

Trabalho de Termodinâmica II

Discentes – Grupo 10.1:

Agmar Pereira da Silva Filho

200712331

Róbinson Gerardo Trindade Portilla Erazo

200711491

Docente:

Prof. Dr. Emanuel Rocha Woiski

Ilha Solteira, 20 de Dezembro de 2009.

Sumário

Resumo – 3

1. Objetivo – 3

2. Introdução Teórica – 3

3. Procedimento – 6

4. Resultados e Discussão – 7

5. Conclusão – 7

6. Bibliografia – 8

7. Anexo – 9

Resumo

No presente relatório é apresentado o desenvolvimento de um programa para resolver um exercício de termodinâmica, qual o é o estudo do uso de amônia líquida como combustível. O programa envolveu o modelamento de um compressor e de uma câmara de combustão, onde necessitou se aplicar a termodinâmica para equilíbrio químico de misturas homogêneas. O programa desenvolvido em Python resolve o exercício bem mais satisfatoriamente que a resolução sem auxílio computacional, seja por causa da generalização do programa, seja porque é usado um calor específico variável para o ar.

1. Objetivo

Resolver o exercício proposto e implementá-lo em linguagem computacional afim de obter uma solução em que pode-se variar os valores de entrada e assim encontrar diferentes resultados.

2. Introdução Teórica

Este trabalho põe em questão se a amônia líquida é um combustível adequado para uma turbina a gás conforme o exercício 12.37 de [1]. Será feita uma implementação em linguagem computacional em que variáveis de entrada serão generalizadas, de acordo com o exercício 12.81 de [1]. Os enunciados dos exercícios estão disponíveis no Anexo.

O problema trata-se de uma combustão da amônia reagindo com o ar. Devemos levar em consideração a conservação da identidade de todas as espécies químicas envolvidas, pois as reações químicas sempre envolvem somente os núcleos dos átomos.

Temos que ter em mente também a definição de temperatura adiabática de chama, que ocorre sem envolver trabalho, trocas de calor, variações de energia cinética ou potencial. Esta temperatura é a máxima que pode ser atingida pelos produtos porque qualquer transferência de calor no processo e qualquer combustão incompleta tenderia a diminuir a temperatura dos produtos. A máxima temperatura adiabática de chama que pode ser atingida, para um dado combustível e um certo estado nos reagentes (P e T) ocorre quando a mistura é estequiométrica. Esta temperatura pode ser controlada pela quantidade de excesso de ar que é utilizada. Isto é levado em consideração em turbinas a gás, por exemplo, onde a temperatura máxima admissível é determinada por considerações metalúrgicas na turbina. Assim, é essencial realizar um controle mais preciso da temperatura dos produtos de combustão nesta aplicação [1].

É conhecida também a relação ar/combustível que é a relação entre a quantidade de ar e a quantidade de combustível utilizadas na reação de combustão. Para combustíveis sólidos e líquidos a relação é entre as massas, para combustíveis gasosos a relação é calculada entre os volumes envolvidos.

As reações de combustão são normalmente realizadas com o oxigênio(O_2) contido no ar atmosférico. A composição do ar atmosférico é, aproximadamente, 21 % de oxigênio(O_2) e 79 % de nitrogênio(N_2). O ar teórico é a quantidade de ar atmosférico que fornece a quantidade exata de moléculas de oxigênio necessárias para efetuar a combustão estequiométrica.

Foi utilizada a teoria adquirida no curso de termodinâmica I e II afim de solucionar o problema (Figura 1). Este por sinal é constituído de um compressor e uma câmara de combustão. No compressor entra ar e é realizado trabalho sobre ele aumentando-se a pressão. Na resolução do exercício definimos um volume de controle no compressor, consideramos o ar como ideal, em regime permanente, sem trocas de calor (adiabático), reversível e variação de energia cinética e potencial igual a zero.

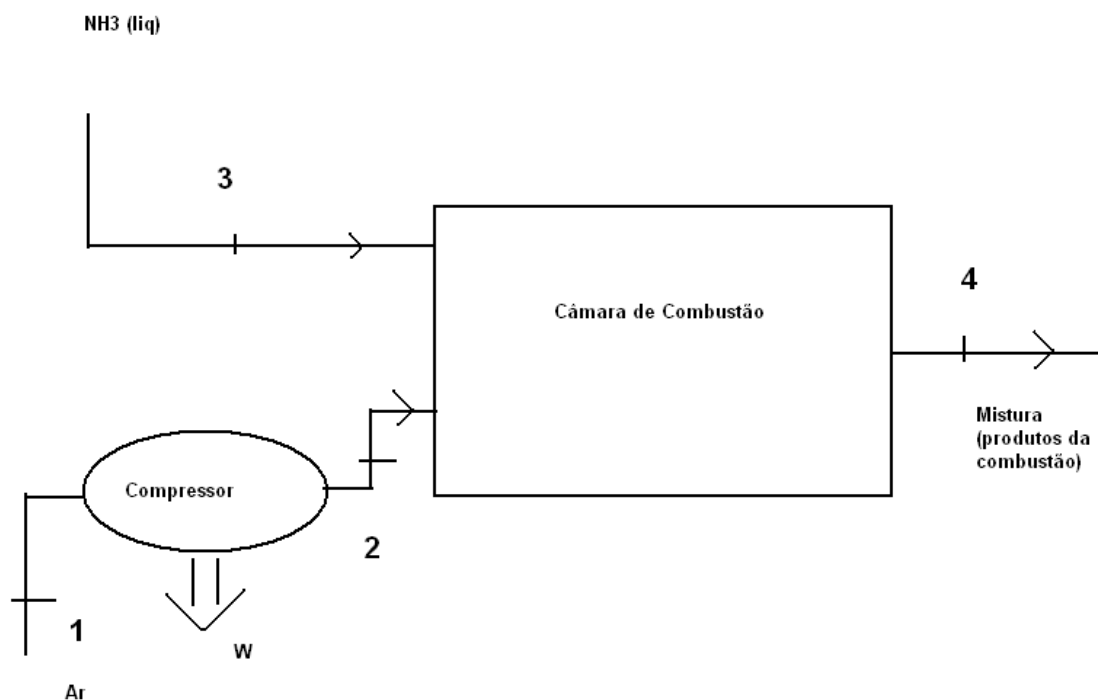


Figura 1 – Esquema do problema.

Para a resolução do item a. em que é pedido a temperatura T_2 de saída do ar aplicamos a primeira lei da termodinâmica. Utilizando também o balanço de massas (a massa que entra é igual a massa que sai) chegamos na equação 1:

$$h^1 - h^2 = W_{ideal} \quad [1]$$

Fizemos também usando a segunda lei para um volume de controle onde como dito acima o processo é reversível, não há trocas de calor e o regime é permanente. Chegamos na equação 2:

$$S^1 = S^2 \quad [2]$$

Como a entropia de entrada é igual a entropia de saída e lembrando que podemos aproximar para gás ideal o ar, logo temos a equação 3 abaixo:

$$S^2 - S^1 = \int_{T^1}^{T^2} C_{po} \cdot dT / T - R \cdot \ln(P^2 / P^1) = 0 \quad [3]$$

Sabendo disso jogamos o resultado na equação 4 abaixo:

$$\int_{T^1}^{T^2} C_{po} \cdot dT = h^2 - h^1 \quad [4]$$

Temos então (T^1, P^1) e P^2 , logo achamos T^2 mas para o caso ideal, anotamos então T^{2ideal} . Com T^{2ideal} aplicamos na equação [1] e obtemos $W_{v.c.ideal}$. Com o rendimento isoentrópico obtemos o trabalho real (W_{real}). Deste obtemos a temperatura real T^2 aplicando na equação [1].

Com os resultados do item a. temos então (T^1, P^1) e (T^2, P^2) . O ar depois de passar pelo compressor entra na câmara de combustão junto com a amônia líquida e a partir de então é obtida a combustão. Consideramos também que na câmara de combustão o regime é permanente, não há troca de calor e o trabalho realizado vale zero. Fazendo o balanço de massa chegamos na equação [5] abaixo, em que as propriedades da saída 4 serão denotadas por mistura agora :

$$n^2(ar) \cdot M^2(ar) + n^3[NH_3(l)] \cdot M^3[NH_3(l)] = n(mist.) \cdot M(mist.) \quad [5]$$

O lado direito da equação é obtido pelo módulo *equilibriumNR.py* escrito em *python*. Aplicando a 1ª Lei para um volume de controle chegamos na equação [6]:

$$n^2(ar)h^2(ar) + n^3(NH_3) \cdot h^3 = n(mist.) \cdot h(mist.) \quad [6]$$

Novamente o lado direito da equação é obtido pelo módulo *equilibriumNR.py* em que é estruturado um sistema de equações não lineares a 2 equações e 2 incógnitas. O sistema de equações não lineares é portanto:

$$\begin{array}{l} | \quad n^2(ar) \cdot M^2(ar) + n^3[NH_3(l)] \cdot M^3[NH_3(l)] - n(mist.) \cdot M(mist.) = 0 \quad [7] \\ | \end{array}$$

$$\begin{array}{l} | \quad n^2(ar)h^2(ar) + n^3(NH_3) \cdot h^3 - n(mist.) \cdot h(mist.) = 0 \quad [8] \\ | \end{array}$$

Temos o número de moles do ar em função do x (vezes de ar teórico) e do a_s (quantidade de ar estequiométrico). A massa molecular do ar é tabelada, o número de moles da amônia é conhecido (2 kmol) também, assim como a massa molecular. O número de moles da mistura e a massa molecular é calculada em função do x pelo *equilibriumNR.py*. É conhecido também a entalpia de formação da amônia líquida que entra na câmara de combustão no estado padrão (298K, 100KPa). A entalpia da mistura é obtida em função de x pelo módulo *equilibriumNR.py*. Lembrando que o x é o inverso da relação de equivalência ϕ .

Ou seja, termos desconhecidos são explicitados em função de x e de a_s . Com duas equações a duas incógnitas fica fácil a resolução do exercício por meio de funções de computação científica fornecidas em python. Por fim temos o valor de a_s e x .

Não podemos esquecer que para a resolução do exercício consideramos o calor específico na base molar C_{po} do ar em função da temperatura somente, ele foi obtido pela equação abaixo:

$$C_{po}(\text{ar}) = Y(\text{O}_2).C_{po}(\text{O}_2) + Y(\text{N}_2).C_{po}(\text{N}_2) \quad [9]$$

3. Procedimento

O desenvolvimento do programa acompanha as equações desenvolvidas na parte teórica. Procurou-se separar as etapas de resolução dos itens a e b por funções, de modo a manter organizado o programa e isolar variáveis locais de alterações indevidas.

Primeiro criaram-se várias funções que calculam a importante função calor específico a pressão constante do ar em função da temperatura. A partir dela implementaram-se funções para calcular o desvio de entalpia e de entropia de um gás perfeito qual o ar foi modelado. Essa é a parte de cálculo das propriedades termodinâmicas do ar.

A partir de agora é possível determinar o valor de trabalho real e temperatura de saída do ar do compressor. Isso é possível determinando se a temperatura ideal, ou seja, para um processo reversível, a partir do balanço entrópico. Com essa temperatura ideal obtemos o trabalho ideal, de onde deriva o trabalho real corrigido pela eficiência isoentrópica da máquina. Com o uso do trabalho real na primeira lei, obtemos a temperatura real de saída de ar do compressor.

A segunda parte do programa corresponde ao item b do problema 12.37 de [1]. A partir das duas equações não-lineares obtidas do balanço energético e mássico do volume de controle considerado (câmara de combustão), e tendo como incógnitas X e a_s , foi possível implementar um rotina que soluciona o sistema de equações por meio do módulo *robustNR_args.py* com auxílio do módulo *equilibriumNR.py* que fornece a entalpia da mistura de produtos da combustão, sua massa molecular e o número total de kmoles de produtos. O número de kmoles total foi multiplicado por dois pois a proporção de combustível (NH_3) é de 2. A referência das entalpias é o estado padrão 25°C e 100 kPa.

4. Resultados e Discussão

O exercício 12.37 (relação de compressão sendo 16, eficiência isoentrópica do compressor de 87% e temperatura adiabática de chama de 1600K) resolvido considerando o calor específico a pressão constante do ar como constante e usando como entalpia de formação da amônia líquida a mesma que da entalpia gasosa forneceu-nos os seguintes resultados: trabalho do compressor de cerca de -12 100 kJ/kmol , temperatura de saída de ar do compressor de 713 K e $x = 2,11$.

Usando as mesmas condições, o presente programa fornece trabalho de -11 600 kJ/kmol, temperatura de saída de 685 K e $x = 1,95$. Essa diferença se deve ao fato que no programa usamos um calor específico a pressão constante do ar variando com a temperatura, e também usamos a entalpia de formação correta (-80 800 kJ/kmol) da amônia líquida, e não a gasosa. Logo, é razoável que nosso resultado seja mais próximo do real por usar considerações mais realistas do processo.

Outro teste feito com o programa foi o de variar a temperatura adiabática de chama e verificar se para altos valores da mesma a quantidade x de vezes de ar teórico se aproxima de 100%. Isso de fato foi comprovado, por exemplo, para a mesma relação de compressão do exercício 12.37 de 16 e eficiência de 87%, com temperatura adiabática de chama de 1400 K obtivemos $x = 2,44$ e para uma temperatura de 2250 K um $x = 1,05$. Verifica-se assim que o programa segue a regra de que a temperatura adiabática de chama é máxima para a quantidade estequiométrica de ar.

Uma característica desse programa é a relativa demora para convergirem-se os resultados. Isso se deve, provavelmente, ao fato de existirem outros vários processos iterativos envolvidos subjacentes a chamada das funções que fornecem os valores questionados pelo problema.

5. Conclusão

Neste trabalho foi resolvido o problema proposto 12.81 do livro [1] envolvendo até modelamentos mais sofisticados do que os pedidos no exercício, como o uso de calores específicos variáveis e misturas homogêneas reativas. O programa forneceu valores consistentes, próximos da resolução obtida em 12.37 de [1] e também coerente com o fato de que a temperatura adiabática de chama é máxima para a quantidade de ar estequiométrica.

6. Bibliografia

[1] VAN WYLEN, G. et al. **Fundamentos da Termodinâmica Clássica**. 4^a ed. Editora Edgard Blücher. 1994.

[2] WOISKI, E. R. **Curso de Especialização em Tecnologia do Gás - Termodinâmica Aplicada**. Universidade para o Desenvolvimento do Estado e Região do Pantanal - Uniderp. 2003.

[3] FERGUSON, C. R. et ALLAN, T. K. **Internal Combustion Engines**. 2^a ed. Ed. Wiley. New York. 1986.

[4] Disponível em <http://en.wikipedia.org/wiki/Standard_enthalpy_change_of_formation>
Acesso em: 19 de dez. de 2009.

7. Anexo

```
# -*- coding: cp1252 -*-

# Grupo 10.1: Termomaniacos - O Retorno -
# Autores: Robinson Erazo e Agmar Pereira
# RAs respectivos: 200711491 e 200712331
# Contato: robinson.erazo@hotmail.com e agmar_filho@hotmail.com

"""Programa desenvolvido para resolver o exercício 12.81 do livro Fundamentos
da Termodinâmica, 4ªed., de Van Wylen et alli. Abaixo o enunciado do pro-
blema:

12.81 Escreva um programa de computador para resolver uma generalização do
prob. 12.37. Utilize a relação de compressão, a eficiência isoentrópica do
compressor e a temperatura adiabática de chama como variáveis de entrada
do programa.

12.37 Um estudo está sendo realizado para avaliar se a amônia líquida é um
combustível adequado para uma turbina a gás. Considere os processos de com-
pressão e combustão deste equipamento.

a. Ar entra no compressor a 100kPa e 25°C. Este é comprimido até 1600kPa e
a eficiência isoentrópica é 87%. Determine a temperatura de descarga do ar
e o trabalho consumido por kmol de ar.

b. Dois kmoles de amônia líquida a 25°C e x vezes do ar teórico, proveni-
entes do compressor, entram na câmara de combustão. Qual o valor de x se a
temperatura adiabática de chama for fixada em 1600 K.

Assim, a partir da relação de compressão, da eficiência isoentrópica do
compressor e da temperatura adiabática de chama, o presente programa forne-
cerá a temperatura de descarga do ar (item a.), o trabalho consumido por kmol
de ar (item a.) e o valor de x vezes de ar teórico (item b.)"""

from math import *
from numpy import array
from scipy.integrate import quad
import equilibriumNR as equi
import robustNR_args

"----- FUNÇÕES QUE CALCULAM AS PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS DO AR -----"

"Constantes importantes do ar"

M_ar = 28.97 #kg/kmol
Ru = 8.13451 #kJ/kmol.K

'Oxigênio molecular'
y_O2 = 0.21 # Fração Molar de O2 no ar
M_O2 = 32.000 # kg/kmol

'Nitrogênio molecular'
y_N2 = 0.79 # Fração Molar de N2 no ar
M_N2 = 28.013 # kg/kmol
```

```

"Cálculo de Cp0(T) do Oxigênio molecular."

def Cp0_O2(T): # Cp(T) é dado em kJ/kmol.K

    cp0 = 2.811 * pow(10, 1) # Coeficientes do calor específico do oxigênio
    cp1 = -3.680 * pow(10,-6) # Retirado do apêndice A de Ferguson, C. R.
    cp2 = 1.746 * pow(10,-5)
    cp3 = -1.065 * pow(10,-8)

    return cp0 + cp1*pow(T,1) + cp2*pow(T,2) + cp3*pow(T,3)

'-----'

"Calcula a antidiferencial de Cp0(T) para calcularmos integral SCp0(T)dT."

def Scp0_O2(T): # Cp(T) é dado em kJ/kmol.K

    cp0 = 2.811 * pow(10, 1) # Coeficientes do calor específico do oxigênio
    cp1 = -3.680 * pow(10,-6) # Retirado do apêndice A de Ferguson, C. R.
    cp2 = 1.746 * pow(10,-5)
    cp3 = -1.065 * pow(10,-8)

    return cp0*T + cp1*pow(T,2)/2 + cp2*pow(T,3)/3 + cp3*pow(T,4)/4

'-----'

"Cálculo de Cp0(T) do Nitrogênio molecular."

def Cp0_N2(T): # Cp(T) é dado em kJ/kmol.K

    cp0 = 3.115 * pow(10, 1) # Coeficientes do calor específico do nitrogênio
    cp1 = -1.357 * pow(10,-2) # Retirado do apêndice A de Ferguson, C. R.
    cp2 = 2.680 * pow(10,-5)
    cp3 = -1.168 * pow(10,-8)

    return cp0 + cp1*pow(T,1) + cp2*pow(T,2) + cp3*pow(T,3)

'-----'

"Calcula a antidiferencial de Cp0(T) para calcularmos integral SCp0(T)dT."

def Scp0_N2(T): # Cp(T) é dado em kJ/kmol.K

    cp0 = 3.115 * pow(10, 1) # Coeficientes do calor específico do nitrogênio
    cp1 = -1.357 * pow(10,-2) # Retirado do apêndice A de Ferguson, C. R.
    cp2 = 2.680 * pow(10,-5)
    cp3 = -1.168 * pow(10,-8)

    return cp0*T + cp1*pow(T,2)/2 + cp2*pow(T,3)/3 + cp3*pow(T,4)/4

'-----'

"Cálculo de Cp0_ar(T) do Ar considerando gás ideal."

def Cp0_ar(T): # dado em kJ/kmol.K

    return y_O2 * Cp0_O2(T) + y_N2 * Cp0_N2(T)

'-----'

```

```

'Entalpia entre temperaturas T1 e T2 para ar considerado gás perfeito'

def del_h(T1,T2): # Dado e kJ/kmol

    integral_T1_T2_O2 = Scp0_O2(T2) - Scp0_O2(T1)
    integral_T1_T2_N2 = Scp0_N2(T2) - Scp0_N2(T1)

    'h2-h1 = Scp0(T)dT'
    delta_H = y_O2 * integral_T1_T2_O2 + y_N2 * integral_T1_T2_N2

    return delta_H

'-----'

'Entropia entre temperaturas (T1,P1) e (T2,P2) para ar considerado gás perfeito'

def del_s(T1,T2,P1,P2): # Dado em kJ/kmol.K

    delta_s = quad(lambda T: (Cp0_ar(T)/T) , T1, T2)[0] - Ru*log(P2/P1)

    return delta_s

"----- FUNÇÕES QUE CALCULAM OS DADOS PARA O ITEM A. -----"

"""Determinação da temperatura IDEAL de saída do ar T2, considerando um
processo isoentrópico do estado 1 para 2"""

def acha_T2_ideal(rel_compress): # dado em Kelvin

    def func(x,args = None): #Função que representa o sistema de equações
                                #em que s2 - s1 = 0 [isoentrópico]

        T1 = 25 + 273.15 #temperatura padrão de 25°C em Kelvin
        P1 = 100.         #pressão padrão em kPa
        T2 = x            #nossa incógnita

        'P2 é determinado a partir da relação de compressão (P2/P1)'
        P2 = rel_compress*P1

        return del_s(T1,T2,P1,P2)

    #resolução do sistema de eq's
    T2_ideal = robustNR_args.robustNewton(func,300.)

    return T2_ideal[0] # dado em Kelvin

'-----'

```

```

"""Esta função calcula o trabalho real desenvolvido pelo compressor sobre
o ar. Foi utilizado como convenção que o trabalho é positivo quando é
aplicado PELO sistema SOBRE o ambiente."""

def acha_w_real(rel_compress , efic_isoentrop): # Dado e kJ/kmol

    T1 = 25 + 273.15 # temperatura padrão de 25°C em Kelvin
    T2_ideal = acha_T2_ideal(rel_compress) # temperatura em 2 ideal

    w_ideal = del_h(T1,T2_ideal) #trabalho ideal para temperatura de 2

    w_real = w_ideal/efic_isoentrop #trabalho real do compressor

    return w_real #kJ/kmol

'-----'

"""Determinação da temperatura REAL de saída do ar T2, considerando o trabalho
real corrigido do trabalho isoentrópico"""

def acha_T2_real(w_real): # dado em Kelvin

    def func(x,args = None): #Função que representa o sistema de equações
        #em que  $h_2 - h_1 - w_{real} = 0$  [processo real]

        T1 = 25 + 273.15 #temperatura padrão de 25°C em Kelvin
        T2 = x           #nossa incógnita

        return del_h(T1,T2) - w_real

    #resolução do sistema de eq's
    T2_real = robustNR_args.robustNewton(func,300.)

    return T2_real[0] # dado em Kelvin

'-----'

"""Finalmente, a função que resolve o item a., com relação de compressão
e a eficiência isoentrópica do compressor e como saída teremos a tem-
peratura e trabalho por kmol de ar na situação ideal e na situação real"""

def resolve_item_a(rel_compress , efic_isoentrop): #dados de entrada

    'Cálculo do trabalho real no compressor e a temperatura de saída do ar'
    w_real = acha_w_real(rel_compress , efic_isoentrop) # kJ/kmol
    T2_real = acha_T2_real(w_real) # K

    return { 'temperatura_T2':T2_real , 'trabalho_w': w_real} #dados de saída

```

```

"----- FUNÇÕES QUE CALCULAM OS DADOS PARA O ITEM B. -----"

"""Determinação de x vezes de ar teórico (1/phi) para uma dada temperatura
adiabática de chama na câmara de combustão"""

def acha_X(T2_ar,T_adiab,rel_compress):

    def func(x,args = None): #Função que representa o sistema de equações
        #envolvendo balanço de massas e energia na câmara
        #de combustão

        X , a_s = x #nossas incógnitas são o x vezes de ar teorico e a
            #quantidade estequiométrica de ar

        'Constantes úteis'
        P1 = 100. #kPa
        P2 = rel_compress * P1 #kPa
        T0 = 25 + 273.15 #temperatura 25°C em Kelvin

        'Massas Moleculares'
        M_ar = 28.97 #kg/kmol
        M_NH3 = 17.031 #kg/kmol
        M_mist = equi.calcula_prods(0.,3.,0.,1.,1./X,T_adiab,P2, jacob = 1)[6]
#kg/kmol

    def h_mist(X,T,P): #uma função mais conveniente da entalpia dos produtos
        #da combustão

        phi = 1./X # relação de equivalência e x
        M_mist = equi.calcula_prods(0.,3.,0.,1.,phi,T,P, jacob = 1)[6]
#kg/kmol

        h_mist = equi.calcula_prods(0.,3.,0.,1.,phi,T,P, jacob = 1)[3] #kJ/kg
        h_mist = h_mist * M_mist #kJ/kmol

        return h_mist

    """A seguir as quantidades de kmoles entrando e saindo do volume de
    controle em função de x e a_s"""
    n_ar = 4.76 * X * a_s #kmol
    n_NH3 = 2. #kmol
    n_mist = 2 * equi.calcula_prods(0.,3.,0.,1.,1./X,T_adiab,P2, jacob = 1)
[1] #kmol

    'No caso -80800kJ/kmol é a entalpia de formação de NH3 líquido'
    return array (( n_ar * del_h(T0,T2_ar) + 2 * (-80800) - n_mist *
h_mist(X,T_adiab,P2),
        M_ar * n_ar + M_NH3 * n_NH3 - M_mist * n_mist,
        ) )#duas equações a duas incógnitas (balanços)

    'resolução do sistema de equações'
    X = robustNR_args.robustNewton(func,(1.2,1.2))

    return X[0][0] # dado em Kelvin

```

```

'----- PRINCIPAL -----'

if __name__ == '__main__':

    print ""\n
    Programa desenvolvido para resolver o exercicio 12.81 do livro Fundamentos
    da Termodinâmica, 4ªed., de Van Wylen et alli. Abaixo o enunciado do pro-
    blema:

    12.81 Escreva um programa de computador para resolver uma generalização do
    prob. 12.37. Utilize a relação de compressão, a eficiência isoentrópica do
    compressor e a temperatura adiabática de chama como variáveis de entrada
    do programa.

    12.37 Um estudo está sendo realizado para avaliar se a amônia líquida é um
    combustível adequado para uma turbina a gás. Considere os processos de com-
    pressão e combustão deste equipamento.

    a. Ar entra no compressor a 100kPa e 25°C. Este é comprimido até 1600kPa e
    a eficiência isoentrópica é 87%. Determine a temperatura de descarga do ar
    e o trabalho consumido por kmol de ar.

    b. Dois kmoles de amônia líquida a 25°C e x vezes do ar teórico, proveni-
    entes do compressor, entram na câmara de combustão. Qual o valor de x se a
    temperatura adiabática de chama for fixada em 1600 K.""

    print ""\n
    Entre com o valor da relação de compressão (pressão de saída
    pela de entrada (P2/P1), p.e., 16.1). Lembrando que a
    pressão de entrada é de 100kPa:\n""

    rel_compress = float(raw_input('Relação de compressão:'))

    print ""\n
    Entre com o valor eficiência isoentrópica do compressor (p.e., ef=0.87):\n""

    efic_isoentrop = float(raw_input('Eficiência isoentrópica:'))

    print ""\n
    Entre com a temperatura adiabática de chama na câmara de combustão
    em kelvins (p.e., 1600). Este programa tem uma amplitude de tempera-
    turas aceitas de 300K até 3000K :\n""

    T_adiab = float(raw_input('Temperatura adiabática:'))

    temp = resolve_item_a(rel_compress , efic_isoentrop) ['temperatura_T2']
    trab = resolve_item_a(rel_compress , efic_isoentrop) ['trabalho_w']
    x = acha_X( temp , T_adiab , rel_compress)

    print ""\nA partir de uma relação de compressão de %.2f , eficiência
    isoentrópica de %.3f e temperatura adiabática de %.1fK,
    obteremos como resultados: "" % (rel_compress,efic_isoentrop,T_adiab)

    print "\nTemperatura de saída do ar no compressor(K): " , temp
    print "\nTrabalho real realizado pelo compressor (kJ/kmol): " , trab
    print "\nValor de x vezes de ar teórico: " , x

    print "\nObrigado pela atenção!"

```