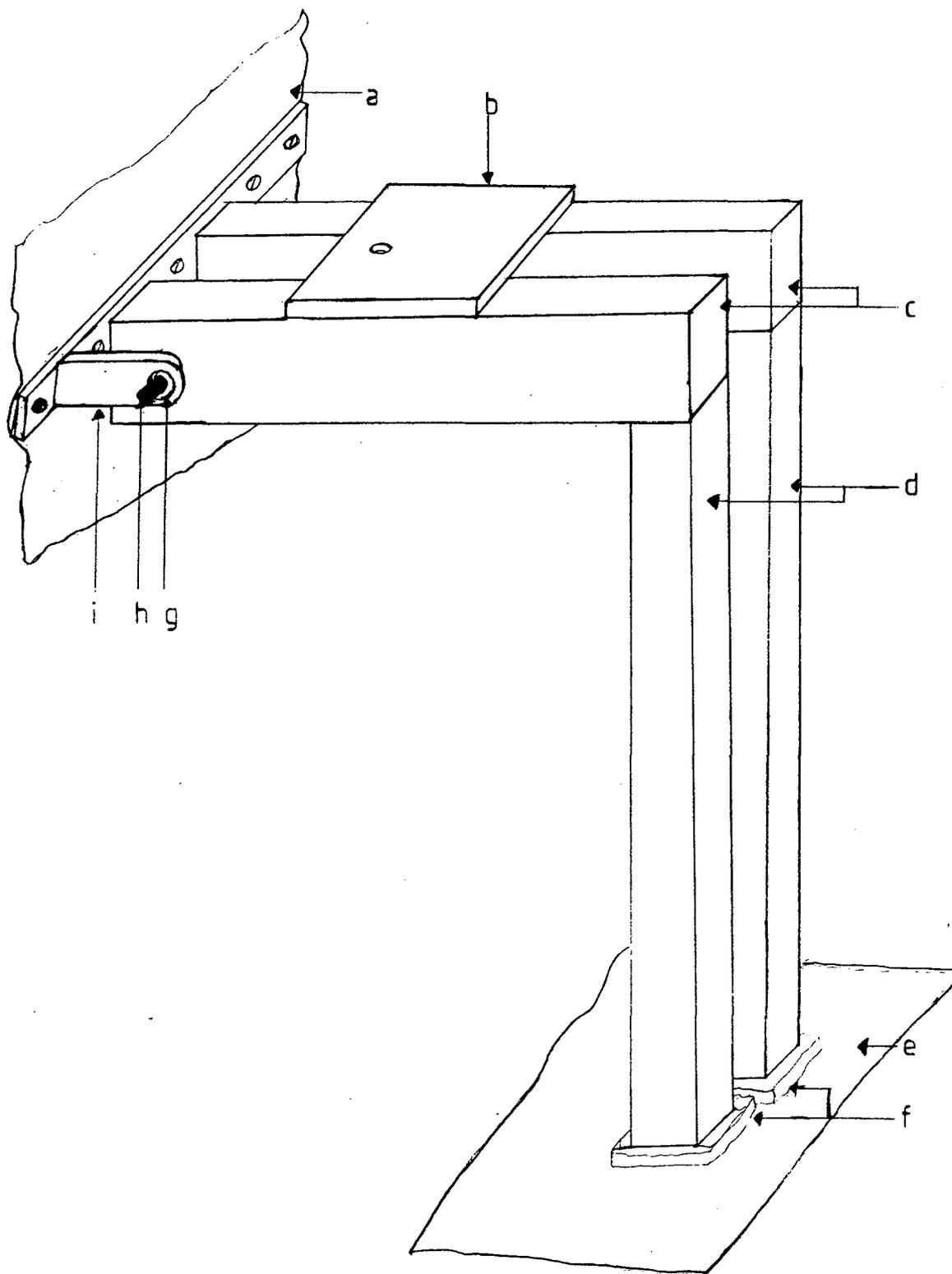


Figura 2.20) Sistema de madeira para apoio do VPO, onde: a) parede do laboratório, b) placa de marmore, c) travessões de madeira, d) pés de madeira, e) piso do laboratório, f) borrachas, g) buxa de borracha, h) pino de ferro, i) suporte de metal.

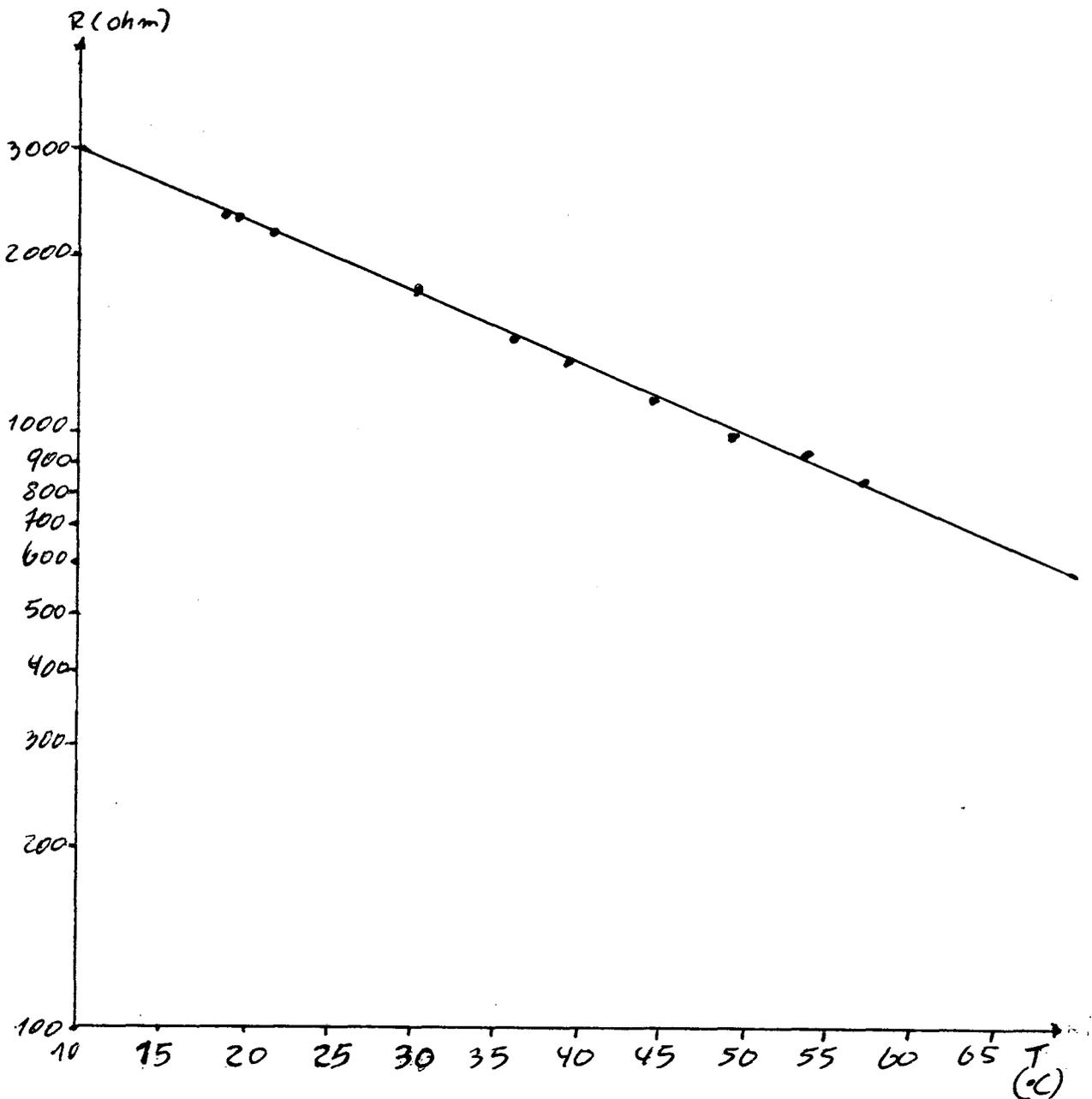


Figura 2.21) Gráfico de resistência versus temperatura, para a calibração do termistor (NTC).

CAPÍTULO III

Neste capítulo vamos descrever o processo de medidas necessário para calibrar o equipamento e colocá-lo em condições de medir a viscosidade de um determinado fluido. Após ter montado o VPD conforme descrito no capítulo anterior, uma série de passos devem ser seguidos para se calibrar o equipamento. Estes passos estão resumidos abaixo e maiores detalhes a respeito de cada um foram descritos no capítulo anterior. São eles os seguintes:

1°) Colocar na horizontal o feixe de laser (bloco A), conforme descrito na secção 2.4.

2°) Ajustar a chave-ótica (secção 2.3) de maneira a obter um sinal simétrico, ou seja, o tempo durante o qual a lamínula, presa ao fiél, interrompe a chave-ótica é igual ao tempo em que a mesma não é interrompida.

3°) Ajustar as grades, móvel e fixa, para a obtenção das franjas de moiré, e deixando-as na perpendicular em relação ao laser (secção 2.4).

4°) Colocar o fototransistor na posição correta, de maneira a obter o melhor sinal (secção 2.4).

5°) Colocar a amostra na cuba e essa no forninho, após fixar o mesmo em uma posição tal que a lamínula fique no centro da cuba (secção 2.3).

6°) Baixar lentamente o braço articulado, deslocando o tubo de alumínio que suspende a lamínula.

7°) Após ter ligado a interface, "rodar" o programa VPODATA (anexo II).

8°) Observar se a temperatura da amostra, lendo com o multímetro a resistência do NTC, está estabilizada na temperatura desejada.

9°) Liberar o tubo de alumínio levantando o braço articulado.

10°) A sequência de numeros mostrados no video do computador é o numero do periodo e o seguinte, a direita, são os pulsos contados em cada periodo correspondente.

11°) Parar o programa quando o numero de pulsos contados seja igual ou menor de trinta (30), esse procedimento é para evitar a influência do ruido externo na contagem.

3.2) Medidas e Calibração :

Na equação (1.14) se supos que o pulso do trigger da chave-ótica é perfeitamente simétrico conforme figura 2.16. Isto é conseguido quando fazemos o ajuste da chave-ótica conforme descrito no final do capítulo anterior, entretanto é feito quando a laminula esta no ar. Quando introduzimos a laminula na amostra, que possui uma densidade maior que o ar, pelo princípio de Arquimedes, o zero do trigger é alterado (fig. 3.1). Ajustar a balança para as novas condições implicaria em variar a massa do VPO, alterando a distribuição de massa do oscilador, isso pode conduzir a uma pequena mas mensurável variação na energia cinética do oscilador que afeta o decremento h .

O ajuste do zero é alterado não somente pela troca da amostra mas, também pela variação da temperatura dentro da cuba: se a densidade do fluido está decrescendo então, o impulso acendente produzido

devido ao volume deslocado pela placa de vidro (laminula) terá variado. Para solucionar esse problema [2], foi adicionado a equação (1.14) uma constante $\Delta\theta$:

$$\theta_n = \theta_0 e^{-nh} - \Delta\theta \quad (3.1)$$

então

$$\text{Ln}(\theta_n + \Delta\theta) = \text{Ln}\theta_0 - nh \quad (3.2)$$

Se plotarmos $\text{Ln}(\theta_n)$ em função de n , não obteremos uma reta, mas se adicionarmos $\Delta\theta$ a amplitude e plotarmos $\text{Ln}(\theta_n + \Delta\theta)$ em função de n obteremos uma reta (fig. 3.2).

A constante $\Delta\theta$ é uma constante de off-set do trigger, varia quando a densidade da amostra varia. Na tabela 3.1 podemos observar que $\Delta\theta$ tem um valor para cada série de medida. Para encontrarmos o melhor $\Delta\theta$ para cada série de medida, usamos um programa de computador, chamado " LOGRAF1/BAS", que se constitui dos seguintes passos :

1°) Ajusta pelo método dos mínimos quadrados os pontos do arquivo que contem as medidas das amplitudes de oscilação, calculando o coeficiente de correlação linear R^2 , para um valor arbitrário inicial de $\Delta\theta$.

2°) Decresce de uma unidade, 1, o valor de $\Delta\theta$, e pelo método dos mínimos quadrados encontra R^2 .

3°) Testa esse valor de R^2 com o anterior e se for menor para o programa e escreve o valor de $\Delta\theta$ e R^2 anterior, mas se for maior ou igual repete os passos 2 e 3.

Na figura 3.3 foram plotados os pontos de alguns arquivos de dados já adicionadas as constantes de off-set em cada um.

Na equação (3.2) observa-se que o decremento logaritmico de Gauss (h) é o coeficiente angular do gráfico $\ln(\theta_n + \Delta\theta)$ em função de n . Para obtermos h é necessário sabermos a constante de ajuste $\Delta\theta$ melhor para cada série e as amplitudes medidas contidos no arquivo de dados, isso pode ser feito pelo programa "LOGRAF1/BAS" como mencionado anteriormente.

Para facilitar, foi implementado nesse programa a parte que encontra o coeficiente h . Essa parte do programa se constitui dos seguintes passos :

1°) Lê os valores das amplitudes de oscilação do VPD, θ_n , (contidos no arquivo de dados específico) adiciona a cada valor da amplitude de oscilação a constante de off-set ($\Delta\theta$) correta, e obtem os respectivos logaritmos.

2°) Traça a melhor reta desses pontos $\ln(\theta_n + \Delta\theta)$ em função de n ajustada pelo método dos mínimos quadrados.

3°) Fornece os coeficientes angular e linear, dessa reta e, também o coeficiente de correlação linear R^2 .

4°) Escreve na tela do monitor os valores dos três coeficientes.

Para melhorar os valores das amplitudes faz-se a média aritmética entre as cinco (5) medidas de amplitudes, feitas sob as mesmas condições de viscosidade do óleo calibrador usado. A tabela 3.2 trás essas condições. A tabela 3.3 mostra um exemplo da média, usamos o programa "AJUSTE/BAS" para encontrar esse valores médios e, também os valores de $\Delta\theta$, R^2 e os dos coeficientes linear e

angular da reta $\ln(\theta_n + \Delta\theta)$ versus n , todos os cálculos são feitos usando o método dos mínimos quadrados com precisão dupla.

Sabemos que a fonte de amortecimento do VPO é devido ao arrasto viscoso da amostra (F_v), do ar (F_{ar}) e a fricção nos primas que suportam o travessão da balança e os dos sistemas de suspensão (F_f):

$$F = F_v + F_{ar} + F_f \quad (3.3)$$

logo

$$h = h_v + h_r \quad (3.4)$$

Onde h_r é o decremento logarítmico intrínseco ao VPO e, h_v é o decremento logarítmico devido a viscosidade da amostra.

Após termos calculado os coeficientes angulares, ou seja os decrementos logarítmicos h , para cada valor de viscosidade do óleo calibrador (padrão), podemos plotar um gráfico de h x viscosidade absoluta, conforme figura (3.4). A reta foi traçada usando o método dos mínimos quadrados, e foi encontrado um coeficiente de correlação linear (R^2) igual a 0,9990.

Para encontrarmos a viscosidade de uma amostra devemos :

1°) Medir as amplitudes de oscilação do VPO, θ_n , seguindo os passos descritos no item 3.1.

2°) Repetir a medida no mínimo cinco (5) vezes, mas antes disso armazenar no diskette os dados das medidas feitas, usando para isso o programa "VPODATA" a partir do centésimo (100) passo, mantendo a temperatura constante.

3°) Através do programa "AJUSTE/BAS", encontrar os valores médios das medidas, e após encontrar o melhor valor de $\Delta\theta$ para

essas médias.

4°) Após isso, encontrar o coeficiente angular da reta, usando o mesmo programa.

5°) Sabendo o valor de h , ver no gráfico de calibração, fig. (3.4), qual a viscosidade correspondente.

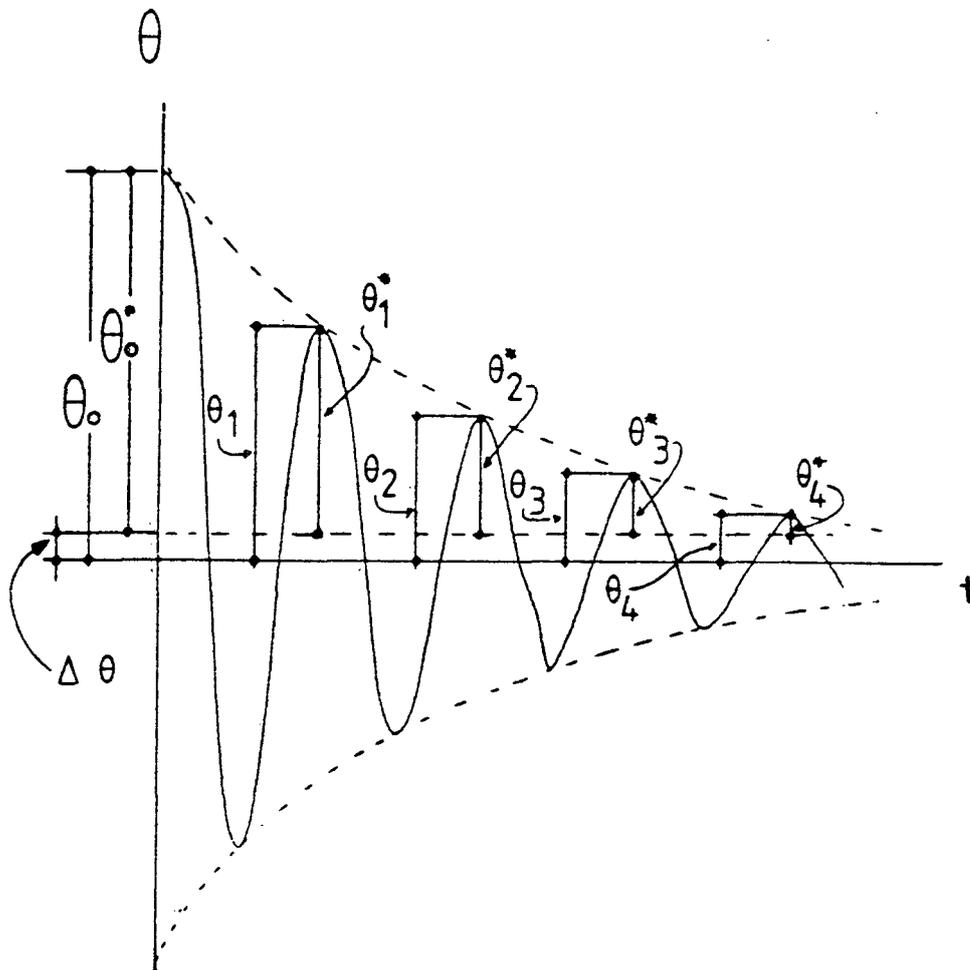


Figura 3.1) Gráfico representando o deslocamento do "zero", ou seja o deslocamento da lamínula de vidro devido ao impulso, que a amostra exerce sobre esta. θ é a amplitude de oscilação do travessão da balança, $\Delta\theta$ é a constante de ajuste (off-set).

Tabela 3.1- Valores das constantes de off-set ($\Delta\theta$) para os arquivos de dados de calibração "CALXY/DAT:1" (são valores negativos).

X \ Y	A	B	C	D	E	MÉDIA
1	12	14	11	13	16	14
2	11	13	12	X	12	13
3	13	9	11	12	12	12
4	12	13	12	12	10	12
5	11	11	11	12	12	12
6	12	11	12	13	11	12
7	13	12	12	12	13	12
8	11	11		11	11	11
9	10	9	9	9	9	9
10	+11	+9	+3	+22	1	+14
11	10	10	9	9	10	10
12	8	8	7	8	8	8

Tabela 3.2- Condições dos óleos calibradores.

Dados Arquiv.	Visc. (cP)	Densid. (g/cm ³)	Temp. (°C)
CAL1	102.0	0.8625	25.0 ±0.1
CAL2	45.79	0.8533	40.0 ±0.1
CAL3	138.8	0.8656	20.0 ±0.1
CAL4	38.59	0.8626	20.0 ±0.1
CAL5	30.06	0.8594	25.0 ±0.1
CAL6	15.74	0.8497	40.0 ±0.1
CAL7	9.278	0.8679	20.0 ±0.1
CAL8	7.747	0.8645	25.0 ±0.1
CAL9	4.854	0.8544	40.0 ±0.1
CAL10	3.863	0.8576	20.0 ±0.1
CAL11	3.387	0.8541	25.0 ±0.1
CAL12	2.390	0.8437	40.0 ±0.1

Tabela 3.3- Exemplo do processo da média.

Arquivo n	A	B	C	D	E	Média
1		135		130	138	
2	121	121	115	114	122	118.6
3	106	106	100	103	109	104.8
4	95	95	90	89	97	93.2
5	84	85	80	80	88	83.4
6	75	76	71	73	77	74.4
7	67	68	65	64	69	66.6
8	61	61	58	59	63	60.4
9	54	54	53	52	55	53.6
10	49	49	48	47	50	48.6
11	44	45	42	43	46	44.0
12	40	40	39	39	41	39.8
13	36	38	36	35	37	36.4
14	33	35	32	34	35	33.8
15	31	32	30	30	31	30.8
16	28	28	29	27	29	28.2
17	26	27	26	27	28	26.8
18	25	24	24	24	25	24.4

3.3 Erros.

Todo dado experimental possui um erro associado. Nas medidas de amplitudes de oscilação do VPD (θ_n) existe um erro que podemos saber se, usarmos a equação do desvio padrão Sah:

$$Sah = \left[\frac{\sum (\delta \bar{\theta}_n)^2}{N - 2} \right]^{1/2} \left[\frac{N}{N \sum \theta^2 - (\sum \theta)^2} \right]^{1/2} \quad (3.5)$$

e

$$\Delta h = 0,6745 Sah \leq 0,5 \times 10^{-3} \quad (3.6)$$

Onde: $\delta \bar{\theta}_n = |\ln(\bar{\theta}_n + \Delta \theta)_{\text{exp.}} - \ln(\bar{\theta}_n + \Delta \theta)_{\text{teor.}}|$, N é o numero de oscilações, $n=1,2,3,4,\dots,N$ e Δh o erro provável para a medida do decremento logaritmico de Gauss, ver tabela 3.4.

Para encontrarmos o erro na medida da viscosidade é preciso antes encontrar a equação que descreve a curva de calibração do VPD. Para isso, observando a equação (1.15):

$$h = \frac{2\pi b}{\sqrt{1-b^2}} \quad (3.7)$$

e usando a série de Taylor:

$$(1+x)^{-1/2} = 1 - \frac{1x}{2} + \frac{1 \cdot 3x^2}{2 \cdot 4} - \frac{1 \cdot 3 \cdot 5x^3}{2 \cdot 4 \cdot 6} + \dots \quad (3.8)$$

Substituindo x por $-b^2$ em (3.8), obtemos:

$$(1-b^2)^{-1/2} = 1 + \frac{b^2}{2} + \frac{3b^4}{8} + \frac{15b^6}{48} + \frac{105b^8}{384} + \dots \quad (3.9)$$

Substituindo (3.9) em (3.7) :

$$h = \pi(2b + b^3 + \frac{3b^5}{4} + \frac{15b^7}{24} + \frac{105b^9}{192} + \dots) \quad (3.10)$$

Pela equação (1.7) temos que

$$b = \frac{C}{C_0}$$

então

$$h = \pi \left[\frac{2C}{C_0} + \left(\frac{C}{C_0} \right)^3 + \frac{3}{4} \left(\frac{C}{C_0} \right)^5 + \frac{15}{24} \left(\frac{C}{C_0} \right)^7 + \dots \right] \quad (3.11)$$

Pela tabela 3.5 podemos observar que :

a) para $h \leq 0,06$ só o fator $2\pi \frac{C}{C_0}$ é que predomina, então podemos fazer :

$$h = 2\pi b \quad (3.12)$$

b) para $h < 0,63$ os fatores $2\pi b$ e πb^3 são os que predominam, então temos :

$$h = 2\pi b + \pi b^3 \quad (3.13)$$

Pela equação (3.4)

$$h = h_v + h_r$$

ou seja, o amortecimento total depende do amortecimento ocasionado pela viscosidade (C_v) e pelo atrito intrínseco (C_i) do aparelho, então como C é a constante devido ao atrito total (C), conforme equação (1.1), podemos fazer :

$$C = C_v + C_i \quad (3.14)$$

Aplicando (3.14) em (3.13), temos :

$$h = \frac{\pi}{C_0} \left[2C_i + 2C_v + \frac{(C_i + C_v)^3}{C_0^2} \right] \quad (3.15)$$

mas

$$(C_i + C_v)^3 = C_i^3 + 3C_i^2 C_v + 3C_i C_v^2 + C_v^3 \quad (3.16)$$

então

$$h = \frac{\pi}{C_0^3} (2C_i C_0^2 + C_i^3 + 2C_0^2 C_v + 3C_i^2 C_v + 3C_i C_v^2 + C_v^3) \quad (3.17)$$

fazendo

$$a_1 = \frac{\pi}{C_0^3} (2C_i C_0^2 + C_i^3) ; \quad a_2 = \frac{\pi}{C_0^3} (2C_0^2 + 3C_i^2)$$

$$a_3 = \frac{3\pi C_i}{C_0^3} ; \quad a_4 = \frac{\pi}{C_0^3}$$

Substituindo-os em (3.17), obtemos :

$$h = a_1 + a_2 C_v + a_3 C_v^2 + a_4 C_v^3 \quad (3.18)$$

Podemos ainda fazer

$$C_v = K\eta \quad (3.19)$$

onde K é uma constante de proporcionalidade e η a viscosidade absoluta.

Substituindo (3.19) em (3.18) :

$$h = a_1 + a_2 K \eta + a_3 K^2 \eta^2 + a_4 K^3 \eta^3$$

ou

$$h = K_0 + K_1 \eta + K_2 \eta^2 + K_3 \eta^3 \quad (3.20)$$

onde: $K_0 = a_1$, $K_1 = a_2 K$, $K_2 = a_3 K^2$, $K_3 = a_4 K^3$ são constantes de proporcionalidade.

Usando os dados da tabela 3.6 e o programa "REGPOL", obtivemos os seguintes valores para as constantes K_i :

$$\begin{aligned} K_0 &= -2,940690 \times 10^{-3} \\ K_1 &= -1,055002 \times 10^{-3} \\ K_2 &= 3,615027 \times 10^{-6} \\ K_3 &= -1,991316 \times 10^{-8} \end{aligned}$$

Substituindo esses valores em (3.20) obtemos:

$$h = -2,940690 \times 10^{-3} - 1,055002 \times 10^{-3} \eta + 3,615027 \times 10^{-6} \eta^2 - 1,991316 \times 10^{-8} \eta^3 \quad (3.21)$$

A equação (3.21) descreve a curva de calibração do VPO, figura (3.4).

Para calcularmos o erro percentual nas medidas de h relativo a figura (3.4), usamos a seguinte equação:

$$\text{Erro percentual} = E\% = \left[\frac{h_{\text{exp.}} - h_{\text{teor.}}}{h_{\text{teor.}}} \right] \times 100 \quad (3.22)$$

os resultados estão na tabela 3.7.

Encontrada a equação que descreve a curva de calibração

do VPD podemos, através do método da propagação de erro, encontrar o erro na medida da viscosidade. Pela equação (3.20) :

$$h = K_0 + K_1\eta + K_2\eta^2 + K_3\eta^3$$

então pela propagação de erro, temos :

$$\Delta h = K_1\Delta\eta + 2K_2\eta\Delta\eta + 3K_3\eta^2\Delta\eta \quad (3.23)$$

ou

$$\Delta h = (K_1 + 2K_2\eta + 3K_3\eta^2)\Delta\eta \quad (3.24)$$

onde Δh é o erro provável da medida do decremento logaritmico e $\Delta\eta$ é o erro provável da medida da viscosidade absoluta.

Substituindo os valores das constantes K_i :

$$\Delta h = \Delta\eta(-1,055002 \times 10^{-3} + 2 \cdot 3,615027 \times 10^{-6}\eta - 3 \cdot 1,991316 \times 10^{-8}\eta^2)$$

ou

$$\Delta\eta = \frac{\Delta h}{-1,055002 \times 10^{-3} + 7,230054 \times 10^{-6}\eta - 5,973948 \times 10^{-8}\eta^2} \quad (3.25)$$

Usando os valores de Δh da tabela 3.4 e os valores de η da tabela 3.2 e aplicando-os na equação (3.25), encontramos os valores de $\Delta\eta$ para os varios valores de η , tabela 3.8. Então podemos encontrar, pela equação :

$$\text{Erro percentual} = E\% = \left[\frac{\Delta\eta}{\eta} \right] \times 100$$

os erros percentuais dos valores de η tabelados, Tabela 3.9.

Pelos dados da tabela 3.9, podemos fazer uma divisão,

quanto a precisão, de η em intervalos da seguinte maneira :

$$30.00 \text{ cP} \leq \eta < 140.0 \text{ cP} \quad \text{tem-se } E = 0.5\%$$

$$2.00 \text{ cP} < \eta < 30.0 \text{ cP} \quad \text{tem-se } E = 4.0\%$$

com isso, concluímos que o equipamento fornece uma medida da viscosidade com uma boa precisão no intervalo de 30.0 até 140.0 cP (centipoise), com um erro percentual não maior que 0.5 por cento. Exemplificando :

$$\eta = 100.0 \text{ cP} \quad \text{temos } \Delta\eta = 0.5 \text{ cP}$$

$$\eta = 50.0 \text{ cP} \quad \text{temos } \Delta\eta = 0.25 \text{ cP.}$$

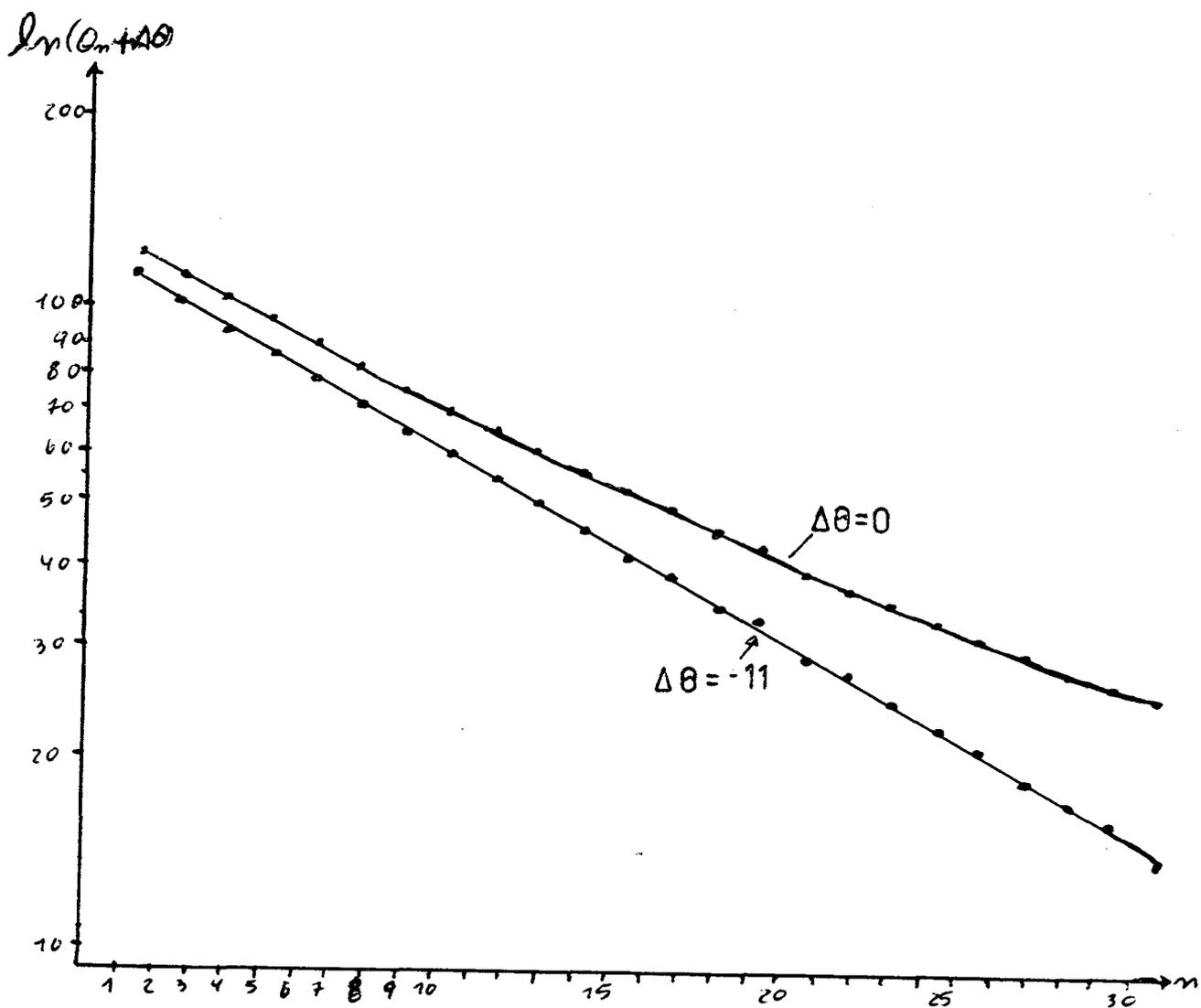


Figura 3.2) Retas referentes as amplitudes de oscilação θ_n , $\Delta\theta$ é a constante de ajuste das amplitudes. Observa-se que para $\Delta\theta=0$ não obtém-se uma reta, mas para $\Delta\theta = -11$ obtemos uma reta, no gráfico de logaritmo de $(\theta_n + \Delta\theta)$ versus n (numero do periodo).

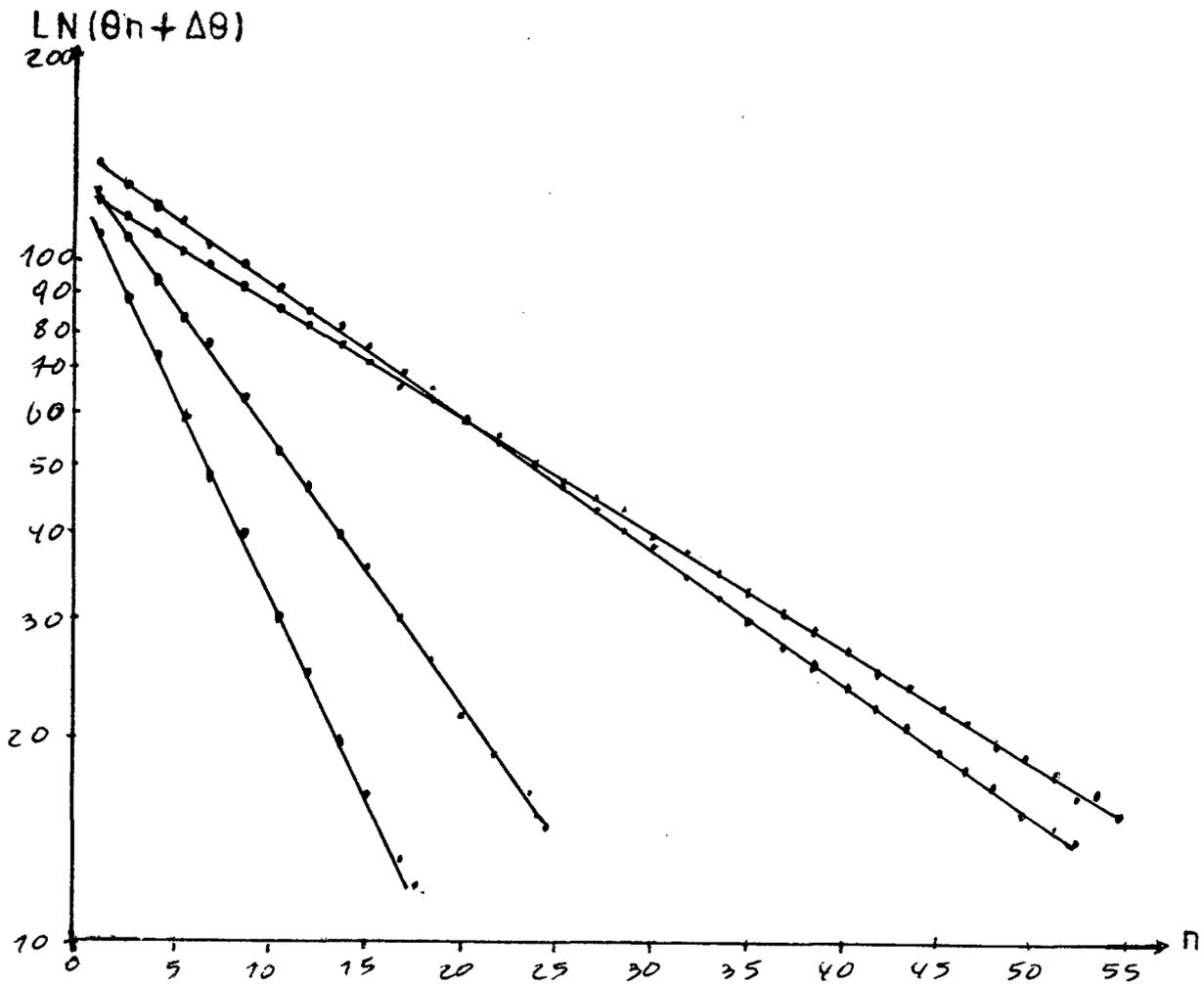


Figura 3.3) Mostra alguns exemplos de retas, referente a dados obtidos com os óleos padrões usado para a calibração do VPD. A inclinação da reta é diretamente proporcional ao coeficiente de amortecimento da amplitude de oscilação do VPD, ou seja o decremento logaritmico de Gauss (h).

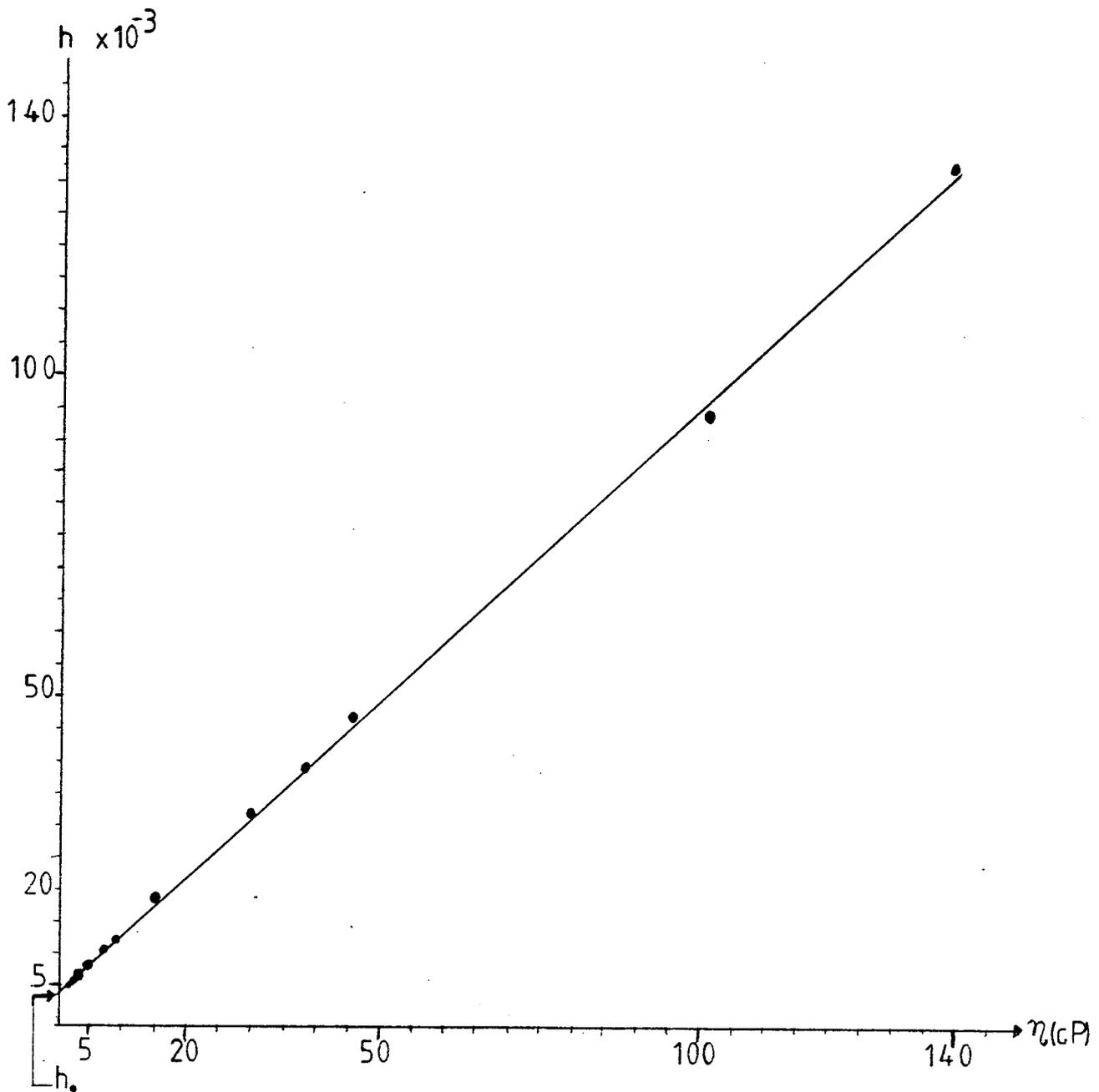


Figura 3.4) Gráfico representando a reta de calibração do VPO, obtida com os dados dos arquivos "CALXY/DAT:1", referente as medidas de amplitudes de oscilação do VPO, para os óleos padrões. Onde h_0 é o amortecimento intrínseco ao VPO.

Tabela 3.4) Desvios padrões dos coeficientes angulares dos arquivos de dados (média).

Arquivo	Δh
CAL1	$2,60 \times 10^{-4}$
CAL2	$1,16 \times 10^{-4}$
CAL3	$4,14 \times 10^{-4}$
CAL4	$4,70 \times 10^{-5}$
CAL5	$3,70 \times 10^{-5}$
CAL6	$1,40 \times 10^{-5}$
CAL7	$7,80 \times 10^{-6}$
CAL8	$6,80 \times 10^{-6}$
CAL9	$6,10 \times 10^{-6}$
CAL10	$7,42 \times 10^{-5}$
CAL11	$5,40 \times 10^{-6}$
CAL12	$5,00 \times 10^{-6}$

Tabela 3.5) Valores dos parâmetros h , $\frac{C}{C_0}$, $\left(\frac{C}{C_0}\right)^3$, ...

C/C_0	h	$(C/C_0)^7 \times 0.625$	$(C/C_0)^5 \times 0,75$	$(C/C_0)^3 \times 1$
0,5	3,62316	0,0048828	0,0234375	0,125
0,4	2,74160	0,001024	0,00768	0,064
0,3	1,97588	0,000136688	0,0018225	0,027
0,25	1,62226	0,000038147	0,0007324	0,015625
0,20	1,28251	$8, \times 10^{-6}$	0,00024	0,0080
0,10	0,631465	$6,25 \times 10^{-8}$	$7,5 \times 10^{-6}$	0,0010
0,05	0,314543	$4,88 \times 10^{-10}$	$2,3437 \times 10^{-7}$	0,000125
0,01	0,062833	$6,25 \times 10^{-15}$	$7,5 \times 10^{-11}$	1×10^{-6}
0,005	0,031415	$4,88 \times 10^{-17}$	$2,347 \times 10^{-12}$	$1,2 \times 10^{-7}$
0,001	0,006283	$6,25 \times 10^{-22}$	$7,5 \times 10^{-16}$	1×10^{-9}

Tabela 3.6) Valores dos pontos h e η relativos a figura 3.4.

$-h$	η (cP)
0,133	138,8
0,094	102,0
0,046	45,79
0,039	38,59
0,032	30,06
0,019	15,74
0,012	9,278
0,011	7,747
0,008	4,854
0,0071	3,863
0,0068	3,387
0,0057	2,390

Tabela 3.7) Erros percentuais das medidas de h da tabela

3.6.

η (cP)	$-h(\text{exp.})$	$-h(\text{teor.})$	Erro %
138,8	0,133	0,13298	0,015
102,0	0,094	0,09407	-0,074
45,79	0,046	0,04558	0,921
38,59	0,039	0,03941	-1,040
30,06	0,032	0,03193	0,219
15,74	0,019	0,01873	1,440
9,278	0,012	0,01243	-3,459
7,747	0,0105	0,01091	-3,758
4,854	0,0081	0,00798	1,504
3,863	0,0071	0,00696	2,012
3,387	0,0066	0,00647	2,009
2.390	0,0056	0.00544	2,941

Tabela 3.8) Valores de η (viscosidade) e $\Delta\eta$, dos óleos padrões.

η (cP)	$\Delta\eta$ (cP)
138,8	0,0220
102,0	0,0598
45,79	0,3331
38,59	0,3293
30,06	0,0574
15,74	0,2339
9,278	0,3849
7,747	0,3702
4,854	0,1102
3,863	0,1294
3,387	0,1205
2,390	0,1493

Tabela 3.9) Erro percentual das medidas das viscosidades dos óleos padrões.

$(\eta \pm \Delta\eta)$ cP	E %
138,00 \pm 0.02	0,014
102,00 \pm 0.06	0,059
45,80 \pm 0.3	0,66
38,60 \pm 0.3	0,78
30,06 \pm 0.06	0,20
15,7 \pm 0.2	1,27
9,3 \pm 0.4	4,30
7,8 \pm 0.4	5,13
4,8 \pm 0.1	2,08
3,9 \pm 0.1	2,50
3,4 \pm 0.1	2,94
2,4 \pm 0.2	8,33

CONCLUSÃO

Este trabalho consistiu na construção e calibração de um aparelho de Miesowicz, que juntamente com o de Zvetkow formam um conjunto de viscosímetros, que servem para medir os coeficientes de viscosidade de substâncias anisotrópicas tais como : cristais líquidos nemáticos, polímeros, etc. E também podem ser usados para a medida da viscosidade e/ou da variação da viscosidade de fluidos isotrópicos. Após a análise dos resultados obtidos do mesmo, podemos concluir que :

A faixa de viscosidade que o VPO fornece melhores resultados, erro menor que 0.5%, está acima de 30 cP. Como não dispunhamos de óleo calibrador com maior viscosidade, não foi possível medir o erro experimental para viscosidades maiores de 140 cP, no entanto as medidas melhoram para alta viscosidades, de modo que esperamos que acima de 140 cP não ocorrerão problemas.

Para viscosidades menores de 30 cP o erro aumenta consideravelmente, mas para medidas que não exigem precisão acima de 4%, a medida é válida. Isto se deve ao fato de que a balança possui uma viscosidade intrínseca, força de atrito, que limita a precisão do VPO, além disso o ruído externo também é fator limitante. Como o equipamento tem como finalidade a medida da viscosidade dos cristais líquidos cujo valor, em geral, está acima de 30 cP, tal limitação não é relevante. Entretanto é interessante melhorarmos a precisão das medidas de viscosidade, para termos uma faixa maior de viscosidade onde a precisão seja boa.

Podemos melhorar a precisão da equação que descreve o decremento logaritmico de Gauss (h), se ao invés de truncarmos a série na potência três (3), truncarmos em uma potência maior (4,5, 6 ou mais), equação 3.13.

Sugestão para melhorar o sistema :

Uma parte que é muito sensível é o sistema de suspensão da grade móvel e o travessão da balança, para evitar oscilações laterais podemos montar um sistema de amortecimento magnético, acoplado ao sistema de fixação da grade móvel e ao travessão. Esses sistemas de amortecimento magnético devem ser tais que evitem qualquer movimento horizontal e qualquer rotação das partes do VPO mencionadas acima.

Sugestões para ampliação desse trabalho:

Pode ser feito um estudo sobre a influência da área e formato da lamínula de vidro sobre a precisão das medidas. Ou ainda, pode ser sobre a variação da força restauradora, que é diretamente proporcional ao peso adicionado no fiél da balança, e a melhora ou não das medidas. Pode ainda ser feito um estudo para viscosidades maiores que 140 cP. Esses são alguns dos estudos que podem ser efetuados para se conhecer melhor o VPO.

PROGRAMAS

```

1  CLEAR 1000:CLS
2  REM PROGRAMA PARA O VISCOSIMETRO DE PLACA OSCILANTE
5  REM *****      VPODATA/BAS      *****
10 DIM X(500),Y(500)
20 REM PROGRAMACAO DA PIO
22 OUT 141,48:OUT 141,0:REM PROGRAMA A PA COMO ENTRADAS
24 OUT 143,48:OUT 143,252:REM PROGRAMA OS BITS B0,B1 COMO
   ENTRADAS E OS OUTROS COMO SAIDAS.
30 REM ARMAZENAMENTO DE DADOS
31 PRINT
32 PRINT
33 PRINT"PROGRAMA PARA CONTAR AS AMPLITUDES DE OSCILACOES DO VPO"
34 PRINT"APOS TER TERMINADO DE CONTAR DAR BREAK E IR A
   LINHA 100"
35 INPUT"TECLE RETURN PARA CONTINUAR";R$
36 CLS
40 PRINT"*****      INICIO      *****"
50 I=1:OUT 142,255:OUT 142,0: REM ZERA O CONTADOR
60 IF (INP(142) AND 2 )=2 THEN 70 ELSE 60 :REM ESPERA O FIEL
   BAIXAR
70 X(I)=INP(140):Y(I)=INP(142)
80 OUT 142,255:PRINT I,(255-X(I))+256*(3-Y(I)):I=I+1
90 IF(INP(142) AND 2)=2 THEN 90 ELSE OUT 142,0: GOTO 60
100 CLS:INPUT"NOME DO ARQUIVO ONDE VAI SER ARMAZENADO OS DADOS
   DAS AMPLITUDES (XXX/DAT:1)";M$
120 OPEN "R",1,M$,"FF",5
130 I%=I140 PUT 1,1,,I%;
150 FOR K%=2 TO I
160 Y%=(255-X(K%-1))+256*(3-Y(K%-1))
170 PUT 1,K%,,Y%;
180 NEXT K%
190 CLOSE

10  CLEAR 3000 :CLS
20  REM *****      LOGRAF1/BAS      *****
30  REM PROGRAMA PRINCIPAL
40  DEFDBL A,B,J,K,L,M,R,E,C,D,S,T
50  DIM X(250),Y(250),Y9(250),O(250),N(1),Y0(250),E(250)
60  INPUT" DADOS VIA TECLADO (T) OU DISCO (D)";R$

```

```
70 IF R$="T" THEN 200
80 INPUT" NOME DO ARQUIVO (XXX/DAT:1)";M$
90 OPEN "R",1,M$,"FF",5
100 GET 1,1,,N%;
110 N=N%-2
130 FOR I%=3 TO N+2
140 GET 1,I%,,Y%;
150 X(I%-2)=I%-2:Y9(I%-2)=Y%
160 Y(I%-2)=LOG(Y%)
170 PRINT X(I%-2),Y%
180 NEXT I%
190 CLOSE:GOTO 270
200 INPUT"VALOR DO INCREMENTO D0";D0
210 INPUT"NUMEROS DE PONTOS DE DADOS PARA SEREM PLOTADOS";N
220 FOR I=1 TO N
230 PRINT"PONTO";I;
240 INPUT" X , Y ";X(I),Y9(I)
250 Y(I)=LOG(Y9(I)+D0)
260 NEXT I
270 INPUT"1- CALCULO DO D0 2- MINIMOS QUADRADOS 3- GRAFICO
      4- RUN 5- END";w
275 ON W GOTO 800,1050,280,277,276
276 END
277 RUN
280 INPUT"TITULO PARA O GRAFICO";T$
300 REM SUBROTINA DE HISTOGRAMAS
310 REM X(I)= EIXO HORIZONTAL Y(I)= EIXO VERTICAL
320 REM N= NUMERO DE PONTOS DE DADOS T$= TITULO DO GRAFICO.
330 Y1=Y(1):X1=X(1):X2=X(2)
340 FOR I=2 TO N
350 IF (Y1-Y(I))<=0 THEN 380 ELSE 360
360 Y1=Y(I)
370 GOTO 400
380 IF (Y2-Y(I))<=0 THEN 390 ELSE 400
390 Y2=Y(I)
400 IF (X1-X(I))<=0 THEN 430 ELSE 410
410 X1=X(I)
420 GOTO 450
430 IF (X2-X(I))<=0 THEN 440 ELSE 450
440 X2=X(I)
450 NEXT I
```

```

460 PRINT"MIN-MAX X VALORES SAO= ";X1,X2
470 PRINT"MIN-MAX Y VALORES SAO= ";Y1,Y2
480 INPUT"MIN-MAX EIXO X ESCALA : ";X
490 INPUT"MIN-MAX EIXO Y ESCALA : ";Y1,Y2
500 XD=X2-X1:YD=Y2-Y1
510 CLS
520 PRINT @0,Y2: PRINT @128,Y1+(YD*4/5): PRINT @256,Y1+(YD*3/5):
PRINT @448,Y1+(YD*2/5)
530 PRINT @576,Y1+(YD/5): PRINT @704,Y1
540 FOR Y=0 TO 35
550 SET (13,Y): NEXT Y
560 FOR X=15 TO 115: SET(X,36):NEXT X
570 FOR X=15 TO 115 STEP 10:SET(X,36): NEXT X
580 FOR Y=0 TO 35 STEP 7
590 SET(12,Y)
600 NEXT Y
610 PRINT @838,X1:PRINT @848,X1+(XD/5):PRINT @858,X1+(XD*2/5)
620 PRINT @868,X1+(XD*3/5):PRINT @878,X1+(XD*4/5):PRINT @888,X2
630 PRINT @916,T$
640 FOR I=1 TO N
650 X=115-((X2-X(I))*100/XD):Y=35-((Y(I)-Y1)*35/YD)
660 IF X>116 THEN 700 ELSE 670
670 YT=Y
680 SET(X,Y)
690 NEXT I
700 INPUT"APERTE <ENTER> PARA CONTINUAR";FF
710 CLS: INPUT"ALGUMA MODIFICACAO NO FATOR DE ESCALA (S/N)";A$
720 IF A$="S" THEN 460 ELSE 730
730 CLS: INPUT"TROCAR VALOR DE D0 (S/N)";B$
740 IF B$="N" THEN D0=0:GOTO 270
750 INPUT"NOVO D0";D0
760 FOR I=1 TO N770 Y(I)=LOG(Y9(I)+D0)
780 NEXT I
790 GOTO 300
800 CLS:PRINT"CALCULOS ESTADISTICOS"
805 INPUT"QUER ELIMINAR PONTOS (S/N)";R$
807 IF R$="S" THEN GOSUB 1500
808 INPUT"VALOR INICIAL DE D0";D0
810 O(1)=0.0:P=2
820 J=0:K=0:L=0:M=0:R=0
840 FOR I=1 TO N

```

```

850 Y=LOG(Y9(I)+D0):X=X(I)
860 J=J+X:K=K+Y:L=L+X!2:M=M+Y!2:R=X*Y
870 NEXT I
880 B=(N*R-K*J)/(N*L-J!2)
890 A=(K-B*J)/N
900 J=B*(R-J*K/N)
910 M=M-K!2/N
920 K=M-J
930 R=J/M
940 O(P)=R
945 PRINT @52,O(P)
950 IF (O(P)<O(P-1)) THEN GOTO 955 ELSE 956
955 W1=W1+1:IF W1>2 THEN GOTO 980 ELSE 960
956 W1=0.
960 P=P+1:D0=D0-1.
970 GOTO 820
980 CLS:D0=D0+3:PRINT"D0 = ",D0
990 PRINT"COEF. DE DETERMINACAO R2 = ";O(P-3)
1000 PRINT"COEF. DE CORRELACAO - ";SQR(O(P-3))
1030 INPUT U$: GOTO 270
1050 CLS:PRINT"AJUSTE DE UMA RETA PELOS MINIMOS QUADRADOS"
1100 A=0:B=0:C=0:D=0:E=0:S=0:T=0:R2=0
1110 INPUT"QUER ELIMINAR PONTOS (S/N)";R$
1120 IF R$="S" THEN GOSUB 1500
1150 INPUT"VALOR DE D0";D0
1210 FOR I=1 TO N
1215 Y(I)=LOG(Y9(I)+D0)
1220 PRINT X(I),Y9(I)
1230 A=A+X(I):E=E+X(I)!2
1260 B=B+Y(I):C=C+X(I)*Y(I):D=D+Y(I)!2
1270 NEXT I
1280 S=(B*E-C*A)/(N*E-A!2)
1290 T=(C-S*A)/E
1360 INPUT"DIGITE <C> PARA CONTINUAR";X$
1370 IF X$<>"C" THEN GOTO 1360
1380 CLS
1390 PRINT"COEFICIENTES DA RETA"
1400 PRINT
1415 R2=(N*C-A*B)!2/((N*E-A!2)*(N*D-B!2))
1420 PRINT"COEF. LINEAR : S=";S:PRINT"COEF. ANGULAR : S1=";T
1430 PRINT

```

```

1440 PRINT"COEF. DE CORRELACAO: R2="; R2
1450 GOTO 270
1500 FOR I=1 TO N
1510 PRINT X(I),Y9(I)
1515 INPUT Q
1520 NEXT I
1530 J=1:PRINT"X PARA ELIMINAR O PONTO"
1540 FOR I=1 TO N
1550 PRINT X(I),Y9(I)1560 INPUT Q$
1570 IF Q$="X" THEN 1600
1580 X(J)=J:Y9(J)=Y9(I)
1590 J=J+1
1600 NEXT I
1605 N=J-1
1610 RETURN

10 CLEAR 5000 :CLS
20 REM ***** AJUSTE/BAS *****
30 PRINT
40 PRINT
50 PRINT"PROGRAMA PARA AJUSTAR OS PONTOS DOS ARQUIVOS DE DADOS"
60 DEFDBL A-E,J-M,R-T
70 DIM X(470),Y(470),YB(6,470),O(470),N(1),Y0(470),
    E(470),Y9(470)
80 INPUT" NOME DO ARQUIVO (XX/DAT:1)"; M$
90 INPUT"NUMERO DO ARQUIVO (1,2,3,4,5)";N1
100 INPUT"VALOR DO INICIO DA CONTAGEM ";W
110 OPEN "R",1,M$,"FF",5
120 GET 1,1,,N%;
130 N=N%-2
140 Q=W-1
150 FOR I%=W TO N
160 GET 1,I%+2,,Y%;170 X(I%-Q)=I%-Q:YB(N1,I%-Q)=Y%
180 PRINT X(I%-Q),Y%
190 NEXT I%
200 CLOSE
210 N=I%-Q-1
220 INPUT"1- CALCULO DO D0 2- MINIMOS QUADRADOS 3- END";W
230 ON W GOTO 250,530,240
240 END
250 CLS:PRINT"CALCULOS ESTADISTICOS"

```

```

260 INPUT"QUER ELIMINAR PONTOS (S/N)";R$
270 IF R$="S" THEN GOSUB 760
280 INPUT"VALOR INICIAL DE D0";D0
290 O(1)=0.0:P=2
300 FOR I=1 TO N
310 Y9(I)=(Y8(1,I)+Y8(2,I)+Y8(3,I)+Y8(4,I)+Y8(5,I))/5
320 NEXT I
330 J=0:K=0:L=0:M=0:R=0
340 FOR I=1 TO N
350 Y=LOG(Y9(I)+D0):X=X(I)
360 J=J+X:K=K+Y:L=L+X!2:M=M+Y!2:R=X*Y
370 NEXT I
380 B=(N*R-K*J)/(N*L-J!2)
390 A=(K-B*J)/N
400 J=B*(R-J*K/N)
410 M=M-K!2/N
420 K=M-J
430 R=J/M
440 O(P)=R
450 PRINT @52,O(P)
460 IF (O(P)<O(P-1)) THEN GOTO 470 ELSE 480
470 W1=W1+1:IF W1>2 THEN GOTO 510
480 W1=0.
490 P=P+1:D0=D0-1.
500 GOTO 330
510 CLS:D0=D0+3:PRINT"D0 = ",D0
520 INPUT U$: GOTO 220
530 CLS:PRINT"AJUSTE DE UMA RETA PELOS MINIMOS QUADRADOS"
540 A=0:B=0:C=0:D=0:E=0:S=0:T=0:R2=0:F=0:G=0:H=0:K=0
550 INPUT"QUER ELIMINAR PONTOS (S/N)";R$
560 IF R$="S" THEN GOSUB 760
570 INPUT"VALOR DE D0";D0
580 FOR I=1 TO N
590 Y(I)=LOG(Y9(I)+D0)
600 PRINT X(I),Y9(I)
610 A=A+X(I):E=E+X(I)!2
620 B=B+Y(I):C=C+X(I)*Y(I):D=D+Y(I)!2
630 NEXT I
640 S=(B*E-C*A)/(N*E-A!2)
650 T=(C-S*A)/E
660 INPUT"DIGITE <C> PARA CONTINUAR";X$

```

```

670 IF X$<> "C" THEN GOTO 660
680 CLS
690 PRINT"COEFICIENTES DA RETA"
700 PRINT
710 R2=(N*C-A*B)!2/((N*E-A!2)*(N*D-B!2))
720 PRINT"COEF. LINEAR : S=";S:PRINT"COEF. ANGULAR : S1=";T
730 PRINT
740 PRINT"COEF. DE CORRELACAO: R2="; R2
750 GOTO 220
760 FOR I=1 TO N770 PRINT X(I),Y8(N1,I)
780 INPUT Q
790 NEXT I
800 J=1:PRINT"X PARA ELIMINAR O PONTO"
810 FOR I=1 TO N
820 PRINT X(I),Y8(N1,I)
830 INPUT Q$
840 IF Q$="X" THEN 870
850 X(J)=J:Y8(N1,J)=Y8(N1,I)
860 J=J+1
870 NEXT I
880 N=J-1
890 RETURN

```

```

5 REM ***** REGPOL *****
10 CLS
15 PRINT"REGRESSAO DE ENESIMA ORDEM"
20 REM LIMITE DO GRAU DA EQUACAO EM A(2D+1),R(D+1,D+2),T(D+2)
25 REM (ONDE D=MAXIMO GRAU DA EQUACAO)
30 DIM A(5),R(3,4),T(4)
35 PRINT
40 DEFDBL A-Z:DEFSNG I,S,K
45 PRINT"GRAU DA EQUACAO";
50 INPUT D
55 PRINT"NUMERO DE PONTOS CONHECIDOS";
60 INPUT N
65 A(1)=N
70 REM ENTRAM AS COORDENADAS DOS PONTOS
85 INPUT X,Y
90 REM LINHAS 100-140 ENCHEM A MATRIZ COM
95 REM UM SISTEMA DE EQUACOES.
100 FOR J=2 TO 2*D+1

```

```
105 A(J)=A(J)+X!(J-1)
110 NEXT J
115 FOR K=1 TO D+1
120 R(K,D+2)=T(K)+Y*X!(K-1)
125 T(K)=T(K)+Y*X!(K-1)
130 NEXT K
135 T(D+2)=T(D+2)+Y!2
140 NEXT I
145 REM LINHAS 150-195 RESOLVEM O SISTEMA DE EQUACOES NA MATRIZ.
150 FOR J=1 TO D+1155 FOR K=1 TO D+1
160 R(J,K)=A(J+K-1)
165 NEXT K
170 NEXT J
175 FOR J=1 TO D+1
180 K=J
185 IF R(K,J)<>0 THEN 210
190 K=K+1
195 IF K<=D+1 THEN 185
200 PRINT"SOLUCAO NAO UNICA"
205 GOTO 470
210 FOR I=1 TO D+2
215 S=R(J,I)
220 R(J,I)=R(K,I)
225 R(K,I)=S
230 NEXT I
235 Z=1/R(J,J)
240 FOR I=1 TO D+2
245 R(J,I)=Z*R(J,I)
250 NEXT I
255 FOR K=1 TO D+1
260 IF K=J THEN 285
265 Z=-R(K,J)
270 FOR I=1 TO D+2
275 R(K,I)=R(K,I)+Z*R(J,I)
280 NEXT I
285 NEXT K
290 NEXT J
295 PRINT"          CONSTANTE =";CSNG(R(1,D+2))
300 REM IMPRIME COEFICIENTES DA EQUACAO
310 FOR J=1 TO D
315 PRINT"COEFICIENTE DE GRAU";J;R(J+1,D+2)
```

```
320 NEXT J
325 PRINT
335 P=0
340 FOR J=2 TO D+1
345 P=P+R(J,D+2)*(T(J)-A(J)*T(1)/N)
350 NEXT J
355 DEFDBL I,J
360 Q=T(D+2)-T(1)!2/N
365 Z=Q-F
370 I=N-D-1
375 PRINT
380 J=Q/P
385 PRINT"COEF. DE DETERMINACAO (R!2)= ";CSNG(J)
390 PRINT"COEF. DA CORRELACAO = ";SQR(J)
395 PRINT"ERRO PADRAO DA ESTIMULATIVA = ";SQR(Z/I)
400 PRINT
405 REM CALCULA COORDENADA Y DO X ENTRADO
410 DEFSNG J
415 PRINT"INTERPOLACAO : (ENTRE 0 PARA FIM DE PROGRAMA)";
420 P=R(1,D+2)
425 PRINT" X = ";
430 INPUT X
435 IF X=0 THEN 470
445 P=P+R(J+1,D+2)*X!J
450 NEXT J
455 PRINT" Y = ";P460 PRINT
465 GOTO 420
470 END
```



Z-80[®] PIO Z-80A PIO

Product Specification

The Zilog Z-80 product line is a complete set of micro-computer components, development systems and support software. The Z-80 microcomputer component set includes all of the circuits necessary to build high-performance microcomputer systems with virtually no other logic and a minimum number of low cost standard memory elements.

The Z-80 Parallel I/O (PIO) Interface Controller is a programmable, two port device which provides TTL compatible interfacing between peripheral devices and the Z80-CPU. The Z80-CPU configures the Z80-PIO to interface with standard peripheral devices such as tape punches, printers, keyboards, etc.

Structure

- N-Channel Silicon Gate Depletion Load technology
- 40 Pin DIP
- Single 5 volt supply
- Single phase 5 volt clock
- Two independent 8-bit bidirectional peripheral interface ports with "handshake" data transfer control

Features

- Interrupt driven "handshake" for fast response
- Any one of the following modes of operation may be selected for either port:
 - Byte output
 - Byte input

Byte bidirectional bus (available on Port A only)
Bit Mode

- Programmable interrupts on peripheral status conditions.
- Daisy chain priority interrupt logic included to provide for automatic interrupt vectoring without external logic.
- Eight outputs are capable of driving Darlington transistors.
- All inputs and outputs fully TTL compatible.

PIO Architecture

A block diagram of the Z80-PIO is shown in figure 1. The internal structure of the Z80-PIO consists of a Z80-CPU bus interface, internal control logic, Port A I/O logic, Port B I/O logic, and interrupt control logic. A typical application might use Port A as the data transfer channel and Port B for the status and control monitoring.

The Port I/O logic is composed of 6 registers with "handshake" control logic as shown in figure 2. The registers include: an 8-bit input register, an 8-bit output register, a 2-bit mode control register, an 8-bit mask register, an 8-bit input/output select register, and a 2-bit mask control register. The last three registers are used only when the port has been programmed to operate in the bit mode.

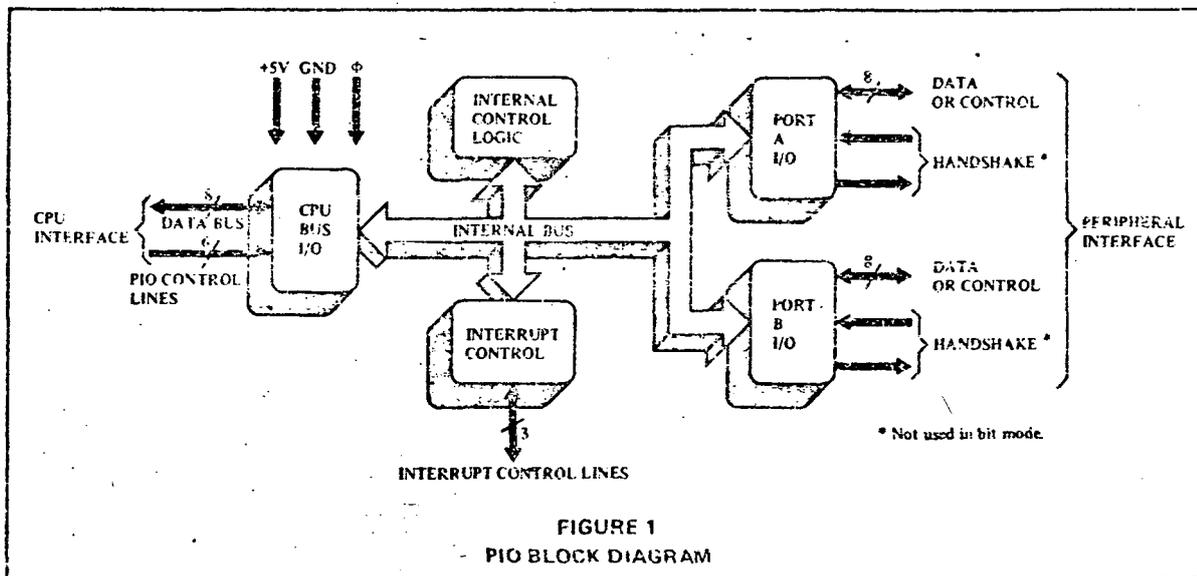
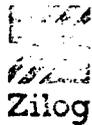


FIGURE 1

PIO BLOCK DIAGRAM



Z-80[®] PIO Z-80A PIO

COMPONENTS

Register Description

-- Mode Control Register-- 2 bits, loaded by CPU to select the operating mode: byte output, byte input, byte bidirectional bus or bit mode.

← Data Output Register--8 bits, permits data to be transferred from the CPU to the peripheral.

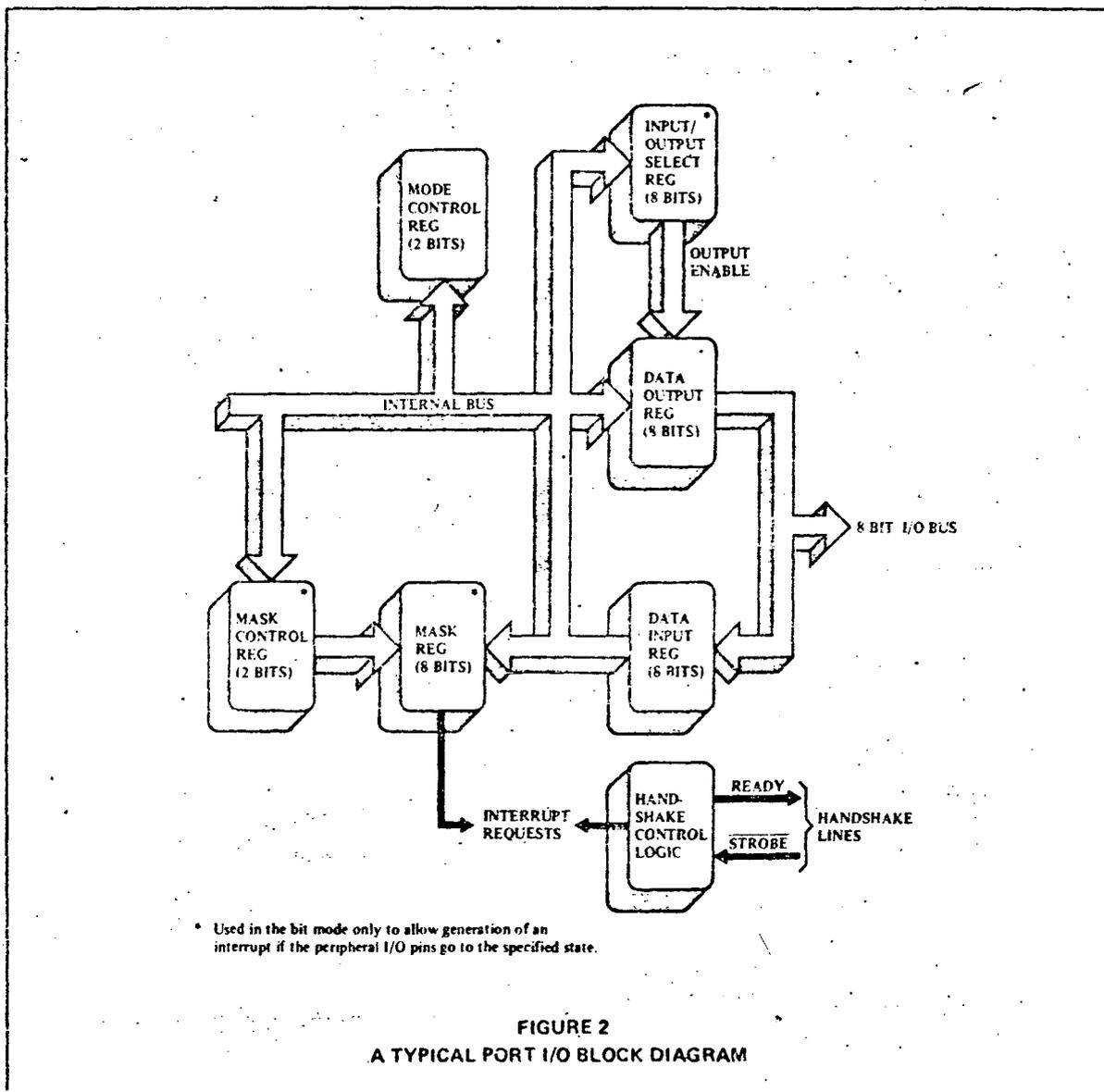
→ Data Input Register--8 bits, accepts data from the peripheral for transfer to the CPU.

Mask Control Register--2 bits, loaded by the CPU to specify the active state (high or low) of any peripheral device

interface pins that are to be monitored and, if an interrupt should be generated when all unmasked pins are active (AND condition) or, when any unmasked pin is active (OR condition).

Mask Register 8 bits, loaded by the CPU to determine which peripheral device interface pins are to be monitored for the specified status condition.

Input/Output Select Register--8 bits, loaded by the CPU to allow any pin to be an output or an input during bit mode operation.



* Used in the bit mode only to allow generation of an interrupt if the peripheral I/O pins go to the specified state.

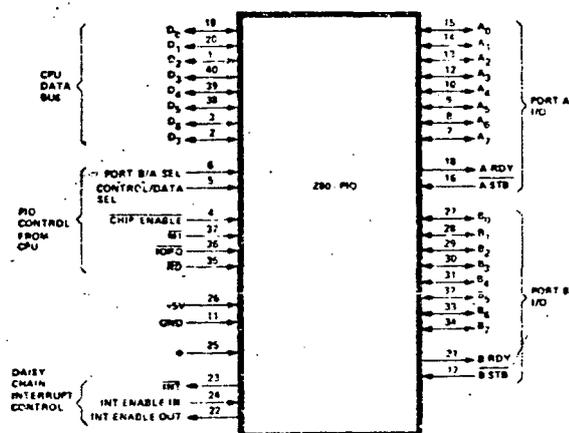
FIGURE 2
A TYPICAL PORT I/O BLOCK DIAGRAM



Z-80[®] PIO Z-80A PIO

COMPONENTS

Z-80 PIO Pin Description



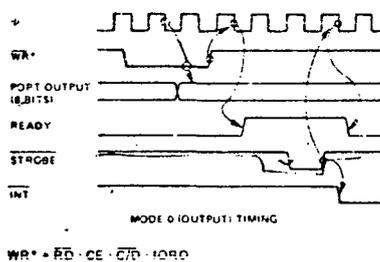
- D₇-D₀ Z80-CPU Data Bus (bidirectional, tristate)
- B/A Sel Port B or A Select (input, active high)
- C/D Sel Control or Data Select (input, active high)
- \overline{CE} Chip Enable (input, active low)
- Φ System Clock (input)

- \overline{MI} Machine Cycle One Signal from CPU (input, active low)
- \overline{IORQ} Input/Output Request from Z80-CPU (input, active low)
- \overline{RD} Read Cycle Status from the Z80-CPU (input, active low)
- IEI Interrupt Enable In (input, active high)
- IEO Interrupt Enable Out (output, active high). IEI and IEO form a daisy chain connection for priority interrupt control.
- \overline{INT} Interrupt Request (output, open drain, active low)
- A₀-A₇ Port A Bus (bidirectional, tristate)
- A STB Port A Strobe Pulse from Peripheral Device (input, active low)
- A RDY Register A Ready (output, active high)
- B₀-B₇ Port B Bus (bidirectional, tristate)
- B STB Port B Strobe Pulse from Peripheral Device (input, active low)
- B RDY Register B Ready (output, active high)

Timing Waveforms

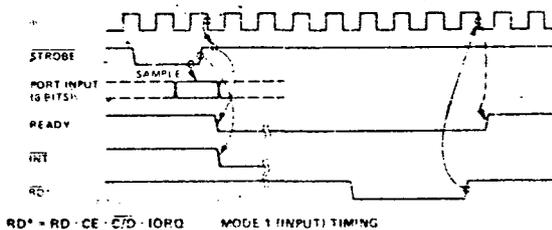
OUTPUT MODE

An output cycle is always started by the execution of an output instruction by the CPU. The \overline{WR} pulse from the CPU latches the data from the CPU data bus into the selected port's output register. The write pulse sets the ready flag after a low going edge of Φ , indicating data is available. Ready stays active until the positive edge of the strobe line is received indicating that data was taken by the peripheral. The positive edge of the strobe pulse generates an \overline{INT} if the interrupt enable flip flop has been set and if this device has the highest priority.



INPUT MODE

When \overline{STROBE} goes low data is loaded into the selected port input register. The next rising edge of strobe activates \overline{INT} if interrupt enable is set and this is the highest priority requesting device. The following falling edge of Φ resets Ready to an inactive state, indicating that the input register is full and cannot accept any more data until the CPU completes a read. When a read is complete the positive edge of \overline{RD} will set Ready at the next low going transition of Φ . At this time new data can be loaded into the PIO.



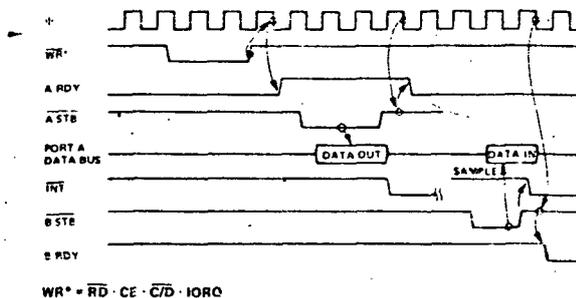
Z-80[®] PIO Z-80A PIO
Zilog

COMPONENTS

Timing Waveforms

BIDIRECTIONAL MODE

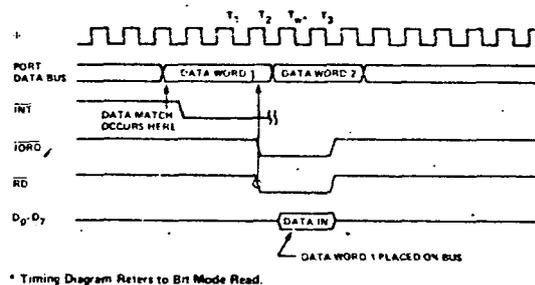
This is a combination of modes 0 and 1 using all four handshake lines and the 8 Port A I/O lines. Port B must be set to the Bit Mode. The Port A handshake lines are used for output control and the Port B lines are used for input control. Data is allowed out onto the Port A bus only when A STB is low. The rising edge of this strobe can be used to latch the data into the peripheral.



BIT MODE

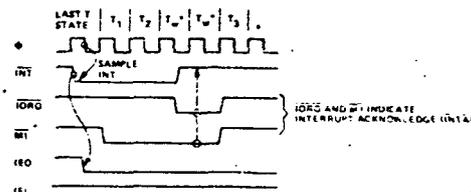
The bit mode does not utilize the handshake signals and a normal port write or port read can be executed at any time. When writing, the data will be latched into the output registers with the same timing as the output mode.

When reading the PIO, the data returned to the CPU will be composed of output register data from those port data lines assigned as outputs and input register data from those port data lines assigned as inputs. The input register will contain data which was present immediately prior to the falling edge of RD. An interrupt will be generated if interrupts from the port are enabled and the data on the port data lines satisfy the logical equation defined by the 8-bit mask and 2-bit mask control registers.



INTERRUPT ACKNOWLEDGE

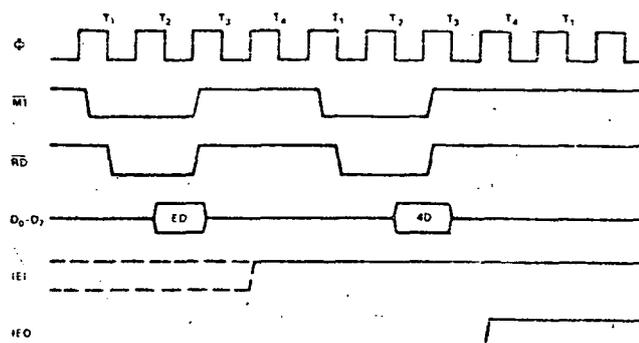
During \overline{MI} time, peripheral controllers are inhibited from changing their interrupt enable status, permitting the \overline{INT} Enable signal to ripple through the daisy chain. The peripheral with IEI high and IEO low during \overline{INTA} will place a preprogrammed 8-bit interrupt vector on the data bus at this time. IEO is held low until a return from interrupt (RETI) instruction is executed by the CPU while IEI is high. The 2-byte RETI instruction is decoded internally by the PIO for this purpose.



RETURN FROM INTERRUPT CYCLE

If a Z80 peripheral device has no interrupt pending and is not under service, then its IEO=IEI. If it has an interrupt under service (i.e., it has already interrupted and received an interrupt acknowledge) then its IEO is always low, inhibiting lower priority chips from interrupting. If it has an interrupt pending which has not yet been acknowledged, IEO will be low unless an "ED" is decoded as the first byte of a two byte opcode. In this case, IEO will go high until the next opcode byte is decoded, whereupon it will again go low. If the second byte of the opcode was a "4D" then the opcode was an RETI instruction.

After an "ED" opcode is decoded, only the peripheral device which has interrupted and is currently under service will have its IEI high and its IEO low. This device is the highest priority device in the daisy chain which has received an interrupt acknowledge. All other peripherals have IEI=IEO. If the next opcode byte decoded is "4D", this peripheral device will reset its "interrupt under service" condition.



Z-80[®] PIO Z-80A PIO

COMPONENTS

Zilog

Z-80 PIO A.C. Characteristics

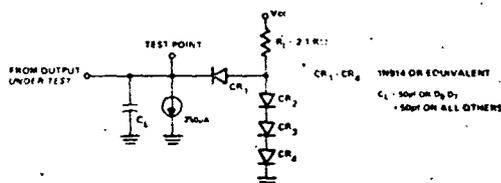
TA = 0° C to 70° C, Vcc = +5 V ± 5%, unless otherwise noted

SIGNAL	SYMBOL	PARAMETER	MIN	MAX	UNIT	COMMENTS
Φ	t _c	Clock Period	400	(1)	nsec	
	t _w (ΦH)	Clock Pulse Width, Clock High	170	2000	nsec	
	t _w (ΦL)	Clock Pulse Width, Clock Low	170	2000	nsec	
	t _r , t _f	Clock Rise and Fall Times		30	nsec	
	t _h	Any Hold Time for Specified Set-Up Time	0		nsec	
CS, CE ETC	t _{sφ} (CS)	Control Signal Set-Up Time to Rising Edge of Φ During Read or Write Cycle	290		nsec	
D ₀ -D ₇	¹ D _R (D)	Data Output Delay from Falling Edge of \overline{RD}		430	nsec	(2) C _L = 50 pf (3)
	t _{sφ} (D)	Data Set-Up Time to Rising Edge of Φ During Write or $\overline{M1}$ Cycle	50		nsec	
	¹ D _I (D)	Data Output Delay from Falling Edge of \overline{IORQ} During INTA Cycle		340	nsec	
	t _f (D)	Delay to Floating Bus (Output Buffer Disable Time)		160	nsec	
IEI	t _s (IEI)	IEI Set-Up Time to Falling Edge of \overline{IORQ} During INTA Cycle	140		nsec	
IEO	¹ O _H (IO)	IEO Delay Time from Rising Edge of IEI		210	nsec	(5) C _L = 50 pf (5)
	¹ O _L (IO)	IEO Delay Time from Falling Edge of IEI		190	nsec	
	¹ O _M (IO)	IEO Delay from Falling Edge of $\overline{M1}$ (Interrupt Occurring Just Prior to $\overline{M1}$) See Note A.		300	nsec	
\overline{IORQ}	t _{sφ} (IR)	\overline{IORQ} Set-Up Time to Rising Edge of Φ During Read or Write Cycle	250		nsec	
$\overline{M1}$	t _{sφ} (M1)	$\overline{M1}$ Set-Up Time to Rising Edge of Φ During INTA or $\overline{M1}$ Cycle. See Note B.	210		nsec	
\overline{RD}	t _{sφ} (RD)	\overline{RD} Set-Up Time to Rising Edge of Φ During Read or $\overline{M1}$ Cycle	240		nsec	
A ₀ -A ₇ , B ₀ -B ₇	t _s (PD)	Port Data Set-Up Time to Rising Edge of STROBE (Mode 1)	260		nsec	(5) C _L = 50 pf (5)
	¹ D _S (PD)	Port Data Output Delay from Falling Edge of STROBE (Mode 2)		230	nsec	
	t _f (PD)	Delay to Floating Port Data Bus from Rising Edge of STROBE (Mode 2)		200	nsec	
	¹ D _I (PD)	Port Data Stable from Rising Edge of \overline{IORQ} During WR Cycle (Mode 0)		200	nsec	
\overline{ASTB} , \overline{BSTB}	t _w (ST)	Pulse Width, STROBE	150		nsec	
			(4)		nsec	
INT	¹ D (IT)	INT Delay Time from Rising Edge of STROBE		490	nsec	
	¹ D (IT3)	INT Delay Time from Data Match During Mode 3 Operation		420	nsec	
ARDY, BRDY	¹ D _H (RY)	Ready Response Time from Rising Edge of \overline{IORQ}		t _c ⁺ 460	nsec	(5) C _L = 50 pf (5)
	¹ D _L (RY)	Ready Response Time from Rising Edge of STROBE		t _c ⁺ 400	nsec	

- A 2 t_c > (n-2) t_{D_L} (IO) + t_{D_M} (IO) + t_s (IEI) + TTL Buffer Delay, if any
- B $\overline{M1}$ must be active for a minimum of 2 clock periods to reset the PIO.

- (1) t_c = t_w (ΦH) + t_w (ΦL) + t_r + t_f
- (2) Increase t_{D_R} (D) by 10 nsec for each 50 pf increase in loading up to 200 pf max.
- (3) Increase t_{D_I} (D) by 10 nsec for each 50 pf increase in loading up to 200 pf max.
- (4) For Mode 2: t_w (ST) > t_s (PD)
- (5) Increase these values by 2 nsec for each 10 pf increase in loading up to 100 pf max.

Output load circuit.



Capacitance

TA = 25° C, f = 1 MHz

Symbol	Parameter	Max.	Unit	Test Condition
C _Φ	Clock Capacitance	10	pF	Unmeasured Pins
C _{IN}	Input Capacitance	5	pF	Returned to Ground
C _{OUT}	Output Capacitance	10	pF	Returned to Ground



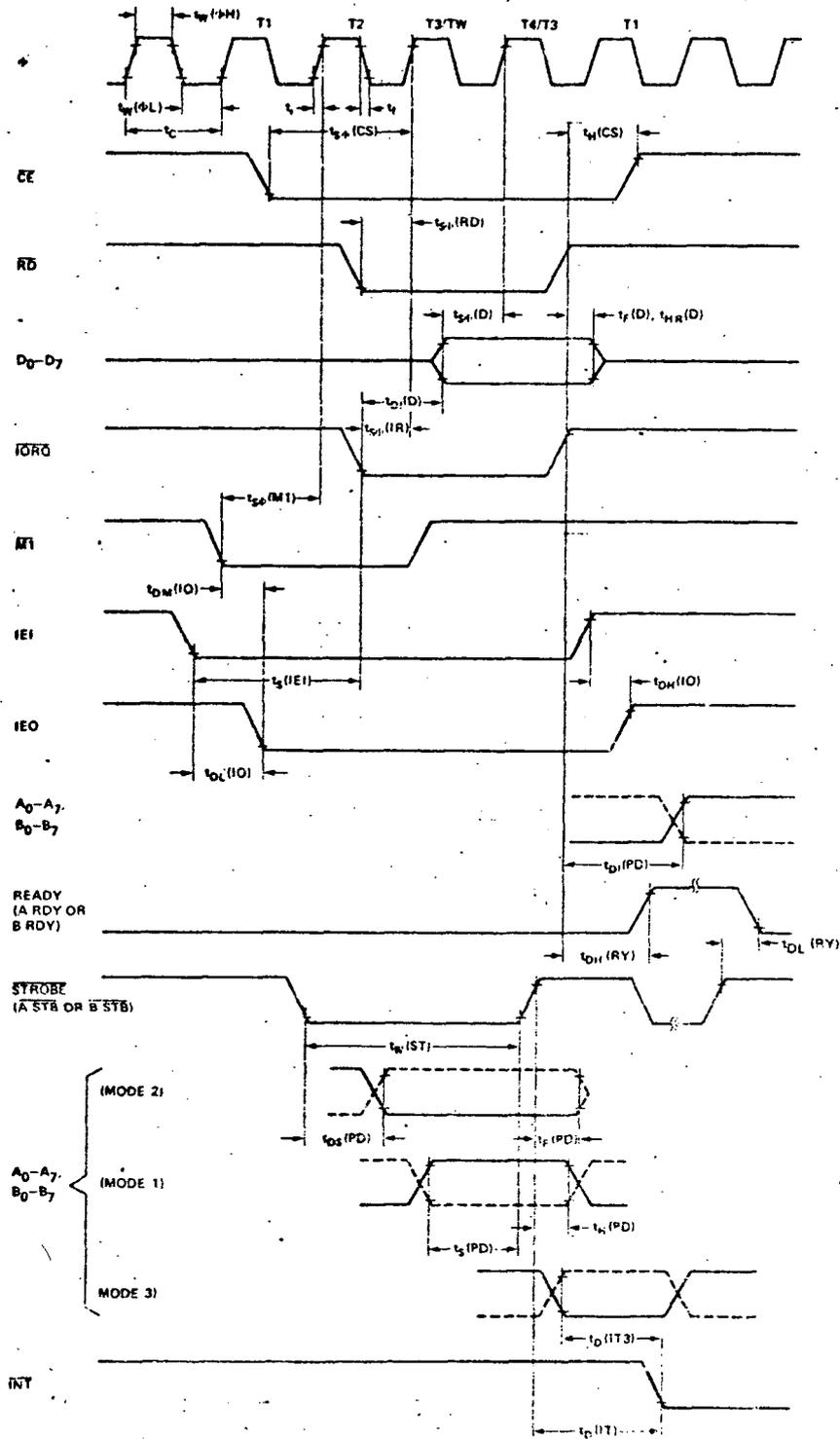
Z-80[®] PIO Z-80A PIO

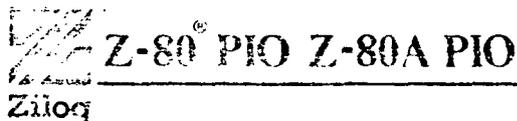
COMPONENTS

Timing measurements are made at the following voltages, unless otherwise specified:

CLOCK	4.2V	0.8V
OUTPUT	2.0V	0.8V
INPUT	2.0V	0.8V
FLOAT	$\Delta V = +0.5V$	

A.C. Timing Diagram





COMPONENTS

Z-80A PIO A.C. Characteristics

TA = 0° C to 70° C, Vcc = +5 V ± 5%, unless otherwise noted

SIGNAL	SYMBOL	PARAMETER	MIN	MAX	UNIT	COMMENTS
Φ	t _c	Clock Period	250	[1]	nsec	
	t _w (PH)	Clock Pulse Width, Clock High	105	2000	nsec	
	t _w (PL)	Clock Pulse Width, Clock Low	105	2000	nsec	
	t _{r, f}	Clock Rise and Fall Times		30	nsec	
	t _h	Any Hold Time for Specified Set-Up Time	0		nsec	
CS, CE ETC	t _{su} (CS)	Control Signal Set-Up Time to Rising Edge of Φ During Read or Write Cycle	145		nsec	
D ₀ -D ₇	t _{DR} (D)	Data Output Delay From Falling Edge of RD	50	380	nsec	[2]
	t _{SH} (D)	Data Set-Up Time to Rising Edge of Φ During Write or M1 Cycle			nsec	
	t _{DI} (D)	Data Output Delay from Falling Edge of IORQ During INTA Cycle		250	nsec	[3]
	t _f (D)	Delay to Floating Bus (Output Buffer Disable Time)		110	nsec	
IEI	t _S (IEI)	IEI Set-Up Time to Falling Edge of IORQ During INTA Cycle	140		nsec	
IEO	t _{DR} (IO)	IEO Delay Time from Rising Edge of IEI		180	nsec	[5]
	t _{DL} (IO)	IEO Delay Time from Falling Edge of IEI		130	nsec	[5]
	t _{DM} (IO)	IEO Delay from Falling Edge of M1 (Interrupt Occurring Just Prior to M1) See Note A		190	nsec	[5]
IORQ	t _{su} (IR)	IORQ Set-Up Time to Rising Edge of Φ During Read or Write Cycle	115		nsec	
M1	t _{su} (M1)	M1 Set-Up Time to Rising Edge of Φ During INTA or M1 Cycle. See Note B	90		nsec	
RD	t _{su} (RD)	RD Set-Up Time to Rising Edge of Φ During Read or M1 Cycle	115		nsec	
A ₀ -A ₇ B ₀ -B ₇	t _S (PD)	Port Data Set-Up Time to Rising Edge of STROBE (Mode 1)	230		nsec	
	t _{DS} (PD)	Port Data Output Delay from Falling Edge of STROBE (Mode 2)		210	nsec	[5]
	t _F (PD)	Delay to Floating Port Data Bus from Rising Edge of STROBE (Mode 2)		180	nsec	C _L = 50 pf
	t _D (PD)	Port Data Stable from Rising Edge of IORQ During WR Cycle (Mode 0)		180	nsec	[5]
A _{STB} , B _{STB}	t _w (ST)	Pulse Width, STROBE	150	[4]	nsec	
INT	t _D (IT)	INT Delay Time from Rising Edge of STROBE		440	nsec	
	t _D (IT3)	INT Delay Time from Data Match During Mode 3 Operation		380	nsec	
ARDY, BRDY	t _{DH} (RY)	Ready Response Time from Rising Edge of IORQ		t _c + 410	nsec	[5]
	t _{DL} (RY)	Ready Response Time from Rising Edge of STROBE		t _c + 360	nsec	[5]

A. $2.5 t_c > (N-2) t_{DL} (IO) + t_{DM} (IO) + t_S (IEI) + TTL$ Buffer Delay, if any
 B. M1 must be active for a minimum of 2 clock periods to reset the PIO.

[1] $t_c = t_w (PH) + t_w (PL) + t_r + t_f$

[2] Increase t_{DR} (D) by 10 nsec for each 50 pf increase in loading up to 200 pf max.

[3] Increase t_{DI} (D) by 10 nsec for each 50 pf increase in loading up to 200 pf max.

[4] For Mode 2: t_w (ST) > t_S (PD)

[5] Increase these values by 2 nsec for each 10 pf increase in loading up to 100 pf max.

LISTA DOS COMPONENTES DA FIGURA 2.10

Circuitos Integrados

1 - 741
2 - 741
3 - 74LS14
4 - 74LS08
5 - 74LS04
6 - 74LS30
7 - 74LS76
8 - 74LS76
9 - 74LS76
10- 74LS76
11- 74LS76
12- 74LS138
13- P10 280

Resistores (1/4 W)

R1 - 10 K Ω
R2 - 330 Ω
R3 - 3K3 Ω
R4 - 1 K Ω
R5 - 3K3 Ω
R6 - 1 K Ω

Diodos

D1 - 1N914
D2 - 1N914

Transistor

T1 - fototransistor NPN (Si)

Potenciômetros miniaturas

P1 - 10K Ω - 10 voltas
P2 - 10K Ω - 10 voltas

Capacitores

C1 - .33 μ F 250V
C2 - .33 μ F 250V
C3 - .33 μ F 250V
C4 - .33 μ F 250V

BIBLIOGRAFIA

- [1] - PRIESTLEY, E.B.; WOJTOWICZ, P.J.; SHENG, P. ed. *Introduction to liquid crystals*. New York, Plenum Press, 1975. 356 p.
- [2] - BROWN, G.H. & WOLKEN, J.J. *Liquid crystals and biological structures*. New York, Academic Press, 1979. 3-51 p.
- [3] - WOJTOWICZ, P.J. *Introduction to the molecular theory of nematic liquid crystals*. RCA Rev., 1974, 35:118 p.
- [4] - OSEEN, C.W. *The theory of crystals liquid*.
Trans. Farad. soc., 1933, 29:883 p.
- [5] - MIESOWICZ, M. Bull. Acad. Pol. A, 1936, 228 p.
- [6] - ZVETKOW, W.N.; MICHAILOW, G.M. Acta Physicochim. URSS, 1938,
8:77 p.
- [7] - LESLIE, F.M. *Theory of flow phenomena in Liquid crystals*. In-
BROWN, G.H. (ed.) *Advances in liquid crystals*. New York,
Academic. Press, 1979, 4:7-8 p.
- [8] - SCHNEIDER, F. *Viscous properties of nematic liquid crystals*.
Univ. Siegen, Siegen. Freiburg, 1982, 17 p.
- [9] - SCHNEIDER, F. & KNEPPE, H. *Rotational viscosity of some nematic
liquid crystals*. Univ. Siegen. Freiburg, 1982. 10 p.
- [10] - LESLIE, F.M. *Some constitutive equations for liquid crystals*.
Arch. Rotational Mec. Anal., 1968, 28:256 p.
- [11] - ERICKSEN, J.L. Trans. Soc. Rheol., 1961, 5:23 p.
- [12] - LENZI, A. *Montagem e calibração de um aparelho de Zvetkow
para medida de γ_1 em cristais líquidos nematicos*. Tese de
mestrado. UFSC, 1984.
- [13] - MINETTI, MEZZETTI, E. *Automatic analysis of the logarithmic
decrement in damped oscillations*. J. Phys. E: Sci.
Instrum., 1979, 12:1163 p.
- [14] - MINETTI, B.; MENETTI, MEZZETTI, E.; PASQUARELLI, A.; IAZZI, F.
Viscosity: a new method of evaluating damping and

- periodo*. J. Phys. E: Sci. Instrum., 1984, 17:569 p.
- [15]- SIEDLER, L.T.S. *The measurement of viscosity coefficients of some nematic liquid crystals*. 222f. Thesis (PhD) Univ. of Strthclyde, Glasgow, 1980, 64-73 p.
- [16]- RIGHI, A. Nuovo Cim. 1887, 21:203 p.
- [17]- GIAMBIASI, G.E. US Patent N° 1415627, 1922
- [18]- ROBERTS, P.W. J. Sci. Instrum., 1950, 27:105 p.
- [19]- MERTON, Sir Thomas. Proc. Roy. Soc. A, 1950, 207:187 p.
- [20]- GUILD, J. *The interference Systems of Crossed Diffraction Gratings: Theory of Moire Fringes*. Oxford: Claredon Press, 1956
- [21]- GUILD, J. *Diffraction gradings as measuring scales*. London: Oxford Univ. Press, 1960
- [22]- SAYCE, L.A. *Gradings in metrology*. J. Physics E, 1972, 5(3): 193-8 p.
- [23]- DEBOO, GORDON, J. & BURROUS, CLIFFORD, N. *Circuitos integrados y dispositivos semiconductores*. Trad. Fernández-Yñéz.; Antonios Mas.; Morcombo. Boixareu Ed., 1977, 283-318 p.
- [24]- SIEMENS. *Silicon photodetectors*. 1985/86, 21-3 p.
- [25]- COUARRAZE, G. & GROSSIORD, J.L. *Initiation à la Rheologie*. Lavoisier, 1983, 5-13 p.