

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – UFCG

CURSO DE ARQUITETURA E URBANISMO – CAU

NAIR NAYARA ENÉAS RIBEIRO

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL EM
MEIO URBANO: UMA APLICAÇÃO EM CONJUNTO VERTICAL DO
PMCMV**

CAMPINA GRANDE, PB.

AGOSTO 2017

NAIR NAYARA ENÉAS RIBEIRO

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL EM
MEIO URBANO: UMA APLICAÇÃO EM CONJUNTO VERTICAL DO
PMCMV**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito para conclusão do curso do Curso
de Arquitetura e Urbanismo da Universidade
Federal de Campina Grande (UFCG).

Orientadora: Iana Rufino

Coorientadora: Juliana Magna da Silva Costa
Morais

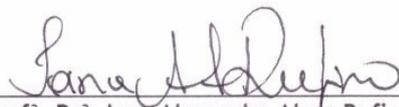
CAMPINA GRANDE, PB.

AGOSTO 2017

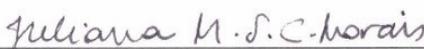
Trabalho de Conclusão de Curso “SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DA VENTILAÇÃO NATURAL EM MEIO URBANO: UMA APLICAÇÃO EM CONJUNTO VERTICAL DO PMCMV”, apresentado por NAIR NAYARA ENÉAS RIBEIRO, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Arquitetura e Urbanismo outorgado pela Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Unidade Acadêmica de Engenharia Civil, Curso de Arquitetura e Urbanismo.

APROVADO EM: 04 de setembro de 2017

BANCA EXAMINADORA:



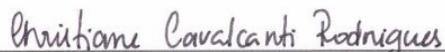
Prof^a. Dr^a. Iana Alexandra Alves Rufino
Orientadora - Presidente



Prof^a. Dr^a. Juliana Magna da Silva Costa Morais
Coorientadora



Prof. Dr. Raoni Venâncio dos Santos Lima
Examinador Interno



Prof^a. Me. Christiane Cavalcanti Rodrigues
Examinadora Externa

Dedico este trabalho primeiramente a **Deus** por estar sempre ao meu lado e me permitir a cada dia buscar novos conhecimentos.

Aos meus pais, **Edilene e Joselito**, que sempre me deram forças através de suas palavras de fé, vocês são minha fonte de inspiração.

Ao meu irmão, **Matheus**, que em seu silêncio sempre torceu pelo meu sucesso.

Aos meus **amigos**, pelo incentivo e pelos apoios constantes.

Aos amigos de curso que se tornaram irmãos ao longo desses cinco anos de caminhada.

A todos vocês minha eterna gratidão.

AGRADECIMENTOS

É difícil agradecer todas as pessoas que de algum modo, nos momentos tranquilos e/ou apreensivos, fizeram/fazem parte da minha vida e dessa conquista.

A Deus a minha eterna gratidão, pela força e saúde para superar as dificuldades, por sempre ter me guiado pelo caminho certo nessa fase da minha vida, pelo dom da vida e pelo seu amor infinito.

Agradeço aos meus pais, Joselito Ribeiro e Edilene Ribeiro, por todo apoio, por todo amor e paciência nos meus momentos de estresse (que não foram poucos). Que com suas palavras me fizeram perceber o quanto sou amada e como vale a pena sonhar. Vocês sempre me ensinaram a acreditar e a perseverar nas minhas conquistas, se não fossem por vocês esse sonho não teria se realizado. Agradeço também ao meu irmão, Matheus, que em seus pequenos gestos de carinho consegue me mostrar o amor sem dizer uma só palavra.

A arquitetura por me proporcionar conhecer pessoas tão maravilhosas que levarei sempre comigo, irmãos que o curso me deu e que eu nunca vou esquecer. Marco Junior, Larissa Nascimento, Lizandra Vasconcelos, Raianne Guedes e Cinthya Sobreira, vocês me deram o ombro amigo nos momentos de desespero, riram comigo quando as maquetes não estavam dando certo, concordaram em entregar o que tinha porque já não havia mais tempo e sempre confiaram em mim. Eu não tinha como não agradecer a vocês por todo apoio, todo carinho e todo amor partilhado durante todos esses anos.

Agradeço aos meus amigos que aguentaram as chatices e compreenderam a velha frase “ei, esse final de semana eu não posso, vou fazer maquete/trabalho”. Todas as vezes que vocês acreditaram em mim, que me disseram que estava perto e que tudo daria certo. Em especial a Layanne Rodrigues, Sabrina Maia, Ludmilla Batista e Rychelly. Obrigada também aqueles que mesmo quando distantes, estavam presentes em minha vida através de uma oração ou de uma mensagem de “como foi teu dia?”.

Agradeço as minhas orientadoras Juliana Costa e Iana Rufino, pela paciência, dedicação, esforço e ensinamentos para que eu pudesse ter confiança e segurança na realização deste trabalho. A todos os professores, que eu tive a honra de conhecer nesses cinco anos de curso, pela contribuição na minha vida acadêmica e por tanta influência na minha futura vida profissional.

Agradeço a todos de coração!

RESUMO

A cidade de Campina Grande/PB vem apresentando um intenso crescimento urbano, passando por um processo de expansão urbana e, portanto, alteração na configuração de suas paisagens, descaracterizando e degradando seus componentes naturais. Reflexo da intensa expansão urbana, sobretudo quando se trata de edifícios de interesse social, o que se vê é o surgimento de grandes conjuntos habitacionais que, em sua maioria, desconsideram requisitos importantes como ventilação e insolação na implantação de seus blocos. E o que acontece no Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) fato que associado à replicação dos projetos sem levar em consideração o clima local levanta a questão da qualidade dessas habitações em detrimento da quantidade. Uma tipologia que vem ganhando muita força neste programa habitacional é o edifício monolítico que como visto em pesquisas anteriores (MORAIS, 2013) é muito desfavorável a ventilação natural interna de suas unidades habitacionais. Por este motivo volta-se o olhar neste trabalho para esta tipologia, no entanto, para um estudo em meio urbano. O vento é considerado o elemento climático que mais se altera face às condições morfológicas do tecido urbano. Neste, as vantagens da ventilação entre os edifícios está relacionada com a transferência direta de circulação de ar ao interior dos mesmos, como também contribui para mitigação de ilhas de calor. O que se observa é que o aproveitamento da potencialidade do vento ainda não é um exercício aplicado ao projeto urbano. Através da pesquisa busca-se incentivar o planejamento urbano considerando as questões climáticas, sobretudo o aproveitamento da ventilação natural, para busca de uma cidade com melhor qualidade ambiental e mais sustentável. Na presente pesquisa investigou-se a ventilação natural em meio urbano, através de simulações computacionais com o auxílio da ferramenta CFD, em um conjunto vertical do PMCMV, por se tratar de habitações destinadas a população de baixa renda e também pela característica do próprio programa que insiste em replicar projetos em quaisquer localidades apesar de existirem mesoclimas diferentes. O objetivo é diagnosticar condições de ventilação natural no conjunto e propor um cenário de mudança para o mesmo, visando melhorias na ventilação do mesmo e menor impacto no seu entorno. Analisando os resultados das simulações computacionais da ventilação natural na implantação atual e proposta, para incidências leste (90°) e sudeste (130°), verificou-se que os mínimos recuos, o mesmo gabarito entre os blocos e o ângulo de implantação, fatores estes que são previstos em projeto têm impacto direto na ventilação natural do conjunto bem como de seu entorno imediato. Portanto destaca-se a importância do projeto/planejamento que considere estas variáveis e que possa contribuir para uma cidade melhor.

Palavras-chave: Conforto Térmico, Simulação Computacional, Implantação.

ABSTRACT

The city of Campina Grande/PB has been showing an intense urban growth, undergoing a process of urban expansion and, therefore, changes in the configuration of its landscapes, characterizing and degrading its natural components. Reflecting the intense urban expansion, especially when it comes to buildings of social interest, what is seen is the emergence of large housing estates that, for the most part, disregard important requirements such as ventilation and insolation in the implantation of their blocks. And what happens in the PMCMV fact that associated with the replication of projects without taking into account the local climate raises the question of the quality of these dwellings to the detriment of quantity. One typology that has been gaining strength in this housing program is the monolithic building that, as seen in previous research (MORAIS, 2013), is very unfavorable to the internal natural ventilation of its housing units. For this reason we look at this work for this typology, however, for a study in an urban setting. The wind is considered the climatic element that changes more than the morphological conditions of the urban fabric. In this, the advantages of ventilation between buildings are related to the direct transfer of air circulation inside the buildings, as well as contributing to the mitigation of heat islands. What is observed is that the use of wind potential is not yet an exercise applied to the urban project. The research seeks to encourage urban planning considering the climatic issues, especially the use of natural ventilation, to search for a city with better environmental quality and more sustainable. In the present research, natural ventilation in urban areas was investigated through computational simulations with the aid of the CFD tool, in a vertical set of the PMCMV, since these were housing for the low-income population and also for the characteristic of the program itself. Insists on replicating projects in any localities although there are different climes. The objective is to diagnose conditions of natural ventilation in the set and propose a scenario of change for the same, aiming at improvements in ventilation of the same and less impact on their surroundings. Analyzing the results of the computational simulations of the natural ventilation in the current and proposed implantation, for incidences east (90°) and southeast (130°), it was verified that the minimum retreats, the same jig between the blocks and the implantation angle, factors that Are predicted to have a direct impact on the natural ventilation of the pool as well as its immediate surroundings. Therefore the importance of the project / planning that considers these variables and that can contribute to a better city stands out.

Key words: Thermal Comfort, Computational Simulation, Implantation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Edifícios multifamiliares do PMCMV em cidades distintas	16
Figura 2 - Variação do número de pavimentos e da TO, mantendo o mesmo IA.	23
Figura 3 – Representação do gabarito de um edifício	24
Figura 4 – Edifícios com o mesmo gabarito.....	24
Figura 5- Representação dos recuos em um terreno.....	25
Figura 6 – Representação da taxa de ocupação	26
Figura 7- Terreno com edificações mais verticalizadas a esquerda, com TO igual a 20%. Edificação menos verticalizada a direita, com TO aproximadamente de 53%.	26
Figura 8– Tabela de Beaufort	31
Figura 9– Detalhes dos vetores a 1,5 m do solo próximo a um conjunto verticalizado	32
Figura 10 – Esquema da camada limite urbana.....	33
Figura 11– Perfis típicos do vento sobre vários tipos de superfícies	36
Figura 12 – Efeito de canto ou esquina	37
Figura 13– Efeito de esteira.....	37
Figura 14– Efeito de canalização	38
Figura 15– Efeito de desvio de massa de ar	38
Figura 16 – Escala de velocidade de conforto	41
Figura 17 – Processo metodológico	42
Figura 18 – Localização de empreendimentos do PMCMV	44
Figura 19 – Implantação do Conjunto no terreno.....	44
Figura 20 – Zoneamento do pavimento tipo (8 apartamentos por pavimento)	45
Figura 21 - Intervalos em graus radianos registrados pela estação considerados no banco de dados.....	46
Figura 22- Esquema gráfico indicativo da implantação do conjunto diante dos ventos simulados de 90° e 130°.....	47
Figura 23 – Gráfico comparativo das velocidades médias dos meses de Janeiro e Fevereiro .	48
Figura 24– Gráfico comparativo das velocidades médias dos meses de Julho e Agosto.....	49
Figura 25 - Modelos tridimensionais dos blocos do conjunto Dallas Park	50
Figura 26– 3D dos blocos do conjunto Dallas Park.	51
Figura 27 – Conjunto do PMCMV e seu entorno imediato.....	51
Figura 28 - Relação de domínio	52
Figura 29– Malha tetraédrica do conjunto.....	53
Figura 30 – Gráfico de convergência da simulação com ventilação incidente leste da implantação atual.....	55
Figura 31– Implantação atual dos blocos.	59
Figura 32 – Afastamento entre os blocos	60
Figura 33 - Esquema de altura e caminho do vento no conjunto	60
Figura 34 – Imagem de contorno a 1,5 metros do solo com incidência de vento sudeste	62
Figura 35 – Imagem de contorno a 6,5 metros do solo com incidência de vento sudeste	62

Figura 36 – Imagem de contorno da pressão localizada na fachada dos edifícios com vento incidente leste.	62
Figura 37 – Imagem de contorno da pressão localizada na fachada nos blocos C (a) e O (b), respectivamente.	62
Figura 38 – Imagem de contorno a 1,5 metros do solo com incidência de vento leste.....	63
Figura 39 – Imagem de contorno a 6,5 metros do solo com incidência de vento leste.....	63
Figura 40 – Imagem de contorno da pressão localizada na fachada dos edifícios com vento incidente leste.	63
Figura 41 – Medição local realizada com um termo anemômetro	64
Figura 42 – Comparativo entre as velocidades obtidas na medição local e simulação computacional.....	64
Figura 43 – Implantação da situação proposta	66
Figura 44 – Esquema de um bloco com 8 unidades por pavimento	67
Figura 45 – Esquema do fluxo de vento na situação proposta	67
Figura 46 – Imagem de contorno a 1,5 metros do solo com incidência de vento sudeste.	68
Figura 47 – Imagem de contorno a 6,5 metros do solo com incidência de vento sudeste.	68
Figura 48 – Imagem de contorno da pressão localizada na fachada dos edifícios com vento incidente leste.	68
Figura 49 – Imagem de contorno da pressão localizada na fachada nos blocos A (a) e G (b), respectivamente.	68
Figura 50 – Imagem de contorno a 1,5 metros do solo com incidência de vento leste.....	69
Figura 51 – Imagem de contorno a 6,5 metros do solo com incidência de vento leste.....	69
Figura 52 – Imagem de contorno da pressão localizada na fachada dos edifícios com vento incidente leste.	69
Figura 53 – Imagem de contorno da pressão localizada na fachada nos blocos A (a) e C (b), respectivamente.	69
Figura 54 – Imagem de contorno a 1,5 metros do solo da situação atual e da situação proposta, respectivamente, com incidência de vento sudeste.	70
Figura 55 – Imagem de contorno a 6,5 metros do solo da situação atual e da situação proposta, respectivamente, com incidência de vento sudeste.	70
Figura 56 – Gráfico comparativo das velocidades nos pontos a uma altura de 1,5 e 6,5 metros do solo, respectivamente, vento incidente sudeste.	70
Figura 57 – Imagem de contorno a 1,5 metros do solo da situação atual e da situação proposta, respectivamente, com incidência de vento leste.....	71
Figura 58 – Imagem de contorno a 6,5 metros do solo da situação atual e da situação proposta, respectivamente, com incidência de vento leste.....	71
Figura 59 – Gráfico comparativo das velocidades nos pontos a uma altura de 1,5 e 6,5 metros do solo, respectivamente, vento incidente leste.....	71
Figura 60 – Imagem de contorno da pressão localizada na fachada dos edifícios com vento incidente leste.	72
Figura 61 – Imagem de contorno da pressão localizada na fachada dos edifícios com vento incidente sudeste.....	72

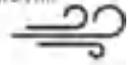
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

BNH	Banco Nacional de Habitação
CAD	<i>Computer Aided Desing</i>
CFD	<i>Computacional Fluid Dynamics</i>
CIAM	Congressos Internacionais de Arquitetura Moderna
CLU	Camada Limite Urbana
CO2	Dióxido de carbono
ECO 92	Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento
HIS	Habitações de Interesse Social
IA	Índice de aproveitamento
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
m/s	Metros por segundo
NBR	Norma Brasileira
Pa	Pascal
PB	Paraíba
Pd	Perturbado a barlavento
PDCG	Plano Diretor de Campina Grande
PMCMV	Programa Minha Casa Minha Vida
Px	Ponto x na fachada do edifício
RMS	<i>Residual Mean Square</i>
TO	Taxa de ocupação
UBL	<i>Urban Boundary Layer</i> (atmosfera urbana superior)
UCL	<i>Urban Conopy Layer</i> (atmosfera urbana inferior)
UNCED	Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1. Justificativa	14
2. OBJETIVOS	17
2.1. Objetivo geral	17
2.2. Objetivos específicos.....	17
CAPÍTULO 1 – REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	17
3. CLIMA E PLANEJAMENTO URBANO.....	17
4. FORMA URBANA E CONDIÇÕES AMBIENTAIS	21
4.1. Índice de aproveitamento (IA).....	22
4.2. Gabarito.....	23
4.3. Recuos	25
4.4. Taxa de ocupação (TO).....	25
5. VARIÁVEIS MORFOLÓGICAS E SUAS INFLUENCIAS NA VENTILAÇÃO NATURAL 26	
5.1. Tamanho da Cidade.....	26
5.2. Traçado urbano	27
5.3. Densidade Construtiva	28
5.4. Rugosidade e Porosidade	28
6. VENTILAÇÃO NATURAL EM MEIO URBANO	29
7. VENTO	30
7.1. O vento na atmosfera	30
7.1.1. Velocidade e direção do vento	30
7.1.2. Turbulência.....	31
7.2. Camada limite urbana.....	32
7.3. A ventilação em áreas urbanas.....	33
7.4. Perfil do vento sobre o meio urbano	35
8. EFEITOS DO VENTO NO ENTORNO DOS EDIFÍCIOS	36
9. ESTUDO DA VENTILAÇÃO NATURAL ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO COM CFD.....	38
CAPÍTULO 2 - MÉTODO.....	42
10. METODOLOGIA.....	42
10.1. SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO.....	43
10.1.1. O caso do conjunto vertical do PMCMV	43

10.2. CARACTERIZAÇÃO DA VENTILAÇÃO DE CAMPINA GRANDE/PB.....	45
10.3. CONFECÇÃO DO MODELO PARA SIMULAÇÃO (CAD).....	49
10.3.1. Confecção do modelo (implantação atual).....	49
10.4. SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS DA VENTILAÇÃO NATURAL POR CFD	51
10.4.1. CONFECÇÃO DA MALHA TETRAÉDRICA DE CADA MODELO (ICEM ANSYS).....	51
10.4.2. ANSYS CFX.....	53
10.4.3. CFX-Pre	54
10.4.4. CFX Solver.....	55
10.4.5. CFX Post	55
10.5. CONFECÇÃO DO MODELO PROPOSTO (CAD)	56
10.5.1. Confecção do modelo proposto (implantação proposta).....	56
CAPÍTULO 3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	57
11. DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO ATUAL.....	59
11.1. SITUAÇÃO ATUAL – VENTO INCIDENTE SUDESTE	62
11.2. SITUAÇÃO ATUAL – VENTO INCIDENTE LESTE	63
11.3. ANÁLISE COMPARATIVA: SITUAÇÃO ATUAL X MEDIÇÕES EM CAMPO	64
12. ANÁLISES DA SITUAÇÃO PROPOSTA.....	65
12.1. SITUAÇÃO PROPOSTA – VENTO INCIDENTE SUDESTE	68
12.2. SITUAÇÃO PROPOSTA – VENTO INCIDENTE LESTE	69
13. ANÁLISES COMPARATIVAS.....	70
13.1. ANÁLISE COMPARATIVA: SITUAÇÃO ATUAL X SITUAÇÃO PROPOSTA – VENTO INCIDENTE SUDESTE	70
13.2. ANÁLISE COMPARATIVA: SITUAÇÃO ATUAL X SITUAÇÃO PROPOSTA – VENTO INCIDENTE LESTE.....	71
13.3. ANÁLISE COMPARATIVA: SITUAÇÃO ATUAL X SITUAÇÃO PROPOSTA – PRESSÃO NAS FACHADAS DOS EDIFÍCIOS	72
14. CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
14.1. Quanto aos resultados.....	74
14.1.1. Na implantação atual.....	74
14.1.2. Na implantação proposta.....	75
14.2. Quanto à simulação computacional.....	76
14.3. Trabalhos futuros.....	77
15. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78



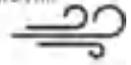
1. INTRODUÇÃO

As sucessivas crises do petróleo que tiveram início na década de 70 provocaram discussões acerca do modelo de desenvolvimento urbano mundial até então adotado. A conferência das Nações Unidas sobre Meio ambiente e Desenvolvimento (UNCED), ocorrida no Rio de Janeiro popularmente conhecida como ECO 92, consolidou o conceito de desenvolvimento sustentável, tornando-o base para políticas voltadas ao meio ambiente. O evento ressaltou a necessidade de refletir sobre a relação entre desenvolvimento econômico e proteção do meio natural ao alertar a opinião pública sobre a maneira como se exploravam matérias primas, degradando o equilíbrio ecológico do planeta. A gerência do crescimento das cidades passa então, a constituir a abordagem mais adequada em direção ao desenvolvimento sustentável, sobretudo num contexto mundial onde a população urbana tem apresentado um aumento exponencial.

A Arquitetura e o Urbanismo, então, passam a desempenhar um papel fundamental, pois são essenciais para o planejamento do espaço urbano bem como dos edifícios que ali ocupam através da correta utilização dos recursos naturais.

Diante do exposto, a ventilação natural, fenômeno caracterizado pela movimentação do ar sem a indução de nenhum sistema mecânico, surge como a estratégia projetual mais eficaz para favorecimento do conforto térmico passivo como forma de racionar energia, por ser uma solução direta e de baixo custo, ocorrendo por diferença de pressão, por ação dos ventos, ou ambos os modos combinados. Nesta pesquisa busca-se investigar a ventilação natural por ação dos ventos em meio urbano. De acordo com a NBR 15220-3 essa estratégia é indicada para sete das oito zonas bioclimáticas brasileiras. No meio urbano, as vantagens da ventilação entre os edifícios está relacionada com a transferência direta de circulação de ar ao interior dos mesmos. No entanto entender o processo da ventilação seja em meio urbano ou interno (edifício) é uma tarefa complexa, pois necessita de uma compreensão sobre a dinâmica dos fluidos, que vem sendo desenvolvida por muitos pesquisadores do mundo todo (MELAGRANO, 1982; AWBI, 1995; GIVONI, 1962, 1998; BROWN & DEKAY, 2004; BITTENCOURT; CANDIDO, 2005).

Diversos trabalhos científicos apontam a urbanização como responsável pela mudança no comportamento dos parâmetros climáticos locais e, conseqüentemente, das condições de



conforto térmico nas cidades, mantendo, portanto, estreita ligação com a atividade de planejamento urbanístico (OKE, 1987; KATZSCHNER, 1997; BRANDÃO, 2009). O desenvolvimento de novas propostas e diretrizes de planejamento adequadas às condições locais é, portanto, essencial à criação de cidades que proporcionem qualidade de vida e conservação energética.

Romero (2001) salienta que dentre todos os componentes do clima, as condições de ventilação sofrem as maiores alterações durante o processo de urbanização. Isso ocorre pelo fato de que o percurso que o vento realiza na massa construída tem relação direta com a forma, dimensão e justaposição das edificações, além de outros elementos urbanos como a orientação das ruas com relação à direção predominante dos ventos, e distribuição de edifícios com gabaritos altos e baixos que geram um grande impacto nas condições urbanas do vento.

Prover conforto térmico, para que assim o usuário possa desempenhar de forma eficaz suas atividades, seja em ambientes fechados ou em ambientes urbanos, é uma das condições inerentes para uma boa arquitetura e urbanismo, independente do tipo de construção ou localização. A preocupação passa a ser maior nas habitações, levando em consideração que é o local onde o usuário permanece a maior parte do tempo, depois do ambiente de trabalho. No entanto, pensar no espaço urbano é também pensar na qualidade de vida dos habitantes de nossas cidades.

No contexto a ser estudado, a cidade de Campina Grande/PB vem apresentando um intenso crescimento urbano que vem alterando a configuração de suas paisagens, descaracterizando e degradando seus componentes naturais. Reflexo da intensa expansão urbana, sobretudo quando se trata de edifícios de interesse social, o que se vê é o surgimento de grandes conjuntos habitacionais que, em sua maioria, desconsideram requisitos importantes como ventilação e insolação na implantação de seus blocos. E o que acontece no Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) fato que associado à replicação dos projetos sem levar em consideração o clima local levanta a questão da qualidade dessas habitações em detrimento da quantidade.

Uma tipologia que vem ganhando muita força no PMCMV é o edifício monolítico (adota-se este termo no trabalho referindo-se aos edifícios de forma muito alongada) que como visto em pesquisas anteriores (MORAIS, 2013) é muito desfavorável à ventilação natural interna de suas unidades habitacionais. Por este motivo volta-se o olhar nesta pesquisa



para esta tipologia, observando como a ventilação em meio urbano rebate em seu interior e como as alterações projetuais podem elevar o conforto térmico dos usuários.

O objeto de estudo desta pesquisa trata-se de um conjunto habitacional do PMCMV entregue no início de 2016, e que diferente dos demais empreendimentos do programa na cidade de Campina Grande, localiza-se no interior da malha urbana e não na sua periferia. Logo percebe-se que seu impacto no microclima local tende a ser maior que outro que estivesse em zona periurbana.

Outro fator de escolha desse empreendimento é sem dúvida a tipologia arquitetônica adotada, blocos monolíticos que abrigam 8, 10 e 12 apartamentos por andar, o que confere uma característica formal - volumétrica de prisma bastante longitudinal. Trata-se de um empreendimento que possui um total de 864 unidades habitacionais, e conta com uma área total aproximada de 42330 m² onde são dispostos 21 blocos (com 4 pavimentos cada), sendo 6 desses blocos de 8 apartamentos por pavimento, 6 desses blocos de 10 apartamentos por pavimento e 9 desses blocos de 12 apartamentos por pavimento.

1.1. Justificativa

Na cota PIBIC 2015/2016 foram realizados estudos de ventilação no interior dos apartamentos de um edifício multifamiliar do Programa Minha Casa Minha Vida (MORAIS, 2013) e foi possível constatar que essa tipologia é muito desfavorável à ventilação natural interna de suas unidades habitacionais. Sabendo que o vento ele é considerado o elemento climático que mais se altera face às condições morfológicas do tecido urbano (ROMERO, 2001) buscou-se estudar maneiras de se aproveitar incentivar o aproveitamento dos ventos como forma de melhorar o conforto térmico dos usuários tanto no interior dos apartamentos como em todo o conjunto. E a partir disso surgiu a necessidade de se entender o comportamento do vento em meio urbano.

De acordo com Givoni (1998), a ventilação constitui a mais simples estratégia para obtenção de conforto quando a temperatura interna é elevada. Nos grandes centros urbanos o aumento da temperatura tem sido ocasionado por diversos fatores dentre eles a substituição do solo natural vegetado por solo impermeabilizado (que além de não permitir a absorção da água pelo solo, apresentam um baixo albedo, retendo muita radiação, aumentando a temperatura superficial).



Costa (2001) observa que o aproveitamento da potencialidade do vento ainda não é um exercício aplicado ao projeto urbano, inexistindo prescrições em planos diretores resultantes de um planejamento integrado entre o sistema de ventilação e as diversas organizações urbanas.

Peregrino e Silva (2007) colocam que, no Brasil, o desenvolvimento de trabalhos e o conhecimento das questões relacionadas ao vento e planejamento urbano podem ser considerados relativamente recentes. As consequências de tal deficiência no embasamento científico quando da tomada de decisões por parte das gestões públicas tem consequências diretas sobre as cidades e sua população.

Souza (2006) concorda que recursos relativamente altos são investidos para viabilizar a realização de planos de ordenação urbanística das principais cidades brasileiras sem, no entanto, se verificar os efeitos daquilo que é traçado sobre o meio ambiente e o clima. O estudo acerca do desenvolvimento urbano considerando os atributos climáticos exploraria racionalmente tais recursos e viabilizaria a economia de energia.

O presente trabalho se justifica neste sentido, pois incentiva o planejamento urbano que considera as questões climáticas, sobretudo o aproveitamento da ventilação natural, para busca de uma cidade com melhor qualidade ambiental e mais sustentável.

O objeto de estudo foi selecionado a partir de alguns critérios, entre eles a abrangência social. Para atender esse ponto foram selecionados empreendimentos com um número considerável de habitações, por isso optou-se por edificações multifamiliares. Outro fato levado em consideração foi a escolha de um empreendimento que tivesse seu projeto aprovado pela prefeitura de Campina Grande e executado. O objeto escolhido para pesquisa trata-se de um conjunto habitacional do PMCMV entregue no início de 2016. Este empreendimento diferente dos demais do PMCMV na cidade de Campina Grande localiza-se no interior da malha urbana, no bairro da Liberdade, e não na sua periferia, o que é comum neste tipo de programa. Logo percebe-se que seu impacto no microclima local tende a ser maior que outro que estivesse em zona periurbana.

Trata-se de um empreendimento que possui um total de 864 unidades habitacionais distribuídas em 21 blocos (com quatro pavimentos cada, sendo térreo + 3 pavimentos), sendo seis desses blocos de oito apartamentos por pavimento, seis desses blocos de 10 apartamentos por pavimento e nove desses blocos de 12 apartamentos por pavimento.



A escolha de um conjunto habitacional dentro do PMCMV como objeto de estudo, parte da constatação de que apesar de existir mesoclimas diferentes em cada região do Brasil, que garantiriam estratégias projetuais diferentes para cada tipo de projeto, como citado na NBR 15220-3, os projetos do PMCMV acabam sendo replicados em diversas localidades, sem a preocupação com o clima da região. Isto pode ser comprovado claramente quando se observa os edifícios que foram implantados em diferentes cidades como Campina Grande (zona bioclimática 8), e Novo Hamburgo (zona bioclimática 2), ambos mostrados na Figura 1, fator que certamente compromete a qualidade final destas construções.

Figura 1 - Edifícios multifamiliares do PMCMV em cidades distintas



Novo Hamburgo, RS.

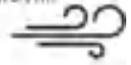


Campina Grande, PB.

Fonte: <http://www.mrv.com.br/>

No intuito de aproveitar ao máximo o terreno, visando a maior obtenção de lucros por parte das empresas executoras, os edifícios monolíticos (adota-se este termo no trabalho referindo-se aos edifícios de forma muito alongada) têm surgido no cenário de nossas cidades como alternativas encontradas por algumas construtoras deste tipo de programa habitacional.

Os blocos são implantados considerando apenas o objetivo final de locar o máximo número possível de blocos por gleba. Com isso, são desconsiderados requisitos importantes como a implantação mais eficiente do bloco, seja visando melhor ventilação ou mesmo melhor desempenho térmico e de insolação, o que implicará certamente em problemas de conforto térmico e alto consumo de energia para minimizar esses problemas. Assim, mostrar as implicações deste descuido por parte do projetista e/ou executor faz-se muito importante, pois denuncia condições definitivas de habitabilidade que são dadas ao edifício através da falta de um estudo adequado de implantação de cada bloco dentro da gleba (MORAIS, 2013).



Sendo assim, avaliar a qualidade da ventilação em um conjunto habitacional do PMCMV da cidade de Campina Grande se torna importante, uma vez que as condições de ventos externos ruins podem resultar numa ventilação deficiente no interior das unidades habitacionais, afetando assim a população a qual se destina estas construções. Além disso, a pesquisa tem o intuito investigar as consequências da verticalização e do mau planejamento de conjuntos, como o estudado, para a cidade como um todo, sendo este o grande benefício social da pesquisa.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Diagnosticar condições de ventilação natural por meio de simulação computacional em conjunto do PMCMV criteriosamente escolhido na cidade de Campina Grande/PB e propor um cenário de mudança para o mesmo visando melhorias na ventilação do conjunto bem como menor impacto no seu entorno

2.2. Objetivos específicos

1. Realizar simulações computacionais com uso de um programa de CFD (Computational Fluid Dynamics) para investigar a ventilação natural.
2. Utilizar o CFD como ferramenta de análise para identificar possíveis problemas e soluções de conforto térmico para o projeto arquitetônico.
3. Propor alterações projetuais, que vão desde uma nova implantação a mudança na volumetria e gabarito dos blocos, de forma que elevem o desempenho de ventilação, tanto no interior como entre os blocos do conjunto.
4. Avaliar as soluções propostas de acordo com os resultados obtidos.

CAPÍTULO 1 – REFERÊNCIAL TEÓRICO.

3. CLIMA E PLANEJAMENTO URBANO

Os processos de crescimento das cidades afetam diretamente o meio ambiente, devido ao avanço desse crescimento sobre o meio, e indiretamente as áreas urbanas e metropolitanas pelo fato de serem espaços mais modificados. O processo de urbanização ele modifica de forma significativa o clima do local seja em âmbito das escalas micro quanto mesoclimáticas,



gerando um novo clima, isso ocorre porque há transformação da malha urbana e o clima urbano é uma junção entre fato natural que no caso seria o clima local e fato social, a própria cidade (MONTEIRO; MENDONÇA, 2003; MARQUES, 2003).

Leite (2010) e Prata (2005), afirmam que são essenciais estudos que orientem o crescimento da cidade, pois alterações na configuração urbana estão diretamente relacionadas ao conforto e segurança quanto à ação dos ventos e qualidade do ar do usuário.

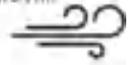
No século XIX havia uma grande preocupação com a saúde, as aglomerações eram tidas como locais de formação e difusão das epidemias. Buscando resolver esses problemas foram incorporadas algumas modificações às cidades e às construções. Surgiram então os códigos sanitários e de posturas municipais que tinham como objetivo proporcionar um ambiente sadio à comunidade.

No início do século XX observa-se que o crescimento desenfreado das cidades foi impulsionado pelo desenvolvimento da indústria e do automóvel. Na tentativa de ordenar e conter esse crescimento foi impulsionado o planejamento regional aconselhado por Patrick Geddes. A ideia do biólogo e filósofo era associar a vida na cidade com a natureza, conhecido como cidade-jardim. De acordo com Jacobs (2000 apud Leite, 2010), o conjunto seria gerido por uma administração local, responsável pela manutenção dos seus índices de densidade construtiva, evitando seu aumento além dos limites fixados.

Nos modelos de cidade-jardim a qualidade de vida era bem valorizada, para garantir isso foram criados alguns critérios, entre eles de insolação e iluminação natural das edificações, espaçamentos entre elas, além dos critérios de aeração. Visto a eficiência da adoção desses critérios algumas propostas urbanísticas foram alteradas em diversos países.

Posteriormente, os Congressos Internacionais de Arquitetura Moderna (CIAM) passaram a divulgar um novo plano urbano em oposição aos padrões de cidade-jardim. Observou-se que no antigo padrão não existia a preocupação com a liberação do solo, já a nova proposta, a cidade funcional, buscava seguir a orientação solar na disposição das fachadas da edificação de grande altura sobre pilotis, de forma a liberar o solo permitindo a circulação pública e o adensamento urbano.

Apesar de toda preocupação com a insolação nos edifícios e as condições ambientais do meio urbano, o projeto de cidade moderna trazia consigo alguns problemas sociais. Além



da forte segregação espacial o pedestre tornava-se subordinado ao automóvel, devido ao planejamento em grandes escalas, dimensões monumentais e vias expressas.

No início da década de 1990 surge então o movimento *new urbanism*, em contraposição aos impactos ambientais gerados pelo crescimento das cidades.

De acordo com Leite (2010, p. 55) o movimento,

Indica a flexibilidade e variabilidade de usos e funções como forma de gerar a vitalidade necessária dos espaços urbanos, aliando o adensamento populacional em detrimento do uso discriminado do automóvel, diminuindo a necessidade de grandes deslocamentos para economia e preservação ambiental.

De acordo com os modelos de cidade-jardim, o projeto urbano moderno e os preceitos do movimento *new urbanism* é possível observar a importância da qualidade ambiental urbana no planejamento das cidades. Há uma preocupação com o clima do lugar na tentativa de incorporar essas características ao projeto urbano e arquitetônico, para assim atender melhor as necessidades humanas.

Segundo Leite (2010) o clima do local sempre constituiu um elemento fundamental para o projeto urbano e arquitetônico na concepção urbana, mas o que vem se notando ultimamente é que estão sendo cada vez mais desconsiderados. O edifício cada vez mais se fecha para seu entorno, como confirma Leite (2010) “ao invés de concilia-lo na proposta arquitetônica como forma de solucionar os problemas advindos do desequilíbrio que se apresenta em grandes metrópoles”. É possível observar grandes impactos ambientais na cidade e nas condições de vida dos moradores, a modificação dos microclimas em centros urbanos é um desses impactos. De acordo com Moreno (2001, apud Leite 2008) as rugosidades do conjunto de algumas edificações tendem a diminuir a velocidade do vento, enquanto determinadas volumetrias e disposições tendem a acelerar os ventos.

O processo de urbanização produz alterações sobre o clima e os efeitos colaterais podem ser muitos e variados.

Segundo Ribeiro, Pesquero, Coelho (2016, p. 67),

A infraestrutura para suprir as demandas das cidades tem provocado alterações na cobertura do solo, com vegetação sendo substituída por ruas, estacionamentos, edificações e moradias. Como resultado, a temperatura do ar das regiões mais pavimentadas cria ilhas de calor, que possuem variabilidade no decorrer do dia e



dependem da cobertura do solo e do tempo de exposição à radiação. As ilhas de calor alteram características físicas do ar em contato com a superfície, alterando a magnitude do calor sensível e calor latente, fluxos de momentum e massa, propriedades óticas, altura e características da camada limite.

Diversas são as alterações e podem estar ligada diretamente ao conforto térmico, qualidade do ar, impactos pluviais entre outros, que podem desorganizar o cotidiano nos centros urbanos e prejudicar a qualidade de vida dos habitantes.

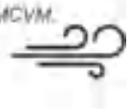
Nos últimos anos, estudos ligados ao clima urbano vêm ganhando importância devido às mudanças significativas no ambiente em consequência do processo de urbanização e seus reflexos na qualidade de vida. No Brasil os estudos tem se desenvolvido a partir da teoria clima urbano segundo Monteiro, (1976) citado por Leite (2010). Segundo Leite (2010) a teoria aborda fatores climáticos e outros elementos da geografia para compreensão dos problemas no ambiente urbano, e para entender a organização climática da cidade.

Estudos realizados sobre aspectos envolvendo dinâmica espacial urbana e sua relação com o clima foi de fundamental importância para compreensão da qualidade térmica dos espaços construídos, fornecendo várias contribuições relacionadas à questão ambiental nas cidades e contribuindo assim para futuros planejamentos urbanos. Mas tendo em vistas as diferenças morfológicas do espaço urbano é difícil estabelecer critérios únicos para serem seguidos que garantam a qualidade do ambiente urbano.

Vários elementos da morfologia condicionam o clima tais como a rugosidade, porosidade, densidade ocupacional, gabarito, permeabilidade do solo agregados ainda as características térmicas dos materiais associados à geomorfologia do sítio. Geralmente essa morfologia resulta de interesses, processos e práticas econômicas e sociais que determinam seu valor e sua localização.

Através da adoção dos instrumentos legais no processo do planejamento urbano a forma do edifício pode se modificar e reflete diretamente nas condições térmicas do ambiente urbano.

Para compreender as influências dessas características morfológicas da cidade sobre os parâmetros do clima, na ventilação, por exemplo, se faz necessário entender a forma urbana responsável pela paisagem no geral.



4. FORMA URBANA E CONDIÇÕES AMBIENTAIS

O espaço físico da cidade é resultado da arquitetura que constitui o mesmo. A ideia de forma urbana corresponde à cidade enquanto arquitetura: um conjunto de objetos arquitetônicos unidos por relações espaciais (ROSSI, 1995; LAMAS, 2007).

Para garantir uma melhor regulação do uso e ocupação do solo alguns instrumentos de intervenção do projeto arquitetônico são adotados e estão contidos no Plano Diretor da cidade. Dentre esses parâmetros estão os recuos (afastamento entre os edifícios), gabarito (limite de altura), índice de aproveitamento, taxa de aproveitamento e de permeabilidade do solo.

Esses conjuntos de instrumentos são responsáveis pela ordenação da expansão urbana. Entretanto, apesar de serem utilizados tanto por gestores públicos e urbanistas, estes se tornam instrumentos de pouca reflexão crítica, uma vez que são comumente determinados segundo seu impacto e não a partir de metodologias generalizáveis, como afirma Brandão (2009).

A legislação de ocupação do uso do solo tem como objetivo proporcionar mínimas condições ambientais ao espaço urbano, assegurando tanto as relações de vizinhança como a qualidade de vida local. Porém o que se percebe é que tais instrumentos de legislação não garantem condições mínimas de salubridade e conforto ambiental. Não são incorporados aspectos atualmente fundamentais em relação às atuais solicitações energéticas e ambientais de acordo com Mascaró (1990).

Os parâmetros atuam diretamente sobre quantidade de área construída, população e atividades realizadas no espaço. No geral os índices de aproveitamento, taxa de ocupação, impermeabilização e os recuos, atuam como limitadores de adensamento urbano para determinada área da cidade, associando essas baixas densidades populacionais a uma ideia de qualidade de vida, o que é vista de forma equivocada segundo Mascaró (2003).

De acordo com Richard Rogers (2001) as cidades são consideradas habitat da humanidade, de forma que se faz necessária a interação entre pessoas e cidade. Quando se fala em cidade atualmente, as pessoas lembram muito mais delas como cenário de automóveis e de edifícios do que pelos espaços coletivos presentes nas mesmas.

Diante da realidade atual, faz-se necessário um novo olhar para o espaço urbano, para que a população realmente tenha uma melhor qualidade de vida. Uma das soluções seria



trabalhar o adensamento de forma responsável. Com o adensamento planejado, haveria a liberação de espaço no solo, gerando espaços livres que poderiam ser transformados em praças e espaços de convivência, de modo a proporcionar interação e integração entre pessoa e cidade.

É importante ainda lembrar ainda que as ferramentas de planejamento não podem ser encaradas como universais. Freitas (2008) alerta que as mesmas dependem de vários condicionantes, entre eles as características climáticas.

Leite (2010) conclui que é necessário determinar mecanismos de ocupação do solo e proteção ambiental que incorporem a verticalização e adensamento populacional, sem prejudicar a qualidade de vida e a desempenho energético de edificações e do meio urbano.

Quando se trata dos empreendimentos do PMCMV podemos observar que existe a verticalização dos edifícios, porém como forma de conter gastos os blocos só alcançam uma altura máxima de quatro pavimentos, até essa altura não é obrigatório o uso de elevadores.

Dessa forma a implantação do conjunto é feita com todos os blocos possuindo a mesma altura e mesma densidade. Quando se analisa essa implantação e adensamento do ponto de vista de ventilação natural observa-se que a permeabilidade dos ventos entre o conjunto apresenta-se bastante prejudicada, devido a essa baixa rugosidade. As coberturas desses vários edifícios funcionam para o fluxo do ar como nível do solo, e essa se torna a nova altura de superfície.

4.1. Índice de aproveitamento (IA)

É o parâmetro que estabelece a densidade construtiva permitida à determinada zona da cidade, relacionando área do terreno com o total de metros quadrados possíveis de serem construídos. Através desse coeficiente é possível restringir o número pavimentos a serem criados, mas como lembra Brandão (2009) não inibe a construção de múltiplos andares, pois ao reduzir a ocupação do terreno pode-se verticalizar como mostra a Figura 2.

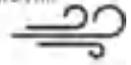
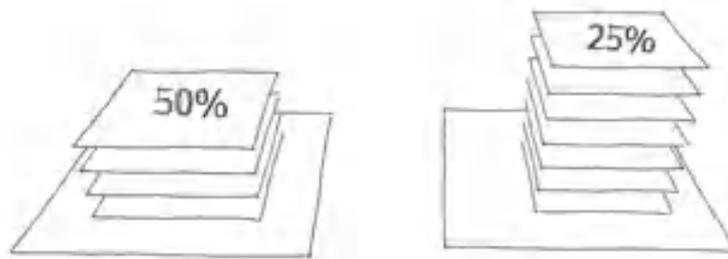


Figura 2 - Variação do número de pavimentos e da TO, mantendo o mesmo IA.



Fonte: Produzido pela autora.

Utilizando o índice de forma isolada há uma tendência em ocupar todo o solo e manter uma alta densidade horizontal, o que compromete a circulação do ar devido à ocupação de edifícios baixos. Isso foi o que ocorreu no conjunto vertical estudado, pensou-se em ocupar de forma horizontal o terreno gerando mínimos recuos entre as edificações, afetando diretamente a permeabilidade do vento, elevando o gradiente de ventilação e reduzindo suas velocidades nos níveis mais baixos das edificações. A partir disso conclui-se que é necessário repensar na utilização desse índice de forma isolada.

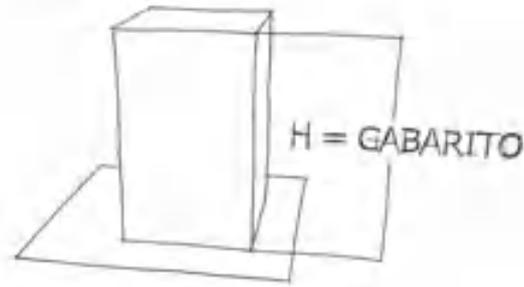
4.2. Gabarito

Expressa, em pavimentos ou metros, a altura máxima permitida para as edificações em uma dada zona. Quando combinados com taxa de ocupação e índice de aproveitamento indica uma tendência de altura máxima (Figura 3).

Estudos de Bittencourt, Cruz e Lôbo (1997) ao investigar as limitações ao gabarito na orla de Maceió puderam verificar que isso conduzia a aumento nas taxas de ocupação, o que gerava maiores barreiras construtivas a ventilação natural, porque eram construídos mais habitações por andar para compensar os custos do mercado imobiliário. Os autores sugerem que a legislação incentive a verticalização em alguns locais com taxa de ocupação mais baixas, mantendo também os recuos mínimos obrigatórios, isso aumentaria a porosidade do espaço construído e conseqüentemente a permeabilidade do vento.



Figura 3 – Representação do gabarito de um edifício



Fonte: Produzido pela autora.

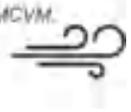
De acordo com Moreira (2006) é possível observar que na orla de João Pessoa há uma restrição na altura dos edifícios, mas nada no que diz respeito a parâmetros de densidade. Levando em consideração apenas o gabarito máximo e deixando de lado os demais índices urbanísticos tem como consequência uma contradição entre a densidade estabelecida pelo plano diretor e o índice de aproveitamento permitido desta forma. Além disso, como já observado por Peregrino e Silva (2007) em alguns trechos da orla por conta da liberação do gabarito em trechos fora a faixa de atuação da lei gerou escalonamento do trecho urbano como um todo, o que causa impactos diretos na ventilação natural urbana.

Edifícios com gabaritos diferente facilitam o desvio de parte do fluxo do vento podendo atingir edifícios mais baixos e permite ainda que haja uma circulação maior vento, melhorando a circulação no nível do pedestre e seu conforto térmico. Em áreas urbanas com alta densidade e edifícios com a mesma altura (Figura 4), como é o caso do conjunto em estudo, as coberturas dos edifícios funcionam como nível do solo, e os fluxos de ar tomam essa altura como uma nova superfície.

Figura 4 – Edifícios com o mesmo gabarito



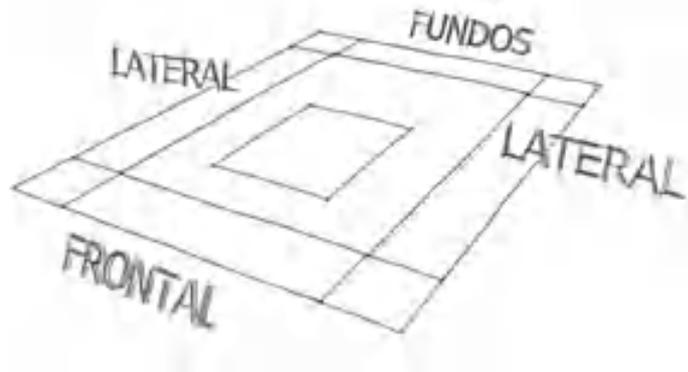
Fonte: Produzido pela autora.



4.3. Recuos

Compreendem os recuos mínimos obrigatórios da edificação em relação às divisas dos lotes, recuos laterais e de fundos, em relação ao logradouro público, recuos frontais, e entre as edificações no mesmo lote, como mostra a Figura 5.

Figura 5- Representação dos recuos em um terreno



Fonte: Produzido pela autora.

O parâmetro de afastamento tem influência direta na porosidade do tecido urbano à ventilação natural. Bittencourt, Cruz e Lôbo (1997) ressaltam a ideia de que quanto maiores os recuos, melhor a circulação do vento em áreas urbanas, além de aumentar a possibilidade de aproveitamento da luz natural no interior das edificações.

Os valores dos recuos são definidos pela legislação de acordo com o uso de cada lote, a classificação das vias onde se localizam e também com relação a distancia das edificações à rede elétrica, mas Hissa (2005) sugere que os afastamentos fossem determinados de acordo com as características de cada terreno, tendo em vista que o ambiente construído é definido de acordo com o terreno. Dessa forma não seria adotado o mesmo recuo para terrenos de dimensões diferentes.

4.4. Taxa de ocupação (TO)

Segundo Saboya (2007), taxa de ocupação é a relação entre a área da projeção horizontal da edificação e a área total do lote ou da gleba (como mostra a Figura 6), não importando a altura da construção e nem o número de pavimentos que a mesma ocupa no terreno. Em conjunto com o índice de aproveitamento configura um instrumento de controle de crescimento urbano e visa garantir que existam parcelas de solos livres no interior do terreno.

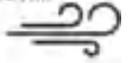
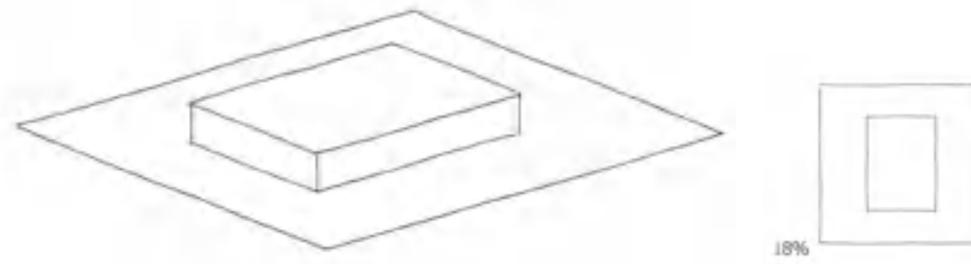


Figura 6 – Representação da taxa de ocupação



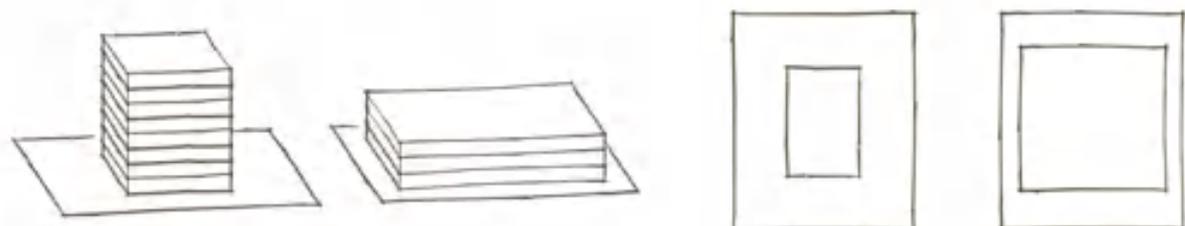
Fonte: Produzido pela autora.

Analisando o índice isoladamente sob o viés da ventilação natural é fácil observar que ao desconsiderar a dimensão vertical da edificação, a taxa causa impactos negativos sobre a ventilação, pois segundo Leite (2010) cria uma rugosidade elevada e em consequência a diminuição da intensidade dos ventos sobre o ambiente urbano.

Segundo Freitas (2008) a densidade de ocupação do solo é um dos principais fatores que podem determinar o conforto ou desconforto ambiental, e a capacidade ou incapacidade de atendimento da infraestrutura urbana.

A densidade é uma das formas de utilizar taxa de ocupação podendo assim liberar mais espaço no solo do terreno e verticalizando ou de forma contraria ocupando mais o lote e verticalizando menos, como mostra a Figura 7.

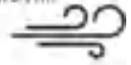
Figura 7- Terreno com edificações mais verticalizadas a esquerda, com TO igual a 20%. Edificação menos verticalizada a direita, com TO aproximadamente de 53%.



Fonte: Produzido pela autora.

5. VARIÁVEIS MORFOLÓGICAS E SUAS INFLUENCIAS NA VENTILAÇÃO NATURAL

5.1. Tamanho da Cidade



O tamanho da cidade tem influência no comportamento da ventilação natural, seja em seu comprimento horizontal ou vertical. Quanto mais massa edificada, mais o vento sofre variações e perde sua intensidade, de acordo com a quantidade de obstáculos encontrados pelo mesmo.

O tamanho da cidade influencia na quantidade de fontes produtoras de calor. Devido ao efeito de ilha de calor, observado em centros urbanos, a temperatura do ar pode sofrer alterações.

Estudos realizados por Bittencourt et al (1997) concluem que a elevação da altura dos edifícios combinada com a diminuição da taxa de ocupação do lote permite que o fluxo de vento percorra de forma mais distribuída em ambientes internos e externos.

O tamanho das cidades pode ter maior ou menor influência no acesso aos ventos locais de acordo com a ocupação do solo observada, portanto, é necessário que a cidade tenha um tamanho horizontal e vertical bem equilibrado, de forma que não existam áreas mais e menos adensadas e também, não exista a monotonia no tecido urbano quanto à altura dos edifícios.

5.2. Traçado urbano

De acordo com Costa Filho (2017), o clima urbano também é afetado pela orientação e configuração das ruas, implicando, efetivamente, na alteração do sistema de ventos local.

Diversos são os tipos de traçados urbanos, sendo eles o tabuleiro de damas, em tijolinho, como radiais, paralelos e aleatórios. Cada um deles permite que o vento adentre no tecido urbano de forma diferente, portanto cada um têm indicações para serem aplicados a diferentes situações climáticas.

Olgay (1962) a partir de estudos verificou que o arranjo “tabuleiro de damas” é o que melhor reduz o tamanho da sombra de vento. Tanto o arranjo de tabuleiro de damas como o de tijolinho, permite uma maior penetração de ventos, e são, portanto indicados para clima quente e úmido.



5.3. Densidade Construtiva

A densidade construtiva é baseada no parâmetro indicado pelo índice de aproveitamento, ou seja, a quantidade total, em metros quadrados, passível de construção em relação à área do terreno. A densidade é considerada bastante significativa para o desempenho da cidade, porém de forma aleatória torna-se um problema para as cidades.

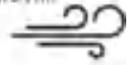
O aumento da densidade, de forma não planejada, acarreta uma série de problemas, entre eles de conforto térmico. Segundo Almeida (2006), diferentes densidades construídas na cidade afetam os microclimas pelo seu efeito cumulativo e determinam modificação do clima regional pela urbanização.

Os efeitos de densidade causados a uma determinada área construída dependem do tamanho, forma e posição das edificações que compõem a malha urbana. (GIVONI, 1998). Assim sendo, pensar em adensamento construtivo aliado ao planejamento urbano se faz necessário para adensar de forma eficaz. Observando altura, largura e espaçamento entre os edifícios para que haja uma melhor permeabilidade do vento, pois os edifícios podem funcionar como barreiras, reduzindo no nível do pedestre as taxas de renovação de ar. Em Bittencourt et al. (1997), foi observado, através de simulações, que mesmo com edifícios mais altos o fator mais importante na distribuição do fluxo de ar no tecido urbano eram os recuos. Além disso, é sugerido ainda o aumento do número de pavimentos, pois afirmam que, altas densidades de edifícios baixos com gabarito uniforme podem provocar uma redução drástica na velocidade do vento na altura dos pedestres, uma vez que, neste cenário, não existe o direcionamento do vento de cima para baixo ocasionado pelos edifícios.

5.4. Rugosidade e Porosidade

Segundo Costa Filho (2017), rugosidade é definida pela geometria e textura de superfície que definem maior aspereza ao ambiente urbano. Romero (2001) define rugosidade como sendo a diferença de altura das massas edificadas, responsáveis por alterar o deslocamento do fluxo de vento.

De acordo com Oliveira (1988, apud Almeida 2006) a rugosidade urbana depende de alguns aspectos como: diversidade de alturas das edificações, índice de fragmentação das áreas construídas e do diferencial de alturas encontradas.



A variação de altura entre as edificações possibilita ao vento um maior acesso entre os edifícios devido aos espaços criados, além disso, os edifícios funcionam como barreiras empurrando o fluxo do vento de cima para baixo, garantindo que a ventilação chegue ao nível do pedestre.

De acordo com Costa e Filho (2017) os afastamentos entre as construções também intensificam a probabilidade de a ventilação natural adentrar o tecido urbano. A maior proximidade ou afastamento entre os edifícios pode ser avaliada por um índice de fragmentação da massa edificada.

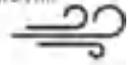
A porosidade no tecido urbano se refere ao espaçamento entre as edificações e está relacionada com a maior ou menor permeabilidade aos ventos que o tecido urbano pode apresentar. Segundo Vidal (1997, apud Almeida 2006), a análise desse atributo tem como base o tipo de trama, a orientação da trama quanto aos ventos dominantes e continuidade da trama.

Esse afastamento entre as edificações e/ou arranjos morfológicos relacionam-se ainda com a variação e diversidade de altura. Menores porosidades estão associadas a menor distância entre os edifícios e maior altura e podem diminuir consideravelmente a ventilação do local (COSTA FILHO, 2017).

Bittencourt et al (1997) compara a relação entre o padrão de implantação dos edifícios residenciais da cidade de Maceió e o seu potencial de ventilação. A partir das análises, os autores defenderam algumas alterações nos edifícios como forma de melhorar a qualidade de vida dos moradores. Entre elas a presença de pilotis completamente vazados e recuos progressivos, pois resultariam no aumento da porosidade da malha urbana, tornando assim a cidade mais ventilada.

6. VENTILAÇÃO NATURAL EM MEIO URBANO

O adensamento populacional nas cidades provoca diversas alterações no microclima, trazendo efeitos negativos quando se trata do conforto térmico dos pedestres e da questão da ventilação natural na cidade. Os edifícios podem funcionar, dependendo da forma que são implantados como barreiras contínuas ao nível do pedestre, reduzindo assim a taxa de



renovação do ar, como consequência elevando as temperaturas e criam grande acúmulo de fragmentos poluidores nesses locais.

Estudos aerodinâmicos do vento em meio urbano vêm ganhando relevância nas últimas décadas com o surgimento de novas ferramentas de pesquisa. Muitos pesquisadores buscam aprofundar seus conhecimentos em meio urbano por meio de estudos de casos específicos em diversas cidades tanto do mundo como no Brasil, como mostram os estudos de Moreira (2006) na cidade de João Pessoa e Sousa (2014) na cidade de Alagoas.

Esses estudos são divididos em dois grupos com diferenças entre os procedimentos metodológicos e a escala do objeto de estudo. Com relação a escalas podem estar divididos entre escala mesoclimática, levando em consideração grande parte da cidade ou de uma região, porém são muito difíceis estudos nessas escala, e escala microclimática onde objeto de estudo concentra-se em estudos de dimensões menores como bairros, quadras ou conjuntos, como é o caso da pesquisa.

No entanto, para compreender o escoamento do ar em meio urbano, se faz necessário à compreensão de alguns fenômenos físicos que dão origem ao vento.

7. VENTO

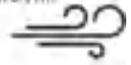
7.1. O vento na atmosfera

O vento é um fenômeno meteorológico formado pelo movimento de massas do ar na atmosfera. Vários fatores podem influenciar na sua formação fazendo com que o mesmo possa ser mais forte ou mais suave, dentre esses fatores estão a desigual distribuição de energia solar sobre a terra, pressão atmosférica, umidade do ar e a evaporação.

Segundo Frota e Schiffer (2003), tanto a direção quanto as características dos ventos são determinadas pela a variação da temperatura do ar no globo que provoca deslocamentos de massas do ar.

7.1.1. Velocidade e direção do vento

De acordo com Melagrano (1982) o vento constitui uma grandeza vetorial que inclui velocidade e direção. Sua velocidade é representada em por metros por segundo (m/s) e sua direção de acordo com o ângulo medido em graus no sentido horário em relação ao norte.



A velocidade do vento é controlada pelo gradiente de pressão estabelecido entre áreas de diferentes pressões barométricas, resultado da diferença de pressão do ar entre duas superfícies adjacentes. Quanto maior for o gradiente, mais veloz será o deslocamento do ar (LEITE, 2010).

A escala de Beaufort (Figura 8) classifica a intensidade dos ventos, levando em consideração as velocidades e os efeitos que ocasionam em terra.

Figura 8– Tabela de Beaufort

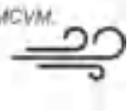
Número de Beaufort	Descrição do Vento	Velocidade (m/s)	Velocidade (km/h)	Descrição dos efeitos do Vento
0	Calmaria	Menos 0,4	Menos 1,4	Calmo; fumaça eleva-se verticalmente
1	Aragem leve	0,4 a 1,5	1,4 a 5,4	Direção do vento mostrada por inclinação de fumaça, mas não por cata-vento
2	Brisa leve	1,6 a 3,3	5,5 a 12	Vento sentido no rosto; folhas das árvores agitadas
3	Brisa suave	3,4 a 5,4	12 a 19	Cabelos desarrumados; vento desfralda bandeira leve
4	Vento moderado	5,5 a 7,9	19 a 26	Vento levanta poeira; papéis soltos; pequenos galhos não movidos
5	Vento fresco	7,9 a 10,7	26 a 35	Força dos ventos sentida no corpo; pequenas árvores são sacudidas; formam-se pequenas ondas nos lagos
6	Vento forte	10,7 a 12,2	35 a 44	Uso de sombrinhas com dificuldade; cabelos golpeados imediatamente; dificuldade de caminhar com firmeza; vento assobia nos fios; desagradável no ouvido
7	Tempestade moderada	12,2 a 15,2	44 a 55	Grandes árvores sacudidas; inconveniência sentida quando se caminha contra o vento
8	Tempestade	15,2 a 18,5	55 a 66	Ramos de árvores quebrados; geralmente impede de caminhar na rua
9	Tempestade forte	18,5 a 21,6	66 a 78	Leves danos estruturais; telhas arrancadas
10	Tempestade total	Acima 21,6	Acima 78	Árvores arrancadas; consideráveis danos estruturais

Fonte: Forsdyke apud Leite 2010

7.1.2. Turbulência

De acordo com Stull (1988) a corrente de ar pode apresentar um fluxo laminar ou turbulento. Um escoamento turbulento é caracterizado por um escoamento de fluido onde as partículas se misturam de forma não linear, onde vários vórtices de diversos tamanhos se sobrepõem uns sobre os outros, manifestando-se como flutuações quase aleatórias na velocidade do ar.

Apesar das diversas pesquisas existentes, o fluxo turbulento é considerado por Allard e Ghiaus (2006) como um dos problemas insolúveis da física clássica. A turbulência deforma o

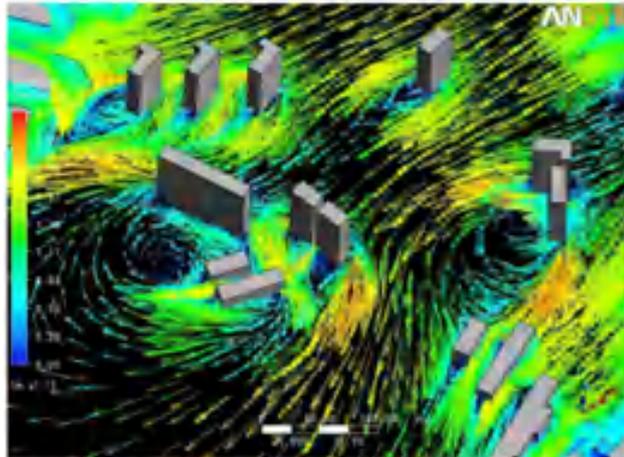


fluxo o que torna mais complexo compreender seu comportamento. O campo de velocidade de um fluxo turbulento pode ser explicado com a superposição de uma grande quantidade de correntes de vários tamanhos, no qual o tamanho da maior é limitado pela dimensão transversal do fluxo (LEITE, 2015).

Um conjunto de turbilhões de variadas dimensões que compõe o escoamento provoca variações na velocidade do vento. Os turbilhões podem ser grandes ou pequenos e são responsáveis pelas oscilações, mas não pelo o vento médio. Quanto maior a dimensão dos turbilhões maiores são as alterações na velocidade provocadas por eles, entretanto quanto menores mais frequentes.

No nível do solo é possível verificar uma maior turbulência, pois é onde os processos mecânicos e térmicos são mais intensos, como mostra a Figura 9.

Figura 9– Detalhes dos vetores a 1,5 m do solo próximo a um conjunto verticalizado

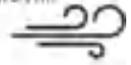


Fonte: Leite, 2010

7.2. Camada limite urbana

Camada limite é a parte da atmosfera, que é diretamente influenciada pela superfície, quando se diz respeito às cidades é chamada de Camada Limite Urbana (CLU) e é influenciada pela rugosidade da superfície, turbulência térmica e mecânica, produção antrópica de calor e pelo armazenamento de calor pelas estruturas físicas urbanas.

Oke (1987) através dos seus estudos sobre a atmosfera da cidade realizou uma divisão vertical que é utilizada até hoje. Ele explica que a atmosfera da cidade é resultados de vários



processos na microescala em operações nas ruas entre edifícios, chamados de cânions urbanos.

A CLU se forma na direção do vento, envolvendo toda a estrutura da cidade como uma redoma cuja altura depende da rugosidade da superfície e da estabilidade atmosférica. O fluxo do ar ao sair de áreas rurais para o ambiente urbano se ajusta as novas condições definidas pela cidade, onde é modificado de acordo com a geometria dos edifícios (como mostra a Figura 10), e como consequência há alteração em sua direção e velocidade.

De acordo com Oke (1978) distinguimos a atmosfera sob influência urbana entre camada limite urbana, camada de cobertura urbana e pluma urbana.

Figura 10 – Esquema da camada limite urbana



Fonte: Leite (2015)

Para Alcoforado (1993), o volume do ar presente entre as edificações corresponde à *urban canopy layer* (UCL; atmosfera urbana inferior), que seria a camada ao nível das coberturas. O fluxo de ar nessa camada é resultado das interações entre o fluxo acima da superfície, que podem ser influenciados pela topografia, geometria e dimensão dos edifícios, ruas e outras características.

Logo acima da superfície se encontra a *urban boundary layer* (UBL; atmosfera urbana superior), influenciada pelos fatores térmicos da cidade, e ao se prologar a sotavento em direção à área rural formam a denominado pluma urbana.

7.3. A ventilação em áreas urbanas

Dentre os elementos que compõem o clima, o vento é o que mais facilmente tem o seu comportamento alterado e controlado pelo desenho urbano, como afirma Romero (2001).



Quando se trata da permeabilidade em meio urbano podemos observar que vários fatores influenciam diretamente, entre eles a densidade construtiva, a altura e largura dos edifícios, a orientação das ruas e o espaçamento entre as edificações, o tamanho e a distribuição das áreas livres.

Para Chandler (1976) o processo de urbanização é responsável pela alteração no comportamento do vento, por isso se torna importante conhecer as condições climáticas existentes para tirar partido para um melhor planejamento urbano, bem como conhecer os impactos do desenvolvimento da paisagem sobre a ventilação natural dos edifícios e seu entorno. Dentre os impactos, pode-se observar a elevação da altura da camada limite, e como consequência a redução da velocidade do ar próximo à superfície do solo.

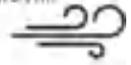
Segundo Leite (2010), o vento ao adentrar a cidade, sofre vários desvios, o que modifica seu perfil de velocidade verticalmente em função dos atritos com as superfícies que formam a paisagem urbana e, conseqüentemente, reduz a pressão incidente sobre as fachadas de edifícios. Chandler (1976) afirma que na camada ao nível das coberturas é onde o fluxo do ar tem seu momento transformado em pressão sobre as fachadas dos edifícios, causando alterações no comportamento dos ventos em regiões próximas.

A pressão da incidência do ar sobre as fachadas é um dos parâmetros de maior importância para o processo de ventilação natural no interior dos edifícios. A diferença de pressão nas aberturas a barlavento e a sotavento faz com que exista a circulação do fluxo de ar.

De acordo com Leite (2010, p.91),

Comumente a pressão é positiva a barlavento e negativa a sotavento. Ao criar zonas de alta e baixa pressão nas diferentes faces do edifício, o vento induz o movimento do ar em seu interior e esses fluxos dependem essencialmente dos coeficientes de pressão nas fachadas.

Oke (1987) com a ajuda de anemômetro situado no topo de um edifício escolar nos subúrbios de Berlim, 32 metros acima da superfície, registrou a diminuição da intensidade do vento após a construção de um conjunto de edificações, a velocidade do ar passou de 5,1m/s para 3,9m/s. Isso ocorre porque a massa volumétrica é capaz de alterar fluxos do ar em seu entorno, e em condições normais de escoamento o edifício divide as correntes de ar, acelera o ar juntos as arestas, os chamados efeitos de canto, além de criar turbulências no solo e



vórtices na região imediatamente posterior, como observado em muitos trabalhos (GIVONI 1962; OLGYAY, 1992; EVANS; SCHILLER, 1994).

7.4. Perfil do vento sobre o meio urbano

Os perfis típicos para condições de atmosfera neutra apresentam, em altura, diferenças em decorrência da superfície a ser ultrapassada, como afirma Prata (2005). Com base nesse fenômeno Cândido e Bittencourt (2005) explicam que o aumento da velocidade do ar ao longo de um eixo vertical vai variar. Junto à superfície seu valor é nulo e atinge intensidade máxima igual seu fluxo em uma área livre de obstruções, caracterizando o que se convencionou chamar de gradiente da velocidade do vento.

De acordo com Prata (2005, p. 13,14),

Em áreas abertas e planas o topo da camada limite (Z_g), a altura acima da qual a velocidade média do vento se mantém constante, é inferior à atingida nas zonas rurais, por ser um pouco mais rugosas. Já nas cidades, como a rugosidade é mais elevada, as forças de atritos só são desconsideradas a uma altura ainda mais elevada. Existe desta forma uma relação direta entre rugosidade e a espessura da camada definida por (Z_g) na atmosfera.

De acordo com Lopes (2003, apud Prata 2005) o gradiente da velocidade média do vento ele diminui com o aumento da rugosidade. Melarango (1982) em resumo afirma que a altura do gradiente (Z_g) é aquela acima da qual o atrito com a superfície terrestre não interfere mais a velocidade do vento.

Os perfis de ventos representam situações de atmosfera neutra utilizados em modelos numéricos e respondem a perfis logarítmicos do vento, como mostra a Figura 11. Sabendo disso, utilizou-se a equação do perfil logarítmico do vento (Equação 1) para realizar as simulação.

Equação 1 – Equação do perfil logarítmico do vento

$$V(z) = V(z_{ref}) \frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_{ref}}{z_0}\right)}$$

Onde:
 $V(z)$ = velocidade na altura desejada;
 z = altura desejada;
 $V(z_{ref})$ = velocidade na altura de referência;
 z_0 = Rugosidade da região (usou-se 0,5m para áreas de subúrbios).

Fonte: Ribeiro, 2016.

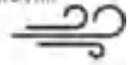
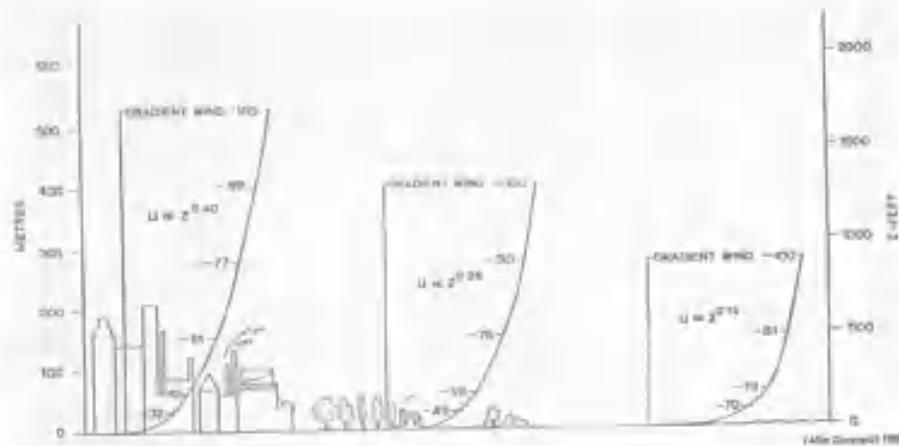


Figura 11– Perfís típicos do vento sobre vários tipos de superfícies



Fonte: PRATA (2005)

8. EFEITOS DO VENTO NO ENTORNO DOS EDIFÍCIOS

Quando se trata do planejamento regional a ventilação natural também exerce um papel importante nas decisões a serem tomadas no projeto. As características do vento predominante podem ser alteradas e o vento acaba tornando-se um aliado ou um “vilão” de acordo com o movimento que o fluido realiza ao percorrer a massa de edificações construídas, tendo em vista que o ar tem uma relação direta com a forma, dimensão e justaposição das edificações, como afirma Romero (2001).

Existem vários efeitos aerodinâmicos do vento sobre as massas construídas. Segundo Gandemer e Guyot apud Romero (2000), os principais seriam considerados o efeito de pilotis, efeito de esquina ou de canto, efeito de esteira, efeito de redemoinho, efeito de barreira, efeito de Venturi, efeito das zonas de pressão diferente, efeito de canalização, efeito de “malha” e efeito de pirâmide.

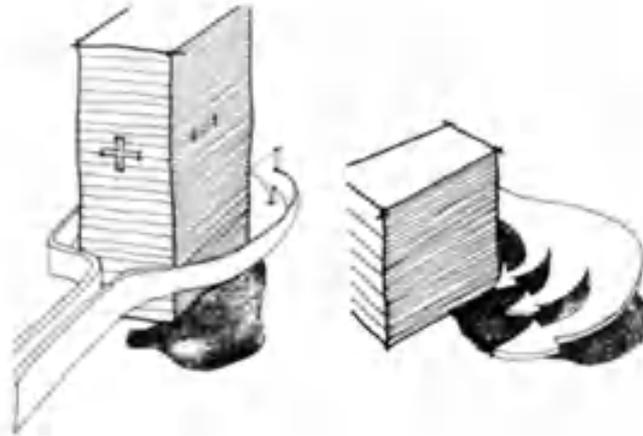
É importante conhecer esses efeitos aerodinâmicos para análise dos resultados desta pesquisa, são eles:

Efeito de canto ou de esquina (Figura 12): Fenômeno de corrente de ar nos ângulos da construção, como o próprio nome já diz. Para conter tais efeitos se aconselha arredondar os



cantos, prever elementos porosos próximos dos cantos e adensar a vizinhança imediata com o uso de vegetação (VIERIA, 2006).

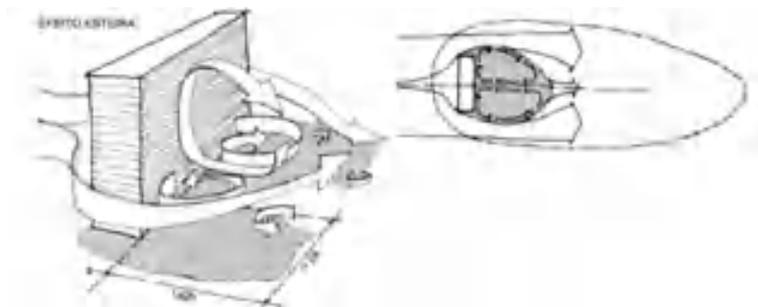
Figura 12 – Efeito de canto ou esquina



Fonte: Mascaró, 1991. P77

Efeito esteira (Figura 13): De acordo com Leite, 2010 o fenômeno é causado pela velocidade dos ventos sobre zonas de pressões diferentes resultando em uma sombra de vento caracterizada por uma zona de turbulência nos diversos sentidos, onde se formam vórtices e recirculação de ar. A dimensão da esteira varia em função da direção dos ventos e da força do edifício.

Figura 13– Efeito de esteira

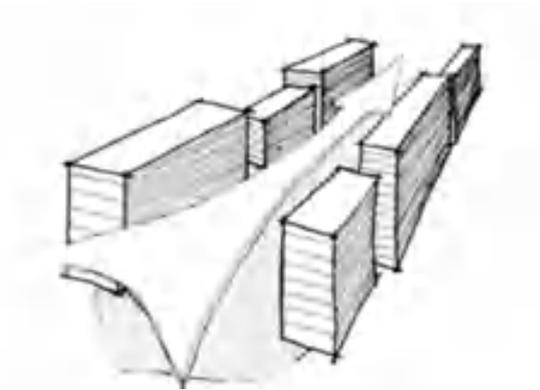


Fonte: Mascaró, 1991. P81

Efeito de canalização (Figura 14): Fenômeno de corrente do ar que flui por um canal a céu aberto formado pelas construções, esse canal se forma quando os espaços construídos apresentam paredes pouco porosas e um espaçamento das construções (VIEIRA, 2006).



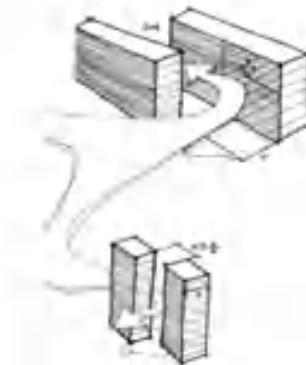
Figura 14– Efeito de canalização



Fonte: Mascaró, 1991. P78

Efeito de desvio de massa de ar (Figura 15): Ocorre quando os edifícios estão dispostos ortogonalmente à direção dos ventos predominantes.

Figura 15– Efeito de desvio de massa de ar



Fonte: Mascaró, 1991. P74f

Os efeitos aerodinâmicos aqui apresentados serão explorados nas análises das simulações computacionais da ventilação natural realizadas, buscando entender a contribuição dos mesmos para o ganho de velocidade em meio urbano.

9. ESTUDO DA VENTILAÇÃO NATURAL ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO COM CFD

Diversas são as formas de se avaliar o comportamento da ventilação natural em meio urbano e no interior dos edifícios, podendo ser elas mais simples através de mesa d'água e túnel de vento, até os mais avançados programas de dinâmica dos fluidos computacionais.



Para verificar a ventilação natural no conjunto vertical do PMCMV estudado, foi escolhido um desses programas de Fluidodinâmica computacional, O *ANSYS CFX*.

O CFD permite estudar o escoamento de fluidos e pode ser aplicado a diferentes campos de conhecimento, diversas são as possibilidades de trabalho e o que teoricamente pode limitar o estudo está relacionado à capacidade computacional como afirma Leite (2015). São ferramentas poderosas, um sistema preciso de simulação numérica de processos físicos de escoamento dos fluidos, como é o caso da ventilação natural. Dentre os diversos tipos de CFD, o *ANSYS CFX* é usado para simular o fluxo de um fluido numa variedade de aplicações.

Comparado a outros métodos, como ensaios em túnel de vento, pode ser mais eficiente por realizar um maior número de análises, além disso, utiliza modelos tridimensionais virtuais para investigar a ventilação natural. O programa surge como alternativa mais rápida para prever e dar soluções aos problemas encontrados quando se diz respeito à ventilação natural. Os modelos virtuais oferecem a facilidade de fazer e testar alterações nos edifícios, nos auxiliando em futuras decisões projetuais, é possível variar a geometria do objeto em estudo e inserir novas condições de contorno sem grandes investimentos materiais ou em função do tempo.

De acordo com Celinski, Santos e Mendes (2003), a ferramenta produz resultados rápidos se comparada a experimentos realizados em ambiente real, e com a evolução da capacidade de processamento a análise dos resultados se tornaram mais simples, o tempo e o custo das simulações diminuiu, apesar dos programas de CFD terem um alto custo. A simulação então acaba se tornando uma ferramenta mais acessível e eficaz para estudos de ventilação natural. Porém é necessário um conhecimento especializado devido à grande complexidade desses softwares para que as simulações sejam feitas e, mais do que isso, sejam interpretadas corretamente.

No Brasil estudos relacionados ao vento e ao planejamento urbano podem ser considerados bastante recentes. Pesquisas desenvolvidas por Bittencourt et al (1997), Silva (1999), Prata (2005), Souza (2006), Peregrino & Silva (2007), Leite (2010), Liu et al (2014), Sousa, Lamenha, Freitas e Bittencourt (2014) e Leite (2015) tem como ponto em comum os reflexos causados pela transformação do espaço urbano, tanto devido à verticalização como adensamento construtivo, sobre o comportamento do vento na cidade.

Bittencourt et al (1997) comparam a relação entre o padrão de implantação dos edifícios residenciais da cidade da Maceió e o seu potencial de ventilação. A partir das



análises, os autores defenderam algumas alterações nos edifícios como forma de melhorar a qualidade de vida dos moradores. Entre elas estão a ampliação do número de pavimentos, pois afirmam que a grande quantidade de edifícios baixos com gabarito uniforme pode provocar uma redução drástica na velocidade do vento na altura dos pedestres, pilotis completamente vazados e recuos progressivos, pois resultariam no aumento da porosidade da malha urbana, tornando assim a cidade mais ventilada.

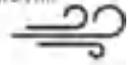
Silva (1999) investigou as condições de ventilação natural na cidade de João Pessoa através de ensaios em túnel de vento, e verificou a influência das mudanças nos padrões de ocupação do solo sobre a ventilação natural de forma qualitativa e quantitativa.

Prata (2005) utilizou ensaios de túnel de vento e simulações computacionais através do CFD para determinar os impactos que a verticalização na orla de Santos pode causar à ventilação natural urbana e ao conforto do pedestre. A autora concluiu que para melhoria do clima urbano é necessário o aumento das distâncias entre as edificações como forma de garantir maior permeabilidade do vento.

Souza (2006) utilizou simulação computacional para verificar os impactos da elevação do gabarito em um bairro de Goiânia sobre a ventilação natural. Foram simulados alguns cenários com o objetivo de visualizar o fluxo do vento naquela área e como resultado determinou-se as configurações que geravam uma menor velocidade do ar, comprometendo o conforto térmico dos moradores.

Peregrino e Silva (2007) investigaram a relação entre o escoamento do vento e os padrões de ocupação do solo determinados pela legislação de João Pessoa. A partir de ensaios em túnel de vento foi possível concluir que o escalonamento proposto pela legislação causaria impactos na ventilação natural urbana. Em contrapartida, uma área composta por edificações mais verticalizadas e com um maior adensamento construtivo apresentou nos estudos maiores velocidades do ar, contribuindo assim para qualidade do ar e conforto térmico dos usuários.

Leite (2010) investigou a influência da mudança nos padrões de ocupação do solo sobre a ventilação natural. Os estudos foram realizados em quadras na cidade de Fortaleza, propondo cenários de máxima e intermediária ocupação sem levar em consideração a exceção no plano diretor que era responsável pela elevação na altura das edificações. Com os resultados das simulações computacionais utilizando o CFD o autor concluiu que melhores

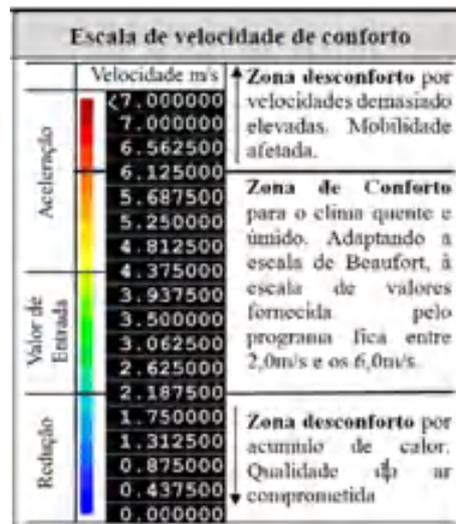


condições de ventilação eram observadas nos trechos em que os edifícios eram mais altos, porém a ventilação em regiões posterior ao trecho observado era prejudicada.

Liu et al (2014) por meio da simulação computacional com o CFD investigou a ventilação natural em um conjunto residencial na China. E a partir das análises constatou-se que o espaçamento e a orientação dos edifícios contribuem de forma significativa para aumento dos valores de velocidade, obtidos com base na diferença média de pressão, e também que as velocidades diminuem à medida que o ângulo de incidência do vento torna-se obtuso em relação à fachada.

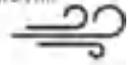
Sousa, Lamenha, Freitas e Bittencourt (2014), estudaram em sua pesquisa o efeito da altura e porosidade de edifícios na ventilação urbana. Analisam por meio da simulação computacional as modificações que ocorrem na ventilação natural, com a inserção de pavimentos vazados e pilotis, em edifícios de um recorte de área litorânea de Recife – PE. Para análise do conforto térmico extraiu-se imagens a 1,5 metros do solo, para analisar o conforto ao nível de pedestre, além de identificar os efeitos aerodinâmicos e definir uma escala de conforto (Figura 16) para indicar em qual zona as áreas se encontravam. A escala é baseada na escala de Beaufort e nos máximos valores descritos por Silva (1999).

Figura 16 – Escala de velocidade de conforto



Fonte: SOUSA, Joana et al., 2014.

Leite (2015) investigou a alteração das condições de ventilação natural e de incidência solar provocadas pelo meio urbano. Foram realizadas simulações computacionais em diferentes etapas e escalas, tanto em meio urbano como no interior dos edifícios. O autor



conclui que as formas urbanas funcionam como obstáculos que modificam o vento, podendo reduzir ou incrementar o campo de pressão das fachadas, e também como as formas urbanas com relação à incidência solar podem reduzir significativas parcelas de radiação sobre os planos verticais, e esses dois fatores quando atuam de forma conjunta nas fachadas dos edifícios garantem um maior conforto térmico dos usuários durante maior parte do ano.

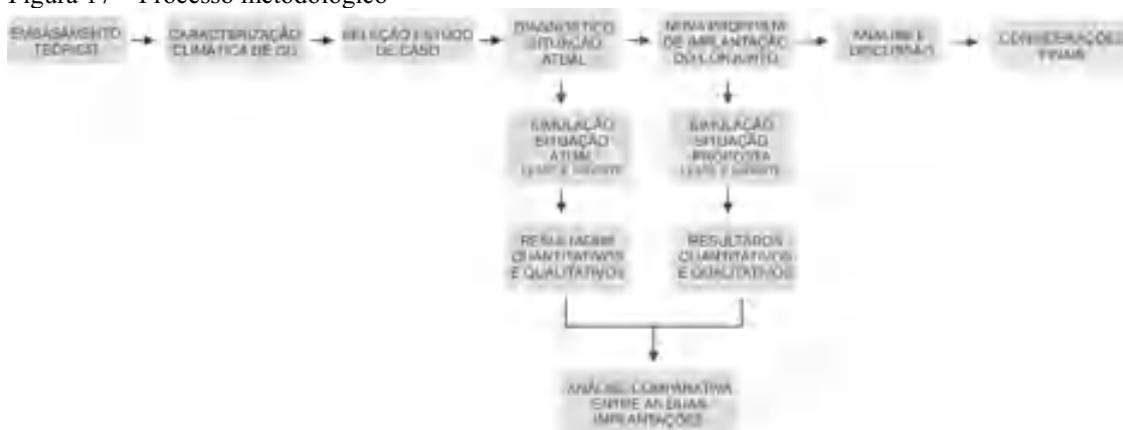
CAPÍTULO 2 - MÉTODO

10.METODOLOGIA

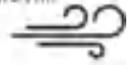
O método utiliza-se de modelos tridimensionais, que representam edificações, feitos em CAD que são exportados para o CFD no intuito de simular a ventilação natural no entorno dos mesmos. O software CFD permite assim estudar o escoamento de fluidos desde o entorno do conjunto do PMCMV, tido como objeto de estudo, como seus reflexos no interior dos apartamentos, como afirma Leite (2015). O CFD é uma ferramenta poderosa, um sistema preciso de simulação numérica de processos físicos de escoamento dos fluidos, como é o caso da ventilação natural. Dentre os diversos tipos de CFD, temos o programa ANSYS CFX escolhido pra se trabalhar na pesquisa.

A pesquisa se baseia em procedimentos experimentais, como as análises e simulações computacionais da ventilação natural, um dos temas centrais da pesquisa, e seguem as etapas metodológicas apresentadas na Figura 17.

Figura 17 – Processo metodológico



Fonte: Produzido pela autora.



Os procedimentos metodológicos no geral seguem as etapas apresentadas no estudo de Morais (2013), buscando sempre adequá-las a pesquisa em questão, e são descritas abaixo:

1. Pesquisa bibliográfica sobre trabalhos relevantes da área do projeto pesquisa;
2. Seleção e caracterização do estudo de caso;
3. Diagnóstico climático de Campina Grande;
4. Confecção dos modelos atuais (CAD);
5. Confecção da malha tetraédrica de cada modelo (ICEM ANSYS);
6. Simulação computacional da ventilação natural (ANSYS-CFX);
7. Diagnóstico da situação atual e definição das alterações projetuais;
8. Confecção dos modelos alterados (CAD);
9. Análises e discussões de resultados;
10. Conclusões.

10.1. SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

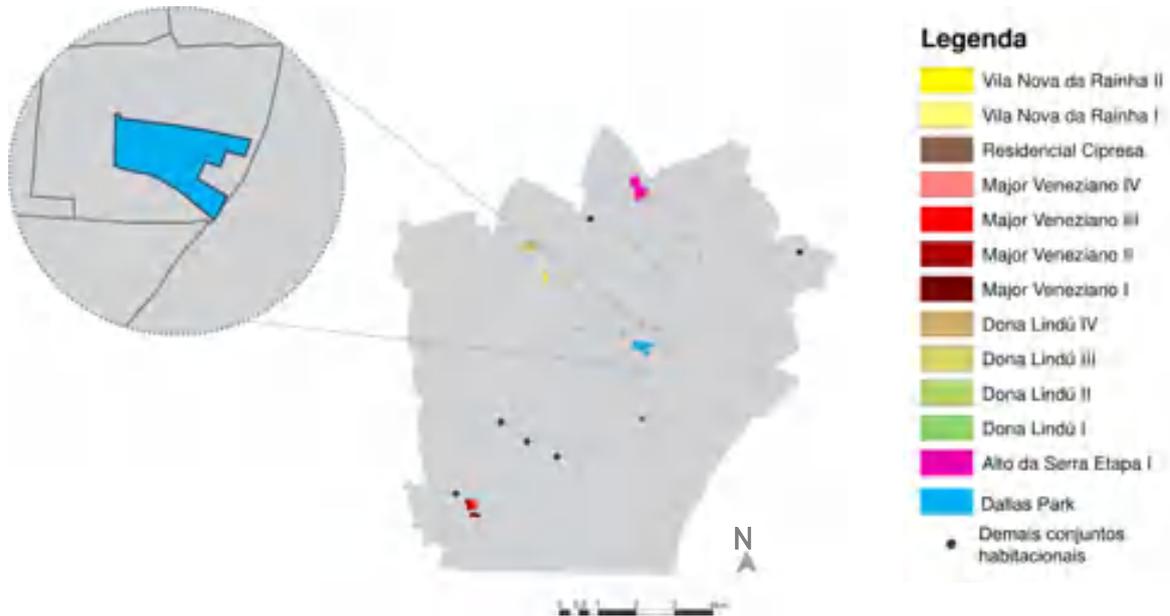
10.1.1. O caso do conjunto vertical do PMCMV

O objeto criteriosamente selecionado para esta pesquisa trata-se de um conjunto habitacional do PMCMV entregue no início de 2016. Este empreendimento, diferente dos demais do PMCMV na cidade de Campina Grande, localiza-se no interior da malha urbana e não em sua periferia, como é comum neste tipo de programa. A figura 18 mostra a localização de diversos empreendimentos do PMCMV na cidade de Campina Grande e destaca-se em azul o empreendimento estudado. Logo percebe-se que seu impacto no microclima local tende a ser maior que outro que estivesse em zona periurbana.

Outro fator de escolha desse empreendimento é sem dúvida a tipologia arquitetônica adotada, blocos monolíticos que abrigam 8, 10 e 12 apartamentos por andar, o que confere uma característica formal- volumétrica de prisma bastante longitudinal. Com isso é interessante perceber que facilmente uns blocos tornam-se barreiras de vento para outros e com isto as condições de desconforto térmico tendem a ser ampliadas em algumas unidades habitacionais.



Figura 18 – Localização de empreendimentos do PMCMV



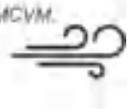
Fonte: LIMA NETO, Carlos Alberto, 2015. Adaptado pela autora.

Trata-se de um empreendimento que possui um total de 864 unidades habitacionais, e conta com uma área total aproximada de 42330 m² onde são dispostos 21 blocos (com 4 pavimentos cada, térreo + 3 pavimentos), sendo 6 desses blocos de 8 apartamentos por pavimento, 6 desses blocos de 10 apartamentos por pavimento e 9 desses blocos de 12 apartamentos por pavimento, como mostra a Figura 19.

Figura 19 – Implantação do Conjunto no terreno

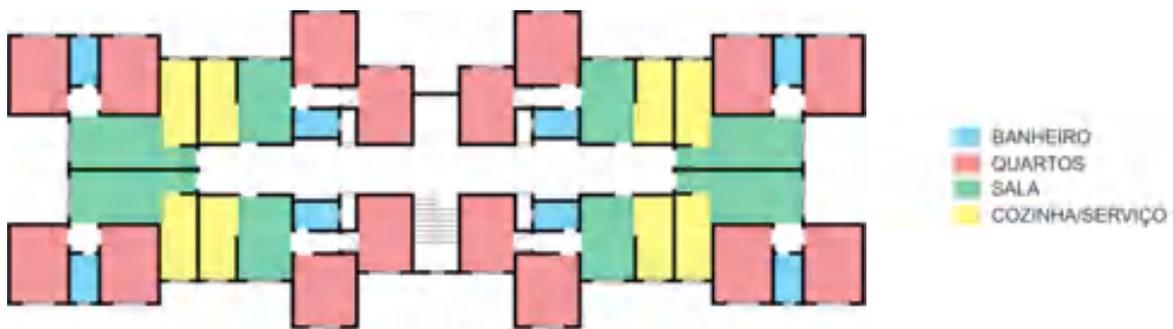


Fonte: Produzido pela autora.



As plantas baixas dos pavimentos tipos dos três tipos de blocos foram obtidas através de imagens de folders do empreendimento e a partir das cotas informadas em cada ambiente foi possível gerar plantas e implantação do conjunto em arquivo CAD (como mostra Figura 20). Os blocos possuem core e circulação horizontal central. Seus apartamentos possuem áreas que variam entre 46,42 e 49,26m² e contemplam um programa de necessidade simples contendo apenas sala, 2 quartos, cozinha, banheiro e área de serviço.

Figura 20 – Zoneamento do pavimento tipo (8 apartamentos por pavimento)



Fonte: Produzido pela autora.

10.2. CARACTERIZAÇÃO DA VENTILAÇÃO DE CAMPINA GRANDE/PB

Ao definir que as simulações computacionais da ventilação natural em meio urbano ocorreriam na cidade de Campina Grande – PB se fez necessário um estudo sobre a ventilação local, tendo em vista que para realizar tais simulações foi necessário reproduzir cenários mais próximos da realidade no qual o conjunto estaria inserido.

O município de Campina Grande está localizado na mesorregião geográfica do Agreste paraibano e tem como coordenadas geográficas 07°13' Sul, e 35°53'Oeste, a aproximadamente 600 m de altitude acima do nível do mar. Para realizar a caracterização da ventilação foi necessário escolher uma estação para obter os dados climáticos sendo os dados de direção e velocidade média dos ventos os principais, portanto deveriam abranger um considerável intervalo de tempo, a fim de se montar um banco de dados consistente.

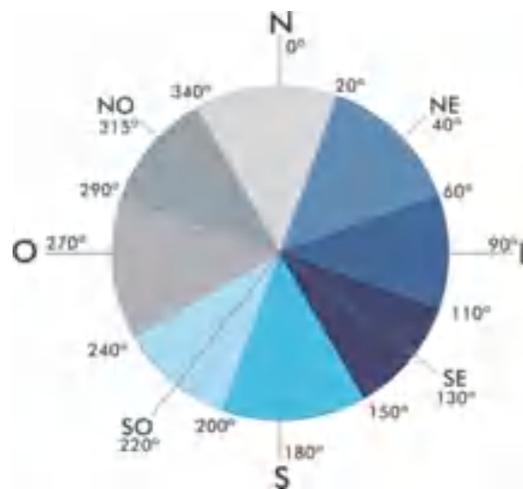
A partir do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), um banco que abriga dados meteorológicos diários em forma digital das várias estações meteorológicas convencionais da rede de estações do INMET, foi possível obter através da estação de código 82795 (Lat. -7°21' e Long. -35°88', localizada próxima ao



empreendimento) as variáveis atmosféricas de temperatura, umidade relativa, direção e velocidade média dos ventos durante um período de 20 anos consecutivos (de 1995 a 2015).

O primeiro passo da caracterização dos ventos foi dividir as direções do vento em oito faixas centradas nas direções Norte (0°) a Noroeste (315°). A direção Leste, por exemplo, compreende os ventos com direção entre 60° e 110° e a direção Sudeste inicia-se com valores de 110° a 150° e assim por diante. A Figura 21 mostra exatamente como dividiu-se as oito faixas de direção dos ventos.

Figura 21 - Intervalos em graus radianos registrados pela estação considerados no banco de dados.



Fonte: Produzido pela autora.

Posteriormente procedeu-se a determinação das direções predominantes dos ventos e a consequente velocidade média representativa de cada direção. Trabalhando com os dados obtidos foi possível se verificar qual a maior frequência e qual a velocidade média das direções predominantes. Pelos dados encontrados observou-se que em Campina Grande considera-se direção predominante anual Sudeste, apresentando maior frequência em 10 meses do ano, seguida da direção Leste com maior frequência nos meses de Novembro e Dezembro, como mostram no quadro 1.

As respectivas velocidades médias sudeste e leste são $3,72\text{m/s}$ e $3,83\text{m/s}$ respectivamente. Apesar de apenas só dois meses apresentarem predominância leste, são meses quentes (altas temperaturas) e a ventilação nesses meses se faz muito necessária, pois atua retirando calor do ambiente e consequentemente diminuindo as temperaturas nestes locais.

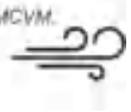


Tabela 1 – Frequência dos dados de direção dos ventos do ano 1995 a 2015

MESES	NORTE	NORDESTE	LESTE	SUDESTE	SUL	SUDOESTE	OESTE	NOROESTE
JANEIRO	0,46%	10,16%	36,70%	51,26%	0,80%	0,29%	0,17%	0,17%
FEVEREIRO	1,12%	8,17%	36,37%	52,46%	1,50%	0,19%	0,12%	0,06%
MARÇO	0,34%	12,49%	36,71%	49,14%	0,74%	0,46%	-	0,11%
ABRIL	0,36%	8,05%	33,43%	53,61%	3,02%	1,18%	0,06%	0,30%
MAIO	0,52%	6,47%	28,64%	56,53%	6,64%	1,09%	0,11%	-
JUNHO	0,19%	2,50%	16,36%	67,58%	11,93%	1,25%	0,12%	0,06%
JULHO	0,12%	1,15%	15,52%	70,89%	11,47%	0,85%	-	-
AGOSTO	0,12%	0,42%	17,18%	75,23%	6,93%	0,06%	0,06%	-
SETEMBRO	0,24%	2,20%	20,24%	73,52%	2,81%	0,73%	0,24%	-
OUTUBRO	-	4,52%	37,70%	56,58%	1,20%	-	-	-
NOVEMBRO	0,06%	9,76%	49,23%	40,18%	0,30%	0,41%	0,06%	-
DEZEMBRO	0,12%	11,13%	47,94%	39,25%	0,87%	0,64%	-	0,06%

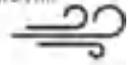
Fonte: Dados da Rede do INMET, Adptado pela autora

Decidiu-se então simular as duas direções predominantes, a direção a 90° (usou-se banco de dados do vento Leste) e 130° (banco de dados da direção Sudeste), como mostra a Figura 22, a fim de observar como o vento se comporta entre os blocos do conjunto, mostrando a relação entre a morfologia urbana e a promoção da ventilação natural na cidade.

Figura 22- Esquema gráfico indicativo da implantação do conjunto diante dos ventos simulados de 90° e 130°.



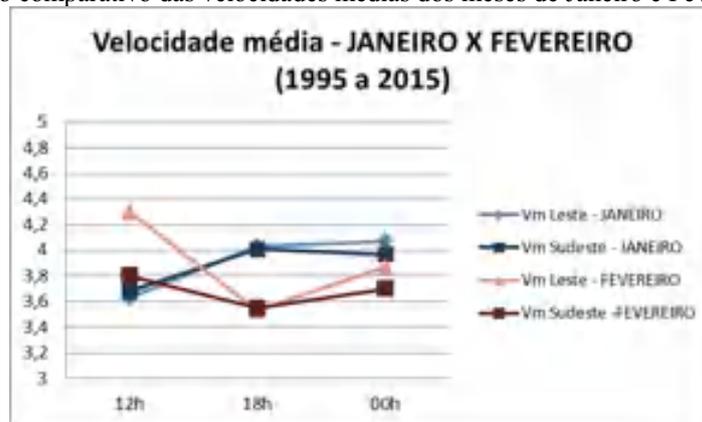
Fonte: Produzido pela autora.



Para uma análise mais aprofundada foram confeccionados gráficos, de acordo com o banco de dados, comparando os meses Janeiro e Fevereiro (considerado os meses mais quentes do ano na cidade) e Julho e Agosto (considerado os meses mais frios na cidade). Nos gráficos é possível observar a velocidade média em três horários distintos, às 12 horas (meio dia), 18 horas e 24h (meia noite).

Comparando os meses mais quentes, segundo as temperaturas que estavam disponíveis no banco de dados, (Figura 23) observou-se que em Fevereiro as velocidades médias no horário de meio dia são mais altas, podendo chegar a quase 4,4m/s, mas conforme a hora avança as velocidades médias vão diminuindo podendo chegar a 3,9m/s. Já em Janeiro acontece o contrario, as velocidades médias no começo do dia são mais baixas que no final, variando de 3,6m/s a 4,2m/s. Outra constatação foi que as velocidades médias do vento incidente leste são sempre maiores que as velocidades do vento incidente sudeste no início e no final do dia, mas no horário de 18 horas elas se tornam praticamente iguais.

Figura 23 – Gráfico comparativo das velocidades médias dos meses de Janeiro e Fevereiro

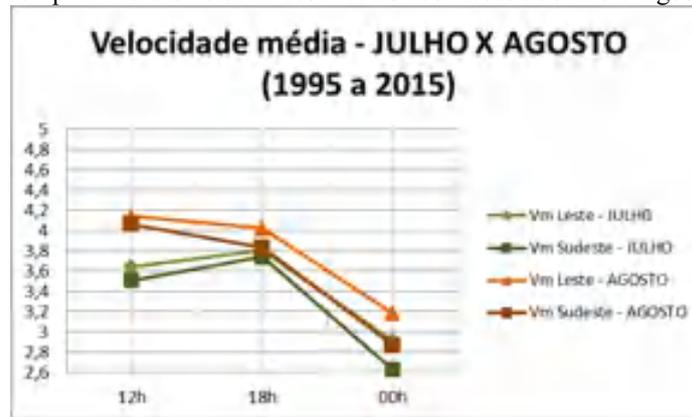


Fonte: Dados da Rede do INMET, Adptado pela autora.

Comparando os meses mais frios (Figura 24) foi possível observar que as velocidades médias no mês de Agosto são bem mais altas que no mês de junho. Diferente dos meses mais quentes, nos meses de Julho e Agosto as velocidades médias no início do dia são mais altas variando entre 3,51 m/s (velocidade média de incidência sudeste no mês de junho) até 4,14 m/s (velocidade média de incidência leste no mês de agosto), permanecem quase constante no meio do dia e caem consideravelmente no final do dia, podendo chegar a uma velocidade de 2,63 m/s. Assim como nos meses mais quentes, as velocidades médias do vento incidente leste são sempre maiores.



Figura 24– Gráfico comparativo das velocidades médias dos meses de Julho e Agosto



Fonte: Dados da Rede do INMET, Adptado pela autora.

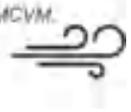
Estas informações foram usadas nas simulações como dados de entrada do vento incidente (direção e velocidade média em cada direção). Os resultados mostram então simulações do vento sudeste e leste na cidade de Campina Grande. Para isso utilizou-se a média geral dessas incidências entre os anos de 1995 e 2015, para incidência sudeste encontrou-se valores de velocidade de 3,72m/s e para incidência leste valores de velocidade de 3,83m/s. Apesar de a frequência sudeste ser bem maior, apresentada em 10 dos 12 meses, julgou-se necessário analisar a incidência leste, pois sua frequência era mais alta nos meses de novembro e dezembro, considerado meses quentes.

10.3. CONFECÇÃO DO MODELO PARA SIMULAÇÃO (CAD)

Por questões de facilidade os modelos tridimensionais do objeto de estudo foram modelados no AutoCAD. Para confecção foi utilizados os comandos básicos recomendados por Brandão (2009), *extrude*, *subtract* e *union*. É preciso que todos os objetos sejam unidos ao fim da construção do modelo, pois eles precisam ser compreendidos como sólidos no ICEM, um módulo separado do ANSYS CFX, capaz de gerar a malha tridimensional que servirá de fio condutor para a simulação computacional.

10.3.1. Confecção do modelo (implantação atual)

Para construção do modelo a ser simulado, as edificações em seu entorno foram simplificadas, tanto para diminuir o tempo de processamento e a capacidade da máquina para os cálculos. Pois sabemos que quanto maior o número de elementos, maior a necessidade de capacidade computacional e o tempo de simulação.



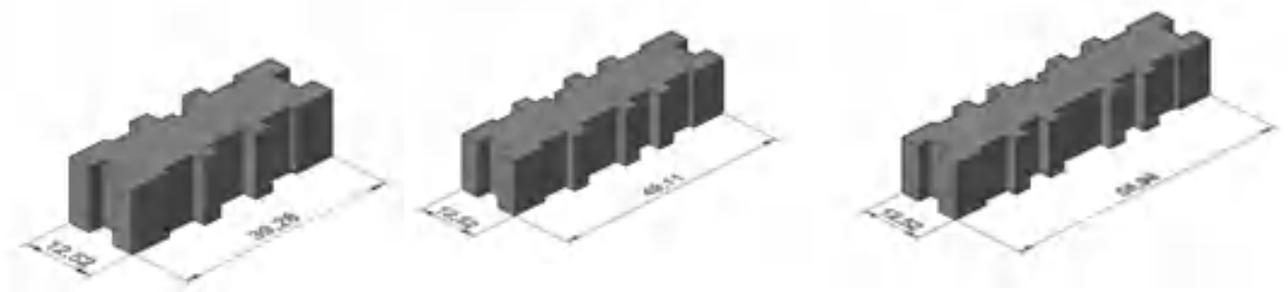
De acordo com Leite (2010, p. 94),

Assim, com o objetivo de diminuir a possibilidade de problemas, ocasionando inclusive o travamento do CPX, as arestas e as faces diminutas devem ser desconsideradas, bem como distâncias insignificantes entre as edificações (menores que 5 m), unificando-as em blocos para extrusão.

A partir disso, através do *Google maps* juntamente com os banco de dados sobre gabarito, espaçamento e tamanho das edificações foi possível construir o entorno imediato do conjunto estudado, considerando apenas as primeiras quadras próxima a empreendimento.

O conjunto vertical é composto por três tipos de blocos que foram construídos separadamente e implantados no terreno. Os edifícios possuem uma largura padrão (12,52m), existindo apenas variação em seu comprimento, que está relacionado à quantidade de apartamentos por pavimento que o bloco dispõe. Os blocos com 8 pavimentos por andar possuem um comprimento de 39,28m (Figura 25a), os blocos com 10 pavimentos por andar possuem um comprimento de 49,11m (Figura 25b) e os blocos com 12 pavimentos por andar possuem um comprimento de 58,94m (Figura 25c). Os edifícios resultaram em uma altura padrão de 10,6m cada um, considerando que todos eles possuem 4 pavimentos (térreo + 3) e um pé direito de 2,40m.

Figura 25 - Modelos tridimensionais dos blocos do conjunto Dallas Park



a- Bloco com 8 pavimentos por andar

b- Bloco com 10 pavimentos por andar

c - Bloco com 12 pavimentos por andar

Fonte: Produzido pela autora.

A próxima etapa foi locar cada bloco em seus respectivos lugares no terreno, tendo como base as imagens do folder do empreendimento e o *Google maps*. Foi possível locar todos os blocos, considerando os afastamentos entre cada um deles, como mostra a Figura 26.

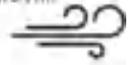


Figura 26– 3D dos blocos do conjunto Dallas Park.



Fonte: Produzido pela autora.

É importante ressaltar que para simulação foram considerados os edifícios que compõem o entorno imediato do conjunto e os mesmos tem em sua grande maioria apenas um pavimento, como mostra a Figura 27, tendo em vista que o entorno tem influência direta na ventilação natural do empreendimento. Finalizada a construção do modelo tridimensional do conjunto no AutoCAD e após unir todos os elementos presentes, o arquivo foi exportado para o Icem com extensão *.sat* (ACIS).

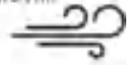
Figura 27 – Conjunto do PMCMV e seu entorno imediato



Fonte: Produzido pela autora.

10.4. SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS DA VENTILAÇÃO NATURAL POR CFD

10.4.1. CONFECÇÃO DA MALHA TETRAÉDRICA DE CADA MODELO (ICEM ANSYS)



Segundo Brandão (2009) a malha é a discretização do espaço fluido dentro do domínio, definindo os pontos e volumes para os quais as equações fundamentais serão resolvidas. Após importar a geometria do modelo, criaram-se pontos em todas as arestas do edifício, através da criação desses pontos, o programa consegue reconhecer facilmente os ângulos retos dos blocos evitando assim deformações na malha gerada.

Posteriormente foi criado o domínio, uma espécie de “céu artificial” que serve de limite para a malha. O domínio utilizado para simular o escoamento do ar pode assumir diversas formas geométricas. O adotado para essa simulação tem forma octogonal, pois busca investigar mais de uma direção de vento incidente. Como o objetivo era verificar o comportamento do fluido entre os blocos do conjunto utilizou-se um domínio levando em consideração alguns valores tomando como base referencial Leite (2015), que diz que é possível adotar como padrões mínimos para confecção do domínio cinco vezes a altura do maior elemento presente no conjunto até os limites a barlavento, laterais e topo e pelo menos quinze vezes para definir o limite da região a sotavento. Na simulação desta pesquisa foram utilizados os seguintes valores: o limite superior do domínio foi definido por cinco vezes a altura do edifício, que no caso é 10,6m, já para largura e comprimento do domínio foi considerado quinze vezes a altura do edifício para todos os lados, como mostra a Figura 28, garante uma obstrução menor que 3% como aconselha Cost (2004).

Figura 28 - Relação de domínio



Fonte: Produzido pela autora.

Quanto à malha, os principais parâmetros seguiram padrões estabelecidos em outras simulações computacionais de ventilação natural (LEITE, 2010). As malhas podem ser classificadas como estruturadas e não estruturadas onde a diferença entre elas se dá pela distribuição dos elementos de forma regular e irregular, respectivamente. Na pesquisa

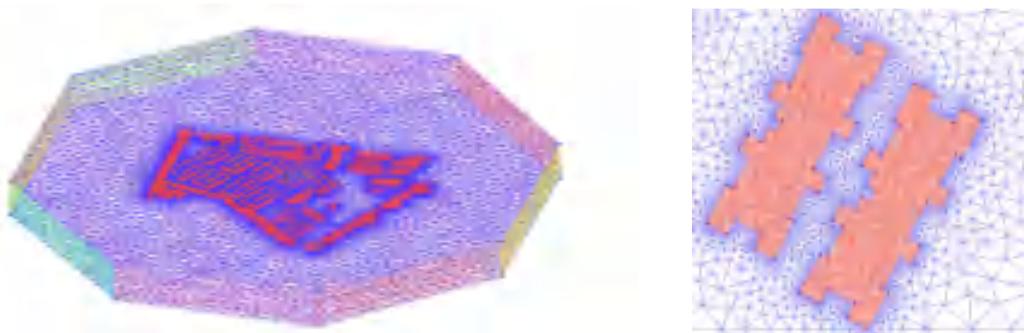


utilizou-se a malha não estruturada tetraédrica por se ajustar melhor a geometrias complexas, além disso, requer uma menor complexidade computacional e conseqüentemente um tempo menor de simulação.

Segundo Prata (2005) a malha pode possuir vários tamanhos conforme o nível de detalhamento e dependendo do tamanho da malha torna-se necessário um computador compatível com a simulação, exigindo assim uma demanda de memória, capacidade de processamento e placa de vídeo. Segundo diversos autores, o sucesso da simulação depende diretamente do seu refinamento (HARRIES, 2005, apud CÓSTOLA, 2006). De acordo com isso decidiu-se refinar a *Part* do conjunto, determinou para esse refinamento um máximo elemento de 0,5m e nas demais *Parts* do domínio um tamanho máximo de elementos de 20m. Levando em consideração que quanto mais refinada uma malha nas áreas próximas as arestas vivas e outros pontos de descolamento da camada limite, melhor os resultados de simulações seriam obtidos.

O refinamento da malha resultou, como mostra a Figura 29, num total de aproximadamente 15 milhões de elementos e tempo médio de simulação de 132 horas (5 dias e meio) para cada incidência de ventos.

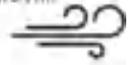
Figura 29– Malha tetraédrica do conjunto



Fonte: Produzido pela autora

10.4.2. ANSYS CFX

O software utilizado para as simulações da ventilação natural foi o *ANSYS CFX*. A ferramenta compõe-se de quatro módulos nos quais podem ser executadas etapas da simulação que vão desde a confecção do modelo até o tratamento dos resultados.



Segundo Leite (2010) inicialmente no *pré-processing*, desenvolve-se o modelo a partir da construção da geometria (*geometry*) e determina-se o domínio, dando origem ao modelo a ser adaptado no ANSYS ICEM CFD, um módulo do CFX vendido separadamente que é fundamental, pois serve para a parametrização e elaboração da malha (*mesh*) que definirá os nós nos quais ocorrerão os cálculos. Para essa simulação por questões de facilidade a confecção dos modelos tridimensionais foi realizada utilizando a ferramenta AutoCAD. Em seguida, no *CFX-Pre*, acontece a definição do regime da simulação, equações a serem utilizadas para cálculo, as condições iniciais, as condições de contorno (*initial e boundary conditions*) e o modelo de turbulência (*turbulence model*). A simulação propriamente dita é calculada no CFX-Solver e os resultados são visualizados através de imagens tridimensionais do modelo, gráficos ou tabelas no CFX-Post (MORAIS, 2013).

10.4.3. CFX-Pre

No *CFX-Pre* as condições seguiram o padrão indicado pelo CFX para simulação desse tipo de fenômeno (ventilação natural). O modelo de turbulência foi escolhido de acordo com o objetivo da simulação que era a investigação o escoamento externo, utilizou-se então um modelo de turbulência híbrido conhecido como o $k-\varepsilon$ (*k-Epsilon*), que é mais usado para escoamentos externos (LEITE, 2015), como é o caso da pesquisa.

As condições de contorno são parâmetros aplicados as *parts* do domínio, e essas condições interferem diretamente no escoamento. Foram adotadas para a simulação as seguintes condições: na face considerada de entrada de vento foi considerado *INLET* e utilizou-se a equação do perfil logarítmico do vento (Equação 1), o conjunto e o seu entorno e as bases foram considerados *WALL* (parede) e para face de saída de vento utilizou-se *OUTLET*, onde se considerou pressão nula.

Equação 1 – Equação do perfil logarítmico do vento

Onde:

$$V(z) = V_{(zref)} \frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_{ref}}{z_0}\right)}$$

$V(z)$ = velocidade na altura desejada;

z = altura desejada;

$V(z_{ref})$ = velocidade na altura de referência;

z_0 = Rugosidade da região (usou-se 0,5m por não ser área tão adensada)

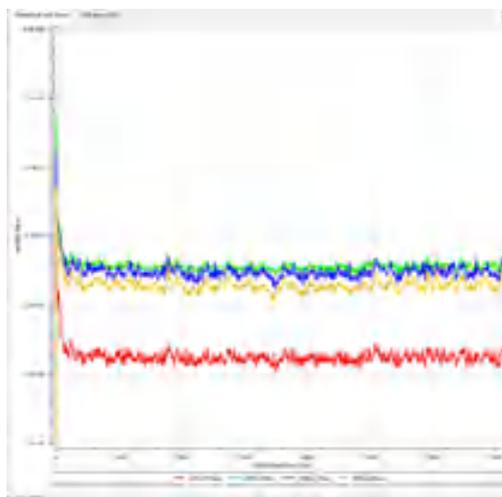


da cidade).

10.4.4. CFX Solver

No módulo *CFX-Solver* é onde se aplica os parâmetros e as equações determinadas na etapa anterior, e a partir disso são calculados os resultados das simulações. Os principais parâmetros utilizados foram o número de iterações (300 a 10.000) e o critério de convergência (10^{-8}). Como o objetivo é obter resultados confiáveis é recomendado verificar a convergência dos gráficos RMS gerados durante a simulação. A Figura 28 mostra um gráfico extraído de uma das simulações. Nota-se que o resíduo esperado foi alcançado.

Figura 30 – Gráfico de convergência da simulação com ventilação incidente leste da implantação atual



Fonte: Produzido pela autora.

10.4.5. CFX Post

No *CFX-Post*, foram gerados dois planos horizontais: Plano 1 e 2 localizados respectivamente a 1,5m, e a 6,5m do solo, correspondentes à altura de zona de respiração humana (em média 1,5m acima do solo) do primeiro e terceiro pavimentos. Além de recursos de análise qualitativa do fluxo de ar interno, utilizou-se uma ferramenta denominada *monitor points*, ou seja, pontos distribuídos estrategicamente (Figura 28) nos locais escolhidos, para a mensuração das velocidades médias do ar a 1,5 e 6,5 metros do solo. A criação desses pontos foi feita no próprio CFX-Post, e através das tabelas os resultados da variável desejada foi obtida.



10.5. CONFECÇÃO DO MODELO PROPOSTO (CAD)

Após análise dos resultados das simulações de ventilação natural da implantação atual, com incidência de vento leste e sudeste, foi elaborada uma nova proposta de implantação com objetivo de melhorar o conforto térmico dos usuários. Entre as alterações para as novas simulações podemos citar a alteração de gabarito e inserção de pavimentos vazados entre os blocos a fim de garantir mais fluidez ao vento e, conseqüentemente, uma melhora significativa nos valores de velocidades do mesmo.

Todas as alterações realizadas foram reflexos dos problemas encontrados no diagnóstico obtido após a simulação da implantação atual. É possível constatar que fatores como afastamento entre os blocos, uniformidade do gabarito e a grande extensão dos edifícios monolíticos afetam diretamente na ventilação externa do conjunto e conseqüentemente internamente. Além disso, outro fator que afeta a ventilação nos blocos é a falta de estudo prévio da implantação.

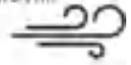
10.5.1. Confecção do modelo proposto (implantação proposta)

A confecção do novo modelo seguiu a mesma metodologia, os blocos foram construídos no AutoCAD a partir dos comandos simples indicados por Brandão (2009), levando em consideração um pé direito de 2,4 por pavimento. Os blocos possuem alturas distantes e pavimentos vazados entre eles.

Após a confecção de todos os blocos os mesmos foram dispostos no terreno de acordo com o novo ângulo de implantação proposto. É importante lembrar que o entorno imediato do conjunto permanece presente no novo modelo de implantação, assim como na implantação atual.

Os próximos passos, como criação de malha, introdução de parâmetros de simulação, modelo de turbulência, condições de contorno, convergência e tratamento de resultados seguiram os mesmos passos do modelo atual de implantação, para que assim houvesse uma comparação entre atual e nova proposta.

Com base nos estudos feitos e considerando os problemas encontrados, busca-se alertar que o papel do estudo prévio da implantação pode trazer maiores benefícios não só para o conjunto em estudo como também para a cidade, levando em consideração que o



conjunto está inserido dentro da malha urbana e seu índice de verticalização e adensamento têm reflexos diretos no clima da cidade.

CAPÍTULO 3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são expostos e discutidos resultados obtidos a partir das simulações computacionais e medições da ventilação natural realizadas no conjunto do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), selecionado como estudo de caso desta pesquisa.

Como o objetivo da pesquisa é investigar a ventilação natural no conjunto do PMCMV e propor um cenário de mudança no conjunto visando melhorias na ventilação natural do mesmo e menor impacto no seu entorno, foram feitas análises da situação atual e mediante resultados encontrados foi criada uma situação proposta para o conjunto.

As análises dos resultados da simulação da ventilação natural no conjunto são apresentadas em duas direções de vento incidente: 90° (usou-se o banco de dados do vento leste), segunda maior incidência encontrada em Campina Grande, PB e a incidência de vento oblíquo a 130° (usou-se o banco de dados de vento sudeste), direção predominante de ventos encontrada na cidade.

A metodologia de análise dos resultados segue os seguintes passos:

- Análise qualitativa com o objetivo de compreender o comportamento do fluxo de ar externo ao se deparar com o volume dos edifícios, com ajuda da ferramenta *streamlines* e de imagens de contornos em planos estratégicos (a 1,5m e a 6,5m do nível do solo);
- Análise quantitativa da velocidade do ar obtidas através dos pontos criados em determinados locais que eram considerados importantes para estudo (por exemplo, intrablocos);
- Análise dos efeitos aerodinâmicos presentes no conjunto estudado;
- Comparação entre o modelo de implantação atual e o novo modelo de implantação proposto.



Buscou-se observar o comportamento do fluido entre os blocos do conjunto estudado e no seu entorno. Partindo disso, para análise qualitativa extraiu-se imagens de contorno a 1,5m do solo para analisar o conforto ao nível de pedestre, além dos valores de velocidade de pontos devidamente selecionados. Sabendo que a velocidade do vento aumenta com o aumento da altitude, foram extraídos também imagens de contorno a 6,5m do solo para observar o impacto que a altura dos edifícios causava tanto ao conjunto estudado como ao seu entorno imediato. Para análise quantitativa, gerou-se gráficos das velocidades encontradas em cada ponto. Por fim, foram identificados os efeitos aerodinâmicos presentes, como efeito de esteira, de canto, efeito de canalização e efeito de zonas de pressão e o seu rebatimento na ventilação natural.

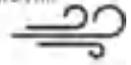
A intenção foi realizar uma análise e discutir o que ocorreu do ponto de vista da ventilação natural entre os blocos, tanto do ponto de vista do conforto do pedestre como do ponto de vista da possibilidade de ventilação cruzada interna nas unidades habitacionais. Como a velocidade do ar é um dos fatores de promoção de conforto térmico, foi então a variável mais evidente no estudo.

Em relação aos valores de velocidade confortáveis ao pedestre tomou-se por base a escala de conforto produzida por Sousa (2014), comentada no capítulo 1, através da qual foi possível definir quais as zonas do conjunto que estavam dentro da zona de conforto ou não, e através da comparação entre a situação atual e situação proposta conseguiu-se identificar as consequência das alterações projetuais realizadas no conforto térmico dos usuários do empreendimento e do seu entorno.

Em tal escala, as velocidades do vento se encontram divididas em duas zonas. A primeira zona, a zona de desconforto, esta indicada para velocidades acima de 6m/s, onde as velocidades são muito elevadas causando incômodos e maior dificuldade para caminhar, já a zona de conforto esta compreendida entre 2.18m/s e 6.12m/s. Abaixo de 2.18m/s os autores consideram zona de desconforto.

De acordo com Sousa (2014, p. 799) velocidades abaixo de 2m/s

São consideradas muito baixas para regiões de clima quente e úmido, pois o pedestre sente dificuldade em dissipar o calor acumulado no corpo. Além disso, a fraca taxa de renovação do ar provoca uma maior aglomeração de partículas poluentes, deixando a qualidade do ar afetada.



A segunda zona, com velocidades entre 2m/s a 6m/s era considerado zona de conforto. De acordo com a escala de Beaufort pode-se observar que essas velocidades estão entre a designação de brisa leve, brisa fraca e brisa moderada e causam efeitos em terra como: mover folhas de arvores, desfraldar bandeiras e movimentar os moinhos.

Ao final das análises de cada incidência e seu determinado plano foi feito uma comparação entre a situação atual e a situação proposta, elencando a contribuição de cada alteração projetual para ganhos de velocidade natural em meio urbano.

Para análise da diferença de pressão nas fachadas gerou-se imagens de contorno sobre as fachadas dos blocos, tanto na implantação atual como na implantação proposta. Através do espectro de cores das pressões nas fachadas observou-se onde se localizavam os maiores valores de pressões, se os contornos eram gerados de forma simétrica ou assimétrica, qual a influência do ângulo de implantação do edifício e dos efeitos aerodinâmicos na pressão das fachadas. O intuito era identificar variações de pressão nas superfícies opostas das fachadas, variável que promove a ventilação cruzada no interior dos blocos.

11. DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO ATUAL

O empreendimento apresenta uma área total aproximada de 42330 m² onde são dispostos 21 blocos (com 4 pavimentos cada, térreo + 3 pavimentos), como já comentado no capítulo 2. Os blocos possuem a mesma tipologia, a diferença encontra-se no número de apartamentos por pavimentos. Seis dos blocos possuem 8 apartamentos por pavimento, seis possuem 10 apartamentos por pavimento e nove desses blocos de 12 apartamentos por pavimento como mostra a Figura 32.

Figura 31– Implantação atual dos blocos.



Fonte: Produzido pela autora.



É possível observar através da ocupação atual que os blocos são dispostos em arranjo de forma inclinada e alinhados entre si, sem a mínima preocupação com a orientação solar (suas maiores fachadas estão voltadas para leste e oeste), com poucas áreas livres e de convívio no conjunto, busca apenas implantar no terreno o maior número de blocos possíveis, o que acarreta nos mínimos recuos (Figura 33) entre eles (em torno de 6, 7 metros) comprometendo a qualidade final das construções.

Figura 32 – Afastamento entre os blocos



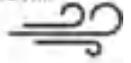
Fonte: Produzido pela autora.

Bittencourt (1997) afirma que edifícios implantados muito próximos, como é o caso do empreendimento estudado, entre si impedem uma boa circulação do ar e causam prejuízo a edificações posteriores aquelas. Por não ter permeabilidade os edifícios funcionam como barreira para os demais blocos, além de possuírem a mesma altura (4 pavimentos, aproximadamente 12,5m), o que resulta numa rugosidade mínima, dificultando a circulação do vento entre os blocos e consequentemente prejudicando o conforto térmico dos pedestres, como mostra a Figura 34.

Figura 33 - Esquema de altura e caminho do vento no conjunto



Fonte: Produzido pela autora.

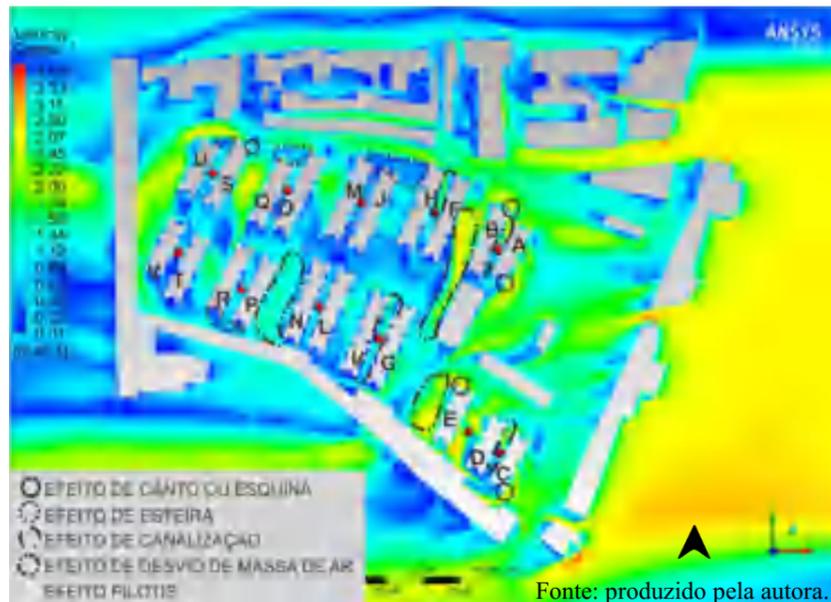


Quando se trata do comportamento do vento em meio urbano podemos observar que vários fatores influenciam diretamente, entre eles a densidade construtiva, a altura e largura dos edifícios, o espaçamento entre as edificações, o tamanho e a distribuição das áreas livres.

A partir dessas constatações e na busca de investigar a ventilação foram realizadas as simulações computacionais, considerando o conjunto e o seu entorno imediato.

SITUAÇÃO ATUAL – VENTO INCIDENTE LESTE

Figura 38 - Imagem de contorno a 1,5 metros do solo com incidência de vento leste.



A partir da análise da imagem de contorno da simulação da ventilação natural, com vento incidente leste em um plano a 1,5 m do solo, é possível constatar que os mínimos recuos entre os blocos, como já se esperava, prejudicam bastante o fluxo do vento no local. Em nenhum momento as velocidades atingem uma zona de conforto, que de acordo com a escala de Sousa (2014), seriam velocidades acima de 2m/s. Isso ocorre porque as próprias edificações funcionam como barreiras para as demais, impedindo que o vento circule.

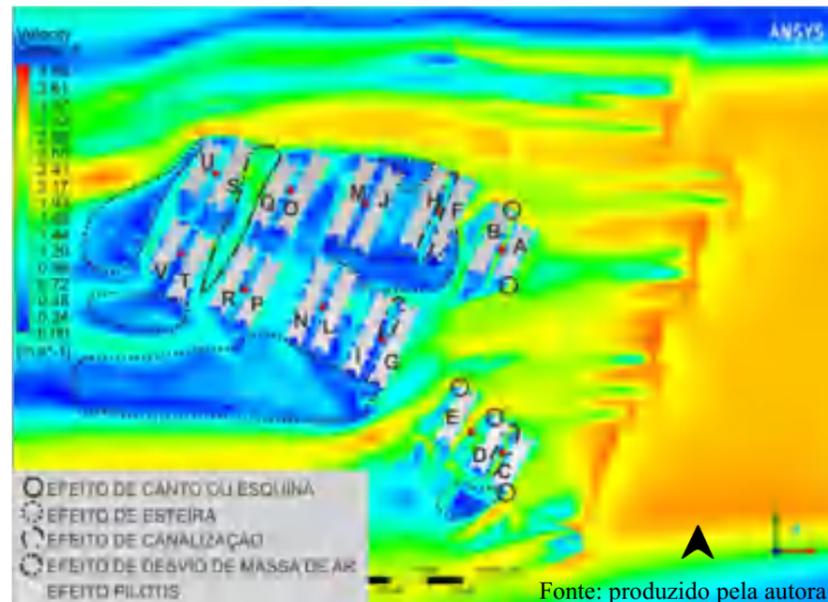
É possível observar em poucos locais são atingidas velocidades consideradas dentro da zona de conforto para pedestres. Os maiores valores de velocidades encontradas no terreno ocorre onde o afastamento dos blocos são maiores, como é o caso entre o bloco E e D que tem um afastamento de 19m, onde os valores atingem em média 2m/s, diferente do bloco C e D que tem afastamento de 6m, onde a velocidade pode alcançar valores entre 1,30 e 2,6m/s.

Além do prejuízo para conforto térmico do pedestre no conjunto, o problema se estende para seu entorno imediato, onde podemos encontrar velocidades com valores muito baixos sendo considerados desconfortáveis ao pedestre pela escala de Sousa (2104).

Do ponto de vista dos efeitos aerodinâmicos encontrados podemos citar os vários efeitos de canto presentes na maioria dos blocos, o efeito de canalização que ocorre entre os blocos A e B, e M e J, garantindo que entre esses blocos a velocidade seja bem maior comparada aos demais blocos e atinjam valores consideráveis para conforto do pedestre.

De acordo com a implantação dos blocos um corredor central se forma entre eles, nesse corredor é possível observar que nas esquinas dos blocos localizados mais ao sul tem suas velocidades maiores e em alguns casos chegam a alcançar a zona de conforto.

Figura 39 - Imagem de contorno a 6,5 metros do solo com incidência de vento leste.



Com o aumento da altura, analisando a imagem de contorno da simulação da ventilação natural, com vento incidente leste em um plano a 6,5 metros do solo, é possível observar que entre alguns blocos, como é o caso dos blocos A e B, C e D, He F e S e U, tem suas velocidades maiores que o plano a 1,5 do solo, chegando a alcançar 3m/s (valores considerados satisfatórios para o conforto segundo a escala de Sousa (2014)). O mesmo não ocorreu ao corredor central, apesar do aumento de altitude os valores de velocidades permanecem bem baixos.

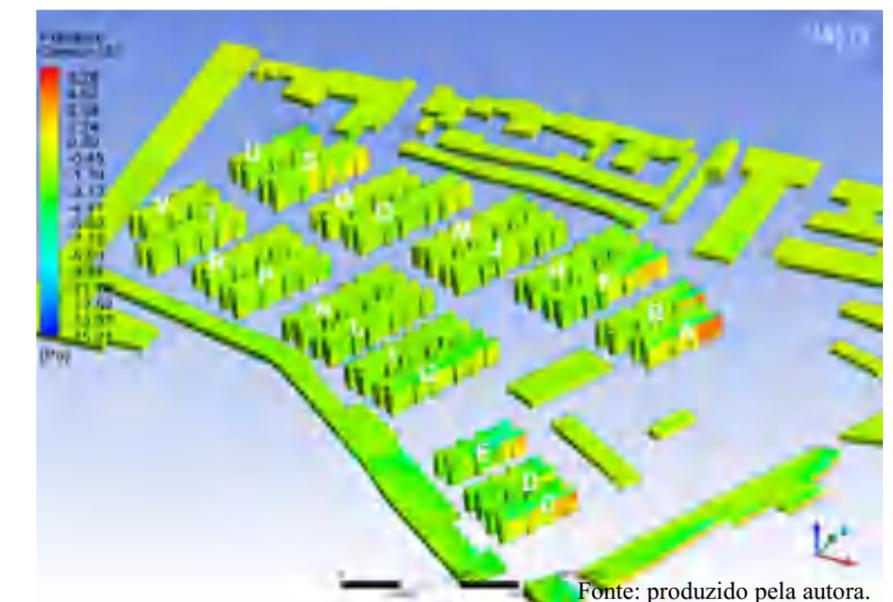
No bloco U no plano a 1,5m era possível observar que o efeito de esteira era bem menor, quando a altura aumenta nota-se que o efeito de esteira também aumenta, prejudicando as edificações que encontram no entorno. O mesmo ocorre com os blocos T e V, e os demais localizados mais a sul do conjunto.

O entorno imediato localizado mais a norte do conjunto tem um acréscimo em sua velocidade, chegando a quase 3,4m/s, entretanto as edificações localizadas mais a sul tem sua velocidade prejudicadas, resultado da sombra de vento causada pelo conjunto.

Verificam-se ainda vários efeitos de canto nos edifícios, resultantes da união de faces com diferentes pressões (pressão positiva e pressão negativa). Esse efeito provoca uma aceleração da velocidade inicial de ventilação, que, segundo Mascaró (1991), pode ser desejável se o intuito é incrementar a ventilação natural do entorno, como podemos notar entre os blocos B e F, D e E e E e G.

Outro efeito bem presente é o efeito de esteira que aumenta conforme o a altura do plano, demonstrando que o afastamento entre os edifícios é na maioria das vezes insuficiente para garantir a adequada circulação do ar, em meio urbano.

Figura 40 - Imagem de contorno da pressão localizada na fachada dos edifícios com vento incidente leste.



Observa-se que as edificações apresentam valores de pressão mais elevados nas pontas dos edifícios localizados na entrada do empreendimento, como é o caso do bloco A, B, C e E, com valores que chegam até 6 Pa. Isso significa que a grande fachada esta exposta a pressão positiva e que se a fachada oposta esta na pressão negativa a possibilidade de ventilação cruzada no interior do bloco é muito grande. No entanto alguns estudos (MORAIS, 2013) indicam que a presença do core central neste tipo de edificio associado ao uso de portas de entradas sem dispositivos de ventilação e que são mantidas fechadas para garantir privacidade e segurança culmina na falta de ventilação cruzada. Temos ainda o bloco S, que apesar de se encontrar no final do conjunto tem valores de pressão mais altos em comparação com o bloco T, por exemplo, os valores de pressão variam entre 0,89 e 3 Pa.

Percebe-se, também, que alguns blocos possuem valores de pressão negativa apesar de suas fachadas estarem a barlavento, isso acontece porque os blocos funcionam como barreiras entre si.

Devido à incidência dos ventos ser oblíqua à fachada dos edifícios, os contornos de pressão gerados são bem assimétricos. Na região mais alta e mais a direita da fachada, os contornos de pressão atingem valores mais elevados, variando entre 4 e 6 Pa, a medida que se aproximam do lado esquerdo da fachada é possível verificar que os valores começam a diminuir atingindo valores de até 0,50 Pa, isso ocorre porque o fluxo incide com mais força no campo superior direito.

ANÁLISE COMPARATIVA: SITUAÇÃO ATUAL X MEDIÇÕES EM CAMPO

Como forma de confirmar a simulação e constatar se os resultados obtidos nas simulações computacionais estavam próximos da realidade foram realizadas medições locais utilizando um termo anemômetro (Figura 41). O instrumento é utilizado para medir a velocidade de um fluido, no caso da pesquisa mediu a velocidade do vento em determinados locais. O instrumento foi posicionado na mesma altura dos pontos das simulações, 1,5 m, durante 5 minutos, a partir das velocidades obtidas realizou-se uma média para obter a velocidade final no ponto.

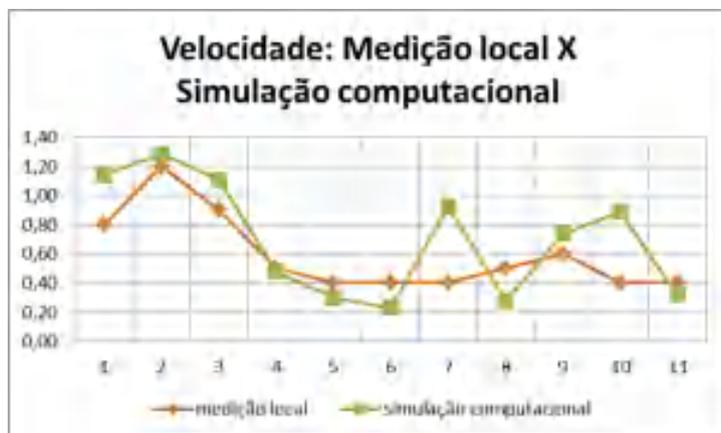
Figura 41 – Medição local realizada com um termo anemômetro



Fonte: Acervo pessoal.

Com a obtenção dos dados foi possível gerar um gráfico, como mostra na figura 42, comparando as velocidades obtidas em campo e as velocidades obtidas através de simulação. Como o instrumento utilizado não fornece a direção do fluxo de vento, o vento foi considerado como vento sudeste, levando em consideração que a simulação foi realizada no mês de julho e de acordo com a caracterização climática realizada (presente no capítulo 2) constata-se que no mês de julho a maior incidência apresentada em Campina Grande, PB é de direção sudeste, com uma frequência de 70,89%..

Figura 42- Comparativo entre as velocidades obtidas na medição local e simulação computacional.



Fonte: Produzido pela autora.

De acordo com o gráfico podemos observar que as medições alcançam valores bem próximos aos obtidos na simulação computacional, variando em sua maioria em 0,2m/s, com exceção dos pontos 7 e 10 que tem uma variação de 0,5m/s. Além dos pontos já definidos foram medidos outros pontos, onde se constatou uma variação bem pequena em torno de 0,2m/s, comparando os valores encontrados na simulação em CFD e medição local.



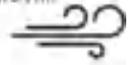
12. ANÁLISES DA SITUAÇÃO PROPOSTA

A implantação proposta (Figura 43) tem como objetivo através de algumas alterações potencializar a ventilação natural no conjunto e no seu entorno, além de solucionar alguns problemas encontrados na implantação atual, como é o caso dos mínimos recuos, angulação da implantação dos blocos, a falta de permeabilidade entre os blocos e a baixa rugosidade.

Para garantir maior permeabilidade no conjunto alguns pavimentos foram vazados de forma intercalada e para isso foram realizados vários testes até encontrar um modelo que se adequasse melhor ao que se desejava para a pesquisa, como mostra a Figura 44. O intuito era facilitar fluxo do vento de um edifício para o outro, eliminando a ideia de barreira encontrada na situação atual. Para garantir uma maior rugosidade os prédios foram pensados com alturas diferentes, como mostra a Figura 44, sendo o maior deles com 14 pavimentos (o bloco F) equivalentes a uma altura de 37,1 metros e o menor deles com 11 pavimentos (o bloco D) com uma altura total de 26,5 metros. Edifícios com gabaritos diferentes facilitam o desvio de parte do fluxo do vento que atinge os edifícios para baixo, melhorando a circulação no nível do pedestre e seu conforto térmico.

Do ponto de vista projetual apenas duas variáveis foram alteradas para construir a nova proposta, foram elas a implantação e a morfologia dos blocos. Pensando na permeabilidade do bloco, optou-se por inserir pilotis (nos pavimentos térreos de todos os blocos com o mesmo pé direito dos demais pavimentos) e vazar alguns pavimentos de forma intercalada, e pensando em aumentar a rugosidade variou-se o adensamento em cada bloco, o que se converteu em mudança de altura dos mesmos, como mostra a Figura 45. É importante ainda ressaltar que não houve alteração projetual no interior dos apartamentos, a distribuição dos ambientes permaneceram as mesmas.

Como forma de aumentar os recuos entre os edifícios, foi proposta a diminuição do número de blocos, que passaram de 21 para 10 no total, porém é importante deixar claro que o número de unidades habitacionais não foi reduzido, passou de 864 unidades para 868 em seu total. Os blocos foram implantados na situação proposta de forma que o ângulo de sua maior face em relação ao vento dominante fosse o menor possível, pois de acordo com Liu (2014) quanto mais obtuso o ângulo entre o edifício e a incidência de vento dominante mais prejudicado com relação à ventilação o prédio ficaria.



A partir de estudos realizados por Olgyay (1962) verificou-se que o arranjo “tabuleiro de damas” é o que melhor reduz o tamanho da sombra de vento. De acordo com essa informação foi proposto esse tipo de arranjo, pois existe uma preocupação com o impacto que o conjunto causa ao seu entorno, e dessa forma pode-se garantir ao seu entorno imediato valores um pouco maiores de velocidade. Mas para realizar esta afirmação é preciso efetuar um estudo mais aprofundado, pois a distribuição depende de determinadas situações do local onde estão inseridas as edificações.

Figura 43 – Implantação da situação proposta



Fonte: Produzido pela autora.

Na situação proposta, do ponto de vista de ocupação por pavimento, foram pensados apenas 5 blocos com 8 unidades por pavimento e 5 deles com 10 unidades por pavimento.

Levando em consideração as poucas áreas livres e de convivência presentes no conjunto, criou-se uma maneira de se aproveitar o pavimento térreo dos blocos. Propôs-se o uso de pilotis no primeiro pavimento de cada bloco, de modo a incentivar a ocupação desta área para convívio dos moradores do conjunto ao mesmo tempo em que garante uma melhor ventilação no nível do pedestre.

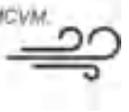
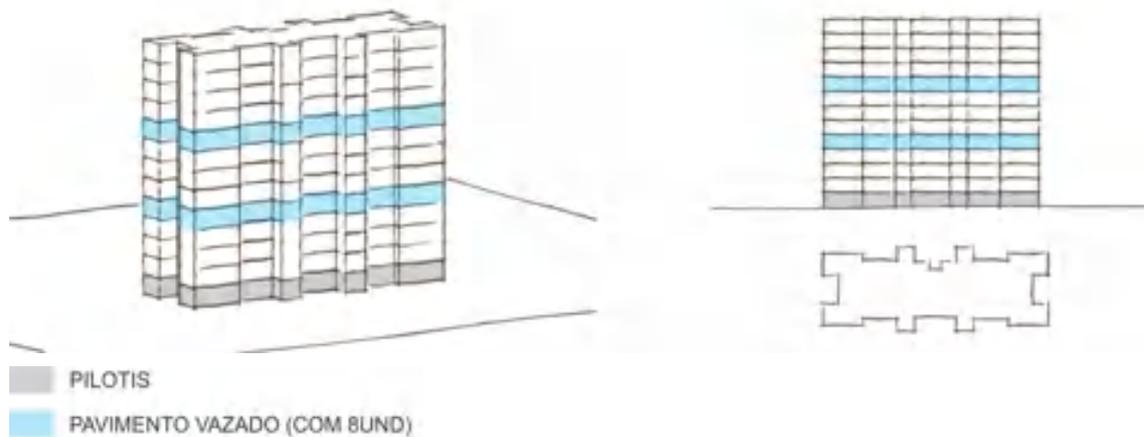


Figura 44 – Esquema de um bloco com 8 unidades por pavimento



Fonte: Produzido pela autora.

Figura 45 – Esquema do fluxo de vento na situação proposta

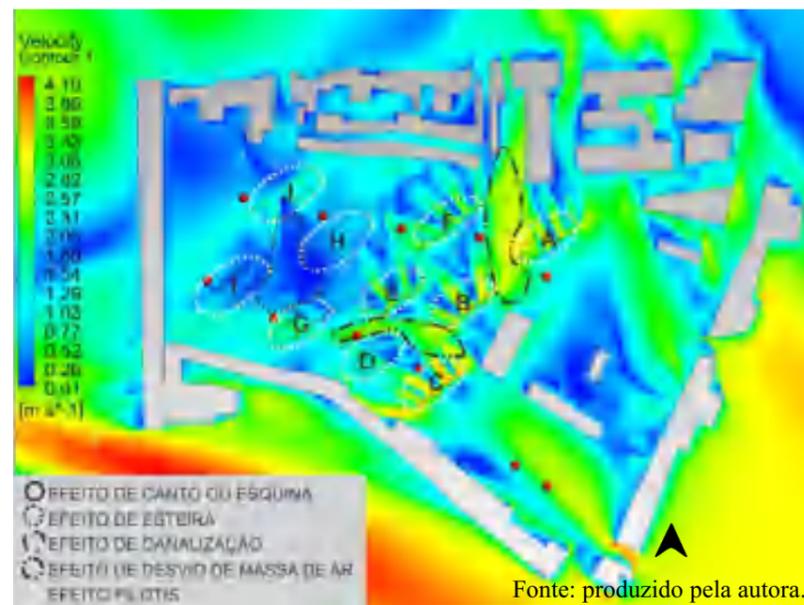


Fonte: Produzido pela autora.

Uma correção acabou sendo consequência da outra, a exemplo do aumento dos recuos intrablocos, diminuição dos blocos e aumento de altura dos mesmos. De acordo com Bittencourt (1997) na medida em que se aumenta a altura das edificações (em número de andares), deve se aumentar a dimensão dos recuos laterais, o que permite uma melhor circulação do ar entre as edificações e consequentemente na malha urbana. Ele observou em algumas de suas simulações que mesmo com edifícios mais altos o fator mais importante na distribuição do fluxo de ar no tecido urbano eram os recuos.

SITUAÇÃO PROPOSTA – VENTO INCIDENTE SUDESTE

Figura 46 - Imagem de contorno a 1,5 metros do solo com incidência de vento sudeste



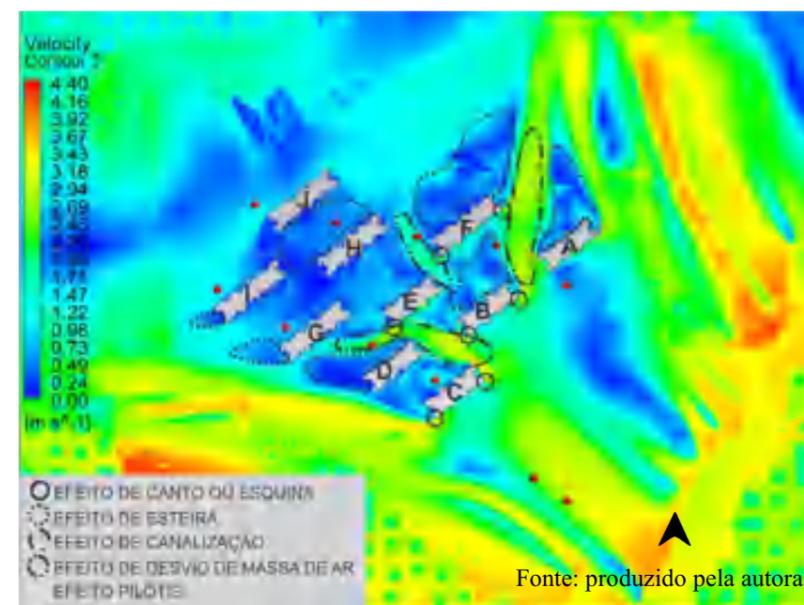
A partir da análise da imagem de contorno da simulação da ventilação natural, com vento incidente sudeste em um plano a 1,5 metros do solo, é possível constatar a presença de varias zonas de conforto. Os blocos A, B e C têm em seu pavimento térreo os valores mais altos de velocidade encontrados no empreendimento, atingindo valores de aproximadamente 3,30m/s.

O novo arranjo e os pilotis fazem com que o fluxo do vento percorra um melhor caminho, garantindo boas velocidades tanto entre os blocos, podendo alcançar valores de até 4m/s, como em seu entorno, podendo alcançar valores de até 2,3m/s, considerado confortável para o pedestre. Além disso, os efeitos de esteira e de canto se tornam quase inexistentes no conjunto, pois o fluxo de ar encontra poucas barreias a 1,5m do solo, devido a grandes áreas livres geradas pela presença dos pilotis.

O bloco J, apesar de se encontrar bem na parte final do terreno possui velocidades em seu pavimento térreo consideradas confortáveis, o que não ocorre na implantação existente. O que se percebe é que os blocos que se encontram mais afastados da entrada do conjunto, próximos a Avenida Almirante Barroso, tem sua ventilação prejudicada por conta da falta de permeabilidade do vento causada pelas próprias edificações do conjunto.

Um dos efeitos que podemos identificar bem claro é o efeito de desvio de massa de ar. O vento incide nos blocos A, B e C com pressões positivas e mais altas, e se desviam para pressões negativas que se encontram entre esses blocos gerando assim o efeito tanto entre o bloco A e B, como entre o bloco C e B.

Figura 47 - Imagem de contorno a 6,5 metros do solo com incidência de vento sudeste

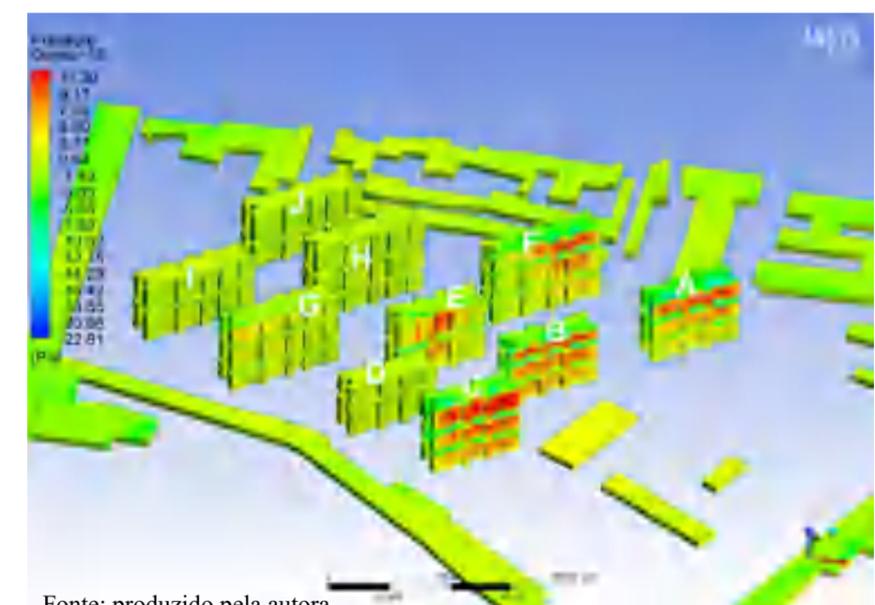


No plano a 6,5 metros do solo com vento incidente sudeste, nota-se que alternativa de empregar pavimentos vazados entre os edifícios garantiu uma melhor permeabilidade do vento no conjunto e no seu entorno, apesar de não poderem ser considerados zonas de conforto segundo a escala de Sousa (2014).

As velocidades encontradas entre blocos em sua grande maioria variam entre 0,70m/s e 1,3m/s. Verificam-se ainda entre os blocos algumas zonas de conforto devido aos efeitos de canto e desvio de massa presentes, como podemos observar no bloco B e C. Os efeitos de canto nesses blocos causam uma aceleração da velocidade e ajudam na ventilação natural do entorno.

Os efeitos de esteira são presentes, porém não muito extensos apesar dos edificios serem mais altos, podendo ter em sua altura 14 pavimento o equivalente a 37,1m como, por exemplo, o bloco F. Com efeitos de esteira menos extensos, as velocidades no entorno imediato do empreendimento são menos prejudicadas, podendo atingir valores de até 1,5m/s no entorno localizado ao norte e 2,5m/s no entorno localizado ao sul do conjunto.

Figura 48 - Imagem de contorno da pressão localizada na fachada dos edifícios com vento incidente sudeste.

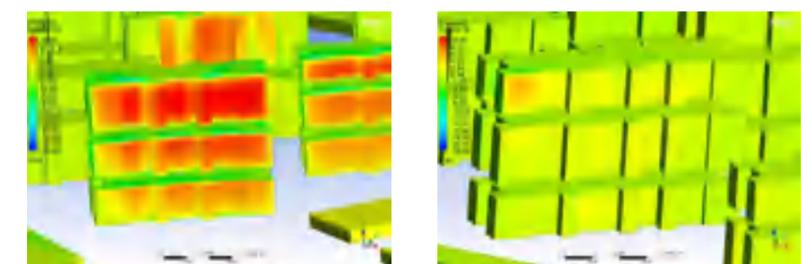


É possível observar que os valores mais altos de pressão encontrados são vistos nos blocos A, B e C, blocos que se localizam na entrada do conjunto. Em seus últimos pavimentos os valores atingem valores de até 10 Pa e decrescem a medida que se aproximam do solo de forma gradativa, como mostra a Figura 49a.

Os blocos E, F e G possuem uma variação de valores de pressão. No bloco F os valores mais altos são encontrados no canto superior direito da fachada, e como os demais blocos ao se aproximar do base do edifício tem seus valores reduzidos. No bloco E, os valores mais altos de pressão estão presentes no centro da fachada e já no bloco G, como mostra a Figura 49b, pode-se notar valores mais altos no canto superior esquerdo.

Os demais blocos apresentam pressões positivas, porém mais baixas aos blocos localizados mais à frente, indicando assim uma maior dificuldade para que a ventilação natural adentre o interior do edifício.

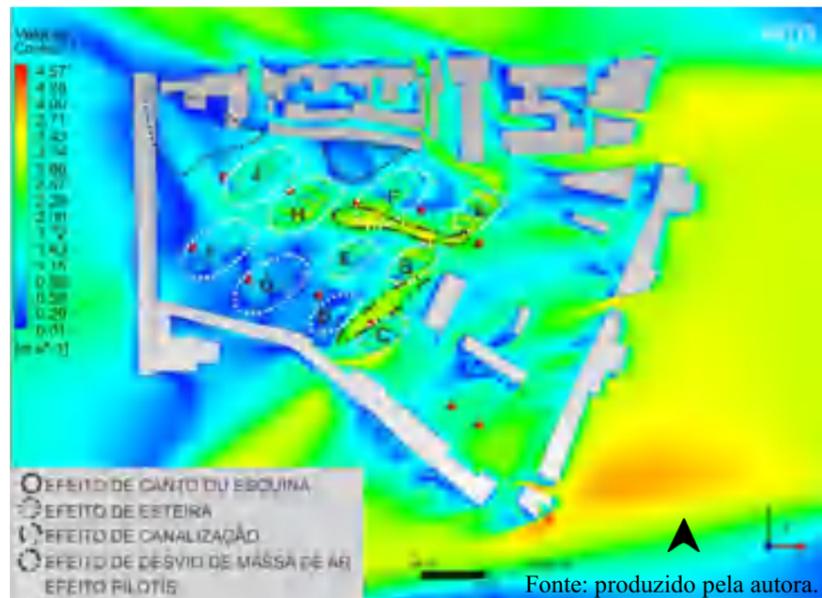
Figura 49 - Imagem de contorno da pressão localizada na fachada nos blocos A (a) e G (b), respectivamente



Fonte: Produzido pela autora.

SITUAÇÃO PROPOSTA – VENTO INCIDENTE LESTE

Figura 50 - Imagem de contorno a 1,5 metros do solo com incidência de vento leste



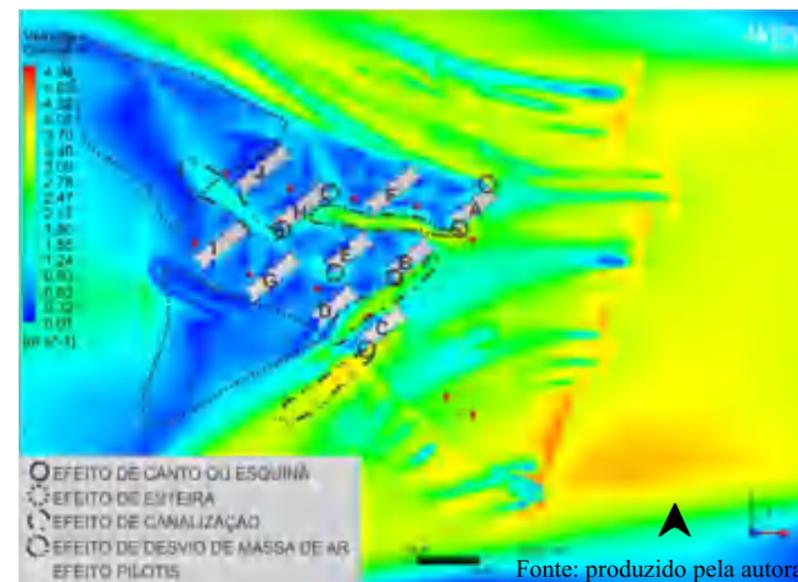
É possível observar, no plano a 1,5 metros do solo com vento incidente leste, que a liberação do solo por meio dos pilotis garantiu permeabilidade ao vento, aumentando assim as suas velocidades. Criaram-se grandes espaços livres que facilitaram a circulação do vento, e em consequência aumentaram-se os valores de velocidades do mesmo, que passaram a ser considerados confortáveis para o pedestre.

A maioria do conjunto está em uma zona considerável confortável, com exceção dos blocos D, G e I. Entre eles ainda há uma ventilação ineficiente, com velocidades bem baixas, não atingindo valores de 1m/s.

Em relação aos efeitos aerodinâmicos, podemos citar que o efeito de esteira é reduzido. Com a inserção dos pilotis o fluxo e os locais que o vento percorre é bem maior, conseguindo atingir bons valores próximos as edificações no entorno (que possuem altura máxima de dois pavimentos, térreo +1), podendo alguns locais ser considerados dentro da zona de conforto.

Os efeitos pilotis identificados no modelo estão dentro da zona de conforto, não ocorrendo uma grande aceleração quando o vento é proveniente de leste. No entanto os efeitos de cantos pouco são identificados no conjunto, isso ocorre porque, o vento tem mais espaços livres para circular logo, não incide com tanta pressão positiva na zona a barlavento.

Figura 51 - Imagem de contorno a 6,5 metros do solo com incidência de vento leste



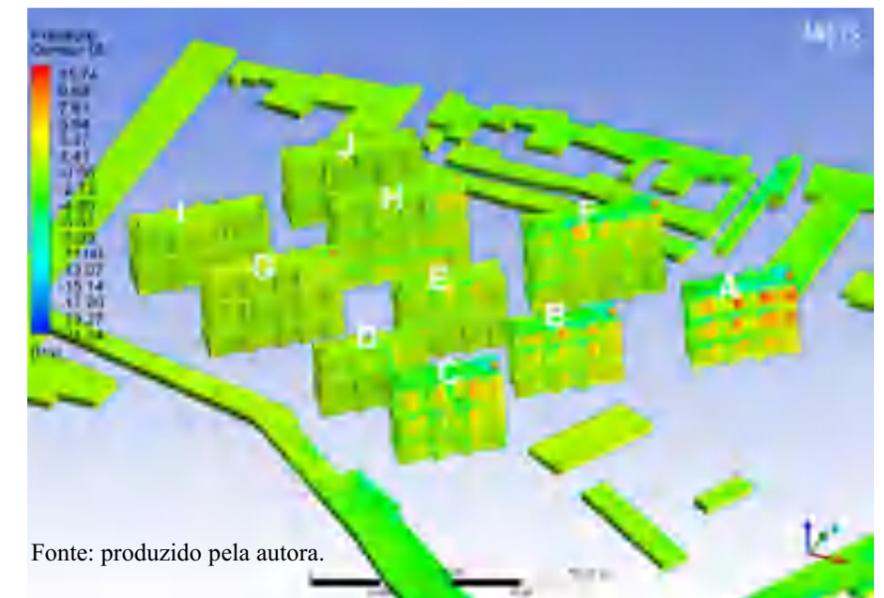
No plano a 6,5m do solo com vento incidente leste, é possível verificar que o número de áreas localizadas na zona de conforto diminuiu. Ainda observam-se espaços onde a velocidade consegue alcançar 2m/s entre os blocos, porém numa quantidade menor se comparada ao plano a 1,5m do solo. A forma de arranjo em que os blocos foram implantados, em "tabuleiro de damas", fez com que o vento percorresse entre os blocos mais facilmente, garantindo uma ventilação com uma velocidade maior as edificações que se encontram mais atrás, como é o caso dos blocos I, J e H.

Nota-se que com o aumento da altitude surgem alguns efeitos de canto, isso ocorre porque o vento perde espaço de circulação e acaba encontrando algumas barreiras no seu percurso, como era visto no plano a 1,5m do solo.

Ao se deparar com o bloco A, o vento tem sua velocidade acelerada, reflexo do efeito de canto, e acaba desviando sua massa para entre os blocos, melhorando a ventilação natural no entorno do conjunto. Na fachada a barlavento do bloco J, contata-se um ganho de velocidade em decorrência do efeito de canto e de desvio de massa do vento.

Os efeitos de esteira a sotavento ainda são bem presentes se comparado ao plano a 1,5m do solo na mesma incidência de vento, com valores de velocidades 0,30m/s e 1,30m/s.

Figura 52 - Imagem de contorno da pressão localizada na fachada dos edifícios com vento incidente leste.



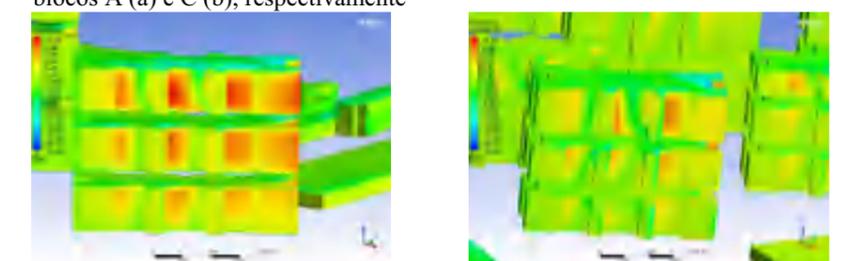
Fonte: produzido pela autora.

É possível observar que tanto os valores mais altos de pressão como as maiores variações são vistos nos blocos A, B e C, blocos que se localizam na entrada do conjunto. Nos últimos pavimentos de cada um desses blocos os valores de pressão podem chegar até a 11 Pa. Nos blocos B e C a medida que se aproxima do solo os valores de pressão decrescem, como mostra a Figura 53a. O mesmo não ocorre no bloco A como mostra a Figura 53b, os valores continuam bem altos desde o térreo até os últimos pavimentos do bloco.

O bloco F apresenta em seus 3 últimos pavimentos valores de pressão bem altos, localizados mais no centro do bloco, variando entre 3 e 11 Pa. Nos pavimentos mais abaixo os valores de pressão diminuí consideravelmente, chegando a valores próximos de 1,40 Pa. No bloco H é possível observar que na parte direita os valores de pressão chegam a atingir 3 Pa, mas quando se aproximam do lado esquerdo do edifício esses valores diminuem bastante não ultrapassando os valores de 1,40 Pa.

Nos blocos G, I e J nota-se pouca variação dos valores de pressão, que permanecem praticamente constantes desde os primeiros pavimentos até os últimos, diferente do que podemos observar no bloco B. Os blocos D e E se comportam praticamente da mesma forma, os valores mais altos de pressão são encontrados nos seus últimos pavimentos na parte central do prédio.

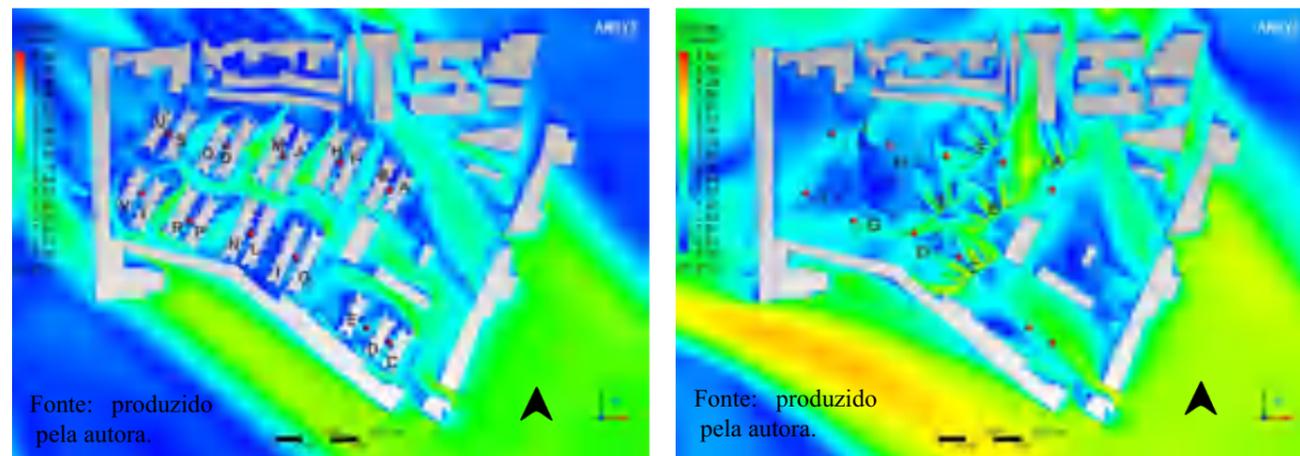
Figura 53 - Imagem de contorno da pressão localizada na fachada nos blocos A (a) e C (b), respectivamente



Fonte: Produzido pela autora.

ANÁLISE COMPARATIVA: SITUAÇÃO ATUAL X SITUAÇÃO PROPOSTA – VENTO INCIDNTE SUDESTE

Figura 54 - Imagem de contorno a 1,5 metros do solo da situação atual e da situação proposta, respectivamente, com incidência de vento sudeste



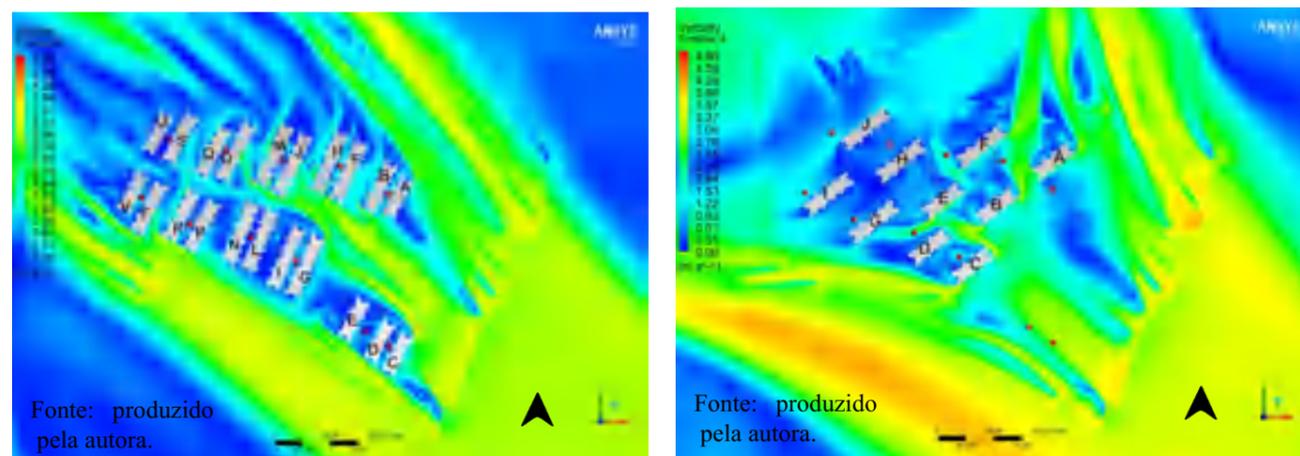
Ao comparar a implantação atual e a implantação proposta, no plano a 1,5 m do solo e incidência sudeste, nota-se o quanto a decisão projetual de se utilizar pilotis em todos os pavimentos térreos dos blocos foi decisiva. Além de contribuição pra liberação do solo, criação de áreas livres e espaço de convivência, os pilotis garantiram uma maior permeabilidade do vento. Com a nova disposição não alinhada dos blocos, optando por um novo arranjo, o de "tabuleiro de damas" e por inserção dos pilotis nos pavimentos térreos o efeito de canto presente na implantação atual é quase inexistente na nova implantação proposta.

A decisão de se utilizar pilotis não só melhorou as velocidades do vento no próprio empreendimento, como também no seu entorno. É possível observar que as velocidades mostram que a maioria dos locais atingem uma velocidade considerada confortável para o pedestre, variando entre 2 e 4m/s. No entorno localizado ao norte do conjunto no lado direito verifica-se que as velocidades que antes eram de 0,20m/s atingiram valores de 1,50m/s, tornando o entorno mais ventilado.

Os blocos implantados no “final” do conjunto apresentam velocidades em seu entorno mais baixas que os blocos que estão mais próximos Av. Almirante Barroso, porém um pouco mais altas comparadas à implantação atual.

O espaçamento maior entre os blocos permitiram maior ventilação entre eles, diminuindo assim os efeitos de esteira, mas mesmo assim as velocidades em sua maioria não chegam a mais de 2m/s (considerável velocidade adequada para nível do pedestre segundo escala de Sousa (2014)).

Figura 55 - Imagem de contorno a 6,5 metros do solo da situação atual e da situação proposta, respectivamente, com incidência de vento sudeste



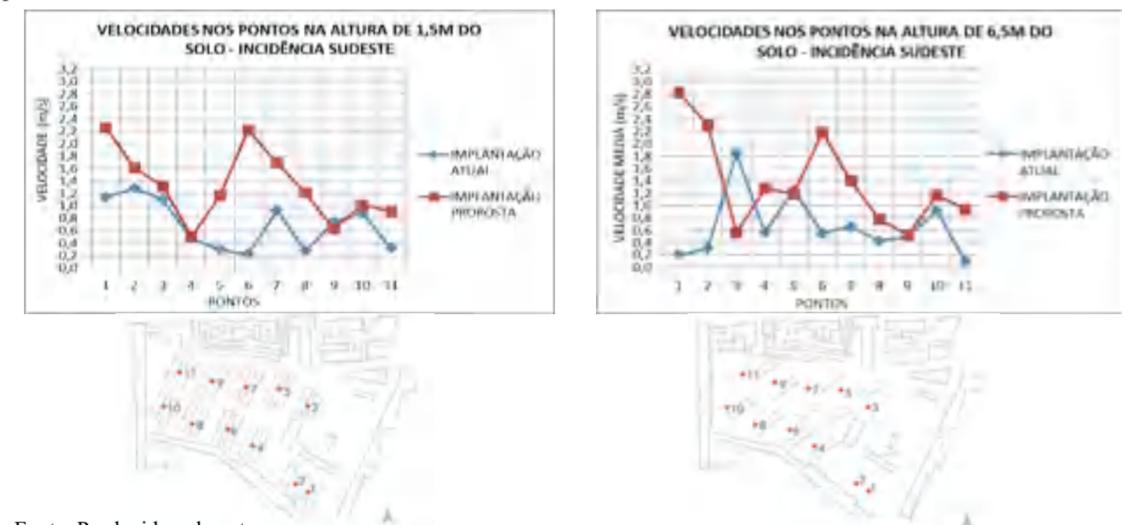
Apesar dos blocos apresentarem gabarito mais alto na nova implantação proposta o entorno não é prejudicado com relação à ventilação. Pilotis, elementos vazados e a diferença de altura entre os edifícios fazem com que o vento tenha uma maior permeabilidade e cheguem aos edifícios localizados no entorno.

Os efeitos de esteira assim como na imagem de contorno a 1,5m do solo diminuíram, pois como constatado por Bittencourt (1998) em suas simulações mesmo com edifícios mais altos o fator mais importante na distribuição do fluxo de ar no tecido urbano eram os recuos. E a decisão de aumentar os recuos fazia parte da nova proposta de implantação, como podemos observar.

É possível observar vários alguns efeitos de desvio de massa de ar, pois os edifícios estão em posição quase ortogonal à incidência do vento. De acordo com Liu et al (2014) observando a ventilação natural a mesma diminuía à medida que o ângulo de incidência se tornava obtuso em relação a fachada, levando em consideração seus estudos buscou-se um ângulo de implantação em que a face maior do edifício (onde estão localizadas a maioria das esquadrias) tivesse face ao vento dominante.

VELOCIDADE NOS PONTOS – SUDESTE

Figura 56 – Gráfico comparativo das velocidades nos pontos a uma altura de 1,5 e 6,5 metros do solo, respectivamente, vento incidente sudeste.



Fonte: Produzido pela autora

Assim como ocorre na incidência leste às velocidades nos pontos na incidência sudeste também aumentam consideravelmente, atingindo em alguns pontos a velocidade de conforto.

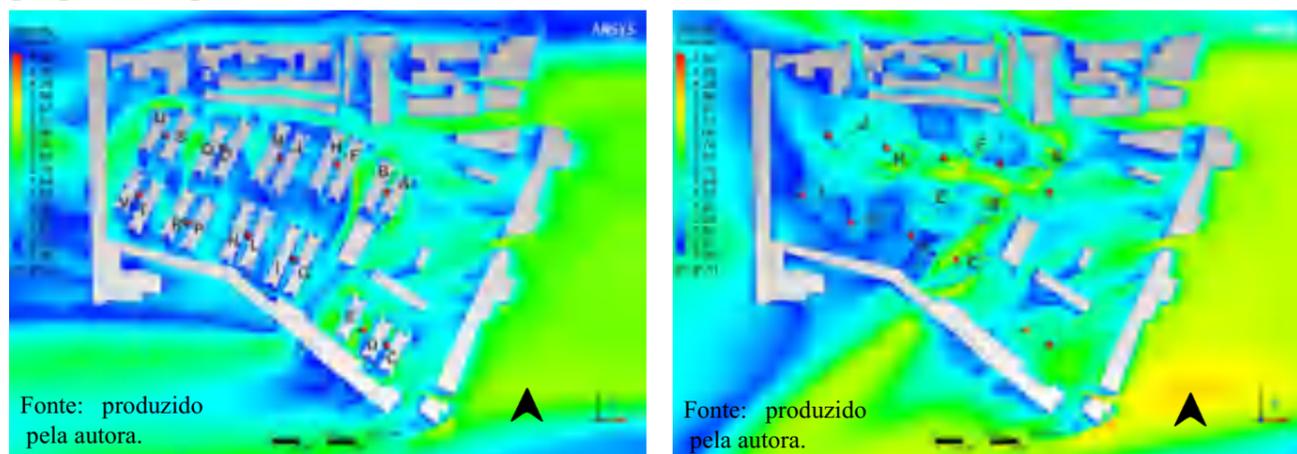
No plano a 1,5 metros do solo podemos observar que nos pontos 4 e 9 as velocidades apresentadas nas duas propostas são bem parecidas como consequência do efeito de esteira. O ponto 6 devido ao efeito de desvio de massa tem um aumento na sua velocidade de aproximadamente 2 m/s. Outros pontos apresentam ganho em suas velocidades, dessa vez em decorrência do efeito de pilotis, o fluxo de ar passa a ter um espaço maior pra circular e garantem aos espaços velocidades variando entre 1,2 e 2,2m/s.

No plano a 6,5 metros é possível observar que o ponto 3 há uma grande perda de velocidade. Na situação atual o efeito canto e de canalização garantia ao ponto valores de 1,8m/s, com o aumento dos recuos presentes entre o blocos onde se encontra o ponto 3, o efeitos passaram a não mais existir, e conseqüentemente houve a diminuição dos valores de velocidade para aproximadamente 0,5m/s. Em contrapartida o ponto 6, assim como no plano a 1,5 metros do solo, teve um ganho em sua velocidade devido ao efeito de desvio de massa.

De forma geral, comparando a situação atual e a situação proposta, podemos verificar que na maioria dos pontos houve aumento dos valores de velocidade.

ANÁLISE COMPARATIVA: SITUAÇÃO ATUAL X SITUAÇÃO PROPOSTA – VENTO INCIDENTE LESTE

Figura 57 - Imagem de contorno a 1,5 metros do solo da situação atual e da situação proposta, respectivamente, com incidência de vento leste



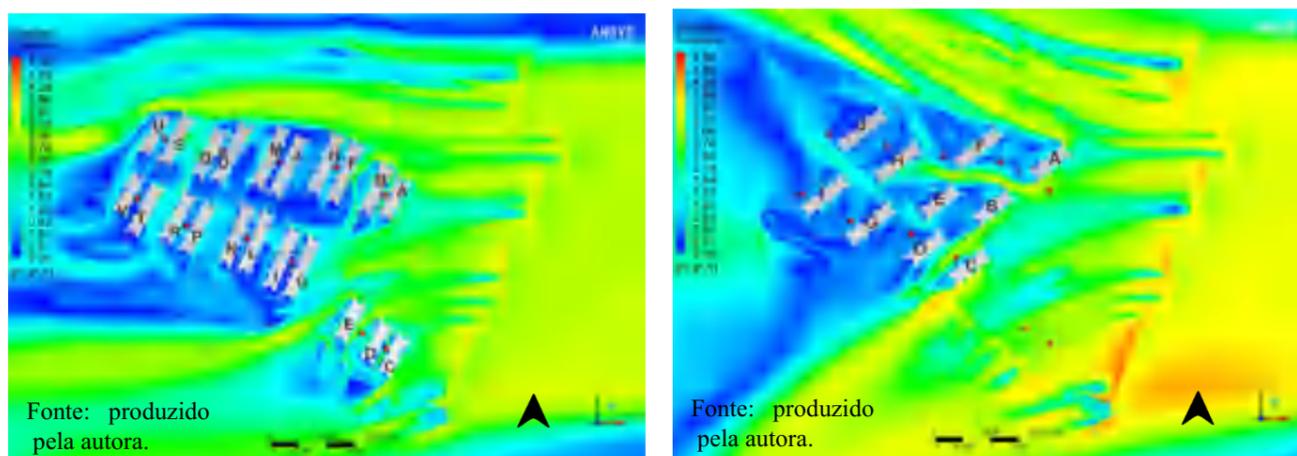
Quando comparamos a implantação atual e a implantação proposta, no plano a 1,5 metros do solo e incidência leste, podemos ver que devido aos pilotis as zonas de conforto aumentaram, o vento agora consegue percorrer o conjunto e chegar até os blocos que se encontram no final do conjunto o que não era possível na implantação atual.

Outro ponto positivo é o entorno que se encontra mais ventilado, passando de valores de velocidade de aproximadamente 0,7m/s para 1,15m/s. Isso ocorre devido ao ângulo de implantação adotado para nova proposta, que permite que o vento encontre novos caminhos para circular.

Devido ao afastamento dos blocos, o vento conseguiu circular de forma melhor no conjunto, e as velocidades que antes eram consideradas bem abaixo da zona de conforto (menor que 2m/s) passam para em sua maioria para uma zona de conforto, segundo escala de Sousa (2014). Isso também ocorreu entre os blocos, os recuos aumentaram e deram maior permeabilidade ao fluxo de ar.

Na nova proposta de implantação com a retirada dos blocos C, D e E e a liberação do solo nessa área, os valores de velocidade aumentaram, passando a ser considerada uma zona de conforto. O mesmo não ocorreu com os I, G e D que tiveram sua ventilação prejudicada com relação aos demais na nova proposta.

Figura 58 - Imagem de contorno a 6,5 metros do solo da situação atual e da situação proposta, respectivamente, com incidência de vento leste



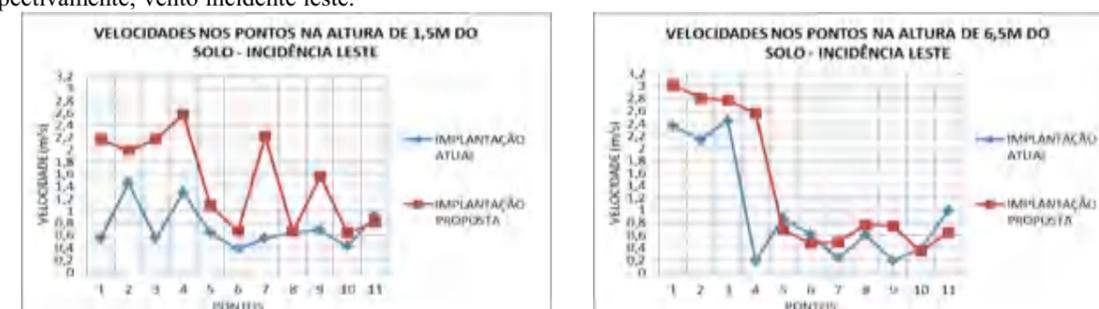
Comparando a implantação atual e a implantação proposta, no plano a 6,5 metros do solo e incidência leste, nota-se que entre os blocos as velocidades aumentaram apesar dos blocos aumentarem em altura o afastamento entre eles garantiu uma melhor circulação do ar. Passando de um valor de 0,20m/s para 0,90m/s.

Devido a o efeito de canto no bloco A (na situação proposta) é possível observar que a velocidade ganha uma aceleração e percorre entre os blocos, gerando áreas de zona de conforto entre os blocos do conjunto, o que não se podia na situação atual nessa altura de 6,5m do solo.

As zonas de esteira são presentes nas duas situações, o que é alterado são os valores de velocidade encontrados dentro dessas zonas. Na situação atual encontramos velocidades em sua maioria abaixo de 0,60m/s, já na situação proposta as velocidades estão em sua maioria acima de 1,0m/s.

VELOCIDADE NOS PONTOS

Figura 59 – Gráfico comparativo das velocidades nos pontos a uma altura de 1,5 e 6,5 metros do solo, respectivamente, vento incidente leste.



Fonte: Produzido pela autora.

Através dos gráficos é possível observar que os valores de velocidade nos pontos aumentam consideravelmente se comparamos a situação atual e a situação proposta, alguns deles chegam a alcançar valores acima de 2m/s, tanto no plano a 1,5 metros do solo, como a 6,5 metros do solo.

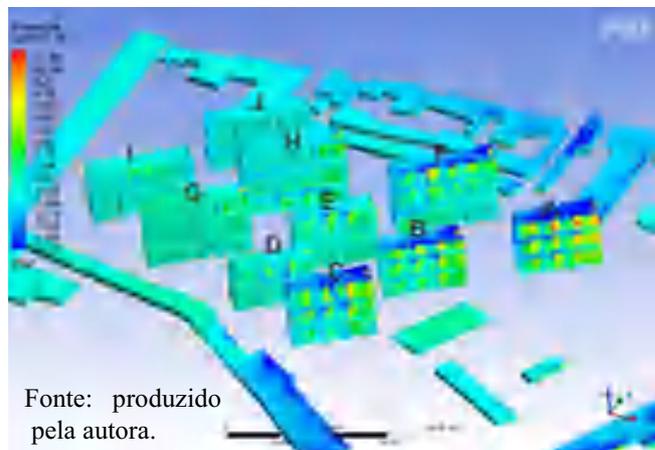
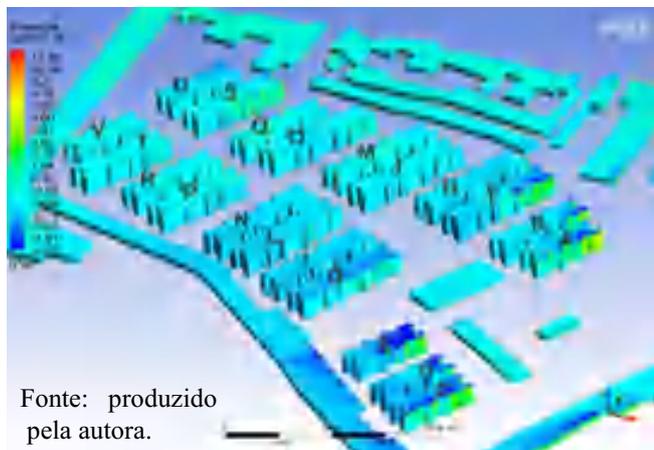
Investigando o plano a 1,5 metros do solo observa-se que os pontos 8 e 11 não há o aumento dos valores de velocidade. Apesar da inserção de pilotis na situação proposta, liberando o fluxo do ar no pavimento térreo, nos pontos 8 e 11 ocorrem o efeito de esteira, gerando valores mais baixos de velocidades nesses pontos, igualando aos valores encontrados na situação atual.

Ao observar o plano a 6,5 metros do solo nota-se que outros pontos não há ganhos de velocidades, como é o caso do ponto 5, 6 e 11, onde as velocidades nesses pontos acabam sendo menores na situação proposta. Isso ocorre porque na situação atual o efeito de canalização fazem os valores de velocidades nesses pontos alcançarem valores de até 1m/s, o que não acontece na situação proposta, mas é importante deixar claro que os valores tem sua variação máxima de 0,3m/s (no ponto 11), no ponto 5 e 6 a variação é de 0,2m/s.

No geral pode-se afirmar que os ganhos são bem consideráveis. Se observarmos os pontos 3 e 7, no plano a 1,5 m do solo, vemos que com a nova implantação os valores de velocidades nesses pontos atingem valores maiores que 2 m/s, e passam a ser considerados dentro de uma zona de conforto. O mesmo ocorre no ponto 4, no plano a 6,5 m do solo, que tem um aumento de 2,2m/s de velocidade, passando de 0,2m/s para 2,6 m/s.

ANÁLISE COMPARATIVA: SITUAÇÃO ATUAL X SITUAÇÃO PROPOSTA - PRESSÃO NA FACHADA DOS EDIFÍCIOS

Figura 60 - Imagem de contorno da pressão localizada na fachada dos edifícios com vento incidente leste.

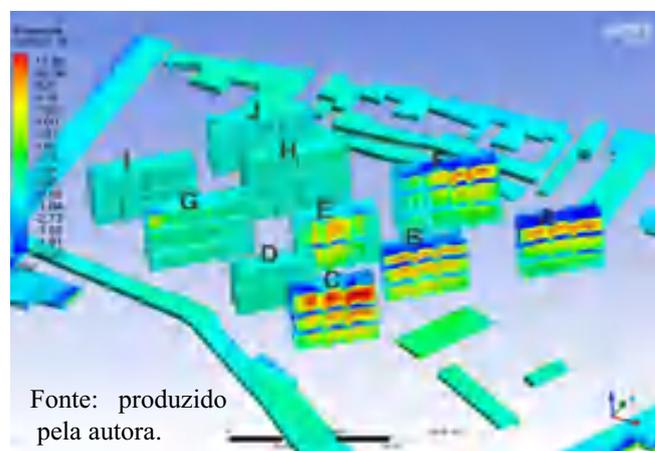
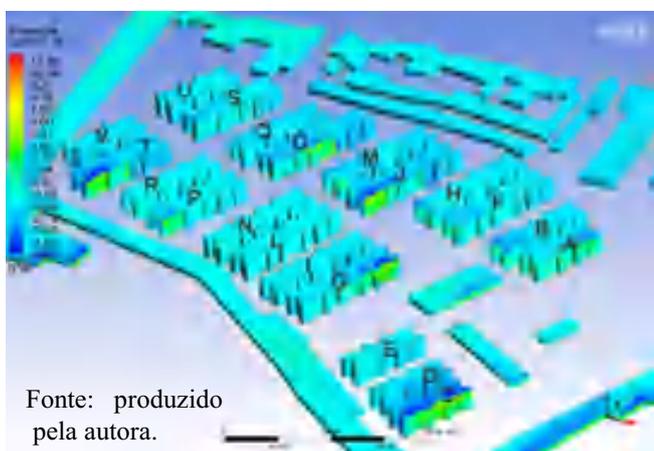


Comparando os valores de pressão nas fachadas dos blocos, com vento incidente leste, da implantação atual e implantação proposta, podemos observar que com a nova implantação, os blocos passaram a ter valores de pressão mais altos, e com maiores variações de valores, o que não era possível observar na implantação atual.

Na implantação atual a maioria dos blocos possuem valores constantes de pressão, como podemos observar nos blocos J e T, já na nova implantação só é possível observar esse comportamento em apenas um dos blocos, o bloco J.

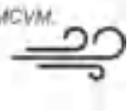
Os blocos localizados mais a frente do conjunto nas duas implantações tem os maiores valores de pressão. Na implantação atual os valores chegam a atingir 6 Pa em seus blocos A e C, e na implantação proposta os valores de pressão atingem até 11 Pa, como é possível observar no bloco

Figura 61 - Imagem de contorno da pressão localizada na fachada dos edifícios com vento incidente sudeste.



Comparando os valores de pressão nas fachadas dos blocos, com vento incidente sudeste, da implantação atual e implantação proposta, podemos observar que os valores de pressão aumentam consideravelmente nos blocos que estão localizados na parte da frente do conjunto, como é o caso dos blocos A, B, C, E e F, o que não ocorria na implantação atual devido ao ângulo de implantação que os edifícios. Os valores de pressão atingem valores de até 11 Pa na implantação propostas, enquanto na implantação os maiores valores encontrados são de aproximadamente 6 Pa.

Nota-se ainda que nos demais blocos também houve o aumento dos valores de pressão, passando de valores bem próximos a 0,55 Pa para 1,04 Pa, devido ao novo ângulo de implantação dos blocos, localizando as maiores fachadas face ao vento dominante e também devido a inserção de pavimentos vazados e diferença de altura entre um conjunto, gerando maior rugosidade no meio.



14. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como objetivo principal diagnosticar condições de ventilação natural por meio de simulação computacional em conjunto vertical do PMCMV na cidade de Campina Grande/PB e propor um cenário de mudança visando melhorias na ventilação do mesmo e menor impacto no seu entorno.

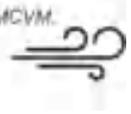
Na pesquisa utilizaram-se os ângulos de incidência de vento dominante em relação ao conjunto edificado estudado, no caso utilizaram-se ventos Sudeste (predominante na cidade) e Leste (sub predominante). Observou-se que, assim como em outros empreendimentos do PMCMV, neste conjunto a intenção do executor é realizar uma implantação que priorize o numero de blocos na gleba e não a melhor orientação deles.

Através da fluidodinâmica computacional (softwares CFD) foram realizadas simulações da ventilação natural conjunto vertical, criteriosamente escolhido, o qual serviu de cenário para o estudo. As avaliações do comportamento do vento foram realizadas a partir das análises comparativas entre o cenário atual e cenário proposto de implantação, sempre levando em consideração o seu entorno imediato.

A velocidade do ar foi o parâmetro de medição das condições de ventilação na fração urbana estudada, levando em consideração que para garantir o conforto térmico dos pedestres e moradores é necessário que exista movimento do ar no espaço urbano, como também em seu interior. Como não foram realizadas simulações no interior desses edifícios, foi observada a pressão nas fachadas, como forma de garantir boas condições de obtenção de ventilação cruzada no ambiente interno. Comumente a barlavento a pressão é positiva e negativa a sotavento, a diferença de pressão entre as diferentes faces do edifício é o que causa o movimento do ar em seu interior.

A rugosidade do meio, os desvios de fluxos, as zonas de redução e aceleração do ar tem influência direta no campo de pressão sobre as fachadas, podendo trazer benefícios para o conforto térmico no interior dos edifícios.

Os efeitos aerodinâmicos e a turbulência estão diretamente ligados ao comportamento do vento em contato com os obstáculos que compõe o meio urbano, tendo relação direta com a forma, dimensão e justaposição das edificações. Dessa forma torna-se mais difícil prever quais formas serão mais prejudicadas ou mais beneficiadas em relação à ventilação natural.



Entende-se ainda que as alterações realizadas para a implantação proposta tem um custo para as empresas executoras desse tipo de empreendimento, e que necessita-se de um estudo para esse tipo de levantamento, porém através dos resultados obtidos reforça-se a ideia de que apesar dos custos as alterações geram benefícios tanto para população como para toda a cidade.

Considera-se que o objetivo foi alcançado, tendo em vista que foi analisada a implantação atual e a partir dos problemas observados foi proposto um novo modelo de implantação. Foram incorporados à nova implantação pilotis e pavimentos vazados no desenho arquitetônico dos blocos que constituem o conjunto, que garantiram um melhor desempenho tanto na adequada ventilação do pedestre, como também para melhorar a fluidez do ar para os edifícios do entorno.

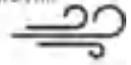
14.1. Quanto aos resultados

Ao simular as duas incidências sudeste (130°) e leste (90°), que em Campina Grande correspondem as duas direções com maior frequência durante o ano, foram possíveis comparar as duas implantações, a existente e a proposta. Notou-se que as pequenas alterações projetuais foram de grande importância para o ganho de valores de velocidade tanto entre os blocos do conjunto, como em seu entorno.

Da mesma forma, visando uma maior abrangência dos resultados, a verificação do comportamento dos fluxos e seus reflexos no desempenho térmico foram feitas em dois planos em relação ao solo: um a 1,5 metros do solo (altura de respiração do pedestre) e outro plano a 6,5 metros do solo. Dessa forma buscava-se identificar efeitos específicos em alturas e obstruções diferentes, além de analisar de forma quantitativa e qualitativa cada simulação. Também foram realizadas análises dos efeitos aerodinâmicos presentes em cada incidência de simulação.

14.1.1. Na implantação atual

Observou-se que os valores de velocidade média anuais mais elevados para direção de vento Leste, elevaram também os valores das velocidades registradas nos pontos de medição do conjunto em ambas as propostas. Apesar de terem sido encontrados valores menores de velocidades nos resultados Sudeste, estes representam o que ocorre na maior parte do ano (10 meses).



Na situação atual do conjunto observou-se que os mínimos recuos praticados intrablocos ocasionavam velocidades muito baixas tanto para vento incidente Sudeste como Leste. Observou-se que as velocidades baixas também ocorriam no entorno do conjunto.

Outro ponto importante é a consequência que os efeitos aerodinâmicos trazem para ventilação natural em meio urbano. Os efeitos de canto e de canalização contribuíram de forma eficaz para o aumento dos valores de velocidades entre os blocos, tanto na incidência leste como sudeste, mostrando que se trabalhados de forma responsável podem trazer para o ambiente urbano ganho de velocidades consideráveis.

14.1.2. Na implantação proposta

Assim como ocorre na implantação atual, os valores de velocidade encontrados na incidência leste são maiores devido ao maior valor de entrada. Mas levando em consideração a pressão nas fachadas dos blocos, na incidência sudeste é possível encontrar maiores diferenças de pressão entre fachadas opostas.

A diminuição na quantidade de blocos, passando de 21 para 10, a inserção de pilotis e pavimentos vazados no desenho arquitetônico dos edifícios, o aumento nos recuos entre os blocos e o novo ângulo de implantação resultaram num ganho considerado de velocidade nas duas direções de vento estudadas. É possível notar através das velocidades encontradas nos pontos devidamente estudados. Nota-se ainda que a liberação do solo, além de trazer benefícios para população como futura áreas de convívio e de lazer, contribui para ventilação do próprio conjunto, melhorando a circulação do vento, refletindo ainda em seu entorno imediato.

Os efeitos aerodinâmicos ainda encontram-se presentes, como é o caso do efeito de esteira, porém em menor quantidade se comparada à implantação existente. Os efeitos de canto no plano a 1,5 metros do solo são quase inexistentes devido à inserção de pilotis no pavimento térreo de todos os blocos. Por fim a situação proposta demonstra que através de um projeto mais sensível a questão da ventilação em meio urbano pode-se obter conjuntos habitacionais mesmo de grande porte, como é o estudo de caso deste trabalho, com maior qualidade para seus moradores além de menor impacto na malha urbana ou entorno imediato. Se há uma tendência de prover habitação em massa em edifícios monolítico, que essa tipologia seja repensada de forma a impactar o mínimo possível na sua vizinhança e que tenha



uma maior qualidade para seus usuários.

14.2. Quanto à simulação computacional

O CFD mostrou-se uma boa ferramenta de predição de ventilação natural em meio urbano, como foi o caso desta pesquisa. Porém é necessário um conhecimento especializado devido a grande complexidade desses softwares para que as simulações sejam feitas e interpretadas corretamente.

Se a ferramenta CFD puder ser incorporada nos projetos de planejamento urbano, muitos problemas de ventilação poderiam ser detectados ainda na fase de projeto, bem como novas soluções de projeto e de implantação poderiam ser testadas. A ferramenta produz resultados rápidos se comparada a experimentos realizados em ambiente real, e com a evolução da capacidade de processamento e de novos computadores a análise dos resultados podem se tornar mais simples, o tempo e o custo das simulações podem diminuir, Por outro lado o custo deste tipo de software ainda é elevado, o que impede que seja incorporada por muitas faculdades na formação de futuros projetistas.

A utilização da ferramenta CFD levou um considerável tempo de pesquisa. Cada módulo do programa necessita de determinado tempo pra planejar e sistematizar as entradas de dados. No entanto, acredita-se que são fases fundamentais para utilização do programa, sejam elas no período de simulação, como no tratamento para melhor obtenção dos resultados para assim facilitar na compreensão dos leitores.

Os tempos de processamento de simulação variam de acordo com o número de elementos presentes em cada malha. Para cada uma das simulações executadas no módulo *solver* o tempo de simulação oscilou entre 5 e 6 dias de processamento devido ao número de aproximado de 15 milhões de elementos e a capacidade de processamento disponível.

A simplificação da geometria dos edifícios de entorno foi necessária para diminuir a quantidade de elementos da malha, porém acredita-se que tal medida não teve impactos negativos nos resultados dos cenários. Através das medições da velocidade em campo, a qual serviu para validar os resultados encontrados em simulação, foi possível observar que os valores encontrados em simulação eram bem próximos aos encontrados em campo, atestando assim que conseguiu-se reproduzir as condições gerais da ventilação natural no local apesar da simplificação do seu entorno. Conclui-se, portanto que esta ferramenta pode ser usada para



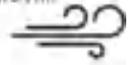
este tipo de predição e que pode ajudar a antever problemas bem como a buscar solução para os mesmos.

O presente trabalho nasceu de um PIBIC realizado na vigência 2015/2016 onde se investigou a ventilação natural no interior de edifícios do PMCMV e notou-se que a forma de implantação dos blocos tinha rebatimento direto na ventilação no interior desses blocos. O PIBIC foi renovado na vigência de 2016/2017 e houve essa preocupação em investigar a ventilação em ambiente urbano o que posteriormente culminou com o TCC.

14.3. Trabalhos futuros

Trabalhos futuros são necessários para aprofundamento no rebatimento das decisões projetais do conjunto e seu rebatimento na ventilação do mesmo e do entorno, a discussão foi apenas aberta nesta pesquisa, mas a mesma não se encerra com esse trabalho. Existem diversas possibilidades para continuação do estudo, dentre elas estudos voltados a:

- Compatibilizar dados de vento, a configuração urbana, ao sol e/a sombra com ferramentas de simulação da pesquisa realizada, com softwares que possibilitem gerar imagens em 3D do sombreamento e mascaramento das edificações no tecido urbano, auxiliaria a compreensão de um resultado mais global das condições ambientais do conjunto.
- Aplicar o método em outras situações urbanas e climáticas, inserindo novas variáveis nas análises e outros possíveis atributos relacionados à ventilação natural.
- Investigar a possibilidade de unir a variável de ventilação natural, através das simulações com CFD, com modelos que relacionem temperatura e trocas de calor.
- Estudar outro tipo de implantação com aplicação de um arranjo não convencional, como é o caso do conjunto “*The interlace*”. O projeto tem como um dos princípios principais fornecer habitação social acessível, assim como o PMCMV, e através do empilhamento de mesma tipologia de blocos, garante moradias com qualidade com criação de áreas de lazer e convívio, gerando permeabilidade do vento entre o conjunto, além de levar sempre em consideração o conceito de sustentabilidade.



15. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social.** Rio de Janeiro, 2005b.

ALCOFORADO, Maria João. **O clima da região de Lisboa: contrastes e ritmos térmicos.** 1993.

ALLARD, Francis; GHIAUS, Cristian. **Natural ventilation in the urban environment.** London: Earthscan., 2006.

ALMEIDA, Eveline Maria de Athayde et al. **A configuração urbana e sua relação com os microclimas: estudo de frações urbanas na cidade de Maceió.** 2006.

AWBI H., **Ventilation of Buildings**, ed. E & FN Spon, London, 1995

BITTENCOURT, L. **Low energy buildings in warm-humid regions: the use of perforated blocks.** Proceedings of the technical conference on Tropical Urban Climate: Dhaka: 1993.

BITTENCOURT, L; CÂNDIDO, C. **Introdução à ventilação natural.** EDUFAL: Maceió, 2006.

BITTENCOURT, Leonardo Salazar; CRUZ, J. M.; LOBO, DGF. **A influência da relação entre taxa de ocupação X nº de pavimentos no potencial de ventilação natural dos ambientes internos e externos.** Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, v. 4, p. 102-106, 1997.

BITTENCOURT, Leonardo; CANDIDO, Christhina. **Introdução à ventilação natural.** UFAL, 2005.

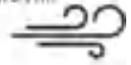
BRANDÃO, A. M. P. M. **O clima urbano da cidade do Rio de Janeiro.** São Paulo, v. 362, 1996.

BRANDÃO, R. S. **As Interações espaciais urbanas e o clima.** Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo, Tecnologia da Arquitetura), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo: FAUUSP, 2009.

BROWN, G. Z.; DEKAY, M. **Sol, Vento e Luz estratégias para o projeto de arquitetura.** Bookman, 2ª ed.: Porto Alegre, 2004.

CELINSKI, F.; SANTOS, G. H.; MENDES, N. **Análise térmica de um ambiente através da dinâmica dos fluidos computacional.** Anais do VII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Curitiba, 2003.

CHANDLER, T. J. T. J. **Urban climatology and its relevance to urban design.** 1976.



COSTA FILHO, Amando Candeira. **Rugosidade e porosidade do tecido urbano como critérios de análise qualitativa da ventilação natural em cidades litorâneas**. 2017. 199 f. Tese (Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo. .

CÓSTOLA, D. **Ventilação por ação do vento no edifício: procedimentos para quantificação**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo – Tecnologia da Arquitetura). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

DE SOUZA, V. M. B. **A Influência da Ocupação do Solo no Comportamento da Ventilação Natural e na Eficiência Energética em Edificações. Estudo de Caso em Goiânia–Clima Tropical de Altitude**. 2006. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado–Departamento de Pós-Graduação da FAU-UnB do curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília.

EVANS, John Martin; DE SCHILLER, Silvia. **Diseño bioambiental y arquitectura solar**. Secretaría de Extensión Universitaria, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires, 1988.

FREITAS, Ruskin. **Entre mitos e limites: as possibilidades do adensamento construtivo face à qualidade de vida no ambiente urbano**. Ed. Universitária da UFPE, 2008.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico**. Studio Nobel, 1995.

GANDEMER, Jacques; GUYOT, Alain. La protection contre le vent. **Aérodynamique des brise-vents et conseils pratiques**, p. 132, 2000.

GIVONI, B. Basic study of ventilation problems in houses in hot countries. **Israel: Building Research Station of the Institute of Technology**, 1962.

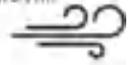
HARRIES, Alan. **Notas de Aula**. In: Workshop: CFX – FAU-USP. São Paulo, 2005.

HISSA, Francisco Nasser. **Legislação urbana e ambiente construído: uma abordagem sistêmica dos parâmetros de controle do uso e ocupação do solo em Fortaleza (CE)**. 2005. Tese de Doutorado.

JACOBS, J. **Vida e Morte de Grandes Cidades**. São Paulo: Martins Fontes, 2000.

KATZSCHNER, Lutz. Urban climate studies as tools for urban planning and architecture. **Encontro nacional de conforto no ambiente construído**, v. 4, p. 49-58, 1997.
LAMAS, José Manuel Ressano Garcia; **Morfologia urbana e desenho da cidade**. Orgal: Porto. 2007.

LEITE, Carolina Gaspar. **Alterações da ventilação urbana frente ao processo de verticalização de avenidas litorâneas: o caso da avenida litorânea em São Luís/MA**. 2008. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.



LEITE, R. C. V. **Cidade, vento energia: limites de aplicação da ventilação natural para o conforto térmico face à densificação urbana em clima tropical úmido.** Tese (Doutorado – Área de concentração: Tecnologia da Arquitetura), FAUUSP. São Paulo, 2015

LEITE, Renan Cid Varela. **Fortaleza: terra do vento: a influência da mudança nos padrões de ocupação do solo sobre a ventilação natural em cidade de clima tropical úmido.** 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

LIMA NETO, Carlos Alberto. ; MIRANDA, Livia Izabel Bezerra. **Entre a política e o mercado: inserção urbana dos empreendimentos do programa minha casa minha vida (MCMV) na região metropolitana de campina grande: um estudo de caso do conjunto habitacional Dona Lindu I.** In: XII Congresso de Iniciação Científica Da Universidade Federal De Campina Grande, 2015, Campina Grande. XI Congresso De Iniciação Científica Da Universidade Federal De Campina Grande. Campina Grande: UFCG, 2015. p. sp-sp.

LIU, Sumei et al. **Coupled simulation of natural ventilation and daylighting for a residential community design.** *Energy and buildings*, v. 68, p. 686-695, 2014.

LOPES, António. Modificações no clima de Lisboa como consequência do crescimento urbano. Vento, ilha de calor de superfície e balanço energético. **Doutoramento, Universidade de Lisboa**, 2003.

MARQUES, Ricardo Souza. **Ventilação e prescrições urbanísticas: uma aplicação simulada para a Orla da Praia do Meio em Natal/RN.** 2003. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

MASCARÓ, Alysson Leandro. **Crítica da legalidade e do direito brasileiro.** Editora Quartier Latin do Brasil, 2003.

MASCARÓ, J. L.; MASCARÓ, L.; AGUIAR, CMLS. Cidade: energia, arborização urbana e impacto ambiental. **Ciência & Ambiente, Santa Maria, UFSM**, v. 1, n. 1, p. 59-72, 1990.

MASCARÓ, L. R. **Energia na edificação- Estratégia para minimizar seu consumo.** São Paulo, Editora Projeto, 2ª Edição, 1991.

MELAGRANO, M. G. **Wind in architectural and environmental desing.** Sacarborough, Canada: Van Nostrand Reinhold, 1982

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e Clima Urbano.** Série Teses e Monografias nº25. São Paulo: Instituto de Geografia/USP, 1976.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo; MENDONÇA, Francisco. Clima urbano. São Paulo: Contexto, 2003.

MONTEIRO, Verônica Stefanichen et al. **Estudo do percentual de área de janela em edificações brasileiras durante o Século XIX e XX.** In *Oculum Ensaio*, n. 16, 2013.

MORAIS. Juliana Magna da Silva Costa. **Ventilação natural em edifícios multifamiliares do “programa minha casa minha vida”.** Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo),



Faculdade de Engenharia Civil, arquitetura e urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP 2013

MOREIRA, Raphaela Cristhina Claudino. **A questão do gabarito na orla marítima de João Pessoa (bairros de Manaíra, Tambaú e do Cabo Branco)**. 2006. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana)—Centro de Tecnologia, Universidade de Federal da Paraíba, João Pessoa.

MORENO, Manuel F. N. **Qualidade ambiental nos espaços livres em áreas verticalizadas da cidade de São Paulo**. São Paulo, 2001. Tese (Doutorado).

OKE, Timothy R. **Boundary layer climates**. 2 ed. London: Methuen, 1987.

OLGYAY, Víctor. **Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas**. Editorial Gustavo Gili, 1998.

OLGYAY, Víctor. **Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism**. New Jersey: Princeton University Press, 1962.

OLGYAY, Víctor. **Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism**. Princeton University Press, 2015.

PEREGRINO, P.S.A., SILVA F. A. G. **Escoamentos de ventos e os padrões de ocupação do solo em João pessoa-PB**. In: Encontro Nacional De Conforto No Ambiente Construído, 9 Encontro Lationo-Americano De Conforto No Ambiente Construído 2007, Ouro Preto. Anais... Belo Horizonte: ANTAC, 2007.

PRATA, Alessandra Rodrigues. **Impacto da altura de edifícios nas condições de ventilação natural do meio urbano**. 2005. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

RIBEIRO, Helena; PESQUERO, Célia Regina; COELHO, Micheline de Sousa Zanotti Stagliorio. Clima urbano e saúde: uma revisão sistematizada da literatura recente. **Estudos Avançados**, v. 30, n. 86, p. 67-82, 2016.

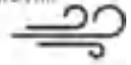
RIBEIRO, Nair. ; MORAIS, Juliana. ; ANDRADE, Tony. **Ventilação natural em edifício multifamiliar do “Programa Minha Casa Minha Vida” através de simulação computacional**. In Congresso Brasileiro de Fluidodinâmica Computacional, 2016.

ROGERS, Richard E. GUMUCHDJIAN. Philip. **Cidades Para Um Pequeno Planeta**. Barcelona: [SN], 2001.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. **A arquitetura bioclimática do espaço público**. Editora UnB, 2001.

ROSSI, Aldo. **A Arquitetura da Cidade**. São Paulo: Martins Fontes. 1995

SABOYA, Renato. **Taxa de ocupação e coeficiente de aproveitamento**. Urbanidades: Urbanismo, Planejamento Urbano e Planos Diretores. Disponível em: < <http://urbanidades.arq.br/2007/12/taxa-de-ocupacao-e-coeficiente-de-aproveitamento/> >. Acesso em: 26 de junho. 2017.



SILVA, Francisco De Assis Gonçalves; Del Carlo, Po Ualfrido. **O vento como ferramenta no desenho do ambiente construído uma aplicação ao nordeste do Brasil.** 1999.

SOUSA, Joana; LAMENHA, Melyna; FREITAS, Ruskin; BITTENCOURT, Leonardo. In: ENTAC, 2014, Maceió - Alagoas. **Efeito da altura e porosidade de edifícios na ventilação urbana Maceió - Alagoas**, 2014, p 1-10.

STULL, Roland B. **An introduction to boundary layer meteorology.** Springer Science & Business Media, 2012.

TOLEDO, Eustáquio; TOLEDO, Alexandre. **Ventilação natural das habitações.** Edufal, 1999.

VIEIRA, Jucélia Kuchla V657c **Caracterização da ventilação natural em protótipos habitacionais a partir de levantamento de dados reais.** Jucélia Kuchla Vieira. – Londrina, PR: [s.n.], 2006.

RESULTADOS GERADOS PELAS SIMULAÇÕES - CFD

25 MODELOS EXTERNOS

M1:F:A



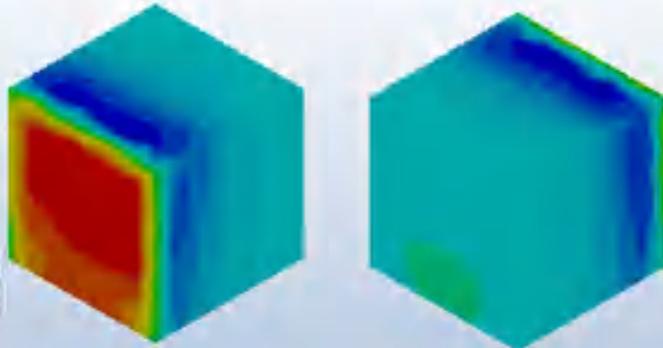
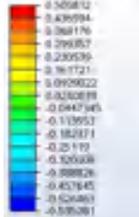
Coefficiente de pressão: 0.50 / -0.59

Fachadas laterais: negativas

Fachadas frontais: positiva / negativa

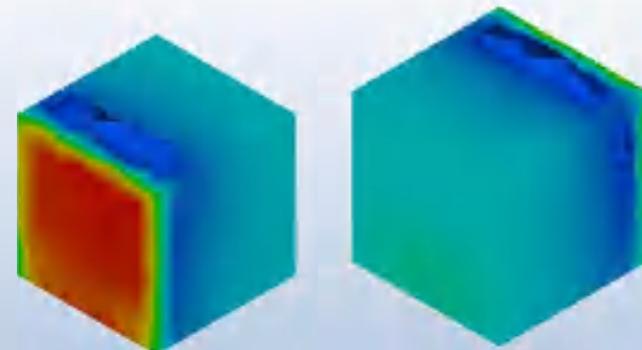
Classificação: Três faces negativas

(10) Pressure Coefficients -

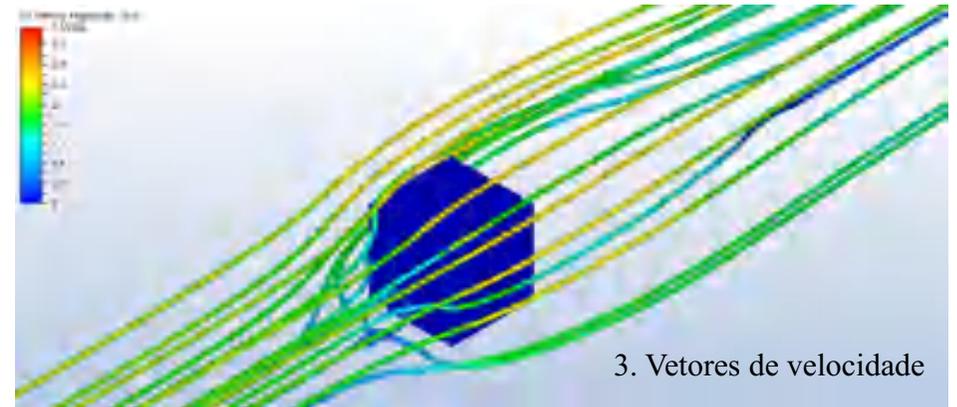


1. Coeficiente de pressão

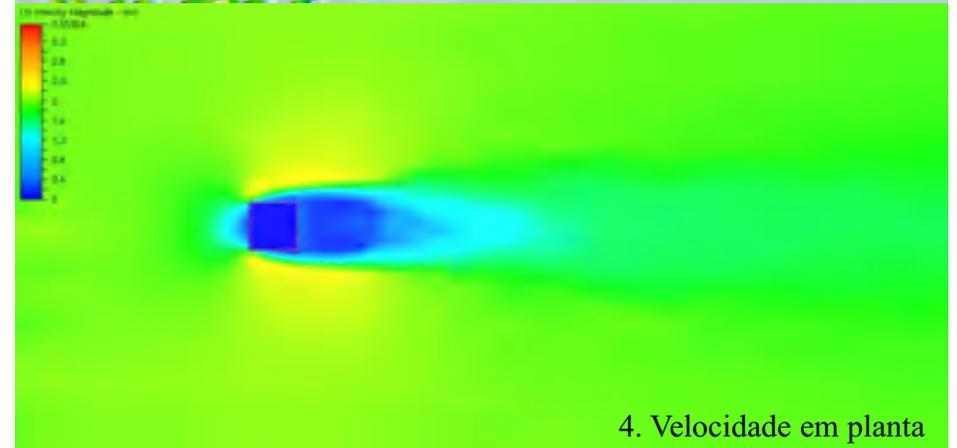
(11) Pressure Coefficients -



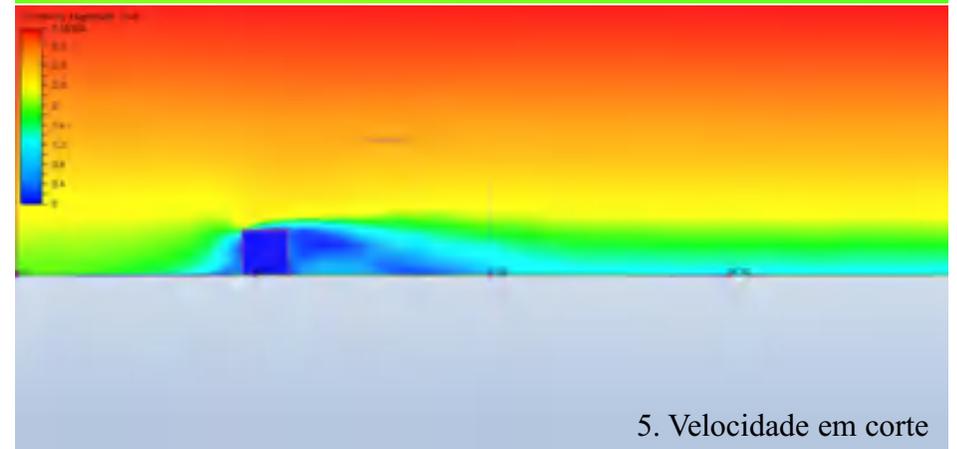
2. Superfícies de pressão



3. Vetores de velocidade



4. Velocidade em planta

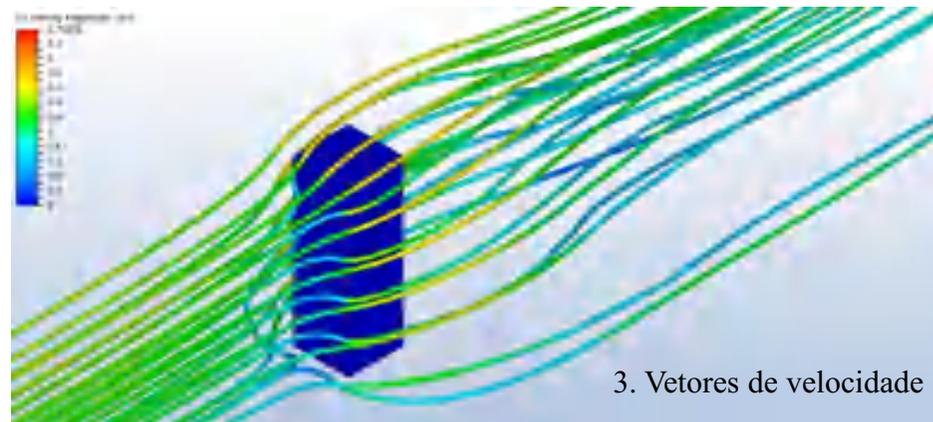


5. Velocidade em corte



M2:F:A

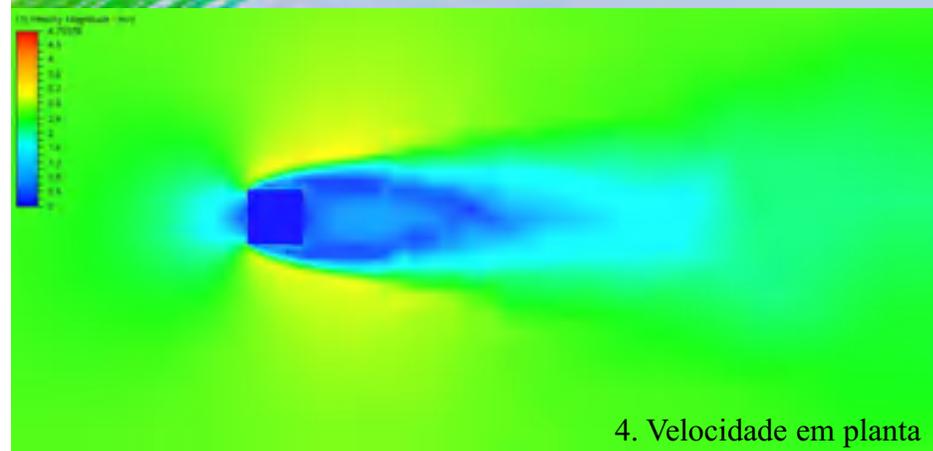
Coeficiente de pressão: 0.68 / -0.93
Fachadas laterais: negativas
Fachadas frontais: positiva / negativa
Classificação: Três faces negativas



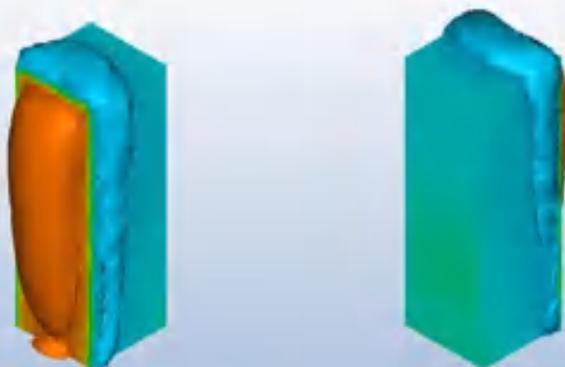
3. Vetores de velocidade



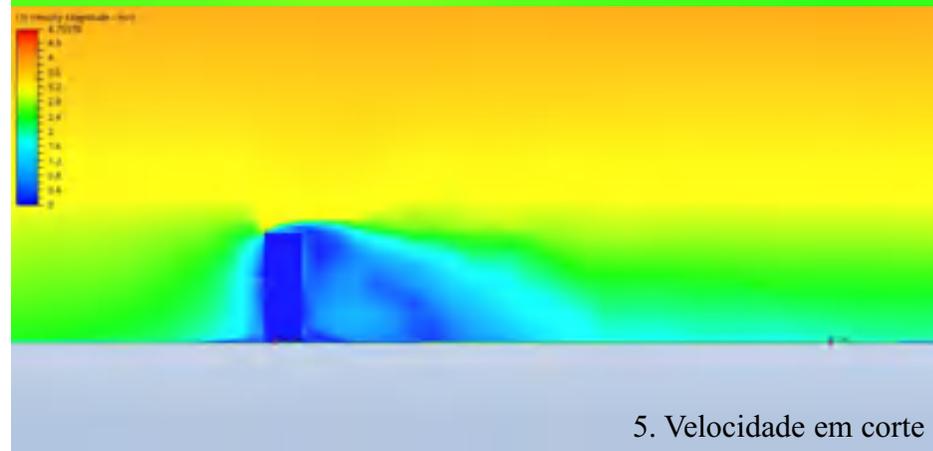
1. Coeficiente de pressão



4. Velocidade em planta



2. Superfícies de pressão



5. Velocidade em corte



M3:F:A

Coefficiente de pressão: 0.64 / -0.95

Fachadas laterais: negativas

Fachadas frontais: positiva / negativa

Classificação: Três faces negativas

1) Pressure Coefficient



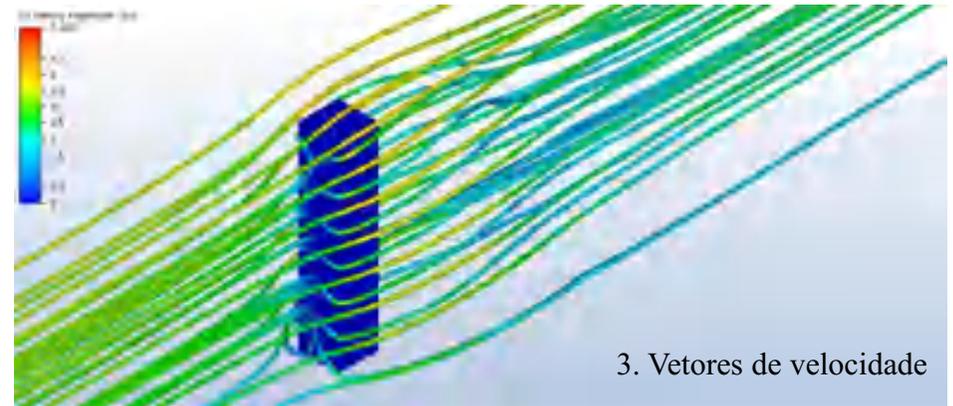
1. Coeficiente de pressão



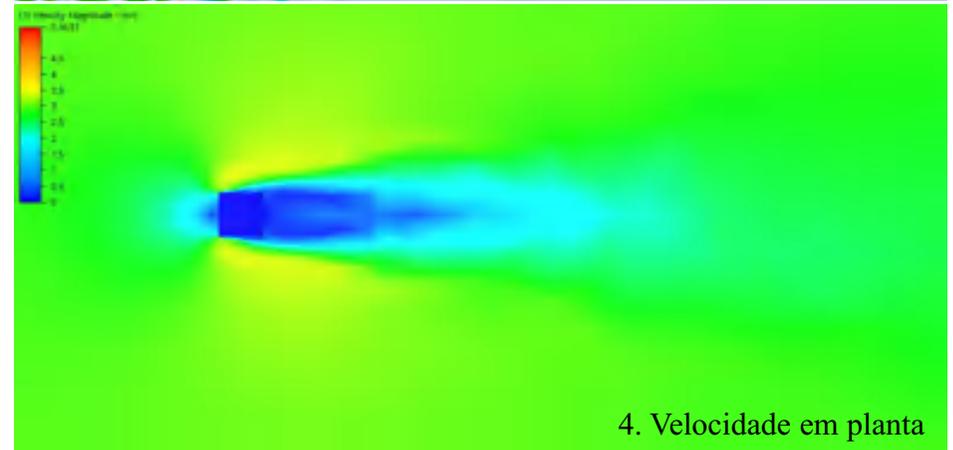
2) Pressure Coefficient



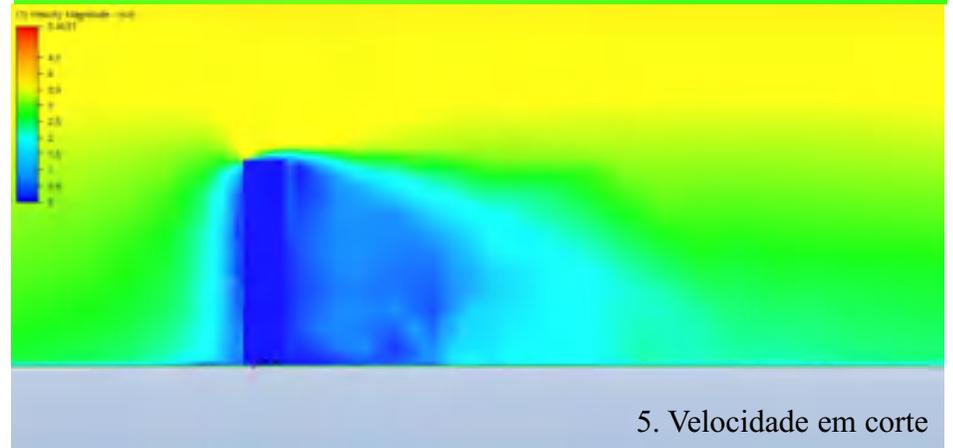
2. Superfícies de pressão



3. Vetores de velocidade



4. Velocidade em planta



5. Velocidade em corte



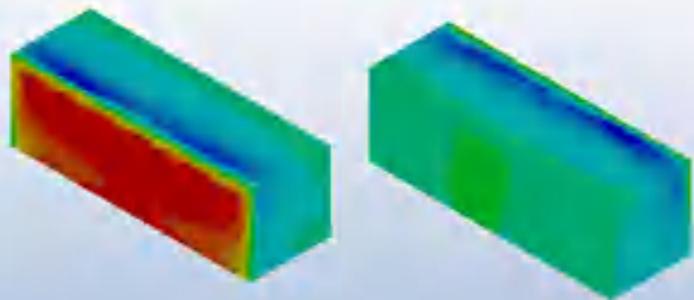
M4:F:L

Coefficiente de pressão: 0.47 / -0.94

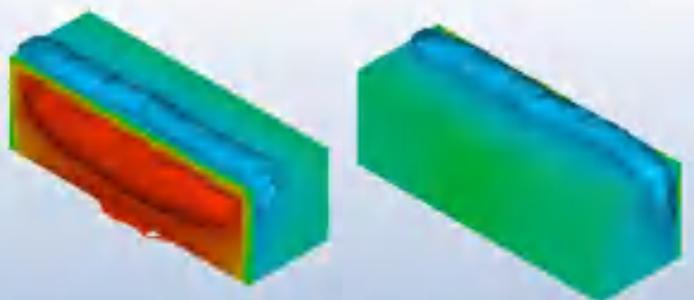
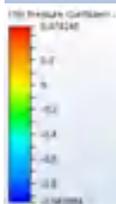
Fachadas laterais: negativas

Fachadas frontais: positiva / negativa

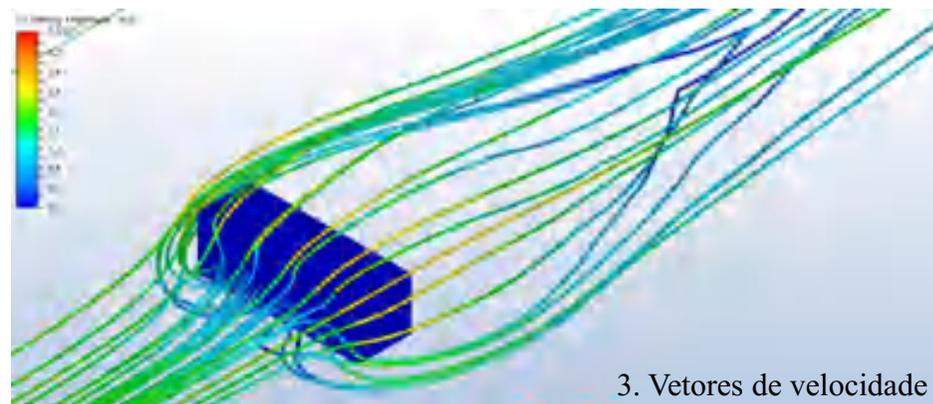
Classificação: Faces a 90° negativas



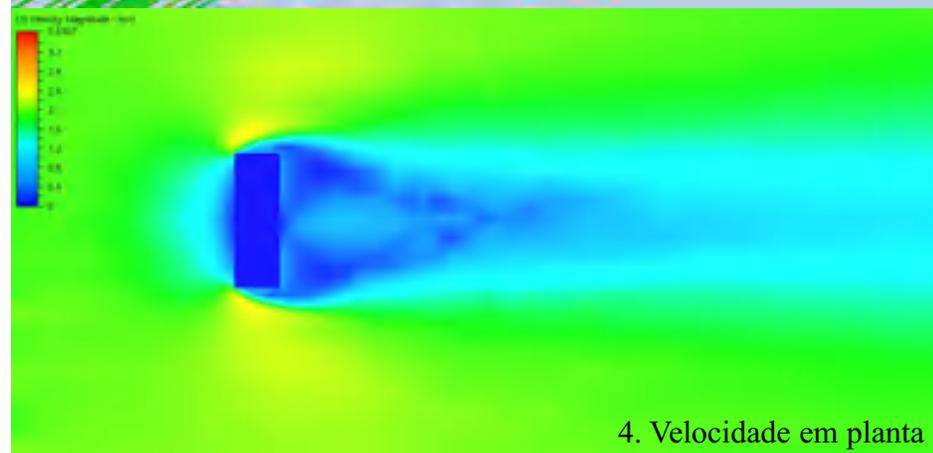
1. Coeficiente de pressão



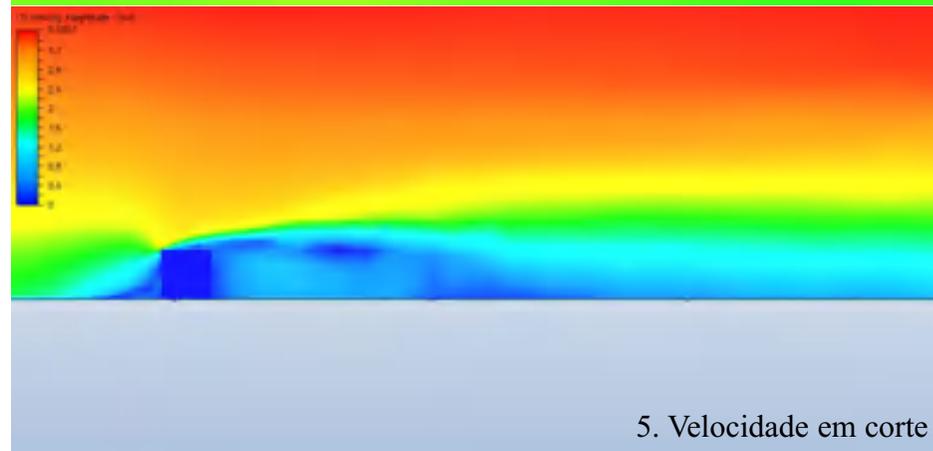
2. Superfícies de pressão



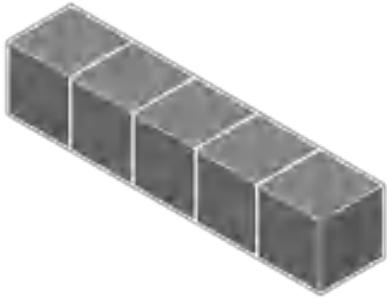
3. Vetores de velocidade



4. Velocidade em planta

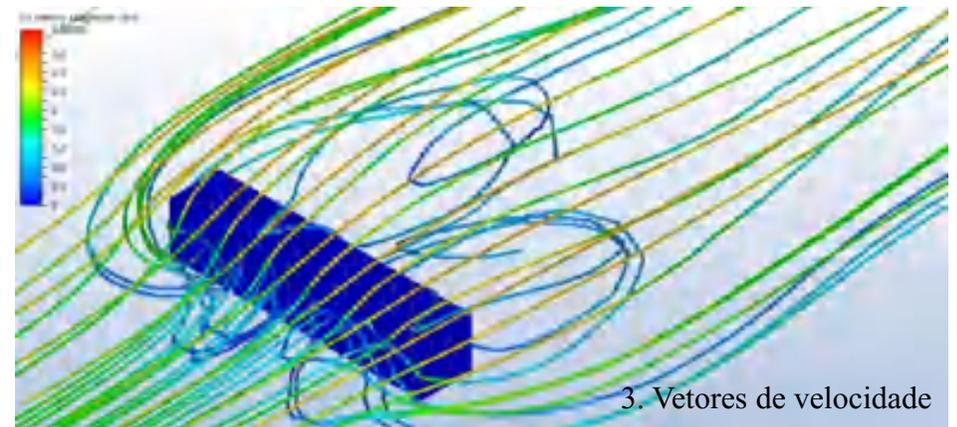
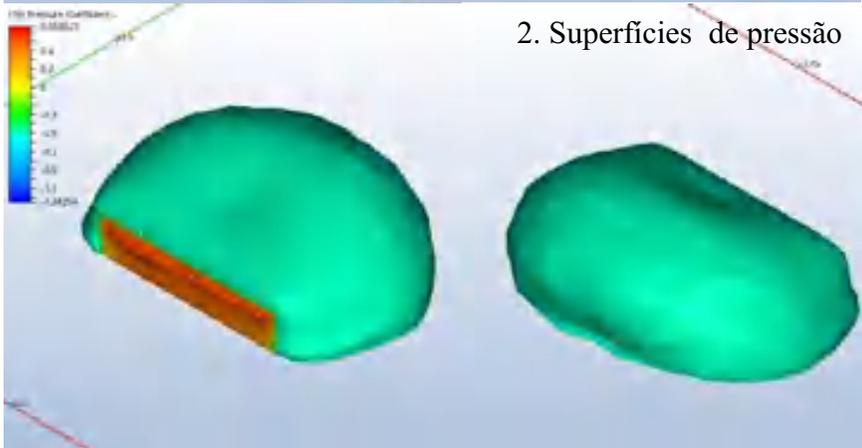
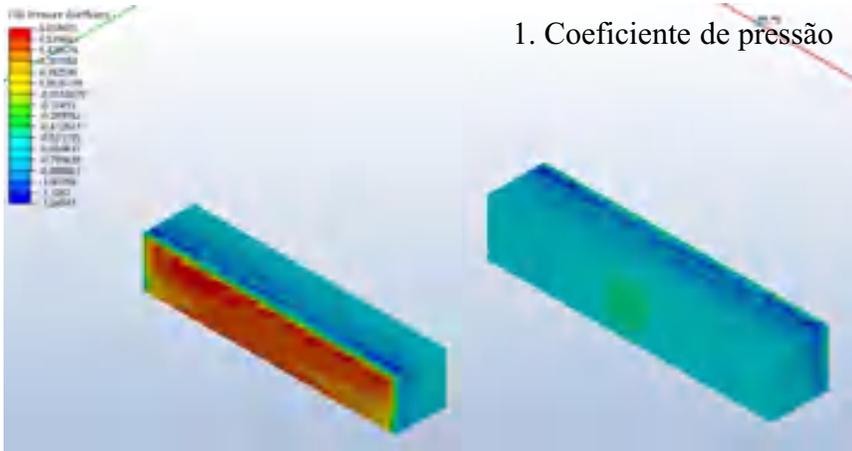


5. Velocidade em corte

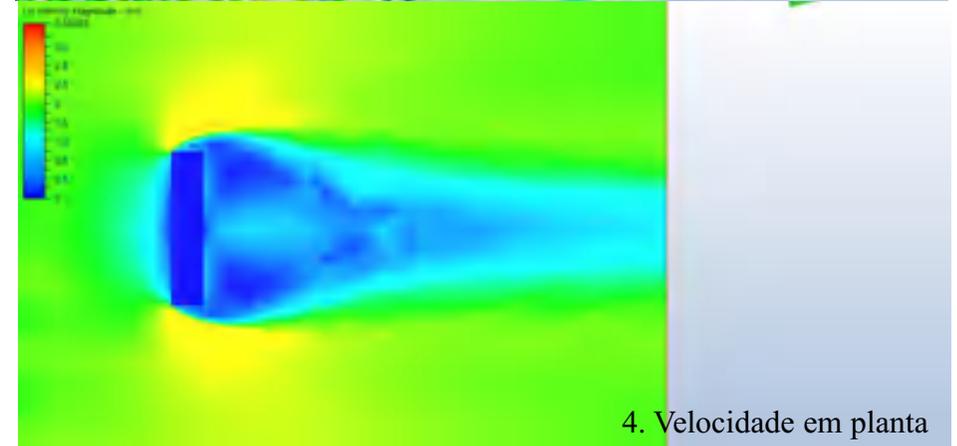


M5:F:L

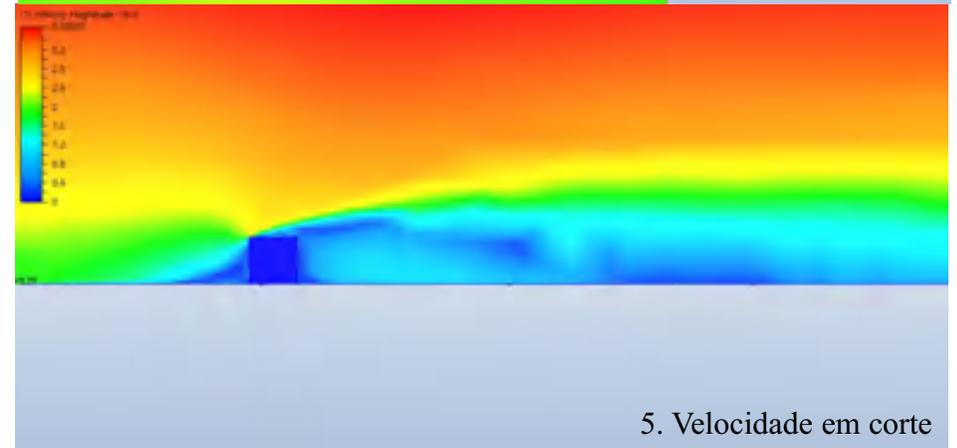
Coefficiente de pressão: 0.65 / -1.24
Fachadas laterais: negativas
Fachadas frontais: positiva / negativa
Classificação: Faces a 90° negativas



3. Vetores de velocidade



4. Velocidade em planta



5. Velocidade em corte



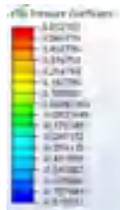
M6:F:P

Coefficiente de pressão: 0.65 / -0.81

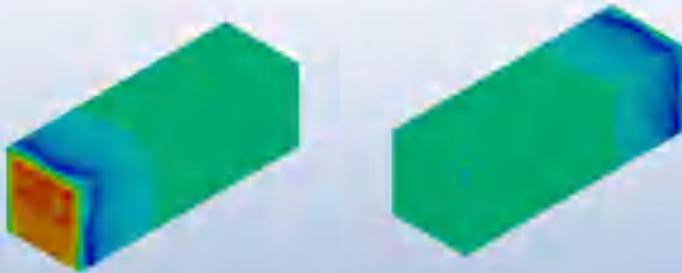
Fachadas laterais: neutras

Fachadas frontais: positiva / negativa

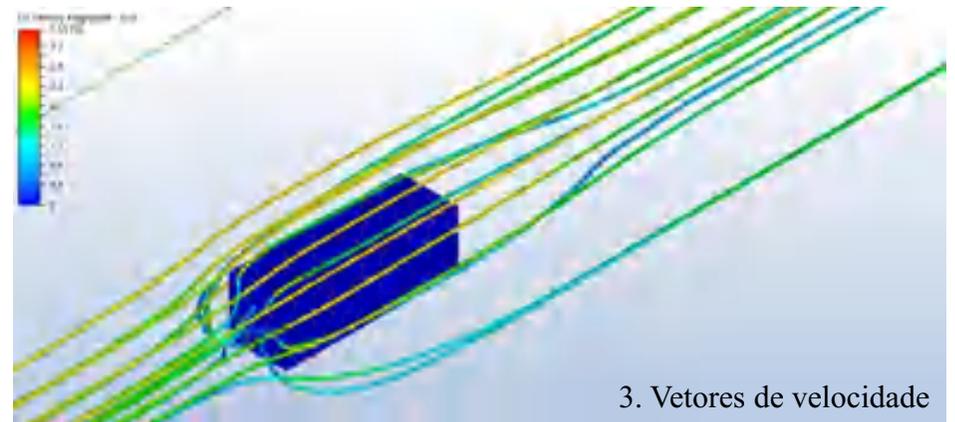
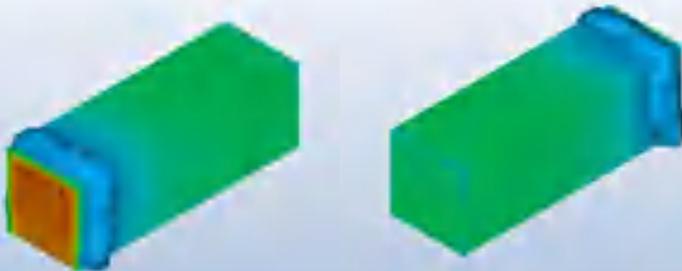
Classificação: Faces opostas horizontal / três faces negativas



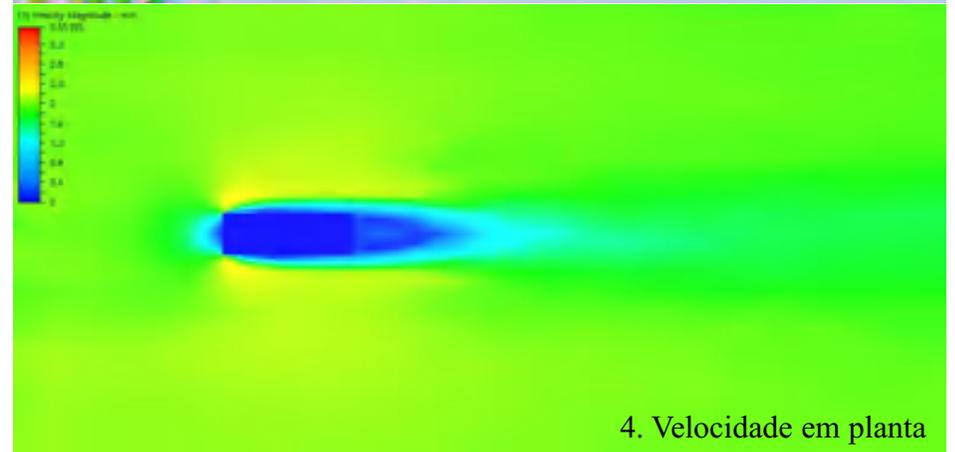
1. Coeficiente de pressão



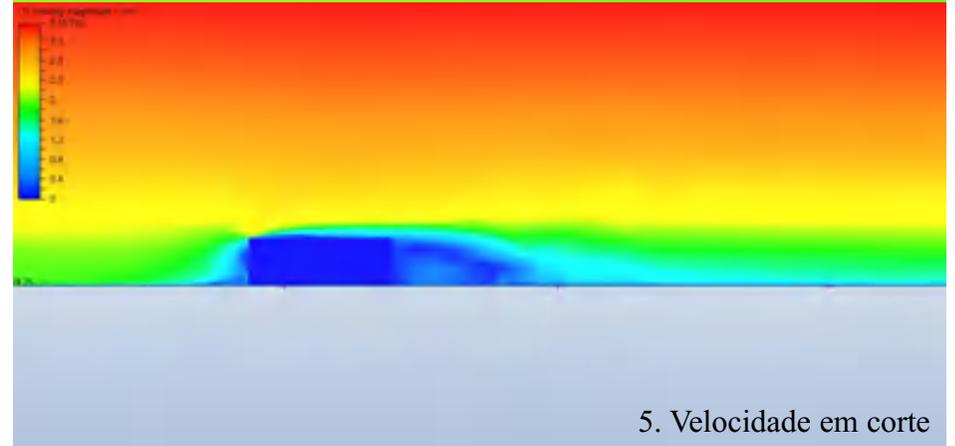
2. Superfícies de pressão



3. Vetores de velocidade



4. Velocidade em planta



5. Velocidade em corte



M7:F:P

Coefficiente de pressão: 0.59 / -0.76

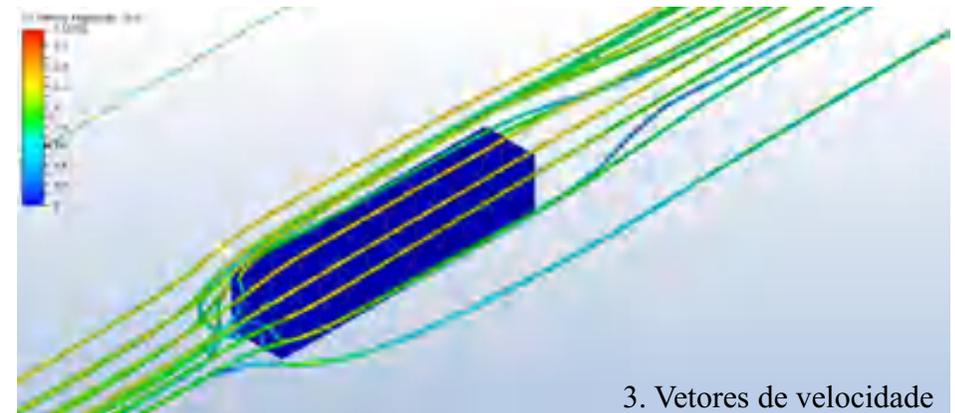
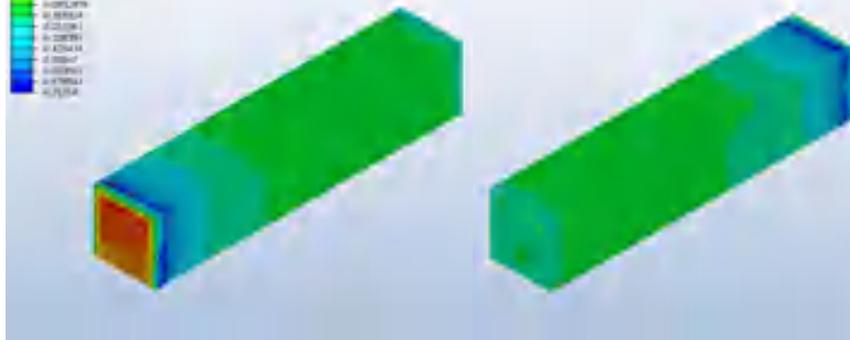
Fachadas laterais: neutras

Fachadas frontais: positiva / negativa

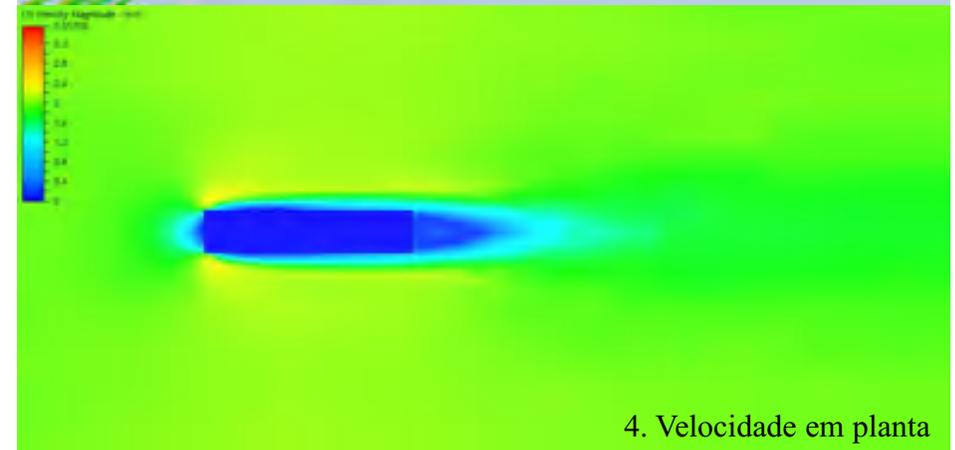
Classificação: Faces opostas horizontal / três faces negativas



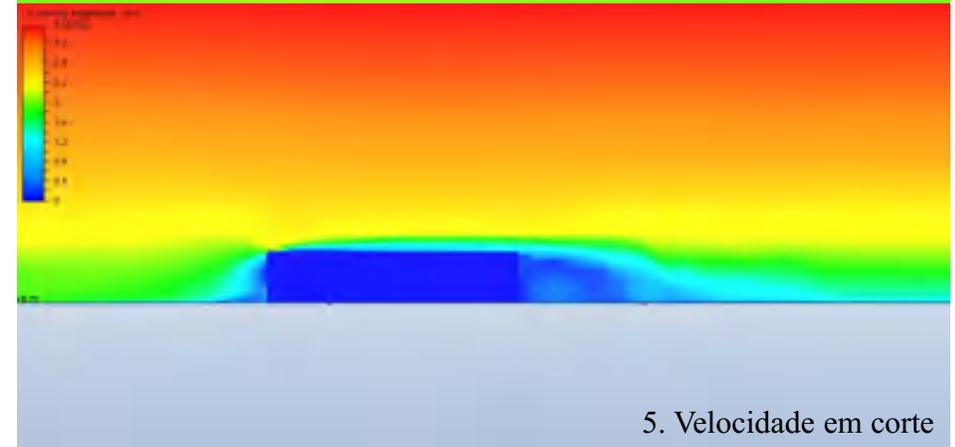
1. Coeficiente de pressão



3. Vetores de velocidade



4. Velocidade em planta



5. Velocidade em corte



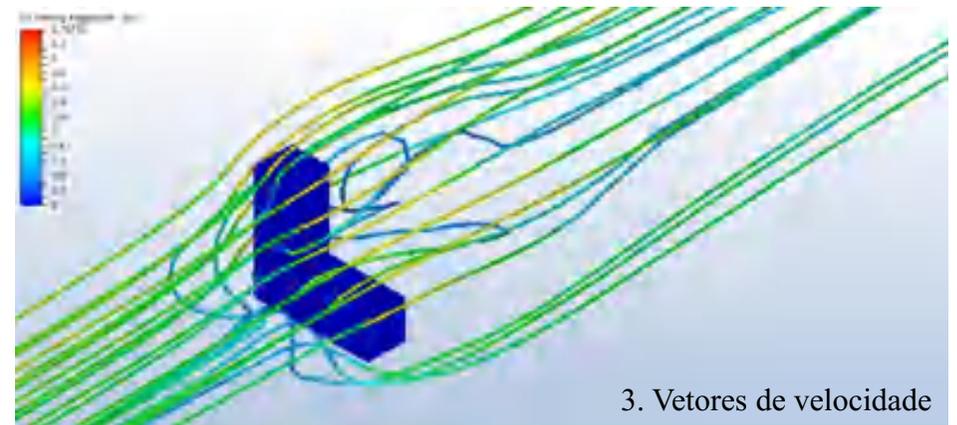
M8:V:L

Coefficiente de pressão: 0.65 / -0.86

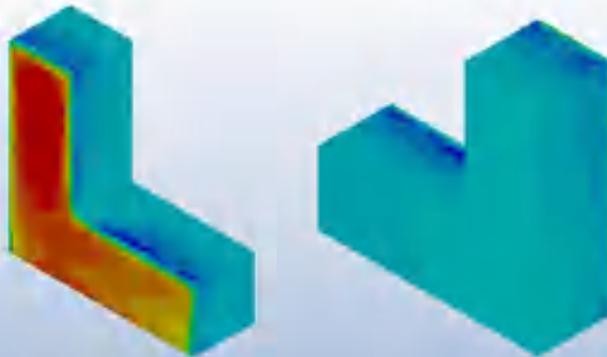
Fachadas laterais: negativas

Fachadas frontais: positiva / negativa

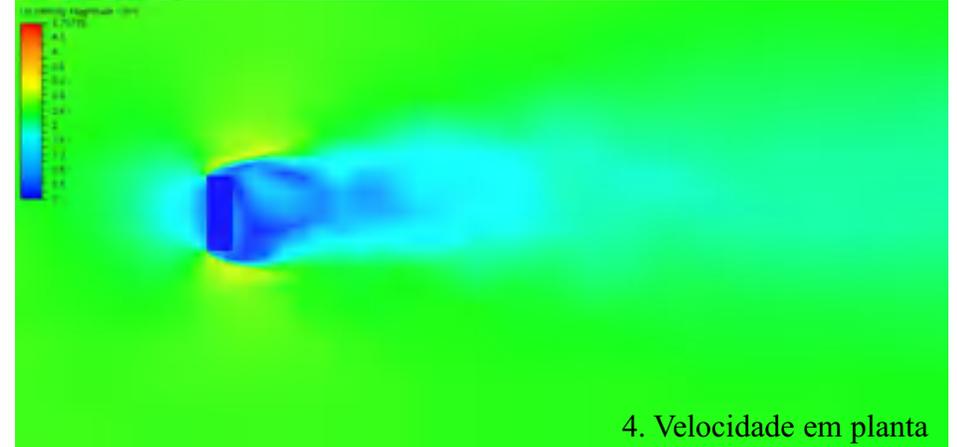
Classificação: Faces a 90° negativas / três faces negativas



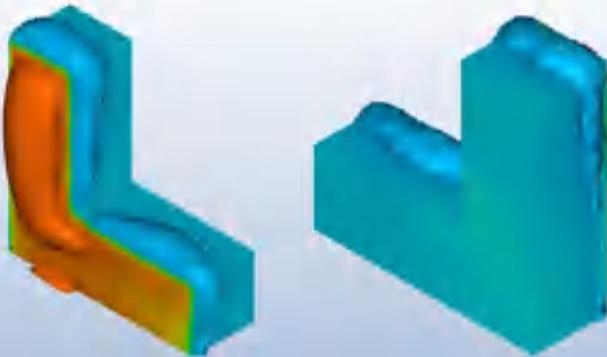
3. Vetores de velocidade



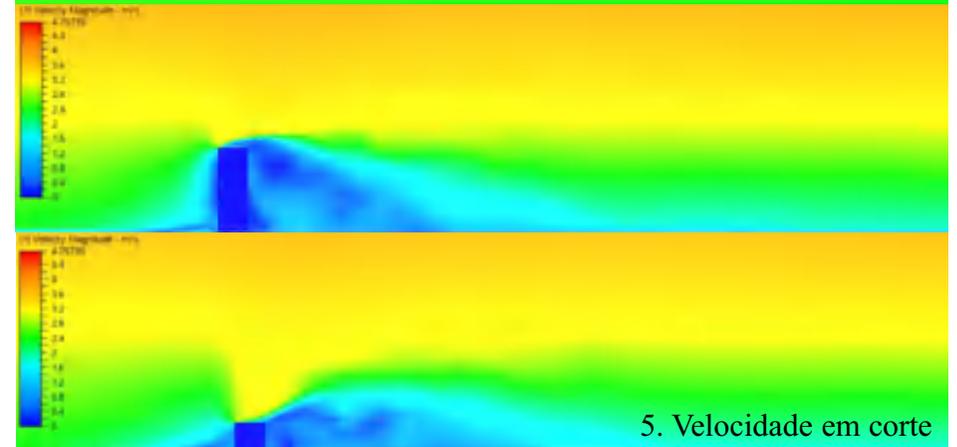
1. Coeficiente de pressão



4. Velocidade em planta



2. Superfícies de pressão



5. Velocidade em corte



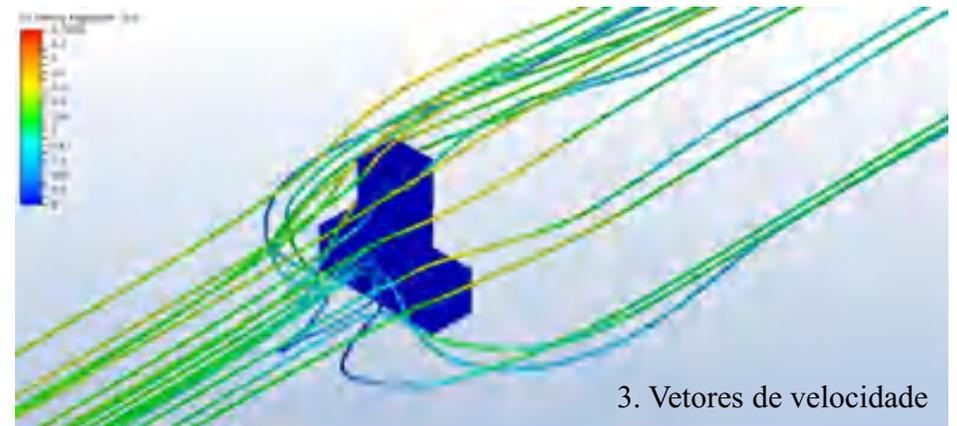
M9:V:L

Coefficiente de pressão: 0.66 / -0.79

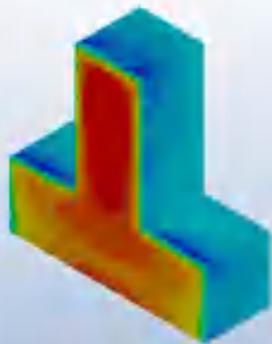
Fachadas laterais: negativas

Fachadas frontais: positiva / negativa

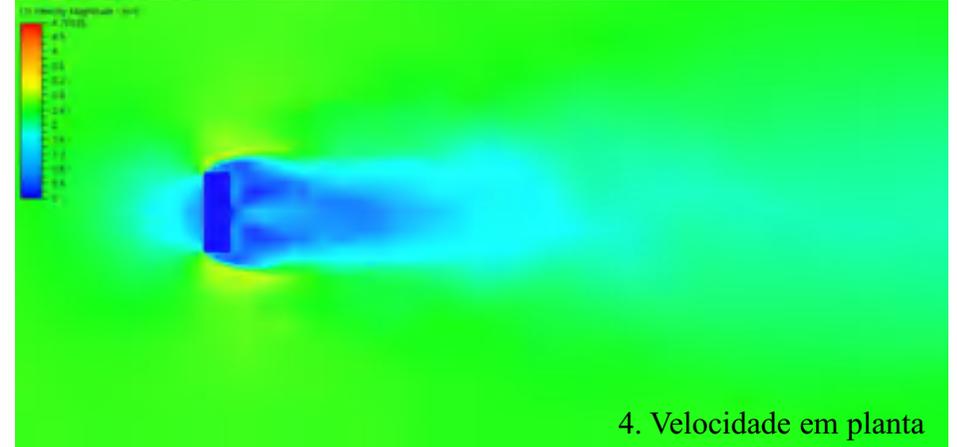
Classificação: faces a 90° negativas / três faces negativas



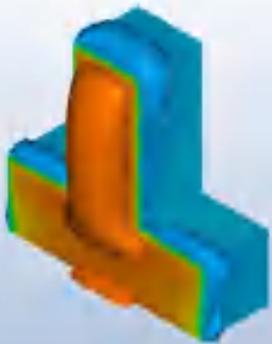
3. Vetores de velocidade



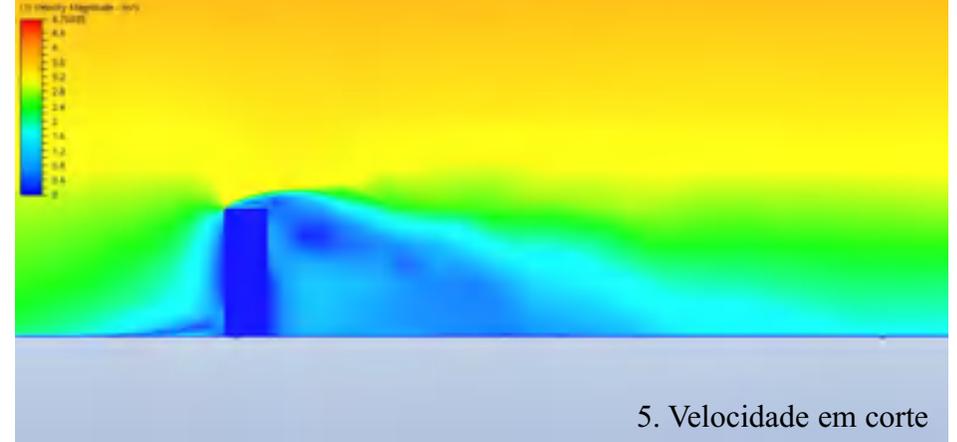
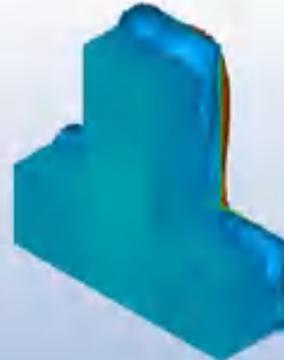
1. Coeficiente de pressão



4. Velocidade em planta



2. Superfícies de pressão



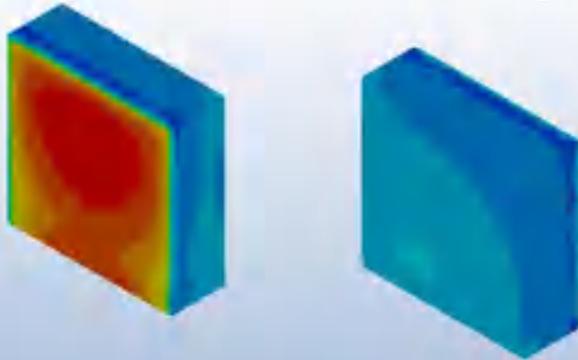
5. Velocidade em corte



M10:V:L

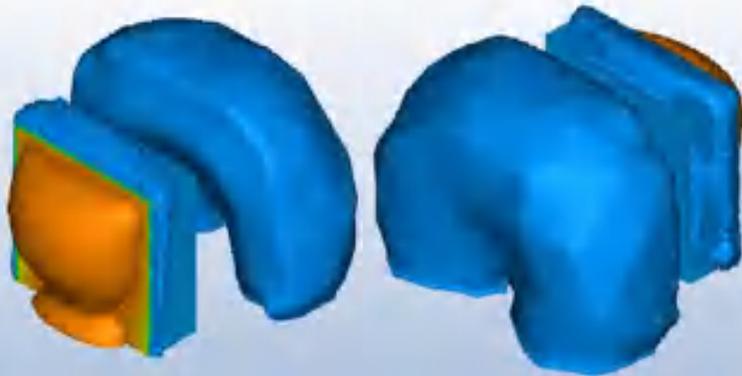
Coefficiente de pressão: 0.69 / -0.73
Fachadas laterais: negativas
Fachadas frontais: positiva / negativa
Classificação: Faces a 90° negativas

1) Pressure Coefficient

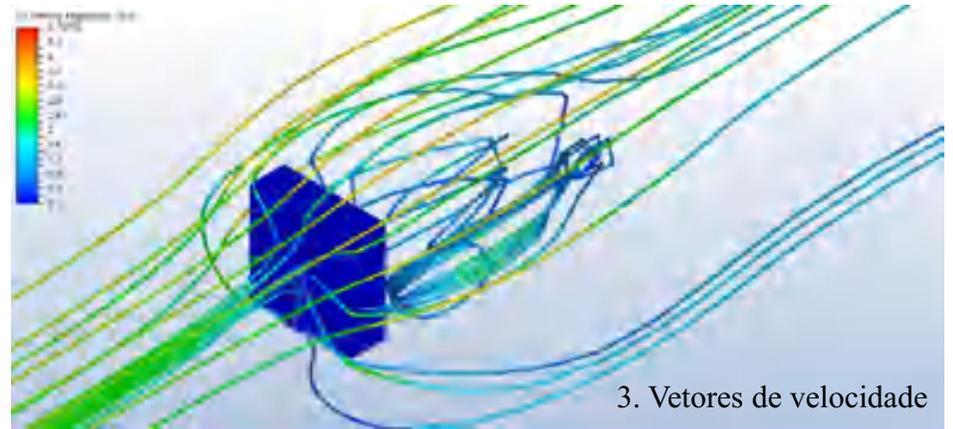


1. Coeficiente de pressão

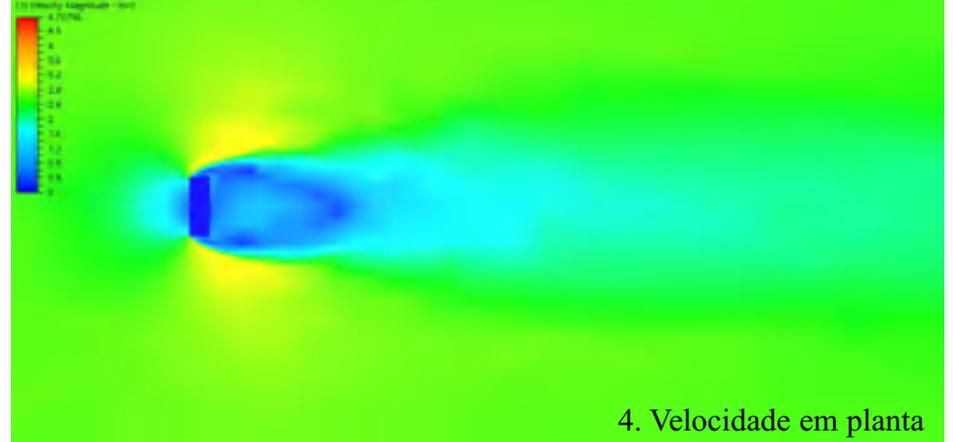
2) Pressure Coefficient



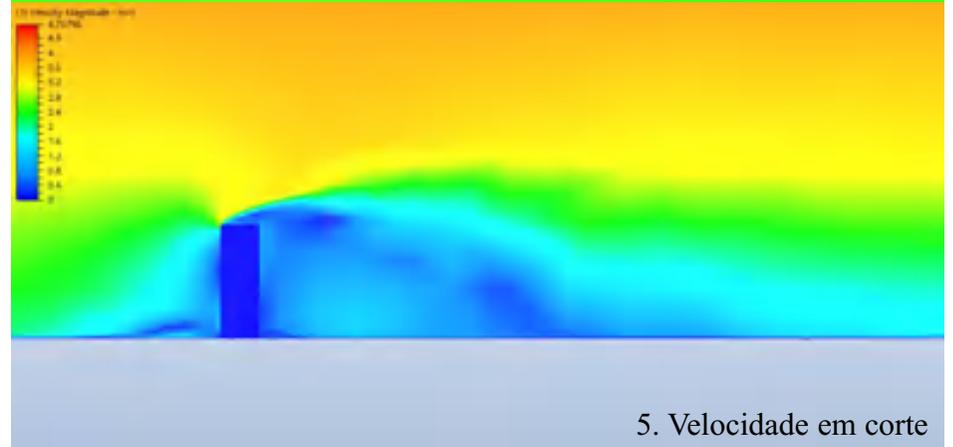
2. Superfícies de pressão



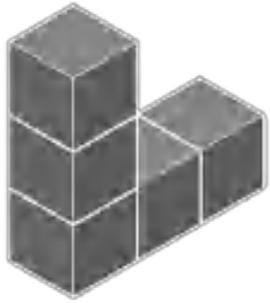
3. Vetores de velocidade



4. Velocidade em planta



5. Velocidade em corte



M11:V:P

Coefficiente de pressão: 0.63 / -0.74

Fachadas laterais: negativas

Fachadas frontais: positiva / negativa

Classificação: Faces opostas vertical / três faces negativas

CFD Pressure Coefficient

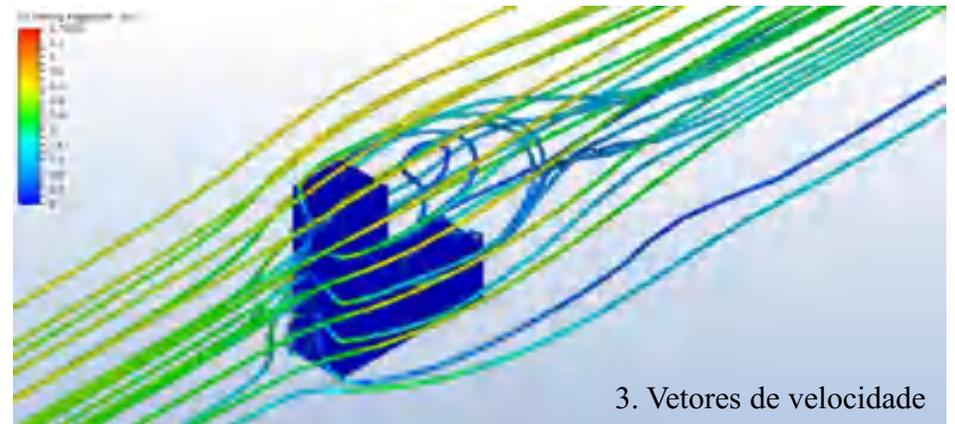


1. Coeficiente de pressão

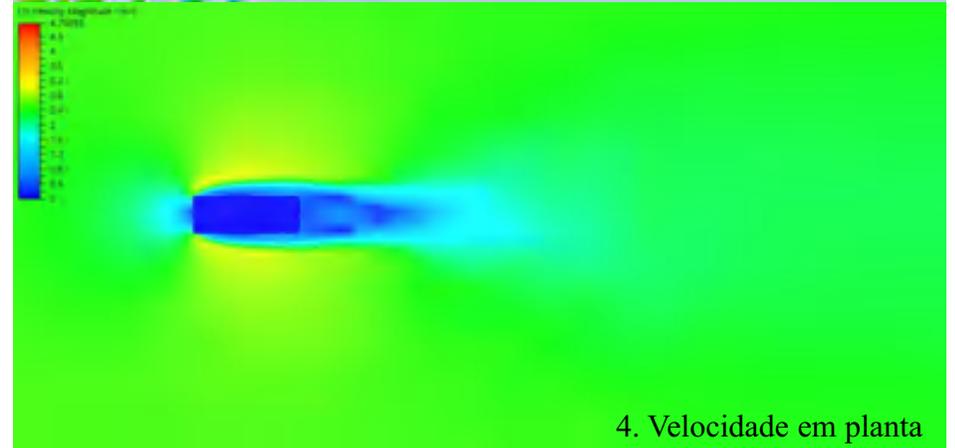
CFD Pressure Coefficient



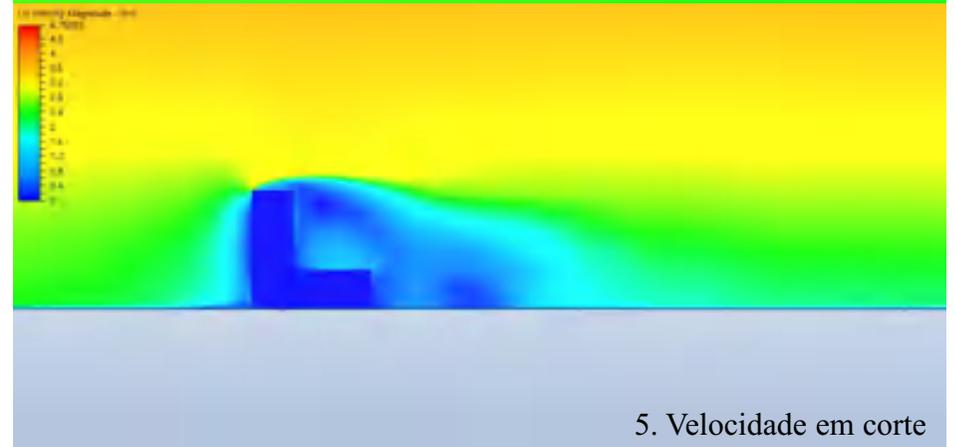
2. Superfícies de pressão



3. Vetores de velocidade



4. Velocidade em planta



5. Velocidade em corte



M12:V:P

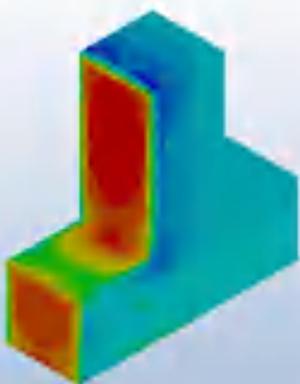
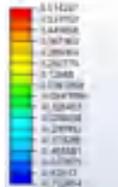
Coefficiente de pressão: : 0.61 / -0.70

Fachadas laterais: negativas

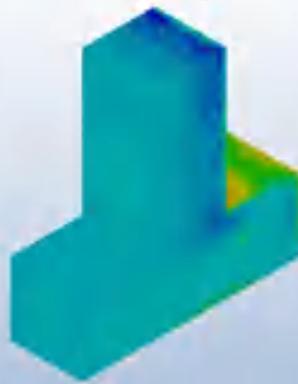
Fachadas frontais: positiva / negativa

Classificação: Faces opostas vertical / três faces negativas

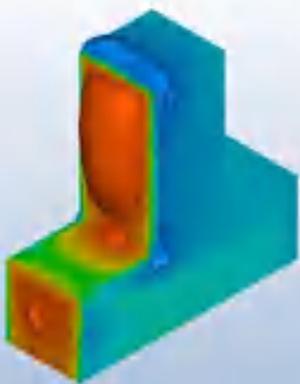
1. Coeficiente de pressão



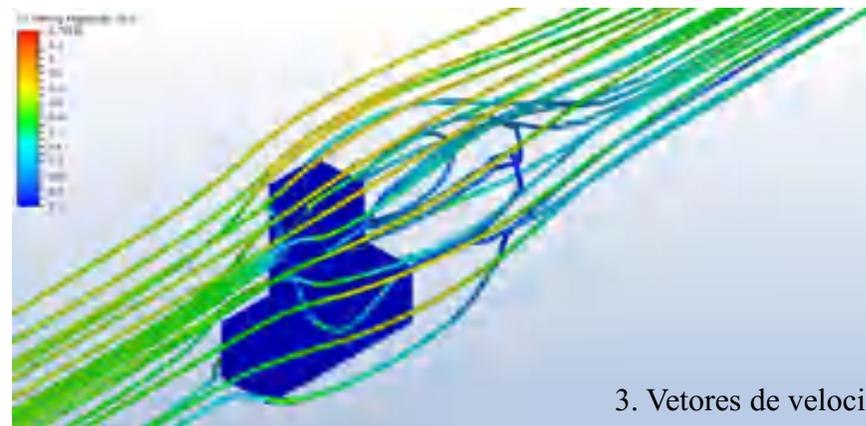
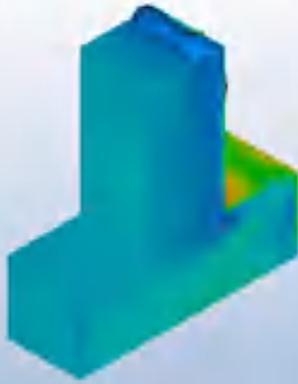
1. Coeficiente de pressão



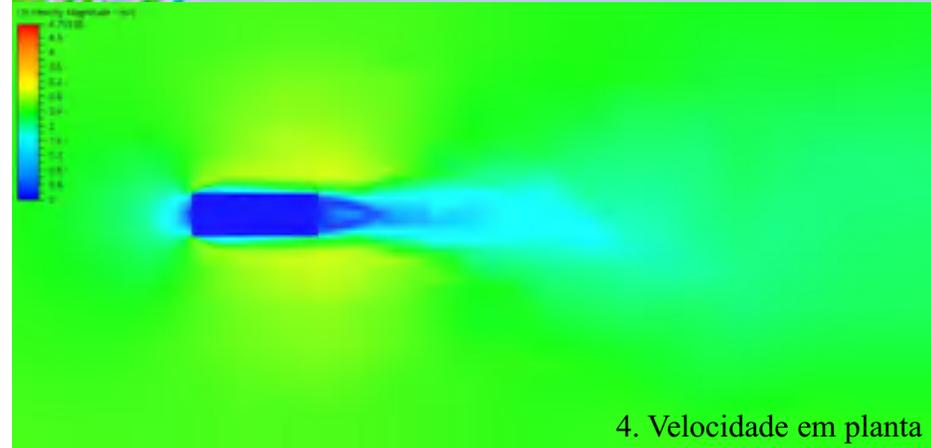
2. Superfícies de pressão



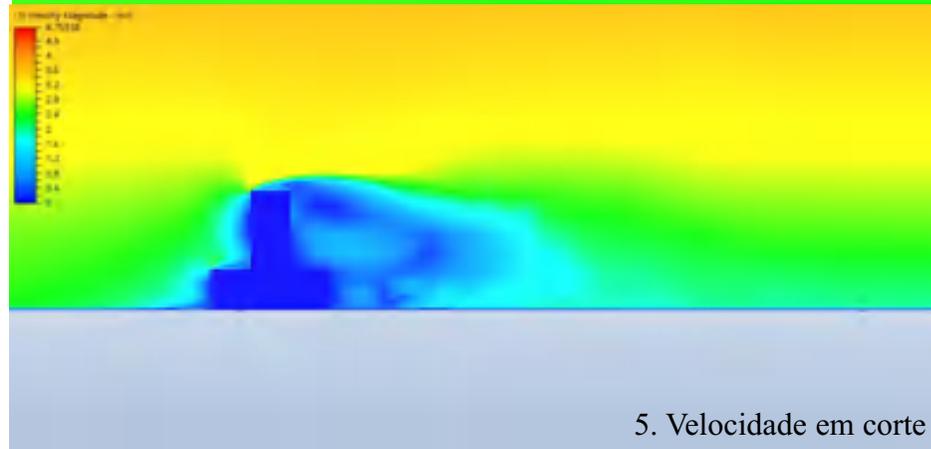
2. Superfícies de pressão



3. Vetores de velocidade



4. Velocidade em planta



5. Velocidade em corte



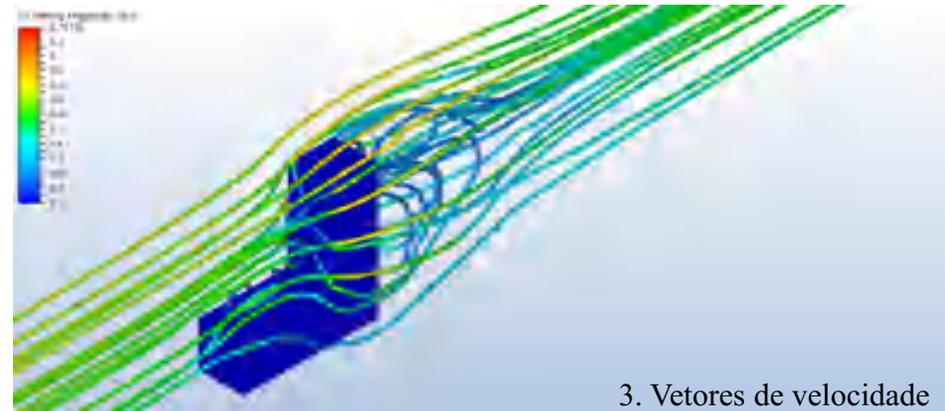
M13:V:P

Coefficiente de pressão: 0.60 / -0.71

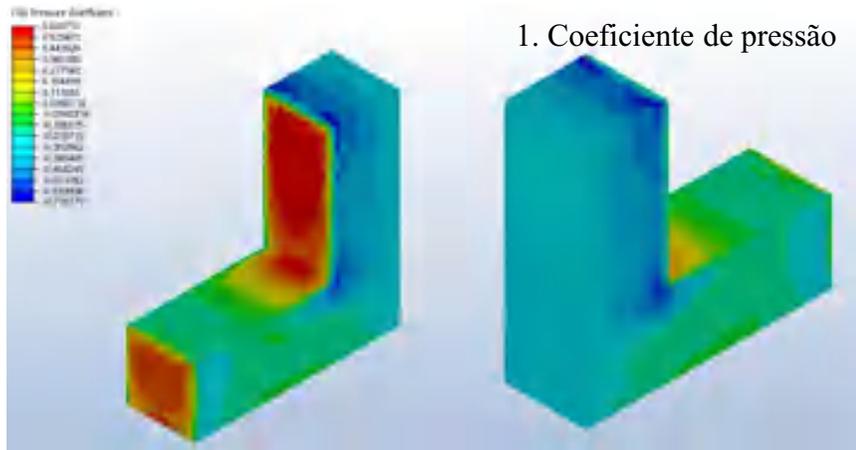
Fachadas laterais: neutras/negativas

Fachadas frontais: positiva / negativa

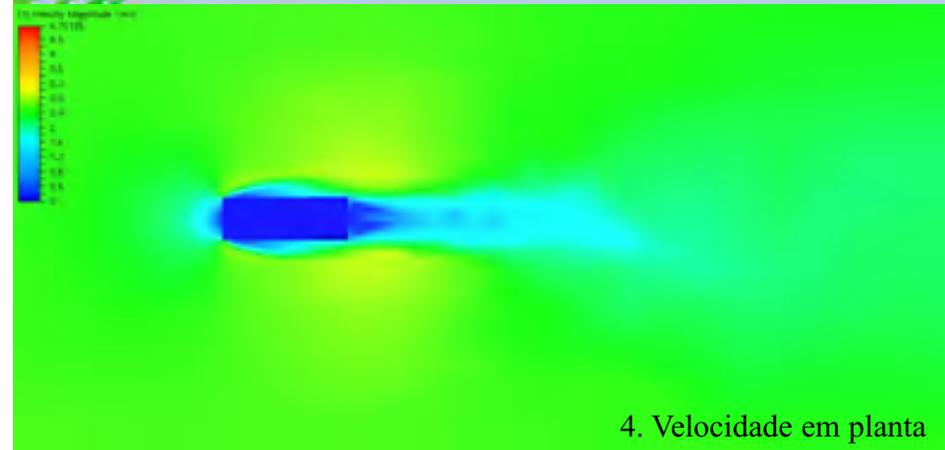
Classificação: Faces opostas vertical / três faces negativas



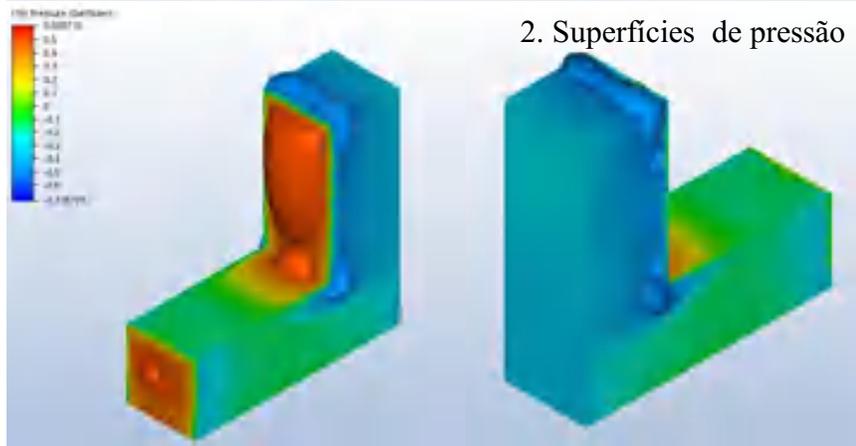
3. Vetores de velocidade



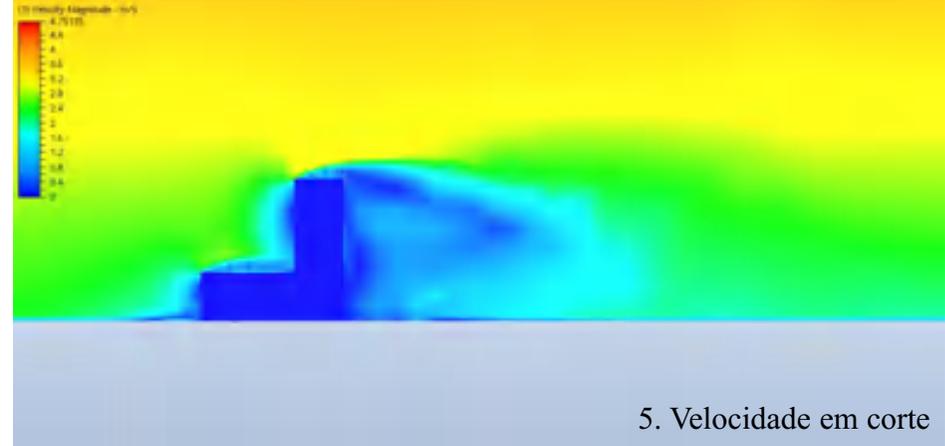
1. Coeficiente de pressão



4. Velocidade em planta



2. Superfícies de pressão



5. Velocidade em corte



M14:V:P

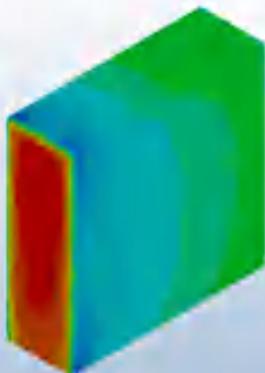
Coefficiente de pressão: 0.63 / -0.89

Fachadas laterais: neutras/negativas

Fachadas frontais: positiva / neutra

Classificação: Faces opostas vertical / três faces negativas

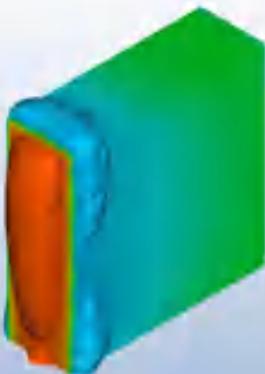
CFD Pressure Coefficients



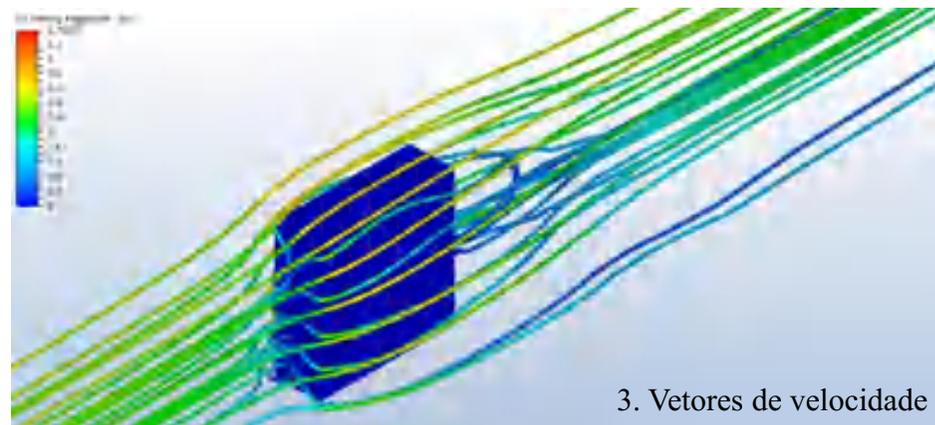
1. Coeficiente de pressão



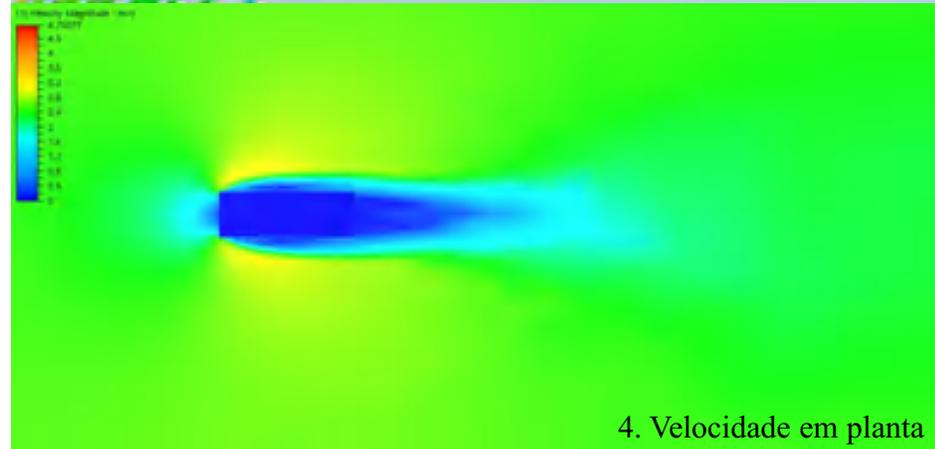
CFD Pressure Coefficients



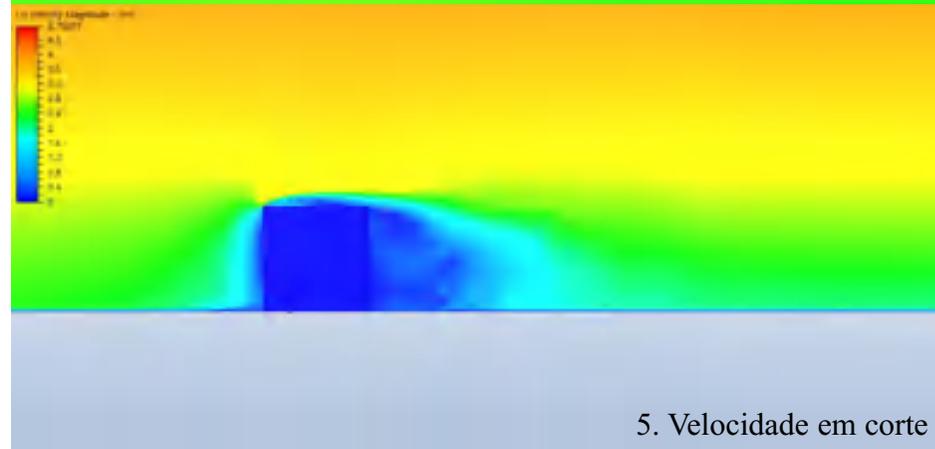
2. Superfícies de pressão



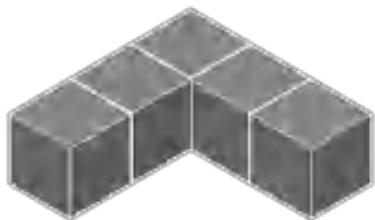
3. Vetores de velocidade



4. Velocidade em planta



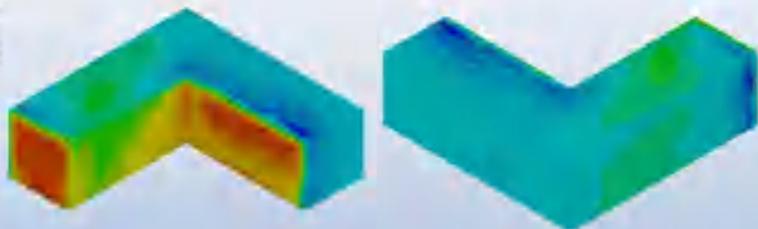
5. Velocidade em corte



M15:H:L

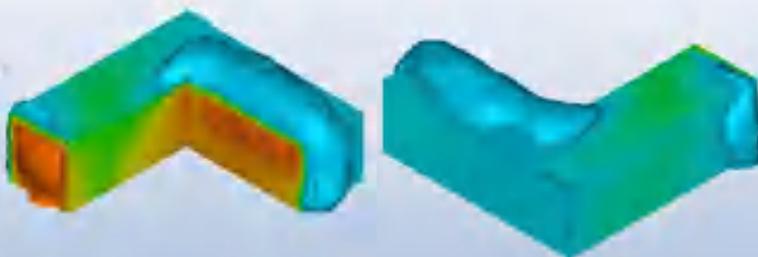
Coefficiente de pressão: 0.68 / -0.97
Fachadas laterais: positiva / negativa
Fachadas frontais: positiva / negativa
Classificação: Faces a 90° negativas

(1) Pressão (dinâmica)

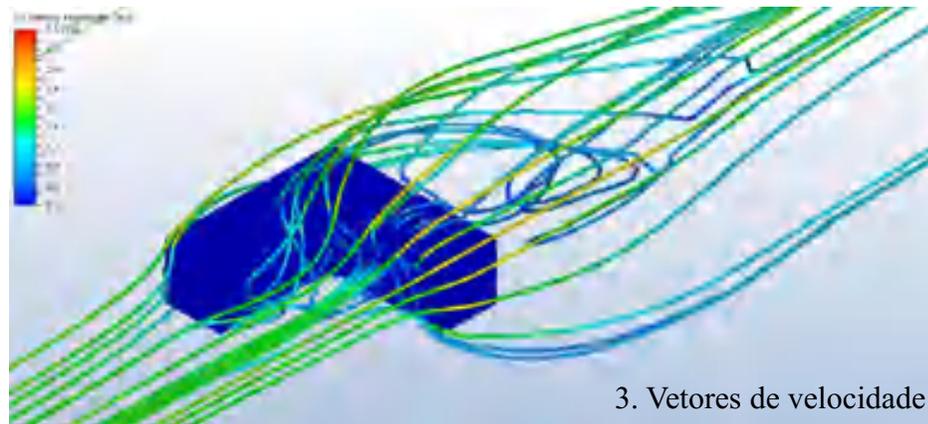


1. Coeficiente de pressão

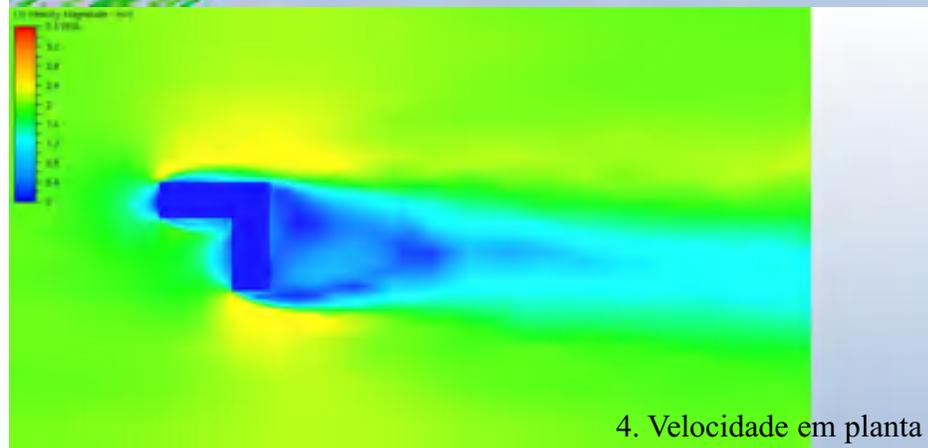
(2) Pressão (estática)



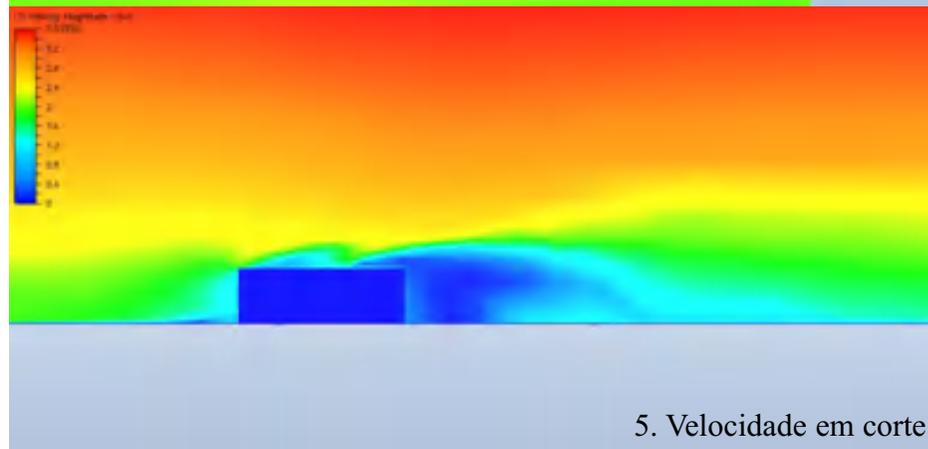
2. Superfícies de pressão



3. Vetores de velocidade



4. Velocidade em planta



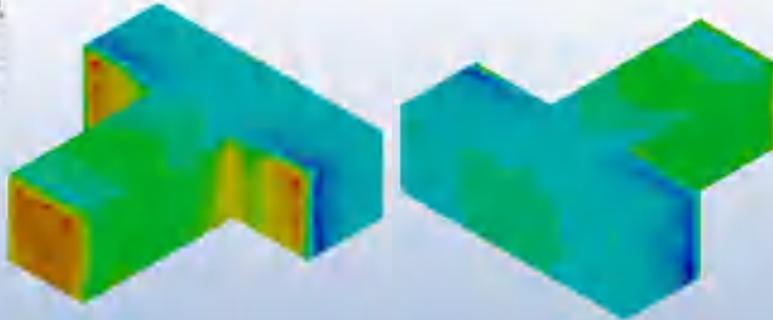
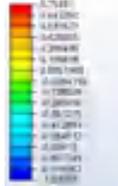
5. Velocidade em corte



M16:H:L

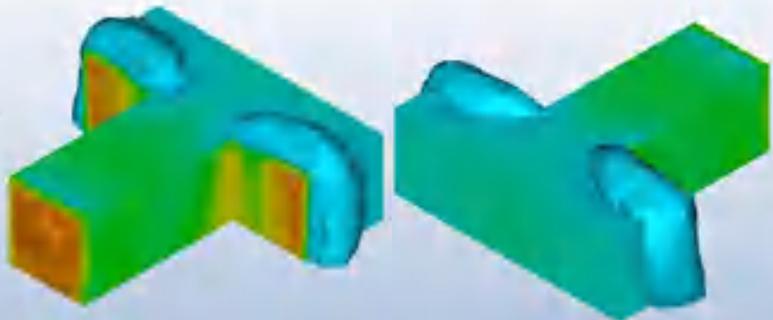
Coefficiente de pressão: 0.75 / -1.03
Fachadas laterais: neutras / negativas
Fachadas frontais: positiva / negativa
Classificação: Face única

CFD Pressure Coefficient

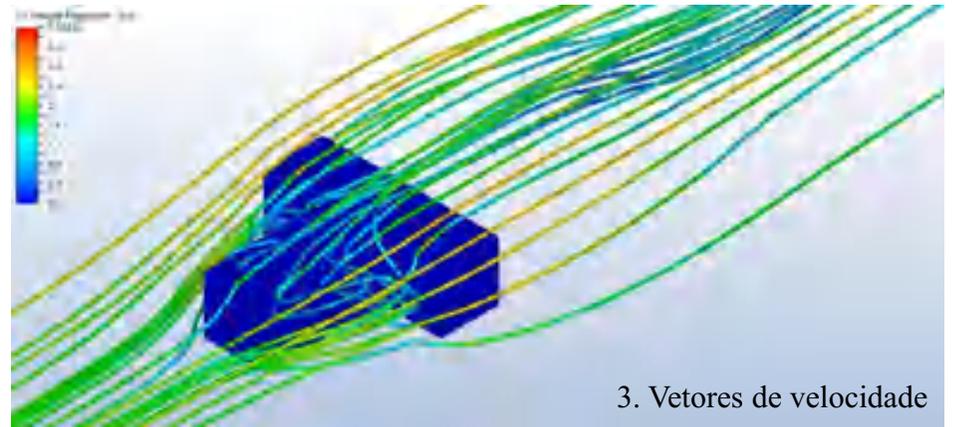


1. Coeficiente de pressão

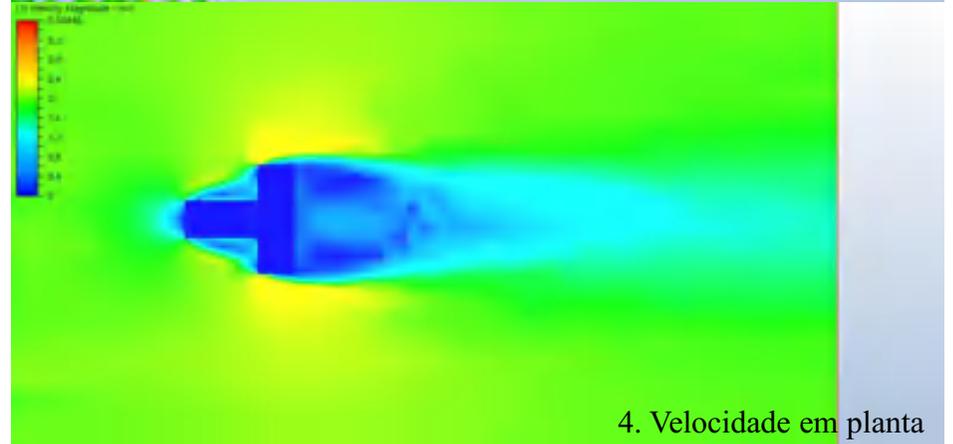
CFD Velocity Magnitude



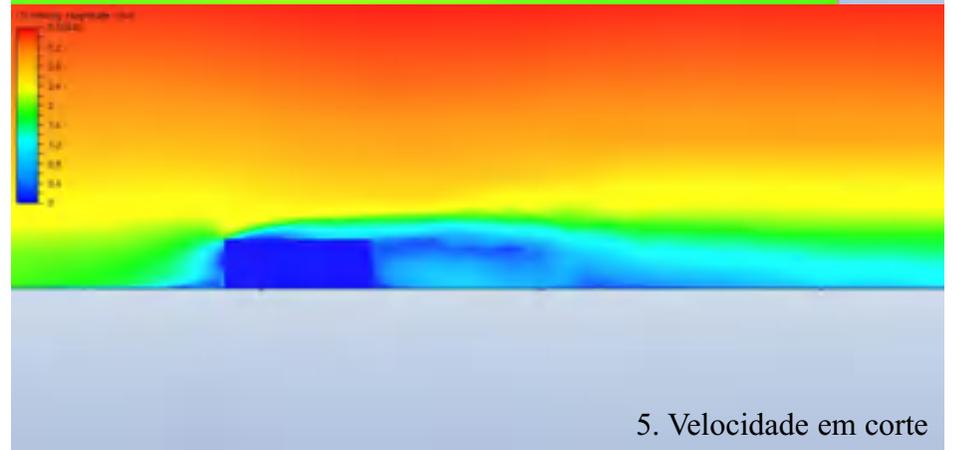
2. Superfícies de pressão



3. Vetores de velocidade



4. Velocidade em planta



5. Velocidade em corte



M17:H:L

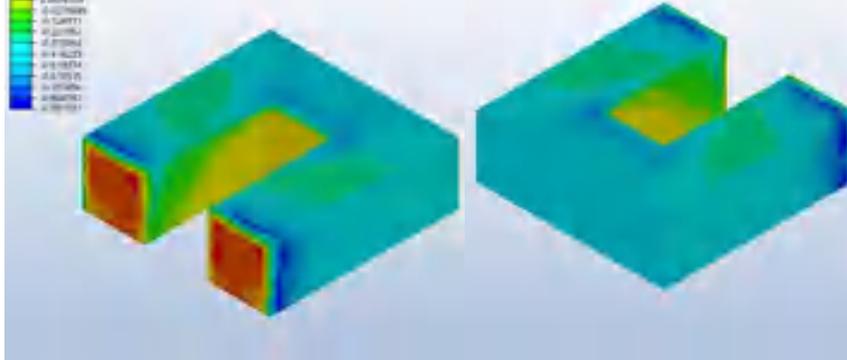
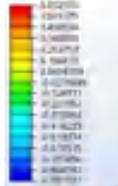
Pressão: 0.65 / -0.90

Fachadas laterais: neutras / negativas

Fachadas frontais: positiva / negativa

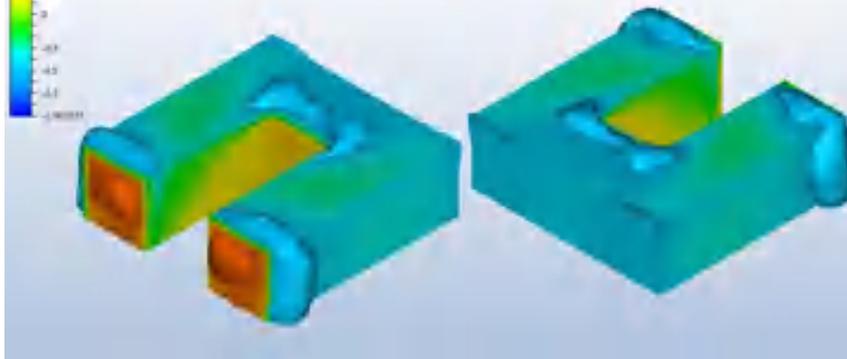
Classificação: Faces a 90° negativas

CFD Pressure Coefficient

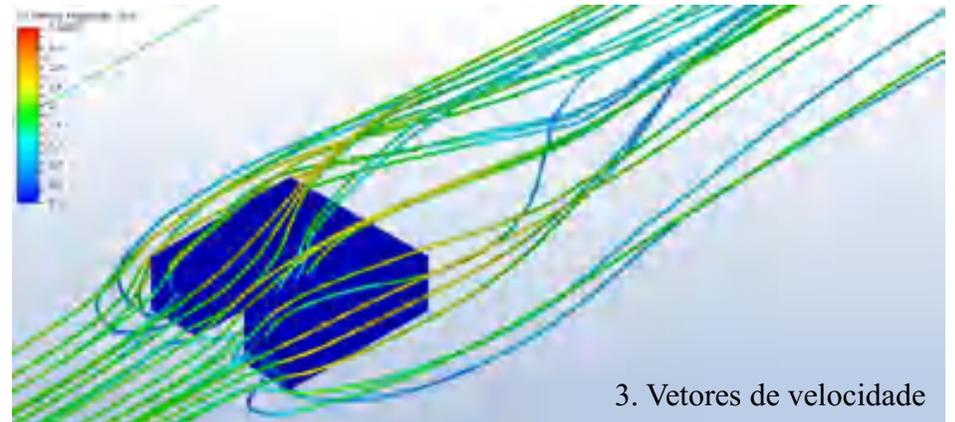


1. Coeficiente de pressão

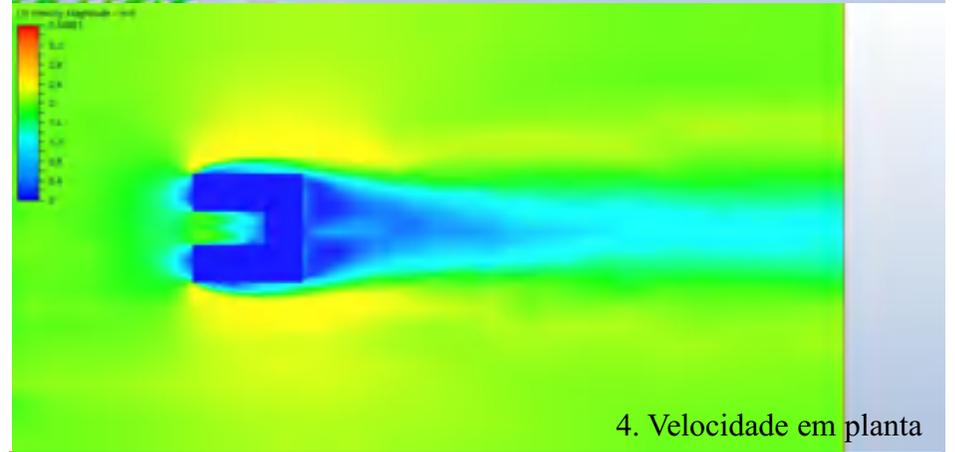
CFD Pressure Coefficient



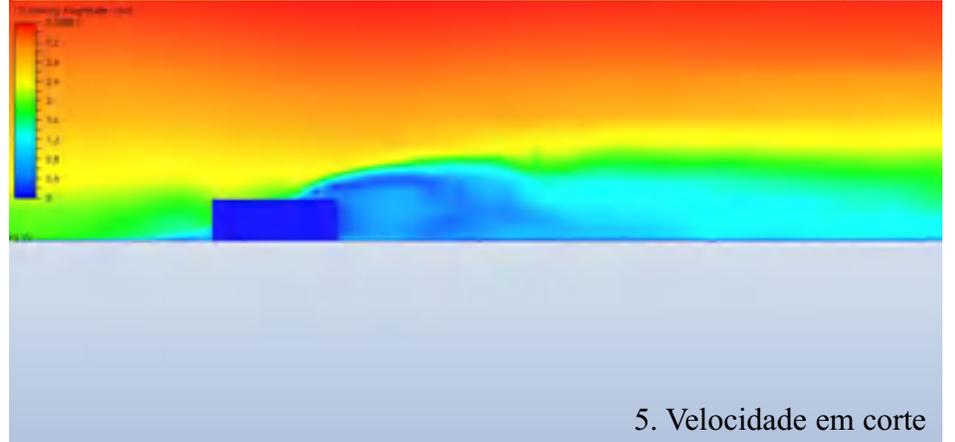
2. Superfícies de pressão



3. Vetores de velocidade



4. Velocidade em planta

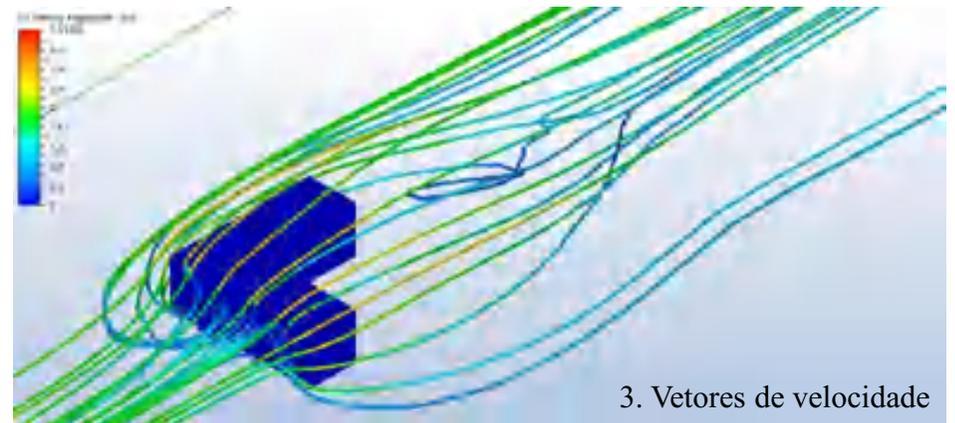


5. Velocidade em corte



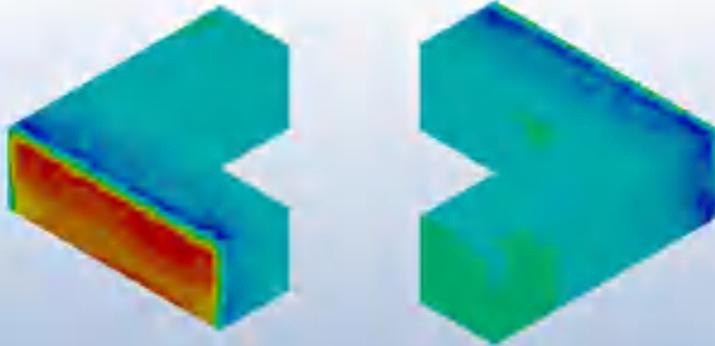
M18:H:P

Coefficiente de pressão: 0.58 / -1.00
Fachadas laterais: negativas
Fachadas frontais: positiva / negativa
Classificação: Três faces negativas

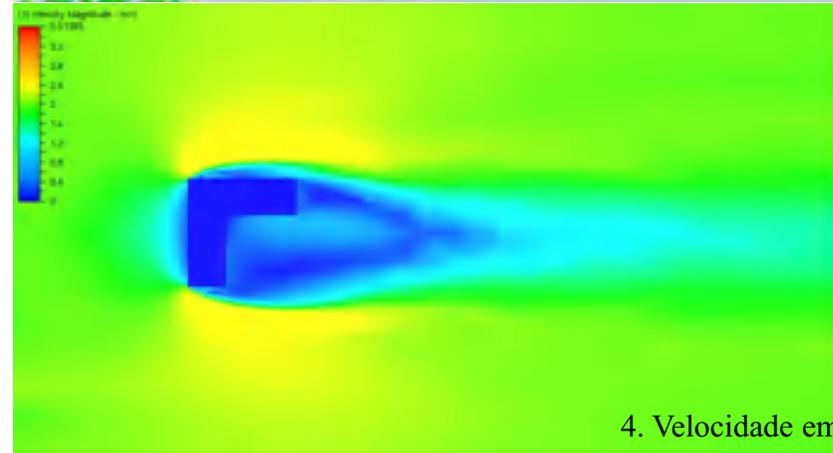


3. Vetores de velocidade

CFD Pressure Coefficient

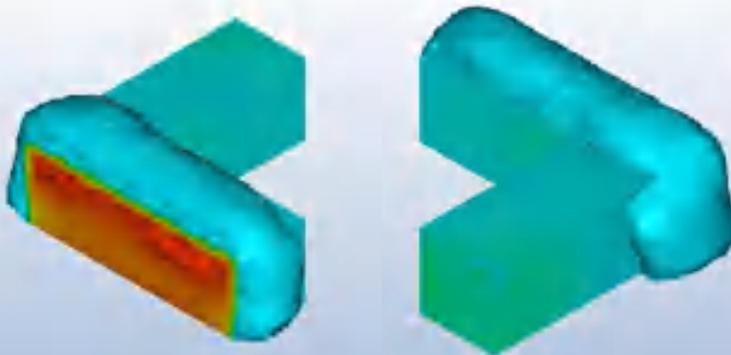


1. Coeficiente de pressão

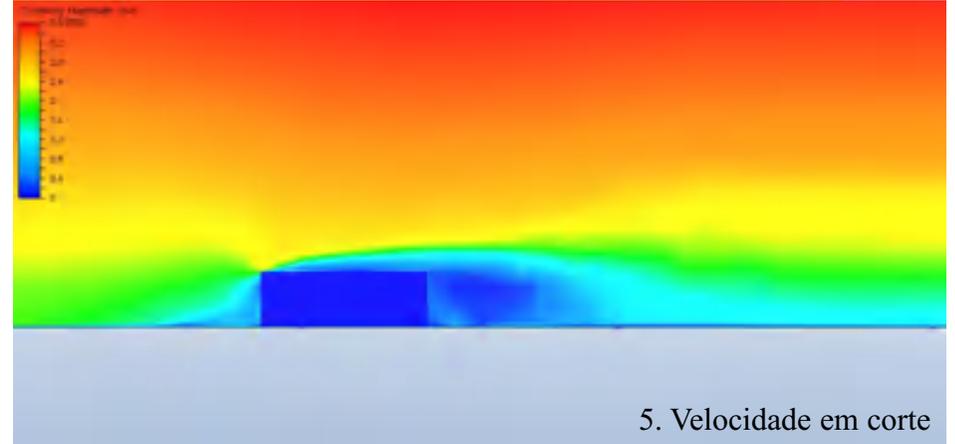


4. Velocidade em planta

CFD Pressure Coefficient



2. Superfícies de pressão



5. Velocidade em corte



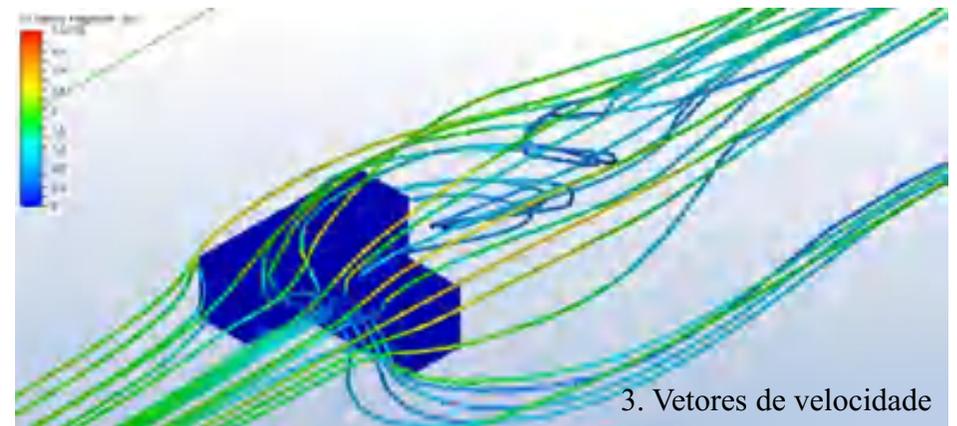
M19:H:P

Coefficiente de pressão: 0.61 / -0.99

Fachadas laterais: positiva / negativas

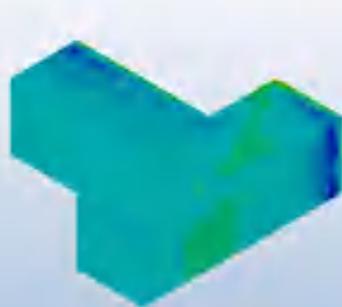
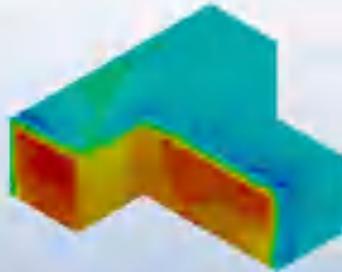
Fachadas frontais: positiva / negativa

Classificação: Três faces negativas / Face única



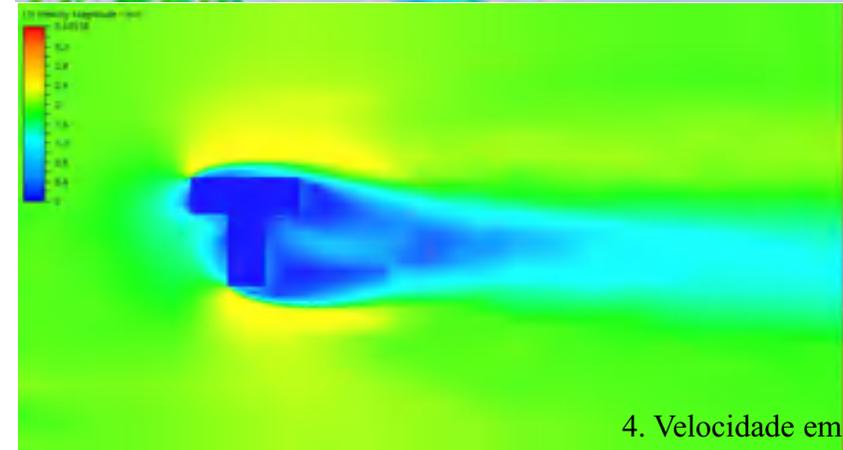
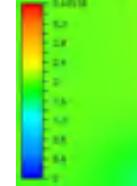
3. Vetores de velocidade

Pressure Coefficient



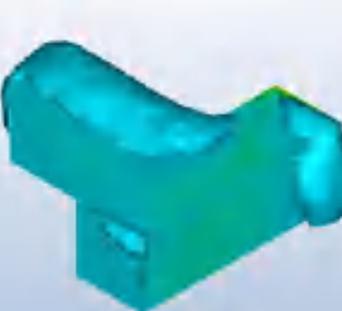
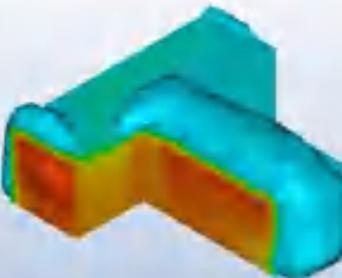
1. Coeficiente de pressão

Velocity Magnitude



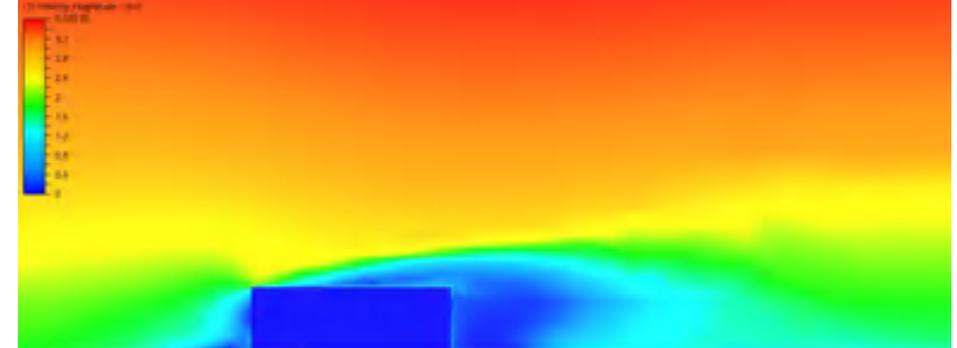
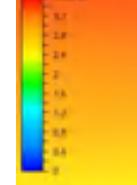
4. Velocidade em planta

Pressure Coefficient



2. Superfícies de pressão

Velocity Magnitude



5. Velocidade em corte



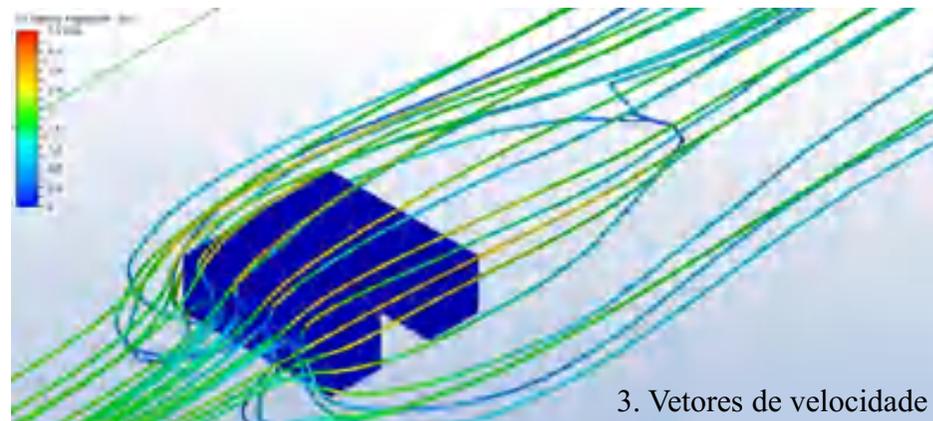
M20:H:P

Coefficiente de pressão: 0.59 / -1.04

Fachadas laterais: negativas

Fachadas frontais: positiva / negativa

Classificação: Faces a 90° negativas / face frontal com obstáculo

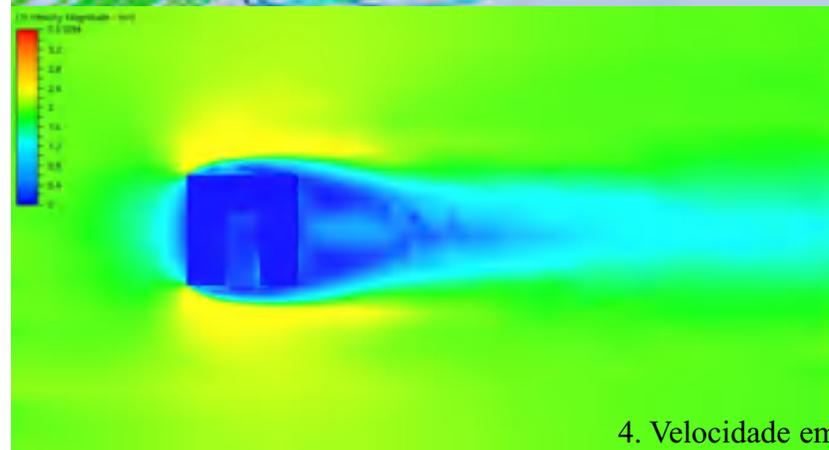


3. Vetores de velocidade

Pressure Coefficient

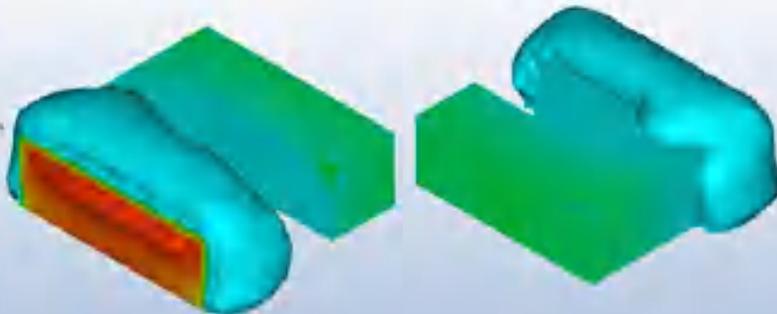


1. Coeficiente de pressão

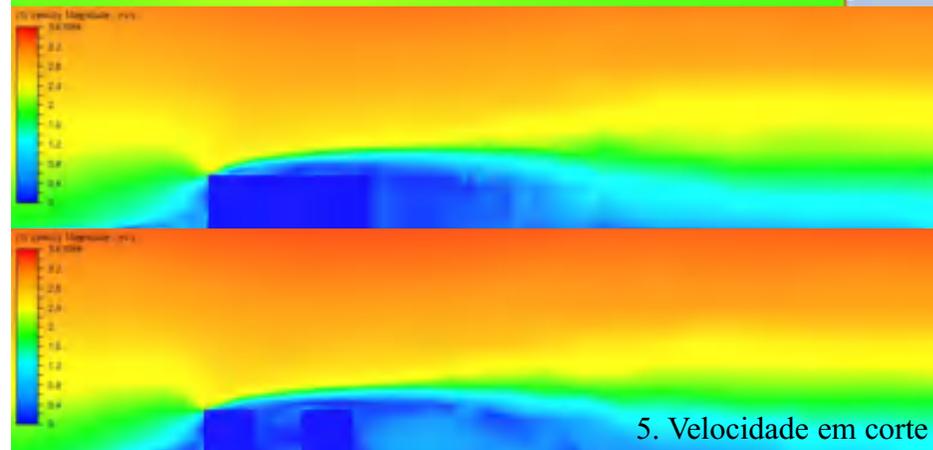


4. Velocidade em planta

Pressure Coefficient



2. Superfícies de pressão



5. Velocidade em corte



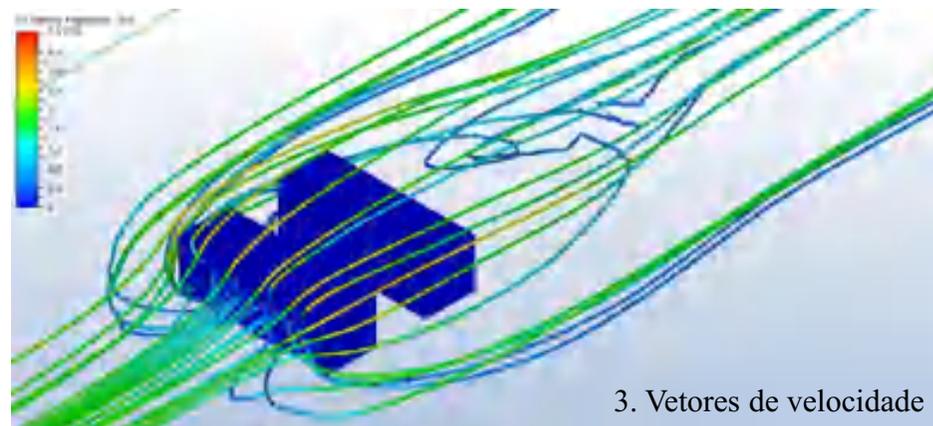
M21:H:P

Coefficiente de pressão: 0.57 / -1.17

Fachadas laterais: negativas

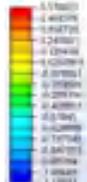
Fachadas frontais: positiva / negativa

Classificação: Face única / face frontal com obstáculo

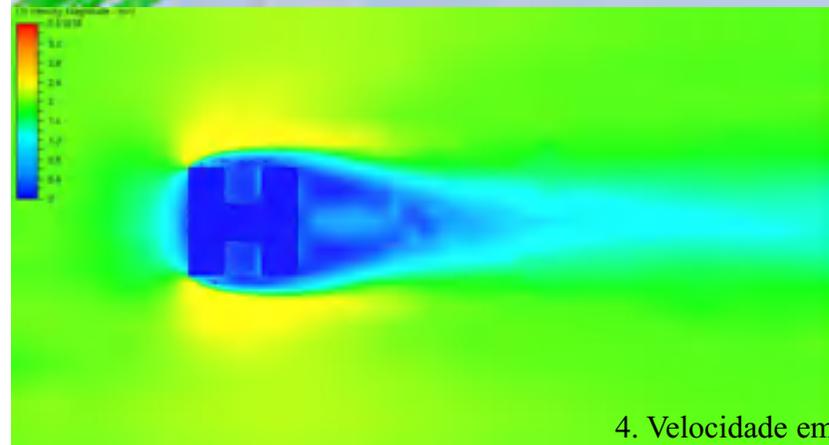


3. Vetores de velocidade

CFD Pressure Coefficient

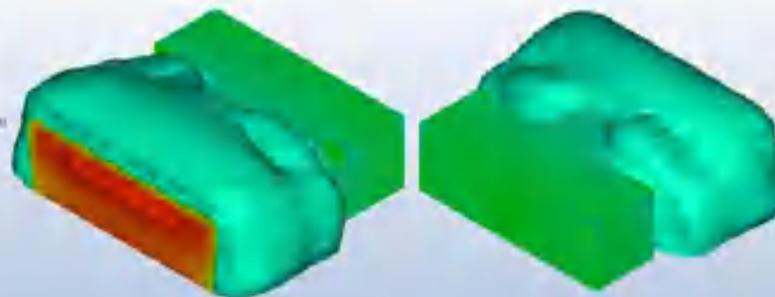


1. Coeficiente de pressão

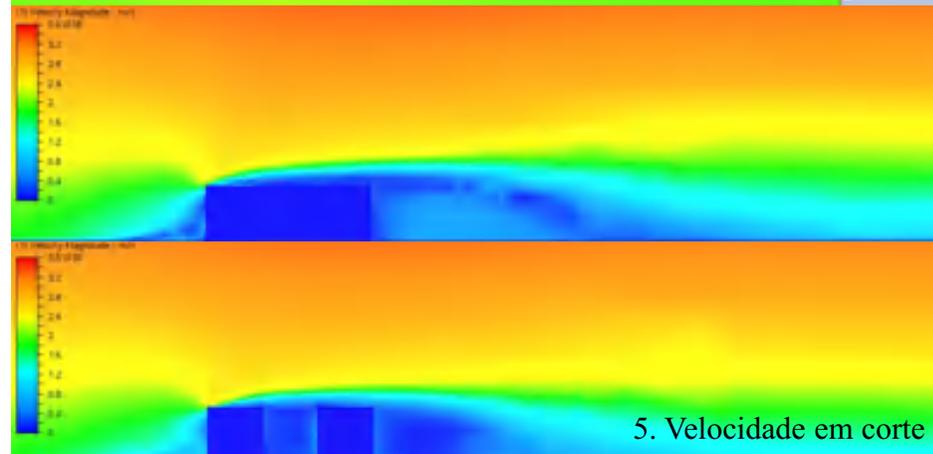


4. Velocidade em planta

CFD Pressure Coefficient



2. Superfícies de pressão



5. Velocidade em corte



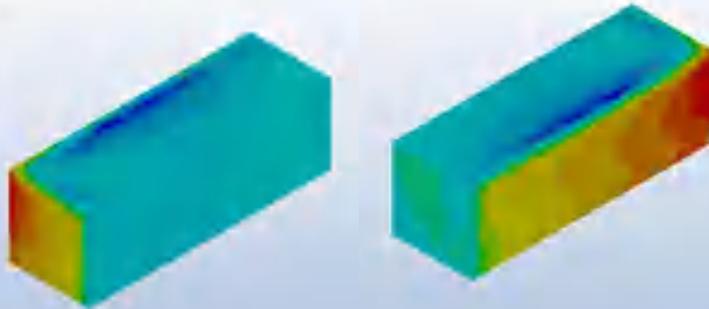
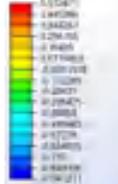
M22:I:P

Coefficiente de pressão: 0.53 / -0.94

Incidência a 45°: positiva / negativa

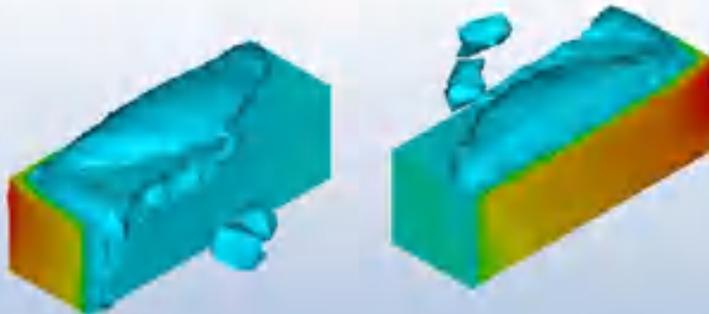
Classificação: Faces a 90° positivas /negativas

Pressure Coefficient

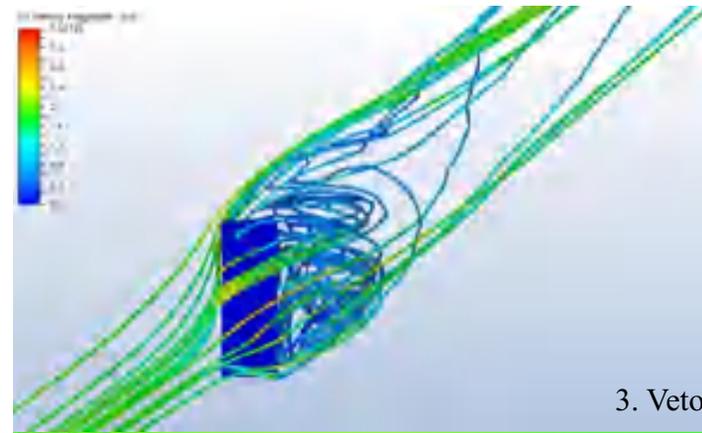


1. Coeficiente de pressão

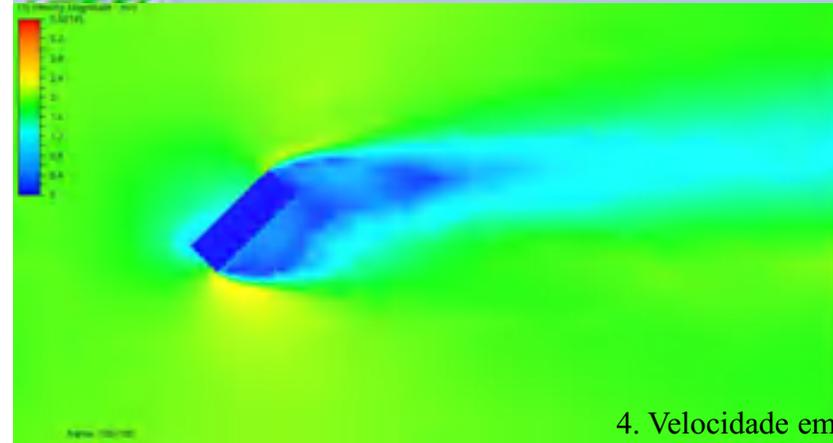
Pressure Coefficient



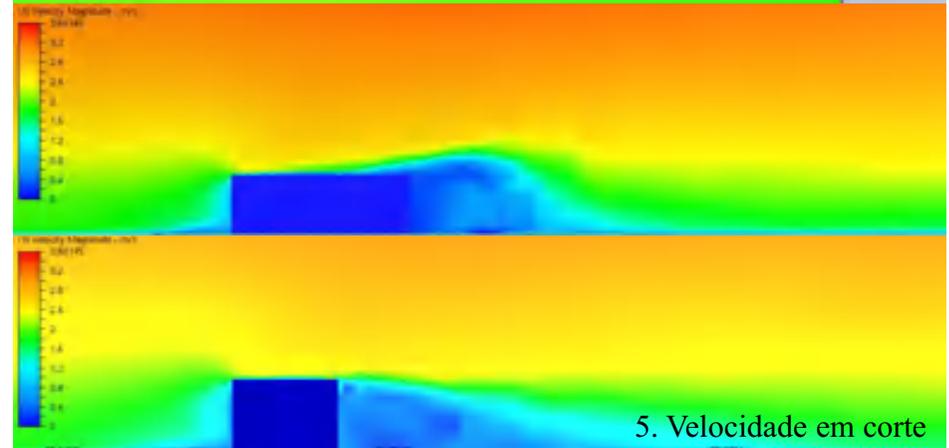
2. Superfícies de pressão



3. Vetores de velocidade



4. Velocidade em planta



5. Velocidade em corte

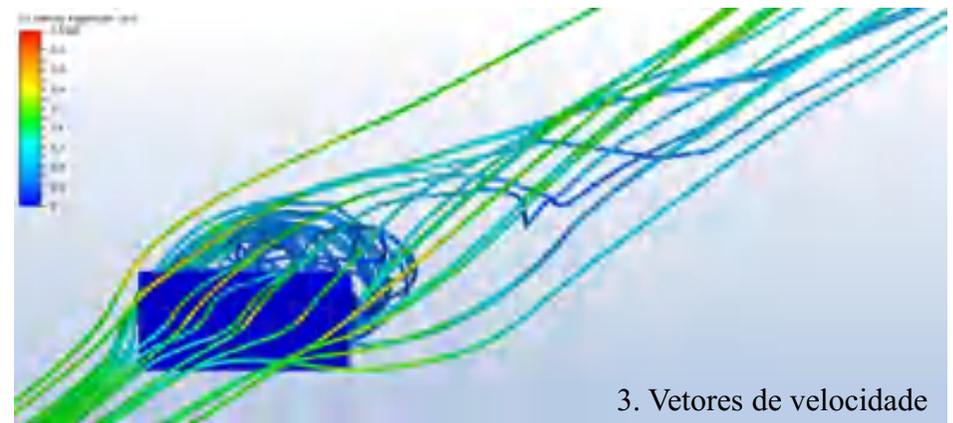
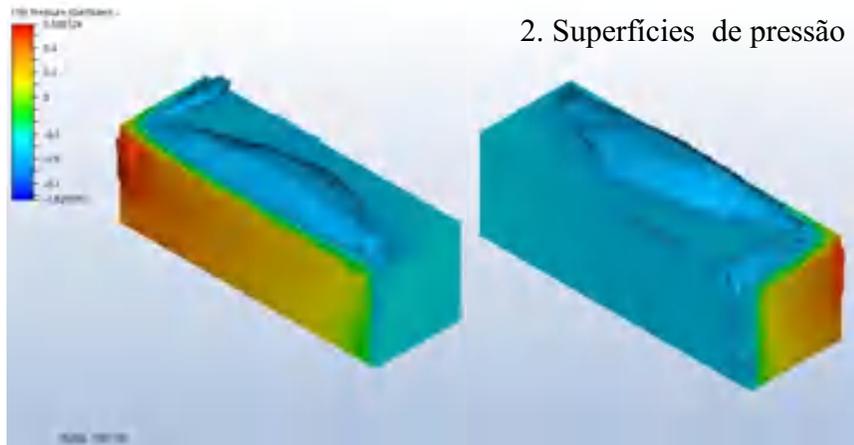
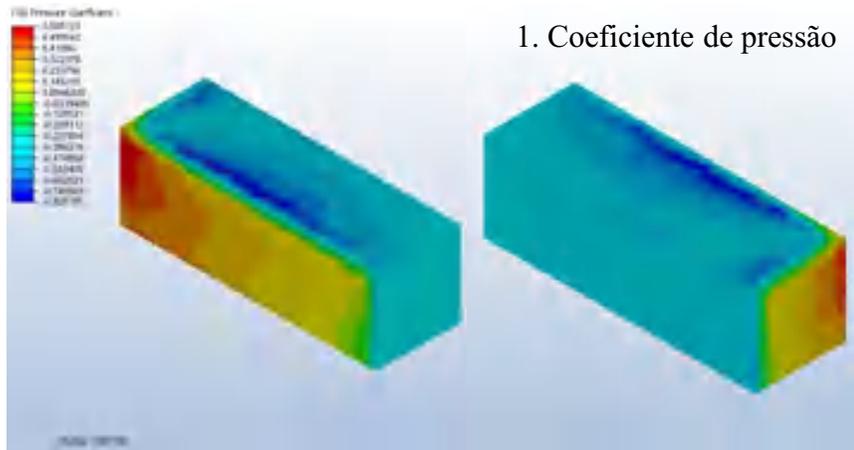


M23:I:L

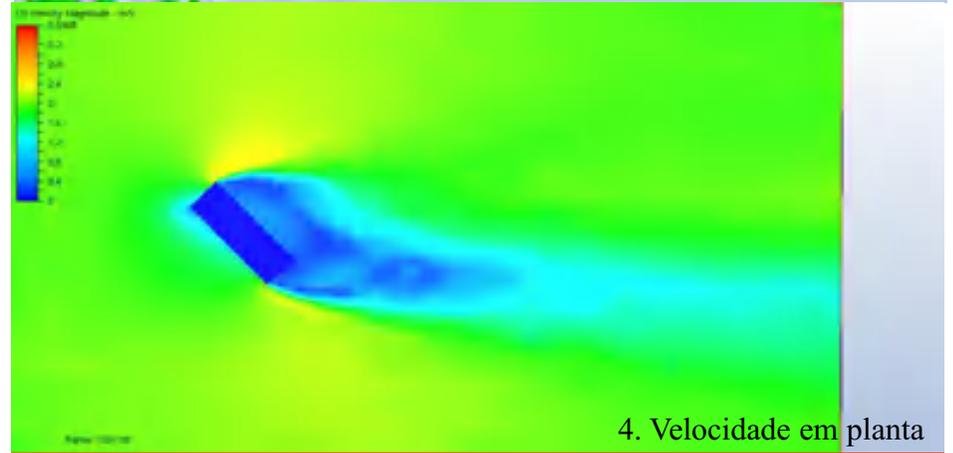
Coefficiente de pressão: 0.58 / -0.82

Incidência a 45°: positiva / negativa

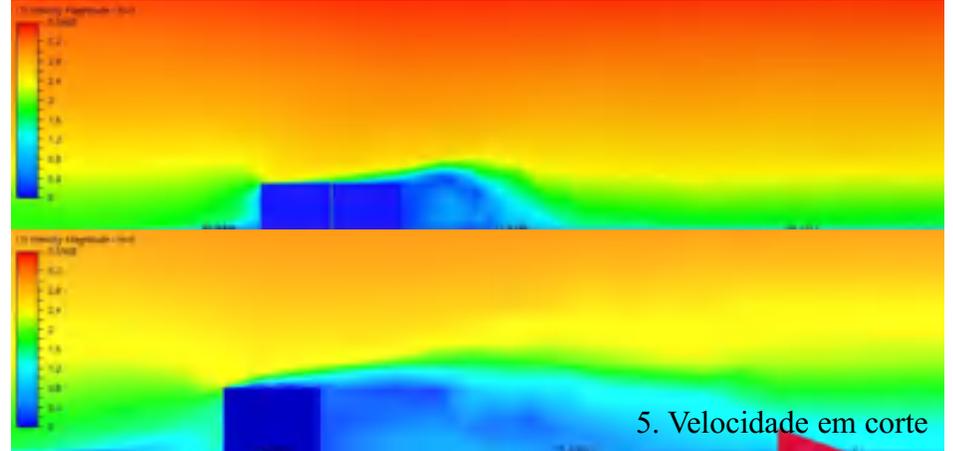
Classificação: Faces a 90° positivas /negativas



3. Vetores de velocidade



4. Velocidade em planta



5. Velocidade em corte

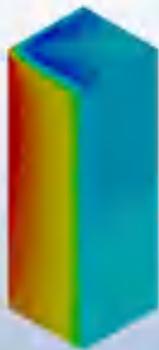
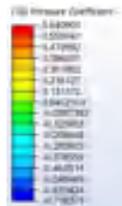


M24:I:A

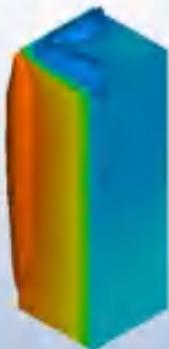
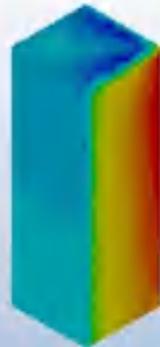
Coefficiente de pressão: 0.64 / -0.71

Incidência a 45°: positiva / negativa

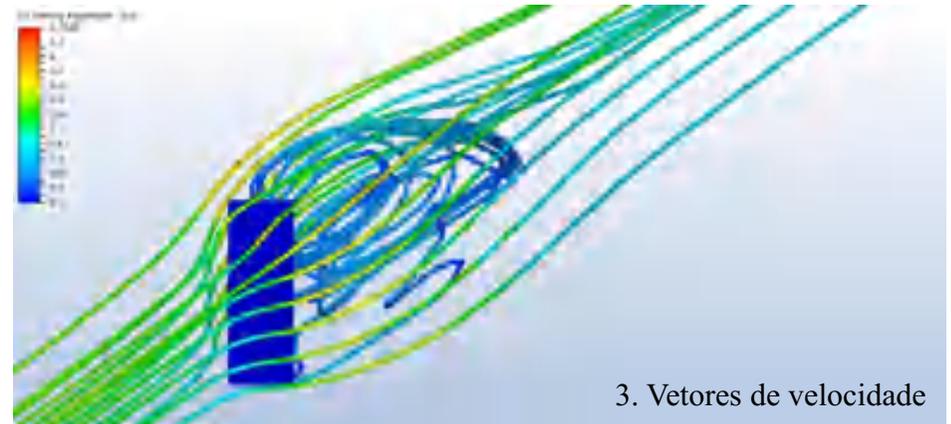
Classificação: Faces a 90° positivas /negativas



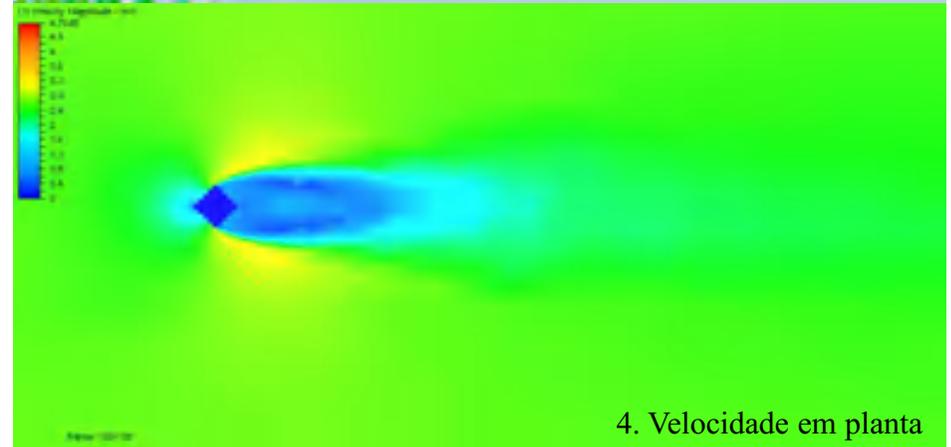
1. Coeficiente de pressão



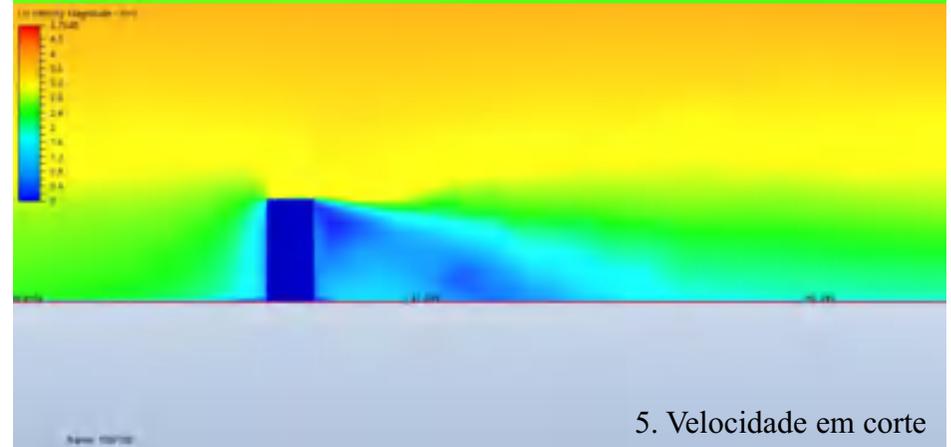
2. Superfícies de pressão



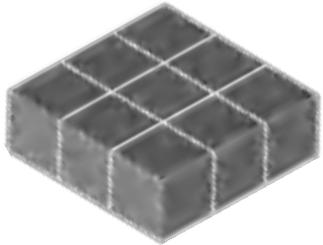
3. Vetores de velocidade



4. Velocidade em planta



5. Velocidade em corte



M25:I:PL

Pressão: 0.54 / -0.93

Incidência a 45°: positiva / negativa

Classificação: Faces a 90° positivas /negativas / face única

CFD Pressure Coefficient



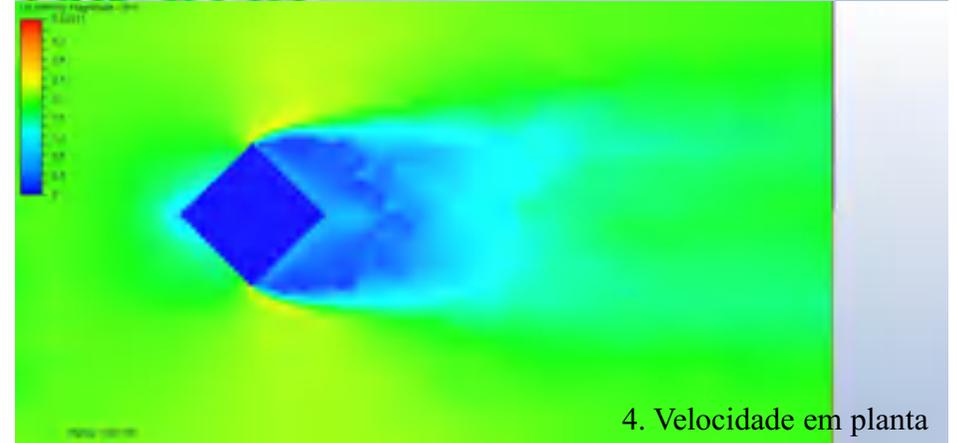
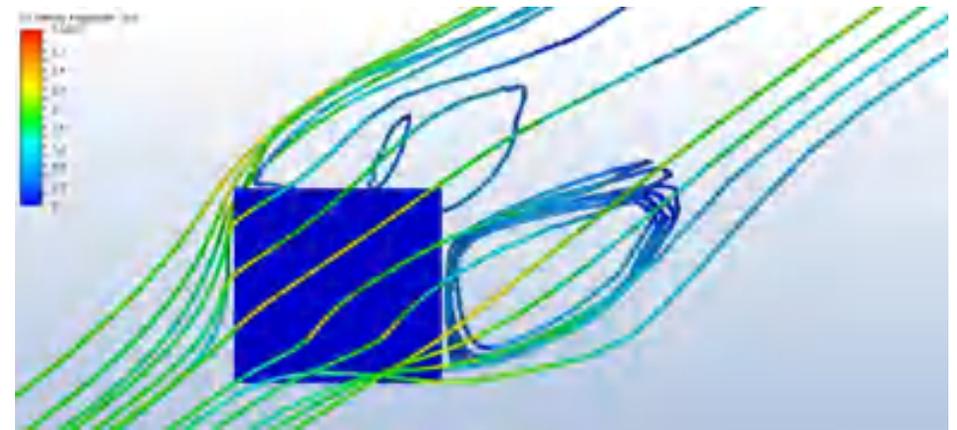
1. Coeficiente de pressão



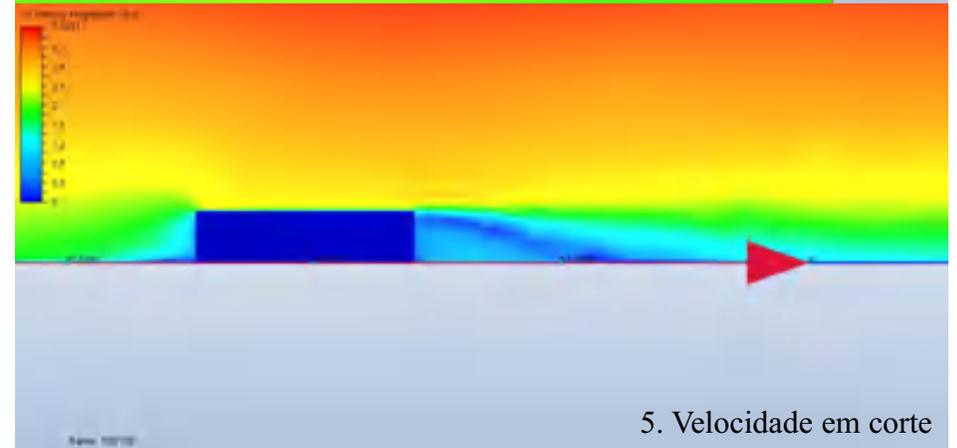
CFD Pressure Coefficient



2. Superfícies de pressão



4. Velocidade em planta



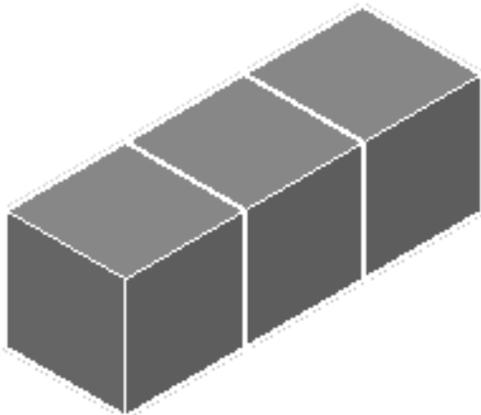
5. Velocidade em corte

RESULTADOS GERADOS PELAS SIMULAÇÕES - CFD

24 HIPÓTESES INTERNAS

FACES OPOSTAS - HORIZONTAL

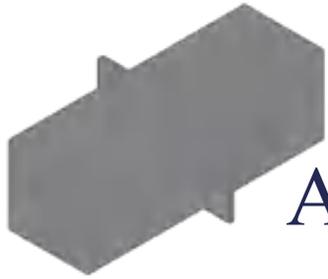
M6:F:P



Hipótese 1: Anteparo com 1m

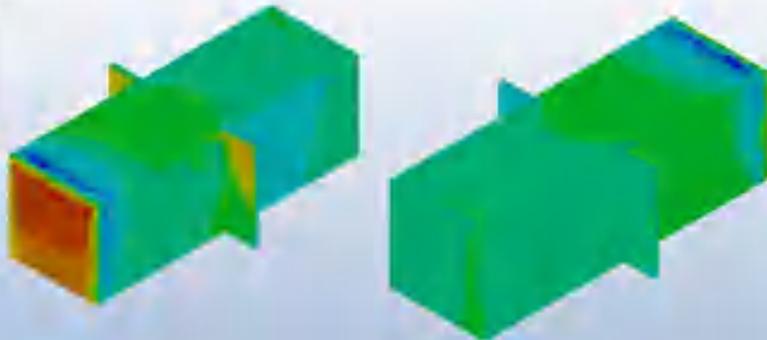
Hipótese 2: Anteparo com 2m

Hipótese 3: Anteparo inclinado com 2m



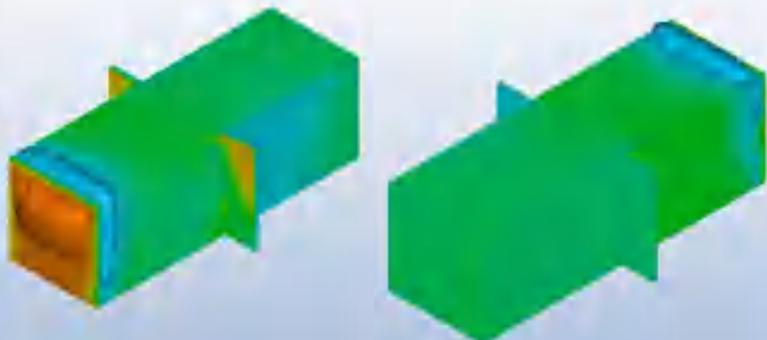
Hipótese 1: Anteparo com 1m

1. Coeficiente de pressão

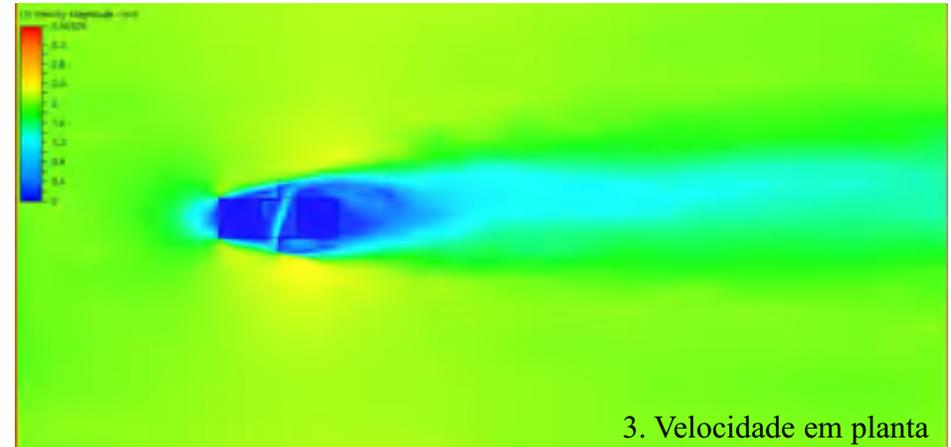


1. Coeficiente de pressão

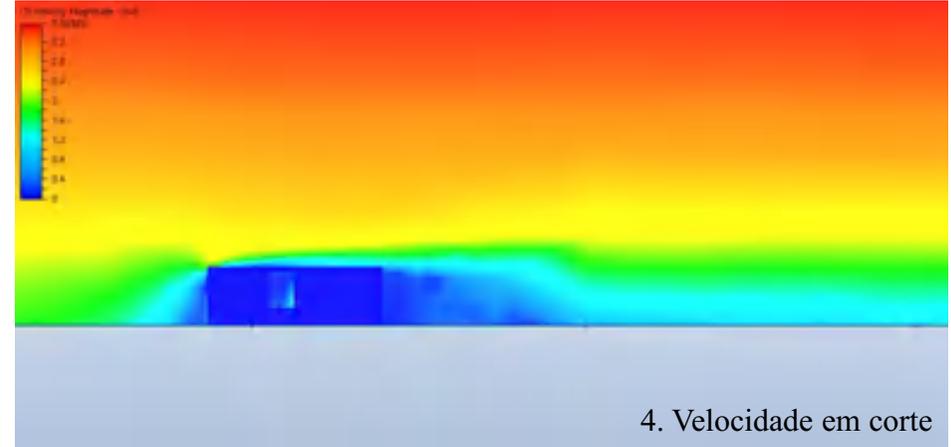
2. Superfícies de pressão



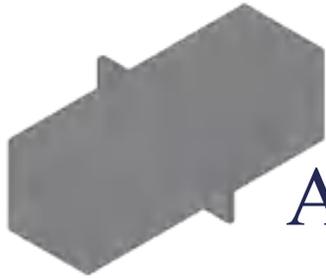
2. Superfícies de pressão



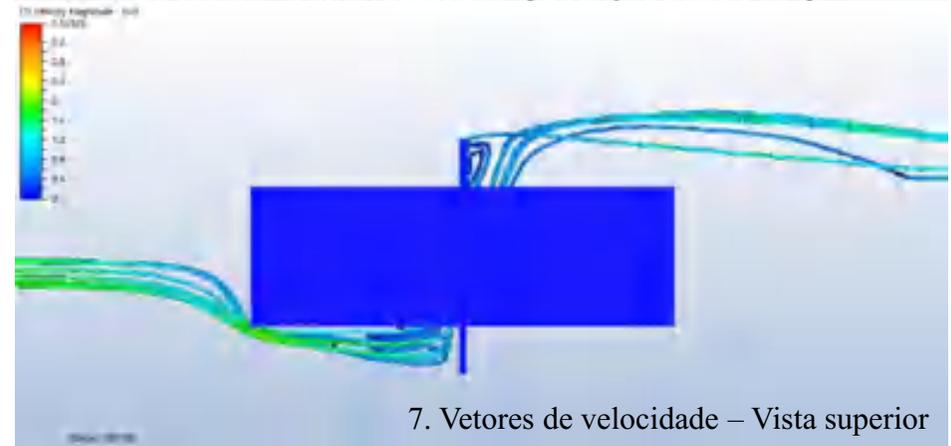
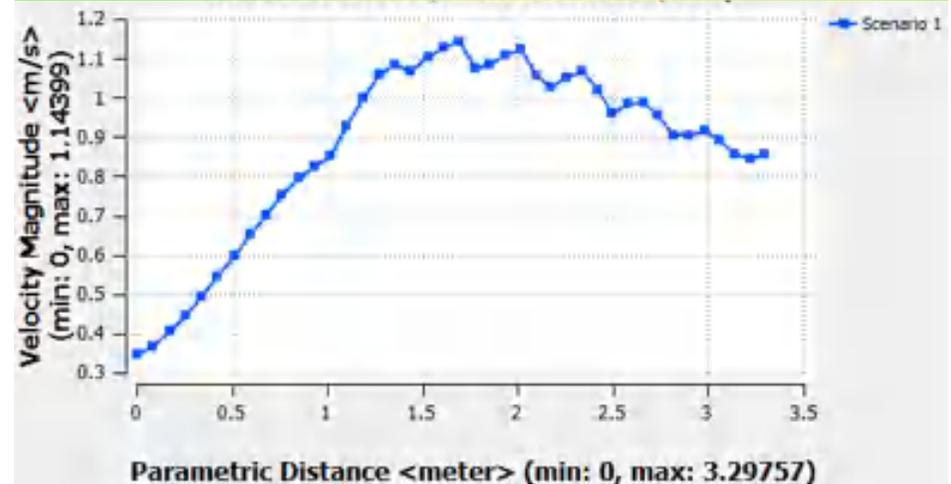
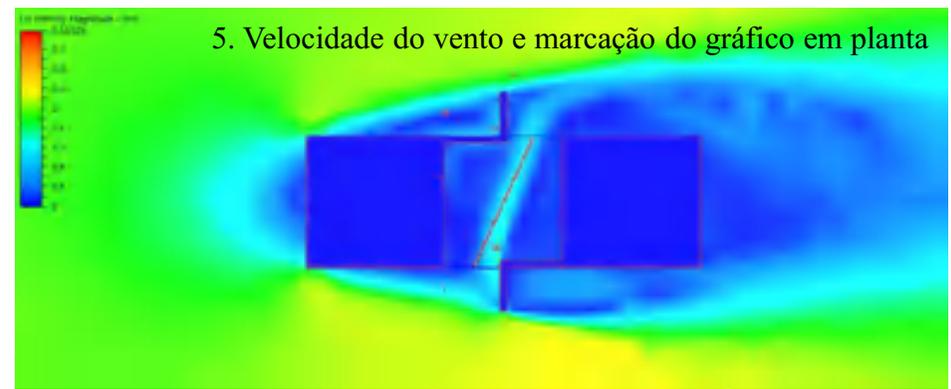
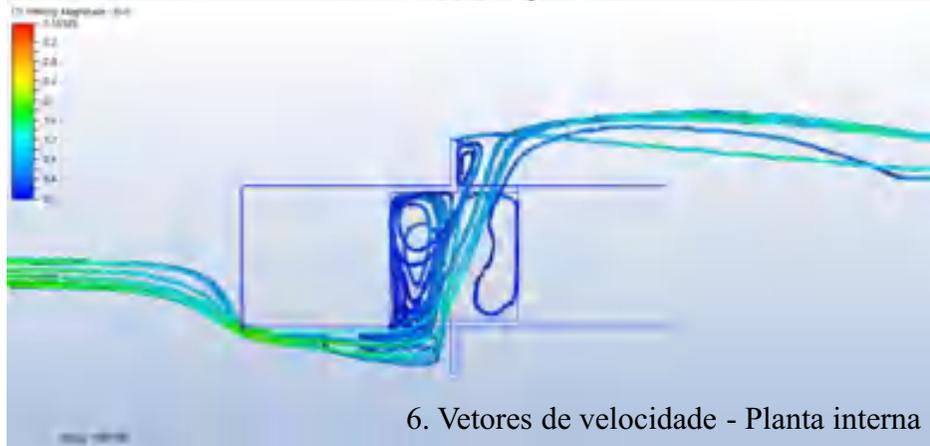
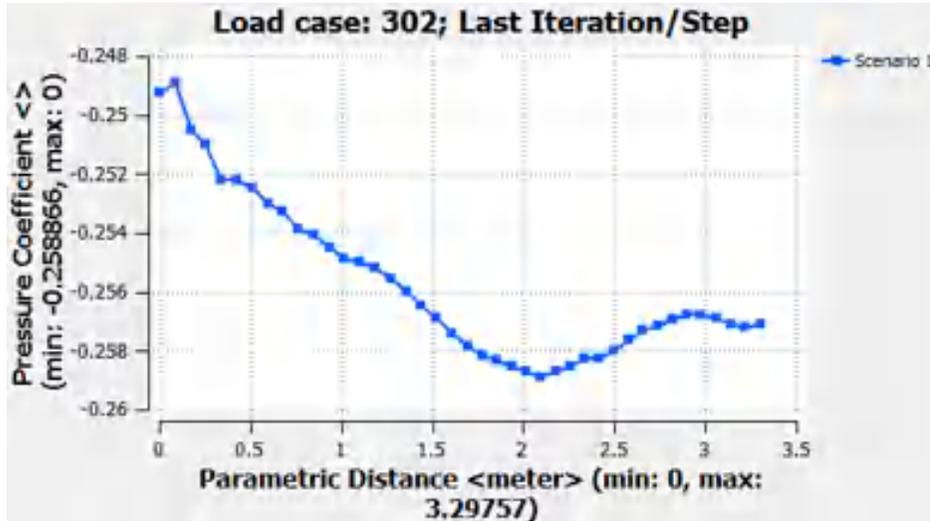
3. Velocidade em planta

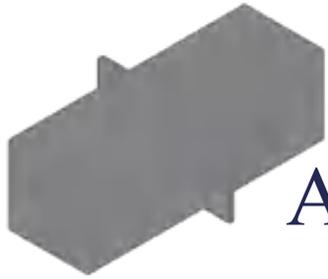


4. Velocidade em corte

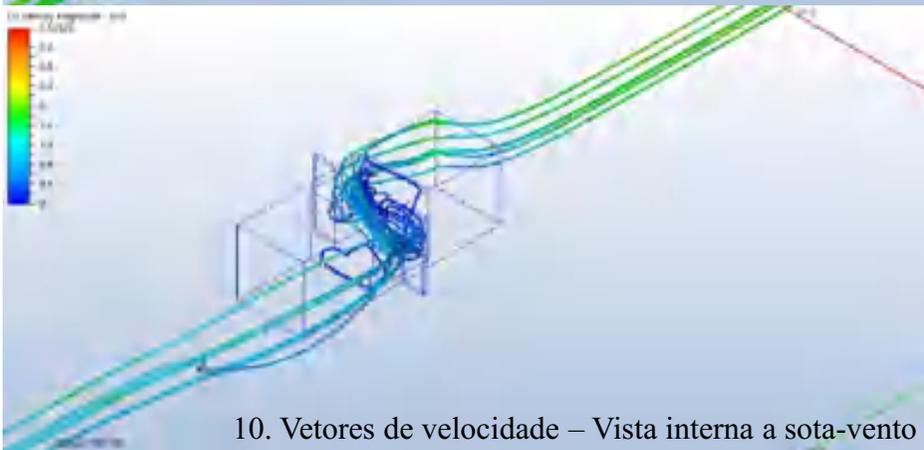
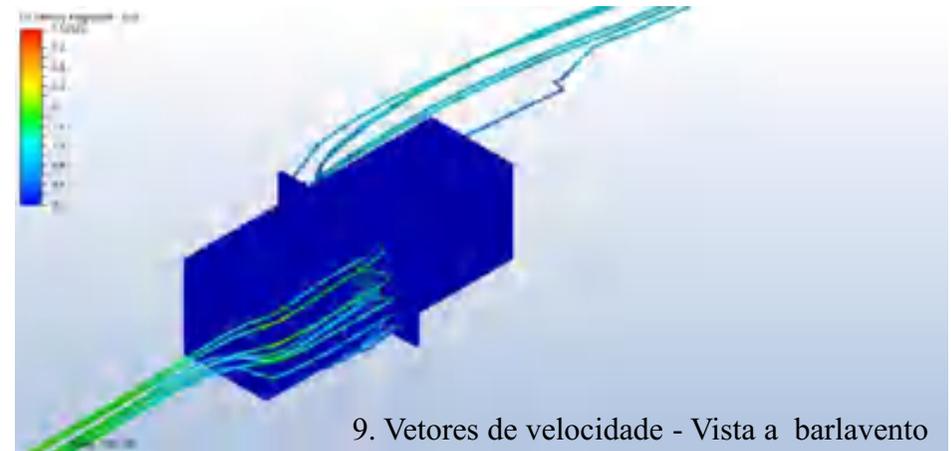
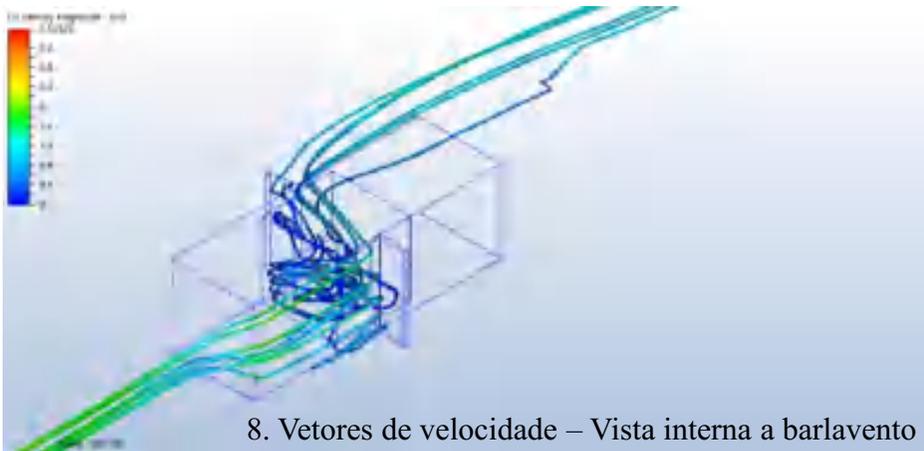


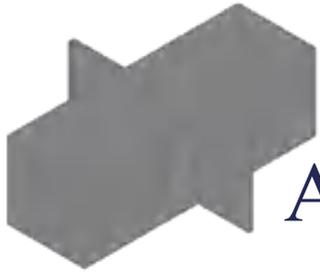
Hipótese 1: Anteparo com 1m



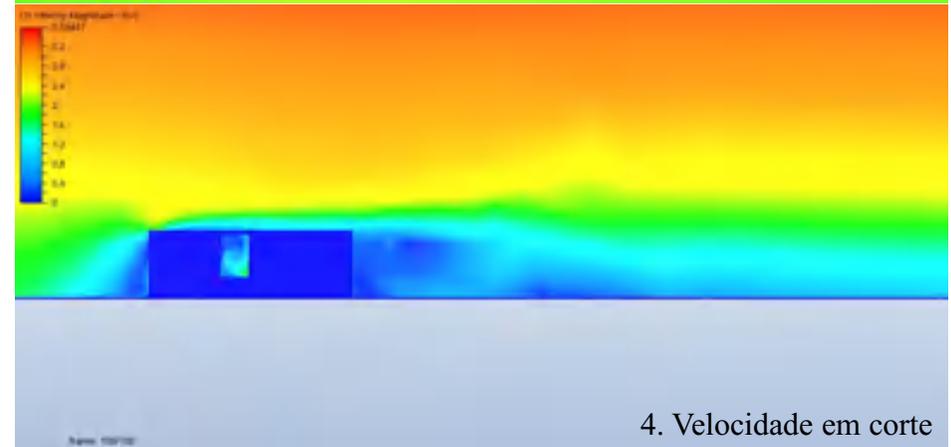
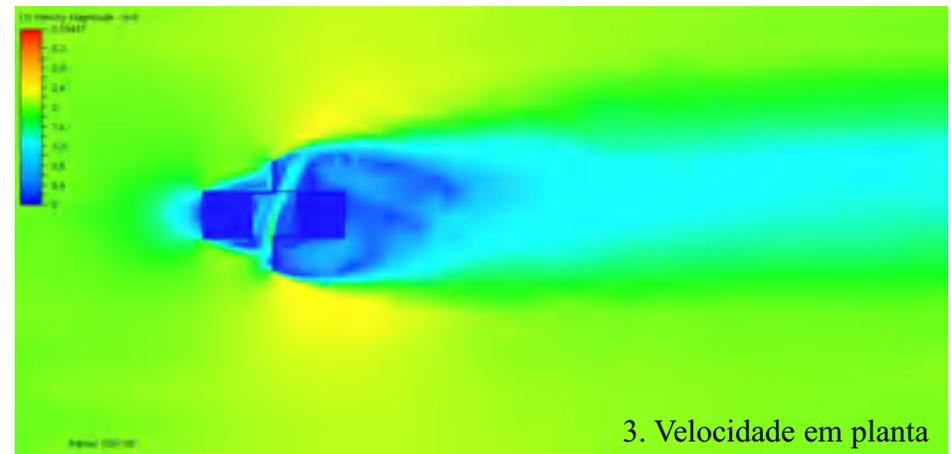
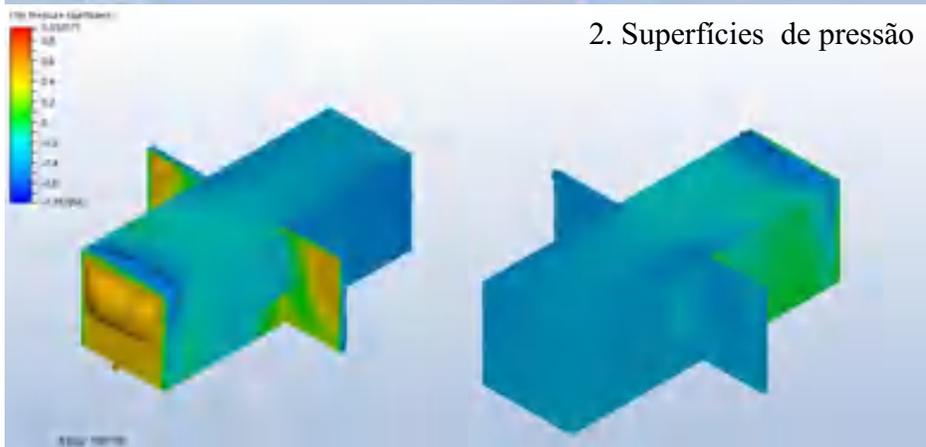
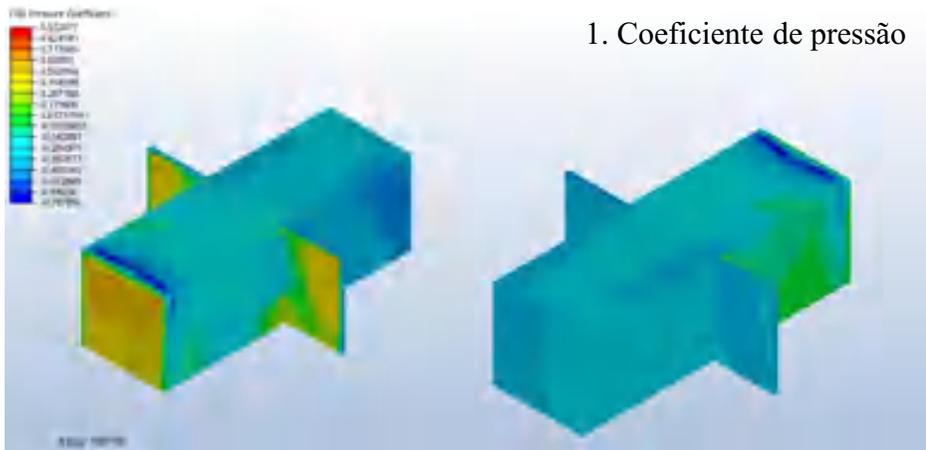


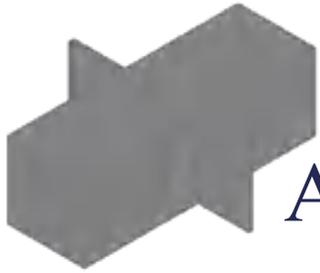
Hipótese 1: Anteparo com 1m



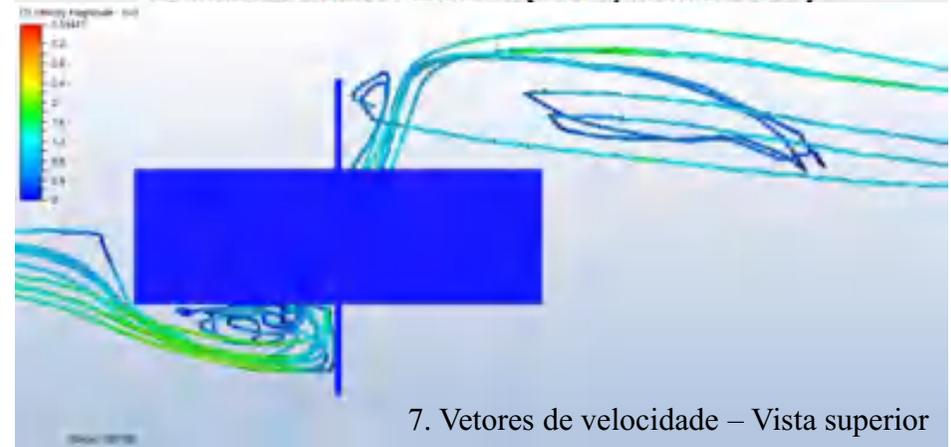
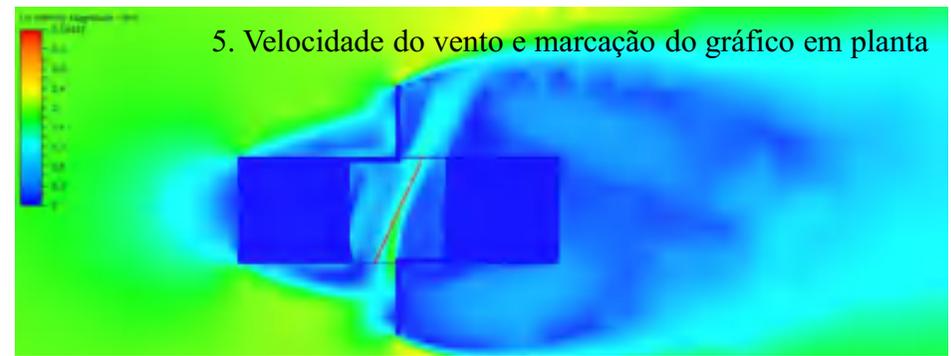
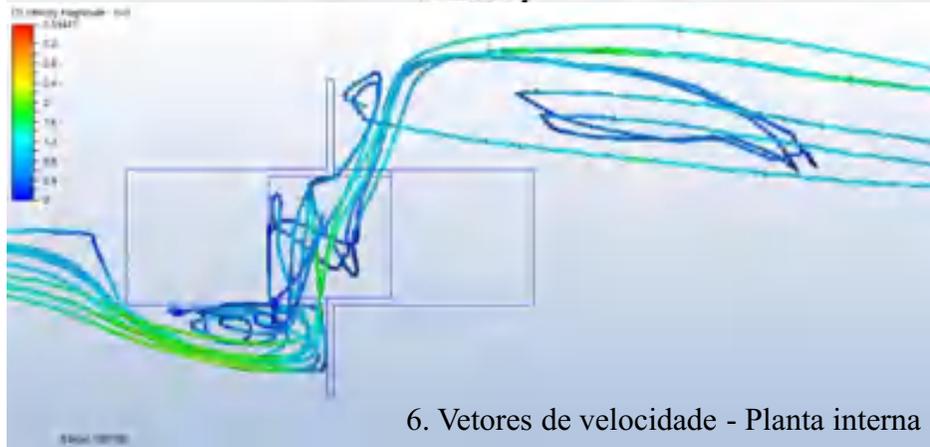


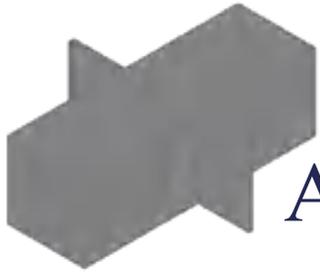
Hipótese 2: Anteparo com 2m



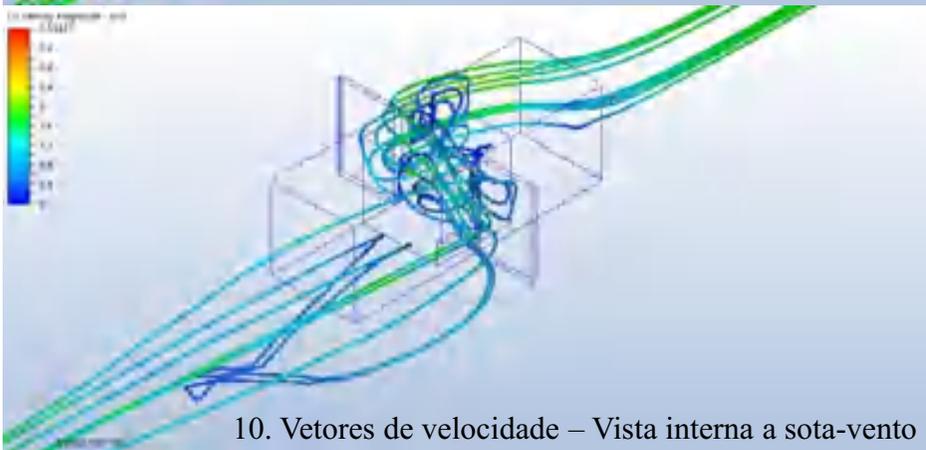
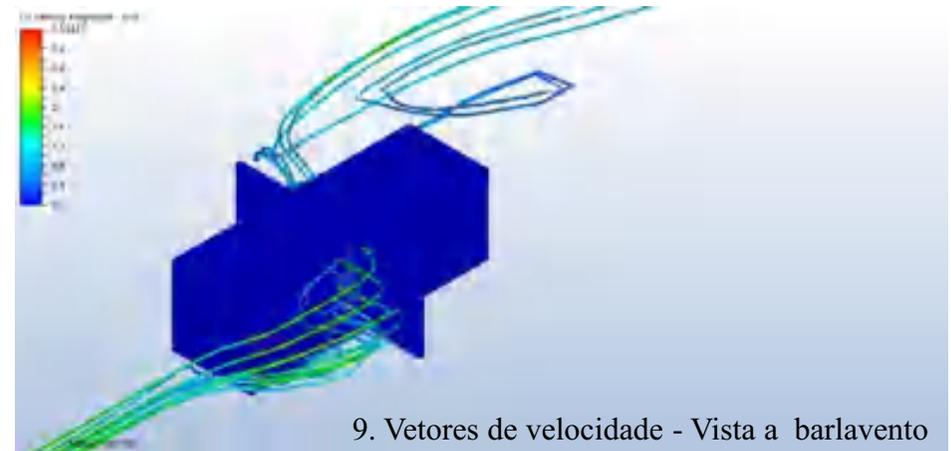
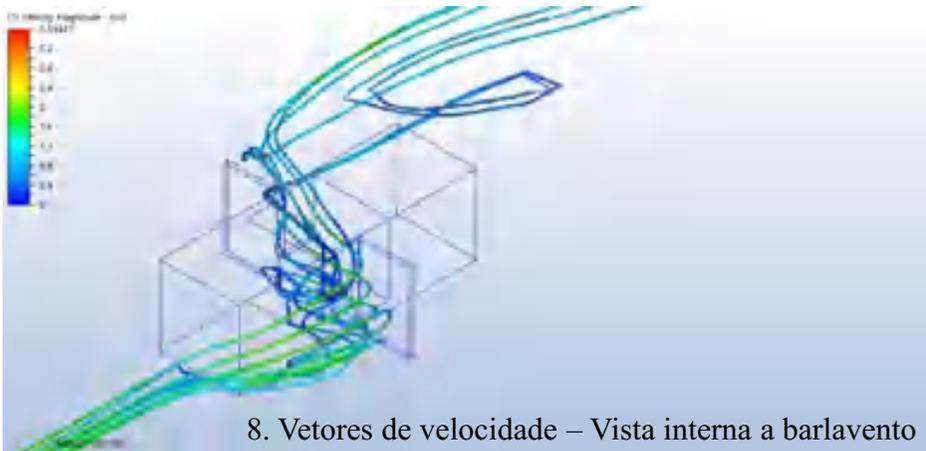


Hipótese 2: Anteparo com 2m





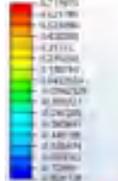
Hipótese 2: Anteparo com 2m





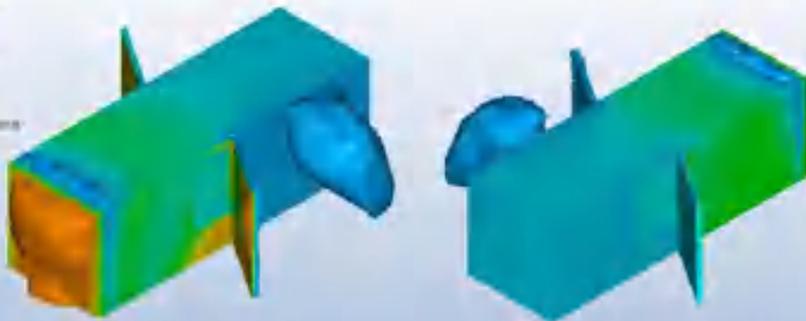
Hipótese 3: Anteparo inclinado com 2m

1. Coeficiente de pressão

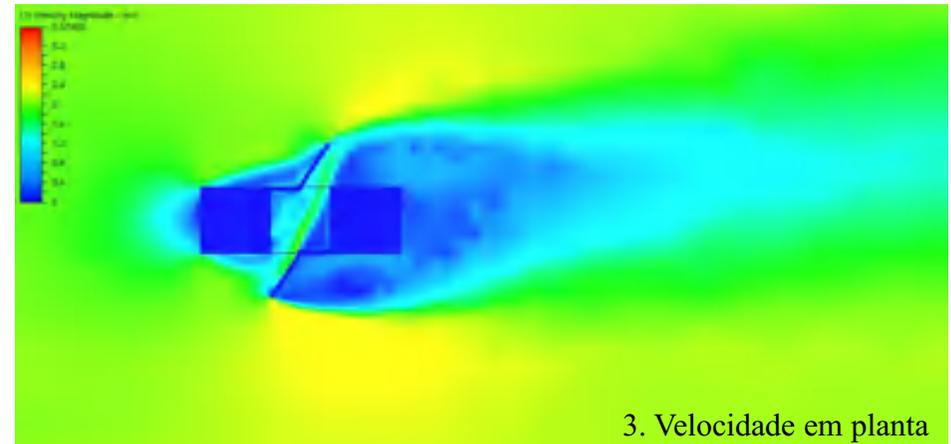


1. Coeficiente de pressão

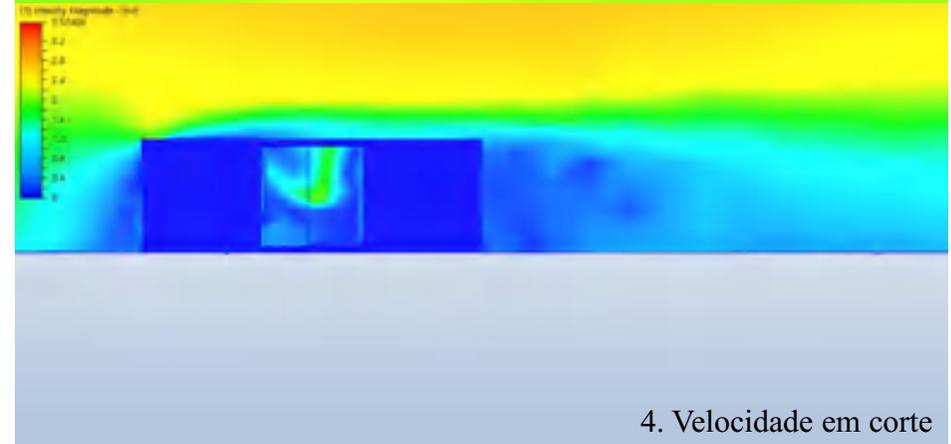
2. Superfícies de pressão



2. Superfícies de pressão



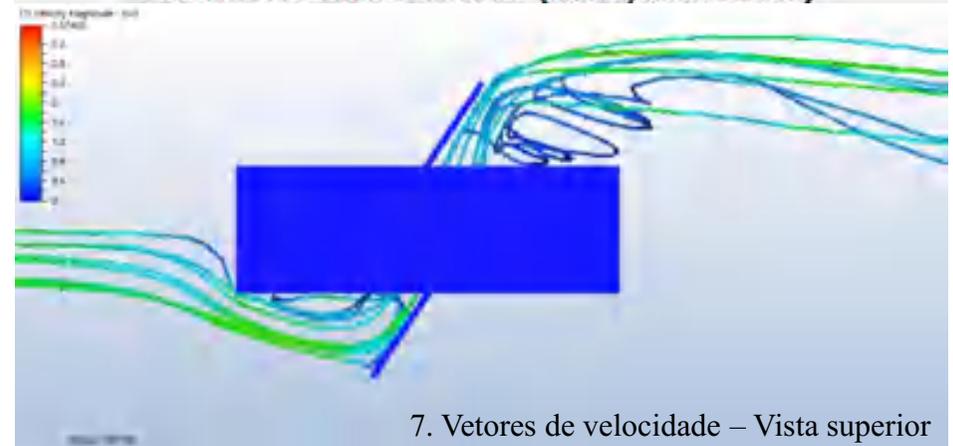
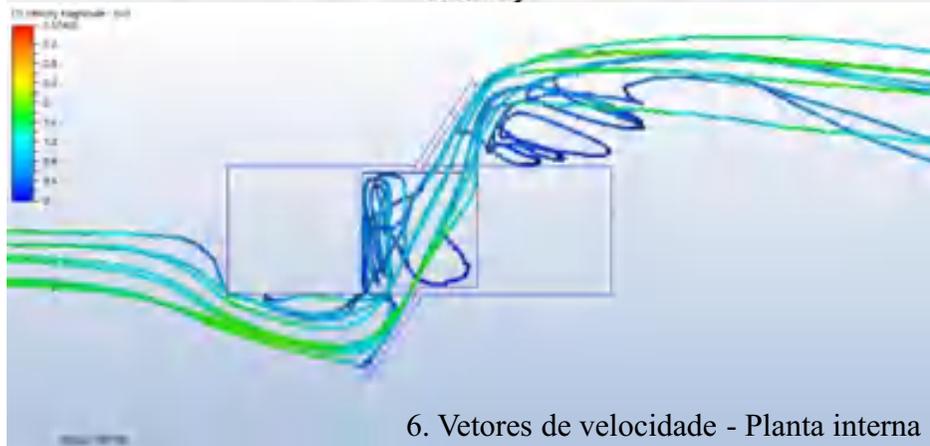
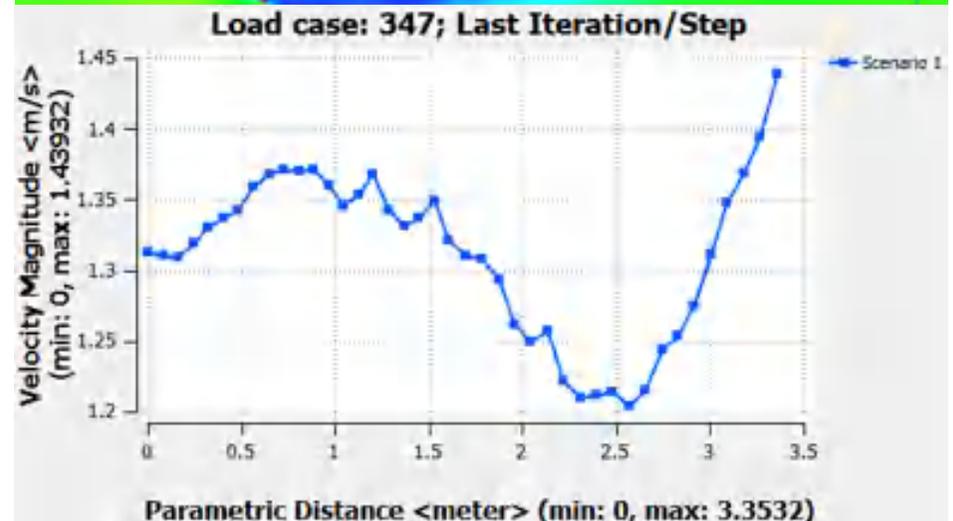
3. Velocidade em planta



4. Velocidade em corte

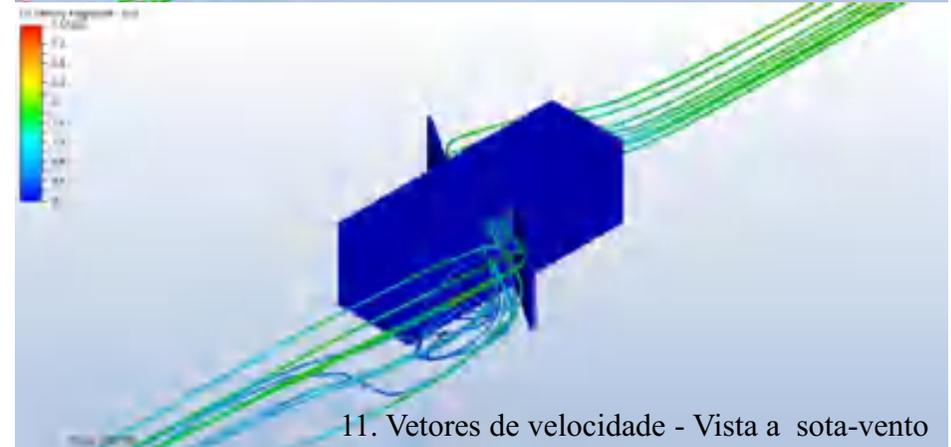
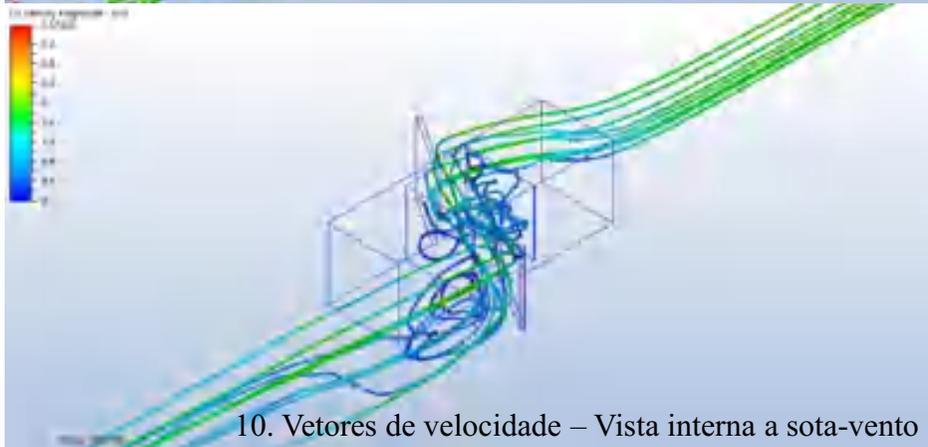
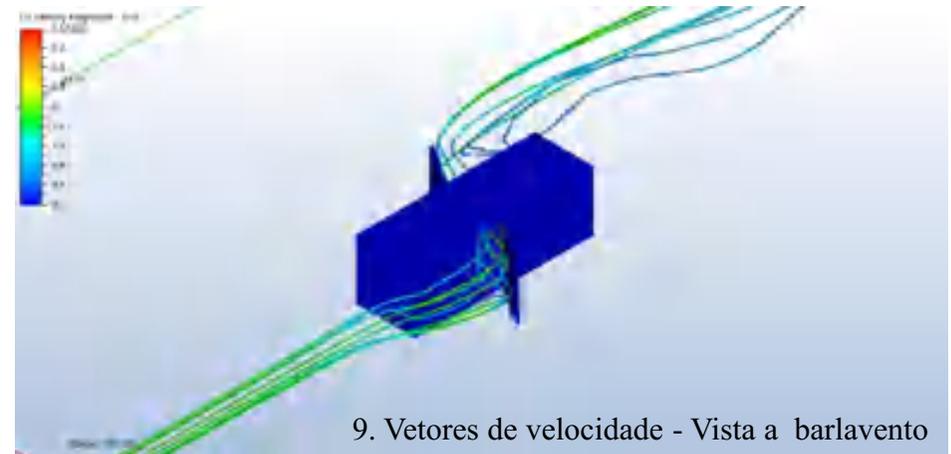
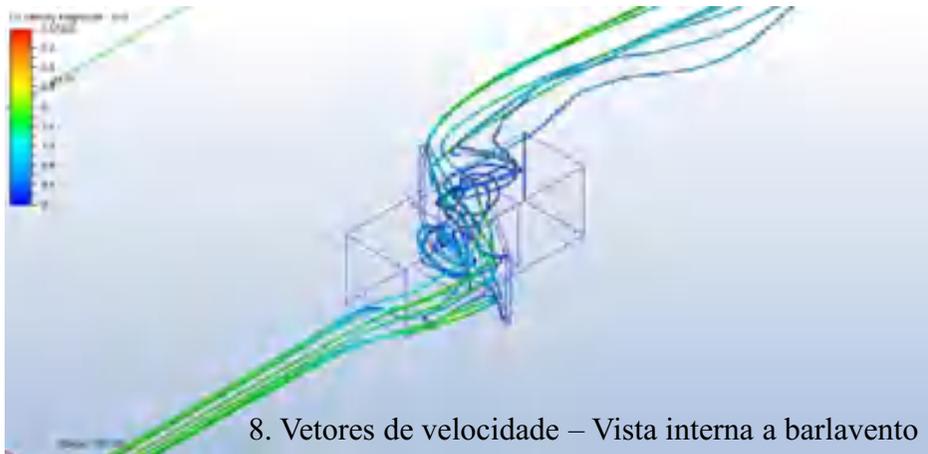


Hipótese 3: Anteparo inclinado com 2m



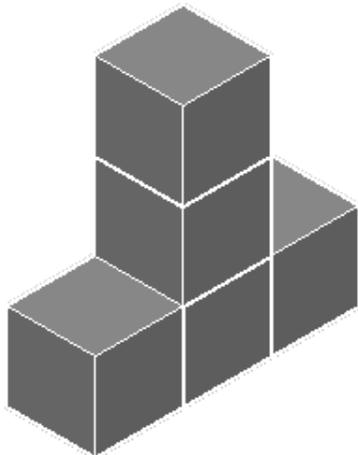


Hipótese 3: Anteparo inclinado com 2m



FACES OPOSTAS - VERTICAL

M12:V:P



Hipótese 1: Torre de vento com 9m

Hipótese 2: Torre de vento com 6m

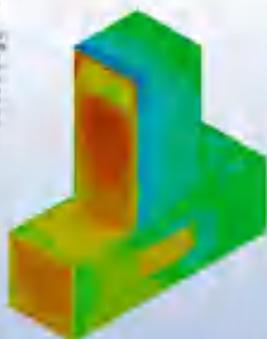
Hipótese 3: Abertura zenital com barreira

Hipótese 4: Torre de vento com coberta inclinada com 9m

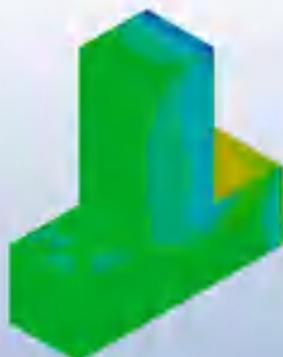


Hipótese 1: Torre de vento com 9m

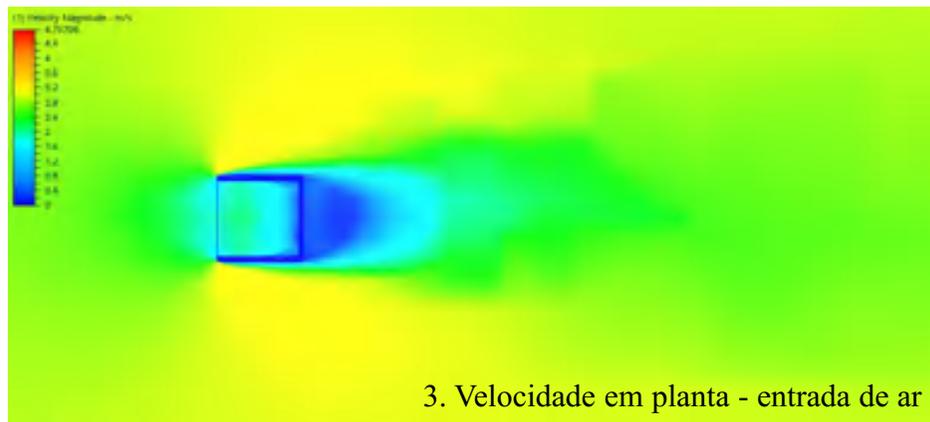
1. Coeficiente de pressão



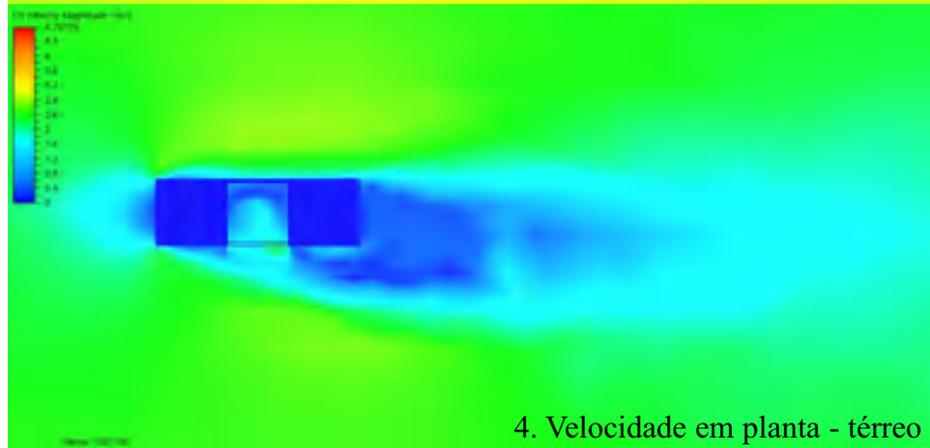
2. Superfícies de pressão



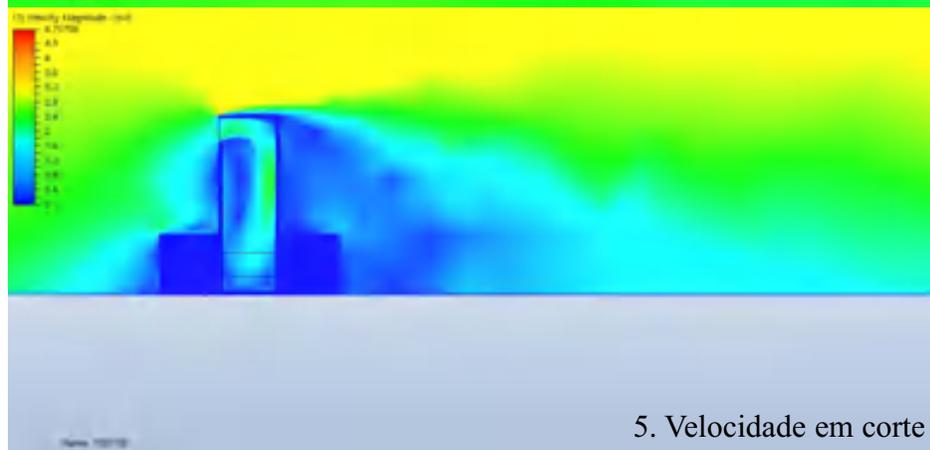
3. Velocidade em planta - entrada de ar



3. Velocidade em planta - entrada de ar



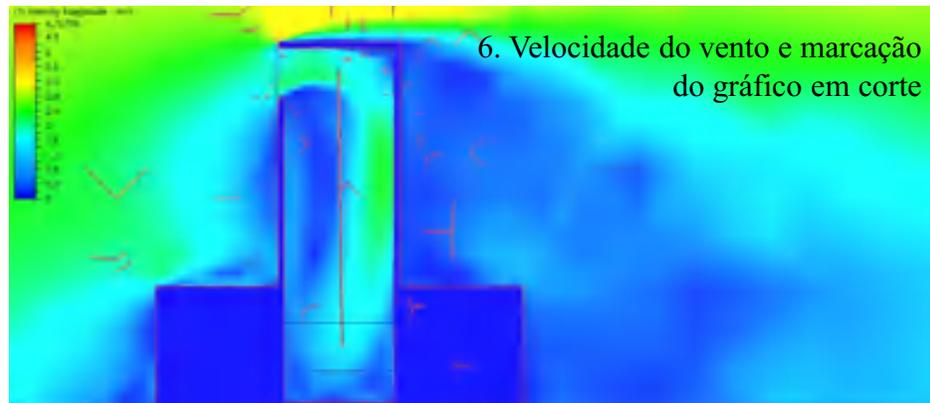
4. Velocidade em planta - térreo



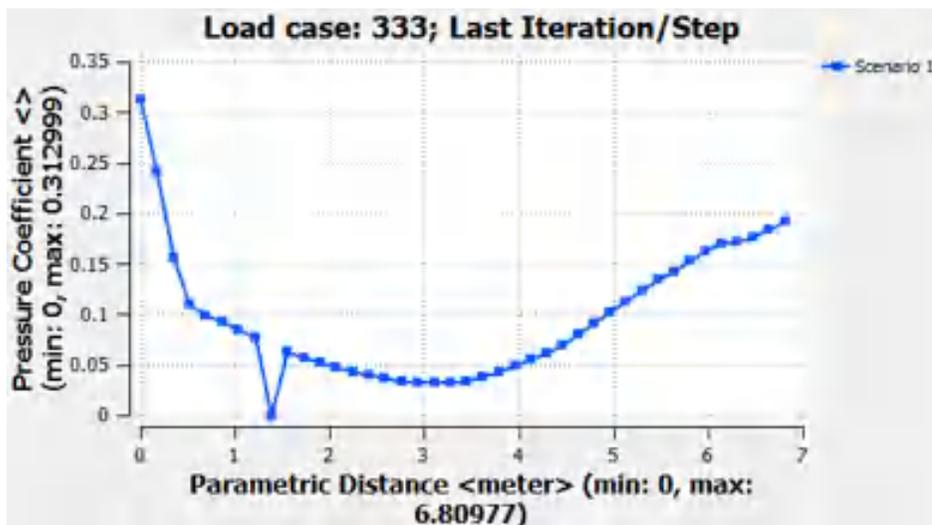
5. Velocidade em corte



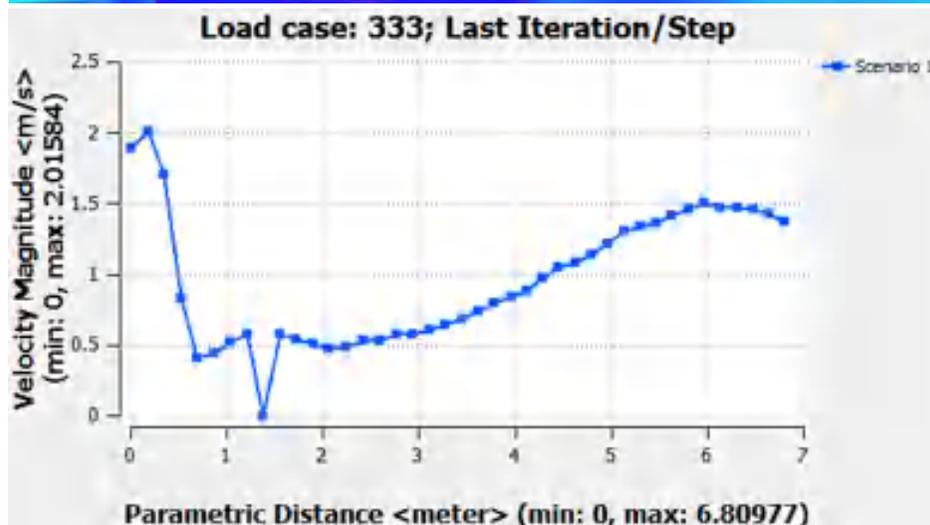
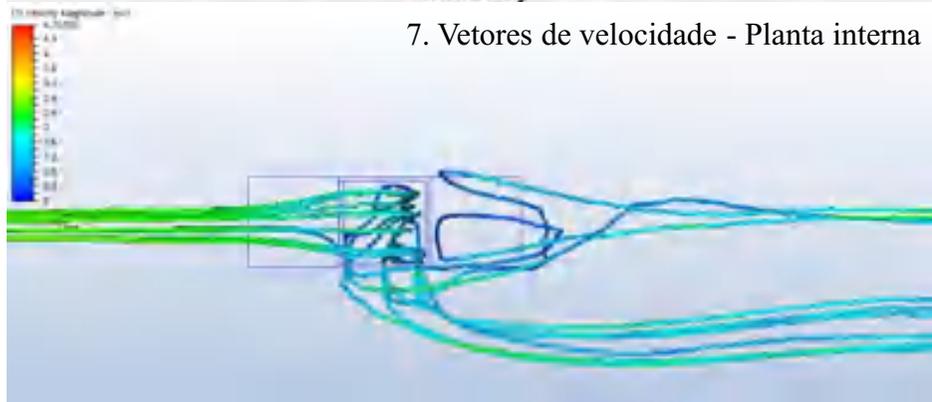
Hipótese 1: Torre de vento com 9m



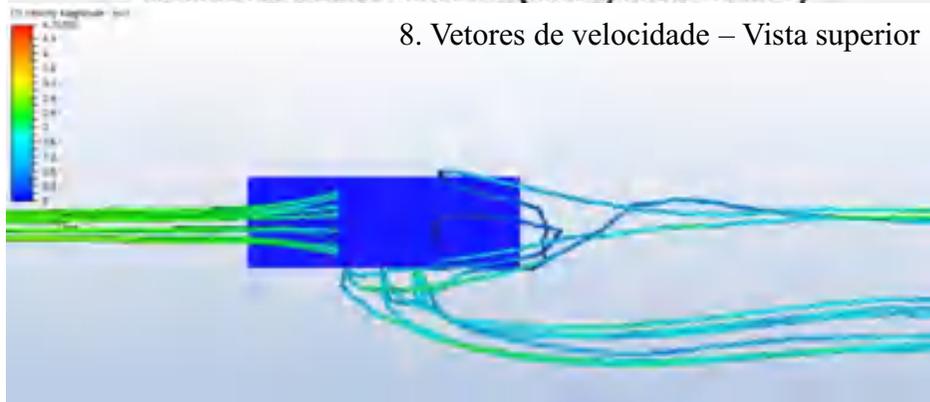
6. Velocidade do vento e marcação do gráfico em corte



7. Vetores de velocidade - Planta interna

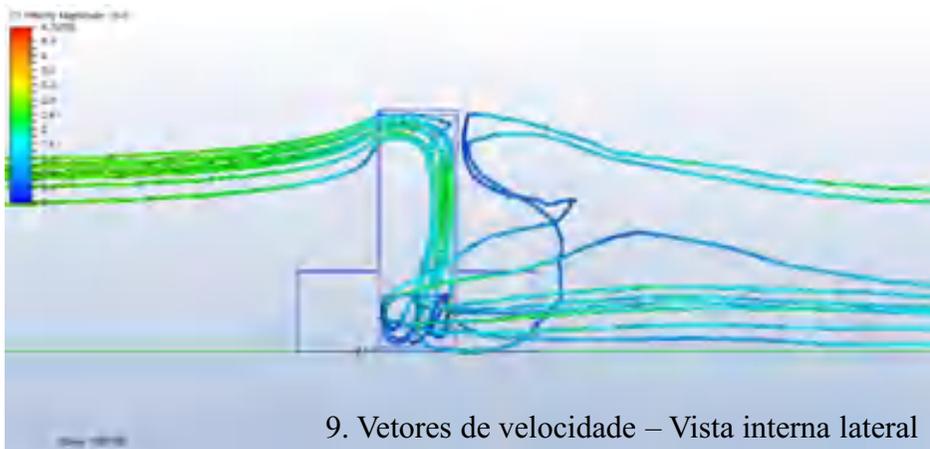


8. Vetores de velocidade – Vista superior

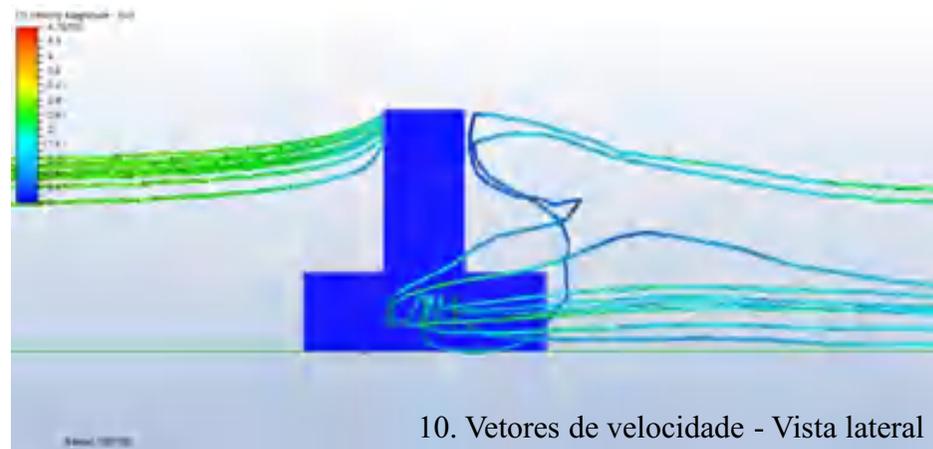




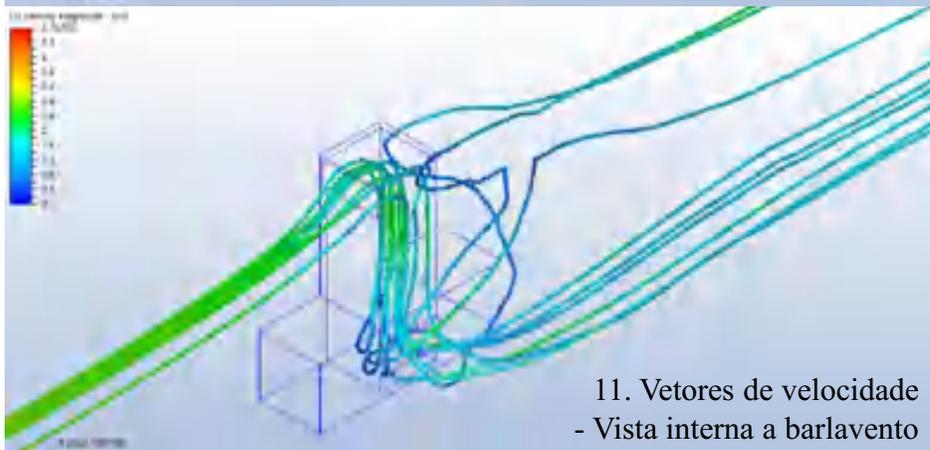
Hipótese 1: Torre de vento com 9m



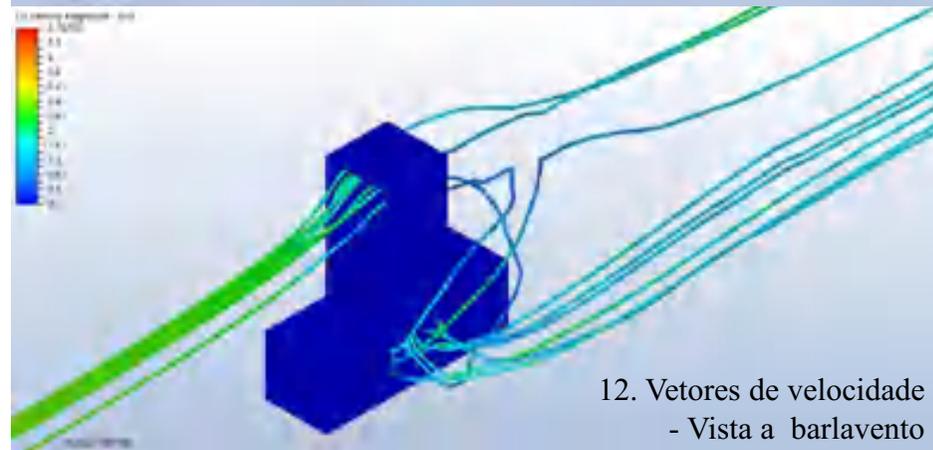
9. Vetores de velocidade – Vista interna lateral



10. Vetores de velocidade - Vista lateral



11. Vetores de velocidade
- Vista interna a barlavento

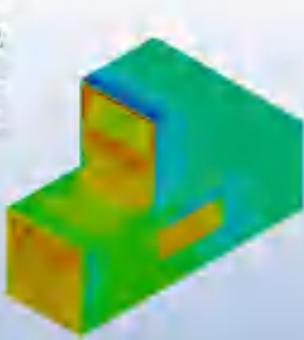
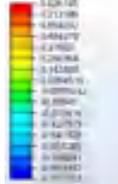


12. Vetores de velocidade
- Vista a barlavento

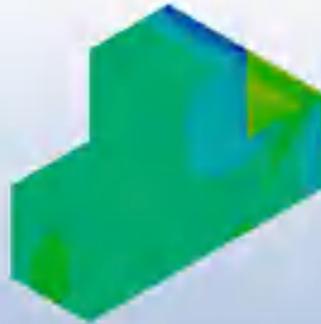
Hipótese 2: Torre de vento com 6m



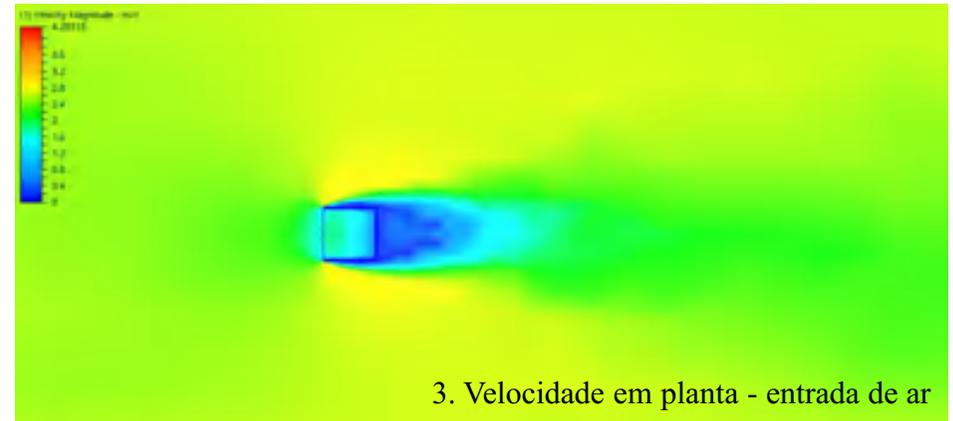
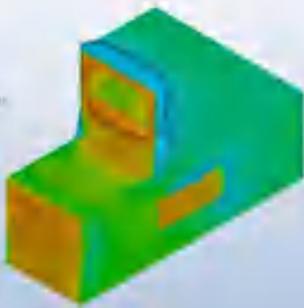
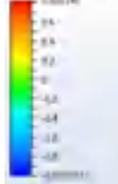
1. Coeficiente de pressão



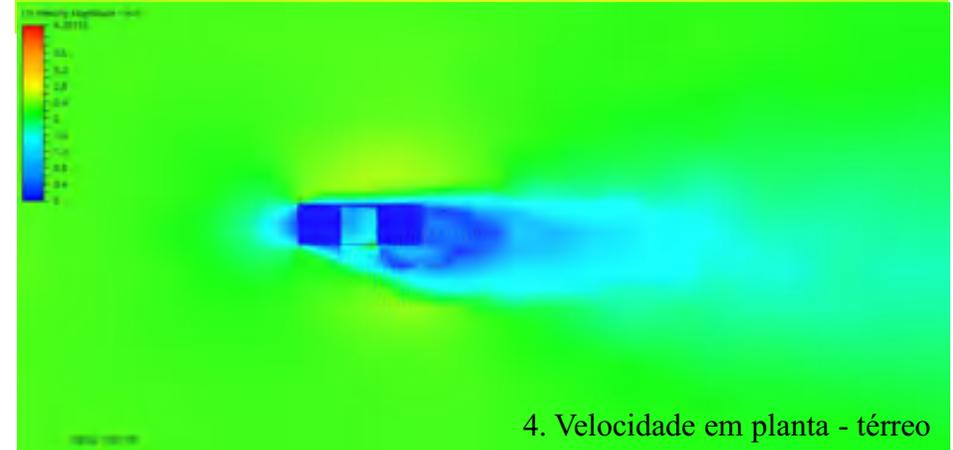
2. Superfícies de pressão



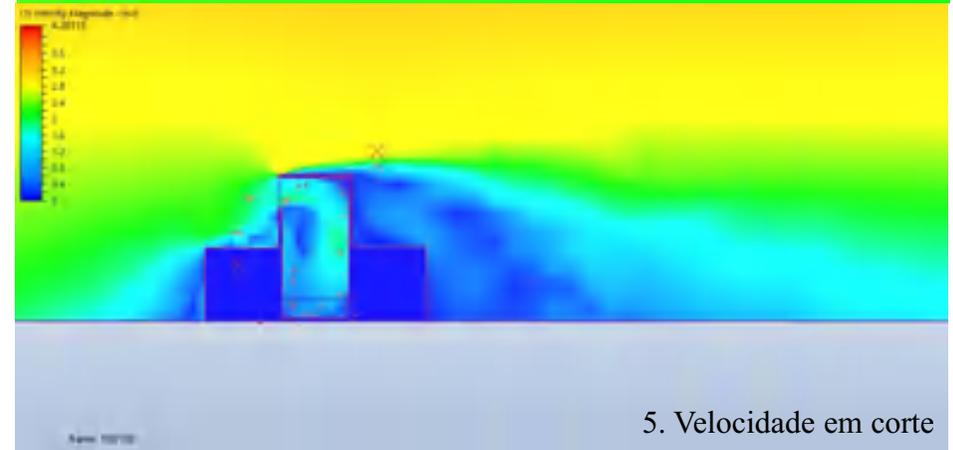
2. Superfícies de pressão



3. Velocidade em planta - entrada de ar



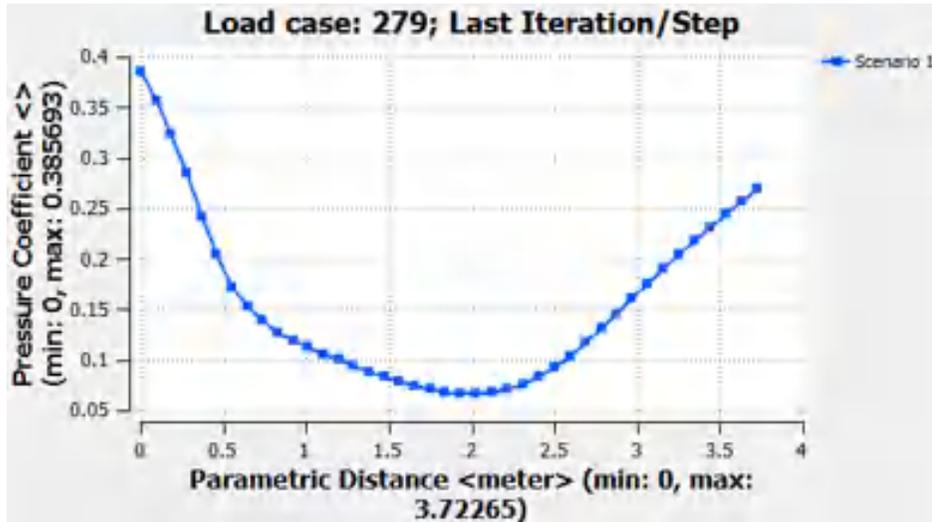
4. Velocidade em planta - térreo



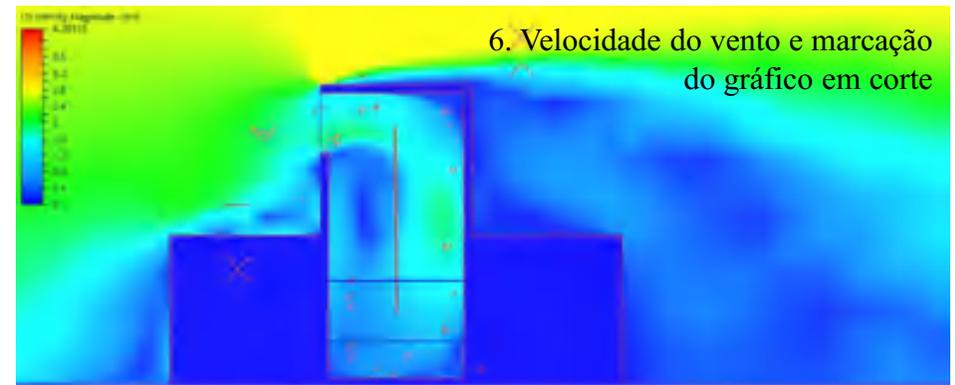
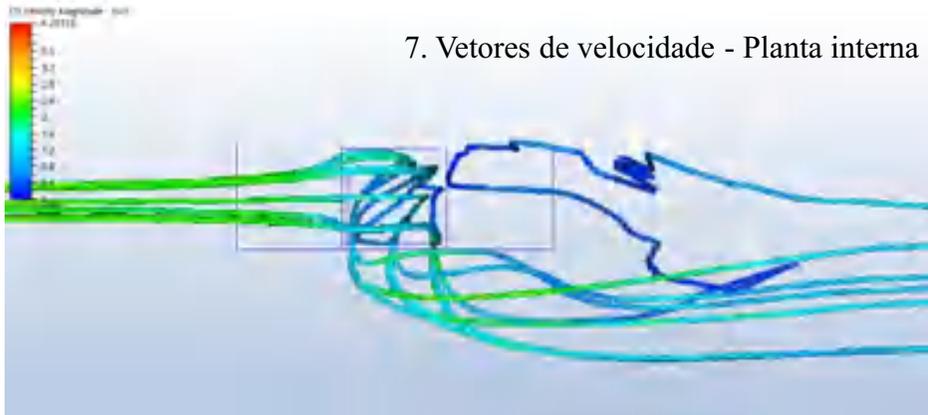
5. Velocidade em corte



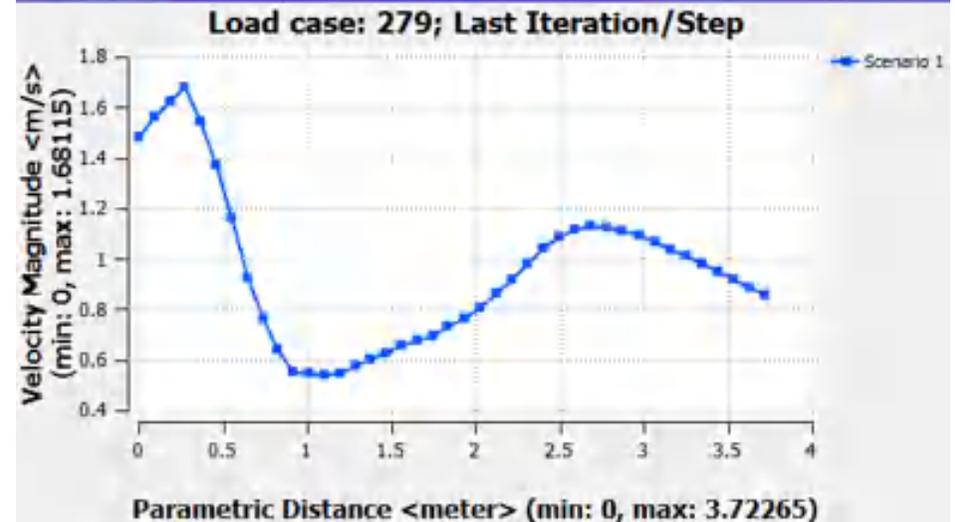
Hipótese 2: Torre de vento com 6m



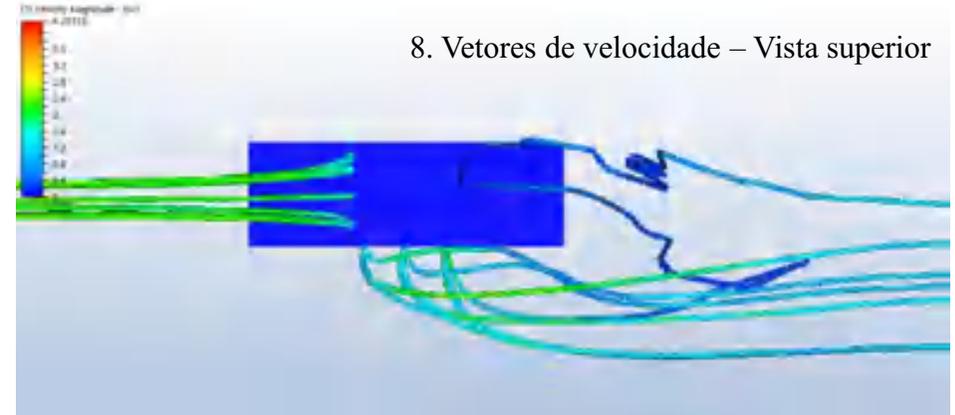
7. Vetores de velocidade - Planta interna



6. Velocidade do vento e marcação do gráfico em corte



8. Vetores de velocidade – Vista superior

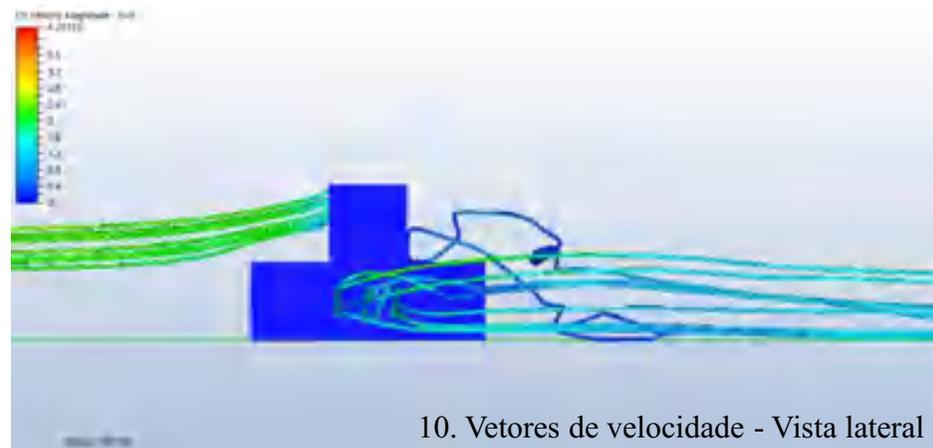




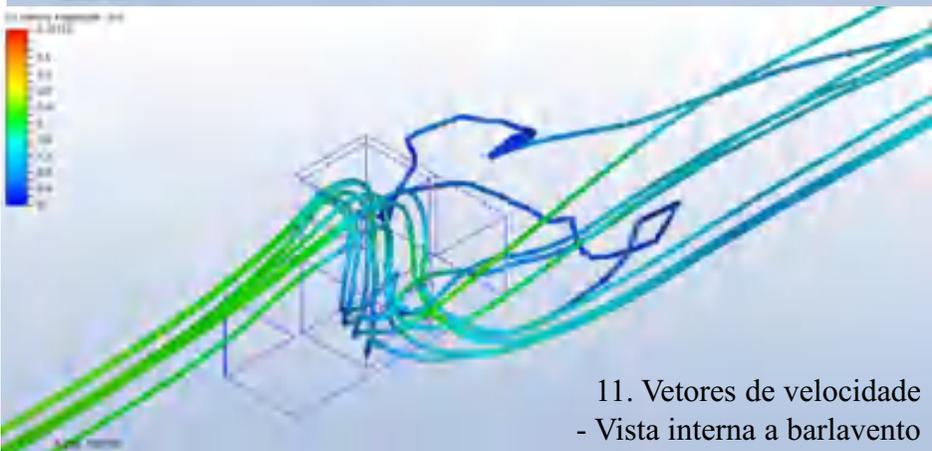
Hipótese 2: Torre de vento com 6m



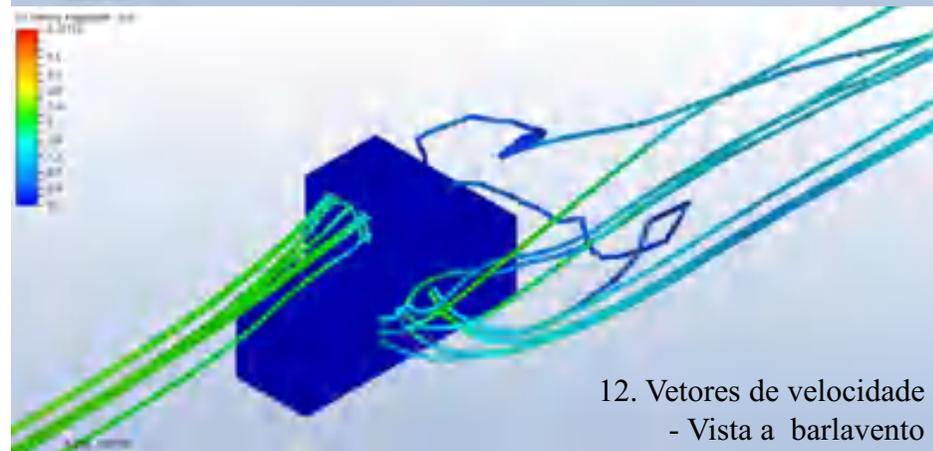
9. Vetores de velocidade – Vista interna lateral



10. Vetores de velocidade - Vista lateral



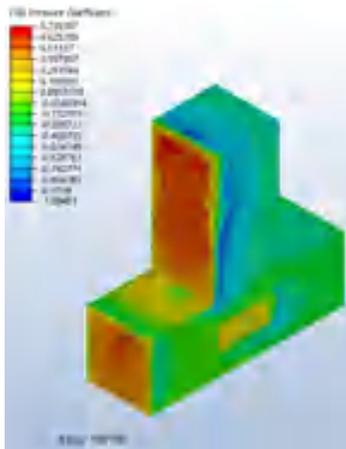
11. Vetores de velocidade
- Vista interna a barlavento



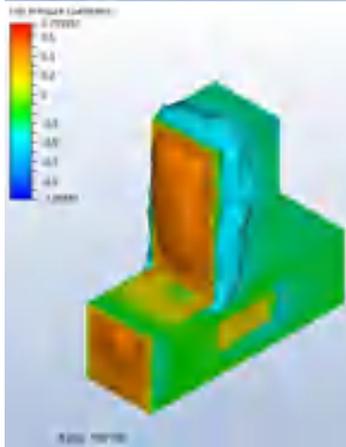
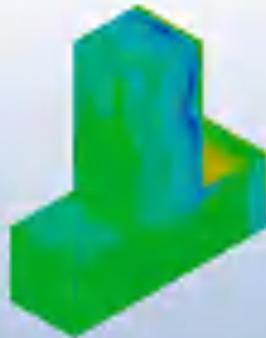
12. Vetores de velocidade
- Vista a barlavento



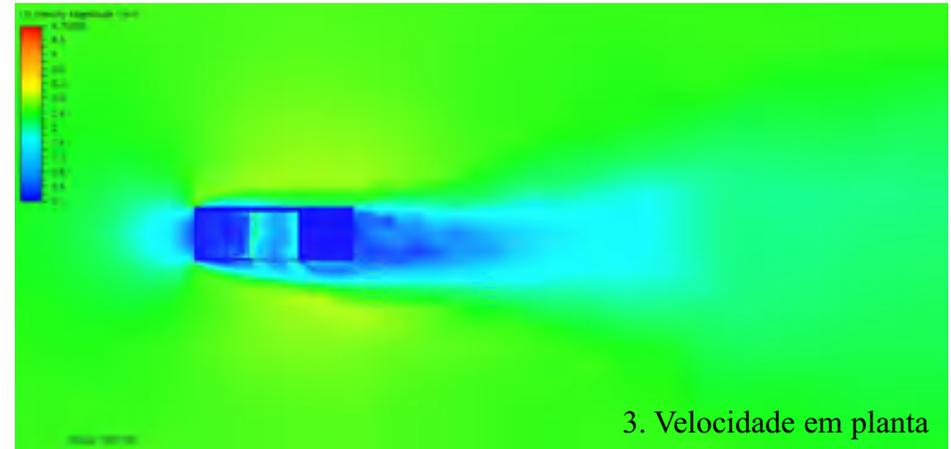
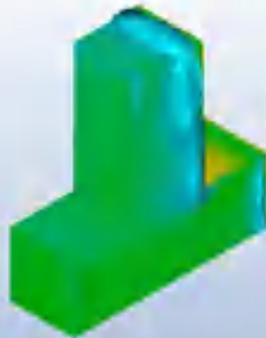
Hipótese 3: Abertura zenital com barreira



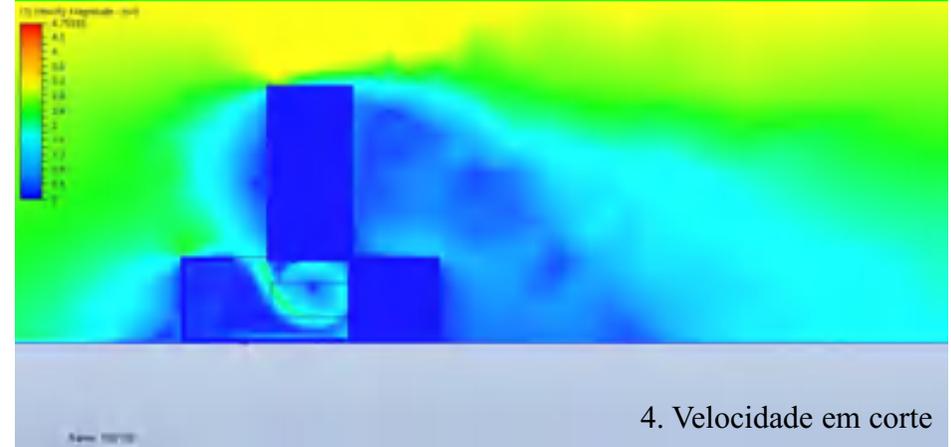
1. Coeficiente de pressão



2. Superfícies de pressão



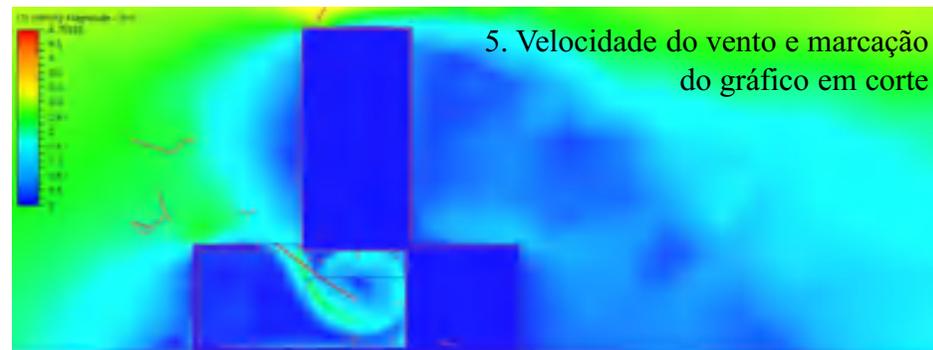
3. Velocidade em planta



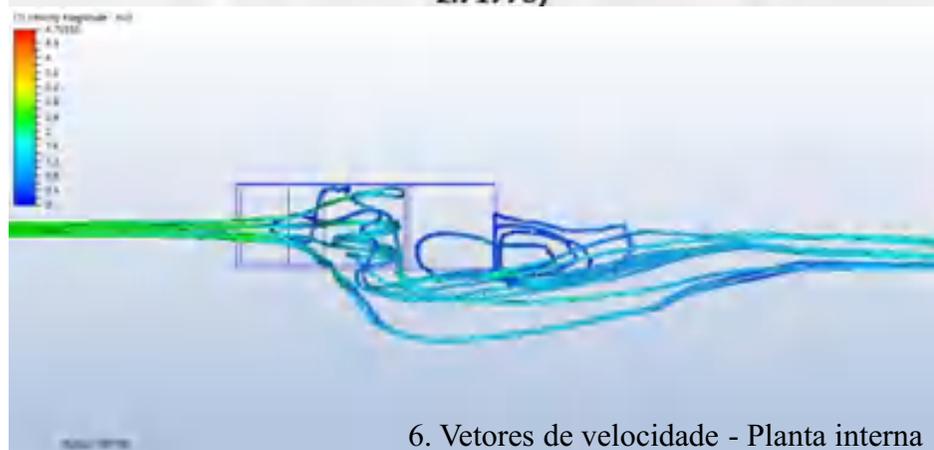
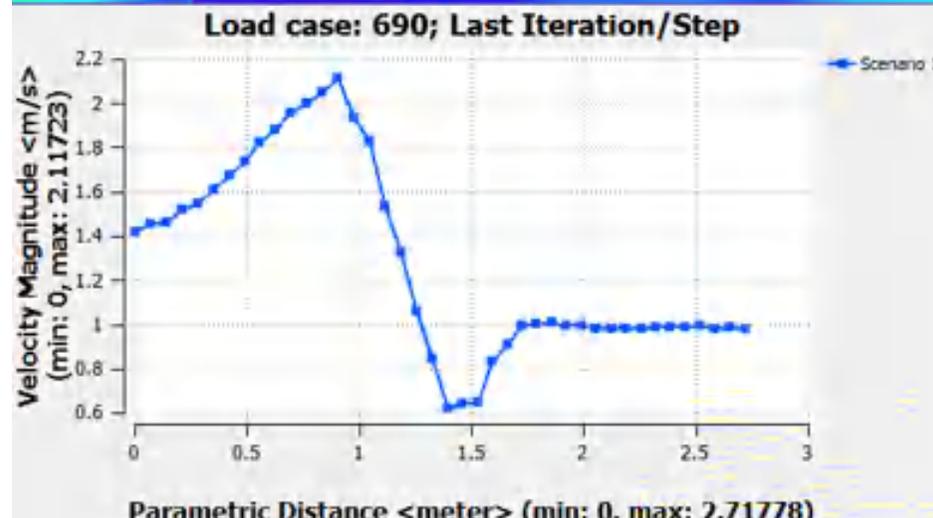
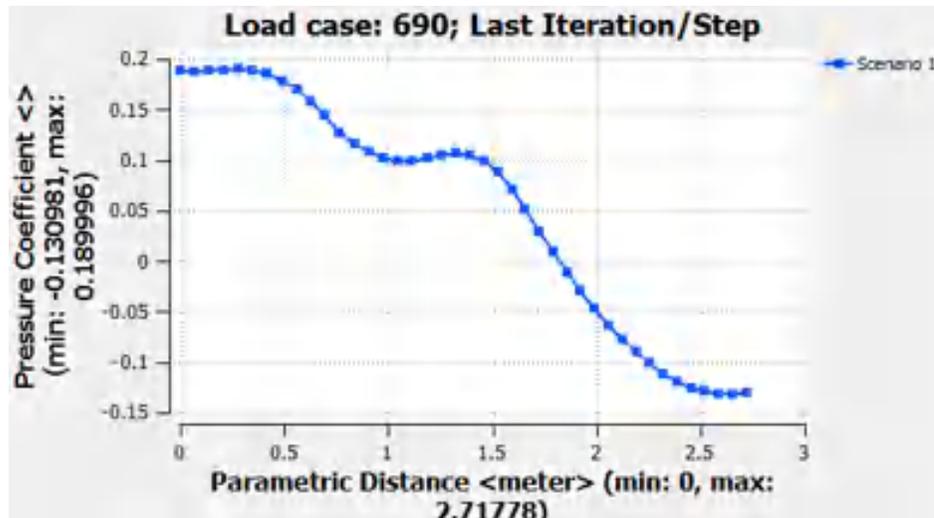
4. Velocidade em corte



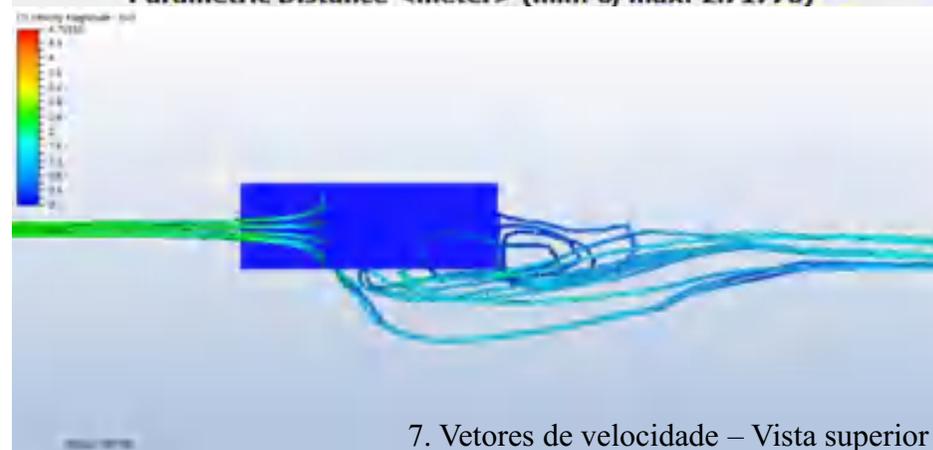
Hipótese 3: Abertura zenital com barreira



5. Velocidade do vento e marcação do gráfico em corte



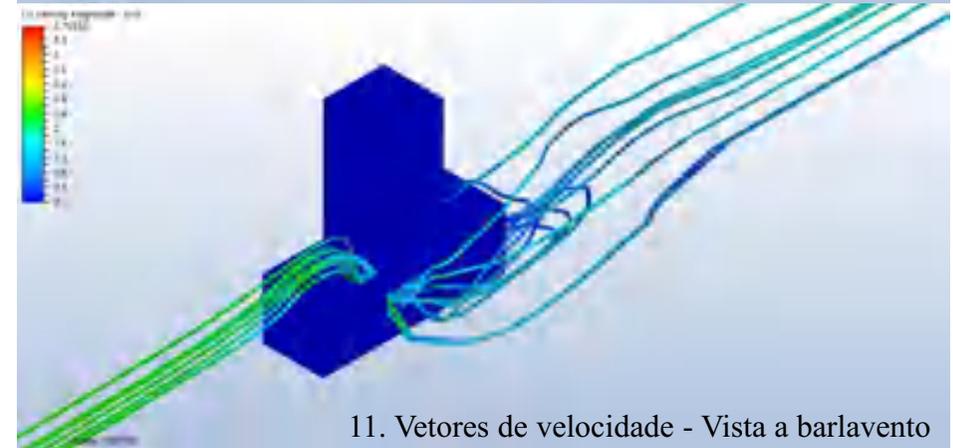
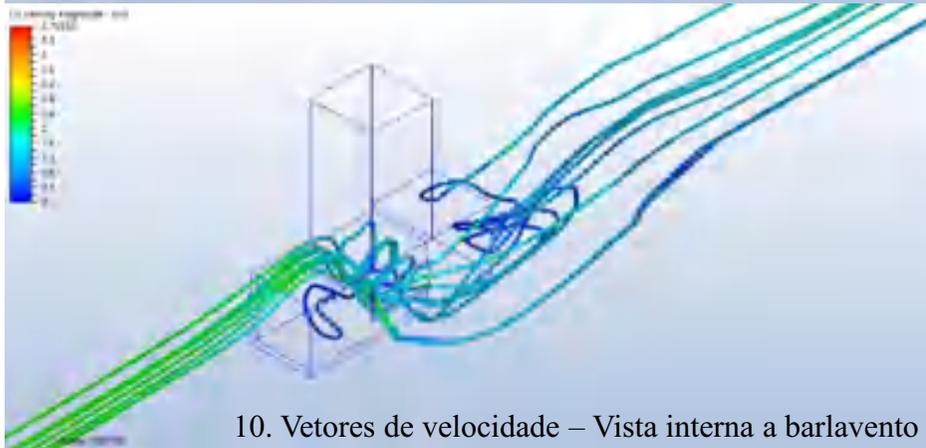
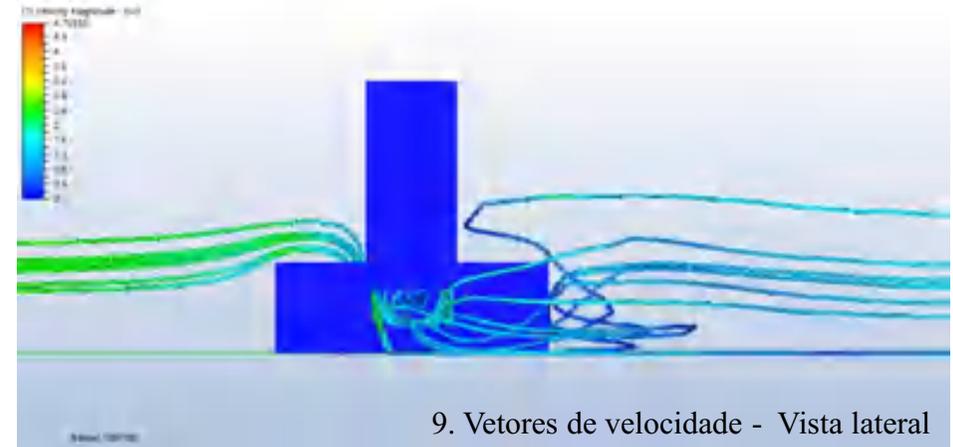
6. Vetores de velocidade - Planta interna



7. Vetores de velocidade – Vista superior



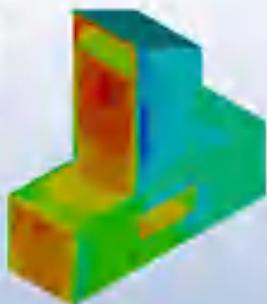
Hipótese 3: Abertura zenital com barreira



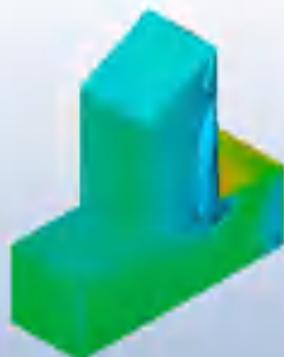
Hipótese 4: Torre de vento com coberta inclinada com 9m



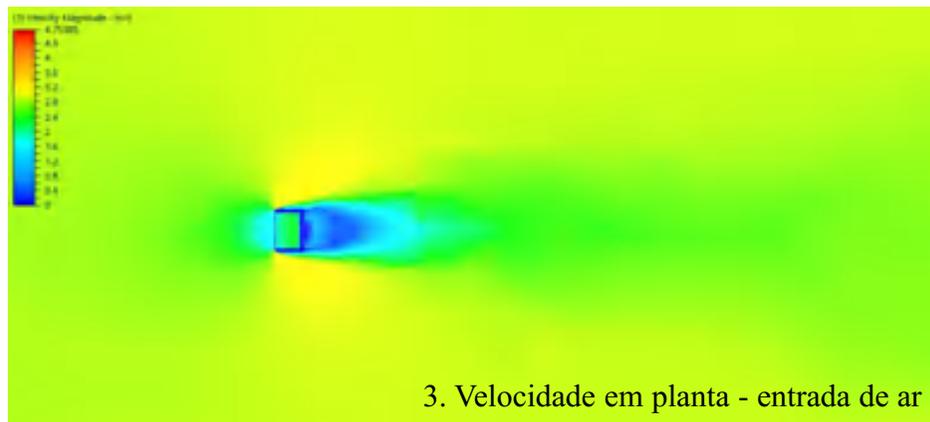
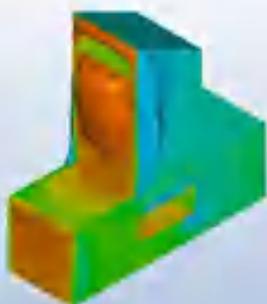
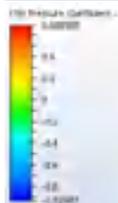
1. Coeficiente de pressão



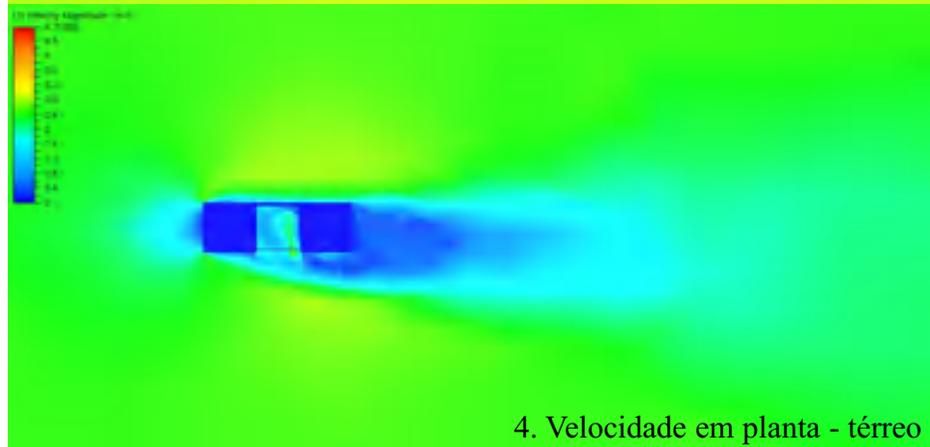
1. Coeficiente de pressão



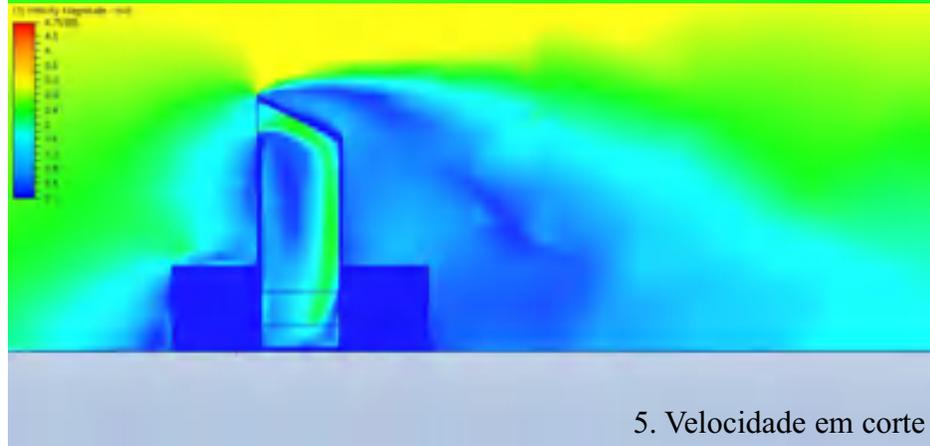
2. Superfícies de pressão



3. Velocidade em planta - entrada de ar



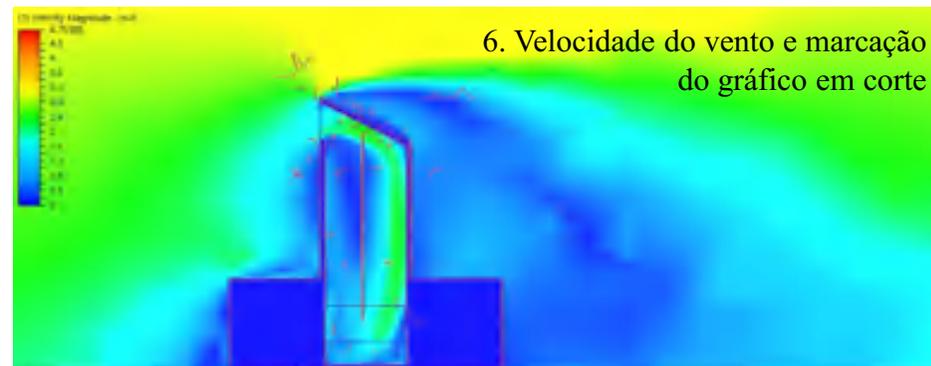
4. Velocidade em planta - térreo



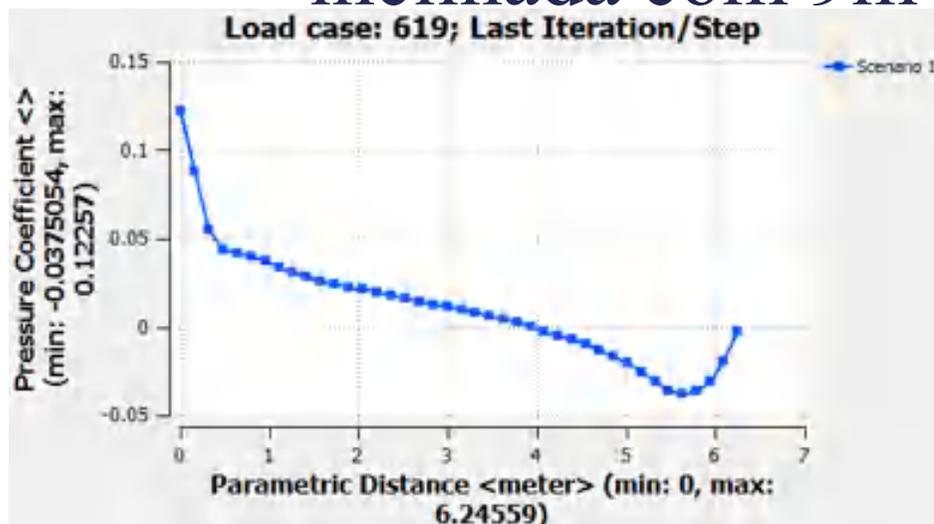
5. Velocidade em corte



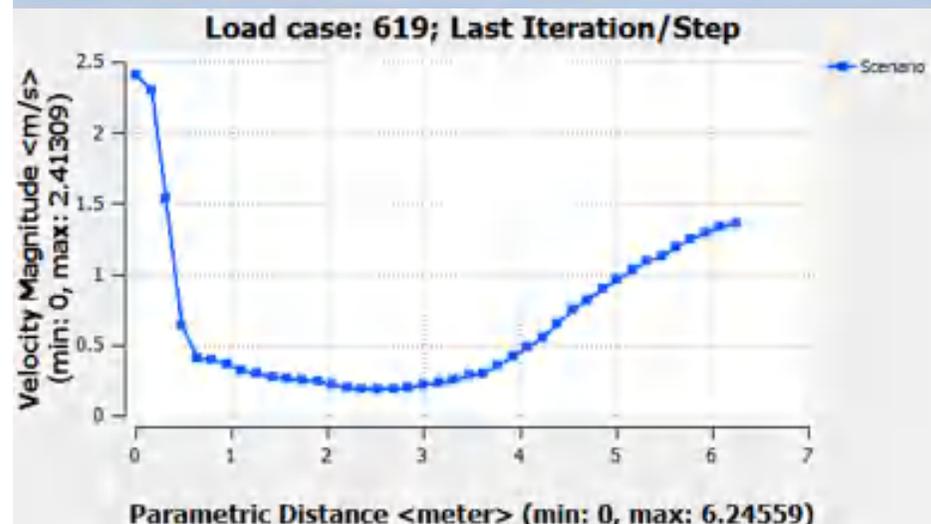
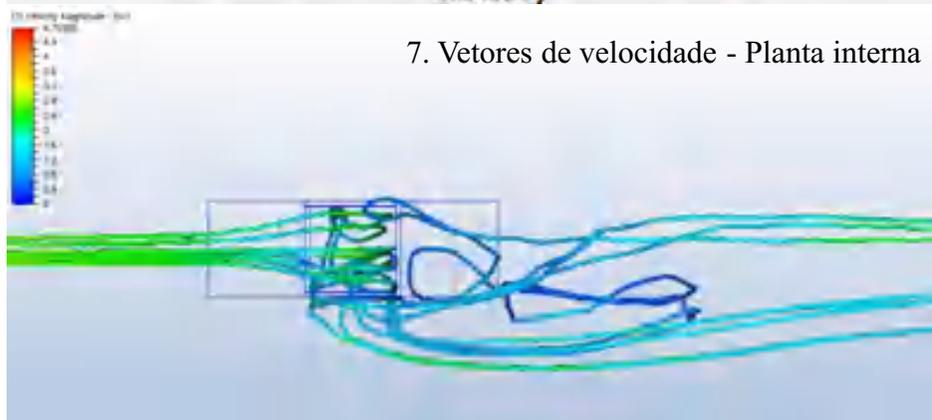
Hipótese 4: Torre de vento com cobertura inclinada com 9m



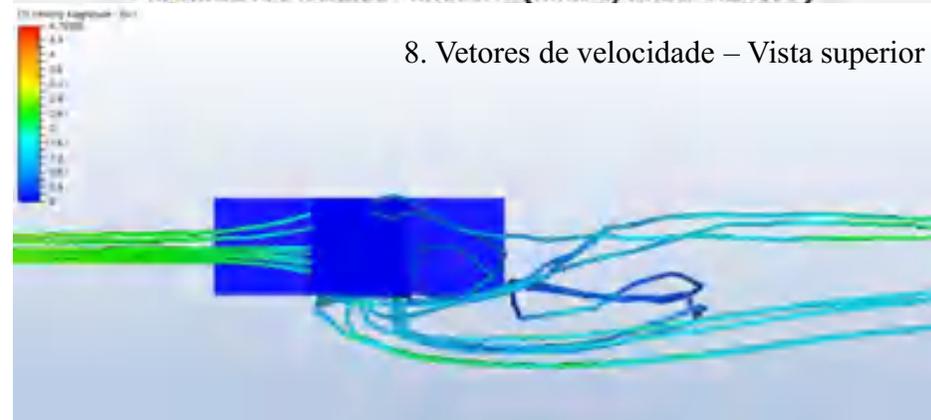
6. Velocidade do vento e marcação do gráfico em corte



7. Vetores de velocidade - Planta interna

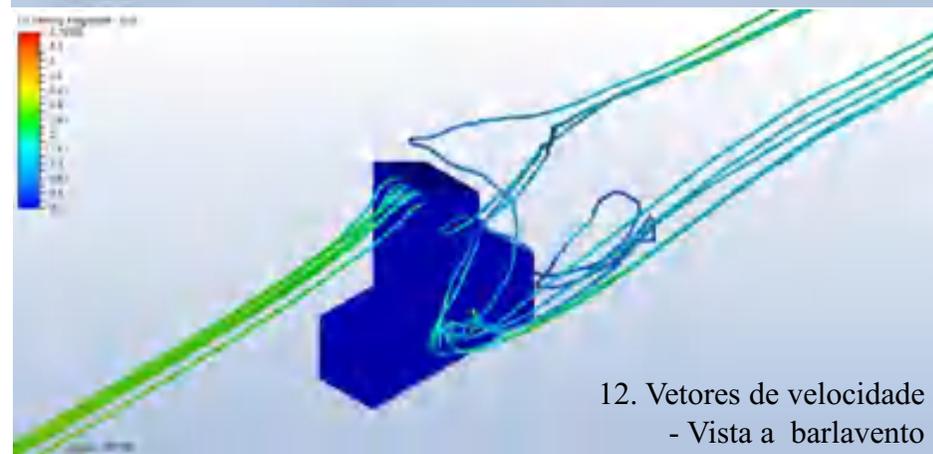
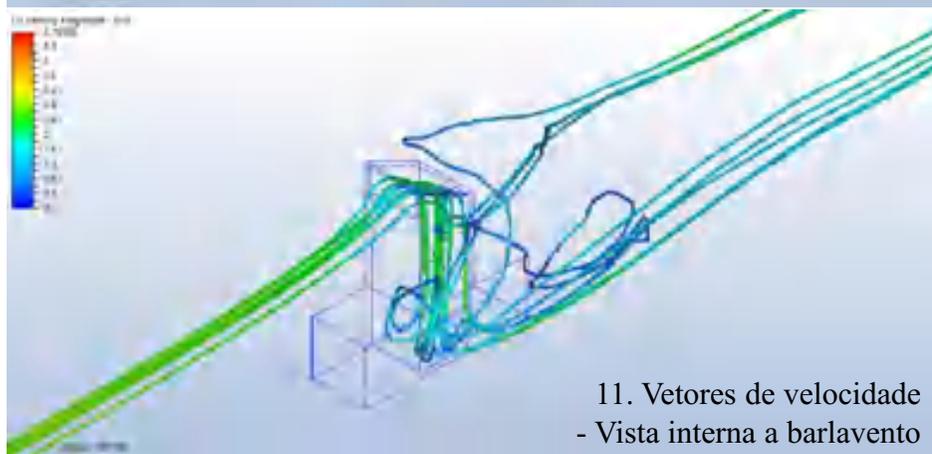
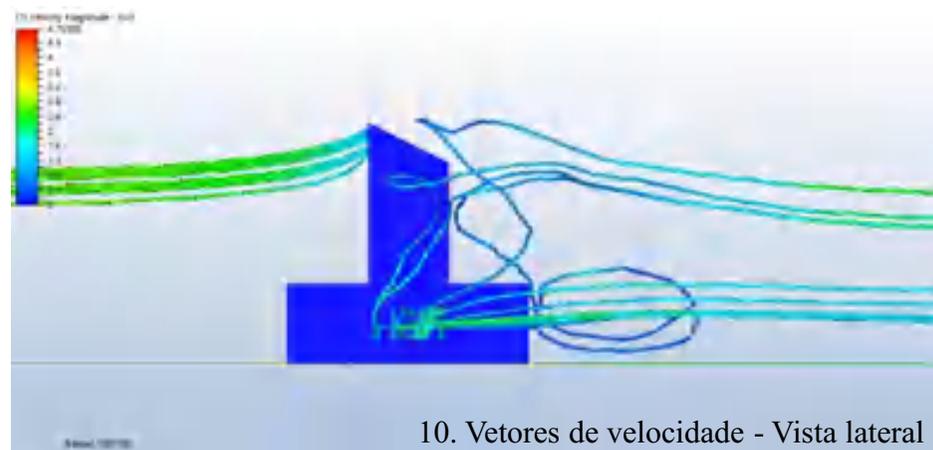
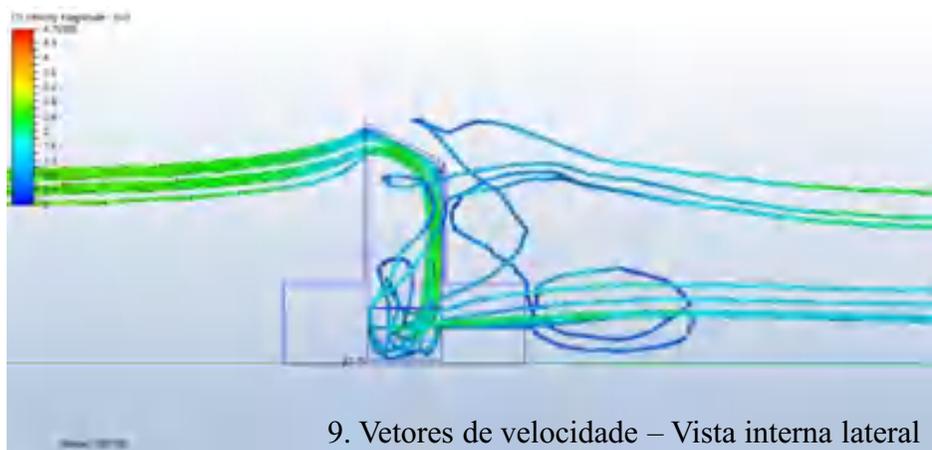


8. Vetores de velocidade – Vista superior





Hipótese 4: Torre de vento com coberta inclinada com 9m



FACES A 90° - POSITIVA

M25:l:PL



Hipótese 1: Torre de vento com janelas laterais

Hipótese 2: Torre de vento com janela de canto e lateral

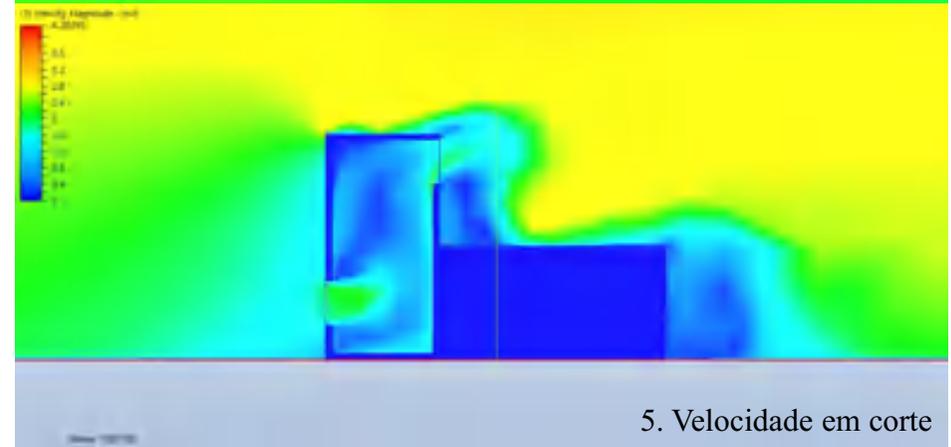
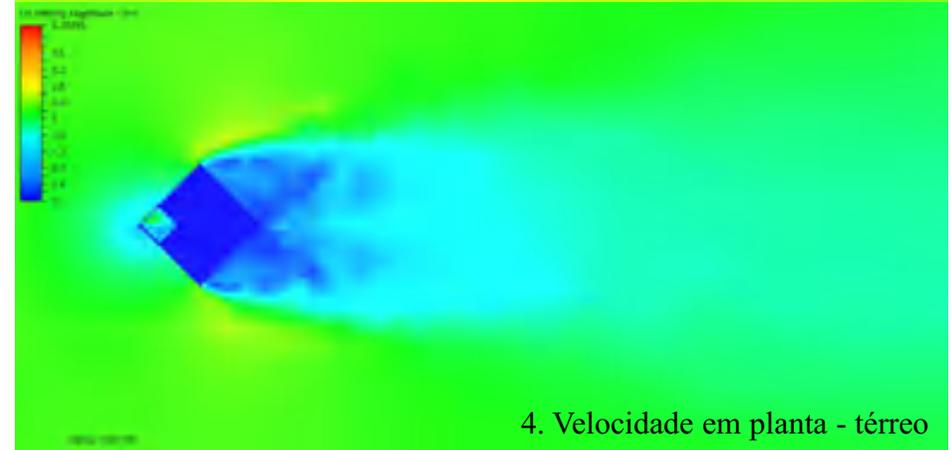
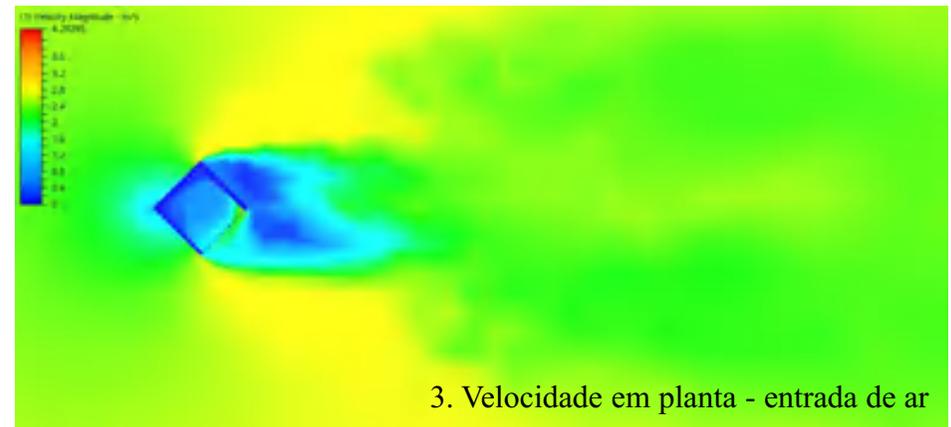
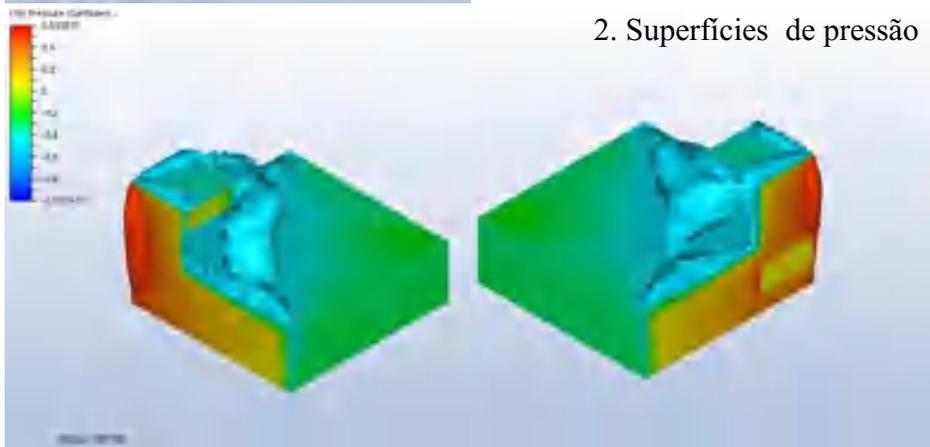
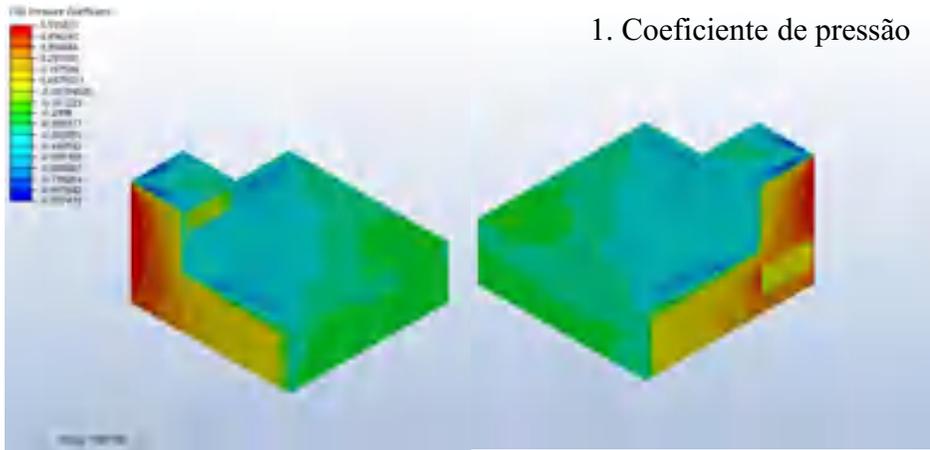
Hipótese 3: Torre de vento com janelas de canto

Hipótese 4: Abertura zenital

Hipótese 5: Anteparo com 2m

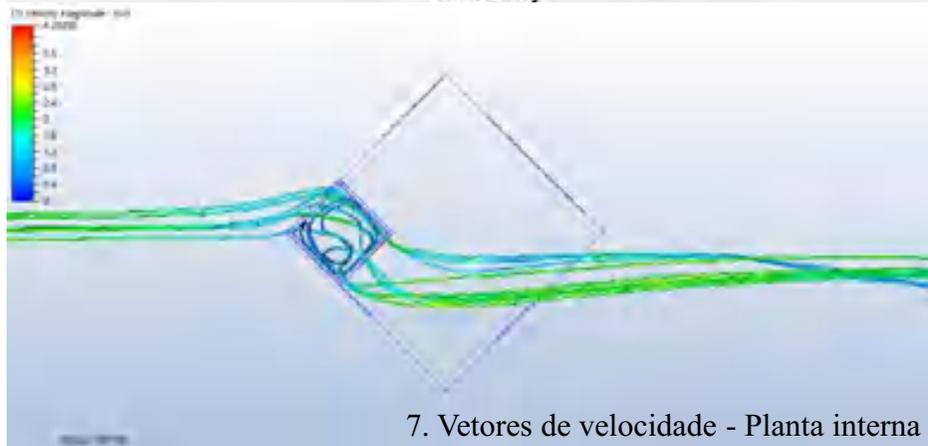
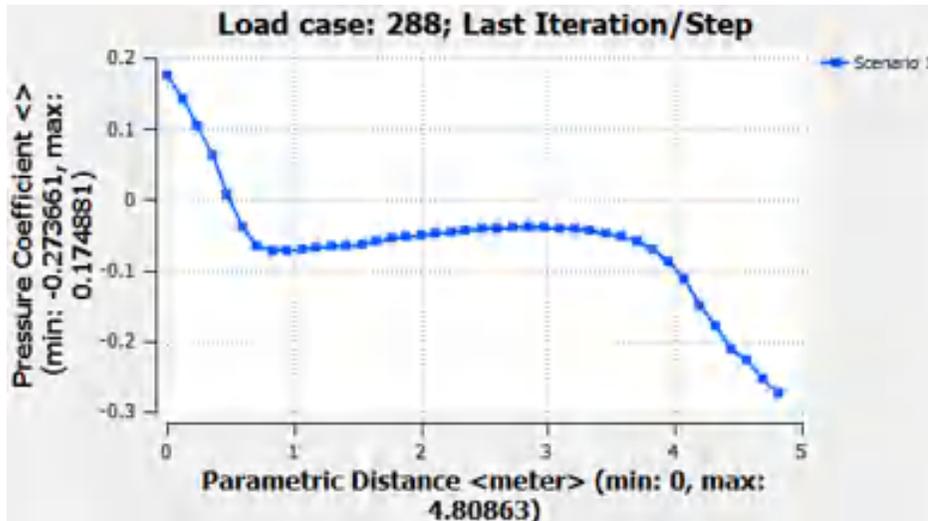


Hipótese 1: Torre de vento com janelas laterais

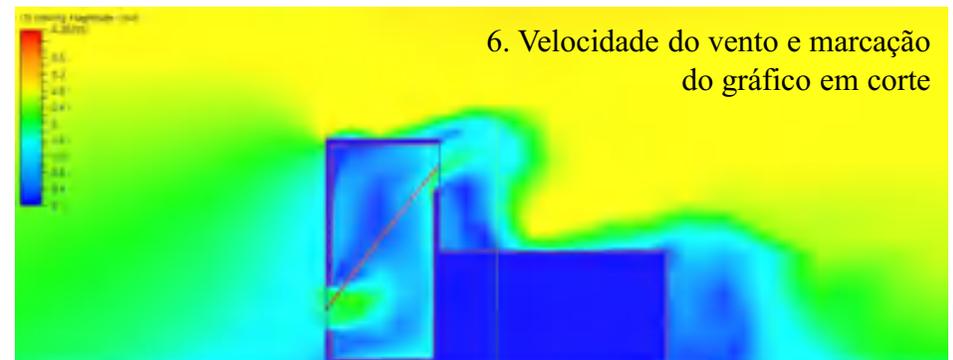




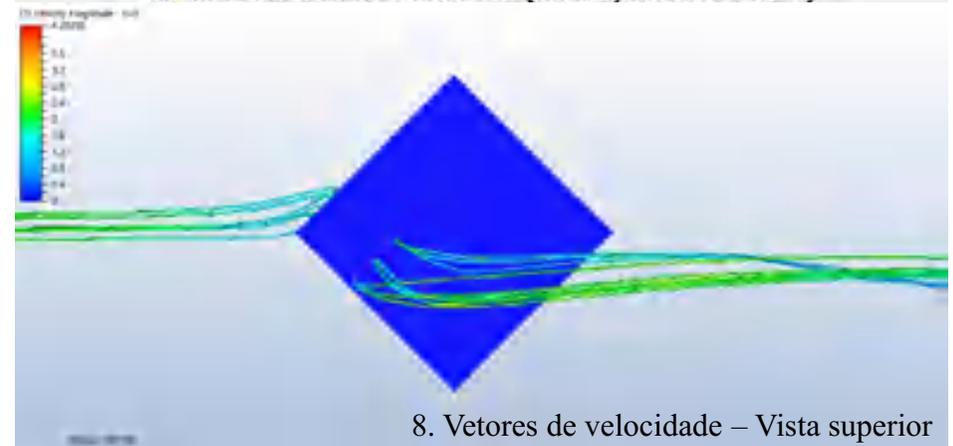
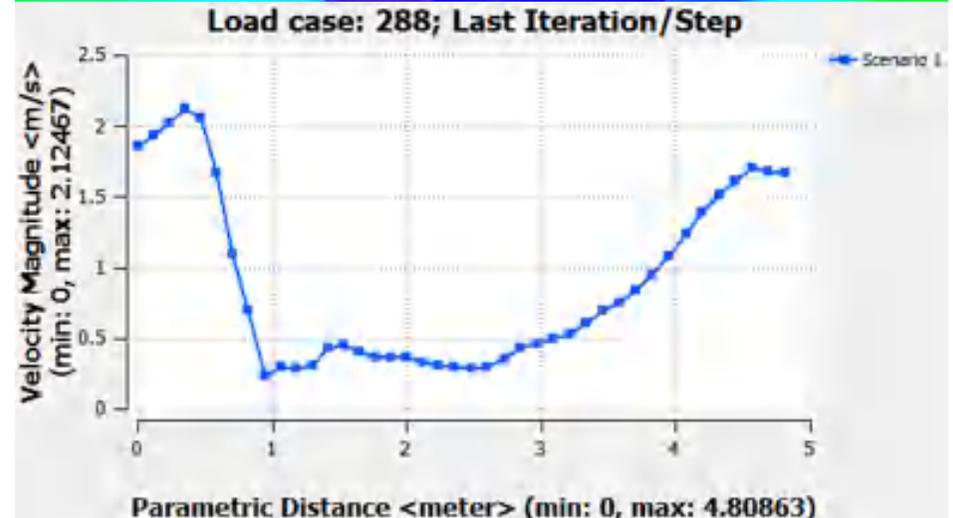
Hipótese 1: Torre de vento com janelas laterais



7. Vetores de velocidade - Planta interna



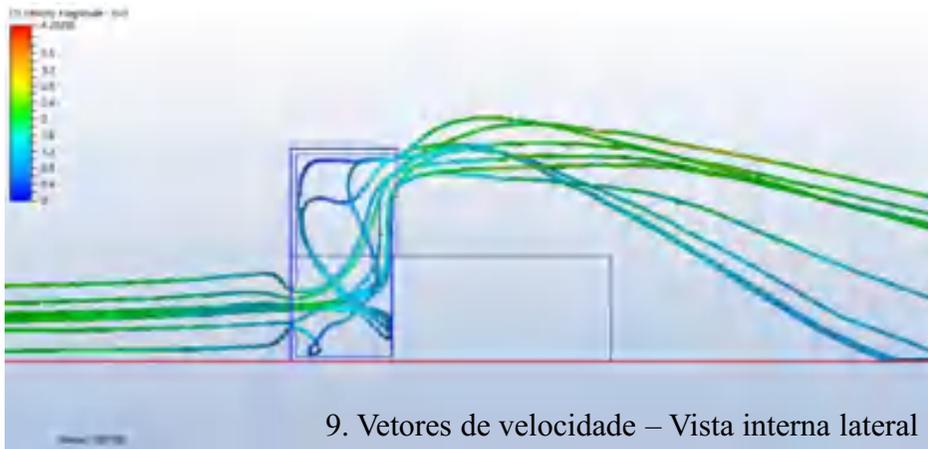
6. Velocidade do vento e marcação do gráfico em corte



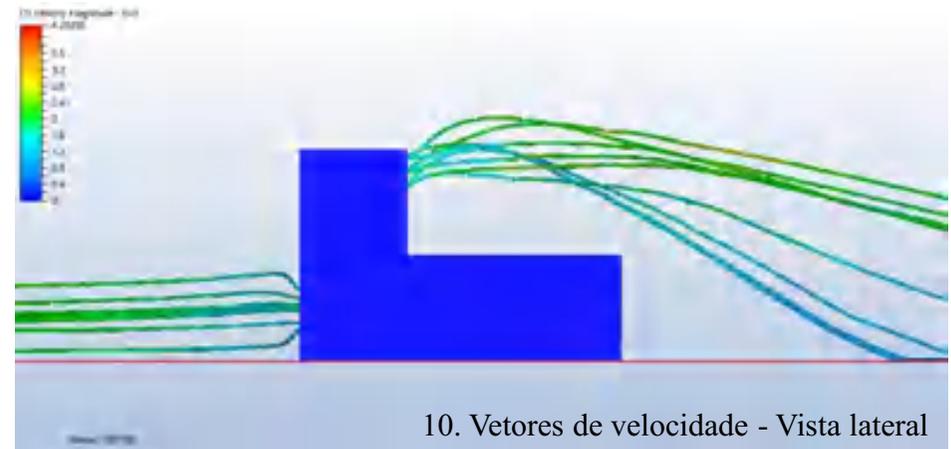
8. Vetores de velocidade – Vista superior



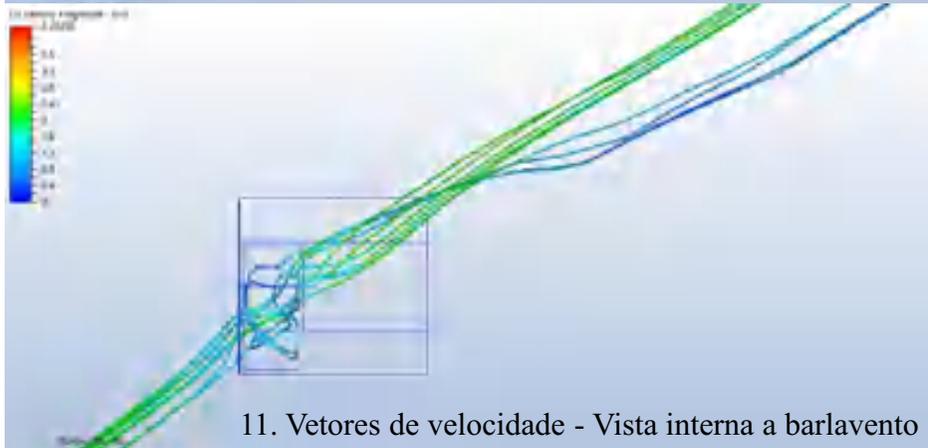
Hipótese 1: Torre de vento com janelas laterais



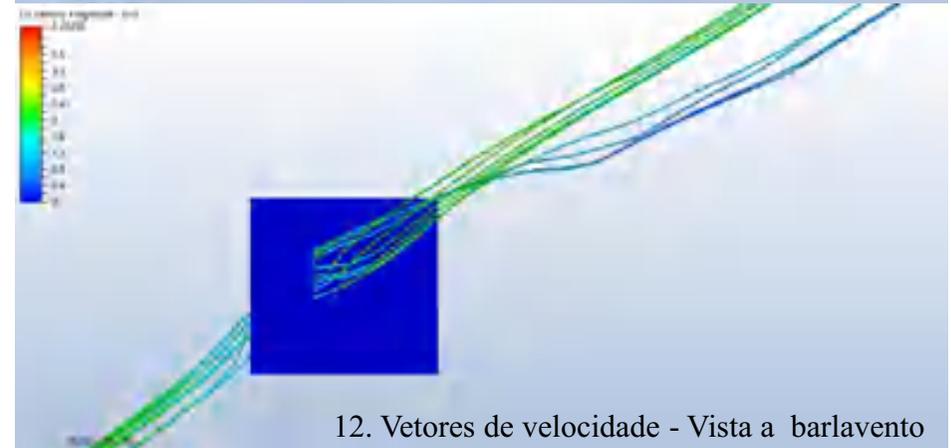
9. Vetores de velocidade – Vista interna lateral



10. Vetores de velocidade - Vista lateral



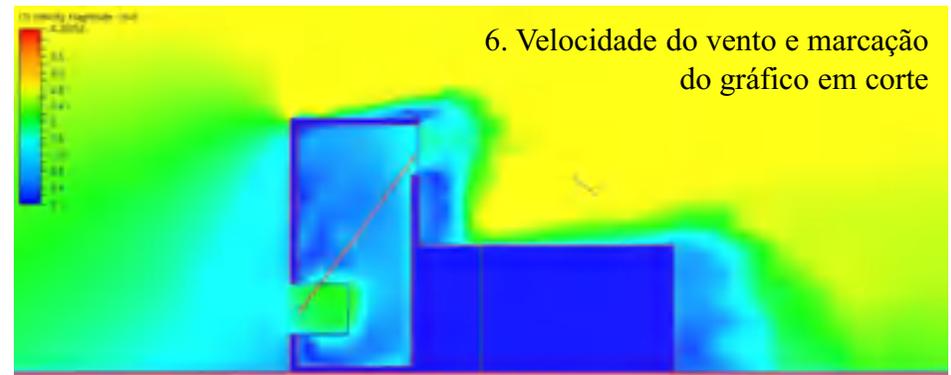
11. Vetores de velocidade - Vista interna a barlavento



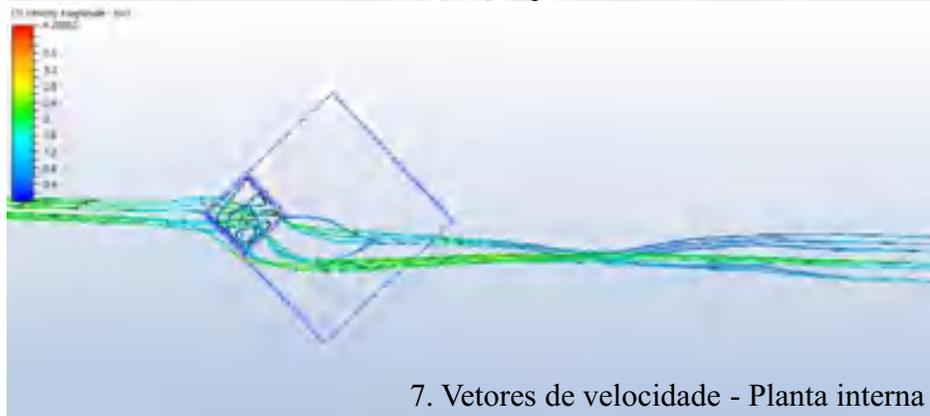
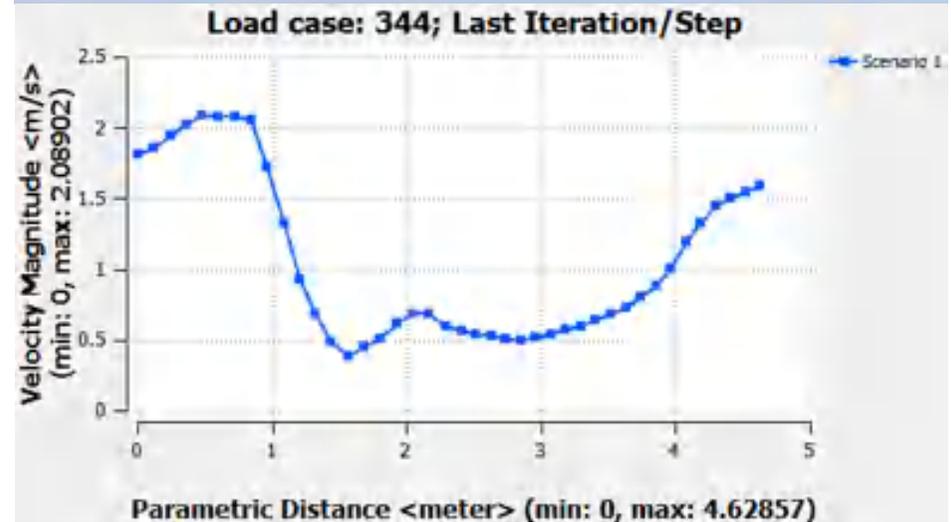
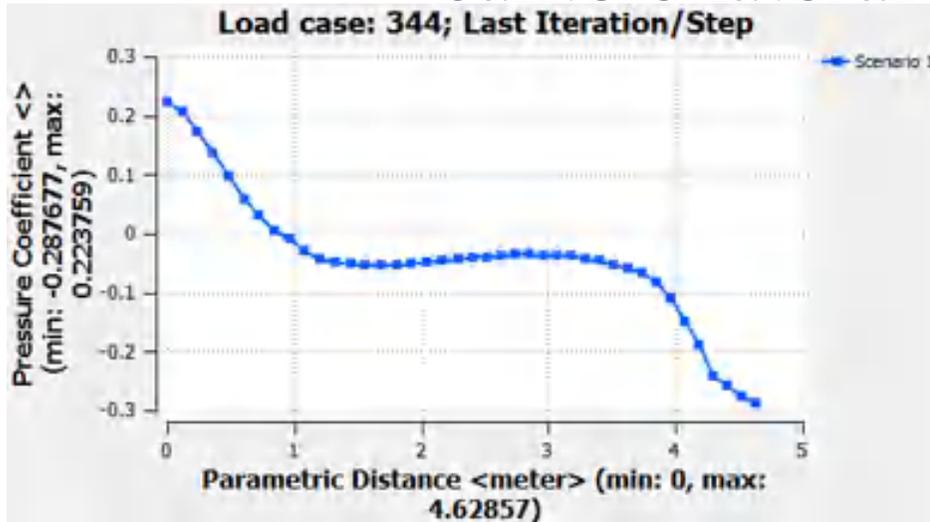
12. Vetores de velocidade - Vista a barlavento



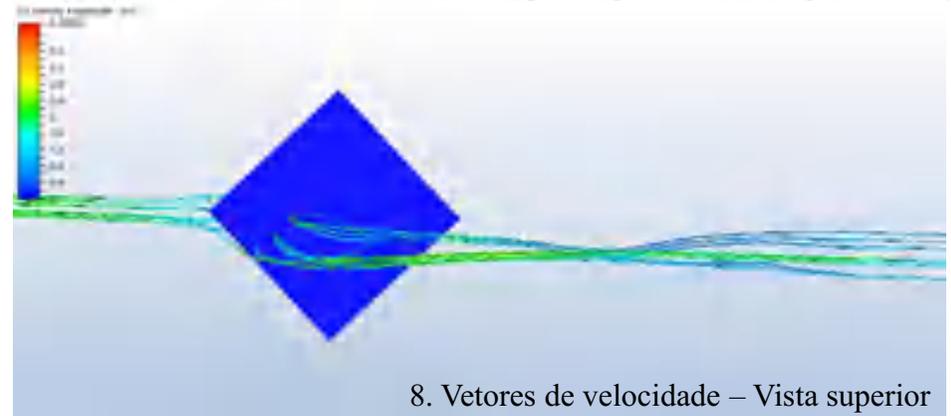
Hipótese 2: Torre de vento com janela de canto e lateral



6. Velocidade do vento e marcação do gráfico em corte



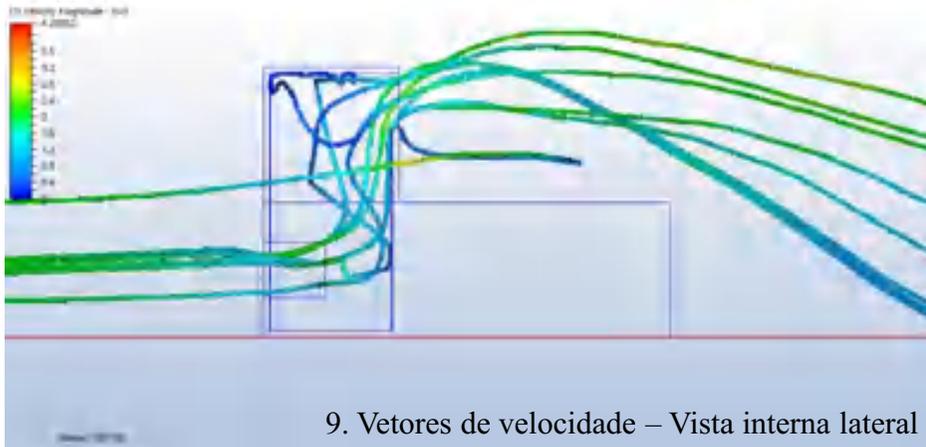
7. Vetores de velocidade - Planta interna



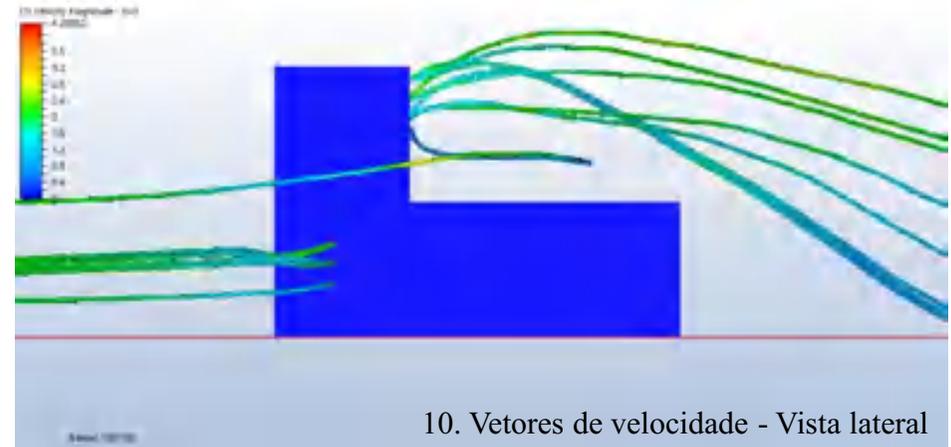
8. Vetores de velocidade - Vista superior



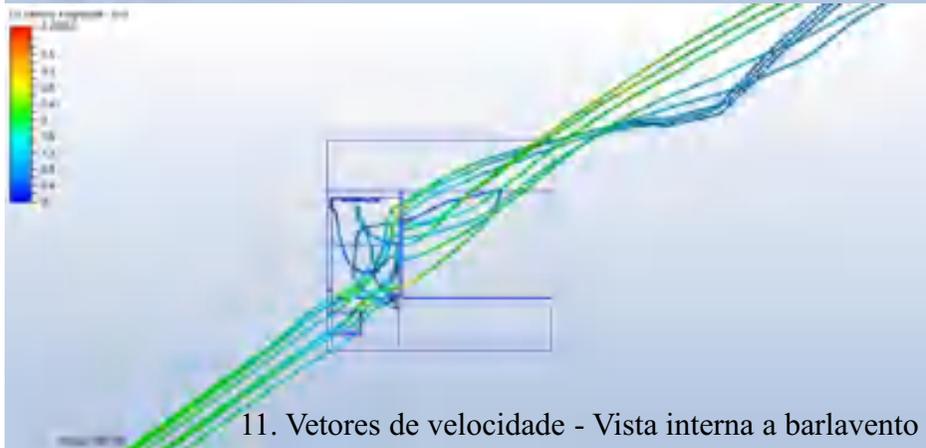
Hipótese 2: Torre de vento com janela de canto e lateral



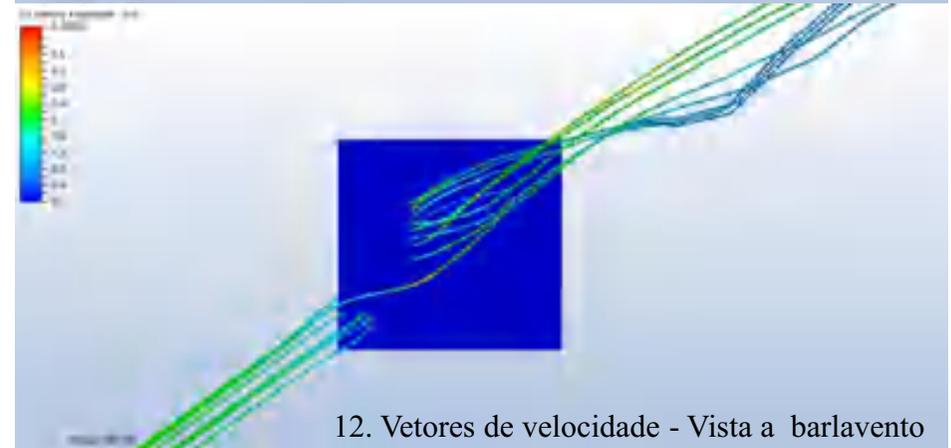
9. Vetores de velocidade – Vista interna lateral



10. Vetores de velocidade - Vista lateral



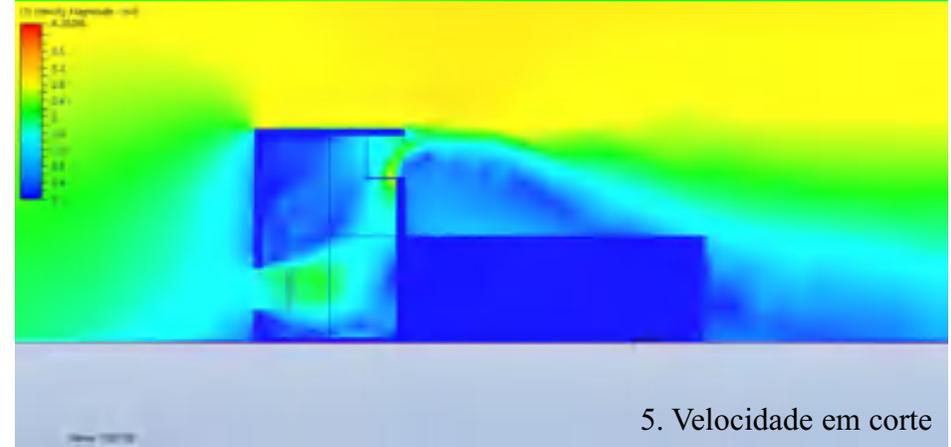
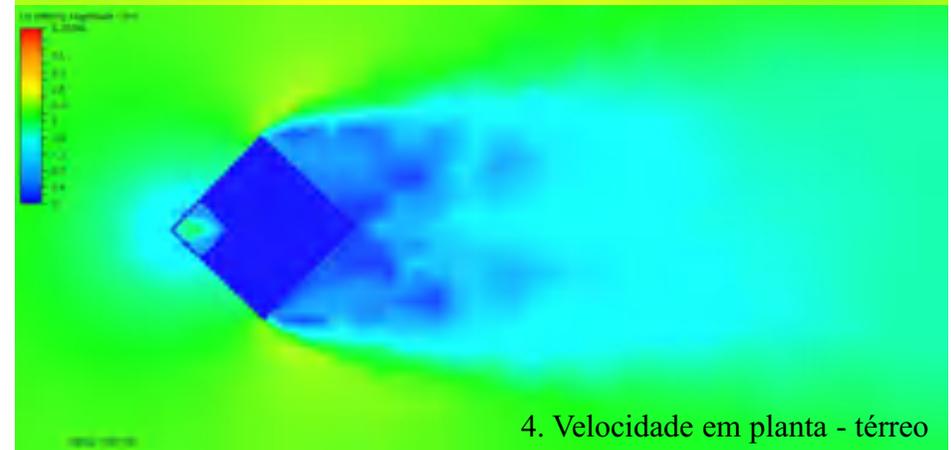
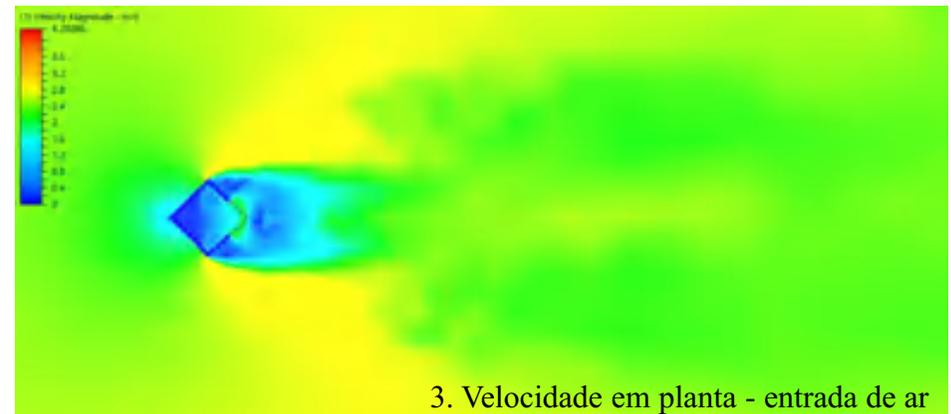
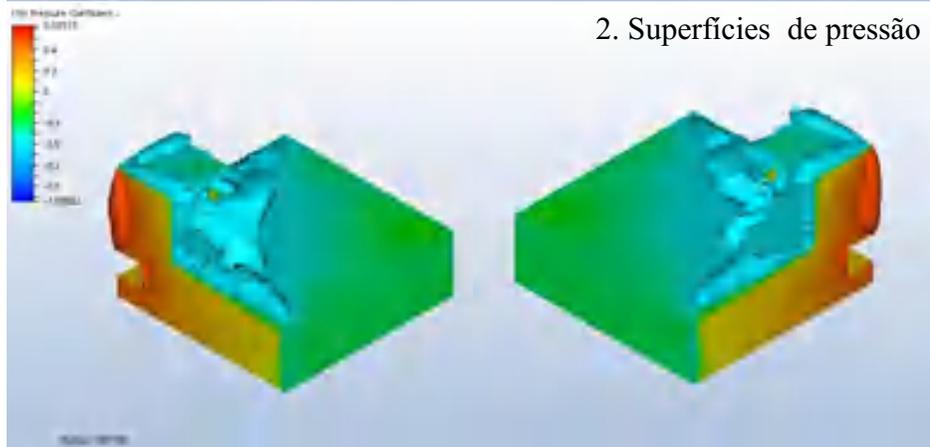
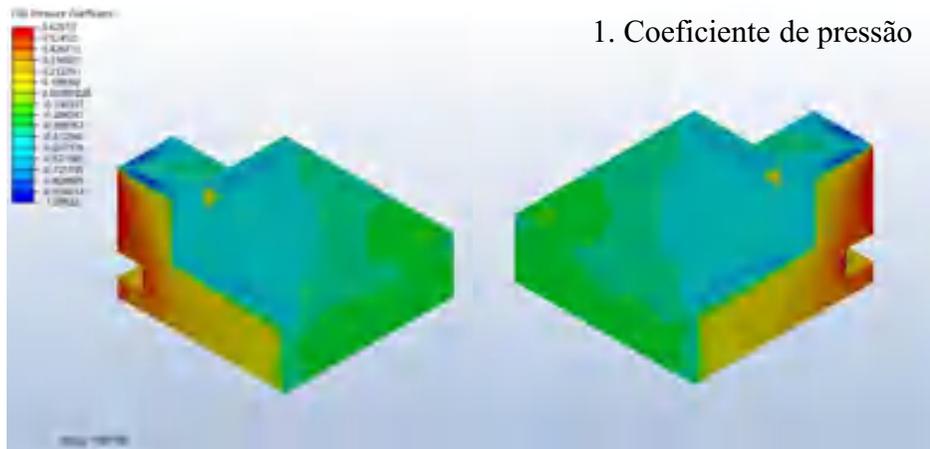
11. Vetores de velocidade - Vista interna a barlavento



12. Vetores de velocidade - Vista a barlavento

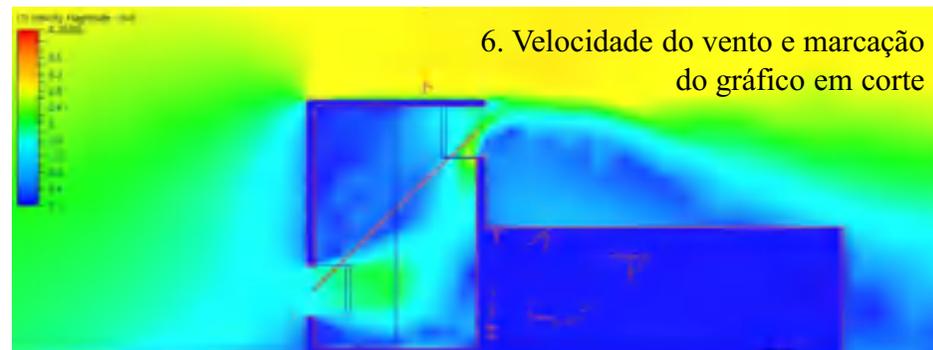


Hipótese 3: Torre de vento com janelas de canto

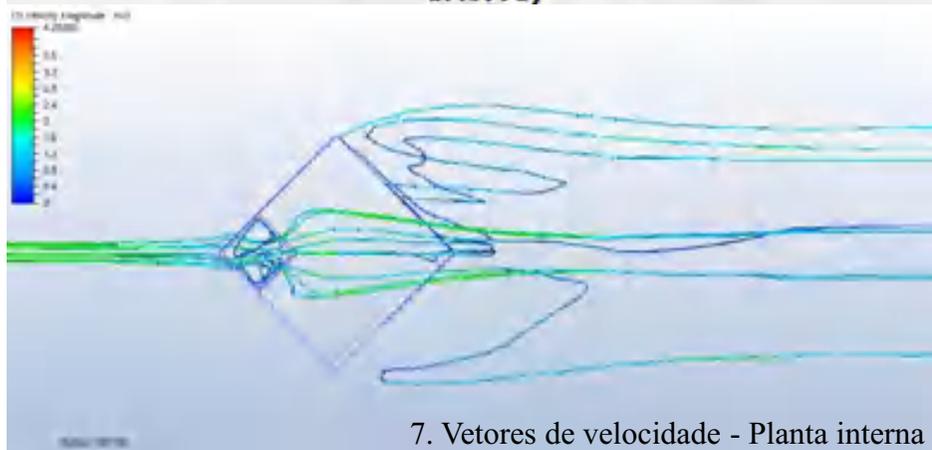
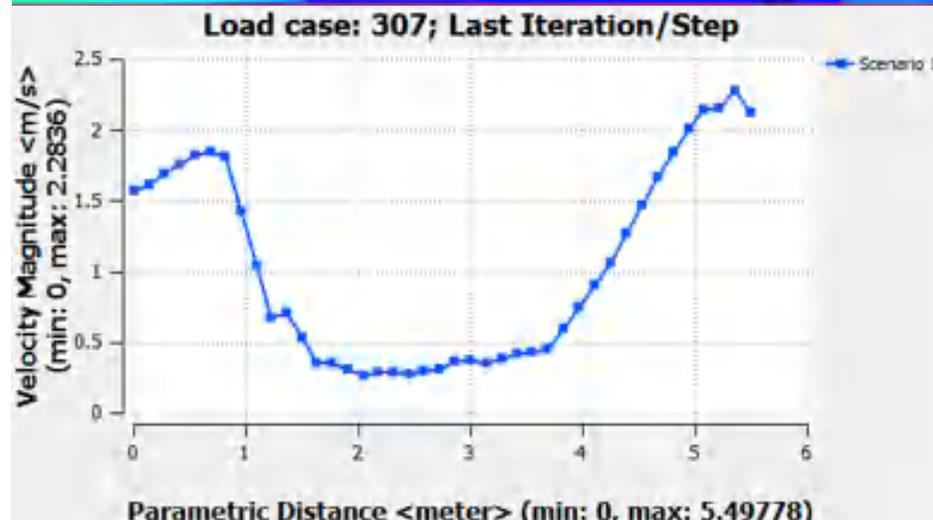
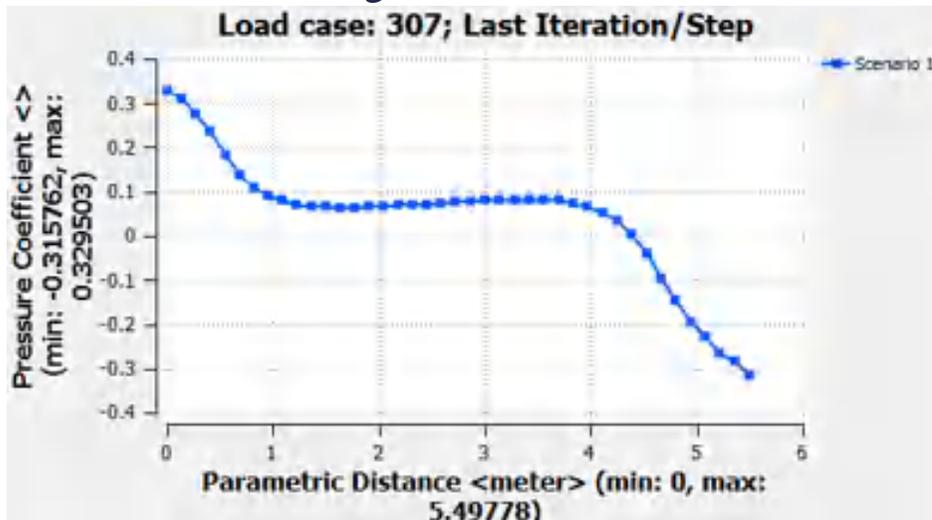




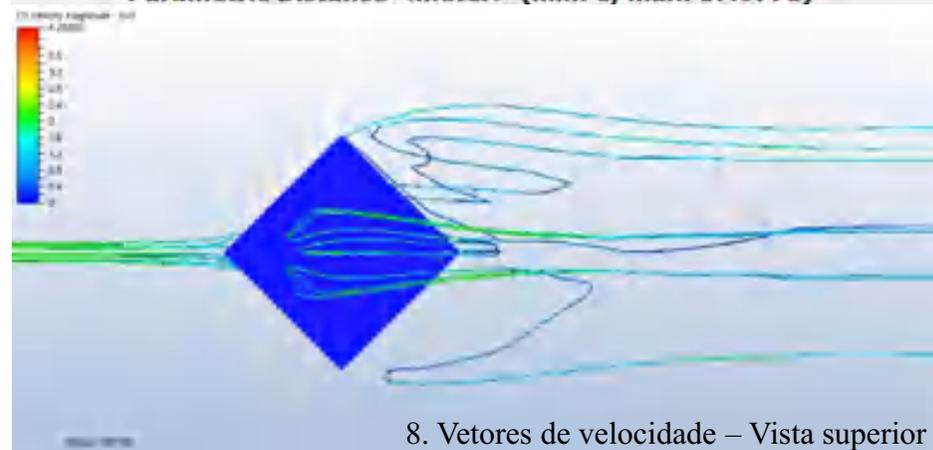
Hipótese 3: Torre de vento com janelas de canto



6. Velocidade do vento e marcação do gráfico em corte



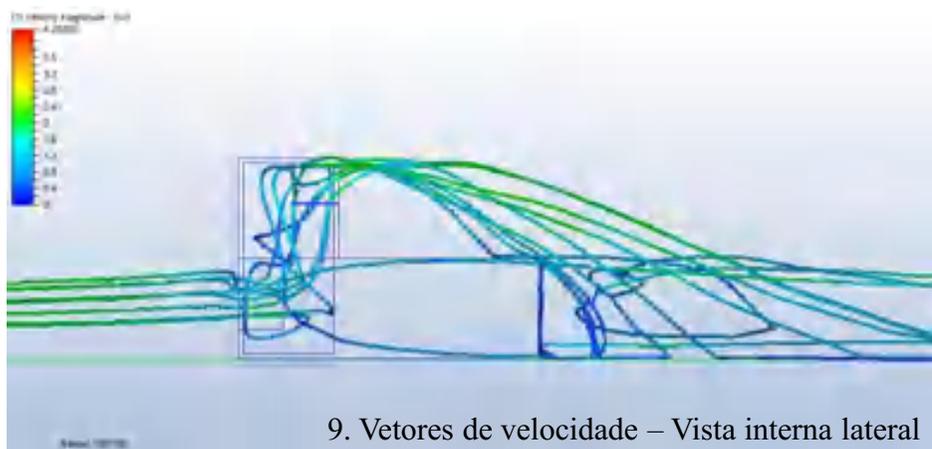
7. Vetores de velocidade - Planta interna



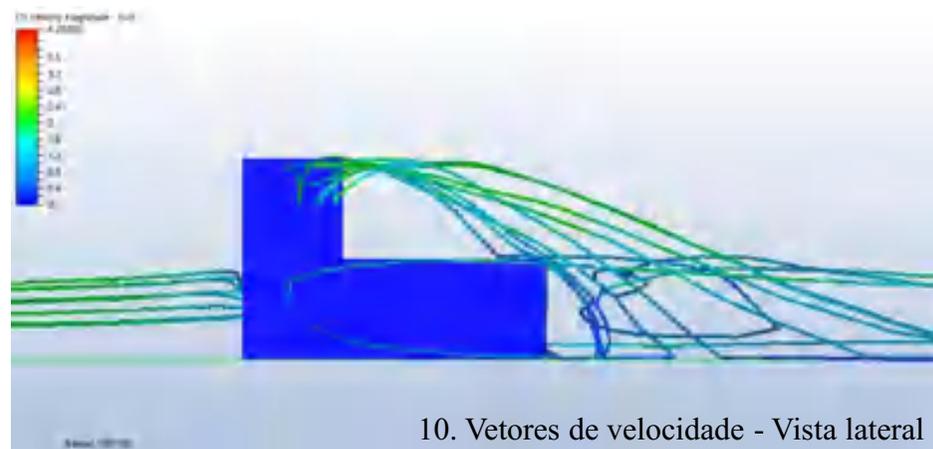
8. Vetores de velocidade – Vista superior



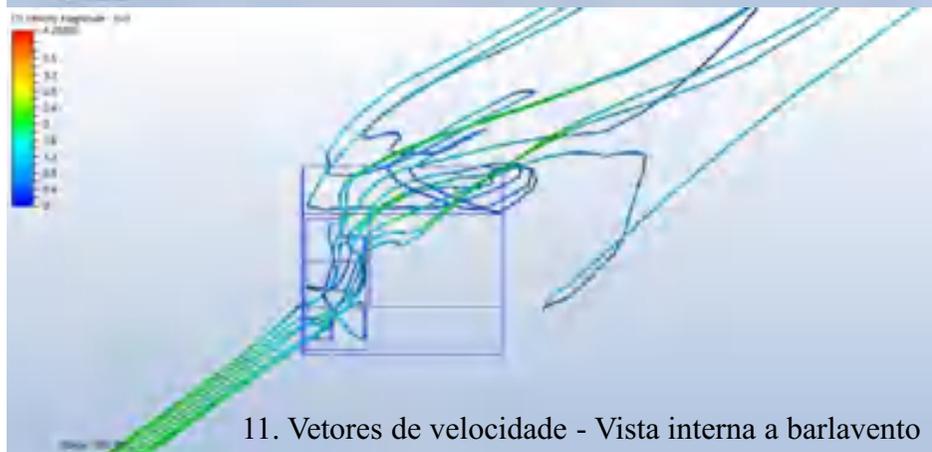
Hipótese 3: Torre de vento com janelas de canto



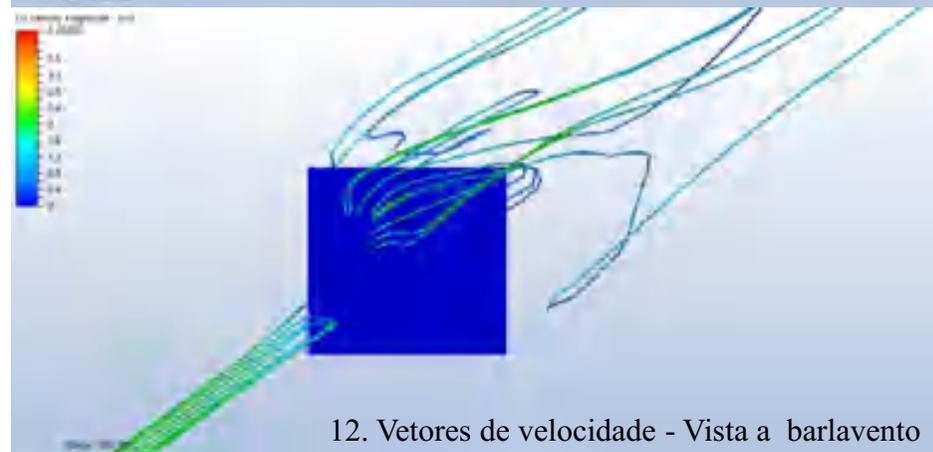
9. Vetores de velocidade – Vista interna lateral



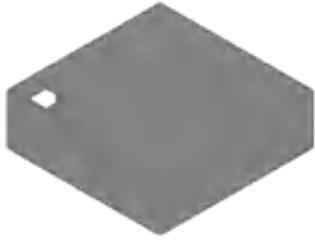
10. Vetores de velocidade - Vista lateral



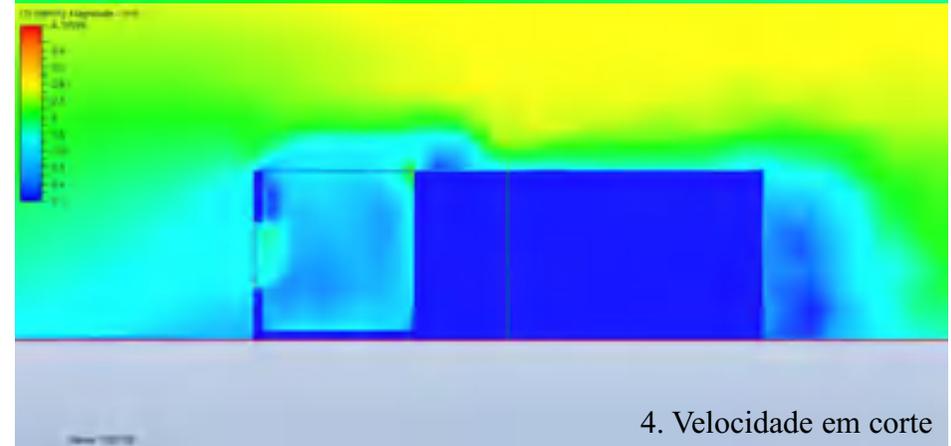
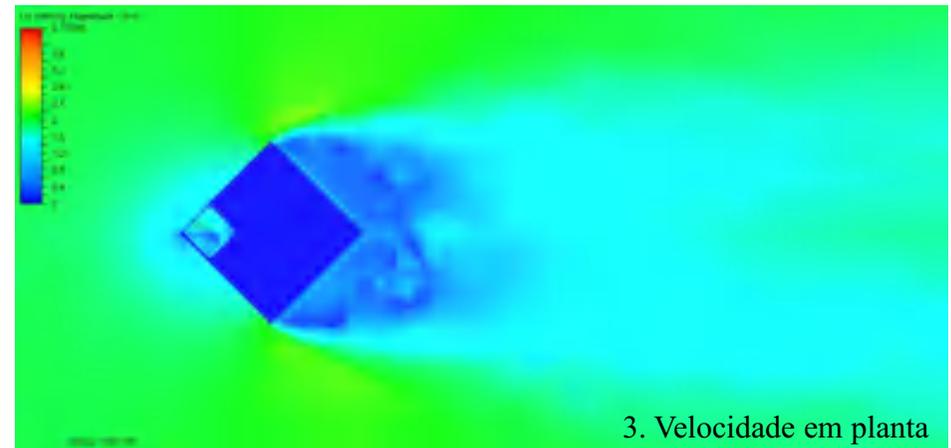
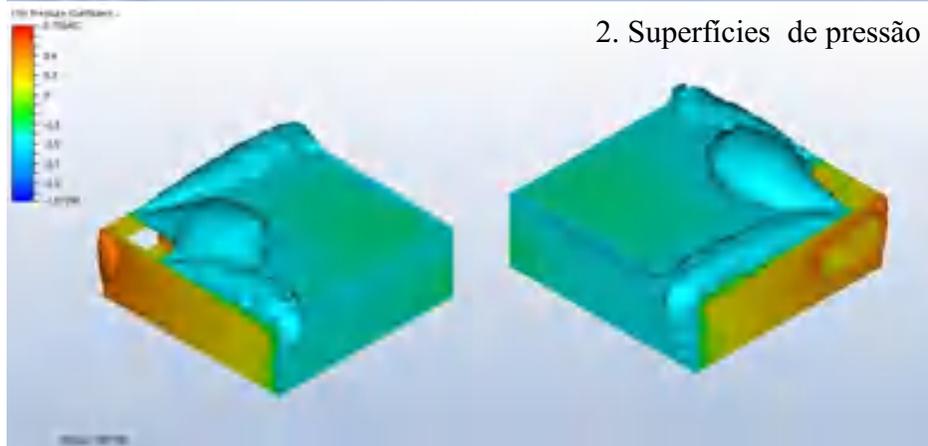
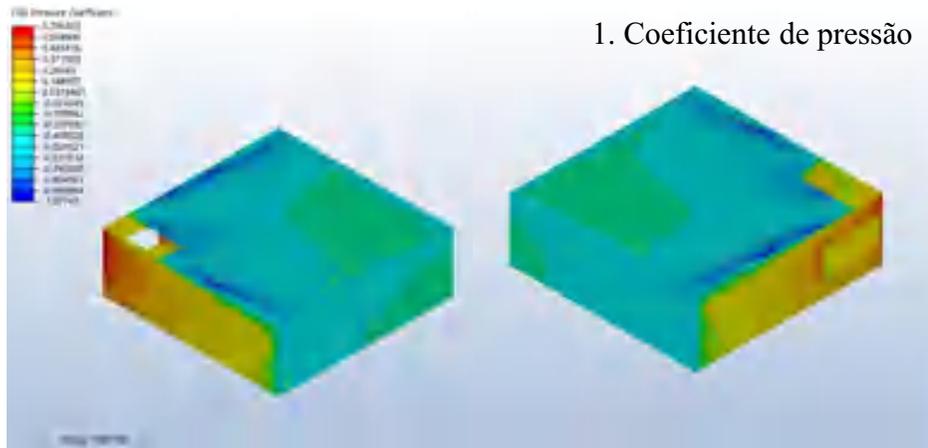
11. Vetores de velocidade - Vista interna a barlavento

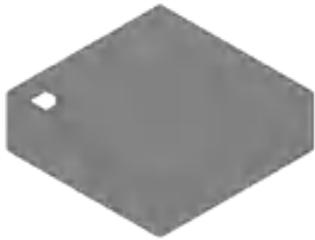


12. Vetores de velocidade - Vista a barlavento

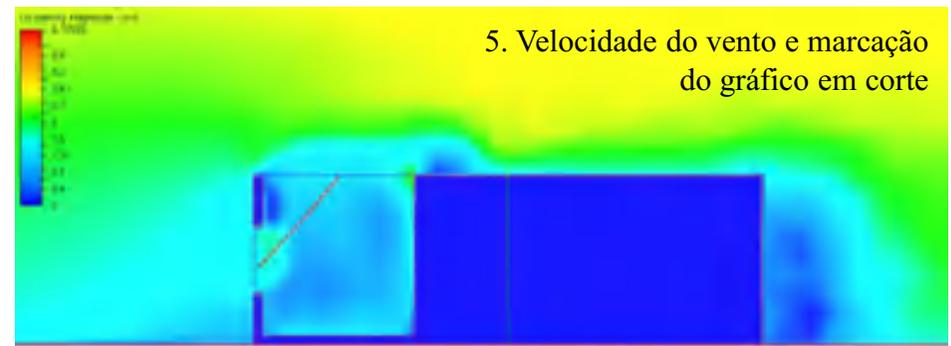


Hipótese 4: Abertura zenital

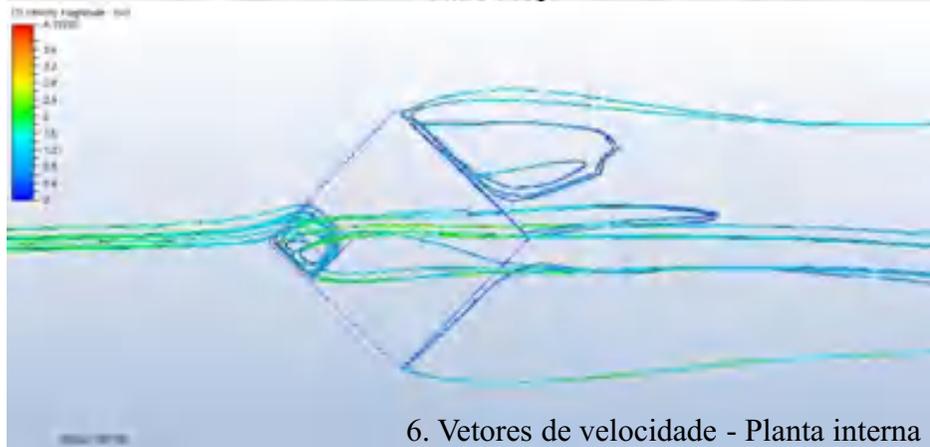
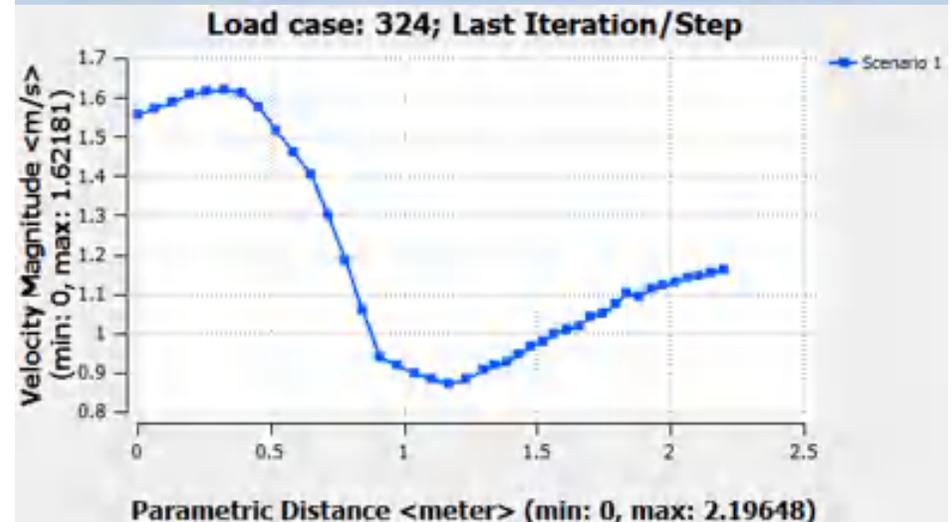
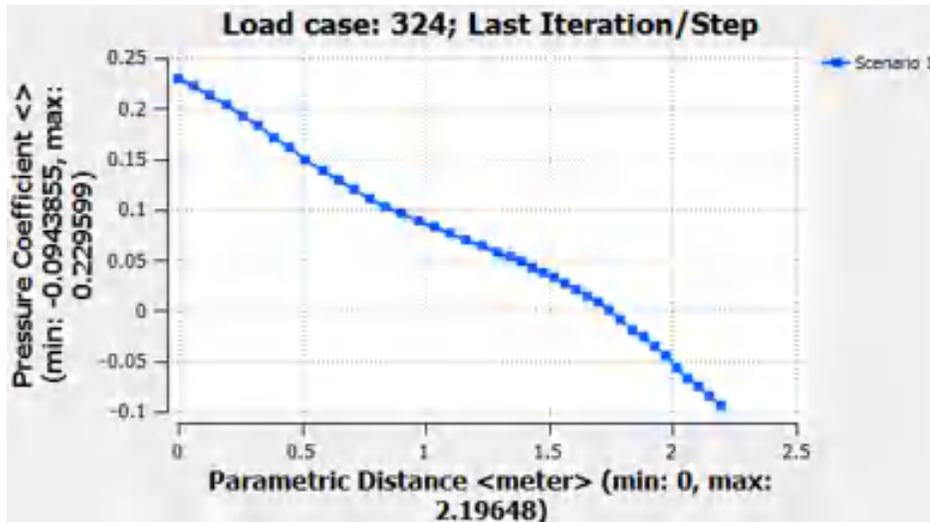




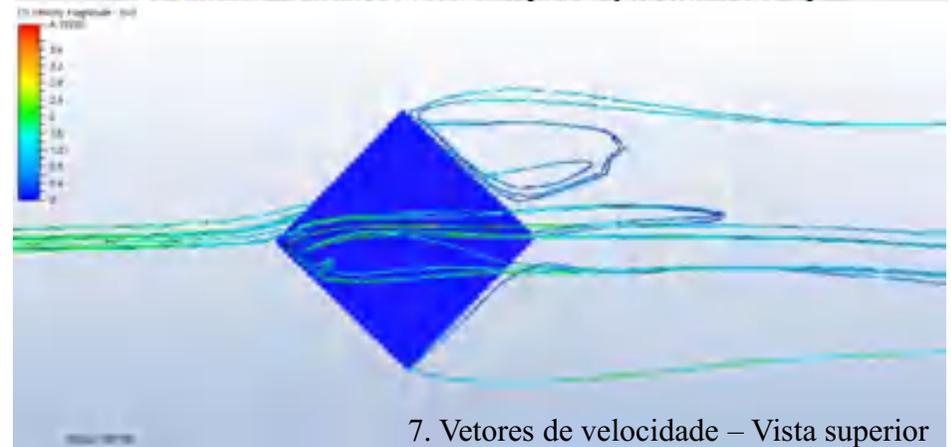
Hipótese 4: Abertura zenital



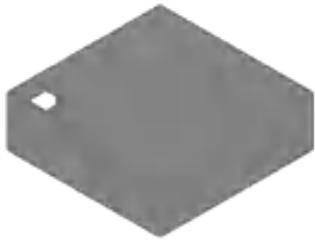
5. Velocidade do vento e marcação do gráfico em corte



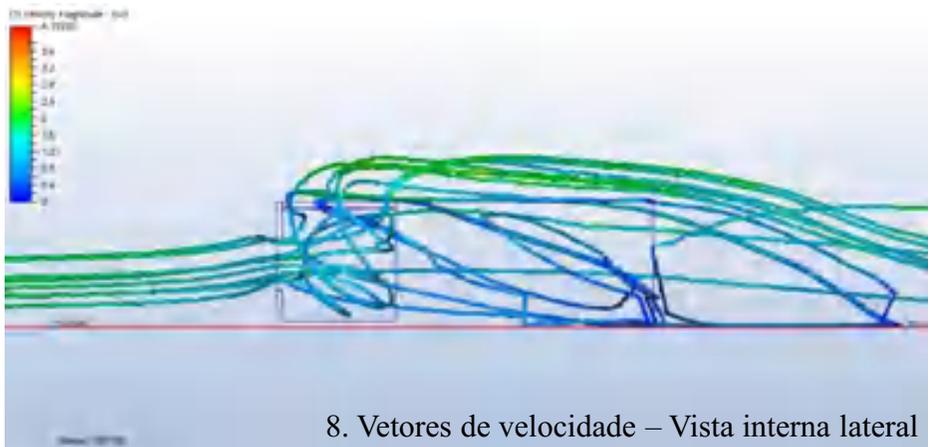
6. Vetores de velocidade - Planta interna



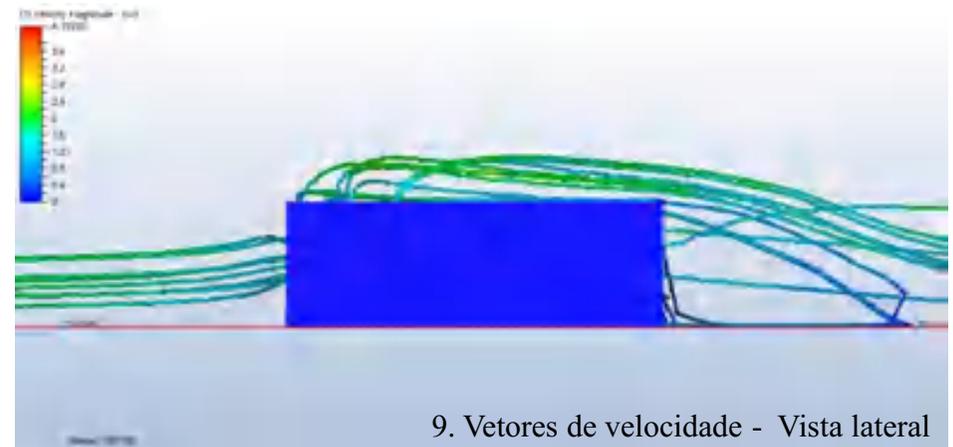
7. Vetores de velocidade – Vista superior



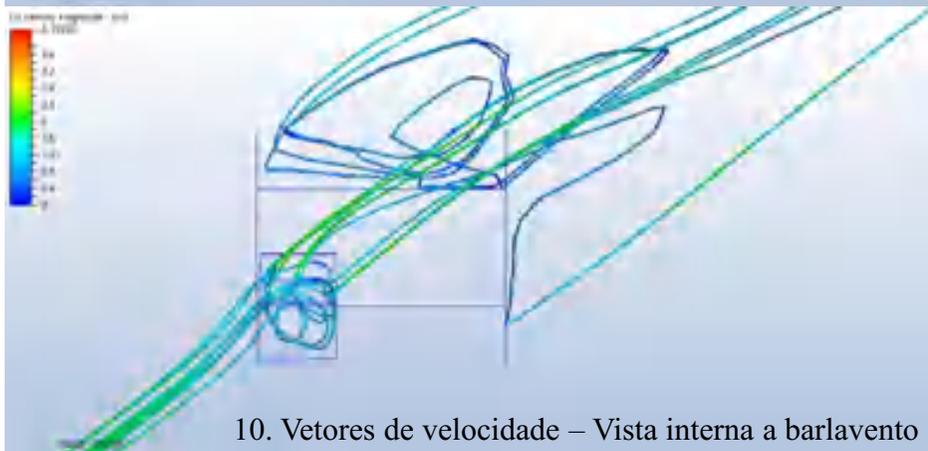
Hipótese 4: Abertura zenital



8. Vetores de velocidade – Vista interna lateral



9. Vetores de velocidade - Vista lateral



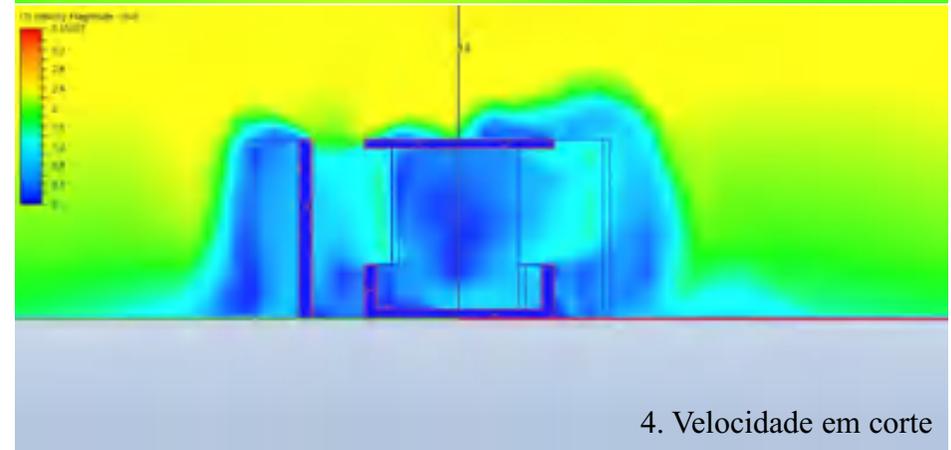
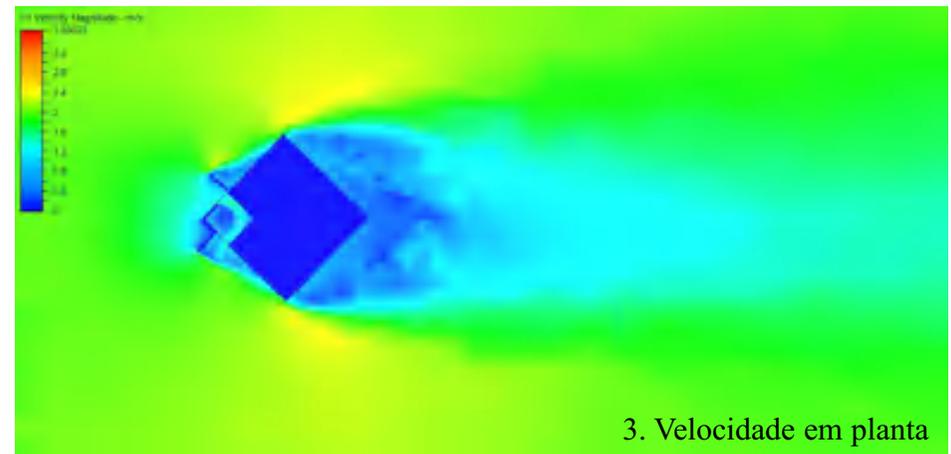
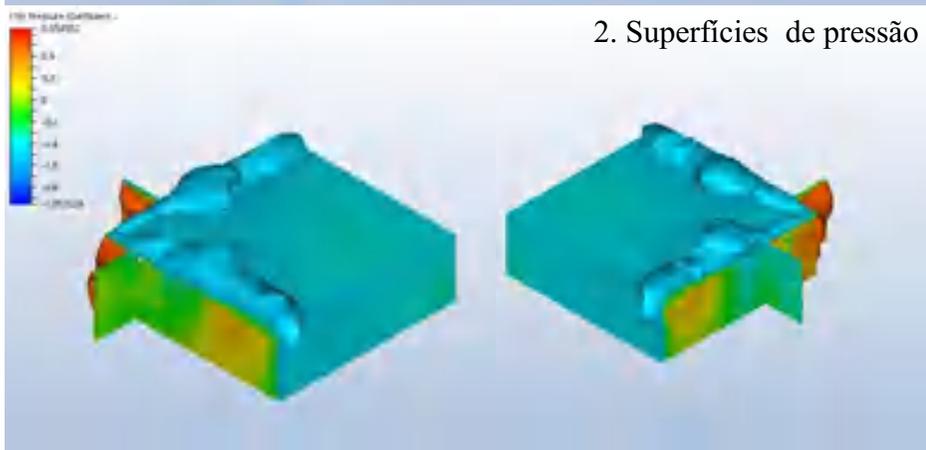
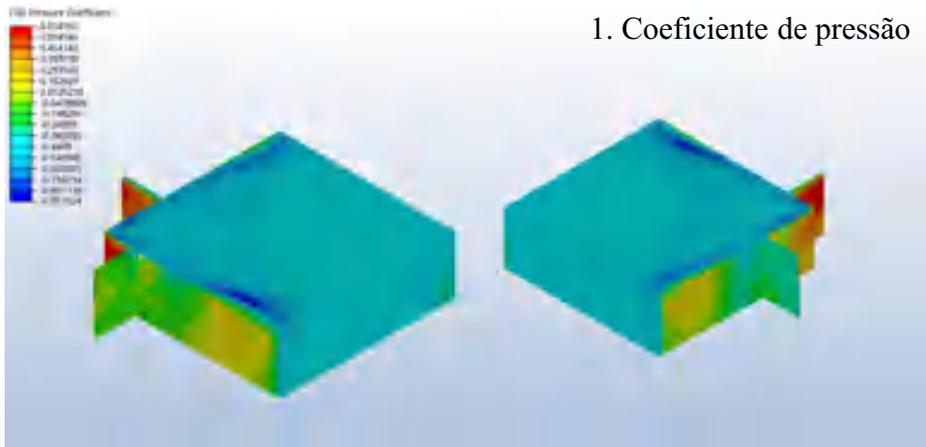
10. Vetores de velocidade – Vista interna a barlavento



11. Vetores de velocidade - Vista a barlavento

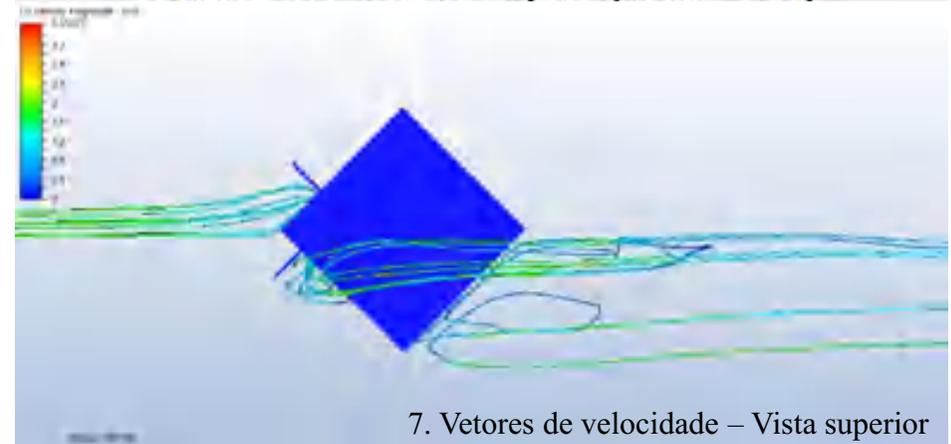
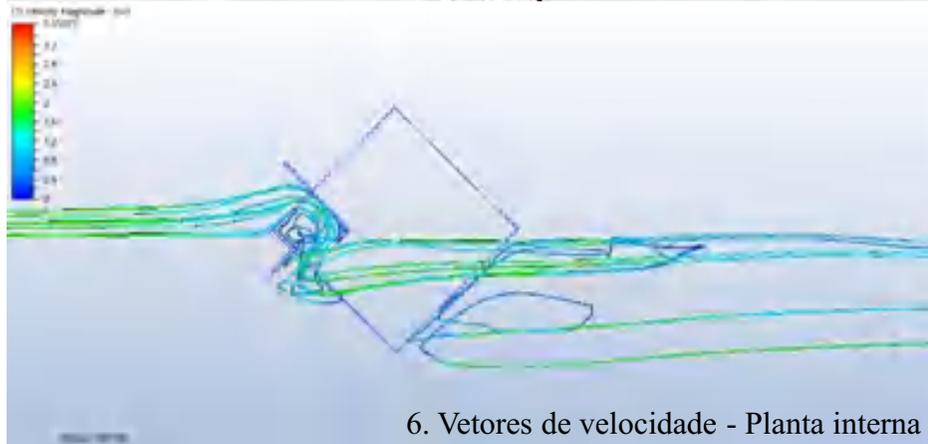
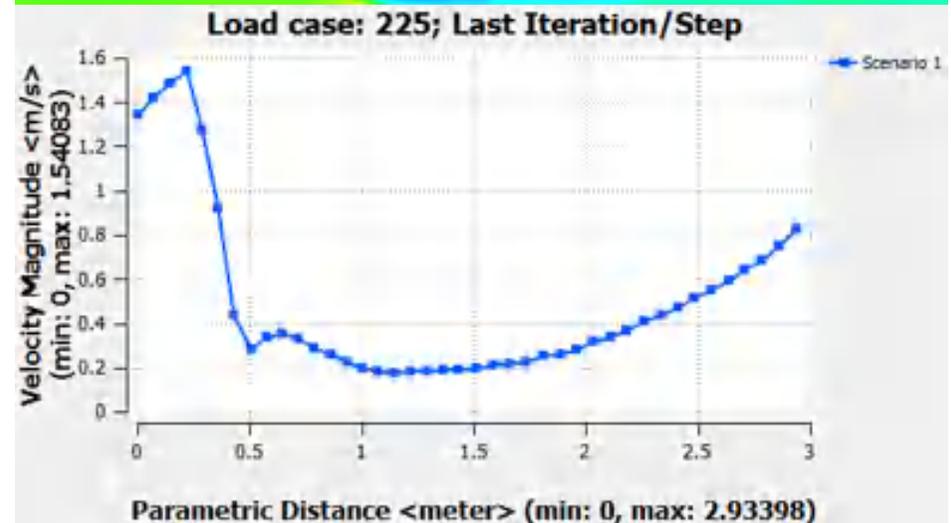
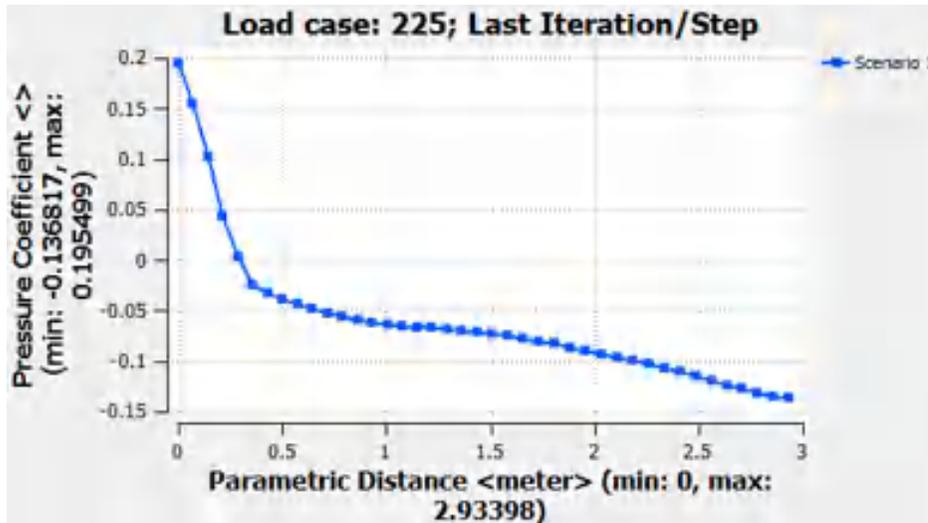
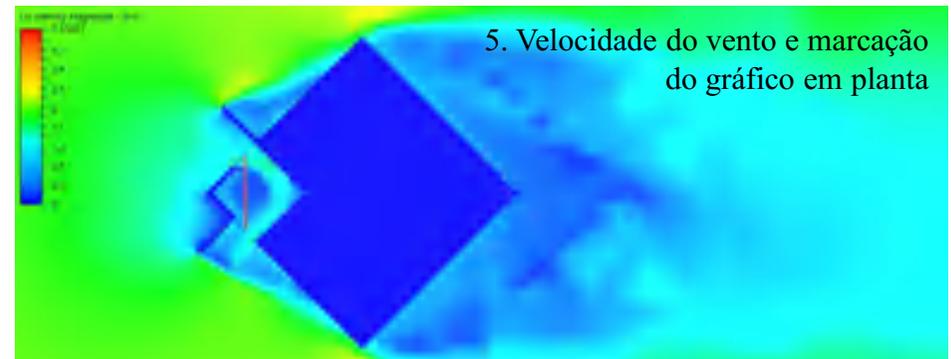


Hipótese 5: Anteparo com 2m



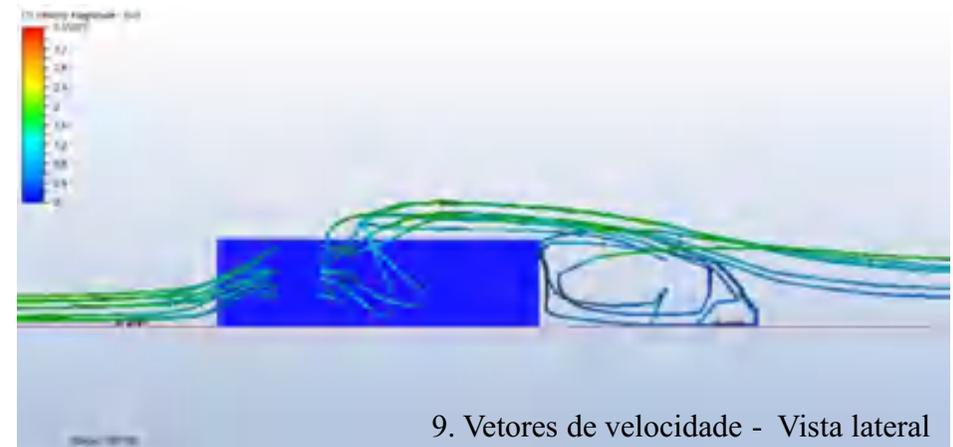
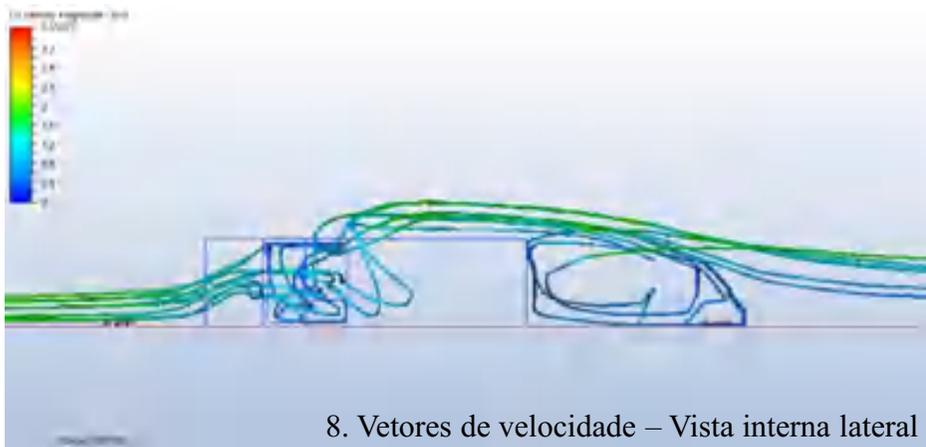


Hipótese 5: Anteparo com 2m





Hipótese 5: Anteparo com 2m



FACES A 90° - NEGATIVA

M25:l:PL

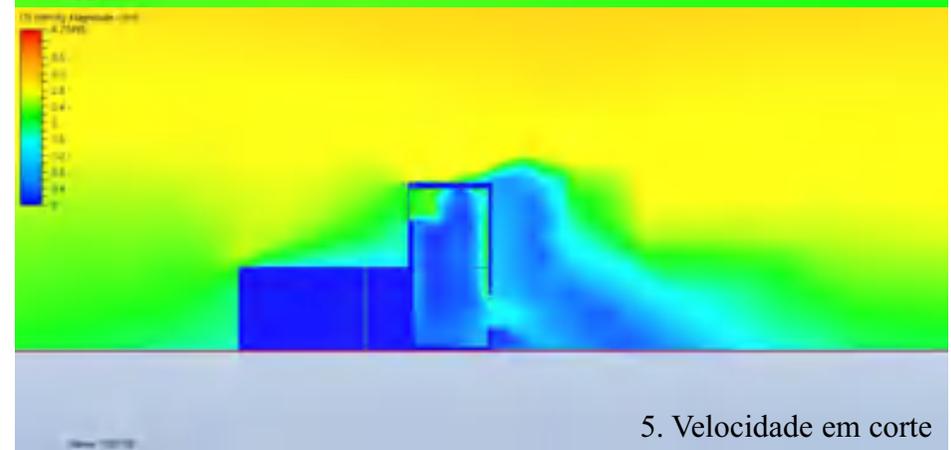
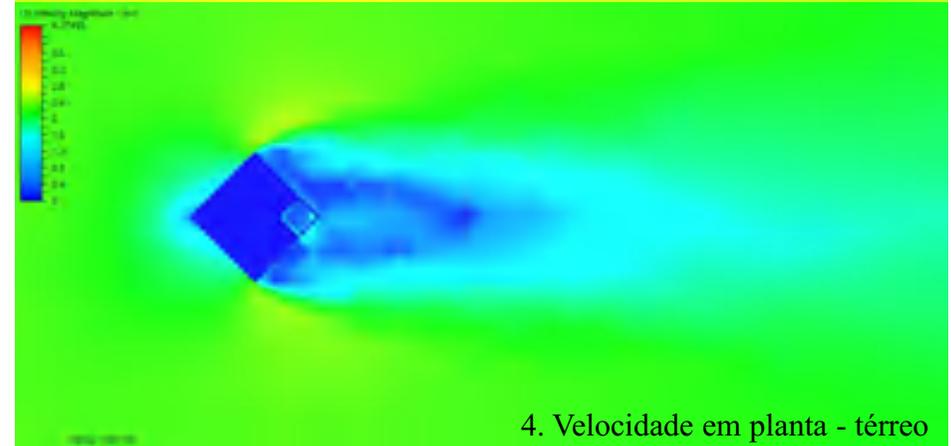
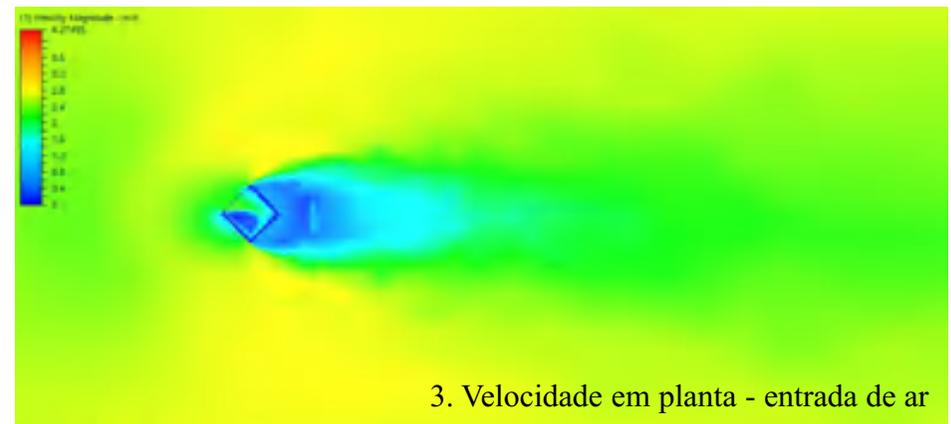
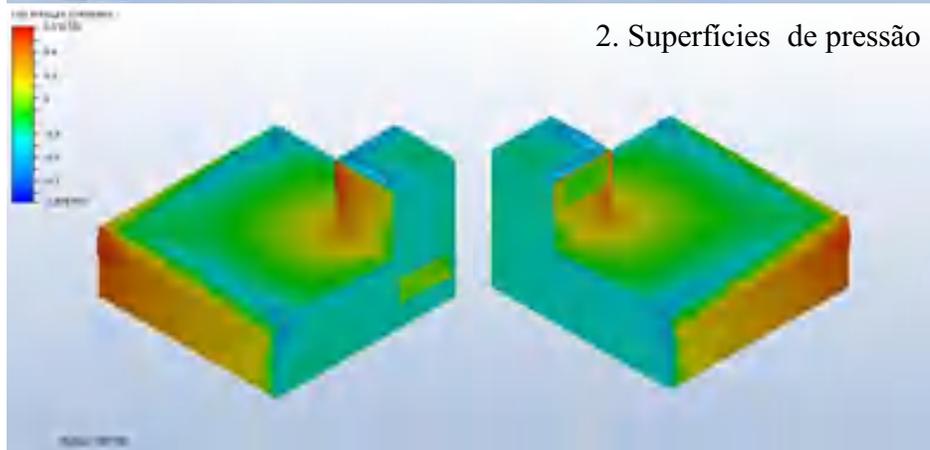
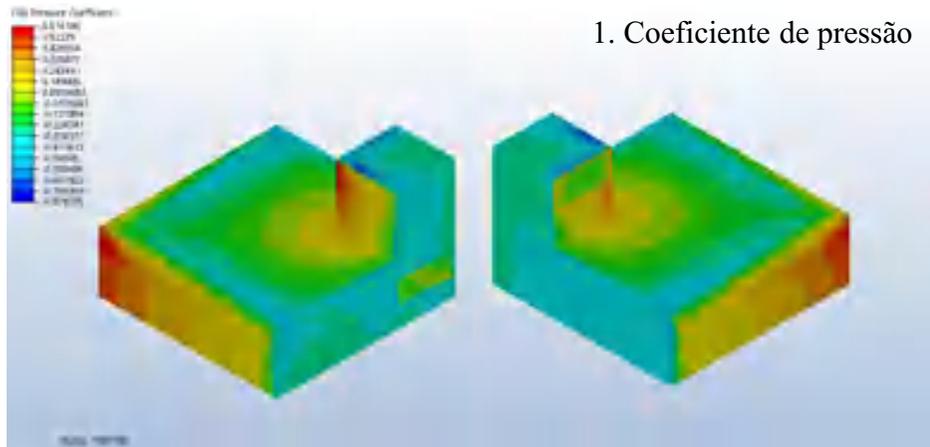


Hipótese 1: Torre de vento com janelas laterais

Hipótese 2: Torre de vento com janelas de canto

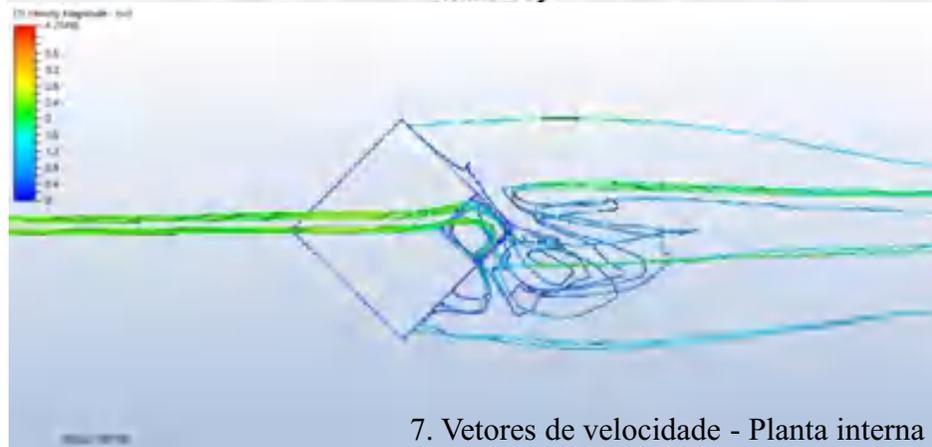
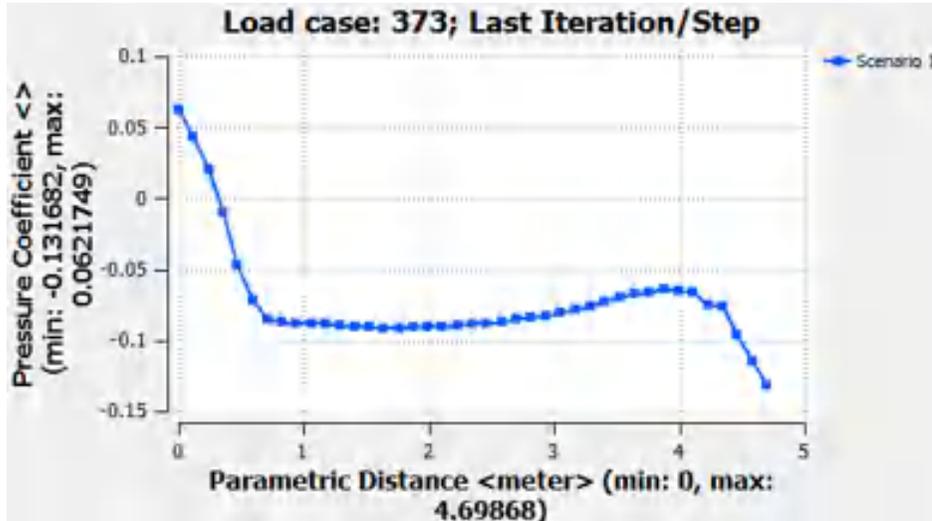


Hipótese 1: Torre de vento com janelas laterais

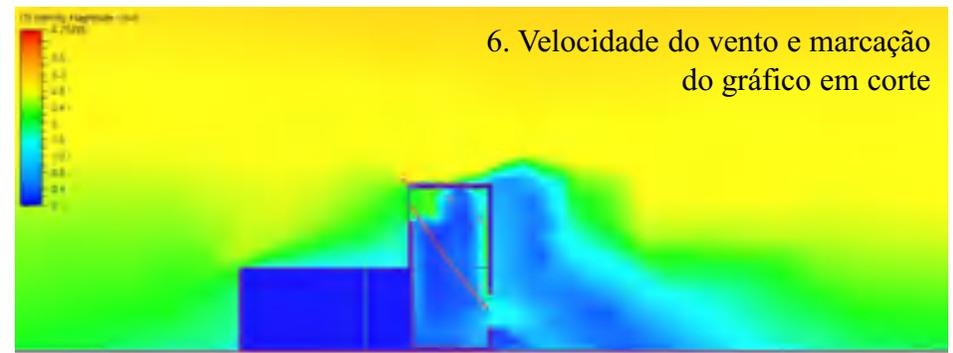




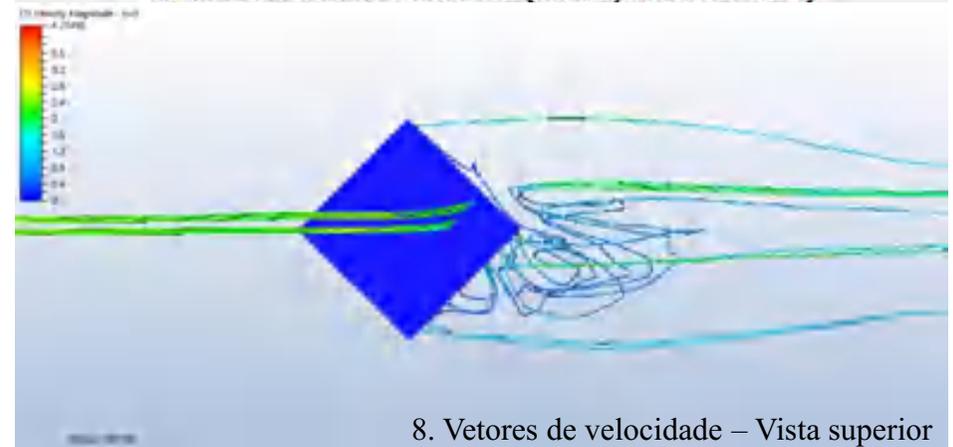
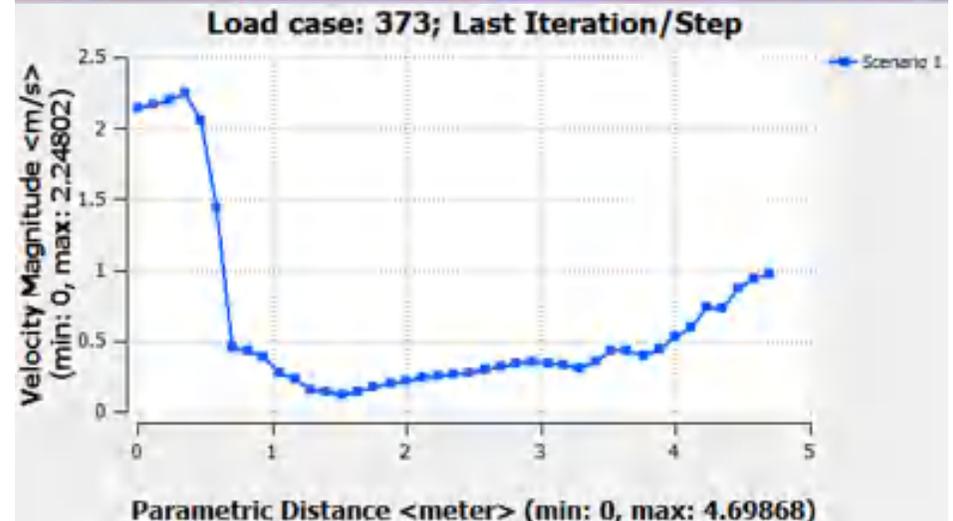
Hipótese 1: Torre de vento com janelas laterais



7. Vetores de velocidade - Planta interna



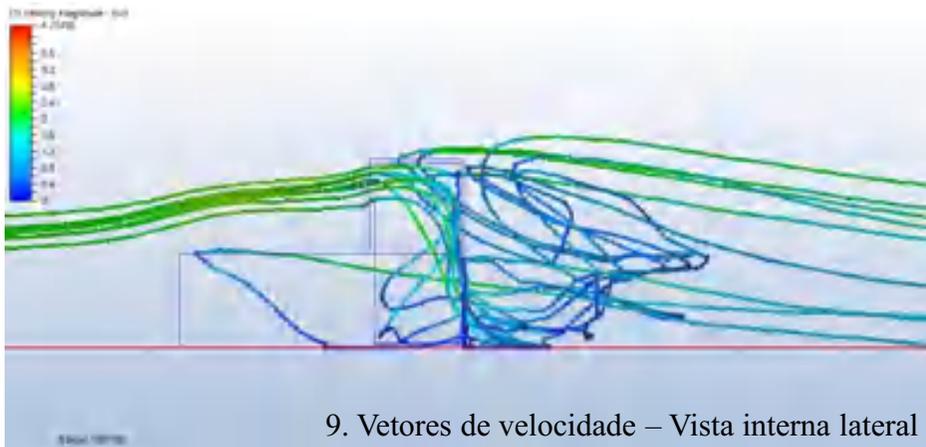
6. Velocidade do vento e marcação do gráfico em corte



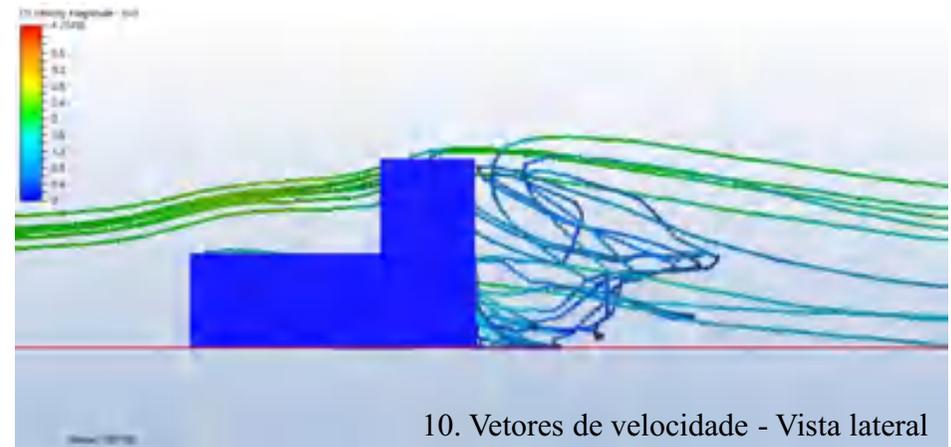
8. Vetores de velocidade – Vista superior



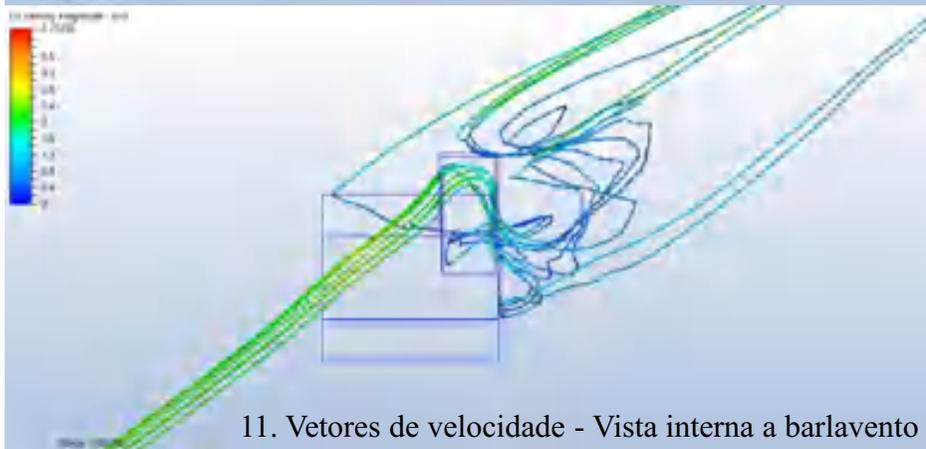
Hipótese 1: Torre de vento com janelas laterais



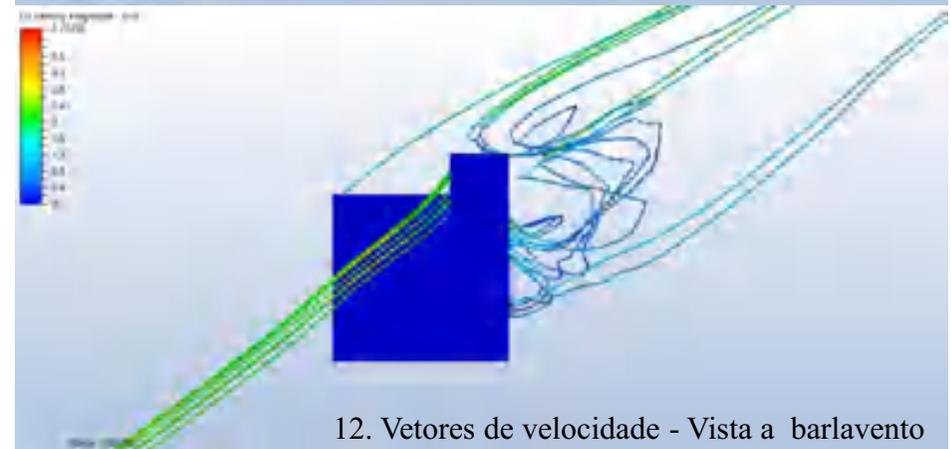
9. Vetores de velocidade – Vista interna lateral



10. Vetores de velocidade - Vista lateral



11. Vetores de velocidade - Vista interna a barlavento

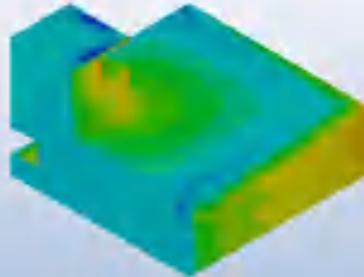
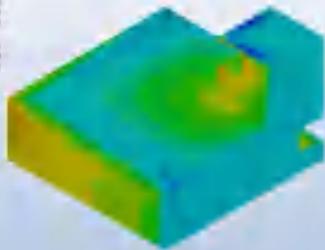
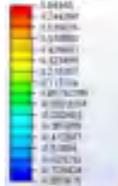


12. Vetores de velocidade - Vista a barlavento



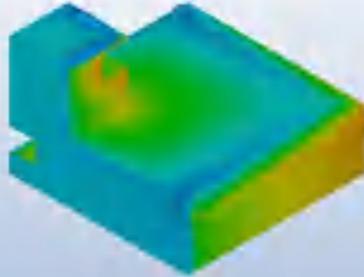
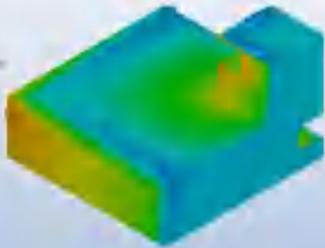
Hipótese 2: Torre de vento com janelas de canto

1) Pressure Coefficient

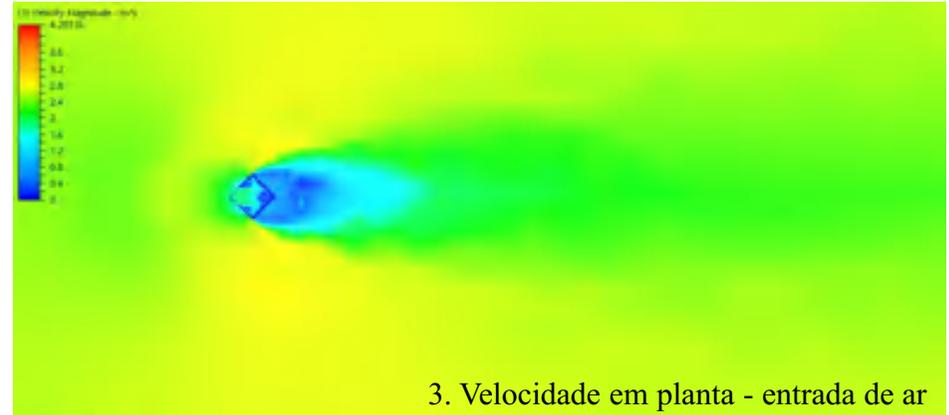


1. Coeficiente de pressão

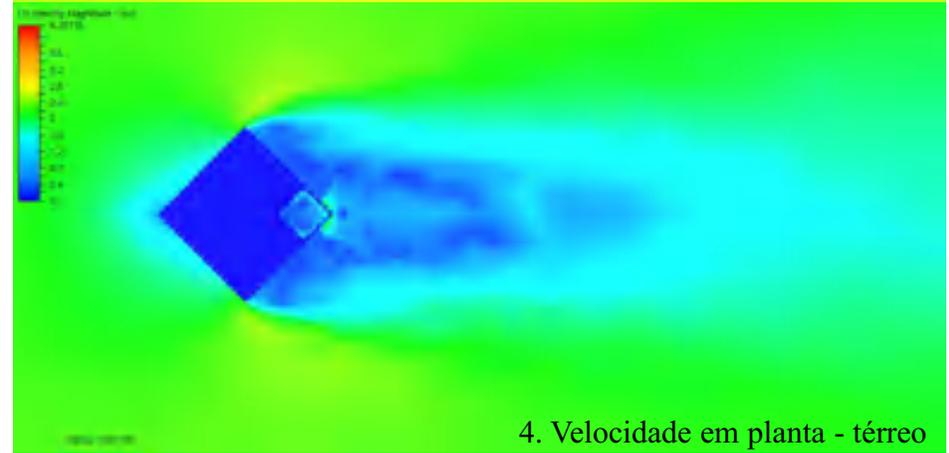
1) Pressure Coefficient



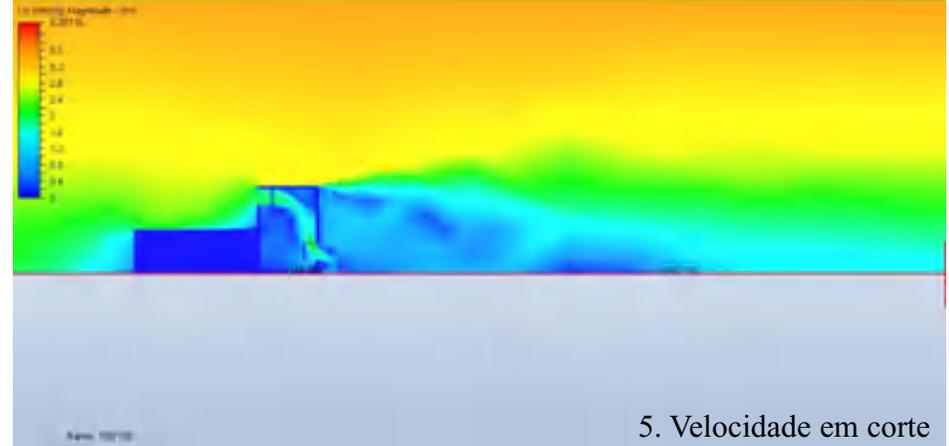
2. Superfícies de pressão



3. Velocidade em planta - entrada de ar



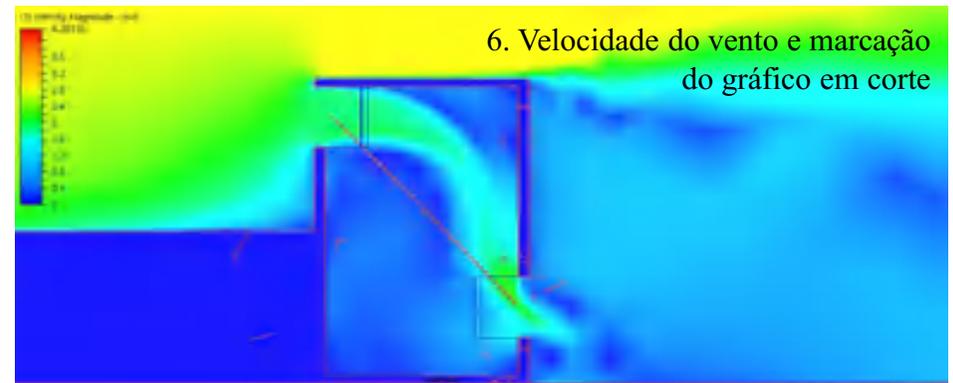
4. Velocidade em planta - térreo



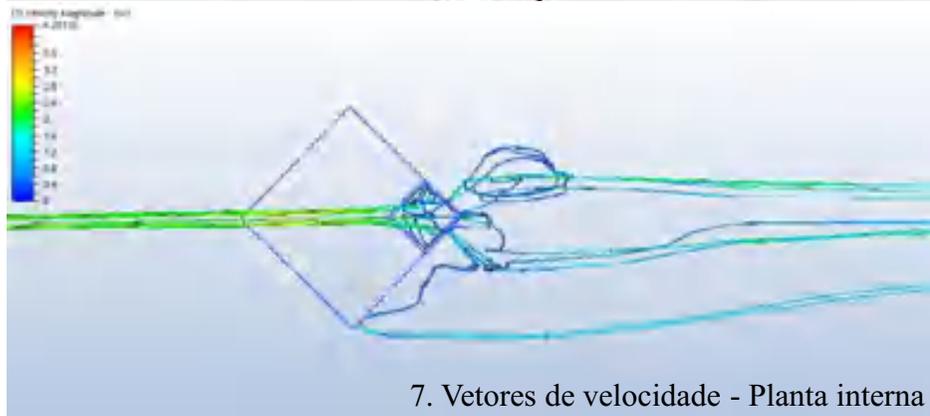
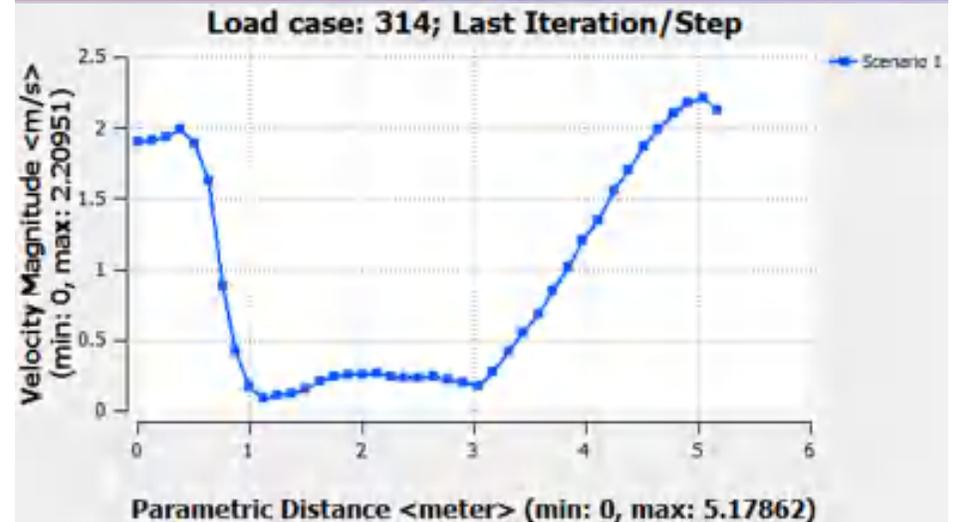
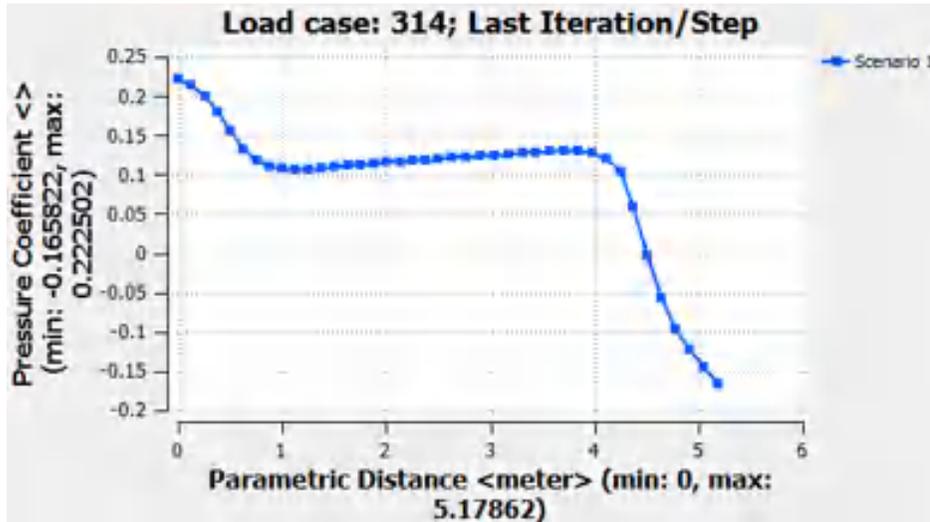
5. Velocidade em corte



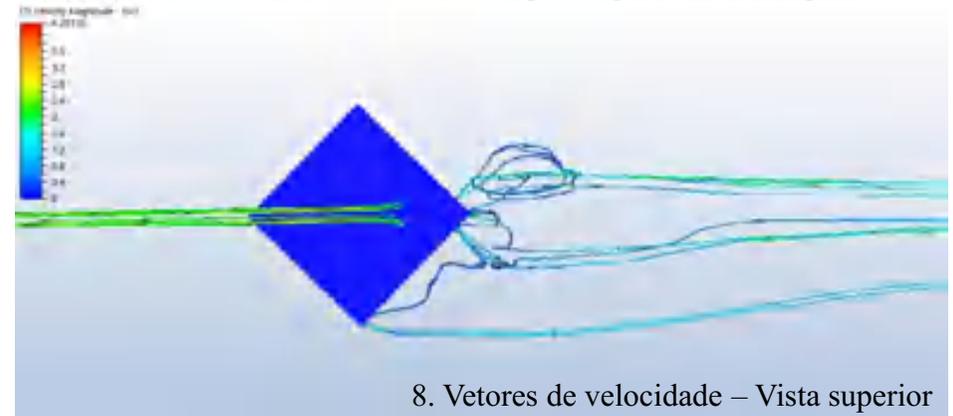
Hipótese 2: Torre de vento com janelas de canto



6. Velocidade do vento e marcação do gráfico em corte



7. Vetores de velocidade - Planta interna



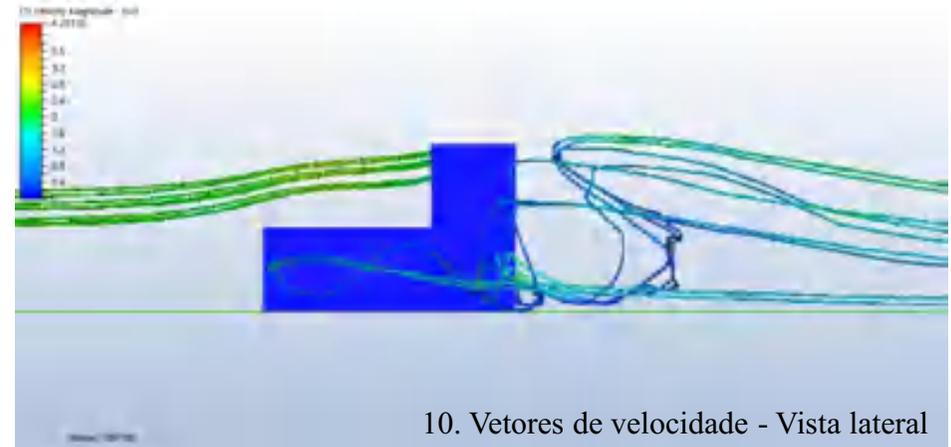
8. Vetores de velocidade – Vista superior



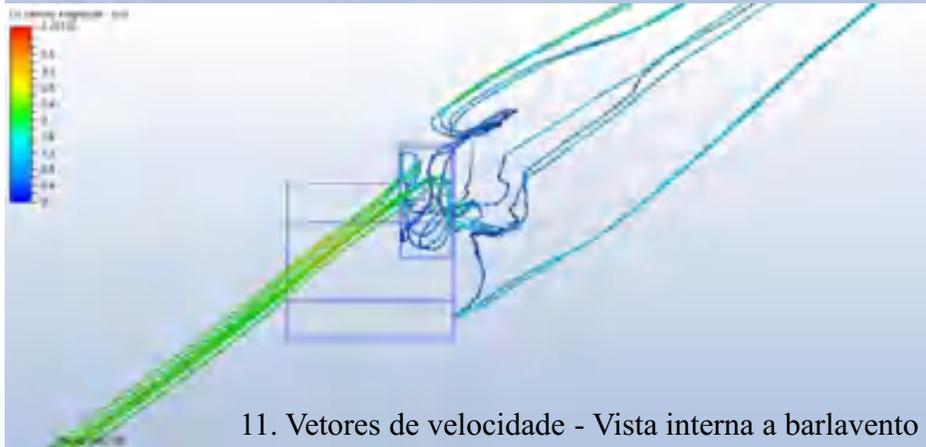
Hipótese 2: Torre de vento com janelas de canto



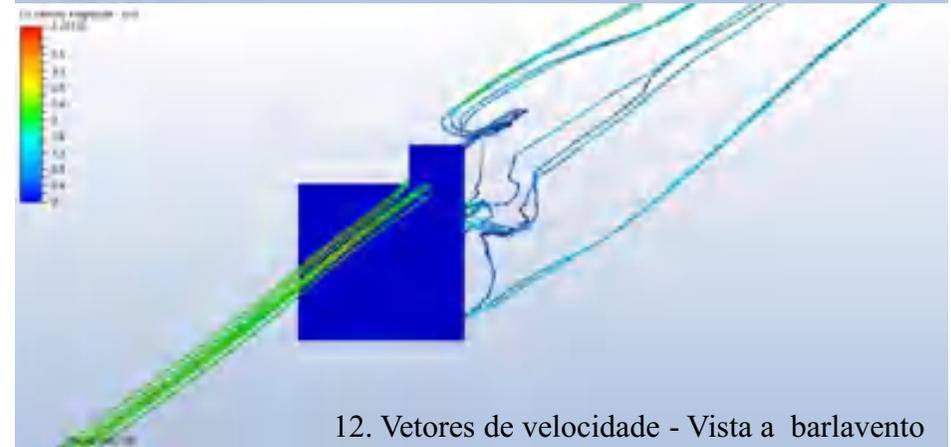
9. Vetores de velocidade – Vista interna lateral



10. Vetores de velocidade - Vista lateral



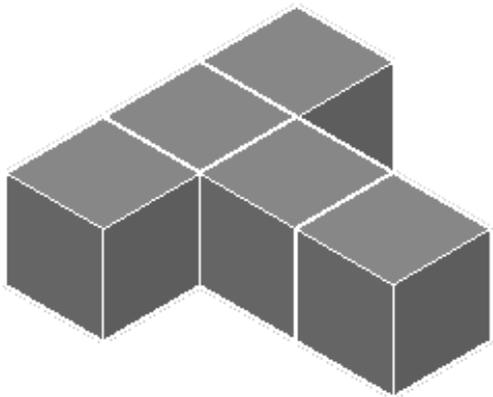
11. Vetores de velocidade - Vista interna a barlavento



12. Vetores de velocidade - Vista a barlavento

TRÊS FACES NEGATIVAS

M19:H:P

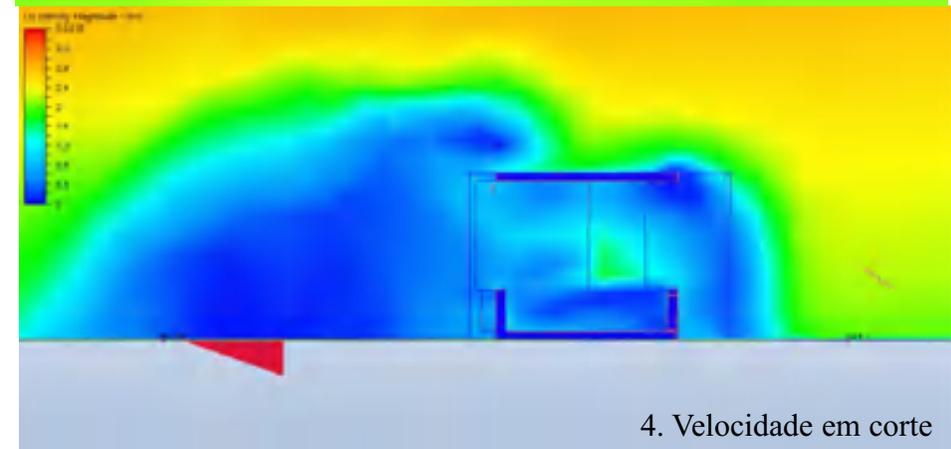
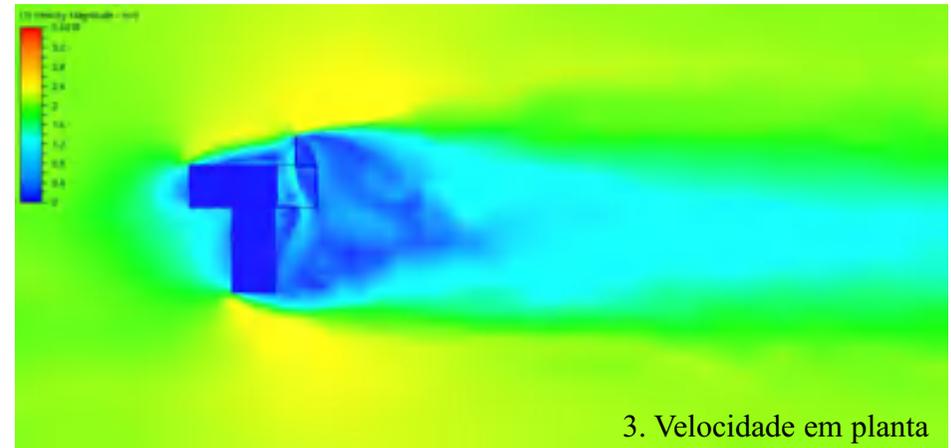
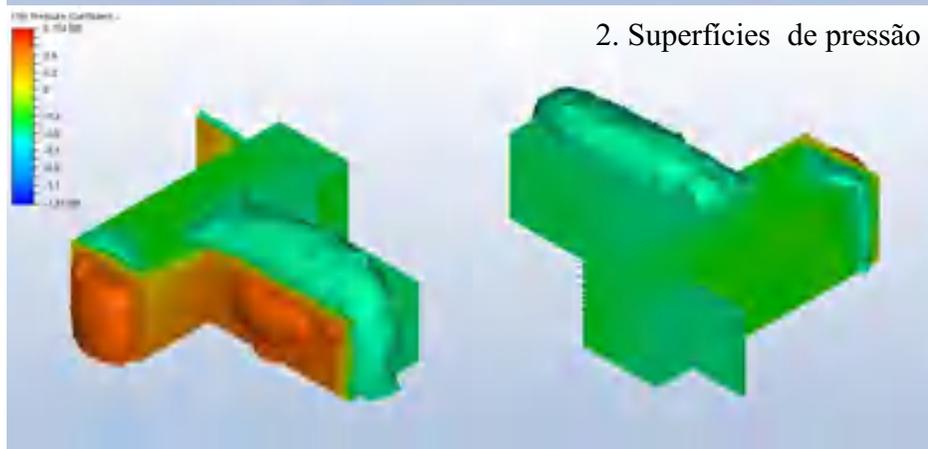
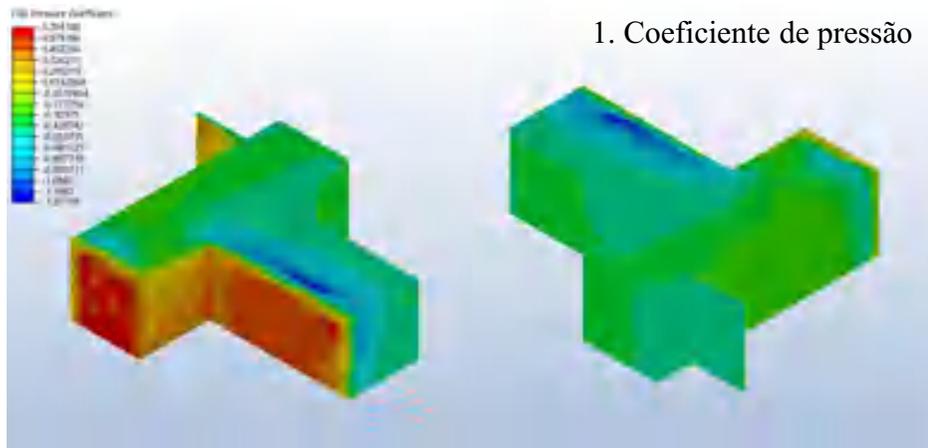


Hipótese 1: Anteparo com 2m

Hipótese 2: Anteparo inclinado com 2m

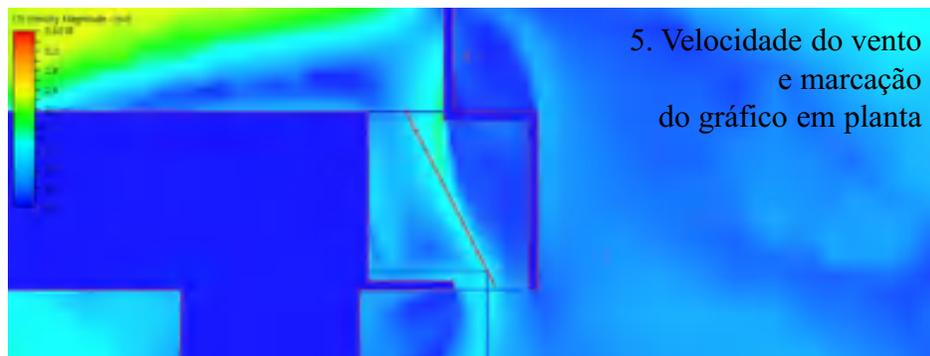


Hipótese 1: Anteparo com 2m

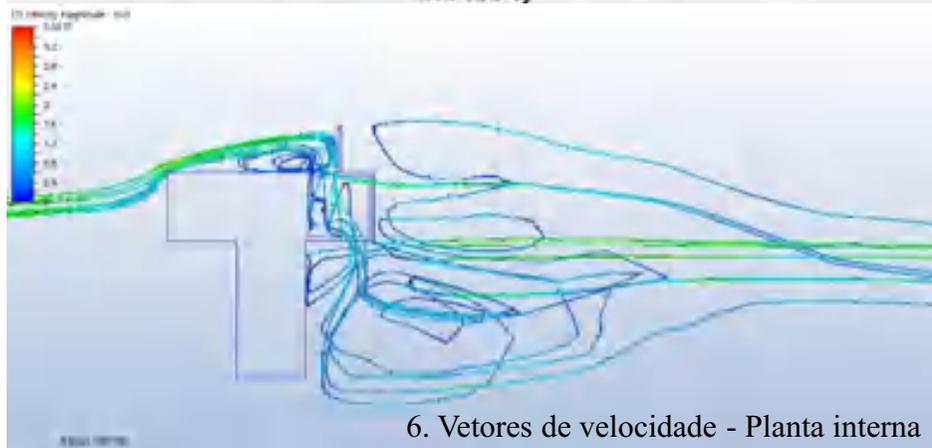
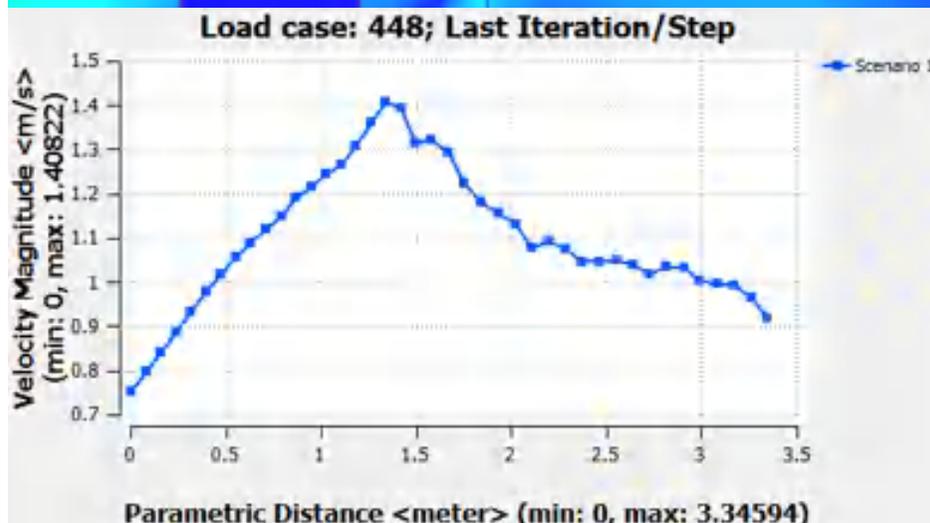
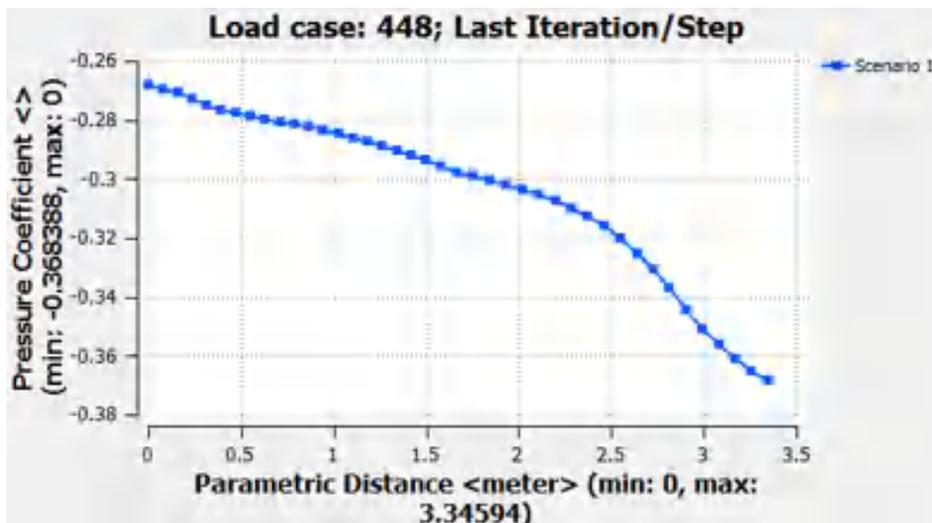




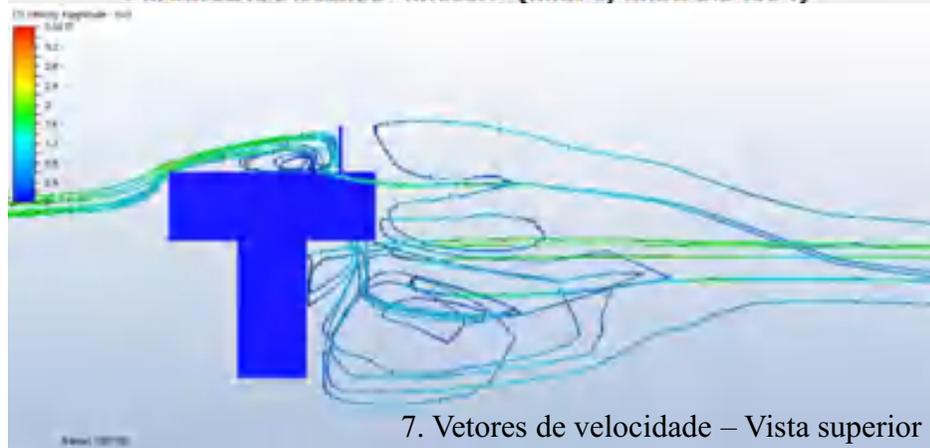
Hipótese 1: Anteparo com 2m



5. Velocidade do vento e marcação do gráfico em planta



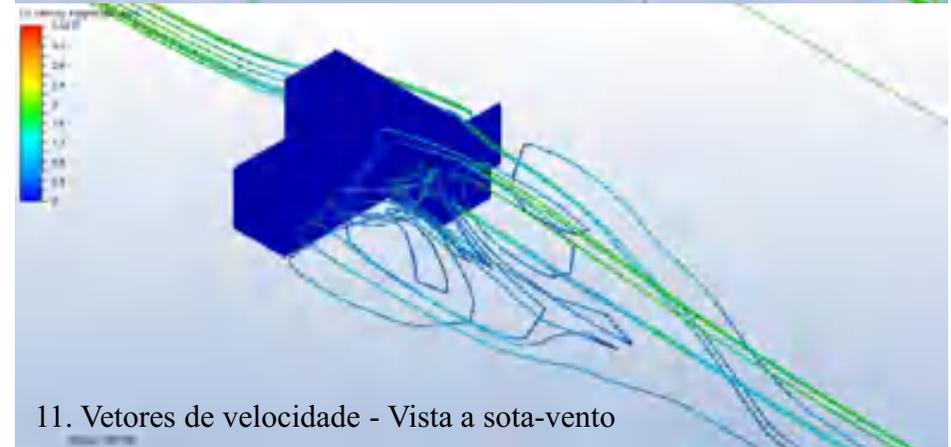
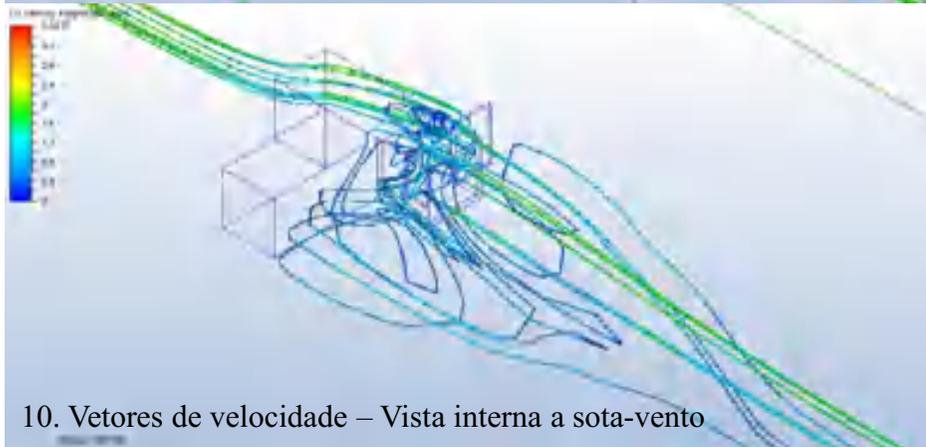
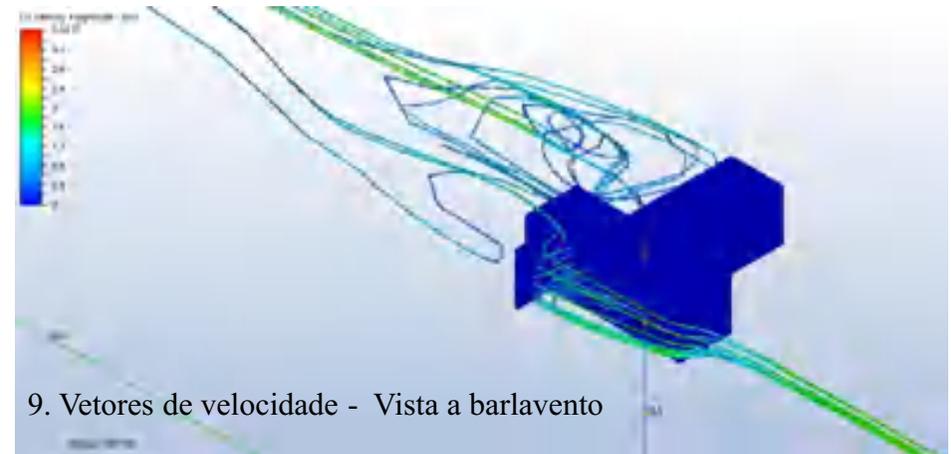
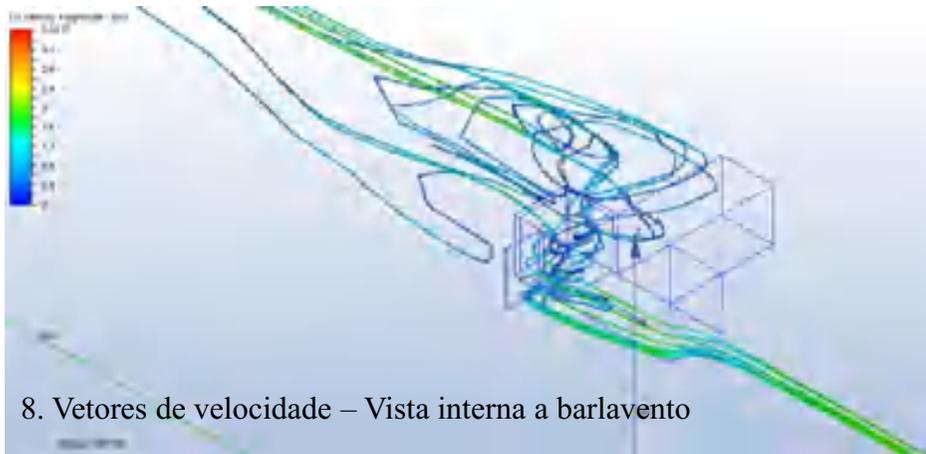
6. Vetores de velocidade - Planta interna



7. Vetores de velocidade - Vista superior



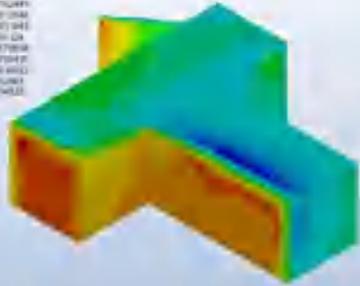
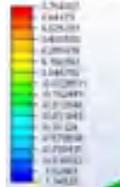
Hipótese 1: Anteparo com 2m



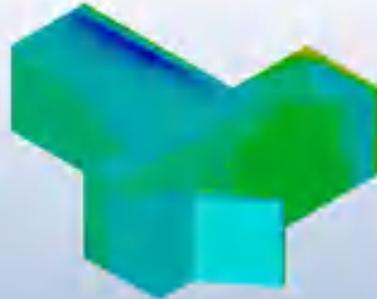


Hipótese 2: Anteparo inclinado com 2m

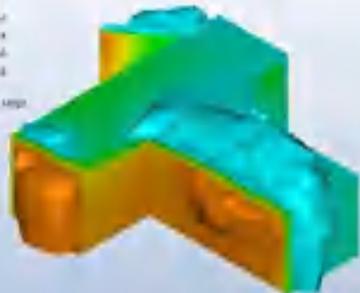
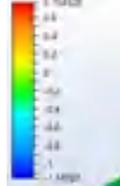
1. Coeficiente de pressão



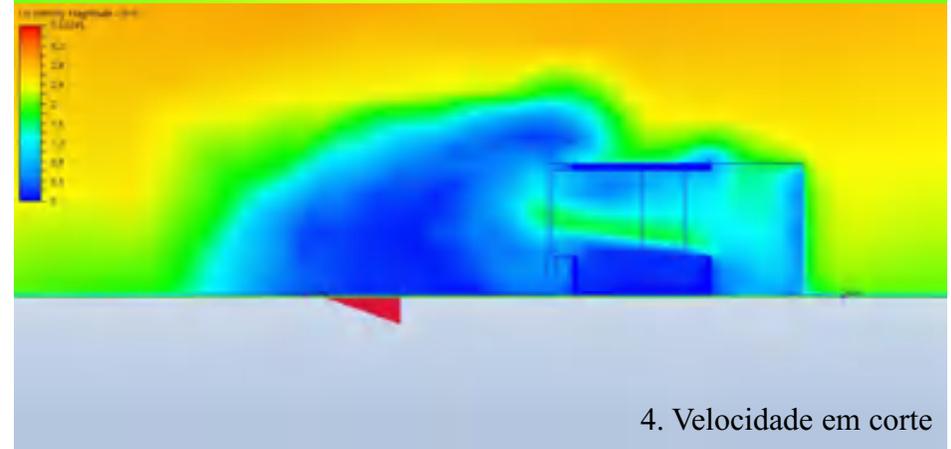
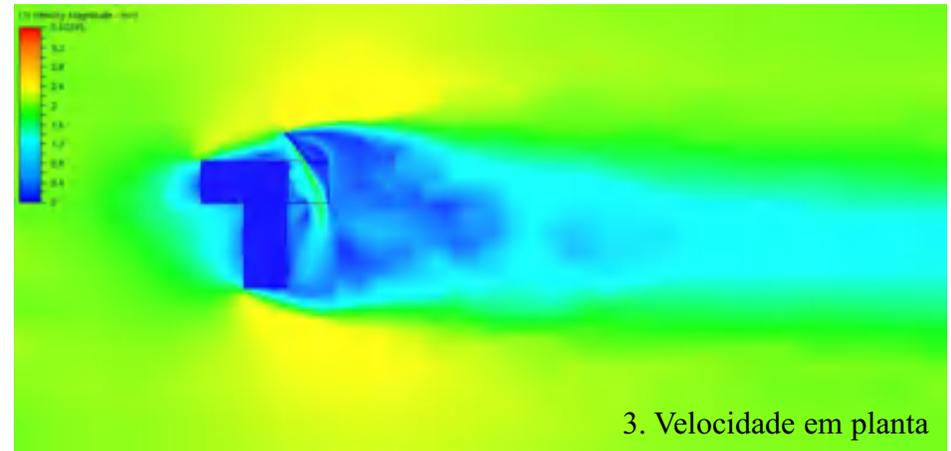
2. Superfícies de pressão



3. Velocidade em planta

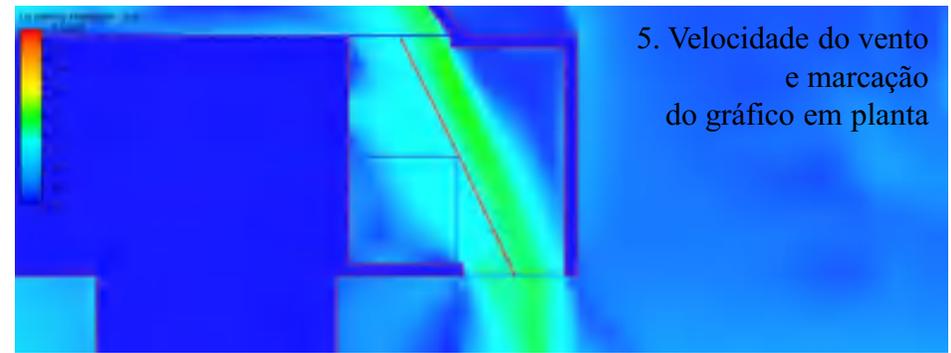


4. Velocidade em corte

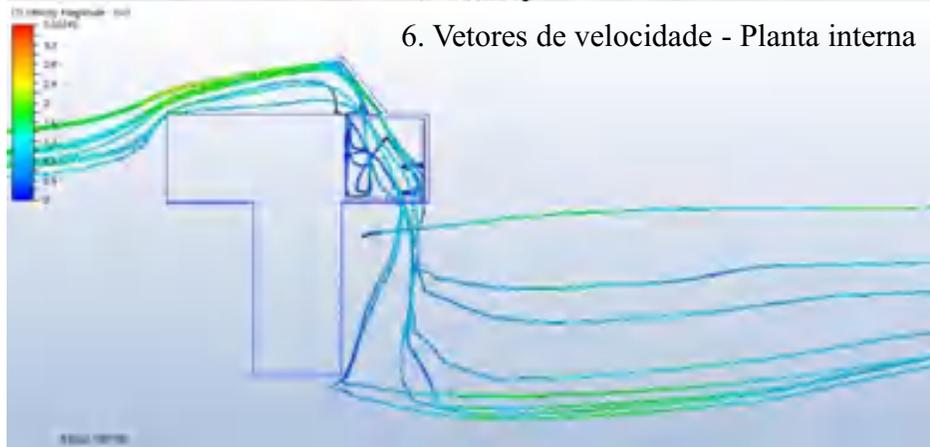
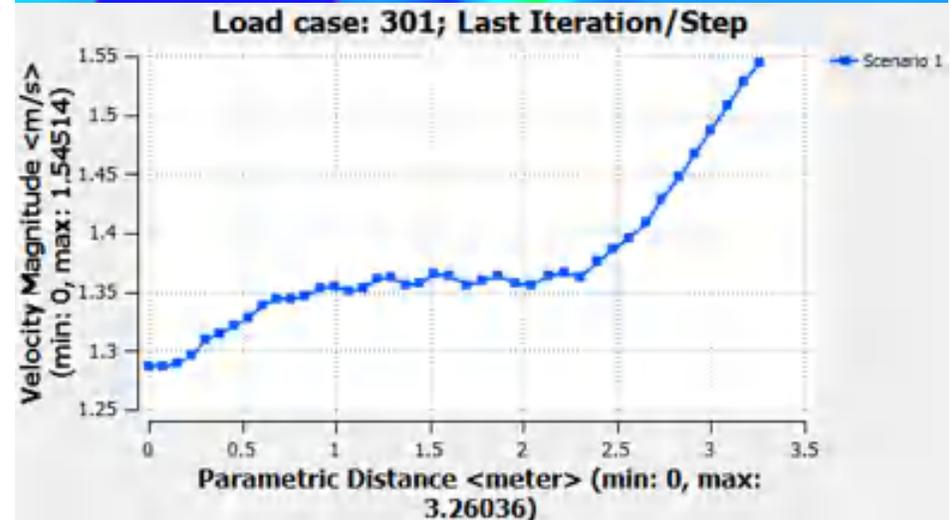
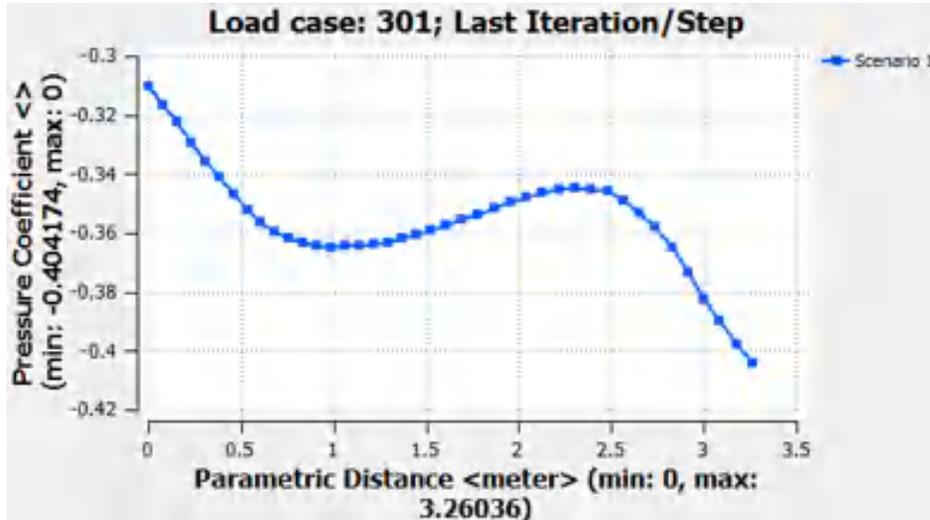




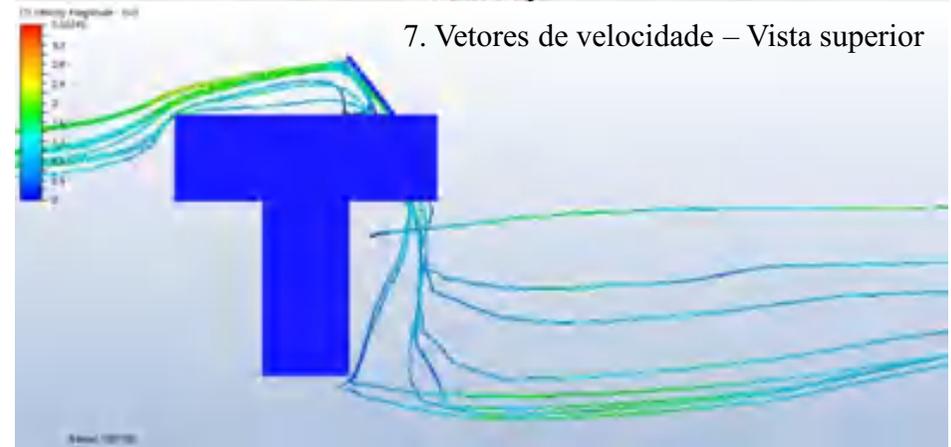
Hipótese 2: Anteparo inclinado com 2m



5. Velocidade do vento e marcação do gráfico em planta



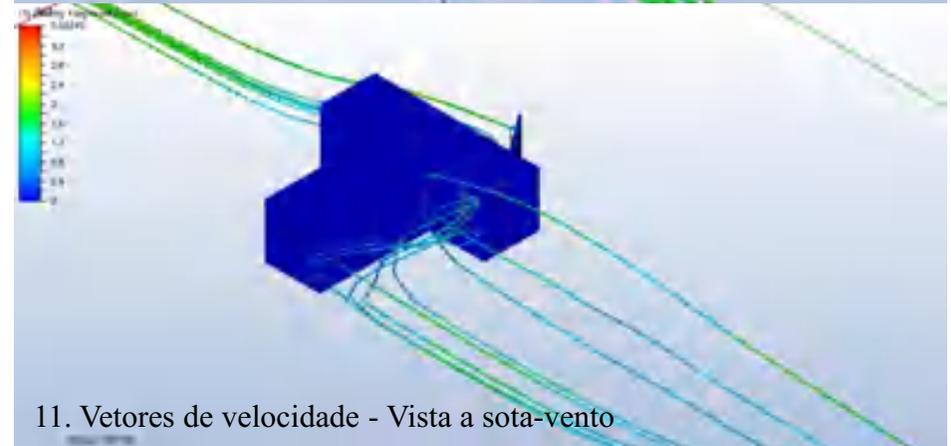
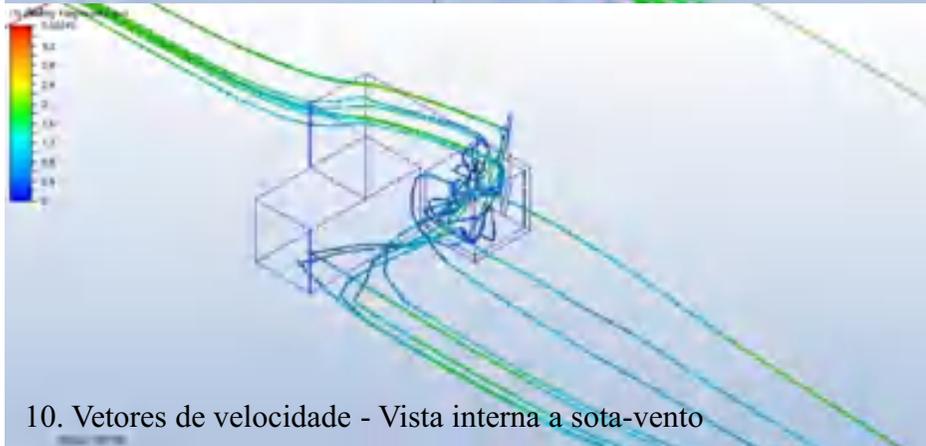
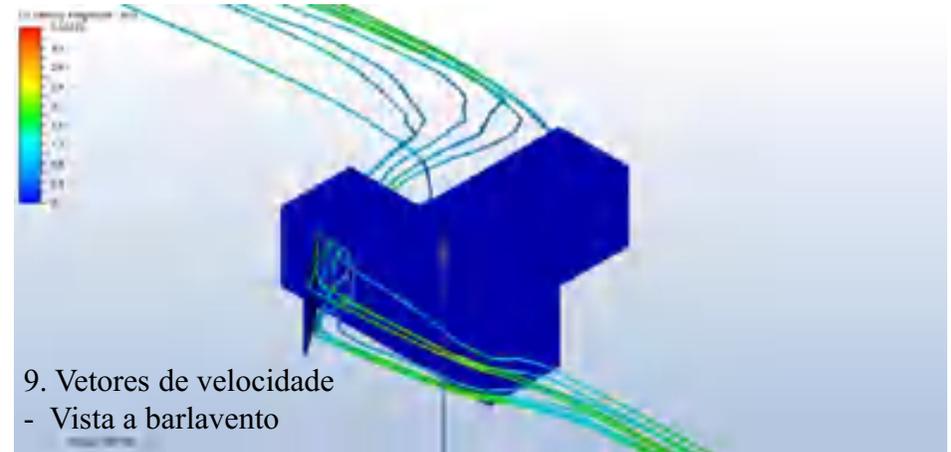
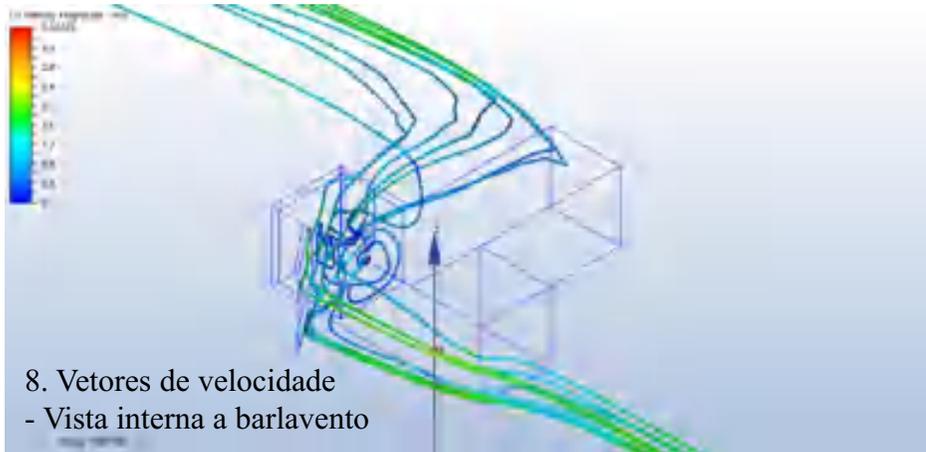
6. Vetores de velocidade - Planta interna



7. Vetores de velocidade - Vista superior

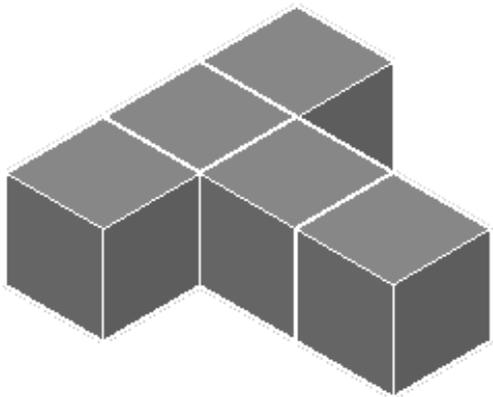


Hipótese 2: Anteparo inclinado com 2m



FACE ÚNICA

M19:H:P



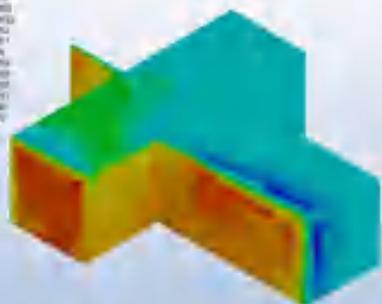
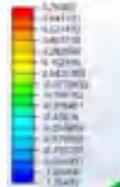
Hipótese 1: Anteparo com 2m

Hipótese 2: Anteparo inclinado com 2m

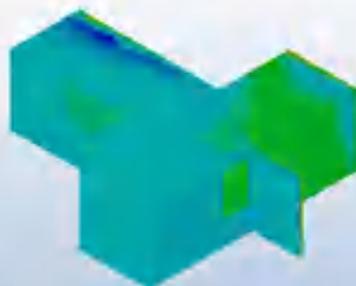


Hipótese 1: Anteparo com 2m

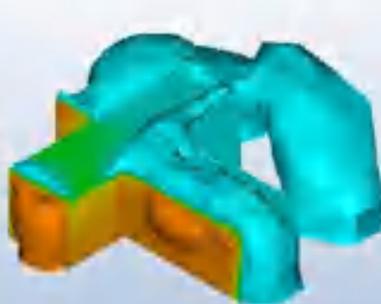
1. Coeficiente de pressão



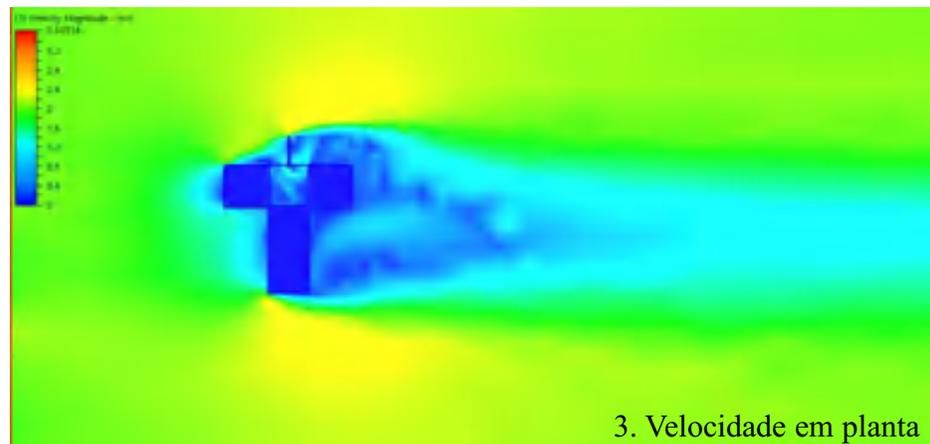
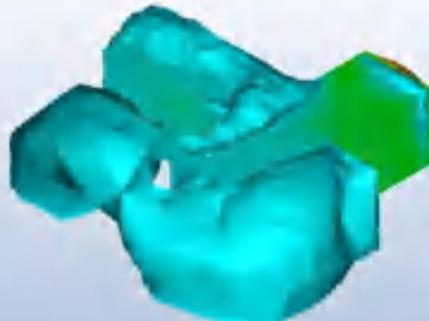
2. Superfícies de pressão



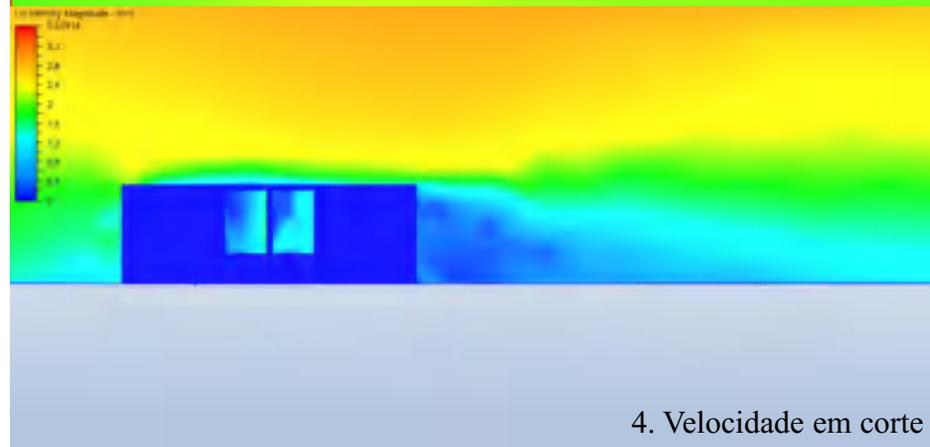
3. Velocidade em planta



4. Velocidade em corte



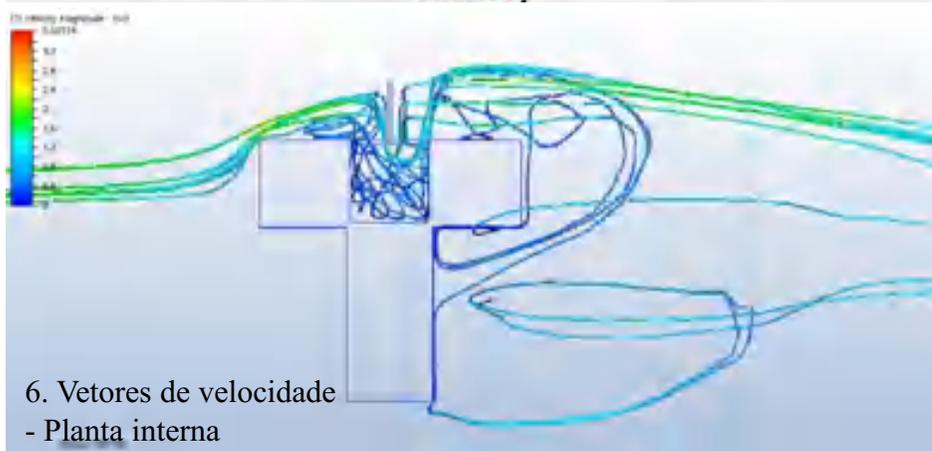
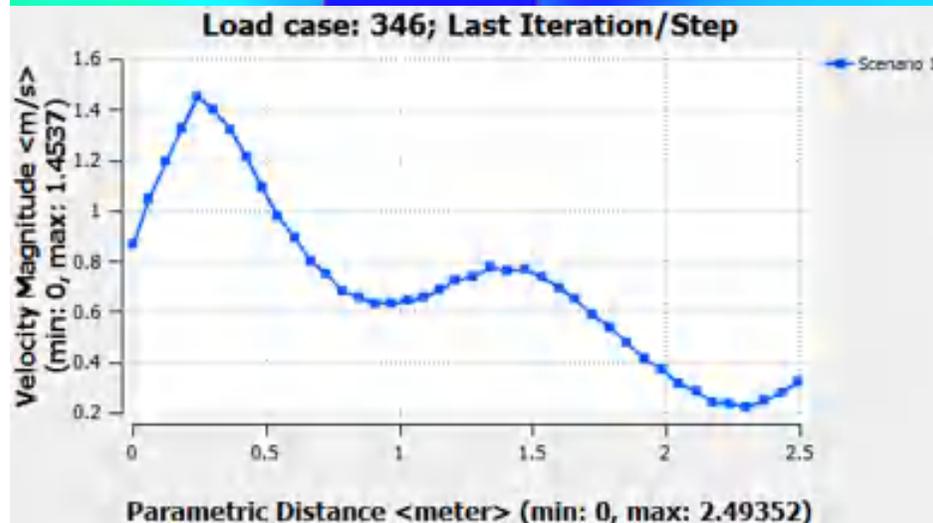
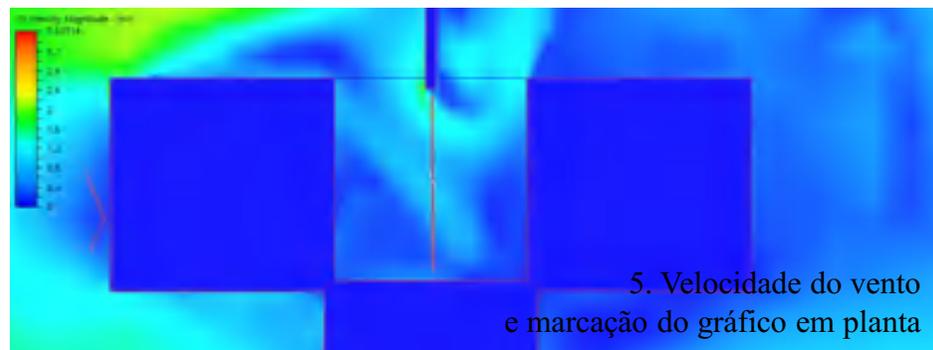
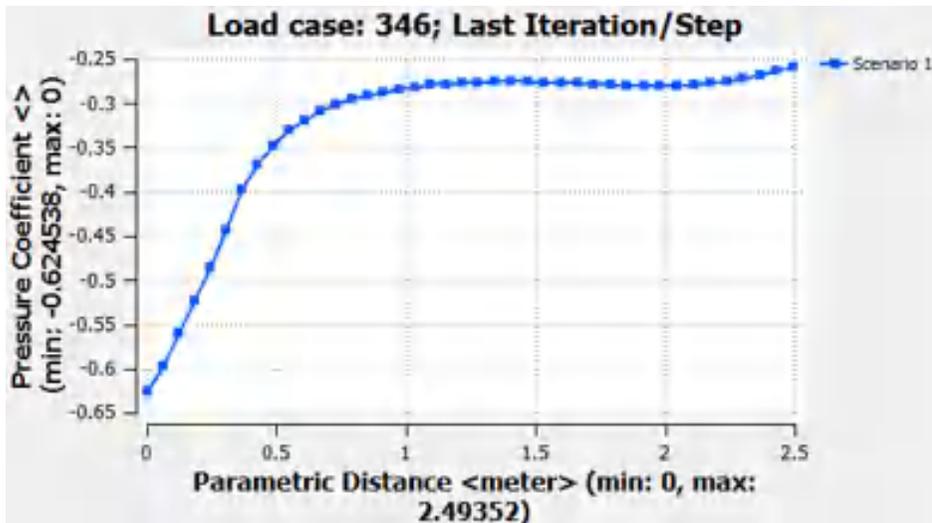
3. Velocidade em planta



4. Velocidade em corte

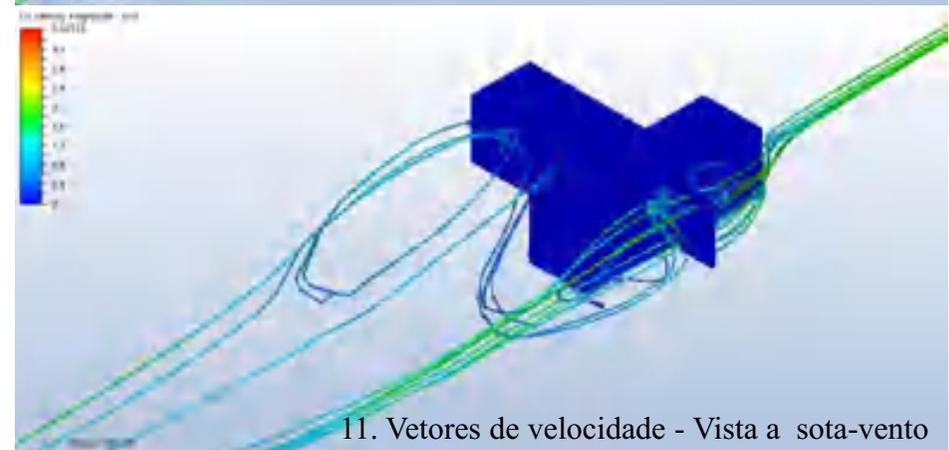
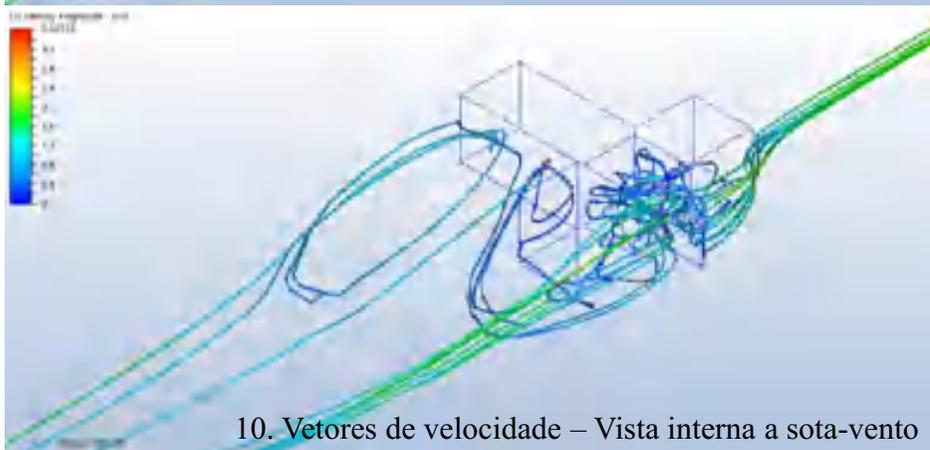
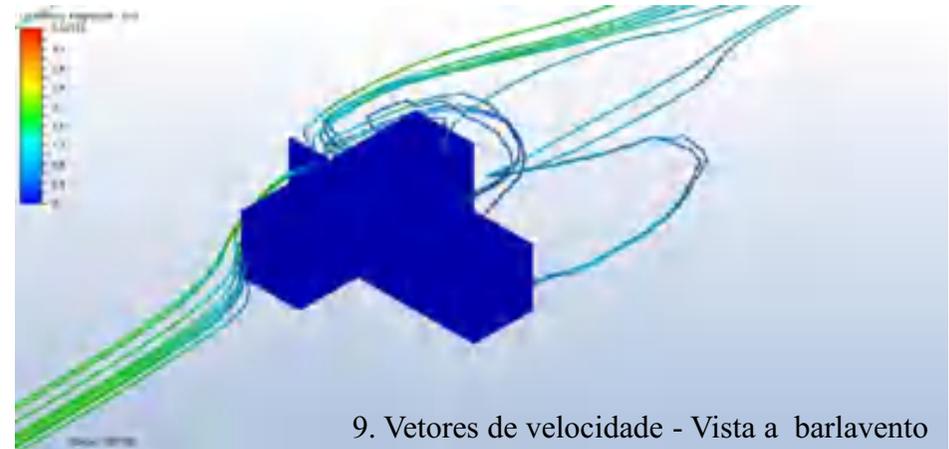
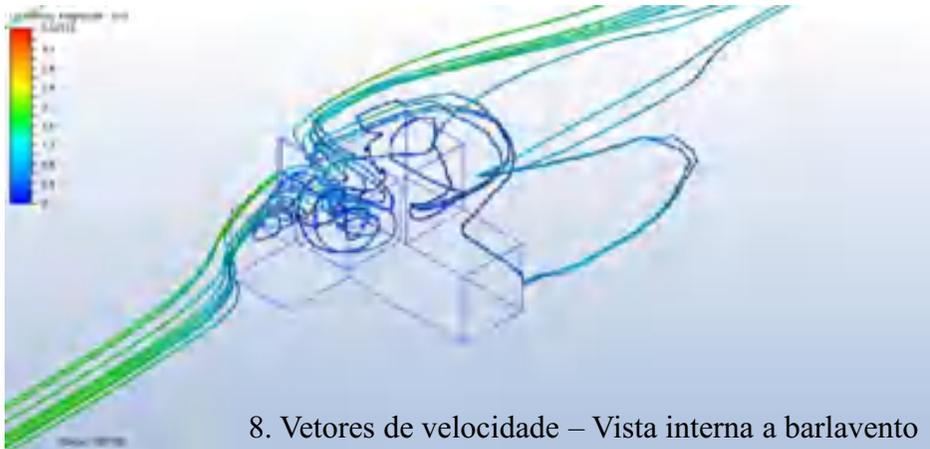


Hipótese 1: Anteparo com 2m



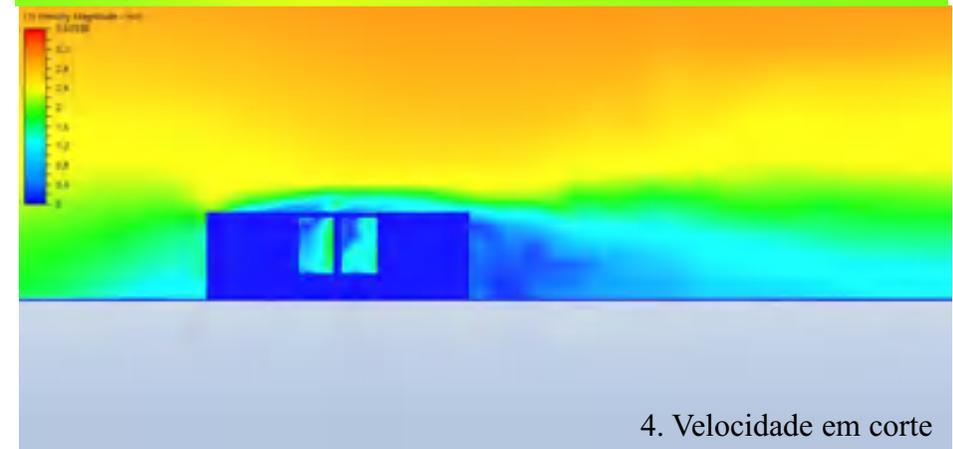
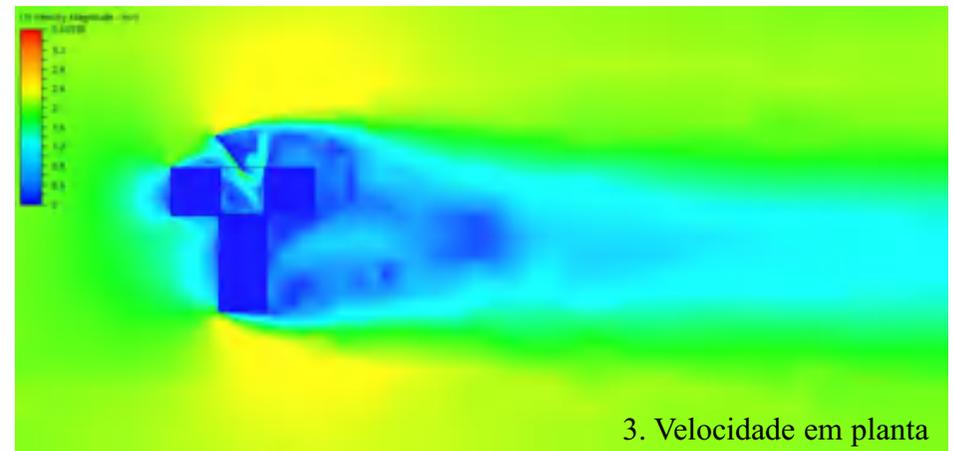
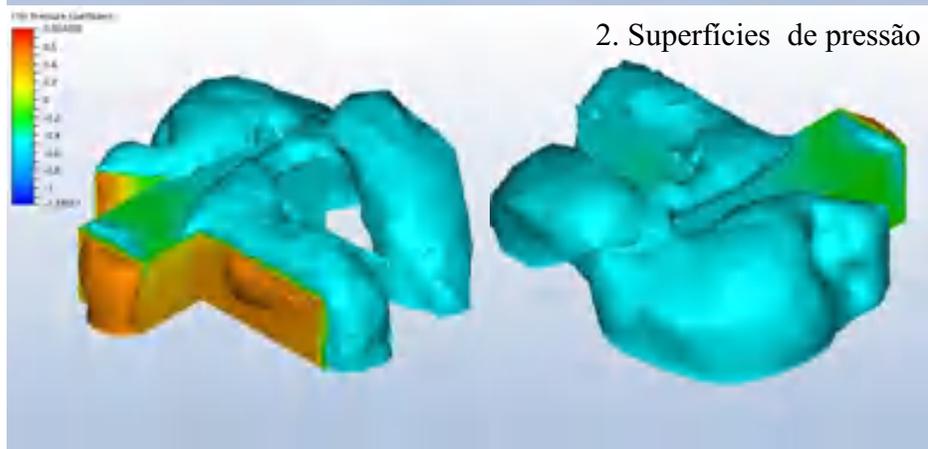
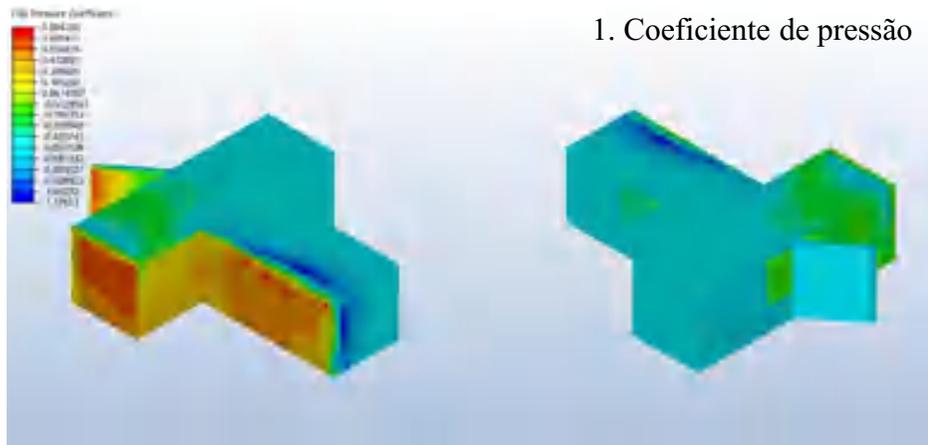


Hipótese 1: Anteparo com 2m



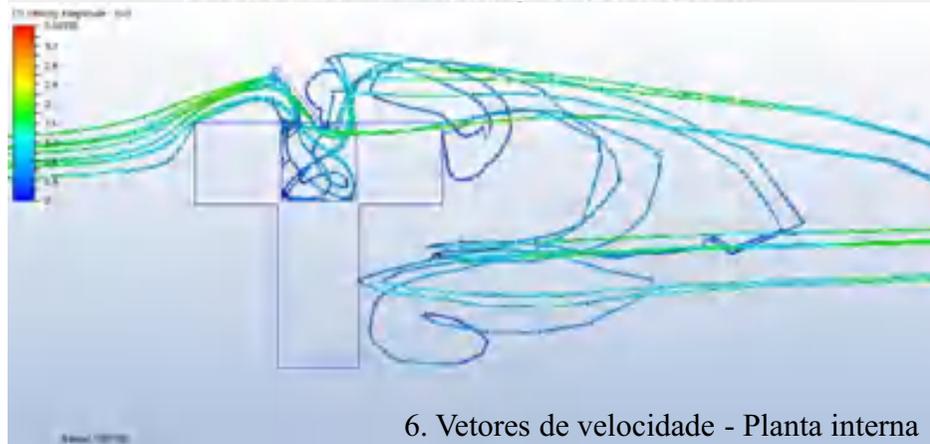
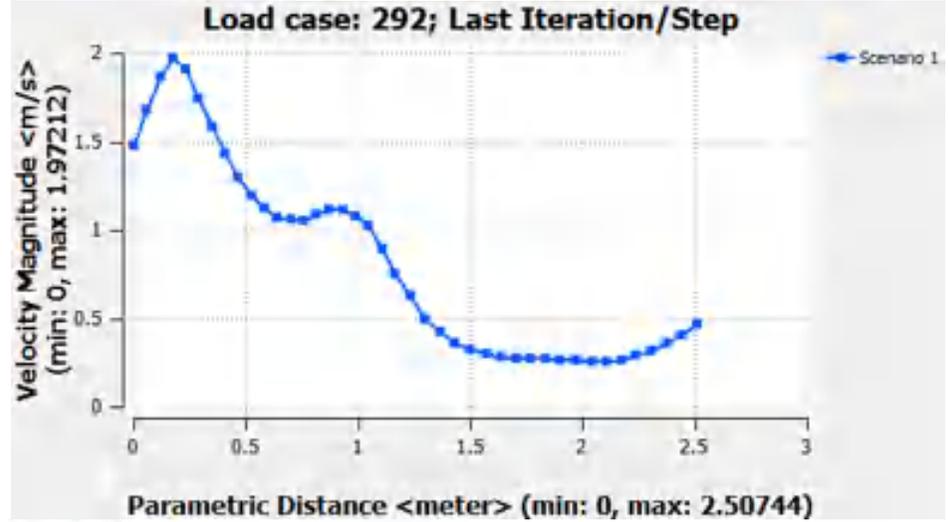
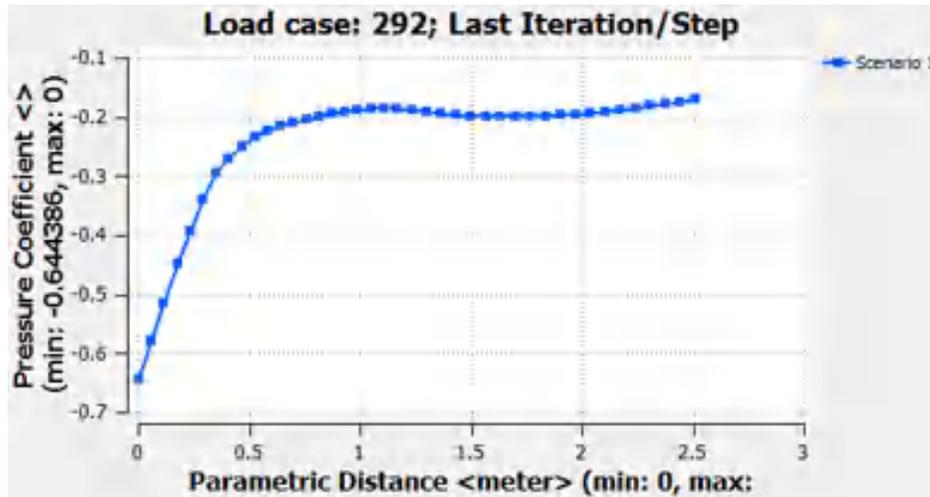
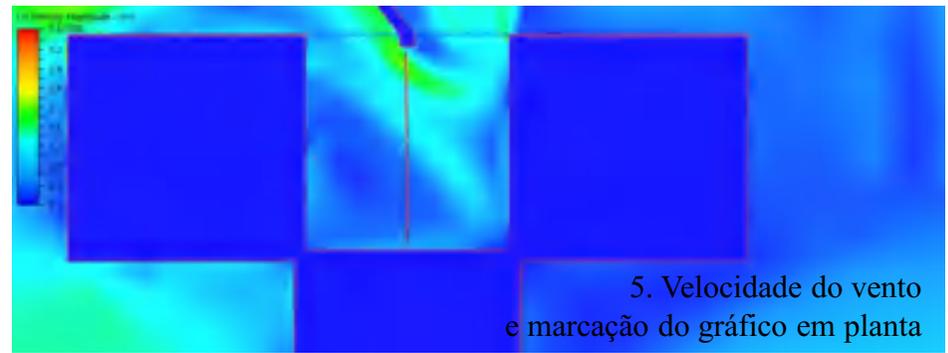


Hipótese 2: Anteparo inclinado com 2m





Hipótese 2: Anteparo inclinado com 2m



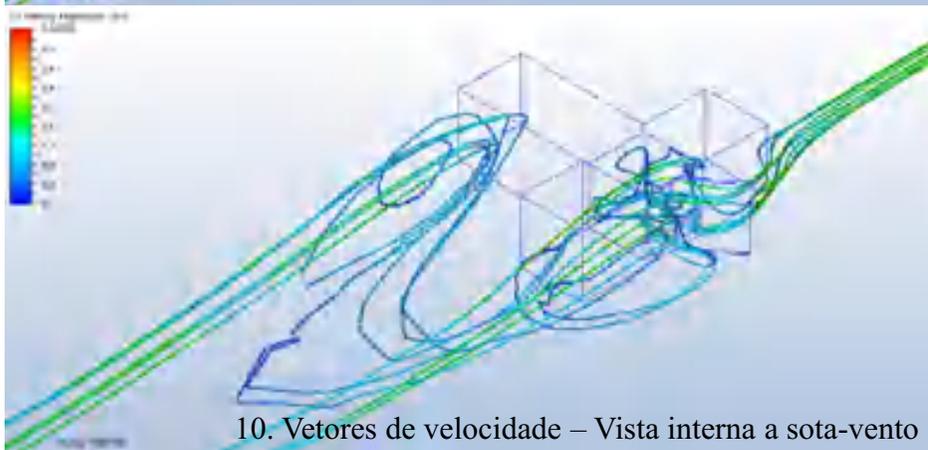
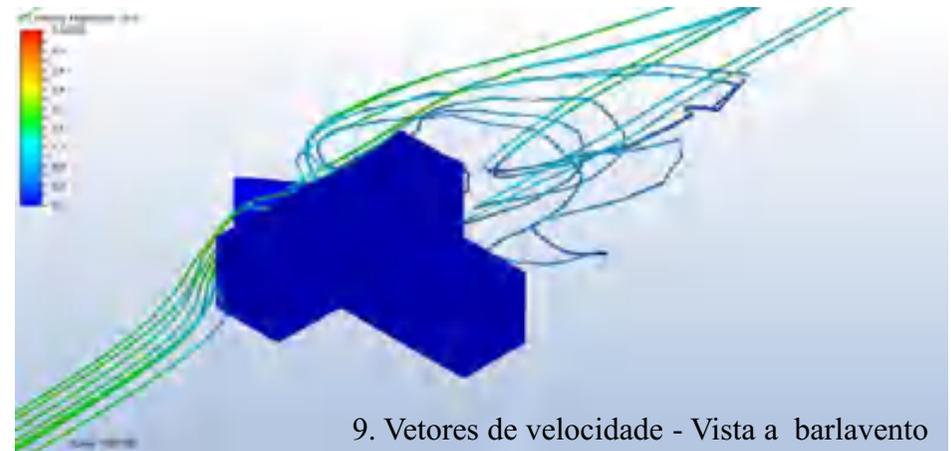
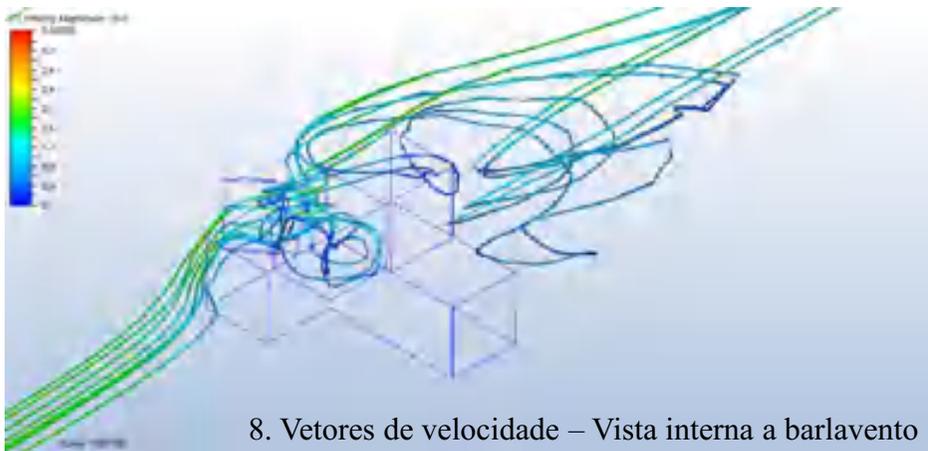
6. Vetores de velocidade - Planta interna



7. Vetores de velocidade – Vista superior

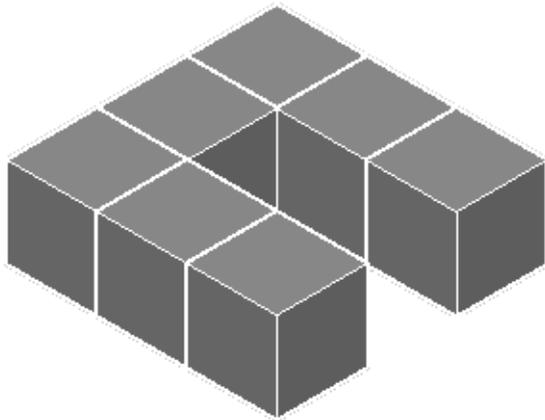


Hipótese 2: Anteparo inclinado com 2m



FACE FRONTAL COM OBSTÁCULO

$M_{20}:H:P$



Hipótese 1: Deslocamento do volume lateral

Hipótese 2: Pátio com 9m

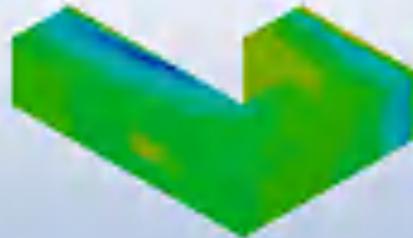
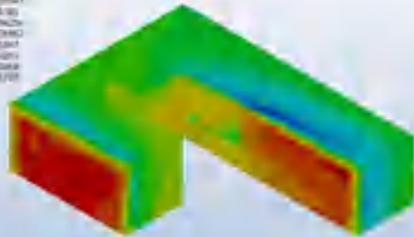
Hipótese 3: Pátio com 18m

Hipótese 4: Anteparo vertical



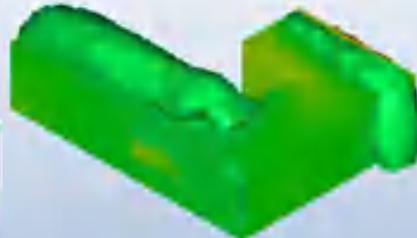
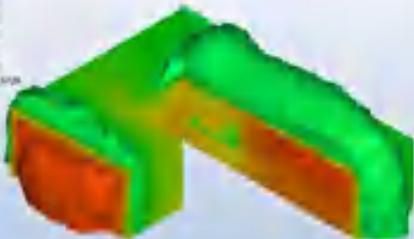
Hipótese 1: Deslocamento do volume lateral

100 Pressure Coefficient

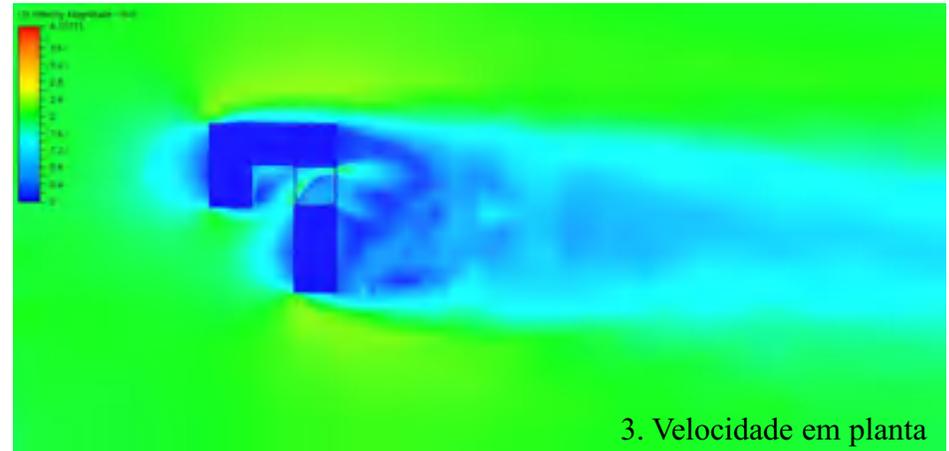


1. Coeficiente de pressão

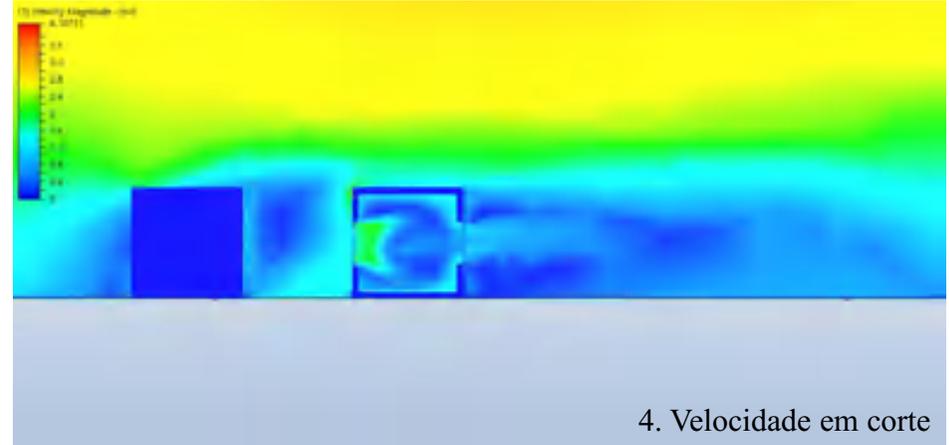
100 Pressure Coefficient



2. Superfícies de pressão



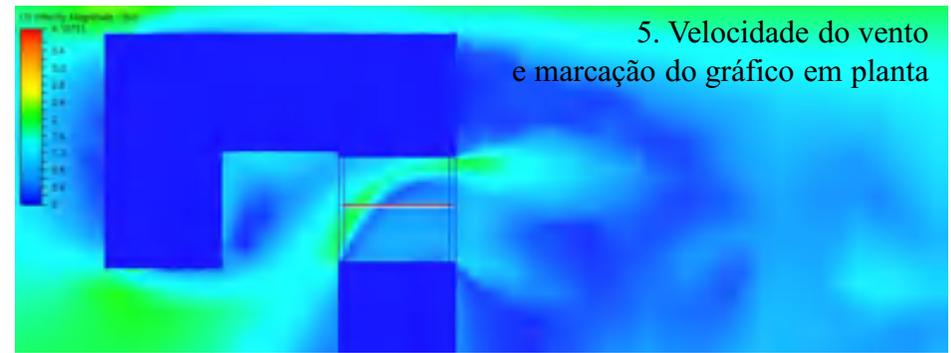
3. Velocidade em planta



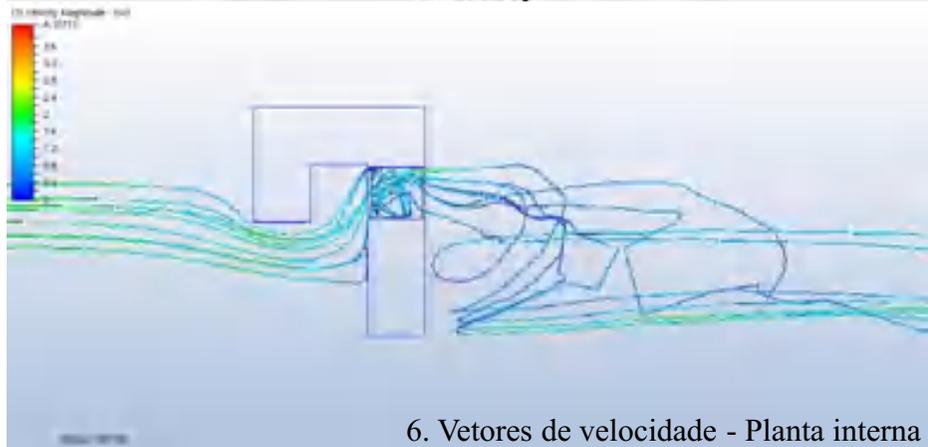
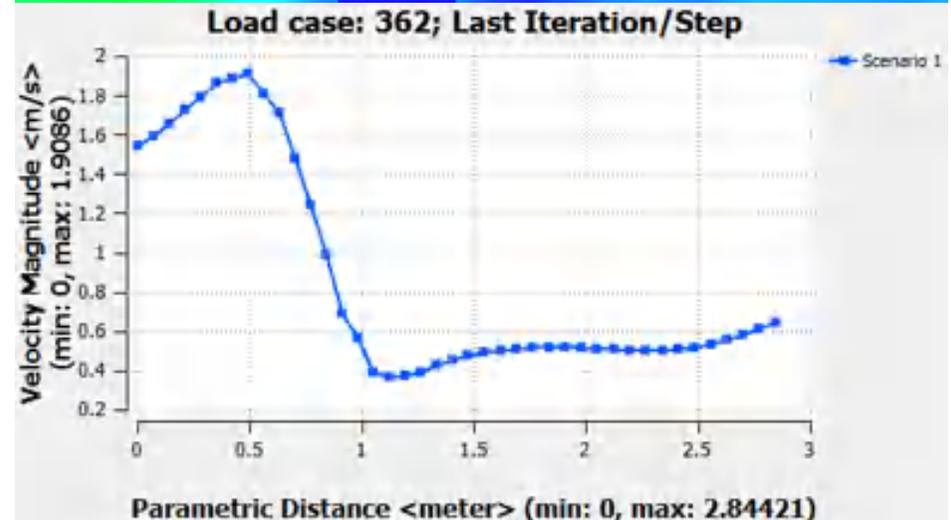
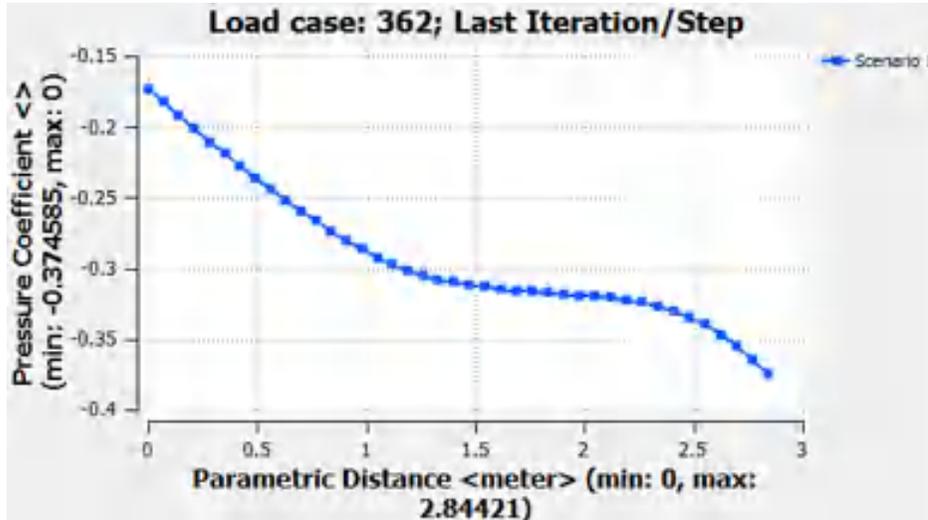
4. Velocidade em corte



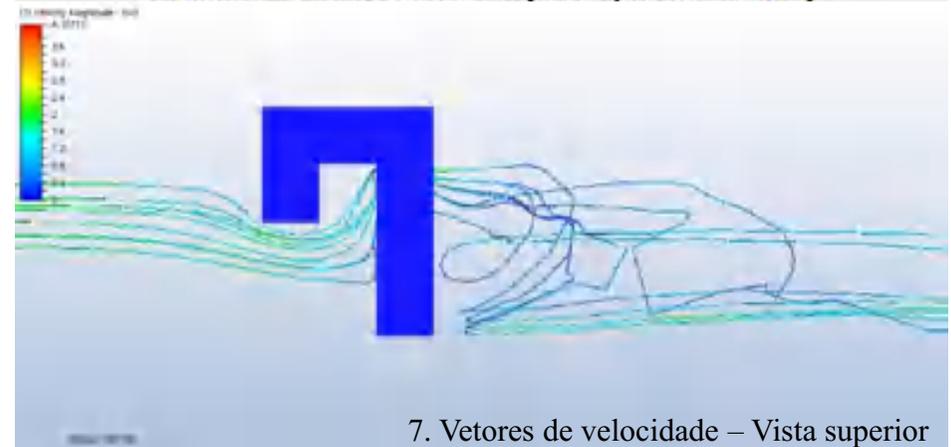
Hipótese 1: Deslocamento do volume lateral



5. Velocidade do vento e marcação do gráfico em planta



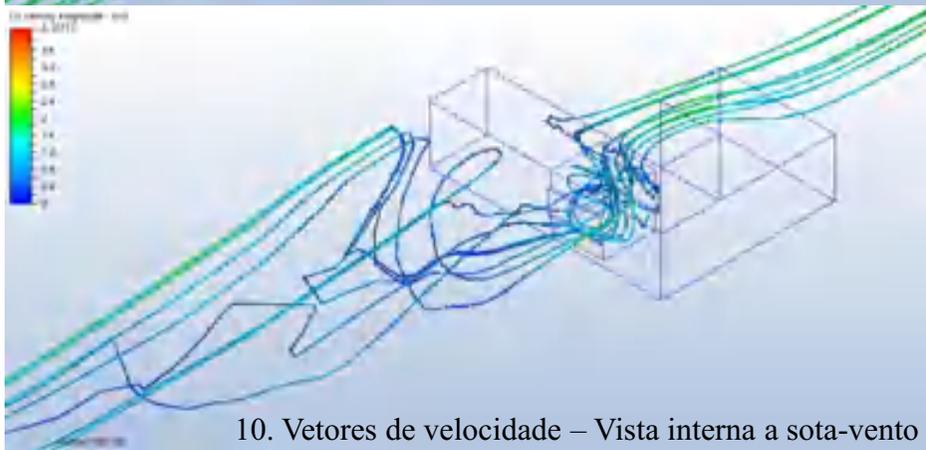
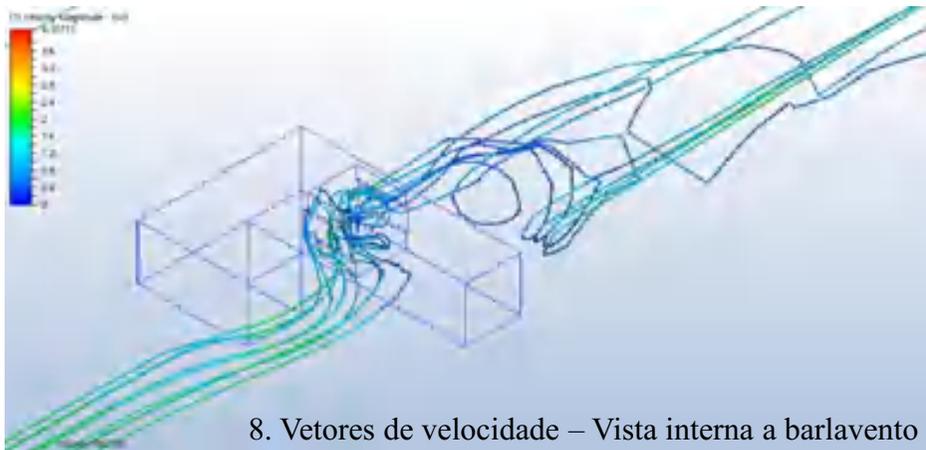
6. Vetores de velocidade - Planta interna



7. Vetores de velocidade – Vista superior

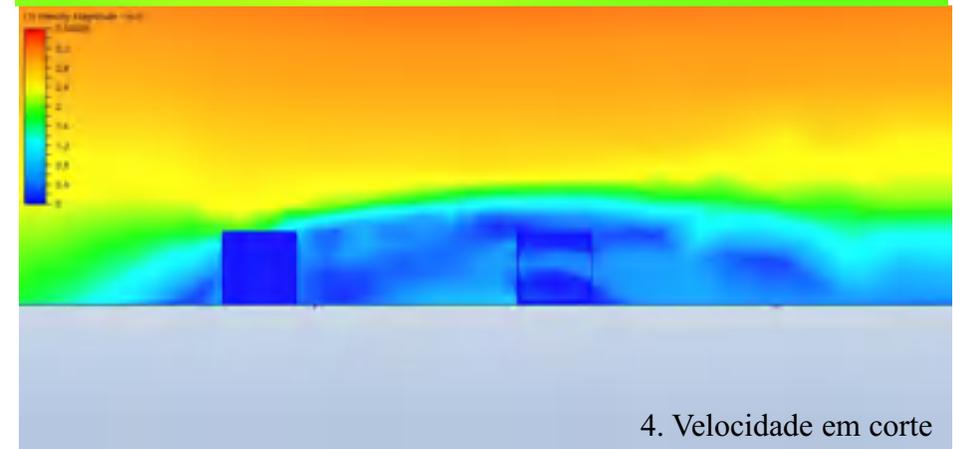
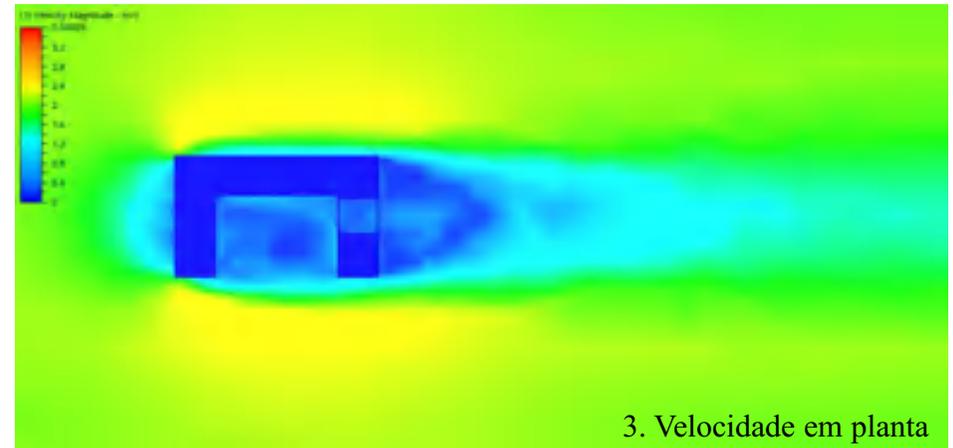
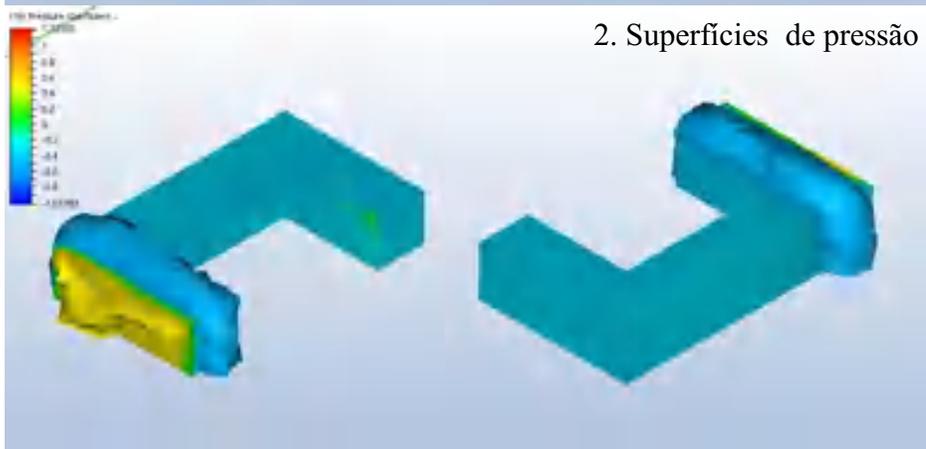
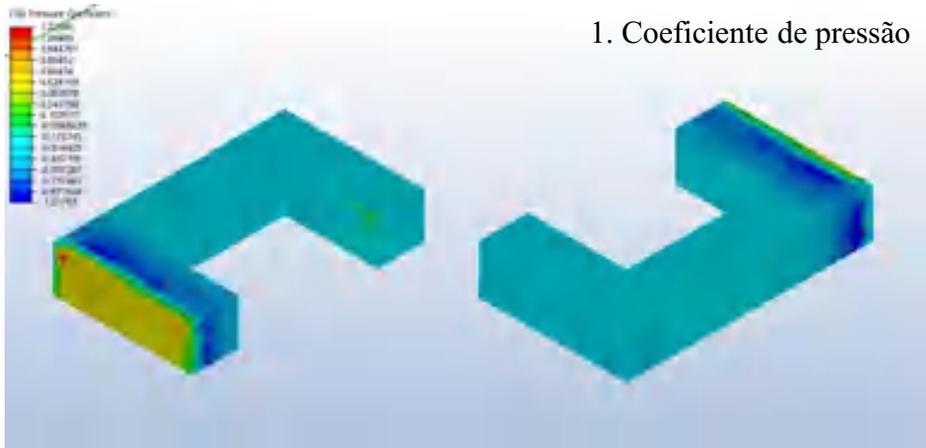


Hipótese 1: Deslocamento do volume lateral



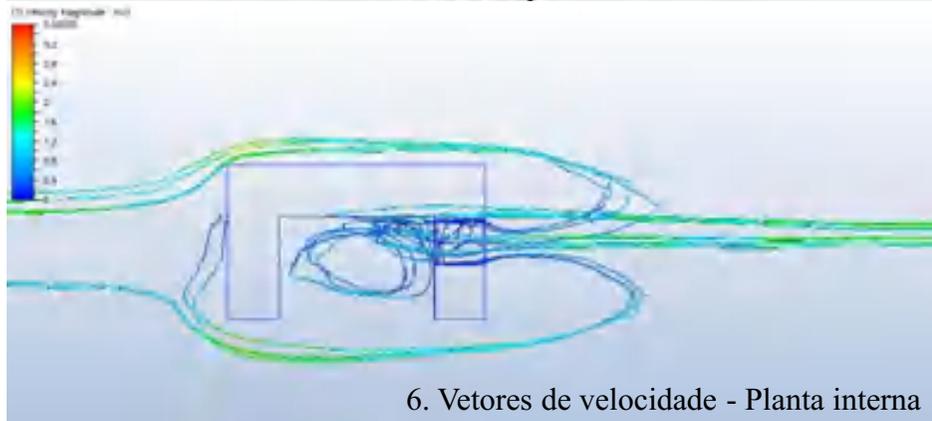
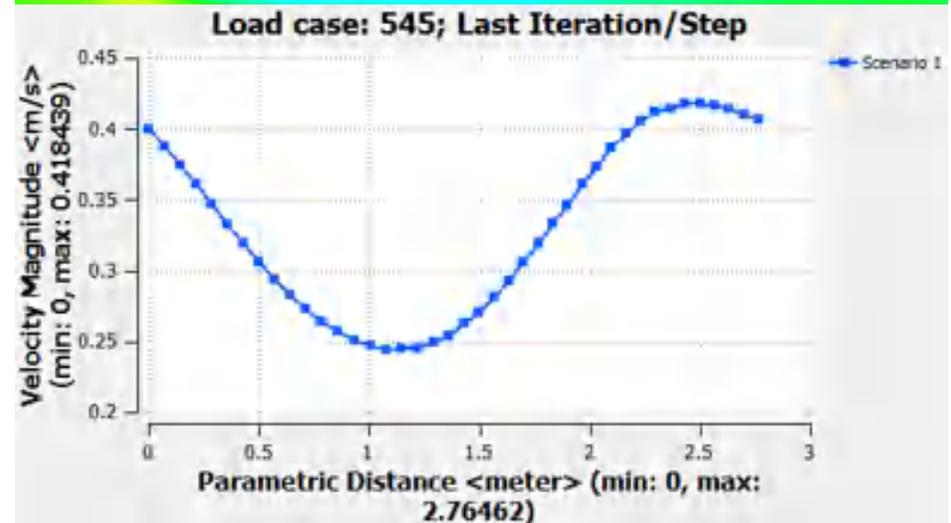
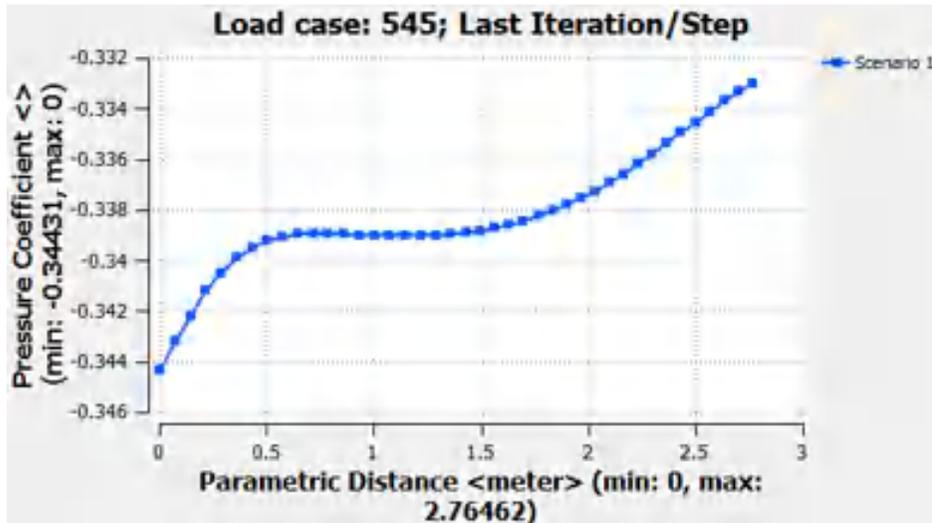
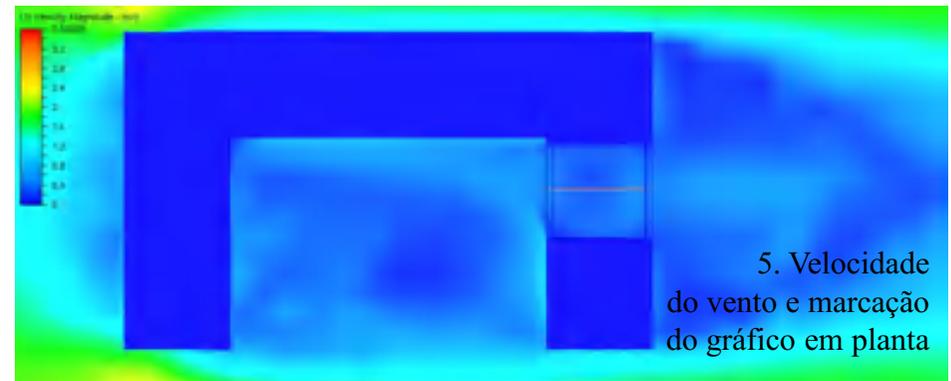


Hipótese 2: Pátio com 9m

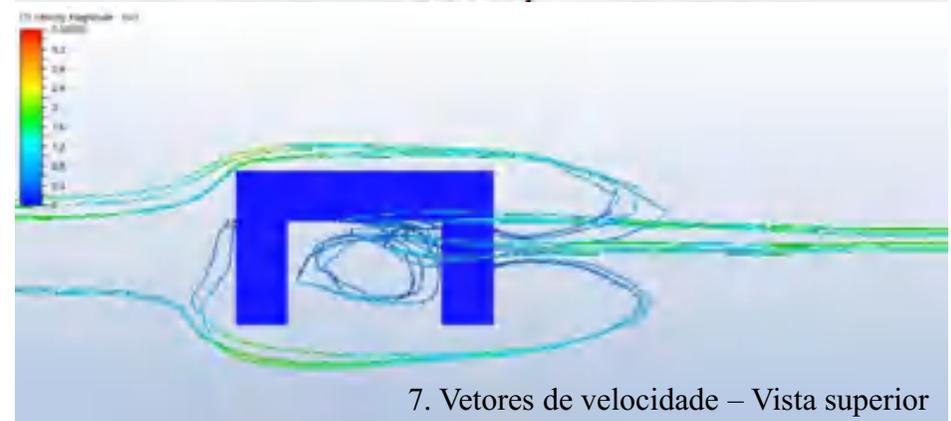




Hipótese 2: Pátio com 9m



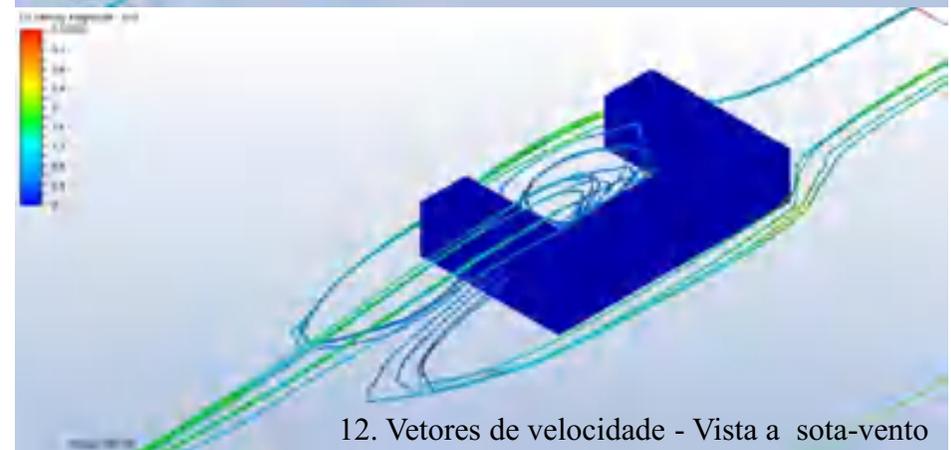
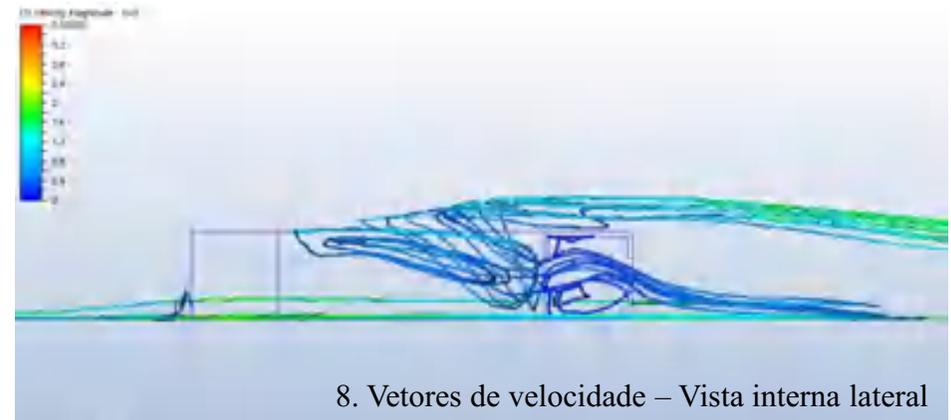
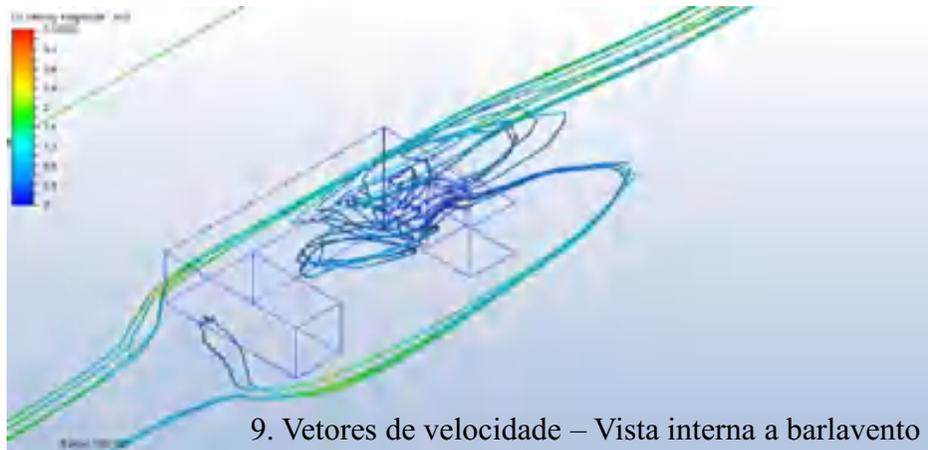
6. Vetores de velocidade - Planta interna



7. Vetores de velocidade – Vista superior

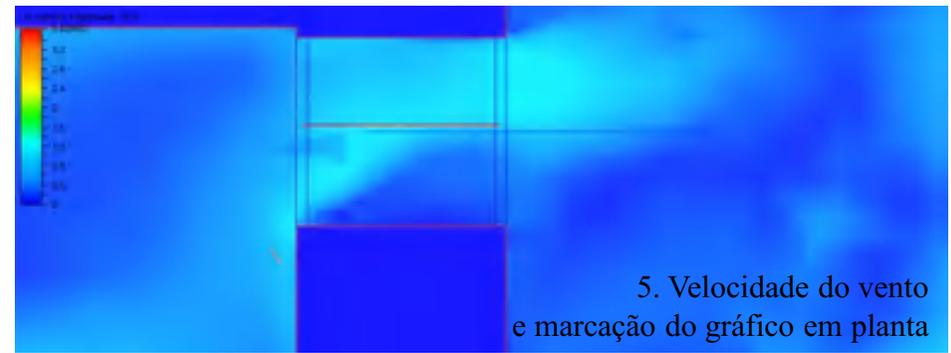


Hipótese 2: Pátio com 9m

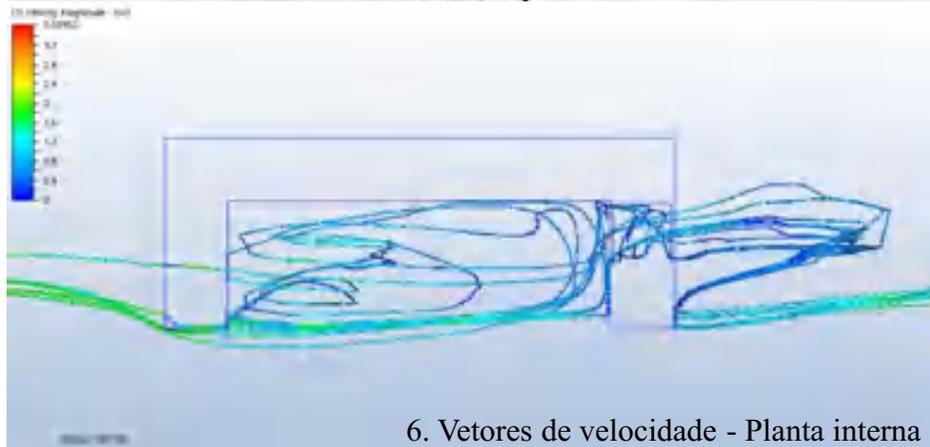
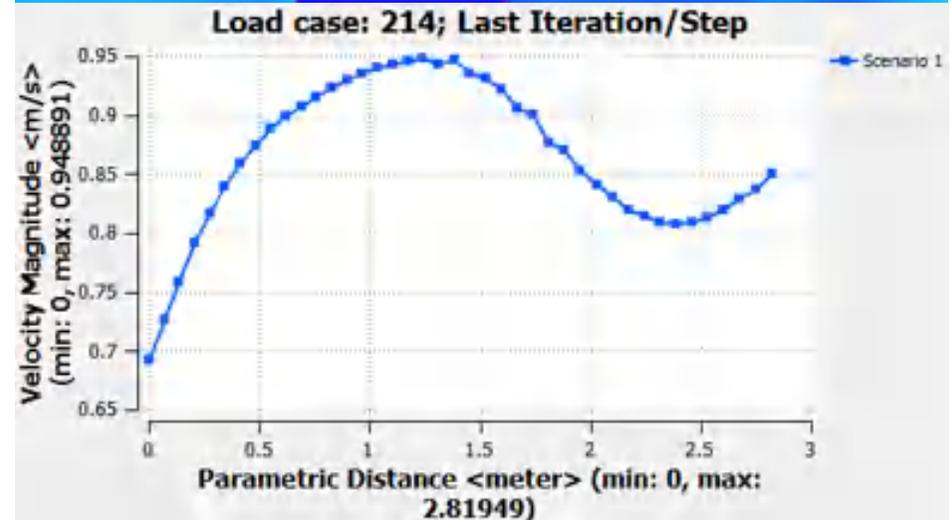
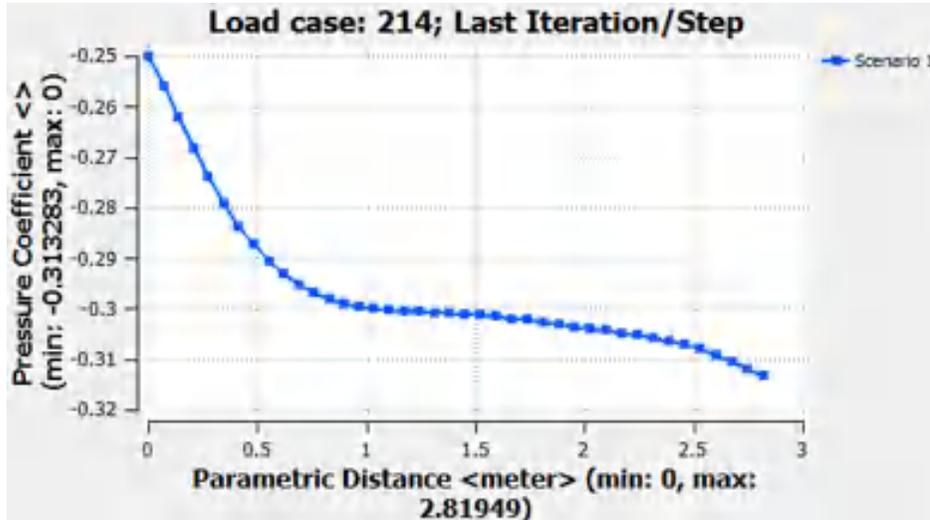




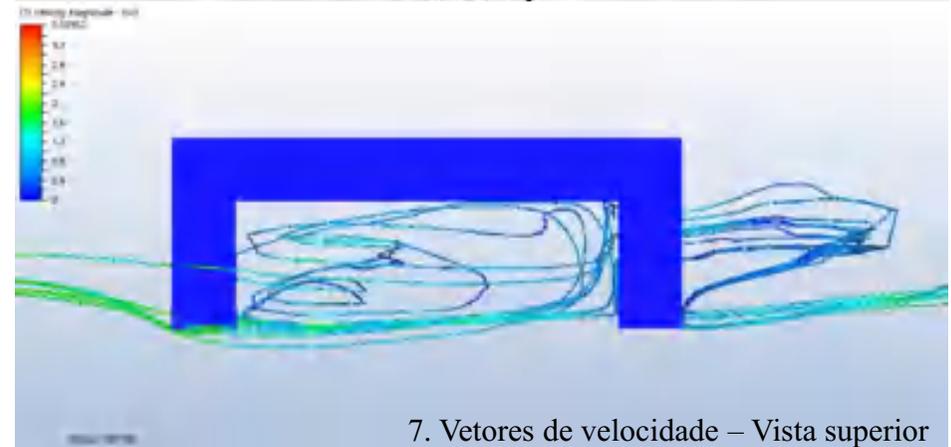
Hipótese 3: Pátio com 18m



5. Velocidade do vento e marcação do gráfico em planta



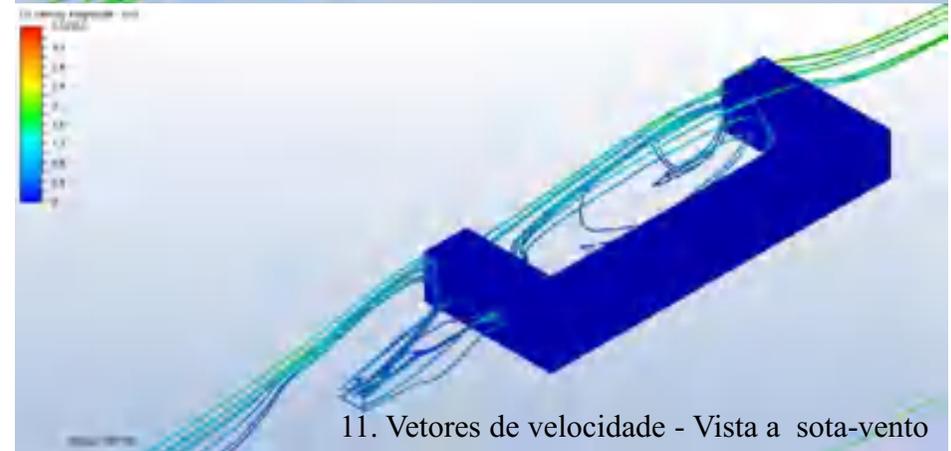
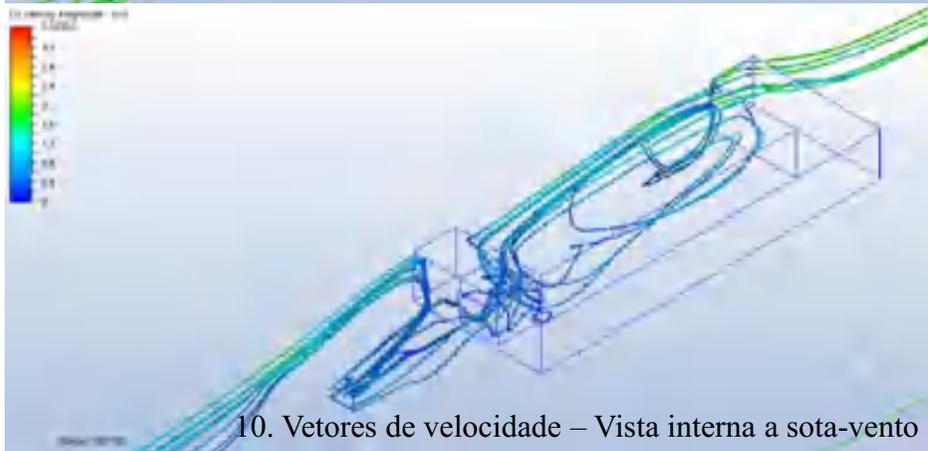
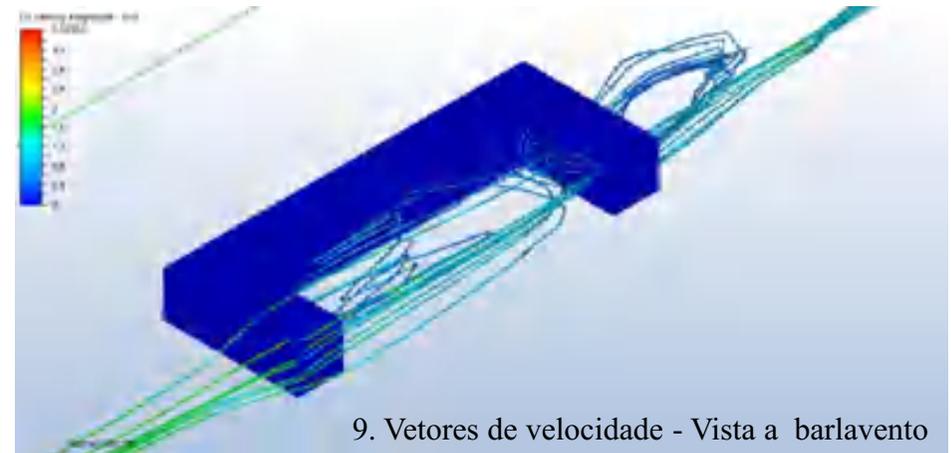
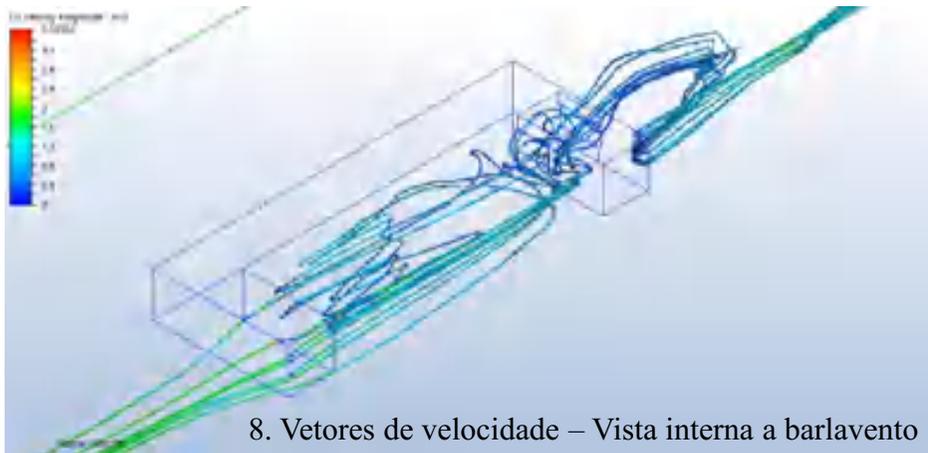
6. Vetores de velocidade - Planta interna

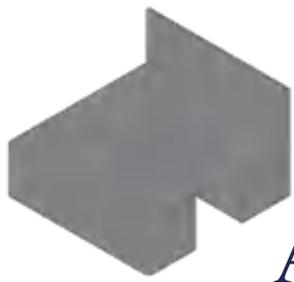


7. Vetores de velocidade – Vista superior

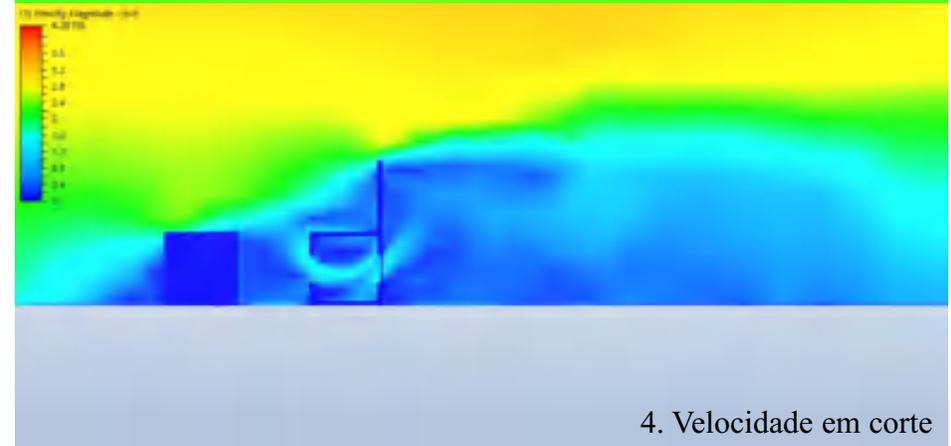
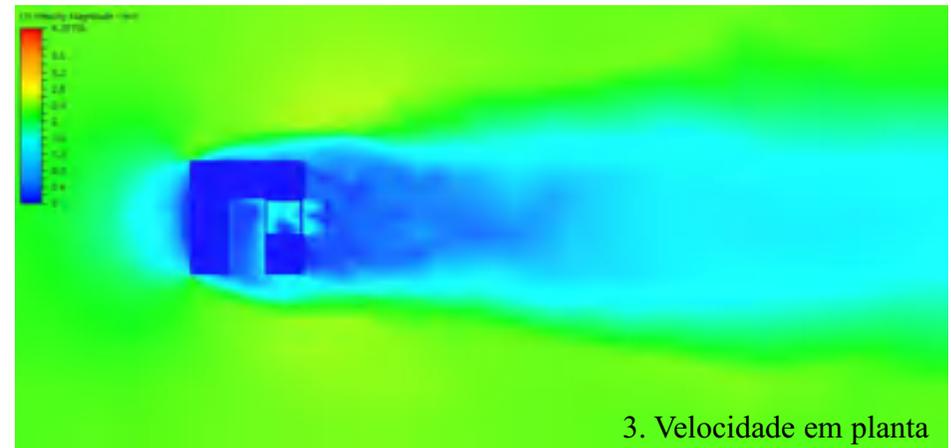
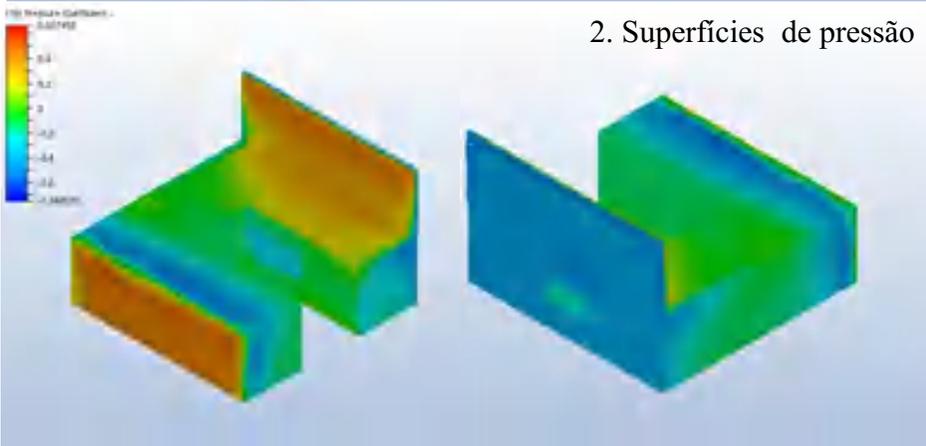
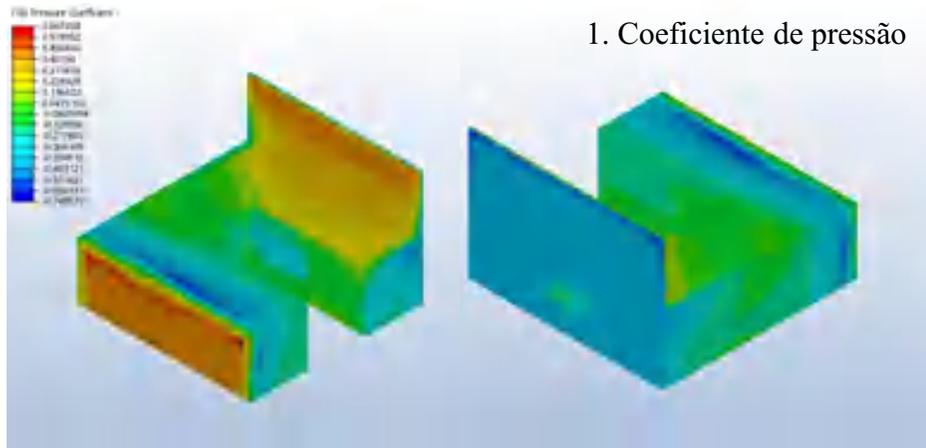


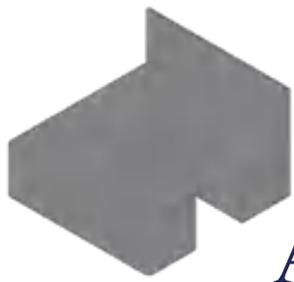
Hipótese 3: Pátio com 18m



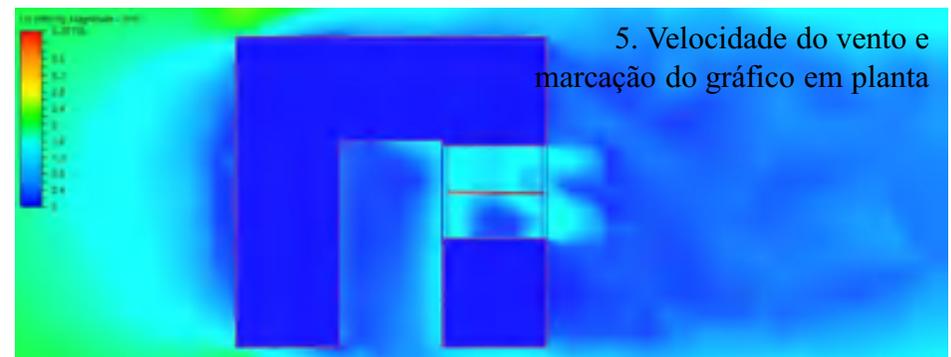


Hipótese 4: Anteparo vertical

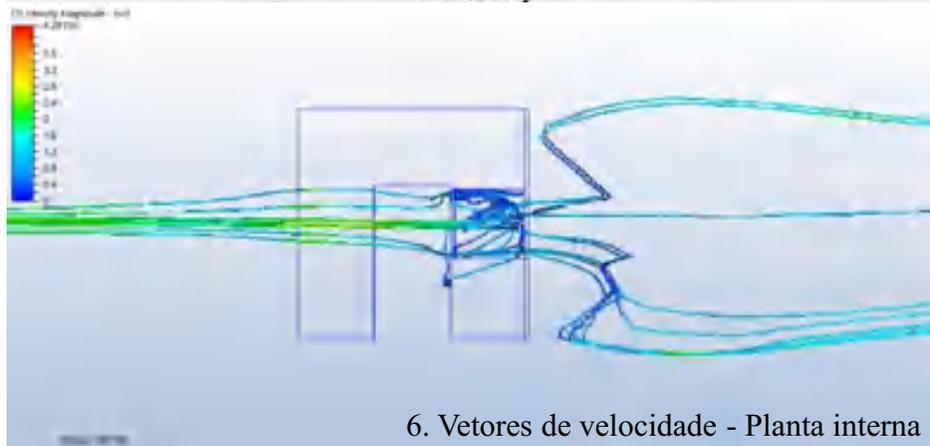
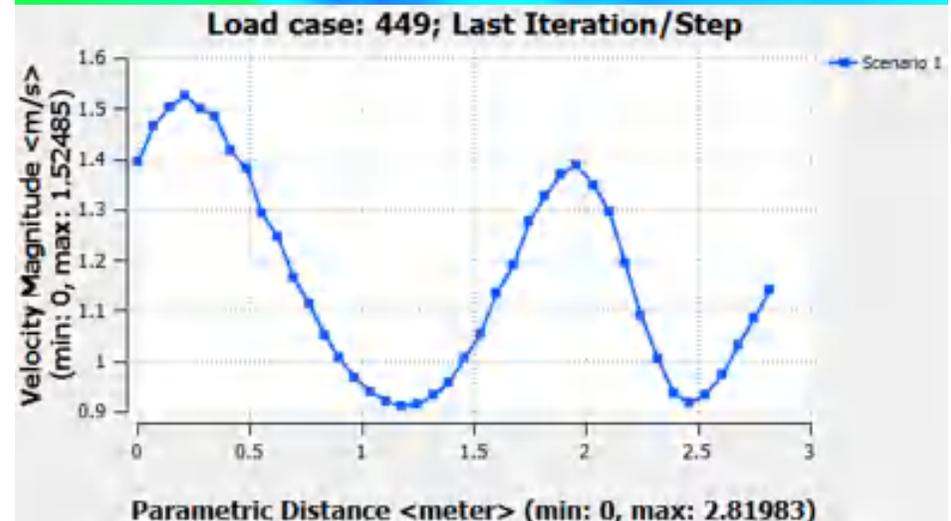
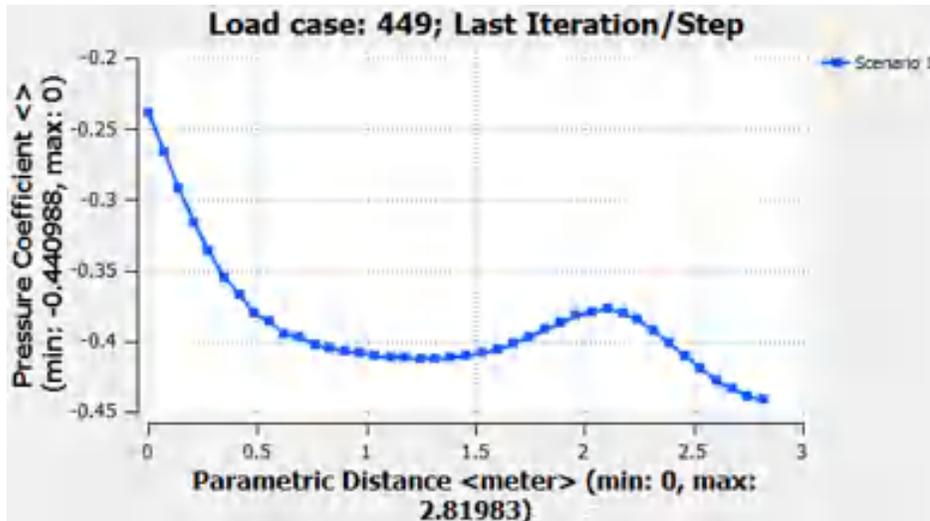




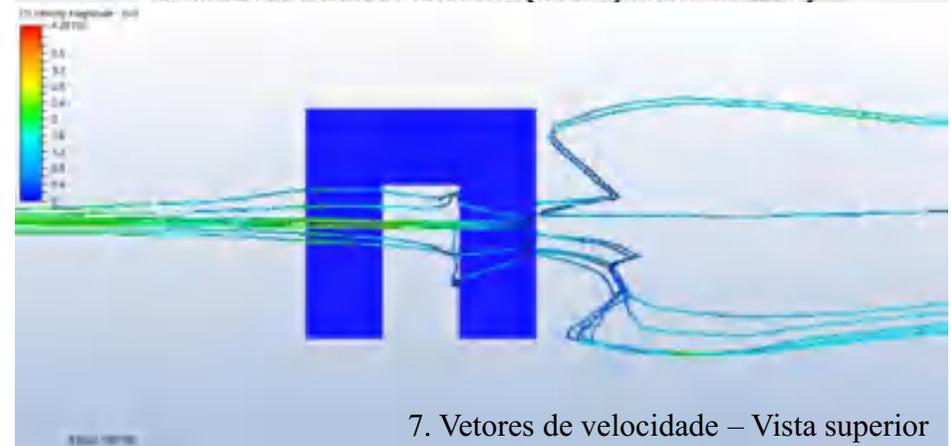
Hipótese 4: Anteparo vertical



5. Velocidade do vento e
marcação do gráfico em planta



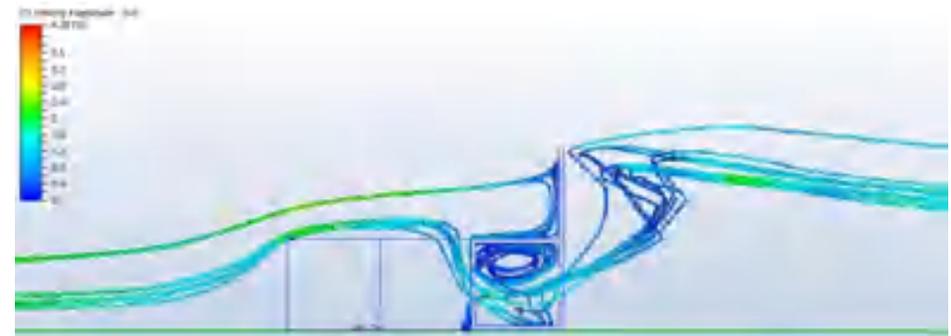
6. Vetores de velocidade - Planta interna



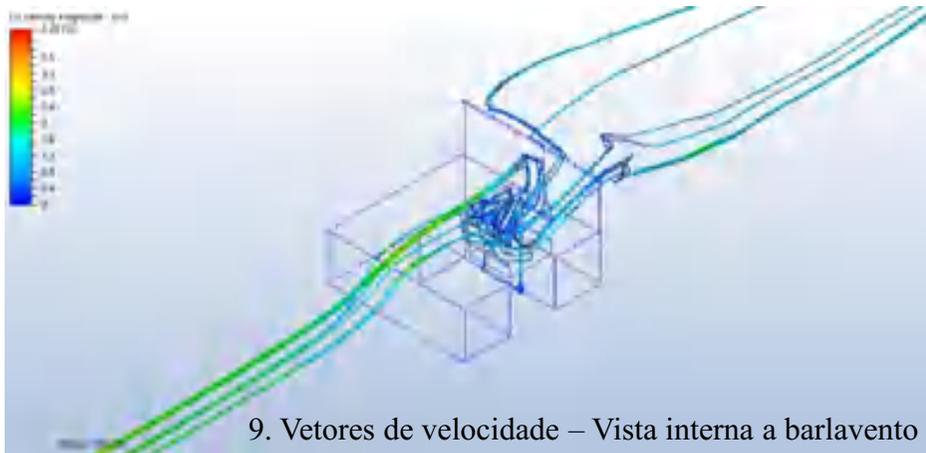
7. Vetores de velocidade – Vista superior



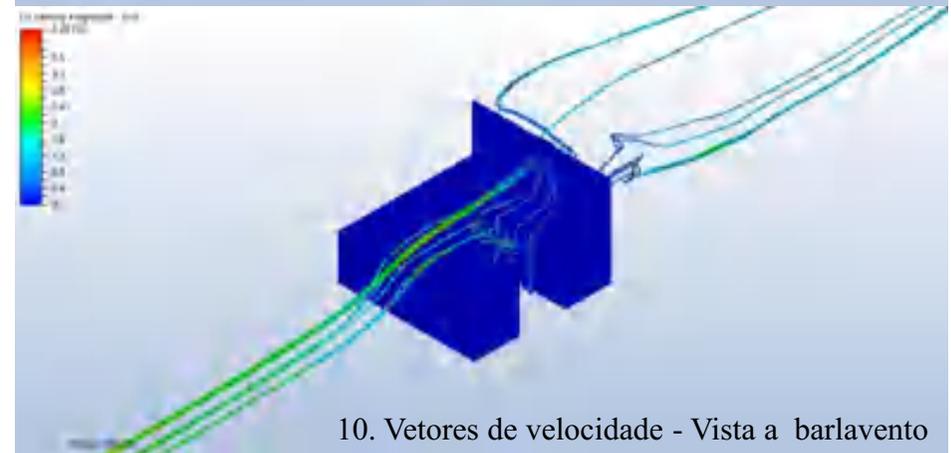
Hipótese 4: Anteparo vertical



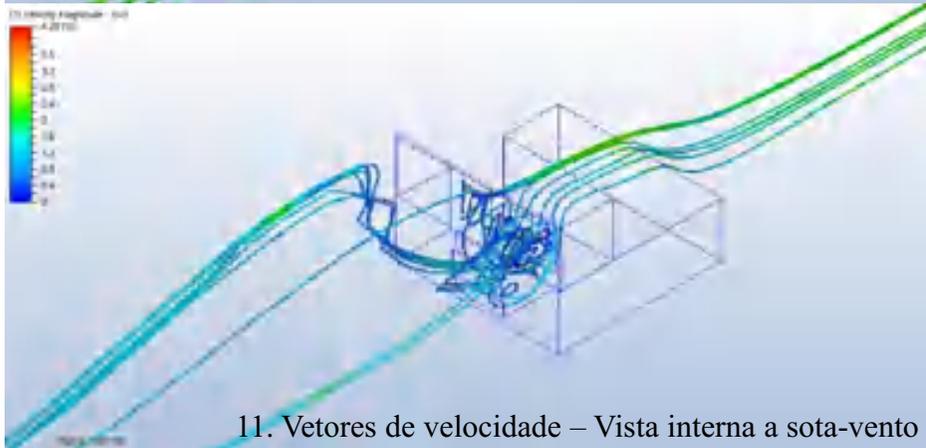
8. Vetores de velocidade – Vista interna lateral



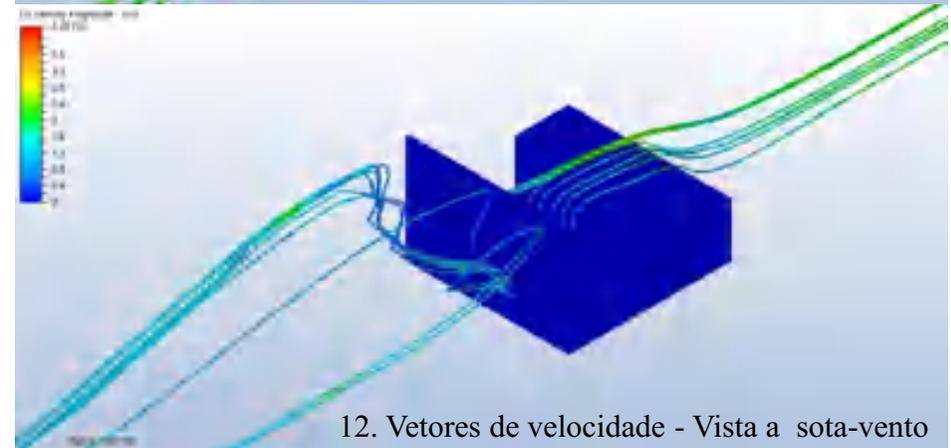
9. Vetores de velocidade – Vista interna a barlavento



10. Vetores de velocidade - Vista a barlavento



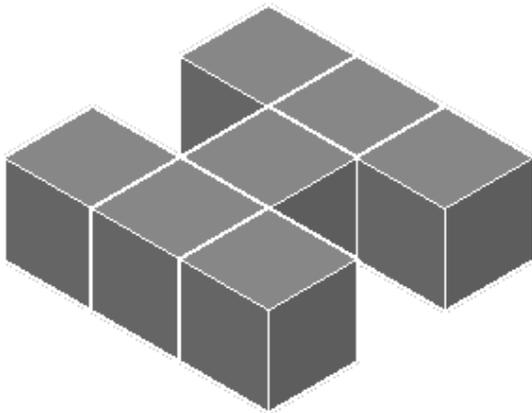
11. Vetores de velocidade – Vista interna a sota-vento



12. Vetores de velocidade - Vista a sota-vento

FACE FRONTAL COM OBSTÁCULO

M21:H:P

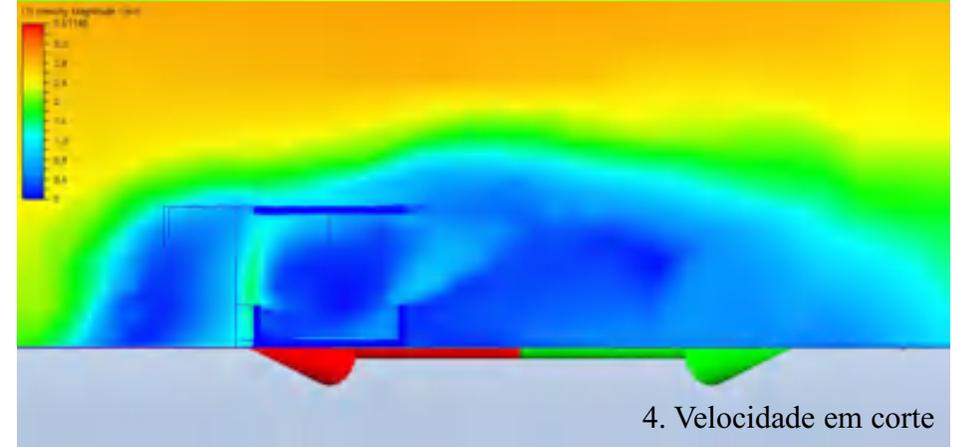
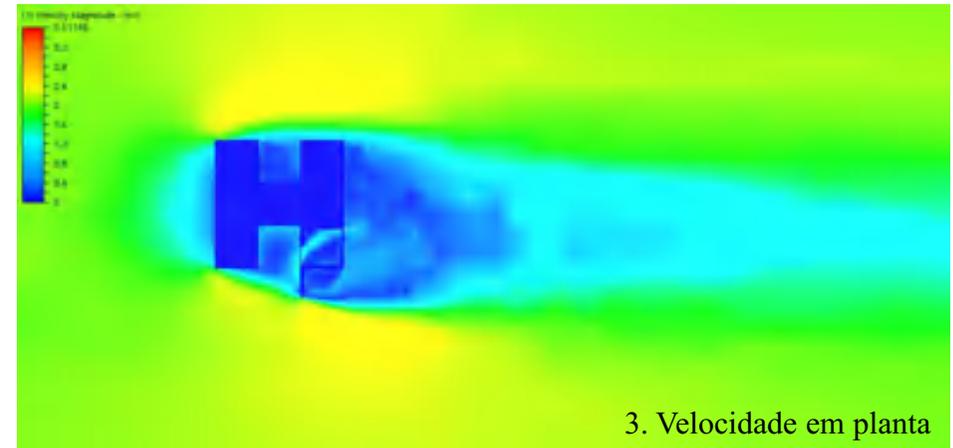
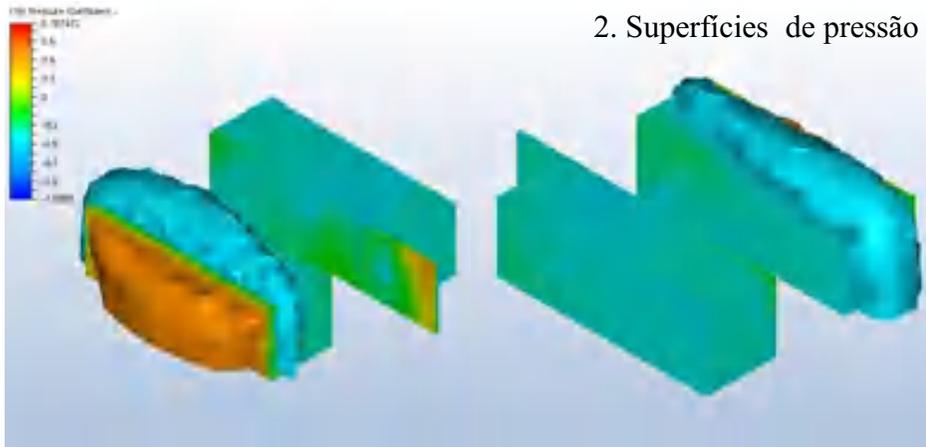
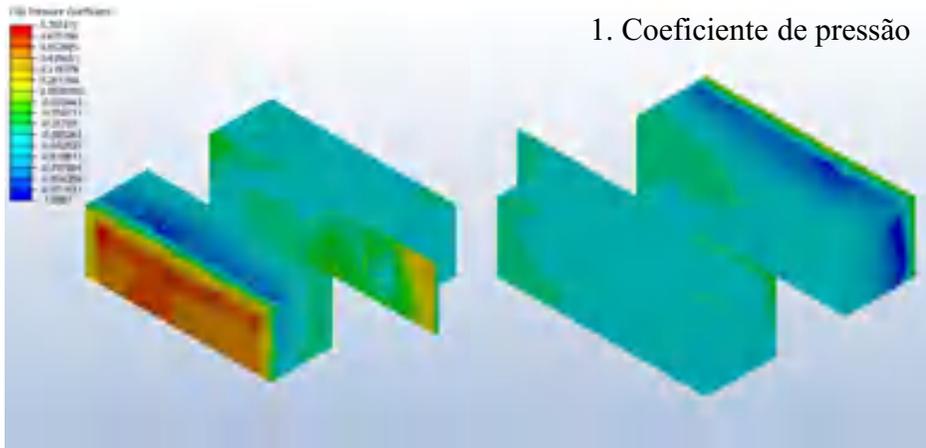


Hipótese 1: Anteparo com 2m

Hipótese 2: Anteparo inclinado com 2m

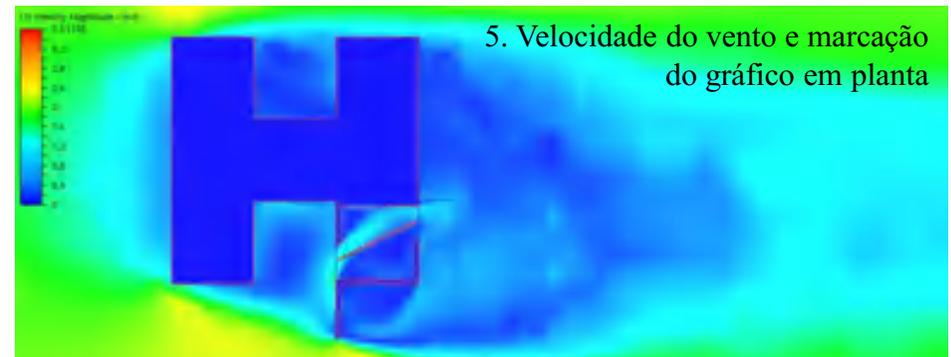


Hipótese 1: Anteparo com 2m

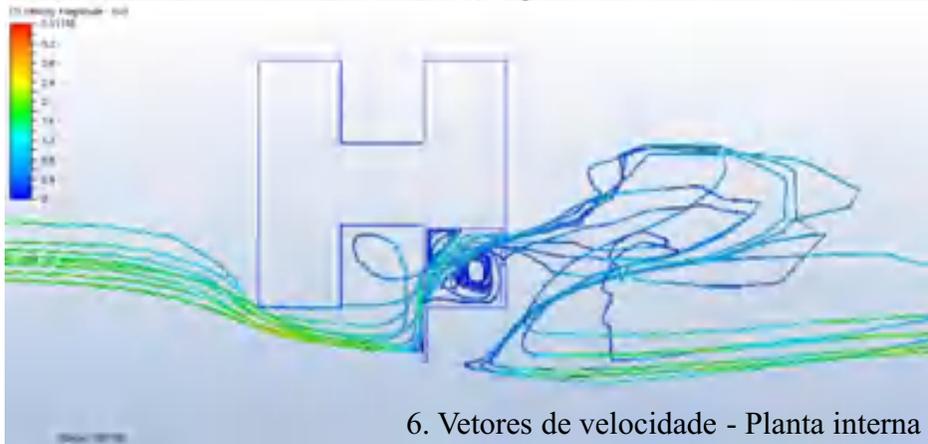
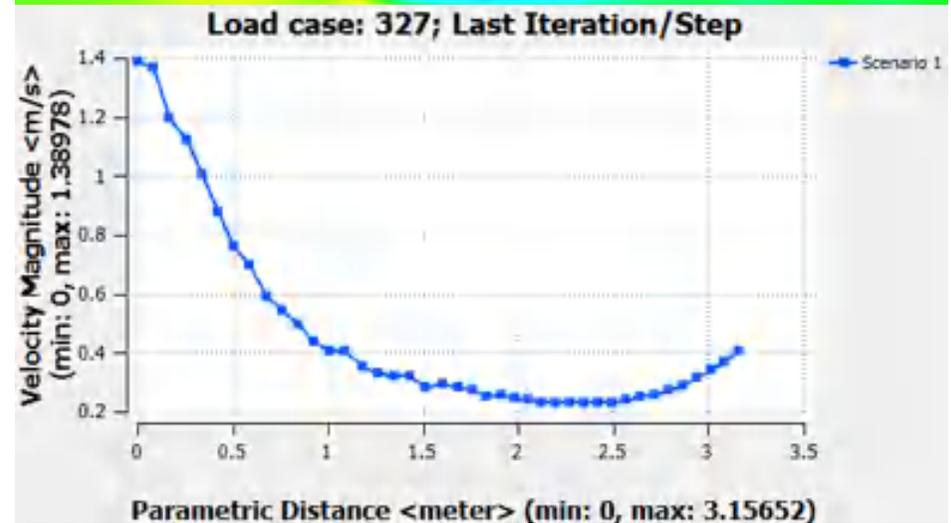
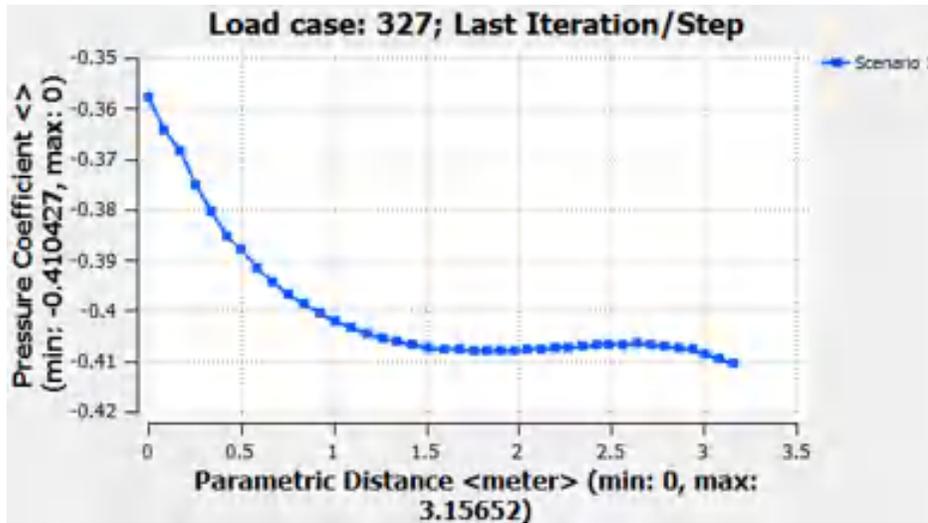




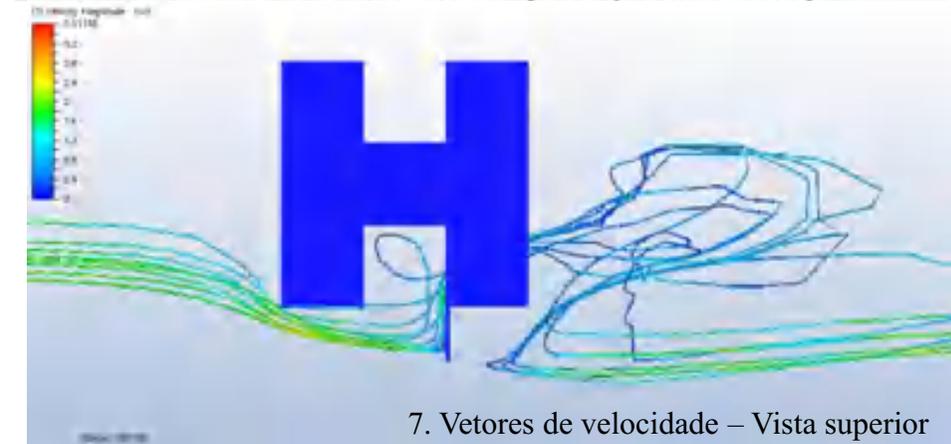
Hipótese 1: Anteparo com 2m



5. Velocidade do vento e marcação do gráfico em planta



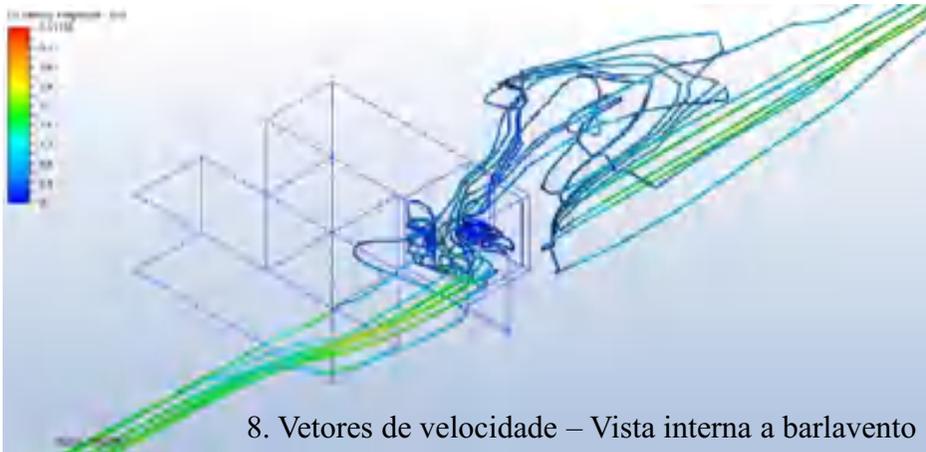
6. Vetores de velocidade - Planta interna



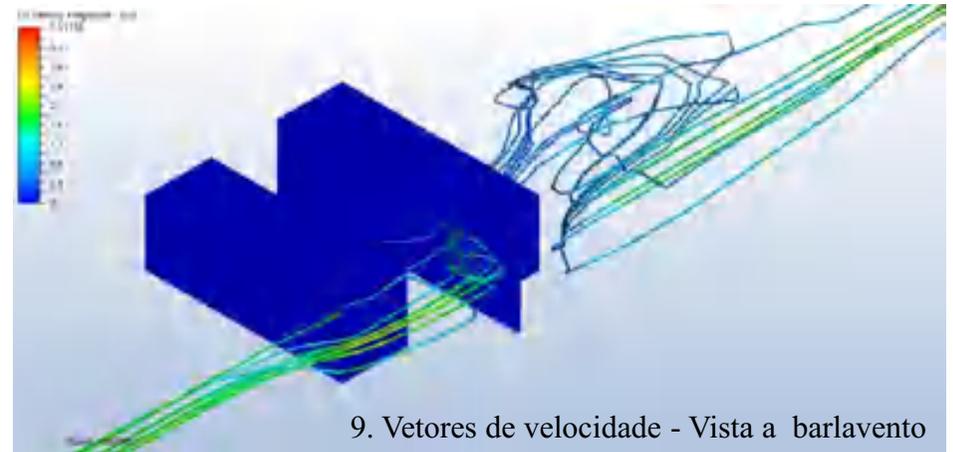
7. Vetores de velocidade – Vista superior



Hipótese 1: Anteparo com 2m



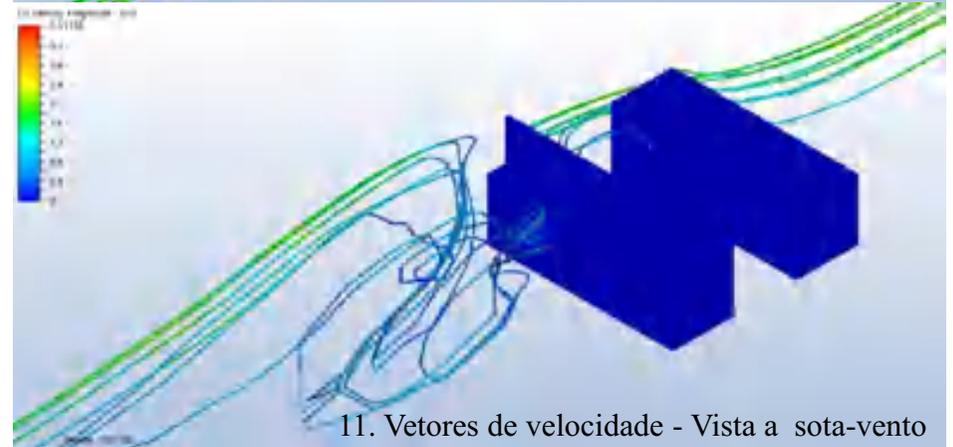
8. Vetores de velocidade – Vista interna a barlavento



9. Vetores de velocidade - Vista a barlavento



10. Vetores de velocidade – Vista interna a sota-vento

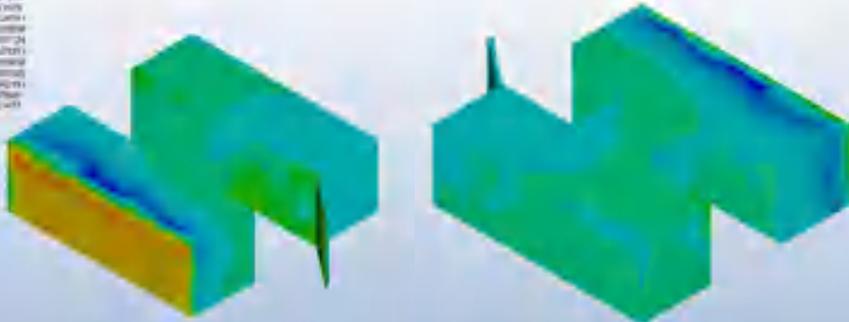


11. Vetores de velocidade - Vista a sota-vento



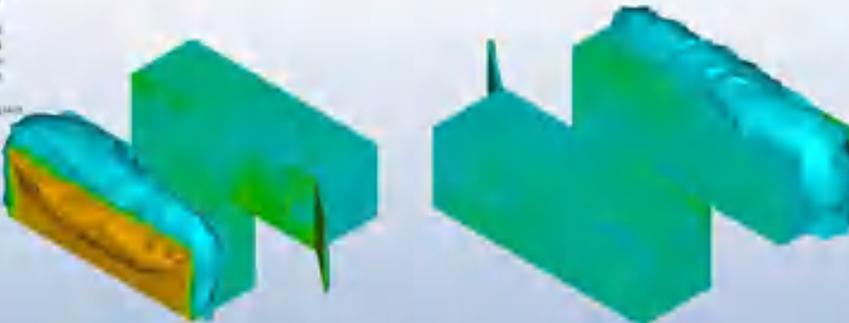
Hipótese 2: Anteparo inclinado com 2m

1. Coeficiente de pressão

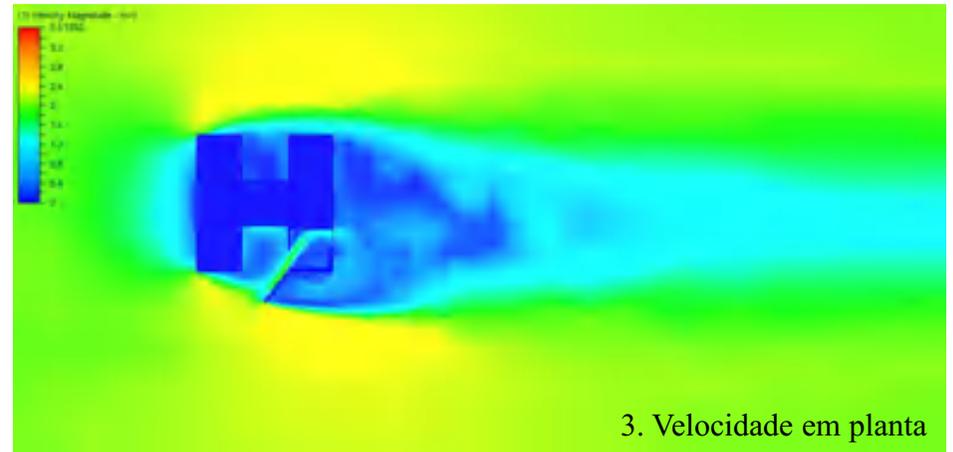


1. Coeficiente de pressão

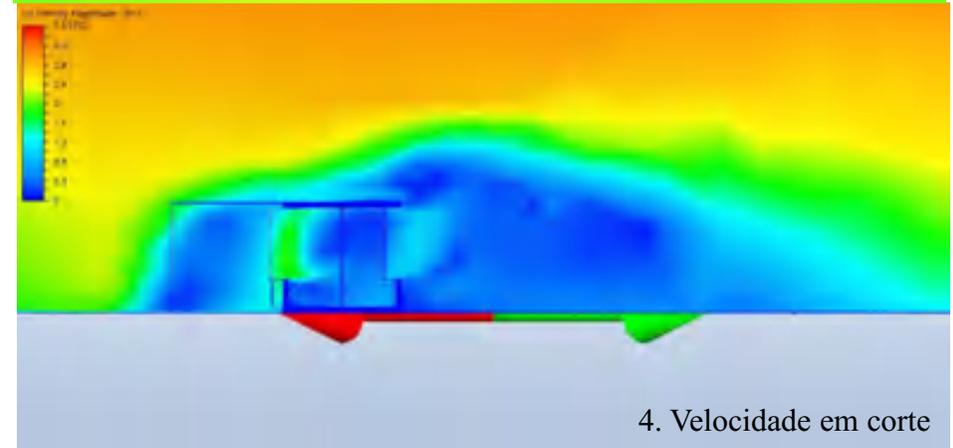
2. Superfícies de pressão



2. Superfícies de pressão



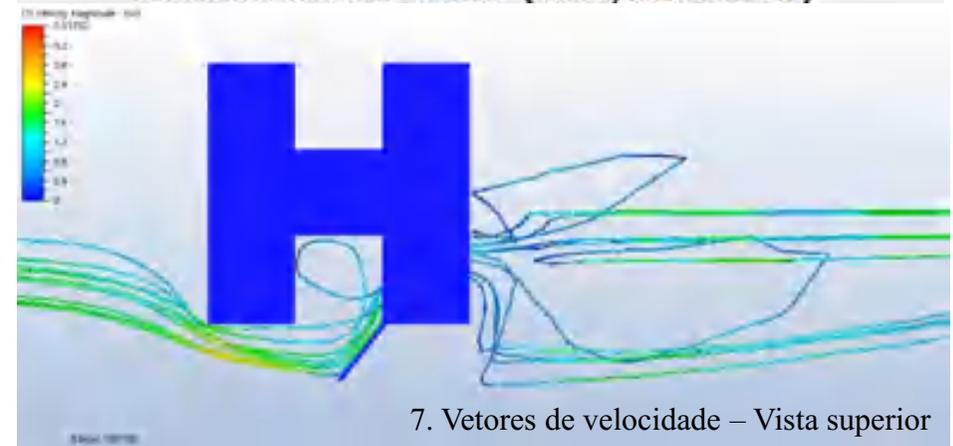
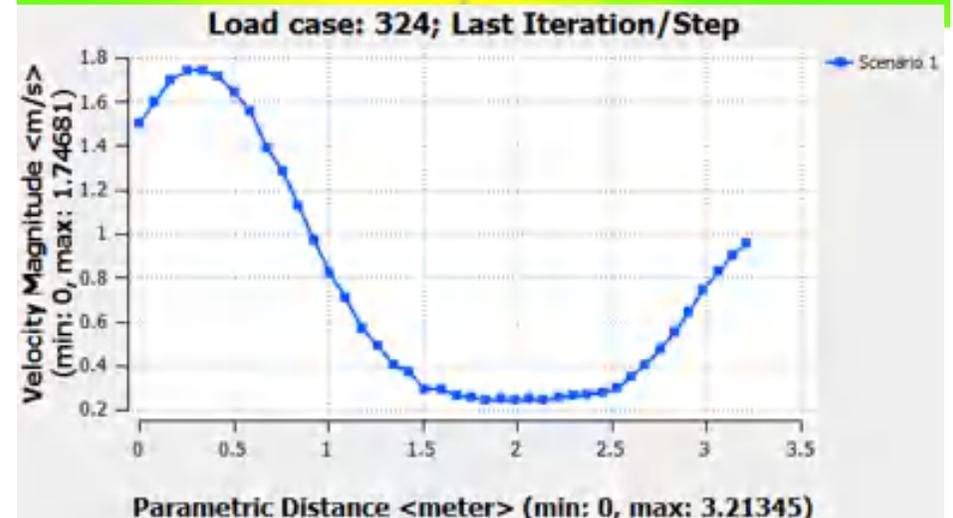
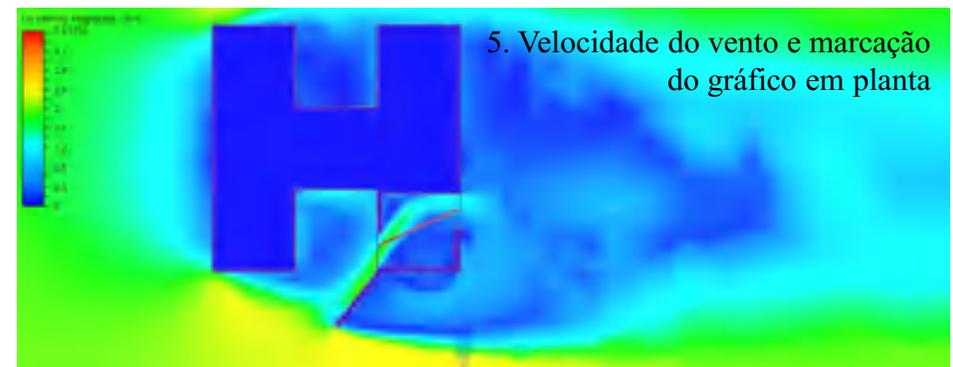
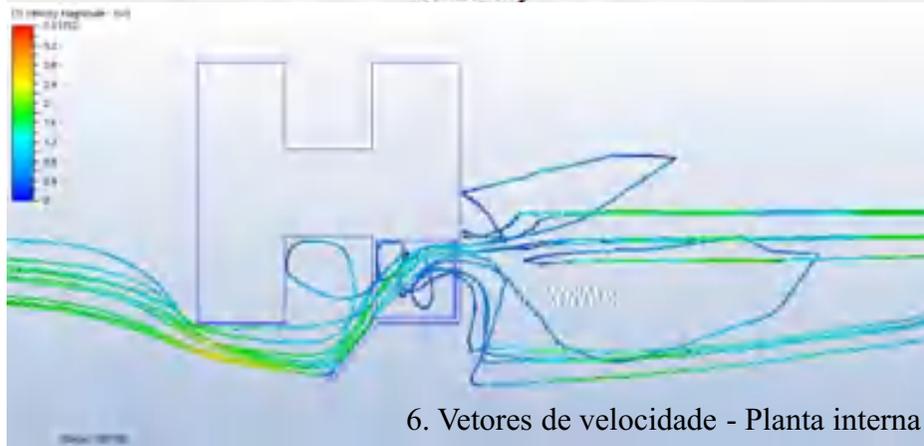
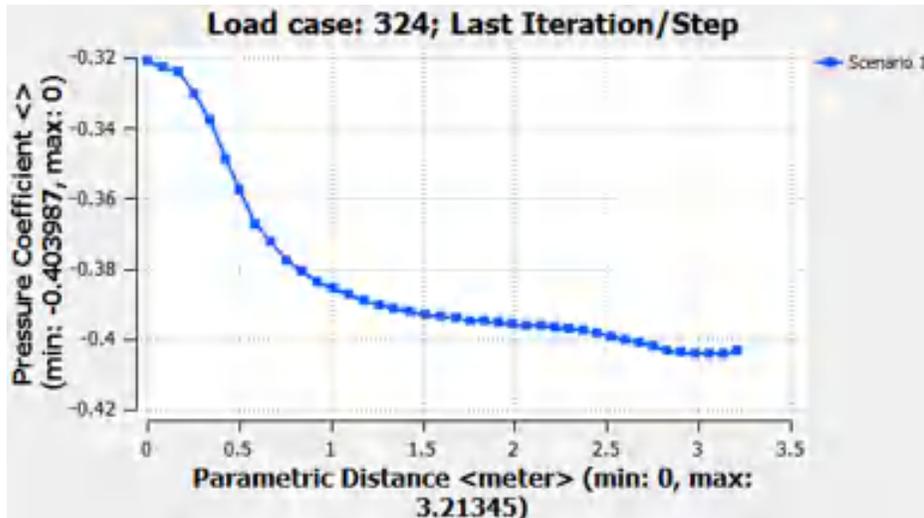
3. Velocidade em planta



4. Velocidade em corte

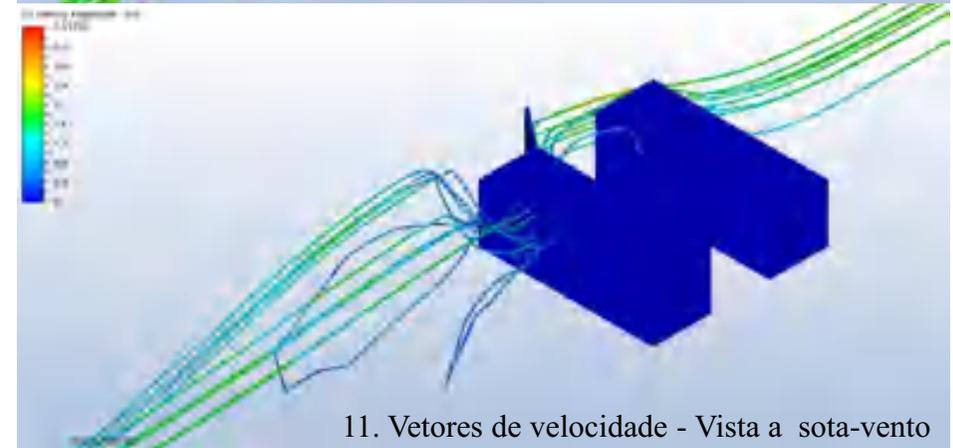
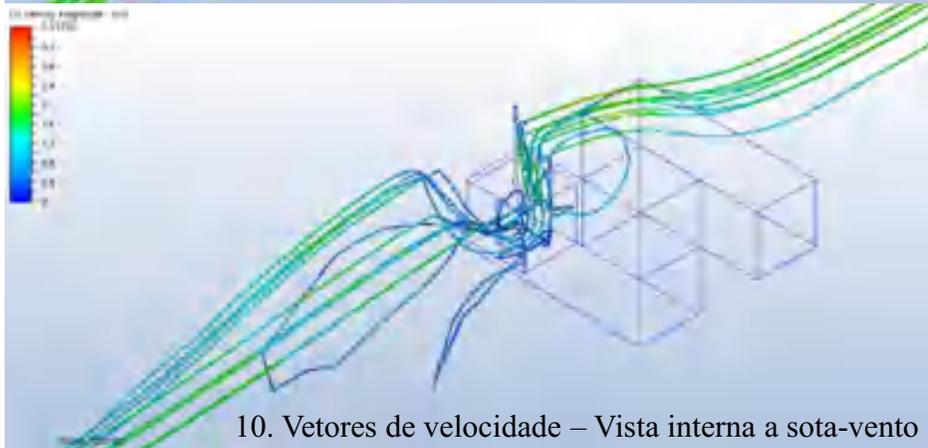
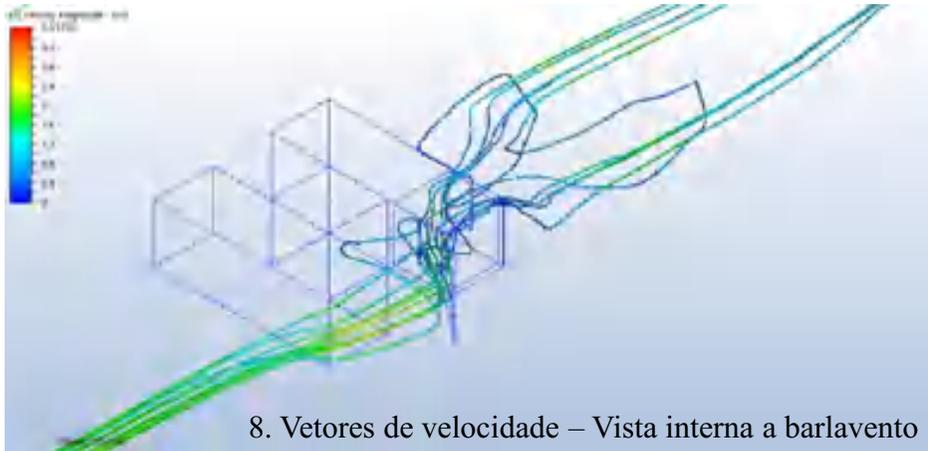


Hipótese 2: Anteparo inclinado com 2m

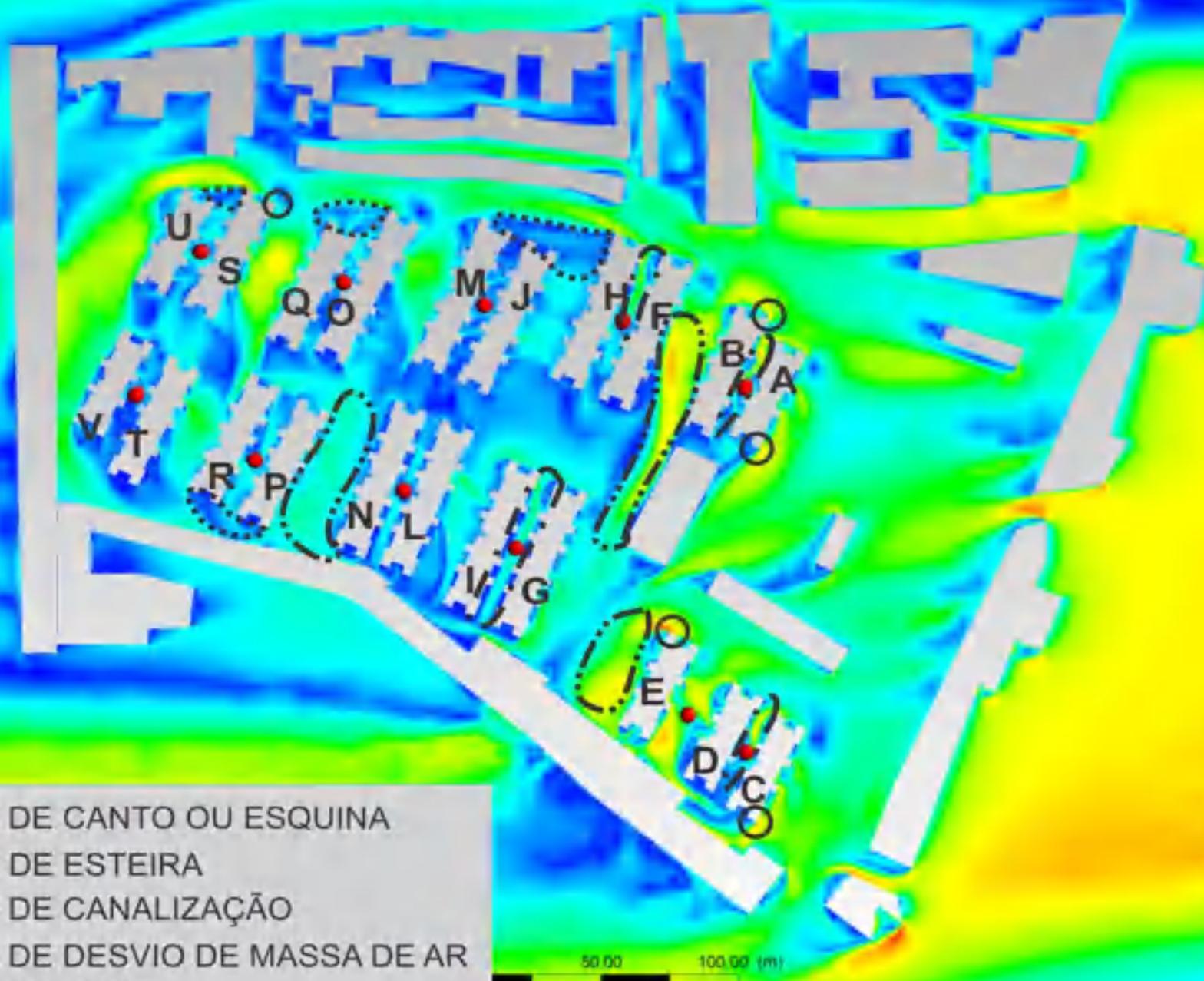




Hipótese 2: Anteparo inclinado com 2m



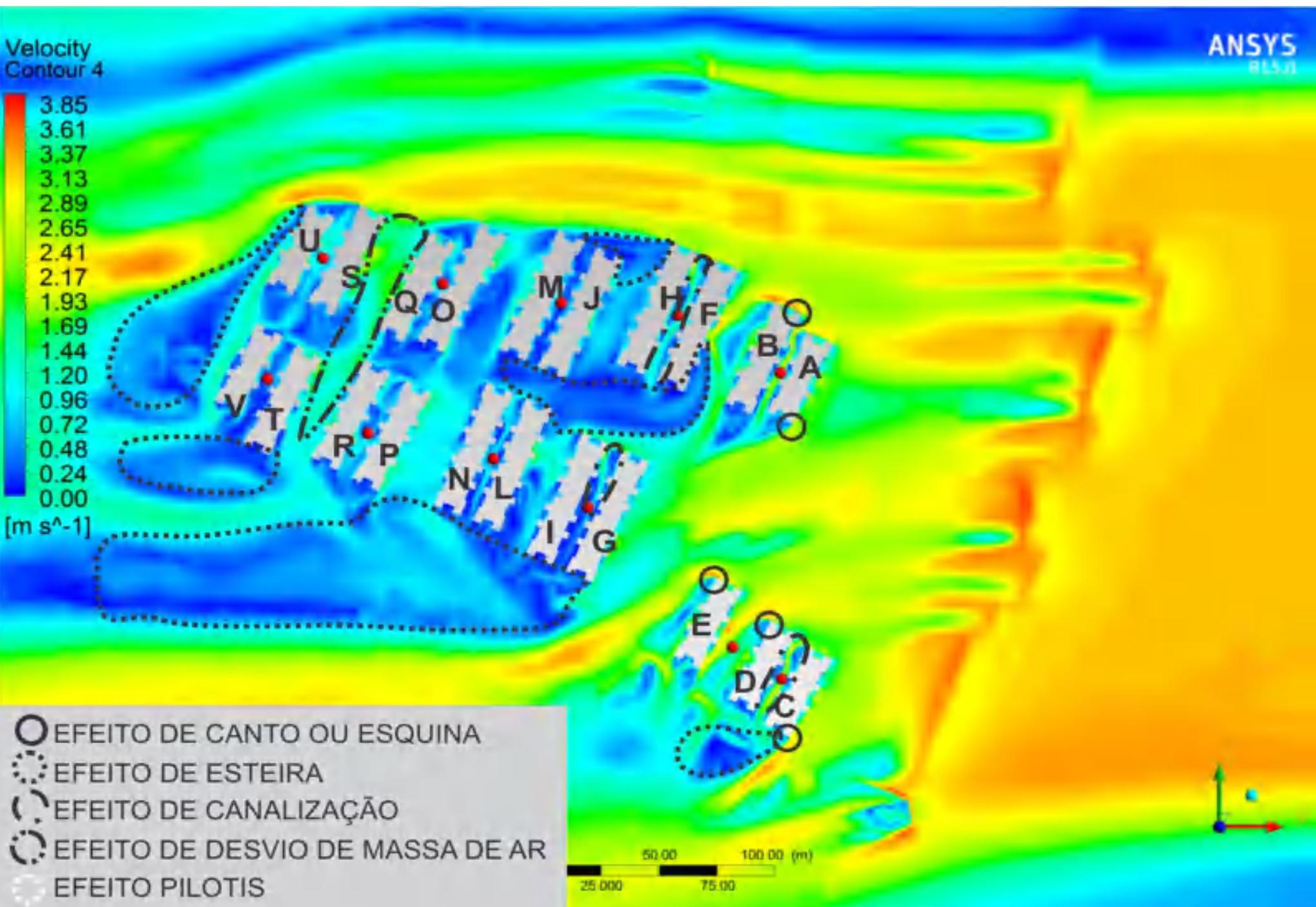
Velocity
Contour 1



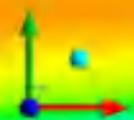
- EFEITO DE CANTO OU ESQUINA
- ⊙ EFEITO DE ESTEIRA
- ⌒ EFEITO DE CANALIZAÇÃO
- ⊖ EFEITO DE DESVIO DE MASSA DE AR
- ⊙ EFEITO PILOTIS



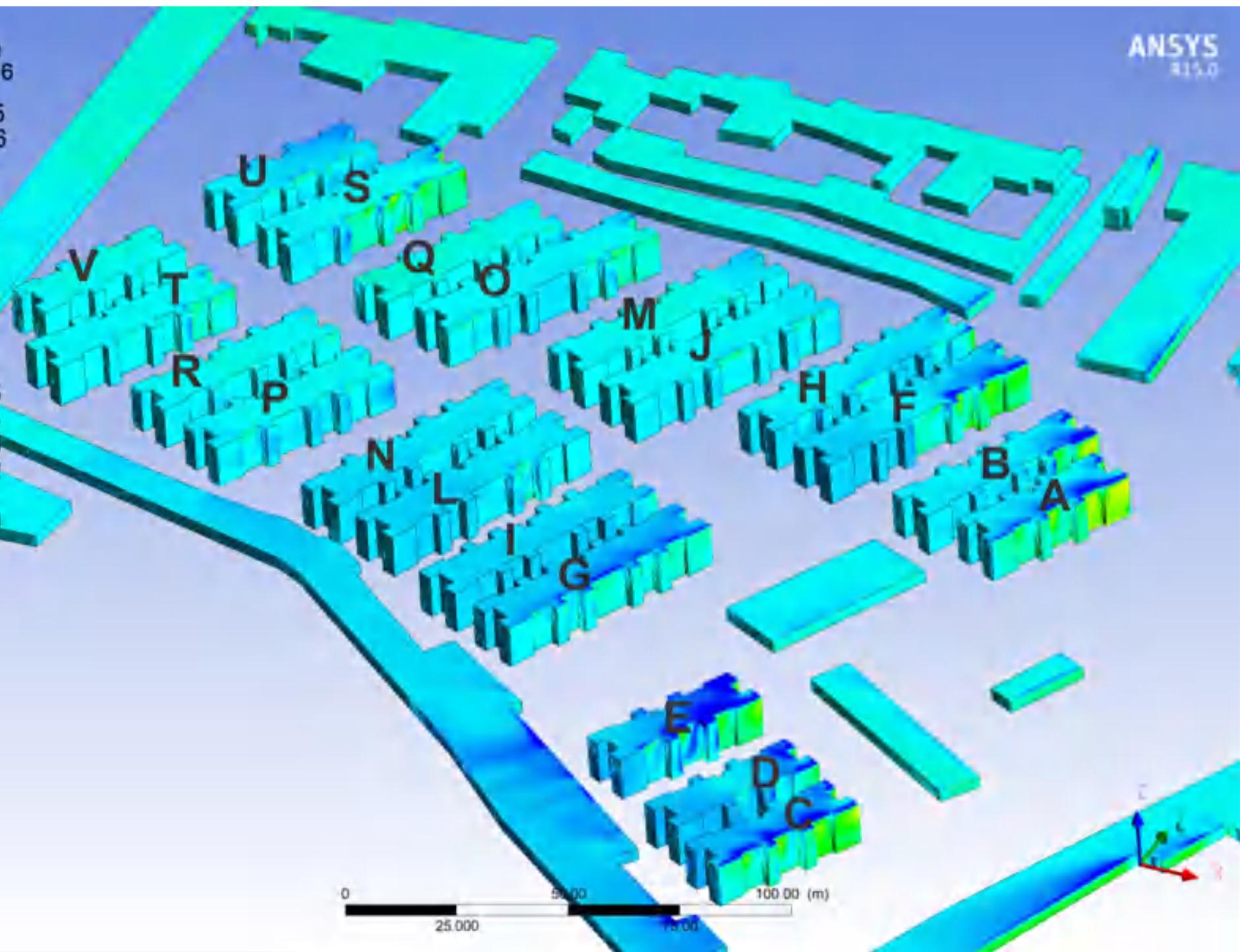
Velocity
Contour 4

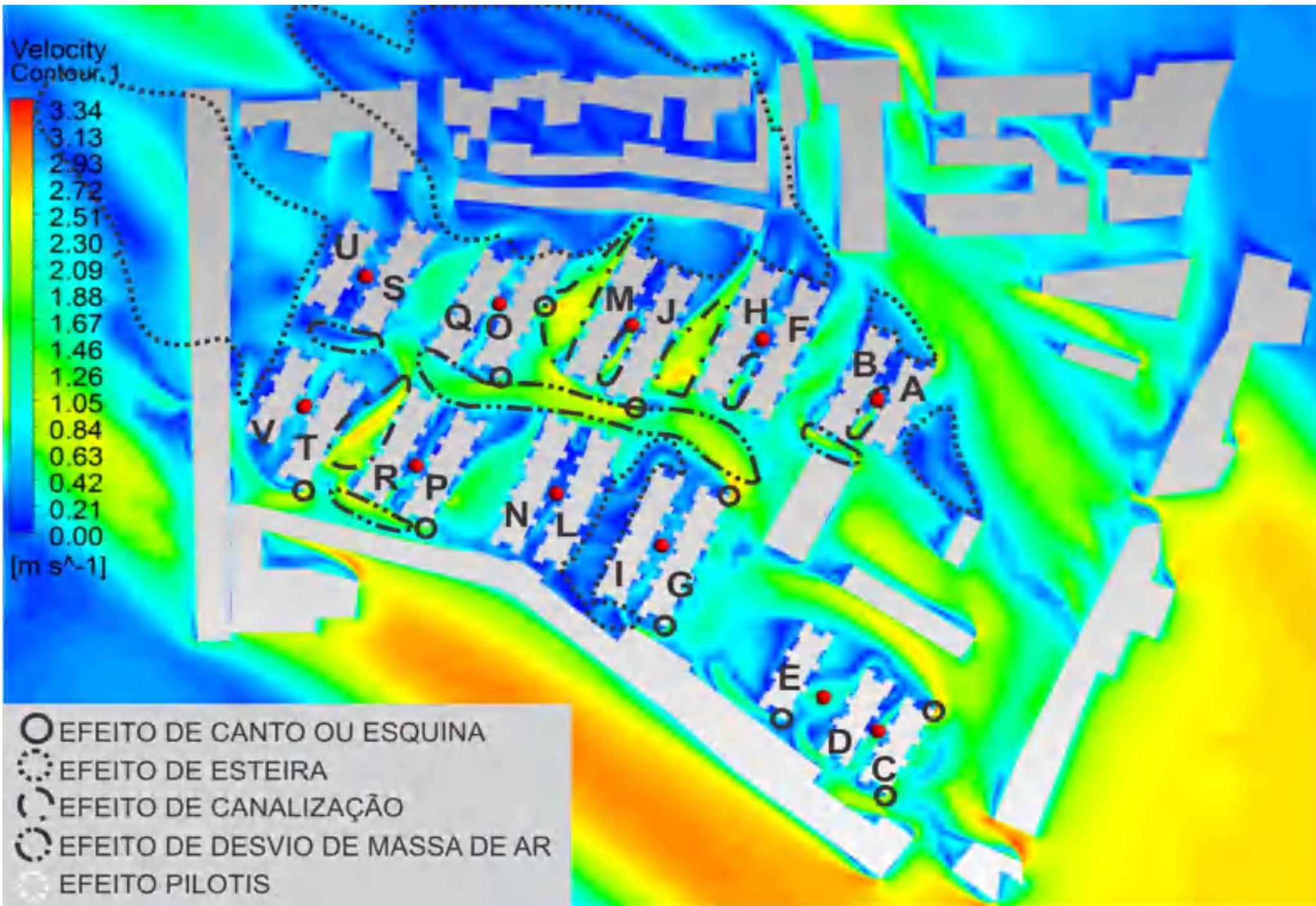


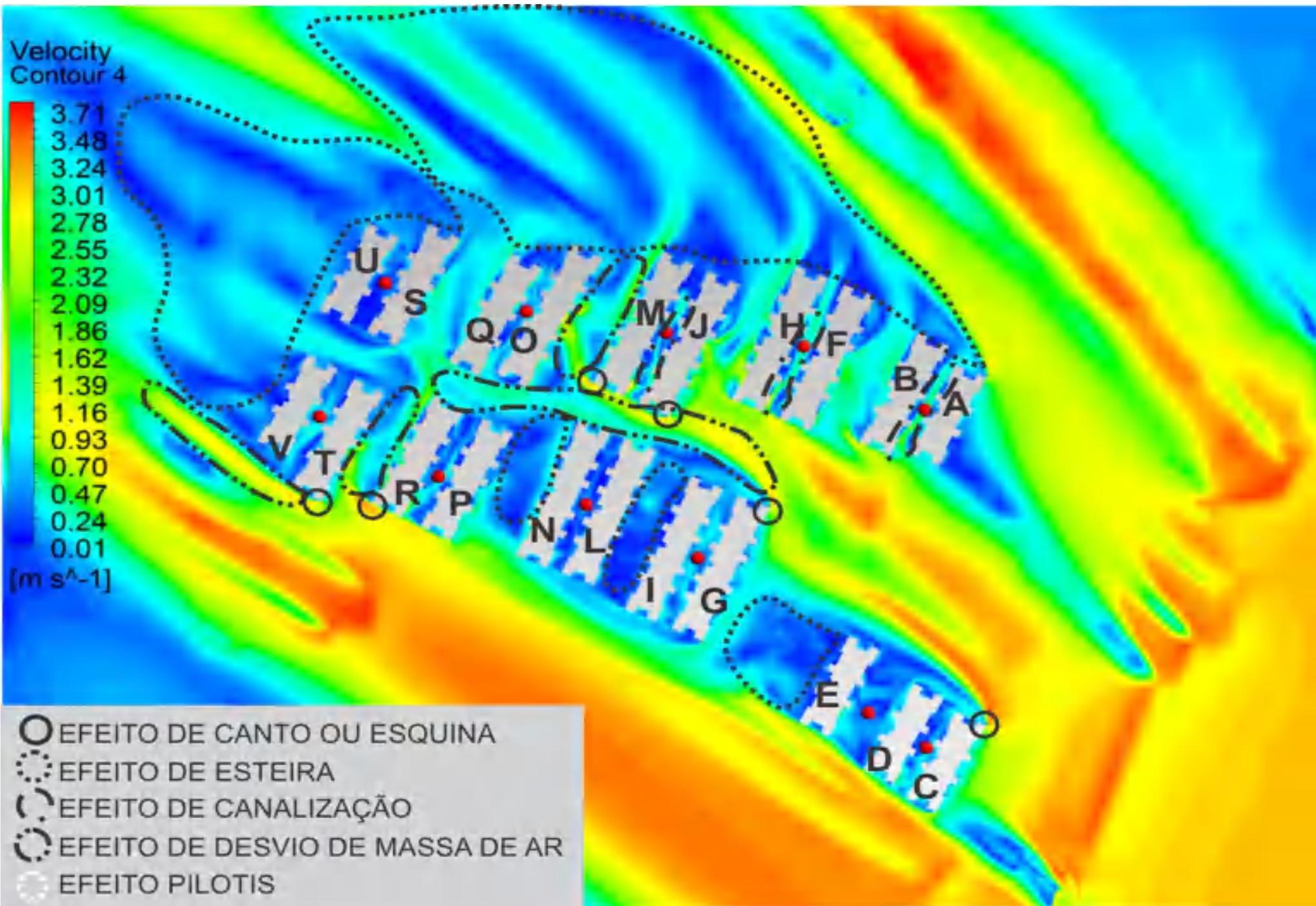
- EFEITO DE CANTO OU ESQUINA
- ⊙ EFEITO DE ESTEIRA
- ⊖ EFEITO DE CANALIZAÇÃO
- ⊕ EFEITO DE DESVIO DE MASSA DE AR
- ⊗ EFEITO PILOTIS



Pressure
Contour 16







Pressure
Contour 16



[Pa]

