

5

Simulações adicionais

Depois de definidas as posições das janelas de sucção e descarga, com pressão de descarga de 500 kPa e pressão de sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 95 mm, decidiu-se continuar as simulações alterando a pressão de descarga, sem alterar as posições das janelas, as quais já haviam sido fabricadas na placa de janelas. As simulações foram feitas igualmente sem válvulas, com as janelas abertas.

Para essas simulações foram escolhidas uma pressão de descarga maior, e outra menor do que $p = 500$ kPa, que possibilitou analisar o desempenho do compressor quando alterada apenas a pressão de descarga. Essas pressões foram: $p_d = 750$ kPa e $p_d = 250$ kPa, que possuem a mesma diferença de valor da pressão de $p = 500$ kPa, que foi a pressão de estudo para posicionamento das janelas.

Foi realizada, também, simulação para determinada pressão de descarga utilizando-se válvulas nas janelas de sucção e descarga de gás. Para essa simulação utilizou-se $p_d = 500$ kPa, o que também permitiu comparar o desempenho do compressor quando são utilizadas válvulas.

Para ambas as simulações adotaram-se:

1º) A variação volumétrica continua sendo a mesma para todas as excentricidades, pois o volume calculado da câmara é independente da pressão.

2º) Os ângulos em relação ao ponto de referência de cada uma das etapas de compressão, descarga, re-expansão e sucção, durante o ciclo do compressor, continuam os mesmos (Tab. 14). Esta simulação foi conduzida com o posicionamento das janelas otimizadas para uma pressão de descarga de 500 kPa e uma excentricidade de 95 mm, isto é, idêntico ao estudo do capítulo anterior.

3º) Os cálculos foram efetuados utilizando as mesmas excentricidades, e os mesmos dados (tabela de Excel), da variação de volume.

4º) As mesmas hipóteses assumidas para os cálculos de pressão, temperatura, massa e outros, foram adotados.

A Tabela 14 resume os ângulos de início e final de cada processo do ciclo do compressor, para a configuração com cada excentricidade.

Tabela 14 – Posições dos ângulos de compressão, descarga, re-expansão e sucção para as excentricidades escolhidas.

Excentricidade (mm)	Compressão	Descarga	Re-expansão	Sucção
95	72° a 165°	166° a 252°	253° a 267°	268° a 71°
90	65° a 168°	169° a 257°	258° a 263°	264° a 64°
85	57° a 169°	170° a 259°	-	260° a 56°
80	51° a 169°	170° a 255°	-	256° a 50°
75	45° a 169°	170° a 252°	-	253° a 44°

5.1

Simulação para pressão de descarga de 750 kPa

5.1.1

Pressão de descarga de 750 kPa

Os dados de entrada na sucção continuam sendo os mesmos: pressão $p_s = 101,32$ kPa e temperatura $T_s = 25^\circ\text{C}$.

Os gráficos de pressão x volume e pressão x ângulo, abaixo (Figs. 148 e 149), mostram a variação de pressão calculada para a excentricidade de 95 mm. Os gráficos apresentam perdas para a pressão de descarga de 750 kPa, que não estavam presentes para uma pressão de descarga de 500 kPa.

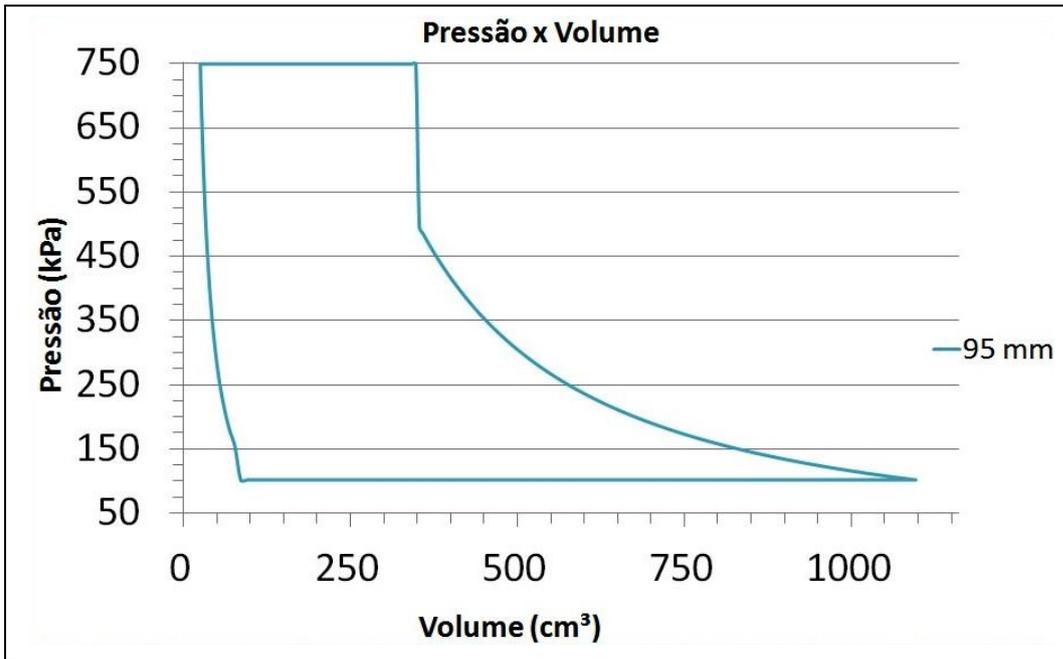


Figura 148 – Gráfico de pressão x volume simulado para pressão de descarga de 750 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 95 mm.

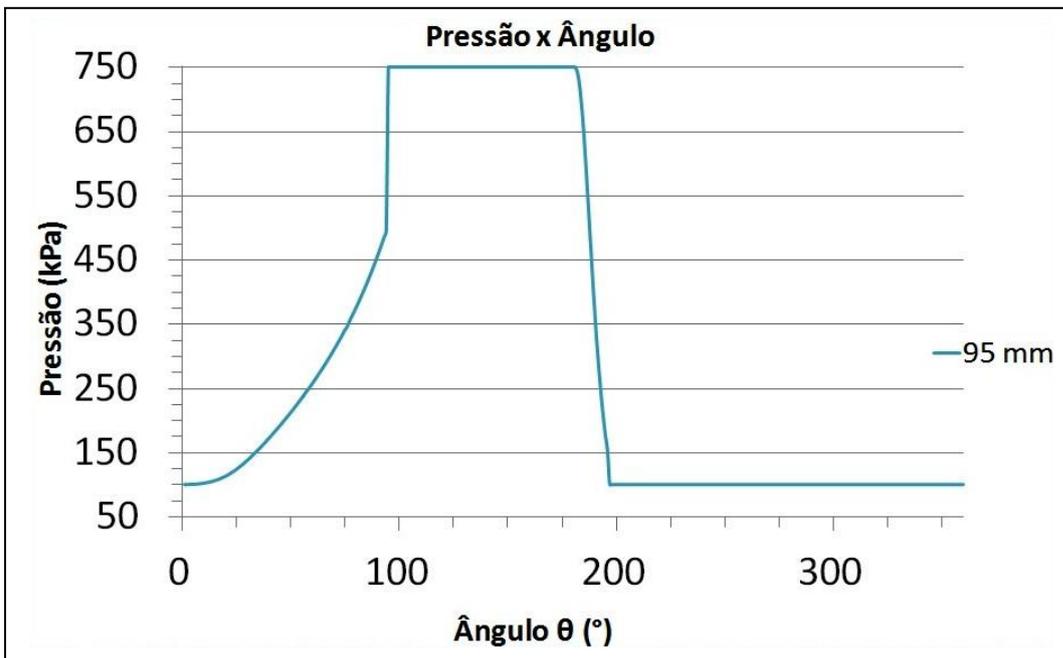


Figura 149 – Gráfico de pressão x ângulo simulado para pressão de descarga de 750 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 95 mm.

Conforme observado nos gráficos acima (Figs. 148 e 149), no processo de descarga, logo no início, há um aumento súbito de pressão. Isso acontece porque as janelas continuam nas mesmas posições e, quando o deslocador passa pela

borda da janela de descarga, abrindo a passagem de ar da câmara para o meio externo, a pressão no interior da câmara naquele instante é menor do que a pressão de descarga de 750 kPa, e há o retorno de gás de descarga, que preenche o cilindro. Durante o restante do processo de descarga a pressão se comporta normalmente até que a câmara chegue ao volume mínimo, e o deslocador feche a janela de descarga, não mais se conectando com o meio externo.

Na re-expansão, como a pressão determinada é mais alta do que a pressão para quais as janelas haviam sido projetadas, não há tempo o suficiente para que haja toda a re-expansão até a pressão de sucção. A pressão no interior da câmara está mais alta do que o normal.

Na sucção, o deslocador passa pela borda da janela de sucção abrindo a passagem de ar do meio externo para câmara, antes que a re-expansão termine. Isso causa uma queda de pressão, devido à pressão no interior da câmara estar maior do que a pressão de sucção.

Abaixo estão as simulações para as demais excentricidades com a pressão de descarga de 750 kPa, (Figs 150 a 157). Para esta configuração, ocorrem as mesmas perdas que estiveram presentes quando a pressão de descarga estava em torno 500 kPa, com a diferença de que as perdas são maiores devido à pressão de descarga ser maior. Estas perdas acentuaram-se conforme as excentricidades são reduzidas.

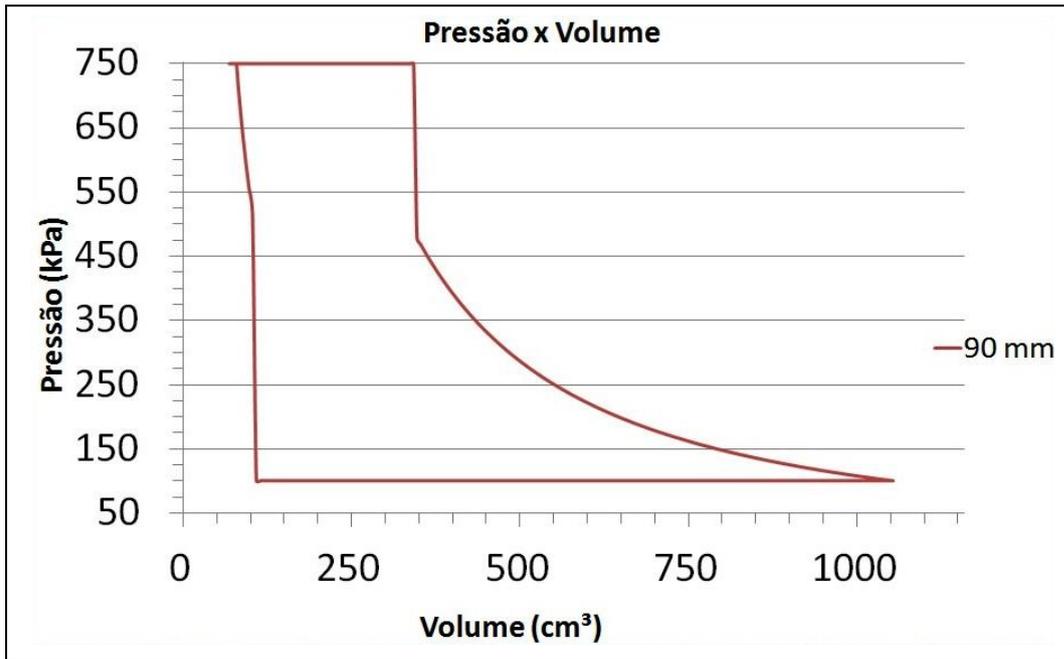


Figura 150 – Gráfico de pressão x volume simulado para pressão de descarga de 750 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 90mm.

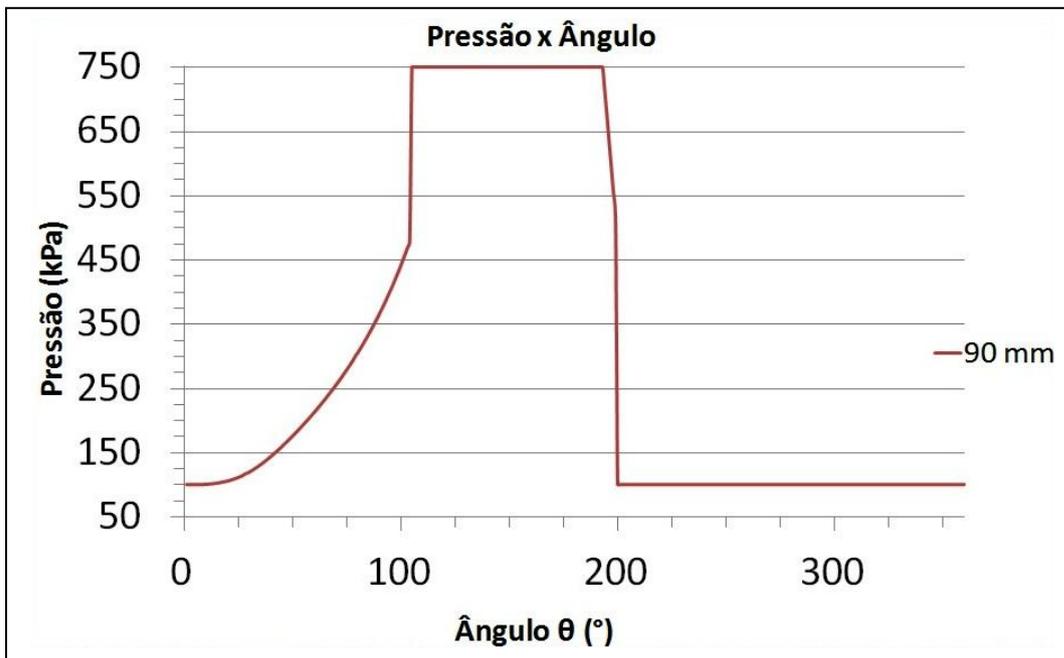


Figura 151 – Gráfico de pressão x ângulo simulado para pressão de descarga de 750 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 90mm.

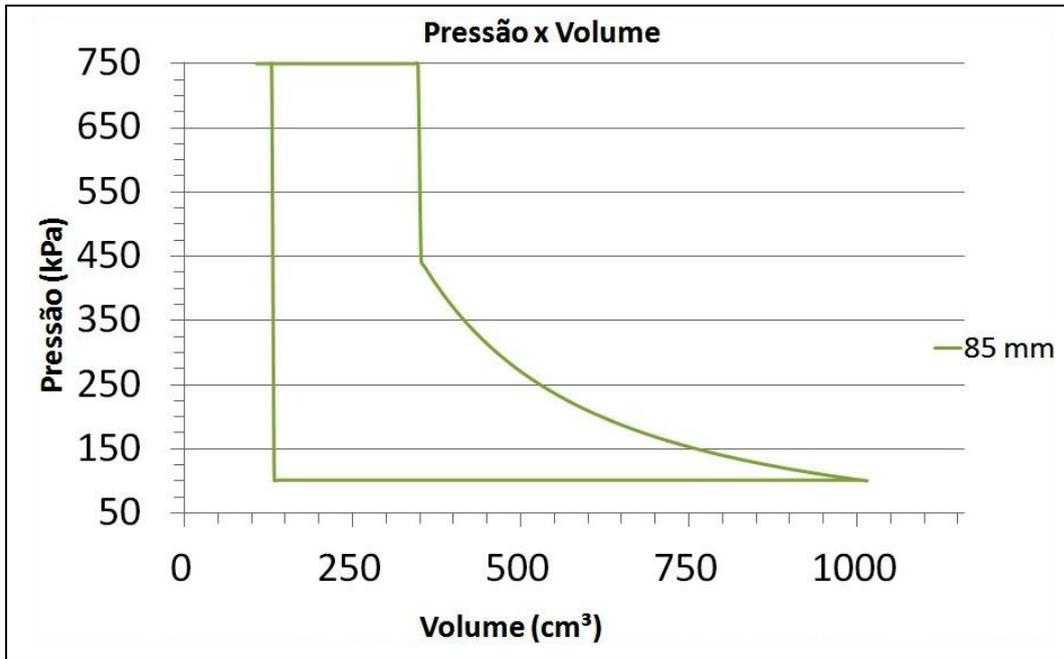


Figura 152 – Gráfico de pressão x volume simulado para pressão de descarga de 750 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 85mm.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912547/CA

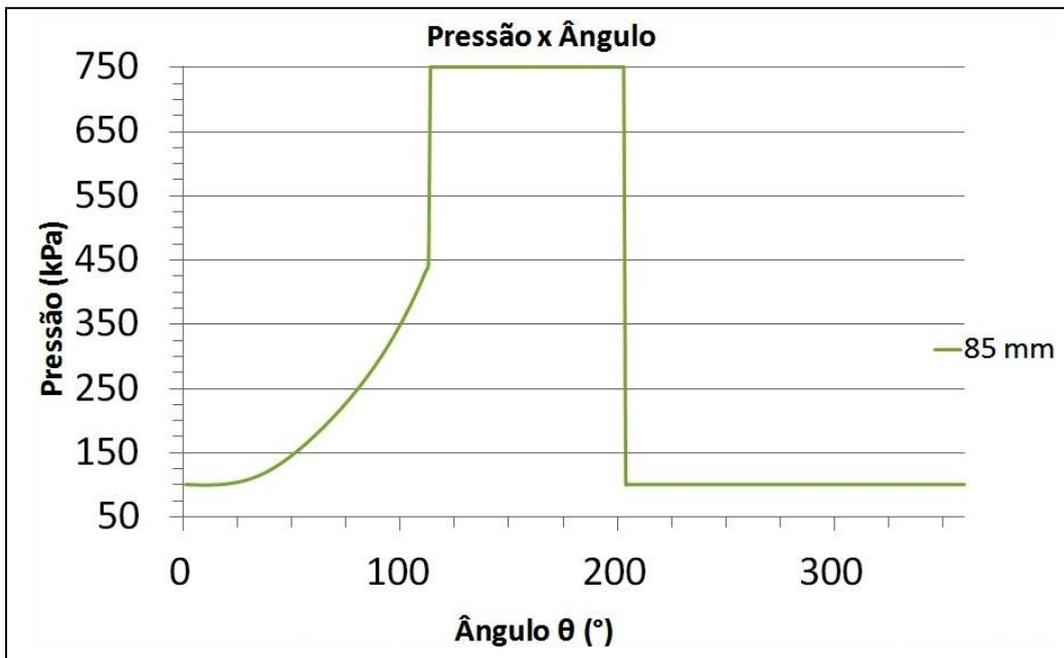


Figura 153 – Gráfico de pressão x ângulo simulado para pressão de descarga de 750 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 85mm.

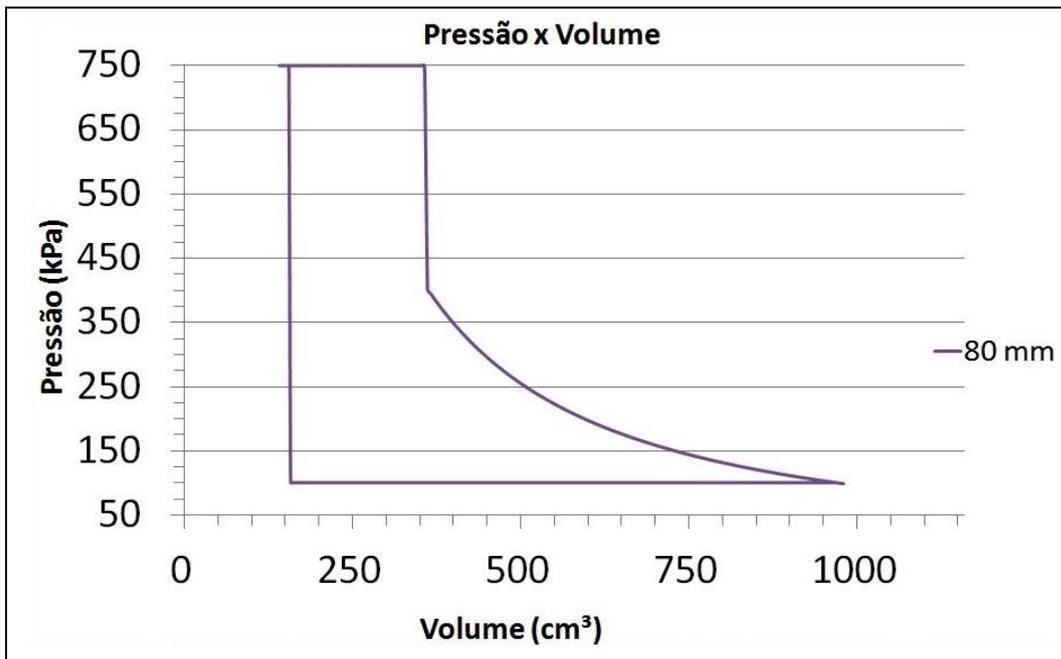


Figura 154 – Gráfico de pressão x volume simulado para pressão de descarga de 750 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 80mm.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912547/CA

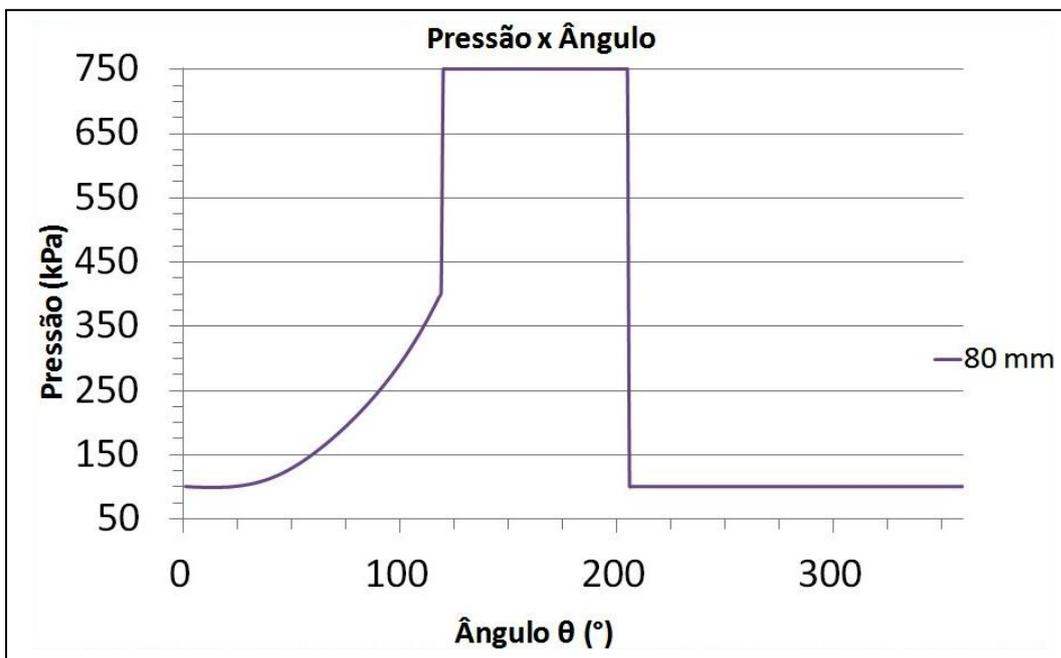


Figura 155 – Gráfico de pressão x ângulo simulado para pressão de descarga de 750 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 80mm.

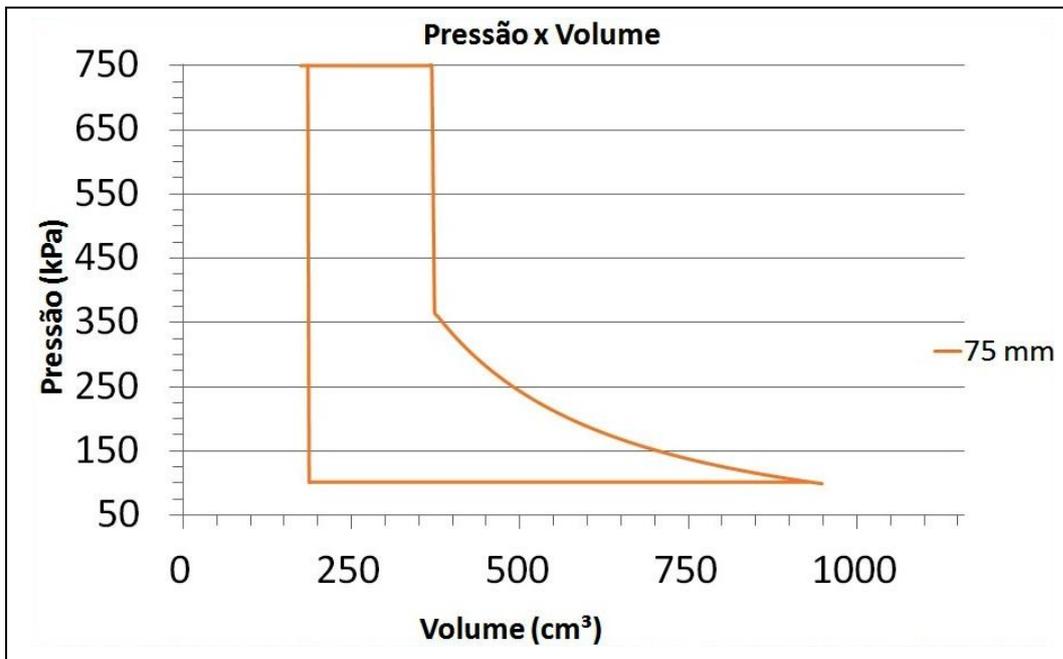


Figura 156 – Gráfico de pressão x volume simulado para pressão de descarga de 750 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 75mm.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912547/CA

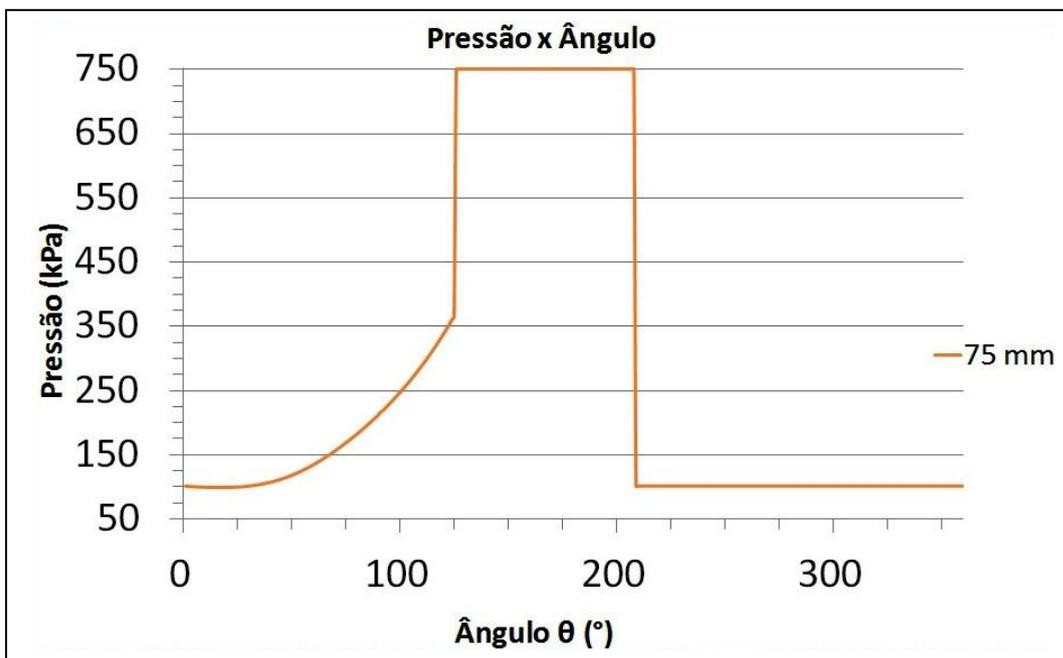


Figura 157 – Gráfico de pressão x ângulo simulado para pressão de descarga de 750 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 75mm.

Os resultados aqui apresentados estão resumidos nas Figs. 158 e 159.

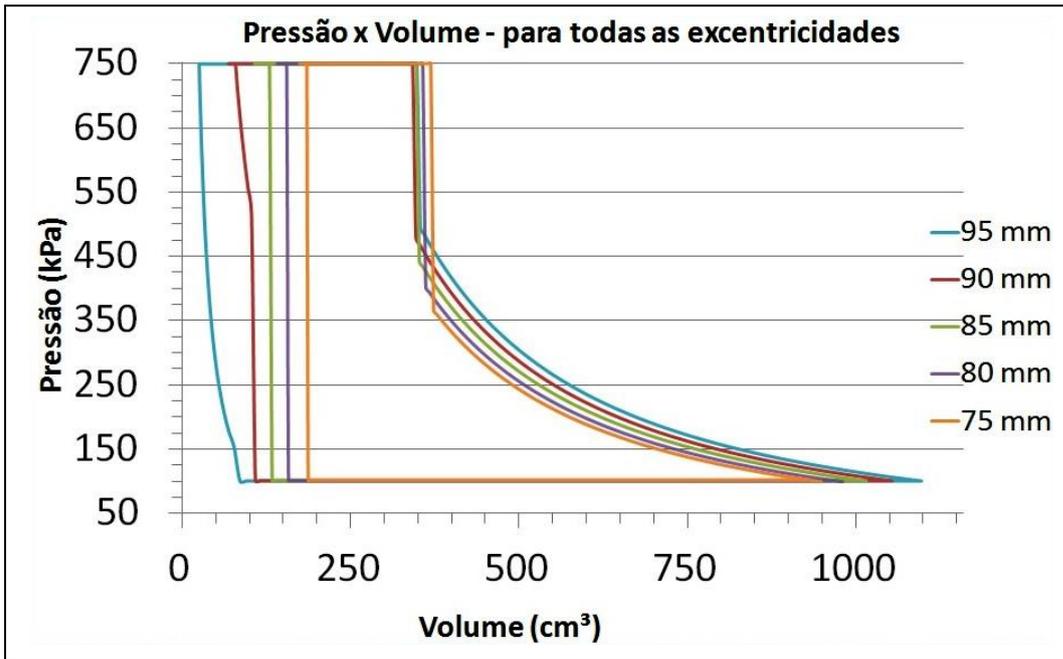


Figura 158 – Gráfico de pressão x volume simulado para pressão de descarga de 750 kPa e sucção de 101,32 kPa para todas as excentricidades escolhidas.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912547/CA

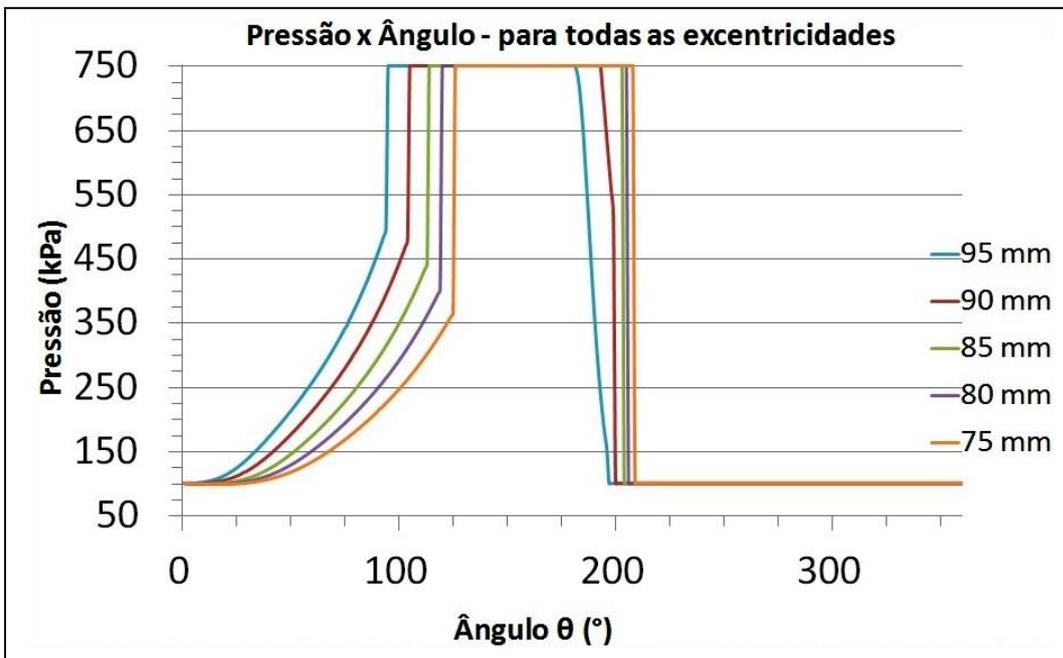


Figura 159 – Gráfico de pressão x ângulo simulado para pressão de descarga de 750 kPa e sucção de 101,32 kPa para todas as excentricidades escolhidas.

Conclui-se a inapropriedade de operação do compressor com condição operacional e geometria da placa de janelas que não seja aquela para a qual o compressor foi otimizado.

5.1.2

Temperatura e massa para pressão de descarga de 750 kPa

Para obter os valores de temperatura e massa, foi executado o ciclo do compressor, havendo também a necessidade de iteração, isto é, procedeu-se aos cálculos de vários ciclos, até que a convergência tivesse sido obtida.

A temperatura apresentou os mesmos valores que foram mostrados nos gráficos de temperatura x ângulo no Capítulo 4 (Fig. 136, 138 140, 142 e 144), para uma pressão de descarga em torno de 500 kPa, durante o ciclo do compressor. Isso acontece, porque a temperatura é, neste caso, independente da pressão de descarga, visto que para esta simulação, a pressão de descarga é diferente, sendo 750 kPa. Como a temperatura e a pressão de sucção têm os mesmos valores assumidos no Capítulo 4, a temperatura de descarga também é a mesma do Capítulo 4, por ser o valor assumido para a temperatura de descarga, constante e igual ao último valor de temperatura da compressão. Como a descarga para pressão de descarga em torno de 500 kPa, ocorre quando o deslocador passa pela borda da janela de descarga abrindo a passagem de ar da câmara para o meio externo, a descarga para a pressão de 750 kPa ocorre no mesmo ângulo em relação ao ponto de referência.

O gráfico de massa x ângulo para a excentricidade de 95 mm e uma pressão de descarga de 750 kPa, é mostrado abaixo, na Fig. 160. Do mesmo modo que para a pressão, o gráfico de massa apresenta perdas que não se apresentaram para uma pressão em torno de 500 kPa.

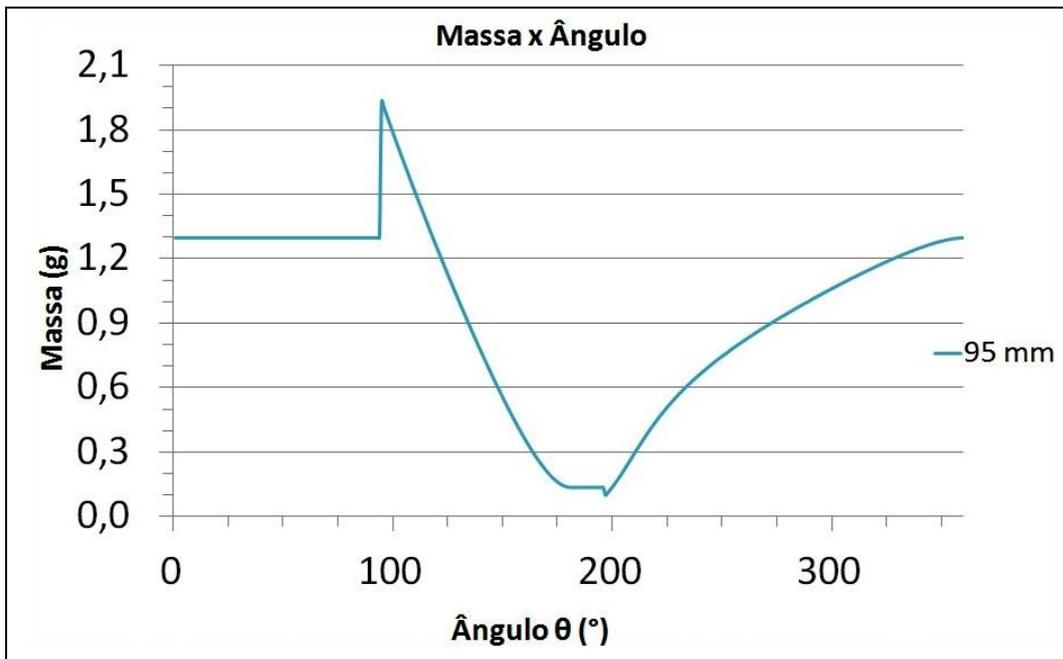


Figura 160 – Gráfico de massa x ângulo simulado para pressão de descarga de 750 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 95mm.

Na compressão, a massa admitida na câmara para esta pressão de descarga é a mesma que foi admitida no capítulo anterior, pois as janelas se encontram na mesma posição.

Logo no início da descarga, quando o deslocador passa pela borda da janela de descarga abrindo a passagem de gás da câmara para o meio externo, massa é admitida no espaço para atingir a pressão determinada retomada com o restante do gás no cilindro. Isto porque a pressão no interior da câmara é menor do que a pressão determinada. A massa descarregada para esta pressão é menor, porque a massa admitida na descarga é muito maior do que a do capítulo anterior e o tempo para descarregar toda essa massa continua o mesmo.

Na re-expansão a massa que restou no interior da câmara é maior do que o normal para esta configuração. Na sucção há uma queda de massa assim que o deslocador passa pela borda da janela de sucção, abrindo a passagem do meio externo para a câmara. Isto porque a pressão no interior da câmara está mais alta que a pressão atmosférica.

Os gráficos de massa x ângulo, abaixo (Figs. 161 a 164), mostram a variação da massa para as outras excentricidades.

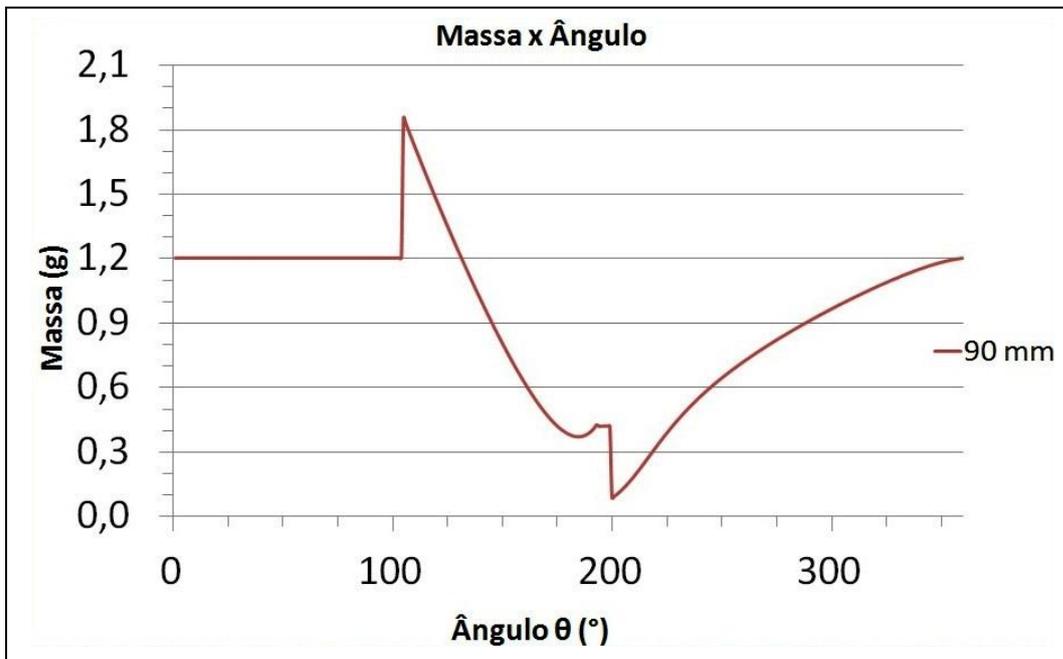


Figura 161 – Gráfico de massa x ângulo simulado para pressão de descarga de 750 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 90mm.

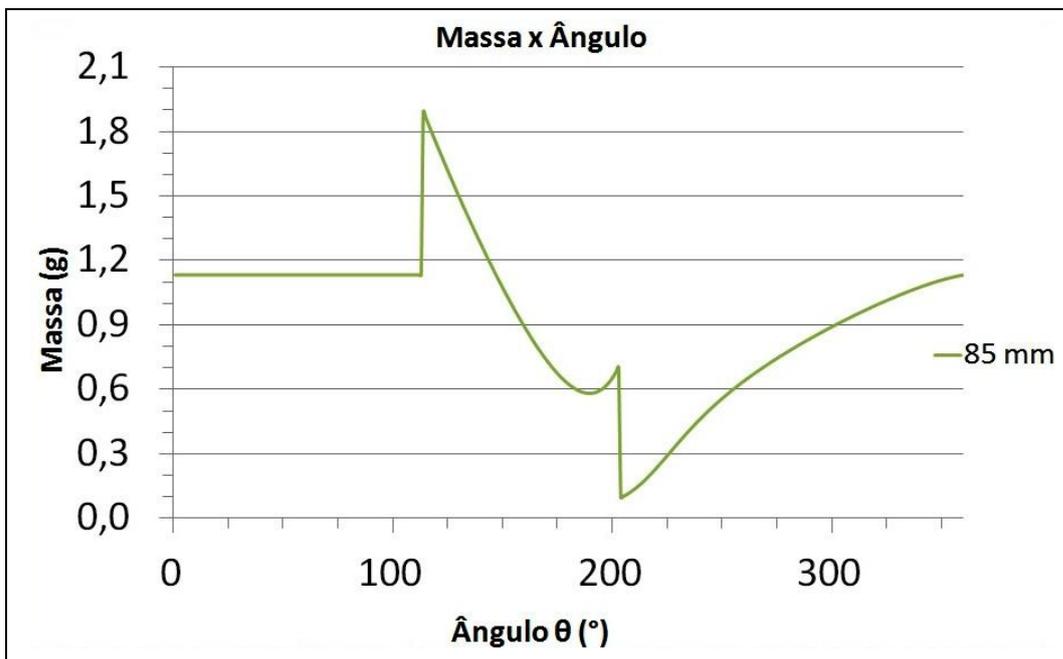


Figura 162 – Gráfico de massa x ângulo simulado para pressão de descarga de 750 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 85mm.

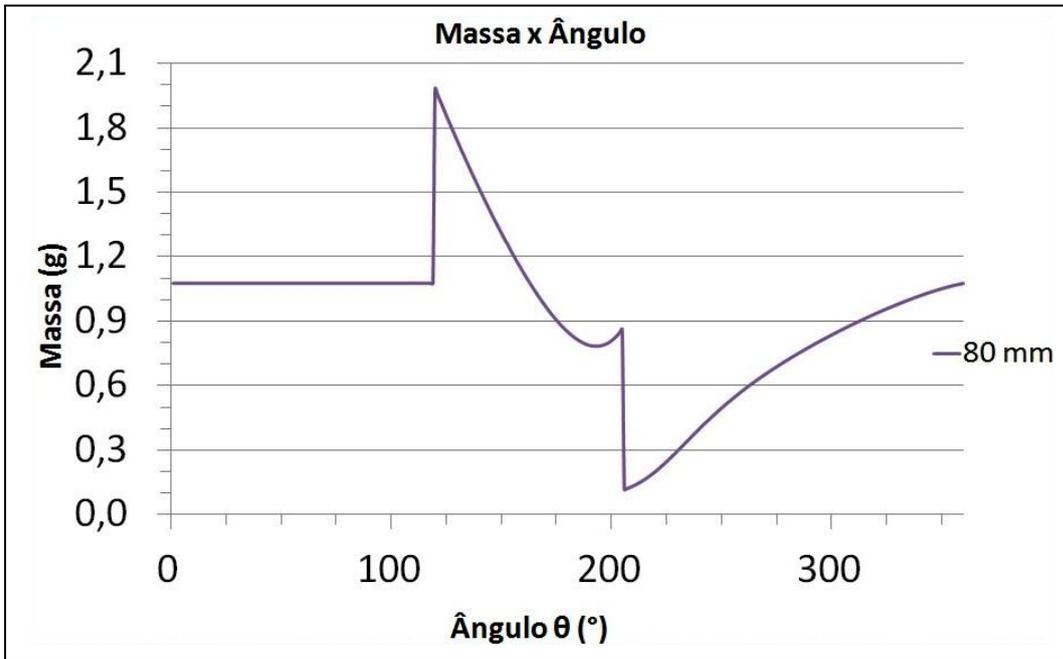


Figura 163 – Gráfico de massa x ângulo simulado para pressão de descarga de 750 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 80mm.

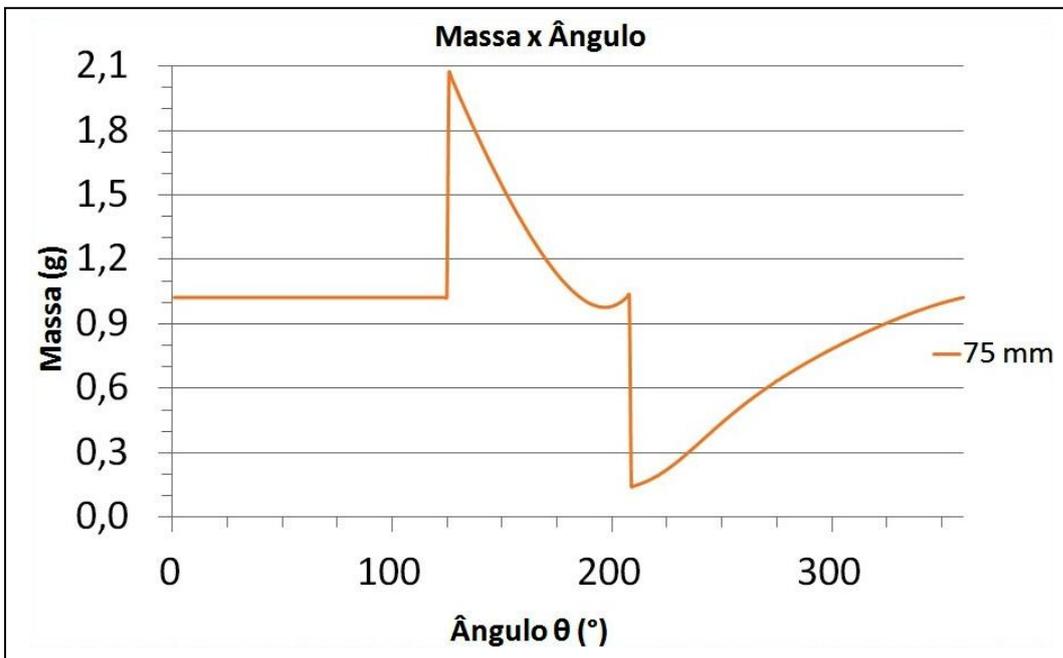


Figura 164 – Gráfico de massa x ângulo simulado para pressão de descarga de 750 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 75mm.

Por esta pressão de descarga ser maior, o comportamento da massa para estas outras excentricidades neste caso, são os mesmos para uma pressão de descarga em torno de 500 kPa, com um aumento nas perdas, que vão aumentando

conforme a excentricidade é reduzida. Abaixo, a variação de massa com o ângulo está resumida para as diferentes excentricidades na Fig. 165.

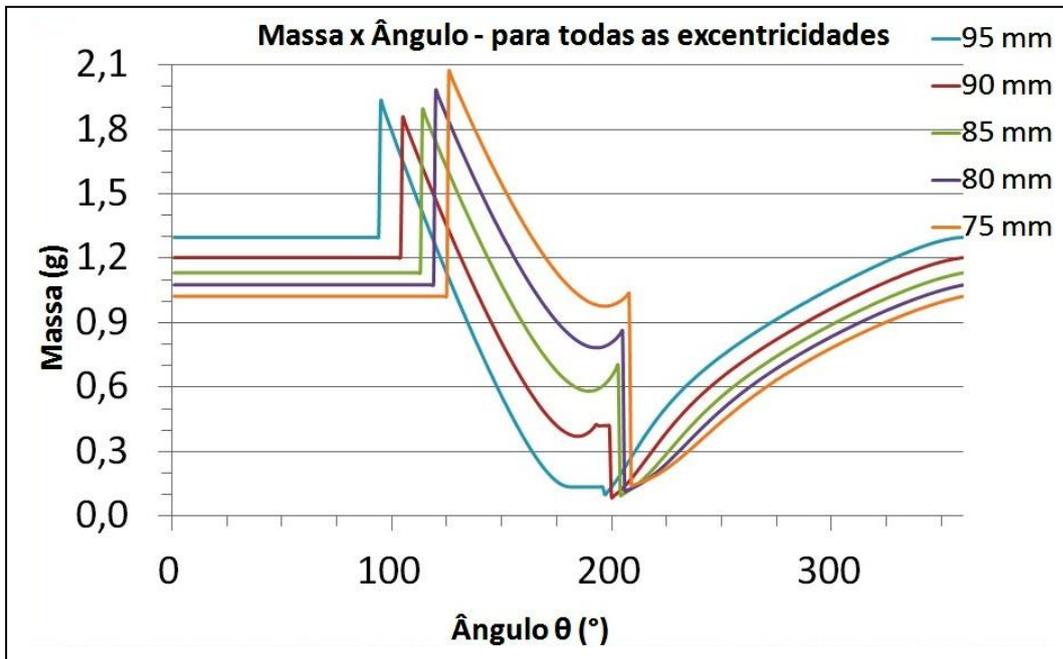


Figura 165 – Gráfico de massa x ângulo simulado para pressão de descarga de 750 kPa e sucção de 101,32 kPa para todas as excentricidades escolhidas.

5.1.3

Trabalho, potência, vazão e eficiência volumétrica para pressão de descarga de 750 kPa

Serão, obviamente, utilizadas as mesmas considerações feitas no capítulo anterior.

i) Cálculo do trabalho por ciclo, W:

Observa-se que o trabalho aumentou para esta pressão de descarga se comparado aos valores da Tabela 15 com os da Tabela 6, devido à pressão de descarga ser maior que a anterior. É de se esperar que fosse necessário fornecer mais trabalho para se alcançar a pressão de 750 kPa.

Tabela 15 – Valores de trabalho para pressão de descarga de 750 kPa e sucção de 101,32 kPa, para todas as excentricidades escolhidas.

Excentricidade (mm)	Trabalho W (kJ)
95	- 0,29
90	- 0,24
85	- 0,21
80	- 0,19
75	- 0,17

ii) Cálculo da potência, \dot{W} (kW):

Do mesmo modo que o trabalho, a potência consumida é maior para esta pressão de descarga, como visto na Tabela 16, do que os valores apresentados na Tabela 7, devido à pressão ser maior que a pressão de descarga anterior. A velocidade e o período utilizados foram os mesmos que do capítulo anterior.

Tabela 16 – Valores de potência para pressão de descarga de 750 kPa e sucção de 101,32 kPa, para todas as excentricidades escolhidas.

Excentricidade (mm)	Potência \dot{W} (kW)
95	- 8,65
90	- 7,22
85	- 6,39
80	- 5,75
75	- 5,13

iii) Cálculo de massa admitida por ciclo, Δm (kg):

Os valores de massa na compressão m_{com} , na Tabela 17, mostram que a massa admitida na sucção para esta razão de pressão é a mesma para a razão de pressão em torno de 500 kPa, uma vez que as posições onde se encontram as janelas seriam as mesmas. Mesmo que a massa descarregada na sucção para a pressão de descarga de 750 kPa, seja maior, a massa é descarregada até a mesma quantidade na sucção para pressão de descarga de 500 kPa, para então começar a ser admitida novamente.

Na re-expansão, a Tabela 17 mostra que, para as excentricidades em que há re-expansão, a diferença de massa contida na câmara é menor que para as excentricidades em que não há re-expansão.

Na Tabela 17, o valor da massa admitida por ciclo com a excentricidade de 75 mm, resulta em um valor negativo, sem significado físico. Poderia apresentar um eventual fluxo reverso.

Tabela 17 – Valores de massa admitida por ciclo para pressão de descarga de 750 kPa e sucção de 101,32 kPa, para todas as excentricidades escolhidas.

Excentricidade (mm)	m_{com} (kg)	m_{re} (kg)	Δm (kg)
95	0,001299	0,000136	0,001163
90	0,001204	0,000422	0,000782
85	0,001133	0,000705	0,000428
80	0,001077	0,000864	0,000213

iv) Cálculo da vazão mássica, \dot{m} (kg/s):

A Tabela 18 mostra que a vazão, para esta pressão de descarga, é menor do que a vazão do capítulo anterior, devido à variação de massa por ciclo também ser menor.

Tabela 18– Valores de vazão mássica para pressão de descarga de 750 kPa e sucção de 101,32 kPa, para todas as excentricidades escolhidas.

Excentricidade (mm)	\dot{m} (kg/s)
95	0,035
90	0,023
85	0,013
80	0,006

O volume específico na sucção se mantém inalterado devido aos termos da equação (32) terem os mesmos valores do capítulo anterior (Eq. 32): Pressão de sucção $p_s = 101,32$ kPa (dado de entrada); Temperatura de sucção T_s .

O volume deslocado é o mesmo calculado no capítulo anterior, devido ao fato de a variação volumétrica ser a mesma para todas as excentricidades.

v) Cálculo da eficiência volumétrica, η_v :

Como na Tabela 19, quanto maior for a pressão de descarga menor é a eficiência volumétrica. Isso acontece porque a pressão determinada é maior do que a pressão para o qual o compressor foi idealizado.

Tabela 19 – Valores de eficiência volumétrica para pressão de descarga de 750 kPa e sucção de 101,32 kPa, para todas as excentricidades escolhidas.

Excentricidade (mm)	\dot{m} (kg/s)	v_s (m ³ /kg)	V_{desl} (m ³)	η_v
95	0,035	0,8447	0,001073	0,915
90	0,023	0,8733	0,000985	0,693
85	0,013	0,8889	0,000909	0,419
80	0,006	0,8986	0,000839	0,228

vi) Cálculo da temperatura de descarga teórica, $T_{d\text{teórica}}$:

Pressões de sucção e de descarga utilizadas (dados de entrada): $p_s = 101,32$ kPa e $p_d = 750$ kPa . Para a temperatura de sucção foi utilizada a do capítulo anterior.

A temperatura de descarga calculada na Tabela 20 é maior do que a temperatura de descarga calculada. A Tabela 20 apresenta valores maiores do que as temperaturas para uma pressão de descarga em torno de 500 kPa. Do mesmo modo que no capítulo anterior, quanto menor for a excentricidade maior é a diferença entre as temperaturas.

Tabela 20 – Valores de temperatura de descarga teórica para pressão de descarga de 750 kPa e sucção de 101,32 kPa, para todas as excentricidades escolhidas.

Excentricidades (mm)	T_s (°C)	$T_{d\text{teórica}}$ (°C)
95	25,1	255,2
90	35,2	273,1
85	40,7	282,8
80	44,1	288,9
75	48,0	295,9

Conclui-se que, com qualquer excentricidade, não é possível alcançar a pressão de descarga de 750 kPa, fazendo com a massa seja admitida quando o deslocador abrir a câmara de descarga. A excentricidade que chega mais próxima desta pressão é a de 95 mm. Com as janelas nesta configuração pode-se utilizar até uma excentricidade de 85 mm, que resultará em uma boa eficiência.

5.2

Simulação para pressão de descarga de 250 kPa

5.2.1

Pressão de descarga de 250 kPa

Os dados de entrada continuam sendo os mesmos: Pressão de sucção $p_s = 101,32$ kPa e temperatura de sucção $T_s = 25^\circ\text{C}$. A pressão de descarga passa a ser definida $p_d = 250$ kPa.

Os gráficos de pressão x volume e pressão x ângulo (Figs. 166 e 167) mostram a pressão calculada para a excentricidade de 95 mm.

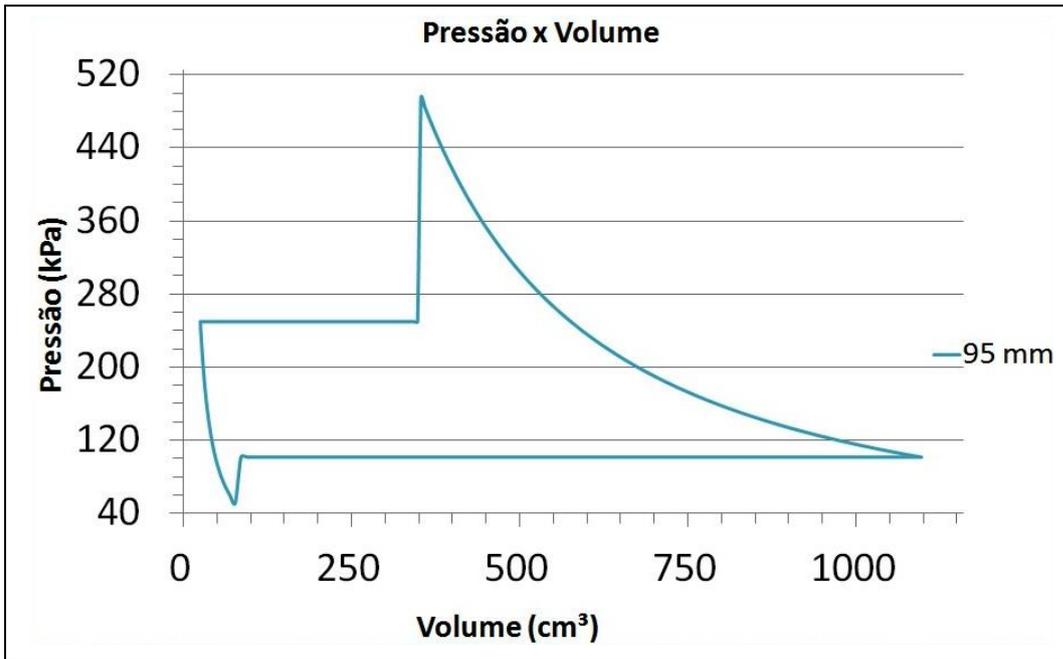


Figura 166 – Gráfico de pressão x volume simulado para pressão de descarga de 250 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 95 mm.

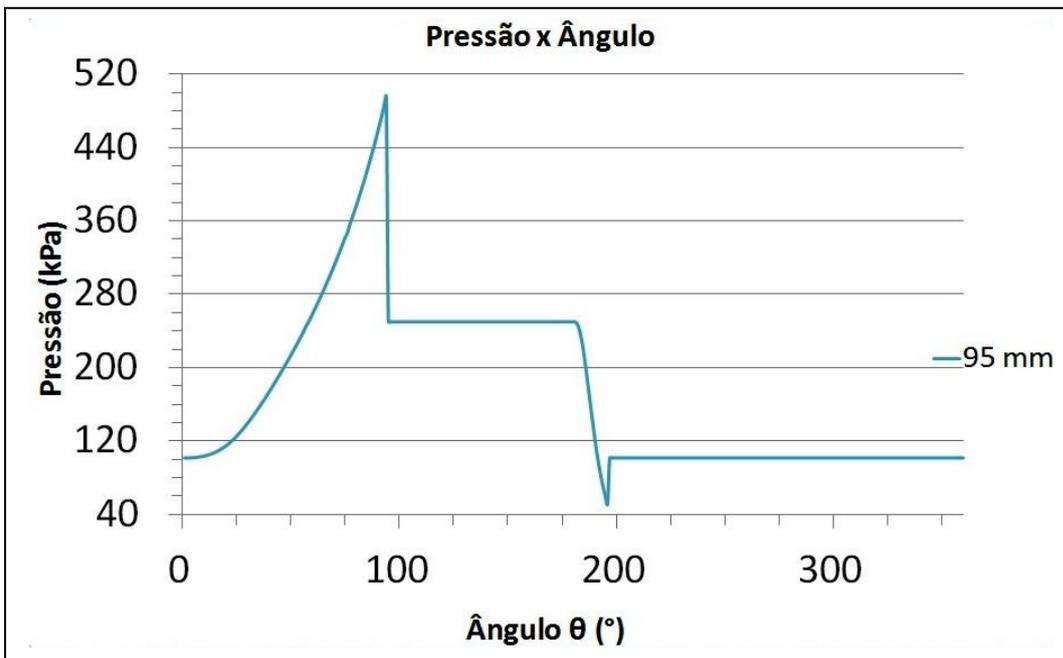


Figura 167 – Gráfico de pressão x ângulo simulado para pressão de descarga de 250 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 95 mm.

Na compressão, a pressão aumenta para o dobro da pressão de descarga determinada. Isto porque as janelas foram posicionadas para uma pressão de

descarga em torno de 500 kPa e a pressão chega próxima a esse valor como mostrado no Capítulo 4.

Na descarga há uma queda de pressão quando o deslocador passa pela borda da janela e abre a passagem de ar da câmara para o meio externo. Tal acontece porque a pressão no interior da câmara é mais alta do que a pressão de descarga de 250 kPa.

Na re-expansão, como a pressão de descarga é mais baixa do que a pressão pelo qual as janelas haviam sido projetadas, há uma re-expansão levando a pressão para um valor abaixo da pressão de sucção.

Na sucção, quando o deslocador passa pela borda da janela e abre a passagem de ar do meio externo para a câmara, há um aumento súbito de pressão para o interior da câmara e, então, o deslocador começa a admitir gás normalmente.

As figuras abaixo mostram a pressão para as outras excentricidades (Figs 168 a 175). As perdas são as mesmas que aparecem para a excentricidade de 95 mm, com uma pressão de descarga de 250 kPa, e apresentam também, junto a essas perdas, algumas perdas da pressão de descarga em torno 500 kPa, que são mostradas no Capítulo 4. Destaca-se que estas perdas aumentam conforme são reduzidas as excentricidades.

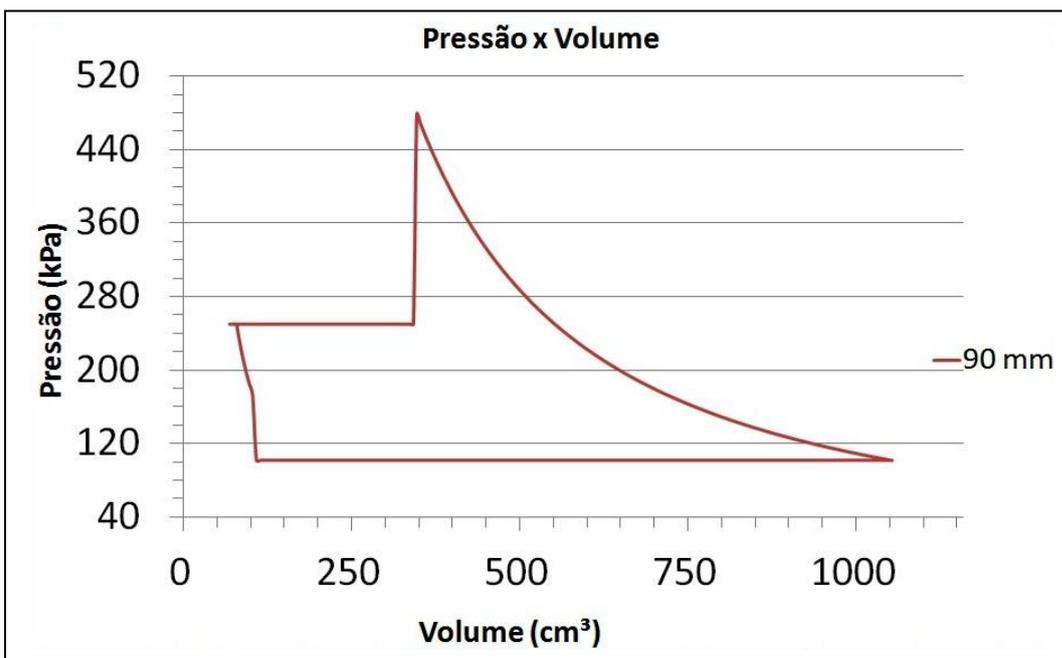


Figura 168 – Gráfico de pressão x volume simulado para pressão de descarga de 250 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 90mm.

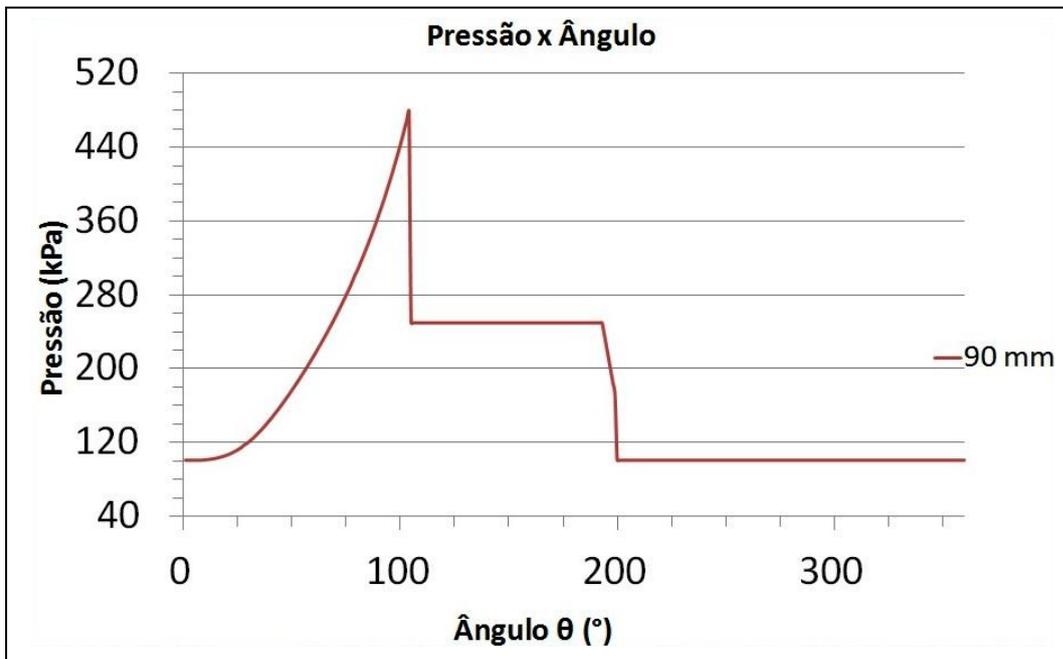


Figura 169 – Gráfico de pressão x ângulo simulado para pressão de descarga de 250 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 90mm.

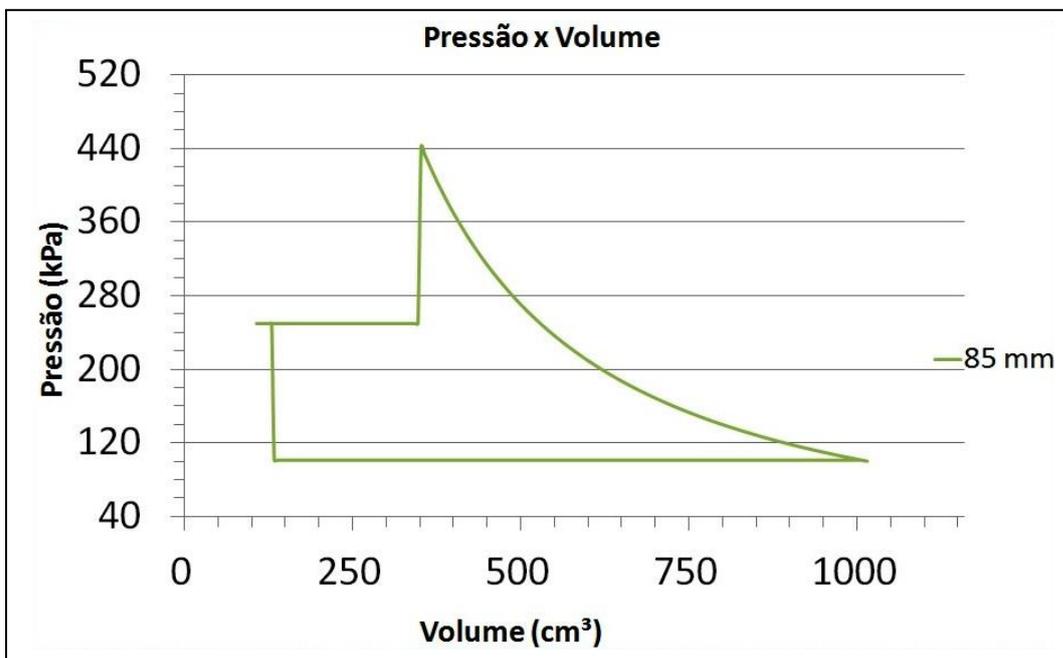


Figura 170 – Gráfico de pressão x volume simulado para pressão de descarga de 250 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 85 mm.

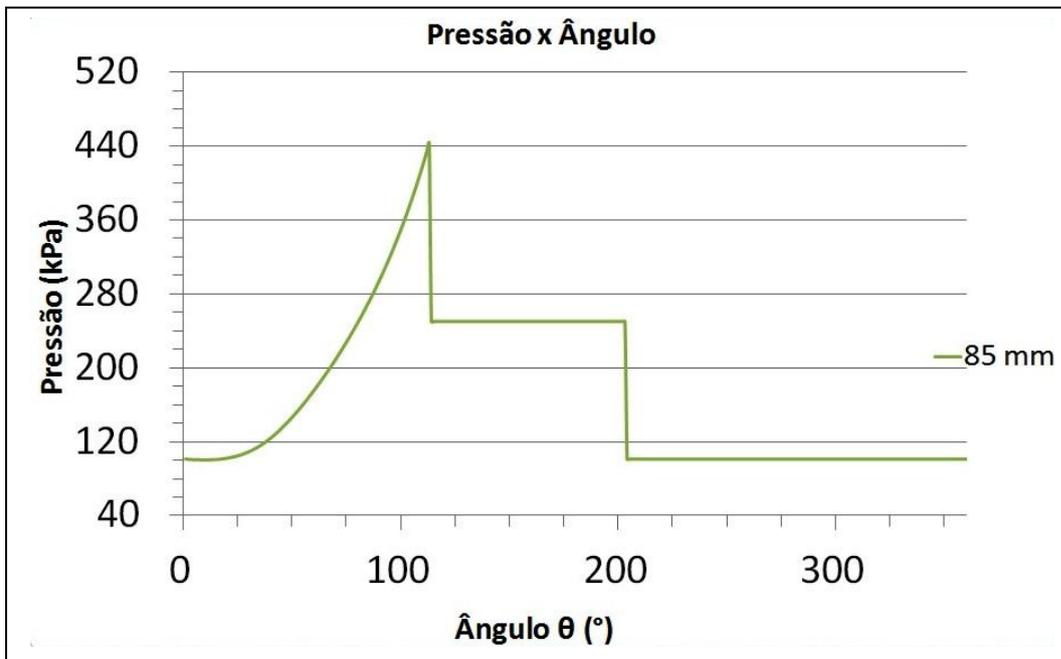


Figura 171 – Gráfico de pressão x ângulo simulado para pressão de descarga de 250 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 85 mm.

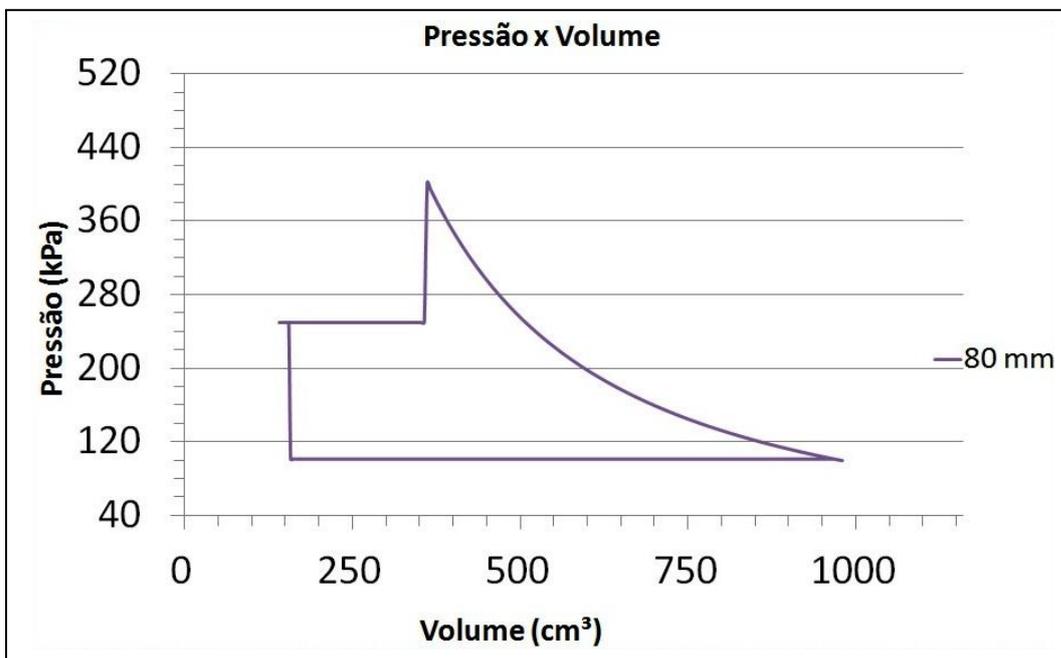


Figura 172 – Gráfico de pressão x volume simulado para pressão de descarga de 250 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 80mm.

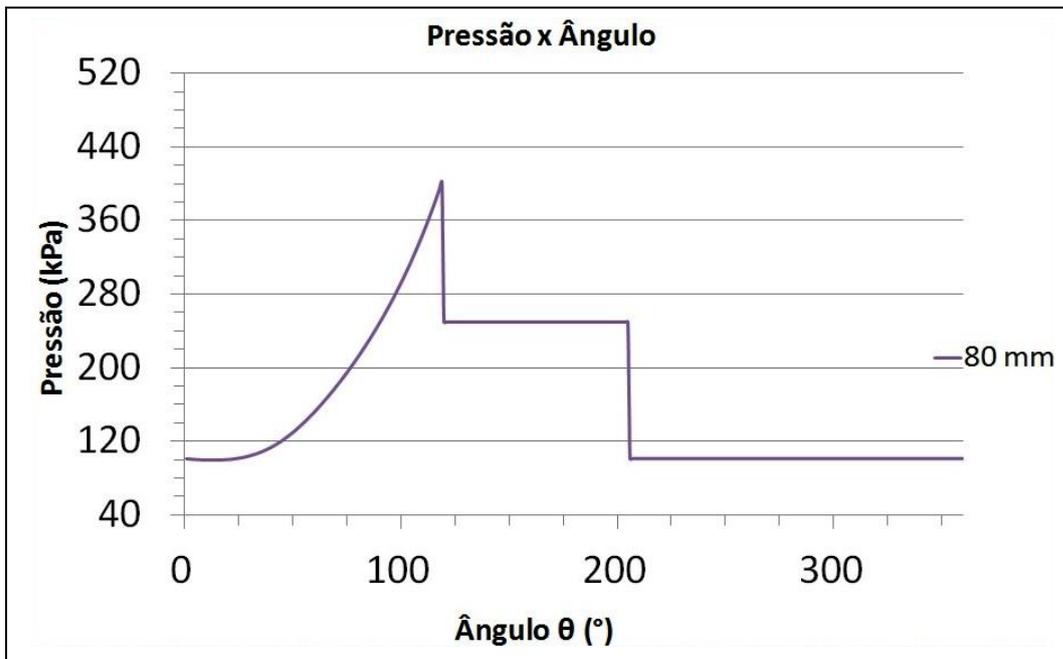


Figura 173 – Gráfico de pressão x ângulo simulado para pressão de descarga de 250 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 80mm.

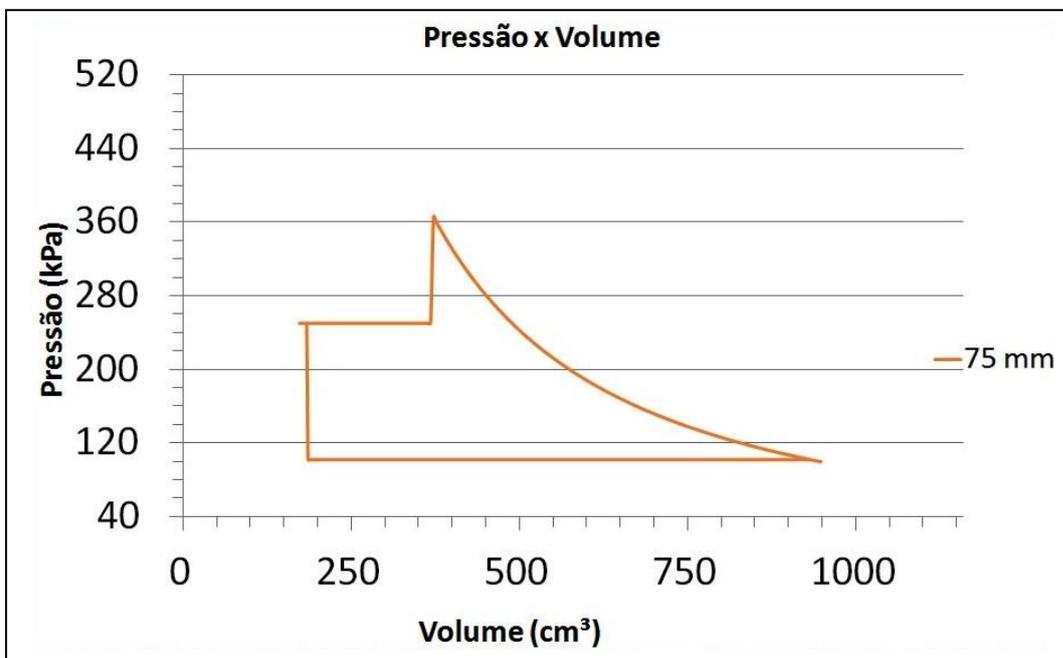


Figura 174 – Gráfico de pressão x volume simulado para pressão de descarga de 250 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 75 mm.

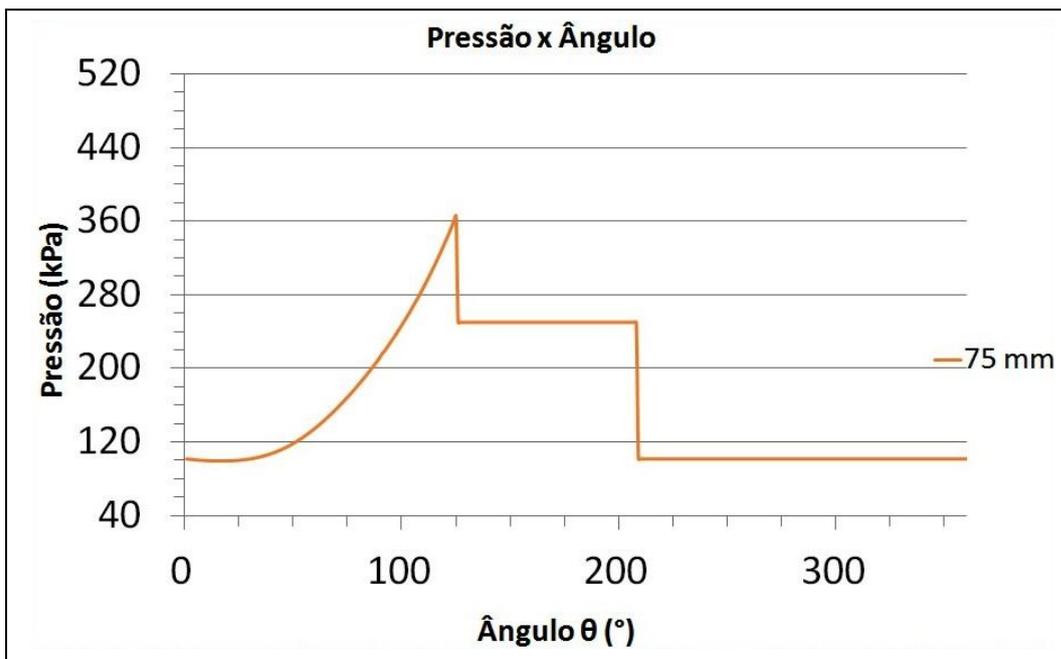


Figura 175 – Gráfico de pressão x ângulo simulado para pressão de descarga de 250 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 75 mm.

Abaixo, nas Figs. 176 e 177, está um resumo de todos os resultados obtidos acima para pressão x volume e pressão x ângulo.

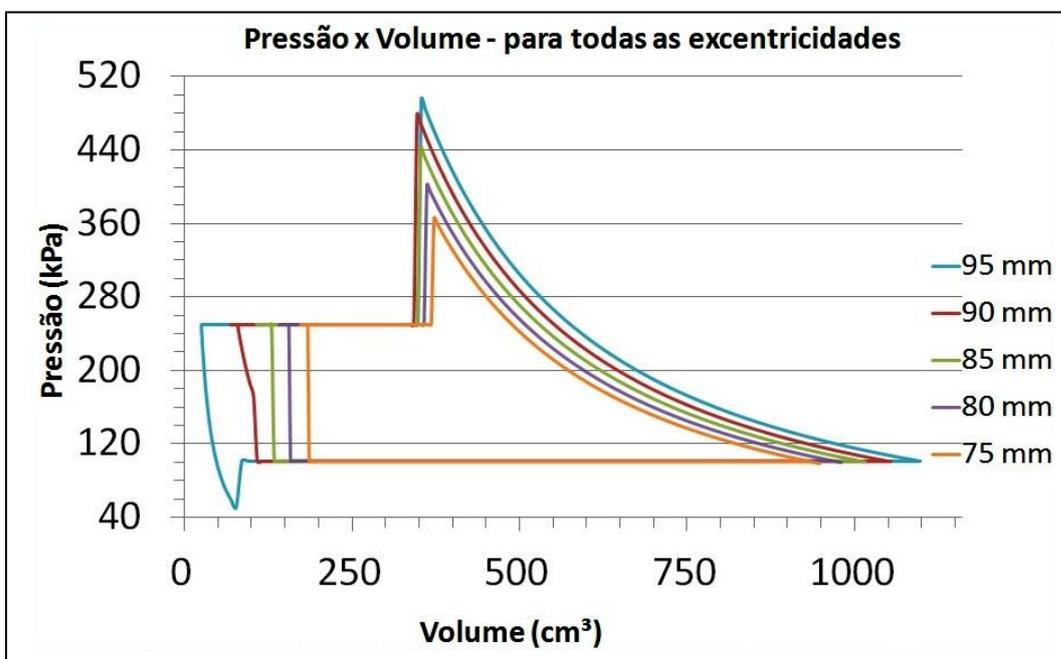


Figura 176 – Gráfico de pressão x volume simulado para pressão de descarga de 250 kPa e sucção de 101,32 kPa para todas as excentricidades escolhidas.

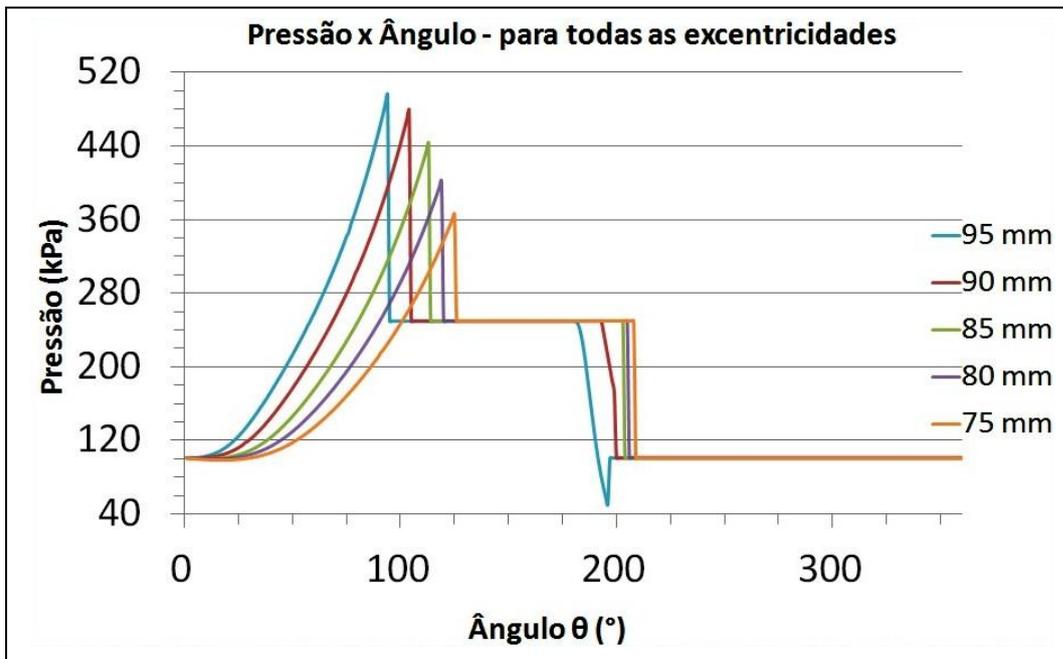


Figura 177 – Gráfico de pressão x ângulos simulado para pressão de descarga de 250 kPa e sucção de 101,32 kPa para todas as excentricidades escolhidas.

Observa-se, nestes gráficos de pressão versus ângulo do eixo, que os saltos de pressão que se repetem do capítulo anterior para esta pressão de descarga de 250 kPa, são provenientes das posições inadequadas das janelas de sucção e descarga.

5.2.2

Temperatura e massa para pressão de descarga de 250 kPa

Para o cálculo dos valores instantâneos de temperatura e massa para uma pressão de descarga de 250 kPa, também houve a necessidade de iteração do ciclo a fim de obter a convergência. Este ciclo também foi calculado por dez iterações. Os mesmos valores de temperatura obtidos para a pressão de descarga em torno de 500 kPa durante o ciclo do compressor, também foram obtidos para esta pressão de descarga, como também ocorreu na seção anterior, quando a pressão de descarga foi de 750 kPa. A única diferença desta simulação para as anteriores (Capítulo 4 e seção 5.1.2) é a pressão de descarga, o que, neste caso, não influencia a temperatura de descarga, que é a mesma.

A massa para a excentricidade de 95 mm apresenta diferenças das massas mostradas anteriormente (Fig. 178).

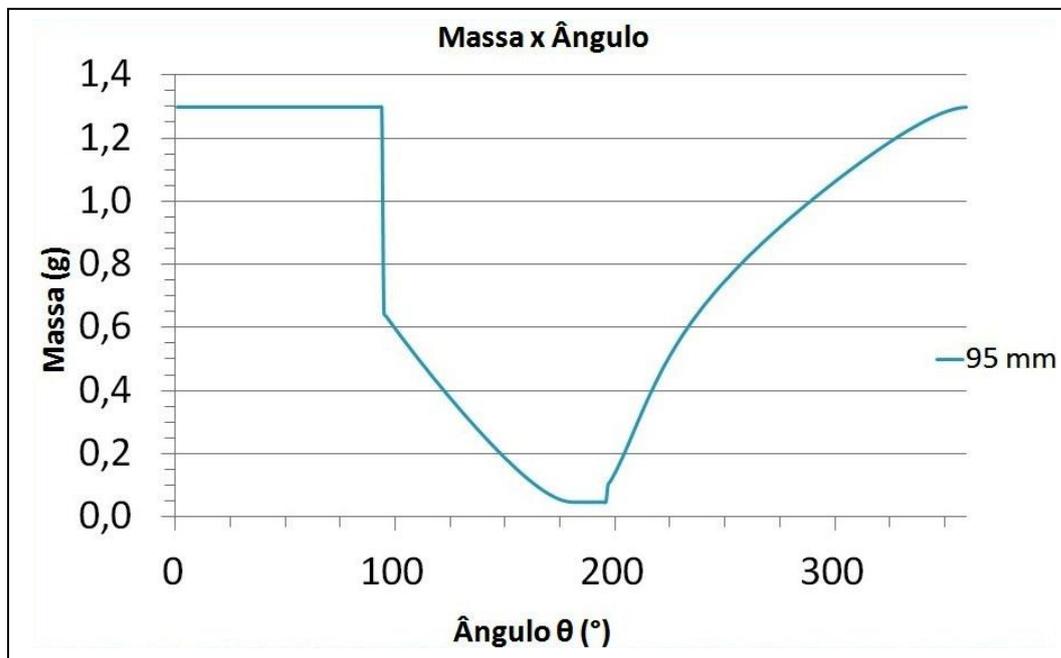


Figura 178 – Gráfico de massa x ângulo simulado para pressão de descarga de 250 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 95mm.

Como as janelas de sucção e descarga se encontram nas mesmas posições, a massa admitida para esta pressão de descarga é a mesma para uma razão de pressão em torno de 500 kPa. Logo no início, na descarga, há redução de massa, quando o deslocador passa pela borda da janela de descarga e abre a passagem de ar da câmara para o meio externo, porque a pressão e a massa admitida na câmara são maiores do que o necessário para a pressão de descarga de 250 kPa. A massa, então, é descarregada até o volume mínimo, restando no interior da câmara, para a re-expansão, uma massa menor do que o necessário para uma pressão de descarga era de 500 kPa.

Na sucção há um aumento de massa para dentro da câmara, quando o deslocador passa pela borda da janela de sucção e abre a passagem de ar do meio externo para a câmara. Isto porque a massa foi re-expandida para uma pressão abaixo da pressão de sucção.

As outras excentricidades apresentam as mesmas perdas que foram descritas na subseção 5.2.1, perdas estas devido ao posicionamento das janelas (Figs. 170 a 182).

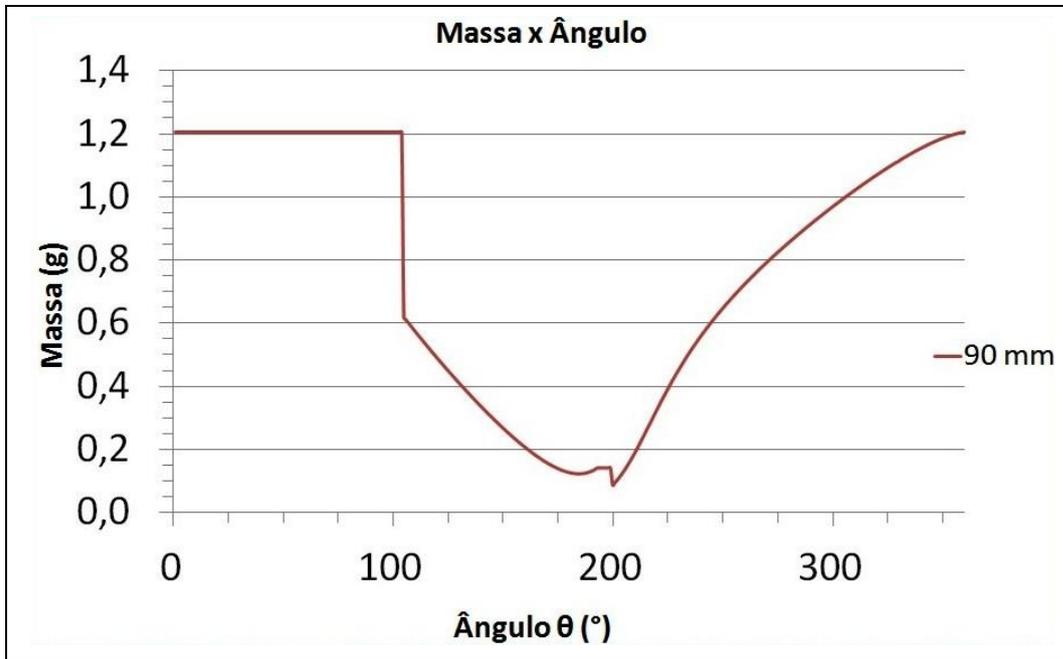


Figura 179 – Gráfico de massa x ângulo simulado para pressão de descarga de 250 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 90mm.

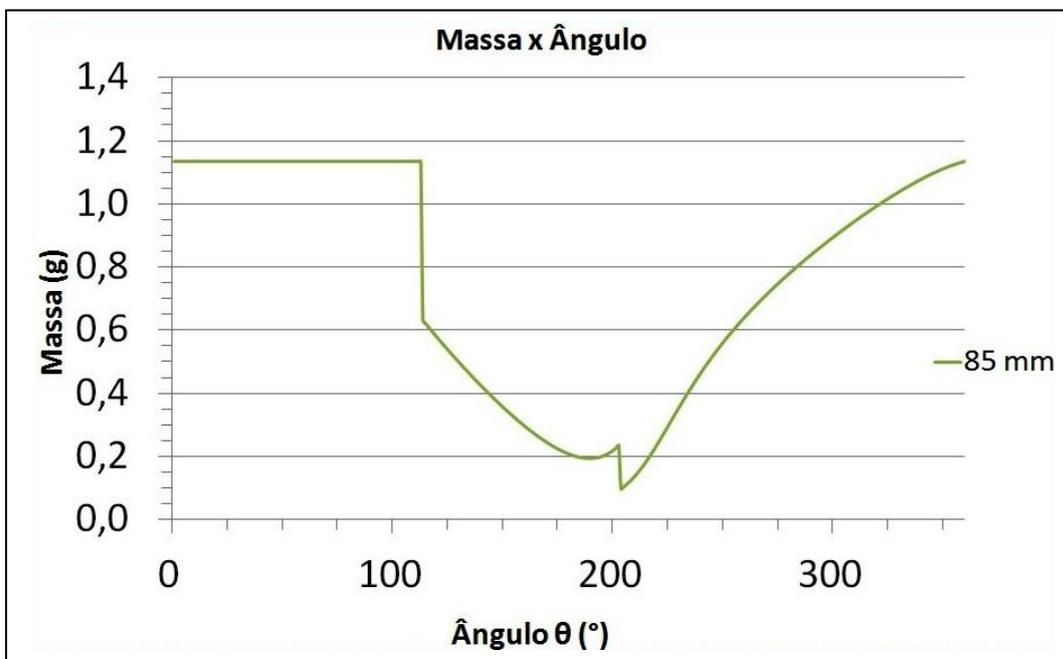


Figura 180 – Gráfico de massa x ângulo simulado para pressão de descarga de 250 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 85mm.

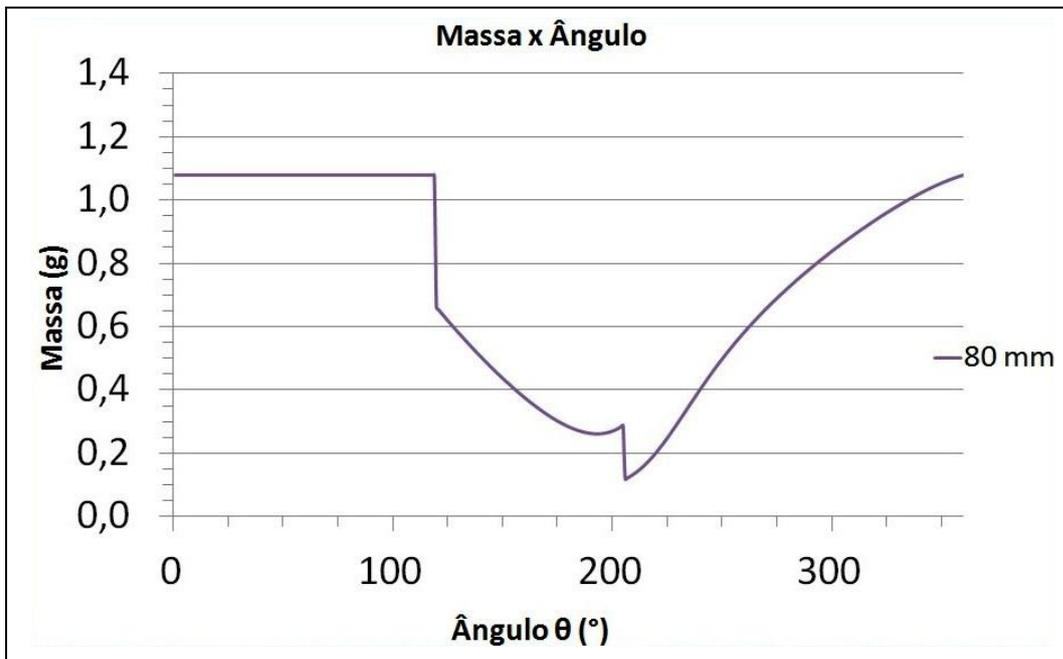


Figura 181 – Gráfico de massa x ângulo simulado para pressão de descarga de 250 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 80mm.

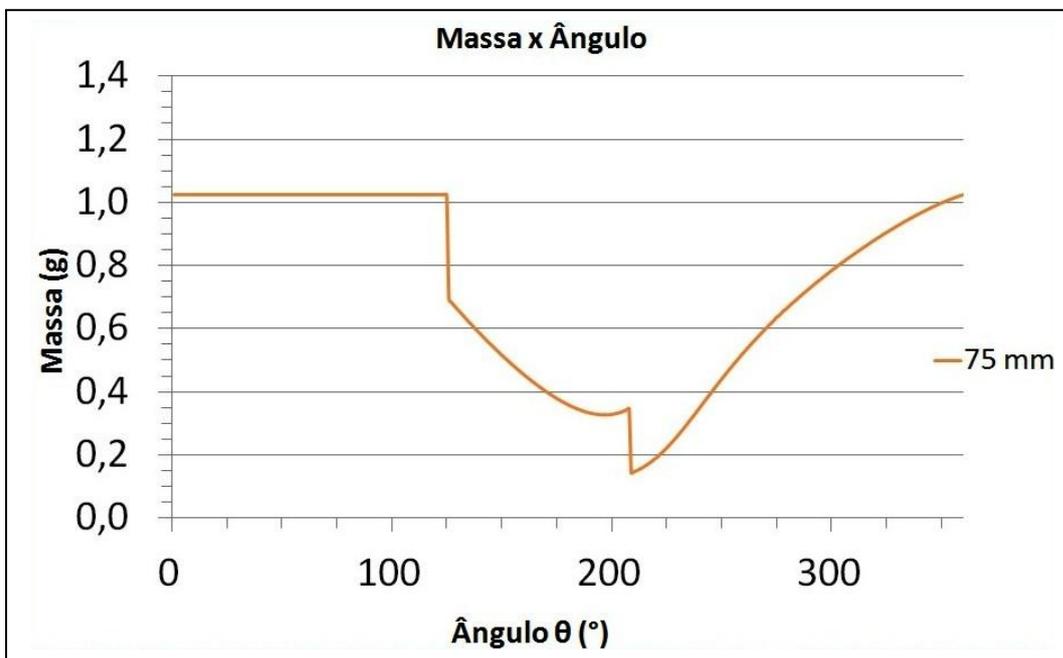


Figura 182 – Gráfico massa x ângulo simulado para pressão de descarga de 250 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 75mm.

A figura abaixo mostra um resumo das massas para as diferentes excentricidades estudadas (Fig. 183).

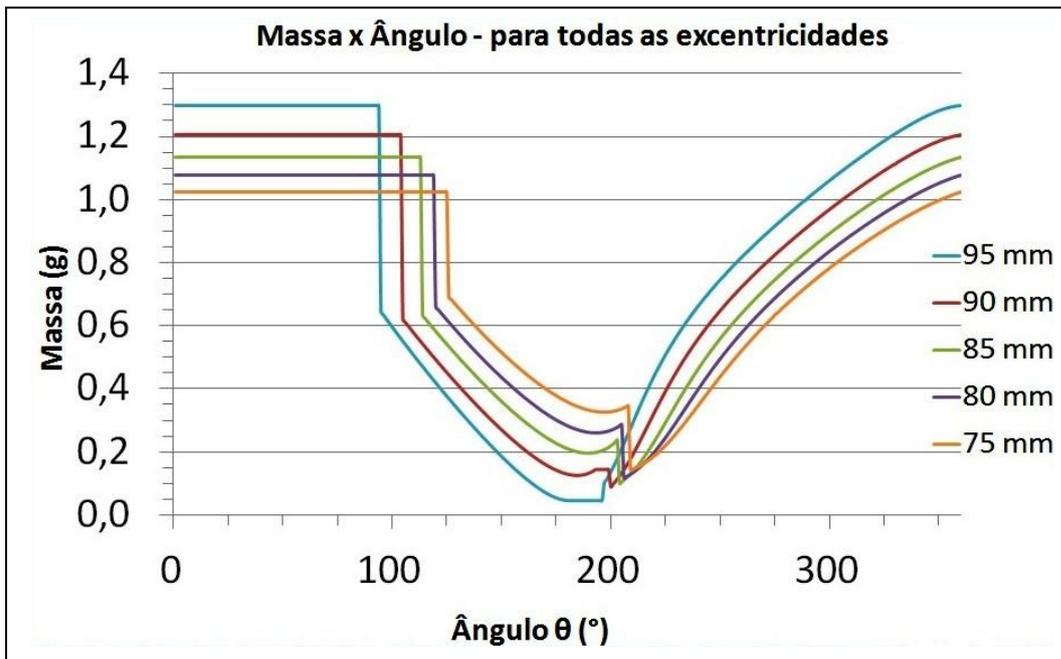


Figura 183 – Gráfico de massa x ângulo simulado para pressão de descarga de 250 kPa e sucção de 101,32 kPa para todas as excentricidades escolhidas.

5.2.3

Trabalho, potência, vazão e eficiência volumétrica para pressão de descarga de 250 kPa

i) Cálculo do trabalho por ciclo, W:

A Tabela 21 mostra que o trabalho diminuiu para esta pressão de descarga, em comparação aos valores das tabelas das outras tabelas. Conforme esperado, teríamos que fornecer menos trabalho para alcançar a pressão menor de 250 kPa.

Tabela 21 – Valores de trabalho para pressão de descarga de 250 kPa e sucção de 101,32 kPa, para todas as excentricidades escolhidas.

Excentricidade (mm)	Trabalho W (kJ)
95	- 0,13
90	- 0,12
85	- 0,10
80	- 0,09
75	- 0,08

ii) Cálculo da potência, \dot{W} (kW):

Do mesmo modo que o trabalho a potência consumida é menor para esta pressão de descarga menor que as anteriormente estudadas, Tabela 22. A velocidade angular e o período utilizados foram os mesmos do capítulo anterior.

Tabela 22 – Valores de potência para pressão de descarga de 250 kPa e sucção de 101,32 kPa, para todas as excentricidades escolhidas.

Excentricidade (mm)	Potência \dot{W} (kW)
95	- 4,04
90	- 3,49
85	- 3,05
80	- 2,66
75	- 2,30

iii) Cálculo de massa admitida por ciclo, Δm (kg):

Na Tabela 23, mostra-se que a massa na compressão, m_{com} , é a mesma para a pressão em torno de 500 kPa e para a de 750 kPa, como mostra a Tabela 8.

Na re-expansão, a Tabela 23 mostra uma massa menor do que a pressão em torno de 500 kPa. Isto é devido ao fato de a pressão de descarga determinada apresentar a metade do valor para o qual as janelas foram posicionadas. Desta forma, quando o deslocador passa pela borda da janela de descarga e abre a passagem de ar da câmara para o meio externo, há, primeiramente, uma queda por a pressão estar mais alta, e depois a câmara descarrega o restante da massa que ficou em seu interior até o volume mínimo. Como as posições das janelas não foram alteradas, o tempo de descarga de massa na câmara é o mesmo para todas as pressões de descarga adotadas.

A massa admitida por ciclo se apresenta maior, Tabela 23, se comparados os valores com aqueles para as outras pressões de descarga.

Tabela 23 – Valores de massa admitida por ciclo para pressão de descarga de 250 kPa e sucção de 101,32 kPa, para todas as excentricidades escolhidas.

Excentricidade (mm)	m_{com} (kg)	m_{re} (kg)	Δm (kg)
95	0,001299	0,000045	0,001253
90	0,001204	0,000143	0,001062
85	0,001133	0,000235	0,000898
80	0,001077	0,000288	0,000789
75	0,001023	0,000346	0,000678

iv) Cálculo da vazão mássica, \dot{m} (kg/s):

A vazão mássica, calculada na Tabela 24, também se apresenta maior do que para as outras pressões de descarga, em virtude de a variação de massa ser maior.

Tabela 24– Valores de vazão mássica para pressão de descarga de 250 kPa e sucção de 101,32 kPa, para todas as excentricidades escolhidas.

Excentricidade (mm)	\dot{m} (kg/s)
95	0,038
90	0,032
85	0,027
80	0,024
75	0,020

v) Cálculo da eficiência volumétrica, η_v :

Na Tabela 25, a eficiência volumétrica é maior, porque a pressão determinada é a metade do valor para o qual o compressor foi projetado.

Tabela 25 – Valores de eficiência volumétrica para pressão de descarga de 250 kPa e sucção de 101,32 kPa, para todas as excentricidades escolhidas.

Excentricidade (mm)	\dot{m} (kg/s)	v_s (m ³ /kg)	V_{desl} (m ³)	η_V
95	0,038	0,8447	0,001073	0,987
90	0,032	0,8724	0,000985	0,941
85	0,027	0,8889	0,000909	0,879
80	0,024	0,8986	0,000839	0,846
75	0,020	0,9097	0,000775	0,796

Para o cálculo do volume específico na sucção foram utilizados os dados de entrada $p_s = 101,32$ kPa e a temperatura com seu valor estabilizado após efetuar-se por dez vezes o ciclo do compressor, no Capítulo 4.

vi) Cálculo da temperatura de descarga teórica, $T_{d\text{teórica}}$:

Na Tabela 26, observa-se que, à medida que as excentricidades são reduzidas, diminui a diferença entre as temperaturas de descarga respectivas.

Tabela 26 – Valores de temperatura de descarga teórica para pressão de descarga de 250 kPa e sucção de 101,32 kPa, para todas as excentricidades escolhidas.

Excentricidades (mm)	T_s (°C)	$T_{d\text{teórica}}$ (°C)
95	25,1	112,9
90	35,2	125,5
85	40,7	133,0
80	44,1	137,5
75	48,0	142,6

Em todas as excentricidades consegue-se alcançar pressão mais elevada do que 250 kPa, sendo a excentricidade de 75 mm, a que chega mais próxima a essa pressão.

5.3

Simulação do compressor Kopelrot com válvulas

Por meio das válvulas nas janelas de sucção e descarga, pode-se controlar de maneira mais apurada os tempos de enchimento e esvaziamento da máquina. Para simular a operação do compressor com válvulas, alterou-se o algoritmo do modelo de modo a somente permitir a passagem de gás através da janela se a direção do fluxo fosse a correta (não permitindo o escoamento reverso *-back flow*), e se as pressões alcançarem o valor correto, isto é, sendo p a pressão na câmara: descarga ocorrendo quando $p > p_d$ e sucção, $p < p_s$. Como as válvulas não foram construídas, não foram apresentados desenhos delas. Esta seção apresenta uma simulação do compressor em estudo, operando com válvulas.

Para a excentricidade de 95 mm com o compressor operando com $p_d = 500$ kPa não há diferença no desempenho, pois, as janelas foram posicionadas para essa excentricidade e as válvulas atuam exatamente junto com as janelas. Para as demais excentricidades, a janela de descarga passa a atuar até o volume mínimo sem admitir a massa de ar de volta para a câmara. As válvulas atuam uma de cada vez, mesmo que a câmara esteja em contato com as duas janelas ao mesmo tempo. Desta maneira, as excentricidades de 85 mm, 80 mm e 75 mm operam sob ciclos com re-expansão, o que não era possível quando a janela não possuía válvulas.

5.3.1

Pressão de descarga de 500 kPa utilizando válvula nas janelas

Para esta simulação foi considerada pressão de descarga de $p_d = 500$ kPa. Esta era a intenção de simular anteriormente, mas, como não havia válvula nas janelas, considerava-se a pressão que a câmara alcançasse mais próxima ao valor estipulado, que foi $p_d = 495,88$ kPa. Essa pressão ajudou a posicionar as janelas da câmara para uma excentricidade de 95 mm. Para as outras excentricidades, o

valor alcançado era consequência das posições dessas janelas, não permitindo o controle da sucção e da descarga de gás.

Com válvulas pode-se ter o caso de a câmara alinhar-se com a janela e, só começar a descarregar o gás quando a pressão alcançar o valor determinado. Isso fez com que todas as excentricidades levassem a pressão na câmara à mesma pressão de descarga, $p_d = 500 \text{ kPa}$. A pressão de sucção e a temperatura de sucção também foram consideradas as mesmas: $p_s = 101,32 \text{ kPa}$ e $T_s = 25^\circ \text{C}$.

Abaixo está os gráficos de pressão x volume e pressão x ângulo calculados para a excentricidade de 95 mm (Figs. 184 e 185).

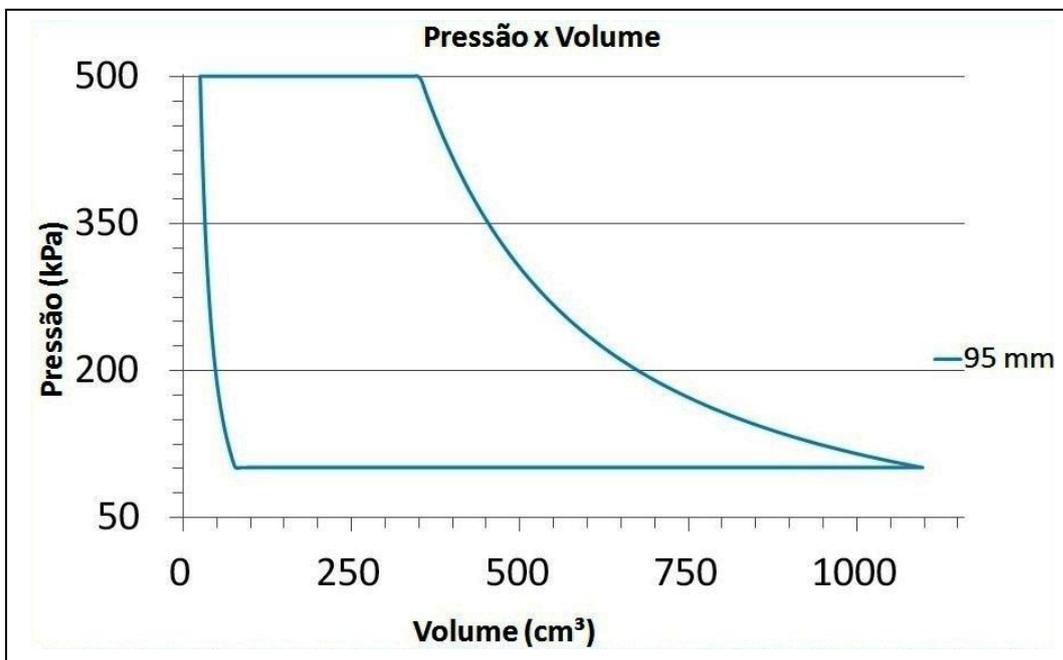


Figura 184 – Gráfico de pressão x volume simulado para pressão de descarga de 500 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 95 mm, utilizando válvulas nas janelas.

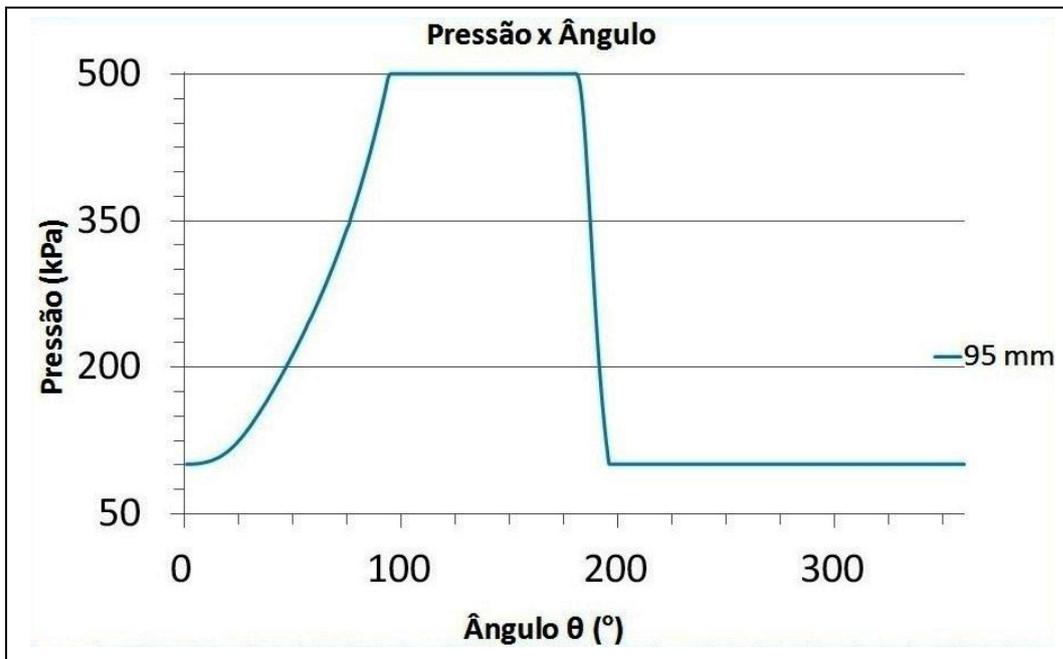


Figura 185 – Gráfico de pressão x ângulo simulado para pressão de descarga de 500 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 95 mm, utilizando válvulas nas janelas.

Para essa excentricidade a compressão, descarga, re-expansão e sucção ocorrem muito parecidas com os gráficos do Capítulo 4, com diferença apenas no valor da pressão de descarga que desta vez é de exatos 500 kPa. As janelas haviam sido projetadas para uma configuração próxima deste valor, as válvulas atuam como se houvessem válvulas nas as janelas, estando abertas como no Capítulo 4.

Nas demais excentricidades (Figs. 183 a 193), durante o processo de compressão, quando o deslocador passa pela borda da janela de sucção fechando a passagem de ar do meio externo para a câmara, continuou-se a não ter uma compressão logo no início (Seção 4.2.2 e Tab. 4). A compressão teórica efetiva só acontece a partir dos pontos de referência em que a câmara chega ao volume máximo, para cada excentricidade. Este problema continuou, porque a câmara nesse momento não está mais em contato com as janelas, antes de chegar no volume máximo.

Na descarga, todas as excentricidades alcançam a pressão determinada, assim como todas apresentam re-expansão até que a pressão no interior da câmara alcance o valor da pressão de sucção de 101,32 kPa, para começar a admitir massa de ar novamente no interior da câmara.

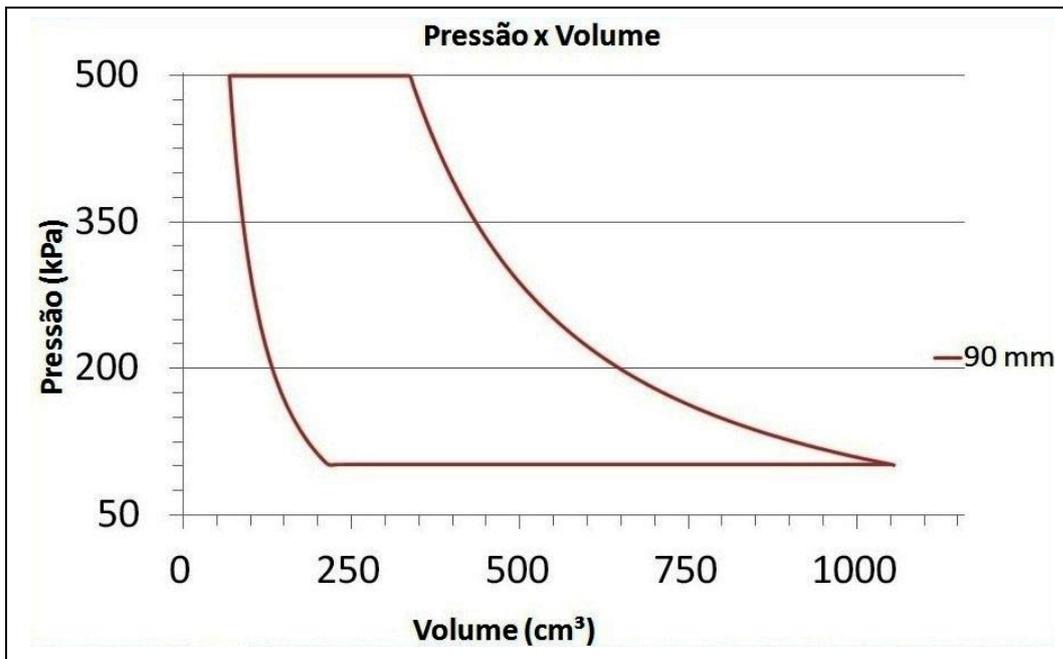


Figura 186 – Gráfico de pressão x volume simulado para pressão de descarga de 500 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 90mm, utilizando válvulas nas janelas.

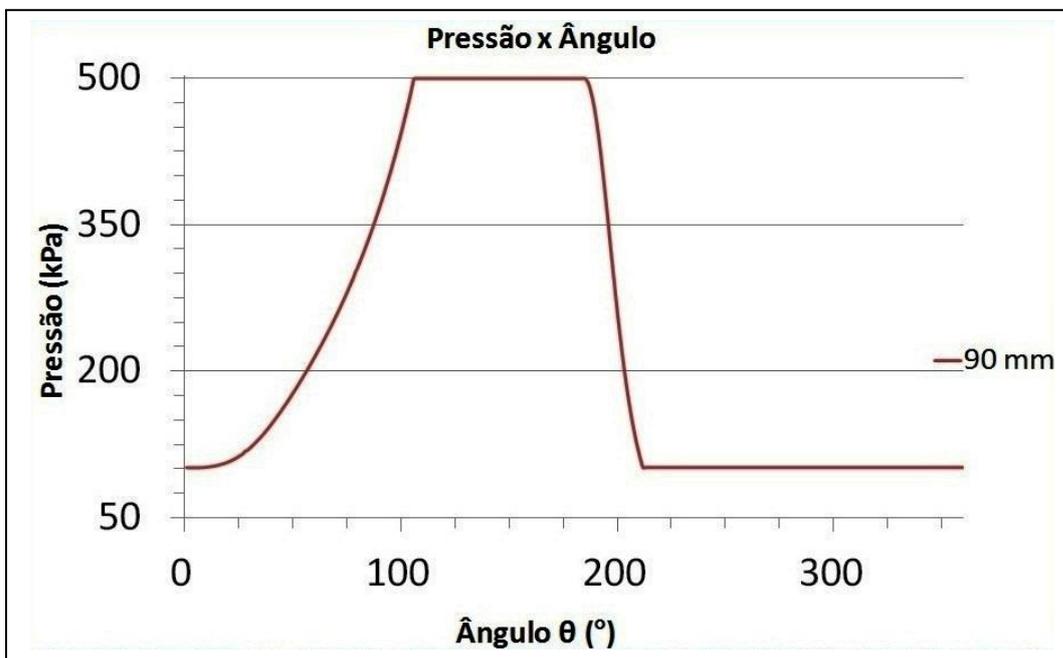


Figura 187 – Gráfico de pressão x ângulo simulado para pressão de descarga de 500 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 90mm, utilizando válvulas nas janelas.

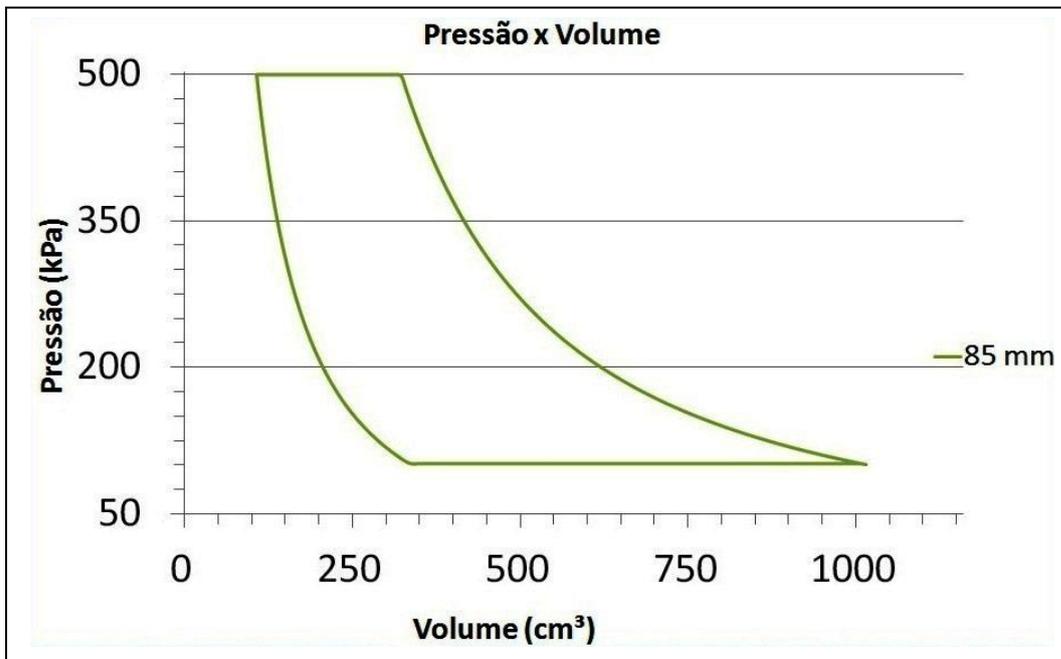


Figura 188 – Gráfico de pressão x volume simulado para pressão de descarga de 500 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 85mm, utilizando válvulas nas janelas.

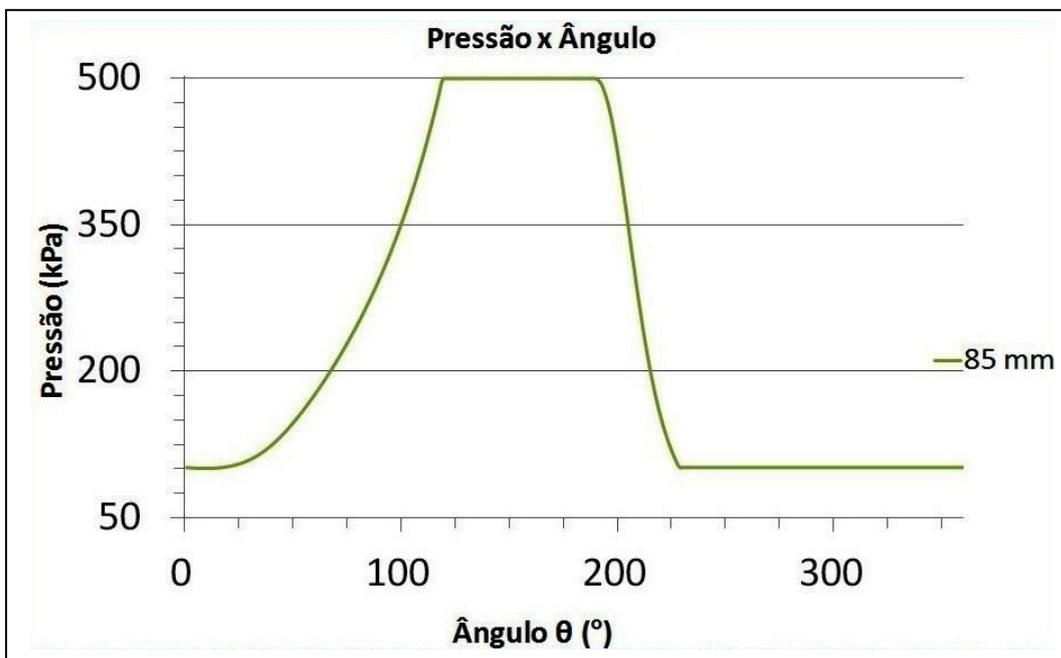


Figura 189 – Gráfico de pressão x ângulo simulado para pressão de descarga de 500 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 85mm, utilizando válvulas nas janelas.

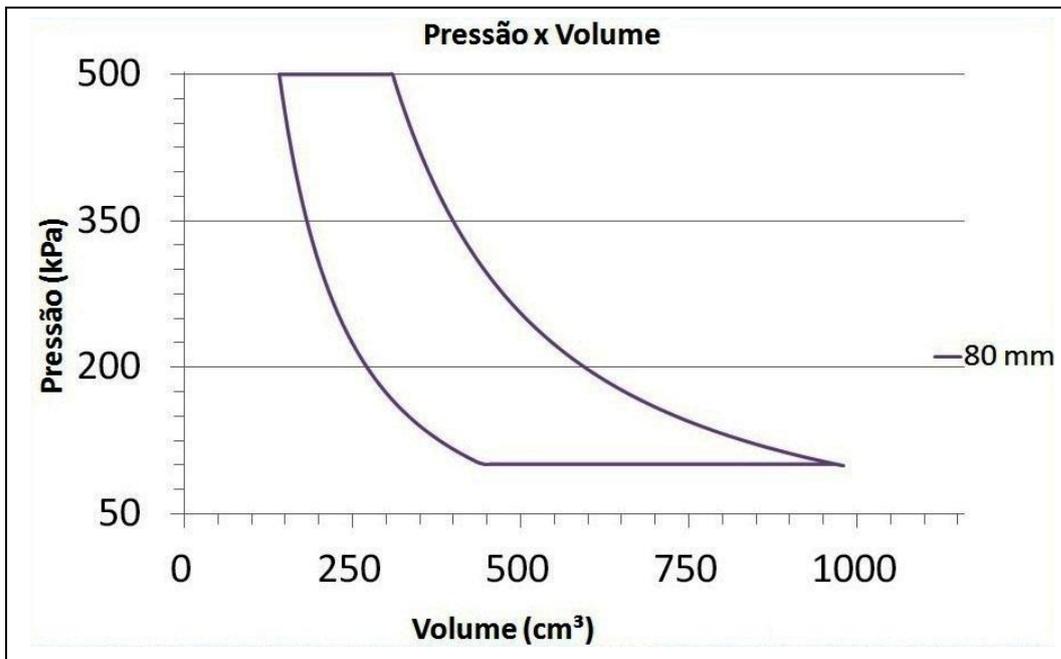


Figura 190 – Gráfico de pressão x volume simulado para pressão de descarga de 500 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 80mm, utilizando válvulas nas janelas.

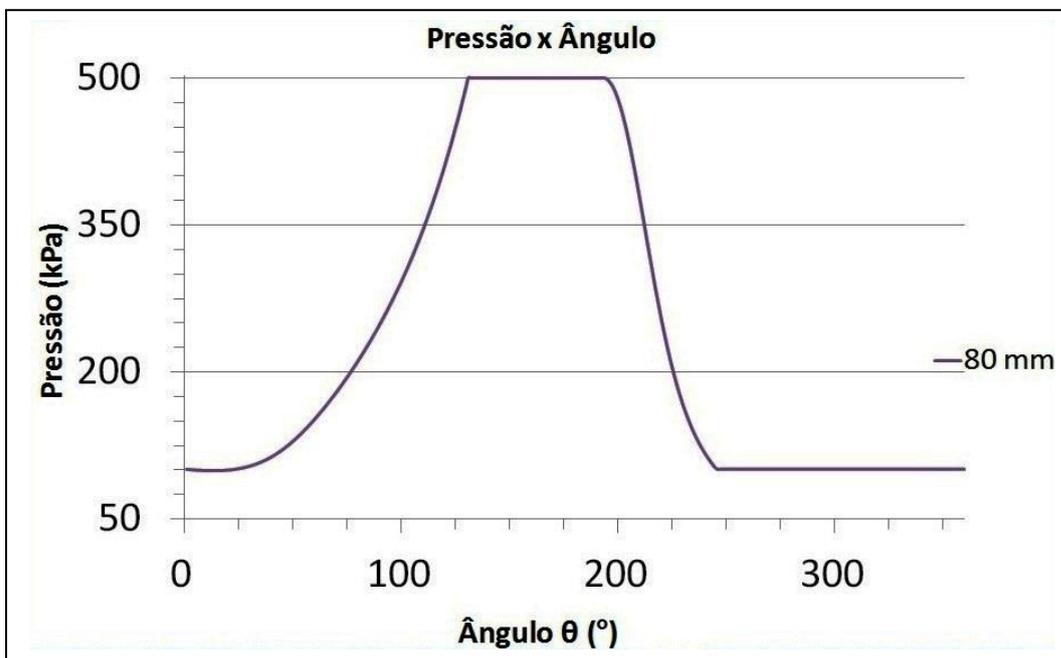


Figura 191 – Gráfico de pressão x ângulo simulado para pressão de descarga de 500 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 80mm, utilizando válvulas nas janelas.

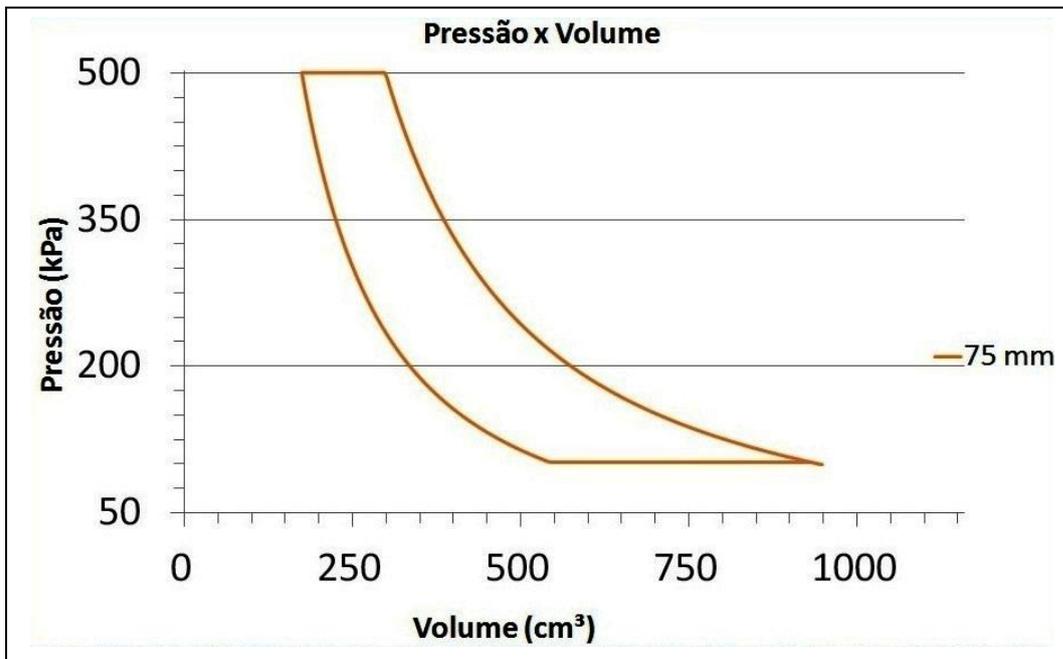


Figura 192 – Gráfico de pressão x volume simulado para pressão de descarga de 500 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 75mm, utilizando válvulas nas janelas.

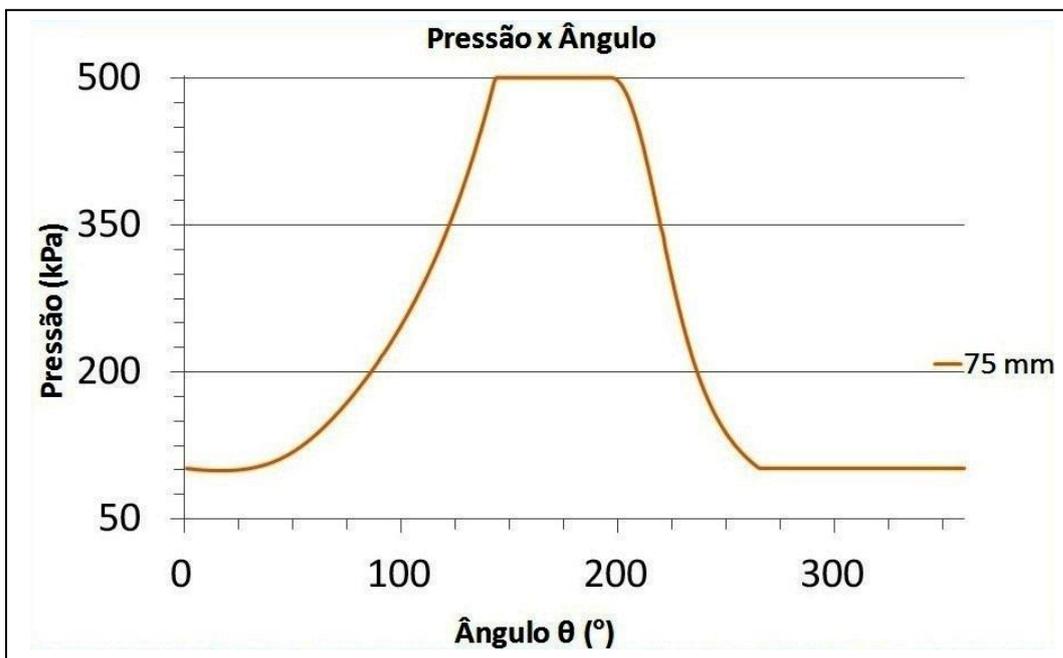


Figura 193 – Gráfico de pressão x ângulo simulado para pressão de descarga de 500 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 75 mm, utilizando válvulas nas janelas.

As figuras mostram os resultados das pressões obtidas acima (Figs. 194 e 195).

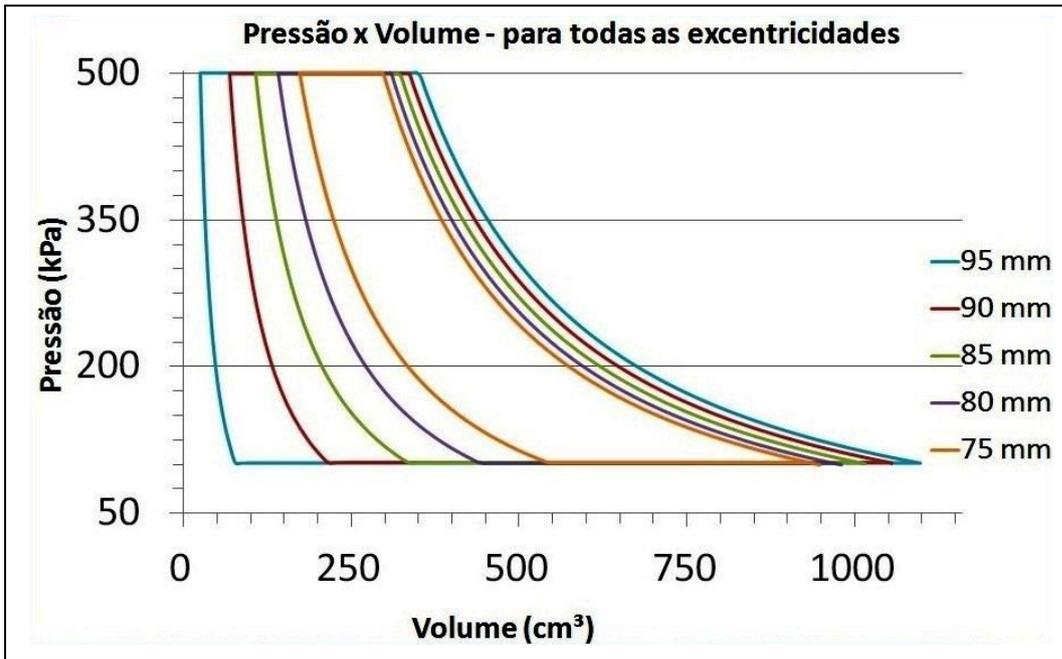


Figura 194 – Gráfico de pressão x volume simulado para pressão de descarga de 500 kPa e sucção de 101,32 kPa para todas as excentricidades escolhidas, utilizando válvulas nas janelas.

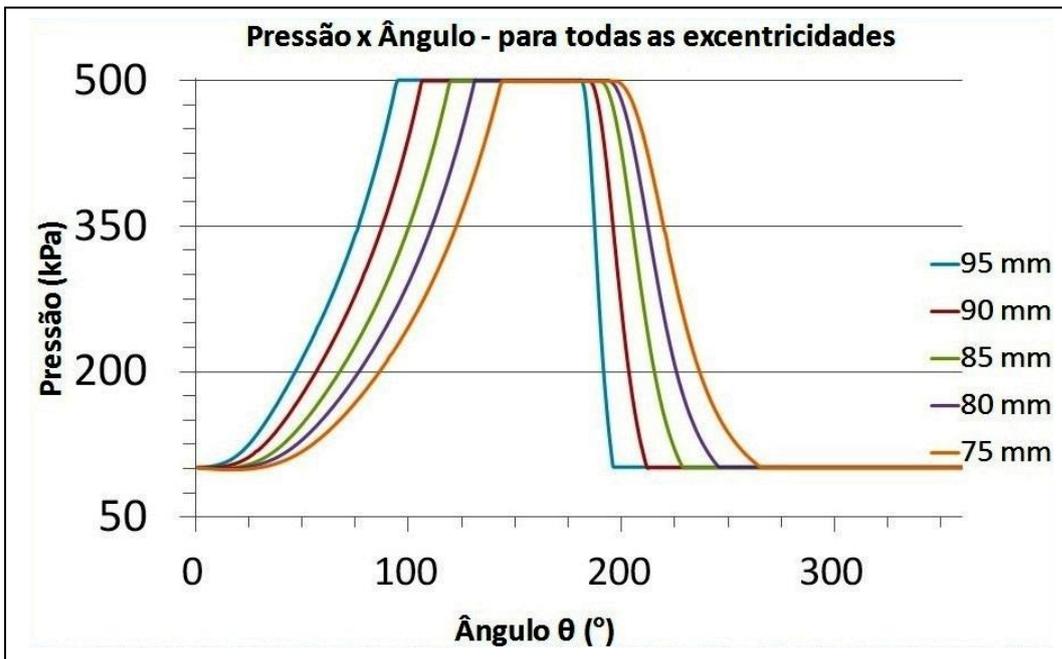


Figura 195 – Gráfico de pressão x ângulo simulado para pressão de descarga de 500 kPa e sucção de 101,32 kPa para todas as excentricidades escolhidas, utilizando válvulas nas janelas.

Conclui-se que o gráfico de pressão x volume indica que quanto menor é a excentricidade, menor é o volume a ser comprimido, devido aos tempos de sucção

e descarga também serem menores. Para o gráfico de pressão x ângulo observa-se que, mesmo utilizando válvulas nas janelas, os ângulos onde ocorrem descarga e sucção são diferentes para cada excentricidade, e se tornam mais afastados um do outro se comparados com a figura 135. Isto por que as válvulas atuam até que a câmara alcance os valores das pressões de descarga e sucção.

5.3.2

Temperatura e massa para pressão de descarga de 500 kPa utilizando válvula nas janelas

Para cálculo da variação da temperatura na câmara, é necessário que a pressão atinja o valor de $p_d = 500 \text{ kPa}$, para que então a válvula abra. Assim, a temperatura de descarga não pode ser assumida como a última temperatura da compressão. Como os cálculos foram feitos de grau em grau, nenhuma das excentricidades utilizadas alcança a pressão exata de 500 kPa, ou seja, há um intervalo de pressão, por exemplo: de 495,88 kPa para de 500 kPa, de um grau para outro. Com isso, sabe-se que a temperatura na pressão de 500 kPa, obtida no interior da câmara para a válvula abrir, não é a mesma temperatura para a pressão de 495,88 kPa. Para simulações de temperatura e massa, executou-se também o cálculo do ciclo do compressor.

Abaixo encontram-se os gráficos de temperatura x ângulo e, massa x ângulo para a excentricidade de 95 mm (Fig. 196 e 197).

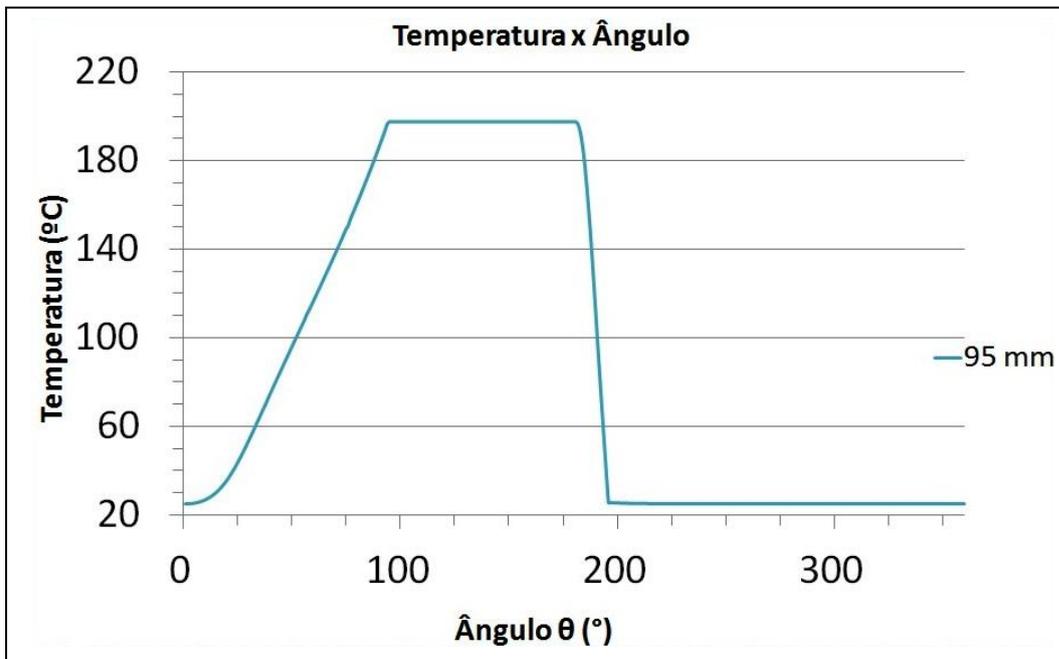


Figura 196 – Gráfico de temperatura x ângulo simulado para pressão de descarga de 500 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 95 mm, utilizando válvulas nas janelas.

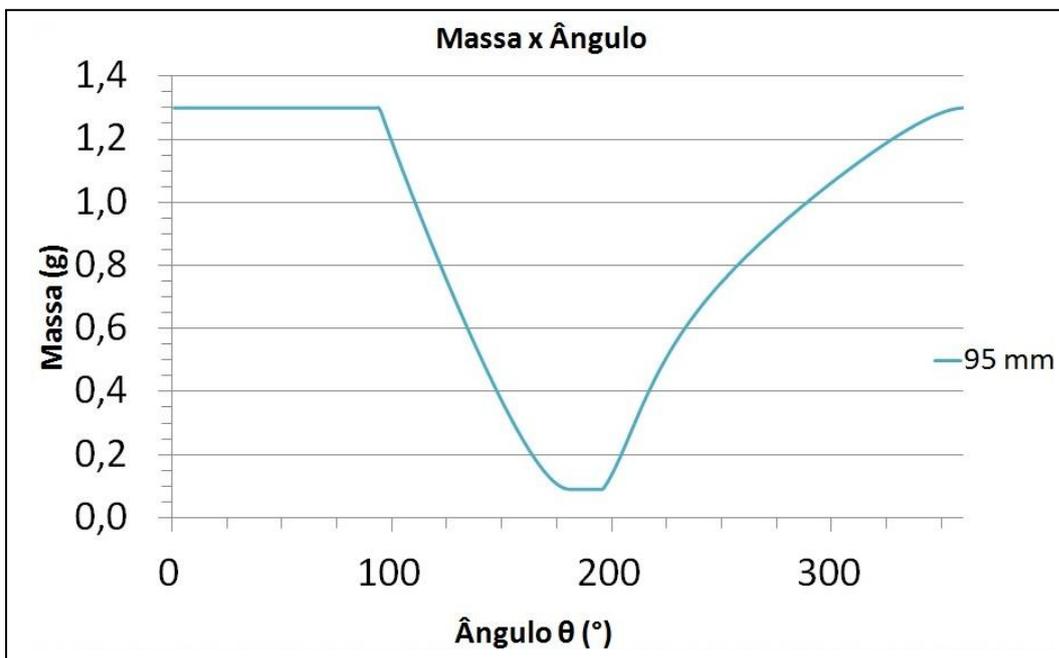


Figura 197 – Gráfico de massa x ângulo simulado para pressão de descarga de 500 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 95 mm, utilizando válvulas nas janelas.

A temperatura e a massa apresentaram apenas duas pequenas diferenças para a excentricidade de 95 mm. Na temperatura, o valor da descarga foi um pouco maior que o valor calculado no Capítulo 4, de 196,3 °C para 197,4 °C. A

massa mostra uma única diferença que é um valor maior na re-expansão em torno de 1%. Os gráficos são semelhantes aos da excentricidade de 95 mm sem válvulas, para uma pressão de descarga em torno de 500 kPa.

Abaixo encontram-se os gráficos de temperatura (Fig. 198 a 201). Se comparados com os gráficos do Capítulo 4, observam-se algumas diferenças e semelhanças, descritas a seguir.

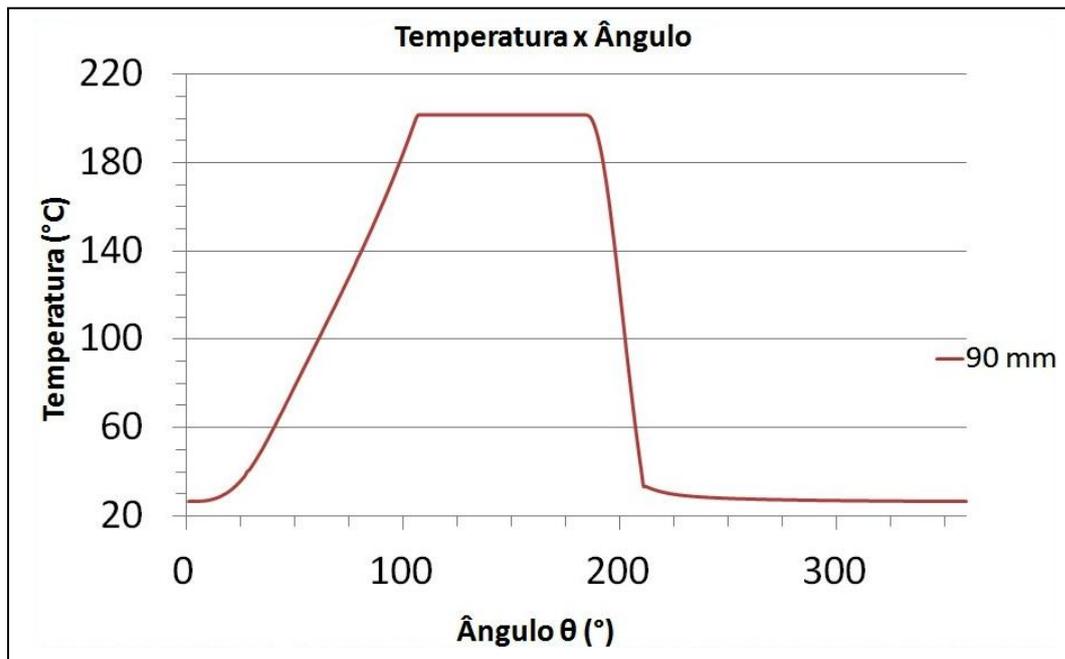


Figura 198 – Gráfico de temperatura x ângulo simulado para pressão de descarga de 500 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 90 mm, utilizando válvulas nas janelas.

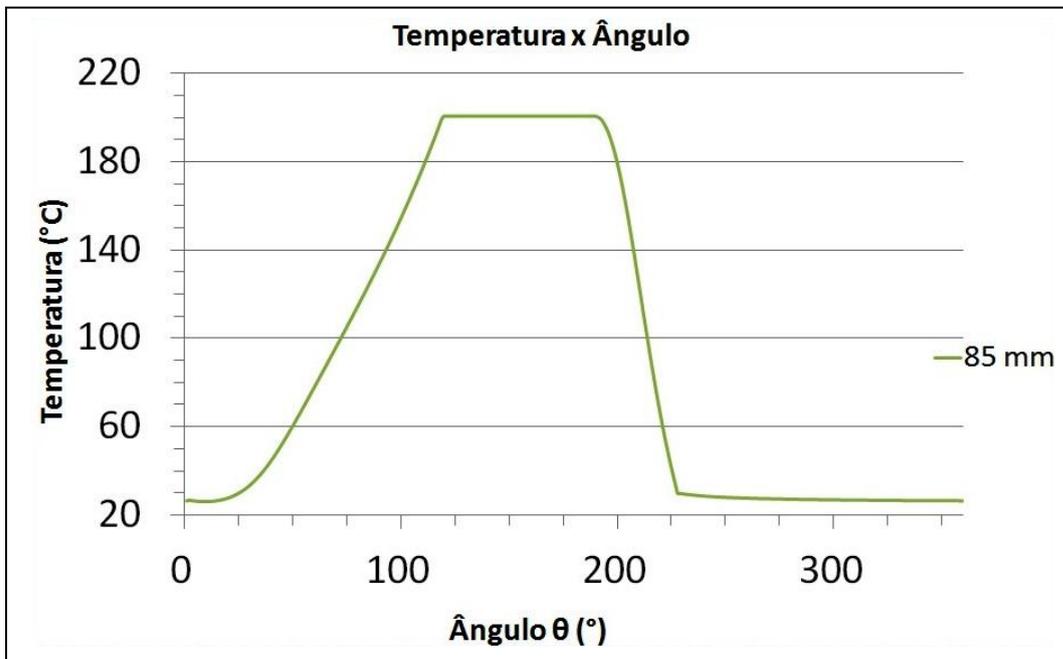


Figura 199 – Gráfico de temperatura x ângulo simulado para pressão de descarga de 500 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 85 mm, utilizando válvulas nas janelas.

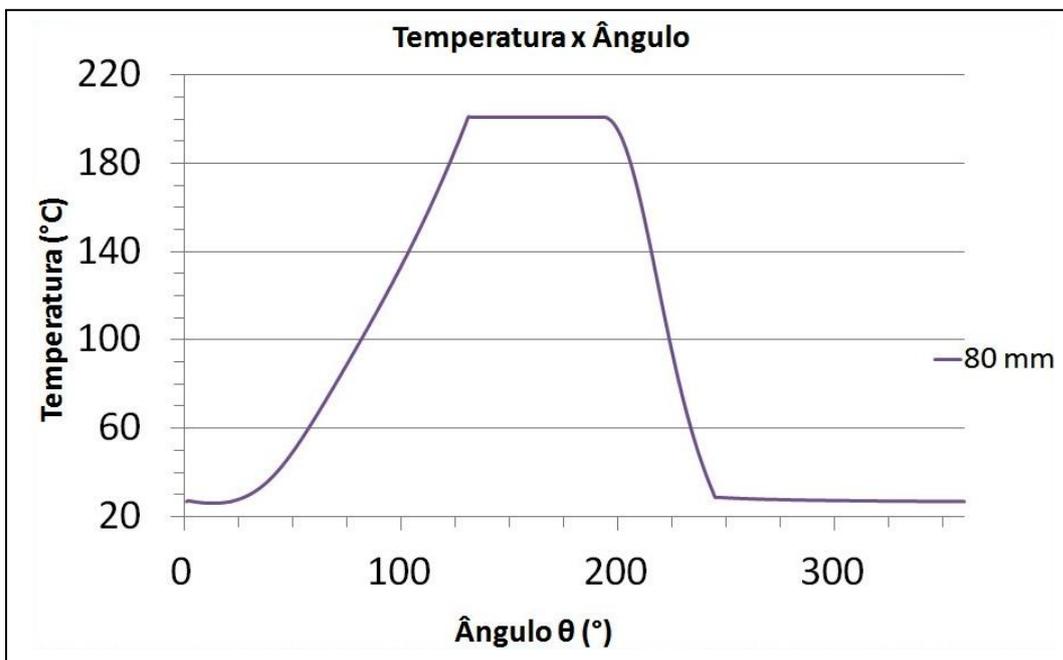


Figura 200 – Gráfico de temperatura x ângulo simulado para pressão de descarga de 500 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 80 mm, utilizando válvulas nas janelas.

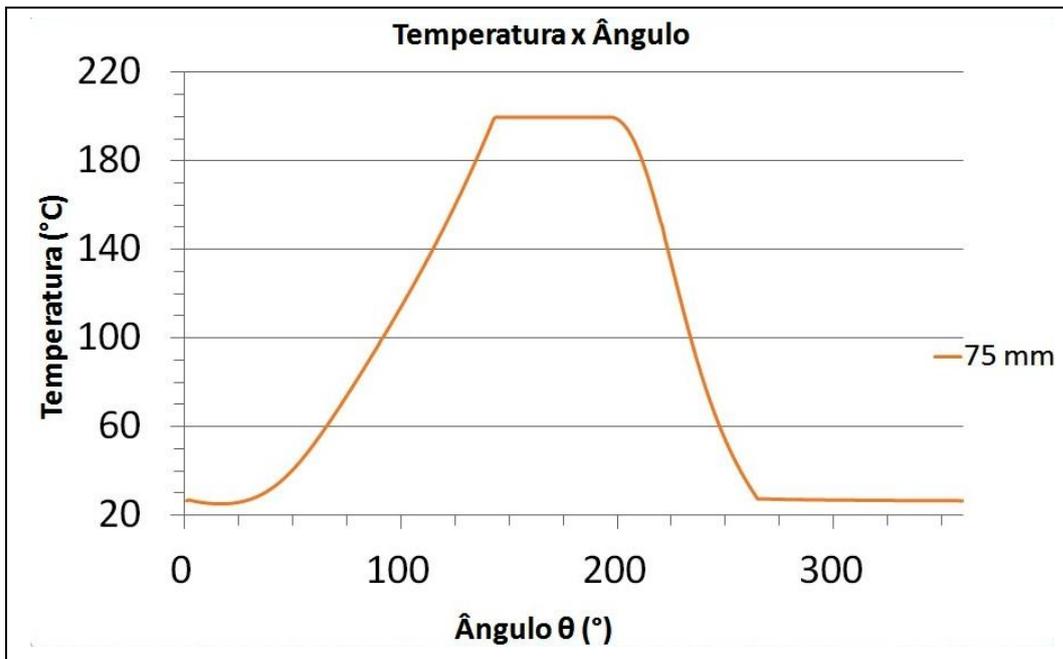


Figura 201 – Gráfico de temperatura x ângulo simulado para pressão de descarga de 500 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 75 mm, utilizando válvulas nas janelas.

No início da compressão, a temperatura se estabiliza em um valor menor (Figs. 198 a 201). A compressão continua não acontecendo logo que a válvula fecha a câmara, fazendo com que haja uma re-expansão do gás que foi admitido.

Na descarga, com excentricidades de 90 mm e 85 mm, a temperatura de descarga apresenta valores menores, enquanto que, para as excentricidades de 80 mm e 75 mm, apresenta valores maiores (Figs 198 a 201). Como há re-expansão até a pressão de sucção, a temperatura decresce mais rapidamente do que na compressão.

Os gráficos de massa são apresentados abaixo (Figs. 202 a 205).

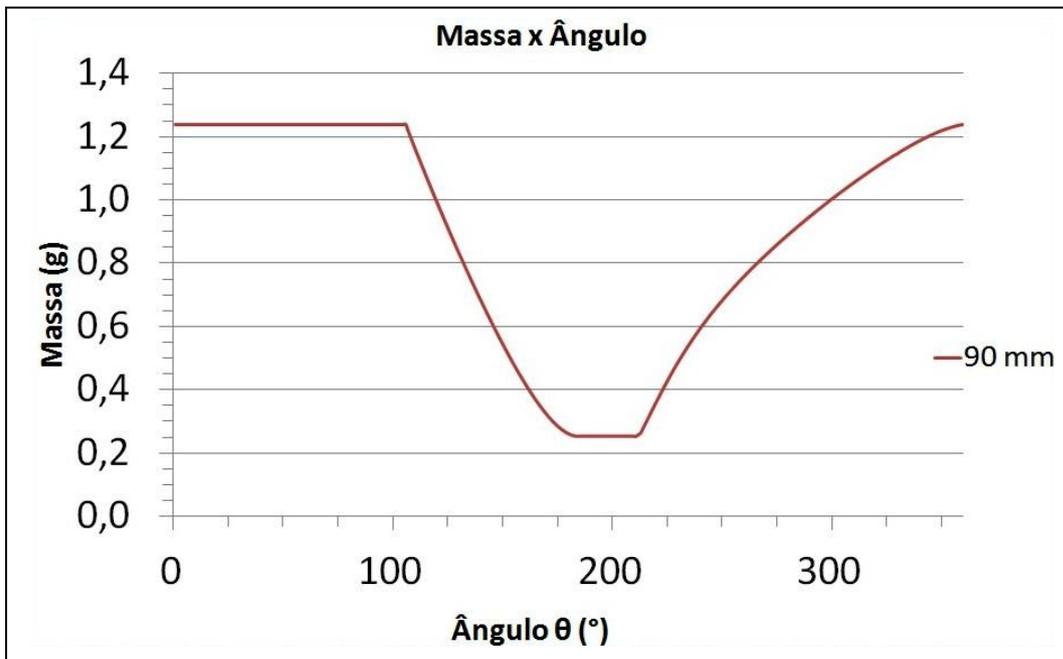


Figura 202 – Gráfico de massa x ângulo simulado para pressão de descarga de 500 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 90 mm, utilizando válvulas nas janelas.

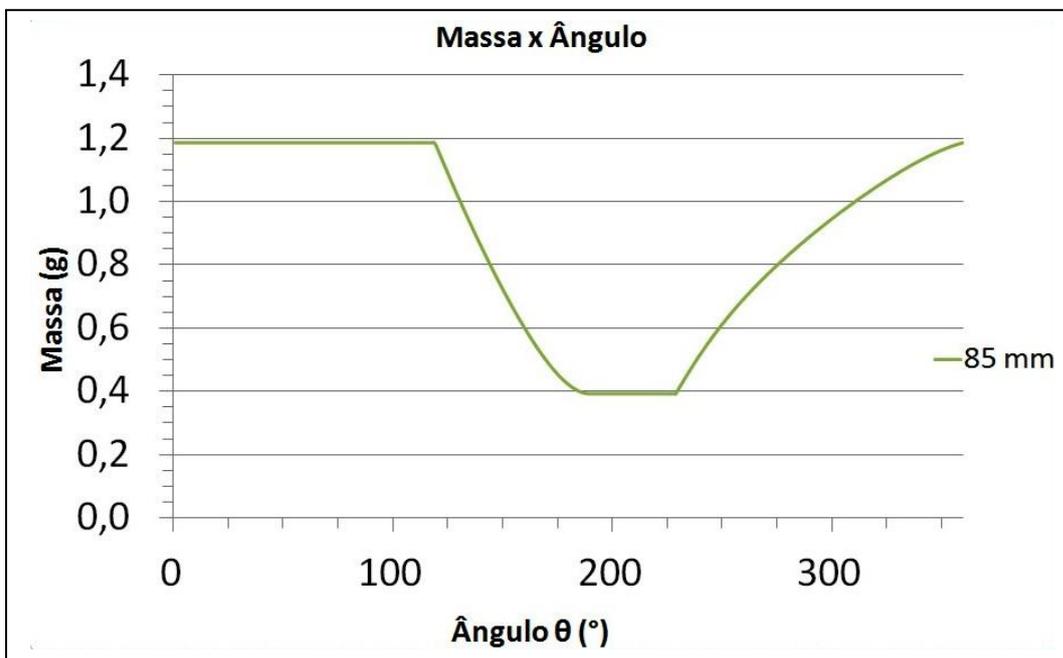


Figura 203 – Gráfico de massa x ângulo simulado para pressão de descarga de 500 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 85 mm, utilizando válvulas nas janelas.

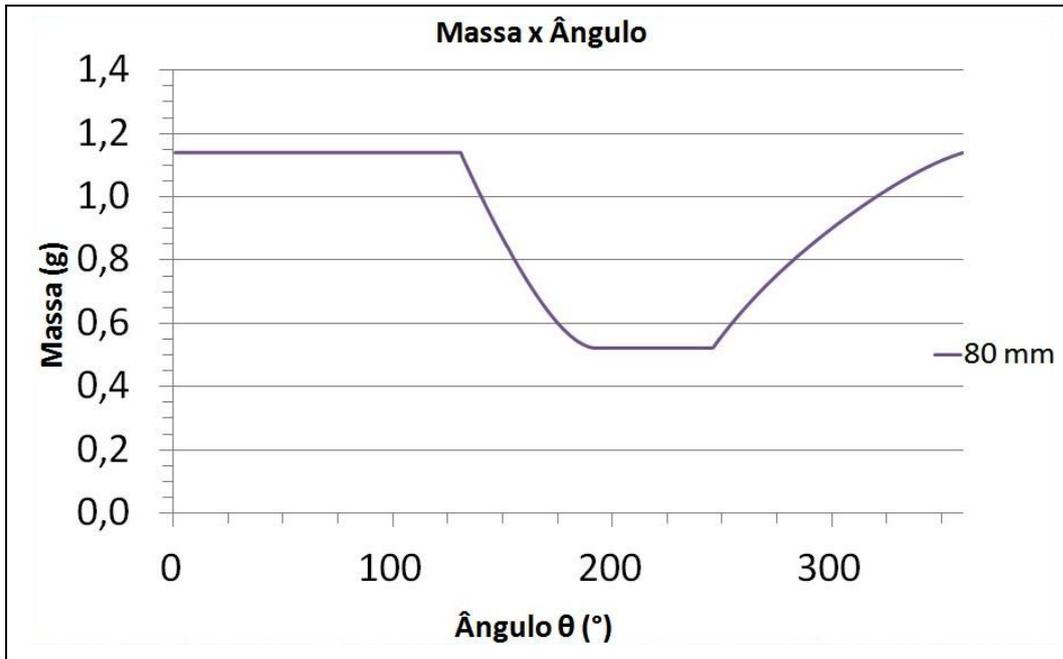


Figura 204 – Gráfico de massa x ângulo simulado para pressão de descarga de 500 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 80 mm, utilizando válvulas nas janelas.

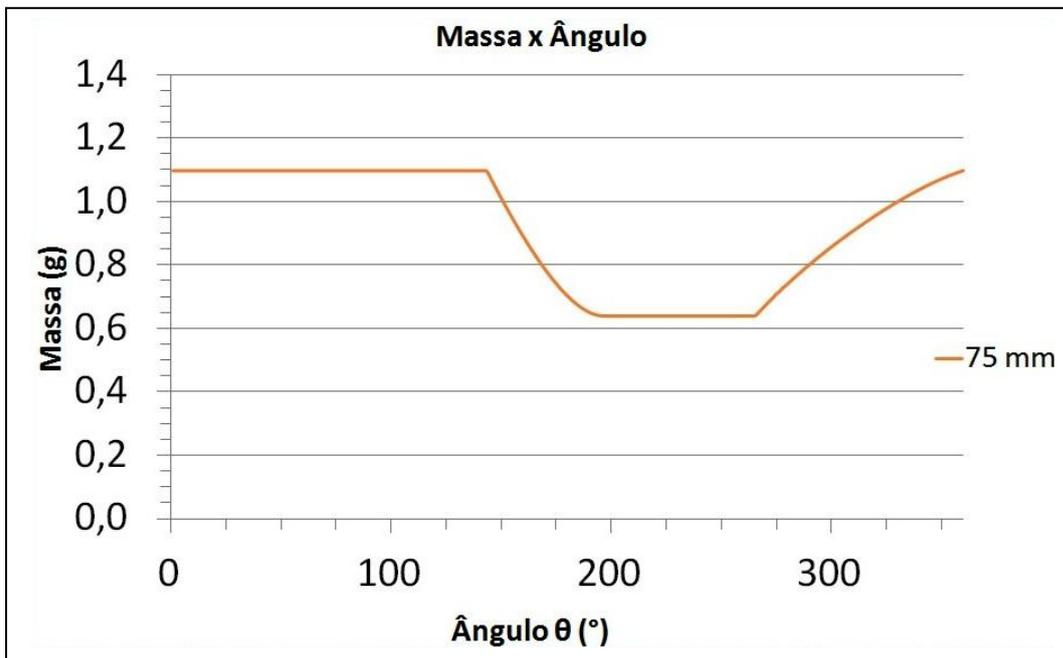


Figura 205 – Gráfico de massa x ângulo simulado para pressão de descarga de 500 kPa, sucção de 101,32 kPa e excentricidade de 75 mm, utilizando válvulas nas janelas.

A massa admitida e descarregada é maior para este caso (Figs. 202 a 205). O processo de descarga não apresenta aumento de massa no início e o fenômeno de fluxo reverso, quando a câmara chega ao volume mínimo, também não ocorre

neste caso. A re-expansão ocorre para todas as excentricidades, quando o gás, ainda na pressão de descarga re-expande até a pressão no interior da câmara alcançar o valor da pressão de sucção.

As figuras abaixo mostram um resumo dos gráficos de temperatura x ângulo, e massa x ângulo para todas as excentricidades estudadas, utilizando as válvulas nas janelas (Figs 206 e 207).

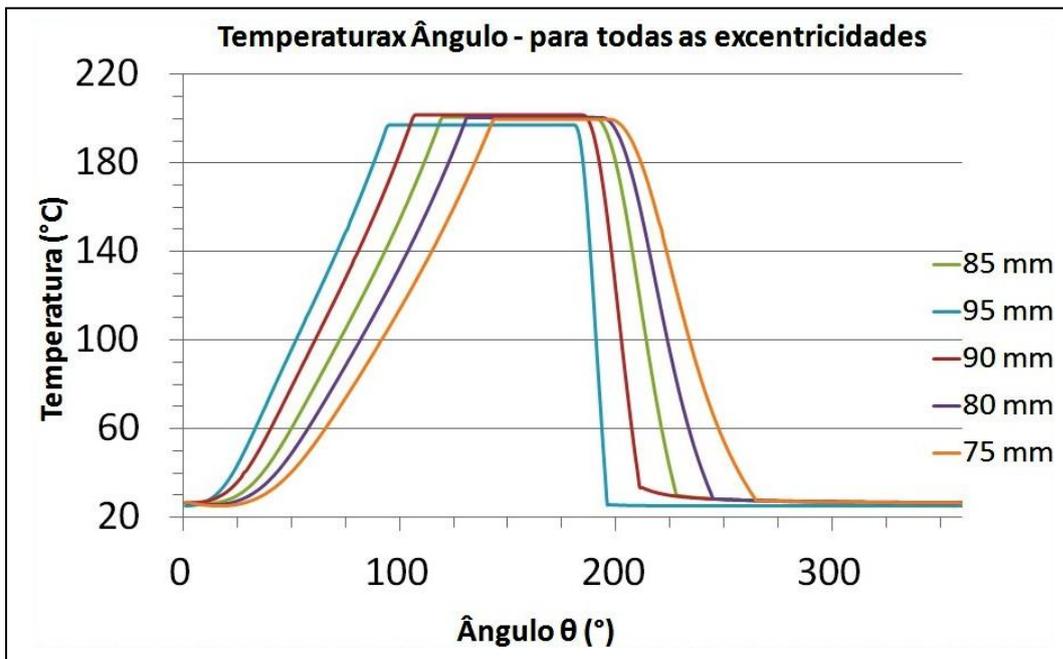


Figura 206 – Gráfico de temperatura x ângulo simulado para pressão de descarga de 500 kPa e sucção de 101,32 kPa para todas as excentricidades escolhidas, utilizando válvulas nas janelas.

No que diz respeito à massa, o tempo decorrente para a descarga, até que a câmara chegue ao volume mínimo, e a massa admitida na sucção, diminuem à medida que as excentricidades são reduzidas (Fig. 207). Embora a compressão não comece logo após a válvula de sucção ser fechada, para as excentricidades de 90 mm, 85 mm, 80 mm e 75 mm, o tempo de compressão aumenta (Fig. 207). Isto porque a massa admitida na sucção é cada vez menor, e por isso leva mais tempo para fazer com que esta massa chegue à pressão determinada. O mesmo vale para a re-expansão (Fig. 207).

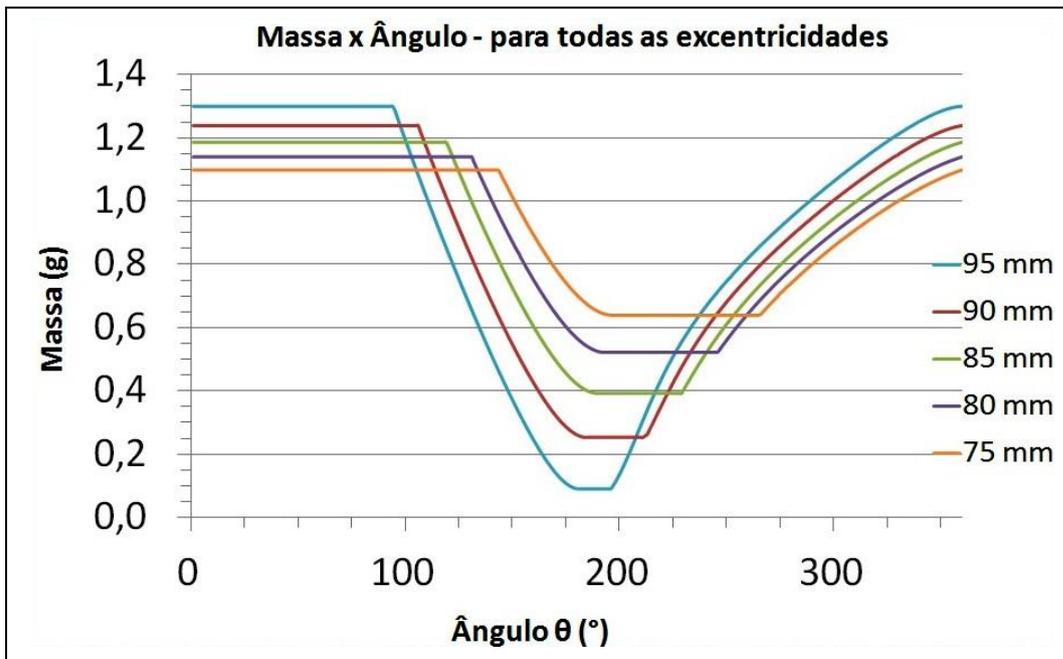


Figura 207 – Gráfico de massa x ângulo simulado para pressão de descarga de 500 kPa e sucção de 101,32 kPa para todas as excentricidades escolhidas, utilizando válvulas nas janelas.

5.3.3

Trabalho, potência, vazão e eficiência volumétrica para pressão de descarga de 500 kPa utilizando válvula nas janelas

Utilizando as mesmas considerações feitas no capítulo 4, tem-se:

i) Cálculo do trabalho por ciclo, W:

O trabalho para a excentricidade de 95 mm teve um aumento menor do que 0,5%, se compararmos a Tabela 27 com a Tabela 6, devido à pequena diferença na pressão de descarga entre ambos os casos. Para as outras excentricidades, o trabalho apresentou um valor menor e, essa diferença aumenta à medida que as excentricidades são reduzidas. Na excentricidade de 85 mm o trabalho está em torno de 9,5% menor, enquanto na excentricidade de 75 mm o trabalho está em torno de 33,3% menor, Tabela 27.

Tabela 27 – Valores de trabalho para pressão de descarga de 500 kPa e sucção de 101,32 kPa, para todas as excentricidades escolhidas, utilizando válvulas nas janelas.

Excentricidade (mm)	Trabalho W (kJ)
95	- 0,21
90	- 0,17
85	- 0,14
80	- 0,11
75	- 0,08

ii) Cálculo da potência, \dot{W} (kW):

Do mesmo modo que o trabalho, a Tabela 28, mostra que a potência consumida é maior só na excentricidade de 95 mm, enquanto para as outras, esse consumo foi menor do que no Capítulo 4. Essa potência torna-se cada vez menor conforme as excentricidades são reduzidas. A velocidade e o período utilizados foram os mesmos do capítulo anterior.

Tabela 28 – Valores de potência para pressão de descarga de 500 kPa e sucção de 101,32 kPa, para todas as excentricidades escolhidas, utilizando válvulas nas janelas.

Excentricidade (mm)	Potência \dot{W} (kW)
95	- 6,34
90	- 5,22
85	- 4,22
80	- 3,31
75	- 2,46

iii) Cálculo de massa admitida por ciclo, Δm (kg):

A massa de gás na compressão, m_{com} , para excentricidade de 95 mm, apresentou os mesmos valores calculados anteriormente mostrados nas Tabelas 8, 17 e 23, mas, para as outras excentricidades observou-se um aumento, Tabela 29. Na re-expansão, para a excentricidade de 95 mm, houve um aumento em torno de 1%. Para as outras excentricidades, a massa que restou no interior da câmara

depois da descarga, para ser re-expandido, é muito menor se comparada com a massa admitida por ciclo do Capítulo 4. Isto porque não há fluxo reverso de massa depois que a câmara chega ao volume mínimo, pois a válvula de descarga mantém-se fechada.

Para a excentricidade de 95 mm os valores são muito próximos, Tabela 29, pois se está utilizando uma pressão um pouco maior do que a pressão para quais as posições das janelas foram projetadas. As outras excentricidades passaram a atuar em sintonia com a janela de descarga, que agora contém uma válvula. Entretanto, ainda não conseguem aproveitar toda a janela de sucção visto que, a câmara deixa de ter contato com as válvulas, antes do volume máximo.

Tabela 29 – Valores de massa admitida por ciclo para uma pressão de descarga de 500 kPa e sucção de 101,32 kPa, para todas as excentricidades escolhidas, utilizando válvulas nas janelas.

Excentricidade (mm)	m_{com} (kg)	m_{re} (kg)	Δm (kg)
95	0,001299	0,000091	0,001208
90	0,001238	0,000252	0,000986
85	0,001187	0,000394	0,000793
80	0,001145	0,000525	0,000620
75	0,001100	0,000642	0,000458

iv) Cálculo da vazão mássica, \dot{m} (kg/s):

Como esperado, a Tabela 30 mostra os valores de vazão mássica para as excentricidades estudadas. A excentricidade de 95 mm apresenta o maior valor, os quais ficam menores conforme a excentricidade é reduzida.

Tabela 30– Valores de vazão mássica para uma pressão de descarga de 500 kPa e sucção de 101,32 kPa, para todas as excentricidades escolhidas, utilizando válvulas nas janelas.

Excentricidade (mm)	\dot{m} (kg/s)
95	0,036
90	0,030
85	0,024
80	0,019
75	0,014

v) Cálculo do volume específico na sucção, v_s (m^3/kg):

Como o volume específico é o calculado a partir da sucção. O cálculo do ciclo para as outras excentricidades levou à convergência para temperatura no início da sucção com um valor mais baixo, tivemos que recalculá-los. Apenas a excentricidade de 95 mm apresentou o mesmo valor de temperatura e, por isso, o valor do volume específico foi o mesmo, como mostra a Tabela 31.

Tabela 31 – Valores de volume específico na sucção para uma pressão de descarga de 500 kPa e sucção de 101,32 kPa, para todas as excentricidades escolhidas, utilizando válvulas nas janelas.

Excentricidade (mm)	T_s (K)	v_s (m^3/kg)
95	298,25	0,8446
90	299,75	0,8494
85	299,55	0,8492
80	298,55	0,8491
75	298,75	0,8480

vi) Cálculo da eficiência volumétrica, η_v :

A eficiência volumétrica para a excentricidade de 95 mm é praticamente a mesma apresentada no capítulo 4 (Tab. 12). Para as outras excentricidades a eficiência apresentou um grande aumento. Com o uso das válvulas nas janelas, aumentou consideravelmente a capacidade do compressor para as excentricidades baixas, para uma razão de pressão maior (Tab. 32).

Tabela 32 – Valores de eficiência volumétrica para uma pressão de descarga de 500 kPa e sucção de 101,32 kPa, para todas as excentricidades escolhidas, utilizando válvulas nas janelas.

Excentricidade (mm)	\dot{m} (kg/s)	v_s (m^3/kg)	V_{desl} (m^3)	η_v
95	0,036	0,84	0,001073	0,951
90	0,030	0,85	0,000985	0,850
85	0,024	0,85	0,000909	0,741
80	0,019	0,85	0,000839	0,627
75	0,014	0,85	0,000775	0,501

vii) Cálculo da temperatura de descarga teórica, $T_{d\text{teórica}}$:

Para o cálculo da temperatura utilizou-se os dados de entrada: pressão de sucção 101,32 kPa, e pressão de descarga 500 kPa. Para a temperatura de sucção utilizamos a temperatura de convergência após rodarmos dez vezes o ciclo do compressor.

A temperatura de descarga para a excentricidade de 95 mm, que se encontra na planilha de cálculo em Excel, é exatamente igual à temperatura de descarga calculada na Tabela 33. As outras temperaturas apresentam valores muito próximos dos calculados na planilha, com uma diferença menor do que 1%. Deve-se a tal fato a ausência do fluxo reverso.

Tabela 33 – Valores de temperatura de descarga teórica para uma pressão de descarga de 500 kPa e sucção de 101,32 kPa, para todas as excentricidades escolhidas, utilizando válvulas nas janelas.

Excentricidades (mm)	T_s (°C)	$T_{d\text{teórica}}$ (°C)
95	25,1	197,4
90	35,2	200,0
85	40,7	199,9
80	44,1	198,0
75	48,0	199,3

Conclui-se que a utilização de válvulas nas janelas de sucção e descarga faz-se necessária para melhorar o desempenho do compressor para uma faixa mais ampla de excentricidades. Sem as válvulas, com apenas 5 mm de diferença na excentricidade, o ciclo já apresenta alteração no desempenho, devido à posição fixa das janelas.

Outra solução para melhorar o desempenho do compressor seria a usinagem das janelas de sucção e descarga com um comprimento (arco) maior, utilizando duas excentricidades como referência: 75 mm e 95 mm. Aplicando-se válvulas nas janelas para determinar quando fechar e abrir a câmara, tal medida beneficiaria a eficiência volumétrica para todas as excentricidades. Isso faria com que fosse admitida uma quantidade maior de massa de ar até o volume máximo. E haveria um tempo maior de compressão fazendo com que o interior da câmara atingisse a valores mais altos de pressão para essas excentricidades menores.

Deve-se destacar que, com os dados do presente estudo, se não forem utilizadas as válvulas, a eficiência volumétrica decresceria para todas as excentricidades.