

COMPARAÇÃO DE DIFERENTES CONFIGURAÇÕES DE UM ESTÁGIO DE UM IMPACTADOR INERCIAL EM CASCATA PARA COLETA DE PARTICULAS PM1.

Aluna: Aline Mendonça Guidry

Departamento de Engenharia Ambiental Puc-Rio

Orientador: Marcos Sebastião de Paula Gomes

Departamento de Engenharia Mecânica Puc-Rio

1.Introdução

O aumento da poluição nos grandes centros urbanos tem forçado a demanda por novos equipamentos capazes de fazer a amostragem correta das partículas em suspensão no ar. Estas partículas são de atenção especial pois causam danos à nossa saúde. Elas causam tanta preocupação pois as partículas menores que $10\ \mu\text{m}$ são consideradas inaláveis sendo que as de tamanho menores que $3\ \mu\text{m}$ são consideradas respiráveis atingindo a região alveolar dos pulmões.

Um destes equipamentos é o impactador inercial em cascata que consiste nos princípios de inércia das partículas que conforme o seu tamanho conseguem ou não acompanhar o escoamento. As partículas de tamanhos maiores e por isso mais pesadas possuem uma maior inércia e por isso acabam se desviando do escoamento e colidindo na placa de impactação. Por outro lado, as partículas de tamanho menores e mais leves conseguem seguir o fluxo do escoamento não colidindo na placa.

Os principais parâmetros para o desenvolvimento de um impactador inercial em cascata são portanto o diâmetro das partículas, a velocidade do escoamento e a distância da placa de impactação. Desta forma, conseguimos projetar as dimensões apropriadas conforme o tamanho de partículas que queremos coletar. Neste estudo consideramos as dimensões calculadas por Costa (2005) para a coleta de partículas com tamanhos maiores que $1\ \mu\text{m}$.

No estudo realizado por Costa(2005) foi desenvolvido o projeto de um impactador inercial em cascata para coletar partículas de $10\ \mu\text{m}$, $2,5\ \mu\text{m}$ e de $1\ \mu\text{m}$. Após diversas simulações foi constatado que ocorriam zonas de recirculação acima e abaixo da placa de impactação, depósito indesejável de partículas nas paredes do equipamento e elevada eficiência de coleta pela placa de impactação no terceiro estágio do impactador para todos os diâmetros de partícula lançados

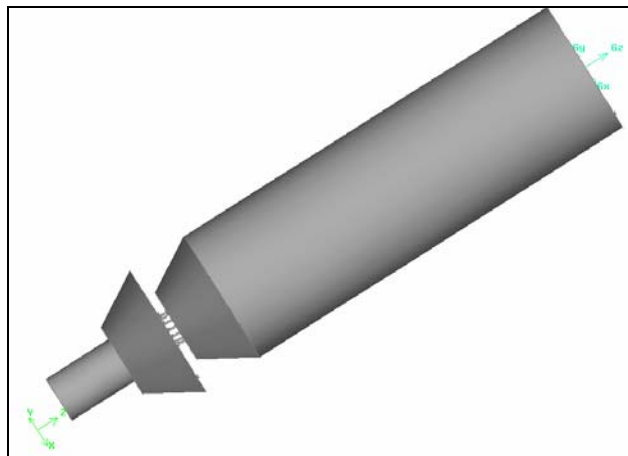


Figura 1. Visão externa do terceiro estágio do impactador inercial em cascata.

2. Dimensões do Impactador

A simulação foi realizada considerando um impactador de um único estágio. A entrada foi substituída por um cilindro de comprimento longo (3 vezes o diâmetro) para que os efeitos da direção do vento na entrada pudessem ser desprezados.

Sendo assim, o impactador é composto de 3 peças: cilindro de entrada (58mm de diâmetro e 174mm de altura), estágio com placa de orifícios com 14 furos de 1mm de diâmetro e 3mm de altura e bloco de saída.

Tabela 1. Dimensões do terceiro estágio do impactador inercial em cascata

Dimensões corpo cilindro entrada	diâmetro (mm)	58
	altura (mm)	174
dimensões furos	número de furos	14
	diâmetro dos furos (mm)	1
	ângulo entre os furos	25,7
	altura (mm)	4
dimensões frustum entrada	diâmetro de entrada (mm)	58
	diâmetro de saída (mm)	32
	altura do afunilamento (mm)	22
Dimensões frustum que contém a placa	diâmetro de entrada (mm)	58
	diâmetro de saída (mm)	32
	altura do afunilamento (mm)	22
Dimensões placa de impactação	diâmetro superior (mm)	37
	diâmetro inferior (mm)	33
	altura (mm)	3
	distância do escoamento (mm)	4
Dimensões corpo cilindro saída	diâmetro (mm)	20
	altura (mm)	30

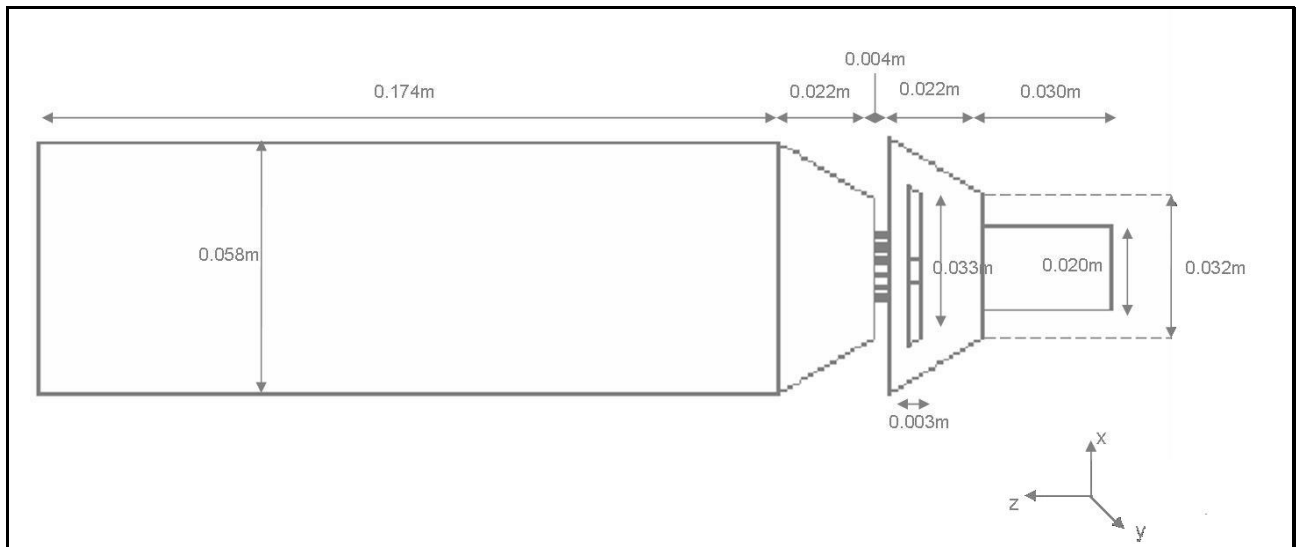


Figura 2. Dimensões do terceiro estágio do impactador inercial em cascata

Tabela 2. Características dos novos arranjos dos furos

Nome	Dimensões furos				Dimensões placa de impactação				
	Número de furos	Diâmetro dos furos (mm)	Ângulo entre os furos	Dist. dos furos ao centro (mm)	Diâmetro superior (mm)	Diâmetro inferior (mm)	Altura (mm)	Distância do escoamento (mm)	Diâmetro do furo na placa (mm)
Raio 6	14	1	25,7	6	37	33	3	4	-
Raio6 furo placa 2									4
Raio6 furo placa 3									6
Raio 7				7					-
Raio7 furo placa 2									4
Raio7 furo placa 3									6

3. Modificações propostas

3.1. Novo Arranjo dos Furos

Uma nova geometria para o arranjo dos 14 furos do terceiro estágio do impactador inercial foi uma das soluções apresentadas que poderia melhorar a eficiência de coleta do equipamento. Foi constatado que o baixo desempenho da eficiência de coleta desse estágio seria a influência que o jato de um furo teria em outro adjacente. Esta interação entre jatos poderia fazer com que os jatos saindo dos orifícios centrais encontrassem os jatos saindo dos orifícios mais externos da placa e, com isso, as partículas seriam “empurradas” diretamente para a placa, aumentando assim a coleta, independente do diâmetro.

A nova placa dos furos é composta por 14 furos de 1mm de diâmetro e 4mm de altura espaçados a um ângulo de $25,7^\circ$. As figuras a seguir são exemplos dos novos arranjos propostos.

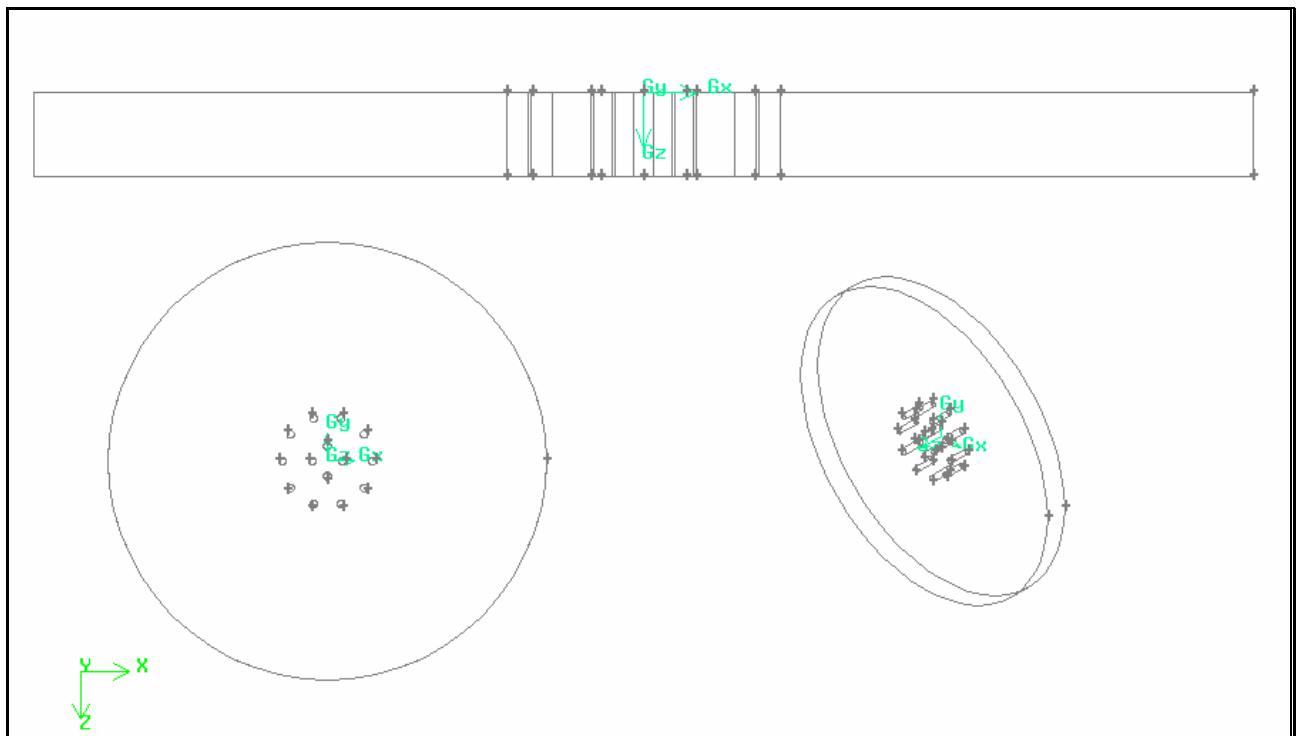


Figura 3. Placa de furos antiga

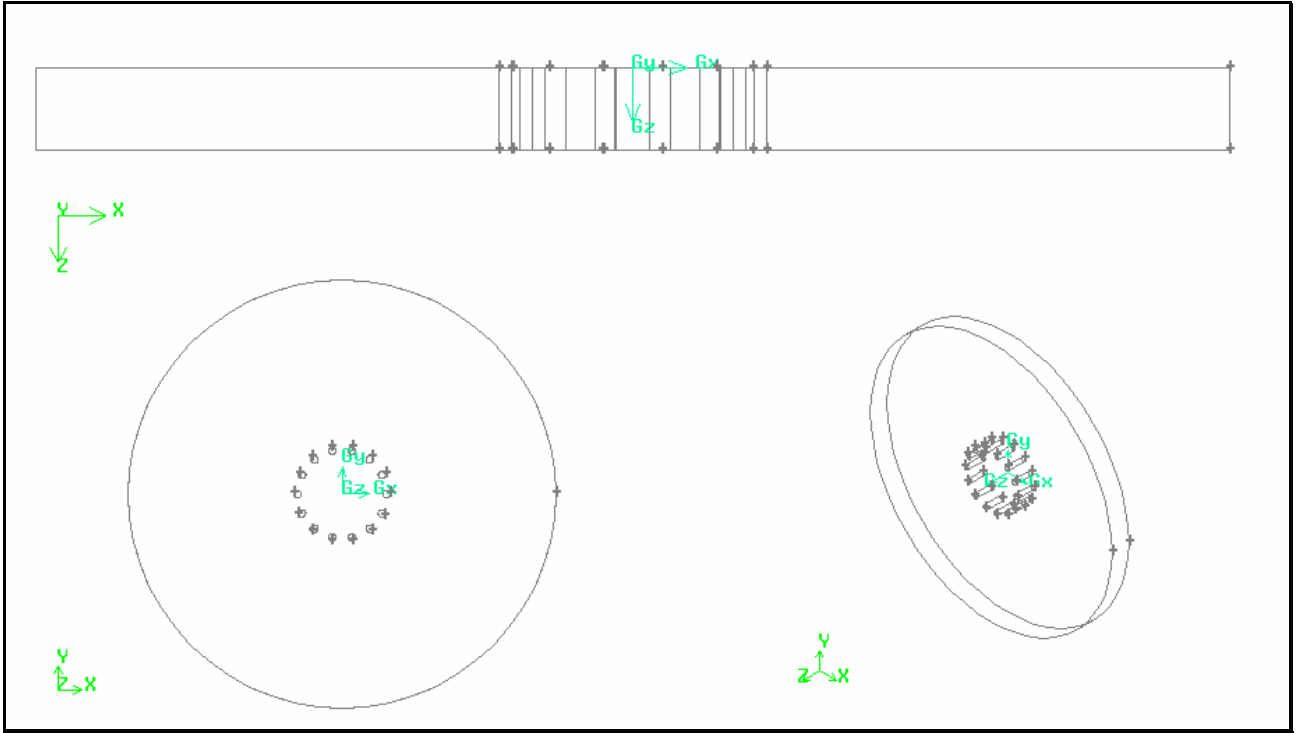


Figura 4. **Raio 6** - Furos da placa distanciados do centro de forma circular com um raio de 6mm.

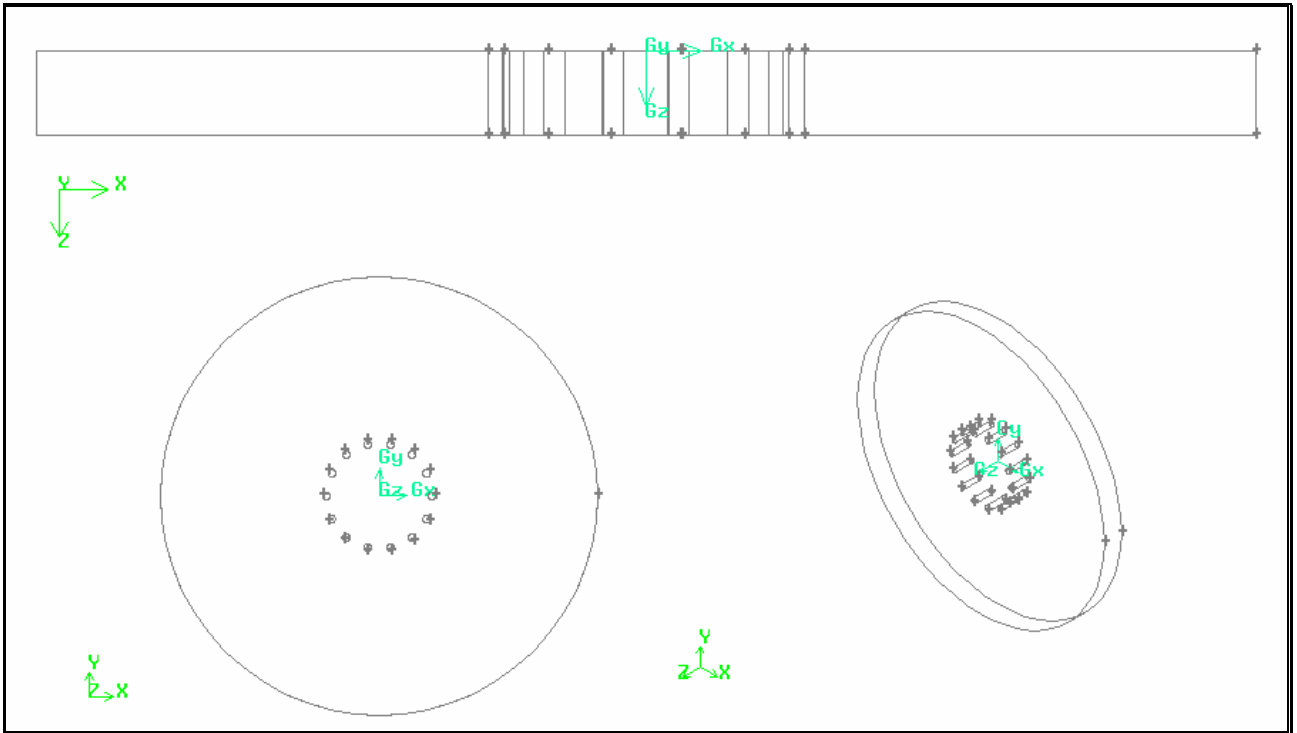


Figura 5. **Raio 7** - Furos da placa distanciados do centro de forma circular com um raio de 7mm.

3.2. Alteração na geometria da placa de impactação

Através dos resultados do estudo anterior pudemos também observar que ocorriam zonas de recirculação abaixo e acima da placa de impactação. Tais zonas são indesejáveis, pois capturam as partículas e podem modificar a sua trajetória, fazendo-as as fazem colidir em outras paredes ao invés de se depositarem na placa de impactação.

A solução proposta para esse problema foi a de furar a placa de impactação de modo que o escoamento tivesse um caminho alternativo pelo centro da mesma. Para essa finalidade foram testados dois tamanhos de furos na placa de impactação: um de 4mm de diâmetro e um de 6mm de diâmetro.

Nas figuras abaixo são demonstrados os furos na placa de impactação no arranjo Raio 7 (Figura 5).

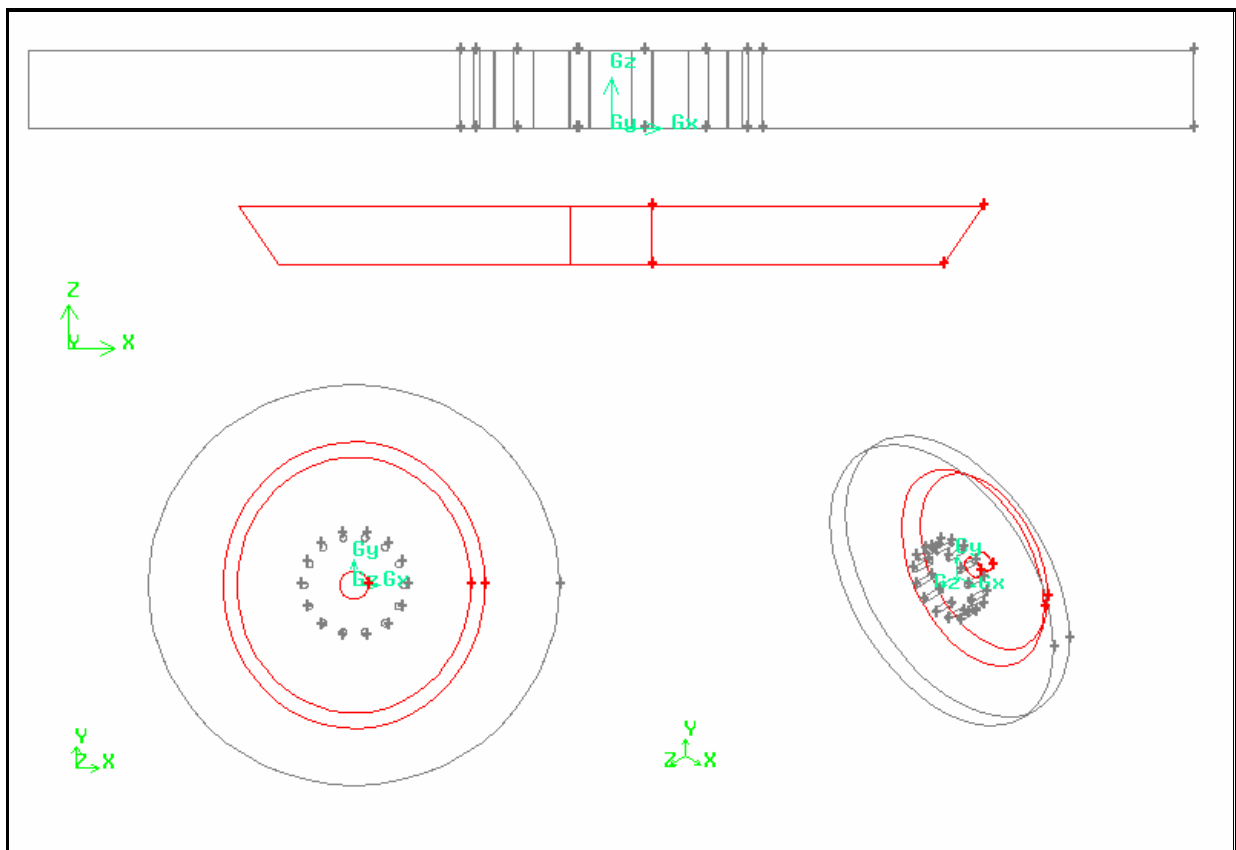


Figura 6. **Raio7 furo placa 2** - Placa de impactação (em vermelho) com um furo (em rosa) de 2mm de raio (4mm de diâmetro).

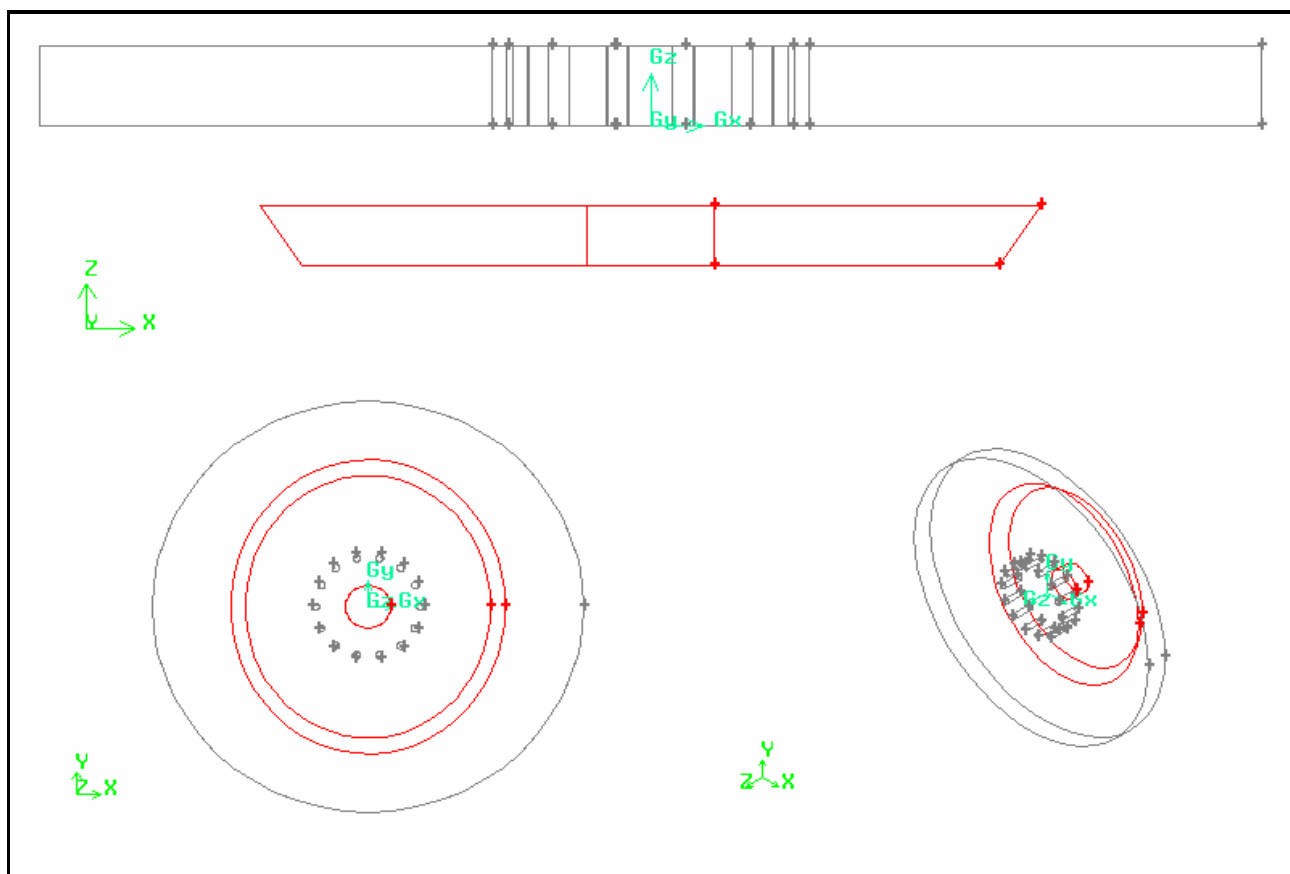


Figura 7. **Raio 7 furo placa 3** - Placa de impactação (em vermelho) com um furo (em azul) de 3mm de raio (6mm de diâmetro) na placa de impactação.

3.3. Refinamento da malha do impactador inercial

Outro provável motivo para baixo desempenho desse estágio seria a confecção das malhas. É possível que a malha fosse pouco refinada na área acima da placa de impactação ou nos furos o que poderia provocar dados errados de velocidade. Após vários testes em diversas malhas chegamos à conclusão que poderíamos refinar a malha nos locais do escoamento que tínhamos interesse e fazer uma malha não tão refinada para as outras partes menos importantes. Desta forma, conseguimos o refinamento que precisávamos sem ter um custo computacional alto.

Para esse teste usamos 6 malhas diferentes. Três delas foram feitas sem refinamento e três usando o refinamento nas áreas em torno da placa de impactação. Todas as malhas a seguir foram geradas no Gambit e foi utilizada a malha triangular T-GRID pela geometria do equipamento ser bastante irregular.

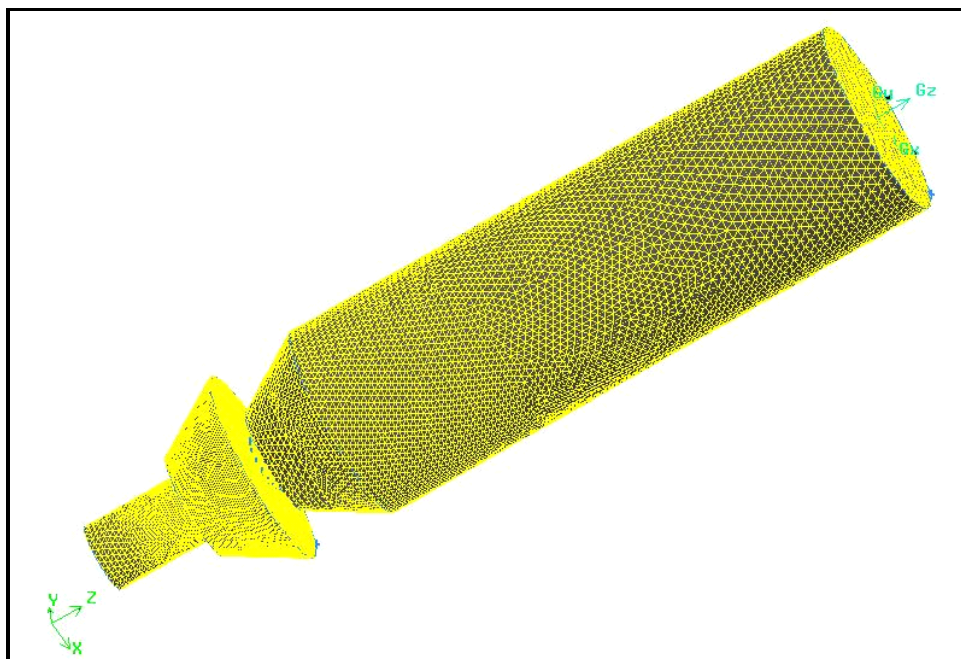


Figura 8. Malha do terceiro estágio do impactador inercial

Tabela 3. Malhas Criadas.

	<i>Nome</i>	<i>Volumes de Controle</i>
<i>sem refinamento</i>	Malha 1-4	1.128.584
	Malha 1-5	988.135
	Malha 1-6	788.070
<i>com refinamento</i>	Malha comb 2	1.239.744
	Malha comb 3	1.054.517
	Malha comb 4	624.554

Tabela 4. Dados de entrada para a confecção das malhas 1.4, 1.5 e 1.6 no Gambit.

Nome da malha	Todas as faces	Volume
	int size	
Malha 1-4	0,0014	0,0014
Malha 1-5	0,0015	0,0015
Malha 1-6	0,0016	0,0016

Tabela 5. Dados de entrada para a confecção das malhas comb 3, comb 4 e comb 5 no Gambit.

Nome da malha	Face		Volume
	Int size		Int size
Malha comb 3	furos	0,0002	0,002
	furo placa	0,0004	
	corpo da placa	0,0004	
	topo da placa	0,0004	
	circulo 2	0,0004	
	circulo 1	0,0004	
	frustum placa	0,001	
	circulo3	0,001	
	frustum entrada	0,001	
	saida	0,001	
	cilindro saida	0,002	
	cilindro entrada	0,004	
	entrada	0,003	
Malha comb 4	furos	0,0002	0,001
	furo placa	0,0004	
	corpo da placa	0,0004	
	topo da placa	0,0004	
	cilindro saida	0,002	
	saida	0,001	
	cilindro 2	0,0004	
	frustum placa	0,002	
	circulo3	0,002	
	frustum entrada	0,002	
	circulo 1	0,0004	
	cilindro entrada	0,005	
	entrada	0,003	
Malha comb 5	furos	0,0002	0,001
	furo placa	0,0008	
	corpo da placa	0,0008	
	topo da placa	0,0008	
	cilindro saida	0,002	
	saida	0,002	
	cilindro 2	0,0008	
	frustum placa	0,002	
	circulo3	0,002	
	frustum entrada	0,002	
	circulo 1	0,0008	
	cilindro entrada	0,003	
	entrada	0,003	

4. Apresentação dos Resultados de Refinamento das Malhas

Estas análises foram realizadas para obtermos vários critérios para a escolha da malha que será utilizada nas simulações. Estas avaliações foram feitas com base em quatro critérios: avaliação visual no Gambit, comparação visual do escoamento, comparação das velocidades ao longo do equipamento e eficiência de coleta das partículas lançadas.

Todas as simulações foram feitas em uma mesma geometria. O arranjo escolhido foi o Raio 7 furo placa 3 (Figura 7).

4.1. Avaliação visual das malhas no Gambit

As figuras abaixo mostram a imagem do exame de qualidade da malha aplicado conforme o pré-gerador Gambit. Nelas são mostrados os volumes de controle e a qualidade da malha. Nessa análise visual, quanto mais “azul” a malha, melhor. Nas figuras abaixo focalizamos na região de interesse ao redor da placa de impactação (em branco).

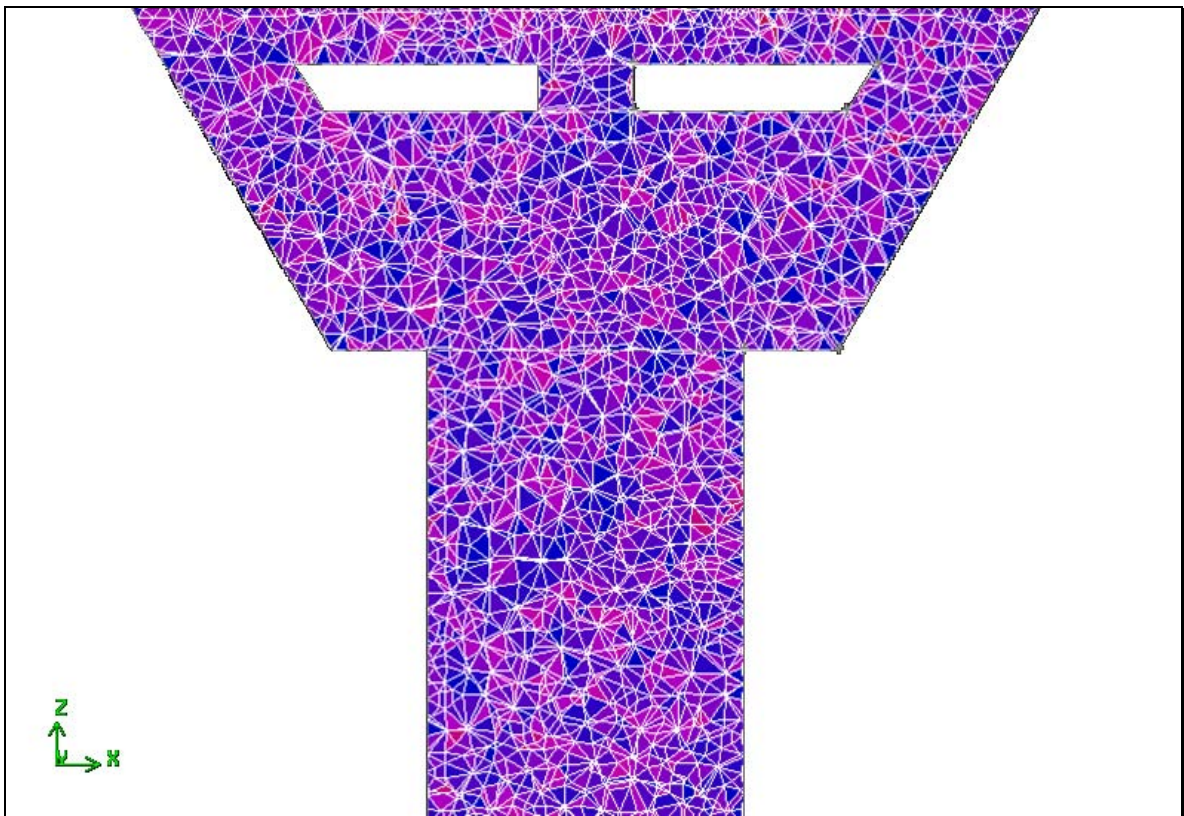


Figura 9. Malha 1-4 - 1.128.584 volumes de controle.

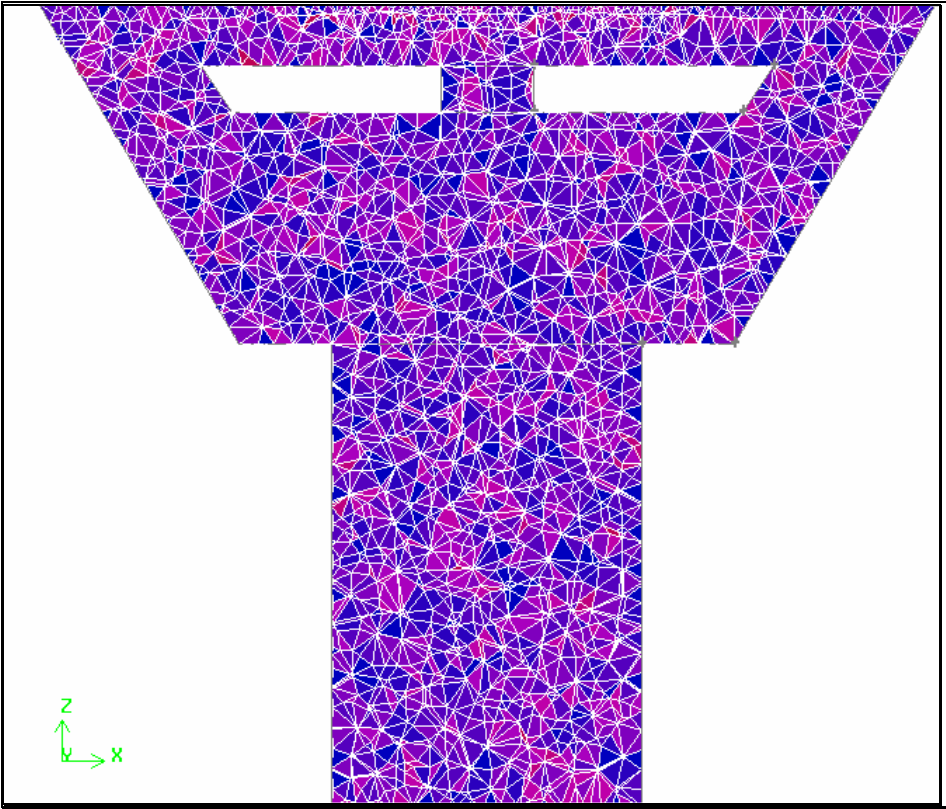


Figura 10. Malha 1-5 - 988.135 volumes de controle.

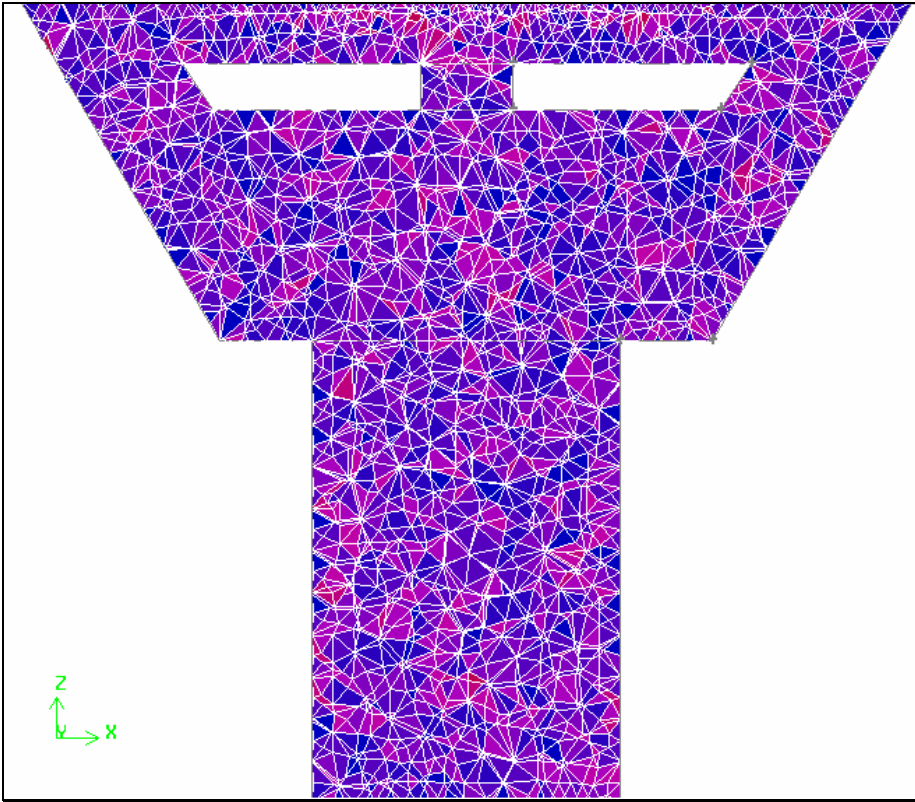


Figura 11. Malha 1-6 - 788070 volumes de controle.

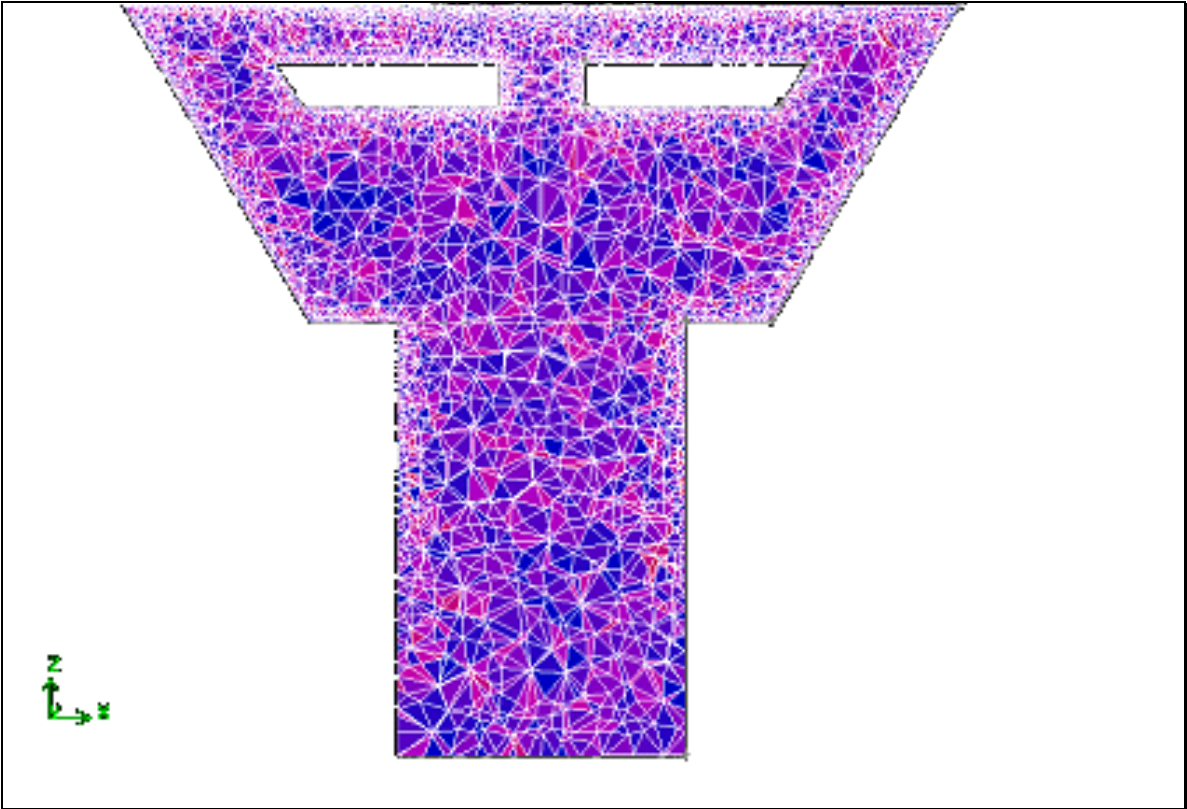


Figura 12. Malha comb3 - 1.239.744 volumes de controle (refinada).

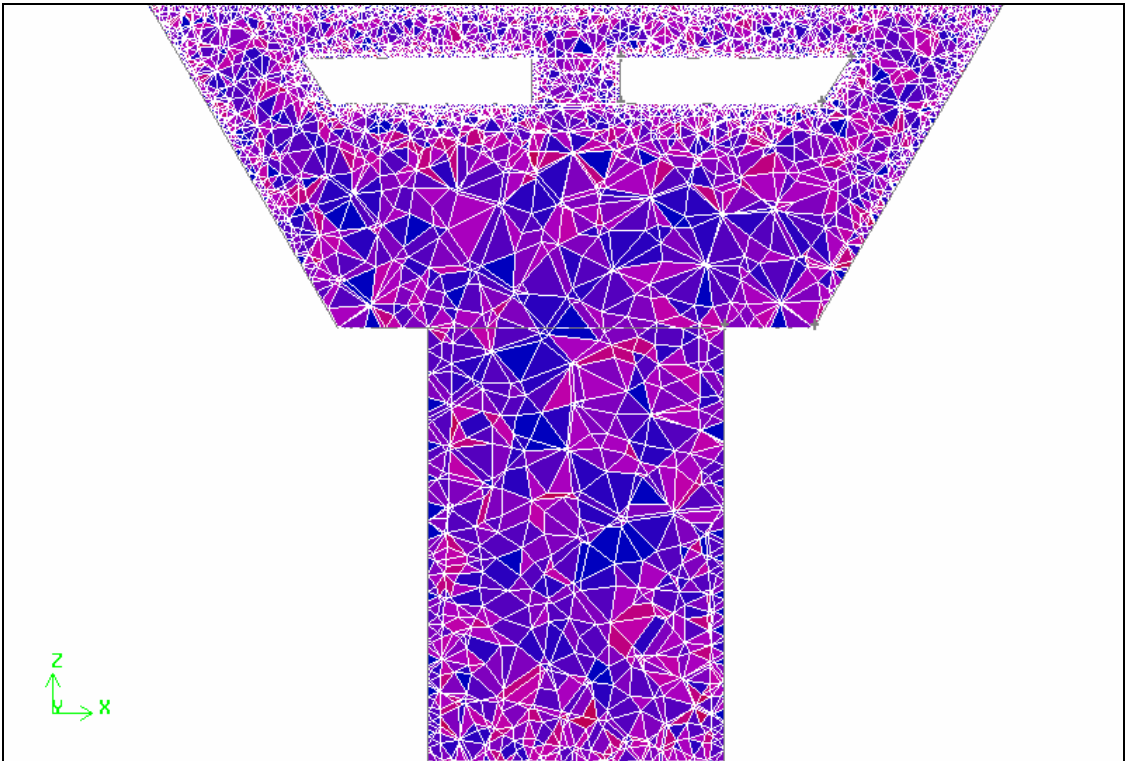


Figura 13. Malha comb 4 - 1.054.517 volumes de controle (refinada).

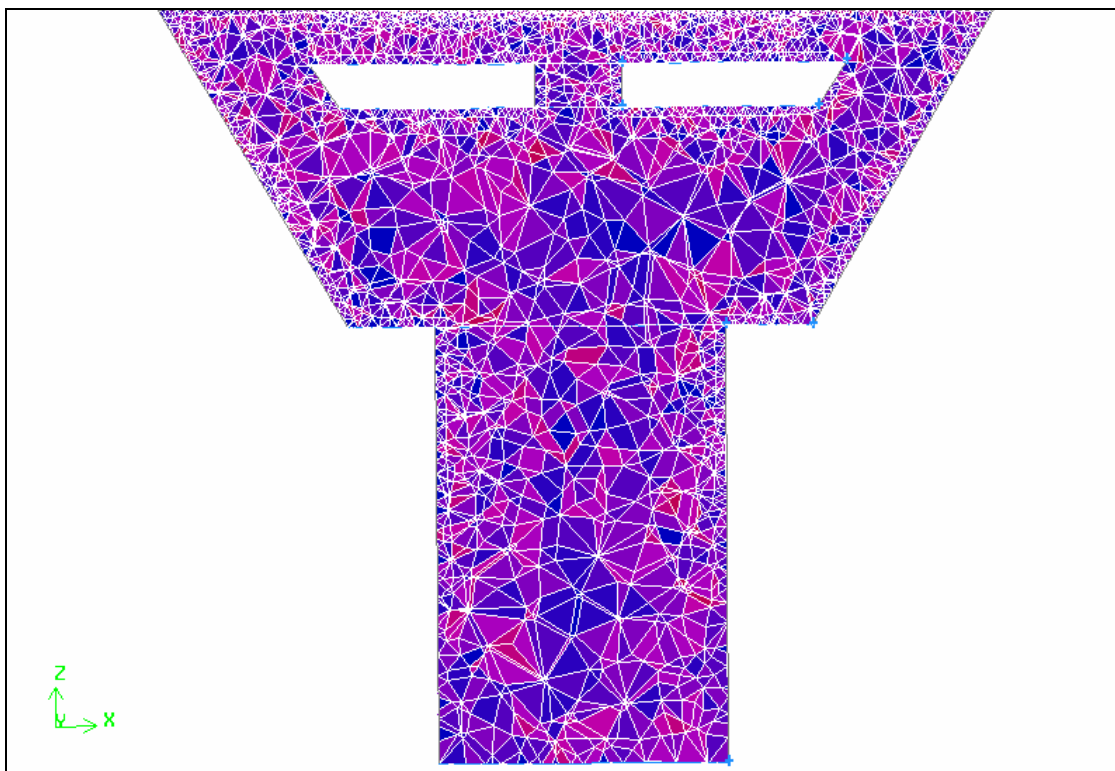


Figura 14. Malha comb 5 - 624.554 volumes de controle (refinada).

4.2. Comparação do escoamento através dos diferentes tipos de malhas

Neste teste consideraremos apenas a análise visual dos vetores velocidade do escoamento. A seguir se encontram os dados de entrada do Fluent que utilizamos para realizar as simulações.

Tabela 6. Dados de entrada no Fluent para simulação do escoamento através do impactador.

DEFINE					
Models	solver	segregated implicit 3D steady vel. Absolute cel based supeficial velocity			
	viscosity	k-epsilon	standart		
			standart wall function		
Materials	air				
Operation Condition	(0,0,0)	não ligar a gravidade			
Boundary Condition	entrada	velocity: - 0.189 m/s			
		turbulence specification method	intensity and lenght scale	turbulence int.	5%
				turbulence lenght scale	0,014
SOLVE					
Controls	Solution	Pressure-velocity coupling		SIMPLE	
		pressure		standart	
		Momentum		Power Law	
	Monitor	Residual	Converge Criterior	1,00E-04	
Iniciaty	Compute from:	Entrada	apply	Init	

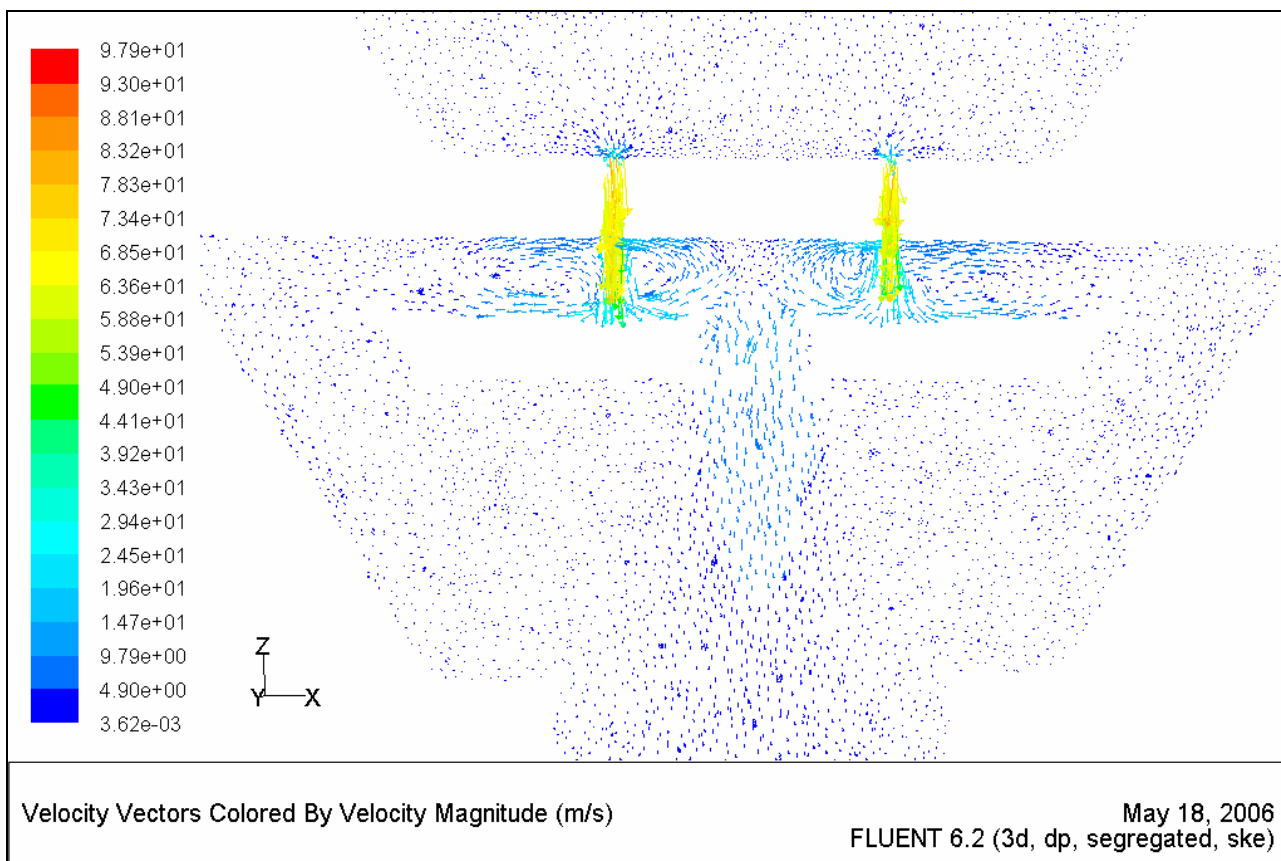


Figura 15. **Malha 1-4** - 1.239.774 volumes de controle

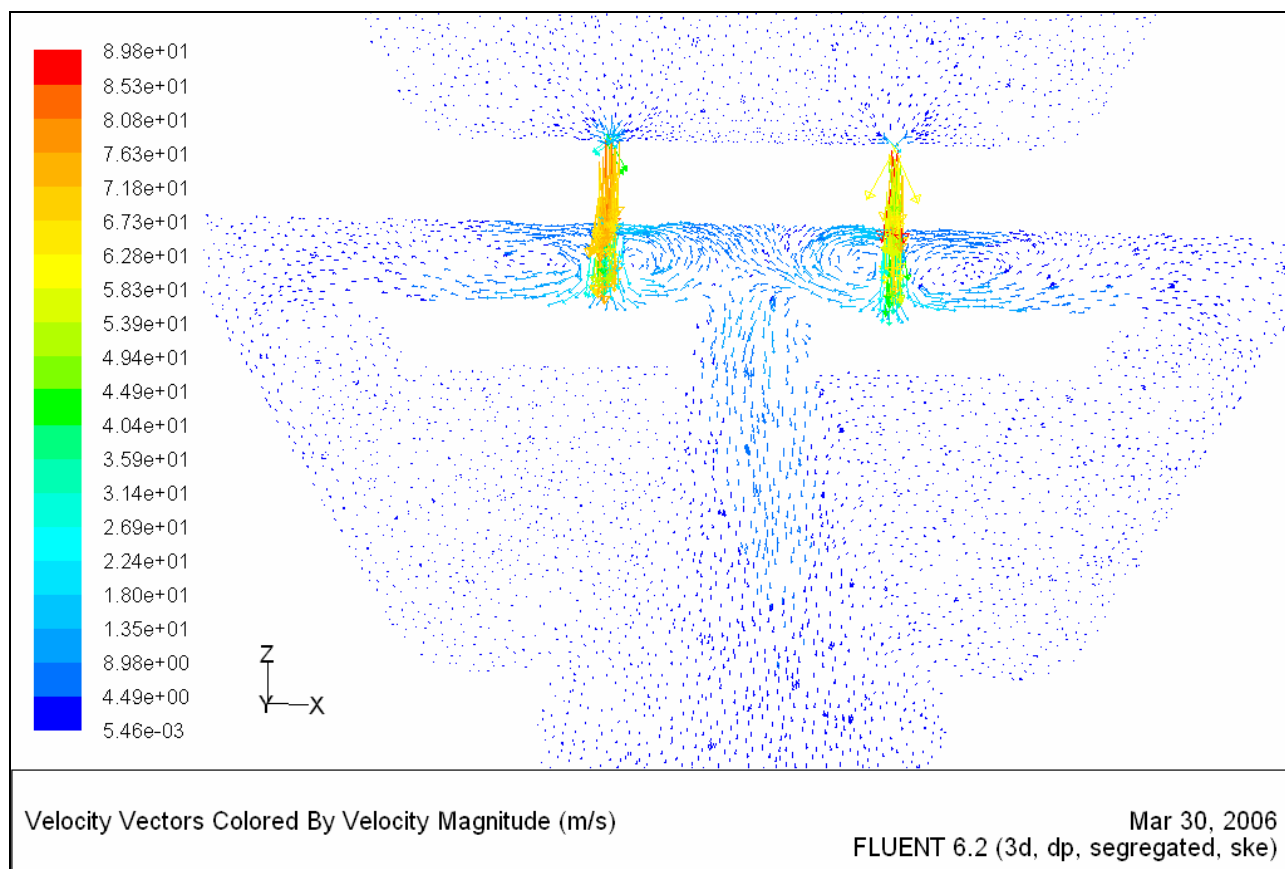


Figura 16. **Malha 1-5** - 988.135 volumes de controle.

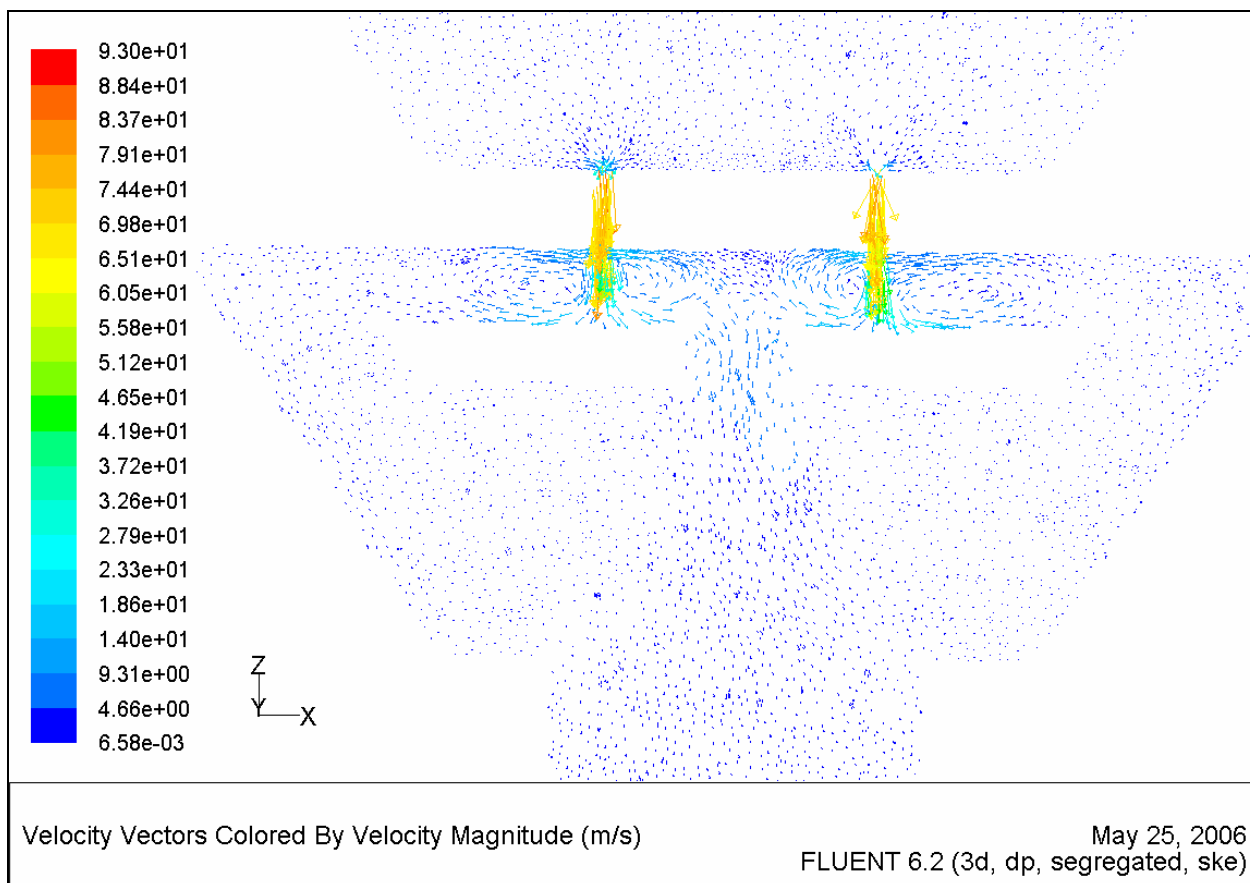


Figura 17. **Malha 1-6** - Malha sem refinamento com 788.070 volumes de controle.

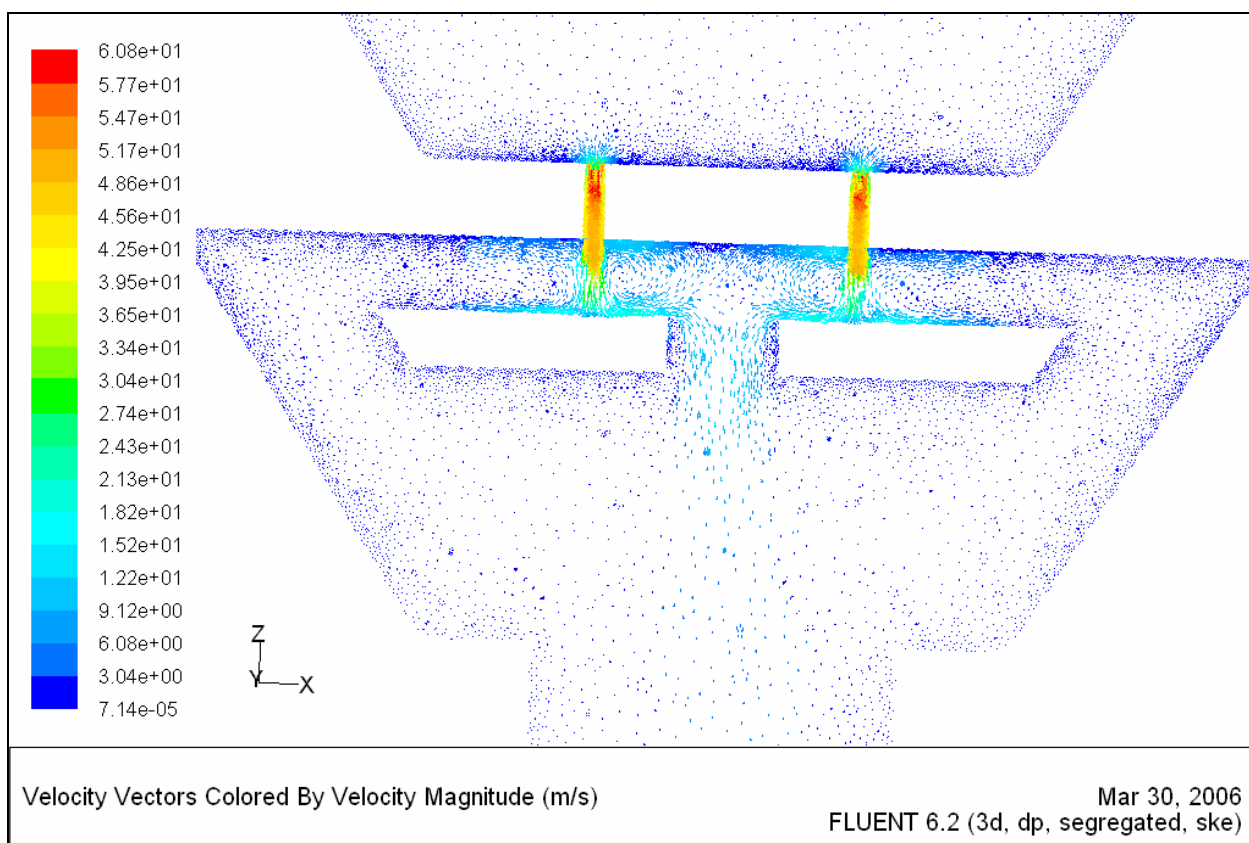


Figura 18. **Malha comb 3** – 1.239.774 volumes de controle (refinada).

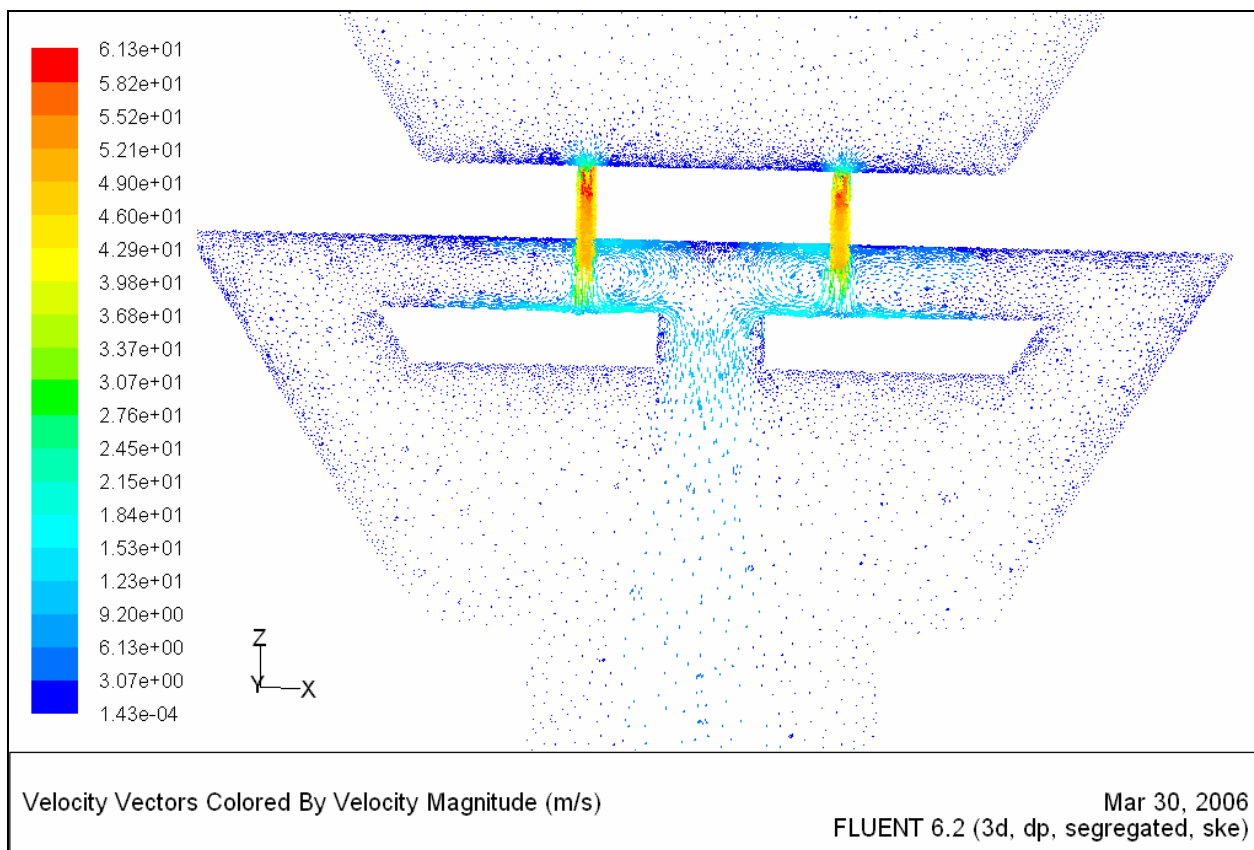


Figura 19. **Malha comb 4** – 1.054.517 volumes de controle (refinada).

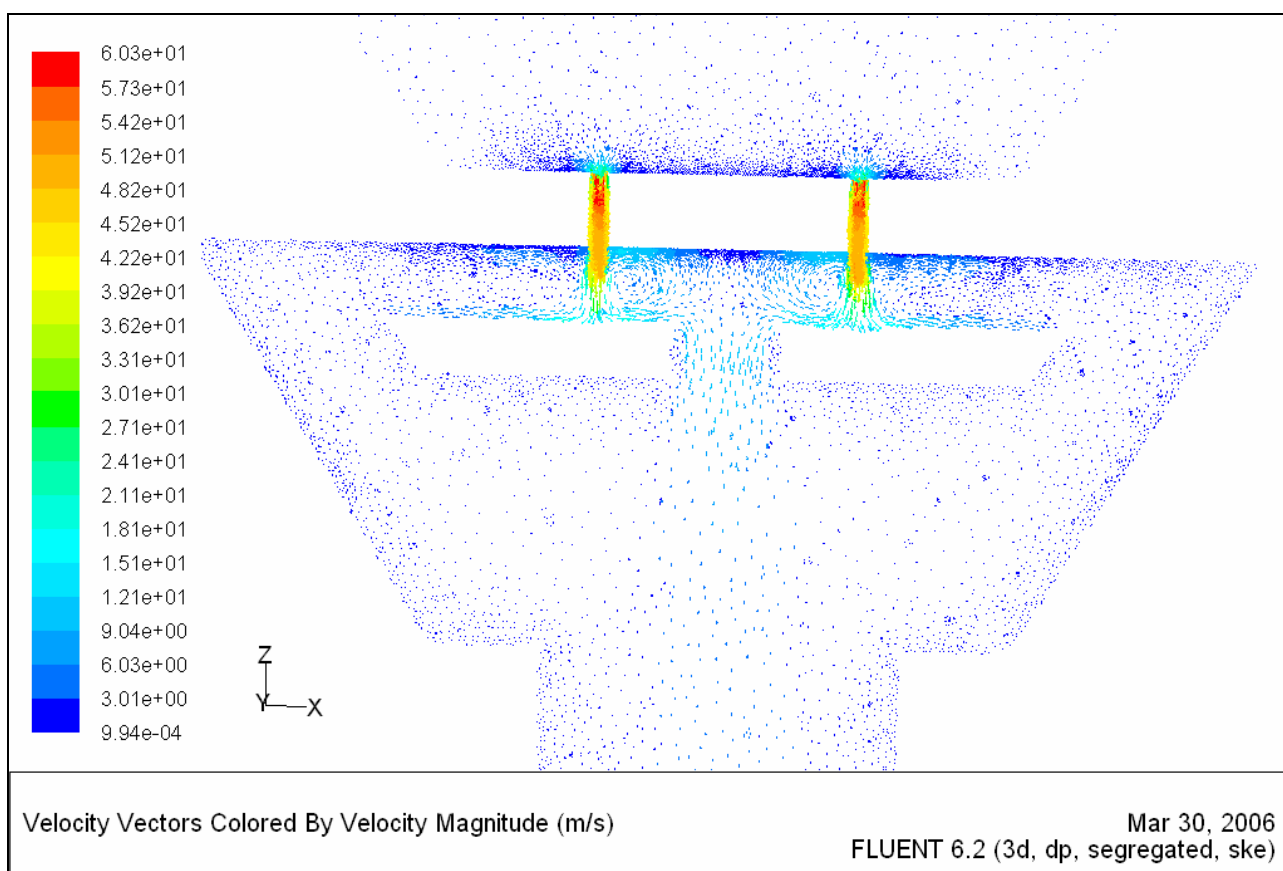


Figura 20. **Malha comb 5** – 624.554 volumes de controle (refinada).

Apesar desta ser uma análise prévia já é possível observar o maior detalhamento do escoamento fornecido pelas malhas com refinamento na zona ao redor da placa de impactação.

O refinamento nas zonas de maior interesse mostraram que é possível obter um resultado mais preciso do comportamento do escoamento e ainda assim ter um custo computacional baixo. Através desse refinamento conseguiremos obter um resultado mais próximo da realidade e será possível comparar com maior facilidade as diferentes geometrias e arranjos para vermos qual fornecerá a melhor eficiência de coleta.

4.3. Resultados dos Vetores de Velocidade nas diferentes malhas

Nesta análise faremos diversos cortes ao longo do impactador. Estes cortes servirão para traçarmos perfis de velocidade ao longo do equipamento.

Para a análise das malhas escolhemos 6 planos: o “meio da entrada” localizado a 87mm abaixo da entrada, o “meio dos furos” a 198mm, o “acima da placa” a 202mm, o “meio furo da placa” a 206mm, o “abaixo da placa” a 217mm e o “meio da saída” a 237mm.

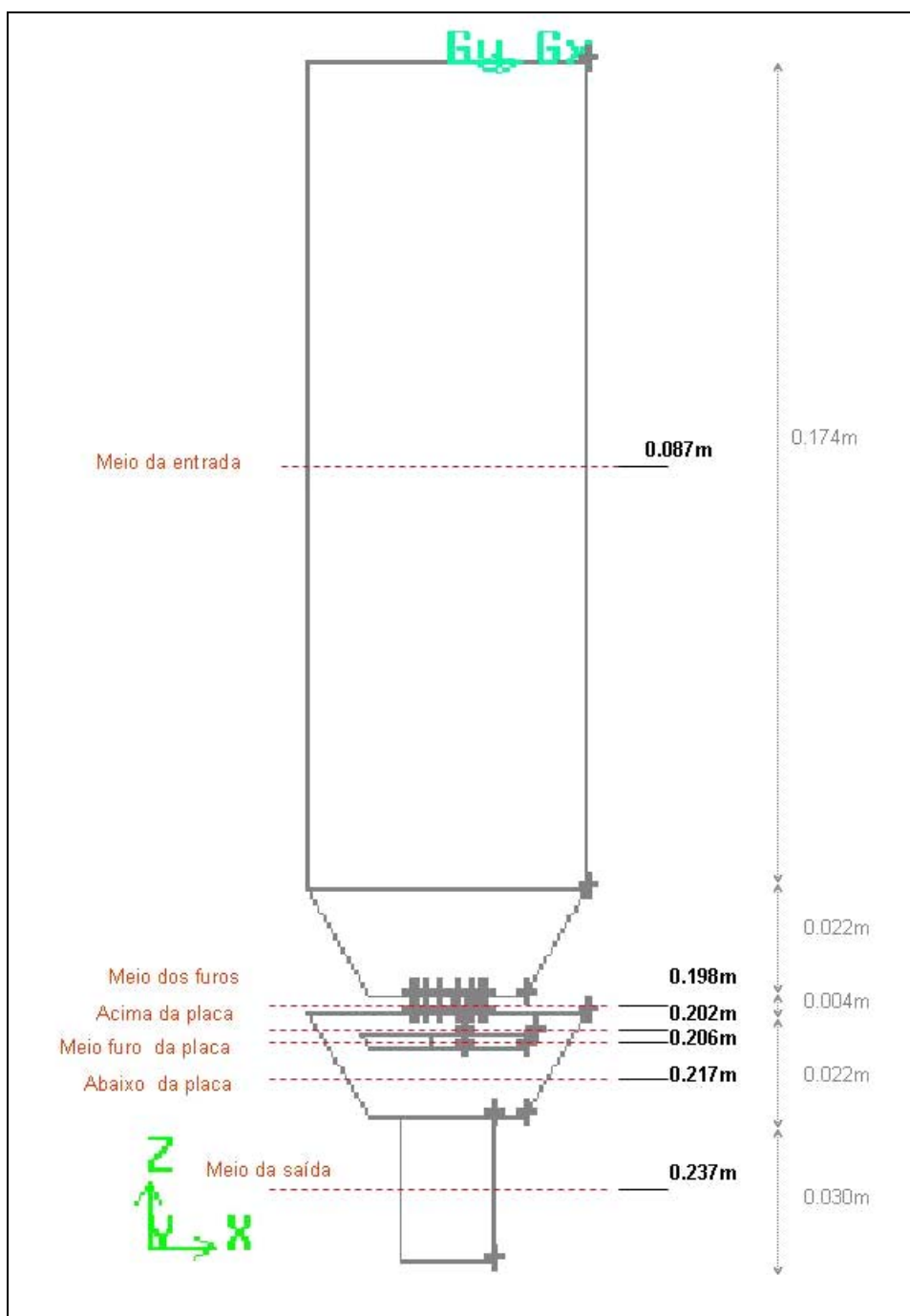


Figura 21. Planos de avaliação das velocidades ao longo do impactador

Tabela. Coordenadas dos planos de avaliação das malhas

nome	coordenadas	
	ponto 1	ponto 2
meio da entrada x	(-0.029,0,-0,087)	(0.029,0,-0,087)
meio dos furos x	(-0.008,0,-0,198)	(0.008,0,-0,198)
acima da placa x	(-0.029,0,-0,202)	(0.029,0,-0,202)
meio furo da placa x	(-0.029,0,-0,206)	(0.029,0,-0,206)
abaixo da placa x	(-0.029,0,-0,217)	(0.029,0,-0,217)
meio da saída x	(-0.02,0,-0,237)	(0.02,0,-0,237)

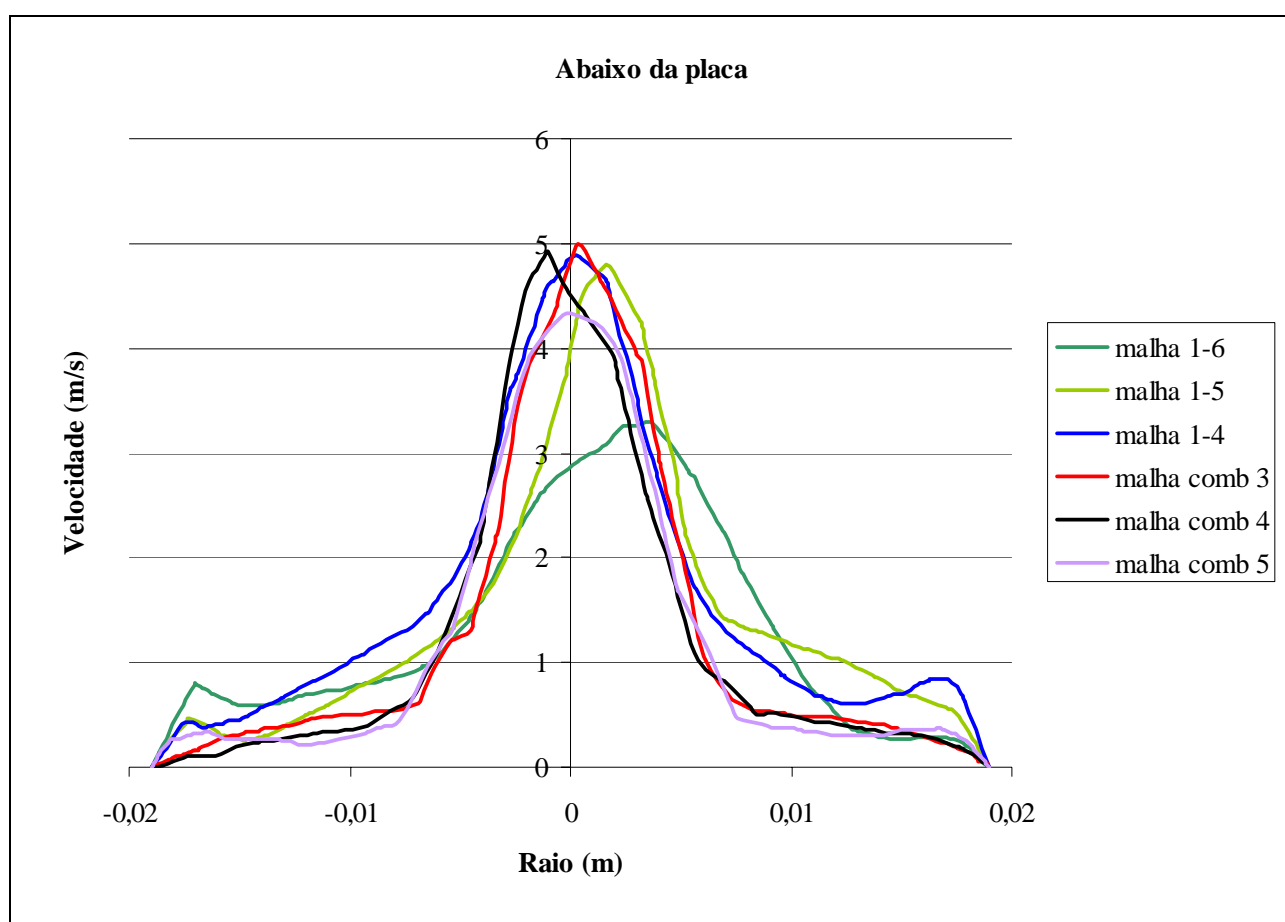


Figura. Perfil da velocidade abaixo da placa de impactação das diferentes malhas confeccionadas.

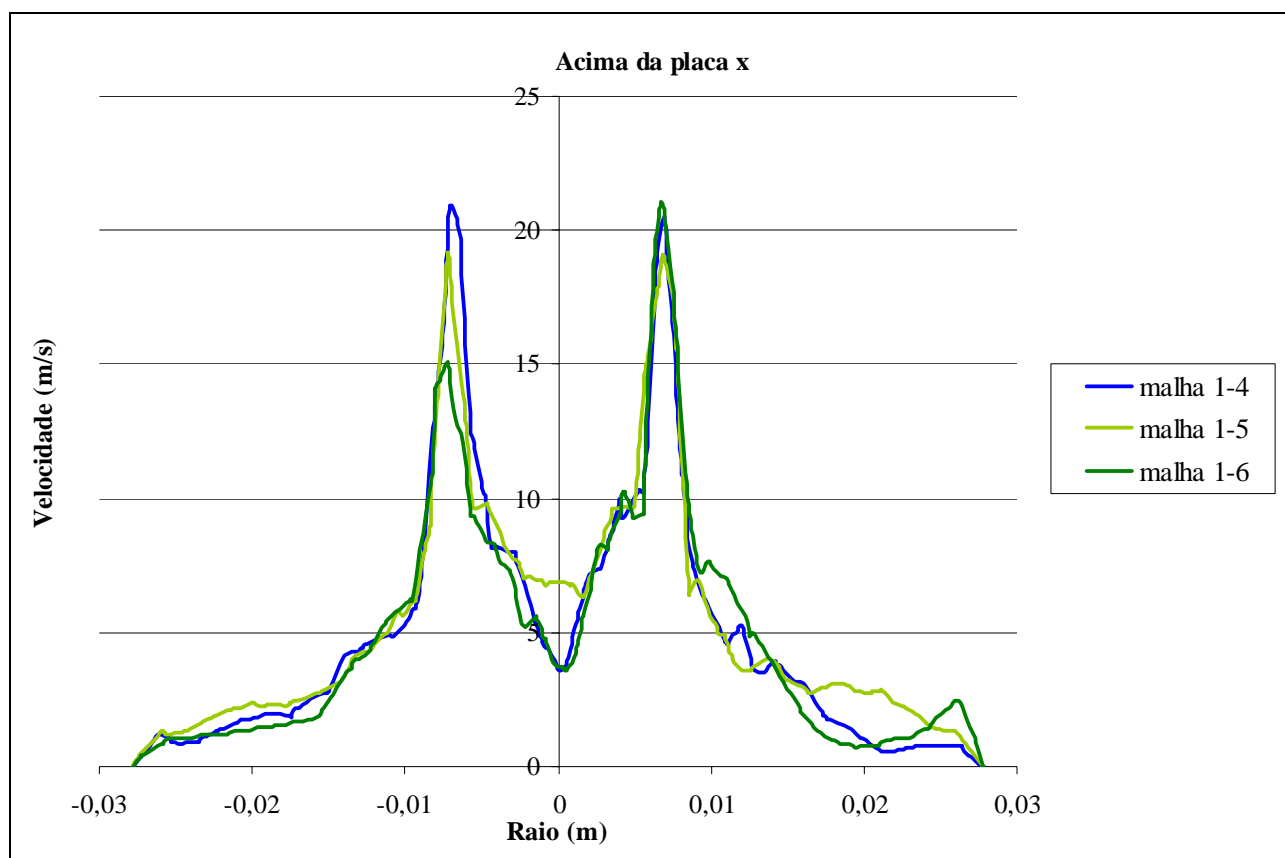


Figura. Perfil da velocidade acima da placa de impactação das diferentes malhas confeccionadas.

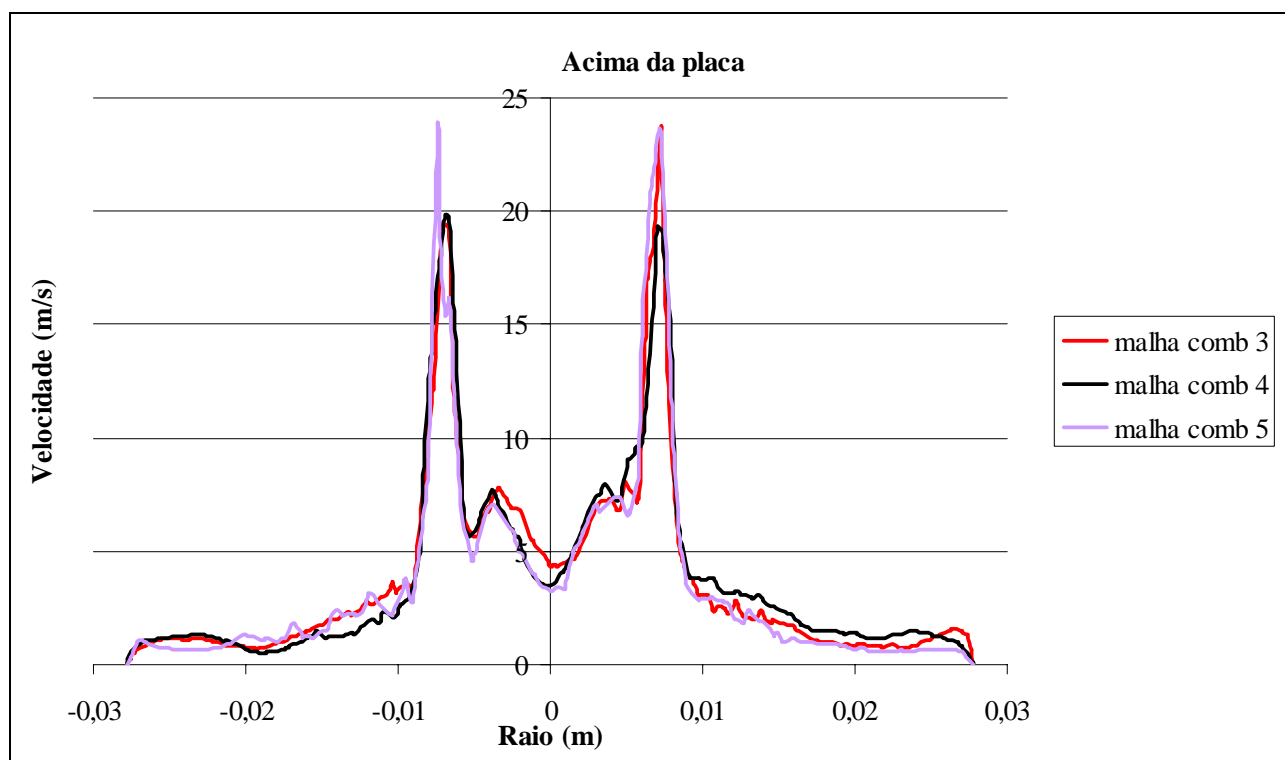


Figura. Perfil da velocidade acima da placa de impactação das diferentes malhas confeccionadas.

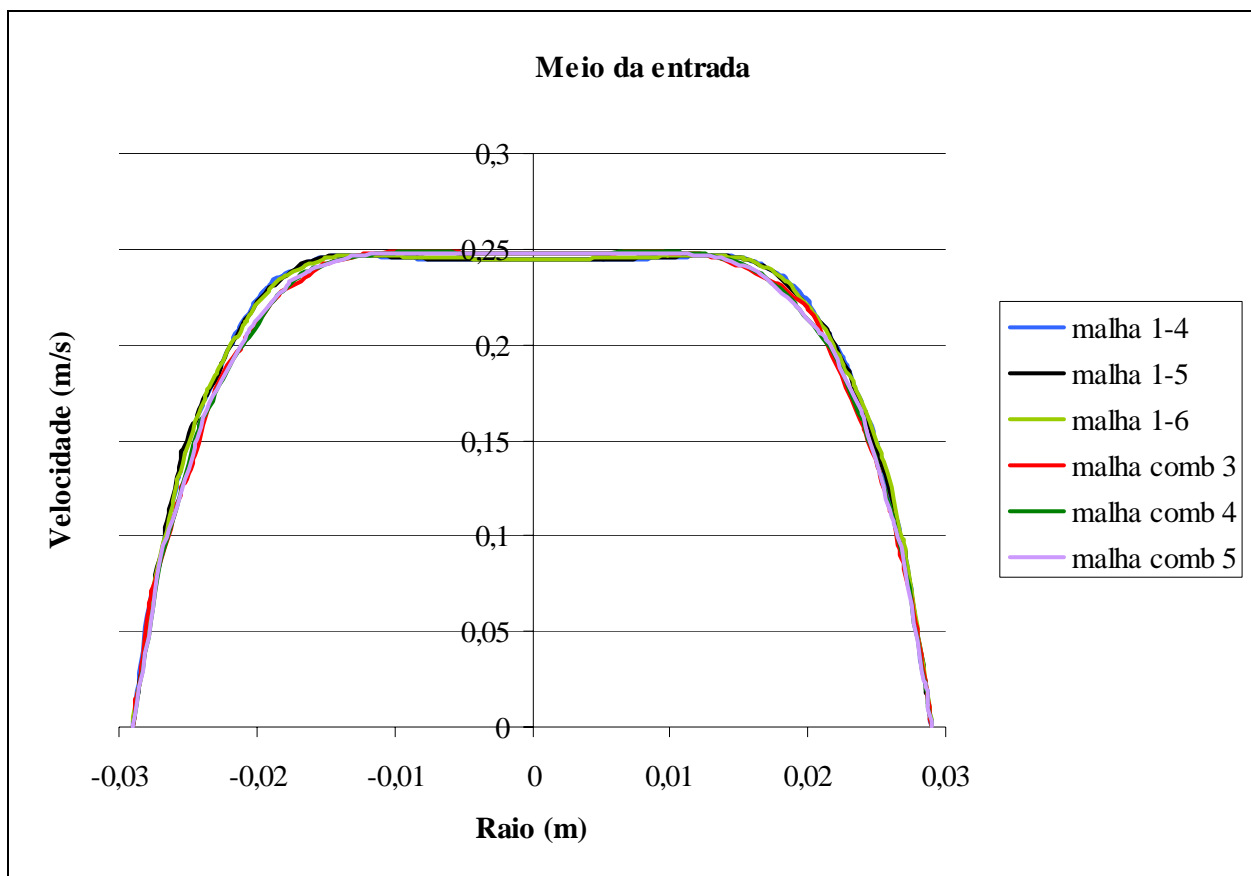


Figura. Perfil da velocidade no meio do cilindro de entrada das diferentes malhas confeccionadas.

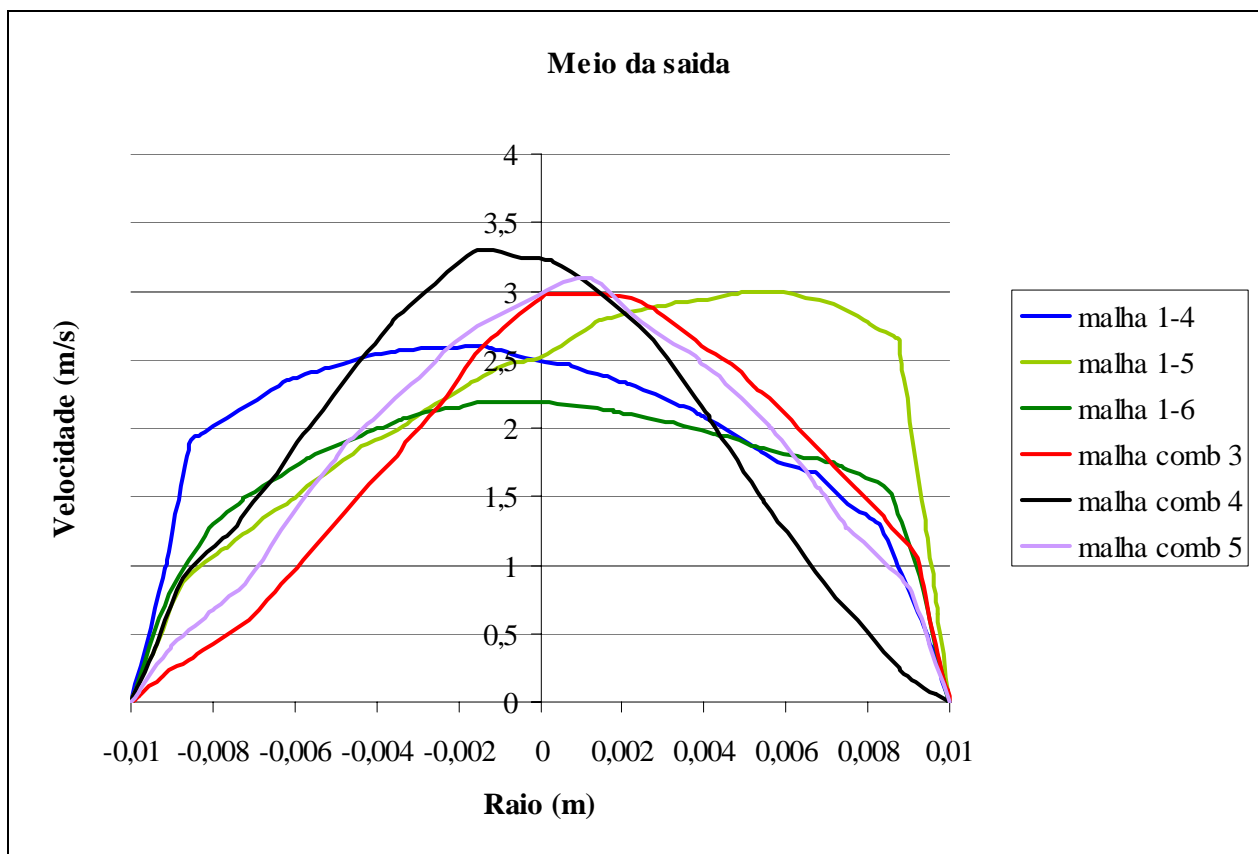


Figura. Perfil da velocidade no meio do cilindro de saída das diferentes malhas confeccionadas.

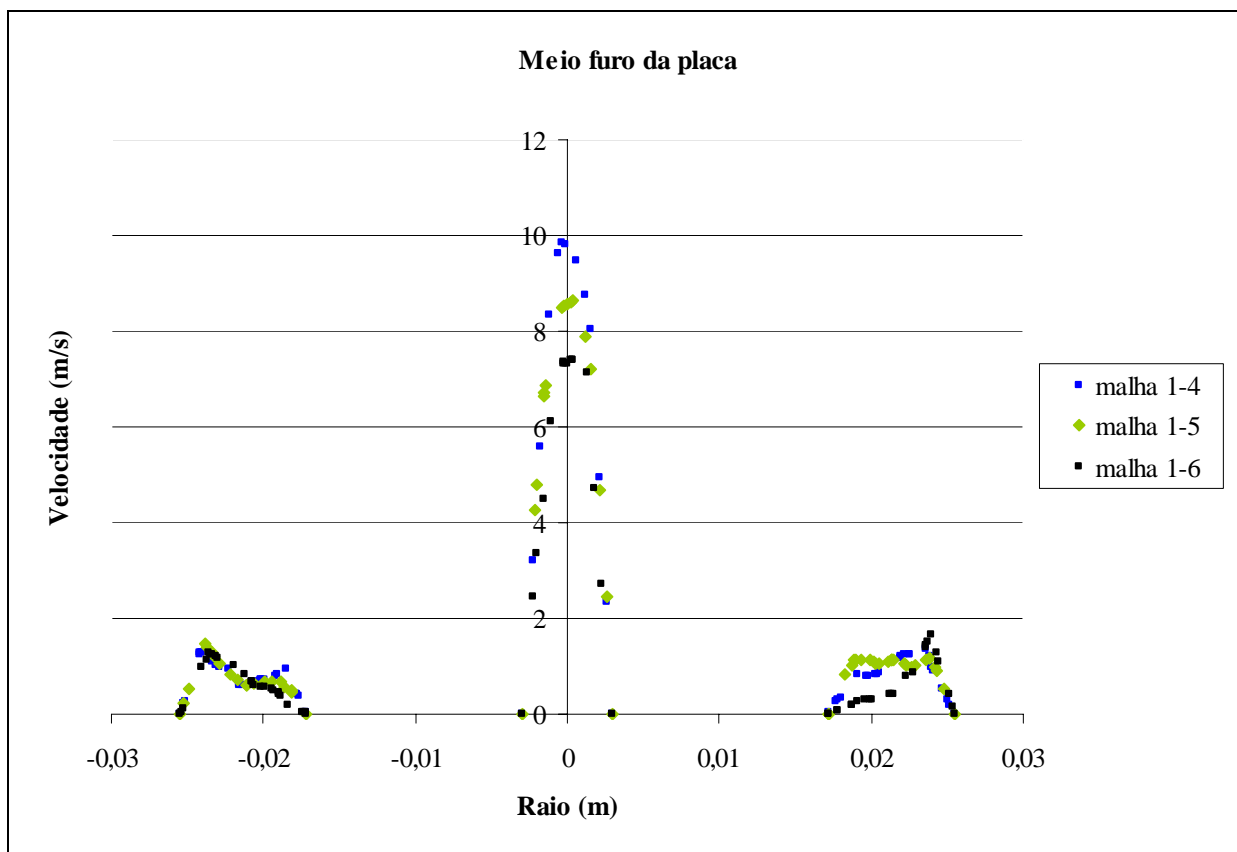


Figura. Perfil da velocidade no meio da placa de impactação das diferentes malhas confeccionadas.

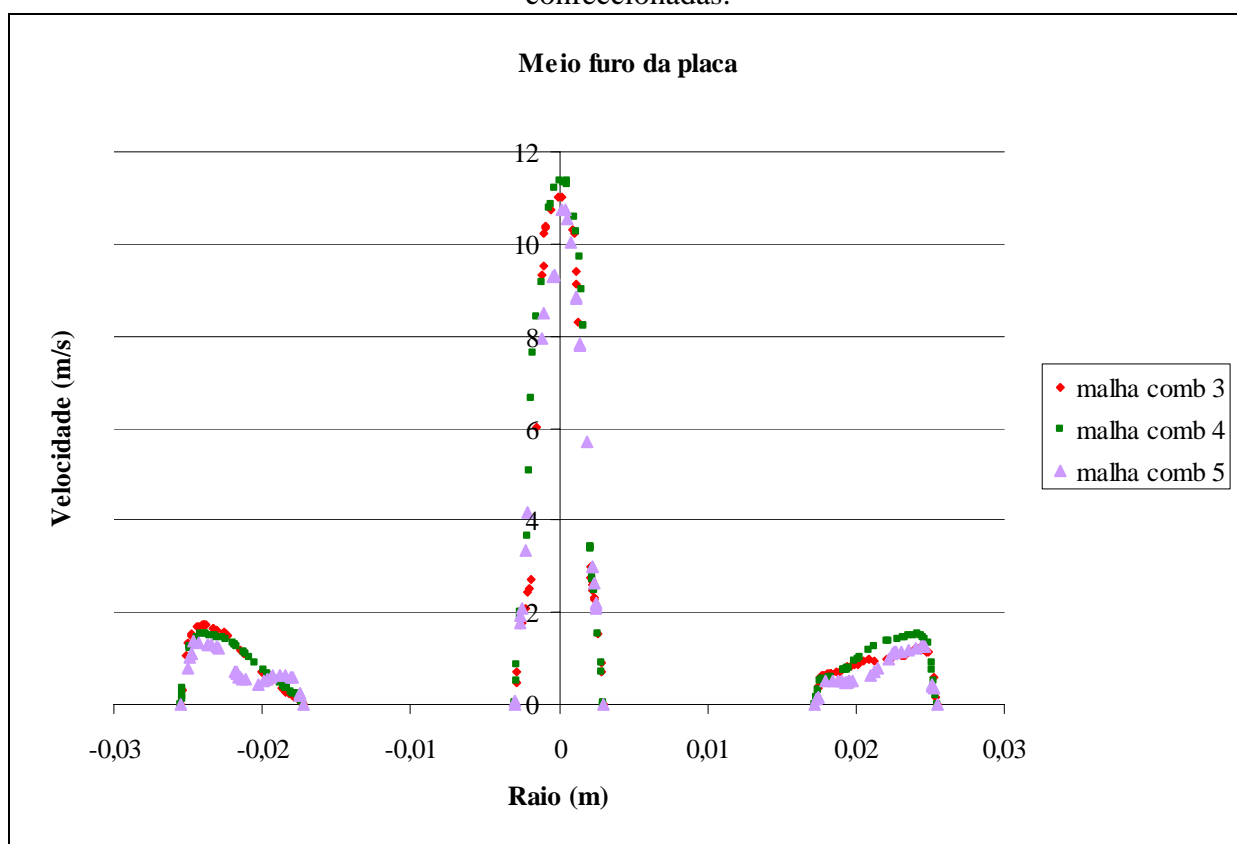


Figura. Perfil da velocidade no meio da placa de impactação das diferentes malhas confeccionadas.

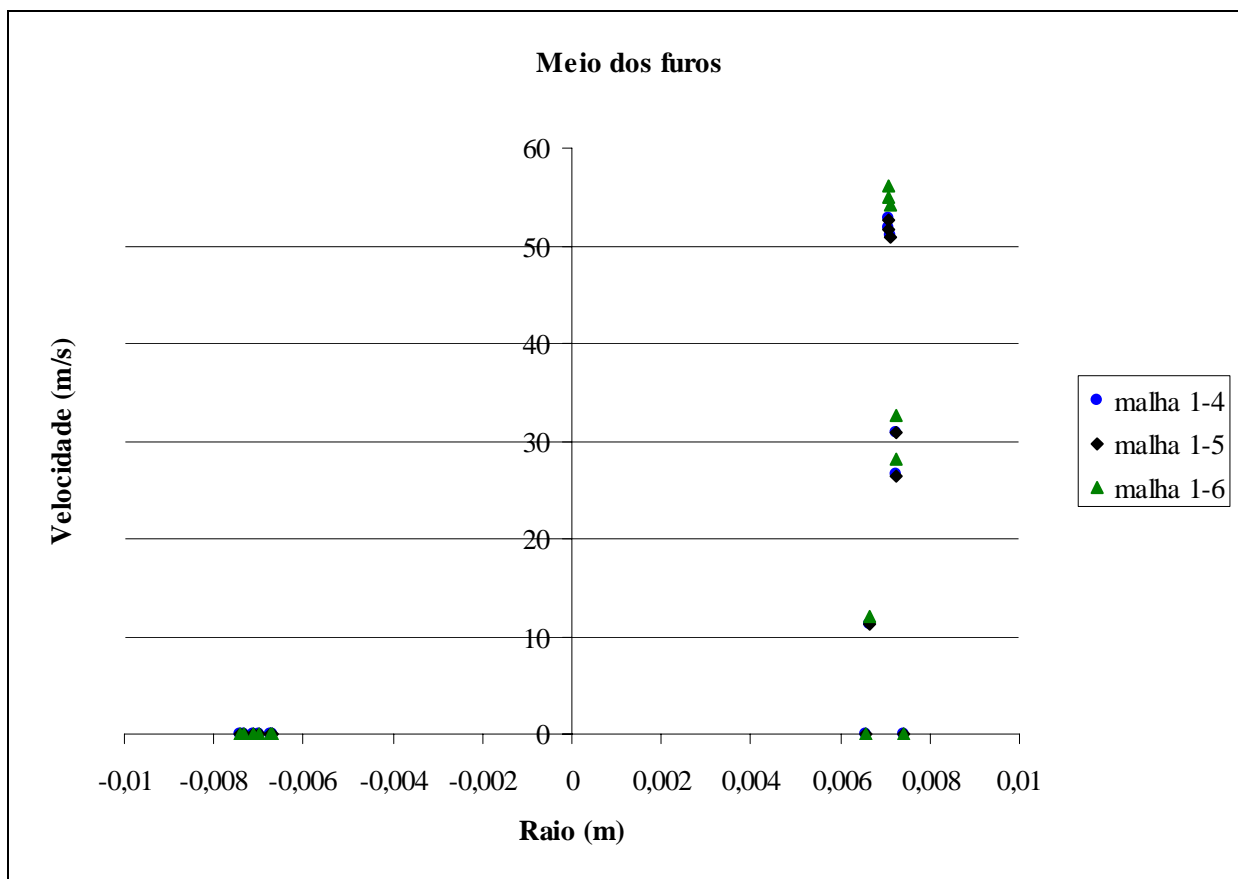


Figura. Perfil da velocidade no meio dos furos das diferentes malhas confeccionadas.

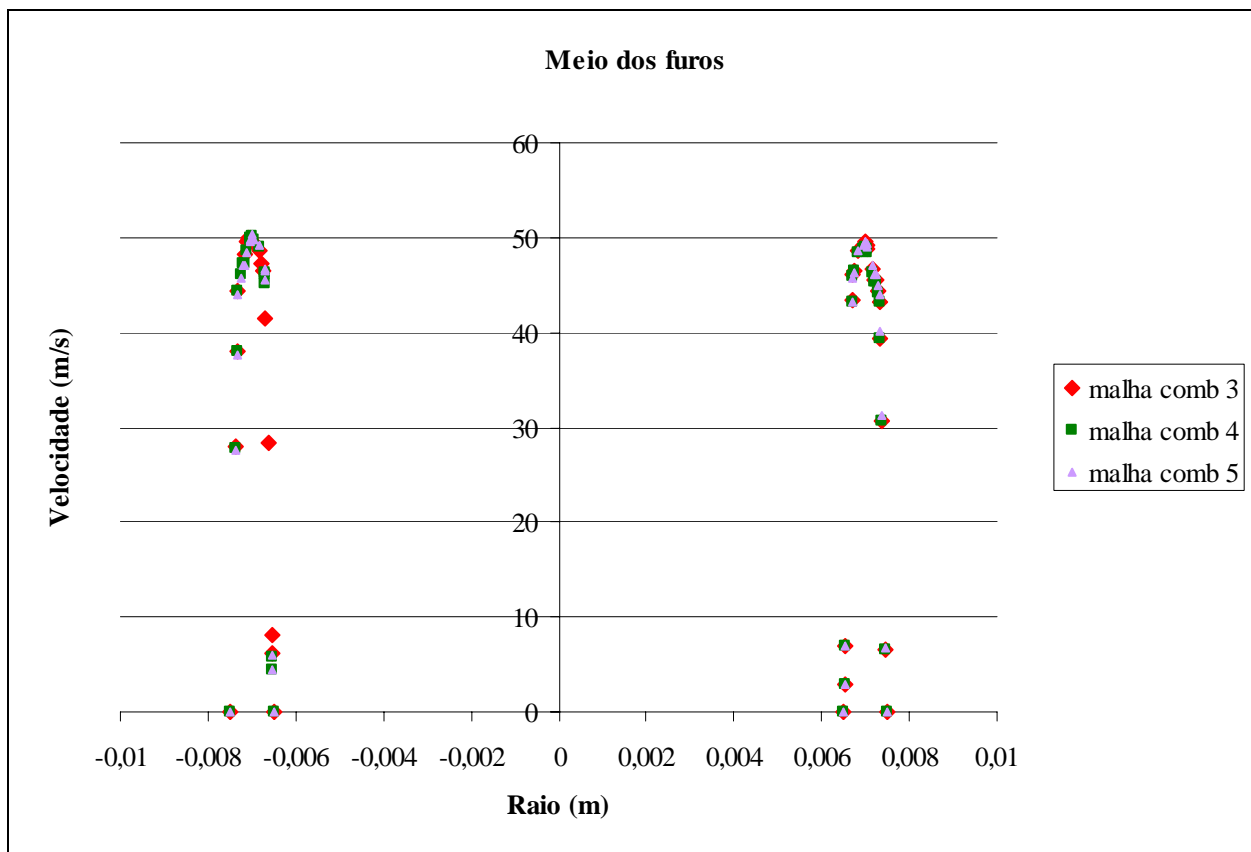


Figura. Perfil da velocidade no meio dos furos das diferentes malhas confeccionadas.

Através desta análise podemos observar que as velocidades ao longo do equipamento são função direta das malhas geradas.

As malhas possuem diversos erros de simetria comprometendo o escoamento. Isto é claramente visto no plano “meio do furo” aonde a velocidade no furo esquerdo nas malhas 1,4, 1,5 e 1,6 aparece nula.

As maiores divergências de valores de velocidade ocorreram no plano “meio da saída” por ser um plano aonde a malha ficou mais grosseira, pois não representa uma região de muito interesse para o presente estudo.

Vale ressaltar que todas as simulações acima tiveram os mesmos dados de entrada e são realizadas no mesmo arranjo de furos sendo a divergência dos valores de velocidade encontrados resultantes das irregularidades das próprias malhas.

4.4. Resultados da Simulação de Trajetória de Partículas

Outra forma de avaliação das malhas é a simulação numérica da trajetória das partículas. Para esse teste foram lançadas partículas de diâmetros de $0.01\mu\text{m}$ a $10\mu\text{m}$.

Foi utilizado em todos os testes o arranjo de Raio 7 furo placa 3 (Figura 7).

De forma a fazer com que os resultados se aproximassem mais da realidade foi considerado o coeficiente de Cunningham como fator de correção. O coeficiente de Cunningham é importante quando o caminho livre entre as moléculas de ar ou gás e geral é da mesma ordem de grandeza ou maior que o diâmetro das partículas. Este fato corrige a força de arraste nas partículas que se enquadram nesta situação (diâmetro da partícula menor ou igual ao caminho livre médio entre as moléculas de gás) (Costa, 2005).

Tabela. Propriedades de partículas em condições padrão (20°C, 1 atm).

Diâmetro da Partícula (µm)	Fator de Correção
0,01	22,447
0,02	11,529
0,03	7,9
0,04	6,093
0,06	4,298
0,08	3,412
0,1	2,888
0,15	2,206
0,2	1,879
0,3	1,567
0,4	1,419
0,6	1,277
0,8	1,207
1	1,165
1,5	1,11
2	1,082
3	1,055
4	1,041
5	1,033
6	1,027
8	1,02
10	1,016

A curva de eficiência de coleta de cada arranjo dos furos é a medida da sua capacidade de fazer com que as partículas colidam na placa de impactação. A eficiência de coleta é calculada através da seguinte fórmula:

$$\eta = \frac{\text{partículas coletadas}}{(\text{partículas lançadas} - \text{partículas incompletas})}$$

A curva de coleta ideal é uma curva em formato em S o mais reto possível. Nela todas as partículas abaixo do diâmetro de coleta de 50% de eficiência (dp50) acompanham o escoamento e todas maiores que o dp50 são impactadas na placa.

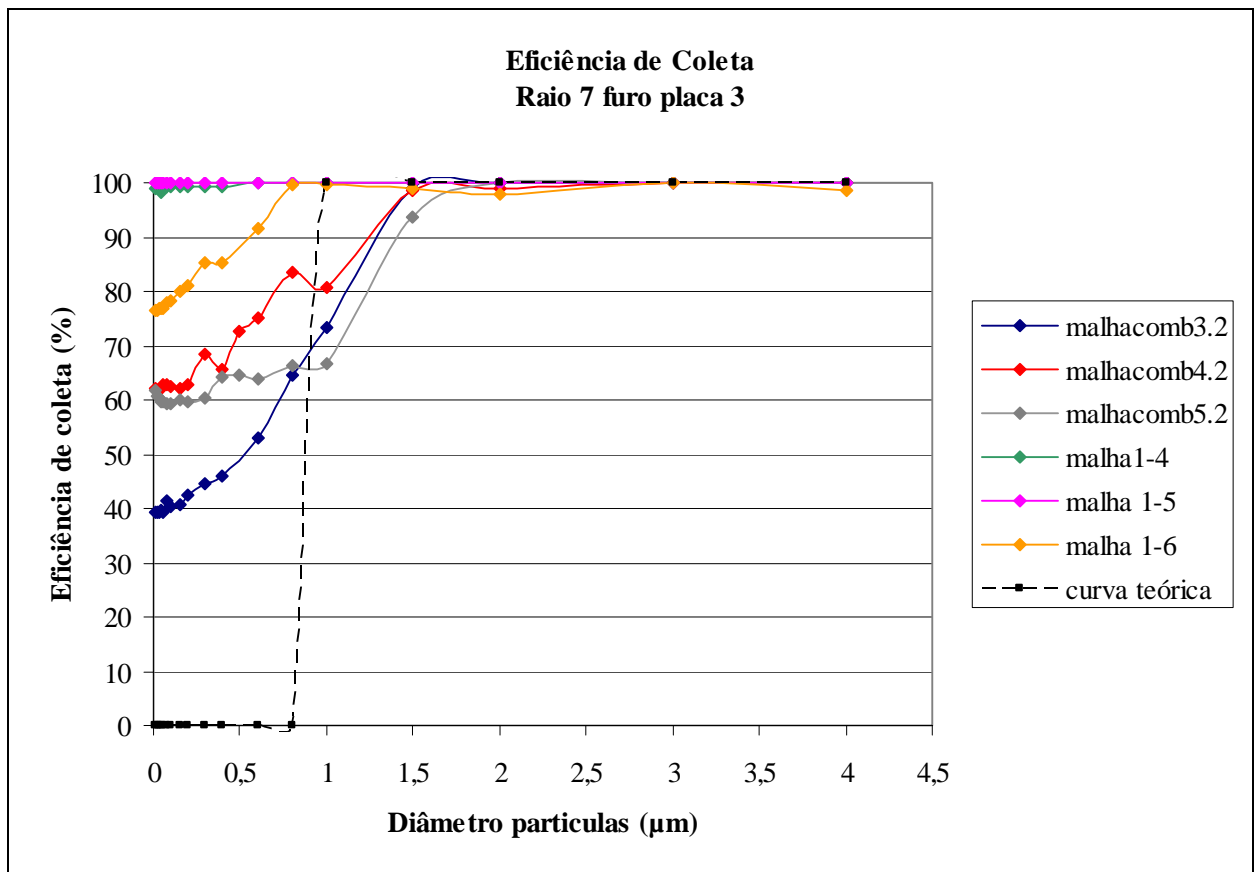


Figura. Eficiência de coleta através das diferentes malhas

4.5. Escolha da malha e discussão dos resultados

Como foi possível ver nos resultados acima, a confecção da malha influencia muito nos resultados do escoamento através do equipamento. Uma malha mal confeccionada pode representar de forma errada as velocidades ao longo do equipamento comprometendo toda a simulação numérica.

Nos testes das trajetórias das partículas, os resultados de eficiência de coleta deveriam ser iguais pois os testes foram feitos com os mesmos parâmetros e a mesma geometria. A grande diferença nos resultados acima mostra como uma boa malha é importante para a obtenção de dados confiáveis na simulação numérica das trajetórias das partículas.

Após analisarmos os resultados, escolhemos a malha comb3 para fazermos as demais simulações por se aproximar mais da realidade e possuir um número de volumes de controle compatível com a capacidade das máquinas. Apesar de não representar ainda o valor teórico esperado de dp_{50} de $1\mu\text{m}$ e obter altos valores de eficiência de coleta para partículas com diâmetros muito pequenos.

5. Apresentação dos Resultados da Mudança da Geometria do Impactador

5.1. Comparação do escoamento através das novas geometrias

Após a escolha da malha, focamos a nossa atenção em analisar os diferentes arranjos propostos. As figuras a seguir mostram os vetores velocidade obtidos na solução do escoamento através do impactador. É interessante destacar que o fato da placa ser vazada no centro contribui significativamente para a diminuição das zonas de recirculação que no projeto original se localizavam em torno da placa impactadora. No entanto, ainda restam zonas de recirculação na região acima das placas, próximo à saída dos orifícios, o que favorece o fenômeno de interação entre os jatos.

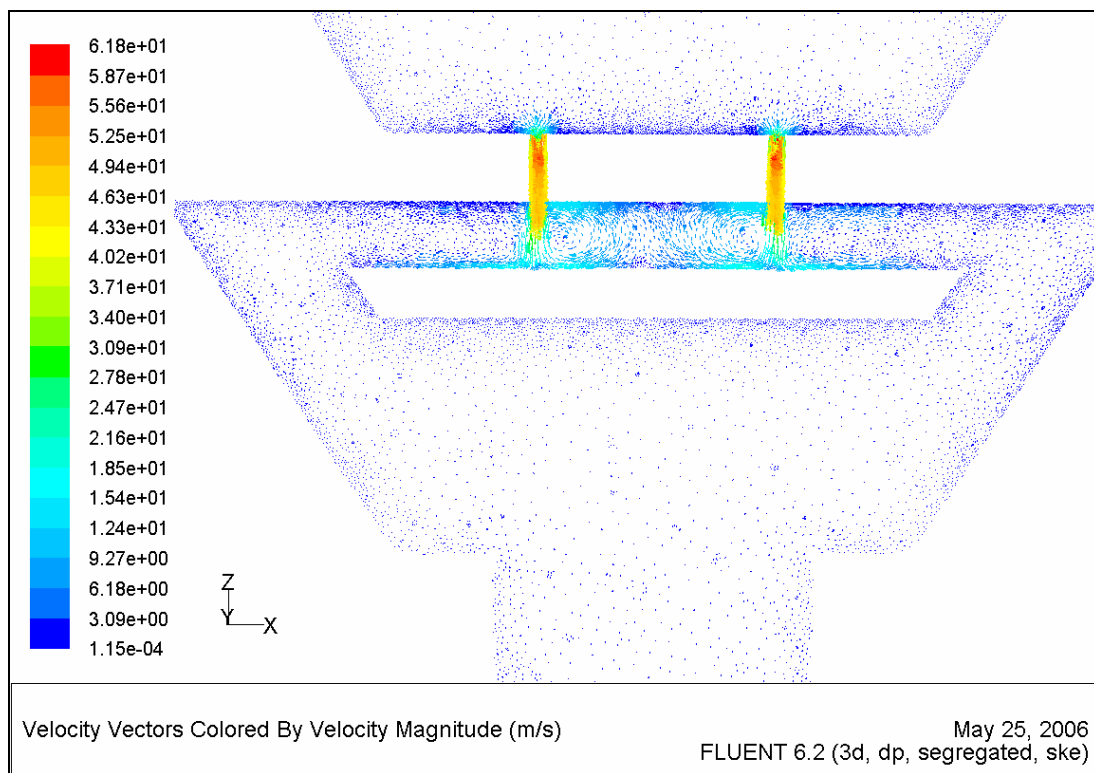


Figura 11. **Raio 7** - Simulação do escoamento sem furo na placa de impactação com a malha comb3 de 1.242.430 volumes de controle.

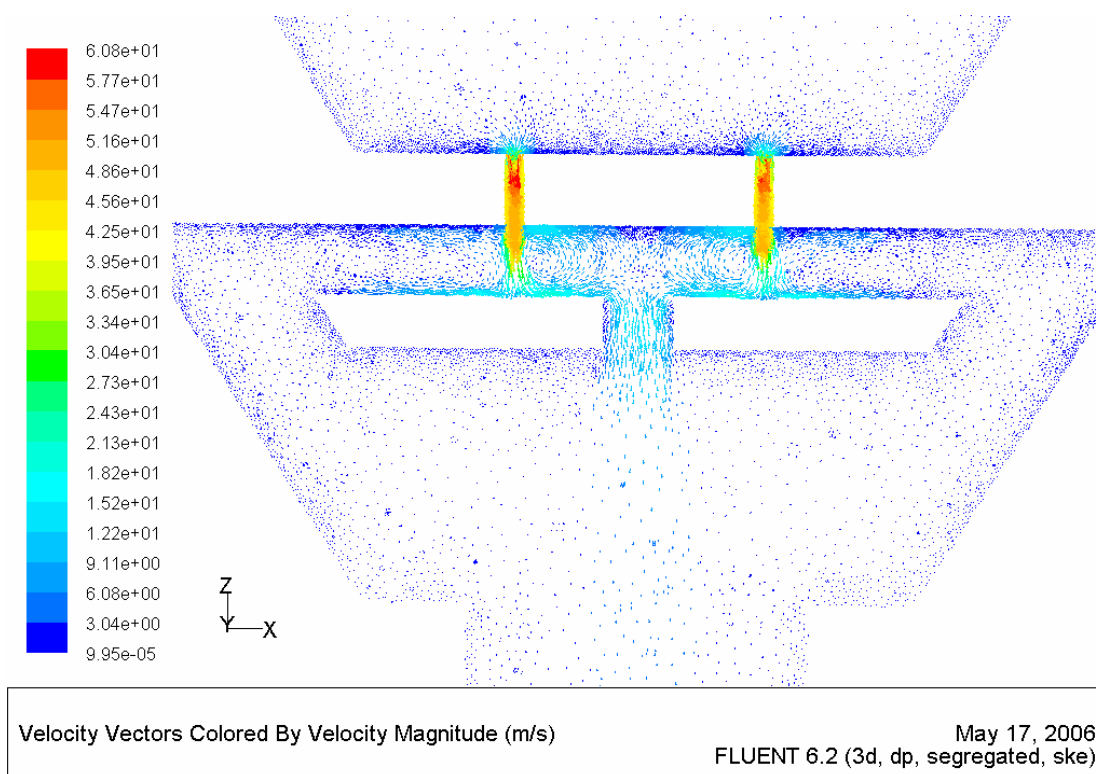


Figura 11. **Raio 7 furo placa 2** - Simulação do escoamento com furo na placa de impactação de 4mm de diâmetro com a malha comb3 de 1.241.245 volumes de controle.

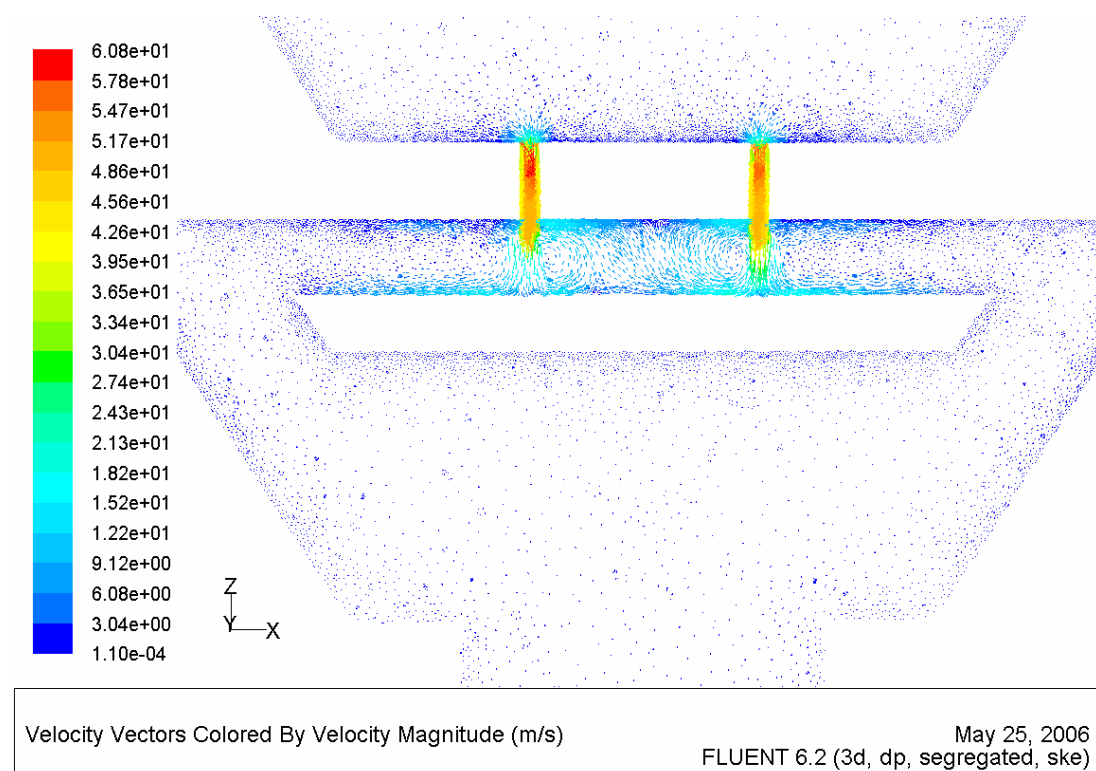


Figura 11. **Raio 6** - Simulação do escoamento sem o furo na placa de impactação com a malha comb3 de 1.231.686 volumes de controle.

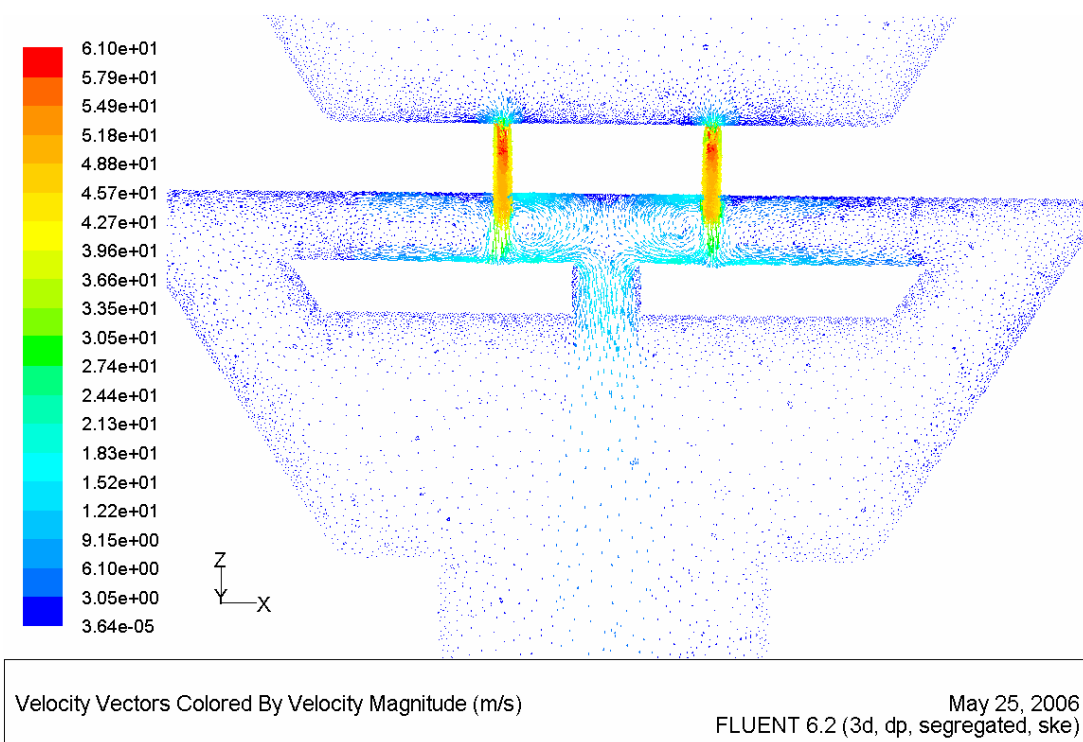


Figura 11. **Raio 6 furo placa 2** - Simulação do escoamento com furo na placa de impactação de 4mm de diâmetro com a malha comb3 de 1.234.181 volumes de controle.

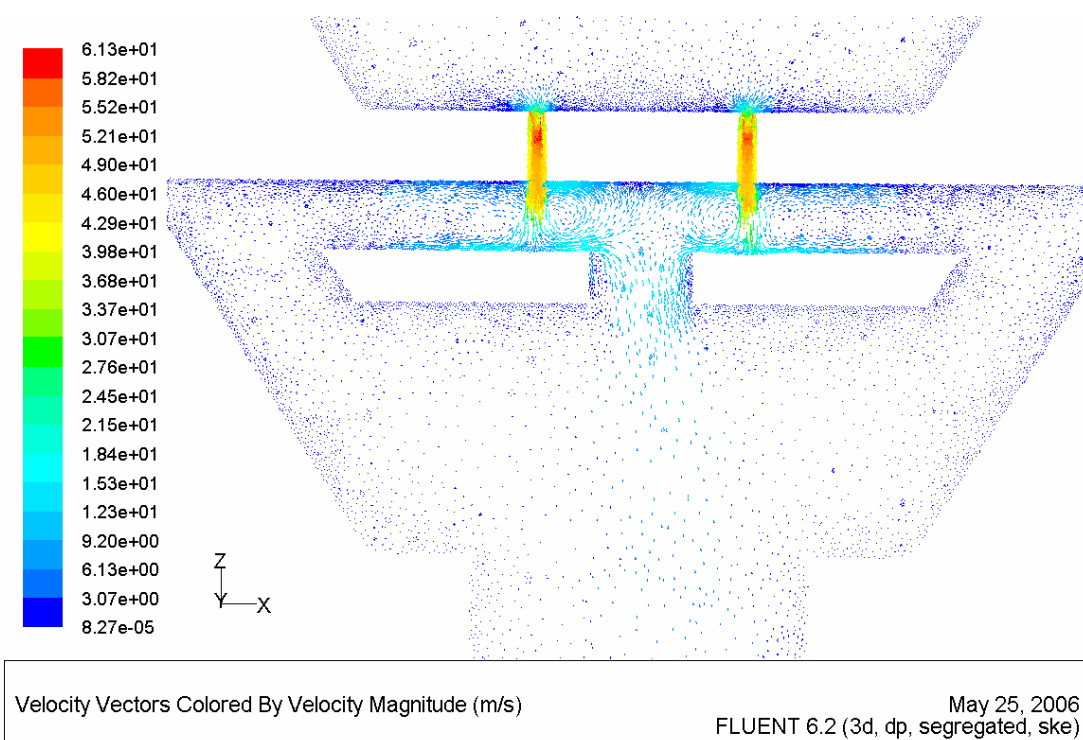


Figura 11. **Raio 6 furo placa 3** - Simulação do escoamento com furo na placa de impactação de 6mm de diâmetro com a malha comb3 de 1.239.744 volumes de controle.

5.2. Resultados dos Vetores de Velocidade nos diferentes arranjos de furos

De forma similar à análise feita para selecionar a malha utilizada, este teste foi feito para analisar os perfis da velocidade ao longo do equipamento e notar a diferença entre eles de arranjo para arranjo.

Para esta análise focamos ainda mais na região acima da placa de impactação e por isso criamos mais 5 planos sendo eles localizados a 0,1mm de distância da placa de impactação, 0,5mm, 1mm, 2mm e 3mm.

Tabela. Coordenadas dos planos de avaliação das velocidades

nome	Coordenadas	
	ponto 1	ponto 2
meio da entrada	(-0,029,0.-0,087)	(0,029,0.-0,087)
meio do furo	(-0,029,0.-0,198)	(0,029,0.-0,198)
acima da placa 3mm	(-0,029,0.-0,201)	(0,029,0.-0,201)
acima da placa 2mm	(-0,029,0.-0,202)	(0,029,0.-0,202)
acima da placa 1mm	(-0,029,0.-0,203)	(0,029,0.-0,203)
acima da placa 0,5mm	(-0,029,0.-0,2035)	(0,029,0.-0,2035)
acima da placa 0,1mm	(-0,029,0.-0,2039)	(0,029,0.-0,2039)
abaixo da placa	(-0,029,0.-0,217)	(0,029,0.-0,217)
meio da saída	(-0,029,0.-0,237)	(0,029,0.-0,237)

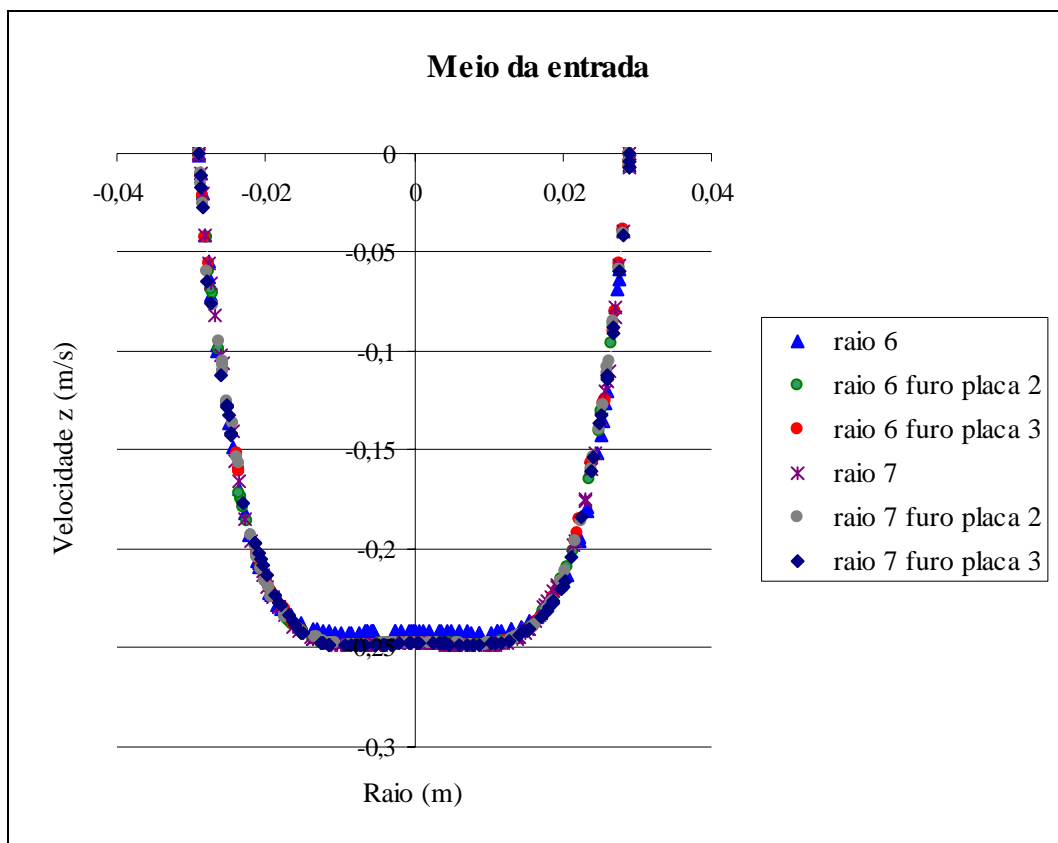


Figura. Perfil da velocidade no meio da entrada das diferentes malhas confeccionadas.

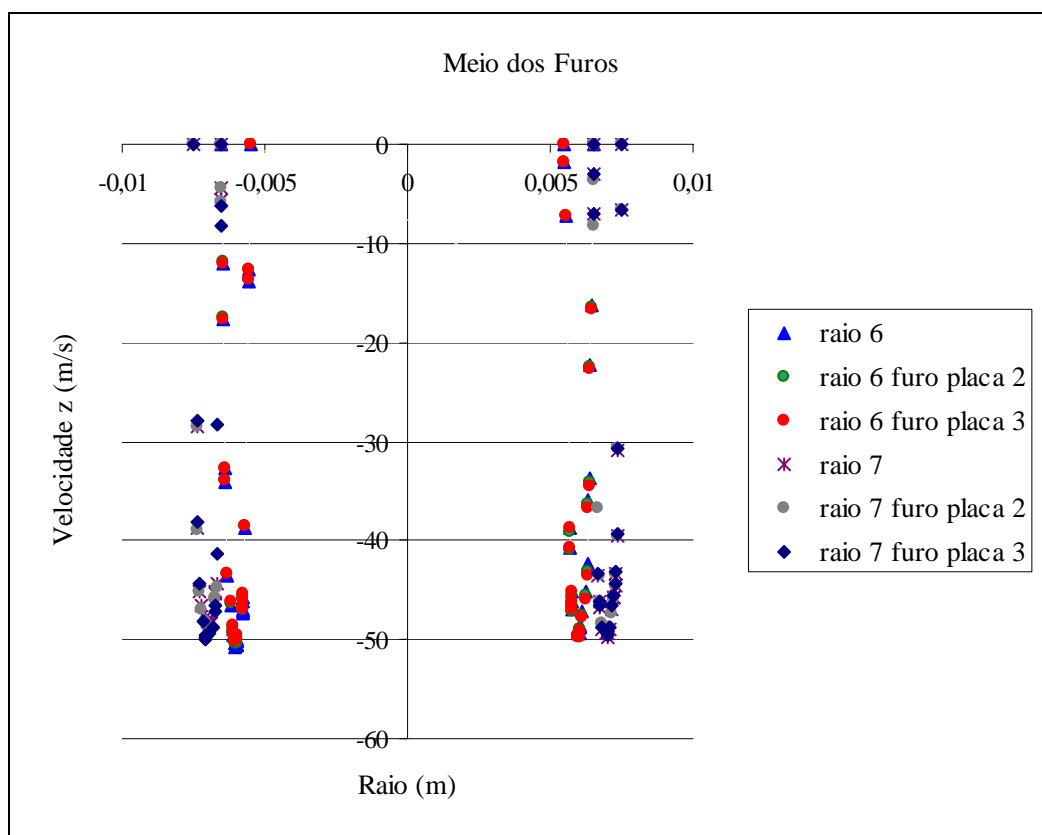


Figura. Perfil da velocidade no meio dos furos das diferentes malhas confeccionadas.

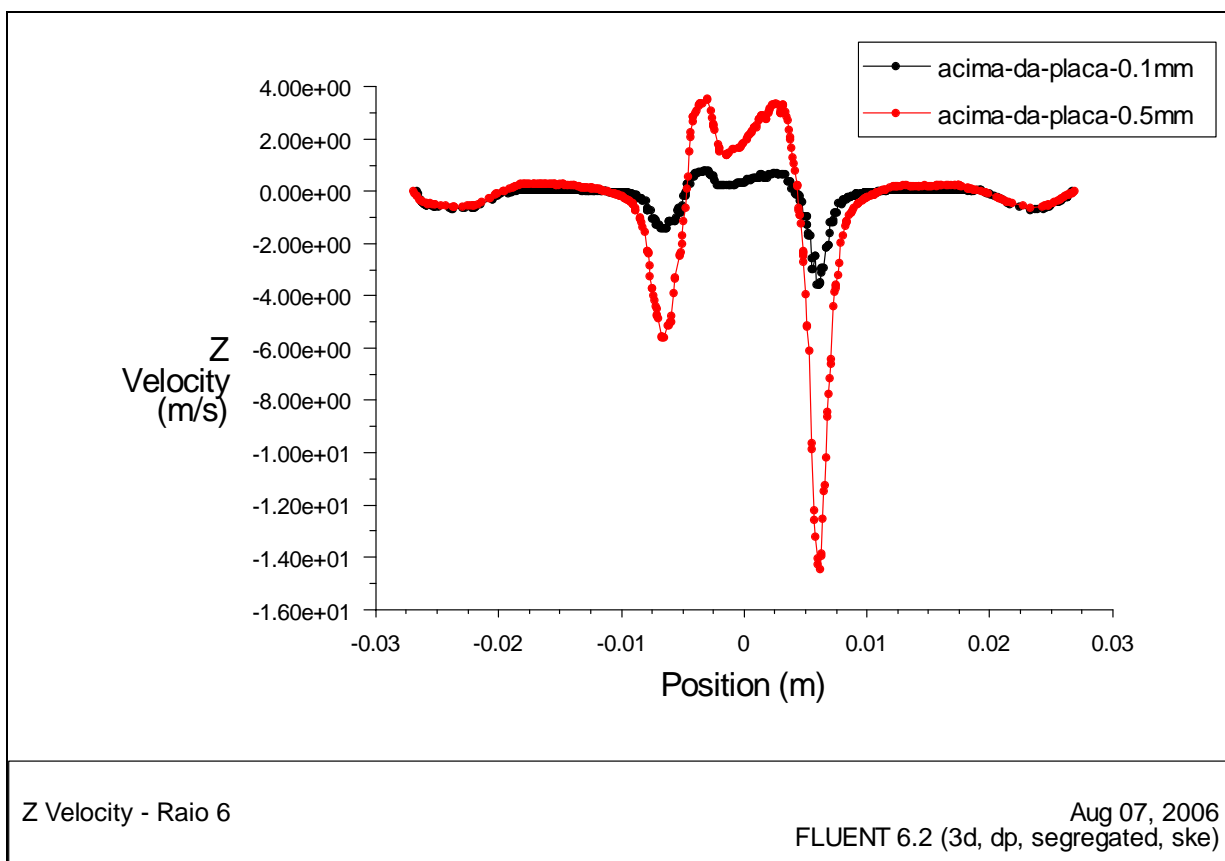


Figura. Perfil da velocidade na direção Z a 0,1mm e 0,5mm acima da placa de impactação do arranjo Raio 6.

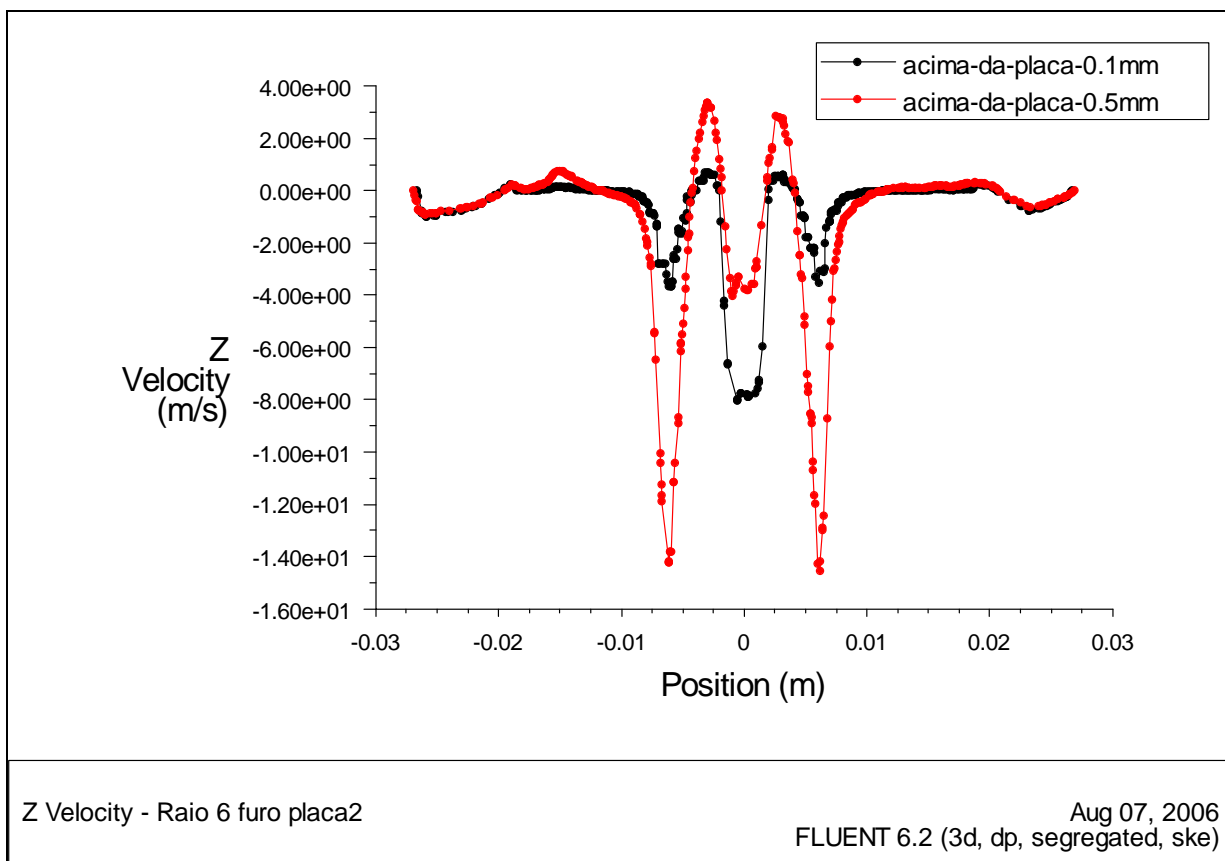


Figura. Perfil da velocidade na direção Z a 0,1mm e 0,5mm acima da placa de impactação do arranjo Raio 6.furo placa 2

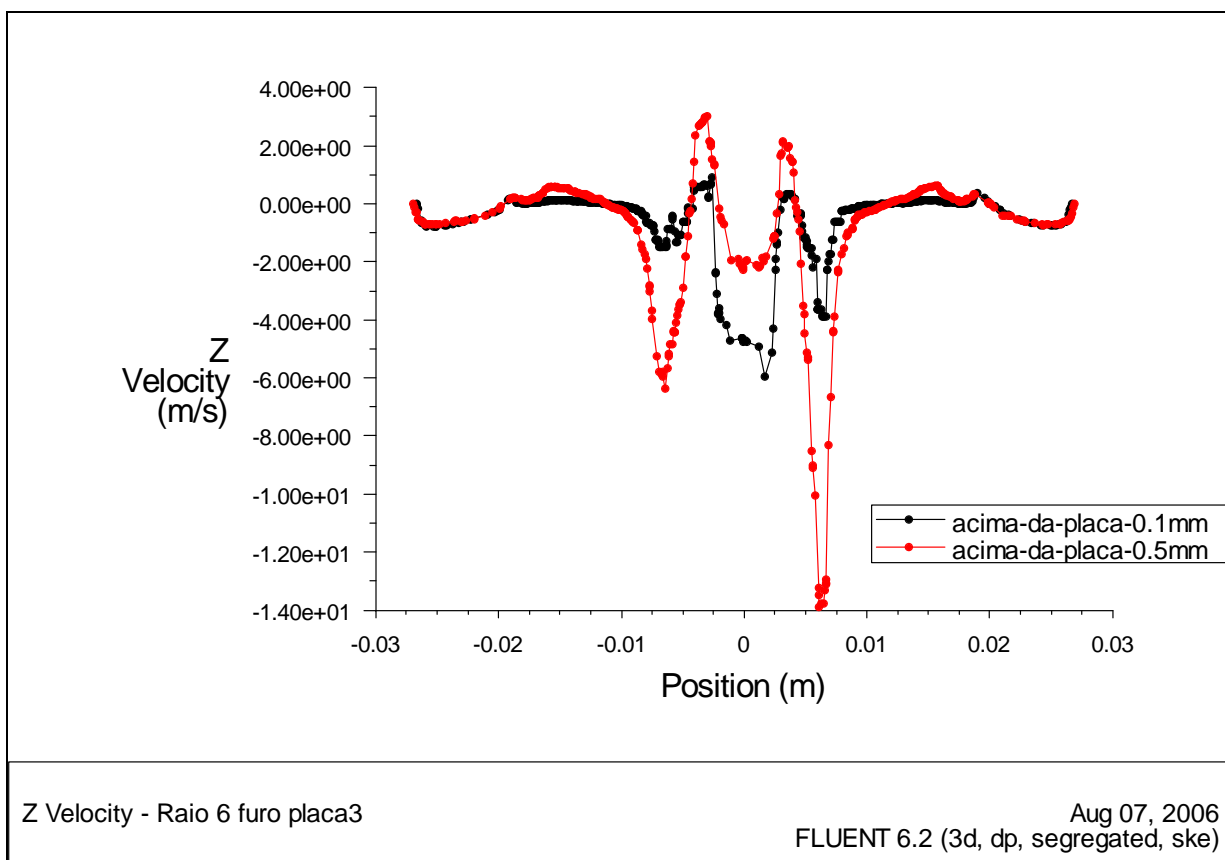


Figura. Perfil da velocidade na direção Z a 0,1mm e 0,5mm acima da placa de impactação do arranjo Raio 6.furo placa 3

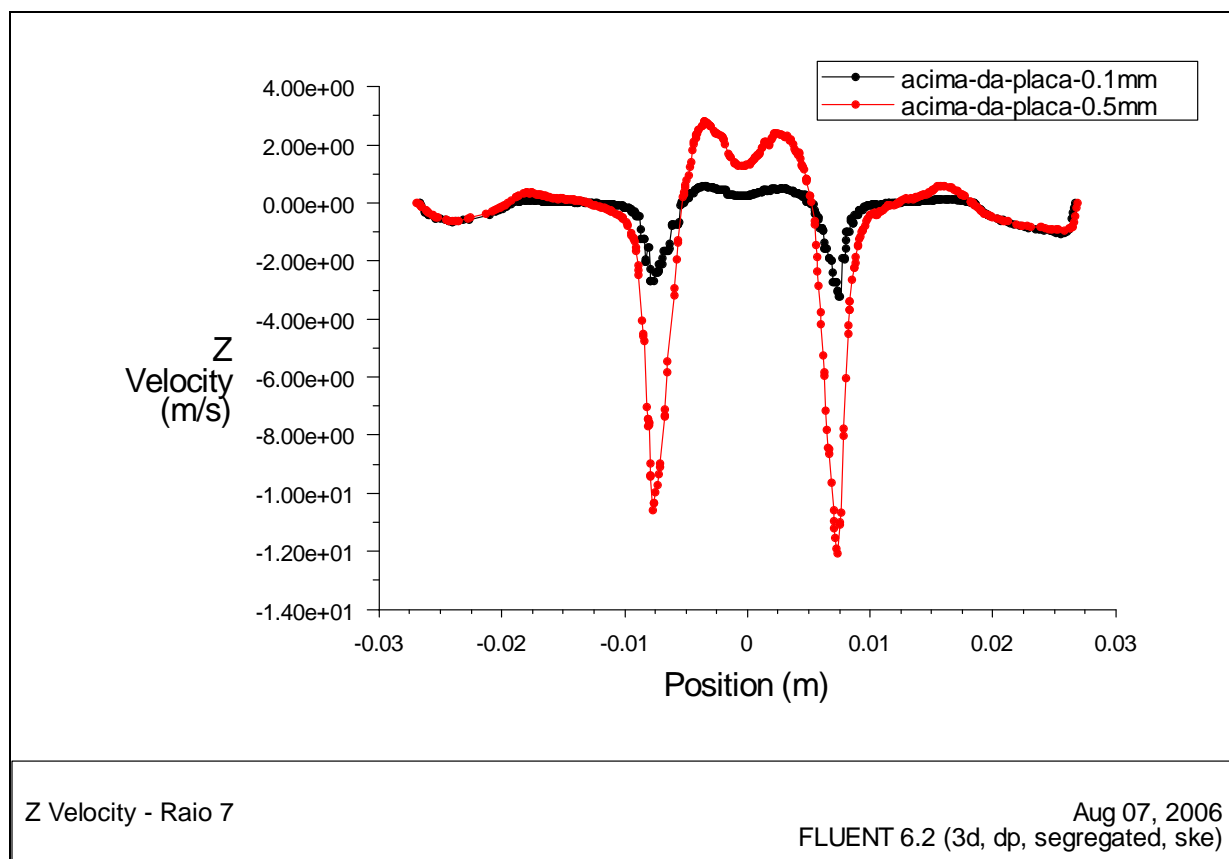


Figura. Perfil da velocidade na direção Z a 0,1mm e 0,5mm acima da placa de impactação do arranjo Raio 7.

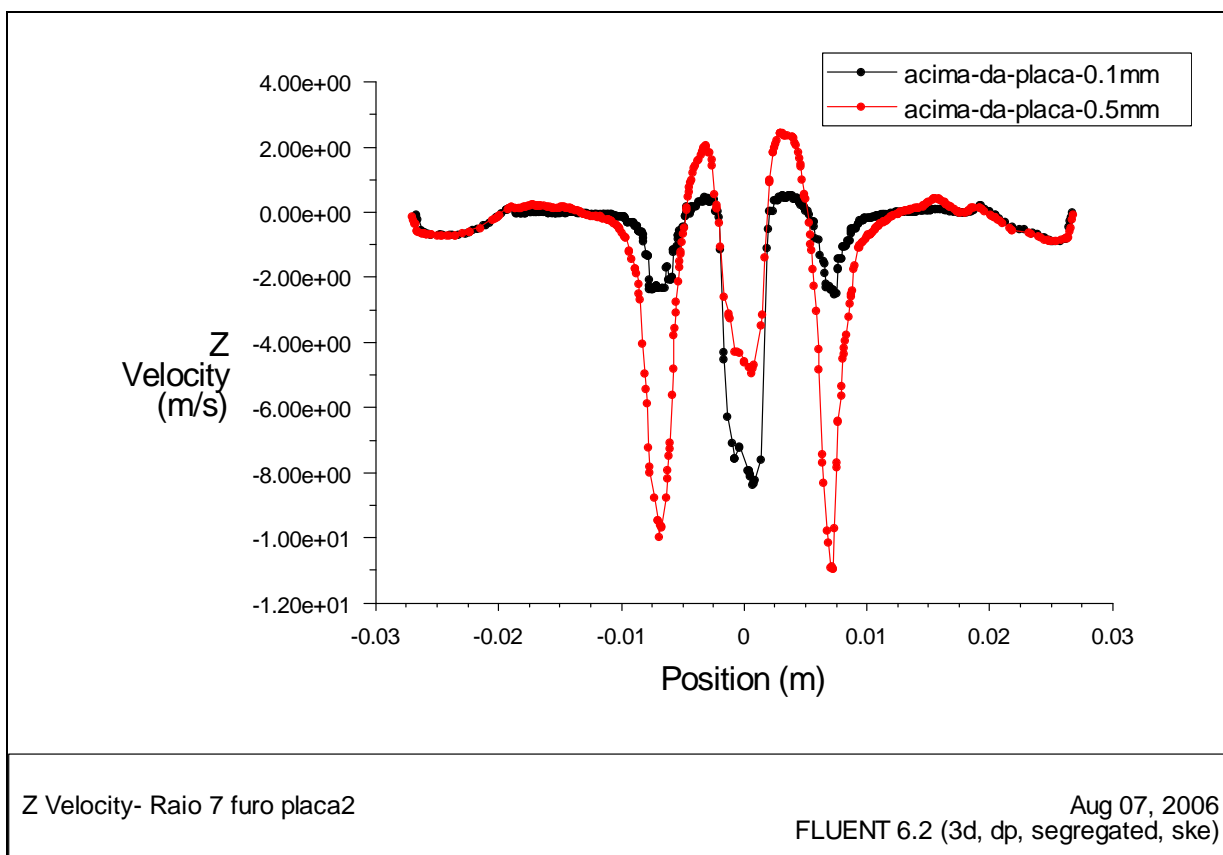


Figura. Perfil da velocidade na direção Z a 0,1mm e 0,5mm acima da placa de impactação do arranjo Raio 7 furo placa 2.

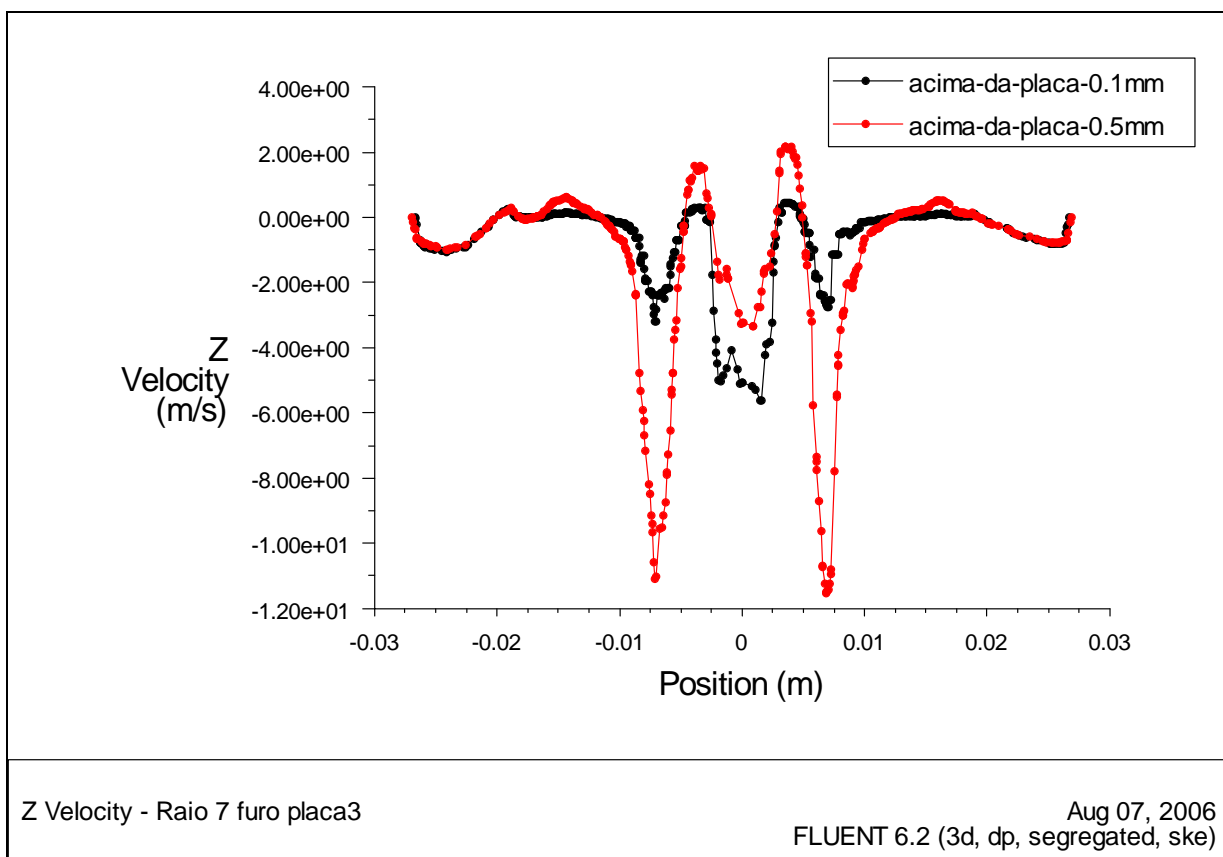


Figura. Perfil da velocidade na direção Z a 0,1mm e 0,5mm acima da placa de impactação do arranjo Raio 7 furo placa 3.

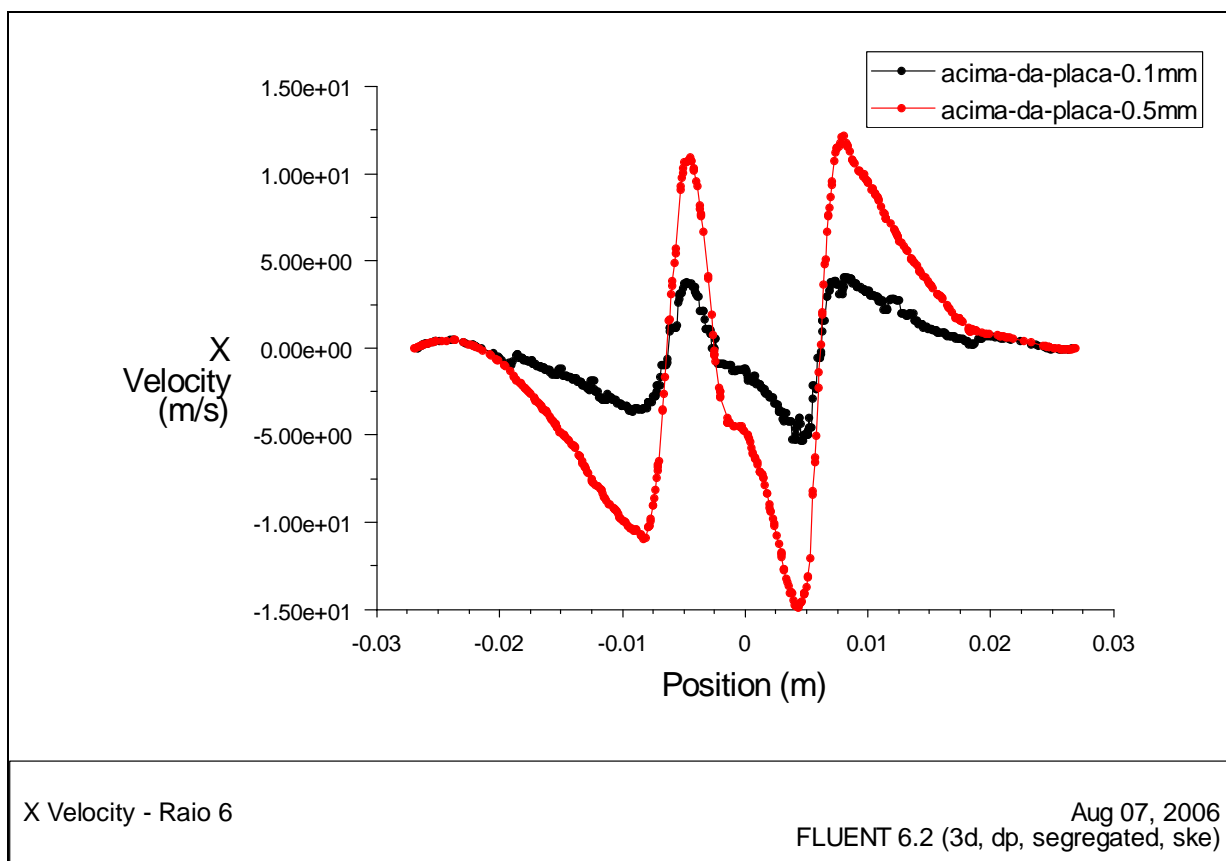


Figura. Perfil da velocidade na direção X a 0,1mm e 0,5mm acima da placa de impactação do arranjo Raio 6.

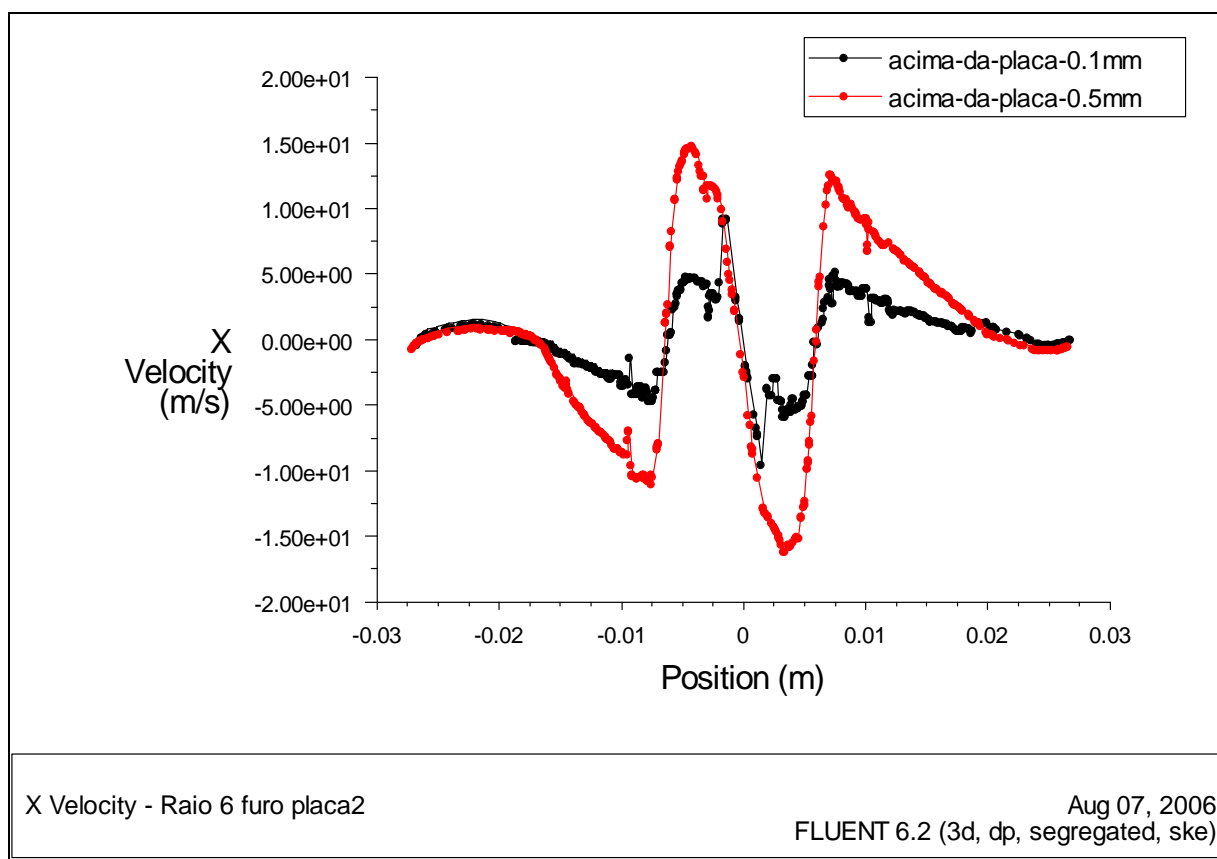


Figura. Perfil da velocidade na direção X a 0,1mm e 0,5mm acima da placa de impactação do arranjo Raio 6.furo placa 2

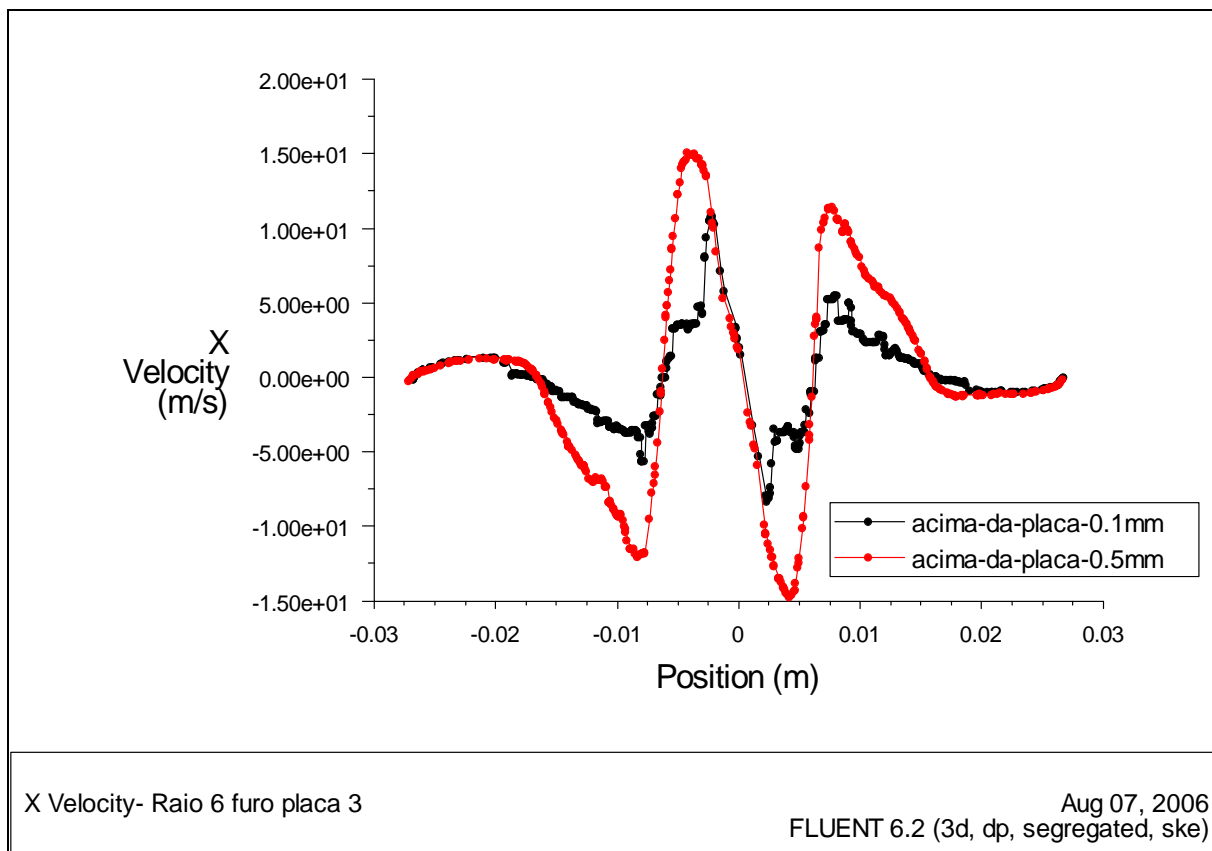


Figura. Perfil da velocidade na direção X a 0,1mm e 0,5mm acima da placa de impactação do arranjo Raio 6.furo placa 3

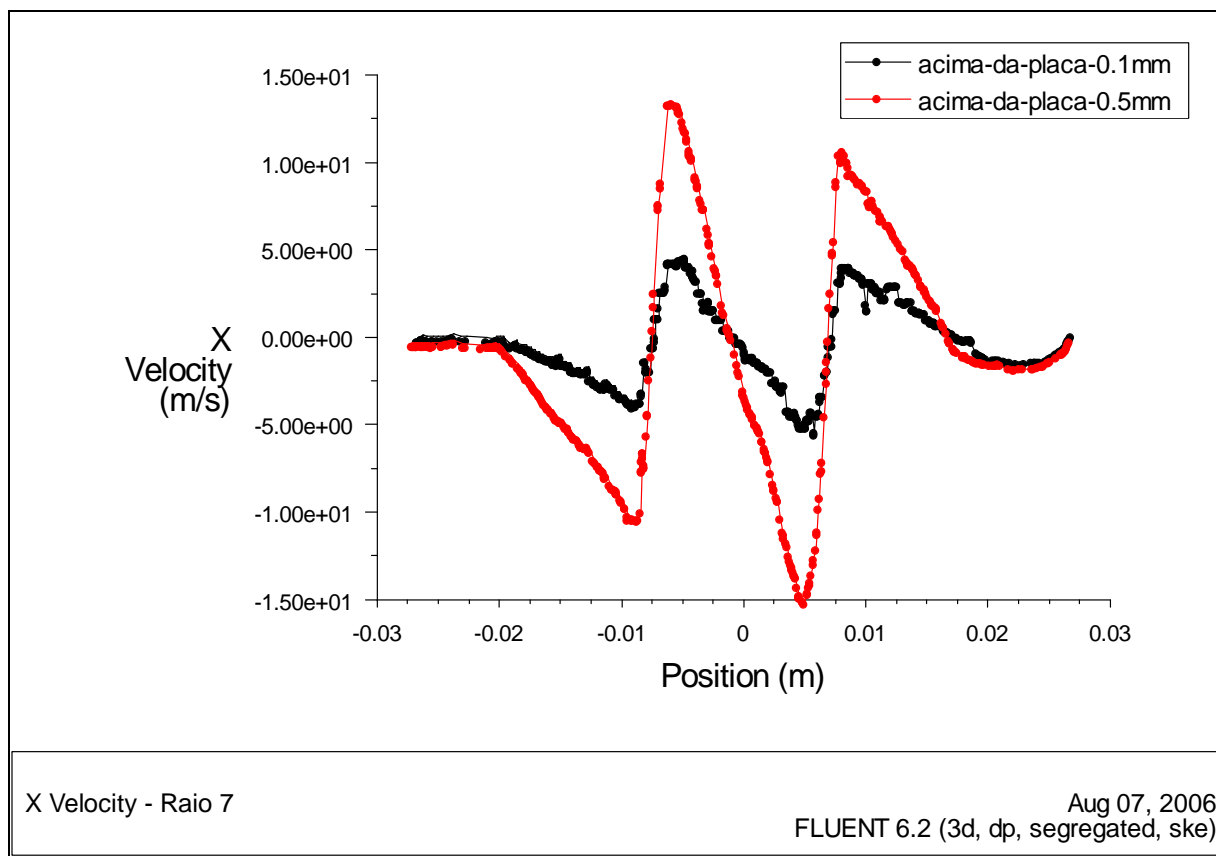


Figura. Perfil da velocidade na direção X a 0,1mm e 0,5mm acima da placa de impactação do arranjo Raio 7.

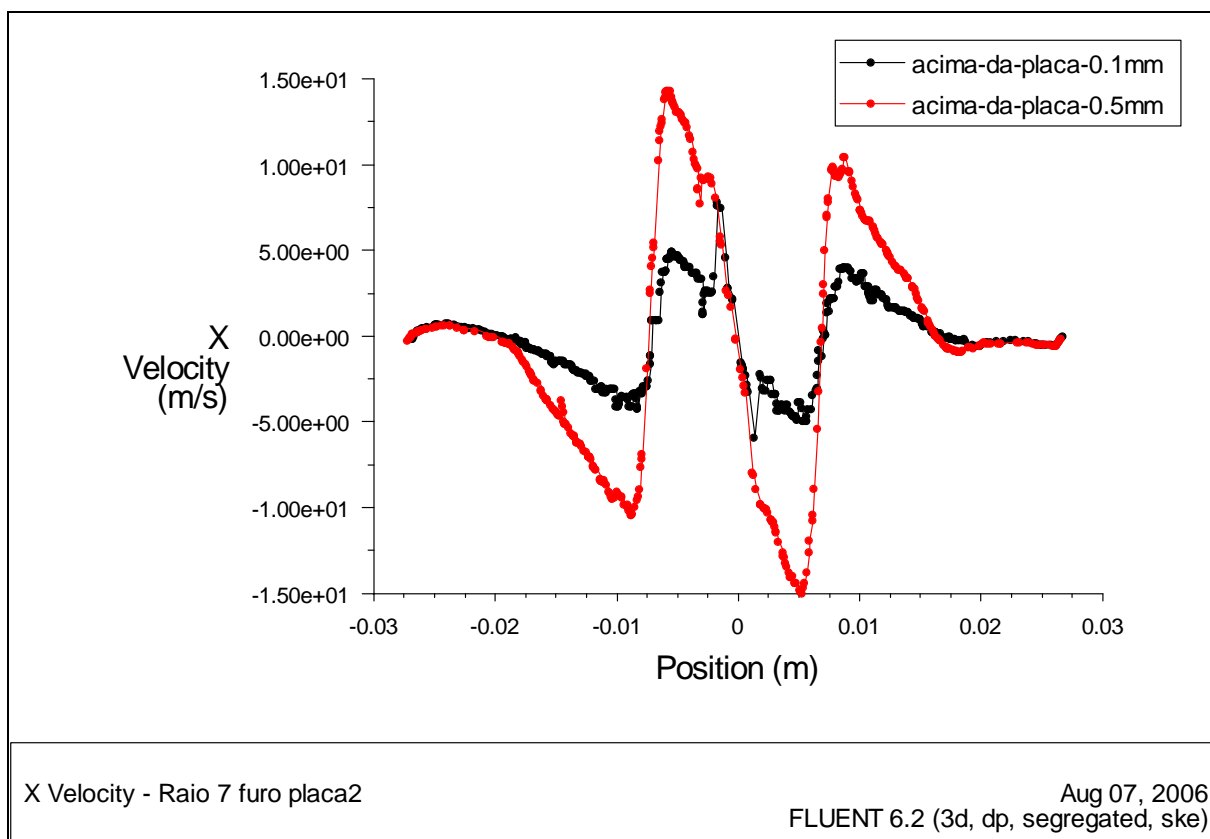


Figura. Perfil da velocidade na direção X a 0,1mm e 0,5mm acima da placa de impactação do arranjo Raio 7 furo placa 2.

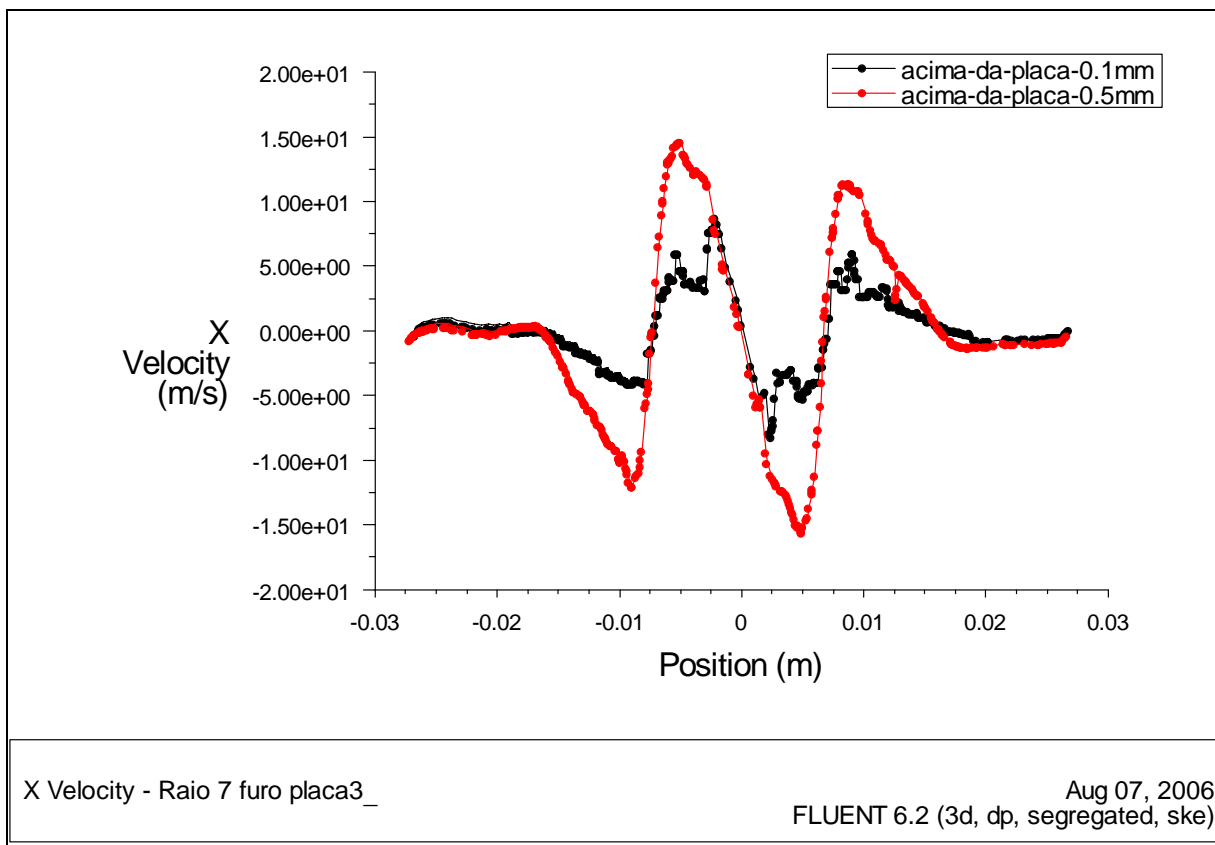


Figura. Perfil da velocidade na direção X a 0,1mm e 0,5mm acima da placa de impactação do arranjo Raio 7 furo placa 3.

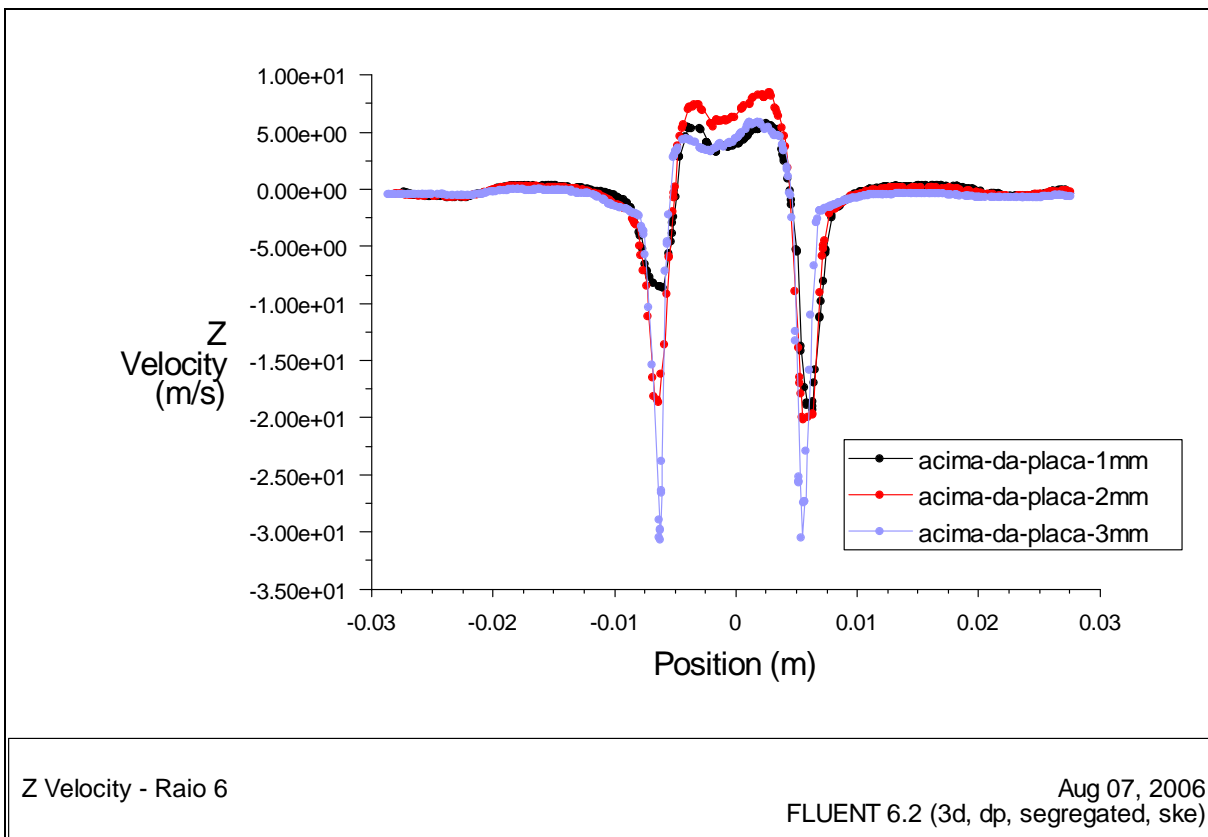


Figura. Perfil da velocidade na direção Z a 1mm, 2mm e 3mm acima da placa de impactação do arranjo Raio 6.

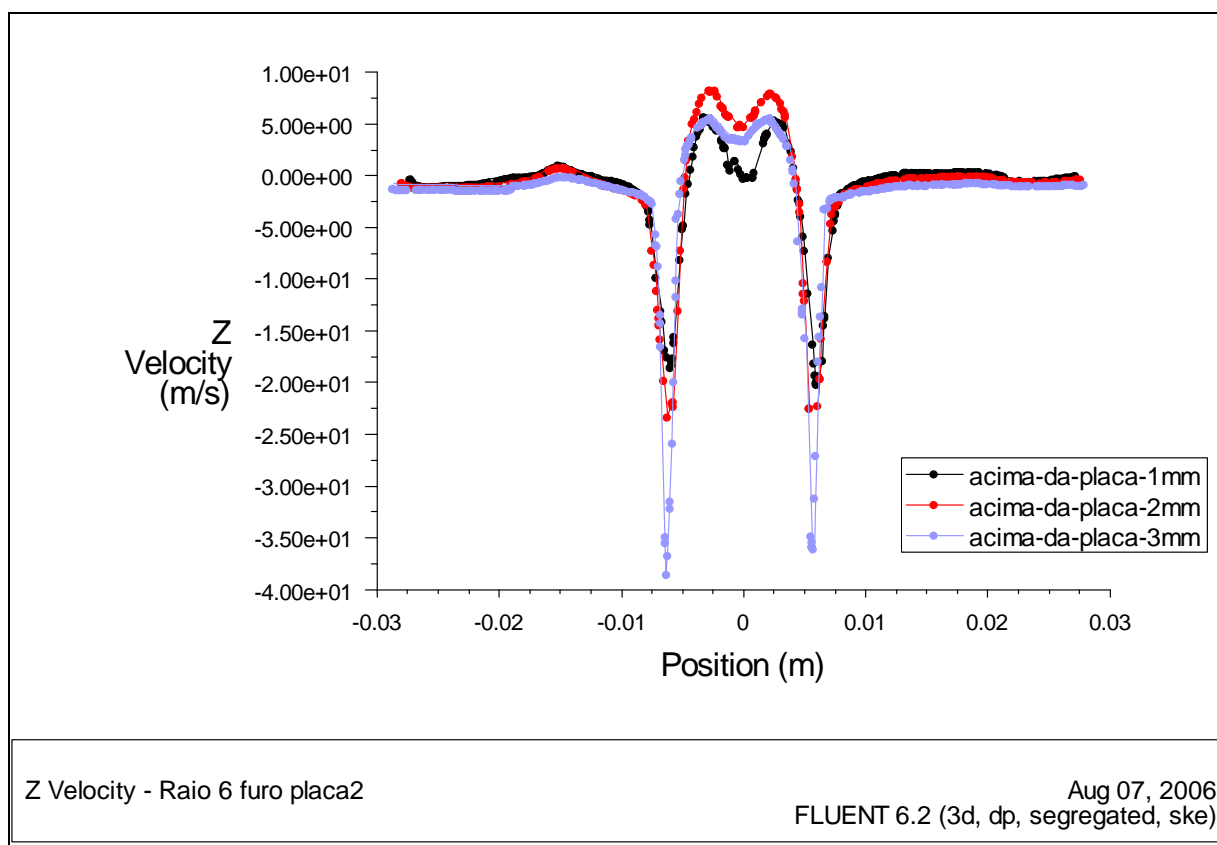


Figura. Perfil da velocidade na direção Z a 1mm, 2mm e 3mm acima da placa de impactação do arranjo Raio 6.furo placa 2

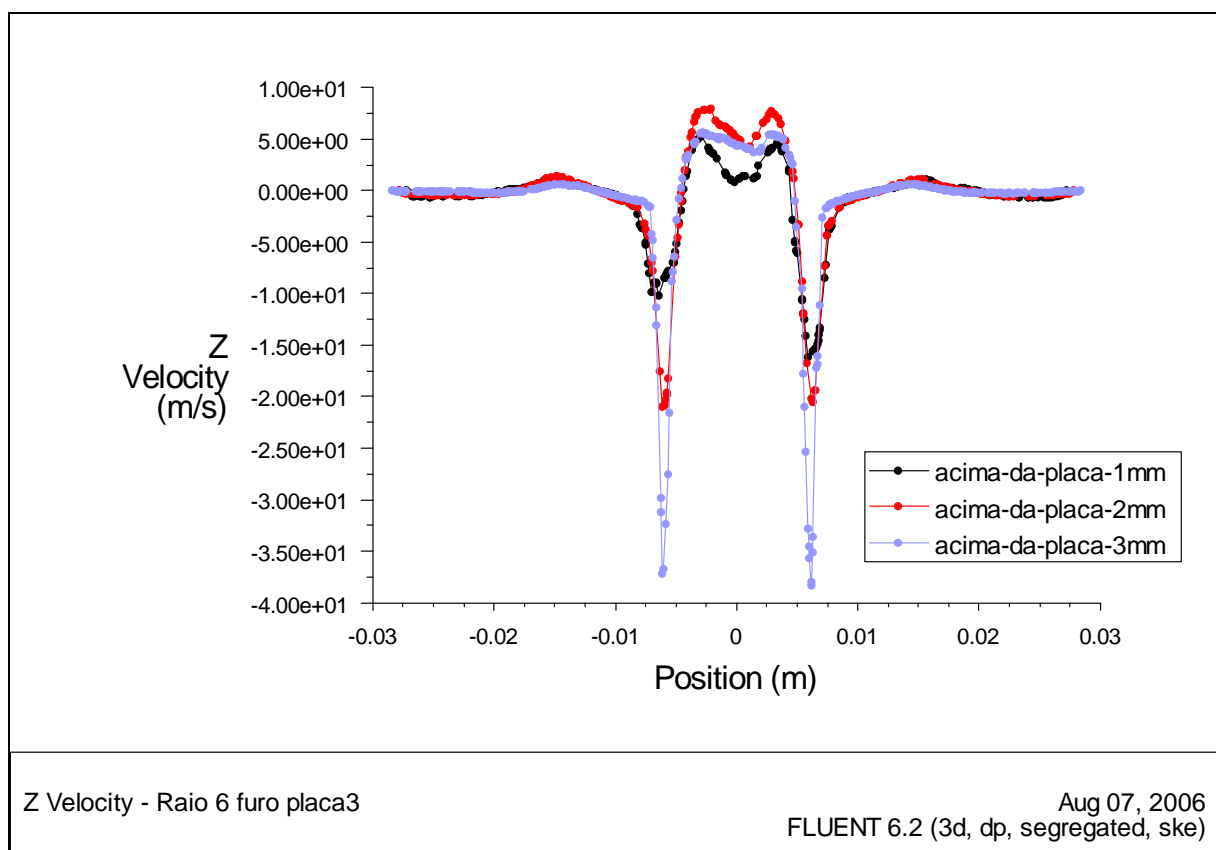


Figura. Perfil da velocidade na direção Z a 1mm, 2mm e 3mm acima da placa de impactação do arranjo Raio 6.furo placa 3

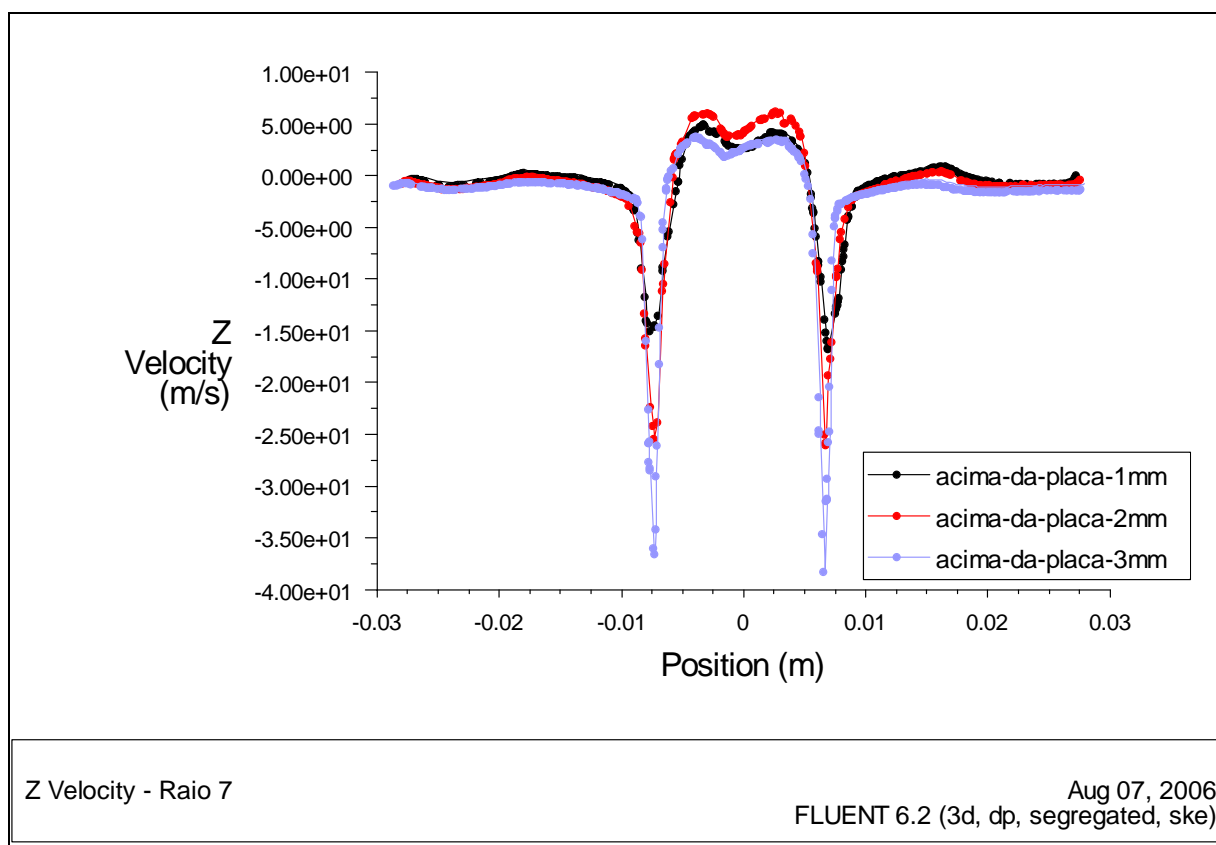


Figura. Perfil da velocidade na direção Z a 1mm, 2mm e 3mm acima da placa de impactação do arranjo Raio 7.

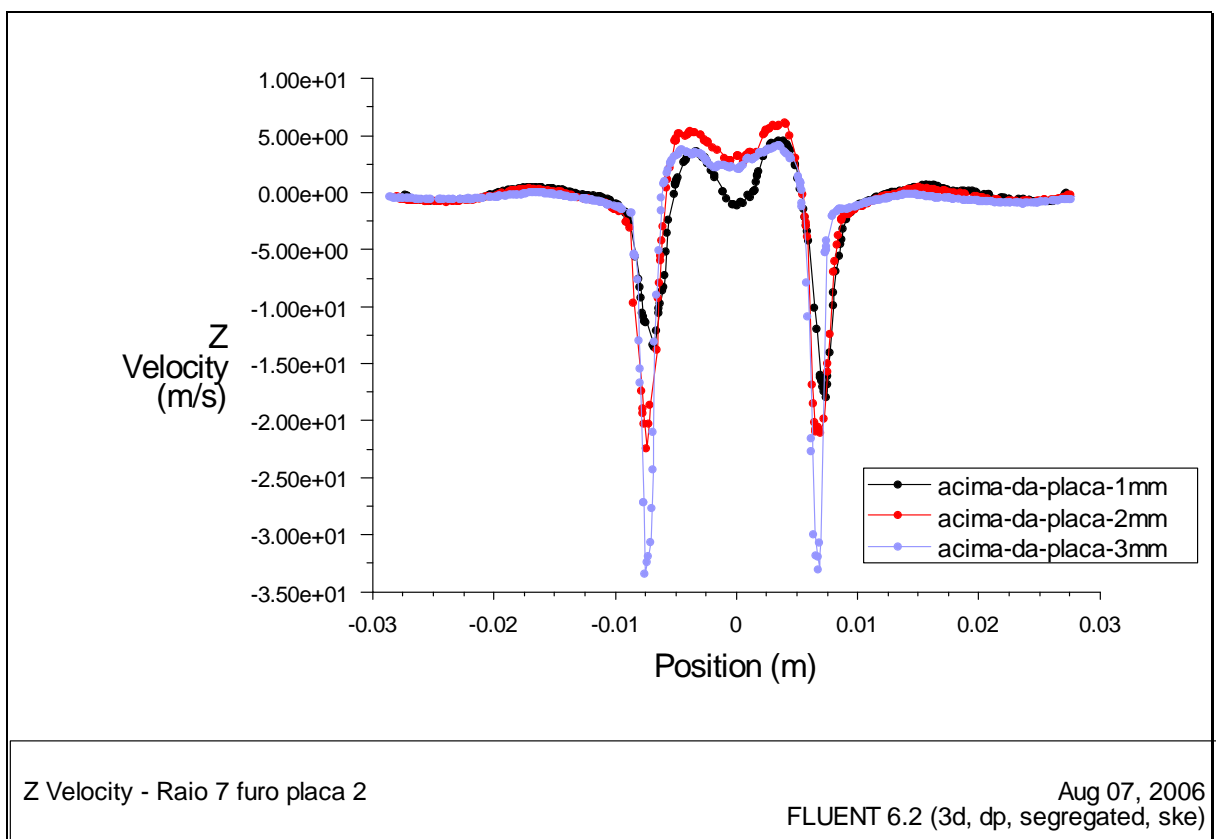


Figura. Perfil da velocidade na direção Z a 1mm, 2mm e 3mm acima da placa de impactação do arranjo Raio 7 furo placa 2.

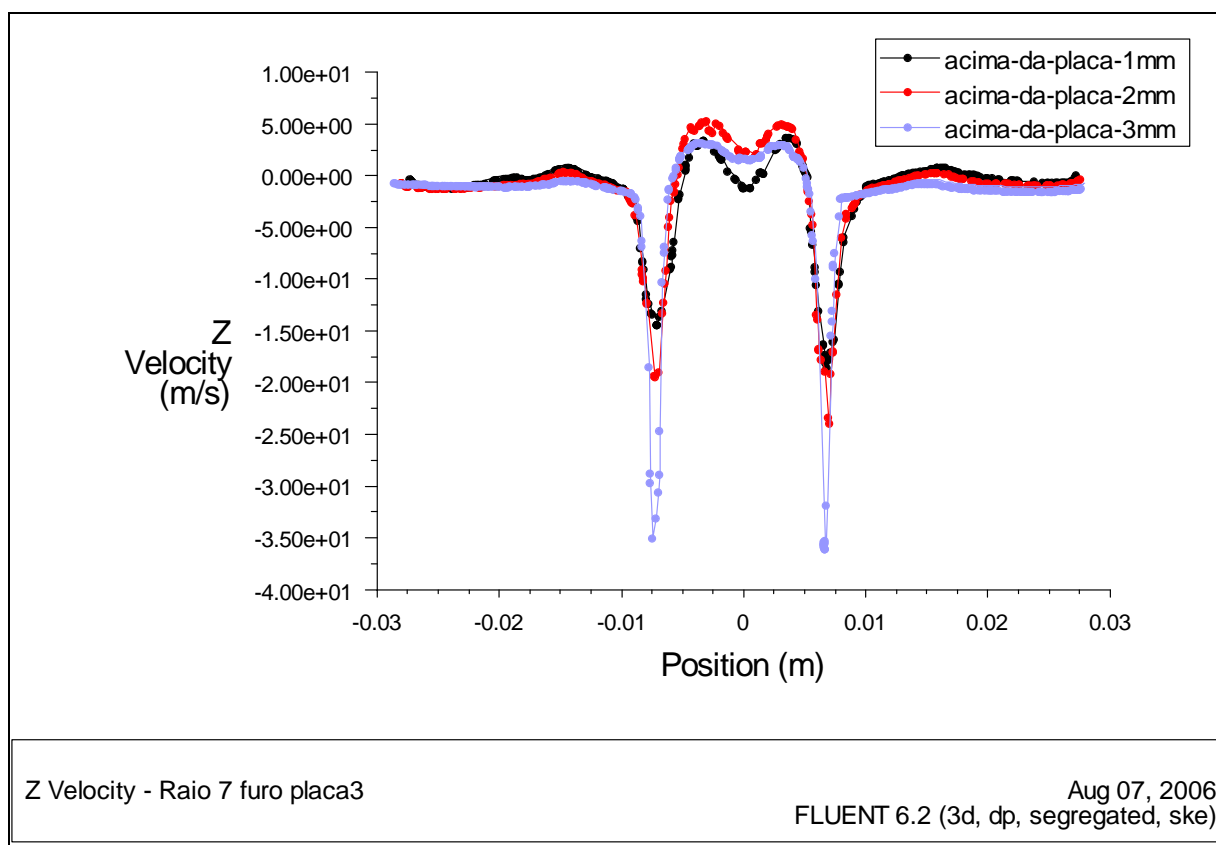


Figura. Perfil da velocidade na direção Z a 1mm, 2mm e 3mm acima da placa de impactação do arranjo Raio 7 furo placa 3.

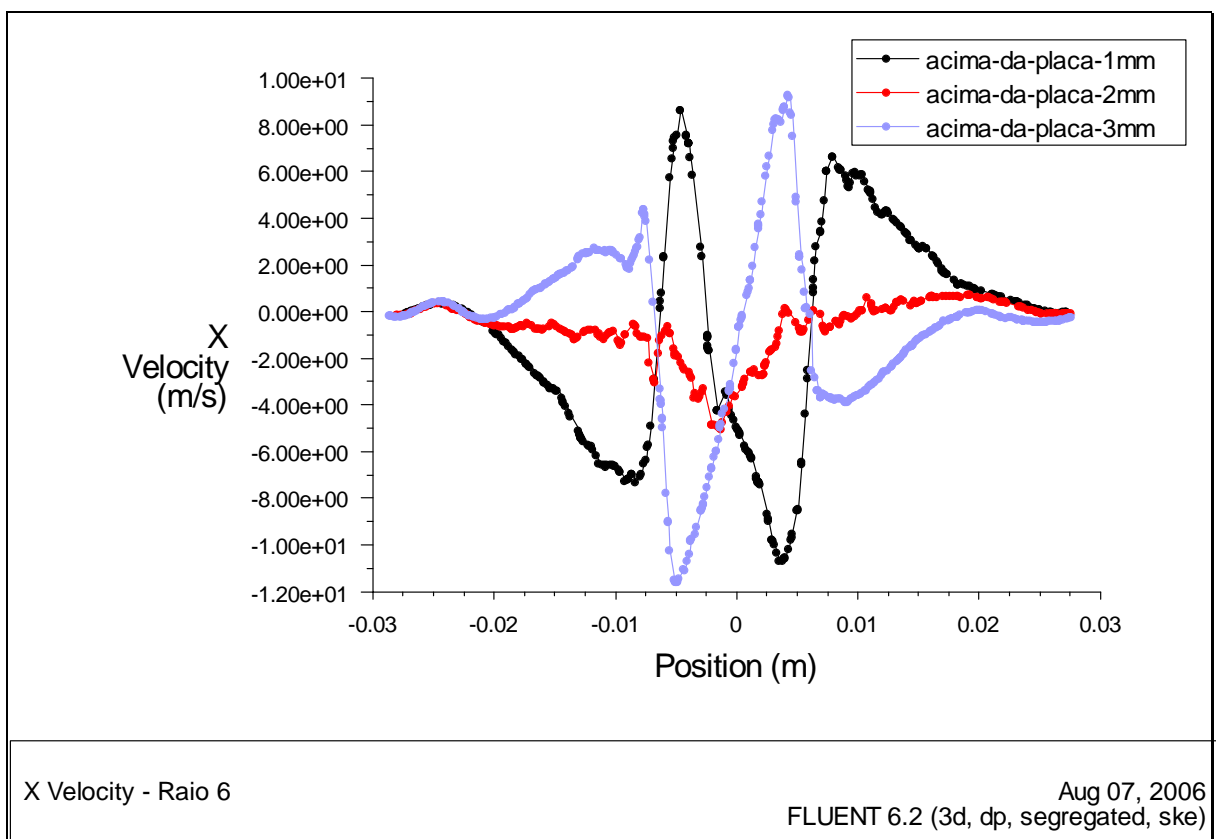


Figura. Perfil da velocidade na direção X a 1mm, 2mm e 3mm acima da placa de impactação do arranjo Raio 6.

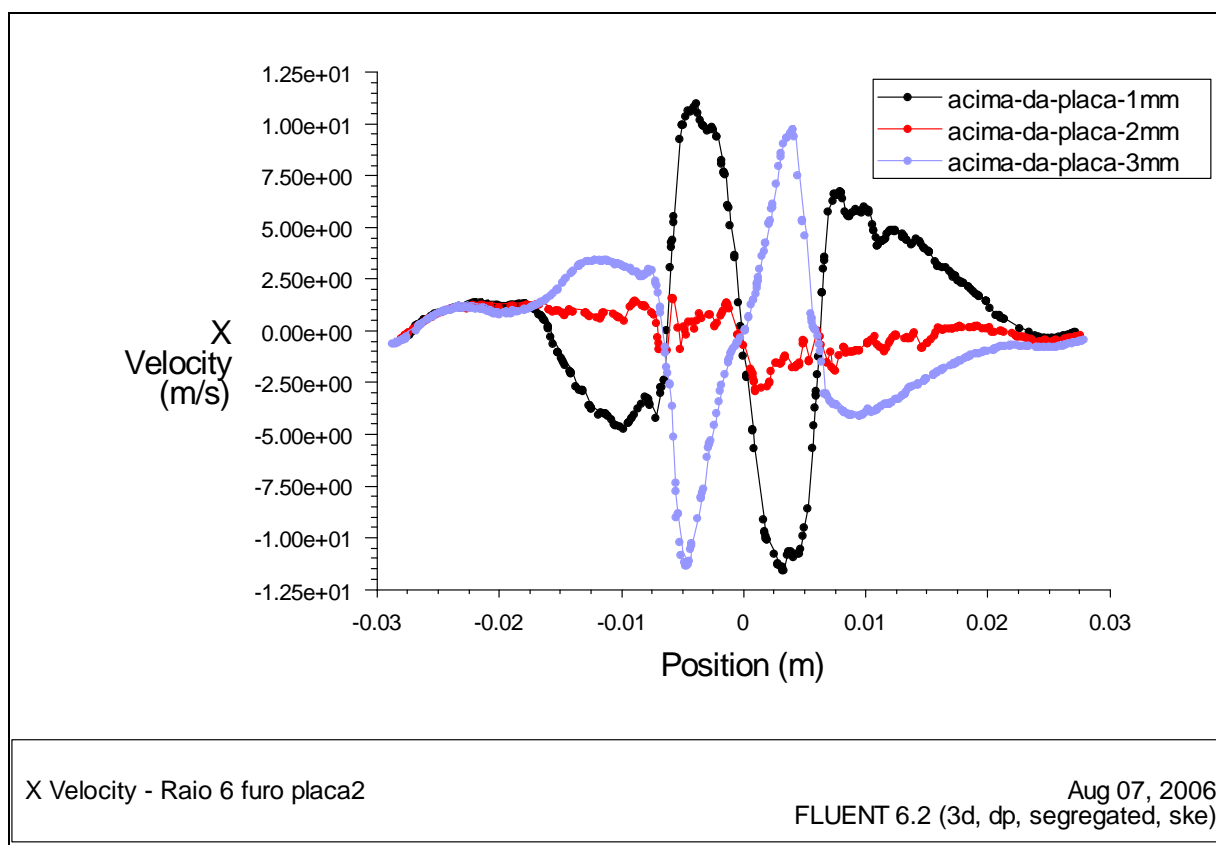


Figura. Perfil da velocidade na direção X a 1mm, 2mm e 3mm acima da placa de impactação do arranjo Raio 6.furo placa 2

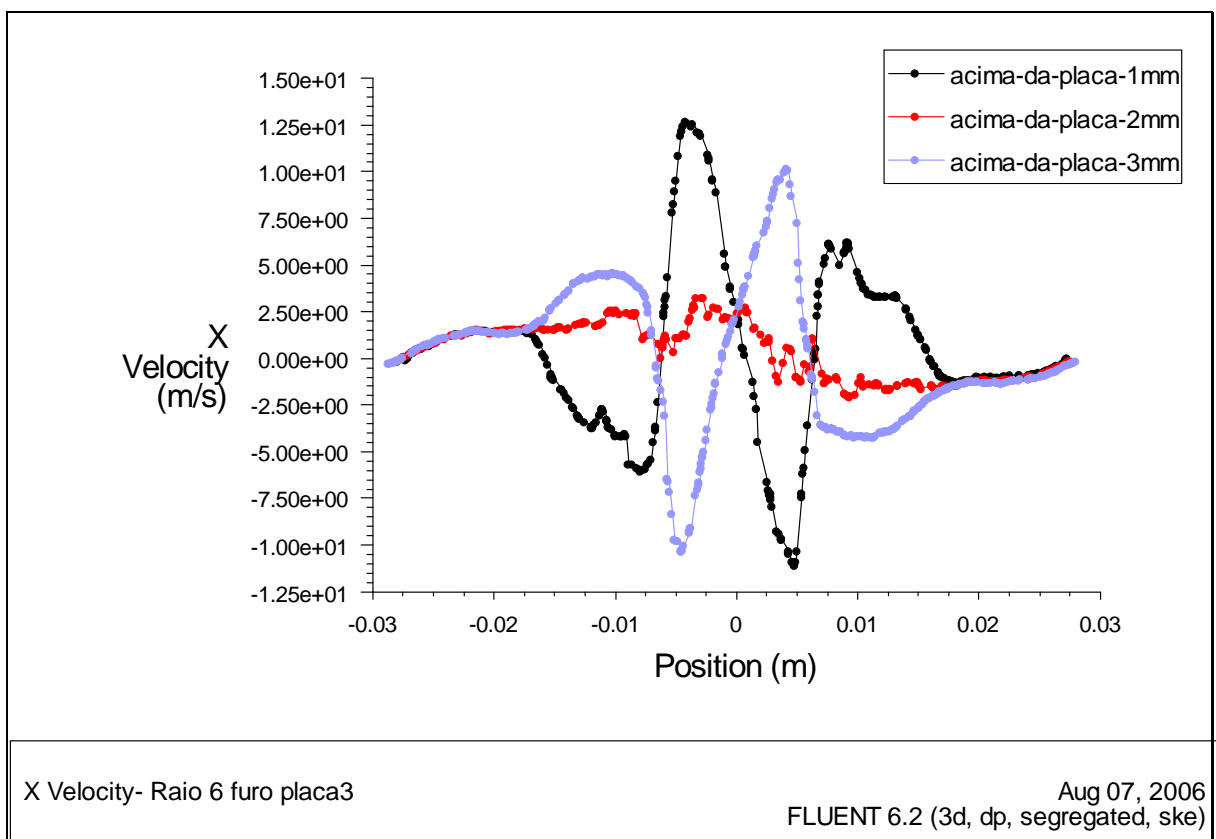


Figura. Perfil da velocidade na direção X a 1mm, 2mm e 3mm acima da placa de impactação do arranjo Raio 6.furo placa 3

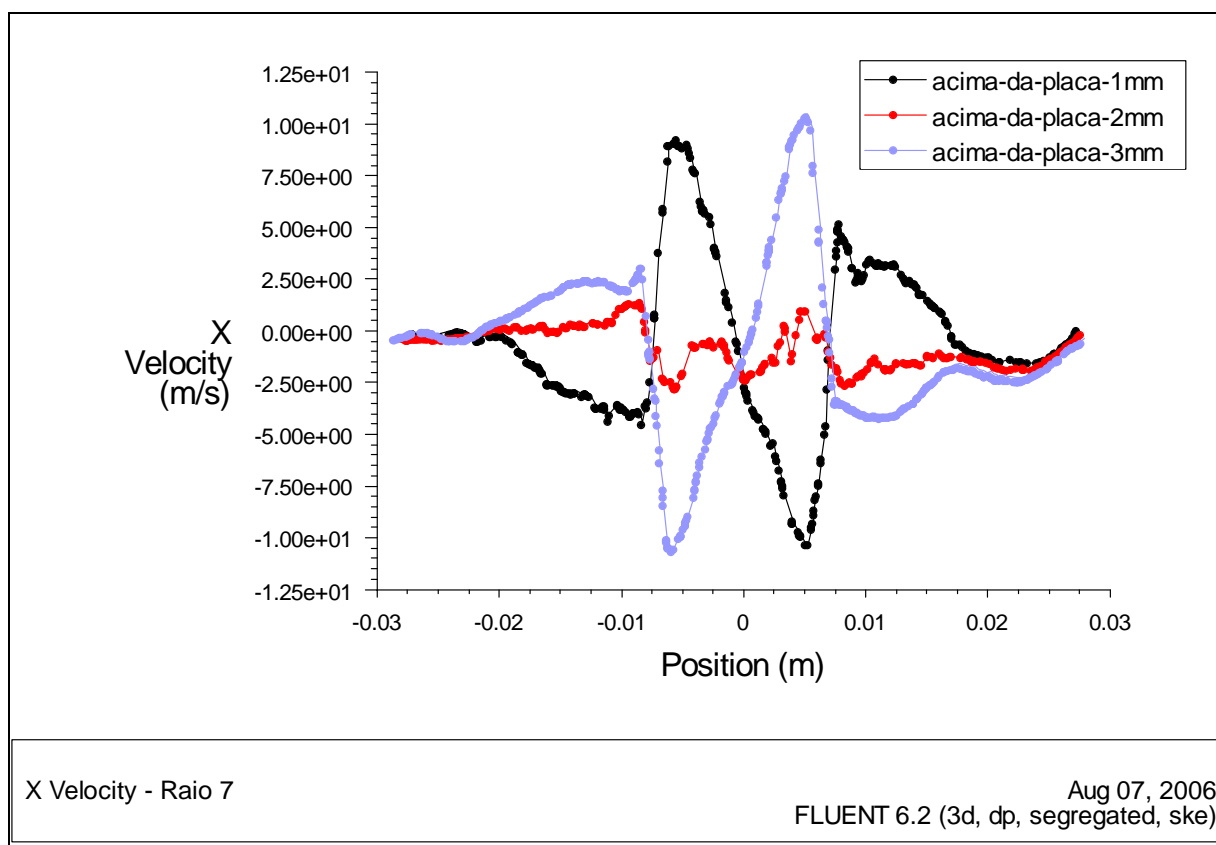


Figura. Perfil da velocidade na direção X a 1mm, 2mm e 3mm acima da placa de impactação do arranjo Raio 7.

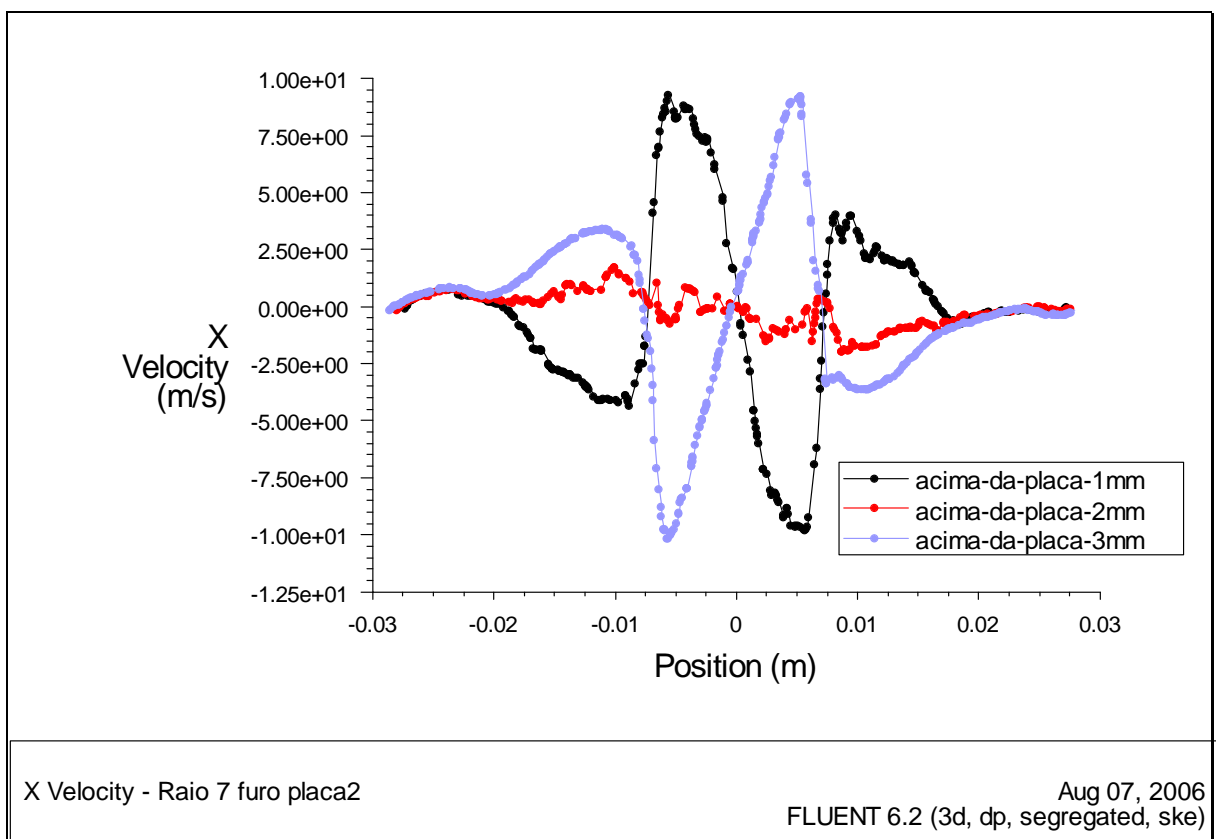


Figura. Perfil da velocidade na direção X a 1mm, 2mm e 3mm acima da placa de impactação do arranjo Raio 7 furo placa 2.

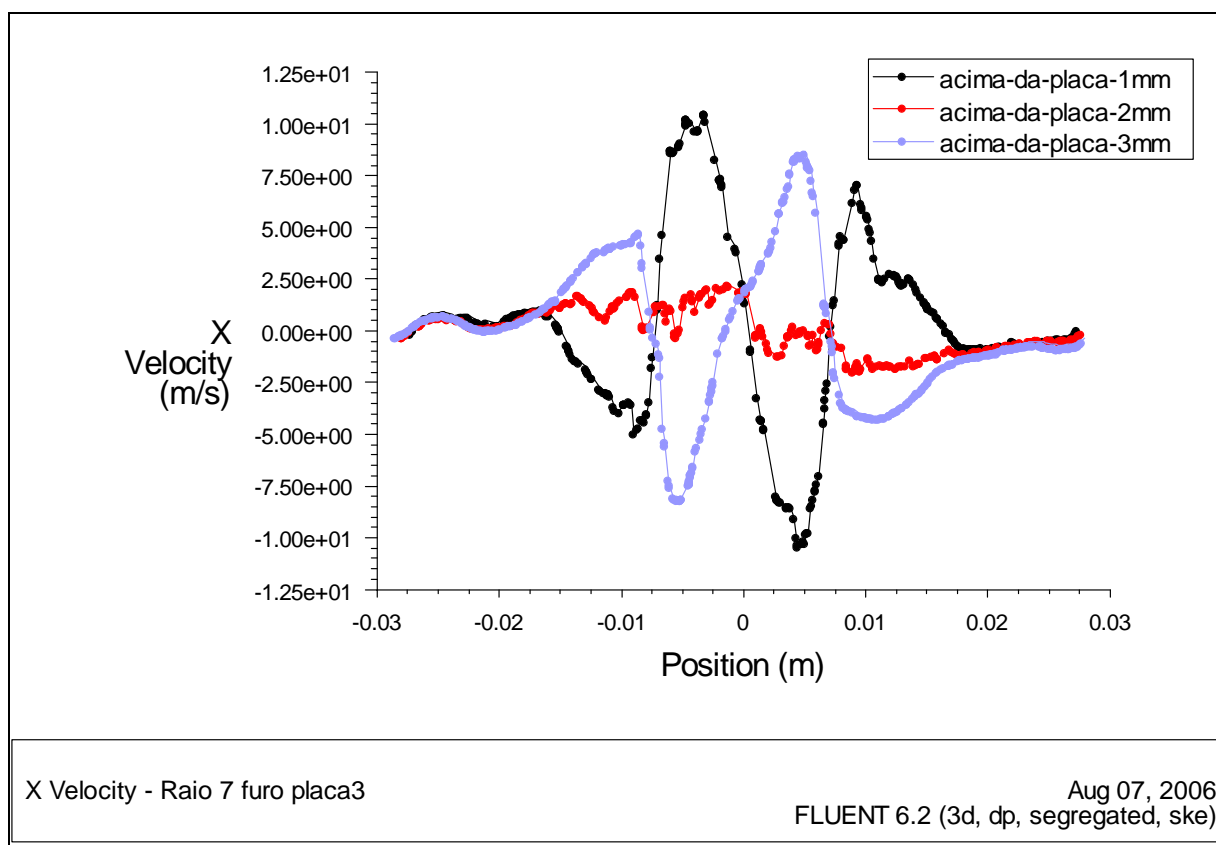


Figura. Perfil da velocidade na direção X a 1mm, 2mm e 3mm acima da placa de impactação do arranjo Raio 7 furo placa 3.

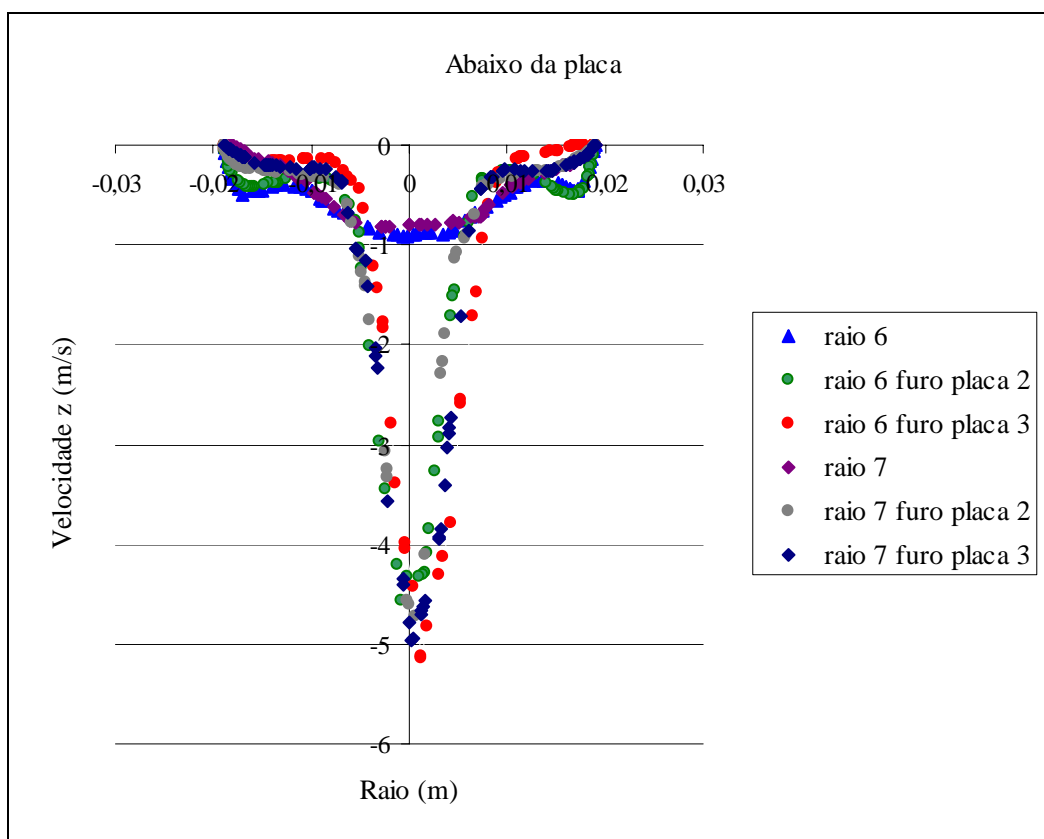


Figura. Perfil da velocidade na direção z abaixo da placa de impactação das diferentes malhas confeccionadas.

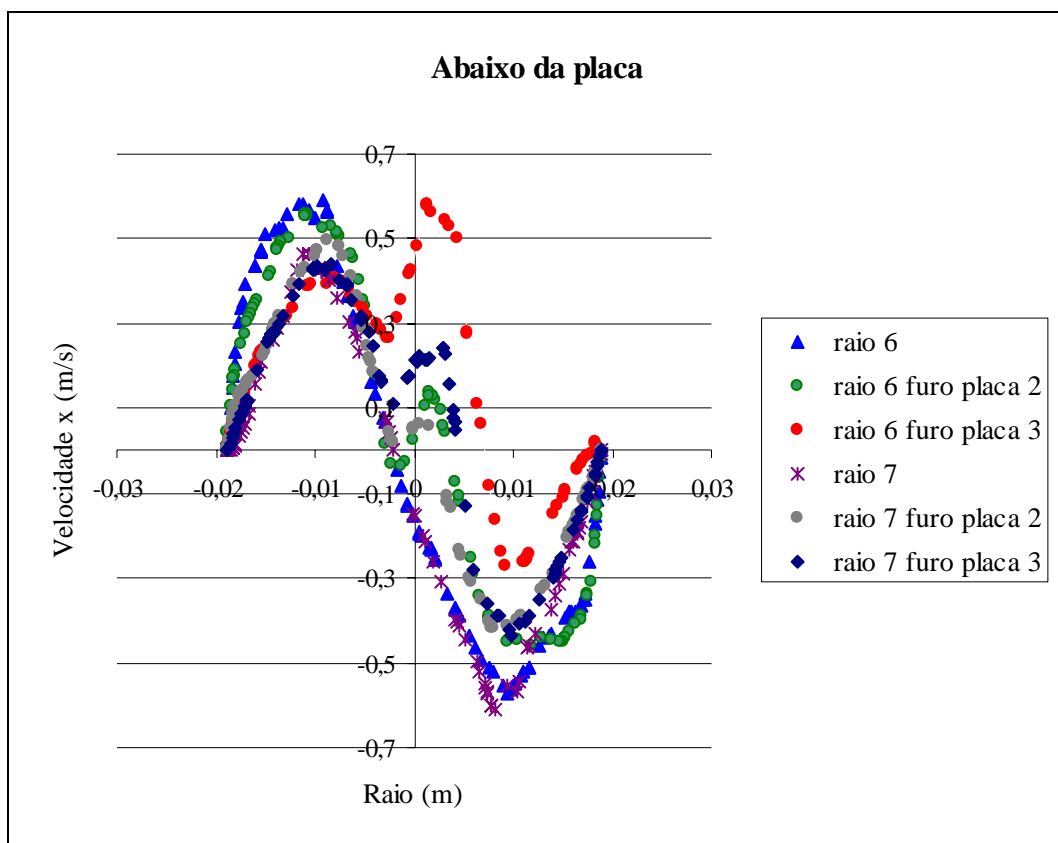


Figura. Perfil da velocidade na direção x abaixo da placa de impactação das diferentes malhas confeccionadas.

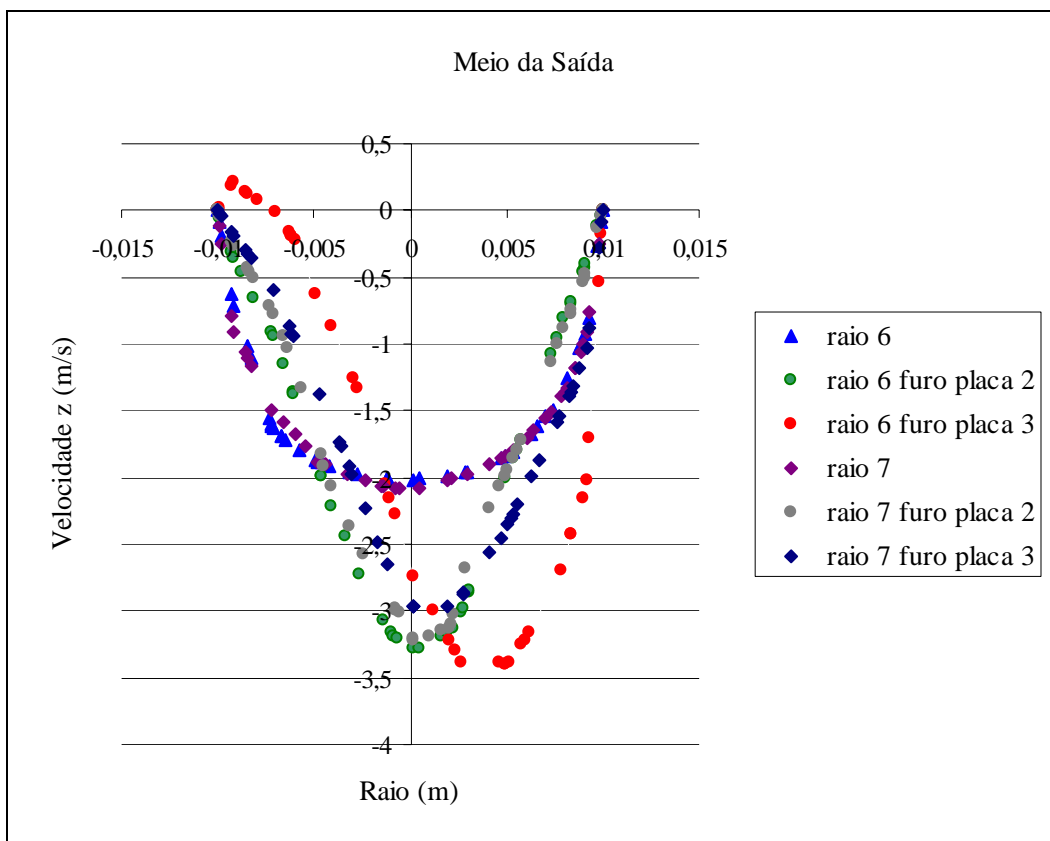


Figura. Perfil da velocidade no meio da saída das diferentes malhas confeccionadas.

Com esta análise foi possível comparar como o escoamento se comporta através dos diferentes geometrias criadas. Podemos ver que apesar de termos escolhido uma malha refinada com uma grande quantidade de volumes de controle ela ainda apresenta erros de simetria que podem resultar em dados errados de velocidades.

Também é possível ver claramente as zonas de recirculação entre os furos aonde a velocidade vertical passa a ser positiva mostrando uma zona de recirculação entre os furos.

5.3. Resultados da Simulação de Trajetória de Partículas

A seguir estão os resultados encontrados através da simulação numérica da trajetória de partículas ao longo do impactador. Para este teste foram lançadas partículas de diâmetros de $0,01\mu\text{m}$ a $10\mu\text{m}$.

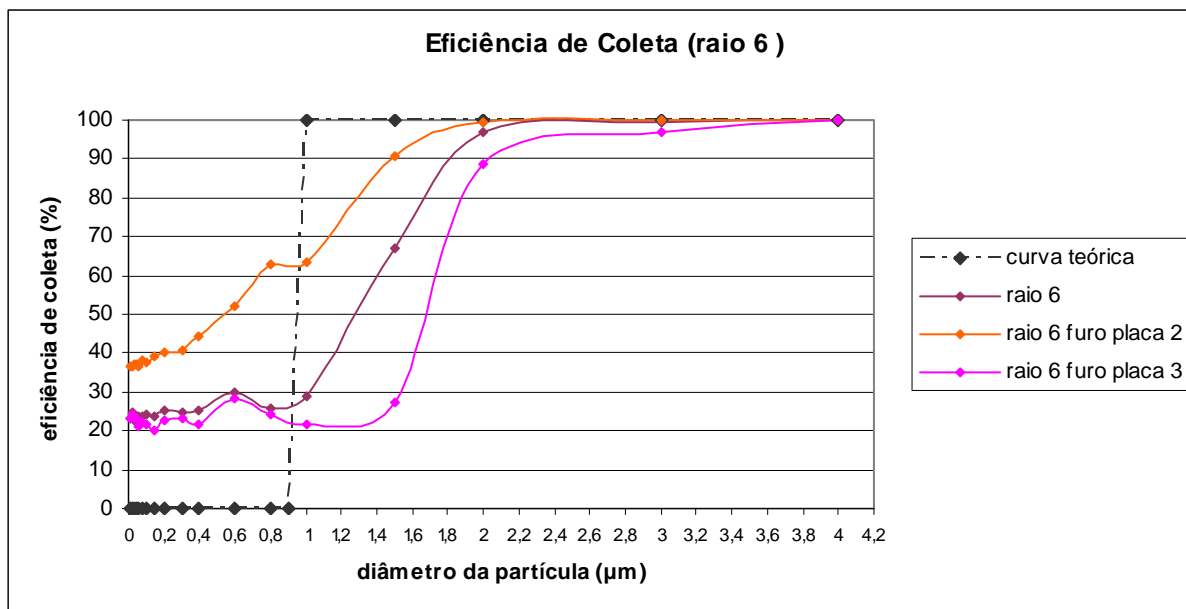


Figura 13. Curvas de Eficiência de Coleta

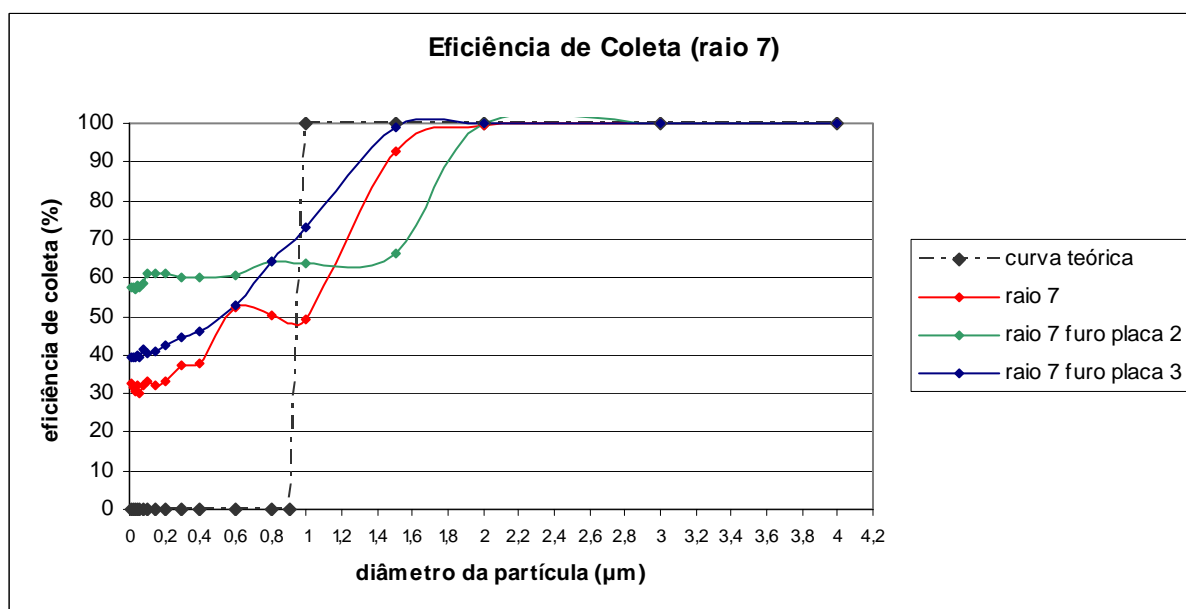


Figura 14. Curvas de Eficiência de Coleta

Tabela. 2. Eficiência de Coleta das Diferentes Geometrias

Arranjo	dp50 (μm)
Raio 6	1,22
Raio 6 furo placa 2	0,58
Raio 6 furo placa 3	1,63
Raio 7	0,6 - 1
Raio 7 furo placa 2	
Raio 7 furo placa 3	0,5

4.2.1. Resultados da Deposicao Indesejada nas Paredes do Impactador

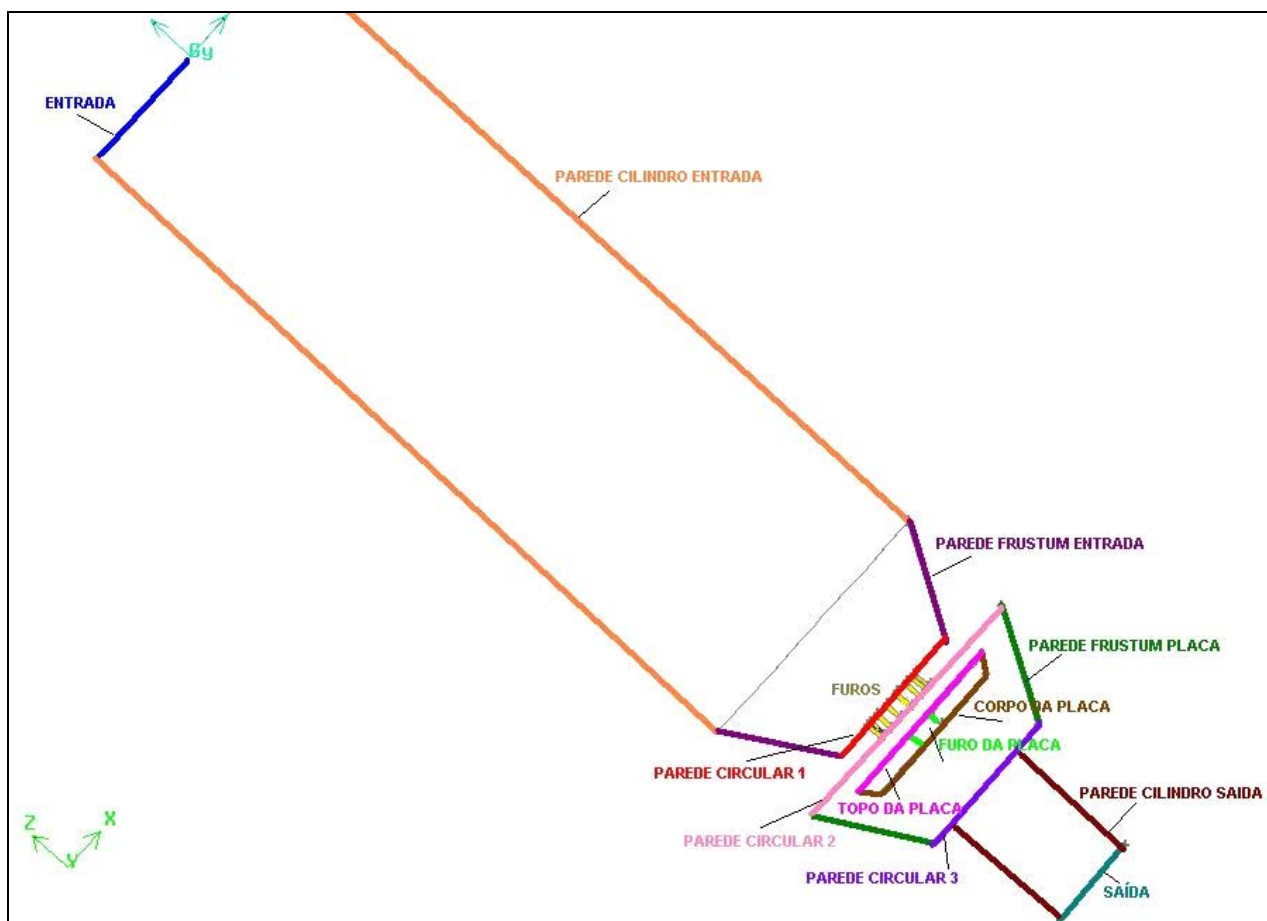


Figura 15. Nome e localização das paredes do impactador

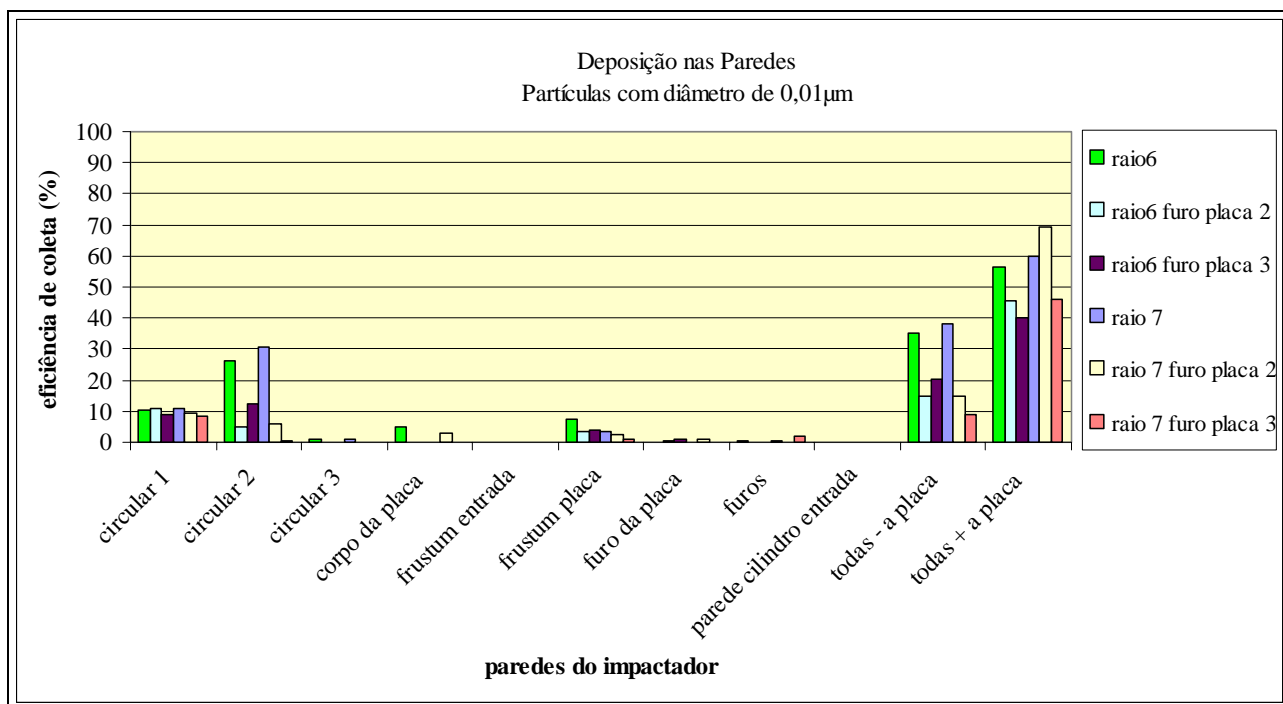


Figura. Eficiência de coleta nas paredes ao longo dos arranjos para partículas com dp de $0,01\mu\text{m}$.

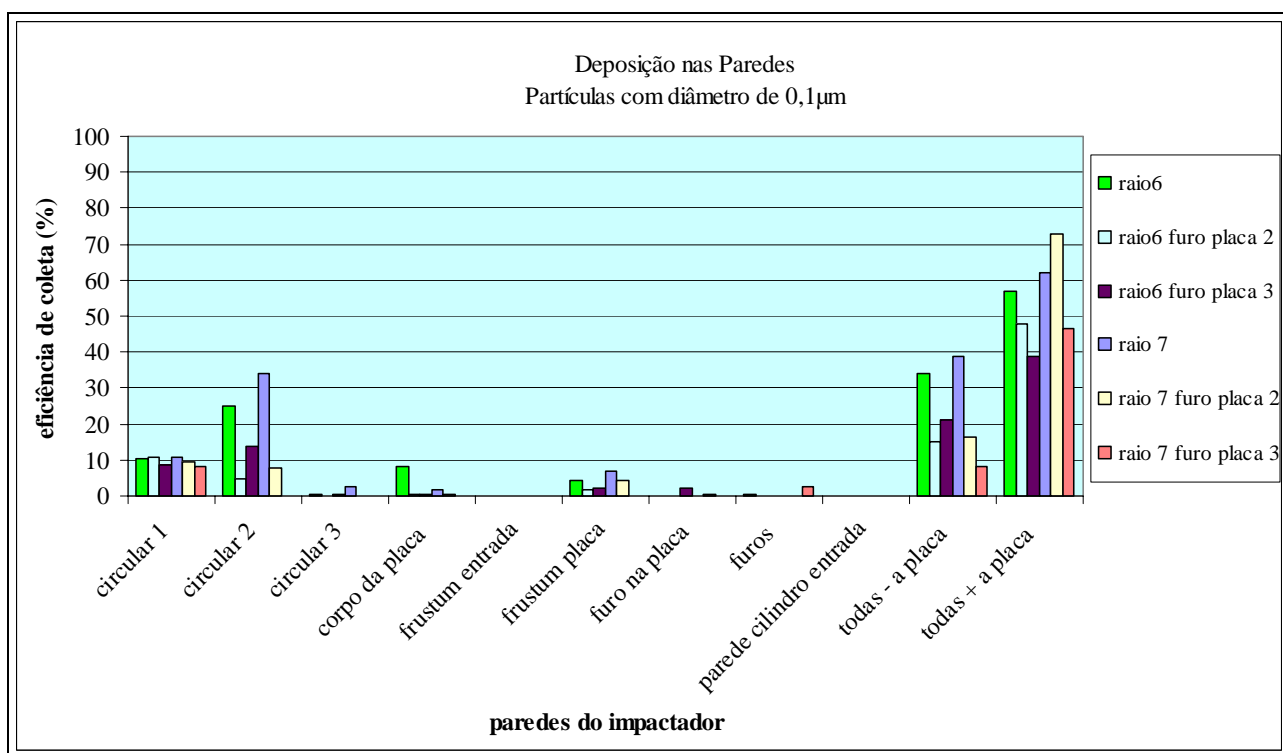


Figura. Eficiência de coleta nas paredes ao longo dos arranjos para partículas com dp de $0,1\mu\text{m}$.

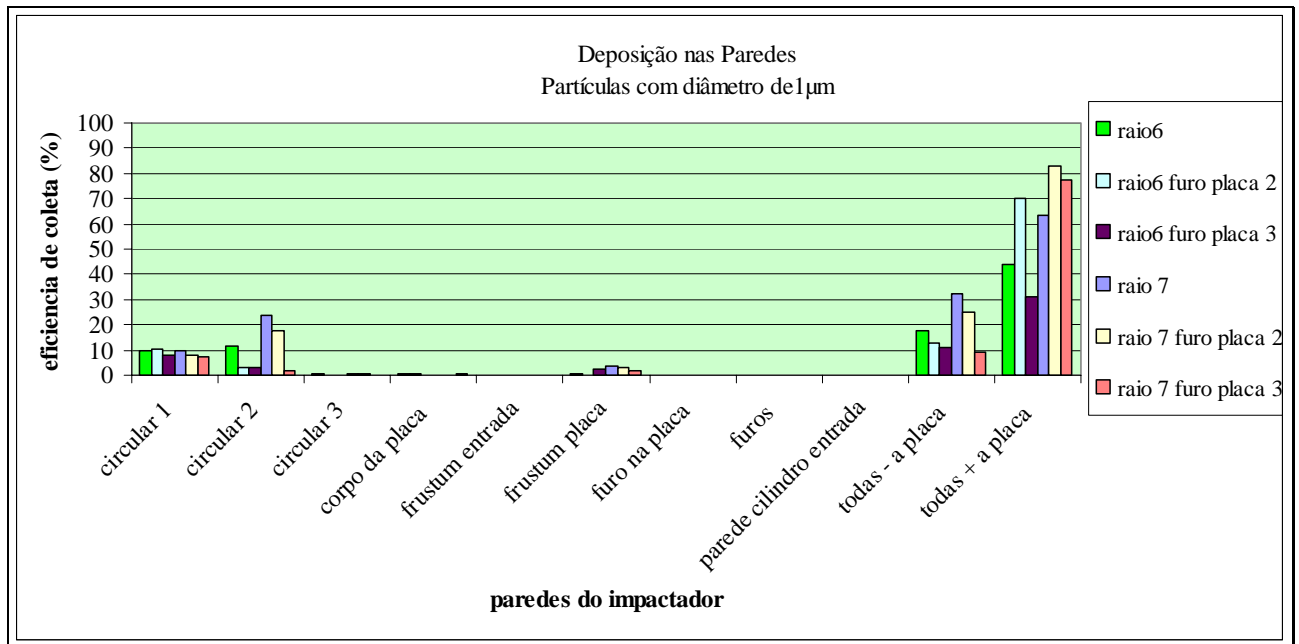


Figura. Eficiência de coleta nas paredes ao longo dos arranjos para partículas com dp de 1 μ m.

Podemos ver que na parede circular 1 o valor foi constante para todas as geometrias. Já na parede circular 2 onde há a maior recirculação, é possível ver que o furo na placa de impactação melhorou consideravelmente a deposição de partículas nessa parede.

As últimas colunas correspondem à deposição em todas as paredes com exceção da placa de impactação e em todas as paredes considerando a placa de impactação.

6. Discussão dos Resultados

De forma a tentarmos descobrir porque as partículas de tamanho menor que 1 μ m estavam impactando na placa fizemos as seguintes simplificações: diminuição do cilindro de entrada, substituição dos 14 furos por um único furo e desenho do impactador em 2D.

6.1. Simplificação do terceiro estágio do impactador

Neste teste reduzimos o comprimento do cilindro de entrada do impactador de forma a reduzir os volumes de controle e conseguirmos refinar ainda mais a malha gerada de forma a conseguirmos entender melhor o mecanismo do escoamento (Figura). Além disso com uma menor quantidade de volumes de controle conseguiremos refinar mais o modelo de trajetória das partículas.

Além disso, substituímos os 14 furos por um único furo de forma a simplificar também as zonas de recirculação que acontecem em cima da placa de impactação.

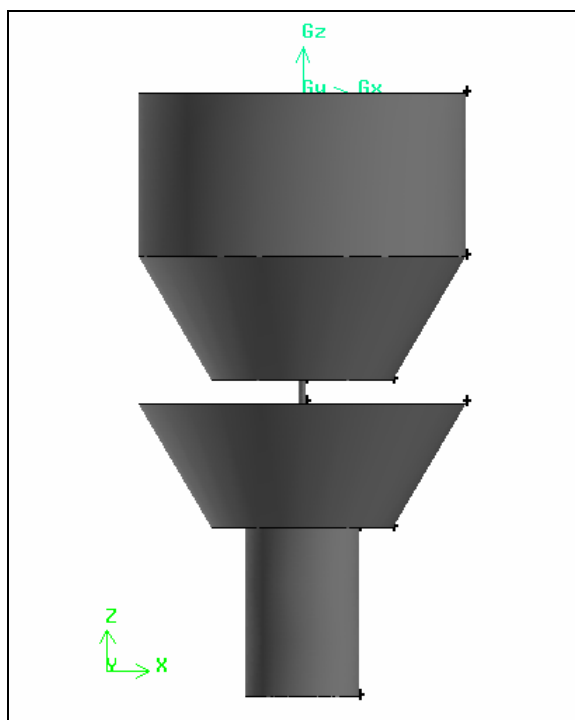


Figura. Cotoco.

6.1.1. Dimensões do cotoco

As dimensões do cotoco seguem as dimensões do terceiro estágio do impactador inercial sendo as únicas mudanças a diminuição da altura do cilindro de entrada e a substituição dos 14 furos por um único furo.

Tabela. Dimensões do Cotoco

dimensões corpo cilindro entrada	diâmetro (mm)	58
	altura (mm)	29
dimensões furos	Número de furos	1
	diâmetro dos furos (mm)	1
	altura (mm)	4
dimensões frustum entrada	diâmetro de entrada (mm)	58
	diâmetro de saída (mm)	32
	altura do afunilamento (mm)	22
dimensões frustum que contém a placa	diâmetro de entrada (mm)	58
	diâmetro de saída (mm)	32
	altura do afunilamento (mm)	22
dimensões placa de impactação	diâmetro superior (mm)	37
	diâmetro inferior (mm)	33

	altura (mm)	3
	distância do escoamento (mm)	4
dimensões corpo cilindro saída	diâmetro (mm)	20
	altura (mm)	30

6.1.2. Confeção da malha

Para esta simulação utilizamos uma nova malha mais refinada de forma a compararmos os resultados deste arranjo simplificado com os dados que obtivemos nos testes anteriores e criamos uma nova malha mais refinada para comparação dos resultados.

Tabela. Dados de entrada da malha criada

Nome da malha	Face		Volume
	Int size		Int size
malha comb 1	furos	0,0002	0,001
	furo placa	0,0004	
	corpo da placa	0,0004	
	topo da placa	0,0004	
	cilindro saída	0,001	
	saída	0,001	
	circulo3	0,0004	
	cilindro 2	0,0004	
	frustum placa	0,0004	
	frustum entrada	0,001	
	circulo 1	0,0004	
	cilindro entrada	0,001	
	entrada	0,001	

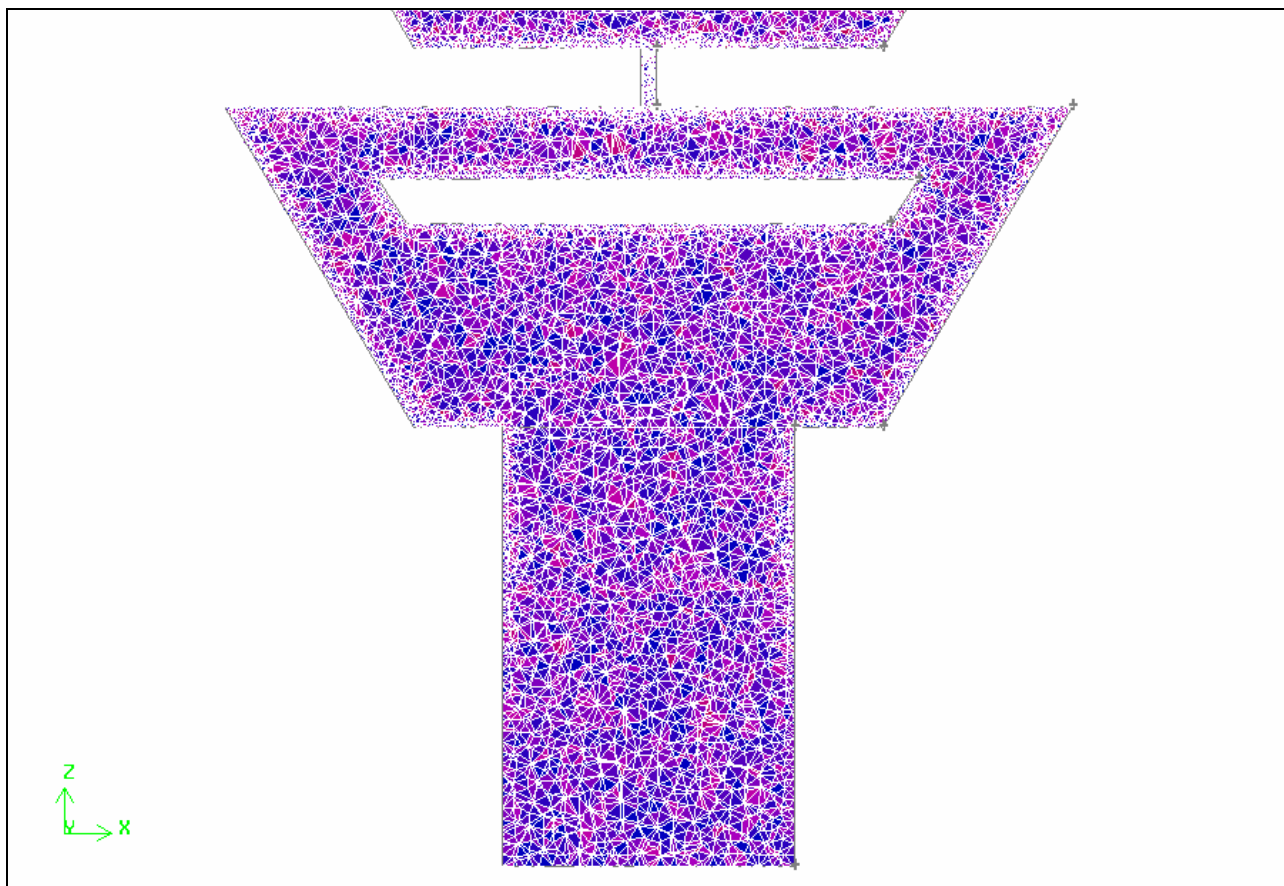


Figura. Análise visual da Malha comb 1 com 1682050 volumes de controle.

6.1.3. Resultado do escoamento ao longo do cotoco

Já que nós substituímos os 14 furos por um único furo tivemos que mudar o valor da velocidade de entrada para que a vazão permanecesse constante e a velocidade do único furo fosse igual a de cada um dos 14 furos.

A nova velocidade de entrada que calculamos foi de 0.0135m/s.

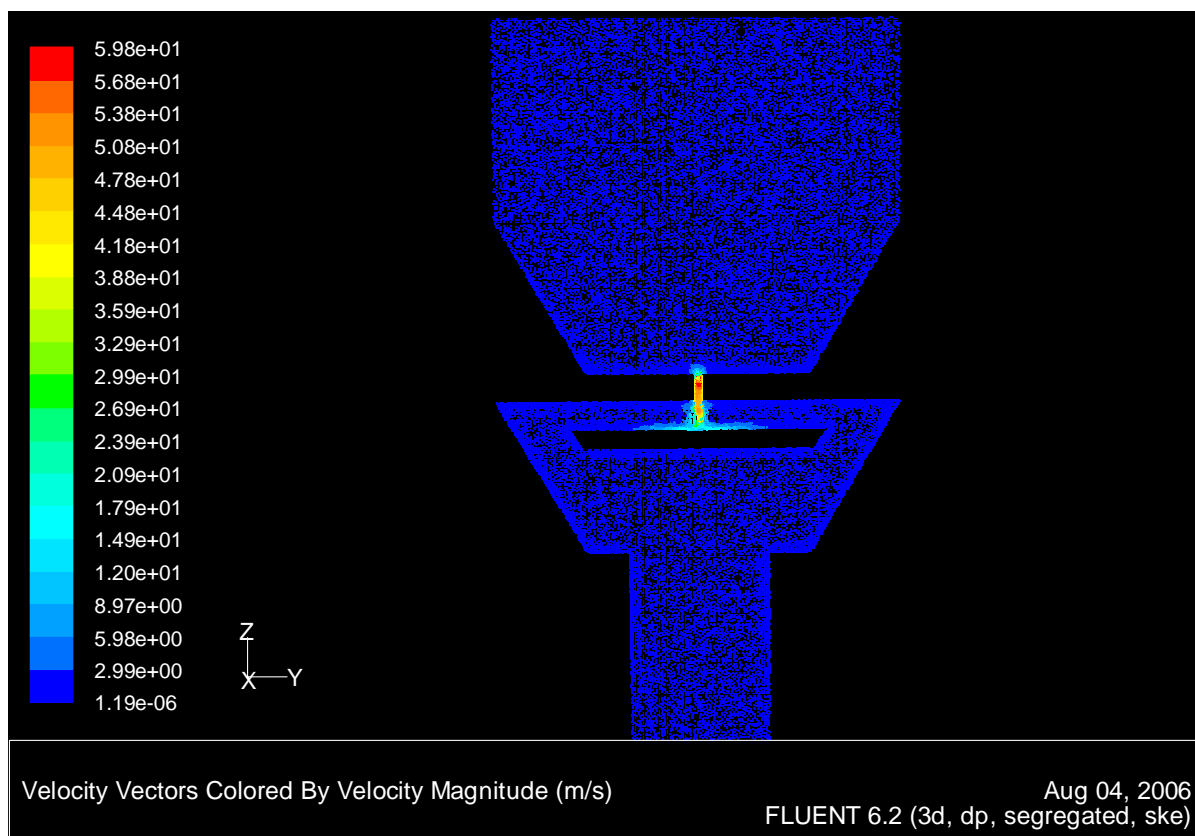


Figura. Vetores velocidade ao longo do cotoco – malha comb1 com 1682050 volumes de controle

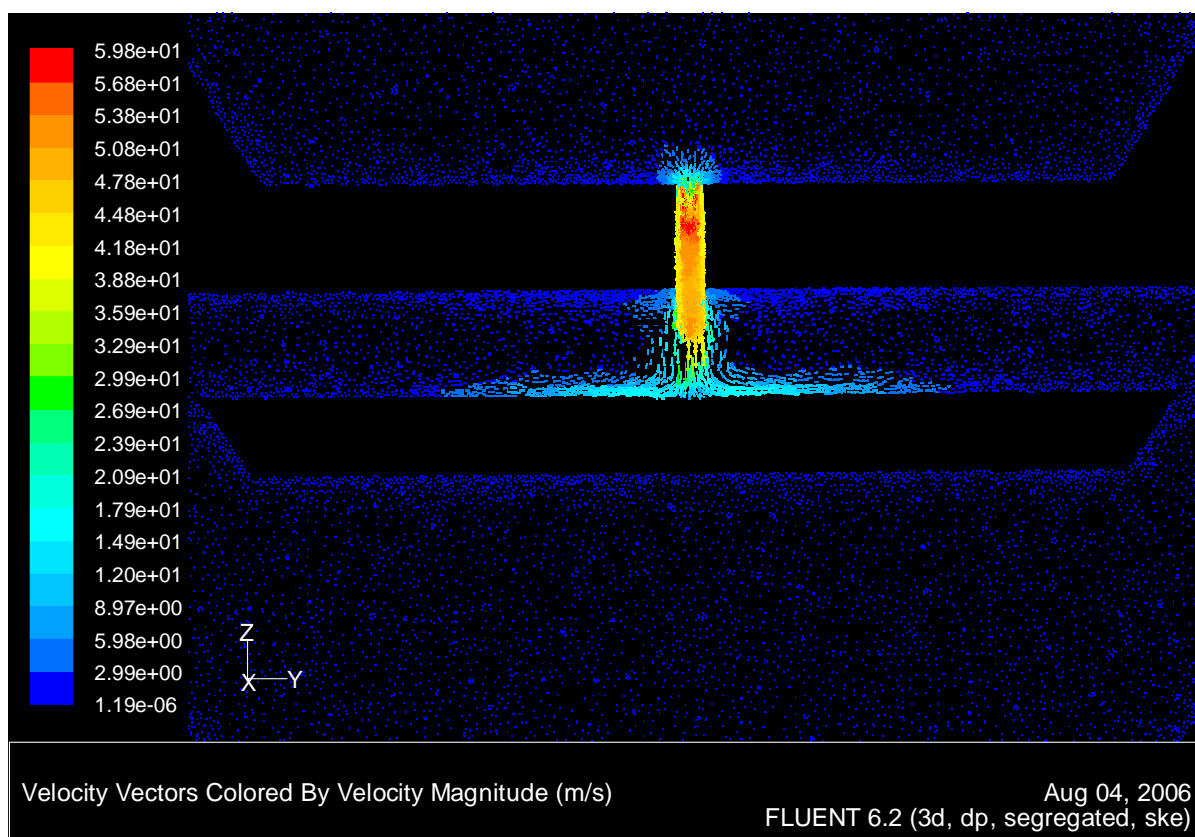


Figura. Vetores velocidade na região da placa de impactação – malha comb1 com 1682050 volumes de controle

6.1.4. Perfis de velocidade ao longo do cotoco

Tabela. Coordenadas dos planos de avaliação das velocidades ao longo do cotoco.

nome	coordenadas	
	ponto 1	ponto 2
meio da entrada	(-0,029,0.-0,0145)	(0,029,0.-0,0145)
meio do furo	(-0,029,0.-0,053)	(0,029,0.-0,053)
acima da placa 3mm	(-0,029,0.-0,056)	(0,029,0.-0,056)
acima da placa 2mm	(-0,029,0.-0,057)	(0,029,0.-0,057)
acima da placa 1mm	(-0,029,0.-0,058)	(0,029,0.-0,058)
acima da placa 0,5mm	(-0,029,0.-0,0585)	(0,029,0.-0,0585)
acima da placa 0,1mm	(-0,029,0.-0,0589)	(0,029,0.-0,0589)
abaixo da placa	(-0,029,0.-0,065)	(0,029,0.-0,065)
meio da saída	(-0,029,0.-0,127)	(0,029,0.-0,127)

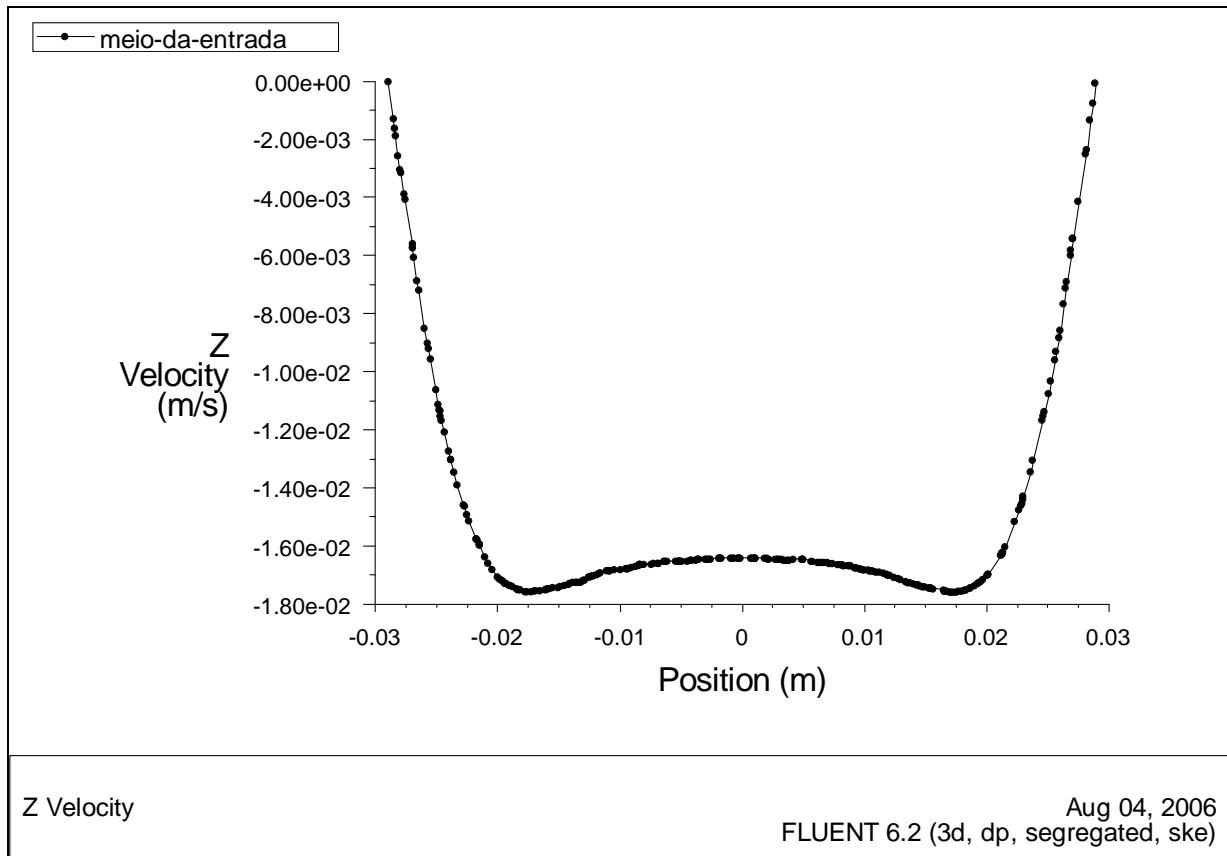


Figura. Perfil da velocidade na direção Z no meio da entrada do cotoco.

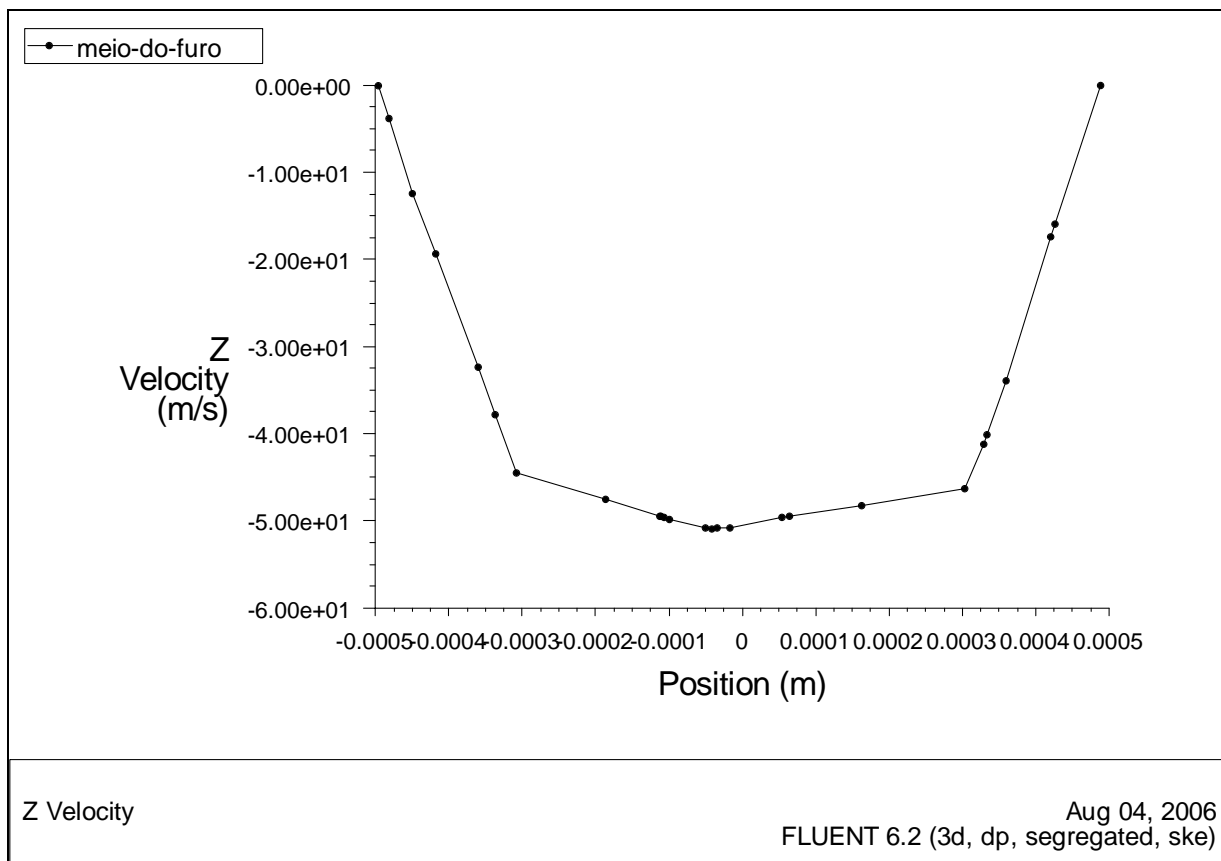


Figura. Perfil da velocidade na direção Z no meio do furo do cotoco.

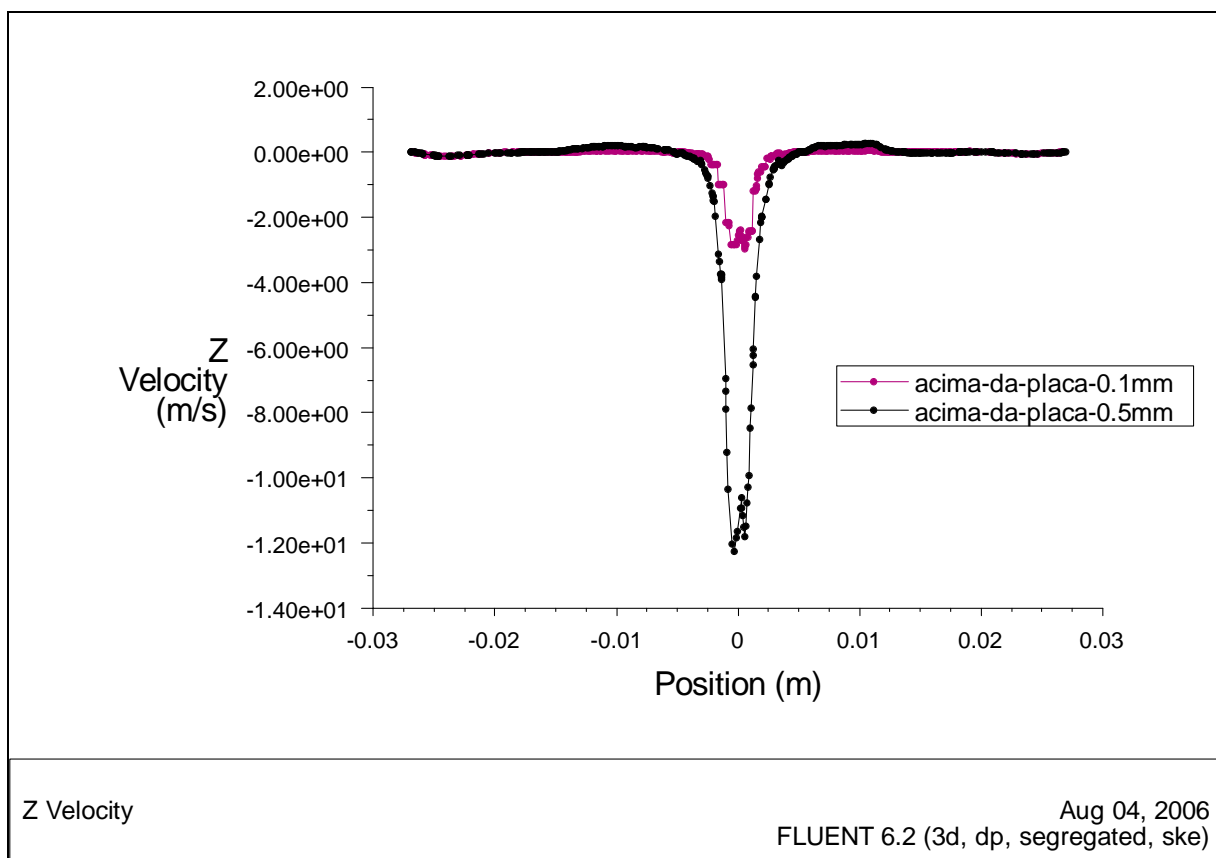


Figura. Perfil da velocidade na direção Z a 0,1mm e 0,5mm acima da placa de impactação.

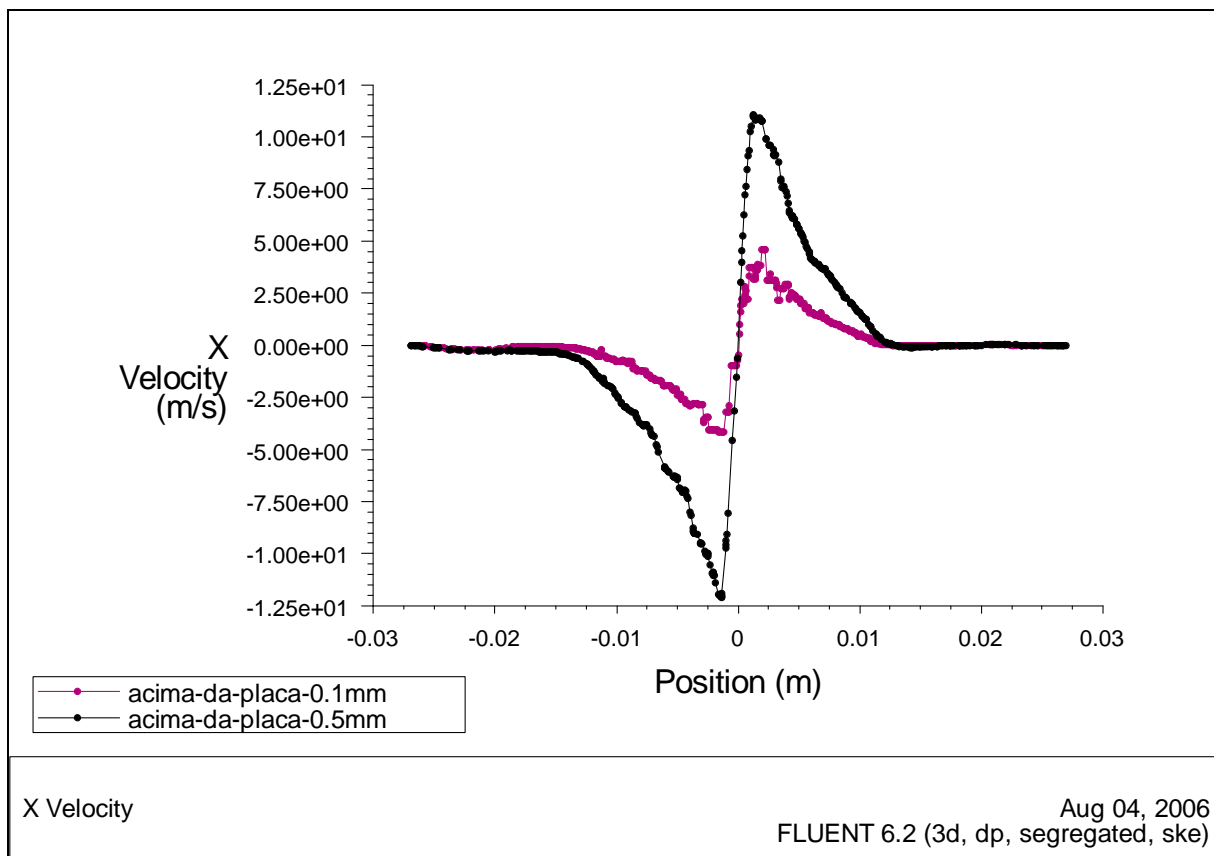


Figura. Perfil da velocidade na direção X a 0,1mm e 0,5mm acima da placa de impactação.

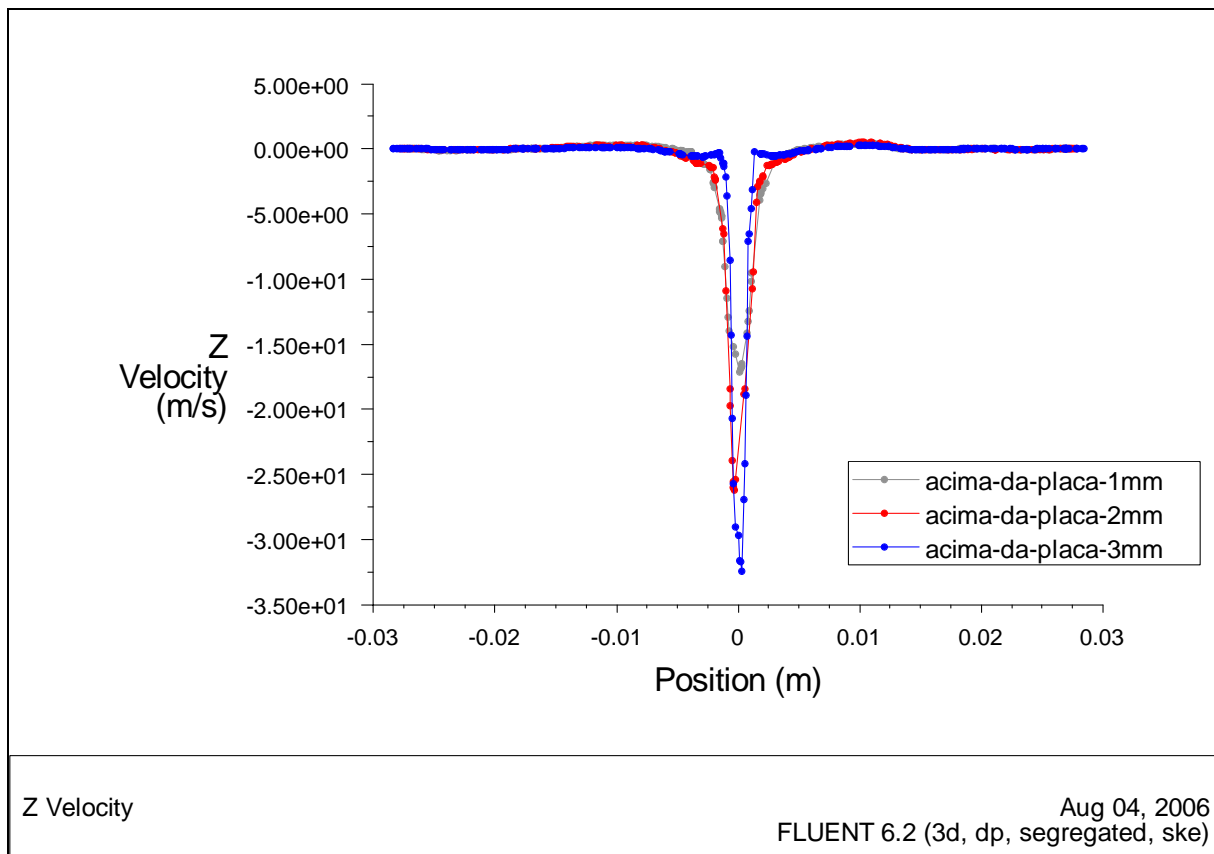


Figura. Perfil da velocidade na direção Z a 1mm, 2mm e 3mm acima da placa de impactação.

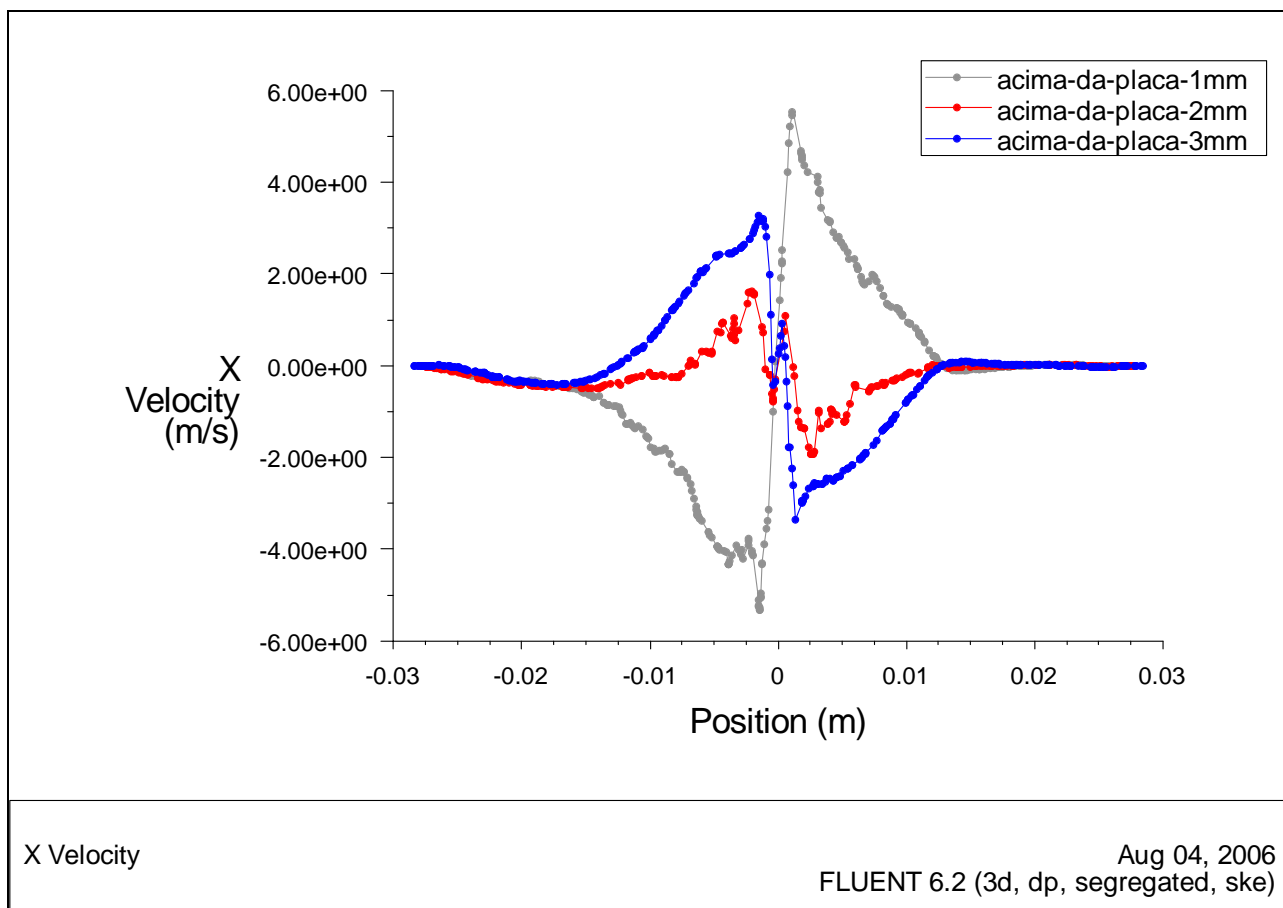


Figura. Perfil da velocidade na direção X a 1mm, 2mm e 3mm acima da placa de impactação.

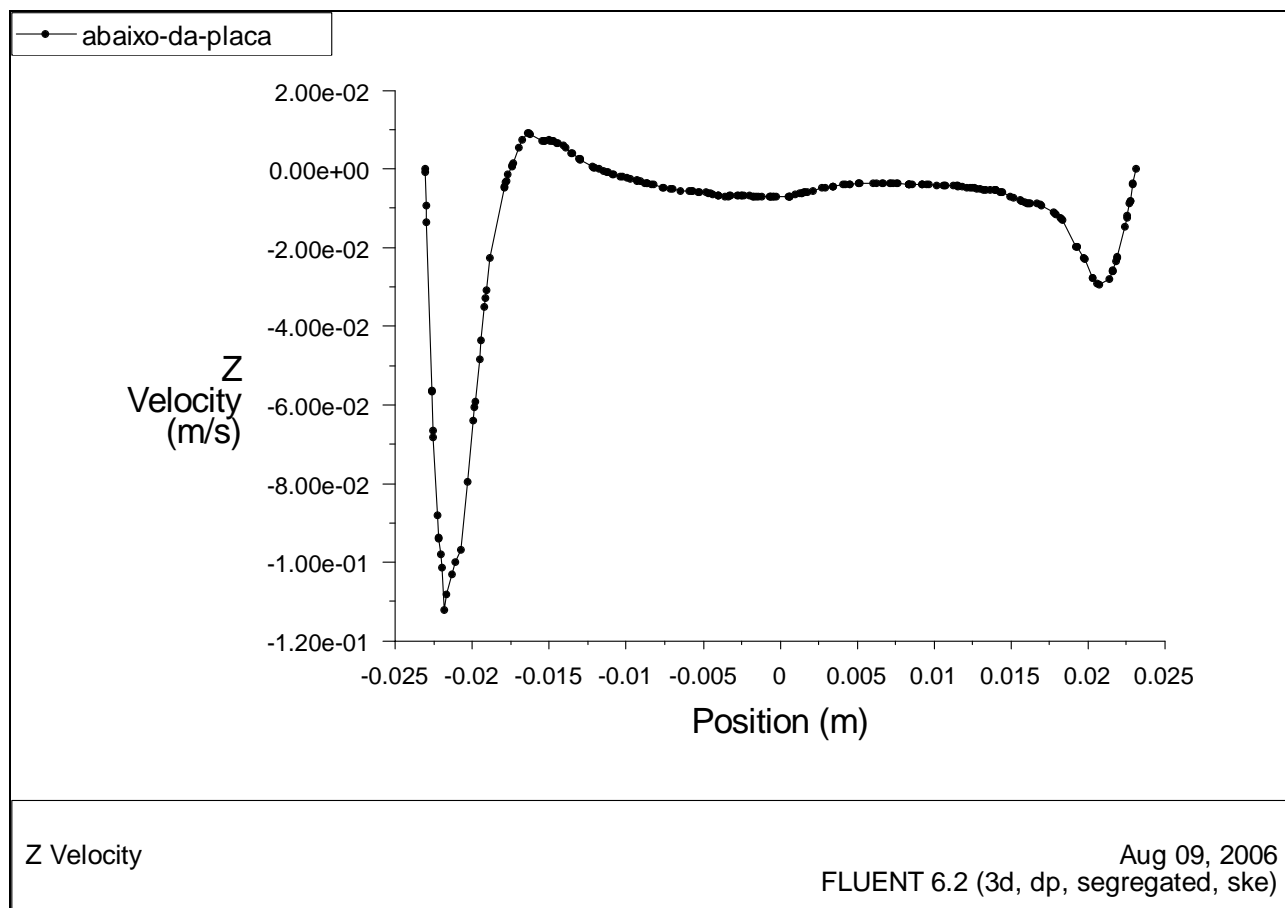


Figura. Perfil da velocidade na direção Z abaixo da placa de impactação

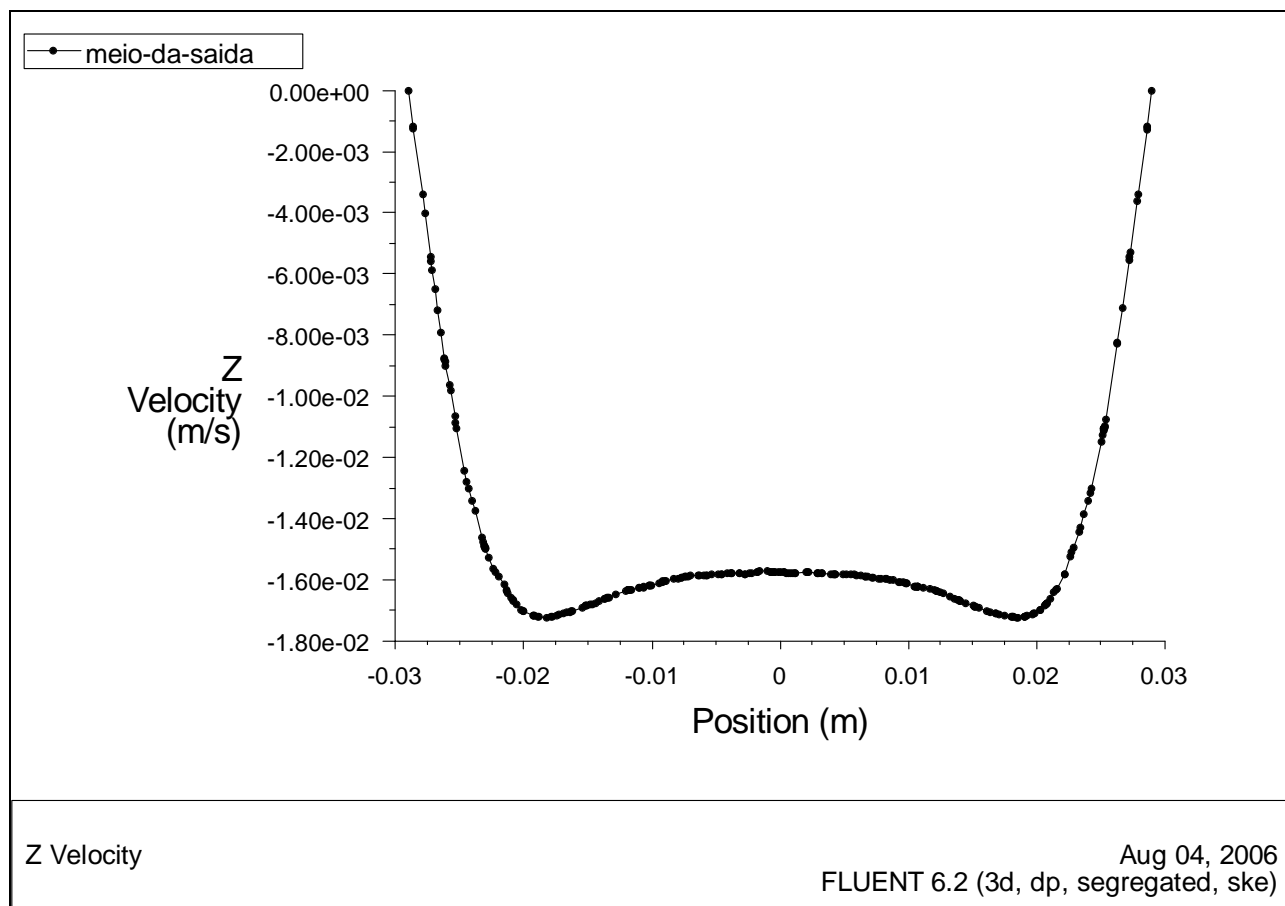


Figura. Perfil da velocidade na direção Z no meio da saída.

6.1.5. Resultados das trajetórias das partículas

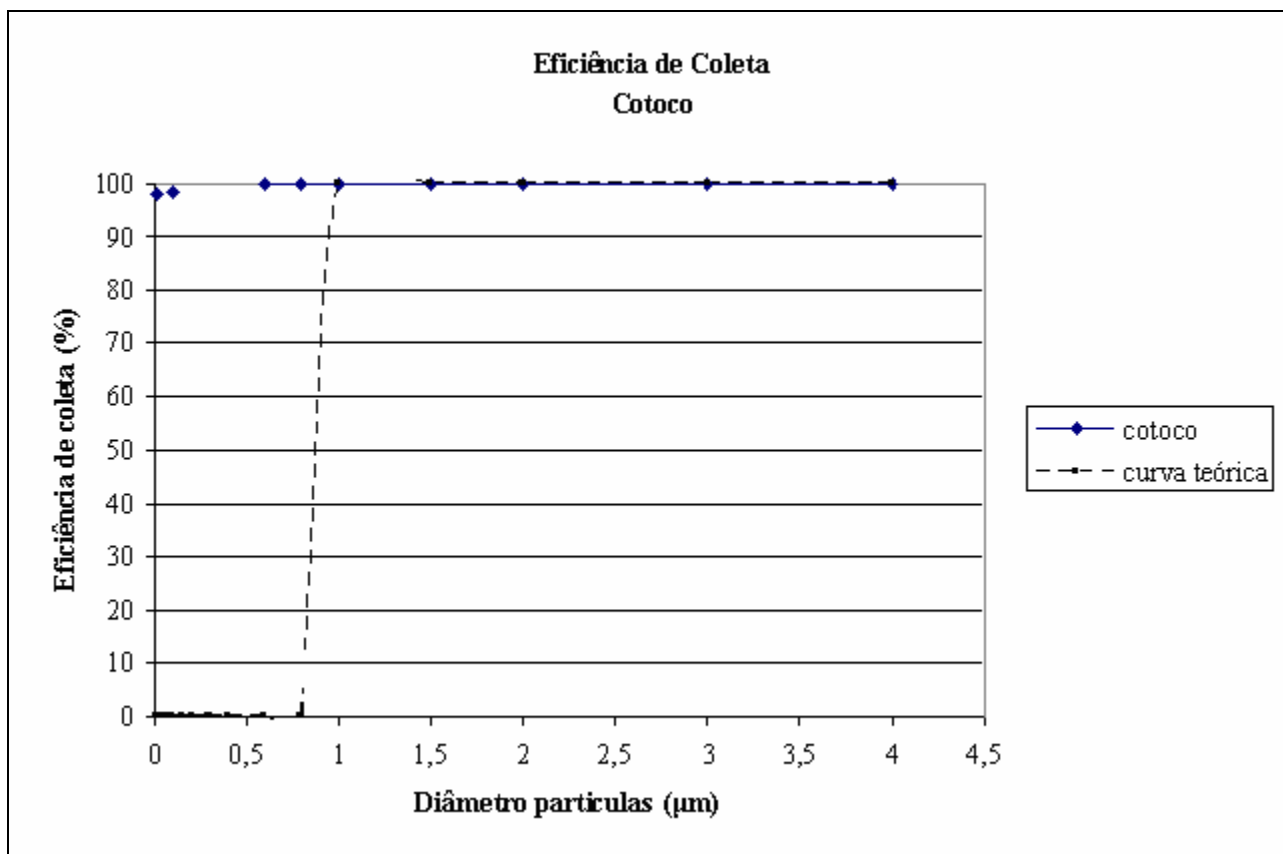


Figura. Curva de eficiência de coleta do cotoco.

3.3 Simulação em 2D

Para esta última simulação quisemos nos focar ainda mais no escoamento na área da placa de impactação e tentar entender melhor o seu mecanismo. Para isto fizemos o cotoco em 2D de forma a conseguirmos refinar muito a malha e ter um custo computacional muito baixo.

Tabela. Dimensões do cotoco 2D.

dimensões corpo cilindro entrada	diâmetro (mm)	58
	altura (mm)	29
dimensões furos	Número de furos	1
	diâmetro dos furos (mm)	1
	altura (mm)	4
dimensões frustum entrada	diâmetro de entrada (mm)	58
	diâmetro de saída (mm)	32
	altura do afunilamento (mm)	22
dimensões frustum que contém a placa	diâmetro de entrada (mm)	58
	diâmetro de saída (mm)	32

	altura do afunilamento (mm)	22
dimensões placa de impactação	diâmetro superior (mm)	37
	diâmetro inferior (mm)	33
	altura (mm)	3
	distância do escoamento (mm)	4
dimensões corpo cilindro saída	diâmetro (mm)	20
	altura (mm)	10

3.3.1. Confeção da malha

Para este teste, decidimos em usar a malha em formato QUAD por se adequar melhor ao desenho do cotoco em 2D. Os valores de entrada no Gambit de “int size” tanto para as linhas (edges) quanto para a superfície (face) para confeccionar a malha foi de 0.0001.

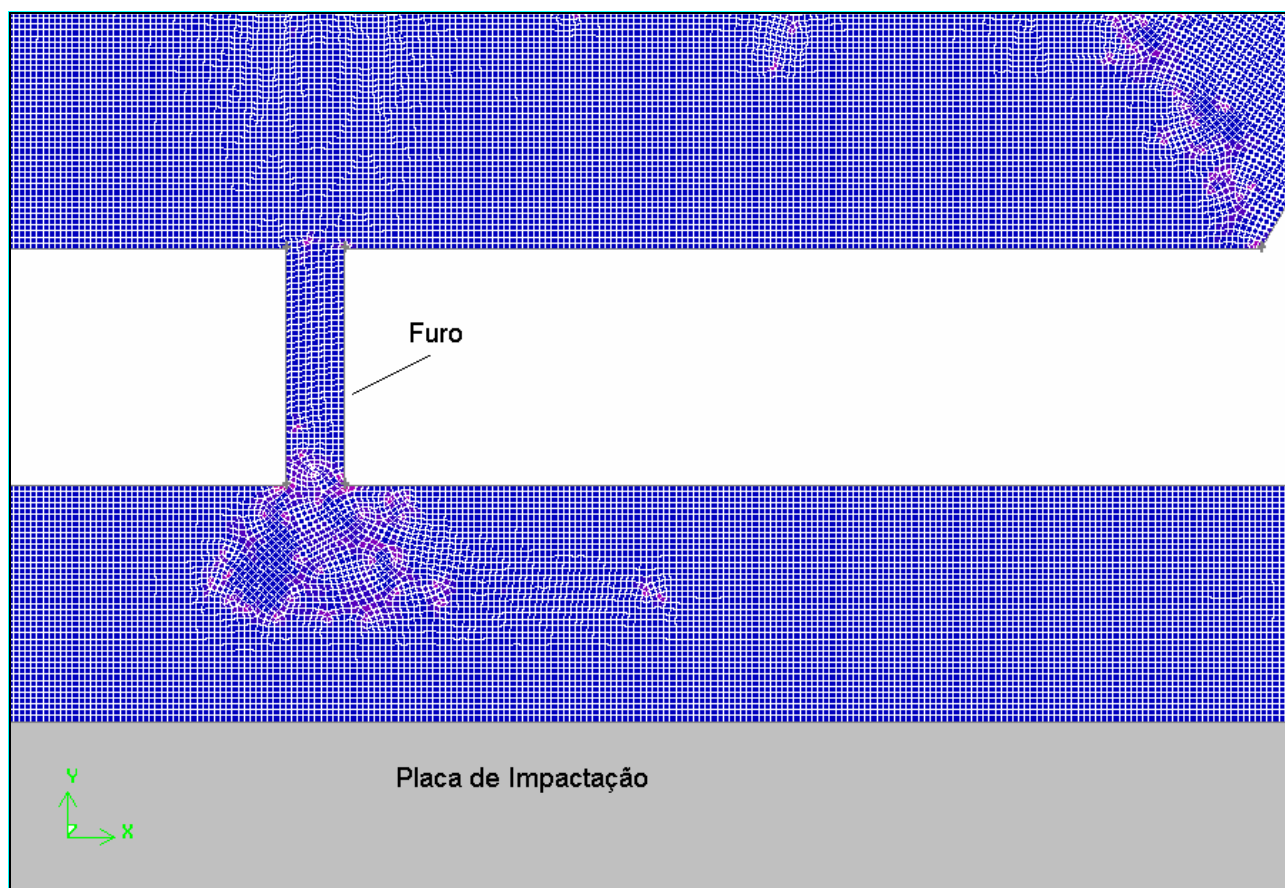


Figura. Análise Visual da malha 2d com 376009 volumes de controle no Gambit.

3.3.2. Resultado do escoamento ao longo do cotoco

Os dados de entrada no fluent para realizar esta simulação foram os mesmos dados usados na simulação do cotoco em 3D.

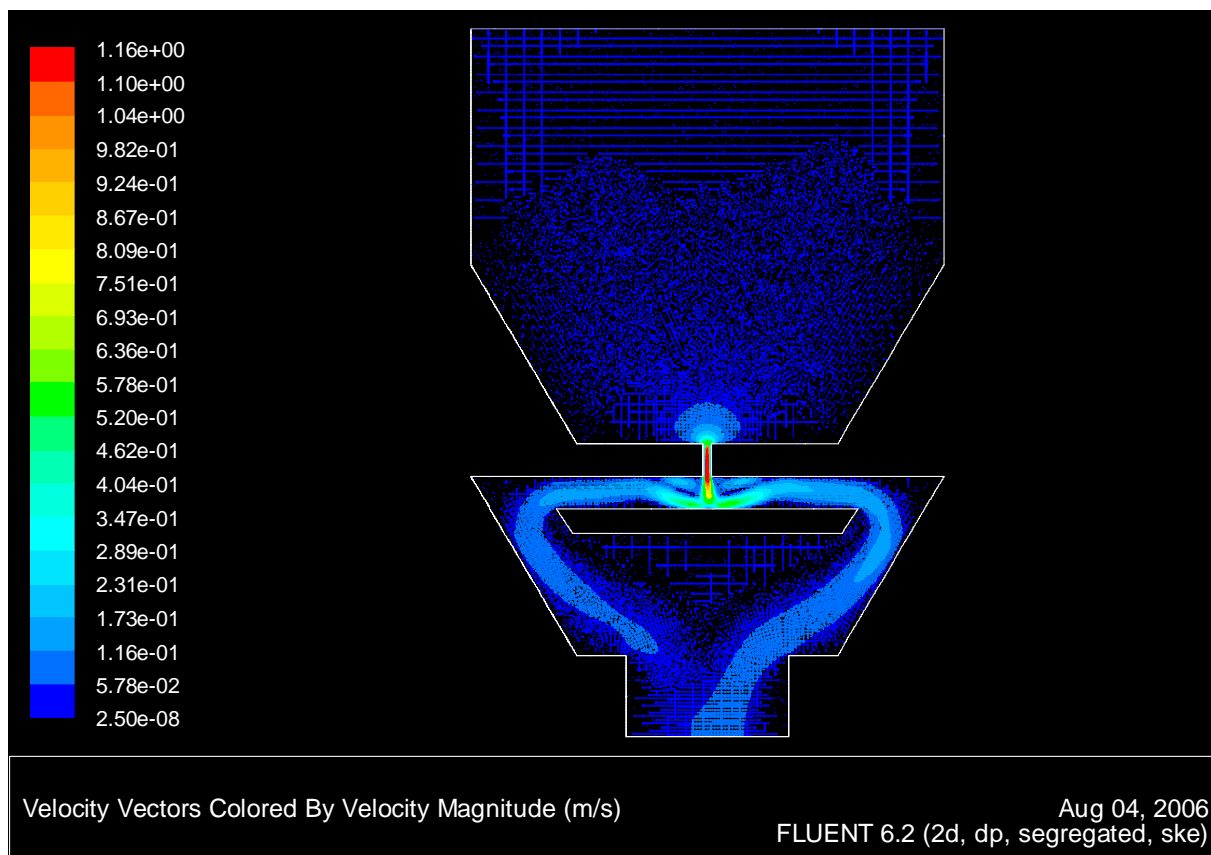


Figura. Vetores velocidade ao longo do cotoco 2D.

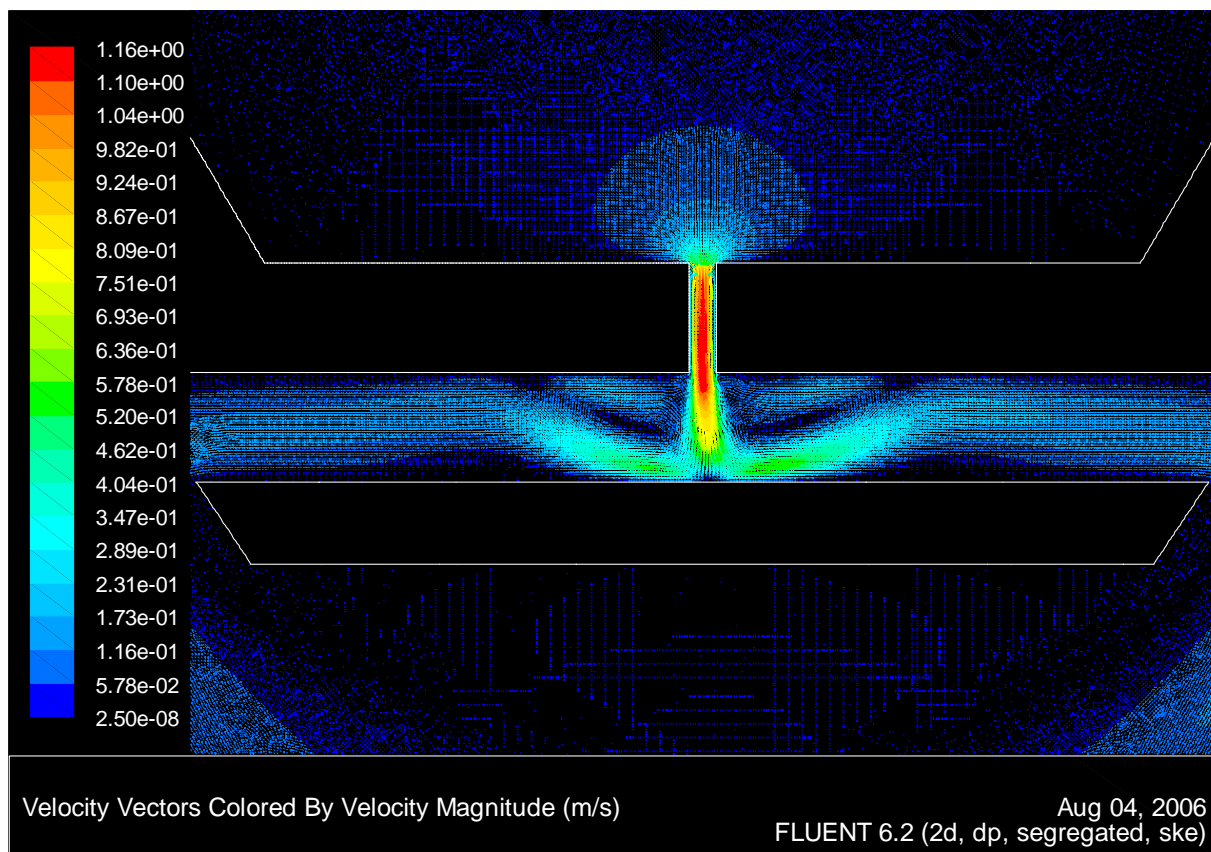


Figura. Vetores velocidade na região da placa de impactação do cotoco 2D.

3.3.3. Perfis de velocidade ao longo do cotoco

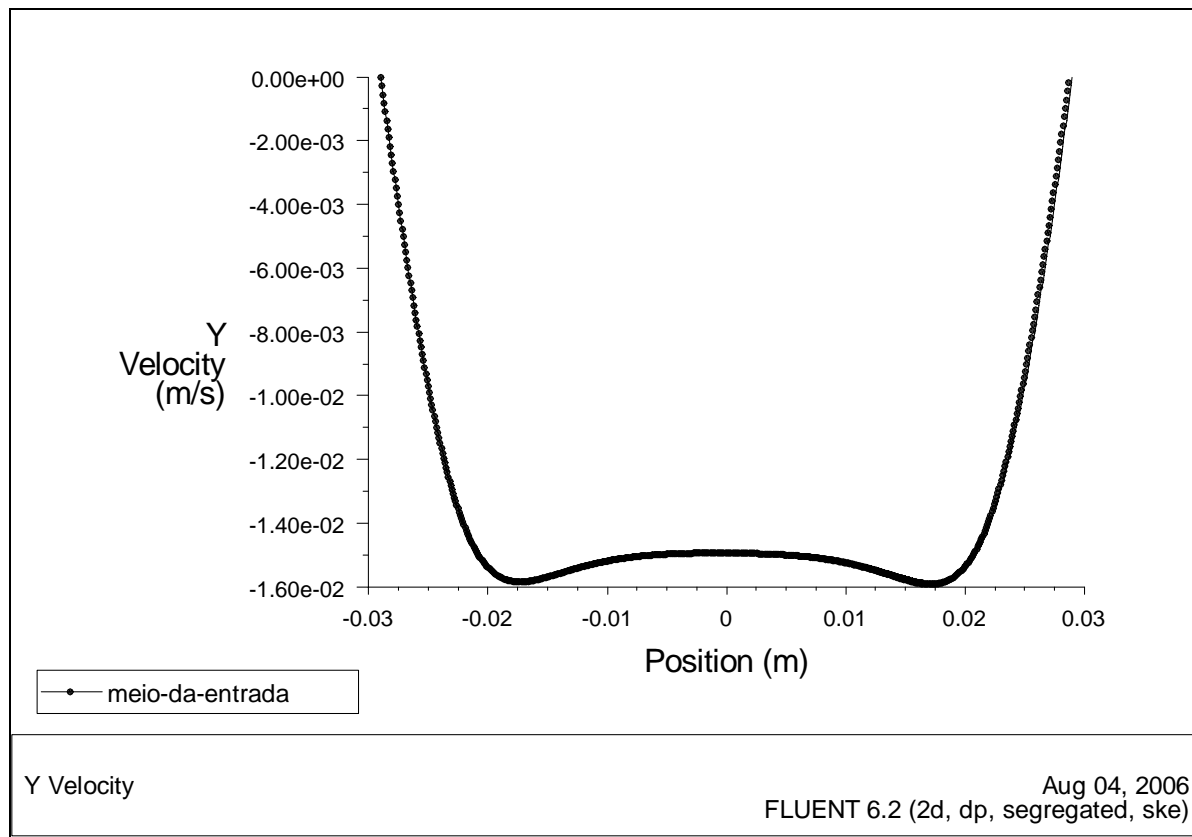


Figura. Perfil da velocidade na direção Y no meio da entrada.

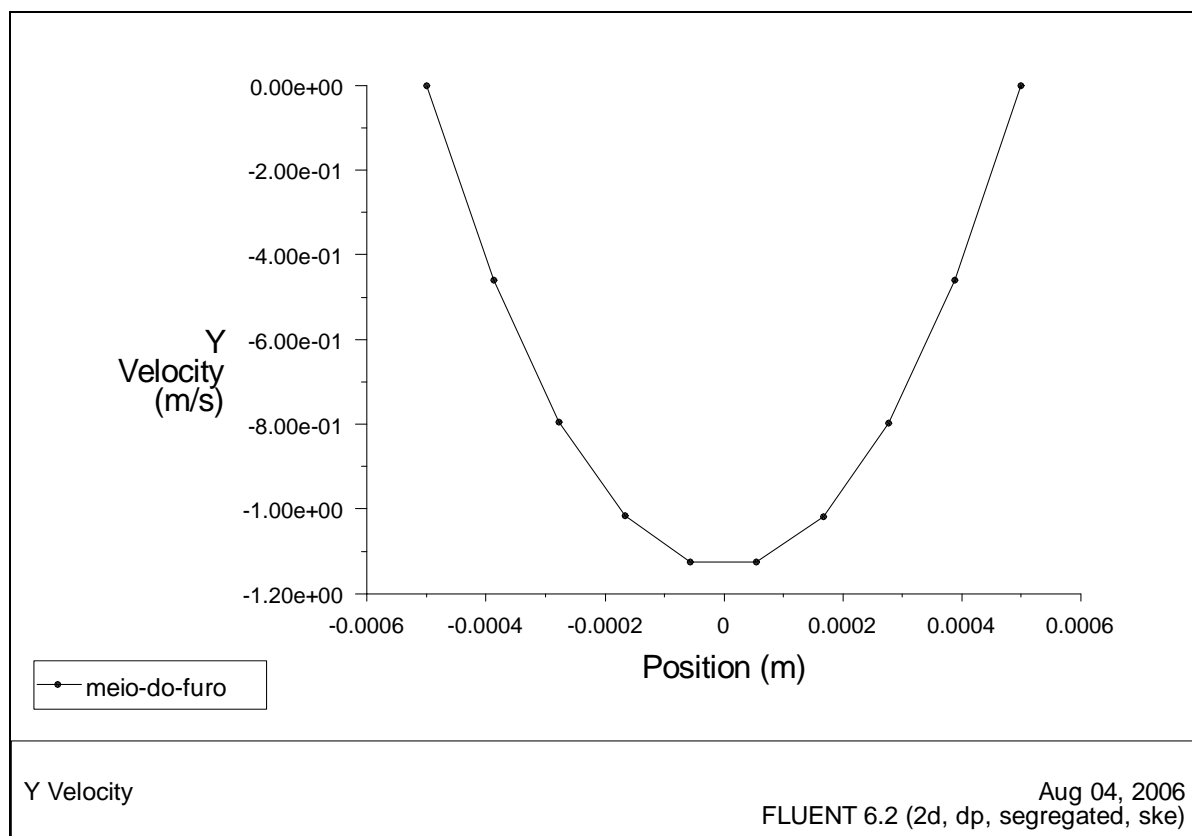


Figura. Perfil da velocidade na direção Y no meio do furo.

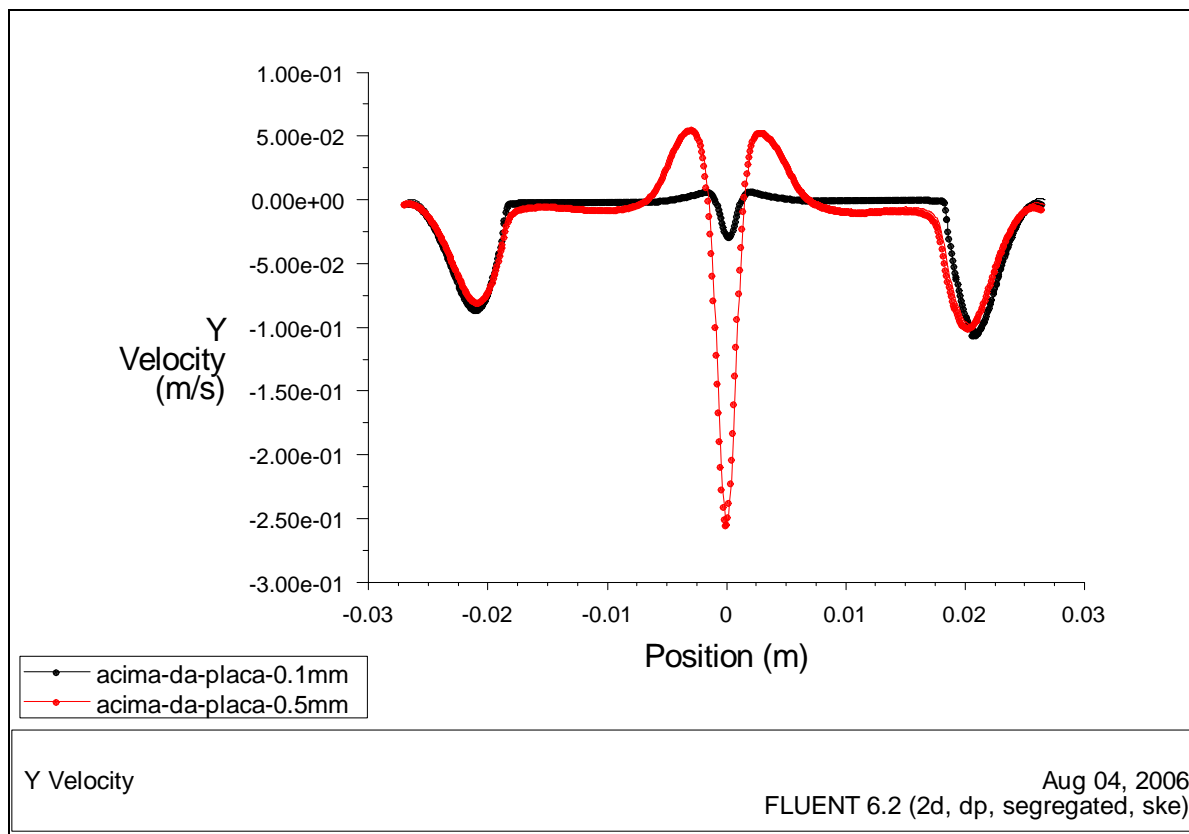


Figura. Perfil da velocidade na direção Y a 0,1mm e 0,5mm acima da placa de impactação.

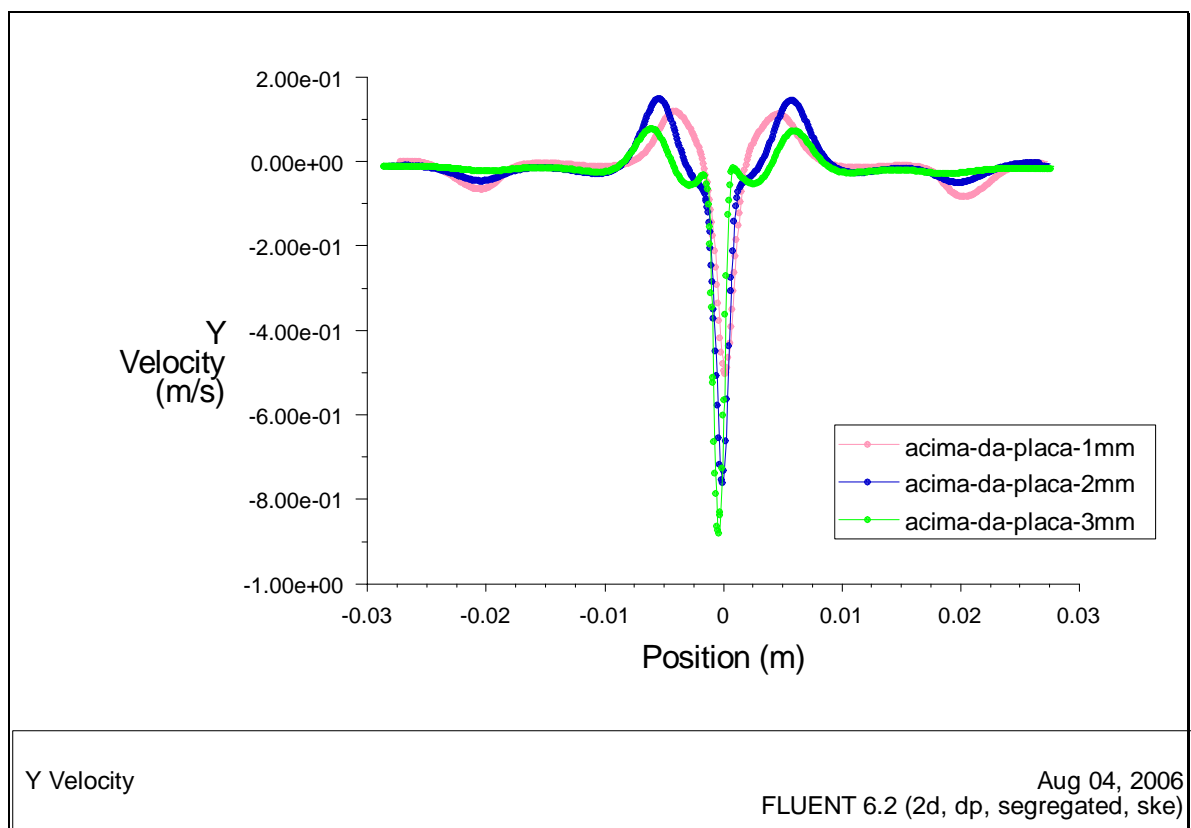


Figura. Perfil da velocidade na direção Y a 1mm, 2mm e 3mm acima da placa de impactação.

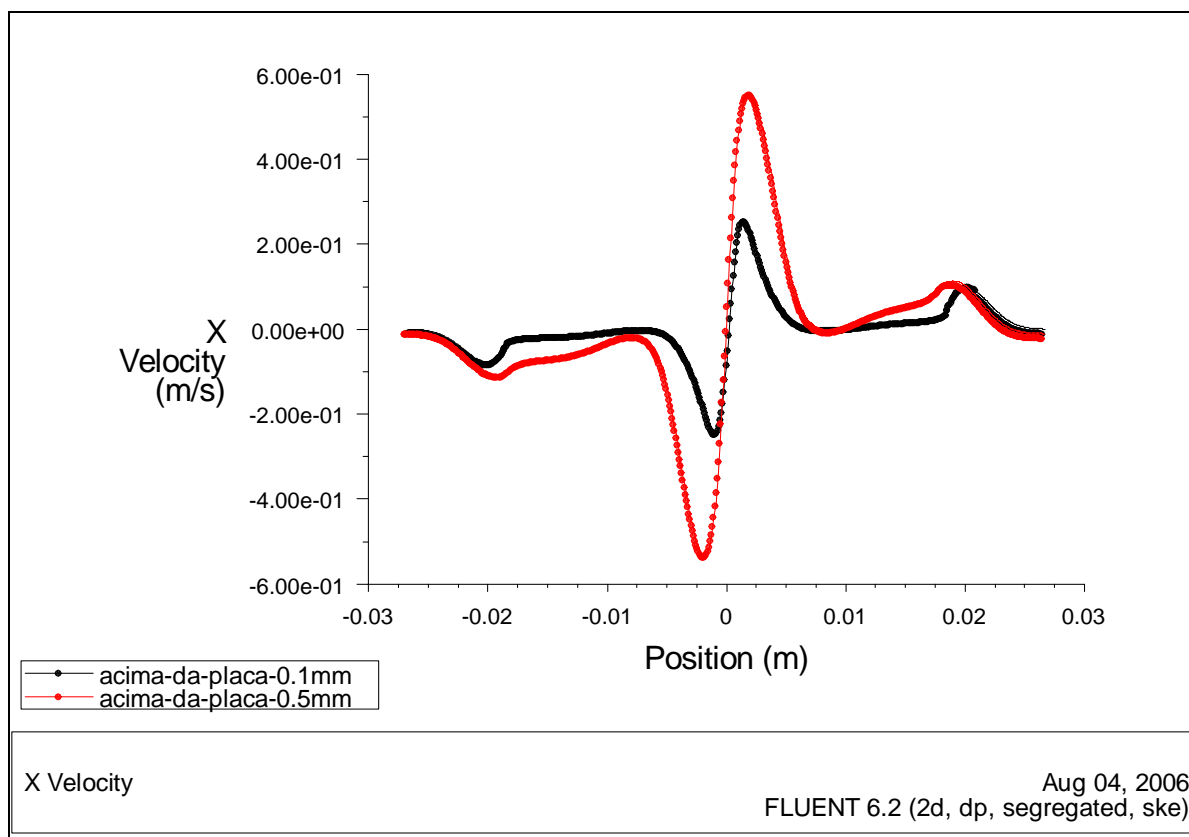


Figura. Perfil da velocidade na direção X a 0,1mm e 0,5mm acima da placa de impactação.

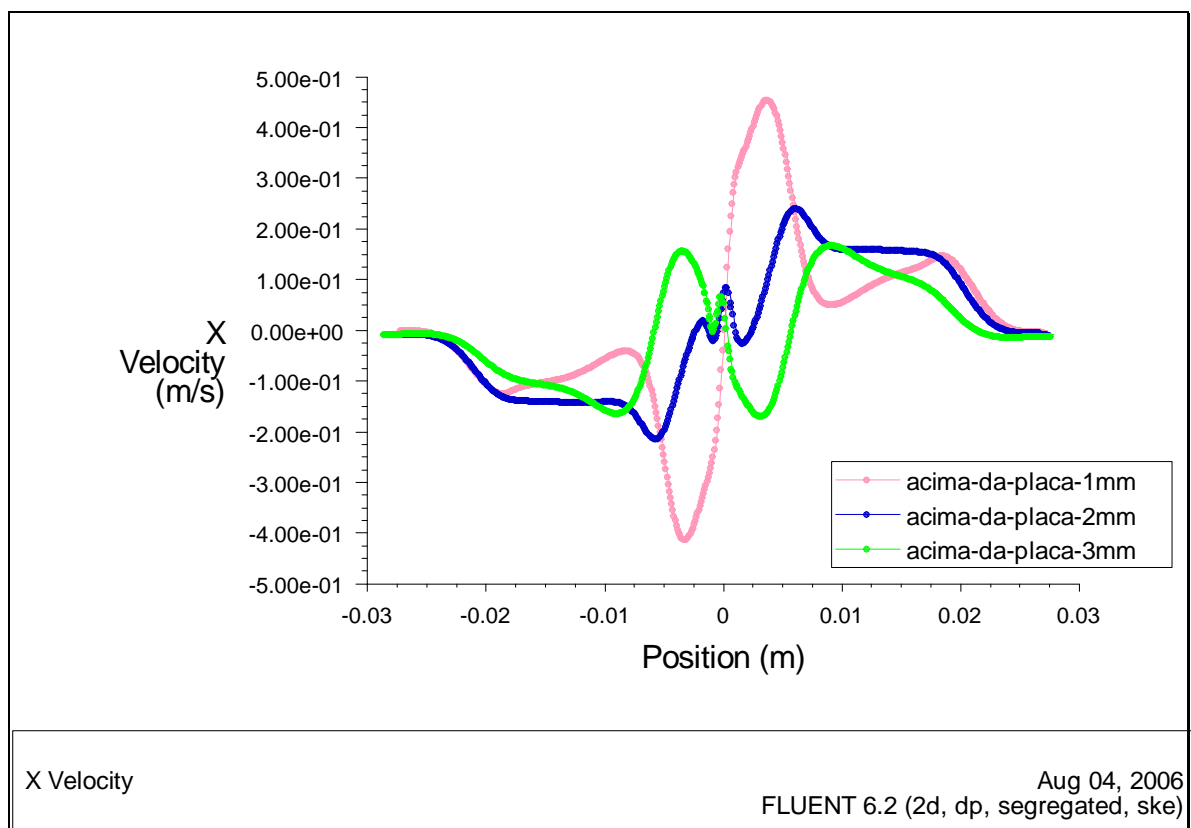


Figura. Perfil da velocidade na direção X a 1mm, 2mm e 3mm acima da placa de impactação.

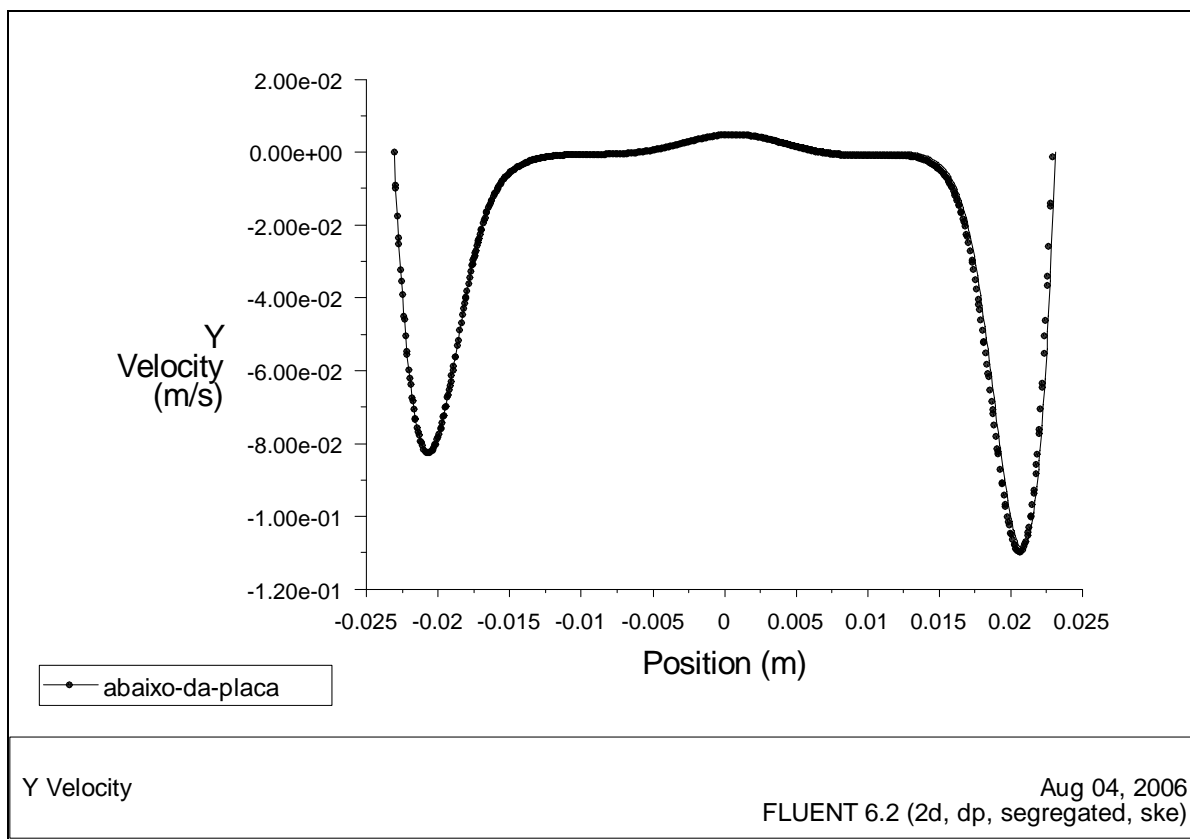


Figura. Perfil da velocidade na direção Y abaixo da placa de impactação.

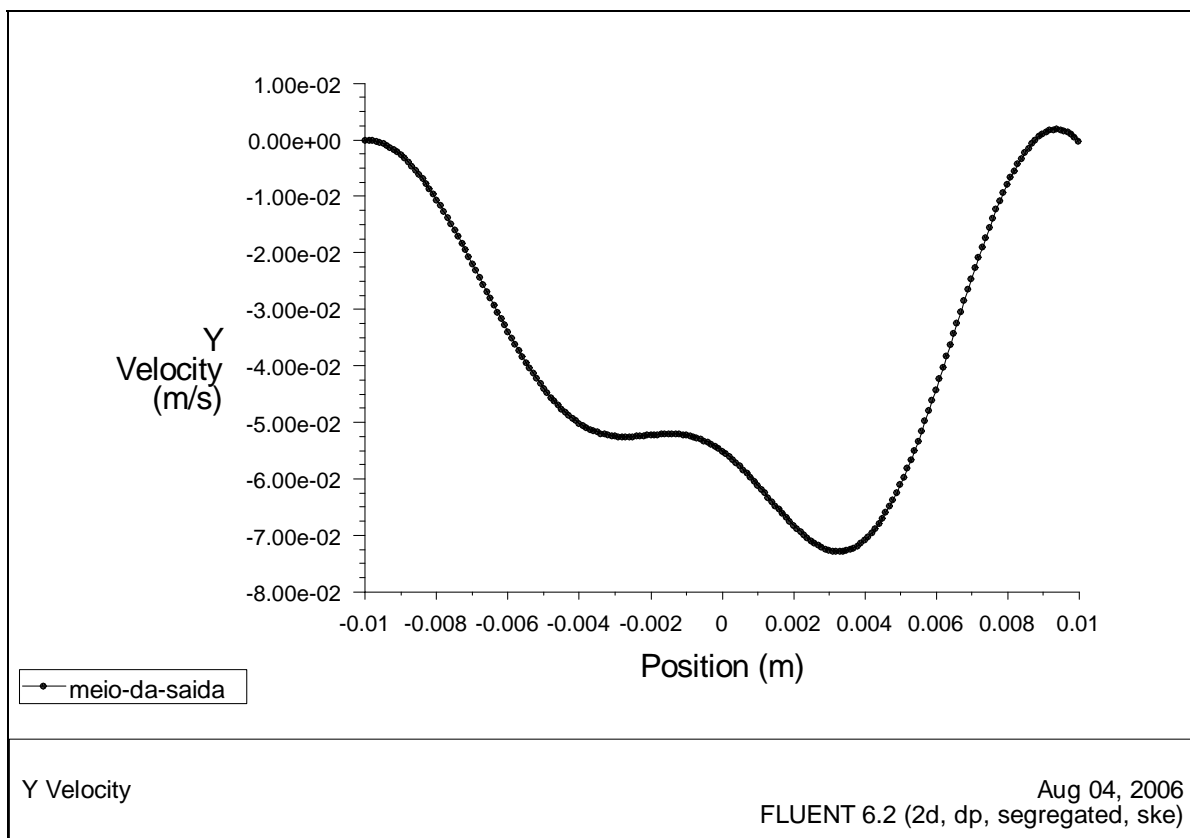


Figura. Perfil da velocidade na direção Y no meio da saída.

3.3.4. Resultados das trajetórias das partículas

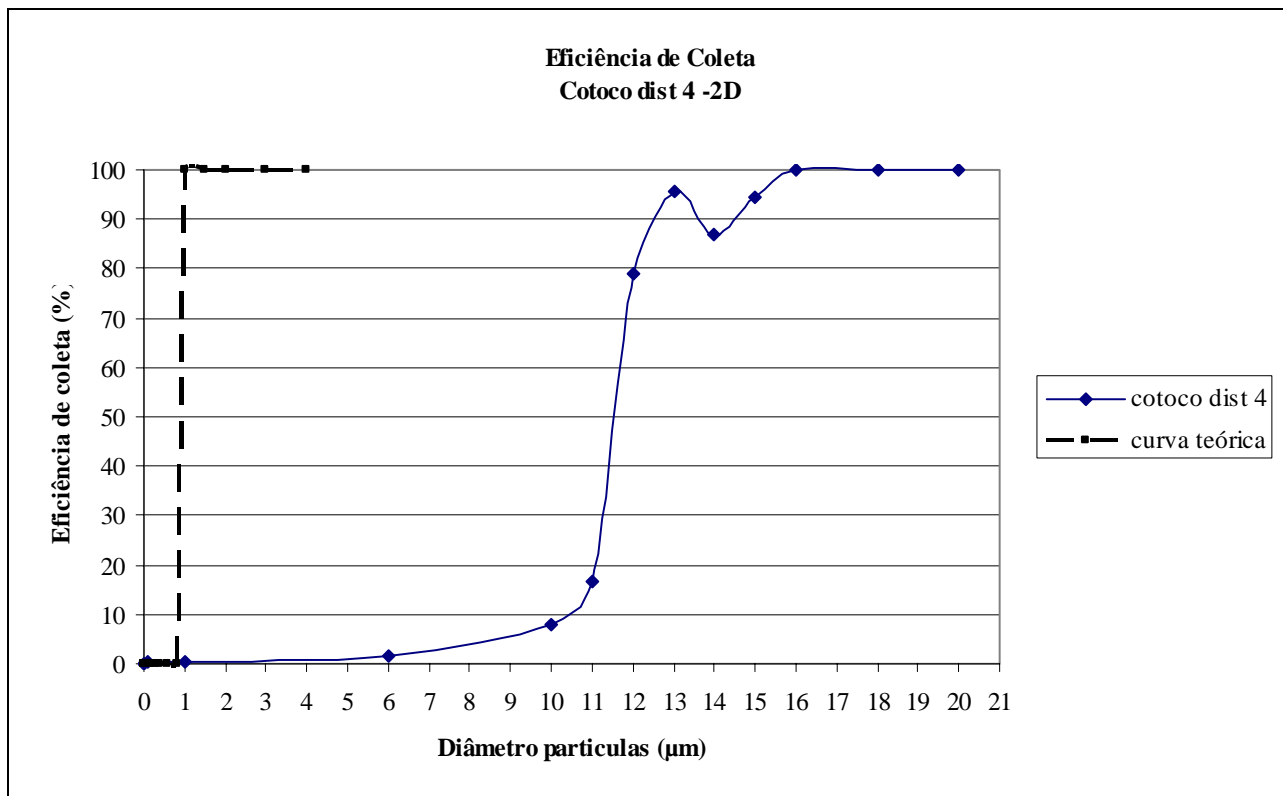


Figura. Curva de eficiência de coleta do cotoco 2D.

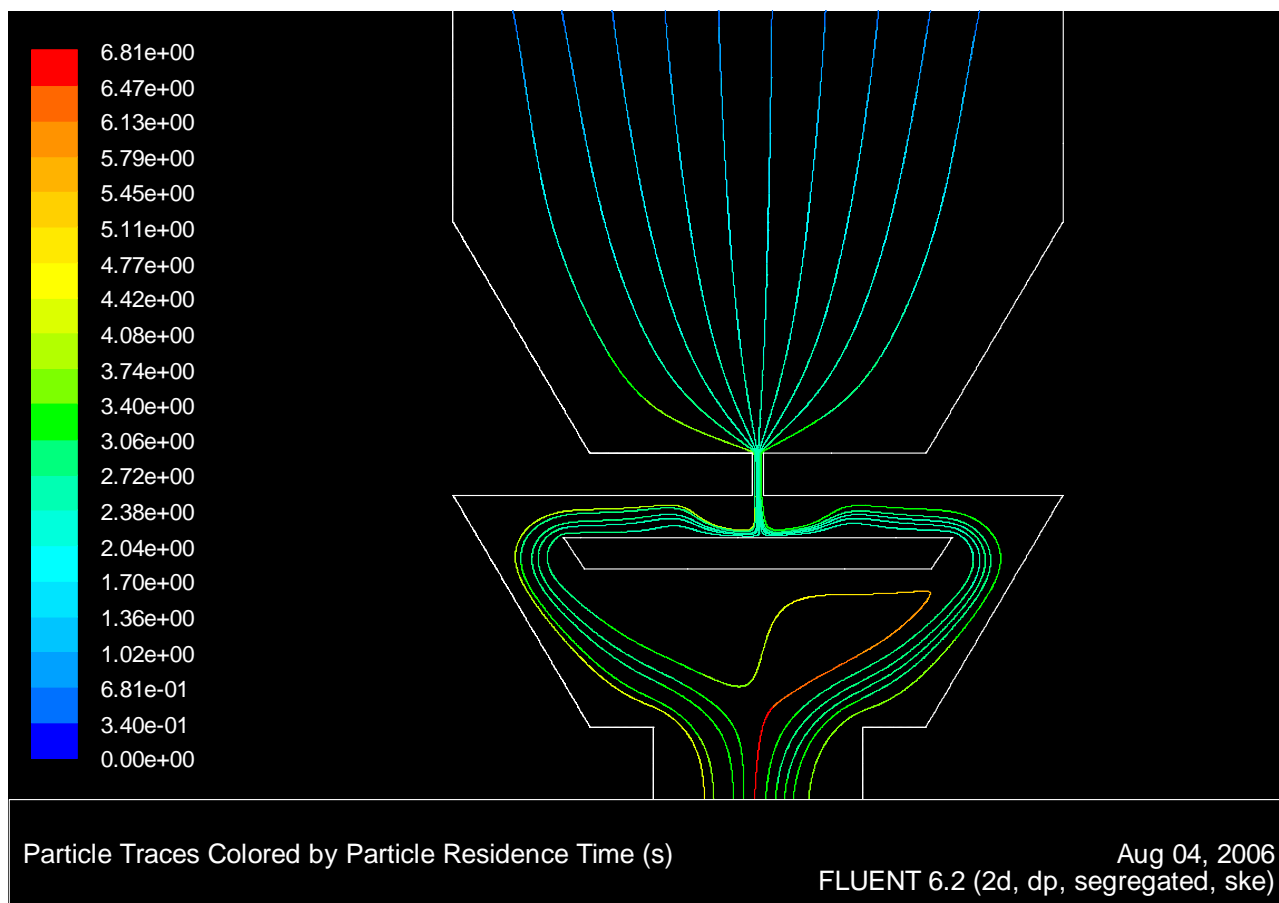


Figura. Trajetórias das partículas com diâmetro de $1\mu\text{m}$ através do cotoco 2D

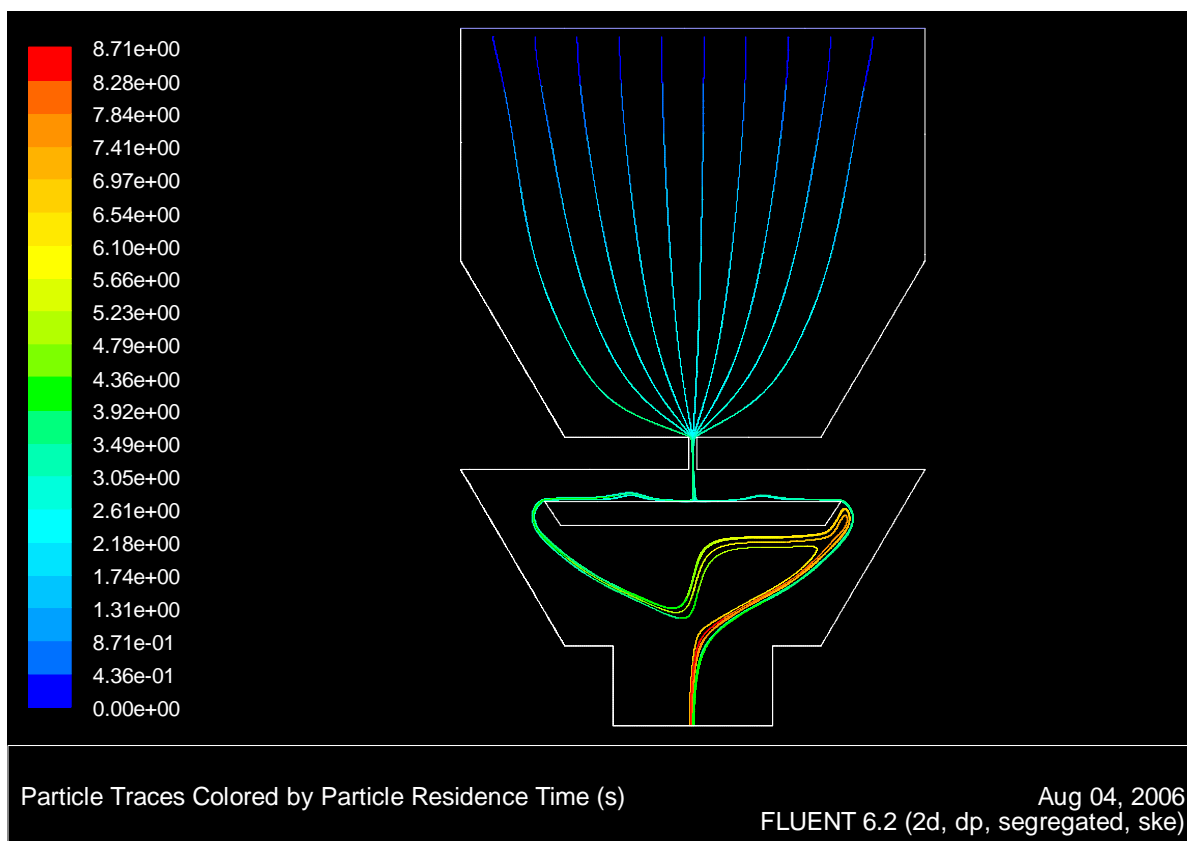


Figura. Trajetórias das partículas com diâmetro de $11\mu\text{m}$ através do cotoco 2D.

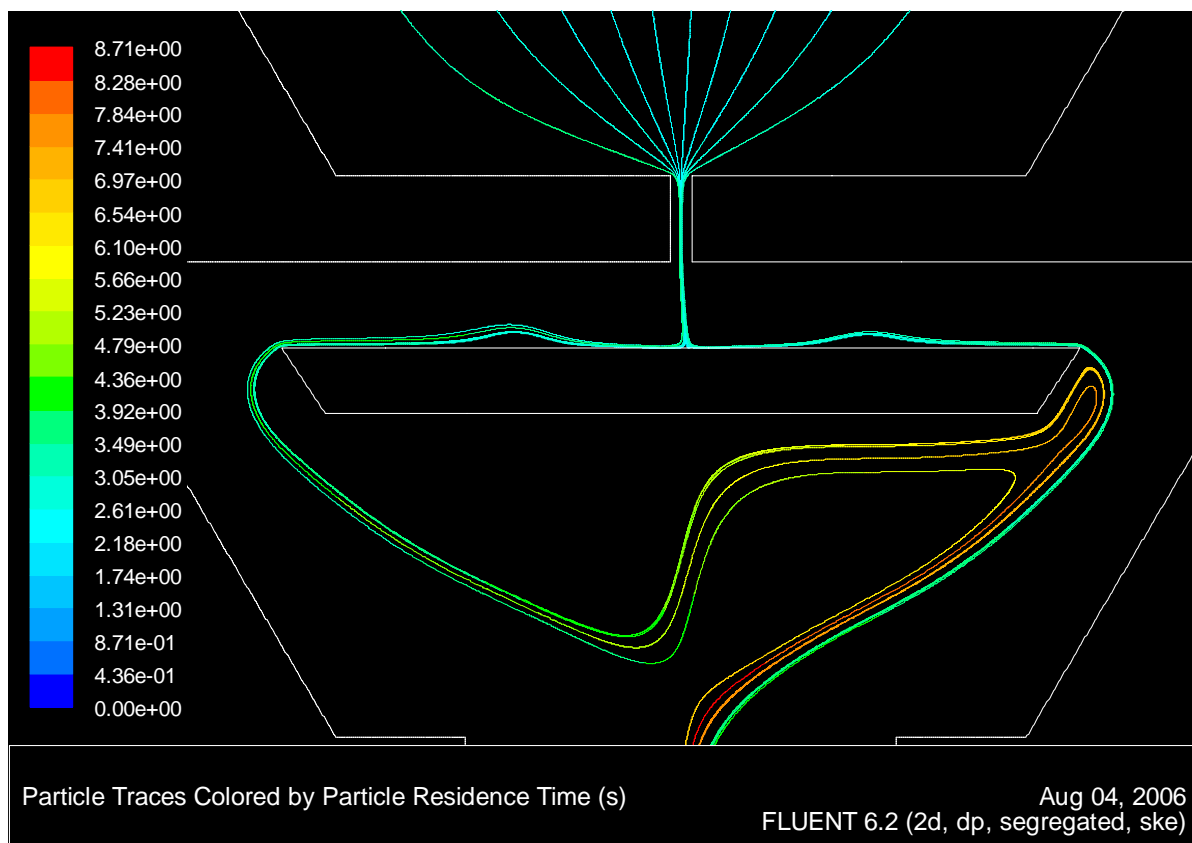


Figura. Trajetórias das partículas com diâmetro de $11\mu\text{m}$ através do cotoco 2D.

4. Conclusões

As simulações feitas até o momento mostraram que as soluções propostas têm alto potencial de solucionar os problemas encontrados no trabalho anterior (Costa, 2005). Apesar das curvas de coleta não terem atingido o valor de dp_{50} de $1\mu\text{m}$ como esperado ela agora se encontra em um formato S conforme previsto.

Tivemos alguns resultados muito interessantes sobre a influencia da malha nos valores de trajetórias das partículas e da velocidade do escoamento ao longo do equipamento. Vimos que para uma mesma geometria com malhas diferentes obtemos valores distintos nos perfis de velocidade e de eficiencia de coleta.

Pudemos ver também que apesar de não ter melhorado a curva de eficiencia de coleta do terceiro estagio do impactador, o furo na placa de impactação melhorou consideravelmente a deposição de particulas nas paredes ao redor da placa. Isto aconteceu pois ao oferecer um caminho alternativo para o escoamento a velocidade da recirculação diminuiu.

Ao fazermos as simulações em 2D foi possível o mecanismo do escoamento do jato na região acima da placa de impactação.

Entretanto, obtivemos ainda o depósito de particulas com diâmetro menor que $1\mu\text{m}$ sendo depositadas na placa de impactação. Tal fato pode ser consequencia da malha gerada ou dos modelos de simulação usados. Por motivos de capacidade de processamento das máquinas não conseguimos fazer as simulações com um modelo mais preciso.

As sugestões para trabalhos futuros são:

- maior refinamento da malha tendo em vista que a deposição de particulas pequenas na placa pode ter sido em função de irregularidades na malha.;
- maior precisão nos modelos usados para a trajetória de partículas;
- testes experimentais dos arranjos e dos furos nas placas para comparar os valores obtidos acima com os valores reais.

5. Referências

Costa, C.M.F., 2005, “Projeto, simulação numérica e teste experimental de um impactador inercial em cascata para amostragem de aerossóis atmosféricos”, Rio de Janeiro Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.