

Trabalho Laboratorial

Compressão/expansão de um gás

João Figueirinhas e Raquel Crespo

Objetivos do trabalho

O objetivo deste trabalho consiste em analisar o comportamento de um **gás** (que na nossa experiência vai ser o **ar**) em **processos termodinâmicos politrópicos**

(isto é processos em que se verifica a relação $PV^a = \text{constante}$, sendo a um valor compreendido entre 1 e o coeficiente adiabático $\gamma = C_p/C_v$):

Concretamente, vamos estudar os seguintes processos:

- 1) Compressão e expansão tendencialmente adiabáticas** (isto é sem trocas de calor entre o gás e o exterior)
- 2) Compressão e expansão tendencialmente isotérmicas** (isto é que se processam a temperatura constante)

Descrição da montagem experimental

Para realizar este trabalho dispomos da montagem apresentada na figura 1.

- 1-Aparato de compressão/expansão do gás.
- 2-Sistema de aquisição de dados.
- 3-Computador de comando e aquisição.
- 4-Fonte de alimentação da interface.

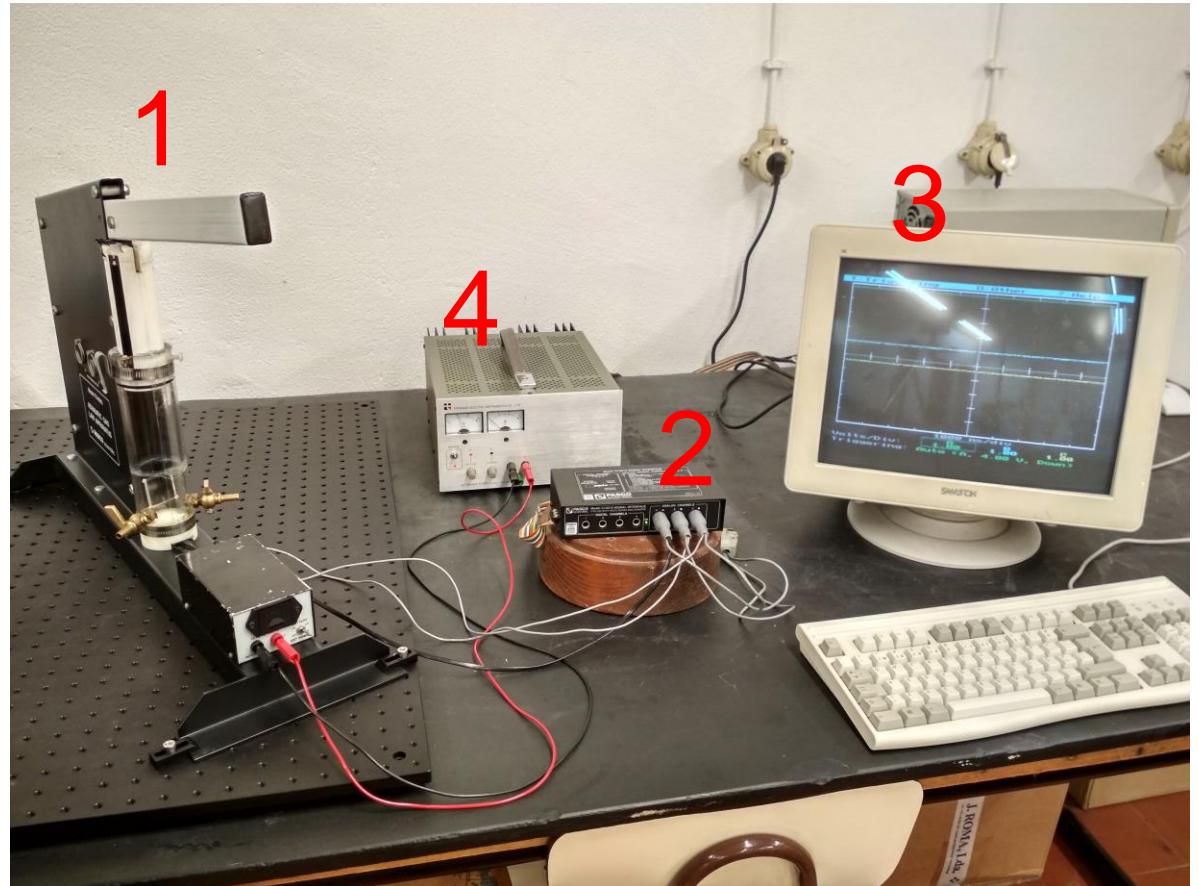


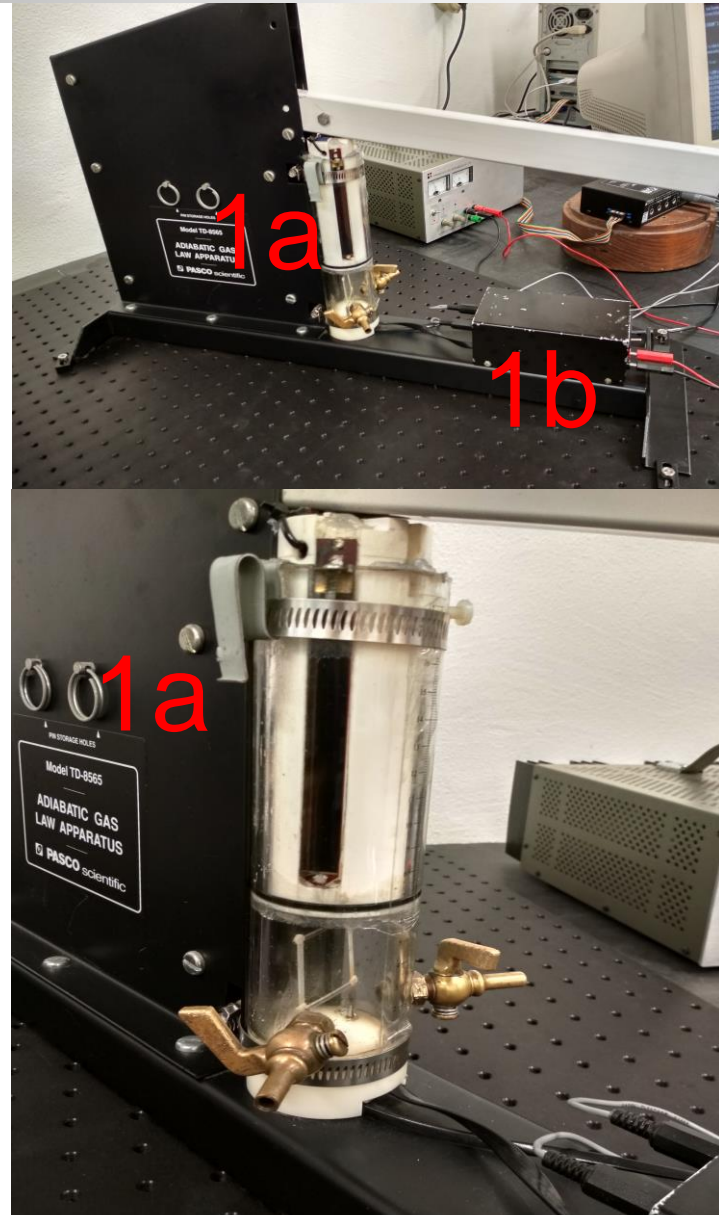
Figura 1. Montagem experimental

Detalhes da montagem experimental

A montagem experimental inclui o seguinte equipamento:

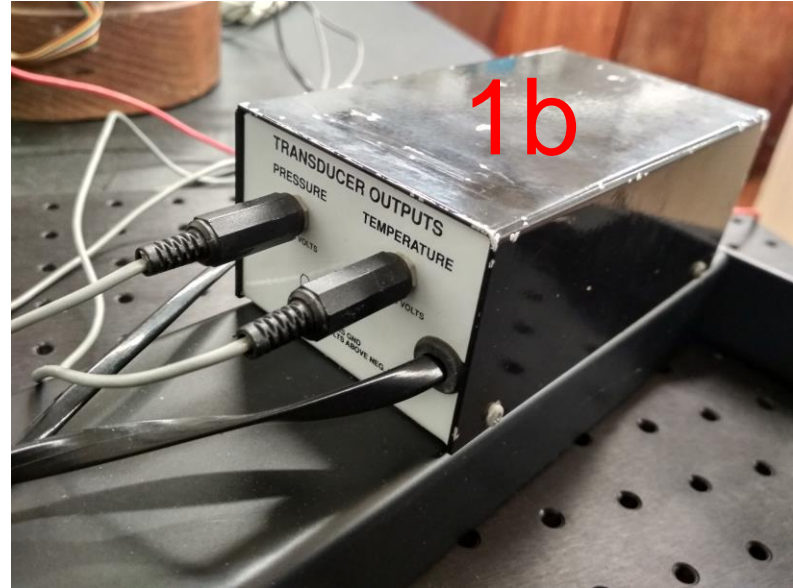
1-Aparato de compressão/expansão de gás, composto por cilindro transparente com embolo no interior do qual existe uma coluna de gás que pode ser comprimido ou expandido com a ajuda de uma alavanca (1a)

No interior do cilindro existem sensores que medem o volume, a pressão e a temperatura do gás em tempo real.



Detalhes da montagem experimental

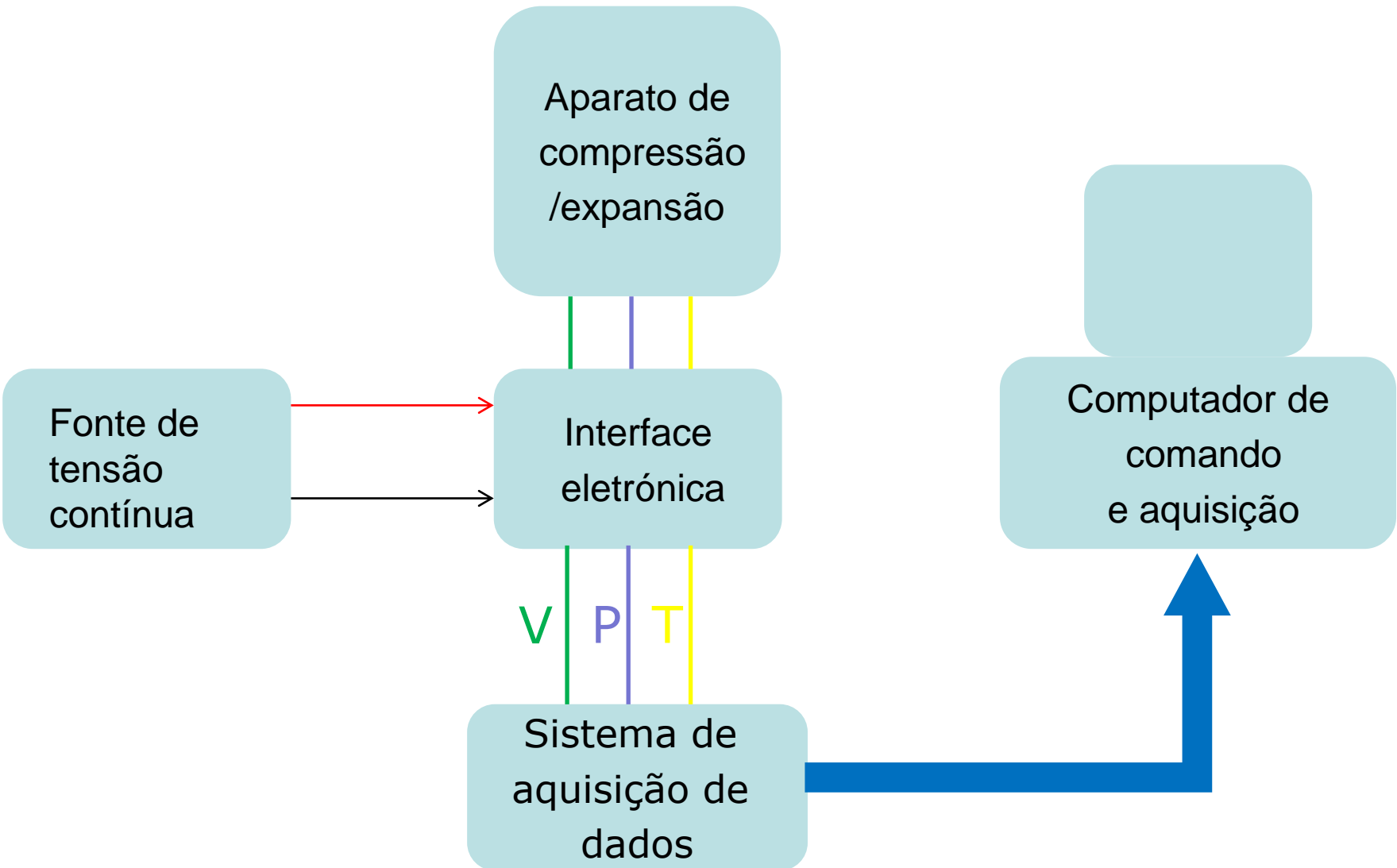
As leituras dos sensores são convertidas em tensões através de uma interface eletrônica (1b) que deve estar alimentada por um gerador de tensão contínua com $U=10V..15V$



A interface está ligada a um sistema de aquisição de dados (2) comandado por computador com software apropriado que permite visualizar em tempo real os valores das grandezas termodinâmicas que pretendemos medir em função do tempo; **Volume**, **Pressão** e **Temperatura**.



Esquema de blocos da montagem

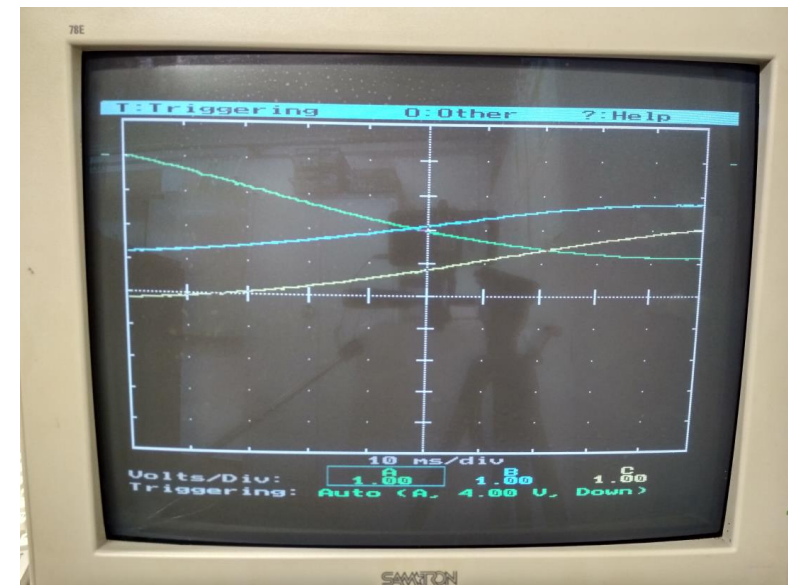


Programa de aquisição de dados

Menu Principal



Secção de aquisição em modo osciloscópio



Execução da experiência: Algumas observações preliminares para o docente

1) Para a **compressão** adiabática e politrópica (e **isotérmica**)

Na opção `Oscilloscope` preparar o osciloscópio de modo a que a aquisição de dados seja feita durante o intervalo de tempo de **10 ms/DIV** (**1000 ms/DIV** para o caso isotérmico) no osciloscópio. Pode mudar o tempo para 10 (ou 1000) ms com as teclas (<-) e (->) do teclado do seu monitor, no teclado canto inferior direito.

2) Verificar que o menu Trigger com tecla T e colocar:

A- Automatic

Voltage: 4V

Going down

R-return to scope (press return)

No ecran verificar que o trigger (traço verde na parte esquerda do ecran) está a 4 Volt.

1) Para a **expansão** adiabática e politrópica (e **isotérmica**):

Na opção `Oscilloscope` preparar o osciloscópio de modo a que a aquisição de dados seja feita durante o intervalo de tempo de **10 ms/DIV** (**1000 ms/DIV** para o caso isotérmico) no osciloscópio. Para mudar o tempo para 10 (ou 1000) ms com as teclas (<-) e (->) do teclado do seu monitor, no teclado canto inferior direito.

2) Verificar que o menu Trigger com tecla T e colocar:

A- Automatic

Voltage: 1V

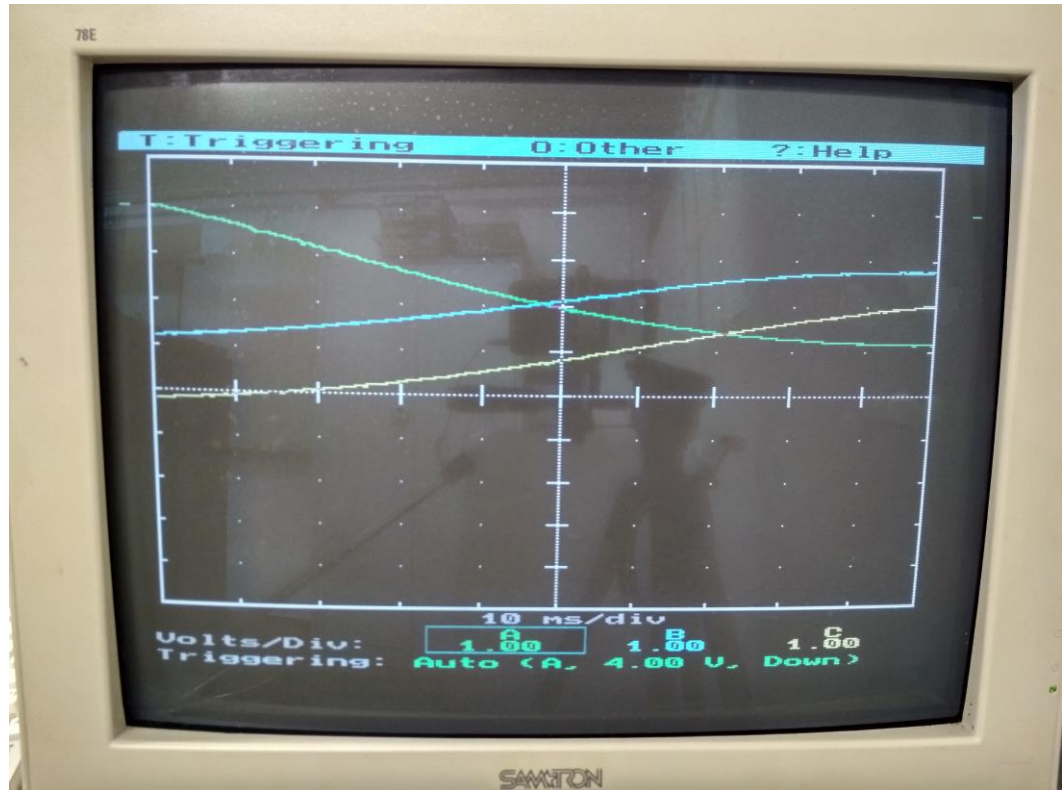
Going up

R-return to scope (press return)

No ecran verificar que o trigger (traço verde na parte esquerda do ecran) está a 1 Volt.

Execução da experiência: compressão adiabática

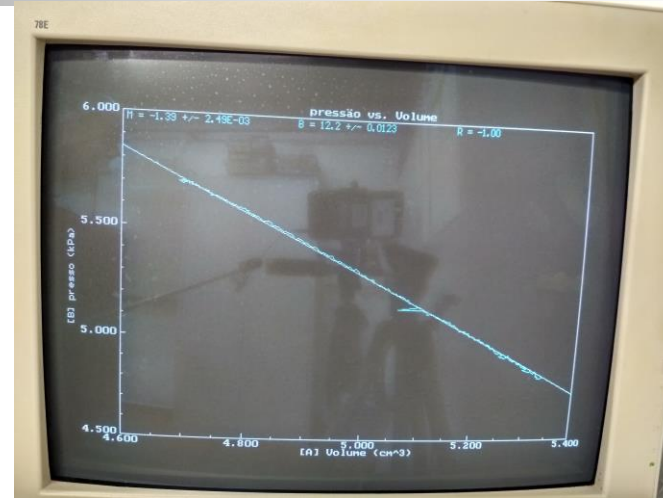
Preparamos o programa para aquisição rápida de dados. De seguida começamos por realizar o equilíbrio das pressões, entre o gás e a pressão atmosférica abrindo uma das válvulas e levantamos a alavanca até à posição mais elevada. Passados 30s fechamos as válvulas. Seguidamente **comprimos rapidamente o gás** para impedir trocas de calor no processo de compressão.



No monitor do computador podemos observar as grandezas termodinâmicas em função do tempo Volume $V(t)$ (verde) a diminuir, Pressão $P(t)$ azul a aumentar e Temperatura $T(t)$ (amarelo) a aumentar. Os valores destas grandezas são recolhidas no disco rígido do computador e serão disponibilizados a cada grupo. Estes valores são distintos para cada grupo e não podem ser trocados.

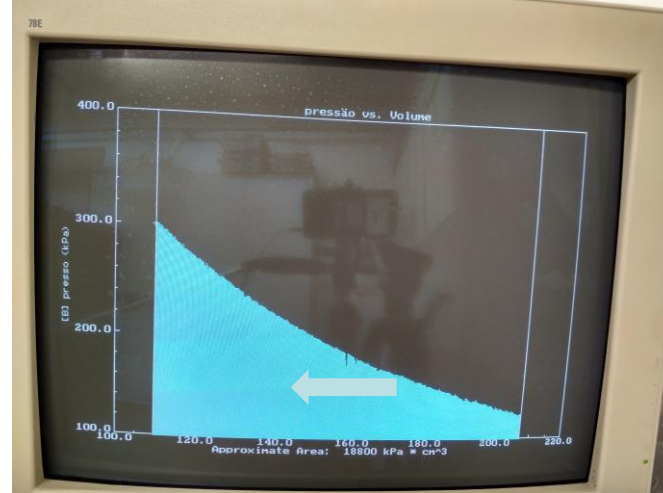
Análise dos resultados: compressão adiabática

1-Representação gráfica $\ln(P)$ versus $\ln(V)$ e determinação de a : $PV^a = \text{const} \rightarrow \ln(P) = -a \cdot \ln(V) + \ln(\text{const})$



2-Cálculo do trabalho, W , feito sobre o gás:

$$W = - \int_{V_i}^{V_f} P dV, W > 0$$



3-Determinação do número de moles n e T_f : $n = \frac{P_f V_f}{R T_f}$, $n_i = \frac{P_i V_i}{R T_i}$, $n_f = \frac{P_f V_f}{R T_f}$, $(n_f > n_i) \rightarrow \mathbf{n = n_i} \rightarrow \mathbf{T_f = \frac{P_f V_f}{R n_i}}$

Análise dos resultados: compressão adiabática

4-Balanco energético, determinação do calor Q trocado na transformação, verificação da coerência dos resultados para o expoente α :

1º princípio $\rightarrow Q = \Delta U - W = n * C_V * \Delta T - W$ (modelo gás ideal) $Q \leq 0$

-Transformação adiabática: $\rightarrow Q = 0 \rightarrow \Delta U = W$

$$Q = 0 \rightarrow \alpha = \gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{C_V + R}{C_V} = \frac{\frac{5}{2}R + R}{\frac{5}{2}R} = 1.4 \text{ (ar=mistura de gases diatómicos)}$$

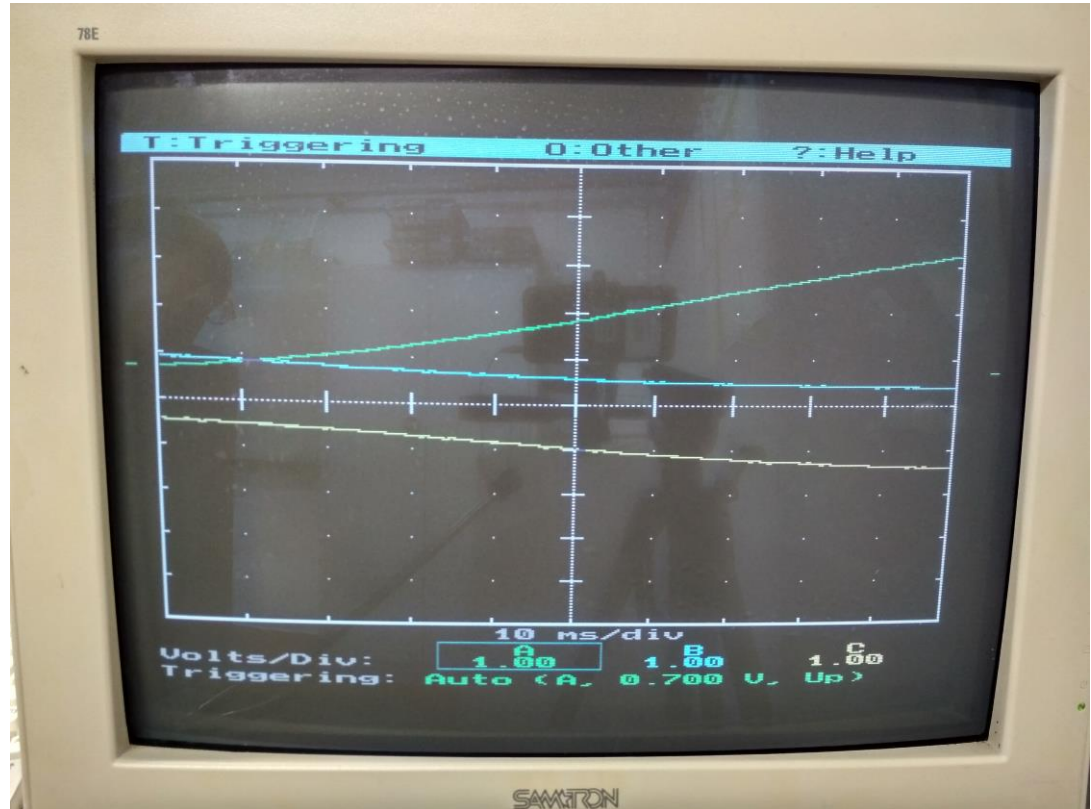
-Transformação com trocas de calor e politrópica: $\rightarrow Q \leq 0 \rightarrow \Delta U \leq W$

$Q \neq 0$ ou $Q = 0$ e $PV^\alpha = \text{constante} \rightarrow \alpha \leq 1.4 \rightarrow$

$$Q = -n * \beta * \Delta T \text{ e } \alpha = \frac{C_V + R + \beta}{C_V + \beta}$$

Execução da experiência: expansão adiabática

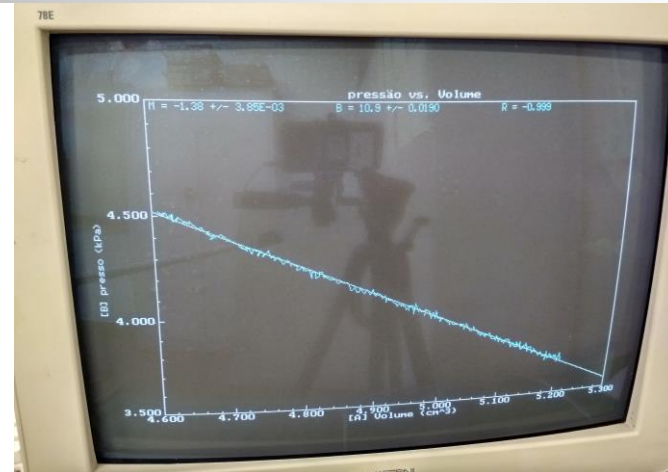
Preparamos o programa para aquisição rápida de dados. De seguida começamos por realizar o equilíbrio das pressões, entre o gás e a pressão atmosférica abrindo uma das válvulas e baixamos o embolo até à sua posição mínima. Passados 30s fechamos as válvulas. Seguidamente levantamos a alavanca rapidamente para impedir trocas de calor no processo de **expansão do gás**.



No monitor do computador podemos observar as grandezas termodinâmicas em função do tempo Volume $V(t)$ (verde) a aumentar, Pressão $P(t)$ azul a diminuir e Temperatura $T(t)$ (amarelo) a diminuir. Os valores destas grandezas são recolhidas no disco rígido do computador e serão disponibilizados a cada grupo.

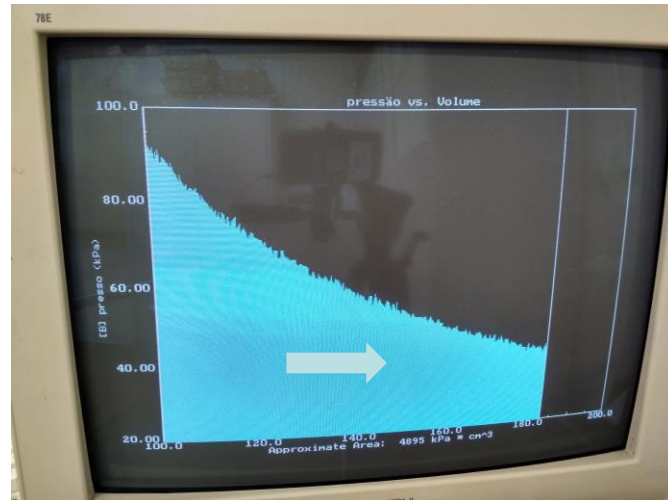
Análise de resultados: expansão adiabática

1-Representação gráfica $\ln(P)$ versus $\ln(V)$ e determinação de α : $PV^\alpha = \text{const} \rightarrow \ln(P) = -\alpha \ln(V) + \ln(\text{const})$



2-Cálculo do trabalho, W , feito sobre o gás:

$$W = - \int_{V_i}^{V_f} P dV, W < 0$$



3-Determinação do número de moles n e T_f : $n_i = \frac{P_i V_i}{R T_i}$, $n_f = \frac{P_f V_f}{R T_f}$, $(n_f < n_i) \rightarrow n = n_i \rightarrow T_f = \frac{P_f V_f}{R n_i}$

Análise de resultados: expansão adiabática

4-Balanco energético, determinação do calor Q trocado na transformação, verificação da coerência dos resultados para o expoente α :

1º princípio $\rightarrow Q = \Delta U - W = n * C_V * \Delta T - W$ (modelo gás ideal) $Q \geq 0$

-Transformação adiabática: $\rightarrow Q = 0 \rightarrow \Delta U = W$

$$Q = 0 \rightarrow \alpha = \gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{C_V + R}{C_V} = \frac{\frac{5}{2}R + R}{\frac{5}{2}R} = 1.4 \text{ (ar=mistura de gases diatômicos)}$$

-Transformação com trocas de calor e politrópica: $\rightarrow Q \geq 0 \rightarrow \Delta U \geq W \rightarrow |\Delta U| \leq |W|$

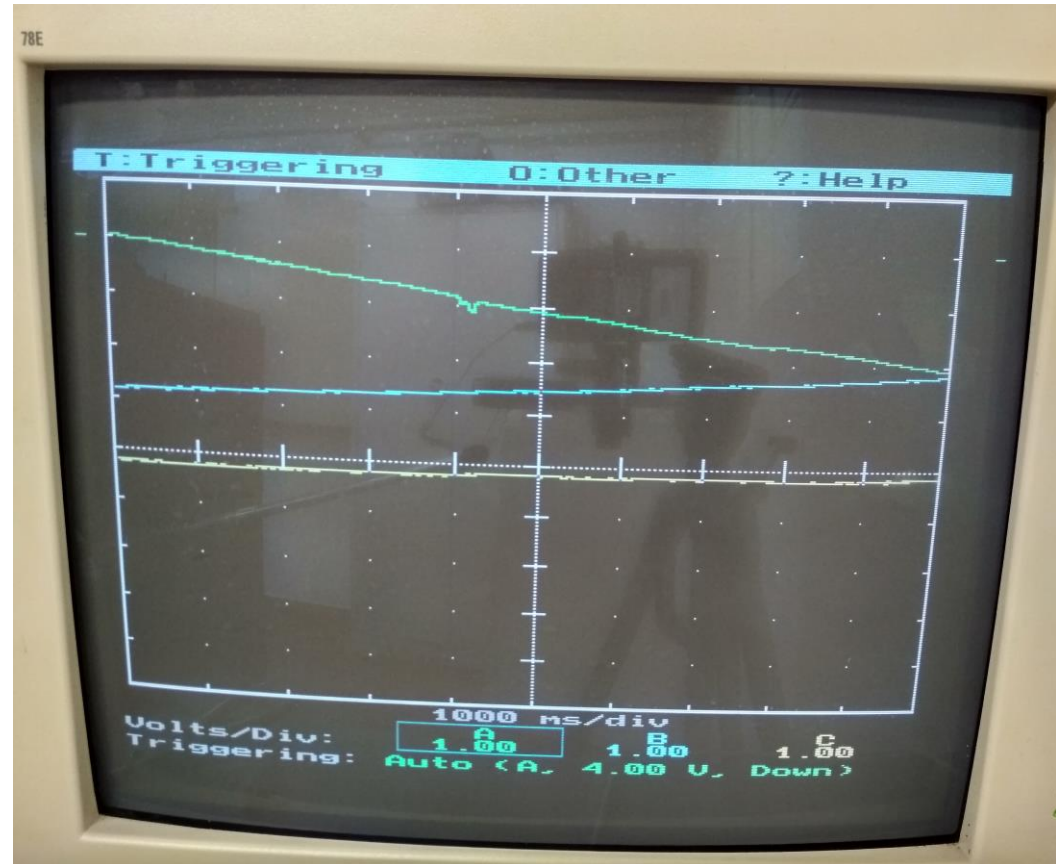
$Q \neq 0$ ou $Q = 0$ e $PV^\alpha = \text{constante} \rightarrow \alpha \leq 1.4 \rightarrow$

$$Q = -n * \beta * \Delta T \text{ e } \alpha = \frac{C_V + R + \beta}{C_V + \beta}$$

Execução da experiência: Compressão isotérmica

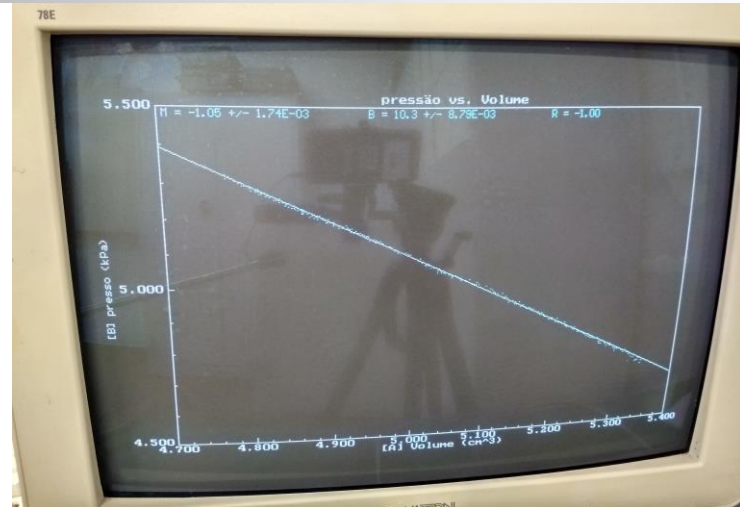
Preparamos o programa para aquisição lenta de dados. De seguida começamos por realizar o equilíbrio das pressões, entre o gás e a pressão atmosférica abrindo uma das válvulas. Agora levantamos a alavanca até ao máximo e fechamos as válvulas. Passados 30s **comprimos lentamente**, permitindo que ocorra a troca de calor necessária para que a temperatura do gás se mantenha constante durante o processo de compressão.

Vemos no écran do computador as grandezas termodinâmicas em função do tempo Volume $V(t)$ (verde) a diminuir, Pressão $P(t)$ azul a aumentar e a Temperatura $T(t)$ (amarelo) constante como é de esperar.



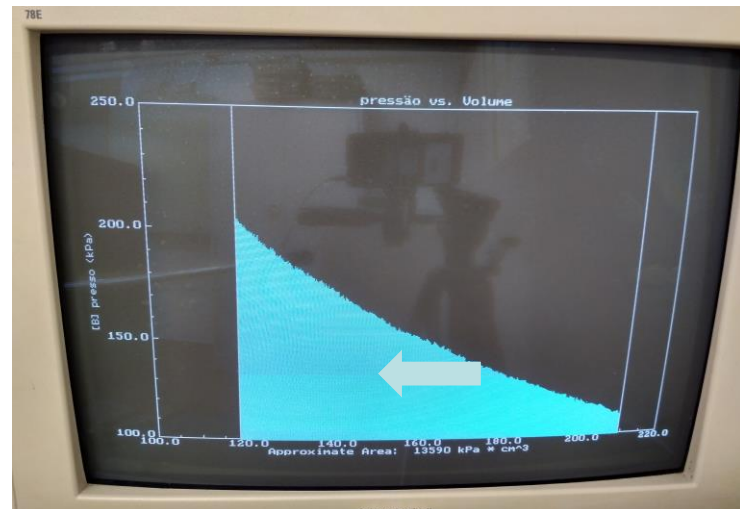
Análise de resultados: Compressão isotérmica

1-Representação
gráfica $\ln(P)$ versus
 $\ln(V)$ e determinação
de a : $PV^a = \text{const} \rightarrow$
 $\ln(P) = -a \cdot \ln(V) + \ln(\text{const})$



2-Cálculo do
trabalho, W , feito
sobre o gás:

$$W = - \int_{V_i}^{V_f} P dV \quad W > 0$$



3-Determinação do número de moles n :

$$n_i = \frac{P_i \cdot V_i}{R \cdot T_i}, \quad n_f = \frac{P_f \cdot V_f}{R \cdot T_f}, \quad n = n_i = n_f, \quad T_i = T_f$$



4-Balço energético, determinação do calor Q trocado na transformação, verificação da coerência dos resultados para o expoente α .

$$1^{\circ} \text{ princípio} \rightarrow Q = \Delta U - W = n * C_v * \Delta T - W \quad Q < 0$$

-Transformação isotérmica: $\rightarrow \Delta T = 0 \rightarrow \Delta U = 0 \rightarrow Q = -W$

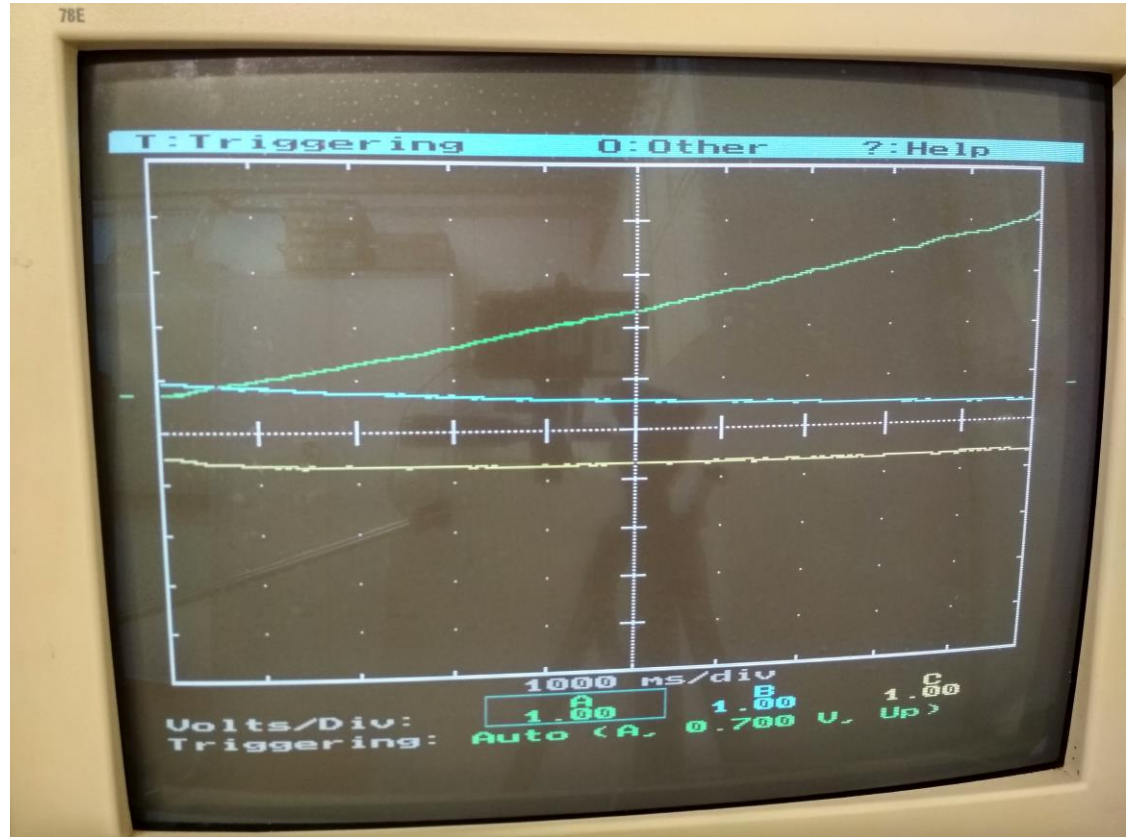
$$PV = nRT = \text{constante} = PV^{\alpha} \rightarrow \alpha = 1$$

-Transformação com aumento de T , trocas de calor e politrópica: \rightarrow
 $\Delta T \geq 0 \rightarrow \Delta U \geq 0 \rightarrow W \geq -Q$, $PV^{\alpha} = \text{constante}$, $\alpha > 1 \rightarrow$

$$Q = -n * \beta * \Delta T \text{ e } \alpha = \frac{C_v + R + \beta}{C_v + \beta}$$

Execução da experiência: expansão isotérmica

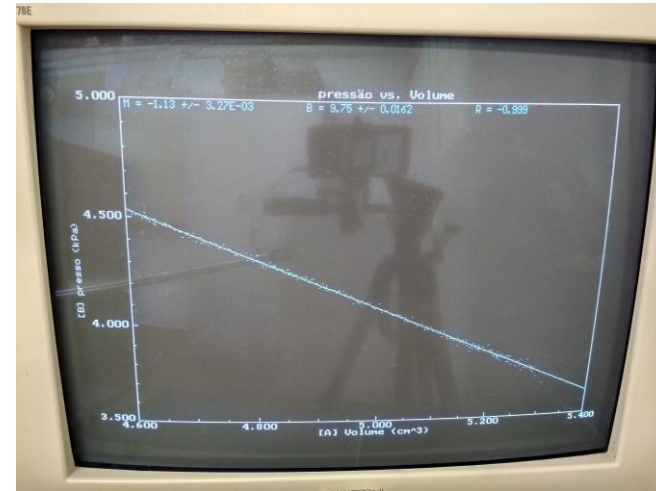
Preparamos o programa para aquisição lenta de dados. De seguida começamos por realizar o equilíbrio das pressões entre o gás e a pressão atmosférica abrindo uma das válvulas e baixamos o embolo até à sua posição mínima. Passados 30s fechamos as válvulas. Seguidamente levantamos a alavanca lentamente de modo a permitir as trocas de calor necessárias para manter a temperatura do gás constante no processo de **expansão**.



Vemos no écran as grandezas termodinâmicas Volume $V(t)$ (verde) a aumentar, pressão $P(t)$ azul a diminuir e a Temperatura $T(t)$ (amarelo) constante.

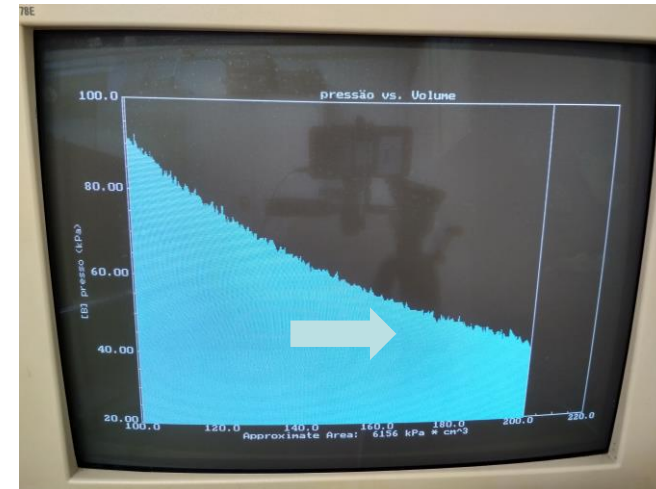
Análise de resultados: expansão isotérmica

1-Representação gráfica $\ln(P)$ versus $\ln(V)$ e determinação de α : $PV^\alpha = \text{const} \rightarrow \ln(P) = -\alpha \ln(V) + \ln(\text{const})$



2-Cálculo do trabalho, W , feito sobre o gás:

$$W = - \int_{V_i}^{V_f} P dV \quad W < 0$$



3-Determinação do número de moles n :

$$n_i = \frac{P_i V_i}{R T_i}, \quad n_f = \frac{P_f V_f}{R T_f}, \quad n = n_i = n_f, \quad T_i = T_f$$

Análise de resultados: expansão isotérmica

4-Balanco energético, determinação do calor Q trocado na transformação, verificação da coerência dos resultados para o expoente α .

$$1^{\circ} \text{ princípio} \rightarrow Q = \Delta U - W = n * C_v * \Delta T - W \quad Q > 0$$

-Transformação isotérmica: $\rightarrow \Delta T = 0 \rightarrow \Delta U = 0 \rightarrow Q = -W$

$$PV = nRT = \text{constante} = PV^{\alpha} \rightarrow \alpha = 1$$

-Transformação com diminuição de T , trocas de calor e politrópica: \rightarrow

$$\Delta T \leq 0 \rightarrow \Delta U \leq 0 \rightarrow -W \geq Q, \quad PV^{\alpha} = \text{constante}, \quad \alpha > 1 \rightarrow$$

$$Q = -n * \beta * \Delta T \text{ e } \alpha = \frac{C_V + R + \beta}{C_V + \beta}$$

Formato dos resultados experimentais a serem analisados

"DATA MONITOR"

"NORMAL DATA"

867

3

289,578,867,0,0,0,0

"Volume"

"cm³"

"Time"

"ms"

:R"Time"

"Volume"~Volume~cm³~press.,o~kPa~Temperature~K~

0.000, 217.39992

0.346, 217.07889

0.692, 216.59734

1.038, 216.75786

1.384, 216.27631

1.730, 215.95528

2.076, 215.95528

2.422, 215.47373

2.768, 215.31322

3.114, 214.18961

3.460, 214.67116

←Dados tempo-volume, seguem-se sucessivamente, tempo-pressão e tempo-temperatura.

Como calcular o trabalho a partir dos dados recebidos

Calculo numérico do trabalho W:

$$W = - \int_{V_i}^{V_f} P dV$$

Método 1-Determinar o valor mínimo e máximo de V, Vmin e Vmax. Dividir o intervalo Vmin a Vmax em N intervalos, N>100. Distribuir os pontos experimentais por esses N intervalos garantido que cada intervalo engloba pelo menos um valor de V medido. Calcular a média das pressões dentro de cada intervalo. Utilizar o par volume médio em cada intervalo-pressão média no intervalo como representação numérica de P(V) e proceder à integração pelo método dos trapézios ou de Simpson composto.

Método 2-Ordenar os pontos por ordem crescente do volume. Obter uma interpolação linear entre pontos consecutivos e integrar pelo método dos trapézios.

- Nos processos de compressão/expansão tendencialmente adiabáticos realizados na montagem descrita no início, as transformações têm de ocorrer em intervalos de tempo curtos para evitar as trocas de calor.
- No caso da compressão tendencialmente adiabática verifica-se em geral que o número de moles calculado a partir dos pontos iniciais (i) da transformação $n_i = \frac{P_i * V_i}{R * T_i}$ dá origem a um valor de n inferior ao valor determinado considerando os valores finais (f) da transformação $n_f = \frac{P_f * V_f}{R * T_f}$, $n_i \leq n_f$. Este resultado não está de acordo com o processo físico ocorrido na medida em que a pressão do gás durante a compressão excede a pressão exterior (atmosférica) e por isso não ocorre fluxo de gás do exterior para o interior da câmara de compressão. n_f surge superior a n_i porque T_f está determinado por defeito devido a um atraso temporal na leitura do sensor de temperatura como a figura do slide nº 10 mostra (nos últimos 10ms mostrados, P e V estão estacionários mas T continua a crescer)
- Em face desta observação nas transformações rápidas (compressões ou expansões), o número de moles considerado n deve ser igual à média dos m n_i recolhidos para os instantes iniciais usando a lei dos gases $n = \left[\sum_1^m \frac{P_i * V_i}{R * T_i} \right] / m$ e a temperatura final T_f deve ser estimado determinando a média dos m T_s usando novamente a lei dos gases aplicada a m pontos finais $T_f = \left[\sum_1^m \frac{P_f * V_f}{R * n} \right] / m$. ($10 \geq m \geq 5$)

FIM