LUCAS OMODA BERTANTE

Estudo sobre a movimentação de ar em câmara de combustão de um motor diesel durante o tempo de admissão

São Paulo

2017

LUCAS OMODA BERTANTE

Estudo sobre a movimentação de ar em câmara de combustão de um motor diesel durante o tempo de admissão

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Ciências

Orientador:
Prof. Dr. Maurício Assumpção Trielli

São Paulo
2017

LUCAS OMODA BERTANTE

Estudo sobre a movimentação de ar em câmara de combustão de um motor diesel durante o tempo de admissão

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Ciências

Orientador:
Prof. Dr. Maurício Assumpção Trielli

São Paulo
2017

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Bertante, Lucas Omoda

Estudo sobre a movimentação de ar em câmara de combustão de um motor diesel durante o tempo de admissão / L. O. Bertante -- versão corr. -- São Paulo, 2017.

144 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Centro de Engenharia Automotiva.

1.Motores diesel 2.Engenharia automotiva 3.Dinâmica dos fluidos
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Centro de Engenharia Automotiva II.t.

RESUMO

Neste trabalho, pretendeu-se obter as características da movimentação do ar no início do tempo de admissão em um motor diesel, partindo de sua entrada no cabeçote, passando pelos pórticos de admissão e válvulas, até a câmara de combustão, utilizando dados reais da geometria e do processo de sobrealimentação de um motor diesel. Para tanto, utilizou-se da abordagem clássica da dinâmica dos fluidos para o desenvolvimento de um modelo matemático constituído por equacionamentos que representassem o consumo de ar, a rotacionalidade do movimento do ar nos pórticos e a movimentação de ar no cilindro, descrita por linhas de corrente obtidas a partir da aplicação da teoria de escoamento potencial plano. Os cálculos foram efetuados usando planilhas eletrônicas geradas em aplicativo Excel e, tanto a avaliação dos efeitos da geometria dos condutos quanto a determinação das linhas de corrente, foram realizadas usando o aplicativo gráfico Rhinoceros. Neste trabalho foram estudadas seis condições associadas a seis ângulos de virabrequim do início do tempo de admissão e que geraram seis conjuntos de linhas de corrente. Os resultados foram comparados com ensaios de PIV – *particle image velocimetry* e apresentaram semelhanças relevantes nos formatos e nos sentidos das linhas de corrente. Concluiu-se que o procedimento utilizado, por sua simplicidade de implementação, não é prático quando há a necessidade de alteração de uma das variáveis envolvidas. Porém, ao desenvolver o equacionamento para os casos apresentados, foi possível estudar o fenômeno em profundidade satisfatória, mesmo com as hipóteses simplificadoras utilizadas.

Palavras-Chave: Motores diesel. Engenharia automotiva. Dinâmica dos fluidos.

ABSTRACT

In this work, the aim was to obtain the air flow characteristics in the beginning of the intake stroke in a diesel engine, considering the inlet in head, its passage by intake runners and valves, up to the combustion chamber, using values obtained from geometry and supercharging process observed in a specific diesel engine. It was used a classical fluid dynamics approach to develop a mathematical model which represent the air consumption, the rotation of the air at intake runners and the air flow within the cylinder, described by streamlines obtained by the use of potential flow theory. The calculation used Excel electronic spreadsheets and both the effects from geometry of intake runners evaluation and the streamlines generation were conducted in drawing software Rhinoceros. In this work six different conditions, associated at six crankshaft angles in the beginning of the intake stroke were studied, resulting in six streamlines set. The results were compared to a PIV test – particle image velocimetry – and relevant similarities was observed both in shapes and rotation sense of streamlines. The conclusion was that the methodology, considering its simplicity in implementation, it is not the most practical method when a modification in variables involved is necessary. However, this methodology was enough to study the phenomenon in satisfactory depth, even using the simplifying assumptions.

Keywords: Diesel engines. Automotive engineering. Fluid dynamics.

LISTA DE SÍMBOLOS

η_v	rendimento volumétrico
$\dot{m}_{ar}$	vazão em massa de ar admitida pelo motor
$\dot{m}_{ar_t}$	vazão em massa de ar teórica admitida pelo motor
ρ_{ar}	massa específica do ar
V_t	deslocamento volumétrico realizado pelos cilindros do motor
n	rotação do virabrequim
η_{vp}	rendimento volumétrico de bombeamento
$\dot{m}_e$	vazão em massa de gases de admissão na entrada do cabeçote
$\dot{m}_{e_t}$	vazão em massa teórica de gases de admissão na entrada do cabeçote
ρ_e	massa específica de gases na entrada do cabeçote
p_{atm}	pressão atmosférica
p_c	pressão no interior do cilindro
ρ	massa específica do fluido
$\bar{S}_p$	velocidade média do pistão
ξ_j	coeficiente de perda de carga de cada componente pelo qual o fluido admitido escoar
A_p	área da cabeça do pistão
A_j	área da seção transversal de cada componente pelo qual o fluido admitido escoar
Ne	potência efetiva
F	razão entre a massa de combustível e a massa de ar

p_{ci}	poder calorífico inferior
p_{ar}	pressão do ar atmosférico
R	constante de gás perfeito do ar
T_{ar}	temperatura absoluta do ar atmosférico
A_E	área efetiva
W_c	trabalho do ciclo
A_C	área de cortina
L_v	<i>lift</i>
D_v	diâmetro da válvula
A_{sede}	área no entorno da válvula
W	largura da sede de válvula
σ	ângulo formado entre a sede e a base do cabeçote
D_{po}	diâmetro do pórtilho
D_h	diâmetro da haste da válvula
D_m	diâmetro médio da sede de válvula
p_e	pressão do ar na entrada do pórtilho
T_e	temperatura do ar na entrada do pórtilho
p_v	pressão do ar na seção da válvula
ρ_v	pressão do ar na seção da válvula
T_v	temperatura do ar na seção da válvula
v_v	velocidade média do ar na seção da válvula
C_c	coeficiente de correção

Z_v	quantidade de válvulas de admissão
$\mathcal{M}_v$	número de Mach na seção da válvula
k	constante adiabática do ar
Re	número de Reynolds
V	volume total no interior do cilindro
V_0	volume da câmara de combustão
y	deslocamento vertical do pistão
r	comprimento da manivela do virabrequim
L	comprimento da biela
λ	relação manivela-biela
ζ	ângulo entre a biela e a linha de centro do cilindro
Θ	ângulo entre a manivela do virabrequim e a linha de centro do cilindro
v_p	velocidade do pistão
ω	velocidade angular do virabrequim
ν	viscosidade cinemática do ar
$\mathcal{M}'_v$	número de Mach sucessivo
m_{ac}	massa acumulada
$\overrightarrow{M}_t$	vetor momento torsor
I	momento de inércia
$\vec{V}$	vetor velocidade total
c	velocidade do som

$\vec{V}_{sede}$	vetor velocidade relacionado à seção da sede de válvula
$\vec{V}_{sede_r}$	vetor velocidade radial do ar na seção da válvula
$\vec{V}_{sede_t}$	vetor velocidade tangencial do ar na seção da válvula
$\vec{V}_{sede_y}$	vetor velocidade vertical do ar na seção da válvula
r_v	distância do centro da válvula ao elemento de massa infinitesimal
r_v'	distância sucessiva do centro da válvula ao elemento de massa infinitesimal
dt_{mov}	intervalo de tempo de processamento de massa infinitesimal
ψ	função corrente
m_1	coeficiente da fonte do conduto 1
m_2	coeficiente da fonte do conduto 2
Γ_1	coeficiente do vórtice do conduto 1
Γ_2	coeficiente do vórtice do conduto 2
v_θ	velocidade tangencial
v_r	velocidade radial
r_1	distância entre o centro do conduto 1 e o ponto em análise
r_2	distância entre o centro do conduto 2 e o ponto em análise
θ_1	ângulo formado entre a linha que une o centro dos condutos e r_1
θ_2	ângulo formado entre a linha que une o centro dos condutos e r_2

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVO	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1.	Rendimento volumétrico global.....	16
3.2.	Rendimento volumétrico de bombeamento.....	17
3.3.	Fenômenos importantes no estabelecimento do rendimento volumétrico	17
3.3.1.	Perda de carga por atrito (<i>flow friction</i>)	17
3.3.2.	Efeito <i>RAM</i>	19
3.3.3.	Fluxo reverso na admissão (<i>backflow</i>).....	19
3.3.4.	<i>Tuning</i>	20
3.4.	Sobrealimentação.....	21
3.4.1.	Sobrealimentadores volumétricos.....	24
3.4.2.	Turbo-compressores.....	24
3.5.	Processo ideal de sobrealimentação	25
3.6.	Pós-resfriadores	26
4	ASPECTOS RELACIONADOS COM A APLICAÇÃO	28
4.1.	Escoamento transiente no coletor de admissão.....	28
4.2.	A geometria dos pórticos de admissão	29
4.3.	<i>Lift</i> e curva de levantamento de válvula	29
4.4.	Cruzamento de válvulas (<i>overlap</i> , <i>underlap</i>).....	32
4.5.	Influências sobre os escoamentos nos pórticos e tipos de movimentos (<i>swirl</i> , <i>squish</i> e <i>tumble</i>)	33
5	MODELAMENTO MATEMÁTICO	35
5.1.	Consumo de ar	37
5.1.1.	Variáveis envolvidas e suas variações.....	37
5.1.1.1.	Vazão em massa de ar que alimenta o cilindro	37
5.1.1.2.	Coeficiente de correção C_c	39
5.1.1.3.	Variação do volume no interior do cilindro.....	40
5.1.1.4.	Variação dp da massa específica do ar no cilindro	42
5.1.1.5.	Obtenção do número de Reynolds	43
5.1.1.6.	Obtenção do número de Mach Mv' sucessivo.....	44
5.1.2	Dados utilizados para validação do modelo	45
5.1.3	Procedimento numérico	45
5.2	Movimentação do ar nos pórticos de admissão	49

5.2.1	Modelo matemático	49
5.2.2	Obtenção de variáveis de entrada	53
5.2.2.1	Obtenção da área e do momento de inércia	54
5.2.3	Obtenção das velocidades angulares ωy	55
5.3	Movimentação do ar no interior do cilindro.....	56
5.2.4	Equacionamento.....	56
5.2.5	Determinação das variáveis.....	58
5.2.5.1	Condição 1	59
5.2.5.2	Condição 2	60
5.2.5.3	Condição 3	61
5.2.5.4	Condição 4	62
5.2.5.5	Condição 5	63
5.2.5.6	Condição 6	64
5.2.5.7	Determinação do intervalo de tempo <i>dtmov</i>	65
5.4	Determinação de linhas de corrente no interior do cilindro.....	66
5.4.1	Equacionamento.....	67
5.4.1.1	Escoamento potencial plano.....	67
5.4.1.2	Determinação dos coeficientes de fonte e vórtice	69
5.4.1.3	Determinação da fronteira das linhas de corrente.....	71
5.4.1.4	Determinação das linhas de corrente.....	75
6	RESULTADOS OBTIDOS	83
7	CONCLUSÕES	90
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92
9	APÊNDICE A – Tabelas com resultados numéricos	93

1 INTRODUÇÃO

Motores de ignição por compressão, também chamados motores diesel, são amplamente utilizados em aplicações comerciais automotivas como em veículos rodoviários e fora-de-estrada (*off-road*). Em tais aplicações, existe especial interesse pelo estabelecimento do mínimo custo de utilização, ou seja, a obtenção da menor despesa possível por quilômetro percorrido. A Tabela 1 apresenta a classificação dos custos de um veículo de carga de uma determinada empresa transportadora e os relaciona de maneira percentual. Estes custos estão divididos em fixos e variáveis, sendo que os últimos dependem da distância percorrida. Para que esses custos pudessem ser comparados, Livato e Souza (2010) consideraram um deslocamento mensal de 17600 km por veículo.

Tabela 1 - Apuração e classificação do custo de transporte

Custos fixos	Participação (%)
Depreciação	7,14
Custo oportunidade	5,60
Salário motorista	5,92
Encargos	6,21
IPVA	0,69
DPVAT	0,02
Taxa licenciamento	0,03
Seguro terceiros	0,20
Monitoramento	0,86
Gastos administrativos	10,46
	37,13
Custos variáveis	Participação (%)
Combustível	34,44
Lavagem e lubrificação	0,76
Pneus	18,68
Manutenção	8,99
	62,87

Fonte: Livato; Souza, 2010

Dentre as variáveis relacionadas, os valores mais significativos são os referentes aos gastos com combustível, pneus e administração, com valores de 34,44%, 18,68% e 10,46%, respectivamente.

Além do custo do combustível, que por si só exige o desenvolvimento constante do motor diesel com o objetivo de reduzir seu consumo, as exigências, cada vez mais restritivas, das legislações ambientais, fazem com que os fabricantes desses motores se empenhem no sentido de entender e melhorar o processo de combustão.

Como decorrência da combustão, substâncias como o monóxido de carbono (CO), metano (CH₄) e outros hidrocarbonetos (NMHC - *non methane hydrocarbons*), óxidos de nitrogênio (NO_x) e o material particulado (MP) são emitidas para a atmosfera. As produções específicas destes poluentes (massa de poluente produzida por unidade de trabalho realizado pelo motor) são determinadas por normativas, sendo a principal delas, a estabelecida pela União Europeia.

A Tabela 2 mostra a evolução das fases do PROCONVE - Programa de controle de poluição do ar por veículos automotores, que é a normativa brasileira baseada nas normativas europeias, em suas várias fases.

Tabela 2 – Limites de emissão de CO, NMHC, NO_x e MP para motores Diesel por fase do PROCONVE, em g_{poluente}/kWh

Fase do PROCONVE	CO	NMHC	NO _x	MP(*)
Pré-PROCONVE, P1 e P2	1,86	0,68	10,7	0,66
P3	1,62	0,54	6,55	0,318
P4	0,85	0,29	6,16	0,12
P5	0,83	0,16	4,67	0,078
P7	0,83	0,16	1,8	0,018

(*) Valor válido para o teor de enxofre no diesel utilizado no ensaio de homologação

Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2011)

É possível observar nesta tabela a diminuição dos limites de produção específica aceitáveis de poluentes na evolução cronológica das fases do PROCONVE. Ainda que os limites de produção de CO e NMHC tenham sido mantidos iguais nas fases P5 e P7, os limites de NO_x e de MP foram reduzidos em 61,4% e 76,9%, respectivamente. É importante observar, entretanto, que os procedimentos utilizados para a obtenção destes resultados nas fases P5 e P7 são diferentes.

O consumo de combustível e as emissões de poluentes são parâmetros que estão relacionados entre si por meio da eficiência global do motor de combustão interna. Esta eficiência depende de aspectos ligados ao rendimento volumétrico (η_v), à eficiência de conversão da energia química contida no combustível em trabalho efetivo de eixo (rendimento térmico) e do rendimento mecânico que leva em conta as ações de atrito na transferência do trabalho realizado pelo ciclo termodinâmico desenvolvido no cilindro até o eixo de saída do motor.

O consumo de combustível (ou vazão mássica de combustível) é inversamente proporcional à eficiência da combustão. Para que seja mantida uma determinada potência efetiva em um motor e para que a vazão mássica de combustível seja reduzida, obrigatoriamente, deverá haver aumento no rendimento global.

Também é sabido que o consumo de ar do motor e a distribuição de combustível nesta massa de ar na câmara de combustão é fundamental para o aproveitamento energético do combustível disponibilizado em trabalho de ciclo e para definir as quantidades de poluentes produzidas.

O presente trabalho buscou, portanto, avaliar como a movimentação de ar na câmara de combustão progride durante os instantes iniciais do processo de admissão, fenômeno importante para o estabelecimento das condições iniciais do processo de preparação da mistura combustível-ar que será formada no final do tempo de compressão com a injeção de combustível. Essa movimentação tem importante efeito no atraso de ignição e, conseqüentemente, no desenvolvimento das fases de combustão rápida e por difusão.

Um atraso pequeno de ignição minimiza a possibilidade de ocorrência de detonação pela diminuição da quantidade de combustível envolvida na fase rápida da combustão. Este menor atraso pode ser responsável pelas reduções do nível de ruído do motor e das temperaturas máximas na câmara de combustão. Em decorrência disso, a produção de NOx pode ser minimizada e o rendimento mecânico pode aumentar. A combustão por difusão, podendo ocorrer de forma mais isovolumétrica, interfere, de forma positiva, no rendimento térmico do ciclo.

2 OBJETIVO

Como objetivo geral pretendeu-se modelar a movimentação dos fluidos em câmara de combustão de um motor diesel, no início do tempo de admissão, utilizando uma abordagem clássica da dinâmica de fluidos.

Para tanto, foram desenvolvidos modelos matemáticos capazes de representar a movimentação do ar nos condutos de admissão e no interior do cilindro, utilizando dados geométricos de um motor real relativamente aos pórticos de admissão, válvulas de admissão, diâmetro de cilindro, formato de câmara de combustão, posicionamento de válvulas e curva de abertura dessas válvulas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste item, serão listadas algumas definições de parâmetros característicos de motores e de processos necessários ao desenvolvimento do equacionamento do fenômeno de interesse.

3.1. Rendimento volumétrico global

Segundo Heywood (1988), o rendimento volumétrico global η_v é um dos parâmetros de eficiência de um motor de combustão interna e seus sistemas de admissão e exaustão.

Pode ser definido por:

$$\eta_v = \frac{\dot{m}_{ar}}{\dot{m}_{ar_t}} = \frac{\dot{m}_{ar}}{\rho_{ar} V_t \frac{n}{x}} \quad \text{Equação 1}$$

sendo $\dot{m}_{ar}$ a vazão em massa de ar admitida pelo motor (consumo de ar), $\dot{m}_{ar_t}$ a vazão em massa de ar que teoricamente o motor admitiria se o volume deslocado pelos pistões durante um ciclo motor fossem preenchidos com ar atmosférico do local onde o motor funciona, ρ_{ar} a massa específica do ar nas condições atmosféricas, V_t o deslocamento volumétrico realizado pelos cilindros do motor e

n a rotação do virabrequim. O termo x é igual a 1 para motores alternativos de 2 tempos e é igual a 2 para motores alternativos de 4 tempos.

3.2. Rendimento volumétrico de bombeamento

O rendimento volumétrico global η_v se estabelece levando em consideração as perdas de carga e as máquinas de fluxo presentes em todo o sistema de admissão, da entrada do elemento de filtragem de ar até o cilindro. O rendimento volumétrico de bombeamento η_{vp} , por sua vez, se estabelece considerando apenas as ações dissipativas e as mudanças de propriedades do gás de admissão que ocorrem no trecho compreendido entre a entrada do cabeçote e o cilindro, ou seja, pórticos e válvulas. Ele é definido por:

$$\eta_{vp} = \frac{\dot{m}_e}{\dot{m}_{e_t}} = \frac{\dot{m}_e}{\rho_e V_t \frac{n}{x}} \quad \text{Equação 2}$$

Sendo $\dot{m}_e$ a vazão em massa de gases de admissão, $\dot{m}_{e_t}$ a vazão em massa de gás disponível na entrada do cabeçote, considerando a massa específica ρ_e desses gases disponíveis na entrada do cabeçote.

3.3. Fenômenos importantes no estabelecimento do rendimento volumétrico

3.3.1. Perda de carga por atrito (*flow friction*)

Como em todo escoamento forçado em conduto, a massa de ar admitida no motor fica submetida a atritos de duas origens básicas: ação viscosa e de interação com os contornos sólidos (condutos e singularidades). A perda de carga, num motor naturalmente aspirado, segundo Heywood (1988), pode ser expressa como na Equação 3.

$$p_{atm} - p_c = \rho \bar{S}_p^2 \sum \xi_j \left(\frac{A_p}{A_j} \right)^2 \quad \text{Equação 3}$$

sendo p_{atm} é a pressão atmosférica, p_c é a pressão no interior do cilindro, ρ é a massa específica do fluido, $\bar{S}_p$ é a velocidade média do pistão, ξ_j é o coeficiente de perda de carga de cada componente pelo qual o fluido admitido escoar, A_p é a área da cabeça do pistão e A_j é a área da seção transversal de cada componente pelo qual o fluido admitido escoar.

Analisando a Equação 3 pode-se verificar que a perda de carga por atrito depende do quadrado da velocidade média do pistão. Este fato pode ser constatado na Figura 1, onde a amplitude da perda de carga em altas rotações é muito superior àquela observada em rotações mais baixas. Pode-se afirmar, também, que aumentando as seções transversais dos componentes pelos quais o fluido admitido escoar obtém-se redução da perda de carga.

Figura 1 – Perda de carga em sistema de admissão de motor de ignição por faísca determinada sobre condições de regime permanente
Fonte: HEYWOOD, 1988

De acordo com Pulkrabek (2004) sistemas de admissão têm sido desenvolvidos com menores valores de perda de carga devido à utilização de superfícies com menor rugosidade e aumento do número de válvulas de admissão – 2 ou 3 por cilindro. Uma vez que as áreas das válvulas são as menores seções no escoamento

dos fluidos na admissão, aumentar sua quantidade representa aumentar A_j , diminui a perda de carga.

Ainda segundo Pulkrabek (2004), em muitas aplicações são utilizadas determinadas geometrias que impõem um escoamento rotativo aos fluidos, o que favorece a evaporação do combustível e sua mistura com o ar. Decorre disto, entretanto, um aumento da perda de carga.

3.3.2. Efeito *RAM*

Sabe-se que a pressão nos dutos de admissão não é constante pois o escoamento dos fluidos na tubulação de admissão é afetado de forma transitória pela área de escoamento pelas válvulas (que é função de seus formatos), pelos seus *timings* e pelo perfil do camo do eixo comando. É importante levar em conta, também, que a velocidade do pistão não é constante durante seu curso pelo cilindro. A amplitude de pressão nos dutos de admissão no período anterior ao fechamento da válvula de admissão está diretamente relacionada com o valor do rendimento volumétrico; quando a inércia dos fluidos admitidos é grande e ocorre o choque dos mesmos contra a válvula de admissão em processo de fechamento, a pressão à montante da válvula aumenta. Esta maior pressão possibilita o aumento da massa específica dos gases disponíveis para adentrar ao cilindro no próximo ciclo de admissão; isso promove um aumento no rendimento volumétrico. Esse efeito, denominado *RAM* (chocar-se, em inglês), é melhor observado em altas rotações de funcionamento do motor.

Segundo Heywood (1988), para que o efeito *RAM* possa ser melhor aproveitado, o fechamento da válvula de admissão pode ser realizado após a passagem do pistão pelo ponto morto inferior – PMI, devendo ocorrer, em média, 40° a 60° após o PMI.

3.3.3. Fluxo reverso na admissão (*backflow*)

O fluxo reverso na admissão é o fenômeno que tem relação direta com o ângulo selecionado para o fechamento da válvula de admissão. Em rotações mais baixas, quando a quantidade de movimento dos fluidos admitidos é menor do que as

observadas em altas rotações, a pressão à montante da válvula previamente fechada não atinge níveis altos suficientes para possibilitar o efeito RAM. Desta forma, quando se inicia o ciclo de compressão e a válvula de admissão ainda está aberta, parte dos fluidos que estão dentro do cilindro retornam ao duto de admissão, prejudicando o rendimento volumétrico.

3.3.4. *Tuning*

Segundo Heywood (1988) o escoamento dos fluidos que são admitidos pelo cilindro, assim como o escoamento dos fluidos resultantes do processo de combustão, ocorre como ondas de pressão com diferentes amplitudes e períodos. No sistema de admissão, quando ondas de pressão retornam ao *plenum*, aumentando a pressão deste componente, ocorre também um aumento no rendimento volumétrico. O efeito também depende da geometria do sistema de exaustão uma vez que, ondas de pressão reverberando nesse duto de forma a reduzir a pressão no duto de exaustão, também promove o enchimento do cilindro, aumentando o rendimento volumétrico. Nestas duas situações, afirma-se que o sistema está em condição de *tuning*.

A Figura 2 mostra ondas de pressão nos sistemas de admissão e exaustão. Quanto maiores as rotações, maiores são as amplitudes das ondas. Determinar o comportamento destas ondas por toda a faixa de rotações de um motor e equalizá-las com as aberturas de válvulas de admissão e exaustão faz parte do *tuning*.

IO (*intake valve open*) e EO (*exhaust valve open*) correspondem, respectivamente, aos instantes de abertura das válvulas de admissão e escape.

Figura 2 – Pressões instantâneas, p_1 no coletor de admissão à 150 mm do cilindro, p_2 no coletor de escapamento à 200 mm do cilindro e p_3 no coletor de escapamento à 700 mm.
Fonte: HEYWOOD, 1988

3.4. Sobrealimentação

Segundo Brunetti (2012), a potência efetiva (Ne) de um motor é proporcional à vazão em massa de ar admitida $\dot{m}_{ar}$ pelo mesmo e pode ser expressa de acordo com a Equação 4.

$$Ne = \dot{m}_{ar} \cdot F \cdot pci \cdot \eta_v \quad \text{Equação 4}$$

Sendo F a razão entre a massa de combustível e a massa de ar.

Uma vez que a vazão em massa teórica admitida $\dot{m}_{ar}$ é proporcional a massa específica do ar atmosférico ρ_{ar} , pode-se escrever a Equação 5,

$$\dot{m}_{ar} = \rho_{ar} V_t \frac{n}{x} \quad \text{Equação 5}$$

Conclui-se, portanto, que a potência efetiva é diretamente proporcional à massa específica do ar. A massa específica do ar atmosférico pode ser obtida pela equação de estado dos gases perfeitos (Equação 6), supondo condição de gás perfeito.

$$\rho_{ar} = \frac{p_{ar}}{R \cdot T_{ar}} \quad \text{Equação 6}$$

sendo p_{ar} a pressão do ar atmosférico, R a constante de gás perfeito do ar e T_{ar} a temperatura absoluta do ar atmosférico (temperatura de bulbo seco - TBS).

O uso de um sobrealimentador proporciona o aumento de pressão do ar admitido pelo motor, resultando em aumento de massa específica $\dot{m}_e$ na região de entrada do cabeçote, conforme mostra a Equação 7 e consequentemente aumenta de potência efetiva. Observe que, neste caso, o rendimento volumétrico de bombeamento é usado em substituição ao rendimento volumétrico global.

$$Ne = \dot{m}_e \cdot F \cdot pci \cdot \eta_{vp} \quad \text{Equação 7}$$

Outra maneira de evidenciar o aumento de potência em consequência da utilização de sobrealimentadores é o diagrama pressão x volume (P x V). A Figura 3 apresenta uma comparação entre um ciclo padrão-ar de Sabathé (ou misto) representativo de um motor naturalmente aspirado - NA (linha pontilhada) com um ciclo padrão-ar de Sabathé representativo de um motor sobrealimentado - SA (linha contínua) de mesma razão volumétrica (taxa de compressão).

Figura 3 – Comparação entre ciclos padrão-ar mistos para motores NA e SA, com mesma razão volumétrica
 Fonte: WATSON, JANOTA, 1982. Adaptado pelo autor.

Uma vez que o trabalho do ciclo pode ser expresso conforme a Equação 8

$$W_c = \int P \cdot dV \quad \text{Equação 8}$$

e que a área $A_{1'-2'-3'-4'-5'}$ é maior que a área $A_{1-2-3-4-5}$, conclui-se que o trabalho obtido pelo ciclo sobrealimentado é superior ao trabalho obtido para um ciclo de motor NA.

Os sobrealimentadores podem ser classificados em dois grupos: sobrealimentadores volumétricos e turbo-compressores.

3.4.1. Sobrealimentadores volumétricos

Os sobrealimentadores volumétricos são dispositivos acionados mecanicamente por correias ou pares de engrenagens ligadas ao virabrequim. A rotação do virabrequim faz com que os elementos rotativos do sobrealimentador desloquem os gases admitidos rumo ao cilindro, impondo a eles um aumento de pressão e, conseqüentemente, de massa específica em relação àquela do ar atmosférico. Os principais tipos de sobrealimentadores volumétricos são os compressores de lóbulos, os de tipo parafuso, tipo espiral e o radial, que podem ser visualizados na Figura 4.

Compressor de lóbulos

Compressor tipo espiral

Compressor tipo parafuso

Figura 4 – Tipos de sobrealimentadores volumétricos
Fonte: BASSHUYSEN, SCHÄFER, 2004
Adaptado pelo autor.

Devido ao fato dos sobrealimentadores mecânicos estarem conectados ao virabrequim, parte da potência do motor é destinada a acioná-los.

3.4.2. Turbo-compressores

Os sobrealimentadores do tipo turbo-compressores são acionados pela vazão dos gases de escapamento provenientes da câmara de combustão. Estes gases chocam-se contra as pás do rotor da turbina onde ocorre a transformação da quantidade de movimento dos gases em momento torçor. O rotor da turbina é

rigidamente ligado ao rotor do compressor por um eixo, fazendo com que o momento torçor seja transmitido para este último onde o ar atmosférico admitido é pressurizado e deslocado em direção ao cilindro, com massa específica maior do que a do ar atmosférico. A Figura 5 apresenta um turbo-compressor em corte.

Figura 5 – Turbo-compressor em corte
Fonte: GARRETT, NEWTON, STEEDS, 2001
Adaptado pelo autor.

3.5. Processo ideal de sobrealimentação

Conforme apresentado no item 3.4, com o aumento da massa específica dos gases admitidos em relação à massa específica do ar atmosférico, ocorrerá um acréscimo de potência efetiva. Uma forma de elevar tal massa específica é sobrealimentando o motor. Porém, inerentemente ao processo de compressão, ocorre um aumento de temperatura, fato que pode ser observado na Figura 6. O

ponto 1 representa o ar atmosférico e o ponto 2_s é o resultado de uma compressão isoentrópica realizada por um sobrealimentador ideal hipotético. Pode-se verificar que ocorre o acréscimo de temperatura ΔT_s . Devido às irreversibilidades do processo de compressão em uma situação real, após a compressão o ponto 2 seria atingido, com um outro acréscimo de temperatura ΔT . Vale salientar que $\Delta T > \Delta T_s$. Como a massa específica é inversamente proporcional à temperatura, o que pode ser verificado na Equação 6, pós-resfriadores são utilizados para reduzir a temperatura dos gases que serão admitidos. O trecho 2 - 3 da Figura 6 representa o processo praticamente isobárico de um pós-resfriador.

Figura 6 – Processo de compressão
 Fonte: WATSON, JANOTA, 1982
 Adaptado pelo autor

3.6. Pós-resfriadores

O pós-resfriador (*cooler*) é um trocador de calor posicionado entre o sobrealimentador e o coletor de admissão de um motor de combustão interna. Os gases admitidos escoam pelo seu interior, composto por colmeias. O ar externo ao veículo choca-se contra as colmeias, onde ocorre a maior troca de calor. Os pós-

resfriadores são comumente confeccionados em alumínio e posicionados na região frontal do veículo.

A Figura 7 apresenta um diagrama de montagem de pós-resfriador. Os pontos 1, 2 e 3 estão relacionados com a Figura 6.

Figura 7 – Diagrama de montagem de pós-resfriador
Fonte: DIESEL POWER MAGAZINE
Adaptado pelo autor.

Os pós-resfriadores podem ser também do tipo ar-água.

4 ASPECTOS RELACIONADOS COM A APLICAÇÃO

4.1. Escoamento transiente no coletor de admissão

Como um estudo de caso, esta análise foi realizada com condições determinadas de geometria de um coletor de admissão, quantidade de cilindros, disposição, ordem de ignição, geometria de pórto, válvulas e câmara de combustão de um motor real.

A curva de levantamento da válvula de admissão será previamente estabelecida assim como o cruzamento de abertura (*overlap*).

Pretende-se representar o fenômeno da admissão de ar no coletor, como a movimentação do mesmo rumo à câmara de combustão. Durante o período de admissão de ar, o deslocamento axial da válvula de admissão a partir de sua sede, denominado *lift*, é função da geometria do camo do eixo comando. Buscar-se-á equacionar este escoamento do ar, avaliando pressão e vazão, em função do tempo, no coletor de admissão. A Figura 8 apresenta um exemplo de geometria para avaliação de escoamento transiente neste componente.

Figura 8 – Exemplo de geometria para avaliação de escoamento no coletor de admissão.
Fonte: Autor

4.2. A geometria dos pórticos de admissão

A geometria de pórticos de admissão gera significativas variações de pressão, vazão volumétrica e trajetória do fluido.

A Figura 9 apresenta possíveis arranjos de pórticos de admissão.

Para cada uma delas, as perdas de carga e as vorticidades são bastante diferentes e opostas em termos de intensidades.

Figura 9 – Diferentes arranjos de pórticos de admissão
Fonte: Autor

4.3. Lift e curva de levantamento de válvula

A amplitude do *lift* e a variação da velocidade de abertura/fechamento da válvula em função do ângulo do virabrequim são determinadas pela geometria do camo do comando de válvulas. No caso em questão, será considerado um único perfil de camo e avaliado o escoamento do fluido até a câmara de combustão.

A Figura 10 apresenta a variação do coeficiente de descarga em função do *lift*. O coeficiente de descarga relaciona a área efetiva (A_E) com a área de cortina (A_C), que é a área real de passagem dos fluidos pela válvula. O *lift* é representado pela relação $\frac{L_v}{D_v}$, sendo L_v o valor do *lift* e D_v o diâmetro da válvula. Segundo Heywood (1988), para pequenos *lifts* [condição (a)] o fluido desloca-se contornando a válvula e sua sede e o coeficiente de descarga aumenta com o aumento do *lift*. Isto ocorre até que, na transição da condição (a) para a condição (b), ocorre uma ruptura, devido ao descolamento do escoamento que estava contornando a válvula. Neste ponto o coeficiente de descarga diminui significativamente. Para grandes *lifts*, condição (c), ocorre o descolamento do escoamento tanto da válvula quanto da sede. O

coeficiente de descarga decresce em função do *lift*. Foi considerado regime permanente para determinação de tais padrões de escoamentos. Pretendeu-se avaliar o que ocorre em uma condição transiente.

Figura 10 – Variação de lift e correspondente coeficiente de descarga.
Fonte: HEYWOOD, 1988

Segundo Heywood (1988), para determinar a área mínima pela qual os fluidos escoam no entorno da válvula de admissão, denominada A_{sede} é necessária a realização de cálculos em três condições diferentes, representadas na Figura 11. A ordem numérica das condições está relacionada à variação crescente do *lift*.

A área mínima determinada pelo estágio 1 compreende um cone entre a sede de válvula e o assento da válvula, sendo este cone perpendicular à sede. O estágio 1 é válido para pequenos *lifts*. O estágio 2, válido para *lifts* intermediários, também compreende um cone entre a sede de válvula e o assento da válvula, porém, não é mais perpendicular à sede. O estágio 3 é válido para grandes valores de *lift* e

compreende a área mínima entre o diâmetro do pórtyco e o diâmetro da haste da válvula.

Figura 11 – Representação dos três estágios da área mínima de passagem de fluidos pela válvula de admissão

Fonte: HEYWOOD, 1988

O estágio 1 compreende o intervalo de *lifts*:

$$\frac{W}{\sin \sigma \cos \sigma} > L_v > 0$$

Sendo W a largura da sede de válvula e σ o ângulo formado entre a sede e a base do cabeçote.

Para o estágio 1, a determinação da área da sede é expressa por:

$$A_{sede} = \pi L_v \cos \sigma \left(D_v - 2W + \frac{L_v}{2} \sin 2\sigma \right)$$

Já o estágio 2 compreende o intervalo de *lifts*:

$$\left[\frac{D_{po} - D_h}{4 D_m} - W^2 \right]^{\frac{1}{2}} + W \tan \sigma \geq L_v > \frac{W}{\sin \sigma \cos \sigma}$$

Sendo D_{po} o diâmetro do pórtyco, D_h o diâmetro da haste da válvula e D_m o diâmetro médio da sede de válvula, definido por $D_v - W$.

E, para o estágio 2, a determinação da área da sede é expressa por:

$$A_{sede} = \pi D_m [(L_v - W \tan \sigma)^2 + W^2]^{\frac{1}{2}}$$

O estágio 3, compreende o intervalo de *lifts*:

$$L_v > \left[\left(\frac{D_{po}^2 - D_h^2}{4 D_m} - W^2 \right) \right]^{\frac{1}{2}} + W \tan \sigma$$

E, para o estágio 3, a determinação da área da sede é expressa por:

$$A_{sede} = \frac{\pi}{4} (D_{po}^2 - D_h^2)$$

4.4. Cruzamento de válvulas (*overlap, underlap*)

O cruzamento de válvulas é definido como sendo o intervalo angular do virabrequim onde as válvulas de admissão e de escapamento encontram-se abertas simultaneamente. Com isso, os gases provenientes da combustão que ainda estão na câmara podem ser retirados (lavagem). A Figura 12 apresenta um diagrama de válvulas, com o valor de cruzamento de 100°.

IVO: intake valve open - válvula de admissão abre

TC: top dead center - ponto morto superior

EVC: exhaust valve close - válvula de escape fecha

EVO: exhaust valve open - válvula de escape abre

BC: bottom dead center - ponto morto inferior

IVC: intake valve close - válvula de admissão fecha

BTC: before top dead center – antes do ponto morto superior

ATC: after top dead center – depois do ponto morto superior

Figura 12 – Exemplo de diagrama de válvulas
Fonte: HEYWOOD, 1988
Adaptado pelo autor

4.5. Influências sobre os escoamentos nos pórticos e tipos de movimentos (*swirl*, *squish* e *tumble*)

Para que seja otimizada a combustão em motores diesel, são utilizadas algumas geometrias específicas de condutos de admissão no cabeçote (pórticos) e pistão. O escoamento helicoidal do ar no interior do cilindro é conhecido como *swirl* e está apresentado na Figura 13. Sua formação é consequência do posicionamento das válvulas de admisão e do próprio formato do pórtrico de admissão.

Figura 13 – Efeito conhecido como *swirl*.
Fonte: PULKRABEK, 2003

O conduto de admissão pode ainda ter uma configuração bem peculiar, conforme mostrado na Figura 14. Diferentes configurações de posicionamento de válvulas e geometrias de condutos resultam escoamentos com aumento ou diminuição do efeito *swirl*.

Figura 14 – Arranjo de pórtrico de admissão.
Fonte: PULKRABEK, 2003

Outro efeito utilizado em motores diesel é o *squish*. Este efeito consiste na movimentação circular do ar na cabeça do pistão. O pistão possui uma geometria específica que propicia a formação do *squish*.

Por fim, o movimento de *tumble* consiste na movimentação circular decendente do ar admitido e está intimamente relacionado à geração do movimento de *squish*.

5 MODELAMENTO MATEMÁTICO

O modelamento matemático foi desenvolvido para um motor de combustão interna do ciclo Diesel sobrealimentado. A Figura 15 é uma representação deste motor.

Figura 15 – Representação do motor considerado no modelamento matemático
Fonte: Autor

sendo:

p_e : pressão do ar na entrada do pórtilo;

ρ_e : massa específica do ar na entrada do pórtilo;

T_e : temperatura do ar na entrada do pórtilo;

p_v : pressão do ar na seção da válvula;

ρ_v : massa específica do ar na seção da válvula;

T_v : temperatura do ar na seção da válvula.

O modelamento foi dividido em quatro modelos que se complementam com o objetivo de obter as características da movimentação do ar no interior do cilindro.

O primeiro modelo corresponde à computação numérica do consumo de ar e teve como objetivo determinar os valores das principais variáveis para diversas posições que o virabrequim poderia assumir no tempo de admissão. Estas variáveis são a vazão em massa, a massa específica e velocidade do ar na seção da válvula, bem como a pressão no interior do cilindro. Este modelo corresponde ao bloco consumo de ar mostrado na Figura 16.

Obtendo valores numéricos para tais variáveis, foi possível abastecer o segundo modelo que corresponde ao equacionamento e obtenção das características do movimento do ar no pósito, ou seja, quantificar o turbilhonamento do ar em diferentes seções dos pórticos de admissão. O terceiro modelo, denominado análise da movimentação de ar no interior do cilindro avaliou as velocidades relevantes do escoamento do ar para 6 condições e possibilitou a geração de parâmetros para a etapa seguinte. O quarto e último modelo foi denominado de determinação de linhas de corrente no interior do cilindro e baseou-se na teoria de escoamento potencial plano. Os quatros modelos complementares estão mostrados na Figura 16.

Figura 16 – Modelos complementares que compõem o modelamento matemático
Fonte: Autor

5.1. Consumo de ar

O consumo de ar do motor durante o tempo de admissão foi obtido de forma incremental pela soma dos incrementos de massa obtidos em cada passo do processamento do conjunto de equações mostrado a seguir. Foi considerada a hipótese de que a vazão de ar admitida é dividida igualmente entre os dois condutos.

5.1.1. Variáveis envolvidas e suas variações

5.1.1.1. Vazão em massa de ar que alimenta o cilindro

Levando em conta aspectos ligados à geometria da válvula de admissão e à transitoriedade do escoamento, além de efeitos dissipativos e de compressibilidade, a vazão em massa de ar que alimenta instantaneamente o cilindro pode ser obtida por meio da expressão

$$\frac{dm}{dt} = \rho_v v_v A_v C_c \quad \text{Equação 9}$$

sendo:

ρ_v : massa específica do ar na seção da válvula;

v_v : velocidade média do ar na seção da válvula;

A_v : a área da seção da válvula dada por $A_v = \frac{\pi D_v^2}{4} Z_v$, sendo D_v o diâmetro nominal da válvula e Z_v o número de válvulas de admissão;

C_c : coeficiente de correção, que será detalhado no item 5.1.1.2.

Para a obtenção do incremento de massa dm , partiu-se das propriedades do ar na entrada do pósito (ρ_e e T_e) que foram consideradas como sendo de estagnação e de valores constantes durante todo o tempo de admissão.

Desta forma, admitindo escoamento isoentrópico no pósito de admissão, pode-se escrever:

$$\frac{\rho_e}{\rho_v} = \left(1 + \frac{k-1}{2} \cdot \mathcal{M}_v^2 \right)^{\frac{1}{k-1}} \quad \text{Equação 10}$$

com

$$\mathcal{M}_v = \frac{v_v}{c} = \frac{v_v}{\sqrt{kRT_v}}$$

Equação 11

sendo:

$\mathcal{M}_v$: número de Mach na seção da válvula;

k: constante adiabática do ar;

R: constante do gas perfeito ar;

T_v : a temperatura absoluta do ar.

Desta forma,

$$\frac{T_e}{T_v} = 1 + \frac{k-1}{2} \cdot \mathcal{M}_v^2$$

Equação 12

Substituindo a Equação 12 na Equação 11, obtém-se:

$$\mathcal{M}_v = \frac{v_v \left(1 + \frac{k-1}{2} \cdot \mathcal{M}_v^2\right)^{\frac{1}{2}}}{(kRT_e)^{\frac{1}{2}}}$$

Equação 13

Substituindo as Equações 10 e 11 na Equação 9, resulta:

$$\frac{dm}{dt} = \frac{\rho_e \mathcal{M}_v \sqrt{kRT_v} A_v C_c}{\left(1 + \frac{k-1}{2} \cdot \mathcal{M}_v^2\right)^{\frac{1}{k-1}}}$$

que, considerando a Equação 12, gera:

$$\frac{dm}{dt} = \frac{\rho_e \mathcal{M}_v \sqrt{kRT_e} A_v C_c}{\left(1 + \frac{k-1}{2} \cdot \mathcal{M}_v^2\right)^{\frac{1}{k-1} + \frac{1}{2}}}$$

Equação 14

Observe que, para a obtenção de dm, além dos valores de ρ_e e T_e , são necessários os conhecimentos de M_v , A_v e C_c , além de dt.

5.1.1.2. Coeficiente de correção C_c

Em princípio, o coeficiente de correção C_c é função dos números de Mach e Reynolds, além da geometria.

Aplicando a teoria da semelhança e desacoplando os efeitos dissipativos e de compressibilidade, pode-se escrever

$$C_c = A + Bf(Re)$$

uma vez que, neste caso, uma maior dependência dos efeitos dissipativos promovidos pela válvula e conduto de admissão (geometria e Re) é observada.

Por meio de resultados experimentais conhecidos da literatura, pode-se ajustar a função

$$C_c = 1 - 0,0142(\log_{10} Re)^2 \quad \text{Equação 15}$$

A Figura 17 apresenta graficamente o coeficiente de correção em função do número de Reynolds.

Figura 17 – Representação do coeficiente de correção utilizado em função do número de Reynolds
Fonte: Autor

É importante lembrar que o valor final de C_c inclui também correção da área nominal da válvula, calculada pela Equação 15, permitindo considerar a área efetiva de passagem do ar pela válvula.

5.1.1.3. Variação do volume no interior do cilindro

O volume no interior do cilindro varia com o deslocamento vertical do pistão y , medido a partir do ponto morto superior - PMS, conforme apresentado na Figura 18.

$$V = V_0 + A_p y \quad \text{Equação 16}$$

sendo:

V : volume total no interior do cilindro;

V_0 : volume da câmara de combustão;

A_p : área do pistão, sendo esta $\frac{\pi D_p^2}{4}$;

D_p : diâmetro do pistão;

y : deslocamento vertical do pistão.

O movimento do mecanismo de biela e manivela, representado na Figura 19, responsável pelo movimento alternativo do pistão, possibilita, por meio de sua geometria, que o deslocamento vertical y possa ser escrito em função do ângulo do virabrequim.

Quando o pistão está no ponto morto superior - PMS, a distância entre o eixo do virabrequim e o pino do pistão é a maior possível e é dada por $r + L$, com $y = 0$, sendo r o comprimento da manivela do virabrequim e L o comprimento da biela. Na medida em que o pistão desce, y aumenta pois as decomposições dos comprimentos r e L são alterados pelos ângulos ζ e θ . A variável y pode ser expressa pela Equação 17.

$$y = r + L - r \cos \theta - L \cos \zeta$$

$$y = r(1 - \cos \theta) + L(1 - \cos \zeta) \quad \text{Equação 17}$$

que pode ser aproximada para:

$$y = r \left[(1 - \cos \theta) + \frac{\lambda}{4} (1 - \cos 2 \theta) \right] \quad \text{Equação 18}$$

em que $\lambda = \frac{r}{L}$ é a relação manivela-biela.

Figura 18 – Representação dos volumes no interior do cilindro
Fonte: Autor

Figura 19 – Representação do sistema biela-manivela
Fonte: Autor

Assim, a velocidade do pistão pode ser determinada pela Equação 19, também em função do ângulo do virabrequim θ .

$$v_p = \omega r \left(\sin \theta + \frac{\lambda}{2} \sin 2 \theta \right) \quad \text{Equação 19}$$

sendo ω é a velocidade angular do virabrequim

5.1.1.4. Variação $d\rho$ da massa específica do ar no cilindro

Considerando os incrementos de massa no interior do cilindro, a massa específica ρ pode ser obtida conforme abaixo:

$$\frac{dm}{dt} = \frac{d}{dt}(\rho V) = \frac{d\rho}{dt} \cdot V + \rho \cdot \frac{dV}{dt}$$

Multiplicando por dt , tem-se:

$$\begin{aligned}\frac{dm}{dt} \cdot dt &= \frac{d\rho}{dt} \cdot V \cdot dt + \rho \cdot \frac{dV}{dt} \cdot dt \\ \frac{dm}{dt} \cdot dt &= d\rho \cdot V + \rho \cdot dV\end{aligned}$$

e isolando $d\rho$, tem-se

$$d\rho = \frac{\frac{dm}{dt} \cdot dt - \rho \cdot dV}{V} \quad \text{Equação 20}$$

sendo dt é o incremento diferencial de tempo que, no processamento terá valor fixo e vinculado a um incremento angular do eixo do virabrequim, considerando a rotação de funcionamento do motor sem variações.

Como $dV = A_p dy$

$$d\rho = \frac{\frac{dm}{dt} \cdot dt - \rho A_p dy}{V} \quad \text{Equação 21}$$

5.1.1.5. Obtenção do número de Reynolds

O número de Reynolds Re , necessário para o cálculo do valor instantâneo de C_c da Equação 15 é obtido pela Equação 22, conforme definição.

$$Re = \frac{V_v D_v}{\nu} \quad \text{Equação 22}$$

sendo:

D_v : diâmetro da válvula

ν : viscosidade cinemática do ar

Observar que D_v é o diâmetro da válvula, não coincidente com o diâmetro médio da área da seção de escoamento. Mas, como os valores obtidos para o número de

Reynolds são elevados, o erro cometido na avaliação de C_c não fica comprometido significativamente.

5.1.1.6. Obtenção do número de Mach $\mathcal{M}_v'$ sucessivo

O número de Mach $\mathcal{M}_v'$, corresponde àquele que se tem num instante posterior e sucessivo, é obtido utilizando dados do passo anterior do processamento.

Pela equação da continuidade, a vazão em massa de ar na sessão do pistão $\dot{m}_p$ é igual a vazão em massa de ar na sessão das válvulas $\dot{m}_v$.

Logo,

$$\rho v_p A_p = \rho_v v_v A_v C_c \quad \text{Equação 23}$$

sendo ρ é a massa específica do ar dentro do cilindro e

$$\mathcal{M}_v' = \frac{v_v}{c} \quad \text{ou} \quad v_v = \mathcal{M}_v' c \quad \text{Equação 24}$$

E substituindo a Equação 24 na Equação 23, tem-se:

$$\rho V_p A_p = \rho_v \mathcal{M}_v' c A_v C_c$$

Isolando $\mathcal{M}_v'$, obtém-se:

$$\mathcal{M}_v' = \frac{\rho V_p A_p}{\rho_v c A_v C_c} \quad \text{Equação 25}$$

Substituindo a Equação 10 na Equação 25, tem-se:

$$\mathcal{M}_v' = \frac{\rho V_p A_p}{\rho_e c A_v C_c} \left(1 + \frac{k-1}{2} \mathcal{M}_v^2 \right)^{\frac{1}{k-1}} \quad \text{Equação 26}$$

5.1.2 Dados utilizados para validação do modelo

Para a validação do modelo desenvolvido para a obtenção do consumo de ar, foram utilizadas as especificações de um motor real para o qual se tinha resultados de algumas de suas condições de funcionamento. Estes dados estão listados na Tabela 3.

Tabela 03 - Especificações e condições de funcionamento do motor utilizado no modelo matemático

Dado	símbolo	valor	unidade
Diâmetro do pistão	D_p	0,130	m
Raio do virabrequim	r	0,080	m
Comprimento da biela	L	0,255	m
Diâmetro da válvula de admissão	D_v	0,044	m
Quantidade de válvulas de admissão	Z_v	2	-
Ângulo da sede de válvula	σ	45	°
Pressão do ar na entrada do cabeçote	p_e	$2,30 \times 10^5$	Pa
Volume da câmara de combustão	V_0	$1,25 \times 10^{-4}$	m^3
Temperatura do ar na entrada do cabeçote	T_e	309	K
Rotação em análise	n	1200	rpm

Fonte: Autor

5.1.3 Procedimento numérico

Buscando avaliar o ciclo de admissão do motor em questão, ou seja, a movimentação do pistão do ponto morto superior ao ponto morto inferior, foi estabelecido que o intervalo angular do virabrequim seria de 180° e este intervalo seria discretizado de forma que os passos fossem $d\theta = 0,5^\circ = 0,5^\circ \frac{\pi}{180} \frac{rad}{^\circ} = 8,73 \times 10^{-3} rad$.

O incremento de tempo dt correspondente a $d\theta = 0,5^\circ$, para a rotação de 1200 rpm é:

$$dt = \frac{0,5}{360} \frac{60}{1200} = 6,94 \times 10^{-5} s$$

Na condição inicial - pistão no ponto morto superior, ou seja, $\theta = 0$, temos:

$$y = 0$$

$$\mathcal{M}_v = 0$$

$$\frac{dm}{dt} = 0$$

$$V = V_0$$

$$d\rho = 0$$

$$\rho = \rho_e$$

$$c = \frac{\sqrt{kRT_e}}{\left(1 + \frac{k-1}{2} \cdot \mathcal{M}_v^2\right)^{\frac{1}{2}}} = 352,36 \text{ m/s} , \text{ utilizando a Equação 13}$$

$v_p \cong 0$ - Não foi utilizado o valor zero pois impediria que o próximo passo do modelo fosse obtido numericamente

$$v_v = 0$$

$Re \cong 0$ - Não foi utilizado o valor zero pois impediria que o próximo passo do modelo fosse obtido numericamente

$$C_c = 1, \text{ utilizando a Equação 15}$$

$$\mathcal{M}_v' = 1,4 \times 10^{-3}, \text{ utilizando a Equação 26}$$

No próximo passo do modelo, com $\theta = 0,5^\circ$, tem-se:

$$y = 4,00 \times 10^{-6} \text{ m} , \text{ utilizando a Equação 18}$$

$$\mathcal{M}_v = \mathcal{M}_v' \text{ do passo anterior} = 1,4 \times 10^{-3}$$

$$\frac{dm}{dt} = 3,42 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}}, \text{ utilizando a Equação 14 e considerando } \mathcal{M}_v \text{ deste passo}$$

$$V = 1,4 \times 10^{-4} \text{ m}^3, \text{ utilizando a Equação 16}$$

$$d\rho = 1,1 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3, \text{ utilizando a Equação 21}$$

$$\rho = \rho \text{ do passo anterior} + d\rho = 2,589 \text{ kg/m}^3$$

$$c = 352,35993 \text{ m/s} , \text{ utilizando a Equação 13}$$

$$v_p = 0,2 \text{ m/s}, \text{ utilizando a Equação 19}$$

$$v_v = \mathcal{M}_v c = 0,5 \text{ m/s}$$

$$Re = 1345, \text{ utilizando a Equação 22}$$

$$C_c = 0,86 \text{ utilizando a Equação 15}$$

$$\mathcal{M}_v' = 3,3 \times 10^{-3}, \text{ utilizando a Equação 26}$$

Utilizando este novo valor de M_v' , são calculadas as variáveis para o passo seguinte, associado ao instante $t+dt$.

Esse procedimento é repetido até que o ponto morto inferior seja atingido, ou seja, até que $\theta = 180^\circ$. Os valores obtidos estão apresentados no Apêndice A, Tabelas A1 – A18.

Inicialmente, quando $\theta = 0$, a massa de ar presente no interior do cilindro corresponde apenas ao ar contido na câmara de combustão. Quando o pistão parte do PMS, o deslocamento y aumenta e, por consequência, o volume no interior do cilindro também aumenta, conforme apresentado na Equação 18, resultando no aumento da massa acumulada m_{ac} , conforme representa a Figura 20. Nota-se que a massa acumulada começa a estabilizar na região próxima à $\theta = 180^\circ$, ou seja, no PMI, pois é nesta região que ocorre a inversão do movimento e y passa, então, a diminuir.

Figura 20 – Representação da massa acumulada no interior do cilindro em função do ângulo do virabrequim
Fonte: Autor

Além da Equação 15, para efeito de comparação, o modelo do consumo de ar foi alterado, utilizando as considerações de área de passagem dos fluidos pelas válvulas de acordo com Heywood (1988), expostas no item 4.3. A Figura 21 apresenta a comparação de massa acumulada em função do ângulo do virabrequim entre o modelo original e o modelo modificado.

Figura 21 – Representação da massa acumulada no interior do cilindro em função do ângulo do virabrequim
Fonte: Autor

A maior diferença de massa acumulada de ar em $\theta = 180^\circ$ foi de 4,8% entre os dois modelos.

Para que o modelo pudesse ser validado, foram determinadas algumas posições angulares do virabrequim, denominadas condições de estudo e mostradas na Tabela 4. Nos próximos itens deste trabalho, estas condições serão novamente citadas. Os valores atribuídos as variáveis vazão em massa e massa específica foram obtidos usando-se o modelo do consumo de ar original.

Considerou-se que a vazão de ar admitida era dividida igualmente entre dois pórticos pelo fato o motor real possuir 2 válvulas de admissão.

Tabela 4 - Condições de estudo dos modelos matemáticos

Condição	Θ (°)	y (m)	dm/dt total (kg/s)	dm/dt por duto (kg/s)	ρ (kg/m ³)
Condição 1	0,5	4,00E-06	0,0034	0,0017	2,5889
Condição 2	5,0	4,00E-04	0,0391	0,0196	2,5775
Condição 3	10,0	1,59E-03	0,0777	0,0388	2,5660
Condição 4	15,0	3,57E-03	0,1149	0,0575	2,5560
Condição 5	20,0	6,30E-03	0,1505	0,0752	2,5475
Condição 6	70,5	6,47E-02	0,3492	0,1746	2,5085

As cinco primeiras condições são relativas ao início do movimento do pistão, sendo que na condição 5, a face superior do pistão está localizada à 6,3 mm do

cabeçote. Em outras palavras, o pistão na condição 5 posiciona-se à 3,9 % do curso total de 160 mm do motor em estudo.

A condição 6 foi definida com o objetivo de comparar os resultados obtidos pelo modelamento apresentado neste trabalho com resultados obtidos por PIV - *Particle Image Velocimetry*, que é um método de avaliação de movimentação de fluidos. No PIV, uma seção de escoamento em análise recebe iluminação em dois instantes, separados por um intervalo pequeno de tempo, enquanto uma câmera fotográfica registra as posições inicial e final das partículas do fluido. A seção analisada no ensaio de PIV mais próxima do PMS foi a de $0,5 \times D_p$, ou seja, $0,5 \times 130$ mm que corresponde à 65 mm de altura em relação à face inferior do cabeçote. A condição 6 possui $\theta = 70,5^\circ$ pois este é o ângulo do modelamento que possui a posição do pistão mais próxima da altura de 65 mm. Outro fator que contribui para a escolha da seção de altura de $0,5 \times D_p$ foi o fato desta ser a região de maior velocidade do pistão.

5.2 Movimentação do ar nos pórticos de admissão

5.2.1 Modelo matemático

Os dois condutos de admissão foram divididos em seções ao longo de seus comprimentos. Analisando separadamente cada uma destas seções, o momento tursor $\vec{M}_t$ aplicado ao ar foi determinado a partir da equação do momento da quantidade de movimento, considerando o escoamento ocorrendo em regime permanente em cada passo.

Desta forma,

$$\vec{M}_t = \int_A \rho \vec{r} \wedge \vec{v} \vec{v} \cdot d\vec{A} \quad \text{Equação 27}$$

Como $\frac{dm}{dt} = \rho v A$,

$$\vec{M}_t = \frac{d}{dt} \int \vec{r} \wedge \vec{v} dm$$

e, sendo $\vec{v} = \vec{\omega} \wedge \vec{r}$, obtém-se:

$$\vec{M}_t = \frac{d}{dt} \int \vec{r} \wedge \vec{\omega} \wedge \vec{r} \, dm$$

Sendo o momento de inércia $I = \int r^2 \, dm$,

$$\vec{M}_t = I \frac{d(\vec{\omega})}{dt}$$

$$\vec{M}_t = I \vec{\omega}$$

Equação 28

Um conduto de admissão está apresentado na Figura 22, onde há uma linha de corrente central, a qual corta o centro geométrico das infinitas seções do conduto. Foi considerado que o escoamento era uniforme nas seções, conforme representado pelos diagramas de velocidade, levando em conta que o escoamento ocorre com elevados números de Reynolds. Em um dos pontos da linha de corrente central está mostrada a velocidade $\vec{V}$, tangente à linha de corrente, sendo ela a velocidade média do diagrama de velocidades relativo àquela seção. Em função das hipóteses adotadas, $\vec{V}$ é um campo de velocidades que possui as componentes $\vec{u}$, $\vec{v}$ e $\vec{w}$, mostradas (em azul), de acordo com a orientação dos eixos x , y e z (em vermelho).

Figura 22 – Representação do conduto de admissão
Fonte: Autor

A velocidade $\vec{V}$ é, então, expressa por:

$$\vec{V} = u\vec{i} + v\vec{j} + w\vec{k}$$

com módulo

$$|\vec{V}| = \sqrt{u^2 + v^2 + w^2} \quad \text{Equação 29}$$

O módulo de $\vec{V}$ também pode ser escrito conforme abaixo:

$$\begin{aligned} \frac{dm}{dt} &= \rho |\vec{V}| A \\ |\vec{V}| &= \frac{\frac{dm}{dt}}{\rho A} \end{aligned} \quad \text{Equação 30}$$

A velocidade $\vec{V}$ decomposta no plano Oxy está sendo chamada de $\vec{V}_{xy}$ e, decomposta no plano Oxz, está sendo chamada de $\vec{V}_{xz}$. O ângulo formado entre $\vec{V}_{xy}$ e $\vec{u}$ é α e o ângulo formado entre $\vec{V}_{xz}$ e $\vec{u}$ é β , conforme apresentado na Figura 23.

Figura 23 – Representação das decomposições da velocidade $\vec{V}$ e ângulos formados
Fonte: Autor

As componentes da velocidade $\vec{V}$ podem ser relacionadas conforme as expressões:

$$\tan \alpha = \frac{dy}{dx} = \frac{v}{u} \quad \text{Equação 31}$$

$$\tan \beta = \frac{dz}{dx} = \frac{w}{u} \quad \text{Equação 32}$$

Substituindo as Equações 31 e 32 na Equação 29, temos:

$$V^2 = u^2 + (u \cdot \tan \alpha)^2 + (u \cdot \tan \beta)^2$$

$$V^2 = u^2(1 + (\tan \alpha)^2 + (\tan \beta)^2)$$

$$u = \sqrt{\frac{V^2}{1 + (\tan \alpha)^2 + (\tan \beta)^2}} \quad \text{Equação 33}$$

O vetor velocidade angular pode ser escrito conforme a matriz abaixo:

$$\vec{\omega} = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ u & v & w \end{vmatrix}$$

Logo, as componentes de $\vec{\omega}$ são:

$$\omega_x = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad \text{Equação 34}$$

$$\omega_y = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} \right) \quad \text{Equação 35}$$

$$\omega_z = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad \text{Equação 36}$$

Levando em consideração que o *swirl* é o turbilhonamento do ar em torno do eixo y mostrado na Figura 22, a expressão de velocidade angular interessante para

este trabalho é a Equação 35. Portanto, para a obtenção do momento torsor mostrado na Equação 28, é necessária a determinação da aceleração angular $\dot{\omega}$.

Para viabilizar o processamento numérico, as seguintes simplificações foram feitas

$$\dot{\omega} = \frac{d\omega_y}{dt} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial_z \partial_t} - \frac{\partial^2 w}{\partial_x \partial_t} \right) = -\frac{1}{2} \frac{\partial^2 w}{\partial_x \partial_t} = -\frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right) = -\frac{1}{2} \frac{\Delta \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)}{\Delta t}$$

$$\dot{\omega} = -\frac{1}{2} V \frac{\Delta \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)}{\Delta x} \quad \text{Equação 37}$$

5.2.2 Obtenção de variáveis de entrada

O cabeçote do motor utilizado como referência possui dois condutos de admissão, que serão identificados como Conduto 1 e Conduto 2, conforme a Figura 24. O sistema de coordenadas também está representado na mesma Figura, com a origem na intersecção do plano inferior do cabeçote com a linha de centro do cilindro.

Figura 24 – Representação dos condutos de admissão do motor de referência
Fonte: Autor

Os condutos de admissão foram divididos em um número finito de seções em um função de seu comprimento e de acordo com Critério de Courant, como mostrado na Equação 38.

$$c \cdot \Delta t \leq \Delta a \quad \text{Equação 38}$$

Como o maior valor obtido na análise numérica de consumo de ar para a variável c foi de $352,36 \frac{m}{s}$, o Δt utilizado é de $6,94 \times 10^{-5} s$ e, constatando que os valores de $\mathcal{M}_v$ foram inferiores a 30% do maior valor de c , tem-se $\Delta a \geq 0,3 \cdot 352,36 \cdot 6,94 \times 10^{-5} = 7,4 \times 10^{-3} m$.

Portanto, os condutos foram divididos respeitando a condição de que o menor passo entre as seções teria que ser maior que $7,4 mm$. O Conduto 1 foi dividido em 30 seções e o Conduto 2, em 26 seções. Cada seção foi determinada pela menor área de intersecção de um plano com a geometria dos dutos.

5.2.2.1 Obtenção da área e do momento de inércia

As seções foram obtidas pela intersecção das superfícies dos condutos com um plano ortogonal à trajetória. A área de cada seção foi determinada pelo *software Rhinoceros*, versão 4.0, do ano de 2007. Para confirmação, foi gerada no *software* uma figura simples e realizada uma comparação entre o valor exibido pelo mesmo relativo à área e o valor calculado, tendo ambos o mesmo resultado.

O momento de inércia foi determinado utilizando o volume formado pela seção em análise e pela seção adjacente, em relação à um eixo ortogonal ao centro geométrico da seção em análise. Também neste caso, para confirmação, foi gerado no *software* uma figura simples e realizada uma comparação entre o valor exibido pelo mesmo relativo ao momento de inércia e o valor calculado, tendo ambos o mesmo resultado. A Figura 25 mostra as seções analisadas.

Figura 25 – Representação das seções analisadas
Fonte: Autor

5.2.3 Obtenção das velocidades angulares ω_y

Utilizando o modelo de movimentação do ar nos pórticos de admissão foram obtidas velocidades angulares ω_y para as condições de estudo deste trabalho, conforme apresentado na Tabela 5. A orientação da rotação está de acordo com a Figura 24. Os resultados numéricos para a condição 2 estão apresentados no Apêndice A, Tabelas B1 – B4.

Tabela 5 - Velocidades angulares obtidas pelo modelo de movimentação do ar nos pórticos de admissão

Condição	Θ (°)	y (m)	dm/dt total (kg/s)	dm/dt por duto (kg/s)	ρ (kg/m ³)	Conduto 1 ω_y (rad/s)	Conduto 2 ω_y (rad/s)
Condição 1	0,5	4,00E-06	0,0034	0,0017	2,5889	68,2	-55,1
Condição 2	5,0	4,00E-04	0,0391	0,0196	2,5775	788,0	-636,4
Condição 3	10,0	1,59E-03	0,0777	0,0388	2,5660	1571,1	-1268,8
Condição 4	15,0	3,57E-03	0,1149	0,0575	2,5560	2334,0	-1884,9
Condição 5	20,0	6,30E-03	0,1505	0,0752	2,5475	3066,6	-2476,6
Condição 6	70,5	6,47E-02	0,3492	0,1746	2,5085	7227,1	-5836,6

É importante notar que as velocidades angulares possuem sinais contrários e que suas amplitudes estão crescentes de acordo com as condições. O Conduto 1 apresentou amplitudes maiores de velocidades angulares em relação ao Conduto 2 para mesmas condições de estudo. Para a visualização das amplitudes foi ajustada uma linha de tendência polinomial de grau 2 para os valores de ω_y de cada um dos condutos, apresentadas na Figura 26.

Figura 26 – Representação das velocidades angulares em função do ângulo do virabrequim
Fonte: Autor

5.3 Movimentação do ar no interior do cilindro

5.2.4 Equacionamento

No modelo matemático descrito no item 5.2, a velocidade $\vec{V}$ em análise era referente às seções de cada conduto de admissão. No modelo de movimentação de ar no interior do cilindro, a velocidade relevante é aquela relacionada à seção da sede de válvula de cada conduto e será denominada $\vec{V}_{sede}$. A determinação desta área foi apresentada no item 5.1.3. Pode-se afirmar que:

$$|\vec{V}_{sede}| = \frac{\frac{dm}{dt}}{\rho A_{sede}} \quad \text{Equação 39}$$

A Figura 27 apresenta as velocidades envolvidas no modelo matemático em questão.

Figura 27 – Representação das velocidades na sede de válvula
Fonte: Autor

A velocidade $\vec{V}_{sede}$ forma um ângulo de 45° com a face inferior do cabeçote. Sendo $\vec{V}_{sede_r}$ a velocidade radial do ar na seção da válvula, $\vec{V}_{sede_t}$ a velocidade tangencial do ar na seção da válvula e $\vec{V}_{sede_y}$ a velocidade vertical do ar na seção da válvula, paralela ao eixo y, pode ser escrito que:

$$\vec{V}_{sede_r} = \vec{V}_{sede} \cdot \cos 45^\circ = \vec{V}_{sede} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \quad \text{Equação 40}$$

$$\vec{V}_{sede_y} = \vec{V}_{sede} \cdot \sin 45^\circ = \vec{V}_{sede} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \quad \text{Equação 41}$$

$$\vec{V}_{sede_t} = \omega_y \cdot r_v \quad \text{Equação 42}$$

Consideremos, num primeiro momento, uma massa infinitesimal de ar que escoo pela sede da válvula de admissão de um dos dutos de admissão, com as velocidades determinadas pelas Equações 39, 40, 41 e 42, à uma distância r_v do centro da válvula. Após um intervalo de tempo dt_{mov} , esta massa infinitesimal ocupará uma posição no espaço diferente da posição inicial. O novo raio r_v' é dado por:

$$r_v' = r_v + \vec{V}_{sede_r} \cdot dt_{mov} \quad \text{Equação 43}$$

A massa infinitesimal, inicialmente em uma coordenada y também se deslocará verticalmente, de acordo com a Equação 44, ocupando uma nova posição, y' :

$$y' = y + \vec{V}_{sede_y} \cdot dt_{mov} \quad \text{Equação 44}$$

As considerações apresentadas no item 5.2.3 podem ser utilizadas tanto para o conduto 1 quanto para o conduto 2.

5.2.5 Determinação das variáveis

Utilizando as Equações 39, 40, 41, 42, 43 e 44, detalhadas no item 5.2.4, é possível determinar as variáveis de saída do modelo em questão. Estas variáveis foram obtidas para as seis condições que estão sendo avaliadas neste trabalho e estão apresentadas nas tabelas numeradas de 6 a 11. Estas tabelas mostram os valores das variáveis das três primeiras (1, 2 e 3) e das três últimas linhas (18, 19 e 20) de processamento cada condição. Não foram aqui expostas as 20 linhas de cada condição pois as grandezas em análise são lineares. As áreas de escoamento na sede de válvula foram determinadas de acordo com o exposto no item 4.3.

5.2.5.1 Condição 1

Considerada a vazão em massa $\dot{m}$ de 0,0017 kg/s, a massa específica ρ de 2,5889 kg/m³ e a área de escoamento na sede de válvula de $6,40 \times 10^{-5}$ m², obtidas de processamentos anteriores, obtém-se para o conduto 1:

Tabela 6A - Variáveis de saída obtidas pelo modelo de movimentação do ar no interior do cilindro para a Condição 1 no conduto 1

Linha	V_{sede} (m/s)	$V_{sede\ r}$ (m/s)	$V_{sede\ y}$ (m/s)	r_v (m)	ω_y (rad/s)	$V_{sede\ t}$ (m/s)	y (m)
1	10,267	7,2598	7,2598	0,0220000	68,2	1,500400	-4,318E-06
2	10,267	7,2598	7,2598	0,0220003	68,2	1,500422	-4,633E-06
3	10,267	7,2598	7,2598	0,0220006	68,2	1,500443	-4,949E-06
18	10,267	7,2598	7,2598	0,0220054	68,2	1,500766	-9,686E-06
19	10,267	7,2598	7,2598	0,0220057	68,2	1,500788	-1,000E-05
20	10,267	7,2598	7,2598	0,0220060	68,2	1,500809	-1,032E-05

Fonte: Autor

Para o conduto 2, obtém-se:

Tabela 6B - Variáveis de saída obtidas pelo modelo de movimentação do ar no interior do cilindro para a Condição 1 no conduto 2

Linha	V_{sede} (m/s)	$V_{sede\ r}$ (m/s)	$V_{sede\ y}$ (m/s)	r_v (m)	ω_y (rad/s)	$V_{sede\ t}$ (m/s)	y (m)
1	10,267	7,2598	7,2598	0,0220000	-55,1	1,212200	-4,318E-06
2	10,267	7,2598	7,2598	0,0220003	-55,1	1,212217	-4,633E-06
3	10,267	7,2598	7,2598	0,0220006	-55,1	1,212235	-4,949E-06
18	10,267	7,2598	7,2598	0,0220054	-55,1	1,212496	-9,686E-06
19	10,267	7,2598	7,2598	0,0220057	-55,1	1,212513	-1,000E-05
20	10,267	7,2598	7,2598	0,0220060	-55,1	1,212531	-1,032E-05

Fonte: Autor

5.2.5.2 Condição 2

Considerada a vazão em massa $\dot{m}$ de 0,0196 kg/s, massa específica ρ de 2,5775 kg/m³, área de escoamento na sede de válvula de $9,55 \times 10^{-5}$, obtém-se, para o conduto 1:

Tabela 7A - Variáveis de saída obtidas pelo modelo de movimentação do ar no interior do cilindro para a Condição 2 no conduto 1

Linha	V_{sede} (m/s)	$V_{\text{sede r}}$ (m/s)	$V_{\text{sede y}}$ (m/s)	r_v (m)	ω_y (rad/s)	$V_{\text{sede t}}$ (m/s)	y (m)
1	79,485	56,204	56,204	0,0220000	788,0	17,33600	-4,020E-04
2	79,485	56,204	56,204	0,0220022	788,0	17,33774	-4,042E-04
3	79,485	56,204	56,204	0,0220044	788,0	17,33948	-4,064E-04
18	79,485	56,204	56,204	0,0220375	788,0	17,36554	-4,395E-04
19	79,485	56,204	56,204	0,0220397	788,0	17,36728	-4,417E-04
20	79,485	56,204	56,204	0,0220419	788,0	17,36902	-4,439E-04

Fonte: Autor

Para o conduto 2, obtém-se:

Tabela 7B - Variáveis de saída obtidas pelo modelo de movimentação do ar no interior do cilindro para a Condição 2 no conduto 2

Linha	V_{sede} (m/s)	$V_{\text{sede r}}$ (m/s)	$V_{\text{sede y}}$ (m/s)	r_v (m)	ω_y (rad/s)	$V_{\text{sede t}}$ (m/s)	y (m)
1	79,485	56,204	56,204	0,0220000	-636,4	14,00080	-4,020E-04
2	79,485	56,204	56,204	0,0220022	-636,4	14,00220	-4,042E-04
3	79,485	56,204	56,204	0,0220044	-636,4	14,00361	-4,064E-04
18	79,485	56,204	56,204	0,0220375	-636,4	14,02466	-4,395E-04
19	79,485	56,204	56,204	0,0220397	-636,4	14,02606	-4,417E-04
20	79,485	56,204	56,204	0,0220419	-636,4	14,02747	-4,439E-04

Fonte: Autor

5.2.5.3 Condição 3

Considerada a vazão em massa $\dot{m}$ de 0,0388 kg/s, massa específica ρ de 2,5660 kg/m³, área de escoamento na sede de válvula de $1,40 \times 10^{-4}$ m², obtidas de processamentos anteriores, obtém-se, para o conduto 1:

Tabela 8A - Variáveis de saída obtidas pelo modelo de movimentação do ar no interior do cilindro para a Condição 3 no conduto 1

Linha	V_{sede} (m/s)	$V_{\text{sede } r}$ (m/s)	$V_{\text{sede } y}$ (m/s)	r_v (m)	ω_v (rad/s)	$V_{\text{sede } t}$ (m/s)	y (m)
1	108,38	76,639	76,639	0,0220000	1571,1	34,56420	-1,598E-03
2	108,38	76,639	76,639	0,0220043	1571,1	34,57092	-1,603E-03
3	108,38	76,639	76,639	0,0220086	1571,1	34,57765	-1,607E-03
18	108,38	76,639	76,639	0,0220728	1571,1	34,67851	-1,671E-03
19	108,38	76,639	76,639	0,0220770	1571,1	34,68524	-1,675E-03
20	108,38	76,639	76,639	0,0220813	1571,1	34,69196	-1,680E-03

Fonte: Autor

Para o conduto 2, obtém-se:

Tabela 8B - Variáveis de saída obtidas pelo modelo de movimentação do ar no interior do cilindro para a Condição 3 no conduto 2

Linha	V_{sede} (m/s)	$V_{\text{sede } r}$ (m/s)	$V_{\text{sede } y}$ (m/s)	r_v (m)	ω_v (rad/s)	$V_{\text{sede } t}$ (m/s)	y (m)
1	108,38	76,639	76,639	0,0220000	-1268,8	27,91360	-1,598E-03
2	108,38	76,639	76,639	0,0220022	-1268,8	27,91903	-1,603E-03
3	108,38	76,639	76,639	0,0220044	-1268,8	27,92446	-1,607E-03
18	108,38	76,639	76,639	0,0220375	-1268,8	28,00592	-1,671E-03
19	108,38	76,639	76,639	0,0220397	-1268,8	28,01135	-1,675E-03
20	108,38	76,639	76,639	0,0220419	-1268,8	28,01678	-1,680E-03

Fonte: Autor

5.2.5.4 Condição 4

Considerada a vazão em massa $\dot{m}$ de 0,0575 kg/s, massa específica ρ de 2,5560 kg/m³, área de escoamento na sede de válvula de $1,97 \times 10^{-4}$ m², obtém-se, para o conduto 1:

Tabela 9A - Variáveis de saída obtidas pelo modelo de movimentação do ar no interior do cilindro para a Condição 4 no conduto 1

Linha	V_{sede} (m/s)	$V_{\text{sede } r}$ (m/s)	$V_{\text{sede } y}$ (m/s)	r_v (m)	ω_v (rad/s)	$V_{\text{sede } t}$ (m/s)	y (m)
1	113,89	80,535	80,535	0,0220000	2334,0	51,34800	-3,574E-03
2	113,89	80,535	80,535	0,0220063	2334,0	51,36270	-3,581E-03
3	113,89	80,535	80,535	0,0220126	2334,0	51,37740	-3,587E-03
18	113,89	80,535	80,535	0,0221071	2334,0	51,59789	-3,681E-03
19	113,89	80,535	80,535	0,0221134	2334,0	51,61258	-3,688E-03
20	113,89	80,535	80,535	0,0221197	2334,0	51,62728	-3,694E-03

Fonte: Autor

Para o conduto 2, obtém-se:

Tabela 9B - Variáveis de saída obtidas pelo modelo de movimentação do ar no interior do cilindro para a Condição 4 no conduto 2

Linha	V_{sede} (m/s)	$V_{\text{sede } r}$ (m/s)	$V_{\text{sede } y}$ (m/s)	r_v (m)	ω_v (rad/s)	$V_{\text{sede } t}$ (m/s)	y (m)
1	113,89	80,535	80,535	0,0220000	-1884,9	41,46780	-3,574E-03
2	113,89	80,535	80,535	0,0220063	-1884,9	41,47967	-3,581E-03
3	113,89	80,535	80,535	0,0220126	-1884,9	41,49154	-3,587E-03
18	113,89	80,535	80,535	0,0221071	-1884,9	41,66960	-3,681E-03
19	113,89	80,535	80,535	0,0221134	-1884,9	41,68147	-3,688E-03
20	113,89	80,535	80,535	0,0221197	-1884,9	41,69334	-3,694E-03

Fonte: Autor

5.2.5.5 Condição 5

Considerada a vazão em massa $\dot{m}$ de 0,0752 kg/s, massa específica ρ de 2,5475 kg/m³, área de escoamento na sede de válvula de $2,67 \times 10^{-4}$ m², obtém-se, para o conduto 1:

Tabela 10A - Variáveis de saída obtidas pelo modelo de movimentação do ar no interior do cilindro para a Condição 5 no conduto 1

Linha	V_{sede} (m/s)	$V_{\text{sede } r}$ (m/s)	$V_{\text{sede } y}$ (m/s)	r_v (m)	ω_y (rad/s)	$V_{\text{sede } t}$ (m/s)	y (m)
1	110,73	78,294	78,294	0,0220000	3066,6	67,46520	-6,305E-03
2	110,73	78,294	78,294	0,0220082	3066,6	67,49048	-6,313E-03
3	110,73	78,294	78,294	0,0220165	3066,6	67,51576	-6,322E-03
18	110,73	78,294	78,294	0,0221402	3066,6	67,89500	-6,445E-03
19	110,73	78,294	78,294	0,0221484	3066,6	67,92028	-6,453E-03
20	110,73	78,294	78,294	0,0221566	3066,6	67,94556	-6,462E-03

Fonte: Autor

Para o conduto 2, obtém-se:

Tabela 10B - Variáveis de saída obtidas pelo modelo de movimentação do ar no interior do cilindro para a Condição 5 no conduto 2

Linha	V_{sede} (m/s)	$V_{\text{sede } r}$ (m/s)	$V_{\text{sede } y}$ (m/s)	r_v (m)	ω_y (rad/s)	$V_{\text{sede } t}$ (m/s)	y (m)
1	110,73	78,294	78,294	0,0220000	-2476,6	54,48520	-6,305E-03
2	110,73	78,294	78,294	0,0220082	-2476,6	54,50562	-6,313E-03
3	110,73	78,294	78,294	0,0220165	-2476,6	54,52604	-6,322E-03
18	110,73	78,294	78,294	0,0221402	-2476,6	54,83231	-6,445E-03
19	110,73	78,294	78,294	0,0221484	-2476,6	54,85273	-6,453E-03
20	110,73	78,294	78,294	0,0221566	-2476,6	54,87314	-6,462E-03

Fonte: Autor

5.2.5.6 Condição 6

Considerada a vazão em massa $\dot{m}$ de 0,1746 kg/s, massa específica ρ de 2,5085 kg/m³, área de escoamento na sede de válvula de $1,25 \times 10^{-3}$, obtém-se, para o conduto 1:

Tabela 11A - Variáveis de saída obtidas pelo modelo de movimentação do ar no interior do cilindro para a Condição 6 no conduto 1

Linha	V_{sede} (m/s)	$V_{\text{sede } r}$ (m/s)	$V_{\text{sede } y}$ (m/s)	r_v (m)	ω_v (rad/s)	$V_{\text{sede } t}$ (m/s)	y (m)
1	55,90	39,525	39,525	0,0220000	7227,1	158,9962	-6,472E-02
2	55,90	39,525	39,525	0,0220192	7227,1	159,1351	-6,474E-02
3	55,90	39,525	39,525	0,0220384	7227,1	159,2740	-6,476E-02
18	55,90	39,525	39,525	0,0223268	7227,1	161,3577	-6,505E-02
19	55,90	39,525	39,525	0,0223460	7227,1	161,4966	-6,507E-02
20	55,90	39,525	39,525	0,0223652	7227,1	161,6355	-6,509E-02

Fonte: Autor

Para o conduto 2, obtém-se:

Tabela 11B - Variáveis de saída obtidas pelo modelo de movimentação do ar no interior do cilindro para a Condição 6 no conduto 2

Linha	V_{sede} (m/s)	$V_{\text{sede } r}$ (m/s)	$V_{\text{sede } y}$ (m/s)	r_v (m)	ω_v (rad/s)	$V_{\text{sede } t}$ (m/s)	y (m)
1	55,90	39,525	39,525	0,0220000	-5836,6	128,4052	-6,472E-02
2	55,90	39,525	39,525	0,0220192	-5836,6	128,5174	-6,474E-02
3	55,90	39,525	39,525	0,0220384	-5836,6	128,6296	-6,476E-02
18	55,90	39,525	39,525	0,0223268	-5836,6	130,3123	-6,505E-02
19	55,90	39,525	39,525	0,0223460	-5836,6	130,4245	-6,507E-02
20	55,90	39,525	39,525	0,0223652	-5836,6	130,5367	-6,509E-02

Fonte: Autor

Observa-se que, para uma mesma condição, os valores de V_{sede} , V_{sede_r} , V_{sede_y} , r_v e y_{mov} são os mesmos para o conduto 1 e para o conduto 2, diferentemente dos valores de ω_y e, por consequência, V_{sede_t} , relacionados de acordo com a Equação 42.

5.2.5.7 Determinação do intervalo de tempo dt_{mov}

As tabelas numeradas de 6 a 11 possuem, como variável que determina o passo entre as linhas de uma mesma tabela, o intervalo de tempo dt_{mov} . Os valores para $dt_{mov_{Cond.1}}$, $dt_{mov_{Cond.2}}$, $dt_{mov_{Cond.3}}$, $dt_{mov_{Cond.4}}$, $dt_{mov_{Cond.5}}$ e $dt_{mov_{Cond.6}}$ são calculados de forma a garantir que o próximo passo do processamento não seja atingido. A variável y_{mov} assume valores crescentes até o valor limite da vigésima linha. Conforme apresentado na Tabela 4, cada condição refere-se à uma posição do virabrequim, ou seja, um y específico. Também foi mostrado, no item 5.1.3, que o passo utilizado no modelo do consumo de ar foi de $0,5^\circ$. Considerando estas informações, o intervalo de tempo dt_{mov} foi determinado de maneira que o y da vigésima linha de cada tabela não alcançasse a coordenada y relativa ao próximo ângulo de virabrequim analisado. Por exemplo, na Condição 2, que corresponde à $5,0^\circ$ de posição angular do virabrequim, o y da vigésima linha da tabela relacionada não poderia alcançar a coordenada y da próxima posição analisada, de $5,5^\circ$. Portanto, foi determinado dt_{mov} para cada uma das condições estudadas, como desenvolvido a seguir.

$$\text{Para } \Delta y_{Cond.1} = \frac{y_{1,0^\circ} - y_{0,5^\circ}}{2} = \frac{1,601 \times 10^{-5} - 4,002 \times 10^{-6}}{2} = 6,00 \times 10^{-6} m$$

e utilizando o modelo, obtém-se $dt_{mov_{Cond.1}} = 4,35 \times 10^{-8} s$

$$\text{Para } \Delta y_{Cond.2} = \frac{y_{5,5^\circ} - y_{5,0^\circ}}{2} = \frac{4,836 \times 10^{-4} - 3,998 \times 10^{-4}}{2} = 4,19 \times 10^{-5} m$$

e utilizando o modelo, obtém-se $dt_{mov_{Cond.2}} = 3,92 \times 10^{-8} s$

$$\text{Para } \Delta y_{Cond.3} = \frac{y_{10,5^\circ} - y_{10,0^\circ}}{2} = \frac{1,757 \times 10^{-3} - 1,594 \times 10^{-3}}{2} = 8,13 \times 10^{-5} m$$

e utilizando o modelo, obtem-se $dt_{mov_{Cond.3}} = 5,58 \times 10^{-8} s$

$$\text{Para } \Delta y_{Cond.4} = \frac{y_{15,5^\circ} - y_{15,0^\circ}}{2} = \frac{3,807 \times 10^{-3} - 3,568 \times 10^{-3}}{2} = 1,20 \times 10^{-4} m$$

e utilizando o modelo, obtem-se $dt_{mov_{Cond.4}} = 7,82 \times 10^{-8} s$

$$\text{Para } \Delta y_{Cond.5} = \frac{y_{20,5^\circ} - y_{20,0^\circ}}{2} = \frac{6,610 \times 10^{-3} - 6,297 \times 10^{-3}}{2} = 1,57 \times 10^{-4} m$$

e utilizando o modelo, obtem-se $dt_{mov_{Cond.5}} = 1,05 \times 10^{-7} s$

$$\text{Para } \Delta y_{Cond.6} = \frac{y_{71,0^\circ} - y_{70,5^\circ}}{2} = \frac{6,543 \times 10^{-2} - 6,470 \times 10^{-2}}{2} = 3,65 \times 10^{-4} m$$

e utilizando o modelo, obtem-se $dt_{mov_{Cond.6}} = 4,86 \times 10^{-7} s$

5.4 Determinação de linhas de corrente no interior do cilindro

Assim como os outros três modelos apresentados anteriormente, este também abrange as seis condições de análise. A base deste modelo será a teoria de escoamento potencial plano.

5.4.1 Equacionamento

5.4.1.1 Escoamento potencial plano

Como é sabido, para a resolução de problemas que envolvem movimentos mais complexos, é possível combinar linearmente soluções básicas associadas a movimentos simples que definem as linhas de corrente. A Tabela 12 mostra um resumo das características dos escoamentos potenciais planos de interesse para a resolução do problema proposto.

Tabela 12 – Resumo das características dos escoamentos potenciais planos

Descrição do campo de escoamento	Potencial de velocidade	Função corrente	Componentes do vetor velocidade
Escoamento uniforme com um ângulo Ω em relação ao eixo horizontal	$\phi = U(x \cos \Omega + y \sin \Omega)$	$\psi = U(y \cos \Omega - x \sin \Omega)$	$u = U \cos \Omega$ $v = U \sin \Omega$
Fonte ou sorvedouro $m > 0$ fonte $m < 0$ sorvedouro	$\phi = \frac{m}{2\pi} \ln r$	$\psi = \frac{m}{2\pi} \theta$	$v_r = \frac{m}{2\pi r}$ $v_\theta = 0$
Vórtice livre $\Gamma > 0$ rotação anti-horária $\Gamma < 0$ rotação horária	$\phi = \frac{\Gamma}{2\pi} \theta$	$\psi = -\frac{\Gamma}{2\pi} \ln r$	$v_r = 0$ $v_\theta = \frac{\Gamma}{2\pi r}$
Dipolo	$\phi = \frac{k \cos \theta}{r}$	$\psi = -\frac{k \sin \theta}{r}$	$v_r = -\frac{k \cos \theta}{r^2}$ $v_\theta = -\frac{k \sin \theta}{r^2}$

Fonte: MUNSON; YOUNG; OKIISHI, 2004

Após terem sido avaliadas as soluções de escoamentos potenciais planos simples e analisado quais seriam as mais pertinentes ao problema abordado neste trabalho, estabeleceu-se que cada conduto seria representado por uma fonte associada a um vórtice livre, conforme apresenta a Figura 28. Esta Figura é a representação dos condutos visualizados por cima do cabeçote. O sentido dos

vórtices está condizente com a Tabela 5, considerando a rotação no sentido anti-horário como positiva.

Figura 28 – Representação dos escoamentos potenciais planos básicos selecionados
Fonte: Autor

Entretanto, apenas a superposição dos quatro elementos básicos não seria suficiente para representar o problema. Foi necessário inserir uma consideração adicional, com o objetivo de delimitar a região onde as linhas de corrente seriam desenhadas. A presença da parede do cilindro foi admitida como uma região onde $\psi = 0$.

O sistema de coordenadas utilizado neste modelo foi o polar, com as referências nos centros dos condutos, conforme apresenta a Figura 29. Para localizar um ponto qualquer, como o ponto 1, representado na figura, pode-se utilizar referências de índice 1 ou 2.

Figura 29 – Representação do sistema de coordenadas
Fonte: Autor

5.4.1.2 Determinação dos coeficientes de fonte e vórtice

Para que fosse possível determinar as linhas de corrente, foi necessário determinar os coeficientes de fonte e vórtice:

m_1 : coeficiente da fonte do conduto 1;

m_2 : coeficiente da fonte do conduto 2;

Γ_1 : coeficiente do vórtice do conduto 1;

Γ_2 : coeficiente do vórtice do conduto 2.

De acordo com o apresentado na Tabela 12, é possível determinar os coeficientes uma vez que são conhecidas as velocidades tangenciais v_θ e as velocidades radiais v_r . Neste trabalho, as velocidades tangenciais estão sendo

chamadas de V_{sede_t} e as velocidades radiais de V_{sede_r} . Então, utilizando as equações para fonte da Tabela 12, tem-se:

$$v_r = V_{sede_r} = \frac{m}{2 \pi r}$$

ou

$$m = V_{sede_r} 2 \pi r \quad \text{Equação 45}$$

E, utilizando as equações para vórtice da Tabela 12, tem-se:

$$v_\theta = V_{sede_t} = \frac{\Gamma}{2 \pi r}$$

ou

$$\Gamma = V_{sede_t} 2 \pi r \quad \text{Equação 46}$$

Os valores de V_{sede_r} e V_{sede_t} estão disponíveis nas Tabelas numeradas de 6 a 11. Para cada uma das 20 linhas destas tabelas foram determinados os coeficientes m e Γ e, na sequência, obtido o valor da média aritmética. A Tabela 13 apresenta os valores destes coeficientes para as seis condições de estudo.

Tabela 13 - Coeficientes de fonte e vórtice do escoamento potencial plano

Condição	Θ (°)	Conduto 1		Conduto 2	
		m_1 (m ² /s)	Γ_1 (m ² /s)	m_2 (m ² /s)	Γ_2 (m ² /s)
Condição 1	0,5	1,0037	0,2075	1,0037	0,1676
Condição 2	5,0	7,7765	2,4009	7,7765	1,9390
Condição 3	10,0	10,613	4,7955	10,613	3,8728
Condição 4	15,0	11,163	7,1365	11,163	5,7633
Condição 5	20,0	10,861	9,3923	10,861	7,5852
Condição 6	70,5	5,5088	22,345	5,5088	18,046

Fonte: Autor

5.4.1.3 Determinação da fronteira das linhas de corrente

Ao utilizar a superposição de elementos básicos do escoamento potencial plano é possível solucionar problemas que envolvam barreiras físicas. Na região da barreira física $\Psi = 0$. Um exemplo de resolução deste tipo de problema é o corpo de Rankine, constituído por uma fonte, um sorvedouro e um escoamento uniforme. A união de fonte e sorvedouro é conhecida também por dipolo.

O corpo de Rankine é utilizado para visualizar um escoamento ao redor de um corpo fechado. A Figura 30 exemplifica este tipo de superposição.

Figura 30 – Representação da superposição de dipolo e escoamento uniforme, formando o corpo de Rankine

Fonte: MUNSON; YOUNG; OKIISHI, 2004

Na análise em questão, pode-se escrever uma equação que representa a superposição dos elementos básicos do escoamento potencial plano.

$$\Psi_{total} = \Psi_{fonte_1} + \Psi_{vórtice_1} + \Psi_{fonte_2} + \Psi_{vórtice_2} - \Psi_{contorno}$$

Utilizando-se das equações da Tabela 12, pode ser escrito que:

$$\Psi_{total} = \frac{m_1}{2\pi} \theta_1 + \frac{m_2}{2\pi} \theta_2 - \frac{\Gamma_1}{2\pi} \ln r_1 - \frac{\Gamma_2}{2\pi} \ln r_2 - \Psi_{contorno}$$

$\Psi_{contorno}$ foi determinado fixando o valor de θ_2 , utilizando os valores dos coeficientes de fonte e vórtice de acordo com a Tabela 13, para as seis condições em estudo, observando que Ψ_{total} deve ser nulo nas paredes do cilindro.

A Figura 31 apresenta as variáveis relevantes para a determinação de r_2 máximo e mostra dados utilizados para o exemplo de cálculo feito a seguir. As cotas com dimensões foram obtidas no desenho do cabeçote analisado.

Figura 31 – Variáveis relevantes para a determinação de r_2 máximo
Fonte: Autor

Exemplo de cálculo

Pela Lei dos Cossenos, temos que:

$$65^2 = 40,536^2 + r_2^2 - 2 \cdot 40,536 \cdot r_2 \cdot \cos \varepsilon$$

ou

$$r_2^2 - 81,072 \cdot r_2 \cdot \cos \varepsilon + 2581,83 = 0$$

Então, a solução desta equação de segunda grau é:

$$r_2 = \frac{81,072 \cdot \cos \varepsilon \pm \sqrt{(-81,072 \cdot \cos \varepsilon)^2 - 4 \cdot 1 \cdot 2581,83}}{2 \cdot 1}$$

Sendo que ε assume valores conforme abaixo:

Para $0 \leq \theta_2 < 46,73^\circ$, $\varepsilon = 46,73^\circ - \theta_2$;

Para $46,73^\circ \leq \theta_2 < 180 + 46,73^\circ$, $\varepsilon = \theta_2 - 46,73^\circ$;

Para $180 + 46,73^\circ \leq \theta_2 < 360^\circ$, $\varepsilon = 360^\circ - \theta_2 + 46,73^\circ$.

Uma vez determinado r_2 , é necessário determinar r_1 , que também estará com o comprimento máximo, ou seja, quando se atinge a parede do cilindro e θ_1 correspondente.

De acordo com a Figura 31, pode-se afirmar que:

$$r_2 \cdot \sin \theta_2 = r_1 \cdot \sin \theta_1$$

ou

$$r_1 = \frac{r_2 \cdot \sin \theta_2}{\sin \theta_1} \quad \text{Equação 47}$$

Também se pode afirmar que:

$$r_2 \cdot \cos \theta_2 - r_1 \cdot \cos \theta_1 = 55,56$$

Utilizando a Equação 47, temos:

$$r_2 \cdot \cos \theta_2 - \frac{r_2 \cdot \sin \theta_2}{\sin \theta_1} \cdot \cos \theta_1 = 55,56$$

ou

$$r_2 \cdot \cos \theta_2 - \frac{r_2 \cdot \sin \theta_2}{\tan \theta_1} = 55,56$$

Colocando r_2 em evidência, tem-se:

$$r_2 \left(\cos \theta_2 - \frac{\sin \theta_2}{\tan \theta_1} \right) = 55,56$$

ou

$$\cos \theta_2 - \frac{\sin \theta_2}{\tan \theta_1} = \frac{55,56}{r_2}$$

Como $\cos \theta_2 = \frac{\sin \theta_2}{\tan \theta_2}$, pode ser reescrito como

$$\frac{\sin \theta_2}{\tan \theta_2} - \frac{\sin \theta_2}{\tan \theta_1} = \frac{55,56}{r_2}$$

ou

$$\frac{\sin \theta_2}{\tan \theta_1} = \cos \theta_2 - \frac{55,56}{r_2}$$

Isolando $\tan \theta_1$, obtém-se:

$$\tan \theta_1 = \frac{\sin \theta_2}{\cos \theta_2 - \frac{55,56}{r_2}}$$

Finalmente, é possível obter o ângulo θ_1 :

$$\theta_1 = \arctan \left(\frac{\sin \theta_2}{\cos \theta_2 - \frac{55,56}{r_2}} \right) \quad \text{Equação 48}$$

Inserindo o valor de θ_1 na Equação 47, é possível determinar o raio r_1 .

Conforme foi demonstrado, é possível determinar, para cada uma das seis condições de estudo da Tabela 13, com $\theta_2 = 0, 5^\circ, 10^\circ, \dots, 350^\circ, 355^\circ$, os valores de r_2 máximo, θ_1 e r_1 máximo. Com estes valores é possível obter, também, o valor de $\Psi_{contorno}$.

5.4.1.4 Determinação das linhas de corrente

Uma linha de corrente se caracteriza por possuir um valor Ψ constante.

Para determinar uma linha de corrente, é necessário, então, agrupar pontos que possuam um mesmo valor de Ψ e que façam parte de uma mesma condição de estudo.

Para tanto, tomou-se um valor de θ_2 fixo e foram calculados os valores de Ψ para $r_2 = 1, 5, 10, 15, \dots, r_2$ máximo. A Figura 32 mostra valores de Ψ_{total} em função de raios r_2 para a Condição 1 e $\theta_2 = 5^\circ$.

Figura 32 – Ψ x r_2 referentes à Condição 1 e $\theta_2 = 5^\circ$
Fonte: Autor

Desta forma, foram agrupados pontos de mesmo valor de Ψ , em coordenadas polares, para as seis condições de estudo. As Figuras numeradas de 33 a 38 apresentam as linhas de corrente geradas desta maneira. Os resultados numéricos para a condição 2 estão apresentados no Apêndice A, Tabelas C1 – C30. Nestas Tabelas estão mostrados os valores de $r_2 = 1, 5, 10, 15, \dots, r_2$ máximo. Para determinar as linhas de corrente, ajustou-se os valores de r_2 de maneira a obter os valores de Ψ mostrados nas Figuras 33 a 38.

Figura 33 – Linhas de corrente da Condição 1 (0,5° de virabrequim)
Fonte: Autor

Figura 34 – Linhas de corrente da Condição 2 (5,0° de virabrequim)
Fonte: Autor

Figura 35 – Linhas de corrente da Condição 3 (10° de virabrequim)
Fonte: Autor

Figura 36 – Linhas de corrente da Condição 4 (15° de virabrequim)
Fonte: Autor

Figura 37 – Linhas de corrente da Condição 5 (20° de virabrequim)
Fonte: Autor

Figura 38 – Linhas de corrente da Condição 6 (70,5° de virabrequim)
Fonte: Autor

6 RESULTADOS OBTIDOS

Em função de características geométricas dos condutos de admissão como seção transversal e formato da linha de corrente central, o ar adquire velocidades angulares distintas, com sentido anti-horário no conduto 1 e sentido horário no conduto 2, na região das válvulas. Em ambos os casos, a intensidade destas velocidades angulares é crescente, considerando a sequência das seis condições estudadas, conforme apresentado na Tabela 5.

Analisando as tabelas numeradas de 5 a 11 é possível observar que a vazão em massa e a velocidade tangencial do ar na seção da sede de válvula são crescentes. O ar que está passando pela válvula acompanha a inclinação da sede e da válvula (45°), fazendo com que o raio de rotação aumente a cada passo do processamento. Como a velocidade tangencial depende da velocidade angular e do raio, ela também aumenta a cada passo do processamento. O módulo da velocidade angular e, por consequência, o módulo da velocidade tangencial do conduto 1 é maior do que o do conduto 2.

O módulo da velocidade total do ar na sede da válvula do conduto 1 é igual ao da velocidade total na sede de válvula do conduto 2 pois foi considerado que a vazão de ar admitida é dividida igualmente entre os dois condutos e as válvulas de admissão possuem o mesmo diâmetro. O módulo da velocidade radial na sede da válvula é o mesmo para os dois condutos pois ela corresponde à componente horizontal da velocidade total. Obviamente, seu módulo é proporcional ao módulo da velocidade total.

Ao analisar as linhas de corrente pode-se observar que:

- nas condições 1, 2 e 3, a movimentação de ar ocorre no sentido horário tanto na região central e na metade do cilindro onde não há condutos de admissão, bem como na região entre a linha central dos condutos e a parede do cilindro. Há, entretanto, uma movimentação de ar com vazão significativamente maior nesta segunda região .

- entre as condições 1 e 3 é possível observar um significativo aumento de vazão na região entre a linha central dos condutos e a parede do cilindro, bem como na região mais próxima do centro do cilindro. Isso mostra uma tendência de centralização das linhas de corrente. Na condição 1, as linhas de corrente mais

próximas ao centro do cilindro possui os valores $\Psi = 0,20$ e $\Psi = 0,15$, resultando em um $\Delta\Psi = 0,05$. Já na condição 3, as linhas de corrente mais próximas ao centro do cilindro são as de $\Psi = 3,00$ e $\Psi = 2,00$, resultando em um $\Delta\Psi = 1,00$. Lembrando que a vazão em massa é proporcional à variação $\Delta\Psi$, a condição 3 possui uma maior movimentação de ar na região central do cilindro comparativamente à condição 1. É possível observar que as linhas de corrente mais importantes (de maiores valores) partem do terceiro quadrante do conduto 1 e do primeiro quadrante do conduto 2.

- comparando as condições 4 e 5 é possível observar como as linhas de corrente no segundo quadrante do conduto 2 ficam ligeiramente mais próximas, também representando um aumento de vazão em massa nesta região. Este fato também pode ser observado região onde não há condutos de admissão para as linhas de corrente com $\Psi = 0,10$ e $\Psi = 0,30$.

Finalmente, na Condição 6, há uma mudança significativa no formato da movimentação de ar. As vazões se intensificam em torno dos centros dos condutos, devido à maior velocidade angular e vazão em massa, comparativamente às outras condições e observa-se uma tendência de orientação radial do centro do cilindro, para as paredes do cilindro, opostas às válvulas.

Observa-se que, coerentemente, as grandes variações de Ψ , que resultam em grandes vazões em massa, tendem gradualmente a se concentrarem na região central do cilindro onde o bico injetor é instalado no cabeçote, como evidenciado nas sequência de figuras (Figuras 32 a 38).

A Figura 39 corresponde ao resultado de um ensaio do tipo PIV, realizado por Fernandes (2014) em um cabeçote equivalente ao analisado neste trabalho. A unidades das velocidades é m/s.

As principais diferenças podem ser explicadas da seguinte forma:

- as vazões pelos condutos 1 e 2 foram admitidas iguais no processamento; isto pode não ocorrer efetivamente na prática pelo fato do conduto 2 aparentemente incluir uma maior singularidade ao escoamento.

- efeitos térmicos, principalmente devidos à temperatura da parede do cilindro ser mais elevada que a do fluxo de ar de admissão, podem introduzir alterações nos fluxos de massa por diferenças de massas específicas dentro do cilindro; no processamento esta massa específica foi considerada constante mas pode ser

alterada pela distribuição da temperatura, além das diferenças de pressão que, inclusive, podem ser determinadas com o uso da equação de Bernoulli.

- não está se levando em conta as alterações de velocidades resultantes da componente vertical das velocidades de entrada no cilindro; elas potencializam distribuições de massa específica diferentes com o movimento das partículas da seção de entrada, relativamente à seção tomada como referência para o resultado fornecido com o uso do PIV.

De qualquer forma, observa-se, em ambos os casos, a criação de vorticidade intensa na região central do cilindro, com o sentido predominantemente horário no restante da seção.

Figura 39 – Comparação entre o ensaio de PIV e a Condição 6
Fonte: Autor

É possível identificar na Figura 39 que as velocidades angulares nas regiões próximas aos condutos possuem os mesmos sentidos quando são comparadas as duas imagens. Também é visível a composição entre as vazões na região central do cilindro. Vale observar que as linhas de corrente mostradas neste trabalho são referentes à região do PMS enquanto que o resultado deste ensaio de PIV mostra os vetores velocidade na região $0,5 \times D_p$, ou seja, à 65 mm do PMS.

Outra análise que pode ser realizada é a determinação do momento tissor gerado pela movimentação de ar no interior de cilindro. Sabe-se que:

$$Mt = \int \rho r v^2 dA = \frac{dm}{dt} v_t r$$

logo

$$\frac{M}{\frac{dm}{dt}} = v_t r \quad \text{Equação 49}$$

sendo v_t a velocidade tangencial perpendicular ao raio r .

De acordo com a Tabela 12, sabe-se que, para um vórtice livre, tem-se:

$$\Psi = -\frac{\Gamma}{2\pi} \ln r$$

Isolando Γ , tem-se:

$$\Gamma = -\frac{\Psi 2\pi}{\ln r}$$

e, de acordo com a a mesma tabela, sabe-se que:

$$v_\theta = \frac{\Gamma}{2\pi r}$$

sendo v_θ tangente à linha de corrente.

Isolando Γ , tem-se:

$$\Gamma = v_\theta 2\pi r$$

Finalmente, igualando Γ , vem:

$$v_\theta = -\frac{\Psi}{(\ln r) r} \quad \text{Equação 50}$$

Com isso, foram avaliadas quais eram as linhas de corrente comuns a todas as condições de estudo. A condição 1 não foi utilizada especificamente nesta comparação devido aos valores pequenos de Ψ e correspondentes pequenos

valores de vazão em massa. As linhas de corrente selecionadas foram $\Psi = 0,1$, $\Psi = 0,3$,

$\Psi = -0,5$ e $\Psi = -2,0$. Foram obtidos, para cada uma destas linhas de corrente em suas respectivas condições, os raios em relação ao centro do cilindro e, utilizando a Equação 50, foram determinados os valores de v_θ . Foi obtido, também, o valor de $\frac{Mt}{dm/dt}$ utilizando a Equação 49 e o próprio M_t , para as cinco condições. Estas

informações estão apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14 - Análise do momento tursor gerado pelo ar no interior do cilindro

Condição	Ψ	r (mm)	v_θ (m/s)	v_t (m/s)	$M_t/(dm/dt)$ (m ² /s)	dm/dt (kg/s)	M_t (Nm)
2	0,1	55,307	0,62	0,62	0,034	0,0391	-0,024
	0,3	40,154	2,32	2,26	0,091		
	-0,5	47,338	-3,46	-2,63	-0,125		
	-2	41,043	-15,26	-15,25	-0,626		
	Somatória:				-0,625		
3	0,1	58,114	0,60	0,60	0,035	0,0777	-0,051
	0,3	46,486	2,10	2,07	0,096		
	-0,5	52,626	-3,23	-3,01	-0,159		
	-2	42,871	-14,81	-14,73	-0,632		
	Somatória:				-0,659		
4	0,1	58,832	0,60	0,60	0,035	0,1149	-0,066
	0,3	48,108	2,06	2,02	0,097		
	-0,5	54,924	-3,14	-3,09	-0,170		
	-2	43,525	-14,66	-12,39	-0,539		
	Somatória:				-0,577		
5	0,1	59,038	0,60	0,60	0,035	0,1505	-0,091
	0,3	89,231	1,39	1,36	0,122		
	-0,5	56,35	-3,09	-3,03	-0,171		
	-2	45,105	-14,31	-13,14	-0,593		
	Somatória:				-0,606		
6	0,1	59,58	0,60	0,60	0,035	0,3492	-0,249
	0,3	48,607	2,04	1,92	0,093		
	-0,5	59,871	-2,97	-2,96	-0,177		
	-2	50,89	-13,20	-13,03	-0,663		
	Somatória:				-0,712		

Fonte: Autor

Pode-se observar que o momento tórquer gerado pelo ar no interior do cilindro é crescente em intensidade e negativo, o que significa que o ar está com rotação no sentido horário.

Uma correlação importante entre o sentido da rotação obtido de acordo com a Tabela 14 e o resultado do ensaio do tipo PIV, realizado por Fernandes (2014), conforme mostra a Figura 40, se estabelece na condição de visualização de $1 \times D_p$, ou seja, 130 mm abaixo do PMS, condição em que o pistão já se encontra bastante próximo do ponto morto inferior - PMI .

Figura 40 – Resultado gráfico de ensaio de PIV
Fonte: FERNANDES, 2014

7 CONCLUSÕES

O modelo elaborado para prever a movimentação dos fluidos em câmara de combustão de um motor diesel no início do tempo de admissão, processados de forma sequencial, forneceu informações numéricas compatíveis com o fenômeno estudado.

Apesar do equacionamento realizado ter considerado as hipóteses de fluido perfeito, a distribuição de velocidades no interior dos condutos e a vazão em massa total pelos pódicos condutos, para uma dada rotação de funcionamento de um motor real (adotando valores constantes para a pressão, a massa específica e a temperatura do ar na entrada dos condutos), forneceu resultados bastante próximos daqueles obtidos por meio de experimentação, como mostra a comparação com a adoção do método *PIV* para o estudo do mesmo fenômeno.

Estendido o uso desse modelo às etapas de compressão, poder-se-á estimar de forma simples, usando equações simples como a de Bernoulli distribuições de pressão dentro da câmara de combustão por ocasião da injeção diesel, importantes ao processo de preparação da pré-mistura e do retardamento de ignição.

Mesmo não sendo um resultado para comparação direta, pode-se também, por meio de integrações numéricas e análises estatísticas de resultados obtidos com o modelo em pauta, buscar correlações com o denominado número de swirl, muito utilizado na prática para orientação de projetistas de câmaras de combustão para se obter condições otimizadas para combustão em motores de combustão interna.

A não utilização de ambientes computacionais mais sofisticados na execução deste trabalho pode ser justificada pela intenção de se ter, antes de tudo, uma quantificação da relevância de certos dos aspectos que podem ser associados ao fenômeno. Após a obtenção de resultados que mostrasse ser possível a validação do modelo é que se passaria a incorporar, por exemplo, equações que levem em conta os efeitos dissipativos e térmicos, tornando-o mais aderente a resultados reais. A implementação computacional do modelo matemático então teria o objetivo exclusivo de tornar o processamento mais rápido.

Sugere-se como ferramental para a desenvolvimento futuro deste trabalho, o uso de ambientes computacionais mais apropriados que permitam viabilizar o processamento de uma quantidade maior informações simultâneas e que

contemplem alterações ou a inclusão de novas variáveis com o intuito de prever a progressão de seus valores no tempo.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASSHUYSEN, R.; SCHÄFER, F. **Internal combustion engine Handbook**. Warrendale: SAE International, 2004. 868 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **1º Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotres rodoviários**: relatório final. Brasília: MMA, 2011. 111 p.

BRUNETTI, F. **Motores de Combustão Interna**. São Paulo: Blucher, 2012. v. 1.

DIESEL POWER MAGAZINE. Palm Coast. **Turbocharger glossary**. Disponível em <http://www.dieselpowermag.com/tech/general/0706dp_turbocharger_glossary/photo_04.html>. Acesso em 27 fev. 2015.

FERNANDES, C. **Relatório de ensaio**. São José dos Campos: Vale soluções em energia, 25 abr. 2014 (Flow coefficient and flow field characteristic numbers, REL05809).

FOX, R. W.; PRITCHARD, P. J.; McDONALD, A. T. **Introdução à mecânica dos fluidos**. Tradução de Ricardo Nicolau Nassar Koury, Luiz Machado. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 884 p.

GARRETT, T. K.; NEWTON, K; STEEDS, W. **The motor vehicle**. 13. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001. 1214 p.

HEYWOOD, J. B. **Internal combustion engine fundamentals**. New York: McGraw-Hill, 1988. 930 p.

LIVATO, M; SOUZA, A. M. **Gestão de custos logísticos na cadeia de suprimentos: um estudo sobre o custo de transporte de cargas**. São Carlos, 12 out. 2010. Conferência proferida por ocasião do XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. São Carlos, 2010.

MUNSON, B. R.; YOUNG, D. F.; OKIISHI, T. H. **Fundamentos da mecânica dos fluidos**. Tradução de Euryale de Jesus Zerbini. São Paulo: Blucher, 2004. 572 p.

PULKRABEK, W. W. **Engineering fundamentals of the internal combustion engine**. 2. ed. New York: Pearson, 2003. 504 p.

WATSON, N.; JANOTA, M. S. **Turbocharging the internal combustion engine**. Londos: Palgrave Macmillan, 1982. 623 p.

WHITE, F. M. **Mecânica dos Fluidos**. 6. ed. Tradução de Mario Moro Fecchio. São Paulo: AMGH, 2010. 880p.

9 APÊNDICE A – Tabelas com resultados numéricos

Tabela A1- Resultados numéricos obtidos por equacionamento do consumo de ar														
Θ (°)	rad	y (m)	M_v	dm/dt (kg/s)	V (m³)	dp (kg/m³)	ρ (kg/m³)	c (m/s)	Re	C_c	Vp (m/s)	M_v'	m_{ac} (kg)	Área da válvula (m²)
0,0	0,00	0,00E+00	0,000	0,000	0,00013	0,00000	2,590	352,36	1	1,00	0,12	0,0014	3,24E-04	1,22E-04
0,5	0,01	4,00E-06	0,001	0,003	0,00013	-0,00110	2,589	352,36	1479	0,86	0,23	0,0033	3,24E-04	1,28E-04
1,0	0,02	1,60E-05	0,003	0,008	0,00013	-0,00142	2,587	352,36	3449	0,82	0,35	0,0052	3,25E-04	1,34E-04
1,5	0,03	3,60E-05	0,005	0,012	0,00013	-0,00128	2,586	352,36	5390	0,80	0,46	0,0071	3,25E-04	1,40E-04
2,0	0,03	6,40E-05	0,007	0,016	0,00013	-0,00125	2,585	352,36	7361	0,79	0,58	0,0091	3,26E-04	1,46E-04
2,5	0,04	1,00E-04	0,009	0,020	0,00013	-0,00125	2,584	352,36	9366	0,78	0,69	0,0110	3,28E-04	1,53E-04
3,0	0,05	1,44E-04	0,011	0,023	0,00013	-0,00124	2,582	352,36	11399	0,77	0,81	0,0130	3,29E-04	1,61E-04
3,5	0,06	1,96E-04	0,013	0,027	0,00013	-0,00124	2,581	352,35	13458	0,76	0,92	0,0150	3,31E-04	1,68E-04
4,0	0,07	2,56E-04	0,015	0,031	0,00013	-0,00123	2,580	352,35	15538	0,75	1,04	0,0171	3,33E-04	1,76E-04
4,5	0,08	3,24E-04	0,017	0,035	0,00013	-0,00123	2,579	352,35	17638	0,74	1,15	0,0191	3,36E-04	1,83E-04
5,0	0,09	4,00E-04	0,019	0,039	0,00013	-0,00122	2,578	352,35	19754	0,74	1,26	0,0212	3,39E-04	1,91E-04
5,5	0,10	4,84E-04	0,021	0,043	0,00013	-0,00121	2,576	352,34	21886	0,73	1,38	0,0233	3,42E-04	1,99E-04
6,0	0,10	5,75E-04	0,023	0,047	0,00013	-0,00120	2,575	352,34	24031	0,73	1,49	0,0253	3,45E-04	2,06E-04
6,5	0,11	6,75E-04	0,025	0,051	0,00013	-0,00119	2,574	352,34	26189	0,72	1,61	0,0274	3,48E-04	2,15E-04
7,0	0,12	7,83E-04	0,027	0,055	0,00014	-0,00118	2,573	352,33	28357	0,72	1,72	0,0295	3,52E-04	2,24E-04
7,5	0,13	8,98E-04	0,030	0,059	0,00014	-0,00116	2,572	352,33	30535	0,71	1,83	0,0317	3,56E-04	2,33E-04
8,0	0,14	1,02E-03	0,032	0,062	0,00014	-0,00115	2,570	352,32	32721	0,71	1,95	0,0338	3,61E-04	2,43E-04
8,5	0,15	1,15E-03	0,034	0,066	0,00014	-0,00114	2,569	352,32	34916	0,71	2,06	0,0359	3,65E-04	2,52E-04
9,0	0,16	1,29E-03	0,036	0,070	0,00014	-0,00112	2,568	352,31	37117	0,70	2,17	0,0381	3,70E-04	2,61E-04
9,5	0,17	1,44E-03	0,038	0,074	0,00014	-0,00111	2,567	352,31	39324	0,70	2,28	0,0402	3,75E-04	2,70E-04
10,0	0,17	1,59E-03	0,040	0,078	0,00015	-0,00109	2,566	352,30	41537	0,70	2,40	0,0423	3,81E-04	2,79E-04

Tabela A2 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento do consumo de ar														
Θ (°)	rad	y (m)	M_v	dm/dt (kg/s)	V (m³)	dp (kg/m³)	ρ (kg/m³)	c (m/s)	Re	C_c	Vp (m/s)	M_v'	m_{ac} (kg)	Área da válvula (m²)
10,5	0,18	1,76E-03	0,042	0,081	0,00015	-0,00108	2,565	352,30	43754	0,69	2,51	0,0445	3,86E-04	2,90E-04
11,0	0,19	1,93E-03	0,044	0,085	0,00015	-0,00106	2,564	352,29	45976	0,69	2,62	0,0466	3,92E-04	3,01E-04
11,5	0,20	2,11E-03	0,047	0,089	0,00015	-0,00105	2,563	352,28	48200	0,69	2,73	0,0488	3,98E-04	3,13E-04
12,0	0,21	2,29E-03	0,049	0,093	0,00016	-0,00103	2,562	352,28	50427	0,69	2,84	0,0510	4,05E-04	3,24E-04
12,5	0,22	2,48E-03	0,051	0,096	0,00016	-0,00101	2,561	352,27	52657	0,68	2,95	0,0531	4,11E-04	3,35E-04
13,0	0,23	2,69E-03	0,053	0,100	0,00016	-0,00100	2,560	352,26	54887	0,68	3,06	0,0553	4,18E-04	3,46E-04
13,5	0,24	2,90E-03	0,055	0,104	0,00016	-0,00098	2,559	352,25	57119	0,68	3,17	0,0574	4,26E-04	3,57E-04
14,0	0,24	3,11E-03	0,057	0,108	0,00017	-0,00096	2,558	352,24	59351	0,68	3,28	0,0596	4,33E-04	3,69E-04
14,5	0,25	3,34E-03	0,060	0,111	0,00017	-0,00095	2,557	352,23	61583	0,67	3,39	0,0618	4,41E-04	3,82E-04
15,0	0,26	3,57E-03	0,062	0,115	0,00017	-0,00093	2,556	352,23	63815	0,67	3,50	0,0639	4,49E-04	3,95E-04
15,5	0,27	3,81E-03	0,064	0,119	0,00018	-0,00092	2,555	352,22	66045	0,67	3,61	0,0661	4,57E-04	4,08E-04
16,0	0,28	4,05E-03	0,066	0,122	0,00018	-0,00090	2,554	352,21	68273	0,67	3,71	0,0682	4,66E-04	4,21E-04
16,5	0,29	4,31E-03	0,068	0,126	0,00018	-0,00089	2,553	352,20	70500	0,67	3,82	0,0704	4,74E-04	4,34E-04
17,0	0,30	4,57E-03	0,070	0,129	0,00019	-0,00087	2,552	352,19	72724	0,66	3,93	0,0725	4,83E-04	4,47E-04
17,5	0,31	4,84E-03	0,073	0,133	0,00019	-0,00085	2,552	352,17	74945	0,66	4,03	0,0747	4,92E-04	4,60E-04
18,0	0,31	5,12E-03	0,075	0,136	0,00019	-0,00084	2,551	352,16	77163	0,66	4,14	0,0768	5,02E-04	4,73E-04
18,5	0,32	5,40E-03	0,077	0,140	0,00020	-0,00082	2,550	352,15	79377	0,66	4,24	0,0790	5,12E-04	4,88E-04
19,0	0,33	5,69E-03	0,079	0,144	0,00020	-0,00081	2,549	352,14	81587	0,66	4,35	0,0811	5,22E-04	5,03E-04
19,5	0,34	5,99E-03	0,081	0,147	0,00020	-0,00080	2,548	352,13	83791	0,66	4,45	0,0833	5,32E-04	5,18E-04
20,0	0,35	6,30E-03	0,083	0,150	0,00021	-0,00078	2,547	352,12	85991	0,65	4,56	0,0854	5,42E-04	5,34E-04

Tabela A3- Resultados numéricos obtidos por equacionamento do consumo de ar														
Θ (°)	rad	y (m)	M_v	dm/dt (kg/s)	V (m³)	dp (kg/m³)	ρ (kg/m³)	c (m/s)	Re	C_c	Vp (m/s)	M_v'	m_{ac} (kg)	Área da válvula (m²)
20,5	0,36	6,61E-03	0,085	0,154	0,00021	-0,00077	2,547	352,10	88185	0,65	4,66	0,0875	5,53E-04	5,49E-04
21,0	0,37	6,93E-03	0,088	0,157	0,00022	-0,00076	2,546	352,09	90374	0,65	4,76	0,0896	5,64E-04	5,64E-04
21,5	0,38	7,26E-03	0,090	0,161	0,00022	-0,00074	2,545	352,08	92555	0,65	4,86	0,0917	5,75E-04	5,79E-04
22,0	0,38	7,59E-03	0,092	0,164	0,00023	-0,00073	2,544	352,06	94730	0,65	4,96	0,0938	5,86E-04	5,94E-04
22,5	0,39	7,93E-03	0,094	0,168	0,00023	-0,00072	2,544	352,05	96898	0,65	5,06	0,0959	5,98E-04	6,11E-04
23,0	0,40	8,28E-03	0,096	0,171	0,00024	-0,00070	2,543	352,04	99058	0,65	5,16	0,0980	6,10E-04	6,28E-04
23,5	0,41	8,64E-03	0,098	0,174	0,00024	-0,00069	2,542	352,02	101211	0,64	5,26	0,1001	6,22E-04	6,45E-04
24,0	0,42	9,00E-03	0,100	0,177	0,00024	-0,00068	2,542	352,01	103355	0,64	5,36	0,1022	6,34E-04	6,61E-04
24,5	0,43	9,37E-03	0,102	0,181	0,00025	-0,00067	2,541	351,99	105490	0,64	5,46	0,1042	6,47E-04	6,78E-04
25,0	0,44	9,75E-03	0,104	0,184	0,00025	-0,00066	2,540	351,98	107616	0,64	5,55	0,1063	6,60E-04	6,95E-04
25,5	0,45	1,01E-02	0,106	0,187	0,00026	-0,00065	2,540	351,96	109733	0,64	5,65	0,1083	6,73E-04	7,12E-04
26,0	0,45	1,05E-02	0,108	0,190	0,00026	-0,00064	2,539	351,95	111839	0,64	5,74	0,1104	6,86E-04	7,30E-04
26,5	0,46	1,09E-02	0,110	0,194	0,00027	-0,00063	2,538	351,93	113936	0,64	5,84	0,1124	6,99E-04	7,48E-04
27,0	0,47	1,13E-02	0,112	0,197	0,00028	-0,00062	2,538	351,92	116022	0,64	5,93	0,1144	7,13E-04	7,66E-04
27,5	0,48	1,17E-02	0,114	0,200	0,00028	-0,00061	2,537	351,90	118097	0,63	6,03	0,1164	7,27E-04	7,84E-04
28,0	0,49	1,21E-02	0,116	0,203	0,00029	-0,00060	2,537	351,88	120160	0,63	6,12	0,1184	7,41E-04	8,03E-04
28,5	0,50	1,26E-02	0,118	0,206	0,00029	-0,00059	2,536	351,87	122212	0,63	6,21	0,1204	7,55E-04	8,21E-04
29,0	0,51	1,30E-02	0,120	0,209	0,00030	-0,00058	2,535	351,85	124252	0,63	6,30	0,1224	7,70E-04	8,40E-04
29,5	0,51	1,34E-02	0,122	0,212	0,00030	-0,00057	2,535	351,83	126279	0,63	6,39	0,1243	7,85E-04	8,58E-04
30,0	0,52	1,39E-02	0,124	0,215	0,00031	-0,00056	2,534	351,82	128294	0,63	6,48	0,1263	8,00E-04	8,77E-04

Tabela A4 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento do consumo de ar														
Θ (°)	rad	y (m)	M_v	dm/dt (kg/s)	V (m³)	dp (kg/m³)	ρ (kg/m³)	c (m/s)	Re	C_c	Vp (m/s)	M_v'	m_{ac} (kg)	Área da válvula (m²)
30,5	0,53	1,43E-02	0,126	0,218	0,00032	-0,00055	2,534	351,80	130295	0,63	6,57	0,1282	8,15E-04	8,97E-04
31,0	0,54	1,48E-02	0,128	0,221	0,00032	-0,00054	2,533	351,78	132283	0,63	6,66	0,1301	8,30E-04	9,17E-04
31,5	0,55	1,52E-02	0,130	0,224	0,00033	-0,00054	2,533	351,76	134257	0,63	6,74	0,1320	8,46E-04	9,37E-04
32,0	0,56	1,57E-02	0,132	0,227	0,00033	-0,00053	2,532	351,75	136217	0,63	6,83	0,1339	8,61E-04	9,57E-04
32,5	0,57	1,62E-02	0,134	0,230	0,00034	-0,00052	2,532	351,73	138163	0,62	6,92	0,1358	8,77E-04	9,77E-04
33,0	0,58	1,67E-02	0,136	0,232	0,00035	-0,00051	2,531	351,71	140094	0,62	7,00	0,1377	8,93E-04	9,98E-04
33,5	0,58	1,71E-02	0,138	0,235	0,00035	-0,00050	2,531	351,69	142009	0,62	7,08	0,1395	9,10E-04	1,02E-03
34,0	0,59	1,76E-02	0,140	0,238	0,00036	-0,00050	2,530	351,68	143909	0,62	7,17	0,1413	9,26E-04	1,04E-03
34,5	0,60	1,81E-02	0,141	0,241	0,00037	-0,00049	2,530	351,66	145794	0,62	7,25	0,1432	9,43E-04	1,06E-03
35,0	0,61	1,86E-02	0,143	0,243	0,00037	-0,00048	2,529	351,64	147662	0,62	7,33	0,1450	9,60E-04	1,08E-03
35,5	0,62	1,91E-02	0,145	0,246	0,00038	-0,00048	2,529	351,62	149514	0,62	7,41	0,1467	9,77E-04	1,10E-03
36,0	0,63	1,97E-02	0,147	0,249	0,00039	-0,00047	2,528	351,60	151349	0,62	7,49	0,1485	9,94E-04	1,12E-03
36,5	0,64	2,02E-02	0,149	0,251	0,00039	-0,00046	2,528	351,59	153167	0,62	7,57	0,1503	1,01E-03	1,14E-03
37,0	0,65	2,07E-02	0,150	0,254	0,00040	-0,00046	2,527	351,57	154968	0,62	7,64	0,1520	1,03E-03	1,16E-03
37,5	0,65	2,12E-02	0,152	0,257	0,00041	-0,00045	2,527	351,55	156751	0,62	7,72	0,1537	1,05E-03	1,19E-03
38,0	0,66	2,18E-02	0,154	0,259	0,00041	-0,00044	2,526	351,53	158516	0,62	7,79	0,1554	1,07E-03	1,21E-03
38,5	0,67	2,23E-02	0,155	0,262	0,00042	-0,00044	2,526	351,51	160263	0,62	7,87	0,1571	1,08E-03	1,23E-03
39,0	0,68	2,28E-02	0,157	0,264	0,00043	-0,00043	2,526	351,49	161992	0,61	7,94	0,1588	1,10E-03	1,25E-03
39,5	0,69	2,34E-02	0,159	0,266	0,00044	-0,00043	2,525	351,48	163701	0,61	8,01	0,1604	1,12E-03	1,27E-03
40,0	0,70	2,40E-02	0,160	0,269	0,00044	-0,00042	2,525	351,46	165392	0,61	8,09	0,1621	1,14E-03	1,29E-03

Tabela A5 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento do consumo de ar														
Θ (°)	rad	y (m)	M_v	dm/dt (kg/s)	V (m ³)	dp (kg/m ³)	ρ (kg/m ³)	c (m/s)	Re	C_c	Vp (m/s)	M_v'	m_{ac} (kg)	Área da válvula (m ²)
40,5	0,71	2,45E-02	0,162	0,271	0,00045	-0,00041	2,524	351,44	167063	0,61	8,16	0,1637	1,16E-03	1,31E-03
41,0	0,72	2,51E-02	0,164	0,273	0,00046	-0,00041	2,524	351,42	168715	0,61	8,23	0,1653	1,18E-03	1,34E-03
41,5	0,72	2,57E-02	0,165	0,276	0,00047	-0,00040	2,523	351,40	170346	0,61	8,29	0,1668	1,20E-03	1,36E-03
42,0	0,73	2,62E-02	0,167	0,278	0,00047	-0,00040	2,523	351,38	171958	0,61	8,36	0,1684	1,22E-03	1,38E-03
42,5	0,74	2,68E-02	0,168	0,280	0,00048	-0,00039	2,523	351,37	173549	0,61	8,43	0,1699	1,23E-03	1,40E-03
43,0	0,75	2,74E-02	0,170	0,282	0,00049	-0,00039	2,522	351,35	175119	0,61	8,49	0,1714	1,25E-03	1,42E-03
43,5	0,76	2,80E-02	0,171	0,285	0,00050	-0,00038	2,522	351,33	176669	0,61	8,56	0,1729	1,27E-03	1,44E-03
44,0	0,77	2,86E-02	0,173	0,287	0,00051	-0,00038	2,522	351,31	178197	0,61	8,62	0,1744	1,29E-03	1,46E-03
44,5	0,78	2,92E-02	0,174	0,289	0,00051	-0,00037	2,521	351,29	179704	0,61	8,69	0,1758	1,31E-03	1,48E-03
45,0	0,79	2,98E-02	0,176	0,291	0,00052	-0,00037	2,521	351,28	181189	0,61	8,75	0,1773	1,33E-03	1,51E-03
45,5	0,79	3,04E-02	0,177	0,293	0,00053	-0,00036	2,520	351,26	182653	0,61	8,81	0,1787	1,35E-03	1,53E-03
46,0	0,80	3,10E-02	0,179	0,295	0,00054	-0,00036	2,520	351,24	184094	0,61	8,87	0,1801	1,37E-03	1,55E-03
46,5	0,81	3,16E-02	0,180	0,297	0,00055	-0,00035	2,520	351,22	185513	0,61	8,93	0,1814	1,40E-03	1,57E-03
47,0	0,82	3,22E-02	0,181	0,299	0,00055	-0,00035	2,519	351,21	186909	0,61	8,98	0,1828	1,42E-03	1,60E-03
47,5	0,83	3,29E-02	0,183	0,301	0,00056	-0,00034	2,519	351,19	188283	0,60	9,04	0,1841	1,44E-03	1,62E-03
48,0	0,84	3,35E-02	0,184	0,303	0,00057	-0,00034	2,519	351,17	189634	0,60	9,09	0,1854	1,46E-03	1,64E-03
48,5	0,85	3,41E-02	0,185	0,304	0,00058	-0,00033	2,518	351,16	190961	0,60	9,15	0,1867	1,48E-03	1,66E-03
49,0	0,86	3,48E-02	0,187	0,306	0,00059	-0,00033	2,518	351,14	192266	0,60	9,20	0,1879	1,50E-03	1,69E-03
49,5	0,86	3,54E-02	0,188	0,308	0,00060	-0,00032	2,518	351,12	193546	0,60	9,25	0,1891	1,52E-03	1,71E-03
50,0	0,87	3,61E-02	0,189	0,310	0,00060	-0,00032	2,517	351,11	194803	0,60	9,30	0,1904	1,54E-03	1,73E-03

Tabela A6 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento do consumo de ar														
Θ (°)	rad	y (m)	M_v	dm/dt (kg/s)	V (m³)	dp (kg/m³)	ρ (kg/m³)	c (m/s)	Re	C_c	Vp (m/s)	M_v'	m_{ac} (kg)	Área da válvula (m²)
50,5	0,88	3,67E-02	0,190	0,311	0,00061	-0,00031	2,517	351,09	196036	0,60	9,35	0,1915	1,57E-03	1,75E-03
51,0	0,89	3,73E-02	0,192	0,313	0,00062	-0,00031	2,517	351,07	197245	0,60	9,40	0,1927	1,59E-03	1,77E-03
51,5	0,90	3,80E-02	0,193	0,314	0,00063	-0,00030	2,516	351,06	198430	0,60	9,45	0,1938	1,61E-03	1,79E-03
52,0	0,91	3,87E-02	0,194	0,316	0,00064	-0,00030	2,516	351,04	199591	0,60	9,50	0,1949	1,63E-03	1,82E-03
52,5	0,92	3,93E-02	0,195	0,318	0,00065	-0,00029	2,516	351,03	200727	0,60	9,54	0,1960	1,65E-03	1,84E-03
53,0	0,93	4,00E-02	0,196	0,319	0,00066	-0,00029	2,516	351,01	201838	0,60	9,59	0,1971	1,67E-03	1,86E-03
53,5	0,93	4,07E-02	0,197	0,321	0,00067	-0,00028	2,515	351,00	202924	0,60	9,63	0,1981	1,70E-03	1,88E-03
54,0	0,94	4,13E-02	0,198	0,322	0,00067	-0,00028	2,515	350,98	203986	0,60	9,68	0,1991	1,72E-03	1,90E-03
54,5	0,95	4,20E-02	0,199	0,323	0,00068	-0,00027	2,515	350,97	205022	0,60	9,72	0,2001	1,74E-03	1,92E-03
55,0	0,96	4,27E-02	0,200	0,325	0,00069	-0,00027	2,515	350,96	206034	0,60	9,76	0,2011	1,76E-03	1,94E-03
55,5	0,97	4,34E-02	0,201	0,326	0,00070	-0,00026	2,514	350,94	207019	0,60	9,80	0,2020	1,79E-03	1,96E-03
56,0	0,98	4,40E-02	0,202	0,327	0,00071	-0,00026	2,514	350,93	207980	0,60	9,83	0,2030	1,81E-03	1,98E-03
56,5	0,99	4,47E-02	0,203	0,329	0,00072	-0,00025	2,514	350,92	208915	0,60	9,87	0,2038	1,83E-03	2,00E-03
57,0	0,99	4,54E-02	0,204	0,330	0,00073	-0,00025	2,513	350,90	209824	0,60	9,91	0,2047	1,86E-03	2,03E-03
57,5	1,00	4,61E-02	0,205	0,331	0,00074	-0,00025	2,513	350,89	210708	0,60	9,94	0,2056	1,88E-03	2,05E-03
58,0	1,01	4,68E-02	0,206	0,332	0,00075	-0,00024	2,513	350,88	211566	0,60	9,98	0,2064	1,90E-03	2,07E-03
58,5	1,02	4,75E-02	0,206	0,333	0,00076	-0,00024	2,513	350,87	212398	0,60	10,01	0,2072	1,92E-03	2,08E-03
59,0	1,03	4,82E-02	0,207	0,334	0,00077	-0,00023	2,513	350,86	213204	0,60	10,04	0,2079	1,95E-03	2,10E-03
59,5	1,04	4,89E-02	0,208	0,335	0,00078	-0,00023	2,512	350,85	213984	0,60	10,07	0,2087	1,97E-03	2,12E-03
60,0	1,05	4,96E-02	0,209	0,336	0,00078	-0,00022	2,512	350,84	214738	0,60	10,10	0,2094	1,99E-03	2,14E-03

Tabela A7 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento do consumo de ar														
Θ (°)	rad	y (m)	M_v	dm/dt (kg/s)	V (m³)	dp (kg/m³)	ρ (kg/m³)	c (m/s)	Re	C_c	Vp (m/s)	M_v'	m_{ac} (kg)	Área da válvula (m²)
60,5	1,06	5,03E-02	0,209	0,337	0,00079	-0,00022	2,512	350,83	215466	0,60	10,13	0,2101	2,02E-03	2,16E-03
61,0	1,06	5,10E-02	0,210	0,338	0,00080	-0,00021	2,512	350,82	216168	0,60	10,16	0,2107	2,04E-03	2,18E-03
61,5	1,07	5,17E-02	0,211	0,339	0,00081	-0,00021	2,511	350,81	216843	0,60	10,18	0,2114	2,07E-03	2,20E-03
62,0	1,08	5,24E-02	0,211	0,340	0,00082	-0,00020	2,511	350,80	217493	0,60	10,21	0,2120	2,09E-03	2,22E-03
62,5	1,09	5,31E-02	0,212	0,341	0,00083	-0,00020	2,511	350,79	218116	0,60	10,23	0,2126	2,11E-03	2,23E-03
63,0	1,10	5,38E-02	0,213	0,342	0,00084	-0,00019	2,511	350,78	218713	0,60	10,26	0,2131	2,14E-03	2,25E-03
63,5	1,11	5,46E-02	0,213	0,342	0,00085	-0,00019	2,511	350,77	219283	0,59	10,28	0,2137	2,16E-03	2,27E-03
64,0	1,12	5,53E-02	0,214	0,343	0,00086	-0,00018	2,510	350,76	219828	0,59	10,30	0,2142	2,18E-03	2,28E-03
64,5	1,13	5,60E-02	0,214	0,344	0,00087	-0,00018	2,510	350,75	220346	0,59	10,32	0,2146	2,21E-03	2,30E-03
65,0	1,13	5,67E-02	0,215	0,344	0,00088	-0,00018	2,510	350,75	220837	0,59	10,34	0,2151	2,23E-03	2,32E-03
65,5	1,14	5,74E-02	0,215	0,345	0,00089	-0,00017	2,510	350,74	221303	0,59	10,36	0,2155	2,26E-03	2,34E-03
66,0	1,15	5,82E-02	0,216	0,346	0,00090	-0,00017	2,510	350,73	221743	0,59	10,37	0,2159	2,28E-03	2,35E-03
66,5	1,16	5,89E-02	0,216	0,346	0,00091	-0,00016	2,510	350,73	222156	0,59	10,39	0,2163	2,30E-03	2,37E-03
67,0	1,17	5,96E-02	0,216	0,347	0,00092	-0,00016	2,509	350,72	222543	0,59	10,40	0,2167	2,33E-03	2,38E-03
67,5	1,18	6,03E-02	0,217	0,347	0,00093	-0,00015	2,509	350,72	222904	0,59	10,42	0,2170	2,35E-03	2,40E-03
68,0	1,19	6,11E-02	0,217	0,348	0,00094	-0,00015	2,509	350,71	223239	0,59	10,43	0,2173	2,38E-03	2,41E-03
68,5	1,20	6,18E-02	0,217	0,348	0,00095	-0,00014	2,509	350,71	223548	0,59	10,44	0,2176	2,40E-03	2,43E-03
69,0	1,20	6,25E-02	0,218	0,348	0,00096	-0,00014	2,509	350,70	223831	0,59	10,45	0,2178	2,42E-03	2,45E-03
69,5	1,21	6,32E-02	0,218	0,349	0,00097	-0,00013	2,509	350,70	224088	0,59	10,46	0,2181	2,45E-03	2,46E-03
70,0	1,22	6,40E-02	0,218	0,349	0,00098	-0,00013	2,509	350,70	224320	0,59	10,47	0,2183	2,47E-03	2,48E-03

Tabela A8 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento do consumo de ar														
Θ (°)	rad	y (m)	M_v	dm/dt (kg/s)	V (m³)	dp (kg/m³)	ρ (kg/m³)	c (m/s)	Re	C_c	Vp (m/s)	M_v'	m_{ac} (kg)	Área da válvula (m²)
70,5	1,23	6,47E-02	0,218	0,349	0,00099	-0,00013	2,508	350,69	224525	0,59	10,48	0,2184	2,50E-03	2,49E-03
71,0	1,24	6,54E-02	0,218	0,349	0,00100	-0,00012	2,508	350,69	224705	0,59	10,48	0,2186	2,52E-03	2,50E-03
71,5	1,25	6,62E-02	0,219	0,350	0,00100	-0,00012	2,508	350,69	224860	0,59	10,49	0,2187	2,55E-03	2,52E-03
72,0	1,26	6,69E-02	0,219	0,350	0,00101	-0,00011	2,508	350,69	224989	0,59	10,49	0,2188	2,57E-03	2,53E-03
72,5	1,27	6,76E-02	0,219	0,350	0,00102	-0,00011	2,508	350,68	225093	0,59	10,50	0,2189	2,59E-03	2,55E-03
73,0	1,27	6,84E-02	0,219	0,350	0,00103	-0,00010	2,508	350,68	225172	0,59	10,50	0,2189	2,62E-03	2,56E-03
73,5	1,28	6,91E-02	0,219	0,350	0,00104	-0,00010	2,508	350,68	225225	0,59	10,50	0,2190	2,64E-03	2,57E-03
74,0	1,29	6,98E-02	0,219	0,350	0,00105	-0,00009	2,508	350,68	225254	0,59	10,50	0,2190	2,67E-03	2,57E-03
74,5	1,30	7,06E-02	0,219	0,350	0,00106	-0,00009	2,508	350,68	225258	0,59	10,50	0,2190	2,69E-03	2,57E-03
75,0	1,31	7,13E-02	0,219	0,350	0,00107	-0,00009	2,508	350,68	225237	0,59	10,50	0,2189	2,72E-03	2,57E-03
75,5	1,32	7,20E-02	0,219	0,350	0,00108	-0,00008	2,507	350,68	225191	0,59	10,49	0,2188	2,74E-03	2,57E-03
76,0	1,33	7,27E-02	0,219	0,350	0,00109	-0,00008	2,507	350,68	225121	0,59	10,49	0,2188	2,76E-03	2,57E-03
76,5	1,34	7,35E-02	0,219	0,350	0,00110	-0,00007	2,507	350,69	225027	0,59	10,49	0,2186	2,79E-03	2,57E-03
77,0	1,34	7,42E-02	0,219	0,350	0,00111	-0,00007	2,507	350,69	224909	0,59	10,48	0,2185	2,81E-03	2,57E-03
77,5	1,35	7,49E-02	0,218	0,350	0,00112	-0,00006	2,507	350,69	224767	0,59	10,47	0,2183	2,84E-03	2,57E-03
78,0	1,36	7,57E-02	0,218	0,349	0,00113	-0,00006	2,507	350,69	224601	0,59	10,47	0,2181	2,86E-03	2,57E-03
78,5	1,37	7,64E-02	0,218	0,349	0,00114	-0,00006	2,507	350,70	224411	0,59	10,46	0,2179	2,89E-03	2,57E-03
79,0	1,38	7,71E-02	0,218	0,349	0,00115	-0,00005	2,507	350,70	224198	0,59	10,45	0,2177	2,91E-03	2,57E-03
79,5	1,39	7,79E-02	0,218	0,348	0,00116	-0,00005	2,507	350,70	223962	0,59	10,44	0,2175	2,93E-03	2,57E-03
80,0	1,40	7,86E-02	0,217	0,348	0,00117	-0,00004	2,507	350,71	223702	0,59	10,43	0,2172	2,96E-03	2,57E-03

Tabela A9 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento do consumo de ar														
Θ (°)	rad	y (m)	M_v	dm/dt (kg/s)	V (m³)	dp (kg/m³)	ρ (kg/m³)	c (m/s)	Re	C_c	Vp (m/s)	M_v'	m_{ac} (kg)	Área da válvula (m²)
80,5	1,40	7,93E-02	0,217	0,348	0,00118	-0,00004	2,507	350,71	223420	0,59	10,42	0,2169	2,98E-03	2,57E-03
81,0	1,41	8,00E-02	0,217	0,347	0,00119	-0,00004	2,507	350,71	223115	0,59	10,40	0,2166	3,01E-03	2,57E-03
81,5	1,42	8,08E-02	0,217	0,347	0,00120	-0,00003	2,507	350,72	222788	0,59	10,39	0,2162	3,03E-03	2,57E-03
82,0	1,43	8,15E-02	0,216	0,346	0,00121	-0,00003	2,507	350,72	222438	0,59	10,37	0,2158	3,05E-03	2,57E-03
82,5	1,44	8,22E-02	0,216	0,346	0,00122	-0,00002	2,507	350,73	222066	0,59	10,36	0,2155	3,08E-03	2,57E-03
83,0	1,45	8,29E-02	0,215	0,345	0,00123	-0,00002	2,507	350,74	221672	0,59	10,34	0,2151	3,10E-03	2,57E-03
83,5	1,46	8,36E-02	0,215	0,345	0,00124	-0,00002	2,507	350,74	221257	0,59	10,33	0,2146	3,13E-03	2,57E-03
84,0	1,47	8,44E-02	0,215	0,344	0,00125	-0,00001	2,507	350,75	220820	0,59	10,31	0,2142	3,15E-03	2,57E-03
84,5	1,47	8,51E-02	0,214	0,344	0,00126	-0,00001	2,507	350,75	220362	0,59	10,29	0,2137	3,17E-03	2,57E-03
85,0	1,48	8,58E-02	0,214	0,343	0,00127	0,00000	2,507	350,76	219883	0,59	10,27	0,2132	3,20E-03	2,57E-03
85,5	1,49	8,65E-02	0,213	0,342	0,00128	0,00000	2,507	350,77	219383	0,59	10,25	0,2127	3,22E-03	2,57E-03
86,0	1,50	8,72E-02	0,213	0,342	0,00129	0,00000	2,507	350,78	218863	0,60	10,23	0,2122	3,25E-03	2,57E-03
86,5	1,51	8,79E-02	0,212	0,341	0,00129	0,00001	2,507	350,78	218322	0,60	10,20	0,2116	3,27E-03	2,57E-03
87,0	1,52	8,87E-02	0,212	0,340	0,00130	0,00001	2,507	350,79	217761	0,60	10,18	0,2111	3,29E-03	2,57E-03
87,5	1,53	8,94E-02	0,211	0,340	0,00131	0,00001	2,507	350,80	217180	0,60	10,16	0,2105	3,32E-03	2,57E-03
88,0	1,54	9,01E-02	0,210	0,339	0,00132	0,00002	2,507	350,81	216580	0,60	10,13	0,2099	3,34E-03	2,57E-03
88,5	1,54	9,08E-02	0,210	0,338	0,00133	0,00002	2,507	350,82	215960	0,60	10,11	0,2092	3,36E-03	2,57E-03
89,0	1,55	9,15E-02	0,209	0,337	0,00134	0,00002	2,507	350,83	215322	0,60	10,08	0,2086	3,39E-03	2,57E-03
89,5	1,56	9,22E-02	0,209	0,336	0,00135	0,00003	2,507	350,84	214664	0,60	10,05	0,2079	3,41E-03	2,57E-03
90,0	1,57	9,29E-02	0,208	0,335	0,00136	0,00003	2,507	350,85	213988	0,60	10,02	0,2072	3,43E-03	2,57E-03

Tabela A10 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento do consumo de ar														
Θ (°)	rad	y (m)	M_v	dm/dt (kg/s)	V (m³)	dp (kg/m³)	ρ (kg/m³)	c (m/s)	Re	C_c	Vp (m/s)	M_v'	m_{ac} (kg)	Área da válvula (m²)
90,5	1,58	9,36E-02	0,207	0,334	0,00137	0,00003	2,507	350,86	213293	0,60	10,00	0,2065	3,46E-03	2,57E-03
91,0	1,59	9,43E-02	0,207	0,333	0,00138	0,00004	2,507	350,87	212580	0,60	9,97	0,2058	3,48E-03	2,57E-03
91,5	1,60	9,50E-02	0,206	0,332	0,00139	0,00004	2,507	350,88	211849	0,60	9,94	0,2051	3,50E-03	2,57E-03
92,0	1,61	9,56E-02	0,205	0,332	0,00140	0,00004	2,507	350,89	211101	0,60	9,91	0,2043	3,53E-03	2,57E-03
92,5	1,61	9,63E-02	0,204	0,330	0,00141	0,00004	2,507	350,90	210335	0,60	9,87	0,2036	3,55E-03	2,57E-03
93,0	1,62	9,70E-02	0,204	0,329	0,00142	0,00005	2,507	350,91	209552	0,60	9,84	0,2028	3,57E-03	2,57E-03
93,5	1,63	9,77E-02	0,203	0,328	0,00142	0,00005	2,507	350,92	208753	0,60	9,81	0,2020	3,59E-03	2,57E-03
94,0	1,64	9,84E-02	0,202	0,327	0,00143	0,00005	2,507	350,93	207936	0,60	9,78	0,2012	3,62E-03	2,57E-03
94,5	1,65	9,91E-02	0,201	0,326	0,00144	0,00006	2,507	350,94	207104	0,60	9,74	0,2004	3,64E-03	2,57E-03
95,0	1,66	9,97E-02	0,200	0,325	0,00145	0,00006	2,507	350,95	206255	0,60	9,71	0,1995	3,66E-03	2,57E-03
95,5	1,67	1,00E-01	0,200	0,324	0,00146	0,00006	2,507	350,97	205391	0,60	9,67	0,1986	3,69E-03	2,57E-03
96,0	1,68	1,01E-01	0,199	0,323	0,00147	0,00006	2,507	350,98	204511	0,60	9,63	0,1978	3,71E-03	2,57E-03
96,5	1,68	1,02E-01	0,198	0,321	0,00148	0,00007	2,508	350,99	203616	0,60	9,60	0,1969	3,73E-03	2,57E-03
97,0	1,69	1,02E-01	0,197	0,320	0,00149	0,00007	2,508	351,00	202705	0,60	9,56	0,1960	3,75E-03	2,57E-03
97,5	1,70	1,03E-01	0,196	0,319	0,00150	0,00007	2,508	351,01	201780	0,60	9,52	0,1951	3,77E-03	2,57E-03
98,0	1,71	1,04E-01	0,195	0,318	0,00150	0,00007	2,508	351,03	200841	0,60	9,48	0,1941	3,80E-03	2,57E-03
98,5	1,72	1,04E-01	0,194	0,316	0,00151	0,00008	2,508	351,04	199887	0,60	9,44	0,1932	3,82E-03	2,57E-03
99,0	1,73	1,05E-01	0,193	0,315	0,00152	0,00008	2,508	351,05	198920	0,60	9,40	0,1922	3,84E-03	2,57E-03
99,5	1,74	1,06E-01	0,192	0,314	0,00153	0,00008	2,508	351,07	197938	0,60	9,36	0,1912	3,86E-03	2,57E-03
100,0	1,75	1,06E-01	0,191	0,312	0,00154	0,00008	2,508	351,08	196944	0,60	9,32	0,1903	3,88E-03	2,57E-03
100,5	1,75	1,07E-01	0,190	0,311	0,00155	0,00008	2,508	351,09	195936	0,60	9,28	0,1893	3,91E-03	2,57E-03

Tabela A11 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento do consumo de ar														
Θ (°)	rad	y (m)	M_v	dm/dt (kg/s)	V (m³)	dp (kg/m³)	ρ (kg/m³)	c (m/s)	Re	C_c	Vp (m/s)	M_v'	m_{ac} (kg)	Área da válvula (m²)
101,0	1,76	1,08E-01	0,189	0,310	0,00156	0,00009	2,508	351,10	194915	0,60	9,23	0,1882	3,93E-03	2,57E-03
101,5	1,77	1,08E-01	0,188	0,308	0,00157	0,00009	2,508	351,12	193882	0,60	9,19	0,1872	3,95E-03	2,57E-03
102,0	1,78	1,09E-01	0,187	0,307	0,00157	0,00009	2,508	351,13	192836	0,60	9,15	0,1862	3,97E-03	2,57E-03
102,5	1,79	1,10E-01	0,186	0,305	0,00158	0,00009	2,508	351,14	191778	0,60	9,10	0,1851	3,99E-03	2,57E-03
103,0	1,80	1,10E-01	0,185	0,304	0,00159	0,00009	2,509	351,16	190709	0,60	9,06	0,1841	4,01E-03	2,57E-03
103,5	1,81	1,11E-01	0,184	0,303	0,00160	0,00009	2,509	351,17	189628	0,60	9,01	0,1830	4,03E-03	2,57E-03
104,0	1,82	1,11E-01	0,183	0,301	0,00161	0,00010	2,509	351,19	188535	0,60	8,97	0,1819	4,05E-03	2,57E-03
104,5	1,82	1,12E-01	0,182	0,299	0,00162	0,00010	2,509	351,20	187432	0,61	8,92	0,1809	4,07E-03	2,57E-03
105,0	1,83	1,13E-01	0,181	0,298	0,00162	0,00010	2,509	351,21	186317	0,61	8,88	0,1798	4,10E-03	2,57E-03
105,5	1,84	1,13E-01	0,180	0,296	0,00163	0,00010	2,509	351,23	185193	0,61	8,83	0,1786	4,12E-03	2,57E-03
106,0	1,85	1,14E-01	0,179	0,295	0,00164	0,00010	2,509	351,24	184058	0,61	8,78	0,1775	4,14E-03	2,57E-03
106,5	1,86	1,15E-01	0,178	0,293	0,00165	0,00010	2,509	351,25	182912	0,61	8,73	0,1764	4,16E-03	2,57E-03
107,0	1,87	1,15E-01	0,176	0,292	0,00166	0,00010	2,509	351,27	181758	0,61	8,68	0,1753	4,18E-03	2,57E-03
107,5	1,88	1,16E-01	0,175	0,290	0,00166	0,00010	2,509	351,28	180593	0,61	8,63	0,1741	4,20E-03	2,57E-03
108,0	1,88	1,16E-01	0,174	0,288	0,00167	0,00011	2,510	351,30	179420	0,61	8,58	0,1730	4,22E-03	2,57E-03
108,5	1,89	1,17E-01	0,173	0,287	0,00168	0,00011	2,510	351,31	178237	0,61	8,53	0,1718	4,24E-03	2,57E-03
109,0	1,90	1,18E-01	0,172	0,285	0,00169	0,00011	2,510	351,32	177046	0,61	8,48	0,1706	4,26E-03	2,57E-03
109,5	1,91	1,18E-01	0,171	0,283	0,00170	0,00011	2,510	351,34	175846	0,61	8,43	0,1694	4,28E-03	2,57E-03
110,0	1,92	1,19E-01	0,169	0,282	0,00170	0,00011	2,510	351,35	174638	0,61	8,38	0,1683	4,30E-03	2,57E-03
110,5	1,93	1,19E-01	0,168	0,280	0,00171	0,00011	2,510	351,37	173421	0,61	8,33	0,1671	4,32E-03	2,57E-03
111,0	1,94	1,20E-01	0,167	0,278	0,00172	0,00011	2,510	351,38	172198	0,61	8,28	0,1659	4,33E-03	2,57E-03

Tabela A12 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento do consumo de ar														
Θ (°)	rad	y (m)	M_v	dm/dt (kg/s)	V (m³)	dp (kg/m³)	ρ (kg/m³)	c (m/s)	Re	C_c	Vp (m/s)	M_v'	m_{ac} (kg)	Área da válvula (m²)
111,5	1,95	1,20E-01	0,166	0,277	0,00173	0,00011	2,510	351,39	170966	0,61	8,23	0,1647	4,35E-03	2,57E-03
112,0	1,95	1,21E-01	0,165	0,275	0,00173	0,00011	2,510	351,41	169727	0,61	8,17	0,1634	4,37E-03	2,57E-03
112,5	1,96	1,22E-01	0,163	0,273	0,00174	0,00011	2,511	351,42	168481	0,61	8,12	0,1622	4,39E-03	2,57E-03
113,0	1,97	1,22E-01	0,162	0,271	0,00175	0,00011	2,511	351,44	167229	0,61	8,07	0,1610	4,41E-03	2,57E-03
113,5	1,98	1,23E-01	0,161	0,270	0,00176	0,00011	2,511	351,45	165969	0,61	8,01	0,1598	4,43E-03	2,57E-03
114,0	1,99	1,23E-01	0,160	0,268	0,00176	0,00011	2,511	351,46	164704	0,61	7,96	0,1585	4,45E-03	2,57E-03
114,5	2,00	1,24E-01	0,159	0,266	0,00177	0,00011	2,511	351,48	163432	0,61	7,90	0,1573	4,47E-03	2,57E-03
115,0	2,01	1,24E-01	0,157	0,264	0,00178	0,00011	2,511	351,49	162154	0,61	7,85	0,1560	4,49E-03	2,57E-03
115,5	2,02	1,25E-01	0,156	0,262	0,00179	0,00011	2,511	351,51	160871	0,62	7,79	0,1548	4,50E-03	2,57E-03
116,0	2,02	1,25E-01	0,155	0,261	0,00179	0,00011	2,511	351,52	159582	0,62	7,74	0,1535	4,52E-03	2,57E-03
116,5	2,03	1,26E-01	0,154	0,259	0,00180	0,00011	2,511	351,53	158288	0,62	7,68	0,1522	4,54E-03	2,57E-03
117,0	2,04	1,26E-01	0,152	0,257	0,00181	0,00011	2,512	351,55	156988	0,62	7,63	0,1510	4,56E-03	2,57E-03
117,5	2,05	1,27E-01	0,151	0,255	0,00181	0,00011	2,512	351,56	155684	0,62	7,57	0,1497	4,57E-03	2,57E-03
118,0	2,06	1,28E-01	0,150	0,253	0,00182	0,00011	2,512	351,57	154376	0,62	7,51	0,1484	4,59E-03	2,57E-03
118,5	2,07	1,28E-01	0,148	0,251	0,00183	0,00011	2,512	351,59	153063	0,62	7,46	0,1471	4,61E-03	2,57E-03
119,0	2,08	1,29E-01	0,147	0,249	0,00184	0,00011	2,512	351,60	151745	0,62	7,40	0,1458	4,63E-03	2,57E-03
119,5	2,09	1,29E-01	0,146	0,247	0,00184	0,00011	2,512	351,61	150424	0,62	7,34	0,1446	4,64E-03	2,57E-03
120,0	2,09	1,30E-01	0,145	0,246	0,00185	0,00011	2,512	351,63	149099	0,62	7,28	0,1433	4,66E-03	2,57E-03
120,5	2,10	1,30E-01	0,143	0,244	0,00186	0,00011	2,512	351,64	147770	0,62	7,22	0,1420	4,68E-03	2,57E-03
121,0	2,11	1,31E-01	0,142	0,242	0,00186	0,00011	2,512	351,65	146438	0,62	7,17	0,1407	4,70E-03	2,57E-03
121,5	2,12	1,31E-01	0,141	0,240	0,00187	0,00011	2,513	351,66	145103	0,62	7,11	0,1394	4,71E-03	2,57E-03

Tabela A13 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento do consumo de ar														
Θ (°)	rad	y (m)	M_v	dm/dt (kg/s)	V (m³)	dp (kg/m³)	ρ (kg/m³)	c (m/s)	Re	C_c	Vp (m/s)	M_v'	m_{ac} (kg)	Área da válvula (m²)
122,0	2,13	1,32E-01	0,139	0,238	0,00188	0,00011	2,513	351,68	143765	0,62	7,05	0,1381	4,73E-03	2,57E-03
122,5	2,14	1,32E-01	0,138	0,236	0,00188	0,00011	2,513	351,69	142424	0,62	6,99	0,1367	4,74E-03	2,57E-03
123,0	2,15	1,33E-01	0,137	0,234	0,00189	0,00011	2,513	351,70	141080	0,62	6,93	0,1354	4,76E-03	2,57E-03
123,5	2,16	1,33E-01	0,135	0,232	0,00189	0,00011	2,513	351,72	139733	0,62	6,87	0,1341	4,78E-03	2,57E-03
124,0	2,16	1,34E-01	0,134	0,230	0,00190	0,00011	2,513	351,73	138385	0,62	6,81	0,1328	4,79E-03	2,57E-03
124,5	2,17	1,34E-01	0,133	0,228	0,00191	0,00011	2,513	351,74	137034	0,63	6,75	0,1315	4,81E-03	2,57E-03
125,0	2,18	1,34E-01	0,131	0,226	0,00191	0,00011	2,513	351,75	135682	0,63	6,69	0,1302	4,82E-03	2,57E-03
125,5	2,19	1,35E-01	0,130	0,224	0,00192	0,00011	2,513	351,76	134327	0,63	6,63	0,1289	4,84E-03	2,57E-03
126,0	2,20	1,35E-01	0,129	0,222	0,00193	0,00011	2,514	351,78	132971	0,63	6,57	0,1275	4,86E-03	2,57E-03
126,5	2,21	1,36E-01	0,128	0,220	0,00193	0,00011	2,514	351,79	131614	0,63	6,51	0,1262	4,87E-03	2,57E-03
127,0	2,22	1,36E-01	0,126	0,218	0,00194	0,00011	2,514	351,80	130255	0,63	6,45	0,1249	4,89E-03	2,57E-03
127,5	2,23	1,37E-01	0,125	0,216	0,00194	0,00010	2,514	351,81	128896	0,63	6,39	0,1236	4,90E-03	2,57E-03
128,0	2,23	1,37E-01	0,124	0,214	0,00195	0,00010	2,514	351,82	127535	0,63	6,33	0,1223	4,92E-03	2,57E-03
128,5	2,24	1,38E-01	0,122	0,212	0,00196	0,00010	2,514	351,83	126173	0,63	6,27	0,1209	4,93E-03	2,57E-03
129,0	2,25	1,38E-01	0,121	0,210	0,00196	0,00010	2,514	351,85	124811	0,63	6,21	0,1196	4,95E-03	2,57E-03
129,5	2,26	1,38E-01	0,120	0,208	0,00197	0,00010	2,514	351,86	123449	0,63	6,15	0,1183	4,96E-03	2,57E-03
130,0	2,27	1,39E-01	0,118	0,206	0,00197	0,00010	2,514	351,87	122086	0,63	6,09	0,1170	4,97E-03	2,57E-03
130,5	2,28	1,39E-01	0,117	0,204	0,00198	0,00010	2,515	351,88	120723	0,63	6,03	0,1156	4,99E-03	2,57E-03
131,0	2,29	1,40E-01	0,116	0,202	0,00198	0,00010	2,515	351,89	119359	0,63	5,96	0,1143	5,00E-03	2,56E-03
131,5	2,30	1,40E-01	0,114	0,200	0,00199	0,00010	2,515	351,90	117996	0,63	5,90	0,1130	5,02E-03	2,55E-03
132,0	2,30	1,41E-01	0,113	0,198	0,00199	0,00010	2,515	351,91	116633	0,64	5,84	0,1117	5,03E-03	2,53E-03

Tabela A14 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento do consumo de ar														
Θ (°)	rad	y (m)	M_v	dm/dt (kg/s)	V (m³)	dp (kg/m³)	ρ (kg/m³)	c (m/s)	Re	C_c	Vp (m/s)	M_v'	m_{ac} (kg)	Área da válvula (m²)
132,5	2,31	1,41E-01	0,112	0,196	0,00200	0,00010	2,515	351,92	115271	0,64	5,78	0,1103	5,04E-03	2,52E-03
133,0	2,32	1,41E-01	0,110	0,194	0,00201	0,00009	2,515	351,93	113909	0,64	5,72	0,1090	5,06E-03	2,50E-03
133,5	2,33	1,42E-01	0,109	0,191	0,00201	0,00009	2,515	351,94	112548	0,64	5,66	0,1077	5,07E-03	2,49E-03
134,0	2,34	1,42E-01	0,108	0,189	0,00202	0,00009	2,515	351,95	111187	0,64	5,59	0,1064	5,08E-03	2,48E-03
134,5	2,35	1,43E-01	0,106	0,187	0,00202	0,00009	2,515	351,96	109827	0,64	5,53	0,1051	5,10E-03	2,46E-03
135,0	2,36	1,43E-01	0,105	0,185	0,00203	0,00009	2,515	351,97	108468	0,64	5,47	0,1037	5,11E-03	2,45E-03
135,5	2,36	1,43E-01	0,104	0,183	0,00203	0,00009	2,515	351,98	107111	0,64	5,41	0,1024	5,12E-03	2,43E-03
136,0	2,37	1,44E-01	0,102	0,181	0,00204	0,00009	2,516	351,99	105754	0,64	5,35	0,1011	5,13E-03	2,41E-03
136,5	2,38	1,44E-01	0,101	0,179	0,00204	0,00009	2,516	352,00	104399	0,64	5,28	0,0998	5,15E-03	2,40E-03
137,0	2,39	1,44E-01	0,100	0,177	0,00205	0,00009	2,516	352,01	103045	0,64	5,22	0,0985	5,16E-03	2,38E-03
137,5	2,40	1,45E-01	0,098	0,175	0,00205	0,00009	2,516	352,02	101693	0,64	5,16	0,0972	5,17E-03	2,37E-03
138,0	2,41	1,45E-01	0,097	0,173	0,00206	0,00008	2,516	352,03	100342	0,64	5,10	0,0959	5,18E-03	2,35E-03
138,5	2,42	1,45E-01	0,096	0,171	0,00206	0,00008	2,516	352,04	98994	0,65	5,03	0,0946	5,20E-03	2,34E-03
139,0	2,43	1,46E-01	0,095	0,169	0,00206	0,00008	2,516	352,05	97647	0,65	4,97	0,0933	5,21E-03	2,32E-03
139,5	2,43	1,46E-01	0,093	0,167	0,00207	0,00008	2,516	352,05	96302	0,65	4,91	0,0920	5,22E-03	2,30E-03
140,0	2,44	1,47E-01	0,092	0,165	0,00207	0,00008	2,516	352,06	94959	0,65	4,85	0,0906	5,23E-03	2,28E-03
140,5	2,45	1,47E-01	0,091	0,162	0,00208	0,00008	2,516	352,07	93618	0,65	4,78	0,0894	5,24E-03	2,27E-03
141,0	2,46	1,47E-01	0,089	0,160	0,00208	0,00008	2,516	352,08	92279	0,65	4,72	0,0881	5,25E-03	2,25E-03
141,5	2,47	1,48E-01	0,088	0,158	0,00209	0,00008	2,516	352,09	90943	0,65	4,66	0,0868	5,26E-03	2,23E-03
142,0	2,48	1,48E-01	0,087	0,156	0,00209	0,00008	2,517	352,10	89609	0,65	4,60	0,0855	5,27E-03	2,22E-03
142,5	2,49	1,48E-01	0,085	0,154	0,00210	0,00007	2,517	352,10	88278	0,65	4,53	0,0842	5,28E-03	2,20E-03

Tabela A15 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento do consumo de ar														
Θ (°)	rad	y (m)	M_v	dm/dt (kg/s)	V (m³)	dp (kg/m³)	ρ (kg/m³)	c (m/s)	Re	C_c	Vp (m/s)	M_v'	m_{ac} (kg)	Área da válvula (m²)
143,0	2,50	1,48E-01	0,084	0,152	0,00210	0,00007	2,517	352,11	86949	0,65	4,47	0,0829	5,30E-03	2,18E-03
143,5	2,50	1,49E-01	0,083	0,150	0,00210	0,00007	2,517	352,12	85622	0,65	4,41	0,0816	5,31E-03	2,16E-03
144,0	2,51	1,49E-01	0,082	0,148	0,00211	0,00007	2,517	352,13	84299	0,66	4,35	0,0803	5,32E-03	2,14E-03
144,5	2,52	1,49E-01	0,080	0,146	0,00211	0,00007	2,517	352,13	82978	0,66	4,28	0,0791	5,33E-03	2,12E-03
145,0	2,53	1,50E-01	0,079	0,144	0,00212	0,00007	2,517	352,14	81660	0,66	4,22	0,0778	5,34E-03	2,10E-03
145,5	2,54	1,50E-01	0,078	0,142	0,00212	0,00007	2,517	352,15	80345	0,66	4,16	0,0765	5,35E-03	2,08E-03
146,0	2,55	1,50E-01	0,077	0,139	0,00212	0,00007	2,517	352,15	79033	0,66	4,10	0,0752	5,36E-03	2,07E-03
146,5	2,56	1,51E-01	0,075	0,137	0,00213	0,00007	2,517	352,16	77724	0,66	4,03	0,0740	5,37E-03	2,05E-03
147,0	2,57	1,51E-01	0,074	0,135	0,00213	0,00007	2,517	352,17	76418	0,66	3,97	0,0727	5,37E-03	2,03E-03
147,5	2,57	1,51E-01	0,073	0,133	0,00213	0,00006	2,517	352,17	75116	0,66	3,91	0,0715	5,38E-03	2,00E-03
148,0	2,58	1,51E-01	0,071	0,131	0,00214	0,00006	2,517	352,18	73816	0,66	3,85	0,0702	5,39E-03	1,98E-03
148,5	2,59	1,52E-01	0,070	0,129	0,00214	0,00006	2,517	352,19	72520	0,66	3,79	0,0689	5,40E-03	1,96E-03
149,0	2,60	1,52E-01	0,069	0,127	0,00215	0,00006	2,517	352,19	71227	0,67	3,72	0,0677	5,41E-03	1,94E-03
149,5	2,61	1,52E-01	0,068	0,125	0,00215	0,00006	2,518	352,20	69938	0,67	3,66	0,0665	5,42E-03	1,92E-03
150,0	2,62	1,52E-01	0,066	0,123	0,00215	0,00006	2,518	352,20	68652	0,67	3,60	0,0652	5,43E-03	1,90E-03
150,5	2,63	1,53E-01	0,065	0,121	0,00216	0,00006	2,518	352,21	67370	0,67	3,54	0,0640	5,44E-03	1,88E-03
151,0	2,64	1,53E-01	0,064	0,119	0,00216	0,00006	2,518	352,22	66091	0,67	3,47	0,0627	5,44E-03	1,86E-03
151,5	2,64	1,53E-01	0,063	0,117	0,00216	0,00006	2,518	352,22	64816	0,67	3,41	0,0615	5,45E-03	1,84E-03
152,0	2,65	1,53E-01	0,062	0,114	0,00217	0,00006	2,518	352,23	63544	0,67	3,35	0,0603	5,46E-03	1,82E-03
152,5	2,66	1,54E-01	0,060	0,112	0,00217	0,00005	2,518	352,23	62276	0,67	3,29	0,0590	5,47E-03	1,79E-03
153,0	2,67	1,54E-01	0,059	0,110	0,00217	0,00005	2,518	352,24	61012	0,67	3,23	0,0578	5,48E-03	1,77E-03

Tabela A16 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento do consumo de ar														
Θ (°)	rad	y (m)	M_v	dm/dt (kg/s)	V (m³)	dp (kg/m³)	ρ (kg/m³)	c (m/s)	Re	C_c	Vp (m/s)	M_v'	m_{ac} (kg)	Área da válvula (m²)
153,5	2,68	1,54E-01	0,058	0,108	0,00217	0,00005	2,518	352,24	59751	0,68	3,16	0,0566	5,48E-03	1,75E-03
154,0	2,69	1,54E-01	0,057	0,106	0,00218	0,00005	2,518	352,25	58495	0,68	3,10	0,0554	5,49E-03	1,73E-03
154,5	2,70	1,55E-01	0,055	0,104	0,00218	0,00005	2,518	352,25	57242	0,68	3,04	0,0542	5,50E-03	1,71E-03
155,0	2,71	1,55E-01	0,054	0,102	0,00218	0,00005	2,518	352,26	55993	0,68	2,98	0,0530	5,51E-03	1,69E-03
155,5	2,71	1,55E-01	0,053	0,100	0,00219	0,00005	2,518	352,26	54748	0,68	2,92	0,0518	5,51E-03	1,66E-03
156,0	2,72	1,55E-01	0,052	0,098	0,00219	0,00005	2,518	352,27	53508	0,68	2,86	0,0506	5,52E-03	1,64E-03
156,5	2,73	1,55E-01	0,051	0,096	0,00219	0,00005	2,518	352,27	52271	0,68	2,79	0,0494	5,53E-03	1,62E-03
157,0	2,74	1,56E-01	0,049	0,094	0,00219	0,00005	2,518	352,27	51038	0,69	2,73	0,0482	5,53E-03	1,60E-03
157,5	2,75	1,56E-01	0,048	0,092	0,00220	0,00005	2,518	352,28	49809	0,69	2,67	0,0470	5,54E-03	1,57E-03
158,0	2,76	1,56E-01	0,047	0,090	0,00220	0,00005	2,518	352,28	48585	0,69	2,61	0,0458	5,54E-03	1,55E-03
158,5	2,77	1,56E-01	0,046	0,088	0,00220	0,00005	2,518	352,29	47364	0,69	2,55	0,0447	5,55E-03	1,53E-03
159,0	2,78	1,56E-01	0,045	0,086	0,00220	0,00005	2,519	352,29	46148	0,69	2,49	0,0435	5,56E-03	1,51E-03
159,5	2,78	1,56E-01	0,043	0,083	0,00221	0,00005	2,519	352,29	44936	0,69	2,42	0,0423	5,56E-03	1,48E-03
160,0	2,79	1,57E-01	0,042	0,081	0,00221	0,00004	2,519	352,30	43728	0,69	2,36	0,0412	5,57E-03	1,46E-03
160,5	2,80	1,57E-01	0,041	0,079	0,00221	0,00004	2,519	352,30	42525	0,70	2,30	0,0400	5,57E-03	1,44E-03
161,0	2,81	1,57E-01	0,040	0,077	0,00221	0,00004	2,519	352,30	41326	0,70	2,24	0,0388	5,58E-03	1,42E-03
161,5	2,82	1,57E-01	0,039	0,075	0,00221	0,00004	2,519	352,31	40132	0,70	2,18	0,0377	5,58E-03	1,40E-03
162,0	2,83	1,57E-01	0,038	0,073	0,00222	0,00004	2,519	352,31	38941	0,70	2,12	0,0365	5,59E-03	1,38E-03
162,5	2,84	1,57E-01	0,037	0,071	0,00222	0,00004	2,519	352,31	37756	0,70	2,06	0,0354	5,59E-03	1,36E-03
163,0	2,84	1,58E-01	0,035	0,069	0,00222	0,00004	2,519	352,32	36575	0,70	2,00	0,0343	5,60E-03	1,34E-03
163,5	2,85	1,58E-01	0,034	0,067	0,00222	0,00004	2,519	352,32	35398	0,71	1,94	0,0331	5,60E-03	1,31E-03

Tabela A17 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento do consumo de ar														
Θ (°)	rad	y (m)	M_v	dm/dt (kg/s)	V (m³)	dp (kg/m³)	ρ (kg/m³)	c (m/s)	Re	C_c	Vp (m/s)	M_v'	m_{ac} (kg)	Área da válvula (m²)
164,0	2,86	1,58E-01	0,033	0,065	0,00222	0,00004	2,519	352,32	34226	0,71	1,87	0,0320	5,61E-03	1,29E-03
164,5	2,87	1,58E-01	0,032	0,063	0,00223	0,00004	2,519	352,32	33059	0,71	1,81	0,0309	5,61E-03	1,27E-03
165,0	2,88	1,58E-01	0,031	0,061	0,00223	0,00004	2,519	352,33	31896	0,71	1,75	0,0297	5,62E-03	1,25E-03
165,5	2,89	1,58E-01	0,030	0,059	0,00223	0,00004	2,519	352,33	30739	0,71	1,69	0,0286	5,62E-03	1,23E-03
166,0	2,90	1,58E-01	0,029	0,057	0,00223	0,00004	2,519	352,33	29586	0,72	1,63	0,0275	5,62E-03	1,21E-03
166,5	2,91	1,58E-01	0,028	0,055	0,00223	0,00004	2,519	352,33	28438	0,72	1,57	0,0264	5,63E-03	1,19E-03
167,0	2,91	1,59E-01	0,026	0,053	0,00223	0,00004	2,519	352,34	27295	0,72	1,51	0,0253	5,63E-03	1,16E-03
167,5	2,92	1,59E-01	0,025	0,051	0,00224	0,00004	2,519	352,34	26157	0,72	1,45	0,0242	5,64E-03	1,14E-03
168,0	2,93	1,59E-01	0,024	0,049	0,00224	0,00004	2,519	352,34	25024	0,73	1,39	0,0231	5,64E-03	1,12E-03
168,5	2,94	1,59E-01	0,023	0,047	0,00224	0,00004	2,519	352,34	23897	0,73	1,33	0,0220	5,64E-03	1,10E-03
169,0	2,95	1,59E-01	0,022	0,045	0,00224	0,00004	2,519	352,34	22775	0,73	1,27	0,0210	5,65E-03	1,08E-03
169,5	2,96	1,59E-01	0,021	0,043	0,00224	0,00004	2,519	352,34	21658	0,73	1,21	0,0199	5,65E-03	1,06E-03
170,0	2,97	1,59E-01	0,020	0,041	0,00224	0,00004	2,519	352,35	20547	0,74	1,15	0,0188	5,65E-03	1,04E-03
170,5	2,98	1,59E-01	0,019	0,039	0,00224	0,00004	2,519	352,35	19441	0,74	1,09	0,0177	5,65E-03	1,02E-03
171,0	2,98	1,59E-01	0,018	0,037	0,00224	0,00004	2,520	352,35	18342	0,74	1,02	0,0167	5,66E-03	9,98E-04
171,5	2,99	1,59E-01	0,017	0,034	0,00224	0,00004	2,520	352,35	17248	0,75	0,96	0,0156	5,66E-03	9,77E-04
172,0	3,00	1,59E-01	0,016	0,032	0,00225	0,00004	2,520	352,35	16161	0,75	0,90	0,0146	5,66E-03	9,57E-04
172,5	3,01	1,60E-01	0,015	0,030	0,00225	0,00004	2,520	352,35	15080	0,75	0,84	0,0136	5,66E-03	9,37E-04
173,0	3,02	1,60E-01	0,014	0,028	0,00225	0,00004	2,520	352,35	14006	0,76	0,78	0,0125	5,67E-03	9,17E-04
173,5	3,03	1,60E-01	0,013	0,026	0,00225	0,00004	2,520	352,35	12939	0,76	0,72	0,0115	5,67E-03	8,97E-04
174,0	3,04	1,60E-01	0,011	0,024	0,00225	0,00004	2,520	352,36	11879	0,76	0,66	0,0105	5,67E-03	8,77E-04

Tabela A18 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento do consumo de ar														
Θ (°)	rad	y (m)	M_v	dm/dt (kg/s)	V (m³)	dp (kg/m³)	ρ (kg/m³)	c (m/s)	Re	C_c	Vp (m/s)	M_v'	m_{ac} (kg)	Área da válvula (m²)
174,5	3,05	1,60E-01	0,010	0,022	0,00225	0,00004	2,520	352,36	10826	0,77	0,60	0,0095	5,67E-03	8,58E-04
175,0	3,05	1,60E-01	0,009	0,020	0,00225	0,00004	2,520	352,36	9782	0,77	0,54	0,0085	5,67E-03	8,40E-04
175,5	3,06	1,60E-01	0,008	0,018	0,00225	0,00004	2,520	352,36	8746	0,78	0,48	0,0075	5,67E-03	8,21E-04
176,0	3,07	1,60E-01	0,007	0,016	0,00225	0,00004	2,520	352,36	7719	0,79	0,42	0,0065	5,67E-03	8,03E-04
176,5	3,08	1,60E-01	0,006	0,014	0,00225	0,00004	2,520	352,36	6701	0,79	0,36	0,0055	5,68E-03	7,84E-04
177,0	3,09	1,60E-01	0,006	0,012	0,00225	0,00003	2,520	352,36	5695	0,80	0,30	0,0045	5,68E-03	7,66E-04
177,5	3,10	1,60E-01	0,005	0,010	0,00225	0,00003	2,520	352,36	4701	0,81	0,24	0,0036	5,68E-03	7,48E-04
178,0	3,11	1,60E-01	0,004	0,008	0,00225	0,00003	2,520	352,36	3719	0,82	0,18	0,0027	5,68E-03	7,30E-04
178,5	3,12	1,60E-01	0,003	0,006	0,00225	0,00003	2,520	352,36	2754	0,83	0,12	0,0017	5,68E-03	7,12E-04
179,0	3,12	1,60E-01	0,002	0,004	0,00225	0,00003	2,520	352,36	1807	0,85	0,06	0,0009	5,68E-03	6,95E-04
179,5	3,13	1,60E-01	0,001	0,002	0,00225	0,00003	2,520	352,36	885	0,88	0,00	0,0000	5,68E-03	6,78E-04
180,0	3,14	1,60E-01	0,000	0,000	0,00225	0,00003	2,520	352,36	0	0,64	0,00	0,0000	5,68E-03	6,61E-04

Tabela B1 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento da movimentação do ar no pórtico													
Condição 2 - 5,0º de virabrequim - Conduto 1													
Ponto	Área (m²)	V (m/s)	tg $\alpha = v/u$	tg $\beta = w/u$	u (m/s)	v (m/s)	w (m/s)	x (m)	y (m)	z (m)	$\partial u/\partial z$ (1/s)	$\partial w/\partial x$ (1/s)	ω_y (rad/s)
1	1,142E-03	6,65	0,00	0,00	6,65	0,00	0,01	-0,173	0,093	0,059	-	-	-
2	1,142E-03	6,65	0,00	0,00	6,65	0,01	0,01	-0,163	0,093	0,059	18,4	-4,6	11,5
3	1,142E-03	6,65	0,00	-0,01	6,64	0,02	-0,09	-0,153	0,093	0,059	-24,5	-12,7	-5,9
4	1,140E-03	6,66	0,00	-0,04	6,65	0,01	-0,25	-0,143	0,093	0,059	-5,6	-12,5	3,5
5	1,140E-03	6,66	0,00	-0,05	6,65	0,01	-0,33	-0,133	0,093	0,059	-1,3	-5,1	1,9
6	1,139E-03	6,66	0,00	-0,05	6,65	0,02	-0,35	-0,123	0,093	0,058	-16,3	-0,7	-7,8
7	1,137E-03	6,67	0,00	-0,05	6,67	0,02	-0,35	-0,113	0,093	0,058	-27,9	-0,3	-13,8
8	1,134E-03	6,69	0,00	-0,05	6,68	0,02	-0,35	-0,103	0,093	0,057	-38,3	-1,0	-18,7
9	1,130E-03	6,72	0,00	-0,05	6,71	0,01	-0,37	-0,093	0,094	0,057	-47,1	-1,9	-22,6
10	1,125E-03	6,75	0,00	-0,06	6,73	-0,02	-0,39	-0,083	0,094	0,056	-48,8	-2,6	-23,1
11	1,120E-03	6,78	-0,01	-0,06	6,76	-0,08	-0,42	-0,073	0,093	0,055	-30,1	-2,2	-13,9
12	1,118E-03	6,79	-0,03	-0,06	6,77	-0,19	-0,44	-0,063	0,093	0,055	0,4	-0,4	0,4
13	1,118E-03	6,79	-0,06	-0,06	6,76	-0,41	-0,43	-0,053	0,093	0,054	-14,4	-0,4	-7,0
14	1,107E-03	6,86	-0,12	-0,07	6,79	-0,84	-0,44	-0,044	0,092	0,054	64,5	-8,7	36,6

Tabela B2 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento da movimentação do ar no pórtico													
Condição 2 - 5,0º de virabrequim - Conduto 1													
Ponto	Área (m²)	V (m/s)	tg $\alpha = v/u$	tg $\beta = w/u$	u (m/s)	v (m/s)	w (m/s)	x (m)	y (m)	z (m)	$\partial u/\partial z$ (1/s)	$\partial w/\partial x$ (1/s)	ω_y (rad/s)
15	1,103E-03	6,88	-0,23	-0,09	6,68	-1,53	-0,58	-0,035	0,091	0,053	318,8	-23,8	171,3
16	1,115E-03	6,81	-0,39	-0,13	6,29	-2,45	-0,85	-0,027	0,088	0,052	465,3	-29,6	247,4
17	1,140E-03	6,66	-0,63	-0,20	5,55	-3,51	-1,10	-0,018	0,083	0,051	353,7	-32,2	193,0
18	1,101E-03	6,89	-0,90	-0,28	5,01	-4,51	-1,43	-0,009	0,077	0,048	144,3	-48,7	96,5
19	1,037E-03	7,32	-1,04	-0,38	4,90	-5,10	-1,88	-0,002	0,070	0,046	252,7	-19,8	136,2
20	1,114E-03	6,81	-1,46	-0,46	3,72	-5,45	-1,69	0,005	0,062	0,043	470,9	50,6	210,2
21	1,032E-03	7,35	-2,59	-0,51	2,60	-6,75	-1,33	0,009	0,053	0,041	480,0	71,2	204,4
22	9,850E-04	7,70	-3,49	-0,58	2,10	-7,31	-1,21	0,012	0,046	0,040	388,4	62,2	163,1
23	9,750E-04	7,78	-4,52	-0,64	1,67	-7,53	-1,06	0,014	0,039	0,039	587,2	190,6	198,3
24	1,000E-03	7,59	-8,90	-0,67	0,84	-7,52	-0,57	0,015	0,030	0,038	991,0	409,1	290,9
25	9,700E-04	7,82	-18,43	-0,68	0,42	-7,81	-0,29	0,015	0,025	0,037	1616,4	730,5	442,9
26	9,400E-04	8,07	-44,74	-0,68	0,18	-8,07	-0,12	0,016	0,020	0,037	2239,3	1037,6	600,8
27	9,000E-04	8,43	-133,54	-0,69	0,06	-8,43	-0,04	0,016	0,015	0,037	2978,9	1403,0	788,0
28	8,820E-04	8,60	-811,83	-0,67	0,01	-8,60	-0,01	0,016	0,010	0,037	-	-	-
29	8,000E-04	9,49	-	-	-	-	-	0,016	0,006	0,037	-	-	-
30	1,730E-03	4,39	-	-	-	-	-	0,016	0,000	0,037	-	-	-

Tabela B3 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento da movimentação do ar no pórtico													
Condição 2 - 5,0º de virabrequim - Conduto 2													
Ponto	Área (m²)	V (m/s)	tg $\alpha = v/u$	tg $\beta = w/u$	u (m/s)	v (m/s)	w (m/s)	x (m)	y (m)	z (m)	$\partial u/\partial z$ (1/s)	$\partial w/\partial x$ (1/s)	ω_y (rad/s)
1	1,149E-03	6,61	0,00	0,00	6,61	0,00	0,01	-0,173	0,093	-0,059	-	-	-
2	1,149E-03	6,61	0,00	0,01	6,60	-0,01	0,03	-0,163	0,093	-0,059	-9,4	5,8	-7,6
3	1,149E-03	6,61	0,00	0,02	6,60	-0,02	0,13	-0,153	0,093	-0,059	-45,7	22,8	-34,3
4	1,150E-03	6,60	0,00	0,07	6,58	-0,01	0,48	-0,143	0,093	-0,059	-80,7	52,9	-66,8
5	1,154E-03	6,58	0,00	0,18	6,47	0,02	1,16	-0,133	0,093	-0,057	-89,1	75,1	-82,1
6	1,157E-03	6,56	0,00	0,31	6,26	0,02	1,97	-0,123	0,093	-0,055	-89,2	80,4	-84,8
7	1,163E-03	6,53	0,00	0,45	5,94	0,00	2,70	-0,114	0,093	-0,051	-71,9	75,4	-73,6
8	1,154E-03	6,58	0,00	0,59	5,67	0,00	3,34	-0,105	0,093	-0,047	-52,1	62,4	-57,3
9	1,149E-03	6,61	0,00	0,70	5,42	-0,03	3,78	-0,097	0,093	-0,041	-41,7	46,3	-44,0
10	1,147E-03	6,62	-0,04	0,79	5,19	-0,21	4,09	-0,089	0,093	-0,035	-44,3	35,0	-39,6
11	1,156E-03	6,57	-0,17	0,89	4,86	-0,82	4,33	-0,081	0,093	-0,029	-54,2	29,6	-41,9
12	1,147E-03	6,62	-0,39	1,00	4,50	-1,75	4,52	-0,074	0,091	-0,023	-67,3	10,9	-39,1
13	1,154E-03	6,58	-0,68	1,12	3,99	-2,71	4,47	-0,068	0,087	-0,016	-69,3	-19,1	-25,1

Tabela B4 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento da movimentação do ar no pórtico													
Condição 2 - 5,0º de virabrequim - Conduto 2													
Ponto	Área (m²)	V (m/s)	tg $\alpha = v/u$	tg $\beta = w/u$	u (m/s)	v (m/s)	w (m/s)	x (m)	y (m)	z (m)	$\partial u/\partial z$ (1/s)	$\partial w/\partial x$ (1/s)	ω_y (rad/s)
14	1,150E-03	6,60	-0,99	1,20	3,56	-3,53	4,29	-0,062	0,083	-0,009	-49,3	-37,4	-6,0
15	1,120E-03	6,78	-1,29	1,22	3,33	-4,29	4,05	-0,057	0,076	-0,002	-17,2	-43,1	13,0
16	1,076E-03	7,05	-1,46	1,15	3,34	-4,89	3,83	-0,052	0,069	0,004	-58,2	-126,9	34,3
17	1,164E-03	6,52	-2,01	1,04	2,64	-5,30	2,73	-0,046	0,061	0,009	-117,9	-205,9	44,0
18	1,036E-03	7,33	-2,97	0,89	2,25	-6,68	2,00	-0,043	0,052	0,013	-117,2	-183,9	33,4
19	9,850E-04	7,70	-3,77	0,78	1,93	-7,30	1,51	-0,040	0,041	0,015	-275,7	-221,3	-27,2
20	1,000E-03	7,59	-7,09	0,76	1,05	-7,47	0,80	-0,037	0,030	0,017	-583,9	-352,1	-115,9
21	9,700E-04	7,82	-12,11	0,76	0,64	-7,78	0,49	-0,037	0,025	0,018	-1246,2	-716,3	-264,9
22	9,400E-04	8,07	-28,99	0,75	0,28	-8,07	0,21	-0,036	0,020	0,018	-1782,1	-1011,7	-385,2
23	9,000E-04	8,43	-91,67	0,79	0,09	-8,43	0,07	-0,036	0,015	0,018	-2409,3	-1377,8	-515,8
24	8,820E-04	8,60	-341,07	0,71	0,03	-8,60	0,02	-0,036	0,010	0,018	-3103,0	-1830,3	-636,4
25	8,000E-04	9,49	-1861,00	1,00	0,01	-9,49	0,01	-0,036	0,005	0,018	-	-	-
26	1,730E-03	4,39	-	-	-	-	-	-0,036	0,000	0,018	-	-	-

Tabela C1 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento de linhas de corrente no interior do cilindro												
Condição 2 - 5,0º de virabrequim												
Θ_2 (°)	r_2 (mm)	Θ_1 (°)	r_1 (mm)	r_2 crítico (mm)	Válido?	m_2 (m ² /s)	m_1 (m ² /s)	$\Gamma 2$ (m ² /s)	$\Gamma 1$ (m ² /s)	Ψ sem correção	correção de Ψ	Ψ corrigido
5	1	1	54,564	89,361	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	2,97	0,93	2,04
5	5	5	50,581	89,361	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,49	0,93	2,56
5	10	10	45,606	89,361	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,73	0,93	2,80
5	15	15	40,638	89,361	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,88	0,93	2,95
5	20	20	35,679	89,361	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,00	0,93	3,07
5	25	25	30,732	89,361	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,10	0,93	3,17
5	30	30	25,807	89,361	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,19	0,93	3,25
5	35	35	20,917	89,361	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,26	0,93	3,32
5	40	40	16,094	89,361	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,31	0,93	3,38
5	45	45	11,425	89,361	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,31	0,93	3,38
5	50	50	7,215	89,361	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,15	0,93	3,22
5	55	55	4,855	89,361	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,39	0,93	2,46
5	60	60	6,714	89,361	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	2,26	0,93	1,32
5	65	65	10,798	89,361	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	1,68	0,93	0,74
5	70	70	15,431	89,361	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	1,38	0,93	0,45
5	75	75	20,239	89,361	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	1,21	0,93	0,27
5	85	85	30,044	89,361	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	0,99	0,93	0,06
5	85	85	30,044	89,361	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	0,99	0,93	0,06
5	90	90	34,988	89,361	ERRADO	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	0,93	0,93	-0,01
5	95	95	39,946	89,361	ERRADO	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	0,87	0,93	-0,06

Tabela C2 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento de linhas de corrente no interior do cilindro												
Condição 2 - 5,0º de virabrequim												
Θ_2 (°)	r_2 (mm)	Θ_1 (°)	r_1 (mm)	r_2 crítico (mm)	Válido?	m_2 (m ² /s)	m_1 (m ² /s)	Γ_2 (m ² /s)	Γ_1 (m ² /s)	Ψ sem correção	correção de Ψ	Ψ corrigido
10	1	1	54,575	92,777	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,08	1,24	1,84
10	5	5	50,643	92,777	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,59	1,24	2,35
10	10	10	45,745	92,777	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,81	1,24	2,57
10	15	15	40,871	92,777	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,95	1,24	2,71
10	20	20	36,032	92,777	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,05	1,24	2,80
10	25	25	31,243	92,777	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,12	1,24	2,88
10	30	30	26,532	92,777	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,16	1,24	2,92
10	35	35	21,950	92,777	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,18	1,24	2,94
10	40	40	17,597	92,777	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,15	1,24	2,91
10	45	45	13,692	92,777	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,04	1,24	2,79
10	50	50	10,739	92,777	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,75	1,24	2,50
10	55	55	9,652	92,777	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,22	1,24	1,98
10	60	60	11,000	92,777	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	2,61	1,24	1,37
10	65	65	14,101	92,777	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	2,15	1,24	0,91
10	70	70	18,074	92,777	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	1,84	1,24	0,60
10	75	75	22,462	92,777	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	1,63	1,24	0,39
10	80	80	27,062	92,777	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	1,48	1,24	0,24
10	85	85	31,784	92,777	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	1,37	1,24	0,13
10	90	90	36,579	92,777	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	1,28	1,24	0,04
10	95	95	41,423	92,777	ERRADO	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	1,21	1,24	-0,03

Tabela C3 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento de linhas de corrente no interior do cilindro												
Condição 2 - 5,0º de virabrequim												
Θ_2 (°)	r_2 (mm)	Θ_1 (°)	r_1 (mm)	r_2 crítico (mm)	Válido?	m_2 (m ² /s)	m_1 (m ² /s)	Γ_2 (m ² /s)	Γ_1 (m ² /s)	Ψ sem correção	correção de Ψ	Ψ corrigido
15	1	1	54,595	95,865	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,19	1,52	1,67
15	5	5	50,747	95,865	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,68	1,52	2,17
15	10	10	45,974	95,865	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,90	1,52	2,38
15	15	15	41,254	95,865	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,02	1,52	2,50
15	20	20	36,609	95,865	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,09	1,52	2,57
15	25	25	32,071	95,865	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,14	1,52	2,62
15	30	30	27,693	95,865	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,15	1,52	2,63
15	35	35	23,563	95,865	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,12	1,52	2,60
15	40	40	19,839	95,865	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,04	1,52	2,52
15	45	45	16,790	95,865	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,87	1,52	2,35
15	50	50	14,840	95,865	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,59	1,52	2,07
15	55	55	14,442	95,865	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,20	1,52	1,68
15	60	60	15,713	95,865	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	2,80	1,52	1,28
15	65	65	18,309	95,865	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	2,45	1,52	0,93
15	70	70	21,761	95,865	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	2,18	1,52	0,66
15	75	75	25,727	95,865	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	1,98	1,52	0,46
15	80	80	30,004	95,865	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	1,83	1,52	0,31
15	85	85	34,475	95,865	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	1,71	1,52	0,19
15	90	90	39,075	95,865	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	1,61	1,52	0,09
15	95	95	43,763	95,865	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	1,53	1,52	0,01
15	100	100	48,513	95,865	ERRADO	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	1,47	1,52	-0,05

Tabela C4 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento de linhas de corrente no interior do cilindro												
Condição 2 - 5,0º de virabrequim												
Θ_2 (º)	r_2 (mm)	Θ_1 (º)	r_1 (mm)	r_2 crítico (mm)	Válido?	m_2 (m ² /s)	m_1 (m ² /s)	Γ_2 (m ² /s)	Γ_1 (m ² /s)	Ψ sem correção	correção de Ψ	Ψ corrigido
20	1	1	54,621	98,583	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,29	1,77	1,52
20	5	5	50,890	98,583	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,78	1,77	2,01
20	10	10	46,290	98,583	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,98	1,77	2,21
20	15	15	41,781	98,583	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,09	1,77	2,31
20	20	20	37,397	98,583	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,14	1,77	2,37
20	25	25	33,188	98,583	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,16	1,77	2,39
20	30	30	29,229	98,583	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,14	1,77	2,37
20	35	35	25,637	98,583	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,08	1,77	2,31
20	40	40	22,587	98,583	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,97	1,77	2,20
20	45	45	20,324	98,583	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,79	1,77	2,01
20	50	50	19,131	98,583	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,54	1,77	1,76
20	55	55	19,206	98,583	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,24	1,77	1,47
20	60	60	20,538	98,583	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	2,94	1,77	1,17
20	65	65	22,906	98,583	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	2,67	1,77	0,90
20	70	70	26,031	98,583	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	2,45	1,77	0,68
20	75	75	29,673	98,583	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	2,27	1,77	0,49
20	80	80	33,666	98,583	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	2,12	1,77	0,35
20	85	85	37,899	98,583	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	2,00	1,77	0,23
20	90	90	42,299	98,583	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	1,91	1,77	0,13
20	95	95	46,820	98,583	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	1,82	1,77	0,05
20	100	100	51,430	98,583	ERRADO	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	1,76	1,77	-0,02

Tabela C5 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento de linhas de corrente no interior do cilindro												
Condição 2 - 5,0º de virabrequim												
Θ_2 (°)	r_2 (mm)	Θ_1 (°)	r_1 (mm)	r_2 crítico (mm)	Válido?	m_2 (m ² /s)	m_1 (m ² /s)	$\Gamma 2$ (m ² /s)	$\Gamma 1$ (m ² /s)	Ψ sem correção	correção de Ψ	Ψ corrigido
30	1	1	54,696	102,764	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,50	2,24	1,26
30	5	5	51,291	102,764	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,98	2,24	1,73
30	10	10	47,166	102,764	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,15	2,24	1,91
30	15	15	43,225	102,764	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,22	2,24	1,98
30	20	20	39,525	102,764	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,25	2,24	2,00
30	25	25	36,140	102,764	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,23	2,24	1,99
30	30	30	33,165	102,764	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,17	2,24	1,93
30	35	35	30,721	102,764	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,08	2,24	1,84
30	40	40	28,941	102,764	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,95	2,24	1,71
30	45	45	27,954	102,764	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,79	2,24	1,55
30	50	50	27,844	102,764	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,60	2,24	1,36
30	55	55	28,620	102,764	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,40	2,24	1,16
30	60	60	30,215	102,764	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,21	2,24	0,97
30	65	65	32,508	102,764	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,03	2,24	0,79
30	70	70	35,364	102,764	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	2,87	2,24	0,63
30	75	75	38,658	102,764	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	2,73	2,24	0,49
30	80	80	42,288	102,764	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	2,61	2,24	0,37
30	85	85	46,175	102,764	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	2,51	2,24	0,27
30	90	90	50,259	102,764	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	2,42	2,24	0,18
30	95	95	54,496	102,764	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	2,34	2,24	0,10
30	100	100	58,853	102,764	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	2,28	2,24	0,03
30	105	105	63,305	102,764	ERRADO	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	2,22	2,24	-0,03

Tabela C6 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento de linhas de corrente no interior do cilindro												
Condição 2 - 5,0º de virabrequim												
Θ_2 (°)	r_2 (mm)	Θ_1 (°)	r_1 (mm)	r_2 crítico (mm)	Válido?	m_2 (m ² /s)	m_1 (m ² /s)	Γ_2 (m ² /s)	Γ_1 (m ² /s)	Ψ sem correção	correção de Ψ	Ψ corrigido
40	1	1	54,798	105,093	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,72	2,68	1,04
40	5	5	51,830	105,093	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,17	2,68	1,49
40	10	10	48,329	105,093	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,32	2,68	1,64
40	15	15	45,112	105,093	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,37	2,68	1,69
40	20	20	42,243	105,093	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,37	2,68	1,69
40	25	25	39,798	105,093	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,33	2,68	1,65
40	30	30	37,858	105,093	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,26	2,68	1,58
40	35	35	36,505	105,093	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,16	2,68	1,48
40	40	40	35,805	105,093	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,04	2,68	1,36
40	45	45	35,796	105,093	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,90	2,68	1,22
40	50	50	36,480	105,093	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,76	2,68	1,08
40	55	55	37,817	105,093	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,61	2,68	0,93
40	60	60	39,743	105,093	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,47	2,68	0,79
40	65	65	42,177	105,093	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,34	2,68	0,66
40	70	70	45,037	105,093	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,23	2,68	0,55
40	75	75	48,246	105,093	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,12	2,68	0,44
40	80	80	51,741	105,093	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,02	2,68	0,34
40	85	85	55,466	105,093	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	2,94	2,68	0,26
40	90	90	59,379	105,093	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	2,86	2,68	0,18
40	95	95	63,445	105,093	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	2,80	2,68	0,11
40	100	100	67,636	105,093	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	2,74	2,68	0,05
40	105	105	71,931	105,093	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	2,68	2,68	0,00
40	110	110	76,311	105,093	ERRADO	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	2,63	2,68	-0,05

Tabela C7 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento de linhas de corrente no interior do cilindro												
Condição 2 - 5,0º de virabrequim												
Θ_2 (°)	r_2 (mm)	Θ_1 (°)	r_1 (mm)	r_2 crítico (mm)	Válido?	m_2 (m ² /s)	m_1 (m ² /s)	Γ_2 (m ² /s)	Γ_1 (m ² /s)	Ψ sem correção	correção de Ψ	Ψ corrigido
50	1	1	54,923	105,450	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,93	3,10	0,83
50	5	5	52,486	105,450	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,37	3,10	1,27
50	10	10	49,726	105,450	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,50	3,10	1,40
50	15	15	47,334	105,450	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,53	3,10	1,43
50	20	20	45,369	105,450	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,52	3,10	1,42
50	25	25	43,889	105,450	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,47	3,10	1,36
50	30	30	42,943	105,450	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,39	3,10	1,29
50	35	35	42,567	105,450	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,30	3,10	1,20
50	40	40	42,777	105,450	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,19	3,10	1,09
50	45	45	43,563	105,450	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,08	3,10	0,98
50	50	50	44,895	105,450	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,96	3,10	0,86
50	55	55	46,727	105,450	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,85	3,10	0,75
50	60	60	49,003	105,450	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,75	3,10	0,65
50	65	65	51,664	105,450	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,65	3,10	0,55
50	70	70	54,654	105,450	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,56	3,10	0,45
50	75	75	57,922	105,450	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,47	3,10	0,37
50	80	80	61,423	105,450	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,39	3,10	0,29
50	85	85	65,120	105,450	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,32	3,10	0,22
50	90	90	68,982	105,450	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,26	3,10	0,16
50	95	95	72,982	105,450	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,20	3,10	0,10
50	100	100	77,099	105,450	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,15	3,10	0,05
50	105	105	81,315	105,450	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,11	3,10	0,00
50	110	110	85,615	105,450	ERRADO	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,06	3,10	-0,04

Tabela C8 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento de linhas de corrente no interior do cilindro												
Condição 2 - 5,0º de virabrequim												
Θ_2 (°)	r_2 (mm)	Θ_1 (°)	r_1 (mm)	r_2 crítico (mm)	Válido?	m_2 (m ² /s)	m_1 (m ² /s)	$\Gamma 2$ (m ² /s)	$\Gamma 1$ (m ² /s)	Ψ sem correção	correção de Ψ	Ψ corrigido
60	1	1	55,067	103,815	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,14	3,51	0,63
60	5	5	53,236	103,815	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,57	3,51	1,06
60	10	10	51,296	103,815	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,69	3,51	1,18
60	15	15	49,785	103,815	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,71	3,51	1,20
60	20	20	48,741	103,815	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,68	3,51	1,17
60	25	25	48,197	103,815	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,63	3,51	1,12
60	30	30	48,168	103,815	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,56	3,51	1,04
60	35	35	48,655	103,815	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,47	3,51	0,96
60	40	40	49,644	103,815	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,38	3,51	0,87
60	45	45	51,105	103,815	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,29	3,51	0,78
60	50	50	52,999	103,815	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,20	3,51	0,69
60	55	55	55,282	103,815	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,11	3,51	0,60
60	60	60	57,908	103,815	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,03	3,51	0,51
60	65	65	60,832	103,815	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,95	3,51	0,44
60	70	70	64,013	103,815	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,87	3,51	0,36
60	75	75	67,416	103,815	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,81	3,51	0,30
60	80	80	71,008	103,815	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,74	3,51	0,23
60	85	85	74,762	103,815	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,69	3,51	0,18
60	90	90	78,654	103,815	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,64	3,51	0,12
60	95	95	82,666	103,815	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,59	3,51	0,08
60	100	100	86,781	103,815	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,54	3,51	0,03
60	105	105	90,984	103,815	ERRADO	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,50	3,51	-0,01

Tabela C9 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento de linhas de corrente no interior do cilindro												
Condição 2 - 5,0º de virabrequim												
Θ_2 (°)	r_2 (mm)	Θ_1 (°)	r_1 (mm)	r_2 crítico (mm)	Válido?	m_2 (m²/s)	m_1 (m²/s)	$\Gamma 2$ (m2/s)	$\Gamma 1$ (m2/s)	Ψ sem correção	correção de Ψ	Ψ corrigido
70	1	1	55,226	100,274	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,35	3,91	0,44
70	5	5	54,054	100,274	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,77	3,91	0,86
70	10	10	52,980	100,274	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,88	3,91	0,97
70	15	15	52,363	100,274	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,89	3,91	0,98
70	20	20	52,219	100,274	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,87	3,91	0,95
70	25	25	52,553	100,274	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,81	3,91	0,90
70	30	30	53,355	100,274	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,75	3,91	0,83
70	35	35	54,605	100,274	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,68	3,91	0,76
70	40	40	56,273	100,274	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,60	3,91	0,69
70	45	45	58,324	100,274	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,53	3,91	0,61
70	50	50	60,718	100,274	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,45	3,91	0,54
70	55	55	63,416	100,274	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,38	3,91	0,47
70	60	60	66,382	100,274	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,31	3,91	0,40
70	65	65	69,581	100,274	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,25	3,91	0,34
70	70	70	72,983	100,274	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,19	3,91	0,28
70	75	75	76,561	100,274	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,14	3,91	0,22
70	80	80	80,290	100,274	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,08	3,91	0,17
70	85	85	84,151	100,274	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,04	3,91	0,12
70	90	90	88,127	100,274	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,99	3,91	0,08
70	95	95	92,203	100,274	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,95	3,91	0,04
70	100	100	96,366	100,274	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,92	3,91	0,00
70	105	105	100,605	100,274	ERRADO	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	3,88	3,91	-0,03

Tabela C10 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento de linhas de corrente no interior do cilindro												
Condição 2 - 5,0º de virabrequim												
Θ_2 (°)	r_2 (mm)	Θ_1 (°)	r_1 (mm)	r_2 crítico (mm)	Válido?	m_2 (m ² /s)	m_1 (m ² /s)	Γ_2 (m ² /s)	Γ_1 (m ² /s)	Ψ sem correção	correção de Ψ	Ψ corrigido
80	1	1	55,395	95,015	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,57	4,31	0,26
80	5	5	54,913	95,015	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,98	4,31	0,67
80	10	10	54,717	95,015	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,08	4,31	0,77
80	15	15	54,977	95,015	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,09	4,31	0,78
80	20	20	55,687	95,015	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,07	4,31	0,76
80	25	25	56,829	95,015	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,02	4,31	0,71
80	30	30	58,378	95,015	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,96	4,31	0,65
80	35	35	60,304	95,015	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,90	4,31	0,59
80	40	40	62,571	95,015	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,84	4,31	0,53
80	45	45	65,143	95,015	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,78	4,31	0,47
80	50	50	67,986	95,015	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,72	4,31	0,41
80	55	55	71,068	95,015	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,66	4,31	0,35
80	60	60	74,358	95,015	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,60	4,31	0,29
80	65	65	77,831	95,015	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,55	4,31	0,24
80	70	70	81,463	95,015	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,51	4,31	0,20
80	75	75	85,233	95,015	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,46	4,31	0,15
80	80	80	89,125	95,015	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,42	4,31	0,11
80	85	85	93,122	95,015	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,38	4,31	0,07
80	90	90	97,213	95,015	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,34	4,31	0,03
80	95	95	101,384	95,015	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,31	4,31	0,00
80	100	100	105,628	95,015	ERRADO	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,28	4,31	-0,03

Tabela C11 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento de linhas de corrente no interior do cilindro												
Condição 2 - 5,0º de virabrequim												
Θ_2 (°)	r_2 (mm)	Θ_1 (°)	r_1 (mm)	r_2 crítico (mm)	Válido?	m_2 (m ² /s)	m_1 (m ² /s)	Γ_2 (m ² /s)	Γ_1 (m ² /s)	Ψ sem correção	correção de Ψ	Ψ corrigido
90	1	1	55,569	88,327	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,78	4,70	0,08
90	5	5	55,785	88,327	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,19	4,70	0,49
90	10	10	56,453	88,327	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,29	4,70	0,59
90	15	15	57,549	88,327	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,30	4,70	0,60
90	20	20	59,050	88,327	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,28	4,70	0,58
90	25	25	60,925	88,327	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,24	4,70	0,54
90	30	30	63,142	88,327	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,19	4,70	0,50
90	35	35	65,665	88,327	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,14	4,70	0,44
90	40	40	68,461	88,327	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,09	4,70	0,39
90	45	45	71,498	88,327	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,04	4,70	0,34
90	50	50	74,746	88,327	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,99	4,70	0,29
90	55	55	78,179	88,327	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,95	4,70	0,25
90	60	60	81,774	88,327	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,90	4,70	0,20
90	65	65	85,510	88,327	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,86	4,70	0,16
90	70	70	89,370	88,327	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,82	4,70	0,12
90	75	75	93,338	88,327	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,78	4,70	0,09
90	80	80	97,401	88,327	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,75	4,70	0,05
90	85	85	101,548	88,327	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,72	4,70	0,02
90	90	90	105,768	88,327	ERRADO	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	4,69	4,70	-0,01

Tabela C12 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento de linhas de corrente no interior do cilindro												
Condição 2 - 5,0º de virabrequim												
Θ_2 (°)	r_2 (mm)	Θ_1 (°)	r_1 (mm)	r_2 crítico (mm)	Válido?	m_2 (m ² /s)	m_1 (m ² /s)	Γ_2 (m ² /s)	Γ_1 (m ² /s)	Ψ sem correção	correção de Ψ	Ψ corrigido
100	1	1	55,742	80,591	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,00	5,08	-0,08
100	5	5	56,643	80,591	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,40	5,08	0,33
100	10	10	58,137	80,591	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,50	5,08	0,43
100	15	15	60,011	80,591	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,52	5,08	0,44
100	20	20	62,232	80,591	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,50	5,08	0,43
100	25	25	64,763	80,591	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,47	5,08	0,40
100	30	30	67,571	80,591	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,44	5,08	0,36
100	35	35	70,621	80,591	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,40	5,08	0,32
100	40	40	73,883	80,591	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,35	5,08	0,28
100	45	45	77,332	80,591	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,31	5,08	0,24
100	50	50	80,943	80,591	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,28	5,08	0,20
100	55	55	84,695	80,591	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,24	5,08	0,16
100	60	60	88,570	80,591	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,20	5,08	0,13
100	65	65	92,553	80,591	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,17	5,08	0,09
100	70	70	96,631	80,591	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,14	5,08	0,06
100	75	75	100,792	80,591	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,11	5,08	0,03
100	80	80	105,027	80,591	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,08	5,08	0,00
100	85	85	109,325	80,591	ERRADO	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,05	5,08	-0,02

Tabela C13- Resultados numéricos obtidos por equacionamento de linhas de corrente no interior do cilindro												
Condição 2 - 5,0º de virabrequim												
Θ_2 (°)	r_2 (mm)	Θ_1 (°)	r_1 (mm)	r_2 crítico (mm)	Válido?	m_2 (m ² /s)	m_1 (m ² /s)	Γ_2 (m ² /s)	Γ_1 (m ² /s)	Ψ sem correção	correção de Ψ	Ψ corrigido
110	1	1	55,910	72,265	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,21	5,45	-0,23
110	5	5	57,463	72,265	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,62	5,45	0,17
110	10	10	59,724	72,265	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,72	5,45	0,28
110	15	15	62,306	72,265	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,75	5,45	0,30
110	20	20	65,169	72,265	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,74	5,45	0,29
110	25	25	68,279	72,265	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,72	5,45	0,27
110	30	30	71,604	72,265	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,69	5,45	0,24
110	35	35	75,114	72,265	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,66	5,45	0,21
110	40	40	78,785	72,265	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,63	5,45	0,18
110	45	45	82,596	72,265	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,60	5,45	0,15
110	50	50	86,528	72,265	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,56	5,45	0,12
110	55	55	90,566	72,265	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,54	5,45	0,09
110	60	60	94,695	72,265	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,51	5,45	0,06
110	65	65	98,905	72,265	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,48	5,45	0,04
110	70	70	103,186	72,265	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,46	5,45	0,01
110	75	75	107,528	72,265	ERRADO	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,43	5,45	-0,01

Tabela C14 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento de linhas de corrente no interior do cilindro												
Condição 2 - 5,0º de virabrequim												
Θ_2 (°)	r_2 (mm)	Θ_1 (°)	r_1 (mm)	r_2 crítico (mm)	Válido?	m_2 (m ² /s)	m_1 (m ² /s)	Γ_2 (m ² /s)	Γ_1 (m ² /s)	Ψ sem correção	correção de Ψ	Ψ corrigido
120	1	1	56,067	63,848	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,43	5,80	-0,37
120	5	5	58,221	63,848	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,84	5,80	0,04
120	10	10	61,176	63,848	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,95	5,80	0,15
120	15	15	64,384	63,848	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,98	5,80	0,18
120	20	20	67,809	63,848	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,98	5,80	0,18
120	25	25	71,421	63,848	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,97	5,80	0,17
120	30	30	75,191	63,848	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,95	5,80	0,15
120	35	35	79,098	63,848	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,93	5,80	0,13
120	40	40	83,122	63,848	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,91	5,80	0,11
120	45	45	87,247	63,848	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,88	5,80	0,08
120	50	50	91,460	63,848	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,86	5,80	0,06
120	55	55	95,748	63,848	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,84	5,80	0,04
120	60	60	100,103	63,848	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,82	5,80	0,02
120	65	65	104,515	63,848	ERRADO	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,80	5,80	0,00

Tabela C15 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento de linhas de corrente no interior do cilindro												
Condição 2 - 5,0º de virabrequim												
Θ_2 (°)	r_2 (mm)	Θ_1 (°)	r_1 (mm)	r_2 crítico (mm)	Válido?	m_2 (m ² /s)	m_1 (m ² /s)	Γ_2 (m ² /s)	Γ_1 (m ² /s)	Ψ sem correção	correção de Ψ	Ψ corrigido
130	1	1	56,208	55,822	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,65	6,14	-0,49
130	5	5	58,899	55,822	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,06	6,14	-0,08
130	10	10	62,459	55,822	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,18	6,14	0,04
130	15	15	66,207	55,822	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,22	6,14	0,08
130	20	20	70,110	55,822	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,23	6,14	0,09
130	25	25	74,146	55,822	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,23	6,14	0,09
130	30	30	78,292	55,822	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,22	6,14	0,08
130	35	35	82,534	55,822	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,21	6,14	0,06
130	40	40	86,856	55,822	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,19	6,14	0,05
130	45	45	91,248	55,822	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,17	6,14	0,03
130	50	50	95,699	55,822	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,16	6,14	0,02
130	55	55	100,202	55,822	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,14	6,14	0,00
130	60	60	104,750	55,822	ERRADO	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,13	6,14	-0,01

Tabela C16 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento de linhas de corrente no interior do cilindro												
Condição 2 - 5,0º de virabrequim												
Θ_2 (º)	r_2 (mm)	Θ_1 (º)	r_1 (mm)	r_2 crítico (mm)	Válido?	m_2 (m ² /s)	m_1 (m ² /s)	Γ_2 (m ² /s)	Γ_1 (m ² /s)	Ψ sem correção	correção de Ψ	Ψ corrigido
140	1	1	56,330	48,583	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,87	6,47	-0,60
140	5	5	59,477	48,583	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,29	6,47	-0,18
140	10	10	63,546	48,583	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,42	6,47	-0,05
140	15	15	67,740	48,583	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,47	6,47	0,00
140	20	20	72,037	48,583	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,49	6,47	0,02
140	25	25	76,420	48,583	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,49	6,47	0,03
140	30	30	80,874	48,583	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,49	6,47	0,03
140	35	35	85,389	48,583	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,49	6,47	0,02
140	40	40	89,955	48,583	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,48	6,47	0,02
140	45	45	94,564	48,583	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,47	6,47	0,01
140	50	50	99,212	48,583	ERRADO	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,46	6,47	0,00

Tabela C17 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento de linhas de corrente no interior do cilindro												
Condição 2 - 5,0º de virabrequim												
Θ_2 (°)	r_2 (mm)	Θ_1 (°)	r_1 (mm)	r_2 crítico (mm)	Válido?	m_2 (m²/s)	m_1 (m²/s)	$\Gamma 2$ (m2/s)	$\Gamma 1$ (m2/s)	Ψ sem correção	correção de Ψ	Ψ corrigido
150	1	1	56,428	42,376	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,08	6,77	-0,69
150	5	5	59,942	42,376	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,52	6,77	-0,26
150	10	10	64,415	42,376	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,66	6,77	-0,12
150	15	15	68,959	42,376	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,72	6,77	-0,05
150	20	20	73,563	42,376	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,75	6,77	-0,02
150	25	25	78,216	42,376	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,77	6,77	-0,01
150	30	30	82,909	42,376	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,77	6,77	0,00
150	35	35	87,636	42,376	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,78	6,77	0,00
150	40	40	92,392	42,376	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,78	6,77	0,00
150	45	45	97,172	42,376	ERRADO	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,77	6,77	0,00
160	1	1	56,501	37,279	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,30	7,07	-0,77
160	5	5	60,283	37,279	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,75	7,07	-0,32
160	10	10	65,047	37,279	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,90	7,07	-0,17
160	15	15	69,844	37,279	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,97	7,07	-0,10
160	20	20	74,668	37,279	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	7,02	7,07	-0,06
160	25	25	79,513	37,279	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	7,04	7,07	-0,03
160	30	30	84,377	37,279	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	7,06	7,07	-0,01
160	35	35	89,256	37,279	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	7,07	7,07	0,00
160	40	40	94,147	37,279	ERRADO	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	7,07	7,07	0,00

Tabela C18 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento de linhas de corrente no interior do cilindro												
Condição 2 - 5,0º de virabrequim												
Θ_2 (°)	r_2 (mm)	Θ_1 (°)	r_1 (mm)	r_2 crítico (mm)	Válido?	m_2 (m ² /s)	m_1 (m ² /s)	Γ_2 (m ² /s)	Γ_1 (m ² /s)	Ψ sem correção	correção de Ψ	Ψ corrigido
170	1	1	56,545	33,239	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,52	7,36	-0,83
170	5	5	60,490	33,239	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,98	7,36	-0,38
170	10	10	65,431	33,239	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	7,15	7,36	-0,21
170	15	15	70,380	33,239	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	7,23	7,36	-0,12
170	20	20	75,336	33,239	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	7,28	7,36	-0,07
170	25	25	80,298	33,239	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	7,32	7,36	-0,04
170	30	30	85,264	33,239	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	7,34	7,36	-0,01
170	35	35	90,233	33,239	ERRADO	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	7,36	7,36	0,01
180	1	1	56,560	30,161	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,74	7,63	-0,89
180	5	5	60,560	30,161	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	7,21	7,63	-0,42
180	10	10	65,560	30,161	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	7,39	7,63	-0,24
180	15	15	70,560	30,161	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	7,49	7,63	-0,14
180	20	20	75,560	30,161	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	7,55	7,63	-0,08
180	25	25	80,560	30,161	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	7,60	7,63	-0,03
180	30	30	85,560	30,161	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	7,63	7,63	0,00
180	35	35	90,560	30,161	ERRADO	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	7,66	7,63	0,03

Tabela C19 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento de linhas de corrente no interior do cilindro												
Condição 2 - 5,0º de virabrequim												
Θ_2 (°)	r_2 (mm)	Θ_1 (°)	r_1 (mm)	r_2 crítico (mm)	Válido?	m_2 (m ² /s)	m_1 (m ² /s)	$\Gamma 2$ (m2/s)	$\Gamma 1$ (m2/s)	Ψ sem correção	correção de Ψ	Ψ corrigido
190	1	181	56,545	27,825	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	6,96	7,91	-0,95
190	5	185	60,490	27,825	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	7,45	7,91	-0,46
190	10	190	65,431	27,825	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	7,65	7,91	-0,26
190	15	195	70,380	27,825	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	7,76	7,91	-0,15
190	20	200	75,336	27,825	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	7,83	7,91	-0,08
190	25	205	80,298	27,825	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	7,88	7,91	-0,02
190	30	210	85,264	27,825	ERRADO	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	7,93	7,91	0,02
200	1	181	56,501	26,186	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	7,18	8,18	-1,00
200	5	185	60,283	26,186	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	7,68	8,18	-0,50
200	10	190	65,047	26,186	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	7,90	8,18	-0,29
200	15	195	69,844	26,186	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	8,02	8,18	-0,16
200	20	200	74,668	26,186	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	8,11	8,18	-0,08
200	25	205	79,513	26,186	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	8,17	8,18	-0,01
200	30	210	84,377	26,186	ERRADO	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	8,22	8,18	0,04

Tabela C20 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento de linhas de corrente no interior do cilindro												
Condição 2 - 5,0º de virabrequim												
Θ_2 (°)	r_2 (mm)	Θ_1 (°)	r_1 (mm)	r_2 crítico (mm)	Válido?	m_2 (m ² /s)	m_1 (m ² /s)	Γ_2 (m ² /s)	Γ_1 (m ² /s)	Ψ sem correção	correção de Ψ	Ψ corrigido
210	1	181	56,428	25,121	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	7,40	8,46	-1,06
210	5	185	59,942	25,121	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	7,92	8,46	-0,54
210	10	190	64,415	25,121	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	8,15	8,46	-0,31
210	15	195	68,959	25,121	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	8,29	8,46	-0,17
210	20	200	73,563	25,121	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	8,38	8,46	-0,08
210	25	205	78,216	25,121	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	8,46	8,46	0,00
210	30	210	82,909	25,121	ERRADO	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	8,52	8,46	0,06
220	1	181	56,330	24,564	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	7,62	8,74	-1,12
220	5	185	59,477	24,564	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	8,15	8,74	-0,59
220	10	190	63,546	24,564	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	8,40	8,74	-0,34
220	15	195	67,740	24,564	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	8,55	8,74	-0,19
220	20	200	72,037	24,564	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	8,66	8,74	-0,08
220	25	205	76,420	24,564	ERRADO	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	8,75	8,74	0,01

Tabela C21 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento de linhas de corrente no interior do cilindro												
Condição 2 - 5,0º de virabrequim												
Θ_2 (°)	r_2 (mm)	Θ_1 (°)	r_1 (mm)	r_2 crítico (mm)	Válido?	m_2 (m ² /s)	m_1 (m ² /s)	Γ_2 (m ² /s)	Γ_1 (m ² /s)	Ψ sem correção	correção de Ψ	Ψ corrigido
230	1	181	56,208	24,481	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	7,84	9,03	-1,18
230	5	185	58,899	24,481	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	8,38	9,03	-0,64
230	10	190	62,459	24,481	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	8,65	9,03	-0,38
230	15	195	66,207	24,481	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	8,81	9,03	-0,21
230	20	200	70,110	24,481	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	8,94	9,03	-0,09
230	25	205	74,146	24,481	ERRADO	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	9,04	9,03	0,01
240	1	181	56,067	24,866	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	8,06	9,32	-1,26
240	5	185	58,221	24,866	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	8,62	9,32	-0,70
240	10	190	61,176	24,866	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	8,89	9,32	-0,43
240	15	195	64,384	24,866	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	9,08	9,32	-0,25
240	20	200	67,809	24,866	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	9,21	9,32	-0,11
240	25	205	71,421	24,866	ERRADO	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	9,32	9,32	0,00

Tabela C22 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento de linhas de corrente no interior do cilindro												
Condição 2 - 5,0º de virabrequim												
Θ_2 (°)	r_2 (mm)	Θ_1 (°)	r_1 (mm)	r_2 crítico (mm)	Válido?	m_2 (m ² /s)	m_1 (m ² /s)	Γ_2 (m ² /s)	Γ_1 (m ² /s)	Ψ sem correção	correção de Ψ	Ψ corrigido
250	1	181	55,910	25,745	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	8,28	9,63	-1,35
250	5	185	57,463	25,745	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	8,85	9,63	-0,78
250	10	190	59,724	25,745	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	9,14	9,63	-0,49
250	15	195	62,306	25,745	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	9,34	9,63	-0,29
250	20	200	65,169	25,745	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	9,49	9,63	-0,14
250	25	205	68,279	25,745	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	9,61	9,63	-0,02
250	30	210	71,604	25,745	ERRADO	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	9,71	9,63	0,09
260	1	181	55,742	27,169	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	8,50	9,95	-1,45
260	5	185	56,643	27,169	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	9,07	9,95	-0,87
260	10	190	58,137	27,169	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	9,38	9,95	-0,57
260	15	195	60,011	27,169	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	9,59	9,95	-0,36
260	20	200	62,232	27,169	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	9,76	9,95	-0,19
260	25	205	64,763	27,169	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	9,89	9,95	-0,05
260	30	210	67,571	27,169	ERRADO	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	10,01	9,95	0,06

Tabela C23 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento de linhas de corrente no interior do cilindro												
Condição 2 - 5,0º de virabrequim												
Θ_2 (°)	r_2 (mm)	Θ_1 (°)	r_1 (mm)	r_2 crítico (mm)	Válido?	m_2 (m ² /s)	m_1 (m ² /s)	Γ_2 (m ² /s)	Γ_1 (m ² /s)	Ψ sem correção	correção de Ψ	Ψ corrigido
270	1	181	55,569	29,227	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	8,72	10,29	-1,57
270	5	185	55,785	29,227	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	9,30	10,29	-0,99
270	10	190	56,453	29,227	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	9,62	10,29	-0,67
270	15	195	57,549	29,227	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	9,84	10,29	-0,45
270	20	200	59,050	29,227	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	10,02	10,29	-0,27
270	25	205	60,925	29,227	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	10,17	10,29	-0,11
270	30	210	63,142	29,227	ERRADO	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	10,31	10,29	0,02
280	1	181	55,395	32,032	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	8,93	10,65	-1,72
280	5	185	54,913	32,032	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	9,52	10,65	-1,13
280	10	190	54,717	32,032	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	9,85	10,65	-0,80
280	15	195	54,977	32,032	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	10,09	10,65	-0,57
280	20	200	55,687	32,032	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	10,28	10,65	-0,37
280	25	205	56,829	32,032	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	10,45	10,65	-0,20
280	30	210	58,378	32,032	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	10,60	10,65	-0,06
280	35	215	60,304	32,032	ERRADO	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	10,73	10,65	0,08

Tabela C24 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento de linhas de corrente no interior do cilindro												
Condição 2 - 5,0º de virabrequim												
Θ_2 (°)	r_2 (mm)	Θ_1 (°)	r_1 (mm)	r_2 crítico (mm)	Válido?	m_2 (m ² /s)	m_1 (m ² /s)	Γ_2 (m ² /s)	Γ_1 (m ² /s)	Ψ sem correção	correção de Ψ	Ψ corrigido
290	1	181	55,226	35,723	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	9,15	11,05	-1,90
290	5	185	54,054	35,723	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	9,74	11,05	-1,31
290	10	190	52,980	35,723	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	10,07	11,05	-0,97
290	15	195	52,363	35,723	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	10,32	11,05	-0,73
290	20	200	52,219	35,723	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	10,53	11,05	-0,52
290	25	205	52,553	35,723	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	10,71	11,05	-0,34
290	30	210	53,355	35,723	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	10,88	11,05	-0,17
290	35	215	54,605	35,723	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	11,03	11,05	-0,02
290	40	220	56,273	35,723	ERRADO	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	11,16	11,05	0,11
300	1	181	55,067	40,432	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	9,36	11,49	-2,13
300	5	185	53,236	40,432	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	9,96	11,49	-1,54
300	10	190	51,296	40,432	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	10,29	11,49	-1,20
300	15	195	49,785	40,432	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	10,55	11,49	-0,95
300	20	200	48,741	40,432	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	10,77	11,49	-0,73
300	25	205	48,197	40,432	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	10,97	11,49	-0,53
300	30	210	48,168	40,432	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	11,15	11,49	-0,34
300	35	215	48,655	40,432	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	11,32	11,49	-0,17
300	40	220	49,644	40,432	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	11,48	11,49	-0,01
300	45	225	51,105	40,432	ERRADO	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	11,62	11,49	0,13

Tabela C25 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento de linhas de corrente no interior do cilindro												
Condição 2 - 5,0º de virabrequim												
Θ_2 (°)	r_2 (mm)	Θ_1 (°)	r_1 (mm)	r_2 crítico (mm)	Válido?	m_2 (m ² /s)	m_1 (m ² /s)	Γ_2 (m ² /s)	Γ_1 (m ² /s)	Ψ sem correção	correção de Ψ	Ψ corrigido
310	1	181	54,923	46,245	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	9,58	12,00	-2,42
310	5	185	52,486	46,245	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	10,17	12,00	-1,83
310	10	190	49,726	46,245	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	10,50	12,00	-1,49
310	15	195	47,334	46,245	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	10,76	12,00	-1,24
310	20	200	45,369	46,245	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	10,99	12,00	-1,01
310	25	205	43,889	46,245	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	11,20	12,00	-0,80
310	30	210	42,943	46,245	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	11,40	12,00	-0,59
310	35	215	42,567	46,245	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	11,60	12,00	-0,40
310	40	220	42,777	46,245	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	11,78	12,00	-0,21
310	45	225	43,563	46,245	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	11,96	12,00	-0,04
310	50	230	44,895	46,245	ERRADO	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	12,11	12,00	0,12

Tabela C26 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento de linhas de corrente no interior do cilindro												
Condição 2 - 5,0º de virabrequim												
Θ_2 (º)	r_2 (mm)	Θ_1 (º)	r_1 (mm)	r_2 crítico (mm)	Válido?	m_2 (m ² /s)	m_1 (m ² /s)	Γ_2 (m ² /s)	Γ_1 (m ² /s)	Ψ sem correção	correção de Ψ	Ψ corrigido
320	1	181	54,798	53,135	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	9,79	12,59	-2,80
320	5	185	51,830	53,135	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	10,37	12,59	-2,22
320	10	190	48,329	53,135	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	10,70	12,59	-1,89
320	15	195	45,112	53,135	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	10,96	12,59	-1,63
320	20	200	42,243	53,135	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	11,19	12,59	-1,40
320	25	205	39,798	53,135	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	11,41	12,59	-1,18
320	30	210	37,858	53,135	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	11,63	12,59	-0,96
320	35	215	36,505	53,135	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	11,85	12,59	-0,74
320	40	220	35,805	53,135	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	12,07	12,59	-0,52
320	45	225	35,796	53,135	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	12,28	12,59	-0,31
320	50	230	36,480	53,135	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	12,48	12,59	-0,11
320	55	235	37,817	53,135	ERRADO	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	12,65	12,59	0,06

Tabela C27 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento de linhas de corrente no interior do cilindro												
Condição 2 - 5,0º de virabrequim												
Θ_2 (°)	r_2 (mm)	Θ_1 (°)	r_1 (mm)	r_2 crítico (mm)	Válido?	m_2 (m ² /s)	m_1 (m ² /s)	Γ_2 (m ² /s)	Γ_1 (m ² /s)	Ψ sem correção	correção de Ψ	Ψ corrigido
330	1	181	54,696	60,919	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	10,01	13,32	-3,31
330	5	185	51,291	60,919	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	10,58	13,32	-2,74
330	10	190	47,166	60,919	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	10,89	13,32	-2,42
330	15	195	43,225	60,919	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	11,14	13,32	-2,18
330	20	200	39,525	60,919	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	11,36	13,32	-1,96
330	25	205	36,140	60,919	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	11,58	13,32	-1,73
330	30	210	33,165	60,919	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	11,82	13,32	-1,50
330	35	215	30,721	60,919	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	12,06	13,32	-1,25
330	45	225	27,954	60,919	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	12,58	13,32	-0,73
330	45	225	27,954	60,919	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	12,58	13,32	-0,73
330	50	230	27,844	60,919	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	12,84	13,32	-0,48
330	55	235	28,620	60,919	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	13,08	13,32	-0,24
330	60	240	30,215	60,919	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	13,28	13,32	-0,03
330	65	245	32,508	60,919	ERRADO	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	5,68	13,32	-7,64

Tabela C28 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento de linhas de corrente no interior do cilindro												
Condição 2 - 5,0º de virabrequim												
Θ_2 (°)	r_2 (mm)	Θ_1 (°)	r_1 (mm)	r_2 crítico (mm)	Válido?	m_2 (m ² /s)	m_1 (m ² /s)	Γ_2 (m ² /s)	Γ_1 (m ² /s)	Ψ sem correção	correção de Ψ	Ψ corrigido
340	1	181	54,621	69,249	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	10,22	14,23	-4,01
340	5	185	50,890	69,249	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	10,78	14,23	-3,45
340	10	190	46,290	69,249	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	11,08	14,23	-3,15
340	15	195	41,781	69,249	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	11,30	14,23	-2,92
340	20	200	37,397	69,249	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	11,51	14,23	-2,72
340	25	205	33,188	69,249	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	11,72	14,23	-2,51
340	30	210	29,229	69,249	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	11,94	14,23	-2,28
340	35	215	25,637	69,249	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	12,20	14,23	-2,03
340	40	220	22,587	69,249	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	12,49	14,23	-1,73
340	45	225	20,324	69,249	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	12,83	14,23	-1,40
340	50	230	19,131	69,249	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	13,19	14,23	-1,04
340	55	235	19,206	69,249	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	13,54	14,23	-0,69
340	60	60	20,538	69,249	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	13,84	14,23	-0,38
340	65	65	22,906	69,249	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	14,08	14,23	-0,15
340	70	70	26,031	69,249	ERRADO	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	14,25	14,23	0,02

Tabela C29 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento de linhas de corrente no interior do cilindro												
Condição 2 - 5,0º de virabrequim												
Θ_2 (°)	r_2 (mm)	Θ_1 (°)	r_1 (mm)	r_2 crítico (mm)	Válido?	m_2 (m ² /s)	m_1 (m ² /s)	Γ_2 (m ² /s)	Γ_1 (m ² /s)	Ψ sem correção	correção de Ψ	Ψ corrigido
350	1	181	54,575	77,665	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	10,43	15,25	-4,82
350	5	185	50,643	77,665	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	10,97	15,25	-4,28
350	10	190	45,745	77,665	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	11,25	15,25	-4,00
350	15	195	40,871	77,665	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	11,45	15,25	-3,80
350	20	200	36,032	77,665	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	11,63	15,25	-3,62
350	25	205	31,243	77,665	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	11,81	15,25	-3,44
350	30	210	26,532	77,665	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	12,00	15,25	-3,25
350	35	215	21,950	77,665	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	12,22	15,25	-3,03
350	40	220	17,597	77,665	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	12,50	15,25	-2,75
350	45	225	13,692	77,665	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	12,88	15,25	-2,37
350	50	230	10,739	77,665	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	13,42	15,25	-1,83
350	55	235	9,652	77,665	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	14,09	15,25	-1,16
350	60	60	11,000	77,665	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	14,65	15,25	-0,60
350	65	65	14,101	77,665	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	14,97	15,25	-0,28
350	70	70	18,074	77,665	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	15,14	15,25	-0,11
350	75	75	22,462	77,665	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	15,22	15,25	-0,03
350	80	80	27,062	77,665	ERRADO	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	15,27	15,25	0,02

Tabela C30 - Resultados numéricos obtidos por equacionamento de linhas de corrente no interior do cilindro												
Condição 2 - 5,0º de virabrequim												
Θ_2 (°)	r_2 (mm)	Θ_1 (°)	r_1 (mm)	r_2 crítico (mm)	Válido?	m_2 (m ² /s)	m_1 (m ² /s)	$\Gamma 2$ (m ² /s)	$\Gamma 1$ (m ² /s)	Ψ sem correção	correção de Ψ	Ψ corrigido
355	1	181	54,564	81,749	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	10,54	15,72	-5,18
355	5	185	50,581	81,749	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	11,07	15,72	-4,65
355	10	190	45,606	81,749	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	11,34	15,72	-4,38
355	15	195	40,638	81,749	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	11,52	15,72	-4,20
355	20	200	35,679	81,749	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	11,68	15,72	-4,04
355	25	205	30,732	81,749	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	11,84	15,72	-3,89
355	30	210	25,807	81,749	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	12,00	15,72	-3,72
355	35	215	20,917	81,749	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	12,18	15,72	-3,54
355	40	220	16,094	81,749	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	12,41	15,72	-3,31
355	45	225	11,425	81,749	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	12,74	15,72	-2,98
355	50	230	7,215	81,749	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	13,32	15,72	-2,40
355	55	235	4,855	81,749	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	14,44	15,72	-1,28
355	60	60	6,714	81,749	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	15,38	15,72	-0,34
355	65	65	10,798	81,749	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	15,65	15,72	-0,07
355	70	70	15,431	81,749	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	15,72	15,72	-0,01
355	75	75	20,239	81,749	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	15,73	15,72	0,01
355	80	80	25,123	81,749	OK	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	15,73	15,72	0,00
355	85	85	30,044	81,749	ERRADO	7,7765	7,7765	-1,9390	2,4009	15,72	15,72	-0,01