

Documento: **RE001**
Revisão: **03**
Data: **18/08/2022**

RELATÓRIO DE ENGENHARIA DO PROJETO SISTEMA DE ARREFECIMENTO

TÍTULO DO DOCUMENTO

CÂMARA DE COMBUSTÃO DA TURBINA A GÁS

PROGRAMA

PROJETO OU SUBPROGRAMA

Elaborado por

GABRIEL MORAES DE SOUZA
LUCAS MOURA DE ALMEIDA
PEDRO HENRIQUE ASSARITO ARAÚJO
RAFAEL SOARES BALAGUER

Função

TÉCNICOS

Verificado por

BRUNO PEREIRA PETISCO
FELIPE LISBOA MELO FONSECA
HELLEN FÁVERO SOUZA
LUIZ FELIPE SALLANI SIMIONI

Função


PROGRAMADORES

Aprovado por

ALINE DE MELO NASCIMENTO
KELLY ALVES VIEIRA DE PAULA
NICHOLAS OTERO JULIANO
VINICIUS ANTÔNIO LUCHETI PEREIRA

Função

EXECUTIVO


RELATÓRIO	RELATÓRIO DE ENGENHARIA DO PROJETO	 UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC
003	GRUPO 01	

CONTROLE DE REVISÃO

Revisão	Data	Resumo das alterações
00	13/08/2022	Emissão inicial
01	15/08/2022	Alterações no projeto conceitual
02	16/08/2022	Finalização
03	18/08/2022	Correções

Sumário

1. OBJETIVO.....	4
2. DOCUMENTOS APLICÁVEIS	4
2.1. Lista de símbolos	5
3. INTRODUÇÃO	5
4. RESTRIÇÕES	6
5. PREMISSAS.....	6
6. CRONOGRAMA DE ATIVIDADES.....	6
7. ESTRUTURA ANALÍTICA DO PROJETO	7
8. REQUISITOS.....	7
9. PROJETO CONCEITUAL	8
10. CONCLUSÕES	15
11. REFERÊNCIAS	15

RELATÓRIO	RELATÓRIO DE ENGENHARIA DO PROJETO	 UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC
003	GRUPO 01	

OBJETIVO

O presente projeto tem como propósito o dimensionamento do sistema de arrefecimento de uma câmara de combustão de uma turbina a gás. Para tanto, é necessário compreender aspectos específicos de fenômenos relacionados a transferência de calor. Assim, é necessário voltar-se a um motor turbo jato, aquele no qual a energia líquida disponível, oriunda dos gases quentes do gerador de gases, é utilizada somente na forma de uma emissão de jato através de uma tubeira de propulsão (bocal propulsivo) [1].

Em específico o projeto utilizou-se da linguagem de programação Python para realizar todos os cálculos relativos à transferência de calor, com base nas relações matemáticas demonstradas nos tópicos a seguir, de modo a permitir um desenvolvimento apropriado que se fez uso de softwares CAD (Computer Aided Design), para finalização do projeto.

1. DOCUMENTOS APLICÁVEIS

Os seguintes documentos foram usados para gerar o conteúdo deste relatório de engenharia:

TG CAIO CESAR MARQUES VELLOSA	Projeto Preliminar de Câmara de Combustão de Micro TurboJato
----------------------------------	---

NBR 15971-4	Propulsão Aeronáutica
-------------	-----------------------

1.1. Lista de símbolos

As seguintes equivalências são utilizadas neste relatório de engenharia, salvo indicação em contrário.

°C	= Graus Celsius
K	= Kelvin
m	= Metros
mm	= Milímetros

2. INTRODUÇÃO

Ao longo do processo de combustão, é possível que se atinja um cenário em que a temperatura dentro da câmara de combustão ultrapasse 2000 K, superando os limites térmicos das ligas metálicas que compõem a estrutura. Desta forma, caso esta temperatura interna da câmara de combustão não seja controlada, pode ocorrer o comprometimento do motor e seu funcionamento de projeto. Visando evitar a falha estrutural-térmica da câmara, será projetado e analisado o desenvolvimento de um sistema de arrefecimento.

No presente projeto, determinar-se-á um sistema de arrefecimento baseado na troca de calor com o ar advindo do compressor no intuito de retirar energia térmica das paredes e de formar um isolante térmico, sendo que este pode ser alcançado por diferentes formas, como por convecção, por transpiração ou por filmes de resfriamento (*film cooling*). Este último recurso será o foco de avaliação deste projeto e consiste em posicionar fendas de arrefecimentos de modo que o ar as atravesse e siga tangencialmente à parede do tubo de chama, formando um filme de resfriamento que protege as ligas metálicas da câmara de combustão.

Apesar de motores térmicos não apresentarem uma tecnologia de alta eficiência, é possível observar elevada entrega em termos de potência/peso, superiores até mesmo aos motores elétricos. Esta relação é um fator de suma importância para o setor aeronáutico, que

continuamente visa diminuir o peso vazio das aeronaves para aumento da carga paga ou de combustível. Portanto, trata-se de uma tecnologia que é presente e continuará a ser aprimorada no futuro, assim se tornando necessário entendimento até mesmo para futuros aperfeiçoamentos.

3. RESTRIÇÕES

O projeto deverá ser completado em 12 semanas. Para atender ao prazo delimitado, a equipe será dividida em subgrupos.

4. PREMISSAS

Adotou-se como premissa que o posicionamento das fendas ao longo do comprimento da câmara de combustão seria constante, tanto na parede externa quanto na interna. Além disso, o número de fileiras também é constante, como mostra a Tabela 1.

Zona	Número de Fileiras	
	Internas	Externas
Recirculação	1	1
Primária	1	1
Secundária	0	1
Diluição	2	3

Tabela 1 – Posicionamento das Fendas.

5. CRONOGRAMA DE ATIVIDADES

Para o desenvolvimento do projeto foi estabelecido um cronograma, conforme Tabela 2.

	Junho	Julho	Agosto
Revisão Bibliográfica			
Programação			
Relatório			
Apresentação			

Tabela 2 – Cronograma de Atividades

As tarefas foram divididas entre membros do grupo, de forma a atingir os objetivos dentro do prazo estipulado, atribuindo quatro integrantes para cada frente do projeto, sendo eles implementação numérica, escrita do relatório e, por fim, elaboração da apresentação e integração entre membros.

6. ESTRUTURA ANALÍTICA DO PROJETO

Uma representação visual do fluxo de projeto pode ser visualizada na Figura 2.

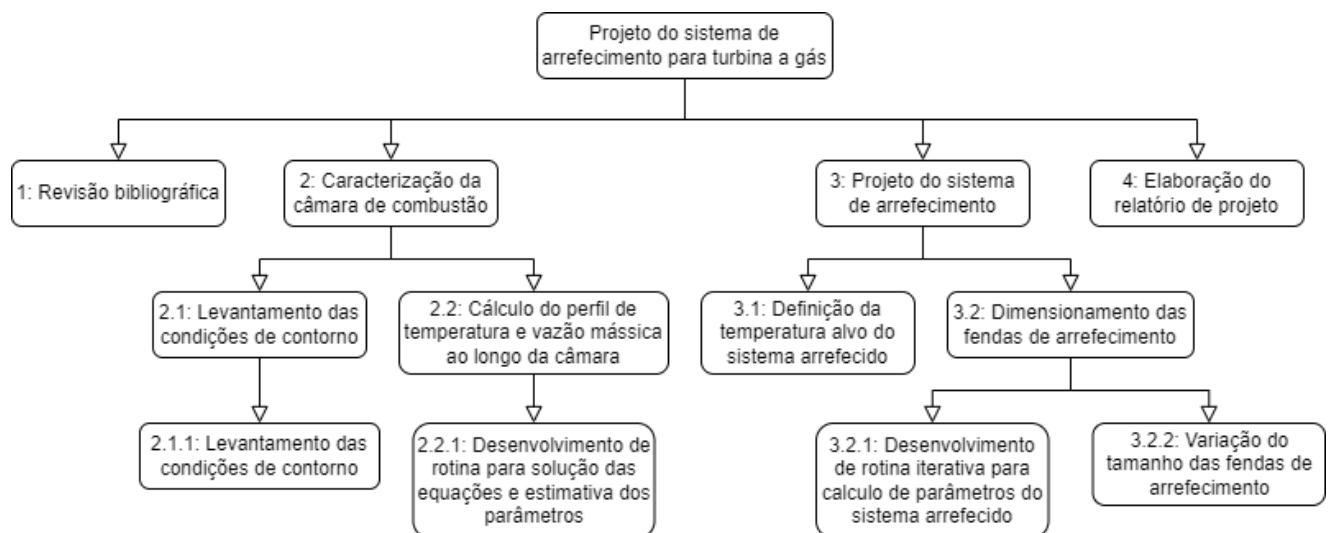


Figura 2 – Estrutura Analítica do Projeto.

7. REQUISITOS

Visando o dimensionamento do sistema de arrefecimento de uma câmara de combustão de uma turbina a gás, foram estabelecidos certos requisitos de projeto, conforme Tabela 3.

Requisito	Valor
Temperatura máxima na câmara de combustão	900K
Número máximo de fendas	
Zona primária	84
Zona secundária	16
Zona de diluição	96

Tabela 3 – Requisitos de Projeto.

8. PROJETO CONCEITUAL

O presente projeto foi desenvolvido baseado na metodologia exposta no trabalho-base [1], a qual determina o equacionamento necessário para o dimensionamento de um sistema de arrefecimento por filme de resfriamento para um microturbojato.

O trabalho foi iniciado com o levantamento de inputs necessários a partir do trabalho-base como, por exemplo, a temperatura e pressão na entrada da câmara de combustão. Em seguida, foram calculados os parâmetros necessários para a determinação da área de referência aerodinâmica e química, encontradas via aplicação de métodos numéricos de resolução de equações. Com isso, calculou-se as características do tubo de chama.

Em seguida, foram calculados os parâmetros de fluxo mássico na zona primária (ZP) e secundária (ZS). A partir deles, calculou-se o balanço de massa do sistema, que convergiu para zero. Com esses valores calculados, iniciou-se a implementação do cálculo da temperatura do gás ao longo da câmara de combustão, seguindo equacionamento presente na Tabela 7 do trabalho-base. Com isso, foi possível extrair o gráfico do perfil de temperatura ao longo da câmara de combustão (Figura 3).

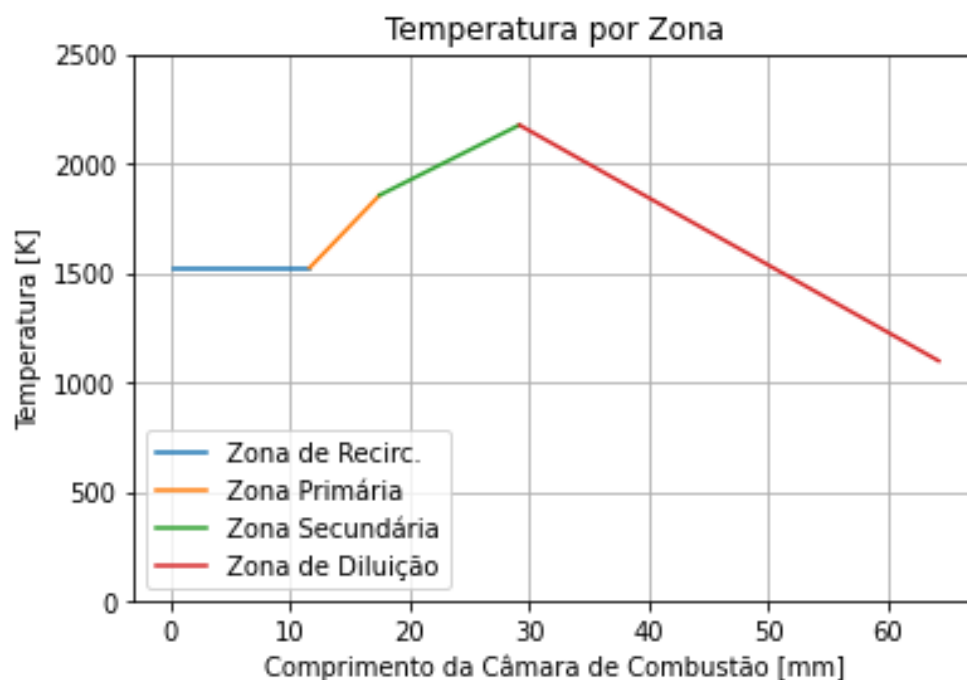


Figura 3 – Temperatura do gás em função da zona.

De maneira análoga, foram efetuados os cálculos do fluxo mássico ao longo da câmara de combustão, de acordo com a Tabela 8 do trabalho-base, resultando no gráfico da Figura 4. Ao final da câmara de combustão, o fluxo mássico indicado no gráfico é exatamente metade do fluxo mássico de entrada ($\dot{m}_3 = 0.243 \text{ kg/s}$). Isso deve ao fato de que a análise feita leva em conta a parte externa e a parte interna da câmara de combustão.

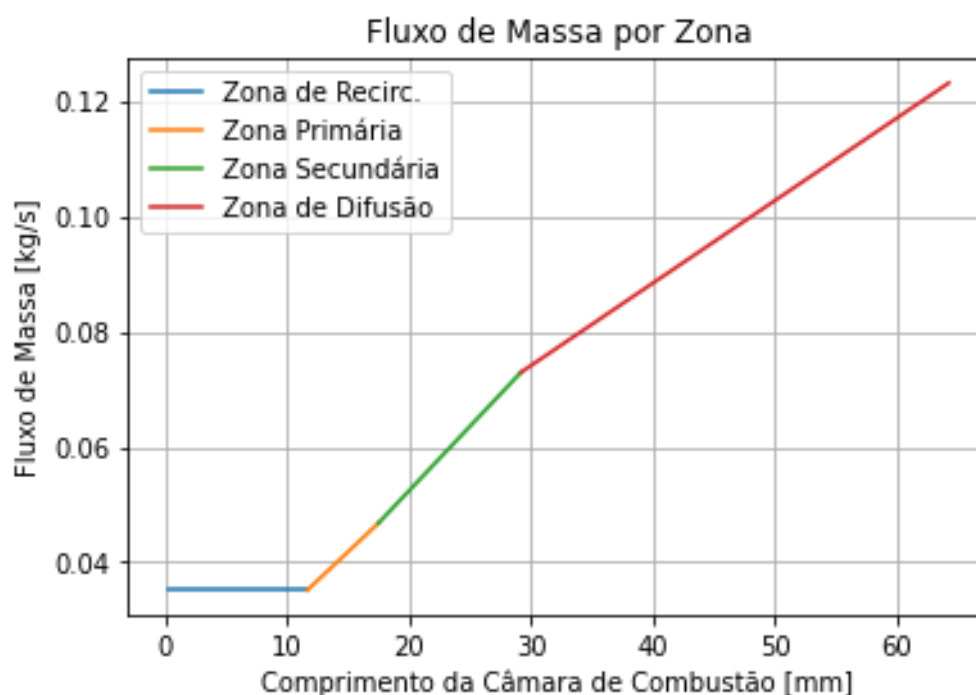


Figura 4 – Fluxo de massa em função da zona.

Com essas informações calculadas, foi possível iniciar o projeto de arrefecimento por filme de resfriamento. O resultado apresentado no trabalho-base para o perfil de temperatura ao longo da parede do tubo de chama indica a não necessidade de arrefecimento do sistema, pois a temperatura limite de 1100K estabelecida pelo autor não é atingida, como mostra a Figura 5. Devido a isso, alterou-se a temperatura alvo para 900K, afim de implementar a rotina de arrefecimento apresentada no trabalho-base. Em seguida, calculou-se o $\Delta T_{combustão}$ através dos dados fornecidos pelo GasTurb.

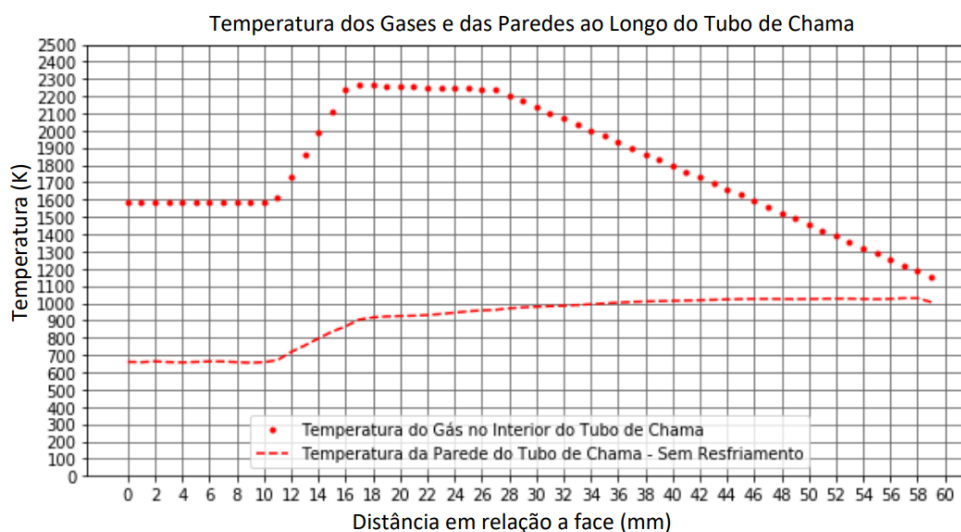


Figura 5 – Temperatura dos Gases e das Paredes ao Longo do Tubo de Chama (GasTurb).

Em seguida foram implementados os cálculos das fendas em cada uma das zonas, adotando de forma arbitrária os parâmetros para a geometria das fendas, bem como a quantidade de fendas em cada uma das zonas, influenciando diretamente na vazão mássica das fendas. O cálculo da eficiência do arrefecimento (η_r) foi efetuado levando em conta a magnitude do parâmetro m .

Na primeira iteração, foi calculada a temperatura do gás próximo à parede, avaliando a eficiência de arrefecimento quando variados os parâmetros de abertura da fenda e quantidade de fendas.

Para a segunda iteração, manteve-se o número de fendas em cada zona, aumentando a abertura das fendas a fim de aumentar a vazão mássica e, consequentemente, aumentar o arrefecimento do sistema. Optou-se por alterar a abertura das fendas, pois observou-se que o processo de arrefecimento é mais sensível a esse parâmetro em relação a mudança no número de fendas. Foi possível verificar aumento na eficiência de arrefecimento.

Por fim, na terceira iteração, aumentou-se o número de fendas com intuito de aproximar da quantidade real presente no microturbojato. Além disso, as aberturas das fendas também foram alteradas.

As propriedades geométricas e o número de fendas em cada uma das iterações podem ser visualizadas na Tabela 4.

Iteração	Zona	s_w [mm]	t_w [mm]	t [mm]	Número de fendas
1	Primária	0,3	0,5	0,3	35
	Secundária	0,3	0,5	0,3	20
	Diluição	0,3	0,5	0,3	6
2	Primária	0,2	0,5	0,3	35
	Secundária	0,2	0,5	0,3	20
	Diluição	0,2	0,5	0,3	6
3	Primária	0,5	0,5	0,3	25
	Secundária	0,8	0,5	0,3	29
	Diluição	0,6	0,5	0,3	40

Tabela 4 – Propriedades geométricas e número de fendas.

Os resultados obtidos para a eficiência nas três iterações estão apresentados na Figura 6.

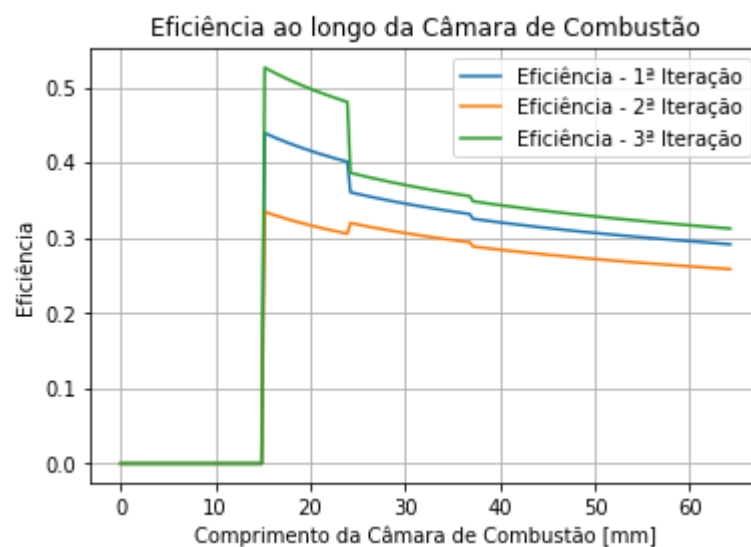


Figura 6 – Eficiência de cada iteração.

Para confirmar que o sistema foi corretamente dimensionado, é necessário fazer o balanceamento de massa do sistema. O gráfico da Figura 7 mostra que ao final da câmara de combustão, o fluxo de massa é zero, indicando que o sistema foi corretamente arrefecido.

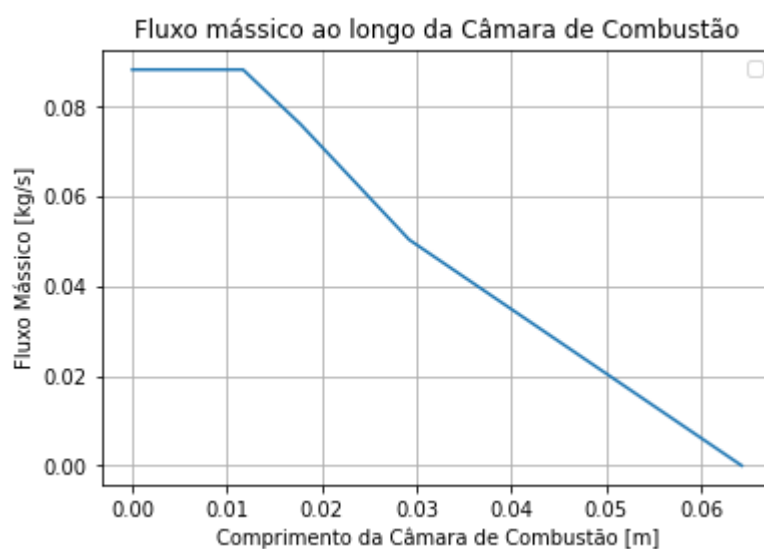


Figura 7 – Convergência do fluxo mássico.

Em seguida, implementou-se a metodologia de arrefecimento proposta por Lefebvre e Ballal [3]. Ao fim dessa parte da implementação numérica, foi possível obter o valor da temperatura interna e externa da parede ao longo da câmara de combustão, visualizada no gráfico da Figura 8.

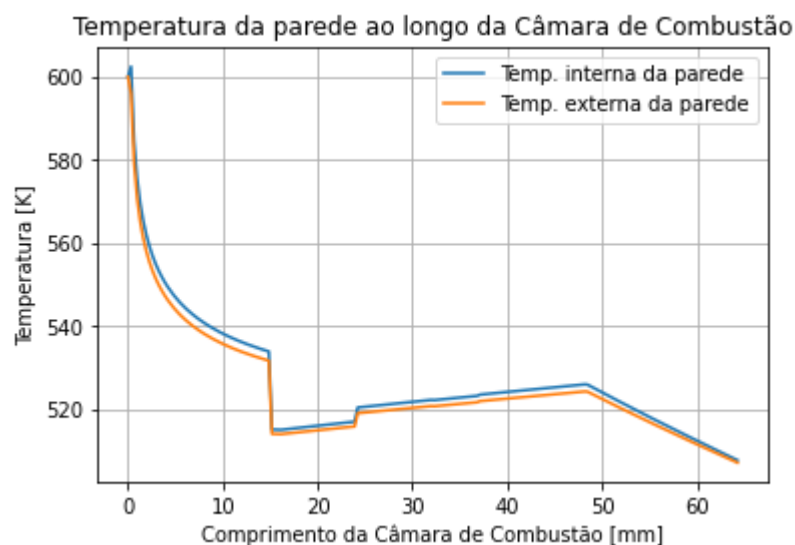


Figura 8 – Temperatura externa e interna da parede da câmara de combustão.

Com isso, conclui-se a implementação da metodologia de arrefecimento, à exceção do projeto dos orifícios de admissão de ar e tal etapa do projeto não foi executada devido às limitações de cronograma. Porém, a título de ilustração, as fendas foram esquematizadas no desenho CAD, seguindo os diâmetros originais apresentados no trabalho-base, como indicado na Figura 9.

Ao final, foi elaborado um modelo 3D indicando o posicionamento das fendas de arrefecimento, como mostra a Figura 9.

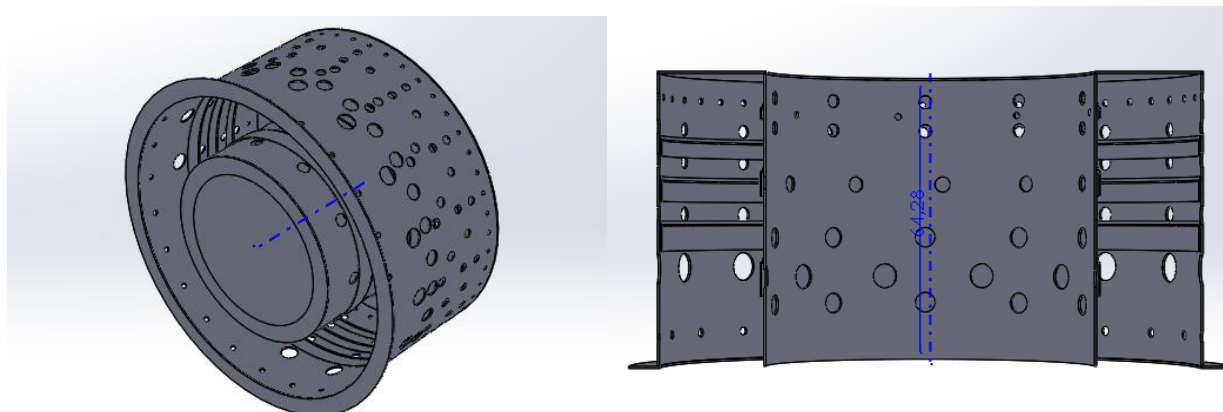



Figura 9 – Vistas das fendas de arrefecimento.


RELATÓRIO	RELATÓRIO DE ENGENHARIA DO PROJETO	 UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC
003	GRUPO 01	

9. CONCLUSÕES

Ao longo do presente trabalho, foi apresentada a implementação numérica da metodologia de arrefecimento da câmara de combustão de microturbojatos via filme de resfriamento. Conforme demonstrado, foi possível verificar que a metodologia se mostrou eficaz em aumentar a eficiência de arrefecimento e, conseqüentemente, reduzir a temperatura na câmara.

10. REFERÊNCIAS

- [1] VELLOSA, C. C. M. Projeto preliminar de câmara de combustão de microturbojato. UFABC, 2020.
- [2] Y. A. Çengel e M. A. Boles, “Gas Power Cycles,” em Thermodynamics: An Engineering Approach, Boston, McGraw-Hill, 2006.
- [3] A. H. LEFEBVRE, D. R. BALLAL, “Gas Turbine Combustion – Alternative Fuels and Emissions”, CRC Press, 2010.

RELATÓRIO	RELATÓRIO DE ENGENHARIA DO PROJETO	 UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC
003	GRUPO 01	

ANEXO 1

Bibliotecas usadas no decorrer do projeto

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import math as m
import scipy.optimize as sp
```

#INPUTS


k = 143.5 #Constante para uso da área de referência, no SI
rho = 1.225 # [kg/m³] Densidade do ar
theta = 73*(10**6) # Parâmetro que relaciona eficiência da combustão (para máxima eficiência),
no SI

```
deltaP3_P3 = 0.06
deltaP3_qref = 20
m_dot_3 = 0.243 # [kg/s] Vazão mássica de ar
m_dot_comb = 0.00398 # [kg/s] Vazão mássica do combustível
m_dot_ZP = 0.243 # [kg/s]
P_3 = 354.42*(10**3) # Pressão total estimada na entrada da câmara
P_4 = 333.15*(10**3) # Pressão total estimada na saída da câmara
T_3 = 498.42 # Temperatura estimada na entrada da câmara
T_4 = 1100 # Temperatura na saída da câmara
q_ref = 1 # Pressão dinâmica na máxima área de seção transversal da carcaça
phi_ZP = 1.249
phi_ZS = 0.8
phi_ZD = 0.237
D_int = 3*(10**(-2))
p_3 = (1- 0.06)*P_3
P3_deltaP = P_3/(P_3 - P_4)
```

#INPUTS CALCULADOS

```
phi_pobre = 0.70547 - 0.00046*T_3
phi_rico = 1.46695 + 0.00172*T_3
phi_real = m_dot_comb/m_dot_3
phi_esteq = 0.06818
phi_global = phi_real/phi_esteq
phi_global_rico = phi_global/phi_rico
phi_global_pobre = phi_global/phi_pobre
```

#CÁLCULO DO LIMITE DE FLAMABILIDADE

RELATÓRIO	RELATÓRIO DE ENGENHARIA DO PROJETO	 UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC
003	GRUPO 01	

```
lim_inf = phi_global/1.07;
lim_sup = phi_global/1.5;
lim_med = (lim_inf+lim_sup)/2;
```

#Determinação da massa da zona primária

```
m_dot_ZP = m_dot_3*lim_med;
```

#CÁLCULO DA ÁREA DE REFERÊNCIA E ÁREA DO TUBO DE CHAMA

```
A_ref_aero = np.sqrt(k*(((m_dot_3*np.sqrt(T_3))/(P_3))**2)*((deltaP3_qref)/(deltaP3_P3)))
D_ref_aero = (np.sqrt(((4*A_ref_aero)/np.pi) + D_int**2) - D_int)/2 #Tubo Anular
```

#Determinação do phi da Zona Primaria

```
phi_ZP = phi_global/(lim_med)
```

#Cálculo do fator de correção

```
if phi_ZP>=0.6 and phi_ZP<1.0:
    b = 245*(1.39 + np.log(phi_ZP))
elif phi_ZP>=1.0 and phi_ZP<1.4:
    b = 170*(2 - np.log(phi_ZP))
```

```
A_ref_quim = (theta*m_dot_3)/((P_3**1.75)*(D_ref_aero**0.75)*m.e**(T_3/b))
D_ref_quim = (np.sqrt(((4*A_ref_quim)/np.pi) + D_int**2) - D_int)/2
```

```
A_ref_conv = A_ref_quim*10**6
D_ref_conv = D_ref_quim*10**3
```

```
def func_1(A_ref_conv):
    x = 0.5*(np.sqrt(((4*A_ref_conv)/np.pi) + (D_int**2))) - D_int - D_ref_conv
    return x
```

```
sol = sp.fsolve(func_1, 1)
```

```
print(sol[0])
```

```
A_ref = sol[0]/10**6
```


```
D_ref = (np.sqrt(((4*A_ref)/np.pi) + D_int**2) - D_int)/2
```

#CARACTERÍSTICAS DO TUBO DE CHAMA

```
A_ft = 0.65*A_ref
D_ft = A_ft/(np.pi*(D_int + D_ref))
```

#CÁLCULO DO COMPRIMENTO DA CÂMARA DE COMBUSTÃO

```
L_ZR = 0.5*D_ft
L_ZP = 0.75*D_ft
L_ZS = 0.5*D_ft
L_ZD = 1.5*D_ft
```

RELATÓRIO	RELATÓRIO DE ENGENHARIA DO PROJETO	 UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC
003	GRUPO 01	

$$L_{CC} = L_{ZP} + L_{ZS} + L_{ZD}$$

#CÁLCULO DO FLUXO DE MASSA NA ZONA SECUNDÁRIA

$$m_{dot_ZS} = (\phi_{global}/\phi_{ZS}) * m_{dot_3}$$

#CÁLCULO DA PORCENTAGEM DE AR DESTINADA AO ARREFECIMENTO

$$m_{dot_arref} = m_{dot_3} * ((0.1 * T_3) - 30)$$

#CÁLCULO DA VAZÃO DE AR NA ZONA DE DILUIÇÃO

$$m_{dot_ZD} = m_{dot_3} * (1 - ((m_{dot_ZP} + m_{dot_ZS}) / m_{dot_3}))$$

#BALANÇO DE MASSA

$$bal_{massa} = m_{dot_3} - (m_{dot_ZS} + m_{dot_ZP} + m_{dot_ZD})$$

#CÁLCULO DAS TEMPERATURAS LOCAIS DA CÂMARA (TABELA 7)

#Cálculo para a temperatura da zona primária (recirculação)

$$\Delta T_{ZR} = 2350 - T_3$$

$$n_{ZR_a} = 0.83 + 0.17 * \text{np.tanh}((1.5475 * 10^{-3}) * (T_3 + 108 * \text{np.log}(p_3) - 1863))$$

$$T_{max_ZR} = T_3 + n_{ZR_a} * \Delta T_{ZR}$$

$$T_{med_ZR} = (1/3) * T_3 + (2/3) * T_{max_ZR}$$

#Cálculo para a temperatura da zona primária (restante)

$$\Delta T_{ZP} = 3000 - T_{med_ZR}$$

$$n_{ZR_b} = 0.92 + 0.12 * \text{np.tanh}((1.5475 * 10^{-3}) * (T_3 + 108 * \text{np.log}(p_3) - 1863))$$

$$T_{saida_ZP} = T_3 + n_{ZR_b} * \Delta T_{ZP}$$

#Cálculo da temperatura da zona secundária

$$T_{ent_ZS} = T_{saida_ZP}$$

$$V_{ZS} = A_{ft} * L_{ZS}$$

$$\psi_{T3} = ((10^{**(-3.054 * (\phi_{ZS}^{**(-1.205)}))) * (T_3^{** (1.2327 * (\phi_{ZS}^{**(-1.205)}))) * (m_{dot_comb} / (V_{ZS} * P_3^{** (2 * \phi_{ZS}))}))$$

$$D_{estrela} = 0.736 - 0.0173 / P_3_{deltaP}$$

$$n_{ZS} = 1 / (10^{**10} * ((0.911 * \text{np.log}(\psi_{T3}) + 8.02 * \phi_{ZS} - 1.097 + D_{estrela})))$$

$$\Delta T_{ZS} = 1.679421710365530 * 10^{**3}$$

$$T_{saida_ZS} = T_3 + n_{ZS} * \Delta T_{ZS}$$

#Cálculo da temperatura da zona de diluição


$$T_{ent_ZD} = T_{saida_ZS}$$

$$T_{saida_ZD} = T_4 \text{ \#T4 é um parâmetro padronizado conforme Fig. 22}$$

$$\text{comp1} = \text{np.linspace}(0, L_{ZR})$$

$$\text{comp2} = \text{np.linspace}(L_{ZR}, L_{ZP})$$

$$\text{comp3} = \text{np.linspace}(L_{ZP}, (L_{ZP} + L_{ZS}))$$

RELATÓRIO	RELATÓRIO DE ENGENHARIA DO PROJETO	 UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC
003	GRUPO 01	

```

comp4 = np.linspace((L_ZP+L_ZS), L_CC)

def temp_ZR(x):
    return T_med_ZR

def temp_ZP(x):
    return T_med_ZR + ((T_saida_ZP - T_med_ZR)/(L_ZP - L_ZR))*(x-L_ZR)

def temp_ZS(x):
    return T_saida_ZP + ((T_saida_ZS - T_saida_ZP)/L_ZS)*(x-L_ZP)

def temp_ZD(x):
    return T_saida_ZS + ((T_saida_ZD - T_saida_ZS)/L_ZD)*(x - L_ZP - L_ZS)

temp_1 = []
temp_2 = []
temp_3 = []
temp_4 = []

for i in comp1:
    temp_1.append(temp_ZR(i))

for i in comp2:
    temp_2.append(temp_ZP(i))


for i in comp3:
    temp_3.append(temp_ZS(i))

for i in comp4:
    temp_4.append(temp_ZD(i))

T_total = []
T_total.extend(temp_1)
T_total.extend(temp_2)
T_total.extend(temp_3)
T_total.extend(temp_4)

plt.plot(comp1*1000, temp_1, label='Zona de Recirc.')
plt.plot(comp2*1000, temp_2, label='Zona Primária')
plt.plot(comp3*1000, temp_3, label='Zona Secundária')
plt.plot(comp4*1000, temp_4, label='Zona de Diluição')
plt.grid(True, which='both')
plt.ylim([0, 2500])
plt.ylabel('Temperatura [K]')

```

RELATÓRIO	RELATÓRIO DE ENGENHARIA DO PROJETO	 UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC
003	GRUPO 01	

```
plt.xlabel('Comprimento da Câmara de Combustão [mm]')
plt.title('Temperatura por Zona')
plt.legend()
plt.show()
```

#FLUXO DE MASSA EM CADA ZONA

```
comp_m_1 = np.linspace(0, L_ZR)
comp_m_2 = np.linspace(L_ZR, L_ZP)
comp_m_3 = np.linspace(L_ZP, (L_ZP + L_ZS))
comp_m_4 = np.linspace((L_ZP+L_ZS), L_CC)
```

```
m_g_ZR = (3/4)*m_dot_ZP
m_g_ZP = 1
m_g_ZS = 1
```

```
def vazao_ZR(x):
    return m_g_ZR
```

```
def vazao_ZP(x):
    global m_g_ZP
    m_g_ZP = m_g_ZR + ((m_dot_ZP - m_g_ZR)*(x - L_ZR))/(L_ZP - L_ZR)
    return m_g_ZP
```

```
def vazao_ZS(x):
    global m_g_ZS
    m_g_ZS = m_g_ZP + ((m_dot_ZS - m_g_ZP)*(x - L_ZP))/(L_ZS)
    return m_g_ZS
```


```
def vazao_ZD(x):
    m_g_ZD = m_g_ZS + ((m_dot_ZD - m_g_ZS)*(x - (L_ZP + L_ZS)))/(L_ZD)
    return m_g_ZD
```

```
mass_1 = []
mass_2 = []
mass_3 = []
mass_4 = []
```

```
for i in comp_m_1:
    mass_1.append(vazao_ZR(i))
```

```
for i in comp_m_2:
    mass_2.append(vazao_ZP(i))
```

```
for i in comp_m_3:
```

RELATÓRIO	RELATÓRIO DE ENGENHARIA DO PROJETO	 UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC
003	GRUPO 01	

```

mass_3.append(vazao_ZS(i))

for i in comp_m_4:
    mass_4.append(vazao_ZD(i))

plt.plot(comp_m_1*1000, mass_1, label = 'Zona de Recirc.')
plt.plot(comp_m_2*1000, mass_2, label = 'Zona Primária')
plt.plot(comp_m_3*1000, mass_3, label = 'Zona Secundária')
plt.plot(comp_m_4*1000, mass_4, label = 'Zona de Difusão')
plt.grid(True, which='both')
plt.ylabel('Fluxo de Massa [kg/s]')
plt.xlabel('Comprimento da Câmara de Combustão [mm]')
plt.title('Fluxo de Massa por Zona')
plt.legend()
plt.show()

m_total = mass_1 + mass_2 + mass_3 + mass_4
comp_total = []
comp_total.extend(comp_m_1)
comp_total.extend(comp_m_2)
comp_total.extend(comp_m_3)
comp_total.extend(comp_m_4)

## Arrefecimento da Parede do Tubo de Chama por Filme de Resfriamento
##### PRIMEIRA ITERAÇÃO DO NÚMERO DE FENDAS #####
T_alvo = 1100 #TEMPERATURA ACEITÁVEL PARA EVITAR O STRESS TÉRMICO
A_an = 2*np.pi*(D_ref-D_ft)*L_CC
mu_ar = (0.03863 + 0.00749*T_3 - 5.8564*(10**-6)*(T_3**2) + 2.7769*(10**-9)*(T_3**3) -
4.600774*(10**-13)*(T_3**4))*(10**-5) #Viscosidade


#CÁLCULO DA FENDA DA ZONA PRIMÁRIA #modificado
t_ZP = 0.3*10**-3 ###
t_w_ZP = 0.5*10**-3 ###
s_ZP = 0.3*10**-3 ###

n_fendas_ZP = 0.0001

A_total_fendas_ZP = n_fendas_ZP*2*np.pi*s_ZP*(D_ref - D_ft)
m_dot_an_ZP = m_dot_3 - (3/4)*m_dot_ZP
rho_g_u_g_ZP = m_dot_g_ZP/A_ft

m_dot_fenda_ZP = m_dot_an_ZP*(A_total_fendas_ZP/A_an)

```

RELATÓRIO	RELATÓRIO DE ENGENHARIA DO PROJETO	 UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC
003	GRUPO 01	

$$\rho_{an_u_an_ZP} = m_{dot_fenda_ZP} / A_{total_fendas_ZP}$$

$$m_{ZP} = (\rho_{an_u_an_ZP}) / (\rho_{g_u_g_ZP})$$

#CÁLCULO DA FENDA DA ZONA SECUNDÁRIA

$$t_{ZS} = 0.3 \cdot 10^{-3}$$

$$s_{ZS} = 0.3 \cdot 10^{-3}$$

$$t_{w_ZS} = 0.5 \cdot 10^{-3}$$

$$n_{fendas_ZS} = 20$$

$$A_{total_fendas_ZS} = n_{fendas_ZS} \cdot 2 \cdot \pi \cdot s_{ZS} \cdot (D_{ref} - D_{ft})$$

$$m_{dot_an_ZS} = m_{dot_3} - m_{dot_ZS} - m_{dot_fenda_ZP}$$

$$m_{dot_g_ZS} = m_{dot_3} - m_{dot_ZS}$$

$$\rho_{g_u_g_ZS} = m_{dot_g_ZS} / A_{ft}$$

$$m_{dot_fenda_ZS} = m_{dot_an_ZS} \cdot (A_{total_fendas_ZS} / A_{an})$$

$$\rho_{an_u_an_ZS} = m_{dot_fenda_ZS} / A_{total_fendas_ZS}$$

$$m_{ZS} = (\rho_{an_u_an_ZS}) / (\rho_{g_u_g_ZS})$$

#CÁLCULO DA FENDA DA ZONA DE DILUIÇÃO

$$t_{ZD} = 0.3 \cdot 10^{-3}$$

$$s_{ZD} = 0.3 \cdot 10^{-3}$$

$$t_{w_ZD} = 0.5 \cdot 10^{-3}$$

$$n_{fendas_ZD} = 6$$

$$A_{total_fendas_ZD} = n_{fendas_ZD} \cdot 2 \cdot \pi \cdot s_{ZD} \cdot (D_{ref} - D_{ft})$$

$$m_{dot_an_ZD} = m_{dot_3} - m_{dot_ZD} - m_{dot_fenda_ZS}$$

$$m_{dot_g_ZD} = m_{dot_3} - m_{dot_ZD}$$

$$\rho_{g_u_g_ZD} = m_{dot_g_ZD} / A_{ft}$$

$$m_{dot_fenda_ZD} = m_{dot_an_ZD} \cdot (A_{total_fendas_ZD} / A_{an})$$


$$\rho_{an_u_an_ZD} = m_{dot_fenda_ZD} / A_{total_fendas_ZD}$$

$$m_{ZD} = (\rho_{an_u_an_ZD}) / (\rho_{g_u_g_ZD})$$

```

x = np.linspace(0, L_CC, num=200)
a = range(len(x))
n_r = []
for i in range(len(x)):
    if x[i] < 0.015:
        g_1 = 0
        n_r.append(g_1)
        T_g_1 = T_total[i]
    elif x[i] >= 0.015 and x[i] < 0.024:
        mu_g = (0.03863 + 0.00749*T_g_1 - 5.8564*(10**-6)*(T_g_1**2) + 2.7769*(10**-9)*(T_g_1**3)
        - 4.600774*(10**-13)*(T_g_1**4))*(10**-5)
        if 0.5 < m_ZS <= 1.3:
            g_3 = 1.1*(m_ZS**0.65)*((mu_ar/mu_g)**0.15)*((x[i]/s_ZS)**-0.2)*((t_ZS/s_ZS)**-0.2)
            n_r.append(g_3)

```

RELATÓRIO	RELATÓRIO DE ENGENHARIA DO PROJETO	 UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC
003	GRUPO 01	

```

elif 1.3 < m_ZS < 4:
    g_4 = 1.28*((mu_ar/mu_g)**0.15)*((x[i]/s_ZS)**-0.2)*((t_ZS/s_ZS)**-0.2)
    n_r.append(g_4)
    T_g_2 = T_total[i]
elif x[i] >= 0.024 and x[i] < 0.037:
    mu_g = (0.03863 + 0.00749*T_g_2 - 5.8564*(10**-6)*(T_g_2**2) +
2.7769*(10**-9)*(T_g_2**3) - 4.600774*(10**-13)*(T_g_2**4))*(10**-5)
    if 0.5 < m_ZD <= 1.3:
        g_5 = 1.1*(m_ZD**0.65)*((mu_ar/mu_g)**0.15)*((x[i]/s_ZD)**-0.2)*((t_ZD/s_ZD)**-0.2)
        n_r.append(g_5)
    elif 1.3 < m_ZD < 4:
        g_6 = 1.28*((mu_ar/mu_g)**0.15)*((x[i]/s_ZD)**-0.2)*((t_ZD/s_ZD)**-0.2)
        n_r.append(g_6)
    T_g_3 = T_total[i]
elif x[i] >= 0.037 and x[i] <= L_CC:
    mu_g = (0.03863 + 0.00749*T_g_3 - 5.8564*(10**-6)*(T_g_3**2) +
2.7769*(10**-9)*(T_g_3**3) - 4.600774*(10**-13)*(T_g_3**4))*(10**-5)
    if 0.5 < m_ZD <= 1.3:
        g_7 = 1.1*(m_ZD**0.65)*((mu_ar/mu_g)**0.15)*((x[i]/s_ZD)**-0.2)*((t_ZD/s_ZD)**-0.2)
        n_r.append(g_7)
    elif 1.3 < m_ZD < 4:
        g_8 = 1.28*((mu_ar/mu_g)**0.15)*((x[i]/s_ZD)**-0.2)*((t_ZD/s_ZD)**-0.2)
        n_r.append(g_8)


T_g_w = []
h = range(len(n_r))
for i in h:
    temp = T_total[i] - n_r[i]*(T_total[i] - T_3)
    T_g_w.append(temp)

## Arrefecimento da Parede do Tubo de Chama por Filme de Resfriamento
##### SEGUNDA ITERAÇÃO DO NÚMERO DE FENDAS #####
T_alvo = 900 #TEMPERATURA ACEITÁVEL PARA EVITAR O STRESS TÉRMICO
A_an = 2*np.pi*(D_ref-D_ft)*L_CC
mu_ar = (0.03863 + 0.00749*T_3 - 5.8564*(10**-6)*(T_3**2) + 2.7769*(10**-9)*(T_3**3) -
4.600774*(10**-13)*(T_3**4))*(10**-5)

#CÁLCULO DA FENDA DA ZONA PRIMÁRIA
t_ZP = 0.3*10**-3
t_w_ZP = 0.5*10**-3
s_ZP = 0.2*10**-3

n_fendas_ZP = 35

```

RELATÓRIO	RELATÓRIO DE ENGENHARIA DO PROJETO	 UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC
003	GRUPO 01	

$A_{total_fendas_ZP} = n_{fendas_ZP} * 2 * \pi * s_{ZP} * (D_{ref} - D_{ft})$
 $m_{dot_an_ZP} = m_{dot_3}$

$m_{dot_g_ZP} = m_{dot_3} - (3/4) * m_{dot_ZP}$
 $\rho_{g_u_g_ZP} =$ $m_{dot_g_ZP} / A_{ft}$

$m_{dot_fenda_ZP} = m_{dot_an_ZP} * (A_{total_fendas_ZP} / A_{an})$
 $\rho_{an_u_an_ZP} = m_{dot_fenda_ZP} / A_{total_fendas_ZP}$
 $m_{ZP} = (\rho_{an_u_an_ZP}) / (\rho_{g_u_g_ZP})$

#CÁLCULO DA FENDA DA ZONA SECUNDÁRIA

$t_{ZS} = 0.3 * 10^{-3}$
 $s_{ZS} = 0.2 * 10^{-3}$
 $t_{w_ZS} = 0.5 * 10^{-3}$

$n_{fendas_ZS} =$ 20

$A_{total_fendas_ZS} = n_{fendas_ZS} * 2 * \pi * s_{ZS} * (D_{ref} - D_{ft})$
 $m_{dot_an_ZS} = m_{dot_3} - m_{dot_ZS} - m_{dot_fenda_ZP}$
 $m_{dot_g_ZS} = m_{dot_3} - m_{dot_ZS}$
 $\rho_{g_u_g_ZS} = m_{dot_g_ZS} / A_{ft}$
 $m_{dot_fenda_ZS} = m_{dot_an_ZS} * (A_{total_fendas_ZS} / A_{an})$
 $\rho_{an_u_an_ZS} = m_{dot_fenda_ZS} / A_{total_fendas_ZS}$
 $m_{ZS} = (\rho_{an_u_an_ZS}) / (\rho_{g_u_g_ZS})$

#CÁLCULO DA FENDA DA ZONA DE DILUIÇÃO

$t_{ZD} = 0.3 * 10^{-3}$
 $s_{ZD} = 0.2 * 10^{-3}$
 $t_{w_ZD} = 0.5 * 10^{-3}$
 $n_{fendas_ZD} = 6$

$A_{total_fendas_ZD} = n_{fendas_ZD} * 2 * \pi * s_{ZD} * (D_{ref} - D_{ft})$
 $m_{dot_an_ZD} = m_{dot_3} - m_{dot_ZD} - m_{dot_fenda_ZS}$
 $m_{dot_g_ZD} = m_{dot_3} - m_{dot_ZD}$
 $\rho_{g_u_g_ZD} = m_{dot_g_ZD} / A_{ft}$
 $m_{dot_fenda_ZD} = m_{dot_an_ZD} * (A_{total_fendas_ZD} / A_{an})$
 $\rho_{an_u_an_ZD} = m_{dot_fenda_ZD} / A_{total_fendas_ZD}$
 $m_{ZD} = (\rho_{an_u_an_ZD}) / (\rho_{g_u_g_ZD})$

```

x = np.linspace(0, L_CC, num=200)
a = range(len(x))
n_r_2 = []
for i in range(len(x)):
    if x[i] < 0.015:

```




```

g_1 = 0
n_r_2.append(g_1)
T_g_1 = T_total[i]
elif x[i] >= 0.015 and x[i] < 0.024:
    mu_g = (0.03863 + 0.00749*T_g_1 - 5.8564*(10**-6)*(T_g_1**2) + 2.7769*(10**-9)*(T_g_1**3)
- 4.600774*(10**-13)*(T_g_1**4))*(10**-5)
    if 0.5 < m_ZS <= 1.3:
        g_3 = 1.1*(m_ZS**0.65)*((mu_ar/mu_g)**0.15)*((x[i]/s_ZS)**-0.2)*((t_ZS/s_ZS)**-0.2)
        n_r_2.append(g_3)
    elif 1.3 < m_ZS < 4:
        g_4 = 1.28*((mu_ar/mu_g)**0.15)*((x[i]/s_ZS)**-0.2)*((t_ZS/s_ZS)**-0.2)
        n_r_2.append(g_4)
    T_g_2 = T_total[i]
elif x[i] >= 0.024 and x[i] < 0.037:
    mu_g = (0.03863 + 0.00749*T_g_2 - 5.8564*(10**-6)*(T_g_2**2) + 2.7769*(10**-9)*(T_g_2**3)
- 4.600774*(10**-13)*(T_g_2**4))*(10**-5)
    if 0.5 < m_ZD <= 1.3:
        g_5 = 1.1*(m_ZD**0.65)*((mu_ar/mu_g)**0.15)*((x[i]/s_ZD)**-0.2)*((t_ZD/s_ZD)**-0.2)
        n_r_2.append(g_5)
    elif 1.3 < m_ZD < 4:
        g_6 = 1.28*((mu_ar/mu_g)**0.15)*((x[i]/s_ZD)**-0.2)*((t_ZD/s_ZD)**-0.2)
        n_r_2.append(g_6)
    T_g_3 = T_total[i]
elif x[i] >= 0.037 and x[i] <= L_CC:
    mu_g = (0.03863 + 0.00749*T_g_3 - 5.8564*(10**-6)*(T_g_3**2) + 2.7769*(10**-9)*(T_g_3**3)
- 4.600774*(10**-13)*(T_g_3**4))*(10**-5)
    if 0.5 < m_ZD <= 1.3:
        g_7 = 1.1*(m_ZD**0.65)*((mu_ar/mu_g)**0.15)*((x[i]/s_ZD)**-0.2)*((t_ZD/s_ZD)**-0.2)
        n_r_2.append(g_7)
    elif 1.3 < m_ZD < 4:
        g_8 = 1.28*((mu_ar/mu_g)**0.15)*((x[i]/s_ZD)**-0.2)*((t_ZD/s_ZD)**-0.2)
        n_r_2.append(g_8)

T_g_w_2 = []
h = range(len(n_r))
for i in h:
    temp = T_total[i] - n_r_2[i]*(T_total[i] - T_3)
    T_g_w_2.append(temp)

##### TERCEIRA ITERAÇÃO DO NÚMERO DE FENDAS #####
T_alvo = 900 #TEMPERATURA ACEITÁVEL PARA EVITAR O STRESS TÉRMICO
A_an = 2*np.pi*(D_ref-D_ft)*L_CC
mu_ar = (0.03863 + 0.00749*T_3 - 5.8564*(10**-6)*(T_3**2) + 2.7769*(10**-9)*(T_3**3) -
4.600774*(10**-13)*(T_3**4))*(10**-5)

```

RELATÓRIO	RELATÓRIO DE ENGENHARIA DO PROJETO	 UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC
003	GRUPO 01	

#CÁLCULO DA FENDA DA ZONA PRIMÁRIA

$$t_ZP = 0.3 \cdot 10^{-3}$$

$$s_ZP = 0.5 \cdot 10^{-3}$$

$$t_w_ZP = 0.5 \cdot 10^{-3}$$

$$n_fendas_ZP = 25$$

$$A_total_fendas_ZP = n_fendas_ZP \cdot 2 \cdot \pi \cdot s_ZP \cdot (D_ref - D_ft)$$

$$m_dot_an_ZP = m_dot_3$$

$$m_dot_g_ZP = m_dot_3 - (3/4) \cdot m_dot_ZP$$

$$\rho_g_u_g_ZP = m_dot_g_ZP / A_ft$$

$$m_dot_fenda_ZP = m_dot_an_ZP \cdot (A_total_fendas_ZP / A_an)$$

$$\rho_an_u_an_ZP = m_dot_fenda_ZP / A_total_fendas_ZP$$

$$m_ZP = (\rho_an_u_an_ZP) / (\rho_g_u_g_ZP)$$

#CÁLCULO DA FENDA DA ZONA SECUNDÁRIA

$$t_ZS = 0.3 \cdot 10^{-3}$$

$$s_ZS = 0.8 \cdot 10^{-3}$$

$$t_w_ZS = 0.5 \cdot 10^{-3}$$

$$n_fendas_ZS = 29$$

$$A_total_fendas_ZS = n_fendas_ZS \cdot 2 \cdot \pi \cdot s_ZS \cdot (D_ref - D_ft)$$

$$m_dot_an_ZS = m_dot_3 - m_dot_ZS - m_dot_fenda_ZP$$

$$m_dot_g_ZS = m_dot_3 - m_dot_ZS$$

$$\rho_g_u_g_ZS = m_dot_g_ZS / A_ft$$

$$m_dot_fenda_ZS = m_dot_an_ZS \cdot (A_total_fendas_ZS / A_an)$$

$$\rho_an_u_an_ZS = m_dot_fenda_ZS / A_total_fendas_ZS$$

$$m_ZS = (\rho_an_u_an_ZS) / (\rho_g_u_g_ZS)$$

#CÁLCULO DA FENDA DA ZONA DE DILUIÇÃO

$$t_ZD = 0.3 \cdot 10^{-3}$$

$$s_ZD = 0.6 \cdot 10^{-3}$$

$$t_w_ZD = 0.5 \cdot 10^{-3}$$

$$n_fendas_ZD = 40$$

$$A_total_fendas_ZD = n_fendas_ZD \cdot 2 \cdot \pi \cdot s_ZD \cdot (D_ref - D_ft)$$


$$m_dot_an_ZD = m_dot_3 - m_dot_ZD - m_dot_fenda_ZS$$

$$m_dot_g_ZD = m_dot_3 - m_dot_ZD$$

$$\rho_g_u_g_ZD = m_dot_g_ZD / A_ft$$

$$m_dot_fenda_ZD = m_dot_an_ZD \cdot (A_total_fendas_ZD / A_an)$$

$$\rho_an_u_an_ZD = m_dot_fenda_ZD / A_total_fendas_ZD$$

RELATÓRIO	RELATÓRIO DE ENGENHARIA DO PROJETO	 UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC
003	GRUPO 01	

$m_{ZD} = (\rho_{an_u_an_ZD})/(\rho_{g_u_g_ZD})$

```

x = np.linspace(0, L_CC, num=200)
a = range(len(x))
n_r_3 = []
for i in range(len(x)):
    if x[i] < 0.015:
        g_1 = 0
        n_r_3.append(g_1)
        T_g_1 = T_total[i]
    elif x[i] >= 0.015 and x[i] < 0.024:
        mu_g = (0.03863 + 0.00749*T_g_1 - 5.8564*(10**-6)*(T_g_1**2) +
2.7769*(10**-9)*(T_g_1**3) - 4.600774*(10**-13)*(T_g_1**4))*(10**-5)
        if 0.5 < m_ZS <= 1.3:
            g_3 = 1.1*(m_ZS**0.65)*((mu_ar/mu_g)**0.15)*((x[i]/s_ZS)**-0.2)*((t_ZS/s_ZS)**-0.2)
            n_r_3.append(g_3)
        elif 1.3 < m_ZS < 4:
            g_4 = 1.28*((mu_ar/mu_g)**0.15)*((x[i]/s_ZS)**-0.2)*((t_ZS/s_ZS)**-0.2)
            n_r_3.append(g_4)
        T_g_2 = T_total[i]
    elif x[i] >= 0.024 and x[i] < 0.037:
        mu_g = (0.03863 + 0.00749*T_g_2 - 5.8564*(10**-6)*(T_g_2**2) +
2.7769*(10**-9)*(T_g_2**3) - 4.600774*(10**-13)*(T_g_2**4))*(10**-5)
        if 0.5 < m_ZD <= 1.3:
            g_5 = 1.1*(m_ZD**0.65)*((mu_ar/mu_g)**0.15)*((x[i]/s_ZD)**-0.2)*((t_ZD/s_ZD)**-0.2)
            n_r_3.append(g_5)
        elif 1.3 < m_ZD < 4:
            g_6 = 1.28*((mu_ar/mu_g)**0.15)*((x[i]/s_ZD)**-0.2)*((t_ZD/s_ZD)**-0.2)
            n_r_3.append(g_6)
        T_g_3 = T_total[i]
    elif x[i] >= 0.037 and x[i] <= L_CC:
        mu_g = (0.03863 + 0.00749*T_g_3 - 5.8564*(10**-6)*(T_g_3**2) +
2.7769*(10**-9)*(T_g_3**3) - 4.600774*(10**-13)*(T_g_3**4))*(10**-5)
        if 0.5 < m_ZD <= 1.3:
            g_7 = 1.1*(m_ZD**0.65)*((mu_ar/mu_g)**0.15)*((x[i]/s_ZD)**-0.2)*((t_ZD/s_ZD)**-0.2)
            n_r_3.append(g_7)
        elif 1.3 < m_ZD < 4:
            g_8 = 1.28*((mu_ar/mu_g)**0.15)*((x[i]/s_ZD)**-0.2)*((t_ZD/s_ZD)**-0.2)
            n_r_3.append(g_8)

T_g_w_3 = []
h = range(len(n_r))
for i in h:
    temp = T_total[i] - n_r_3[i]*(T_total[i] - T_3)

```

```
T_g_w_3.append(temp)
```


```
#plt.figure(figsize = (15,10))
plt.plot(x*1000, n_r, label = 'Eficiência - 1ª Iteração')
plt.plot(x*1000, n_r_2, label = 'Eficiência - 2ª Iteração')
plt.plot(x*1000, n_r_3, label = 'Eficiência - 3ª Iteração')
plt.grid(True, which='both')
plt.ylabel('Eficiência')
plt.xlabel('Comprimento da Câmara de Combustão [mm]')
plt.title('Eficiência ao longo da Câmara de Combustão')
plt.legend()
plt.show()

#plt.plot(x*1000, T_g_w, label = 'Temperatura - 1ª Iteração')
#plt.plot(x*1000, T_g_w_2, label = 'Temperatura - 2ª Iteração')
#plt.plot(x*1000, T_g_w_3, label = 'Temperatura - 3ª Iteração')
#plt.grid(True, which='both')
#plt.ylabel('Temperatura [K]')
#plt.xlabel('Comprimento da Câmara de Combustão [mm]')
#plt.title('Temperatura ao longo da Câmara de Combustão')
#plt.legend()
#plt.show()
#BALANÇO DE MASSA
result_2 = []
```

```
for i in range(len(m_total)):
    A = m_dot_3 - m_total[i] - m_dot_fenda_ZP - m_dot_fenda_ZS - m_dot_fenda_ZD
    result_2.append(A)
```

```
plt.plot(comp_total, result_2)
plt.grid(True, which='both')
plt.ylabel('Fluxo Mássico [kg/s]')
plt.xlabel('Comprimento da Câmara de Combustão [m]')
plt.title('Fluxo mássico ao longo da Câmara de Combustão')
plt.legend()
plt.show()
```

```
##### CÁLCULO DA TEMPERATURA EXTERNA E INTERNA DO TUBO DE CHAMA
### INTERNA #####
epsilon_c = 0.7
epsilon_w = 0.4
k_w = 26
sigma = 5.67*10**-8
L = 1.7
```

RELATÓRIO	RELATÓRIO DE ENGENHARIA DO PROJETO	 UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC
003	GRUPO 01	

```

Z = 0.6
q = 0.85*phi_ZP
l_b_int = D_ft
k_g = 5.92657*10**-4 + 9.80957*10**-5*T_3 - 4.89398*10**-8*T_3**2 + 1.5011410*10**-
11*T_3**3
D_an = D_ref - D_ft
epsilon_g = 1 - np.e**((-290*P_3*L*(q*l_b_int)**0.5)*T_3**-1.5)

R_1 = lambda T_w_1: 0.5*sigma*(1 + epsilon_w)*epsilon_g*T_3**1.5*(T_3**2.5 - T_w_1**2.5)
R_2 = lambda T_w_2: Z*sigma*(T_w_2**4 - T_3**4)
rey = lambda x: ((m_dot_g_ZP)/(A_ft))*(x/mu_g)


if 0.5<m_ZP<=1.3:
    C_1 = lambda x, T_w_1: 0.069*(k_g/x)*rey(x)**0.7*(T_g_w_3[i] - T_w_1)
elif 1.3<m < 4:
    C_1 = lambda x, T_w_1: 0.01*(k_g/x[i])*rey(x[i])**0.8*((x/s_ZP)**-0.36)*(T_g_w_3[i] - T_w_1)


C_2 = lambda T_w_2: 0.02*(k_g/D_an**0.2)*(m_dot_an_ZP/(A_an*mu_ar))*(T_w_2 - T_3)
K_1_2 = lambda T_w_1, T_w_2: (k_w/t_w_ZP)*(T_w_1 - T_w_2)

x = np.linspace(0, L_CC,num=200)
a = range(len(x))
T_w_1_res = []
T_w_2_res = []
for i in a:
    def func(args):
        T_w_1, T_w_2 = args
        eq1 = R_1(T_w_1) + C_1(x[i], T_w_1) - R_2(T_w_2) - C_2(T_w_2)
        eq2 = R_1(T_w_1) + C_1(x[i], T_w_1) - K_1_2(T_w_1, T_w_2)
        return eq1, eq2
    T_w_1, T_w_2 = sp.fsolve(func, (600,600))
    T_w_1_res.append(T_w_1)
    T_w_2_res.append(T_w_2)

plt.plot(x*1000, T_w_1_res, label='Temp. interna da parede')
plt.plot(x*1000, T_w_2_res, label='Temp. externa da parede')
plt.grid(True, which='both')
plt.ylabel('Temperatura [K]')
plt.xlabel('Comprimento da Câmara de Combustão [mm]')
plt.title('Temperatura da parede ao longo da Câmara de Combustão')
plt.legend()
plt.show()

```

RELATÓRIO	RELATÓRIO DE ENGENHARIA DO PROJETO	 UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC
003	GRUPO 01	

RELATÓRIO	RELATÓRIO DE ENGENHARIA DO PROJETO	 UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC
003	GRUPO 01	