

**DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA  
FORÇA AERODINÂMICA PARA ANÁLISE DOS  
EFEITOS DE VIZINHANÇA EM EDIFÍCIOS ALTOS  
SUBMETIDOS A AÇÃO DO VENTO**

**GABRIELA VILLOSLADA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM  
ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA  
FORÇA AERODINÂMICA PARA ANÁLISE DOS  
EFEITOS DE VIZINHANÇA EM EDIFÍCIOS ALTOS  
SUBMETIDOS A AÇÃO DO VENTO**

**GABRIELA VILLOSLADA**

**Orientador: Prof. José Luis Vital de Brito, DSc. (ENC-UnB)  
Coorientador: Prof. João da Costa Pantoja, DSc. (FAU-UnB)**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL**

**BRASÍLIA, MARÇO DE 2025**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA  
AERODINÂMICA PARA ANÁLISE DOS EFEITOS DE VIZINHANÇA  
EM EDIFÍCIOS ALTOS SUBMETIDOS A AÇÃO DO VENTO**

**GABRIELA VILLOSLADA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDO AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA  
CIVIL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO  
PARTE DOS REQUISITOS PARCIAIS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM  
ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL.**

**APROVADO POR:**

---

**Prof. José Luís Vital de Brito, DSc. (ENC-UnB) (Orientador)**

---

**Prof. Anderson Pereira, DSc. (PUC-RJ) (Examinador Externo)**

---

**Prof. Gregório Sandro Vieira, DSc. (UFU) (Examinador Externo)**

**BRASÍLIA, MARÇO DE 2025**

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

VILLOSLADA, GABRIELA

Determinação Do Índice De Perturbação Da Força Aerodinâmica Para Análise Dos Efeitos De Vizinhança Em Edifícios Altos Submetidos A Ação Do Vento [Distrito Federal] 2025.

xxvi, 123p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Estruturas e Construção Civil, 2025).  
Dissertação de Mestrado Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Túnel de vento

2. Efeito de vizinhança

3. CAARC

4. Quantificadores estocásticos

5. Força aerodinâmica

I.ENC/FT/UnB

II.Título (Mestre)

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

VILLOSLADA, G. (2025). Determinação Do Índice De Perturbação Da Força Aerodinâmica Para Análise Dos Efeitos De Vizinhança Em Edifícios Altos Submetidos A Ação Do Vento. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 123p.

## **CESSÃO DE DIREITOS**

AUTORA: Gabriela Villoslada

TÍTULO: Determinação Do Índice De Perturbação Da Força Aerodinâmica Para Análise Dos Efeitos De Vizinhança Em Edifícios Altos Submetidos A Ação Do Vento

GRAU: Mestre

ANO: 2025

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Gabriela Villoslada

Quadra 6, Lote 11, Setor Sul Comercial

72415-300. Gama, DF - Brasil.

[eng.villoslada@gmail.com](mailto:eng.villoslada@gmail.com)

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais (Sergio e Adriana), minha irmã (Analice), meu parceiro de vida (André Dias), minha avó (Ildete), meus tios (Gustavo e Hayla) e familiares próximos pelo carinho, cuidado, orientação, apoio e incentivo em todas as etapas de minha trajetória.

Ao meu orientador, José Luis Vital de Brito, pela atenção aos detalhes, paciência e acima de tudo pela confiança e conhecimentos compartilhados.

Ao meu coorientador, João da Costa Pantoja, pelo suporte, disponibilidade e compartilhamento de conhecimentos.

Ao Thiarly Feitosa Afonso de Lavôr por compartilhar os dados experimentais e pelo apoio em relação às atividades desenvolvidas durante a pesquisa.

À equipe do Laboratório de Aerodinâmica das Construções (LAC/UFRGS), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pela disponibilidade e dedicação à realização dos ensaios laboratoriais conduzidos pelo Thiarly.

À Universidade de Brasília (UnB) e ao Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil (PECC) pela oportunidade de contribuir para o meio acadêmico.

À CAPES e ao CNPq pela colaboração dada para as publicações dos estudos e participação em congressos.

À Deus, pois sem Ele, nada disso seria possível.

Dedico à comunidade científica e técnica brasileira.

## RESUMO

### **Determinação Do Índice De Perturbação Da Força Aerodinâmica Para Análise Dos Efeitos De Vizinhança Em Edifícios Altos Submetidos A Ação Do Vento**

**Autor: Gabriela Villoslada**

**Orientador: José Luís Vital de Brito**

**Coorientador: João da Costa Pantoja**

**Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil**

**Brasília, Março de 2025**

A presença de obstáculos ao redor de um edifício pode interferir no escoamento do vento, modificando a pressão nas fachadas e, conseqüentemente, as forças e momentos resultantes. Essas interferências podem gerar efeitos de proteção ou aumentar os coeficientes de pressão. Portanto, é fundamental estudar o comportamento do vento em edificações na presença de vizinhança para melhor compreender esses efeitos e garantir a segurança das estruturas. Nesse contexto, torna-se essencial compreender como diferentes configurações de vizinhança influenciam o comportamento do vento em ambientes urbanos. Este trabalho tem como objetivo analisar, por meio de métodos estatísticos e computacionais, o impacto da vizinhança nas forças aerodinâmicas incidentes sobre um modelo de edifício alto do CAARC (Commonwealth Advisory Aeronautical Research Council), utilizando dados experimentais obtidos em túnel de vento. Para isso, é proposto o índice de perturbação da força aerodinâmica ( $\Delta\beta$ ), que quantifica variações na força aerodinâmica decorrentes da presença de vizinhos. A análise contempla diferentes posições relativas tanto do edifício padrão isolado quanto na presença de vizinhos, considerando a força na direção do vento e na direção transversal ao vento. Através de parâmetros estatísticos, gráficos de distribuição e superfícies de perturbação, identificam-se regiões com maior ou menor impacto, possibilitando correlações com mapas de fatores de vizinhança (MFV). Os resultados demonstram que o índice  $\Delta\beta$  é capaz de evidenciar alterações significativas no comportamento aerodinâmico das edificações, oferecendo subsídios para estudos futuros e para o aprimoramento de práticas de projeto em contextos urbanos.

**Palavras-chave:** Túnel de vento; Efeito de vizinhança; CAARC; Quantificadores estocásticos; Força aerodinâmica.

## **ABSTRACT**

### **Determination of the Aerodynamic Force Disturbance Index for Analysis of Neighborhood Effects in Tall Buildings Subjected to Wind Action**

**Author: Gabriela Villoslada**

**Advisor: José Luís Vital de Brito**

**Co-advisor: João da Costa Pantoja**

**Postgraduate Program in Structures and Civil Construction**

**Brasília, March 2025**

The presence of obstacles around a building can interfere with the wind flow, modifying the pressure on the facades and, consequently, the resulting forces and moments. These interferences can generate protective effects or increase the pressure coefficients. Therefore, it is essential to study the wind behavior in buildings on the presence of neighboring structures to better understand these effects and ensure the safety of the structures. In this context, it becomes crucial to understand how different neighborhood configurations influence wind behavior in urban environments. This study aims to analyze, through statistical and computational methods, the impact of the neighborhood on the aerodynamic forces acting on a tall building model from the CAARC (Commonwealth Advisory Aeronautical Research Council), using experimental data obtained in a wind tunnel. For this purpose, the aerodynamic force disturbance index ( $\Delta\beta$ ) is proposed, which quantifies variations in the aerodynamic force resulting from the presence of neighbors. The analysis considers different relative positions of both the isolated standard building and its presence alongside neighbors, considering forces in both the wind direction and the direction perpendicular to the wind. Through statistical parameters, distribution charts, and disturbance surfaces, regions with greater or lesser impact are identified, enabling correlations with neighborhood factor maps (MFV). The results demonstrate that the  $\Delta\beta$  index is capable of highlighting significant changes in the aerodynamic behavior of buildings, offering valuable insights for future studies and for the improvement of design practices in urban contexts.

**Keywords:** Wind tunnel; Interference effect; CAARC; Statistical analysis; Aerodynamic force.

## Sumário

1.	INTRODUÇÃO .....	11
1.1.	MOTIVAÇÃO .....	15
1.2.	OBJETIVOS .....	16
1.2.1.	OBJETIVO GERAL .....	16
1.2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	17
2.1.	CONCEITO MATEMÁTICO DE TURBULÊNCIA .....	17
2.2.	FENÔMENOS AERODINÂMICOS DE INTERFERÊNCIA .....	18
2.2.1.	EFEITO VENTURI .....	20
2.2.2.	DEFLEXÃO DO VENTO NA DIREÇÃO VERTICAL .....	21
2.2.3.	TURBULÊNCIA DA ESTEIRA .....	22
2.3.	CONTRIBUIÇÕES SOBRE ANÁLISE DOS EFEITOS DO VENTO EM EDIFICAÇÕES E EFEITOS DE VIZINHANÇA .....	24
2.4.	ESTUDO NUMÉRICO-EXPERIMENTAL .....	28
2.4.1.	TÚNEL DE VENTO PROFESSOR JOAQUIM BLESSMANN .....	28
2.4.2.	INSTRUMENTAÇÃO .....	32
2.4.3.	MODELO STANDARD TALL BUILDING (CAARC) .....	33
2.4.4.	AQUISIÇÃO DAS PRESSÕES NO TÚNEL DE VENTO .....	36
3.	METODOLOGIA .....	41
3.2.	TESTE DE ADERÊNCIA .....	45
3.3.	QUANTIFICADORES ESTOCÁSTICOS .....	48
3.4.	ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ ) .....	55
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	60
5.	CONCLUSÕES .....	76
	REFERÊNCIAS .....	79
	APÊNDICE .....	84
A.1	DADOS CALCULADOS E GRÁFICOS DE DISTRIBUIÇÕES DE MÉDIA PARA FORÇA NA DIREÇÃO DO VENTO .....	84
A.2	DADOS CALCULADOS E GRÁFICOS DE DISTRIBUIÇÕES DE MÉDIA PARA FORÇA NA DIREÇÃO TRANSVERSAL AO VENTO .....	100
A.3	QUANTIFICADORES ESTOCÁSTICOS E ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA DE ARRASTO OBTIDOS PARA FORÇA NA DIREÇÃO DO VENTO .....	116
A.4	QUANTIFICADORES ESTOCÁSTICOS E ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA DE ARRASTO OBTIDOS PARA FORÇA NA DIREÇÃO TRANSVERSAL AO VENTO .....	120

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1:</b> FORÇA DO VENTO EM EDIFICAÇÕES. FONTE: ADAPTADO DE CHING ET AL., 2010.....	12
<b>FIGURA 2:</b> RESPOSTAS DA ESTRUTURA. FONTE: ADAPTADO DE MENDIS ET AL., 2007.....	13
<b>FIGURA 3:</b> AÇÃO DO VENTO EM EDIFICAÇÕES. FONTE: ADAPTADO DE COOK, 1990.....	19
<b>FIGURA 4:</b> AÇÃO DO VENTO EM EDIFICAÇÕES. FONTE: ADAPTADO DE COOK, 1990.....	19
<b>FIGURA 5:</b> EFEITO VENTURI. FONTE: GANDEMER, 1977.....	21
<b>FIGURA 6:</b> DEFLEXÃO DO VENTO NA DIREÇÃO VERTICAL. FONTE: GANDEMER, 1977.....	21
<b>FIGURA 7:</b> CARACTERÍSTICAS DE ESTEIRA. FONTE: GANDEMER, 1977.....	22
<b>FIGURA 8:</b> REGIME DE ESCOAMENTO ISOLADO. FONTE: COOK, 1990.....	23
<b>FIGURA 9:</b> REGIME DE ESCOAMENTO POR DESLIZAMENTO. FONTE: COOK, 1990.....	23
<b>FIGURA 10:</b> REGIME DE ESCOAMENTO DE INTERFERÊNCIA DE ESTEIRA. FONTE: COOK, 1990.....	24
<b>FIGURA 11:</b> TÚNEL DE VENTO PROFESSOR JOAQUIM BLESSMANN. FONTE: LAVÔR, 2023.....	29
<b>FIGURA 12:</b> PLANTA BAIXA DO TÚNEL DE VENTO PROFESSOR JOAQUIM BLESSMANN. FONTE: LAVÔR, 2023.....	30
<b>FIGURA 13:</b> APARELHOS PARA GERAÇÃO DE DIFERENTES CAMADAS LIMITES - (A) GRELHA; (B) $P=0,11$ ; (C) $P=0,23$ ; E (D) $P=0,34$ . FONTE: VIEIRA, 2016.....	32
<b>FIGURA 14:</b> EQUIPAMENTOS DE LEITURA DE DADOS. FONTE: LAVÔR, 2023.....	33
<b>FIGURA 15:</b> CAARC STANDARD TALL BUILDING. FONTE: LAVÔR, 2023.....	35
<b>FIGURA 16:</b> DADOS DO EDIFÍCIO CAARC EM ESCALA REAL. FONTE: LAVÔR, 2023.....	35
<b>FIGURA 17:</b> (A) MODELO CAARC INSTRUMENTADO COM TOMADAS DE PRESSÃO; E (B) DIMENSÕES DO MODELO. FONTE: LAVÔR, 2023.....	36
<b>FIGURA 18:</b> CAARC SUBMETIDO ÀS PRESSÕES DO VENTO. FONTE: LAVÔR, 2023.....	37
<b>FIGURA 19:</b> EDIFÍCIO ALTO PADRÃO CAARC EM ESCALA REAL E POSIÇÕES DAS TOMADAS DE PRESSÃO. FONTE: REIS, 2021.....	38
<b>FIGURA 20:</b> CONVENÇÃO DE SINAIS DOS COEFICIENTES AERODINÂMICOS. FONTE: LAVÔR, 2023.....	40
<b>FIGURA 21:</b> REGISTRO DOS COEFICIENTES AERODINÂMICOS PARA O CAARC ISOLADO COM $P=0,11$ .....	40
<b>FIGURA 22:</b> DESTAQUE PARA VIZINHOS EM ESTUDO. FONTE: ADAPTADO DE LAVÔR, 2023.....	41
<b>FIGURA 23:</b> EDIFÍCIO CAARC A 0º E EDIFÍCIO VIZINHO A 0º EM RELAÇÃO À DIREÇÃO DO VENTO.....	42
<b>FIGURA 24:</b> EDIFÍCIO CAARC A 0º E EDIFÍCIO VIZINHO À 90º EM RELAÇÃO À DIREÇÃO DO VENTO.....	42
<b>FIGURA 25:</b> EDIFÍCIO CAARC A 90º E EDIFÍCIO VIZINHO A 0º EM RELAÇÃO À DIREÇÃO DO VENTO.....	43
<b>FIGURA 26:</b> EDIFÍCIO CAARC A 90º E EDIFÍCIO VIZINHO A 90º EM RELAÇÃO A DIREÇÃO DO VENTO.....	43
<b>FIGURA 27:</b> FUNÇÕES DE DENSIDADE DE PROBABILIDADE NORMAIS PARA VALORES SELECIONADOS DOS PARÂMETROS $\mu$ e $\sigma^2$ . FONTE: MONTGOMERY E RUNGER, 2018.....	47
<b>FIGURA 28:</b> PROBABILIDADES ASSOCIADAS À DISTRIBUIÇÃO NORMAL. FONTE: MONTGOMERY E RUNGER, 2018.....	47
<b>FIGURA 29:</b> FUNÇÕES DE DENSIDADE DE PROBABILIDADE (FDP) LOGNORMAL. FONTE: KATZ ET AL., 2022.....	48
<b>FIGURA 30:</b> INTERFERÊNCIA ENTRE DISTRIBUIÇÕES.....	57
<b>FIGURA 31:</b> ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA $\Delta B$ .....	59
<b>FIGURA 32:</b> DISTRIBUIÇÕES DE “A1” E “A6” RELATIVAS À FORÇA NA DIREÇÃO DO VENTO.....	66
<b>FIGURA 33:</b> DISTRIBUIÇÕES DE “B1” E “B9” RELATIVAS À FORÇA NA DIREÇÃO TRANSVERSAL AO VENTO.....	66
<b>FIGURA 34:</b> SUPERFÍCIE GERADA PARA C0V0 COM FORÇA NA DIREÇÃO DO VENTO.....	68
<b>FIGURA 35:</b> SUPERFÍCIE GERADA PARA C0V0 COM FORÇA NA DIREÇÃO TRANSVERSAL AO VENTO.....	68
<b>FIGURA 36:</b> MFV PARA FORÇA NA DIREÇÃO DO VENTO. FONTE: ADAPTADO DE LAVÔR, 2023.....	69
<b>FIGURA 37:</b> MFV PARA FORÇA NA DIREÇÃO TRANSVERSAL AO VENTO. FONTE: ADAPTADO DE LAVÔR, 2023.....	69
<b>FIGURA 38:</b> SUPERFÍCIE GERADA PARA C0V90 COM FORÇA NA DIREÇÃO DO VENTO.....	70
<b>FIGURA 39:</b> SUPERFÍCIE GERADA PARA C0V90 COM FORÇA NA DIREÇÃO TRANSVERSAL AO VENTO.....	70
<b>FIGURA 40:</b> MFV PARA FORÇA NA DIREÇÃO DO VENTO. FONTE: ADAPTADO DE LAVÔR, 2023.....	71
<b>FIGURA 41:</b> MFV PARA FORÇA NA DIREÇÃO TRANSVERSAL AO VENTO. FONTE: ADAPTADO DE LAVÔR, 2023.....	71
<b>FIGURA 42:</b> SUPERFÍCIE GERADA PARA C90V0 COM FORÇA NA DIREÇÃO DO VENTO.....	72
<b>FIGURA 43:</b> SUPERFÍCIE GERADA PARA C90V0 COM FORÇA NA DIREÇÃO TRANSVERSAL AO VENTO.....	72
<b>FIGURA 44:</b> MFV PARA FORÇA NA DIREÇÃO DO VENTO. FONTE: ADAPTADO DE LAVÔR, 2023.....	73
<b>FIGURA 45:</b> MFV PARA FORÇA NA DIREÇÃO TRANSVERSAL AO VENTO. FONTE: ADAPTADO DE LAVÔR, 2023.....	73
<b>FIGURA 46:</b> SUPERFÍCIE GERADA PARA C90V90 COM FORÇA NA DIREÇÃO DO VENTO.....	74
<b>FIGURA 47:</b> SUPERFÍCIE GERADA PARA C90V90 COM FORÇA NA DIREÇÃO TRANSVERSAL AO VENTO.....	74
<b>FIGURA 48:</b> MFV PARA FORÇA NA DIREÇÃO DO VENTO. FONTE: ADAPTADO DE LAVÔR, 2023.....	75
<b>FIGURA 49:</b> MFV PARA FORÇA NA DIREÇÃO TRANSVERSAL AO VENTO. FONTE: ADAPTADO DE LAVÔR, 2023.....	75

## 1. INTRODUÇÃO

A garantia de segurança e conforto dos usuários de edificações são as principais preocupações da engenharia de estruturas. Para tanto, parte fundamental do projeto estrutural consiste na determinação dos esforços que atuarão na edificação analisada. Cargas como o peso próprio, os carregamentos de utilização e as sobrecargas decorrentes de equipamentos e usos especiais são abordados por normas específicas, como a NBR 6120/2019, servindo de referência para os projetistas. No entanto, quando as cargas atuantes são aleatórias, a complexidade da determinação dos esforços solicitantes aumenta consideravelmente (Sousa, 2021).

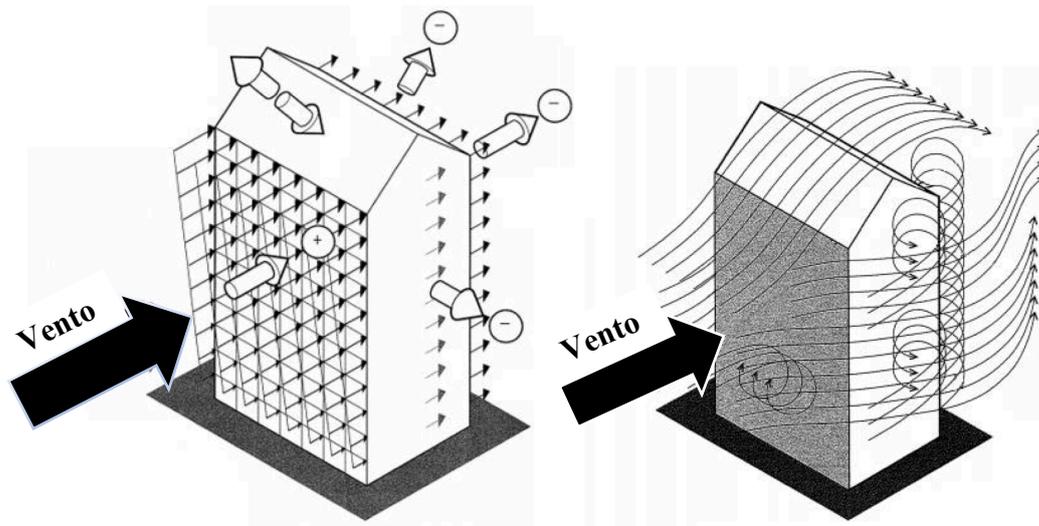
Diversas estruturas, de simples edificações a grandes arranha-céus, obras de arte especiais, entre outros empreendimentos, estão diretamente em contato com a ação do vento. Nesse sentido, essas estruturas em contato direto com a população devem receber atenção quanto a importância dos efeitos da ação do vento na etapa de dimensionamento, visto que essas forças induzidas pelo vento e as consequentes respostas das estruturas devem ser consideradas para que se possa garantir bons níveis de segurança e conforto durante sua vida útil (Vanin, 2011).

O vento é considerado um fenômeno meteorológico formado pelo movimento do ar na atmosfera e é gerado através da influência de vários fatores e fenômenos naturais. O escoamento do vento na superfície terrestre é diretamente afetado pelo atrito causado pela interação do movimento de ar com a rugosidade natural e artificial da superfície, que assim como os processos de convecção causados pelas variações térmicas na atmosfera, causam turbulência, uma agitação mecânica no escoamento do vento, caracterizada em baixa e alta turbulência (Blessmann, 1995). Essas características fazem com que sua velocidade apresente variações bruscas, conhecidas como rajadas.

Os picos de velocidade, que ocorrem em períodos curtos devido às rajadas, são fundamentais para a análise estrutural. Uma das dificuldades na análise da força do vento está na velocidade com que essas forças são aplicadas à estrutura. Normalmente, considera-se que as sobrecargas aumentam lentamente, permitindo uma abordagem estática ou quase estática. No entanto, a força do vento varia rapidamente, gerando deslocamentos mais significativos do que os previstos em uma análise baseada em variações graduais, devido aos efeitos inerciais.

As forças de vento atuantes em uma edificação se manifestam sob a forma de pressão (figura 1), que pode ser subdividida em sobrepressão e sucção. A sobrepressão ocorre

quando o vento colide diretamente contra as superfícies expostas da edificação, enquanto a sucção acontece em áreas onde o vento flui ao redor ou sobre o edifício, gerando uma pressão negativa. As áreas de sucção, geralmente localizadas nas superfícies de sotavento ou nas extremidades do edifício, tendem a ser maiores do que as áreas de sobrepressão, especialmente em edificações com formas mais complexas (Ching et al., 2010).



*Figura 1: Força do vento em edificações. Fonte: adaptado de Ching et al., 2010.*

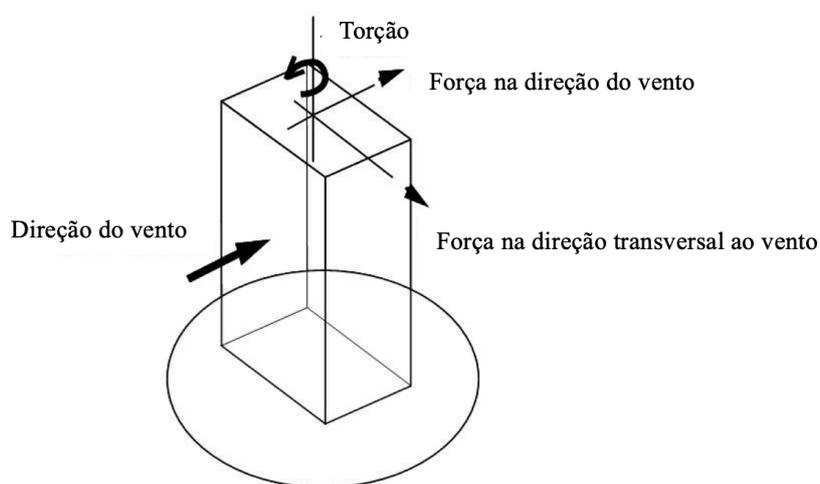
Ainda segundo Ching et al. (2010), além da sobrepressão oriunda da ação do vento, há uma parcela de pressão negativa (sucção) e outra de fricção aos quais as edificações estão submetidas, composta pela pressão de sucção das superfícies laterais e a sotavento, a sucção tem origem principalmente no descolamento do escoamento em regiões onde a superfície é demasiada convexa. Já os esforços de fricção longitudinais são oriundos do atrito das massas de ar com as superfícies da edificação paralelas ao fluxo do escoamento.

As forças estáticas induzidas pelo vento correspondem às ações que podem ser consideradas constantes ao longo do tempo em uma análise estática simplificada. No entanto, em muitas situações, a resposta da estrutura ao vento deve ser tratada de forma dinâmica, levando em conta a interação entre a estrutura e o escoamento do vento (Cook, 2013).

Na direção do vento, as forças atuam principalmente na forma de pressão direta (sobrepressão) nas superfícies expostas a barlavento e pressão negativa (sucção) nas superfícies a sotavento. Essas forças, no entanto, não são constantes, pois variam ao longo do tempo devido à natureza turbulenta do vento. Em termos gerais, as forças

atuantes em uma edificação são flutuantes, ou seja, apresentam variações temporais que dependem da geometria da edificação, da rugosidade do terreno e da intensidade da turbulência atmosférica. A força média pode ser obtida a partir da análise dessas variações, utilizando coeficientes aerodinâmicos específicos para cada condição (Holmes, 2015).

Na direção transversal ao vento, as forças surgem devido à separação do escoamento e à formação de vórtices alternados. Esse efeito pode induzir forças oscilantes que, em alguns casos, tornam-se críticas para estruturas esbeltas, como torres e edifícios altos. A magnitude dessas forças depende da frequência natural da estrutura e da velocidade do vento, podendo gerar fenômenos de ressonância caso haja coincidência entre essas frequências (Blocken, 2015).



**Figura 2:** Respostas da estrutura. Fonte: adaptado de Mendis et al., 2007.

A resposta dinâmica das edificações ao vento está relacionada às características de rigidez, massa e amortecimento da estrutura. Em edificações altas e esbeltas, por exemplo, os efeitos dinâmicos do vento podem induzir oscilações significativas, sendo necessário avaliar sua influência na segurança e no conforto dos ocupantes. Segundo Cook (2013), a resposta dinâmica pode ser analisada com base na teoria da mecânica dos fluidos e nos princípios da vibração estrutural, permitindo a determinação das frequências naturais da estrutura e a resposta a excitações harmônicas provocadas pelo vento.

Outro fator relevante na análise das forças do vento é a turbulência atmosférica, que afeta a distribuição das pressões na superfície das edificações. A norma NBR 6123:2023 - Forças devidas ao vento em edificações, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), estabelece critérios para determinação das forças de vento com base na

velocidade básica do vento e em coeficientes de arrasto, considerando os efeitos da rugosidade do terreno e da altura da edificação.

Grande parte das normas que preconizam os carregamentos devidos ao vento em edifícios foram baseadas em estudos em túnel de vento com modelos de edifícios isolados. No entanto, em ambientes reais, as forças do vento em edifícios altos cercados por outras edificações altas podem ser consideravelmente diferentes daquela em situação isolada. Poucas normas referem-se aos efeitos de vizinhança induzidos pelas forças do vento, sendo que algumas apenas os citam e alertam brevemente sobre seus possíveis efeitos. Isso se deve a problemas naturais complexos e a muitas variáveis, como forma geométrica dos edifícios, localização relativa das edificações na vizinhança de entorno, ângulo de incidência do vento, rugosidade do terreno a barlavento e assim por diante (Cavalcante, 2020).

Na análise da ação do vento considerando a presença de edificações na vizinhança, cada componente presente nesse espaço pode afetar o campo aerodinâmico dos outros, influenciando os carregamentos devidos ao vento. Tais alterações na ação do vento, causadas pela presença de edificações vizinhas, podem tanto proteger a edificação quanto gerar uma ação desfavorável, devido à grande quantidade de variáveis que envolvem o processo, como o tamanho, posicionamento e formato das edificações, direções de incidência do vento e fatores topográficos (Khanduri *et al.*, 1998).

Devido à importância desses efeitos de interferência causados pelas edificações vizinhas, a NBR 6123 conta com uma seção – Efeitos de vizinhança, que trata especificamente dessas interações através do cálculo do fator de vizinhança, que é um parâmetro fundamental para definição, via procedimentos normativos, da força que o vento irá exercer sobre uma edificação considerando tais obstáculos que o vento deve transpor até atingir a estrutura estudada (Fontes-Silva, 2021).

Neste sentido, diferentes estudos indicam uma alteração nesses fatores quando realizada a inserção de outras edificações interferentes, e, tem-se novamente a relevância de uma análise da relação entre diferentes densidades de vizinhança e espaçamentos, influenciando nos efeitos de interferência da vizinhança e na determinação dos fatores de vizinhança (Fontes-Silva, 2021).

Dessa maneira, fica evidente que os fenômenos naturais podem ser descritos de forma determinística, mas de maneira limitada. Em muitas situações cotidianas, as descrições clássicas funcionam bem, mas, à medida que os sistemas se tornam mais complexos ou que se busca maior precisão nas previsões, essas abordagens se mostram

inadequadas. A complexidade e o comportamento caótico de muitos fenômenos, bem como a natureza estocástica de outros, tornam mais apropriado o uso de ferramentas probabilísticas e estatísticas (Kroetz, 2015).

## 1.1.MOTIVAÇÃO

A ação do vento em edificações é influenciada por diversos fatores, incluindo a presença de obstáculos no entorno (vizinhos), que podem modificar significativamente as pressões nas fachadas e, conseqüentemente, as forças e momentos resultantes. Conforme Blessmann (1985), essas interferências ocorrem de diferentes maneiras, podendo tanto gerar efeitos de proteção quanto intensificar os coeficientes de pressão, alterando o comportamento aerodinâmico das edificações.

Dada a complexidade desse fenômeno, que envolve múltiplas variáveis e interações com edificações vizinhas, diversos estudos vêm sendo desenvolvidos ao longo dos anos para compreender melhor os efeitos da interferência entre construções (Fontes-Silva, 2021). No entanto, a padronização desses efeitos ainda enfrenta desafios, sobretudo pela grande variabilidade dos cenários urbanos, das geometrias envolvidas e das condições naturais do escoamento do vento. Esse tema torna-se cada vez mais relevante em um contexto de urbanização acelerada, com cidades mais densas e verticalizadas, onde as edificações tendem a ser mais altas, esbeltas e próximas entre si.

Apesar dos avanços na compreensão dos efeitos de interferência, há uma lacuna concreta relacionada à quantificação objetiva da influência da vizinhança no comportamento aerodinâmico de edificações. Na etapa de projeto, especialmente na ausência de ensaios em túnel de vento, torna-se difícil estimar com precisão os efeitos das solicitações provocadas pela força do vento. Além disso, os métodos convencionais não oferecem uma métrica direta que permita comparar diferentes configurações e antecipar análises.

Dessa forma, a motivação para o desenvolvimento deste trabalho surge da necessidade de trazer uma abordagem alternativa às análises voltadas à quantificação da mudança dos efeitos de vizinhança em relação a um edifício modelo, implementando o índice de perturbação da força aerodinâmica ( $\Delta\beta$ ), o qual é proposto neste estudo como um índice capaz de sintetizar os efeitos da vizinhança de maneira clara e interpretável. Esse índice busca preencher a lacuna mencionada, oferecendo uma ferramenta auxiliar para análises preliminares que considere não apenas a força do vento, mas também a sua

variação em função da configuração do entorno. O impacto direto desta proposta recai sobre a etapa de concepção estrutural e urbanística, contribuindo para decisões mais seguras e fundamentadas quanto ao posicionamento, afastamento e orientação de edifícios em ambientes urbanos. Como impacto indireto, espera-se que os resultados obtidos possam alimentar bancos de dados técnicos, colaborar com futuras atualizações normativas e incentivar a integração entre arquitetura, engenharia estrutural e estudos de vento.

## **1.2.OBJETIVOS**

### **1.2.1. OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral deste trabalho é analisar o impacto da presença de edificações vizinhas no comportamento do escoamento do vento de uma edificação alta, utilizando critérios estatísticos e computacionais. Para isso, propõe-se uma nova perspectiva de avaliação por meio da implementação do índice de perturbação da força aerodinâmica ( $\Delta\beta$ ), proposto neste estudo como indicador de mudança no estado das forças aerodinâmicas, identificando variações na força do vento conforme a mudança de posicionamento dos vizinhos.

### **1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Para o alcance do objetivo geral, este trabalho tem como objetivos específicos:

- Avaliar a influência da vizinhança na variabilidade das forças aerodinâmicas atuantes em um edifício padrão, nas direções longitudinal e transversal ao vento;
- Investigar o comportamento estatístico de coeficientes de pressão por meio de parâmetros médios, desvios padrão, distribuição dos dados e quantificadores estocásticos, considerando o edifício isolado e com vizinhos;
- Aplicar o índice de perturbação da força aerodinâmica ( $\Delta\beta$ ) como ferramenta de avaliação da interferência causada por diferentes configurações de vizinhança;
- Verificar, por meio de gráficos de superfície, as regiões de maior ou menor perturbação nas diferentes configurações analisadas;
- Correlacionar os resultados obtidos com os mapas de fatores de vizinhança (MFV), a fim de identificar padrões entre índice de perturbação da força aerodinâmica ( $\Delta\beta$ ) e os efeitos aerodinâmicos observados.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A análise da influência dos efeitos de vizinhança é uma área de pesquisa multidisciplinar, que se beneficia da combinação de métodos experimentais, simulações avançadas e análises estatísticas. Assim, este capítulo apresenta importantes conceitos, contribuições e colaborações de trabalhos desenvolvidos.

### **2.1. CONCEITO MATEMÁTICO DE TURBULÊNCIA**

A maioria dos fenômenos observáveis no mundo não podem ser previstos com total certeza. Em geral, medições repetidas de fenômenos físicos geram resultados aleatórios. Aleatoriedade significa que mais de um resultado é possível. Entre esses múltiplos resultados, alguns são mais frequentes que outros e ocorrência de múltiplos resultados sem qualquer padrão é descrita como incerteza.

Devido à irregularidade das flutuações do vento (rajadas), seu comportamento não pode ser descrito de forma determinística. Por esse motivo, recorre-se à teoria da probabilidade para o seu estudo. Sendo um fenômeno aleatório, os registros (ou amostras) obtidos em diferentes ocasiões não são idênticos entre si. No entanto, quando se dispõe de um número suficientemente grande de amostras, pode-se observar certo grau de regularidade estatística no comportamento do processo (Blessmann, 2011).

Um processo aleatório é considerado estacionário quando seus parâmetros estatísticos — como média, variância e autocorrelação — determinados sobre a totalidade dos registros, são invariantes para qualquer deslocamento da origem dos tempos. Isso significa que, independentemente do instante de tempo em que se observe o processo, suas propriedades estatísticas não se alteram (Blessmann, 2011).

Um processo aleatório estacionário é ergódico se qualquer um de seus parâmetros estatísticos, calculado sobre um conjunto de registros possíveis, é igual ao correspondente parâmetro calculado ao longo do tempo sobre qualquer registro representativo do processo. Um processo ergódico é necessariamente estacionário (Blessmann, 2011).

Em geral, a análise completa de um processo aleatório requer o conhecimento de um número infinito de momentos e de momentos compostos de ordem superior, com o objetivo de se definir uma família completa de funções de distribuição de probabilidade que descrevam o processo de forma abrangente (Blessmann, 2011).

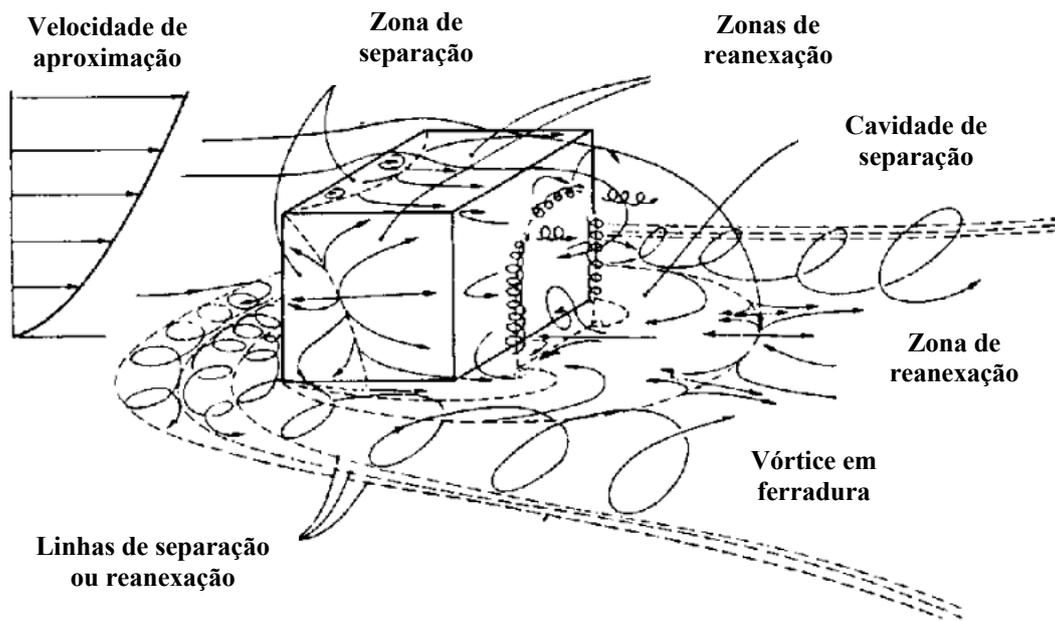
No entanto, nos casos de interesse prático, essas distribuições — em número infinito — não podem ser determinadas teoricamente nem obtidas por medição direta. Diante dessa limitação, recorre-se à análise de um conjunto reduzido de parâmetros estatísticos, também conhecidos como médias estatísticas simples, os quais fornecem uma caracterização parcial, porém útil, do comportamento do processo (Blessmann, 2011).

Assim, adota-se neste estudo a hipótese simplificadora de que as flutuações em torno do valor médio do fenômeno analisado configuram um processo aleatório estacionário e ergódico. Esta hipótese é admitida nos casos em que se analisa um único registro ao longo do tempo do fenômeno em estudo, considerando-o como representativo de todos os registros possíveis.

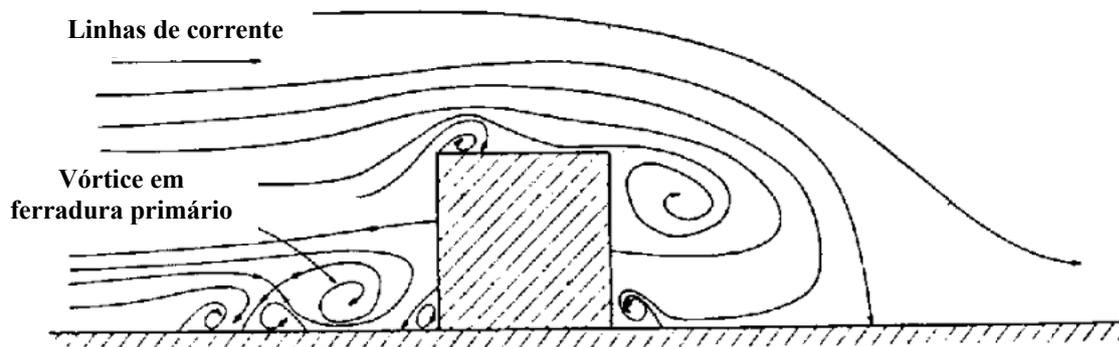
## **2.2.FENÔMENOS AERODINÂMICOS DE INTERFERÊNCIA**

A construção de edificações de grande altura é uma prática cada vez mais comum em grandes centros urbanos caracterizados por aglomerados densos. Esse cenário altera significativamente o comportamento do escoamento do vento, e, conseqüentemente, a distribuição de pressões sobre as superfícies das edificações, diferindo das condições quando comparadas a uma edificação isolada. A investigação desses efeitos torna-se ainda mais complexa quando se considera a interferência gerada pela presença de edificações vizinhas, pois envolve um grande número de variáveis, como geometrias e disposições das construções, localização relativa, rugosidade do terreno, direção do vento, entre outros fatores, que, caso não sejam devidamente considerados na análise das ações do vento, incidentes estruturais podem ocorrer. (Hui et al, 2013).

A presença de um edifício constitui um obstáculo no escoamento do vento, fazendo com que as linhas de corrente se separem ao redor da construção, num processo denominado descolamento. A barlavento da edificação, são geradas pressões positivas, enquanto na região sotavento ocorrem pressões negativas (Figuras 3 e 4) (Sparling, 1997).



**Figura 3:** Ação do vento em edificações. Fonte: Adaptado de Cook, 1990.



**Figura 4:** Ação do vento em edificações. Fonte: Adaptado de Cook, 1990.

Mendis et al. (2007) indicam que as estruturas sujeitas à ação do vento podem ser avaliadas através de 3 aspectos:

(1) Impacto no entorno: quando o vento passa por uma estrutura, sofre alteração no seu movimento, e surgem componentes em diversas direções. Essas componentes podem afetar o entorno, podendo causar danos a outras estruturas existentes, ou desconforto aos pedestres que passam próximo ao edifício;

(2) Força do vento aplicada às fachadas: muitas estruturas possuem formas geométricas complexas, tornando-se difícil a definição da distribuição de força nas fachadas. Nesses casos, é aconselhável realizar ensaios em túnel de vento, de forma a

definir com exatidão a distribuição das pressões. Esta definição é importante na análise de efeitos locais, eliminando possíveis danos nos elementos de fechamento, como painéis e vidros.

(3) Força do vento aplicada à estrutura: são as forças principais, que definem o deslocamento da estrutura.

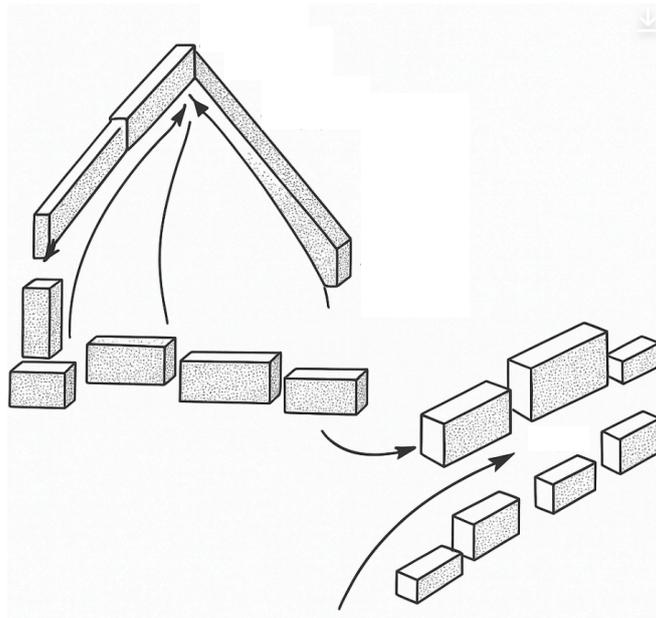
Neste estudo, analisa-se o primeiro aspecto, que diz respeito ao comportamento da estrutura na presença de edificações vizinhas.

Os coeficientes aerodinâmicos variam muito com as condições de interação entre construções vizinhas. Um obstáculo colocado nas proximidades da construção em estudo pode afetar grandemente o campo aerodinâmico, causando majoração nas pressões, forças e, principalmente nos momentos de torção (Blessmann e Riera, 1985).

Segundo estudos de Carpeggiani (2004), a presença de edificações vizinhas pode alterar significativamente as respostas da estrutura, tanto na direção do vento quanto na direção transversal ao vento, além de provocar efeitos de torção, e, em determinadas configurações considerando posições relativas entre as edificações, formas geométricas e distâncias específicas de separação do escoamento, esses efeitos podem ser ainda mais acentuados.

### **2.2.1. EFEITO VENTURI**

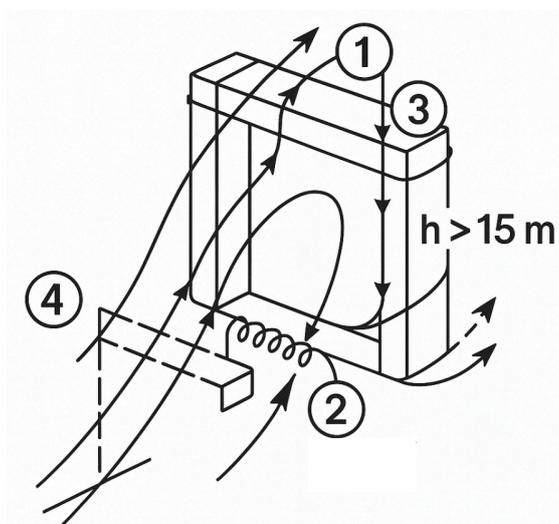
Em virtude de suas dimensões, forma e orientação, edificações vizinhas podem causar um afunilamento do escoamento do vento e, por consequência ocasionando com que o ar flua com mais velocidade, conforme exemplificado na Figura 5. Este efeito aparece principalmente em edificações muito próximas, caso em que já foram observados coeficientes de pressão negativos (sucções). Estas pontas de sucção verificaram-se nas paredes confrontantes das duas edificações, próximo à aresta de barlavento (ABNT, 1988; Carpeggiani, 2004).



**Figura 5:** Efeito Venturi. Fonte: Adaptado de Gandemer, 1977

### 2.2.2. DEFLEXÃO DO VENTO NA DIREÇÃO VERTICAL

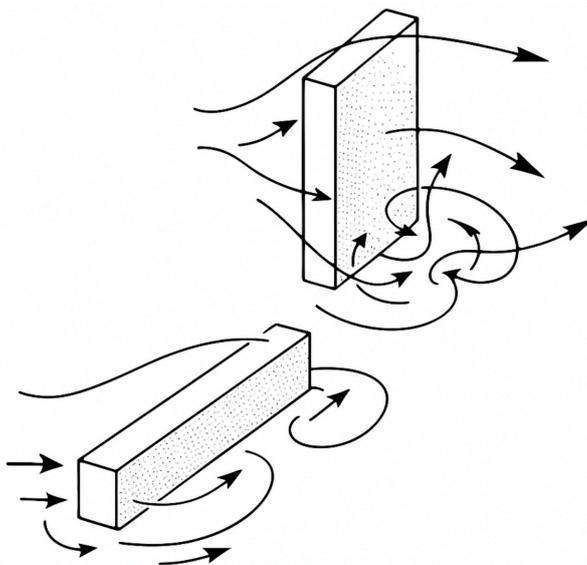
Edificações altas defletem para baixo parte do vento que incide em sua fachada de barlavento (Figura 6), aumentando a velocidade em zonas próximas ao solo. Edificações mais baixas, situadas nestas zonas, poderão ter a força do vento aumentada por este efeito, com os coeficientes de forma médios atingindo valores entre -1,5 e -2,0 (ABNT, 1988; Carpeggiani, 2004).



**Figura 6:** Deflexão do vento na direção vertical. Fonte: Adaptado de Gandemer, 1977

### 2.2.3. TURBULÊNCIA DA ESTEIRA

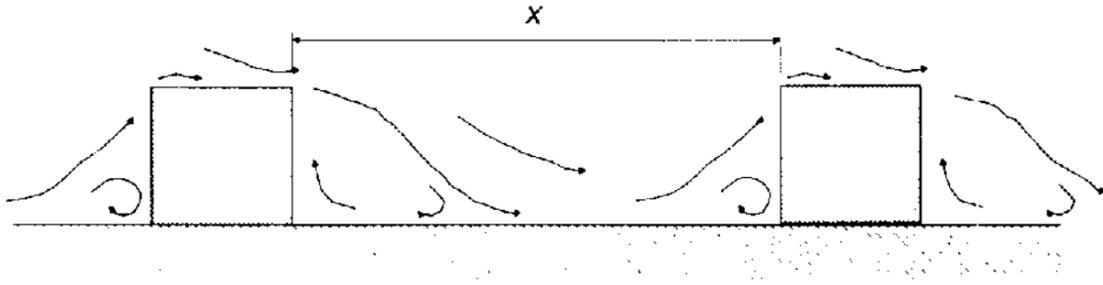
Por causar efeitos dinâmicos (“efeitos de galope”) significativos e alterações nas pressões, particularmente importantes em edificações com coberturas e painéis de vedação feitos com material leve, a turbulência causada pela esteira de uma edificação a barlavento, perturba sensivelmente uma estrutura localizada a sota-vento (Figura 7) (ABNT, 1988; Carpeggiani, 2004).



*Figura 7: Características de esteira. Fonte: Adaptado de Gandemer, 1977*

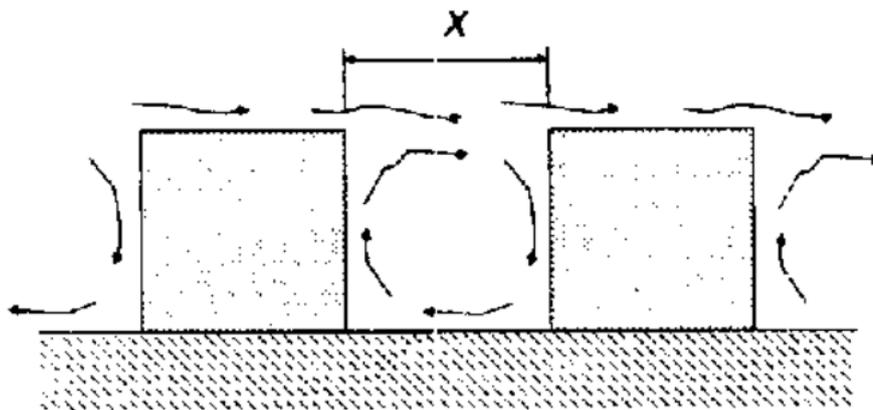
De acordo com Cook (1990), existem três regimes de escoamento que podem ser definidos para edificações alinhadas na direção do vento: regime de escoamento isolado; regime de escoamento por deslizamento; e regime de escoamento de interferência de esteira, ilustrados nas Figuras 8, 9 e 10, respectivamente:

- a) No regime de escoamento isolado, os edifícios estão suficientemente afastados entre si para que cada um atue de forma isolada. Um “vórtice em ferradura” se forma ao redor de cada edifício individualmente e o fluxo se reanexa ao solo atrás da bolha de circulação da esteira próxima, antes que o próximo edifício seja atingido. Assim, a distância de separação,  $x$ , é maior que a soma dos comprimentos de separação a barlavento e de reanexo a sota-vento. A proteção contra o vento, nesse caso, é pequena, e as forças em cada edifício individual são semelhantes aos valores para um edifício isolado.



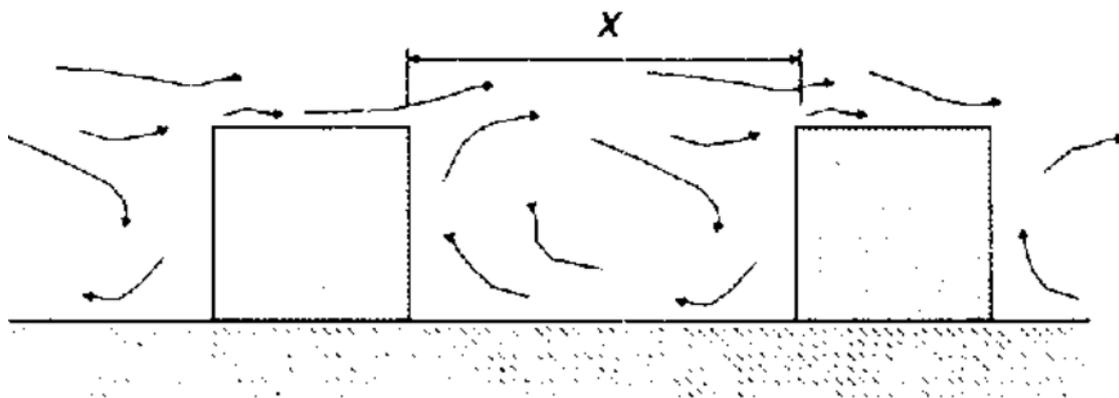
**Figura 8:** Regime de escoamento isolado. Fonte: Cook, 1990

- b) No regime de escoamento por deslizamento, os edifícios estão suficientemente próximos para que um vórtice estável possa se formar no espaço entre eles, e o fluxo parece deslizar sobre o topo dos edifícios. Nesta condição, a proteção contra o vento é grande.



**Figura 9:** Regime de escoamento por deslizamento. Fonte: Cook, 1990

- c) O regime de interferência de esteira representa um estado intermediário entre os regimes de escoamento isolado e por deslizamento, onde a bolha de circulação da esteira próxima não tem espaço suficiente para se desenvolver completamente entre os edifícios, mas a separação é grande demais para que um vórtice estável possa existir.



*Figura 10: Regime de escoamento de interferência de esteira. Fonte: Cook, 1990*

### **2.3.CONTRIBUIÇÕES SOBRE ANÁLISE DOS EFEITOS DO VENTO EM EDIFICAÇÕES E EFEITOS DE VIZINHANÇA**

Davenport (1961) é pioneiro na introdução de métodos estatísticos na análise de força do vento. Ele forneceu uma estrutura para entender a variabilidade do vento e sua influência nas estruturas. A aplicação de conceitos estatísticos tornou-se fundamental na análise da força do vento em edificações considerando o vento como uma variável aleatória. Tradicionalmente, as pressões eram calculadas considerando que as flutuações na velocidade devido às rajadas de vento poderiam ser desconsideradas com segurança e que a velocidade poderia ser considerada invariável no espaço e no tempo. Essa simplificação foi conveniente pois as pressões poderiam ser consideradas estáticas e determinadas a partir de ensaios em túnel de vento em modelos em uma corrente de ar constante. A partir desses experimentos foram encontrados determinados coeficientes aerodinâmicos, como os coeficientes de pressão e arrasto.

Vickery (1970) concentra-se nas forças aerodinâmicas em edifícios, especialmente em atmosferas turbulentas, de maneira a compreender como as condições atmosféricas impactam a resposta das estruturas sob ação do vento, contribuindo para uma visão mais completa dos efeitos dinâmicos, além de desenvolver o conceito de fator de carregamento de rajadas, introdução de métodos estatísticos para determinar a resposta estrutural ao vento baseado na turbulência atmosférica, tendo como contribuição abordagens utilizadas em normas e regulamentos de projeto de estruturas sob ação do vento, como o ASCE 7 e a NBR 6123.

Simiu e Scanlan (1996) abordam desde os princípios básicos da teoria do vento até estratégias de projeto para análise de estruturas sujeitas a ação do vento, oferecendo uma compreensão aprofundada das forças aerodinâmicas e técnicas de modelagem,

proporcionando uma base sólida para o projeto de estruturas, abordando modelagem probabilística da ação do vento em estruturas, utilizando estatística e análise de confiabilidade e introdução a ensaios em túnel de vento para simulação e seus efeitos em modelos reduzidos de edificações.

Tamura (2000) fornece uma visão geral das técnicas de análise aplicadas à resposta de edificações devida à ação do vento. Abrange desenvolvimentos na avaliação da dinâmica estrutural sob a ação do vento, trazendo revisão das técnicas de ensaios em túnel de vento e modelagem em edifícios altos além da introdução de abordagens avançadas para análise de vibrações induzidas pelo vento em estruturas flexíveis com aplicação da estatística e da teoria da confiabilidade.

Estudos recentes têm destacado a importância de investigar não apenas o impacto direto da ação do vento sobre uma estrutura específica, mas também como as características aerodinâmicas dos edifícios vizinhos podem modular esse impacto. A análise precisa dessas influências é essencial para a concepção de estruturas eficientes, especialmente em áreas urbanas onde a região é caracterizada por uma complexa configuração de edifícios.

Os efeitos de interferência de edifícios são comumente estudados em túnel de vento, simulando-se as principais características do edifício em questão e de suas construções vizinhas. Portanto, verifica-se a importância do uso do túnel de vento na estimativa dos coeficientes aerodinâmicos (David, 2007).

Thepmongkorn et al. (2002) realizaram ensaios em túnel de vento com utilização do modelo CAARC de maneira a analisar os efeitos da interferência de edifícios vizinhos no movimento combinado de translação e torção de edifícios altos submetidos a ação do vento. O estudo investigou a interferência causada por um edifício alto posicionado a barlavento e alinhado ao modelo do edifício padrão CAARC e os resultados apontaram que, em determinadas velocidades do vento, as respostas do edifício principal aumentaram significativamente devido ao fato de que a frequência dos vórtices despreendidos do edifício interferente coincidiu com a frequência natural de vibração do edifício principal. O impacto foi mais intenso quando o edifício interferente estava posicionado a barlavento.

Fontes (2003) aborda a influência da vizinhança na resposta dinâmica de edifícios altos submetidos à ação do vento. O estudo combina análises teóricas e experimentais, destacando a necessidade de considerar os efeitos de vizinhança no dimensionamento estrutural para garantir a segurança e o conforto dos usuários.

David (2007) investigou a determinação de coeficientes aerodinâmicos para forças devidas ao vento incidentes em direções oblíquas às fachadas de edificações, com o objetivo de representar com maior precisão as condições reais observadas em ensaios de túnel de vento. O estudo evidenciou que a norma NBR 6123:1988 não considera de forma adequada os efeitos de interferência provocados por edificações vizinhas, o que pode levar à subestimação dos esforços devidos ao vento. De acordo com os resultados obtidos, esses esforços podem ser até quatro vezes maiores quando os efeitos de vizinhança são relevantes. Além disso, observou-se que, para quase metade dos casos analisados, a Norma fornece coeficientes inferiores aos verificados experimentalmente, o que resulta na subestimação dos esforços provocados pelo vento. Com base nesses achados, o autor propôs coeficientes específicos para diferentes formatos de edificações, visando fornecer estimativas mais precisas em projetos que considerem a incidência do vento.

Xie e Gu (2009) constataram que edifícios interferentes, tanto alinhados quanto dispostos ao redor do edifício principal, podem alterar significativamente o escoamento do vento e, conseqüentemente, os momentos fletores na base da estrutura principal. O estudo, baseado em ensaios em túnel de vento com modelos rígidos e utilizando a técnica de balanço de força de alta frequência (HFFB), demonstrou que a presença de dois edifícios vizinhos gera efeitos dinâmicos mais adversos do que a presença de apenas um vizinho. Em terrenos com baixa rugosidade, o fator de vizinhança máximo — definido como a razão entre o momento fletor na base com e sem interferência — aumentou em até 80% nas configurações com dois edifícios interferentes, em comparação àquelas com apenas um. Em terrenos mais rugosos, esse aumento foi de 29%. Ainda que os efeitos de vizinhança sejam menos expressivos nesse tipo de terreno, o fator de vizinhança máximo atingiu 1,83 quando os edifícios vizinhos tinham a mesma altura do edifício principal e 2,67 quando os vizinhos eram de menor altura.

Fontoura (2014) realizou um estudo detalhado sobre a influência da vizinhança em edifícios altos, utilizando modelos reduzidos em túnel de vento para analisar diferentes configurações do entorno e suas implicações nas cargas de vento, trazendo resultados para subsidiar discussões a respeito do fator de majoração dos esforços presente na norma brasileira NBR 6123/1988.

Yu et al. (2016) investigaram os efeitos da interferência aerodinâmica de edifícios vizinhos na resposta torsional de um edifício principal, por meio de ensaios em túnel de vento com modelo rígido. O estudo considerou a variação da largura e da altura do

edifício interferente, bem como a intensidade da turbulência incidente e a velocidade reduzida do vento. O foco principal foi a análise do fator de vizinhança aplicado à resposta dinâmica de torção na base da estrutura principal, avaliando sua distribuição e correlação com diferentes configurações. Foram testadas diversas razões de largura (Br) e altura (Hr), além da influência das condições de escoamento. Também foram exploradas as condições para ocorrência de ressonância torsional induzida por vórtices de esteira. Os resultados mostraram que, na ausência de ressonância, o fator de vizinhança máximo foi de 1,9. No entanto, quando  $Br = 0,4$ , a ocorrência de ressonância fez esse valor alcançar 2,98. Observou-se ainda que o fator de vizinhança — entendido aqui como a razão entre a resposta com vizinhança e a resposta isolada — tende a aumentar com Hr, apresentando boa correlação entre os diferentes casos analisados.

Menezes (2017) investigou as interações entre vento decorrentes das interferências causadas na presença de edifícios vizinhos. A pesquisa destacou que a influência da vizinhança em edifícios altos se mostra muito presente, fato este que dificulta sua determinação de maneira teórica, de forma que empreendimentos com vizinhos dispersos tendem a sofrer acréscimos em seus coeficientes de força globais, fato esse que também sofre influência da topografia acentuada que o empreendimento está sujeito, ficando evidente a necessidade de uma contínua atualização tanto da metodologia indicada na NBR 6123, quanto do aumento da base de dados. Estas atualizações têm o intuito de abranger uma quantidade mais representativa de configurações construtivas.

Hui et al. (2017), com base em medições de pressão no edifício principal e na análise do escoamento do vento ao redor das edificações interferentes, determinaram que a complexidade do campo de escoamento gerada pela presença de um edifício interferente é o principal fator responsável pelo aumento significativo do momento de torção aerodinâmico experimentado pela estrutura. Esse momento pode ser até três vezes maior do que no caso isolado.

Reis (2021) realizou análises de confiabilidade estrutural de um edifício alto submetido à ação dinâmica do vento, considerando a estrutura isolada e diferentes configurações de vizinhança. Os dados foram obtidos por meio de ensaios experimentais em túnel de vento, adotando critérios limites nacionais e internacionais, com base nos estados limites de serviço para avaliação dos modos de falha. Os resultados indicaram que a presença de edificações vizinhas aumentou, na maioria dos casos, o desvio padrão dos deslocamentos estruturais, intensificando as oscilações em torno dos valores médios. Observou-se, ainda, que os desvios padrão dos deslocamentos transversais à direção do

vento foram superiores aos dos deslocamentos na direção do vento, para cada uma das situações analisadas.

Lavôr (2023) desenvolveu processo experimental em túnel de vento utilizando a metodologia HFPI (High Frequency Pressure Integration). O estudo visou aumentar a base de dados existente sobre a análise do efeito de interferência de edificações na ação do vento, contribuindo como fundamentação nas atualizações da NBR 6123 (1988), no que diz respeito aos Efeitos de Vizinhança. Propôs também Mapas de Fatores de Vizinhança, obtidos através das amplificações dinâmicas que servirão como passo inicial nos estudos para futuras atualizações da norma brasileira no que diz respeito às ações dinâmicas do vento, além de preencher uma lacuna para este tipo de estudo.

Assim, diversas pesquisas vêm sendo conduzidas com o objetivo de compreender e abranger as diversas possibilidades de configurações de edificações encontradas no ambiente urbano.

## **2.4. ESTUDO NUMÉRICO-EXPERIMENTAL**

Frequentemente, quando se busca obter respostas mais precisas da natureza, torna-se imprescindível conduzir ensaios experimentais em conjunto com outras investigações, seja de maneira numéricas e analíticas, ou quando a conceituação teórica não é suficiente. Isso ocorre com frequência ao analisar o comportamento de estruturas sob ação do vento.

De maneira a avaliar fatores de vizinhança a partir de coeficientes de pressão, Lavôr (2023) obteve dados experimentais de pressões instantâneas no túnel de vento de camada limite atmosférica Joaquim Blessmann, localizado no Laboratório de Aerodinâmica das Construções da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Parte dos dados de coeficientes de pressão foi gentilmente cedida por Lavôr (2023) e empregada na presente pesquisa de maneira que esse conjunto de dados foi reanalisado aplicando-se diretamente na avaliação da força aerodinâmica na direção do vento e na direção transversal ao vento.

### **2.4.1. TÚNEL DE VENTO PROFESSOR JOAQUIM BLESSMANN**

O túnel de vento do Laboratório de Aerodinâmica das Construções (LAC) da UFRGS é um pioneiro na América Latina, estando ativo desde 1977. Trata-se de um túnel de vento de circuito fechado desenvolvido especificamente para conduzir testes em

modelos de construções civis. Esse túnel possibilita a simulação das principais características dos ventos naturais, reproduzindo a camada limite atmosférica e a turbulência por meio de dispositivos instalados ao longo do seu percurso (Borges, 2020) (Figura 11).



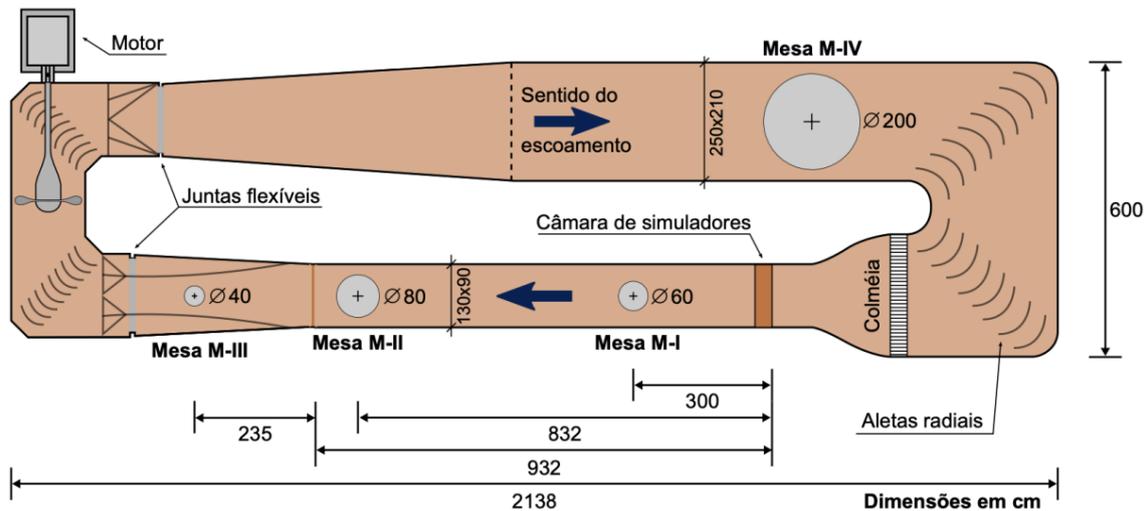
**Figura 11:** Túnel de vento Professor Joaquim Blessmann. Fonte: Lavôr, 2023

De acordo com Lavôr (2023), a seção de altas velocidades do túnel tem as seguintes características:

- Dimensões médias = 1,30 m x 0,90 m x 9,32 m (largura x altura x comprimento);
- Relação comprimento / altura  $\approx 10,3$ ;
- Número de Reynolds do túnel =  $2,6 \times 10^6$ ;
- Velocidade máxima do escoamento com vento uniforme e suave sem a presença de modelos  $\approx 42$  m/s (150 km/h), controlada por um inversor de frequências;
- Motor elétrico que acionam as hélices do ventilador = 100HP.

O túnel de vento dispõe de quatro câmaras de ensaio, destas três com mesas giratórias para fixação dos modelos e ensaios com diferentes ângulos de incidência do

vento. Cada câmara possui suas aplicações específicas, de acordo com a edificação em estudo e tipo de escoamento desejado. Pela Figura 12, verifica-se a partir da planta baixa do túnel de vento as quatro câmaras de ensaio, nomeadas M-I, M-II, M-III e M-IV, o motor, e a colmeia.



**Figura 12:** Planta baixa do túnel de vento Professor Joaquim Blessmann. Fonte: Lavôr, 2023

A mesa M-I é utilizada para ensaios do tipo aeronáutico com modelos próximos ao piso do túnel, pois a camada limite apresenta pequena espessura e escoamento de baixa turbulência. Também são realizados ensaios de modelos de formas geométricas simples em modelos bi ou tridimensionais (Blessmann, 2011).

A mesa M-II é utilizada para ensaios de tipo aeronáutico no eixo do túnel e ensaios para a construção civil, podendo ser utilizados dispositivos, já descritos, para a geração de turbulência, posicionados no piso do túnel e/ou na câmara de simuladores. É a câmara mais utilizada para o ensaio de modelos da construção civil, visto que nessa posição, a velocidade de escoamento chega no seu valor máximo e com a camada limite bem definida (Blessmann, 2011).

A mesa M-III apresenta grande rigidez. Essa mesa foi especificamente construída para estudos dinâmicos em estruturas de grande alteamento, como chaminés, pilares de viadutos, torres de televisão, etc (Blessmann, 2011).

A mesa M-IV se encontra no retorno do túnel e é utilizada para ensaios de dissipação de fumaça e gases industriais, influência da topografia sobre os ventos, efeito de interação, modelos de pontes, etc (Blessmann, 2011).

A variação da velocidade média do vento numa seção do túnel é dependente da altura definida a partir do piso do túnel. Segundo Blessmann (1995), o perfil de velocidades médias é relacionado com a altura por uma lei potencial, dada na Equação 1.

$$\frac{V(z)}{V_{ref}} = \left(\frac{z}{z_{ref}}\right)^p \quad (1)$$

Onde:

- $V(z)$ : velocidade média na altura  $z$ ;
- $V_{ref}$ : velocidade média de referência na altura  $z$ ;
- $z_{ref}$ : altura de referência, 450 mm a partir do piso do túnel de vento;
- $z$ : altura vertical medida a partir do piso do túnel de vento;
- $p$ : expoente da curva de potência.

Nas simulações no túnel de vento do LAC, usualmente somente a parte mais baixa da camada limite atmosférica é simulada. Até o momento, já foram simulados ventos com perfis de velocidade média com expoente  $p$  da lei de potência variando entre 0,11 e 0,36 (Loredo-Souza et al., 2004).

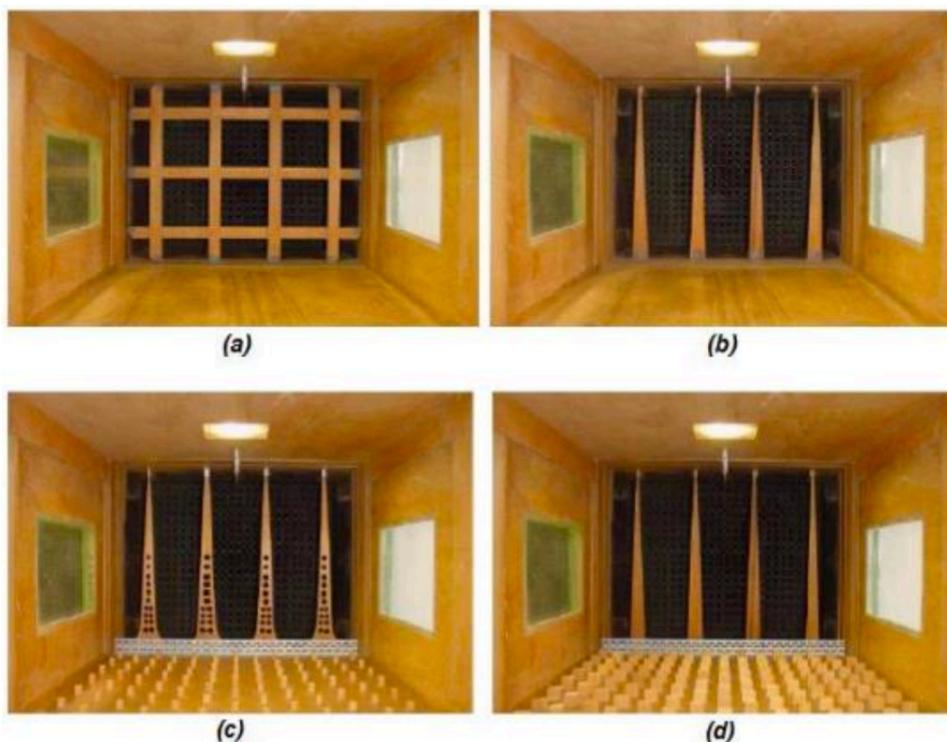
Os expoentes mais utilizados no túnel de vento em relação com as categorias de rugosidade do terreno segundo a NBR 6123/1988 são descritos a seguir:

a)  $p = 0,11$  corresponde a terrenos com rugosidade da categoria I da NBR 6123/1988;

b)  $p = 0,23$  corresponde a terrenos com rugosidade entre as categorias III e IV da NBR 6123/1988;

c)  $p = 0,34$  corresponde a terrenos com rugosidade da categoria V da NBR 6123/1988.

Os dispositivos para a simulação dos perfis de velocidades médias do vento em relação ao expoente  $p$  são mostrados na Figura 13.



**Figura 13:** Aparelhos para geração de diferentes camadas limites - (a) grelha; (b)  $p=0,11$ ; (c)  $p=0,23$ ; e (d)  $p=0,34$ . Fonte: Vieira, 2016

A grelha (Figura 13a) é utilizada para gerar uma turbulência uniforme na seção de entrada do túnel de vento.

Lavôr (2023) simulou vento com perfil de velocidade média equivalente ao expoente  $p = 0,11$ , da Equação 4, representando a categoria I de rugosidade de terreno, segundo a NBR 6123 (1988), o qual será considerado na presente pesquisa.

#### 2.4.2. INSTRUMENTAÇÃO

O túnel de vento do LAC está equipado com dois anéis piezométricos, localizados nos extremos do convergente, na entrada da seção principal de trabalho. Esses dispositivos são responsáveis por monitorar e medir a diferença de pressão estática do fluxo de ar. As leituras dessas pressões são registradas digitalmente por um micro manômetro eletrônico Schiltknecht, modelo MANOAIR 500, com resolução de 0,1 Pa e precisão de 0,2 Pa, conforme ilustrado na Figura 14 (a). A pressão atmosférica é medida por um barômetro digital da marca Novus/Huba, modelo N1500/691 (Reis, 2021). A temperatura do ar dentro do túnel é medida por um termômetro. A temperatura do ar no túnel é um parâmetro importante, pois, com o funcionamento do túnel, o atrito

do ar com as paredes gera um aumento de temperatura, o que modifica a massa específica do ar.

Para monitorar as pressões nos modelos testados, o túnel está equipado com um sistema composto por transdutores de pressão, cuja função é adquirir simultaneamente pressões variáveis por meio de mangueiras conectadas ao modelo. O equipamento da marca Scanivalve Corp, modelo ZOC33, possui seis módulos de sessenta e quatro canais cada, operando a uma taxa de aquisição máxima de 20 kHz e apresentando uma imprecisão de 0.12%, conforme mostrado na Figura 14 (b). As leituras das pressões exercidas no modelo pelo fluxo de ar são expressas em mmH<sub>2</sub>O pelo equipamento.



(a) Manômetro



(b) Transdutor de pressão

**Figura 14:** Equipamentos de leitura de dados. Fonte: Lavôr, 2023

### 2.4.3. MODELO STANDARD TALL BUILDING (CAARC)

Devido à complexidade da análise in loco ou à situação estudada ser uma idealização não existente em escala real, torna-se interessante a realização de ensaios em escala reduzida, utilizada quando não é viável analisar a estrutura em sua escala real.

A fim de garantir uma reprodução precisa da simulação do escoamento de vento e a aplicação do modelo reduzido, é essencial levar em conta as condições de semelhança. Essas condições conectam propriedades geométricas, cinemáticas e dinâmicas, estabelecendo uma relação em escala reduzida entre o escoamento e o modelo, em comparação com suas contrapartes em escala real. (Reis, 2021)

A semelhança geométrica, também compreendida como semelhança dos corpos, associa-se à semelhança geométrica entre a estrutura reduzida, modelo, e a estrutura real, sendo consideradas as semelhanças de formas, para mesma orientação em relação aos

escoamentos, de detalhes e de rugosidade, para mesma escala geométrica dos corpos. A relação entre as dimensões correspondentes  $l_1$  e  $l_2$  do modelo e da estrutura, respectivamente, é constante, conforme a Equação 2 (Blessmann, 2011).

$$\frac{l_1}{l_2} = constante \quad (2)$$

A semelhança cinemática, entendida como a semelhança geométrica dos escoamentos, compreende que a distribuição das velocidades médias e as propriedades da turbulência sejam análogas nos escoamentos em escala reduzida e real. Seja  $u_1$  e  $u_2$  os módulos das velocidades em um par de pontos correspondentes nos escoamentos do modelo e da estrutura respectivamente. Pela semelhança cinemática, a relação entre estes módulos é constante para qualquer par de pontos correspondentes nos escoamentos, conforme a Equação 3 (Blessmann, 2011).

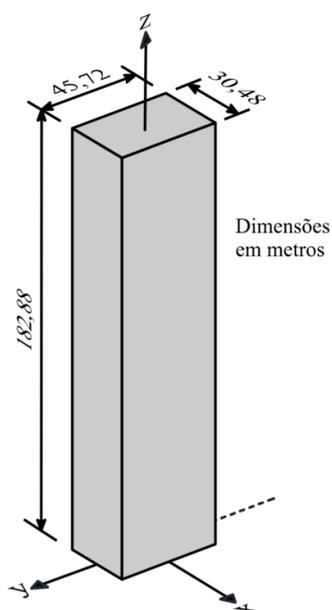
$$\frac{u_1}{u_2} = constante \quad (3)$$

A Semelhança dinâmica compreende a semelhança das forças análogas que ocorrem em um escoamento, que são as forças devidas à pressão, forças devidas à viscosidade e de inércia, etc. Seja  $F_1$  e  $F_2$  os módulos das forças, paralelos entre si, em um par de pontos correspondentes dos escoamentos nas superfícies do modelo e da estrutura. Pela semelhança dinâmica, a relação entre estes módulos é constante para qualquer par de pontos correspondentes, conforme a Equação 4 (Blessmann, 2011).

$$\frac{F_1}{F_2} = constante \quad (4)$$

O Standard Tall Building é um edifício alto idealizado em 1969 pela Commonwealth Advisory Aeronautical Research Council (CAARC), planejado como um modelo simples de edifício, utilizado como padrão para comparação entre técnicas e ensaios experimentais em túneis de vento de camada limite e calibração desses equipamentos, resultando em maior confiabilidade nos dados obtidos através desses ensaios e sendo requisitado para ensaios dinâmicos e de medidas de pressões nas fachadas. O modelo é um edifício prismático com seção transversal retangular, com medidas, em escala real,

de 30,48 m x 45,72 m x 182,88 m, correspondentes a 100 ft x 150 ft x 600 ft em notação inglesa (Figura 15). Nesta pesquisa, o modelo experimental é denominado de CAARC.



**Figura 15:** CAARC Standard Tall Building. Fonte: Lavôr, 2023

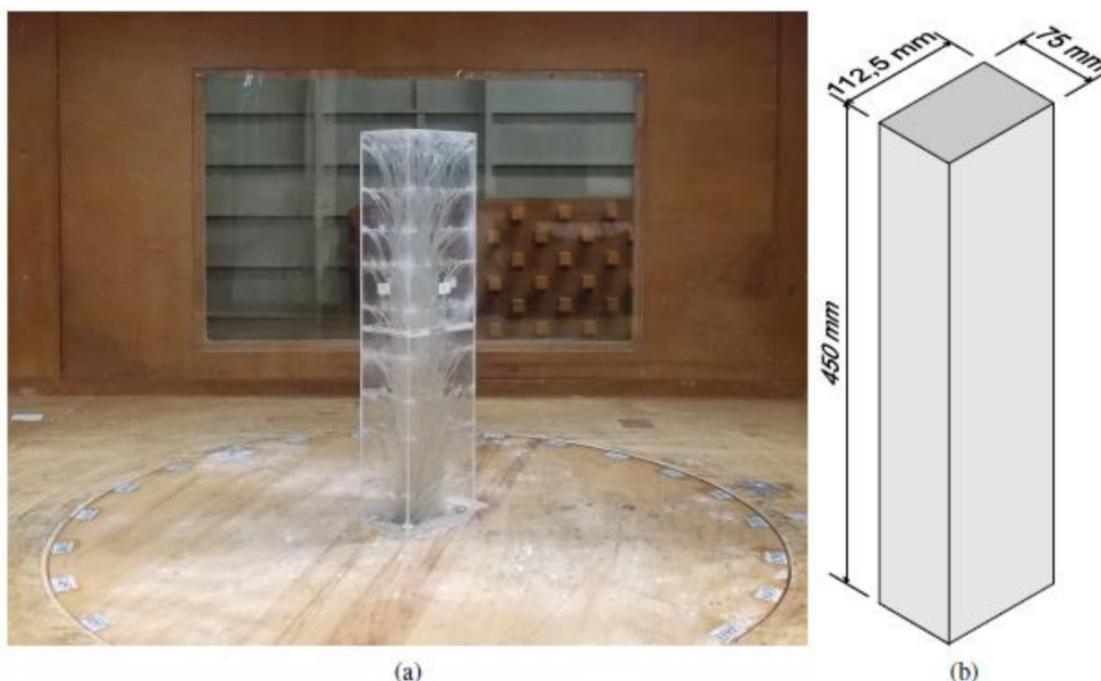
A Figura 16 reúne os dados sobre o edifício padrão em escala real, conforme informações de Lavôr (2023). Nesta tabela os eixos estão relacionados de acordo com a Figura 15.

Característica	Valor	Unidade
Maior dimensão da base do CAARC	45,72	m
Menor dimensão da base do CAARC	30,48	m
Altura do CAARC	182,88	m
Razão de amortecimento crítico	0,01	-
Frequência natural relativa ao eixo x	0,2	Hz
Frequência natural relativa ao eixo y	0,2	Hz
Frequência natural relativo ao eixo z	0,3	Hz
Momento de inércia de massa relativo ao eixo x	461691558	tm <sup>2</sup>
Momento de inércia de massa relativo ao eixo y	457745476	tm <sup>2</sup>
Massa específica	160	kg/m <sup>3</sup>
Massa total	40776259,09	kg
Rigidez rotacional relativa ao eixo x	729	GNm/rad
Rigidez rotacional relativa ao eixo y	723	GNm/rad

**Figura 16:** Dados do edifício CAARC em escala real. Fonte: Lavôr, 2023

O modelo de edifício em escala reduzida com todas as tomadas de pressão instaladas e já posicionado no túnel de vento para realização dos ensaios é ilustrado na Figura 16.

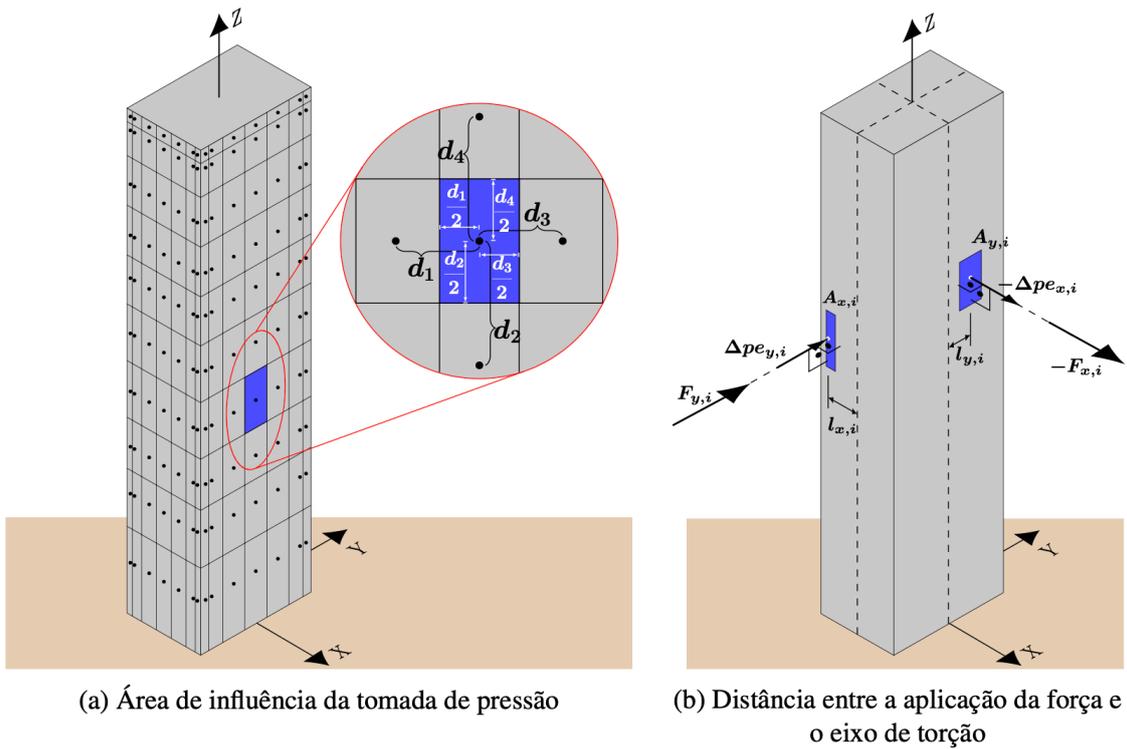
Considerando a escala de comprimento de 1:406,4, as dimensões do modelo experimental utilizado são de 112,50 mm por 75,00 mm de base e altura de 450 mm. Desta forma, a cota do topo do modelo ficou com o valor da metade da altura do túnel.



*Figura 17: (a) Modelo CAARC instrumentado com tomadas de pressão; e (b) dimensões do modelo. Fonte: Lavôr, 2023*

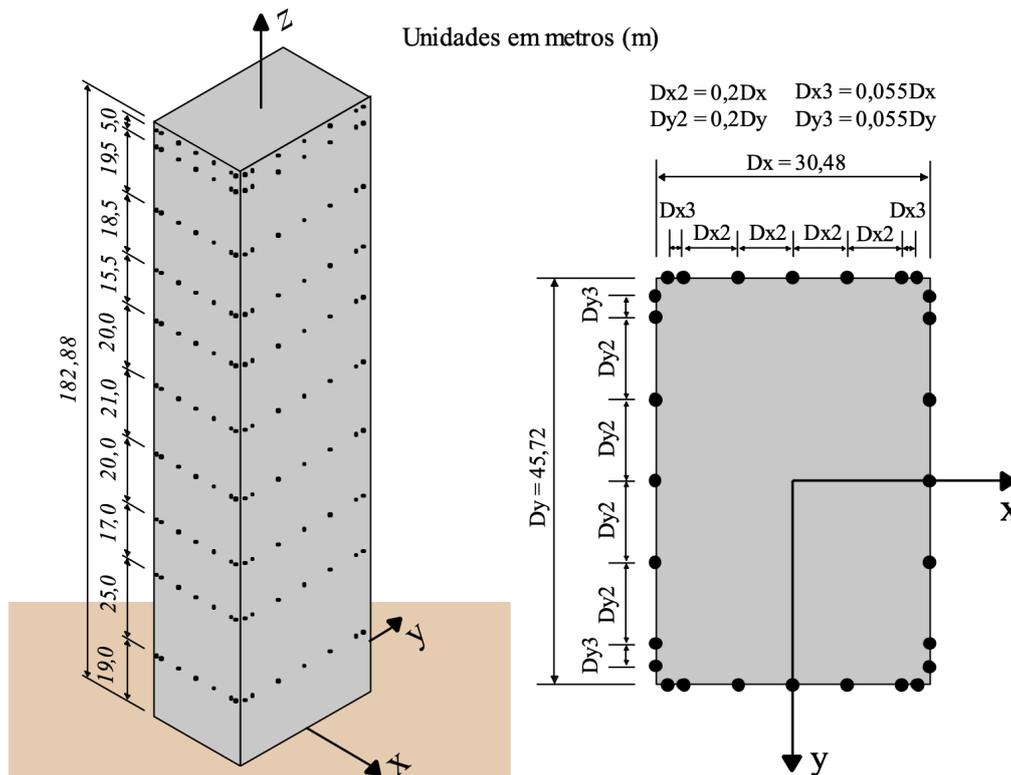
#### **2.4.4. AQUISIÇÃO DAS PRESSÕES NO TÚNEL DE VENTO**

Cada tomada de pressão do CAARC abrange uma área de influência, onde é estabelecido possuir a mesma pressão medida na tomada correspondente. Esta área é determinada a partir dos segmentos médios entre a tomada de pressão considerada e as tomadas de pressão a ela adjacentes, conforme apresentado na Figura 18 (a). No caso da tomada ser adjacente à borda da fachada, é considerada a largura entre a tomada e a borda. As distâncias entre as tomadas estão descritas na Figura 19. Todas as áreas de influência do CAARC são perpendiculares ou paralelas aos eixos coordenados adotados (Lavôr, 2023).



**Figura 18:** CAARC submetido às pressões do vento. Fonte: Lavôr, 2023

Desta forma, no modelo em estudo elaborado por Lavôr (2023) foram distribuídas 280 tomadas de pressão, considerando as quatro fachadas do modelo, colocadas em 10 linhas horizontais com 28 tomadas em cada uma, conforme ilustrado na Figura 19. Cada ensaio foi executado num intervalo de 16 segundos. Neste período, o transdutor eletrônico marcou 8192 dados de pressão por tomada, assim sendo, uma razão de registros de 512 Hz, realizando aproximadamente um registro por tomada a cada 0,001953 segundos.



**Figura 19:** Edifício alto padrão CAARC em escala real e posições das tomadas de pressão. Fonte: Reis, 2021

De posse das séries temporais de pressões medidas para cada tomada, das suas áreas de influência e dos seus braços de alavanca em relação a cada um dos eixos coordenados, foram determinados os valores das forças média e valores RMS (root mean square - necessários para determinar os efeitos estáticos que agiram no edifício estudado devido a cada configuração de vizinhança ensaiada), assim como os valores dos momentos, e, então, determinar seus respectivos coeficientes aerodinâmicos.

A forma mais comum e conveniente de se analisar as séries temporais das pressões do vento é por meio de valores adimensionais conhecidos como coeficientes aerodinâmicos. Esses coeficientes são obtidos a partir das pressões medidas em um modelo inserido no túnel de vento. Vale destacar que tais pressões não correspondem a valores absolutos, pois são determinadas pela diferença entre a pressão estática em um ponto da superfície do modelo e a pressão estática do escoamento livre, medida a montante (barlavento) do objeto, em uma região não influenciada pela presença do mesmo (Lavôr, 2023).

Diante de uma análise estática, os valores médios e RMS das forças e dos momentos instantâneos são calculados. Com esses valores, os coeficientes aerodinâmicos podem,

então, ser determinados em função do ângulo de incidência do vento com as Equações 5, 6 e 7:

$$C_{F,x}(\theta) = \frac{\overline{F_x(\theta)}(\text{ou } \overline{\tilde{F}_x(\theta)})}{qdh} \quad (5)$$

$$C_{F,y}(\theta) = \frac{\overline{F_y(\theta)}(\text{ou } \overline{\tilde{F}_y(\theta)})}{qbh} \quad (6)$$

Onde:

- $C_{F,x}(\theta)$  e  $C_{F,y}(\theta)$  são, respectivamente, os coeficientes de força relativos aos eixos x e y para o ângulo de incidência do vento  $\theta$ ;
- $\overline{F_x(\theta)}$  e  $\overline{F_y(\theta)}$  são, respectivamente, força média relativa aos eixos x e y;
- $\overline{\tilde{F}_x(\theta)}$  e  $\overline{\tilde{F}_y(\theta)}$  são, respectivamente, os valores RMS das forças relativos aos eixos x e y;
- q é a pressão dinâmica no túnel;
- b e d são, respectivamente, comprimentos de referência do modelo paralelos aos eixos x e y; e
- h é a altura do modelo genérico.

$$C_T(\theta) = \frac{\overline{M_z(\theta)}(\text{ou } \overline{\tilde{M}_z(\theta)})}{qbdh} \quad (7)$$

Onde:

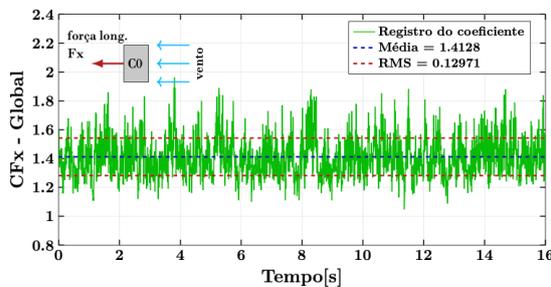
- $C_T(\theta)$  é o coeficiente de momento torçor para o ângulo de incidência do vento  $\theta$ ;
- $\overline{M_z(\theta)}$  e  $\overline{\tilde{M}_z(\theta)}$  são, respectivamente, o valor médio e valor RMS do torçor.

A convenção para o sentido dos coeficientes aerodinâmicos de acordo com os valores obtidos é ilustrada pela Figura 20.

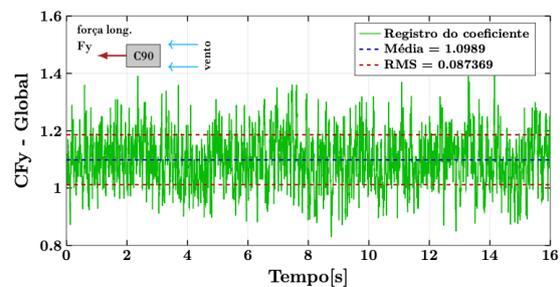
Coefficiente aerodinâmico	Sentido da pressão
$C > 0$	sobrepessão (+) 
$C = 0$	---
$C < 0$	sucção (-) 

**Figura 20:** Convenção de sinais dos coeficientes aerodinâmicos. Fonte: Lavôr, 2023

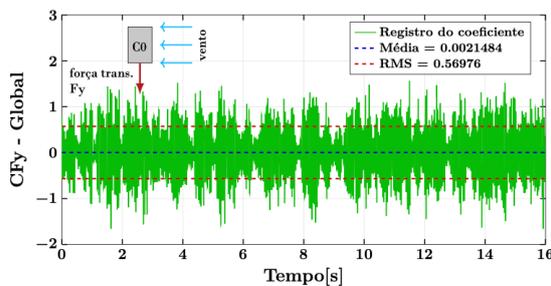
Os registros no tempo dos coeficientes aerodinâmicos para o edifício analisado na condição isolado para a rugosidade  $p=0,11$  são ilustrados conforme Figura 21.



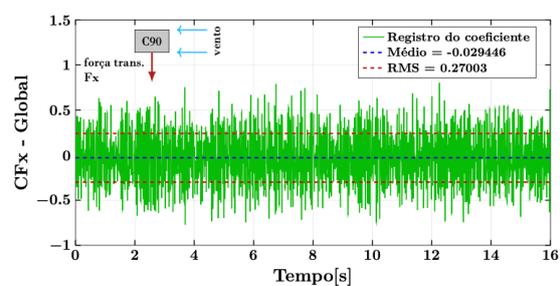
(a) Força longitudinal para C0



(b) Força longitudinal para C90



(c) Força transversal para C0



(d) Força transversal para C90

**Figura 21:** Registro dos coeficientes aerodinâmicos para o CAARC isolado com  $p=0,11$

Desta maneira, os coeficientes de pressão aerodinâmicos obtidos por Lavôr (2023) através dos ensaios experimentais de pressões instantâneas no túnel de vento de camada limite atmosférica Joaquim Blessmann fornecerão uma base sólida para que se possa permitir uma melhor compreensão da ação do vento em ambientes urbanos com a presença de vizinhança.

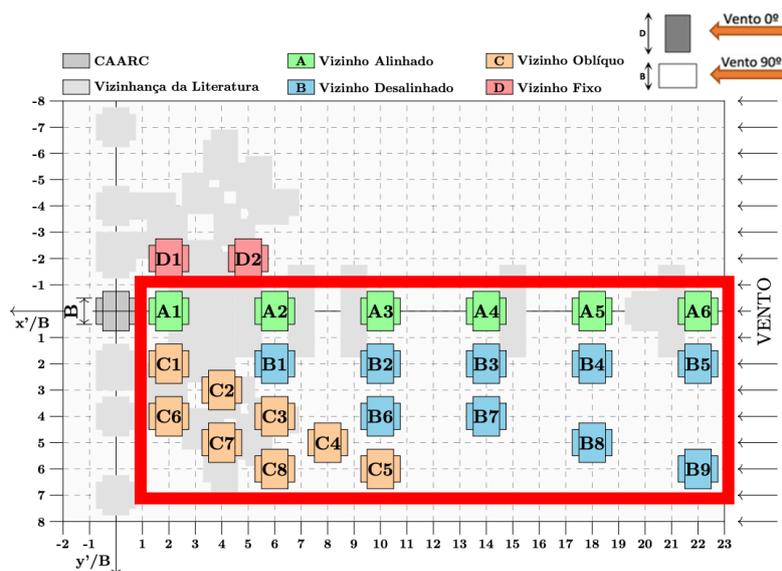
### 3. METODOLOGIA

Neste tópico, serão apresentadas as etapas fundamentais para a realização das análises dos dados, incluindo a determinação do índice de perturbação da força aerodinâmica, quantificadores estocásticos, a construção de gráficos de distribuição e de superfícies, com base nos coeficientes de pressão obtidos em túnel de vento por Lavôr (2023).

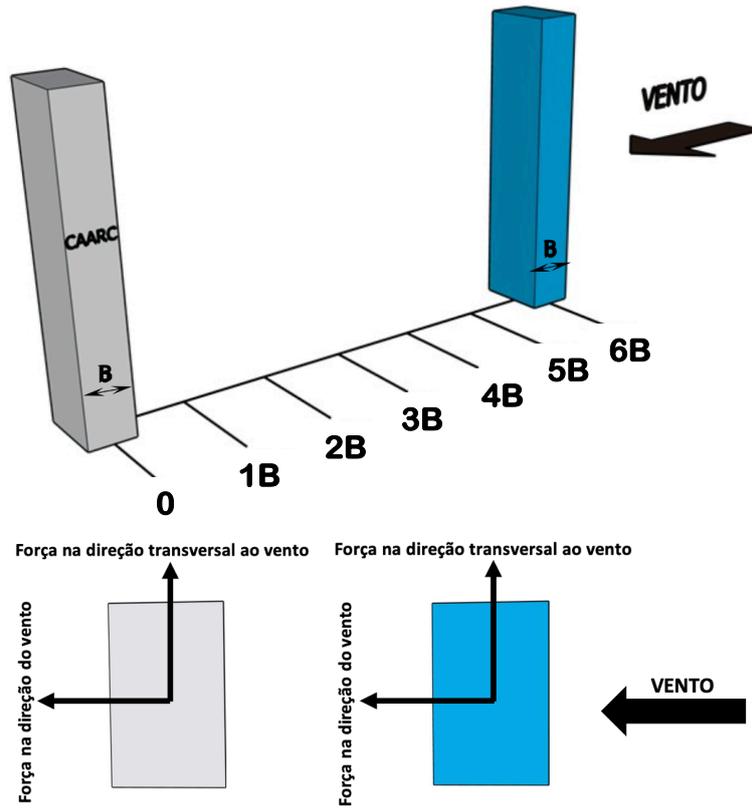
Nesta pesquisa, foram levadas em consideração as condições CAARC isolado e CAARC + vizinho, conforme disposto na Figura 22. Ao todo foram analisados 184 posicionamentos, cada um com 8192 dados de coeficientes de pressão, considerando a força na direção do vento e na direção transversal ao vento, conforme Figuras 23 a 26.

Nas legendas dos resultados, as situações com presença do vizinho são chamadas de “A1” até “A6”, “B1” até “B9” e “C1” até “C8”. “V0” indica que a maior fachada do vizinho é perpendicular à direção do vento (vizinho a 0°), enquanto “V90” indica que a menor fachada do vizinho é perpendicular ao vento (vizinho a 90°). Todos os vizinhos possuem as mesmas dimensões do CAARC. Além disso, para cada situação, são ilustrados, por meio de vista superior das edificações, os casos estudados e suas legendas correspondentes, tanto para o edifício CAARC isolado quanto para casos com vizinhança, conforme localização do vizinho.

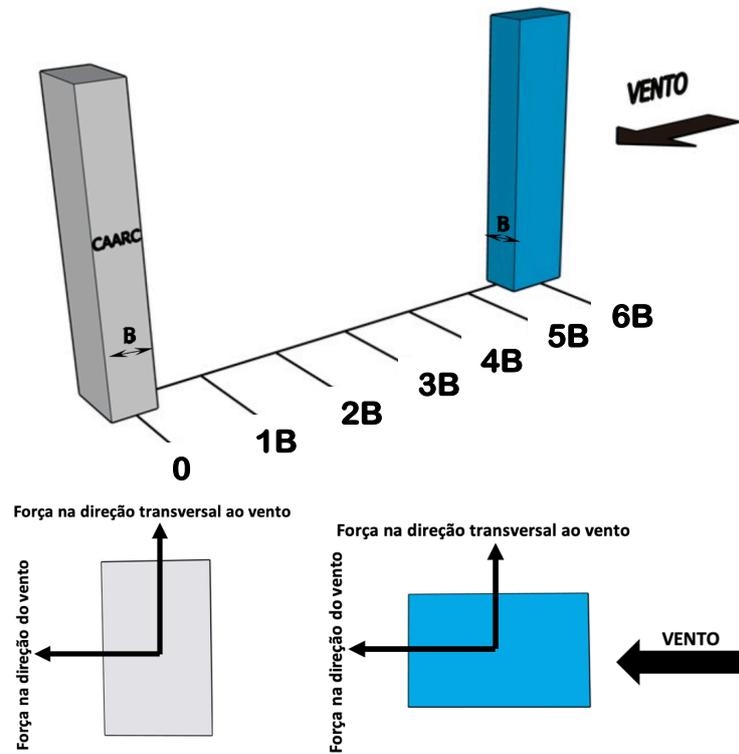
O ensaio foi realizado com o intuito de contemplar a incidência do vento paralelo aos dois eixos principais do edifício analisado, onde seu centro de geométrico (CG) está localizado na coordenada ( $x'/B = 0$ ,  $y'/B = 0$ ), sendo B o lado menor dessa edificação.



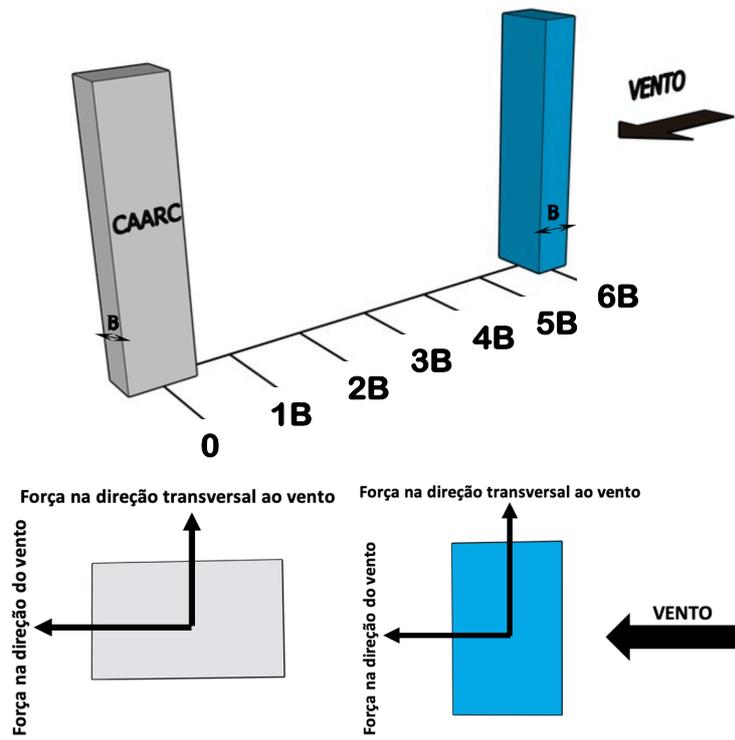
**Figura 22:** Destaque para vizinhos em estudo. Fonte: Adaptado de Lavôr, 2023



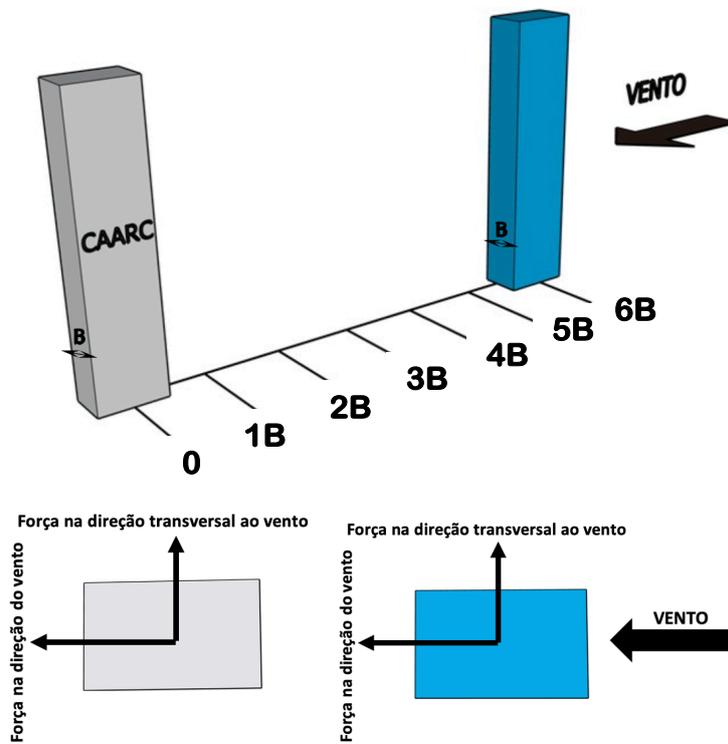
*Figura 23: Edifício CAARC a 0° e edifício vizinho a 0° em relação à direção do vento*



*Figura 24: Edifício CAARC a 0° e edifício vizinho à 90° em relação à direção do vento*



*Figura 25: Edifício CAARC a 90° e edifício vizinho a 0° em relação à direção do vento*



*Figura 26: Edifício CAARC a 90° e edifício vizinho a 90° em relação a direção do vento*

### 3.1.MODELAGEM DE INCERTEZA

Dada uma variável aleatória  $X$  em um processo ergódico, podemos definir que a média ou valor esperado de  $X$  é uma medida da tendência central nos dados, também conhecida como o primeiro momento central e denotada como  $E(X)$ , como:

$$\text{Média} = E(X) = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (8)$$

O emprego somente da média não é suficiente para fornecer todas as características da amostra, sendo também interessante analisar a variação existente nos dados. Para isto, pode-se utilizar a variância da amostra, mostrada na Equação 9. A unidade de medida relacionada à variância da amostra é o quadrado da unidade da variável estudada (Montgomery; Runger, 2018).

A variância de  $X$ , uma medida de propagação nos dados sobre a média, também conhecida como o segundo momento central e denotada como  $\text{Var}(X)$ , pode ser estimada como:

$$\text{Variância} = \text{Var}(X) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (9)$$

Outra opção para avaliar a variação dos dados amostrais, isto é, a dispersão existente no conjunto de observações, é através do desvio padrão da amostra, definido pela raiz quadrada positiva da variância da amostra, conforme Equação 10. Uma característica conveniente desta estatística descritiva é a de possuir a unidade de medida original da variável estudada (Montgomery; Runger, 2018).

A raiz quadrada positiva da variância é denominado desvio padrão. É comum a designação valor RMS (root mean square) para a raiz quadrada positiva do valor quadrado médio, que vem a ser a média quadrática:

$$\sigma_x = \sqrt{\text{Var}(X)} \quad (10)$$

Tanto a variância como o desvio padrão constituem medidas da dispersão das flutuações em torno da média. Além disso, a variância está diretamente ligada à energia cinética contida nas flutuações da velocidade.

### 3.2. TESTE DE ADERÊNCIA

Neste tópico são apresentadas as curvas de distribuição que melhor se adequaram aos dados utilizados na presente pesquisa, por meio de teste de aderência.

O teste de aderência é um teste não paramétrico que é utilizado para verificar se uma variável aleatória apresenta determinada distribuição. A palavra aderência significa que existe uma boa correlação entre o conjunto de dados e a distribuição candidata.

Ao se ajustar um modelo de distribuição candidata a um conjunto de dados amostrais, trabalha-se com a hipótese de que a distribuição representaria adequadamente o conjunto de dados. Uma maneira de comprovar esta hipótese é através de alguns testes não paramétricos (Catalunha, 2000).

No teste de hipótese, as duas hipóteses contraditórias são levadas em consideração. O objetivo é decidir, com base nos dados amostrais, qual das hipóteses está correta. Assim, o problema será formulado de modo que uma das hipóteses seja inicialmente favorecida. Tal hipótese não será rejeitada em favor da outra alternativa, a menos que a evidência da amostra contradiga e forneça forte apoio à hipótese alternativa (Scudino, 2008). No teste de hipótese, tem-se as seguintes definições fundamentais:

1 - Hipótese nula ( $H_0$ ): a variável aleatória adere à distribuição candidata;

2 - Hipótese alternativa ( $H_1$ ): a variável aleatória não adere à distribuição candidata.

Nesta formulação do problema, dois erros podem ocorrer: um erro do tipo I, que é a probabilidade de se rejeitar  $H_0$  quando ela é verdadeira; e erro do tipo II, que é a probabilidade de se aceitar  $H_0$  quando ela é falsa.

O nível de significância ( $\alpha$ ) do teste de hipótese é a probabilidade de ocorrência do erro do tipo I. O valor de  $\alpha$  é especificado antes da coleta das amostras e da definição da hipótese, para que a escolha da hipótese não tenha interferência na escolha da distribuição candidata. Esse valor geralmente é escolhido entre 0,01 e 0,05, ou seja, uma confiança entre 99% e 95%, respectivamente, para que se tome a decisão correta (Scudino, 2008).

O valor  $p$  representa a probabilidade de a estatística de teste teórica ser igual ou mais extrema do que o seu valor observado, considerando que a hipótese nula é verdadeira. A maneira mais fácil de tomar a decisão correta é observar o valor  $p$  do teste de hipótese, e comparar com o nível de significância escolhido. Se o valor  $p$  for menor do que  $\alpha$ , rejeita-se a hipótese nula (Torman et al., 2012); caso contrário, aceita-se a hipótese nula.

O valor  $p$  irá variar no intervalo de 0 a 1, no qual valores mais baixos irão fornecer evidências mais fortes contra a hipótese nula.

Diferentes distribuições de probabilidade podem ser testadas na tentativa de encontrar a melhor representação probabilística dos dados relacionados a um fenômeno, quando possível (Reis, 2021).

Assim, foi utilizado o teste de aderência de Anderson-Darling de forma a verificar qual distribuição melhor se adequa a cada caso. Este teste compara a função de distribuição acumulada empírica de seus dados amostrais com a distribuição esperada se os dados fossem normais. Se essa diferença observada for suficientemente grande, o teste rejeitará a hipótese nula de normalidade da população (Ryan; Joiner, 1976).

$$AD = n \int_{-\infty}^{\infty} \frac{(S(x)-F(x))^2}{F(x)(1-F(x))} dF(x) \quad (11)$$

Onde:

$F(x)$  = Distribuição acumulada teórica

$S(x)$  = Distribuição acumulada empírica

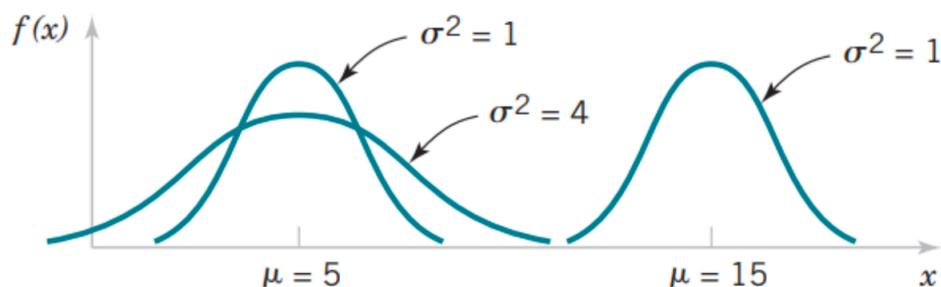
$n$  = Tamanho da amostra

Portanto, a condição de CAARC isolado com vento incidindo a  $0^\circ$  possui distribuição lognormal, a condição de CAARC isolado com vento incidindo a  $90^\circ$  possui distribuição normal, e as condições CAARC + vizinho apresentam distribuição normal.

Conforme Montgomery e Runger (2018), a curva de distribuição normal, ou gaussiana, é o modelo para grandezas contínuas mais utilizado, o qual aparece nas mais diversas análises associadas a fenômenos físicos. Ademais, à medida que a quantidade de repetições de um estudo experimental randômico aumenta, a variável aleatória relacionada ao resultado médio ou total sobre as repetições tende a ter uma distribuição normal. A função de densidade de probabilidade normal é apresentada na Equação 12, para a variável aleatória  $X$ , cujo intervalo varia de  $-\infty < x < \infty$ , sendo  $\mu$  a média e  $\sigma^2$  a variância. Considera-se os parâmetros para os intervalos  $-\infty < \mu < \infty$  e  $\sigma > 0$ .

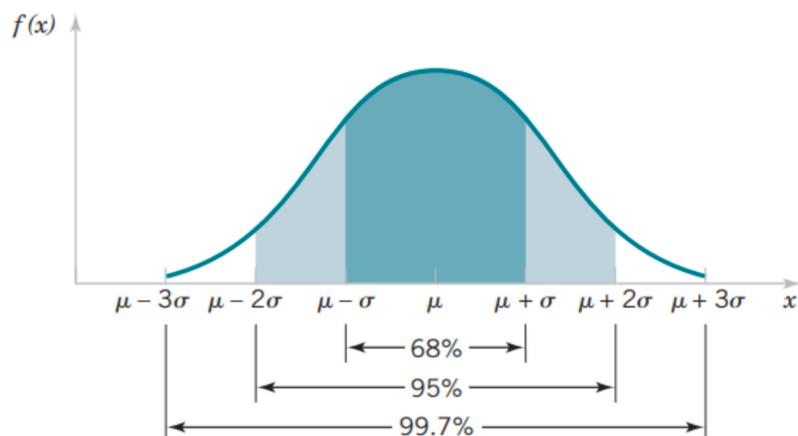
$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (12)$$

Conforme ilustrado na Figura 27, são apresentados exemplos de funções de densidade de probabilidade, para distintos valores médios e dispersões.



**Figura 27:** Funções de densidade de probabilidade normais para valores selecionados dos parâmetros  $\mu$  e  $\sigma^2$ . Fonte: Montgomery e Runger, 2018

Do mesmo modo, na Figura 28 são ilustradas as probabilidades relacionadas à média e à dispersão da variável aleatória normal.



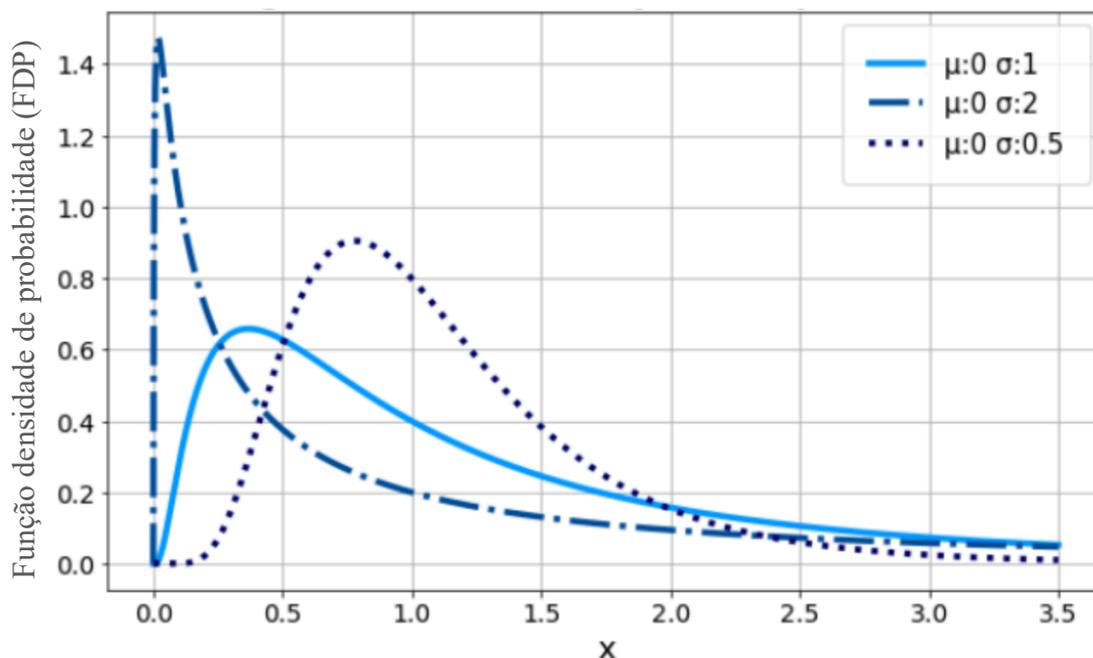
**Figura 28:** Probabilidades associadas à distribuição normal. Fonte: Montgomery e Runger, 2018

Outro tipo de distribuição que representa boa parte dos dados analisados é a distribuição lognormal, a qual é uma distribuição de probabilidade cujo logaritmo tem uma distribuição normal. A distribuição lognormal é aplicável quando a quantidade de interesse deve ser positiva, porque  $\log(x)$  existe somente quando  $x$  é positivo.

De acordo com Katz et al. (2022), a função de densidade de probabilidade para o log-normal é definida pelos dois parâmetros  $\mu$  e  $\sigma$ , onde  $x > 0$ , conforme Equação 13.

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x)-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (13)$$

Na Figura 29 verifica-se um exemplo da função densidade de probabilidade lognormal.



**Figura 29:** Funções de densidade de probabilidade (FDP) lognormal. Fonte: Katz et al., 2022

### 3.3. QUANTIFICADORES ESTOCÁSTICOS

Os quantificadores estocásticos são utilizados para medir perturbações ou alterações em conjuntos de dados, especialmente quando essas alterações envolvem mudanças no comportamento estatístico das distribuições de probabilidade associadas aos dados, ou seja, uma noção relativa de distância do quanto duas distribuições se diferenciam por uma medida que pode ser descrito por uma distância geométrica, divergência, métrica ou mesmo entropia. Em alguns casos para se obter uma medida mais consistente é necessário usar dois ou mais quantificadores e definir novas métricas (Gibbs; Su, 2002).

Cha e Srihari (2002) apresentam quatro propriedades que definem um quantificador quanto a ser uma métrica, distância, ou divergência entre duas distribuições de probabilidades  $f$  e  $g$  pertencentes a um espaço amostral  $\Omega$ , sendo estas:

1. Reflexividade:  $D(f, g) = 0$ ;

2. Não negatividade:  $D(f, g) \geq 0$ ;
3. Simetria:  $D(f, g) = D(g, f)$ ;
4. Desigualdade triangular:  $D(f, g) \leq D(g, h) + D(h, g); \forall h \in \Omega$ .

Por estas propriedades um quantificador será definido por uma métrica se obedecer a todas as quatro propriedades, definido como distância se as propriedades 1, 2 e 3 forem obedecidas, e como uma divergência se obedecer às propriedades 1 e 2.

Cabral et al. (2014) explicam que um quantificador embora seja denominado comumente como uma distância ele também está classificado como métrica e divergência pois satisfaz todas as propriedades supracitadas.

A utilização de quantificadores diferentes para analisar os mesmos dados capturam aspectos distintos das distribuições, fornecendo informações complementares. Obter resultados semelhantes entre diferentes quantificadores reforça a ideia de que as distribuições possuem determinado comportamento estatístico.

Para fins de análise das distribuições das condições em estudo nesta pesquisa (CAARC isolado e CAARC + vizinho) serão utilizados dois quantificadores:

- Distância de Hellinger;
- Divergência de Kullback-Leibler.

A utilização de quantificadores estocásticos, como a distância de Hellinger e a divergência de Kullback-Leibler (KL), tem se mostrado eficazes na quantificação de perturbações entre distribuições de probabilidade associadas a diferentes condições de contorno. No contexto desta pesquisa, essas métricas possibilitam mensurar o grau de dissimilaridade entre a resposta aerodinâmica do edifício isolado (CAARC) e a resposta do mesmo edifício sob influência de vizinhos, refletido no índice de perturbação da força aerodinâmica ( $\Delta\beta$ ). De forma geral, quanto maior o valor desses quantificadores, maior é a perturbação estatística introduzida pelos vizinhos no escoamento do vento.

A distância de Hellinger, por exemplo, fornece uma medida simétrica de similaridade entre distribuições, variando entre 0 (distribuições idênticas) e 1 (distribuições completamente distintas). A divergência de Kullback-Leibler, por sua vez, avalia a "perda de informação" ao se aproximar uma distribuição por outra.

Assim, no presente estudo, essas métricas foram analisadas em conjunto com o índice de perturbação da força aerodinâmica ( $\Delta\beta$ ), de modo a reforçar e quantificar, de forma complementar, os efeitos das perturbações induzidas pelas diferentes configurações de vizinhança.

### 3.3.1. DISTÂNCIA DE HELLINGER

Em 1907, o matemático Ernst David Hellinger (1883–1950) apresentou, em um de seus trabalhos, um tipo diferenciado da integral de Riemann, que passou a ser conhecida como integral de Hellinger. Com esse trabalho, descobriu um quantificador simples e de simetria clara que tem a propriedade de medir a distância entre distribuições de probabilidades que ficou conhecido por distância de Hellinger (Hellinger, 1909).

Sendo assim, está definida a distância de Hellinger para distribuições de probabilidades da seguinte forma:

Sejam  $P=\{p_1,\dots,p_k\}$  e  $Q=\{q_1,\dots,q_k\}$  duas distribuições de probabilidades de  $\Omega$ , a distância de Hellinger está definida como (Hellinger, 1909):

$$H^2(P, Q) = \frac{1}{2} \int_{\Omega} (\sqrt{p(x)} - \sqrt{q(x)})^2 dx \quad (14)$$

Assim, a distância de Hellinger entre duas distribuições de probabilidade mede a distância entre elas no espaço comum. Esta medida pode assumir valores entre 0 e 1, assumindo a desigualdade  $0 \leq H(P, Q) \leq 1$ ;  $\forall \{P, Q\} > 0$ .

Outra forma equivalente de expressar a distância de Hellinger pode ser obtida reformulando o termo dentro da integral, considerando o produto das raízes das densidades. A fórmula pode ser reescrita como:

$$H^2(P, Q) = \frac{1}{2} \int_{\Omega} (\sqrt{p(x)} - \sqrt{q(x)})^2 dx = 1 - \int_{\Omega} \sqrt{p(x)q(x)} dx \quad (15)$$

Esta formulação é particularmente útil porque permite expressar a distância de Hellinger diretamente como a diferença entre 1 e o valor da integral do produto das raízes das funções de densidade.

Uma formulação alternativa da distância de Hellinger, que envolve funções de distribuição acumulada, é baseada na seguinte definição:

$$H^2(P, Q) = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} (\sqrt{Fp(x)} - \sqrt{Fq(x)})^2 dx \quad (16)$$

Onde  $Fp(x)$  e  $Fq(x)$  são as funções de distribuição acumulada associadas a P e Q, respectivamente. Nessa definição, as raízes das funções de distribuição acumulada são comparadas ao invés das densidades de probabilidade, oferecendo uma alternativa para situações em que as distribuições são expressas em termos acumulativos.

Para distribuições de probabilidade discretas, a distância de Hellinger pode ser expressa de maneira mais simples. Se  $P=\{p_1,p_2,\dots,p_k\}$  e  $Q=\{q_1,q_2,\dots,q_k\}$  forem distribuições discretas definidas sobre o mesmo conjunto de eventos  $\Omega=\{x_1,x_2,\dots,x_k\}$ , a distância de Hellinger se torna:

$$H^2(P, Q) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k (\sqrt{p_i} - \sqrt{q_i})^2 \quad (17)$$

Neste caso, a soma é realizada sobre os valores das distribuições P e Q nas k possíveis observações  $x_1,x_2,\dots,x_k$ , proporcionando uma formulação mais prática e eficiente quando trabalhamos com distribuições discretas, como em modelos de Markov ou distribuições empíricas.

Além das definições alternativas da distância de Hellinger, várias propriedades matemáticas são essenciais para compreender seu funcionamento e suas aplicações. Estas propriedades permitem que a distância de Hellinger seja utilizada como uma verdadeira métrica no espaço de distribuições de probabilidade. São elas:

- Simetria: a simetria da distância de Hellinger é uma das suas características mais importantes. Isso significa que a ordem das distribuições P e Q não altera o valor da distância, o que a torna uma métrica justa para comparar distribuições.

$$H(P, Q) = H(Q, P) \quad (18)$$

- Não-negatividade: a distância de Hellinger é sempre não-negativa, o que significa que ela nunca assume valores negativos. Além disso,  $H(P,Q)=0$  se e somente se as distribuições P e Q forem idênticas, o que faz com que a distância seja uma medida útil para testar a igualdade entre distribuições.

$$H(P, Q) \geq 0, \quad H(P, Q) = 0 \text{ se e somente se } P = Q \quad (19)$$

- Desigualdade Triangular: a desigualdade triangular é uma propriedade essencial das métricas, que garante que a distância entre duas distribuições P e R não seja maior do que a soma das distâncias P a Q e Q a R. Essa propriedade é fundamental em muitas aplicações, como em algoritmos de otimização e em análise de séries temporais.

$$H(P, R) \leq H(P, Q) + H(Q, R) \quad (20)$$

Assim, distância de Hellinger tem várias aplicações, principalmente em áreas como estatística, teoria da informação e aprendizado de máquina. Entre suas principais aplicações, destacam-se:

- Análise de Dados e Testes Estatísticos: A distância de Hellinger pode ser usada em testes de comparação de distribuições, onde a questão central é verificar se duas amostras provêm de distribuições diferentes. Em particular, ela é utilizada em modelos paramétricos e não paramétricos para comparar distribuições de probabilidade;
- Clusterização e Classificação: No campo do aprendizado de máquina, a distância de Hellinger é uma métrica eficaz para tarefas de clusterização e classificação. Ela pode ser usada para comparar distribuições preditivas em modelos de aprendizado supervisionado e não supervisionado, como em máquinas de vetor de suporte (SVM) e modelos de mistura de Gauss;
- Modelagem de Distribuições: Em modelos generativos, como as redes adversariais generativas (GANs), a distância de Hellinger pode ser utilizada para medir a discrepância entre a distribuição gerada pelo modelo e a distribuição verdadeira dos dados. Isso permite otimizar os parâmetros do modelo para melhor representar a distribuição dos dados reais;
- Estudo de Redes Complexas: Em redes complexas, a distância de Hellinger pode ser usada para comparar a distribuição de conectividade entre diferentes redes, avaliando a estrutura global e local das redes em termos de suas distribuições de grau.

### 3.3.2. DIVERGÊNCIA DE KULLBACK-LEIBLER (KL)

A divergência de Kullback-Leibler (KL), também chamada de entropia relativa, é uma medida não-simétrica de comparação de duas distribuições de probabilidade. Uma divergência de KL perto de 0 significa que as duas distribuições em estudo são idênticas.

Portanto, sendo  $p(x)$  e  $q(x)$  duas distribuições de probabilidade de uma variável discreta de suporte  $X$ , onde  $p(x), q(x) > 0 \forall x \in X$  e, ainda,  $\sum_{x \in X} p(x) = 1$  e  $\sum_{x \in X} q(x) = 1$ , a divergência de KL entre duas distribuições  $p(x)$  e  $q(x)$  é denotada por  $D_{KL}(p, q)$  e mede a informação perdida quando  $q(x)$  é usada para aproximar  $p(x)$ . Esta medida foi então definida por Kullback et al. (1951) e é dada da seguinte forma:

$$D_{KL}(p(x), q(x)) = \int_{\Omega} p(x) \ln \left( \frac{p(x)}{q(x)} \right) dx \quad (21)$$

Para distribuições discretas, a divergência KL é expressa como:

$$D_{KL}(p(x), q(x)) = \sum_x p(x) \ln \frac{p(x)}{q(x)} \quad (22)$$

Onde  $x$  são os eventos discretos do espaço amostral  $\Omega$ ,  $p(x)$  e  $q(x)$  são as probabilidades associadas a cada evento nas distribuições  $P$  e  $Q$ , respectivamente.

Para dados contínuos, a fórmula para a divergência de KL é a mesma, sendo que se substitui o somatório pelo integral correspondente e se considera as funções de densidade de probabilidade no lugar das funções massa de probabilidade.

Em contextos de processos estocásticos, a divergência KL pode ser definida de forma mais geral para medir a diferença entre dois processos  $P$  e  $Q$  ao longo do tempo ou espaço de estados. Essa versão da divergência KL tem uma interpretação na teoria ergódica e nos processos de Markov, onde a divergência KL pode ser vista como uma medida da taxa de convergência de um processo  $P$  para outro  $Q$ .

As propriedades matemáticas essenciais para suas aplicações são:

- Não-Simetria: a divergência KL não é simétrica, ou seja,  $D_{KL}(p(x), q(x)) \neq D_{KL}(q(x), p(x))$ . Isso significa que a divergência KL mede a diferença de forma assimétrica, tratando as distribuições  $p$  e  $q$  de maneira diferente;

- Não-Negatividade: A divergência KL é sempre maior ou igual a zero e essa desigualdade é conhecida como desigualdade de Gibbs, onde é uma consequência do fato de que a entropia é uma medida de incerteza, e a divergência KL pode ser vista como uma diferença entre entropias;

$$D_{KL}(p(x), q(x)) \geq 0 \quad (23)$$

- Interpretabilidade em termos de Entropia: a divergência KL pode ser vista como a diferença entre a entropia de P e a entropia condicional de P dado Q. Quantificando a quantidade de "informação extra" necessária para usar a distribuição Q como uma aproximação de P. Se P e Q forem idênticas, a divergência KL será zero;
- Invariante a transformações linearmente não afetadas: se a distribuição P e Q forem transformadas por uma função linear que não altera suas propriedades principais (por exemplo, multiplicação por uma constante positiva), a divergência KL permanece invariante.

Dentre as aplicações da divergência de KL, destacam-se:

- Inferência Estatística: A divergência KL é amplamente utilizada em inferência estatística, especialmente em problemas de estimativa de parâmetros e teste de hipóteses. Por exemplo, em modelos de mistura de distribuições, a KL é usada para medir a diferença entre a distribuição observada e a distribuição modelada, ajustando os parâmetros do modelo para minimizar essa divergência;
- Aprendizado de Máquina: a divergência KL é uma ferramenta fundamental em algoritmos de máxima verossimilhança e máxima entropia. Em redes neurais e modelos generativos, como os modelos variacionais e as redes adversariais generativas (GANs), a divergência KL é frequentemente minimizada para ajustar o modelo gerador a uma distribuição de dados verdadeira;
- Teoria da Informação: a divergência KL está relacionada com o conceito de informação mútua, que mede a quantidade de informação compartilhada entre duas distribuições. A divergência KL quantifica a quantidade de "informação perdida" ao usar uma distribuição Q para aproximar P;

### 3.4. ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )

Para calcular o índice de perturbação da força aerodinâmica, será utilizada como ferramenta, a simulação de Monte Carlo, um método estatístico baseado na geração de um grande número de amostras de variáveis estocásticas, permitindo avaliar o comportamento de um sistema sob diferentes condições de entrada (Jacoboni; Reggiani, 1983). Primeiramente, uma distribuição uniforme definida no intervalo de zero a um é utilizada na geração desses valores, para então, por meio de tratamento isoprobabilístico, serem convertidos em valores físicos da variável aleatória que possui uma distribuição de frequência qualquer, e já definida. Deve ser definida uma distribuição coerente com o comportamento físico associado à cada variável aleatória envolvida (Reis, 2021).

A técnica de Monte Carlo tem como base teórica a aproximação de integrais por meio da média de valores amostrados aleatoriamente, sendo especialmente útil em problemas nos quais a integral de interesse não pode ser resolvida de forma analítica.

Seja  $f(x)$  uma função mensurável definida em um domínio  $\Omega$ , a integral esperada de  $f(x)$  pode ser expressa como:

$$I = \int_{\Omega} f(x) dx \quad (24)$$

Para aproximar numericamente esse valor, considera-se uma variável aleatória  $X$  com densidade de probabilidade  $p(x)$  definida sobre  $\Omega$ . Assim, a integral pode ser reescrita como uma esperança matemática:

$$I = E_p \left[ \frac{f(X)}{p(X)} \right] \quad (25)$$

Esse valor pode ser estimado por meio da média amostral:

$$\hat{I}_N = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{f(x_i)}{p(x_i)} \quad (26)$$

Em que  $x_1, x_2, \dots, x_n$  são amostras independentes extraídas da distribuição  $p(x)$ . No caso particular da distribuição uniforme no intervalo  $[0,1]$ , com densidade constante  $p(x)=1$ , o estimador se reduz à forma clássica da simulação de Monte Carlo. A fundamentação teórica dessa técnica está apoiada na Lei dos Grandes Números, que

assegura que, à medida que o número de amostras aumenta, a média amostral converge ao valor exato da integral (Fishman, 1996 e Robert; Casella, 2004).

Com base nesse fundamento teórico, a simulação de Monte Carlo pode ser aplicada de forma prática à análise de sistemas complexos. Segundo Melchers e Beck (2018), a técnica de simulação de Monte Carlo envolve a amostragem aleatória para a simulação de um grande número de experimentos. Os números aleatórios gerados por meio de algoritmos determinísticos são denominados pseudoaleatórios, uma vez que, embora sejam produzidos de maneira previsível, garantem a reprodutibilidade dos resultados (Beck, 2012).

No presente trabalho, foram gerados 3.000.000 de números pseudoaleatórios utilizando uma função específica do MATLAB, que segue um algoritmo de geração de números pseudoaleatórios com base na distribuição de probabilidades de cada variável envolvida. Quanto maior o número de simulações, maior a estabilidade no valor estimado de probabilidade, sendo este o fundamento do método de Monte Carlo, justificando a necessidade de uma quantidade tão grande de repetições do processo.

Em cada simulação, um vetor de variáveis aleatórias  $\hat{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  é gerado, sendo que cada elemento do vetor corresponde a uma realização de uma variável aleatória específica, cujas distribuições de probabilidade são previamente definidas para cada situação do modelo. Esse processo de geração de amostras aleatórias é essencial para a estimação das probabilidades de ocorrência de eventos relacionados ao sistema analisado.

No método de Monte Carlo, segundo Melchers e Beck (2018), busca-se representar a Equação 27 por meio de um estimador de probabilidade de falha, conforme a Equação 28.  $I[\ ]$  é uma função indicadora.

$$P_f = P[g(x) \leq 0] = \int \dots \int_{g(x) \leq 0} f_x(x) dx \quad (27)$$

Onde:

- $f_x(x)$ : função densidade de probabilidade conjunta;
- $X$ : vetor n-dimensional de variáveis básicas.

$$P_f = \int \dots \int I[g(x) \leq 0] f_x(x) dx \quad (28)$$

Onde:

$$\bullet \quad I[\ ] = \begin{cases} 1 \rightarrow g(x) \leq 0 \\ 0 \rightarrow g(x) > 0 \end{cases}$$

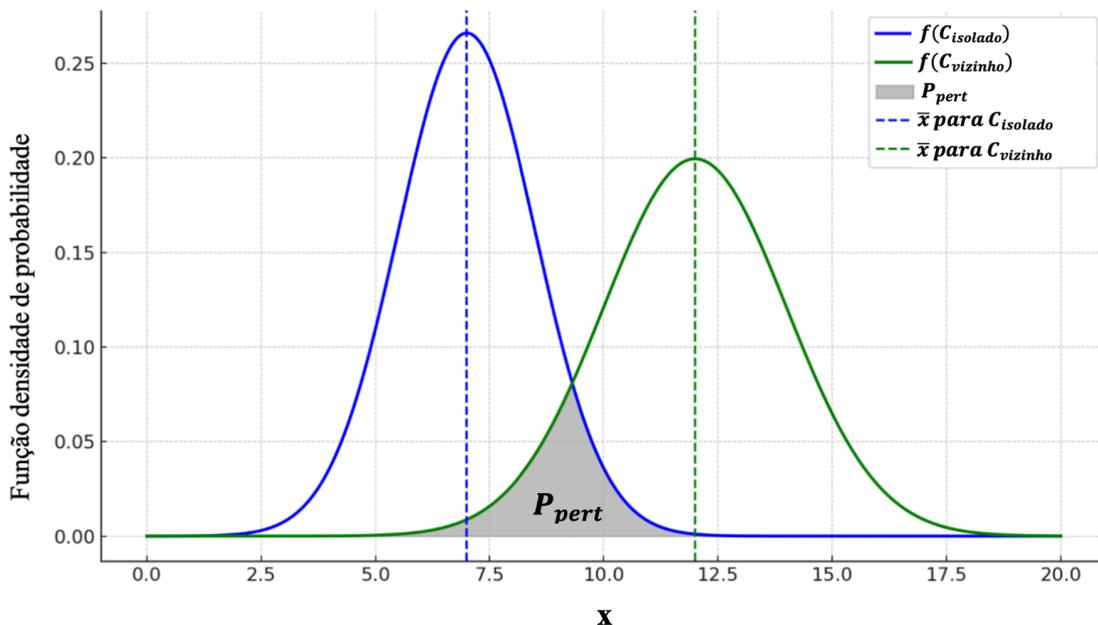
A função do estado limite  $g(x)$  é então verificada utilizando as realizações geradas nas simulações. Embora tradicionalmente aplicada em análises de confiabilidade estrutural, nesta pesquisa a estrutura matemática da função do estado limite será reinterpretada para quantificar a alteração no comportamento da ação do vento quando um edifício isolado passa a estar na presença de vizinhos.

A ocorrência de perturbação da força aerodinâmica é caracterizada pela condição  $g(x) \leq 0$ . A probabilidade de perturbação  $P_{pert}$  é, portanto:

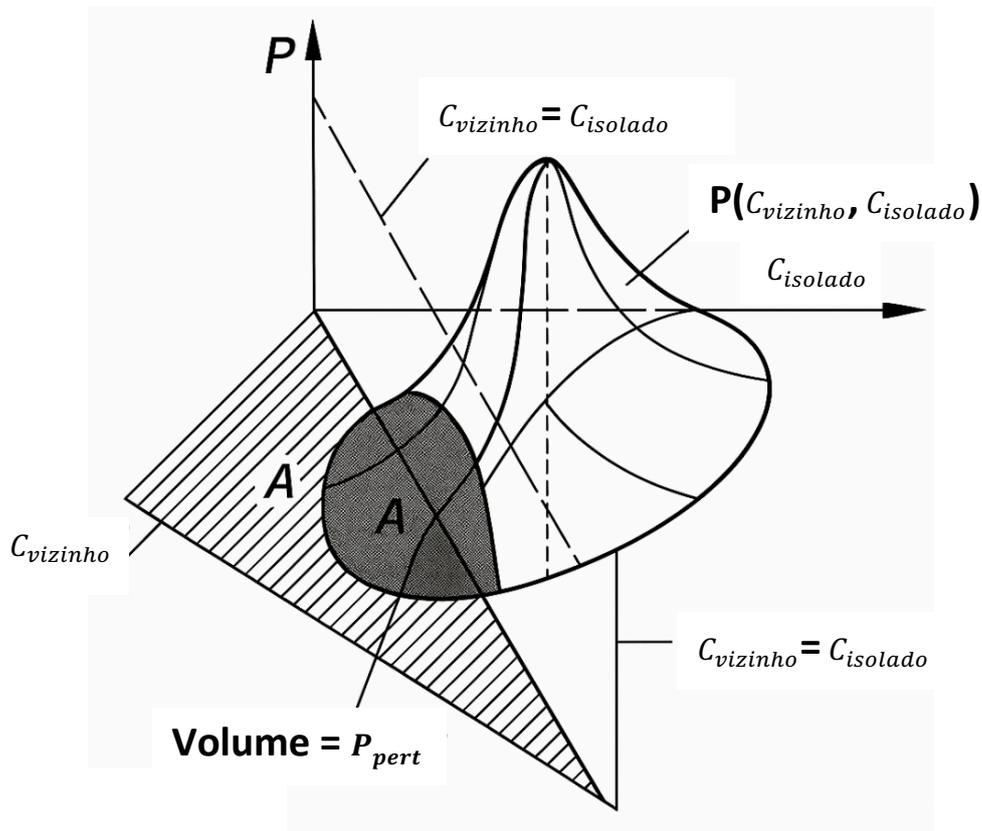
$$P_{pert} = P(g(x) \leq 0) \quad (29)$$

$$\text{Onde } g(x) = C_{isolado} - C_{vizinho}$$

A probabilidade de perturbação da força aerodinâmica vem a ser a área sob a região em cinza da Figura 30. Esta área é proporcional a área de interferência entre as distribuições de  $C_{isolado}$  e  $C_{vizinho}$ .



**Figura 30:** Interferência entre distribuições. Vista bidimensional.



**Figura 31:** Interferência entre distribuições. Vista tridimensional

Assim, a probabilidade de ocorrência de uma perturbação na força aerodinâmica ( $P_{pert}$ ) é estimada com base na comparação estatística entre as distribuições dos dados obtidas para as duas condições analisadas: CAARC isolado e CAARC na presença de vizinhança. Essa probabilidade corresponde à frequência com que a força aerodinâmica no edifício isolado excede a força aerodinâmica na condição com vizinho, caracterizando uma perturbação, conforme a Equação (30):

$$P_{pert} = P(C_{isolado} - C_{vizinho} \leq 0) \quad (30)$$

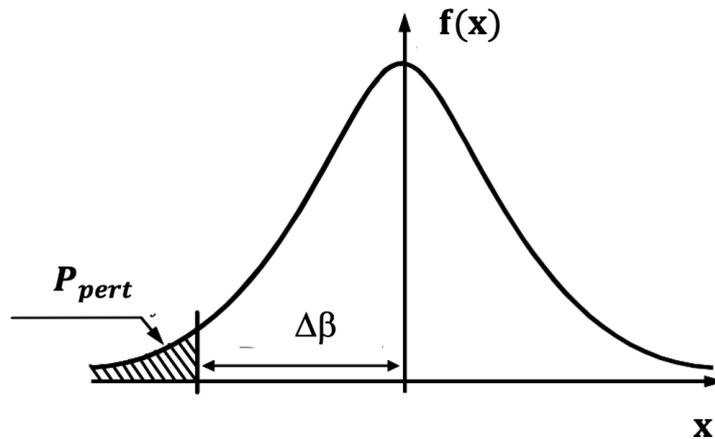
Onde:

- $C_{isolado}$  representa a distribuição dos dados do edifício isolado (condição de referência);
- $C_{vizinho}$  representa a distribuição dos dados na condição com vizinhança (condição modificada).

Essa formulação permite avaliar o quanto o acréscimo de vizinhos altera o comportamento do escoamento, em termos estatísticos. A partir dessa probabilidade, define-se o índice de perturbação  $\Delta\beta$  (Figura 32), conforme a Equação (31):

$$\Delta\beta = \Phi^{-1}(1 - P_{pert}) \quad (31)$$

Onde  $\Phi^{-1}$  é a inversa da função acumulada da normal padrão.



**Figura 32:** Índice de perturbação da força aerodinâmica  $\Delta\beta$

A partir do índice de perturbação obtido, é possível interpretar que quanto maior o valor de  $\Delta\beta$ , maior será a perturbação causada pela presença dos vizinhos na ação do vento sobre o edifício CAARC. Por outro lado, quanto mais similares forem as distribuições dos dados nas condições isolada e com vizinhos, o valor de  $\Delta\beta$  tenderá a se aproximar de zero, podendo, ainda, em alguns casos, haver valores negativos de  $\Delta\beta$ .

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme disposto na Tabela 1, os resultados obtidos relativos ao índice de perturbação, ( $\Delta\beta$ ), das forças aerodinâmicas, o qual mede quanto os esforços foram modificados em relação a presença do vizinho, sendo este calculado após análise dos dados dos ensaios conduzidos por Lavôr (2023) e posterior aplicação das simulações de Monte Carlo, para cada posicionamento do CAARC e dos vizinhos.

Analisando os dados, verifica-se que para cada vizinho em estudo, e em todas as variações de configuração dos mesmos, há uma tendência de redução dos índices de perturbação da força aerodinâmica ( $\Delta\beta$ ), à medida que tais vizinhos se distanciam do CAARC isolado, mostrando como o índice ( $\Delta\beta$ ) varia em função da configuração dos casos estudados.

**Tabela 1:** Resultados obtidos de  $\Delta\beta$  para cada configuração de vizinhança

Para força na direção do vento				
	C0V0	C0V90	C90V0	C90V90
A1	3,8734	2,5913	-4,1494	-3,7579
A2	3,2115	2,0931	-3,3263	-3,0735
A3	1,7713	1,495	-2,6084	-2,5597
A4	0,8151	0,9606	-1,7849	-1,8459
A5	0,5947	0,4905	-0,95721	-1,3942
A6	0,259	0,3186	-1,3658	-0,77725
B1	0,8463	0,3678	-2,387	-1,5712
B2	1,2537	0,5988	-2,6728	-1,7833
B3	1,2099	0,6363	-2,4989	-1,7664
B4	0,9774	0,581	-2,0405	-1,7004
B5	0,6948	0,4377	0,10581	0,26242
B6	-0,1283	-0,0395	-0,57266	0,085362
B7	0,0702	0,0408	-0,19309	0,26933
B8	-0,988	-0,0108	0,13723	0,28804
B9	0,0294	-0,0482	0,78179	0,57339
C1	0,4623	0,3868	0,51173	0,51726
C2	0,2102	0,1633	0,56938	0,462
C3	-0,0438	-0,0381	0,72858	0,41268
C4	-0,2477	-0,0869	0,84259	0,46013
C5	-0,2514	-0,0938	1,3776	0,88711
C6	0,0893	0,0763	1,0571	0,67976
C7	-0,0964	-0,0367	0,96366	0,4983
C8	-0,2126	-0,0988	0,95231	0,00025735
Para força na direção transversal ao vento				
	C0V0	C0V90	C90V0	C90V90
A1	-0,035144	-0,044317	0,22822	0,26262
A2	-0,031293	-0,016682	0,10816	0,12095
A3	-0,010545	-0,0014129	0,10756	0,13877
A4	0,0023395	0,013271	0,15239	0,13853

A5	0,015414	0,015156	0,14599	0,11711
A6	0,023483	0,15567	0,11833	0,098569
B1	-0,093978	0,060976	0,32606	0,010493
B2	-0,10112	0,034792	0,11828	0,12151
B3	-0,090353	0,045343	0,14712	0,16247
B4	-0,056606	0,043023	0,22251	0,1655
B5	0,16624	0,071278	0,26095	0,13223
B6	0,12215	0,097565	0,071259	-0,026001
B7	0,11221	0,056789	0,12659	-0,045172
B8	0,073652	0,028381	0,064151	-0,02585
B9	0,022117	0,032005	0,030239	-0,01057
C1	0,2304	0,01077	0,23033	0,26226
C2	0,16624	0,01631	-0,081563	0,046868
C3	0,081807	0,017632	0,012615	0,035704
C4	0,035323	0,011115	0,014446	-0,0018649
C5	0,032216	0,0011113	-0,0080146	0,0013987
C6	0,04894	0,0041476	-0,078124	-0,061198
C7	0,037674	0,0092646	-0,029888	0,037209
C8	-0,10618	0,00027991	-0,066039	0,018484

Os resultados obtidos para os valores de média e desvio padrão dos coeficientes de força, considerando força na direção do vento são dispostos na Tabela 2.

Observa-se que as condições com CAARC a 0° (C0V0 e C0V90) apresentam valores mais elevados de média que as condições com CAARC a 90° (C90V0 e C90V90), indicando que as forças atuantes agindo com CAARC a 0° são maiores do que considerando o CAARC a 90°.

Em se tratando dos desvios padrão, verifica-se que estes possuem valores bastante similares para todas as configurações em estudo, indicando maior consistência nos valores de força.

**Tabela 2:** Resultados obtidos de média e desvio padrão para o coeficiente da força na direção do vento

	Média			
	C0V0	C0V90	C90V0	C90V90
A1	-0,419100491	0,018645798	0,258723363	0,55004558
A2	0,3495668	0,706017582	0,678200006	0,711474232
A3	0,831332227	0,901871152	0,764365624	0,779496421
A4	1,033285124	1,055352716	0,857902922	0,860020647
A5	1,168038133	1,181995112	0,957346574	0,913087778
A6	1,29319799	1,263280367	0,816395254	0,986573839
B1	1,070789175	1,240249293	0,696893467	0,8648976
B2	0,941143378	1,157548328	0,713732125	0,845083615
B3	0,968793423	1,148759033	0,767434238	0,854554408
B4	1,045541749	1,168628324	0,822131906	0,868960459
B5	1,134355592	1,219154845	1,115853637	1,136660515

<b>B6</b>	1,428836778	1,442905641	1,011617055	1,11099134
<b>B7</b>	1,351573271	1,402729464	1,069847694	1,134798793
<b>B8</b>	1,414949036	1,426244331	1,117849034	1,137120951
<b>B9</b>	1,404843	1,437222267	1,203593179	1,171145674
<b>C1</b>	1,216861384	1,232353054	1,18032541	1,171985129
<b>C2</b>	1,298774489	1,336099581	1,187582148	1,160167503
<b>C3</b>	1,453772746	1,439962711	1,205521464	1,152553665
<b>C4</b>	1,555810833	1,457922096	1,21335268	1,157812898
<b>C5</b>	1,54742657	1,460660234	1,295432465	1,214567837
<b>C6</b>	1,366974835	1,374566687	1,24437311	1,182818424
<b>C7</b>	1,472434932	1,434910505	1,226872492	1,161378119
<b>C8</b>	1,533964289	1,463150912	-0,202194424	1,098871427

**Desvio Padrão**

	<b>C0V0</b>	<b>C0V90</b>	<b>C90V0</b>	<b>C90V90</b>
<b>A1</b>	0,088874839	0,083138591	0,182576169	0,116518945
<b>A2</b>	0,191240278	0,16027338	0,091602555	0,090676869
<b>A3</b>	0,119570369	0,124250786	0,094180427	0,089332322
<b>A4</b>	0,118363295	0,124330603	0,102845339	0,095556469
<b>A5</b>	0,132843242	0,127918487	0,119212286	0,100709977
<b>A6</b>	0,148296858	0,13250587	0,18761535	0,114777681
<b>B1</b>	0,185467968	0,144597936	0,143969259	0,120803476
<b>B2</b>	0,176369775	0,180600691	0,114846857	0,112174687
<b>B3</b>	0,151090785	0,163838907	0,099970536	0,107160256
<b>B4</b>	0,139536852	0,155828441	0,103685031	0,103198812
<b>B5</b>	0,141025634	0,148142542	0,13354483	0,11432462
<b>B6</b>	0,183956927	0,162657868	0,124879509	0,110983168
<b>B7</b>	0,174981772	0,162984532	0,12123241	0,100162241
<b>B8</b>	0,162043869	0,155246089	0,10674249	0,09973203
<b>B9</b>	0,148754087	0,136367438	0,101545056	0,090912959
<b>C1</b>	0,081793192	0,086010314	0,132910835	0,110632608
<b>C2</b>	0,168811892	0,129085788	0,129000389	0,099914221
<b>C3</b>	0,189230818	0,157584343	0,117495929	0,096509247
<b>C4</b>	0,182611045	0,142200683	0,104668792	0,09381981
<b>C5</b>	0,160897394	0,138520596	0,112891023	0,096840076
<b>C6</b>	0,111889353	0,123468947	0,106240327	0,087612543
<b>C7</b>	0,168690115	0,142438278	0,09994422	0,090252442
<b>C8</b>	0,176566772	0,138616546	0,068546881	0,08736932

**CAARC ISOLADO**

	<b>C0_ISO</b>	<b>C90_ISO</b>
<b>MÉDIA</b>	1,41279832	1,09893190
<b>DESVIO PADRÃO</b>	0,129713218	0,08736924

Os resultados obtidos para os valores de média e desvio padrão dos coeficientes de força na direção transversal ao vento são dispostos na Tabela 3.

Para as condições C0V0 e C0V90, as médias apresentam valores muito próximos de zero, indicando que a força na direção transversal ao vento é ínfima quando o CAARC está posicionado a 0°, e, para as condições C90V0 e C90V90, os valores são relativamente maiores, sugerindo que a força na direção transversal ao vento se

intensifica quando o CAARC está posicionado a 90°. Isso sugere que a estrutura é mais afetada nesta condição de posicionamento.

Esse comportamento é típico de estruturas aerodinâmicas que experimentam forças laterais devido à formação de vórtices quando o vento incide perpendicularmente.

Os desvios padrão para as condições C0V0 e C0V90 são ligeiramente maiores do que para as condições C90V0 e C90V90, indicando que a força na direção transversal ao vento varia mais quando o CAARC está posicionado a 0°.

Já para C90V0 e C90V90, a dispersão é menor, sugerindo que há um comportamento mais previsível e estável da força na direção transversal ao vento quando o CAARC está posicionado a 90°.

**Tabela 3:** Resultados obtidos de média e desvio padrão para o coeficiente da força na direção transversal ao vento

Média				
	C0V0	C0V90	C90V0	C90V90
A1	-0,022637854	-0,030117509	0,049177728	0,059550641
A2	-0,02082853	-0,010136975	0,021686313	0,023351524
A3	-0,005039092	0,001209027	0,020193791	0,027358478
A4	0,004126254	0,01302015	0,028565078	0,02534737
A5	0,012249861	0,013905302	0,022151651	0,01331265
A6	0,020668795	0,114296892	0,011857525	0,005735706
B1	-0,069813801	0,050790102	0,118425291	-0,02424671
B2	-0,071366401	0,029314249	0,021917235	0,018576625
B3	-0,064335292	0,037536105	0,026929316	0,033640993
B4	-0,038929198	0,035982798	0,049842494	0,033852618
B5	0,160456021	0,063156045	0,063191874	0,019659295
B6	0,111918208	0,083008614	0,005798328	-0,042693042
B7	0,102594209	0,047574747	0,025880326	-0,049982776
B8	0,060666283	0,02480543	-0,0018282	-0,040513392
B9	0,015200981	0,020584873	-0,015672402	-0,034139657
C1	0,188457252	0,009548261	0,049177728	0,059550641
C2	0,164479642	0,01457819	-0,084159559	-0,006270064
C3	0,086511906	0,015623829	-0,022550141	-0,012667845
C4	0,034158076	0,010110325	-0,021810141	-0,028343358
C5	0,021818097	0,003171338	-0,032826623	-0,028605552
C6	0,042552743	0,005052061	-0,077772214	-0,036325488
C7	0,035042627	0,008815092	-0,045922592	-0,013146793
C8	-0,061684424	0,002148356	-0,061543704	-0,021581165
Desvio Padrão				
	C0V0	C0V90	C90V0	C90V90
A1	0,408914718	0,43916314	0,210214945	0,206098059
A2	0,450138621	0,513907344	0,387913733	0,337735965
A3	0,417823645	0,547346522	0,372177069	0,310015527
A4	0,438678755	0,558886057	0,271254199	0,287562593
A5	0,470391472	0,540697907	0,234652059	0,247576125

<b>A6</b>	0,523296482	0,448581722	0,229750178	0,239769504
<b>B1</b>	0,500382263	0,542677246	0,366166925	0,345058265
<b>B2</b>	0,456837587	0,540904158	0,335020729	0,286553233
<b>B3</b>	0,464529169	0,551772452	0,268391381	0,279201835
<b>B4</b>	0,459378246	0,563393705	0,234885072	0,270458973
<b>B5</b>	0,767142767	0,6402547	0,2289205	0,254236227
<b>B6</b>	0,692555311	0,597007975	0,41941605	0,407804403
<b>B7</b>	0,703843051	0,565985031	0,345971859	0,367032748
<b>B8</b>	0,558279784	0,537455094	0,334703021	0,347599678
<b>B9</b>	0,109265426	0,140695742	0,338279953	0,330355872
<b>C1</b>	0,57797903	0,353134337	0,210214945	0,206098059
<b>C2</b>	0,779658814	0,561363153	0,612001107	0,411312866
<b>C3</b>	0,861219353	0,58160323	0,519640959	0,385259068
<b>C4</b>	0,714719286	0,578574371	0,458250696	0,356651695
<b>C5</b>	0,256267021	0,33259665	0,387351157	0,315207663
<b>C6</b>	0,590939904	0,479233942	0,55994245	0,32647712
<b>C7</b>	0,680537947	0,550567949	0,481001717	0,337776638
<b>C8</b>	0,178778292	0,569755724	0,401060276	0,305884364
<b>CAARC ISOLADO</b>				
	<b>CO_ISO</b>	<b>C90_ISO</b>		
<b>MÉDIA</b>	0,002148448	-0,029446379		
<b>DESVIO PADRÃO</b>	0,569762961	0,270029247		

É notável que conforme os vizinhos alinhados (“A1” até “A6”), desalinhados (“B1” até “B9”) e oblíquos (“C1” até “C8”) se distanciam do CAARC isolado, há uma tendência de aumento das médias e desvios padrão.

Diante dos dados obtidos de média e desvio padrão tanto para o coeficiente da força na direção do vento quanto para o coeficiente da força na direção transversal ao vento, pode-se concluir que na direção do vento, há maior dispersão quando o CAARC está posicionado a 90° e na direção transversal ao vento, a dispersão é maior quando o CAARC está posicionado a 0°. Isso indica que a estrutura apresenta um padrão aerodinâmico previsível, onde a força estudada varia dependendo do posicionamento CAARC em relação à direção do vento.

Correlacionando os dados obtidos de índice de perturbação da força aerodinâmica ( $\Delta\beta$ ) (Tabela 1) em conjunto com as médias (Tabela 2 e Tabela 3) observa-se que quanto mais distante o valor da média da condição CAARC + vizinhos em relação ao CAARC isolado, maior é o índice de perturbação da força aerodinâmica ( $\Delta\beta$ ), e, como consequência, quanto maior o valor de  $\Delta\beta$  (Tabela 1), maior será a perturbação.

Para além da análise descritiva por médias, foram adotados quantificadores estocásticos entre distribuições com o intuito de analisar, de forma mais abrangente, as alterações provocadas pela presença de vizinhos nas forças atuantes sobre o modelo CAARC.

Cada um dos quantificadores permitiu capturar aspectos distintos entre as distribuições de probabilidade:

- A distância de Hellinger quantifica a similaridade entre duas distribuições. Valores próximos de zero indicam forte sobreposição, enquanto valores mais elevados indicam separação acentuada entre os perfis de probabilidade.
- A divergência de Kullback-Leibler mede a perda de informação ao substituir uma distribuição por outra. Trata-se de uma medida assimétrica, sendo útil para identificar em qual direção ocorre maior divergência informacional entre os casos comparados.

Além disso, as métricas permitem identificar casos em que a média se mantém próxima, mas a forma da distribuição se altera significativamente — situação não captada apenas pela análise de médias, mas revelada pelas medidas de Hellinger e KL.

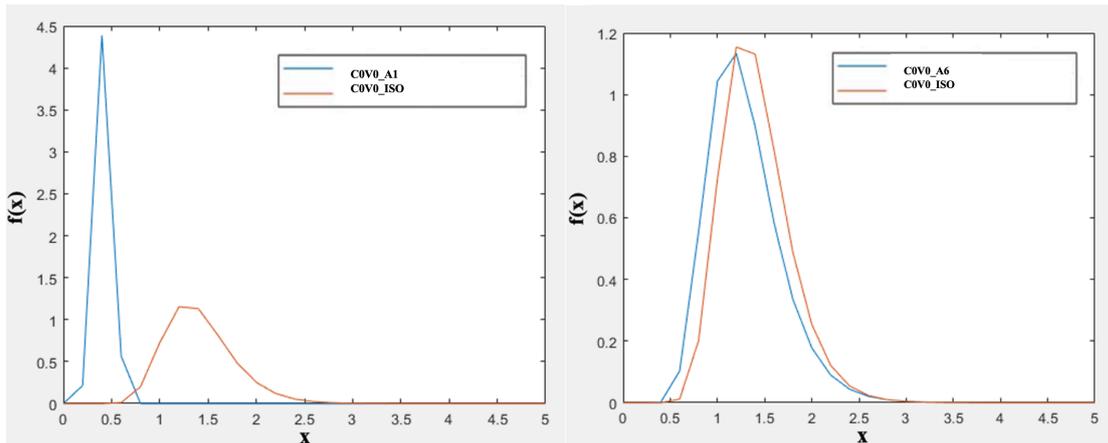
Os resultados dessas métricas para casos os selecionados de comparação entre o modelo CAARC isolado e acompanhado por vizinhos, nas condições C0V0\_A1 – C0V0\_A6 (Figura 33) (para os coeficientes da força na direção do vento) e C90V90\_B1 – C90V90\_B9 (Figura 34) (para os coeficientes da força na direção transversal ao vento) são dispostos na Tabela 4. Os resultados demonstram forte correlação com os valores de  $\Delta\beta$  obtidos. Na grande maioria dos dados, configurações com maiores valores de  $\Delta\beta$  tendem a apresentar também maiores distâncias entre distribuições, sob todas as métricas utilizadas, indicando maior perturbação, reforçando, então, a compreensão dos efeitos aerodinâmicos das interferências.

Demais resultados das métricas e gráficos referentes a todas as distribuições e condições de posicionamento estudados estão agrupados no Apêndice da presente pesquisa.

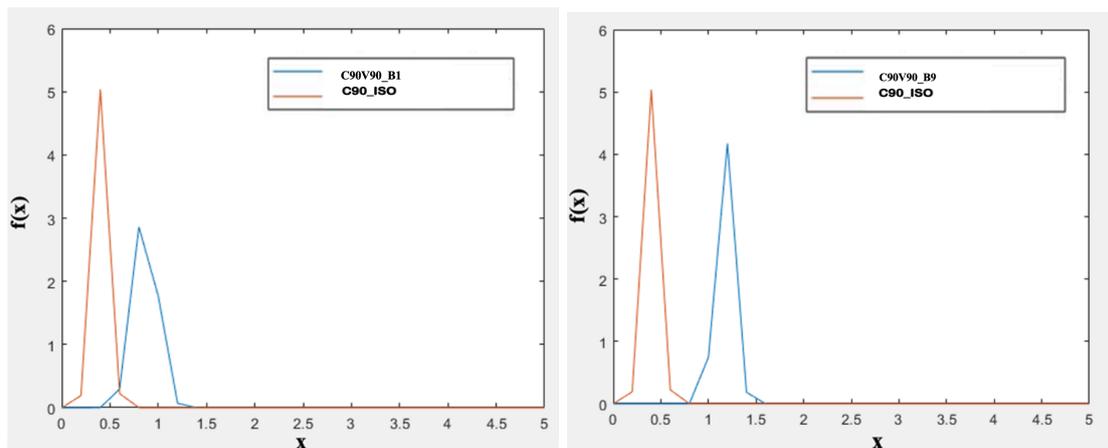
**Tabela 4:** Comparativo entre quantificadores e índice  $\Delta\beta$

C0V0 (para os coeficientes da força na direção do vento)				
	Hellinger	KL(P    Q)	KL(Q    P)	$\Delta\beta$
A1	1,0000	22,4235	26,0832	3,8734
A2	1,0000	22,4235	23,3674	3,2115
A3	1,0000	22,4235	23,7308	1,7713
A4	0,8241	4,7205	4,2211	0,8151
A5	1,0000	22,4235	23,6254	0,5947
A6	0,2956	0,3207	0,4247	0,2590
C90V90 (para os coeficientes da força na direção transversal ao vento)				
	Hellinger	KL(P    Q)	KL(Q    P)	$\Delta\beta$
B1	0,9998	23,79940	20,10030	0,010493

<b>B2</b>	0,9999	24,0,1890	20,37030	0,12151
<b>B3</b>	0,9999	24,0,9090	20,58610	0,16247
<b>B4</b>	0,9999	24,1,1960	20,77270	0,1655
<b>B5</b>	1,0000	23,00000	26,0000	0,13223
<b>B6</b>	1,0000	24,13250	21,00350	-0,026001
<b>B7</b>	1,0000	24,14140	21,41040	-0,045172
<b>B8</b>	1,0000	23,0000	26,0000	-0,02585
<b>B9</b>	1,0000	24,14250	21,78330	-0,01057



**Figura 33:** Distribuições de “A1” e “A6” relativas à força na direção do vento



**Figura 34:** Distribuições de “B1” e “B9” relativas à força na direção transversal ao vento

De maneira a ilustrar os resultados, foram construídos gráficos de superfície para avaliar o impacto da condição CAARC + vizinhos em relação ao CAARC isolado.

Os gráficos de superfícies apresentados a seguir ilustram a variação do coeficiente de perturbação ( $\Delta\beta$ ) em função das distâncias longitudinal e lateral do posicionamento de cada um dos vizinhos em estudo em relação ao CAARC isolado. Observa-se que as

regiões com valores mais elevados de  $\Delta\beta$ , representadas pela coloração amarela, encontram-se em posições mais próximas ao CAARC instrumentado, enquanto os vizinhos mais distantes do CAARC instrumentado apresentam valores mais baixos de  $\Delta\beta$ , indicados pelas tonalidades azuis.

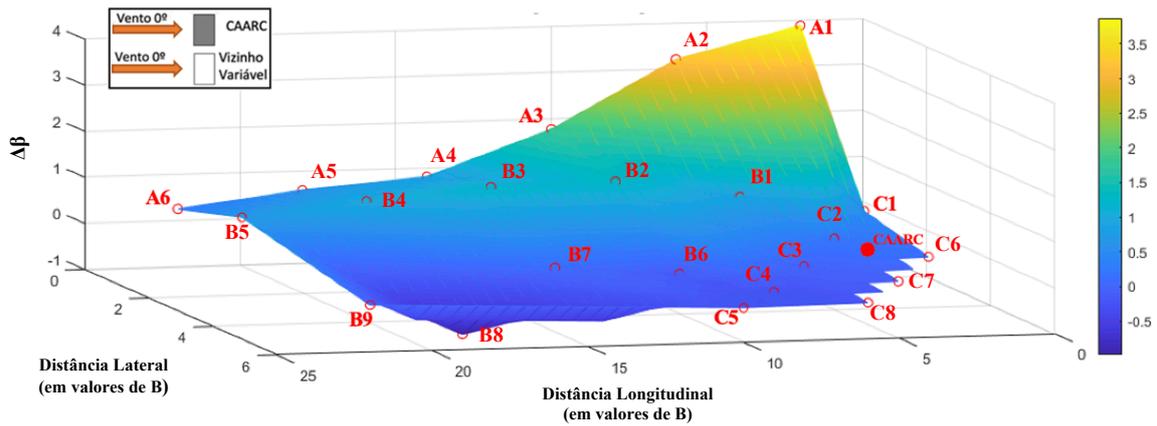
Esses resultados reforçam a tendência observada nos dados da Tabela 1 onde valores mais altos de  $\Delta\beta$  indicam maior perturbação da força aerodinâmica, correlacionando-se diretamente com a disposição dos vizinhos em relação ao CAARC isolado.

Nos mapas (MFV), as áreas destacadas em azul representam zonas de menor coeficiente de vizinhança, indicando regiões onde os vizinhos fornecem proteção ao CAARC, do ponto de vista dos esforços em função do seu posicionamento. Em contraste, as regiões em tons mais claros e avermelhados refletem áreas de maior interação com os vizinhos, que estão associadas a coeficientes mais elevados.

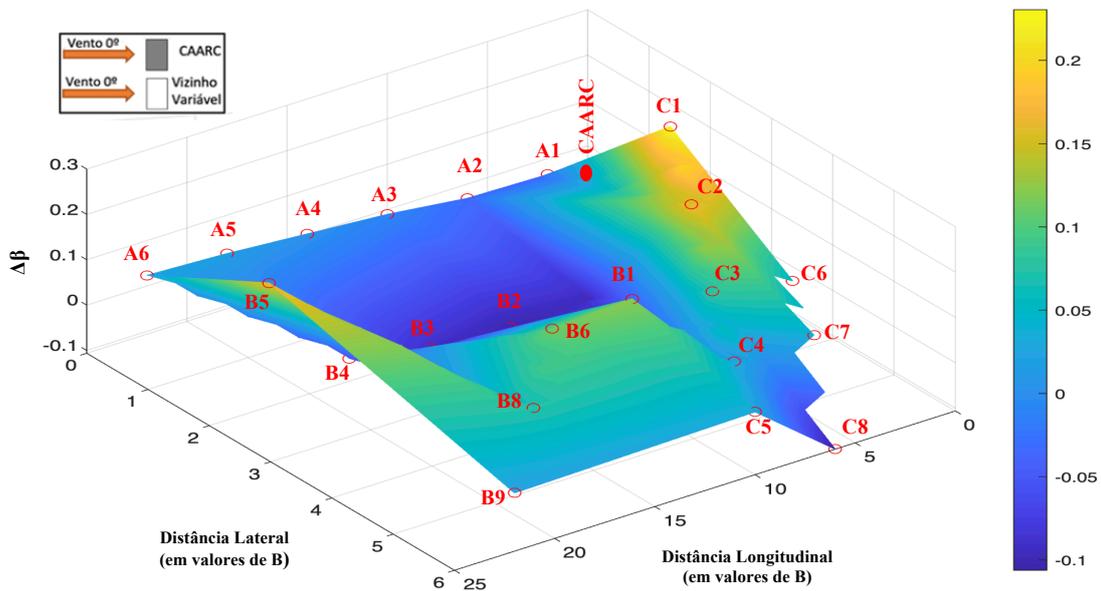
As Figuras 35 e 36 ilustram a superfície gerada para os resultados da condição C0V0 para força na direção do vento e para força na direção transversal ao vento, respectivamente. Nos gráficos, comparando as duas situações, é possível notar como o impacto da perturbação da força aerodinâmica ( $\Delta\beta$ ) é modificado de acordo com a mudança no sentido da força analisada.

Analisando-se os vizinhos alinhados (“A1” até “A6”) com a força na direção do vento (Figura 35), fica evidente o comportamento de que quanto mais próximo é o vizinho do CAARC instrumentado, maior a perturbação, e o contrário também é válido, onde quanto mais distante do CAARC instrumentado é o vizinho, menor a perturbação. Nesta condição, o pico máximo de  $\Delta\beta$  é para o vizinho “A1”. Os vizinhos desalinhados (“B1” até “B9”) e os vizinhos oblíquos (“C1” até “C8”) apresentam comportamento similar.

Levando em consideração a força na direção transversal ao vento (Figura 36), verifica-se que houve decréscimo nos valores de  $\Delta\beta$  e maior disparidade dos resultados, onde os picos máximos de  $\Delta\beta$  são para os vizinhos desalinhados “B5” e oblíquos “C1”, “C2”.



**Figura 35:** Superfície gerada para COV0 com força na direção do vento



**Figura 36:** Superfície gerada para COV0 com força na direção transversal ao vento

Relacionando-se os gráficos de superfície (Figuras 35 e 36) com os mapas de fatores de vizinhança (Figuras 37 e 38), nota-se que as regiões de maior  $\Delta\beta$  no gráfico de superfícies (tons amarelos) nem sempre coincidem com áreas de maior fator de vizinhança no gráfico de contorno (tons avermelhados). Isso sugere que, ainda que exista valor elevado de  $\Delta\beta$ , este oferece proteção ao CAARC isolado, não sendo necessariamente uma situação de vulnerabilidade da configuração. Além disso, os casos em que ocorreram valores negativos de  $\Delta\beta$  (B6, B8, C3, C4, C5, C7 e C8) estão associados a valores de fator de vizinhança igual ou maiores que 1.

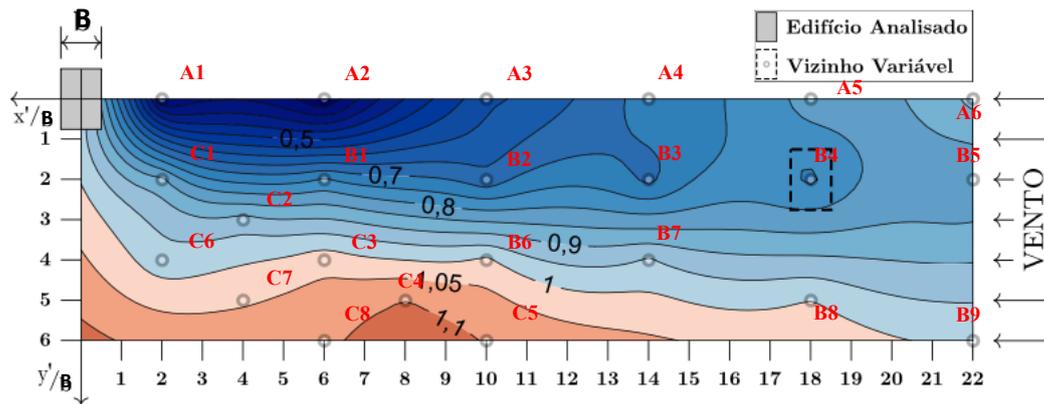


Figura 37: MFV para força na direção do vento. Fonte: adaptado de Lavôr, 2023

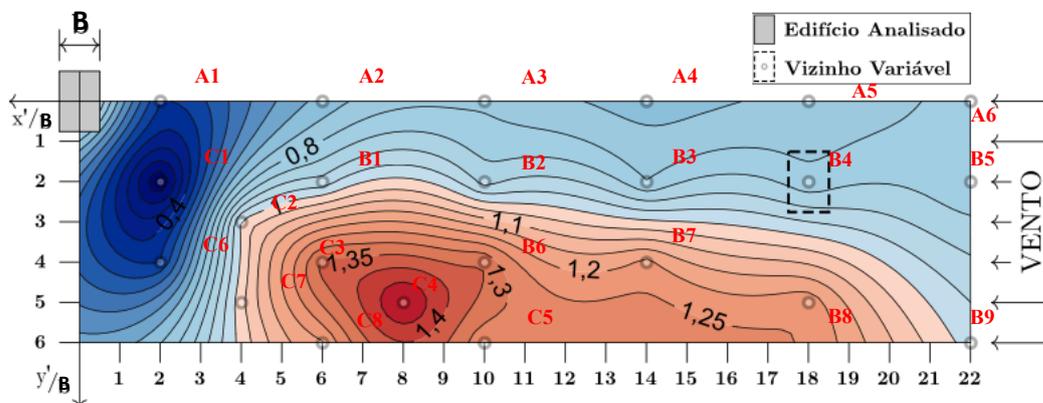
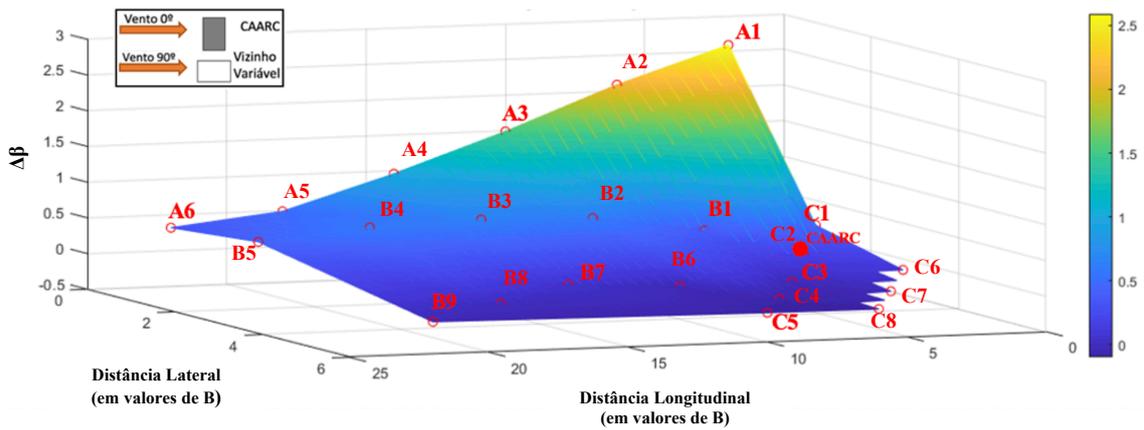


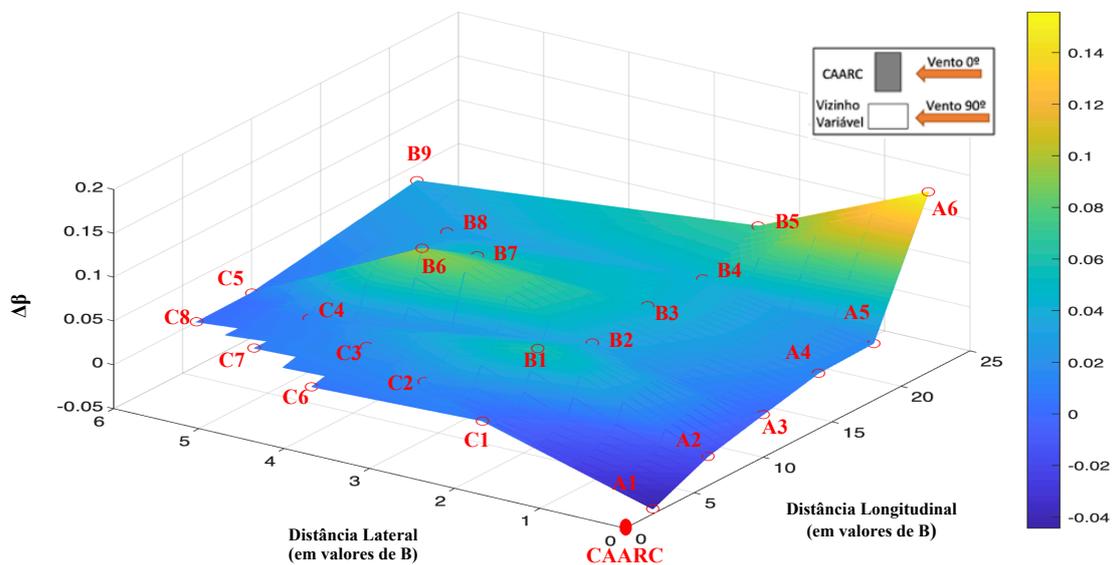
Figura 38: MFV para força na direção transversal ao vento. Fonte: adaptado de Lavôr, 2023

A Figuras 39 e 40 ilustram a superfície gerada para os resultados da condição C0V90 para a força na direção do vento e para a força na direção transversal ao vento, respectivamente. Nos gráficos, comparando as duas situações, é possível notar que o impacto da perturbação da força aerodinâmica é bastante similar ao apresentado anteriormente nas Figuras 35 e 36, mesmo com a rotação dos vizinhos a 90°, sendo o índice  $\Delta\beta$  é modificado de acordo com a proximidade do vizinho ao CAARC isolado. Quanto mais próximo, maior a perturbação e nestas condições, os picos máximos de  $\Delta\beta$  também são para o vizinho “A1”.

No caso da força direção transversal ao vento (Figura 40), nota-se uma redução significativa nos valores de  $\Delta\beta$ , além de maior uniformidade nos resultados. A exceção ocorre nos vizinhos “A6” e “B6”, que apresentaram uma variação abrupta na perturbação da força aerodinâmica, registrando os valores mais elevados para essa condição.



**Figura 39:** Superfície gerada para C0V90 com força na direção do vento



**Figura 40:** Superfície gerada para C0V90 com força na direção transversal ao vento

Relacionando-se os gráficos de superfície (Figuras 39 e 40) com os mapas de fatores de vizinhança (MFV) desta configuração (Figuras 41 e 42), nota-se que as regiões de maior  $\Delta\beta$  no gráfico de superfícies (tons amarelos) coincidem com áreas de menor fator de vizinhança no gráfico de contorno (tons azuis). Isso sugere que, quanto mais próximo é o vizinho do CAARC isolado, maior é o efeito de proteção, enquanto, à medida que há distanciamento dos vizinhos em relação ao CAARC isolado, maior é o coeficiente de vizinhança e um indicativo de que o posicionamento do vizinho não oferece proteção ao CAARC.

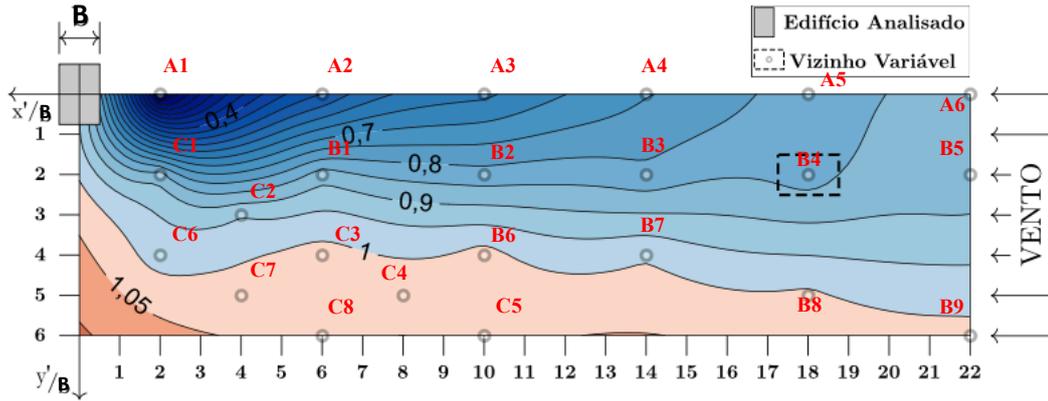


Figura 41: MFV para força na direção do vento. Fonte: adaptado de Lavôr, 2023

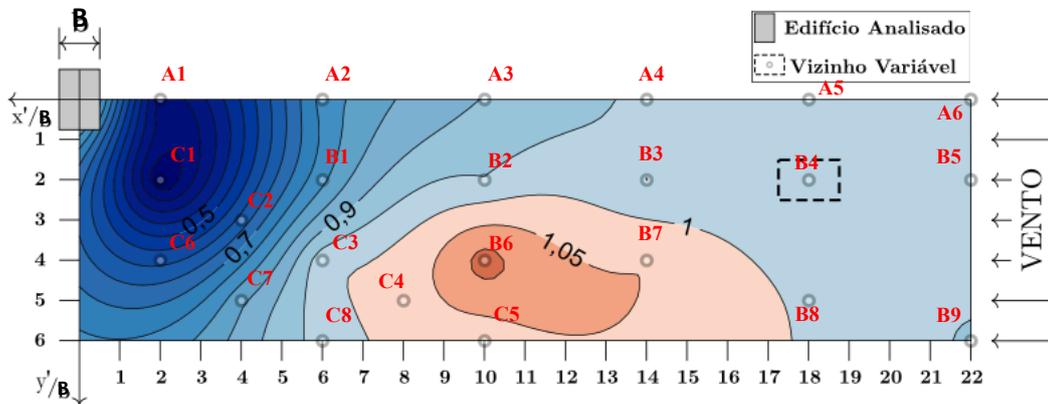
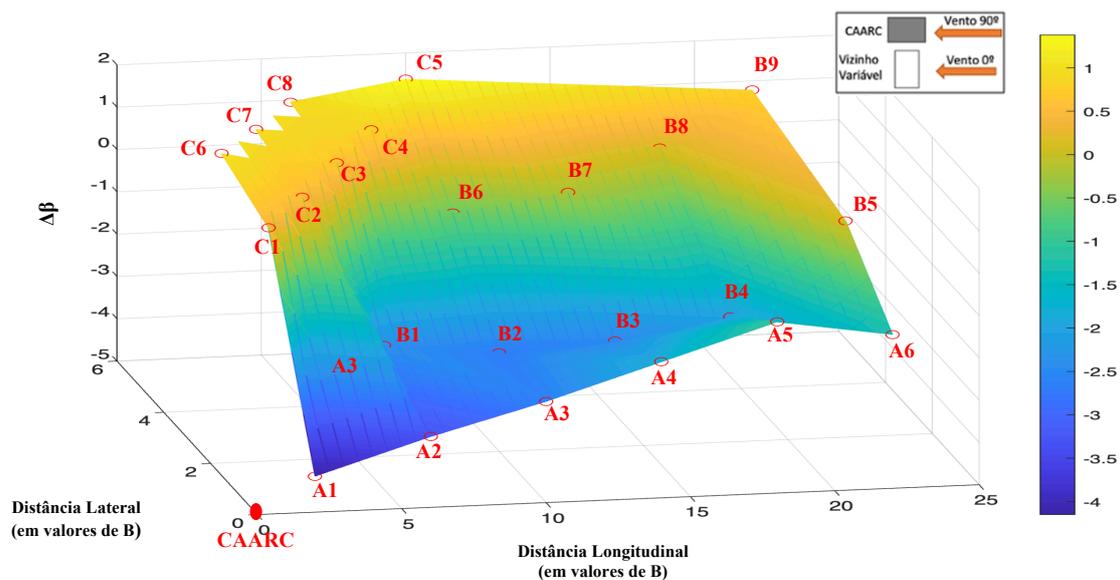


Figura 42: MFV para força na direção transversal ao vento. Fonte: adaptado de Lavôr, 2023

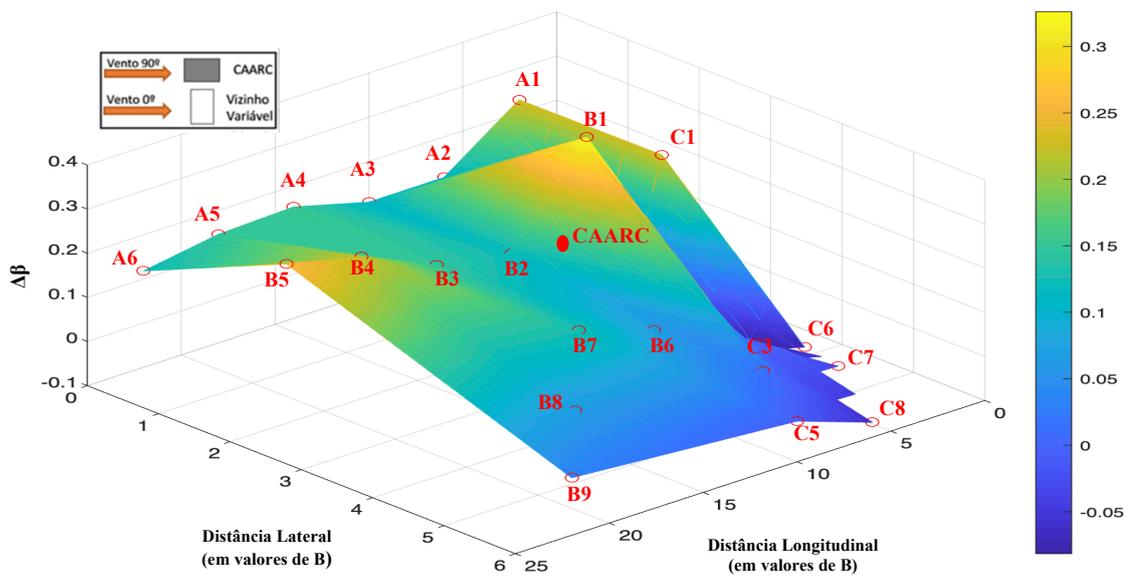
As Figuras 43 e 44 ilustram as superfícies geradas para os resultados da condição C90V0, com a força na direção do vento e na direção transversal ao vento, respectivamente.

É possível notar que com a força agindo na direção do vento (Figura 43), e o CAARC posicionado a 90°, houve inversão do pico máximo, onde, neste caso, passa a ser para o vizinho “C5” e o vizinho “A1”, por sua vez, passa a ter o menor valor  $\Delta\beta$  nesta configuração, ao passo que a grande maioria dos valores de  $\Delta\beta$  se tornaram negativos.

Considerando a força agindo na direção transversal ao vento (Figura 44), e o CAARC posicionado a 90°, observa-se que a configuração possui dois picos máximos, sendo para os vizinhos “B1” e “B5”, além de haver grande disparidade dos resultados.



**Figura 43:** Superfície gerada para C90V0 com força na direção do vento

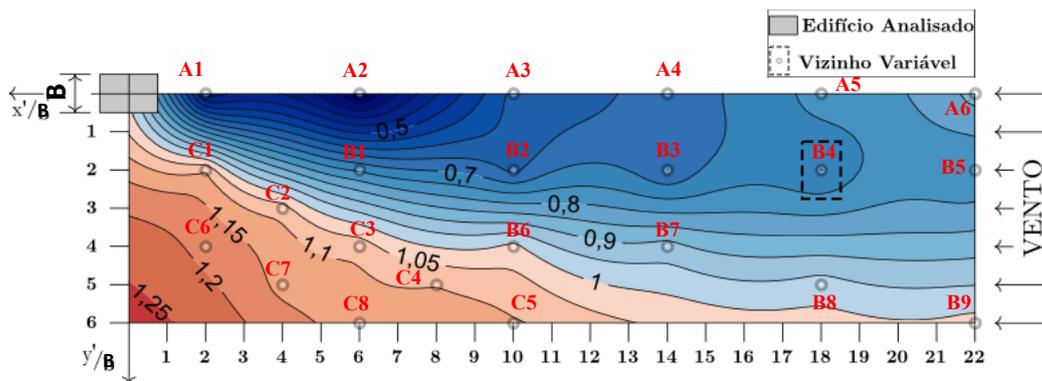


**Figura 44:** Superfície gerada para C90V0 com força na direção transversal ao vento

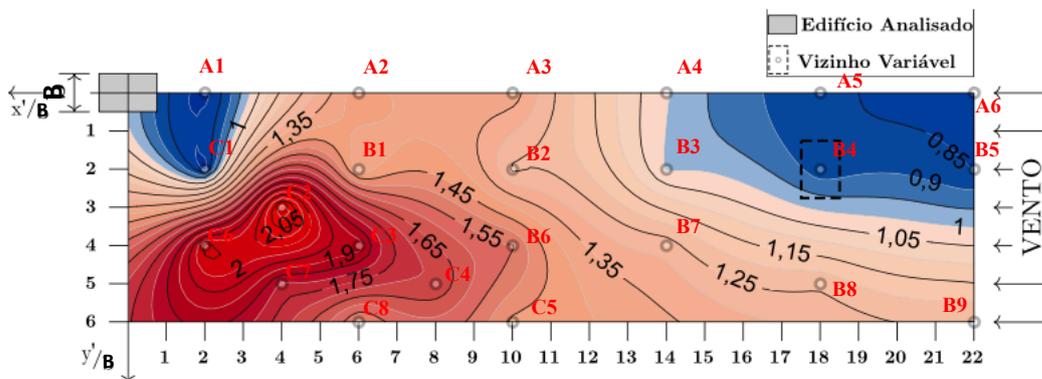
Relacionando-se os gráficos de superfície (Figuras 43 e 44) com os mapas de fatores de vizinhança (Figuras 45 e 46), nota-se que com a força na direção do vento, os vizinhos oblíquos possuem maiores valores de  $\Delta\beta$  e estes coincidem com áreas de maior fator de

vizinhança no gráfico de contorno (tons avermelhados), estando em posição de vulnerabilidade de acordo com esta configuração.

Em contrapartida, com a força na direção transversal ao vento, observa-se nos mapas de fatores de vizinhança que grande parte dos vizinhos estão em posição de vulnerabilidade, não coincidindo com o apresentado no gráfico se superfície da Figura 38, uma vez que este indica grande variabilidade de valores e estando os picos de  $\Delta\beta$  entre a zona segura (vizinho “A6”) e a não segura (vizinho “B1”), e, novamente, com comportamento oposto ao dos casos anteriormente discutidos.



**Figura 45:** MFV para força na direção do vento. Fonte: adaptado de Lavôr, 2023



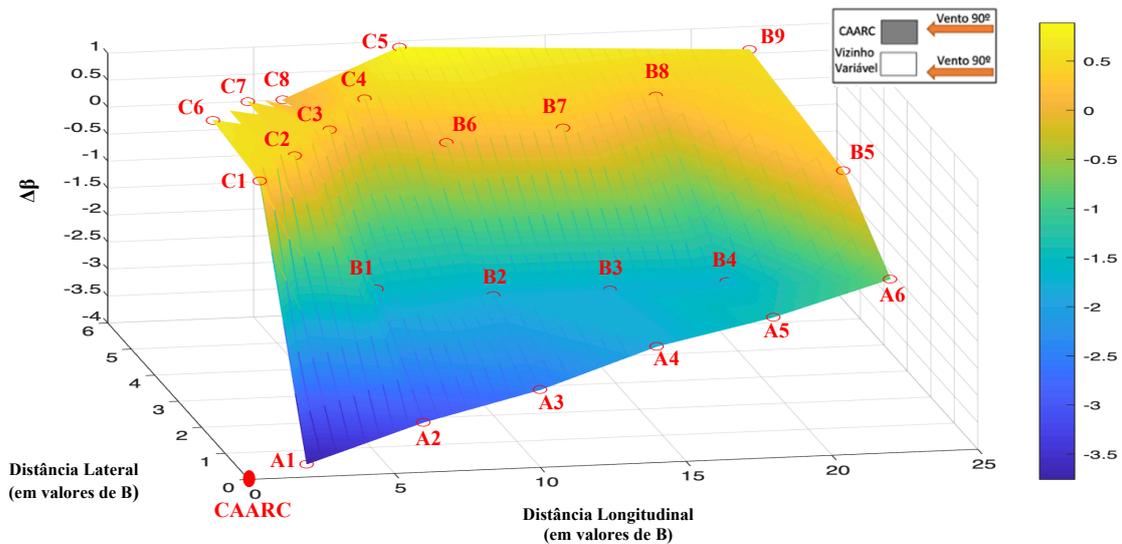
**Figura 46:** MFV para força na direção transversal ao vento. Fonte: adaptado de Lavôr, 2023

As Figuras 47 e 48 ilustram as superfícies geradas para os resultados da condição C90V90 considerando a força agindo na direção do vento e transversal ao vento, respectivamente.

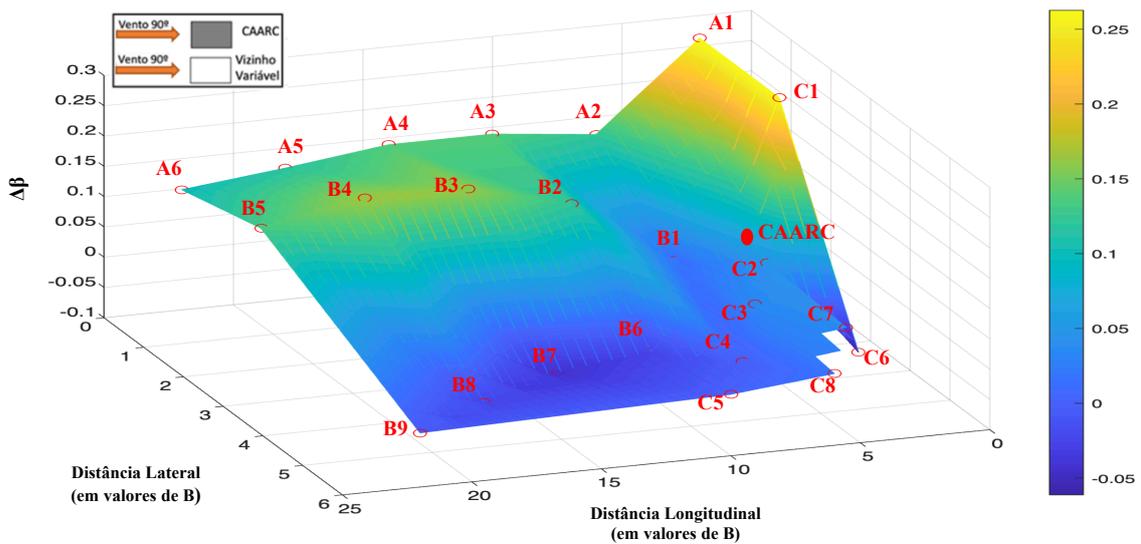
Observa-se que com a força na direção do vento (Figura 47), a maioria dos vizinhos desalinhados (“B1” a “B9”) e oblíquos (“C1” a “C8”) possuem valores de  $\Delta\beta$  localizados

nos picos máximos, além de o vizinho “A1” passar a ser o menor valor de  $\Delta\beta$  nesta configuração, com alguns dos índices sendo negativos.

Considerando a força na direção transversal ao vento (Figura 48), constata-se que a configuração possui dois picos máximos, sendo para os vizinhos “A1” e “C1”, com os outros vizinhos em estudo mantendo certa linearidade/homogeneidade, porém, esta configuração apresentou os menores valores de  $\Delta\beta$  quando comparados com as configurações anteriormente analisadas, contendo, ainda, todos os valores de  $\Delta\beta$  negativos.



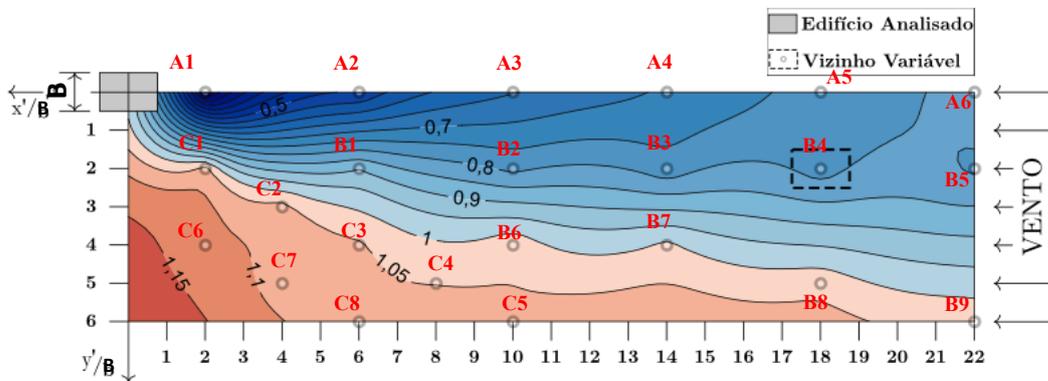
**Figura 47:** Superfície gerada para C90V90 com força na direção do vento



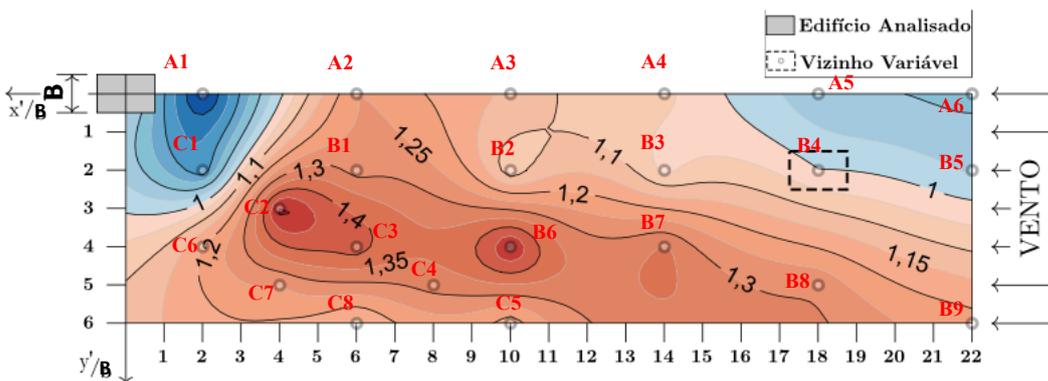
**Figura 48:** Superfície gerada para C90V90 com força na direção transversal ao vento

Relacionando-se os gráficos de superfície (Figuras 47 e 48) com os mapas de fatores de vizinhança (MFV) (Figuras 49 e 50), nota-se que o comportamento é bastante similar ao caso anterior (Figura 43), de maneira que, com a força na direção do vento, e CAARC posicionado a 90°, as regiões de maior  $\Delta\beta$  no gráfico de superfícies (tons amarelos) coincidem com áreas de maior fator de vizinhança no gráfico de contorno (tons avermelhados), estando em posição de vulnerabilidade de acordo com esta configuração.

Em contrapartida, considerando a força na direção transversal ao vento, e CAARC posicionado a 90°, observa-se nos mapas de fatores de vizinhança que grande parte dos vizinhos estão em posição de vulnerabilidade, a exceção dos vizinhos “A1” e “C1”, que estão em área de proteção e também são os maiores picos de  $\Delta\beta$  deste caso.



**Figura 49:** MFV para força na direção do vento. Fonte: adaptado de Lavôr, 2023



**Figura 50:** MFV para força na direção transversal ao vento. Fonte: adaptado de Lavôr, 2023

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos tanto para a condição da força na direção do vento quanto na direção transversal ao vento, ressaltam o impacto direto do posicionamento dos vizinhos no comportamento aerodinâmico da edificação. De maneira generalista, dependendo da configuração, regiões de maior densidade ou alinhamento dos vizinhos próximos ao CAARC contribuem para intensificar as forças aerodinâmicas, como evidenciado pelos gráficos de superfície. Por outro lado, áreas de menor perturbação ocorrem, em sua grande maioria, em cenários com maior distanciamento dos vizinhos em relação ao CAARC ou configurações que favorecem a mudança no escoamento do vento.

Considerando a força na direção do vento, observa-se que, com o CAARC orientado a  $0^\circ$ , a extensão da perturbação na força aerodinâmica causada pelos vizinhos é bastante significativa, principalmente para os vizinhos alinhados. No entanto, é evidente que valores negativos de  $\Delta\beta$  em regiões com maior fator de vizinhança indicam majoração dos esforços nas configurações com o CAARC a  $90^\circ$ . Essa majoração pode ser atribuída ao baixo valor da força longitudinal média no edifício isolado nessa orientação, o que torna qualquer perturbação do escoamento causada pela presença de vizinhos mais significativa. Tal comportamento é confirmado ao se analisar que, nas configurações com vizinhos a  $90^\circ$ , os valores de  $\Delta\beta$  são menores do que nas configurações com vizinhos a  $0^\circ$ , uma vez que estes últimos tendem a provocar perturbações mais intensas no escoamento, seja pelo aumento da turbulência, seja pela formação de maiores esteiras de vórtices.

Para a força atuando na direção transversal ao vento, observa-se que, com o CAARC orientado a  $0^\circ$ , os valores de  $\Delta\beta$  são mais elevados e, segundo os Mapas de Fatores de Vizinhança (MFV), a extensão da proteção proporcionada pelos vizinhos é significativa, sobretudo nas configurações com vizinhos a  $90^\circ$ . Ainda assim, verifica-se uma elevada perturbação na força aerodinâmica através de  $\Delta\beta$ . Os efeitos de majoração, por sua vez, apresentam-se maiores nas configurações com vizinhos a  $0^\circ$ . Tal comportamento reforça a compreensão de que há uma maior alteração no escoamento do vento incidente sobre o edifício analisado quando o vizinho está com a maior fachada orientada perpendicularmente à direção do vento, favorecendo a formação de esteiras de vórtices mais intensas.

Os valores negativos de  $\Delta\beta$  coincidem com as regiões de majoração dos esforços, as quais ocupam quase toda a extensão dos MFV nas configurações com o CAARC a  $90^\circ$ .

Mais uma vez, constata-se que as configurações com vizinhos a 0° promovem maior intensificação dos esforços devido à perturbação mais acentuada no escoamento do vento, relacionada à formação de esteiras de vórtices maiores.

Portanto, a partir dos coeficientes de vizinhança calculados por Lavôr (2023), na maioria dos casos, pode-se inferir que valores elevados de  $\Delta\beta$ , ainda que indicando maior perturbação, podem oferecer efeitos de proteção ao CAARC. Em contrapartida, valores negativos de  $\Delta\beta$ , estes perturbam pouco, mas apontam para majoração dos esforços e coincidem com regiões de maior fator de vizinhança.

Existem casos em que à medida que o vizinho se aproxima do CAARC, maior é a perturbação, e isso não quer dizer que seja ruim do ponto de vista do edifício instrumentado, onde nestes casos ele diminui a força de arrasto oferecendo efeitos de proteção, mas ainda assim havendo perturbação.

Em suma, pode-se considerar que quanto mais próximo de zero é o valor de  $(\Delta\beta)$ , menor é a perturbação da força aerodinâmica, e o contrário também é válido, onde quanto mais distante de zero é o valor de  $(\Delta\beta)$ , maior a perturbação da força aerodinâmica.

Ressalta-se que os coeficientes de pressão utilizados nas análises são adimensionais e que, devido a utilização da teoria da semelhança, os dados obtidos podem ser aplicados em modelos reais, tornando válidos todos os critérios estabelecidos.

As análises realizadas mostram que as diferenças entre as direções longitudinal e transversal não apenas destacam a influência do posicionamento dos vizinhos no comportamento aerodinâmico, mas também reforçam a importância de considerar essas variáveis no projeto de edificações em ambientes urbanos.

Dessa forma, o índice de perturbação da força aerodinâmica  $(\Delta\beta)$  pode ser considerado uma ferramenta promissora no contexto de projetos estruturais, sobretudo quando empregado em etapas preliminares de análise. Sua aplicação permite identificar, de maneira quantitativa, os efeitos positivos ou negativos da vizinhança sobre a força do vento em edifícios altos, oferecendo subsídios relevantes para a tomada de decisão no desenvolvimento de soluções arquitetônico-estruturais. Ao ser incorporado em uma análise preliminar, o índice  $\Delta\beta$  contribui para a antecipação de cenários críticos, possibilitando o ajuste de variáveis de projeto, como o afastamento entre edificações e a orientação em relação à direção predominante do vento, promovendo um projeto mais eficiente, seguro e alinhado com os critérios de desempenho estrutural.

Assim, restou comprovado com os resultados encontrados que a existência de vizinhança, independente do posicionamento, afeta significativamente os dados obtidos, bem como o índice de perturbação da força aerodinâmica ( $\Delta\beta$ ) proposto neste presente trabalho, de forma a apresentar interpretações que podem ajudar a prever o comportamento de edifícios altos submetidos a força do vento na presença de vizinhança.

Por fim, para pesquisas futuras, recomenda-se um aprofundamento nas análises do comportamento do índice de perturbação da força aerodinâmica ( $\Delta\beta$ ), com o objetivo de aprimorar sua calibração e aplicação em conjunto com mapas de fatores de vizinhança.

## REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR6123 – Forças devidas ao vento em edificações**. 66p. Edição 1988. Rio de Janeiro, 1988.

BECK, A. T. **Apostila do curso de confiabilidade estrutural**. Departamento de Engenharia de Estruturas. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos/SP, 2012.

BORGES, G. S. **Estudo experimental em túnel de vento do campo de velocidades no topo de uma edificação para análise do potencial de geração de energia eólica**. Trabalho de diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

BLESSMANN, J.; RIERA, J. D. **Wind excitation of neighbouring tall buildings**. Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics, v. 18, p. 91-103. Amsterdam, 1985.

BLESSMANN, J. **Aerodinâmica das construções**. 261p. 3a edição. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

BLESSMANN, J. **O Vento na Engenharia Estrutural / Joaquim Blessmann**. – 2. ed. – Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2013. 240 p, 1995.

BLESSMANN, J. **Introdução ao estudo das ações dinâmicas do vento**. – Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1998.

BLESSMANN, J. **The boundary layer TV-2 wind tunnel of the UFRGS**. Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics, v. 10. Amsterdam, 1982.

BLOCKEN, B. **Computational Fluid Dynamics for Urban Physics: Importance, scales, possibilities, limitations and ten tips and tricks towards accurate and reliable simulations**. Building and Environment, v. 91, 2015.

CABRAL, R. S. et al. **Variability analysis of complex networks measures based on stochastic distances**. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 415, 2014.

CARPEGGIANI, E. A. **Determinação dos efeitos estáticos de torção em edifícios altos devido à ação do vento**. 160 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

CATALUNHA, M. J. **Evaluation of the Fitting of Probability Density Functions to Rainfall Series in the State of Minas Gerais**. Master's Thesis, Federal University of Viçosa, Brazil, 2000.

CAVALCANTE, M. Z. **Determinação experimental em túnel de vento dos fatores de vizinhança estáticos e dinâmicos para um modelo de edifício alto em distintas condições de vizinhança**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, BR-RS, 2020.

COOK, N. **The Designers Guide to Wind Loading of Building Structures**. Thomas Telford, 2013.

CHA, S.-H., SRIHARI, S. N. **On measuring the distance between histograms**. Pattern Recognition 35(6), 2002.

CHING, F. D. K.; ONOUYE, B. S.; ZUBERBUHLER, D. **Sistemas estruturais ilustrados: padrões, sistemas e projeto**. Tradução de Alexandre Salvaterra. 1. ed. 319 p. Porto Alegre: Bookman, 2010.

DAVENPORT, A. G. **The application of statistical concepts to the wind loading of structures**. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, v. 19, n. 4, Ontario, 1961.

DAVID, C. R. P. **Estudo do Efeito da Incidência Oblíqua do Vento em Edifícios Altos**. 124p. Escola de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007.

FISHMAN, G. S. **Monte Carlo: concepts, algorithms, and applications**. New York: Springer, 1996.

FONTES, A. C. D. **Importância dos Efeitos de Vizinhança na Resposta Dinâmica de um Edifício à Ação do Vento**. 181p. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003.

FONTES-SILVA, P. H. **Estudo experimental em túnel de vento dos efeitos da interferência sobre o modelo reduzido do edifício CAARC**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, RS, 167p, 2021.

FONTOURA, P. C. C. N. O. **Estudo Experimental Em Túnel De Vento Dos Efeitos De Vizinhança Em Edifícios Altos**. Tese de doutorado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 255p, 2014

GANDEMER, J. **Wind Environment Around Building, Proceedings International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures 1**, Cambridge University Press, 1977.

GIBBS, A. L., SU, F. E. **On choosing and bounding probability metrics**. International Statistical Review 70(3), 2002.

HALDAR, A. MAHADEVAN, S. **Probability, reliability and statistical methods in engineering design**. New York: John Wiley & Sons Inc., 2000.

HELLINGER, E. **Neue begründung der theorie quadratischer formen von unendlichvielen veränderlichen**. Journal Reine Angewandte Mathematik 136, 1909.

HOLMES, J. D. **Wind loading of structures**. 366p. 1ª Edição Spon Press Taylor & Francis Group. London, 2001.

HOLMES, J. D. **Wind Loading of Structures**. CRC Press, 2015.

HUI, Y. et al. **Pressure and flow field investigation of interference effects on external pressures between high-rise buildings**. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2013.

HUI, Y., TAMURA, Y., YANG, Q. **Analysis of interference effects on torsional moment between two high-rise buildings based on pressure and flow field measurement**. Em: Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2017.

JACOBONI, C.; REGGIANI, L. **The Monte Carlo Method For The Solution Of Charge Transport In Semiconductors With Applications To Covalente Materials**. Rev. Mod. Phys, V.55, 1983.

KATZ, A., WILLIAMS, C., KHIM, J. **Brilliant: Log-normal Distribution**, 2022.

KULLBACK, S. LEIBLER, R. **On information and sufficiency**. Ann. Math. Stat, 1951.

KHANDURI, A. C.; STATHOPOULOS, T.; BÉDARD, C. **Wind-induced interference effects on buildings – a review of the state-of-the-art**. *Engineering Structures*, v. 20. Grã-Bretanha, 1998.

KREINOVICH, V.; BHARATI, R. **Introduction to Modeling and Analysis of Stochastic Systems**, 2008.

KROETZ, H. M. **Meta-modelagem em confiabilidade estrutural**. Dissertação de mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

LAVÔR, T. F. A. **Efeitos de Vizinhança Associados a Fenômenos Aerodinâmicos Quase-Estáticos e Ressonantes**. Tese de doutorado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 267p, 2023.

LOPEZ, M. T. A. **Análise de Confiabilidade Aplicada ao Projeto de Reforço à Força Cortante de Vigas em Concreto Armado com Compósitos de Fibra de Carbono**. Tese de Doutorado, Programa Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Estruturas, Pontifícia Católica Universidade do Rio de Janeiro – PUC Rio, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2007.

LOREDO-SOUZA, A. M.; SCHETTINI, E. B. C.; PALUCH, M. J. **5. Simulação da Camada Limite Atmosférica em Túnel de Vento**. In: IV Escola de Primavera de Transição e Turbulência, ABCM, v. 4. Porto Alegre, 2004.

MADSEN, H. O.; KRENK, S.; LIND, N. C. **Methods of Structural Safety**. Prentice-Hall, 1986.

MENDIS, P.; et al. **Wind loading on tall building**. Eletronic Journal of Structural Engineering (EJSE), 2007.

MELBOURNE, W. H. **Comparison of measurements on the CAARC Standard Tall Building model in simulated model wind flows**. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., vol. 6, no. 1-2, 1980.

MELCHERS, R. E. **On Bounds and Approximations in Structural Systems Reliability**. Research Report No. 1/1981, Department of Civil Engineering, Monash University, Australia, 1981.

MELCHERS, R. E. **Structural Reliability Analysis and Prediction**, 1999.

MELCHERS, R. E.; BECK, A. T. **Structural Reliability Analysis and Prediction**. Hoboken, NJ: Wiley, 2018.

MENEZES, E. F. **Efeitos Aerodinâmicos de Vizinhança Devido à Ação do Vento em Edifícios Altos: Análise a Partir do Fator de Vizinhança** 124p. Escola de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2017.

MONTGOMERY, Douglas. C.; RUNGER, George C. **Applied Statistics and probability for engineers**. 7th ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2018.

NOWAK, A.S.; COLLINS, K.R. **Reliability of Structures**, 2000.

PANTOJA, J. C. **Geração automática via otimização topológica e avaliação de segurança de modelos de bielas e tirantes**. Tese de Doutorado - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2012.

RACKWITZ; FIESSLER, B. **Structural reliability under combined load sequences, Computers and Structures**, 1978.

REIS, M. N. **Estudo numérico-experimental do efeito de vizinhança em edifícios altos devido ao vento relacionado ao desempenho via confiabilidade**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM – 08A/21, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 112p, 2021.

ROBERT, C. P., CASELLA, G. **Monte Carlo statistical methods**. 2. ed. New York: Springer, 2004.

RYAN, T.A., E JOINER, B.L. **Normal Probability Plots and Tests for Normality**. Technical Report, Statistics Department, The Pennsylvania State University, 1976.

SIMIUI, E.; SCALAN, R.H. **Wind effects on structures: fundamentals and applications to design**, 1996.

SOUSA, L. A. B. **Influência Da Vizinhança Na Determinação Das Pressões De Vento Em Edificações Com O Uso De Software CFD**. Universidade Federal De Sergipe, Centro De Ciências Exatas E Tecnologia, Sergipe, 2021.

SCUDINO, A. **A utilização de alguns testes estatísticos para análise da variabilidade do preço do mel nos municípios de Angra dos Reis e Mangaratiba, Estado do Rio de Janeiro.** Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil, 2008.

SPARLING, B. F. **Structural Engineering Systems Design.** 1997. CE 461 – Wind Loads.

TAMURA, Y. **Wind resistant design of tall buildings in Japan.** Wind Engineering Research Center, Tokyo Polytechnic University 1583 Atsugi, Kanagawa, Japan, 2000.

TORMAN, V. B. L., COSTER, R., E RIBOLDI, J. **Normalidade de variáveis: métodos de verificação e comparação de alguns testes não-paramétricos por simulação.** Clinical & Biomedical Research, vol. 32, no. 2, 2012.

THEPMONGKORN, S., G. S. Wood e K. C. S. Kwok. **Interference effects on wind-induced coupled motion of a tall building.** Em: Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 90, 2002.

VANIN, D. D. **Resposta dinâmica de edifícios altos frente à ação do vento: comparação de técnicas experimentais em túnel de vento.** 122p. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

VIEIRA, G. S. **Estudo experimental dos esforços solicitantes em um edifício alto devidos à ação do vento considerando a influência de edificações vizinhas.** 2016. 205p. Tese (Doutorado). Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2016.

VICKERY, B. J. **On the reliability of gust loading factors.** Proc., Tech. Mtg. Concerning Wind Loads on Build. and Struct., National Bureau of Standards, Washington, D.C, 1970.

XIE, Z.N., GU, M. **Across-wind dynamic response of high-rise building under wind action with interference effects from one and two tall buildings.** Em: Structural Design of Tall and Special Buildings, 2009.

YU, X. F. et al. **Interference effects between two high-rise buildings on wind-induced torsion.** Em: Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2016.

## APÊNDICE

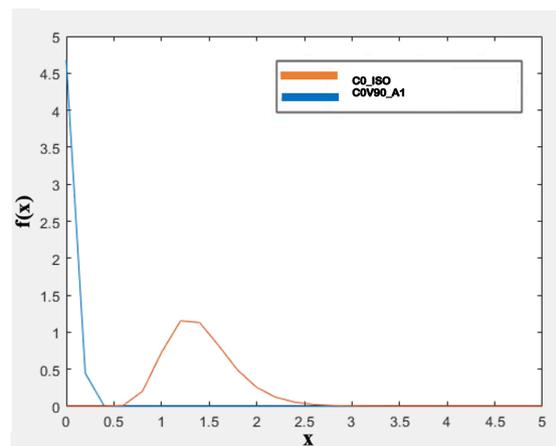
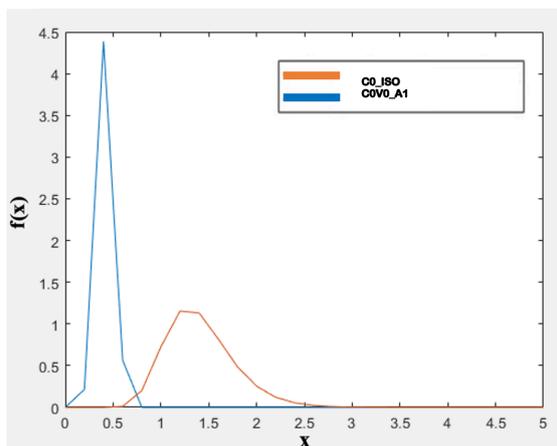
Nos itens A.1 e A.2 são apresentados todos resultados obtidos de média, desvio padrão, tipo de distribuição e índice de perturbação da força aerodinâmica dos casos e posicionamentos dos vizinhos estudados nesta pesquisa, bem como seus respectivos gráficos de distribuição comparativos (condição CAARC isolado - distribuição em vermelho, e condição CAARC + vizinho - distribuição em azul).

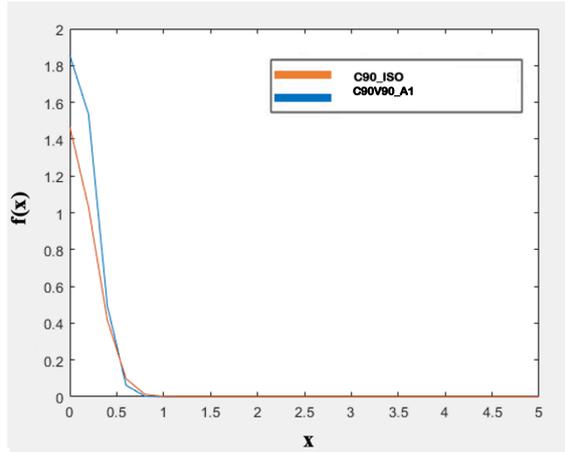
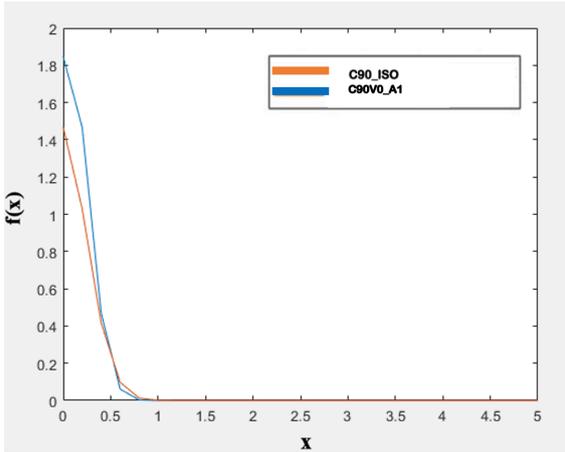
Nos itens A.3 e A.4 são apresentados os resultados dos quantificadores estocásticos utilizados na presente pesquisa, bem como valores do índice de perturbação da força aerodinâmica para os casos relacionados.

Nos itens A.5 e A.6 são apresentados todos gráficos de superfície gerados para analisar os resultados obtidos do índice de perturbação da força aerodinâmica, sem as legendas e indicações dos edifícios estudados.

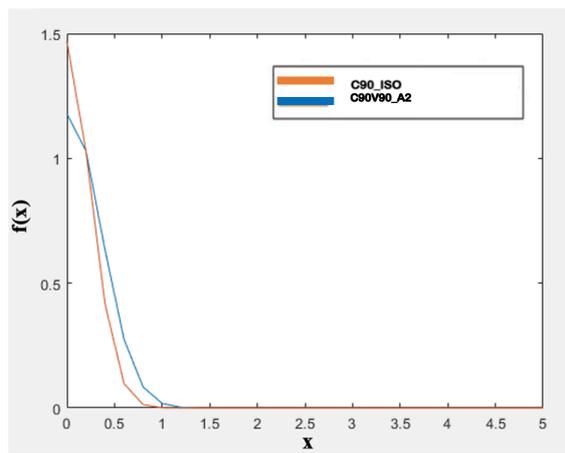
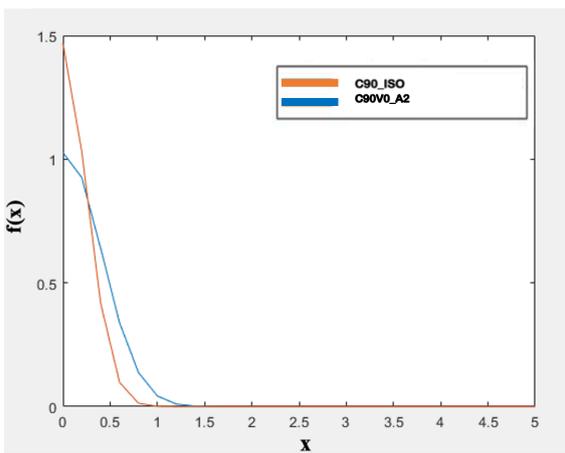
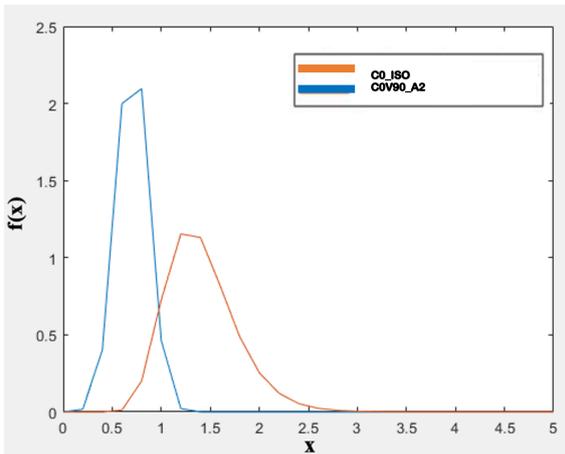
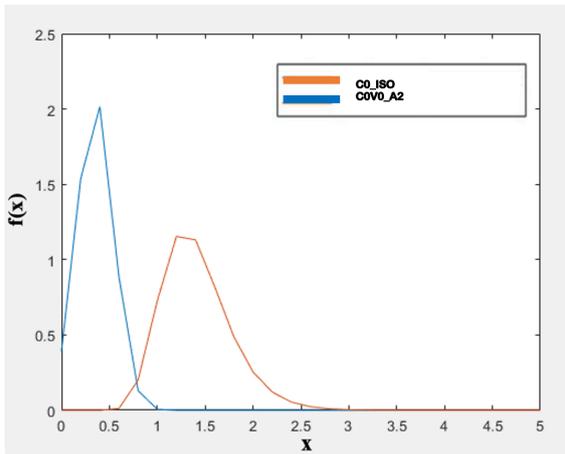
### A.1 DADOS CALCULADOS E GRÁFICOS DE DISTRIBUIÇÕES DE MÉDIA PARA FORÇA NA DIREÇÃO DO VENTO

	C0_ISO	C0V0_A1	C0V90_A1	C90_ISO	C90V0_A1	C90V90_A1
MÉDIA ( $\mu$ )	1,41279832	-0,419100491	0,018645798	1,098871427	0,258723363	0,55004558
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,129713218	0,088874839	0,083138591	0,08736932	0,182576169	0,116518945
DISTRIBUIÇÃO	Lognormal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	3,8734	2,5913	-	-4,1494	-3,7579

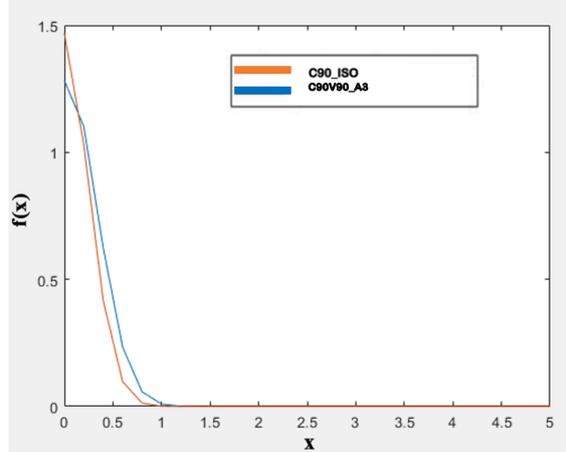
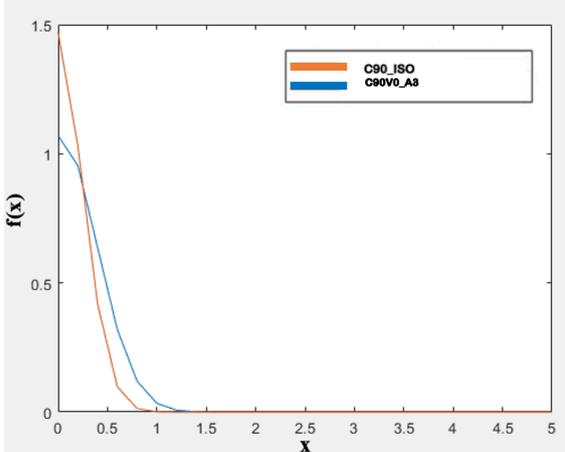
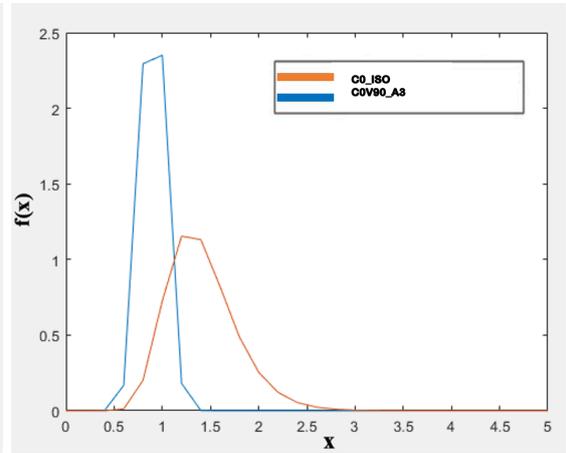
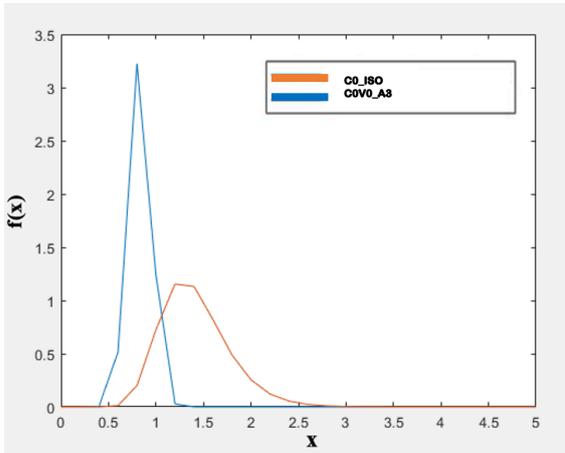




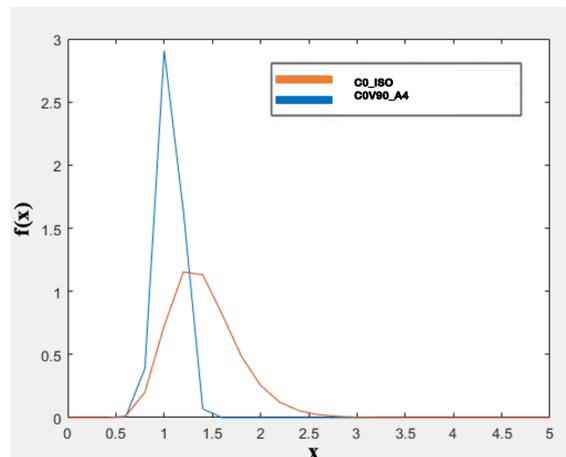
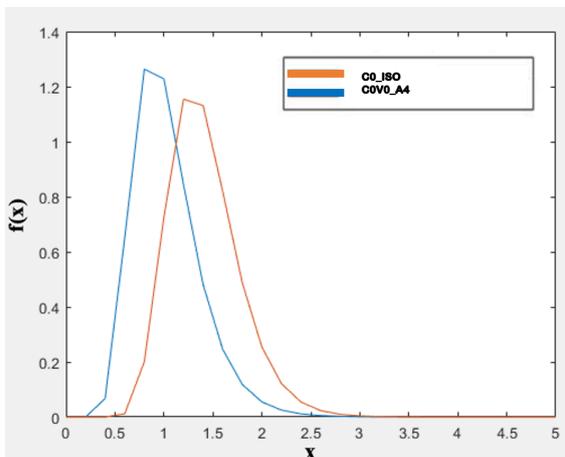
	C0_ISO	C0V0_A2	C0V90_A2	C90_ISO	C90V0_A2	C90V90_A2
MÉDIA ( $\mu$ )	1,41279832	0,3495668	0,706017582	1,098871427	0,678200006	0,711474232
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,129713218	0,191240278	0,16027338	0,08736932	0,091602555	0,090676869
DISTRIBUIÇÃO	Lognormal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	3,2115	2,0931	-	-3,3263	-3,0735

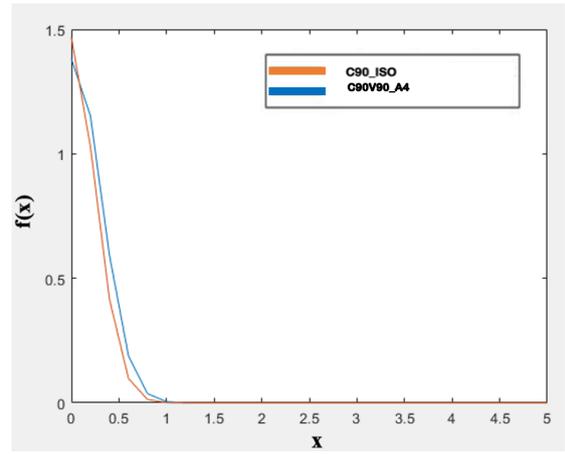
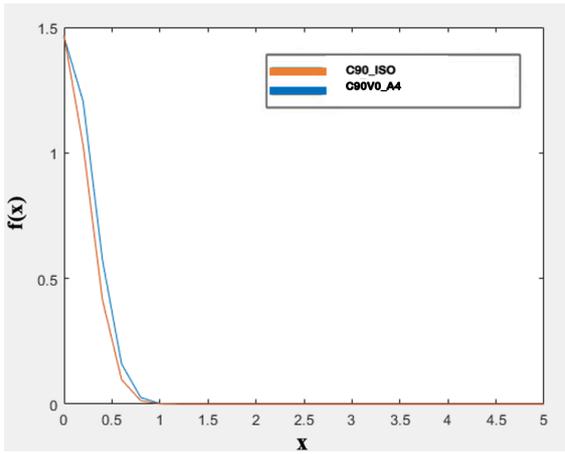


	C0_ISO	C0V0_A3	C0V90_A3	C90_ISO	C90V0_A3	C90V90_A3
MÉDIA ( $\mu$ )	1,41279832	0,831332227	0,901871152	1,098871427	0,764365624	0,779496421
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,129713218	0,119570369	0,124250786	0,08736932	0,094180427	0,089332322
DISTRIBUIÇÃO	Lognormal	Normal	Lognormal	Normal	Normal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	1,7713	1,495	-	-2,6084	-2,5597

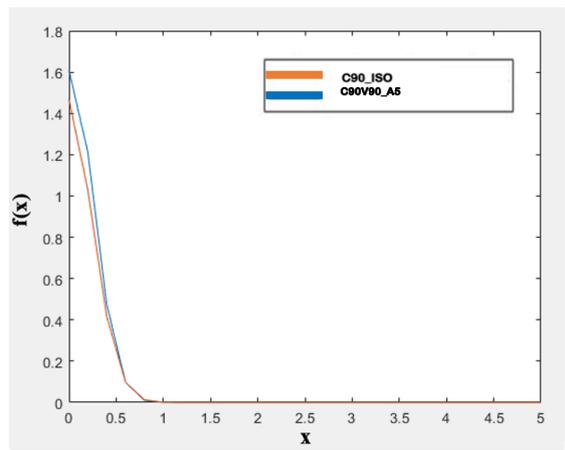
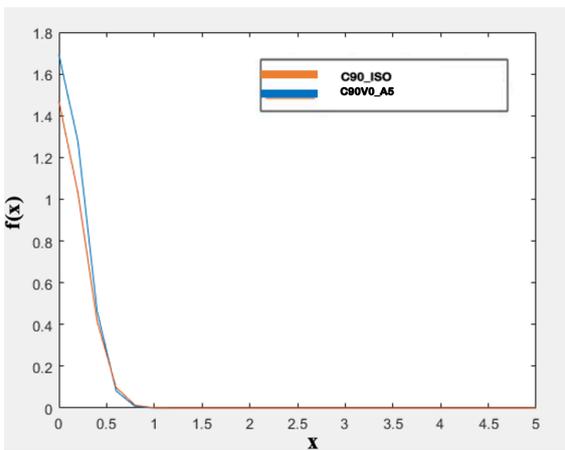
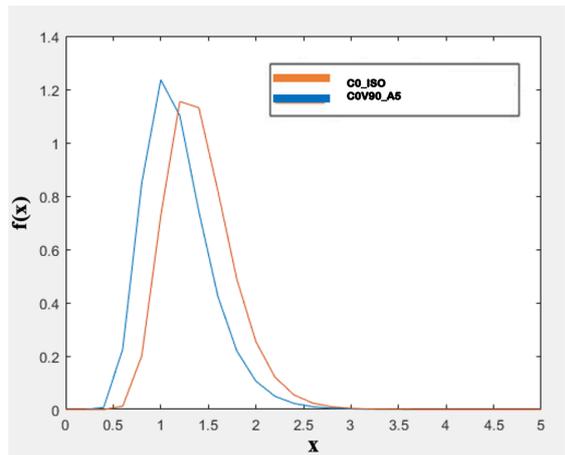
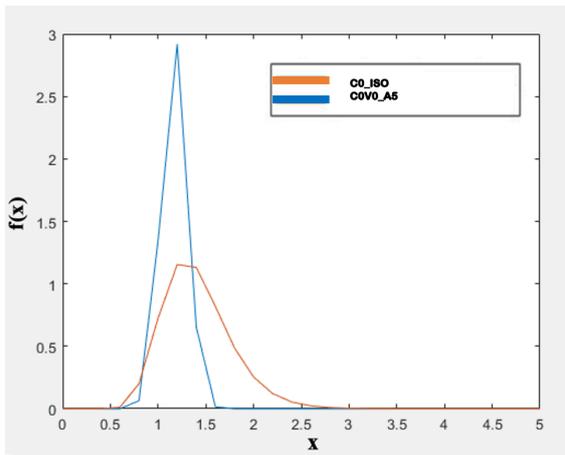


	C0_ISO	C0V0_A4	C0V90_A4	C90_ISO	C90V0_A4	C90V90_A4
MÉDIA ( $\mu$ )	1,41279832	1,033285124	1,055352716	1,098871427	0,857902922	0,860020647
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,129713218	0,118363295	0,124330603	0,08736932	0,102845339	0,095556469
DISTRIBUIÇÃO	Lognormal	Lognormal	Normal	Normal	Normal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	0,8151	0,9606	-	-1,7849	-1,8459

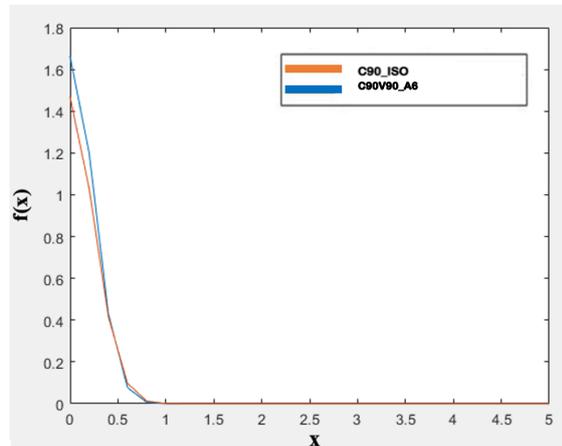
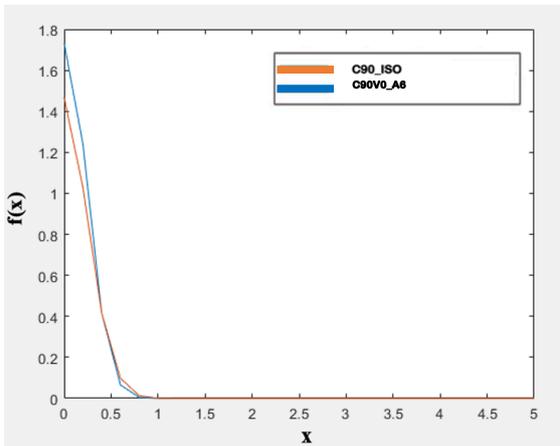
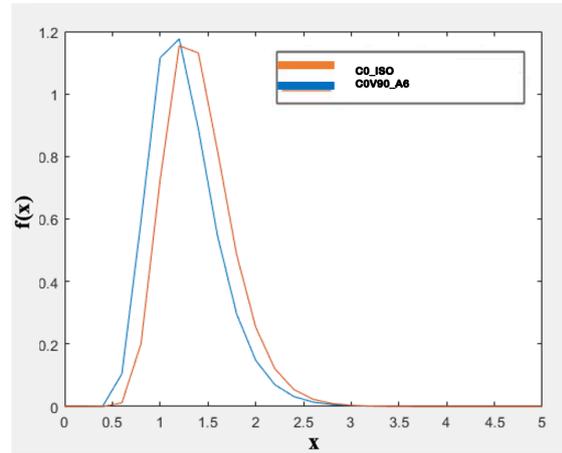
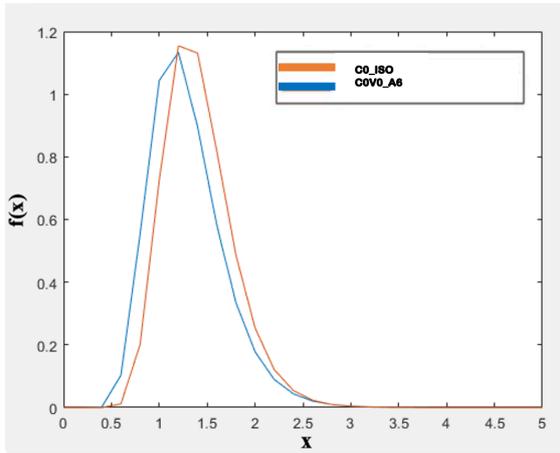




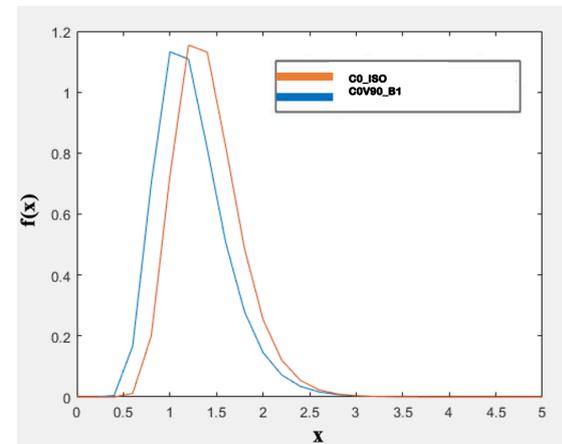
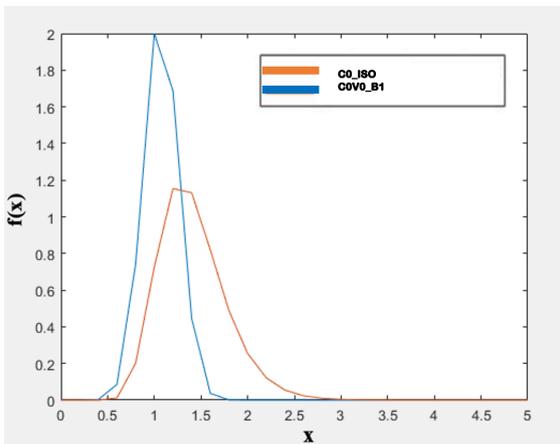
	C0_ISO	C0V0_A5	C0V90_A5	C90_ISO	C90V0_A5	C90V90_A5
MÉDIA ( $\mu$ )	1,41279832	1,168038133	1,181995112	1,098871427	0,957346574	0,913087778
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,129713218	0,132843242	0,127918487	0,08736932	0,119212286	0,100709977
DISTRIBUIÇÃO	Lognormal	Normal	Lognormal	Normal	Normal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	0,5947	0,4905	-	-0,95721	-1,3942

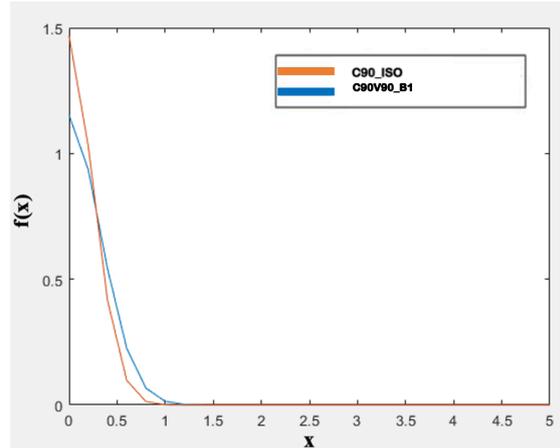
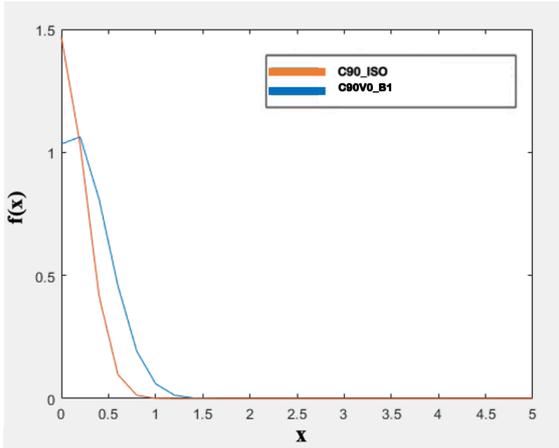


	C0_ISO	C0V0_A6	C0V90_A6	C90_ISO	C90V0_A6	C90V90_A6
MÉDIA ( $\mu$ )	1,41279832	1,29319799	1,263280367	1,098871427	0,816395254	0,986573839
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,129713218	0,148296858	0,13250587	0,08736932	0,18761535	0,114777681
DISTRIBUIÇÃO	Lognormal	Lognormal	Lognormal	Normal	Normal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	0,259	0,3186	-	-1,3658	-0,77725

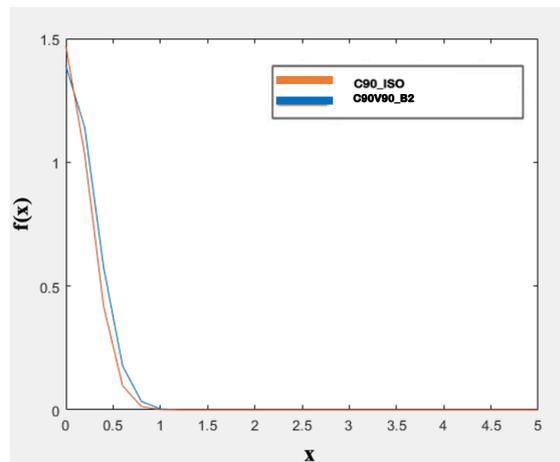
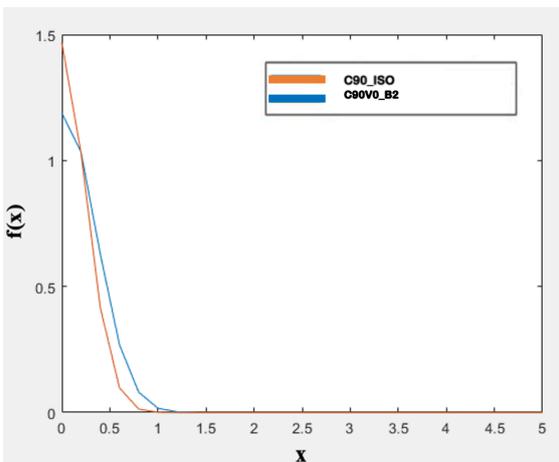
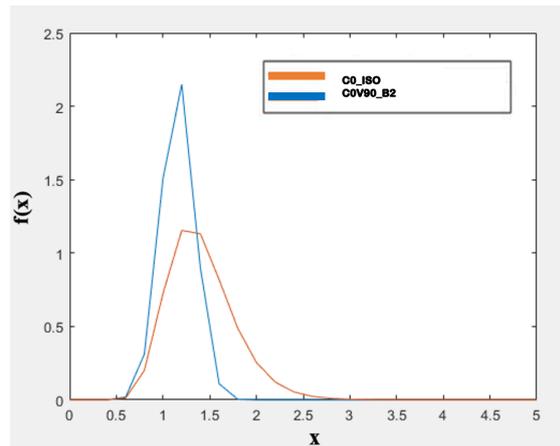
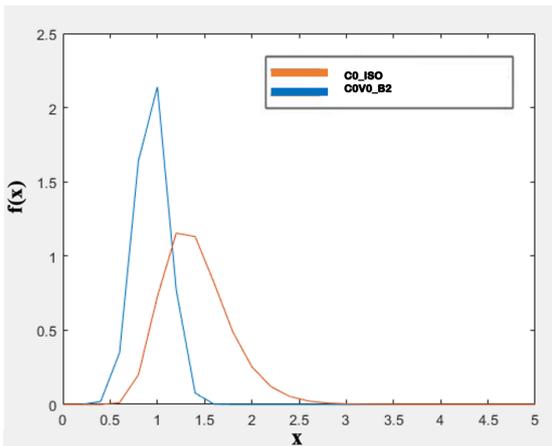


	C0_ISO	C0V0_B1	C0V90_B1	C90_ISO	C90V0_B1	C90V90_B1
MÉDIA ( $\mu$ )	1,41279832	1,070789175	1,240249293	1,098871427	0,696893467	0,8648976
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,129713218	0,185467968	0,144597936	0,08736932	0,143969259	0,120803476
DISTRIBUIÇÃO	Lognormal	Normal	Lognormal	Normal	Normal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	0,8463	0,3678	-	-2,387	-1,5712

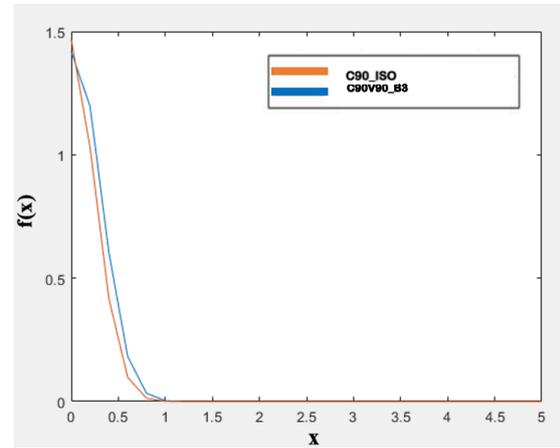
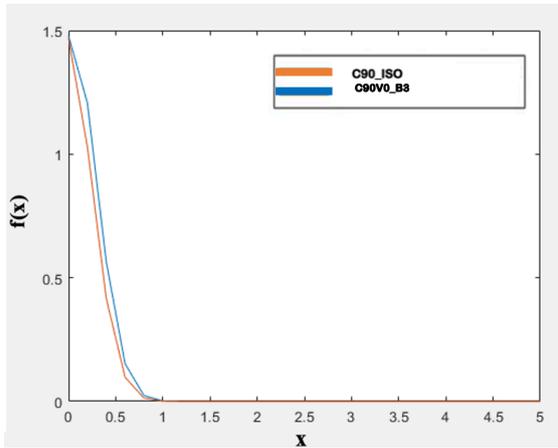
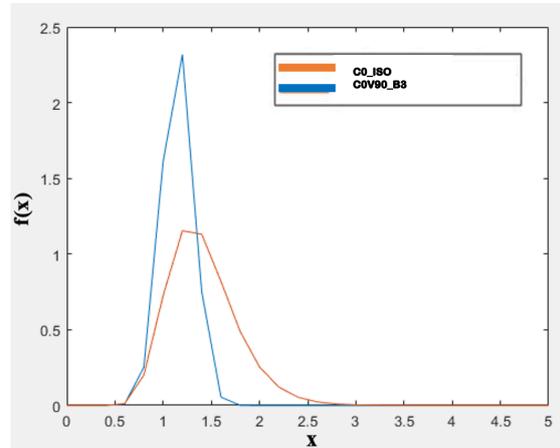
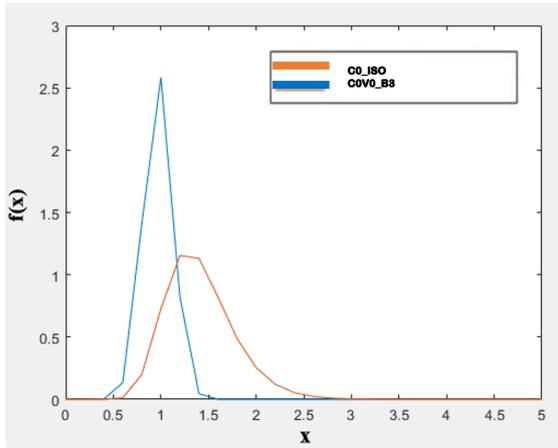




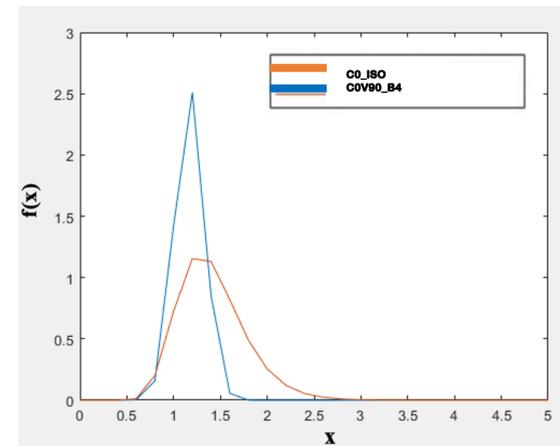
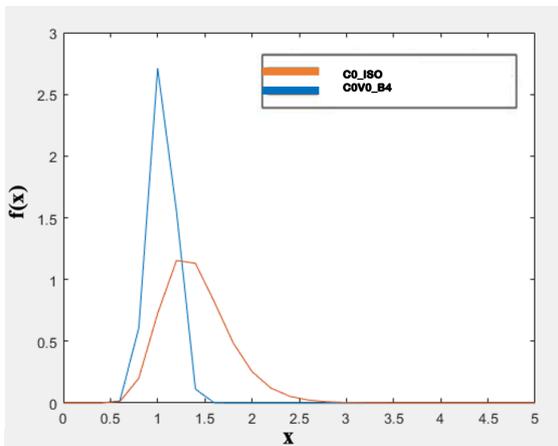
	C0_ISO	C0V0_B2	C0V90_B2	C90_ISO	C90V0_B2	C90V90_B2
MÉDIA ( $\mu$ )	1,41279832	0,941143378	1,157548328	1,098871427	0,713732125	0,845083615
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,129713218	0,176369775	0,180600691	0,08736932	0,114846857	0,112174687
DISTRIBUIÇÃO	Lognormal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	1,2537	0,5988	-	-2,6728	-1,7833

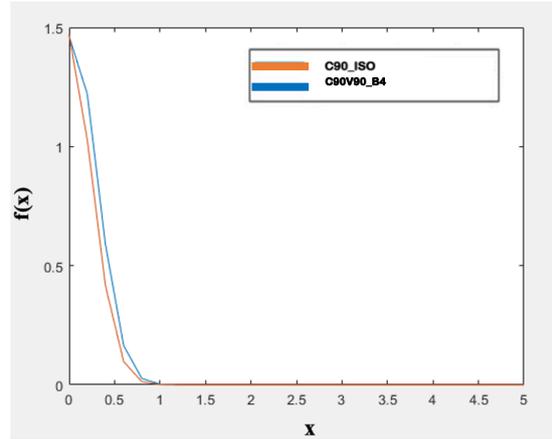
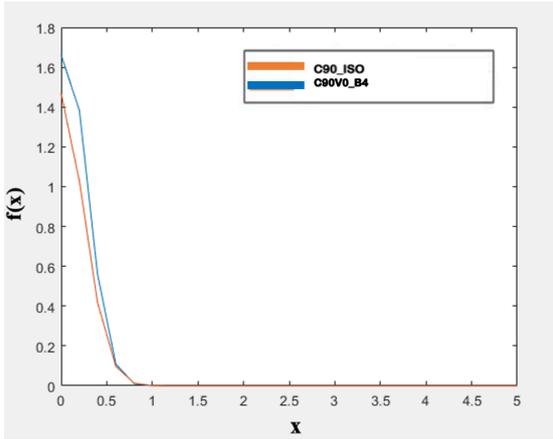


	C0_ISO	COV0_B3	COV90_B3	C90_ISO	C90V0_B3	C90V90_B3
MÉDIA ( $\mu$ )	1,41279832	0,968793423	1,148759033	1,098871427	0,767434238	0,854554408
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,129713218	0,151090785	0,163838907	0,08736932	0,099970536	0,107160256
DISTRIBUIÇÃO	Lognormal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	1,2099	0,6363	-	-2,4989	-1,7664

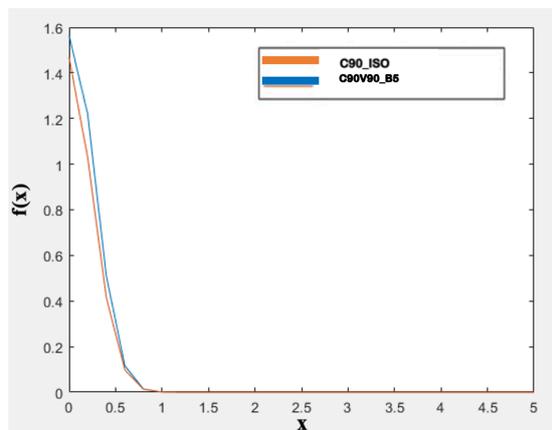
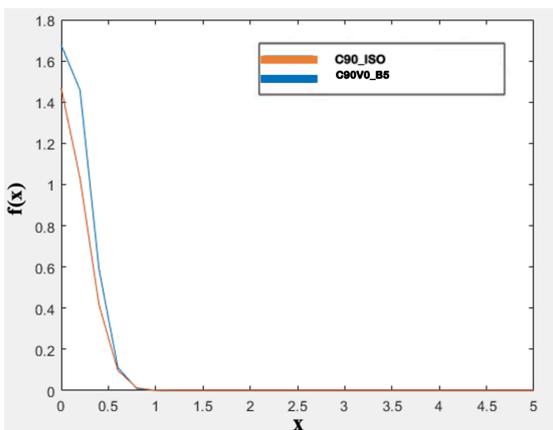
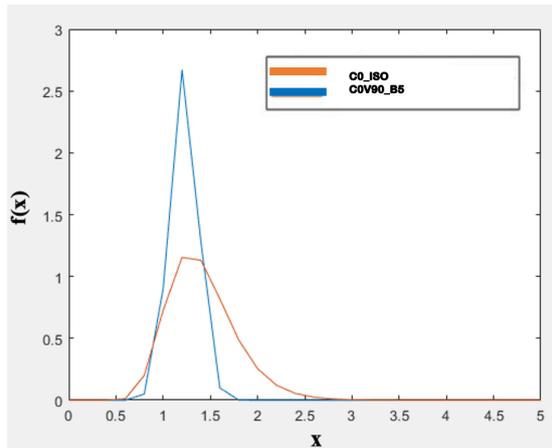
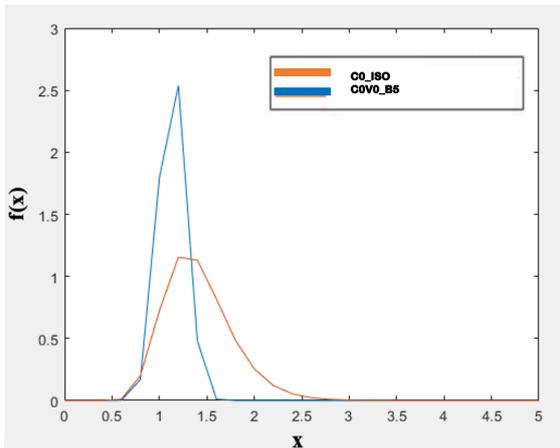


	C0_ISO	COV0_B4	COV90_B4	C90_ISO	C90V0_B4	C90V90_B4
MÉDIA ( $\mu$ )	1,41279832	1,045541749	1,168628324	1,098871427	0,822131906	0,868960459
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,129713218	0,139536852	0,155828441	0,08736932	0,103685031	0,103198812
DISTRIBUIÇÃO	Lognormal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	0,9774	0,581	-	-2,0405	-1,7004

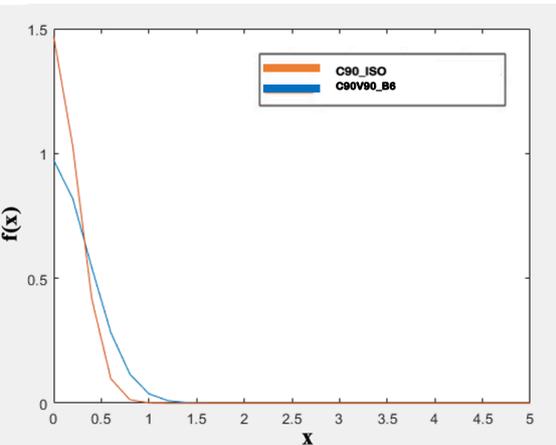
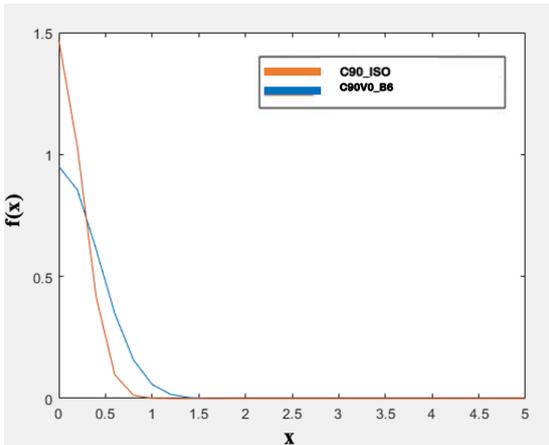
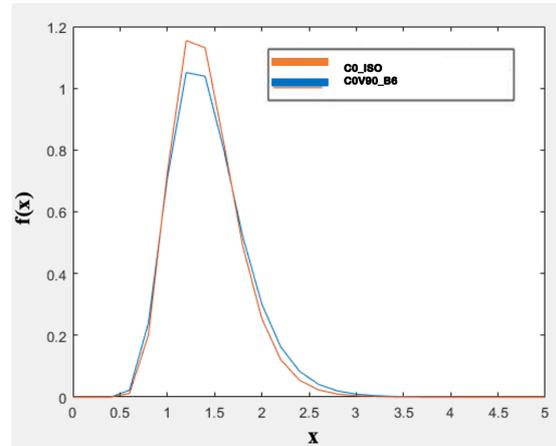
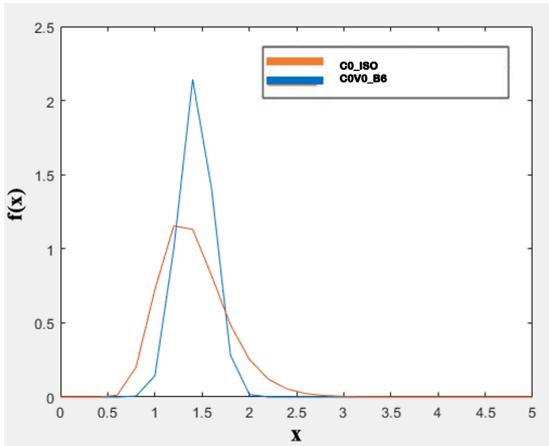




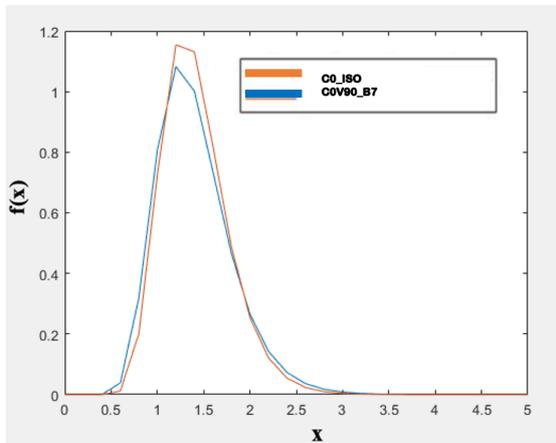
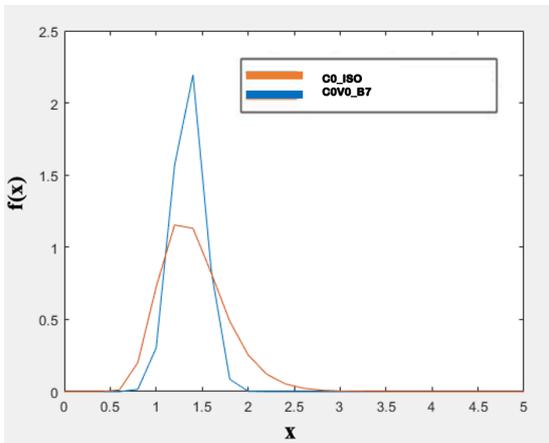
	C0_ISO	C0V0_B5	C0V90_B5	C90_ISO	C90V0_B5	C90V90_B5
MÉDIA ( $\mu$ )	1,41279832	1,134355592	1,219154845	1,098871427	1,115853637	1,136660515
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,129713218	0,141025634	0,148142542	0,08736932	0,13354483	0,11432462
DISTRIBUIÇÃO	Lognormal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	0,6948	0,4377	-	0,10581	0,26242

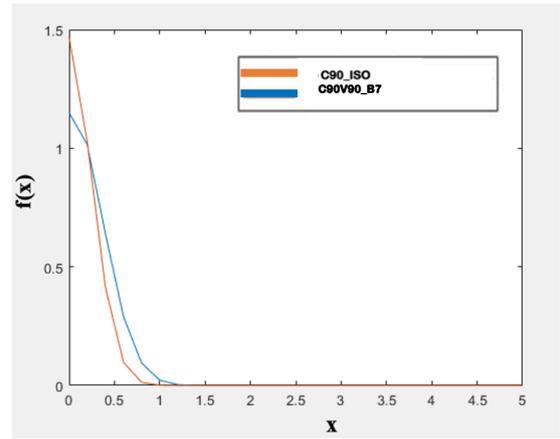
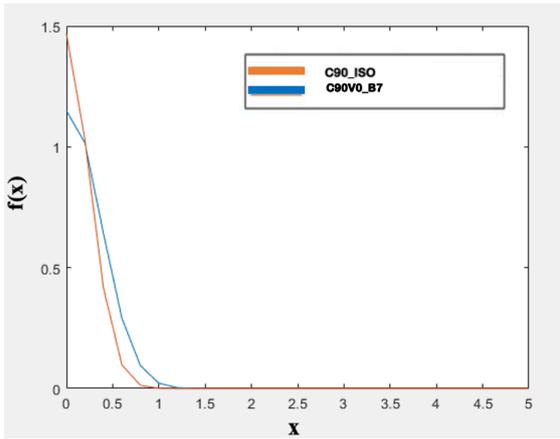


	C0_ISO	COV0_B6	COV90_B6	C90_ISO	C90V0_B6	C90V90_B6
MÉDIA ( $\mu$ )	1,41279832	1,428836778	1,442905641	1,098871427	1,011617055	1,11099134
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,129713218	0,183956927	0,162657868	0,08736932	0,124879509	0,110983168
DISTRIBUIÇÃO	Lognormal	Normal	Lognormal	Normal	Normal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	-0,1283	-0,0395	-	-0,57266	0,085362

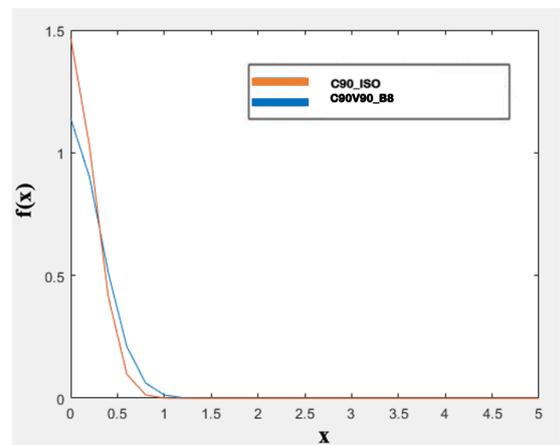
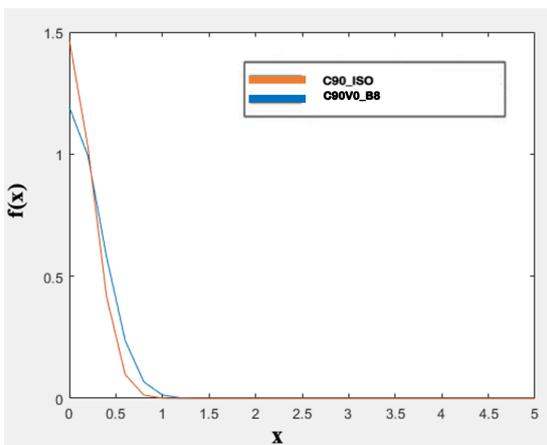
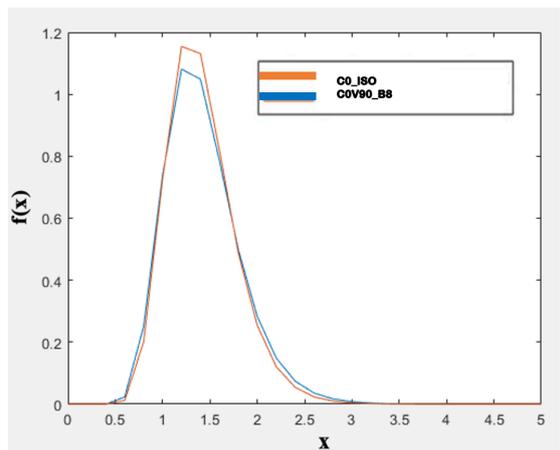
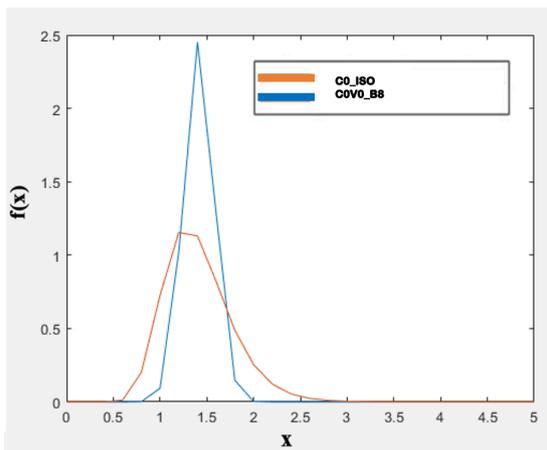


	C0_ISO	COV0_B7	COV90_B7	C90_ISO	C90V0_B7	C90V90_B7
MÉDIA ( $\mu$ )	1,41279832	1,351573271	1,402729464	1,098871427	1,069847694	1,134798793
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,129713218	0,174981772	0,162984532	0,08736932	0,12123241	0,100162241
DISTRIBUIÇÃO	Lognormal	Normal	Lognormal	Normal	Normal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	0,0702	0,0408	-	-0,19309	0,26933

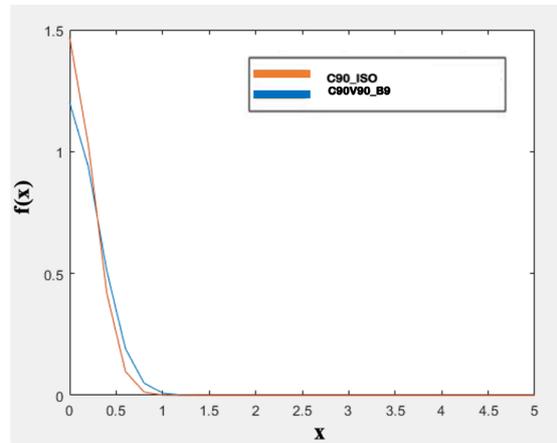
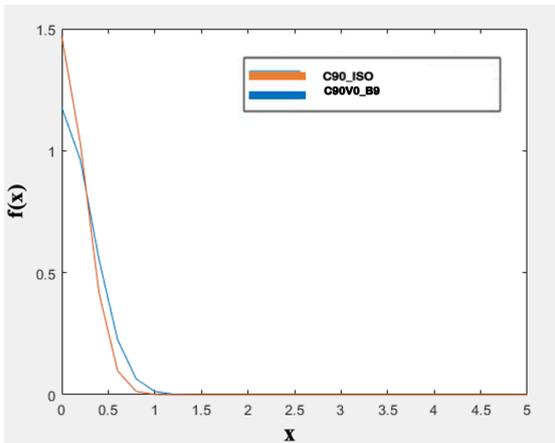
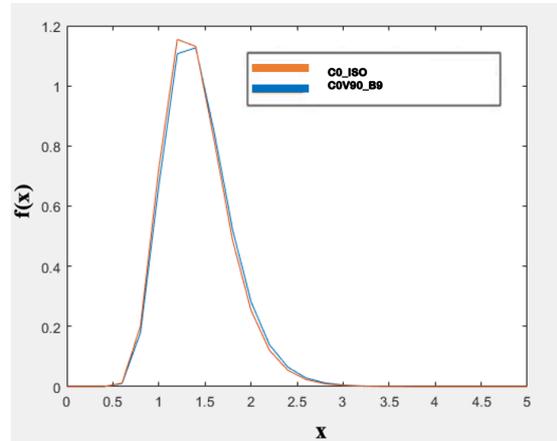
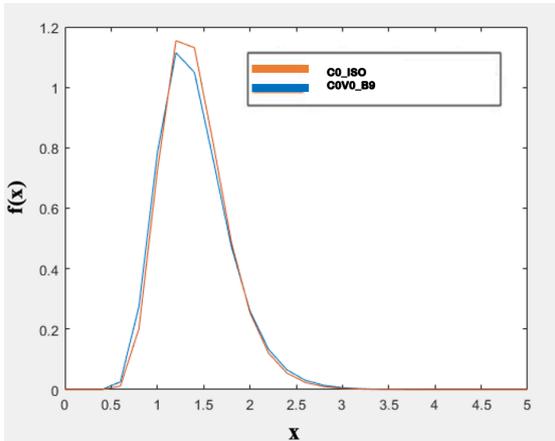




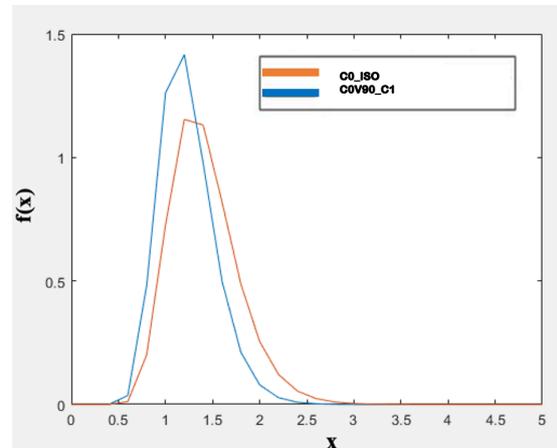
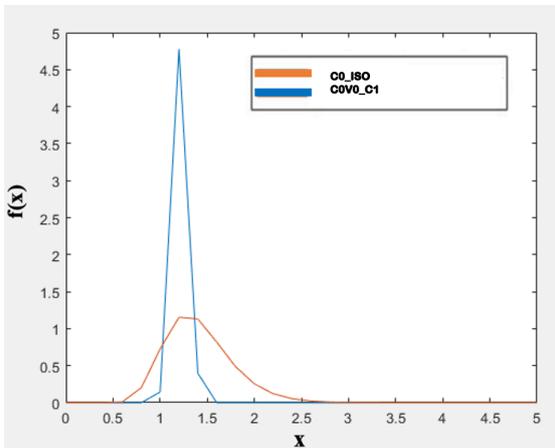
	C0_ISO	C0V0_B8	C0V90_B8	C90_ISO	C90V0_B8	C90V90_B8
MÉDIA ( $\mu$ )	1,41279832	1,414949036	1,426244331	1,098871427	1,117849034	1,137120951
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,129713218	0,162043869	0,155246089	0,08736932	0,10674249	0,09973203
DISTRIBUIÇÃO	Lognormal	Normal	Lognormal	Normal	Normal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	-0,988	-0,0108	-	0,13723	0,28804

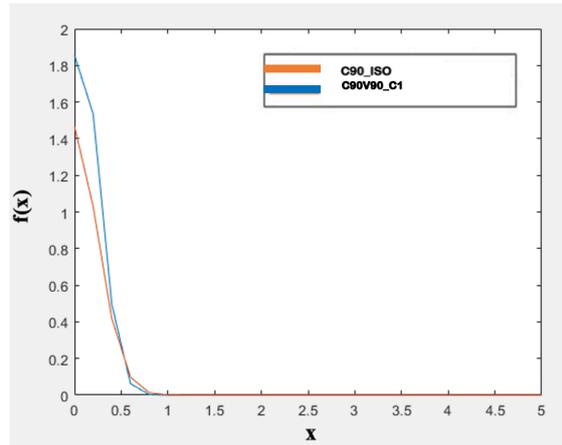
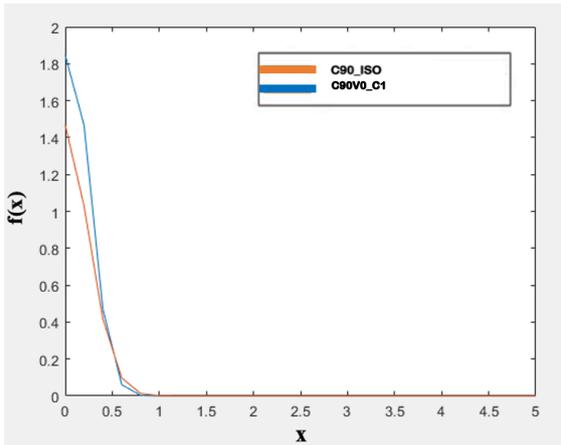


	C0_ISO	C0V0_B9	C0V90_B9	C90_ISO	C90V0_B9	C90V90_B9
MÉDIA ( $\mu$ )	1,41279832	1,404843	1,437222267	1,098871427	1,203593179	1,171145674
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,129713218	0,148754087	0,136367438	0,08736932	0,101545056	0,090912959
DISTRIBUIÇÃO	Lognormal	Lognormal	Lognormal	Normal	Normal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	0,0294	-0,0482	-	0,78179	0,57339

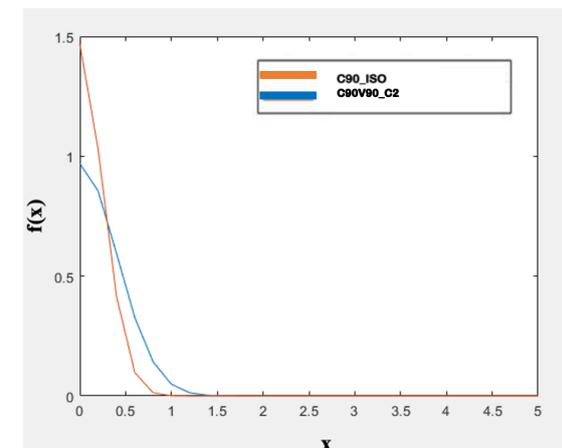
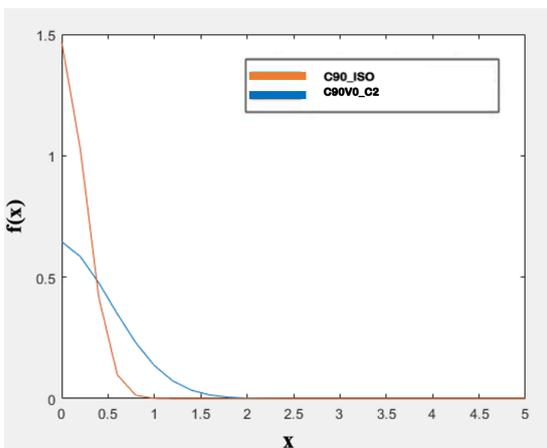
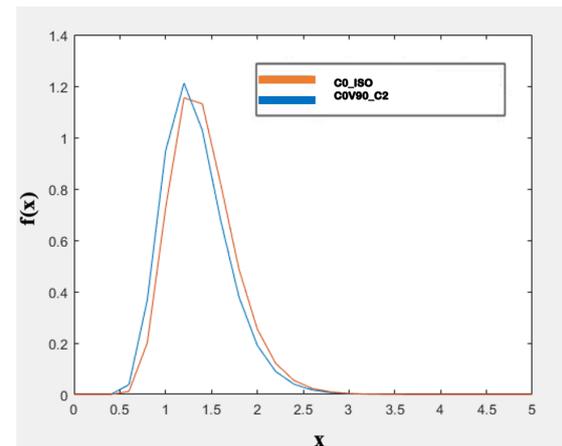
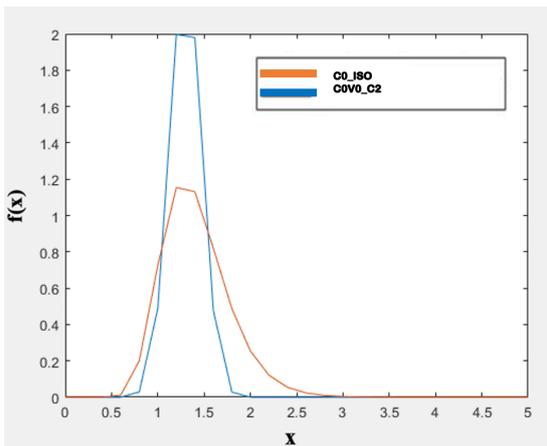


	C0_ISO	C0V0_C1	C0V90_C1	C90_ISO	C90V0_C1	C90V90_C1
MÉDIA ( $\mu$ )	1,41279832	1,216861384	1,232353054	1,098871427	1,18032541	1,171985129
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,129713218	0,081793192	0,086010314	0,08736932	0,132910835	0,110632608
DISTRIBUIÇÃO	Lognormal	Normal	Lognormal	Normal	Normal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	0,4623	0,3868	-	0,51173	0,51726

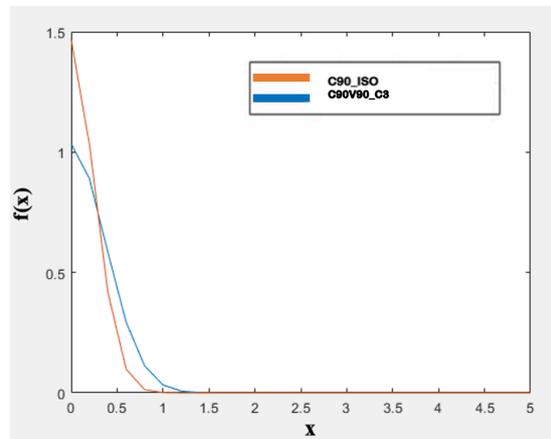
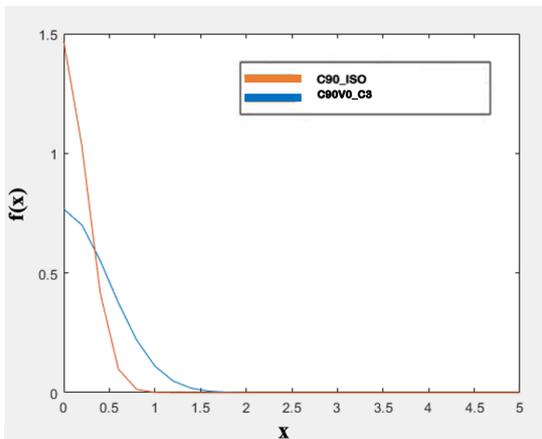
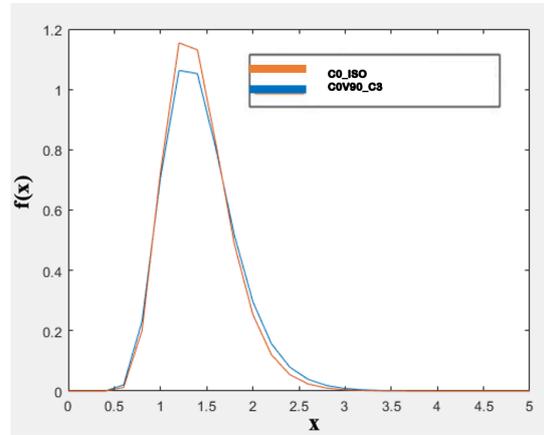
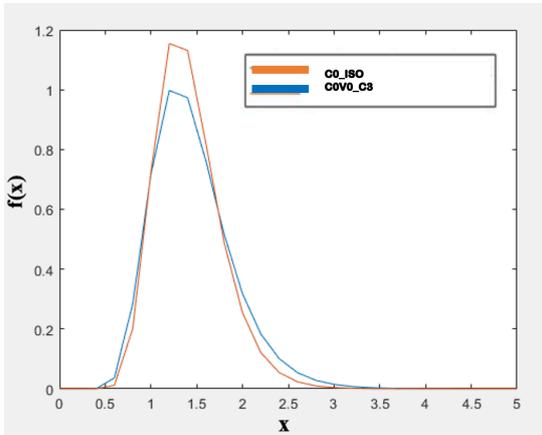




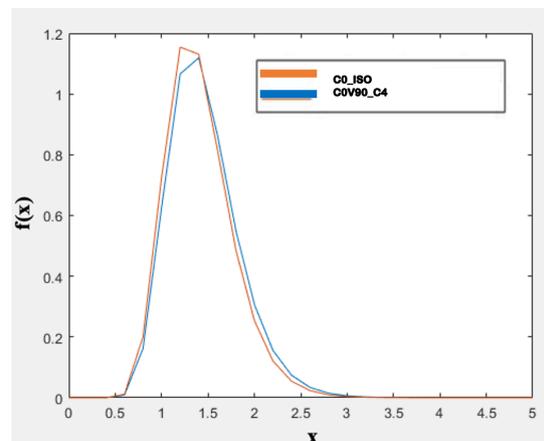
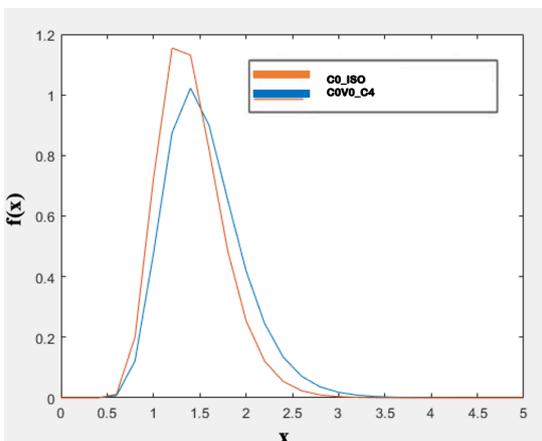
	C0_ISO	C0V0_C2	C0V90_C2	C90_ISO	C90V0_C2	C90V90_C2
MÉDIA ( $\mu$ )	1,41279832	1,298774489	1,336099581	1,098871427	1,187582148	1,160167503
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,129713218	0,168811892	0,129085788	0,08736932	0,129000389	0,099914221
DISTRIBUIÇÃO	Lognormal	Normal	Lognormal	Normal	Normal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	0,2102	0,1633	-	0,56938	0,462

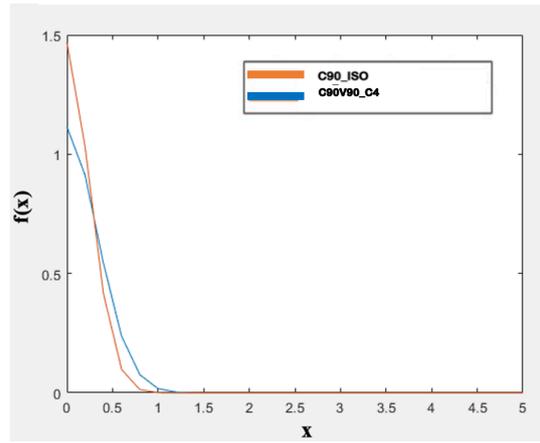
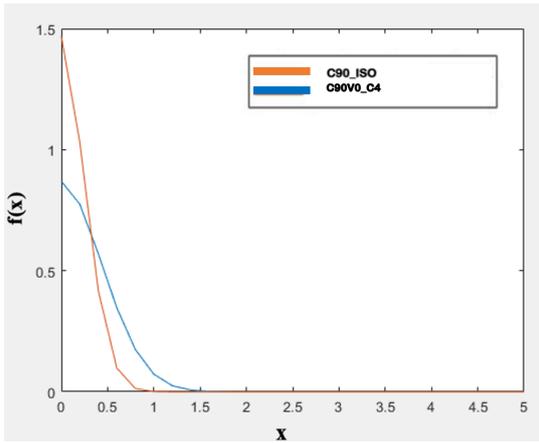


	C0_ISO	COV0_C3	COV90_C3	C90_ISO	C90V0_C3	C90V90_C3
MÉDIA ( $\mu$ )	1,41279832	1,453772746	1,439962711	1,098871427	1,205521464	1,152553665
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,129713218	0,189230818	0,157584343	0,08736932	0,117495929	0,096509247
DISTRIBUIÇÃO	Lognormal	Lognormal	Lognormal	Normal	Normal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	-0,0438	-0,0381	-	0,72858	0,41268

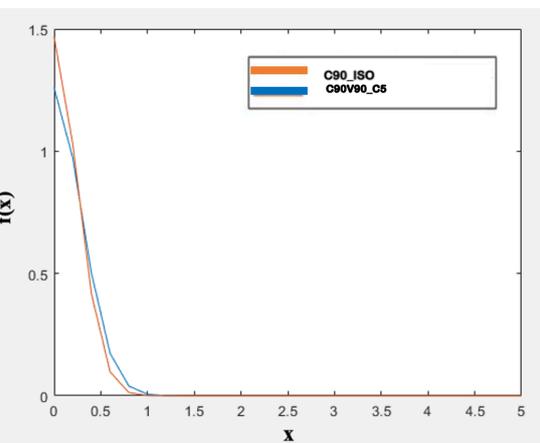
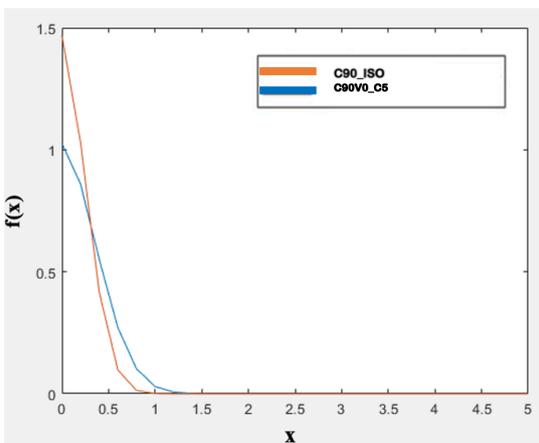
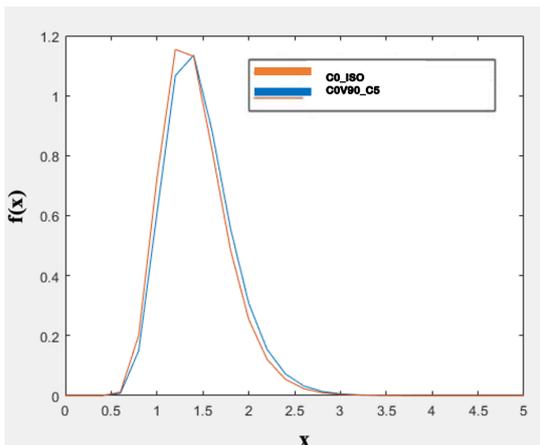
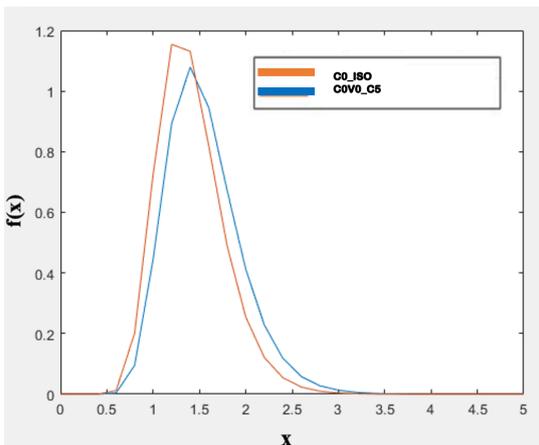


	C0_ISO	COV0_C4	COV90_C4	C90_ISO	C90V0_C4	C90V90_C4
MÉDIA ( $\mu$ )	1,41279832	1,555810833	1,457922096	1,098871427	1,21335268	1,157812898
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,129713218	0,182611045	0,142200683	0,08736932	0,104668792	0,09381981
DISTRIBUIÇÃO	Lognormal	Lognormal	Lognormal	Normal	Normal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	-0,2477	-0,0869	-	0,84259	0,46013

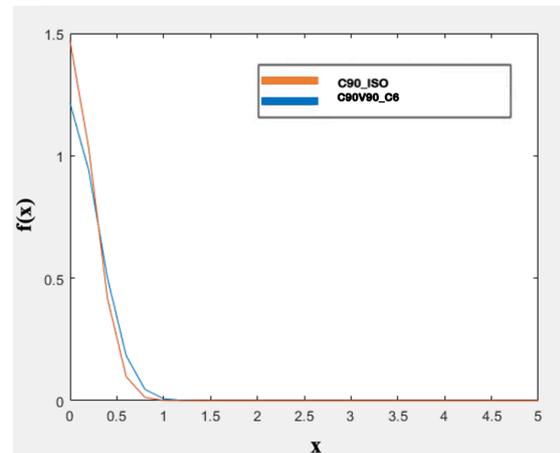
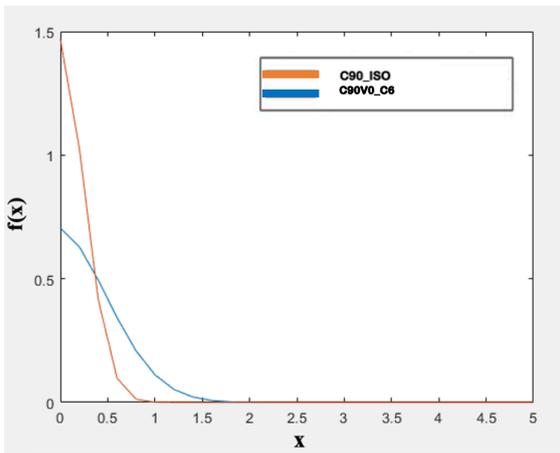
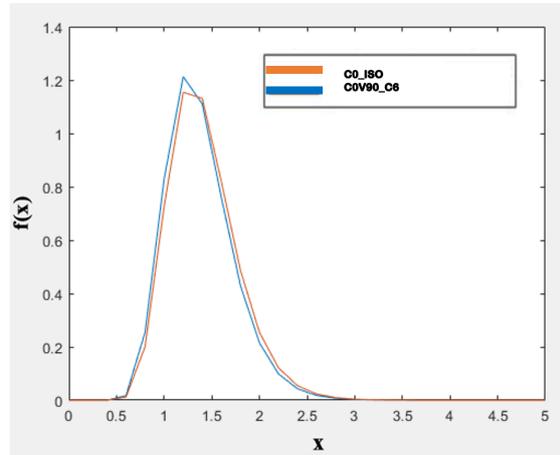
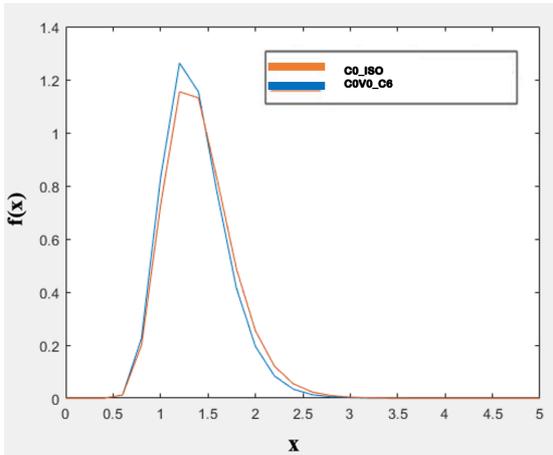




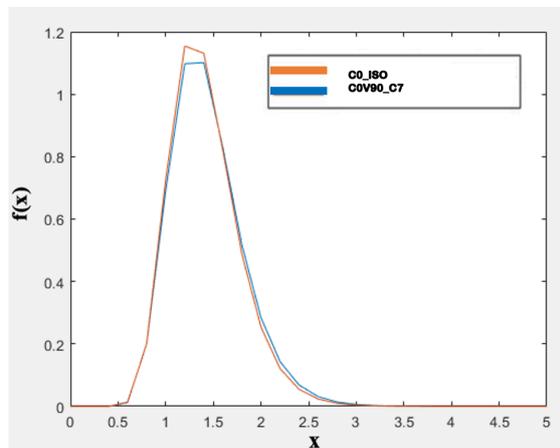
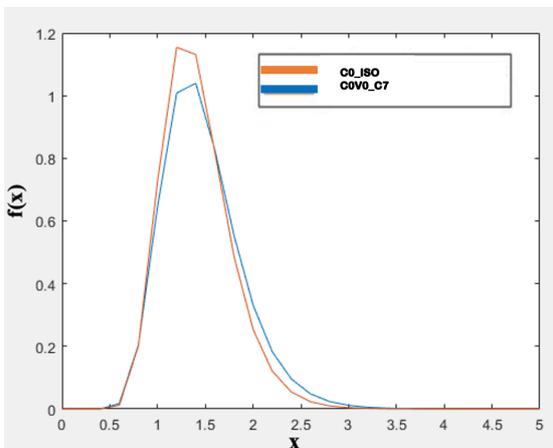
	C0_ISO	C0V0_C5	C0V90_C5	C90_ISO	C90V0_C5	C90V90_C5
MÉDIA ( $\mu$ )	1,41279832	1,54742657	1,460660234	1,098871427	1,295432465	1,214567837
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,129713218	0,160897394	0,138520596	0,08736932	0,112891023	0,096840076
DISTRIBUIÇÃO	Lognormal	Lognormal	Lognormal	Normal	Normal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	-0,2514	-0,0938	-	1,3776	0,88711

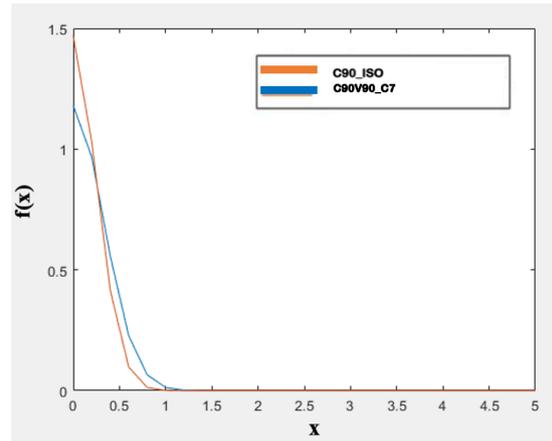
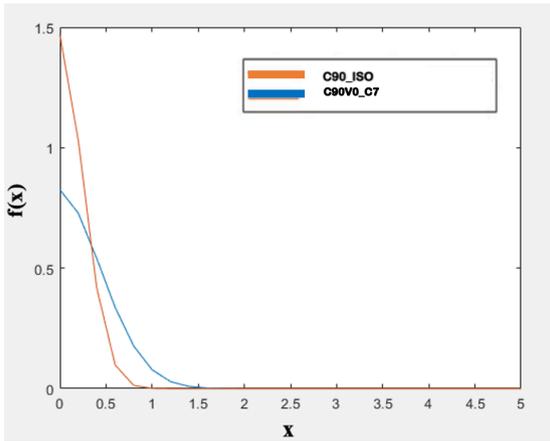


	C0_ISO	C0V0_C6	C0V90_C6	C90_ISO	C90V0_C6	C90V90_C6
MÉDIA ( $\mu$ )	1,41279832	1,366974835	1,374566687	1,098871427	1,24437311	1,182818424
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,129713218	0,111889353	0,123468947	0,08736932	0,106240327	0,087612543
DISTRIBUIÇÃO	Lognormal	Lognormal	Lognormal	Normal	Normal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	0,0893	0,0763	-	1,0571	0,67976

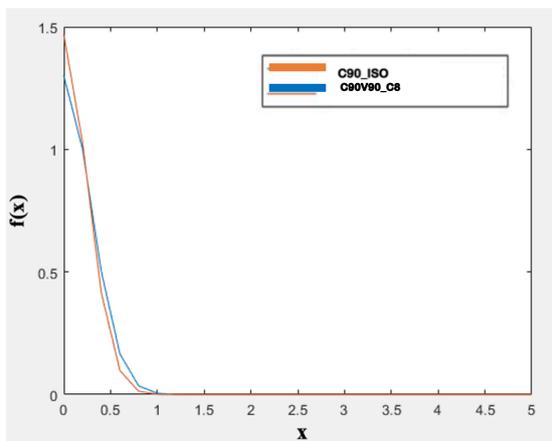
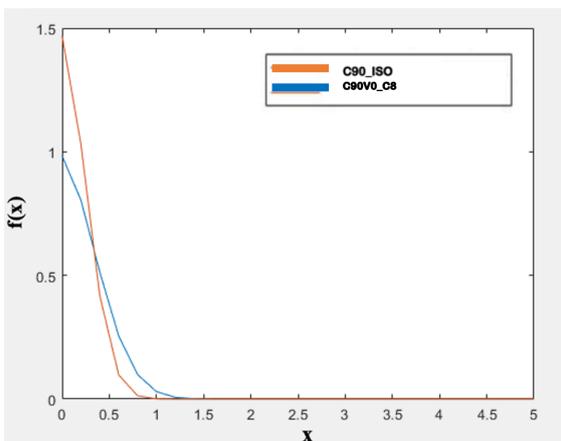
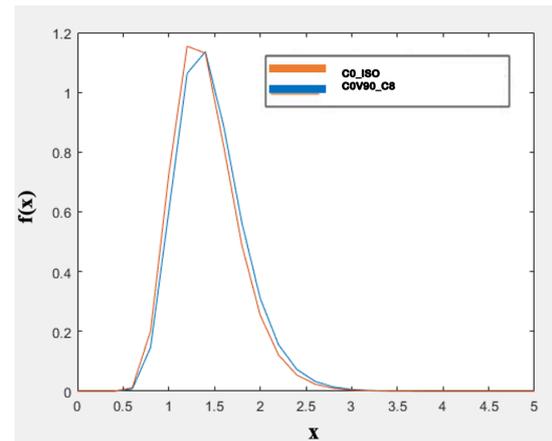
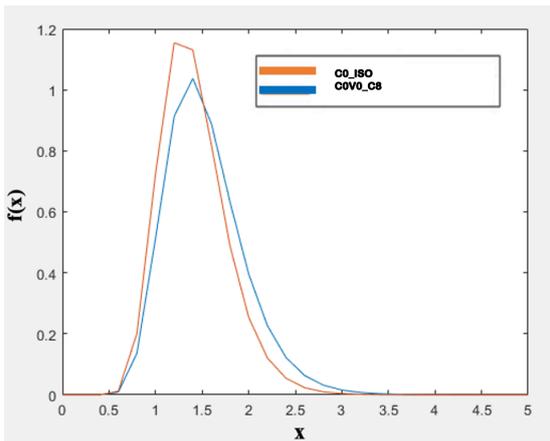


	C0_ISO	C0V0_C7	C0V90_C7	C90_ISO	C90V0_C7	C90V90_C7
MÉDIA ( $\mu$ )	1,41279832	1,472434932	1,434910505	1,098871427	1,226872492	1,161378119
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,129713218	0,168690115	0,142438278	0,08736932	0,09994422	0,090252442
DISTRIBUIÇÃO	Lognormal	Lognormal	Lognormal	Normal	Normal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	-0,0964	-0,0367	-	0,96366	0,4983



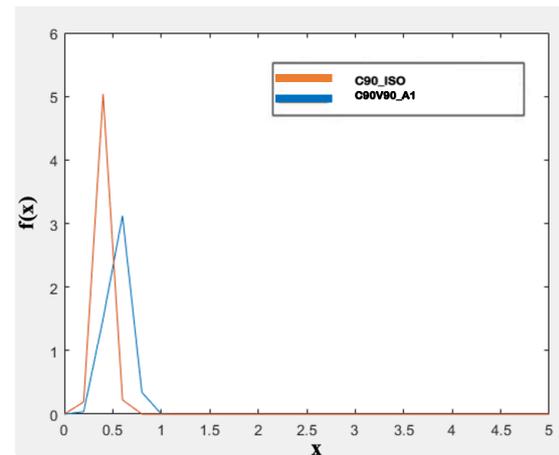
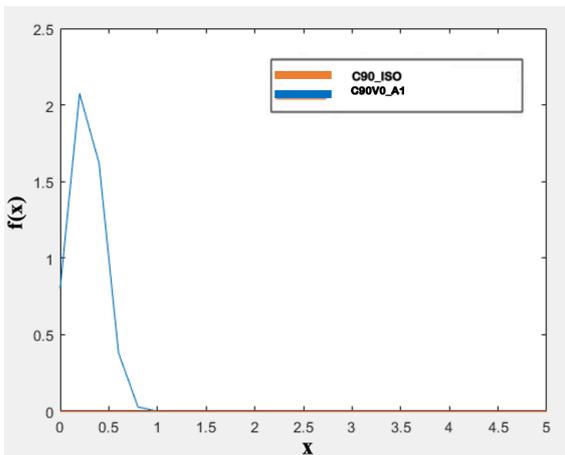
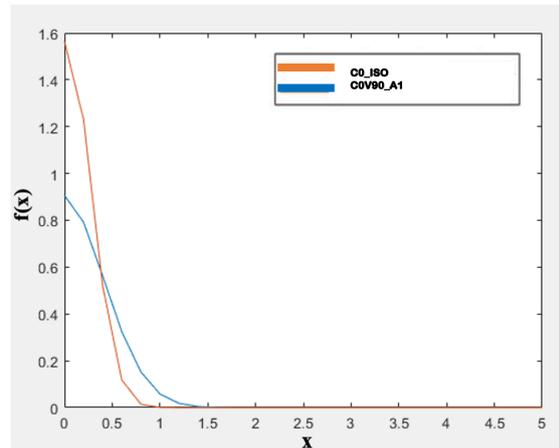
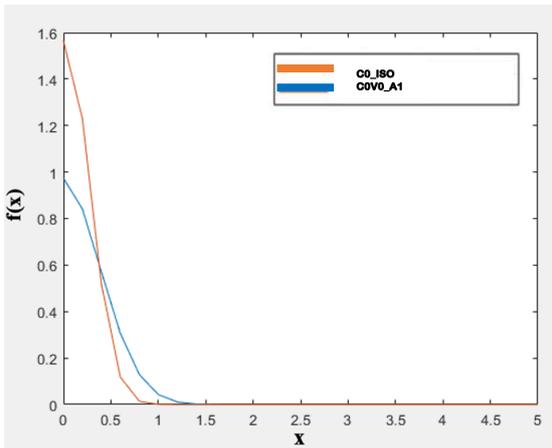


	C0_ISO	C0V0_C8	C0V90_C8	C90_ISO	C90V0_C8	C90V90_C8
MÉDIA ( $\mu$ )	1,41279832	1,533964289	1,463150912	1,098871427	-0,20219442	1,098871427
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,129713218	0,176566772	0,138616546	0,08736932	0,068546881	0,08736932
DISTRIBUIÇÃO	Lognormal	Lognormal	Lognormal	Normal	Normal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	-0,2126	-0,0988	-	0,95231	0,00025735

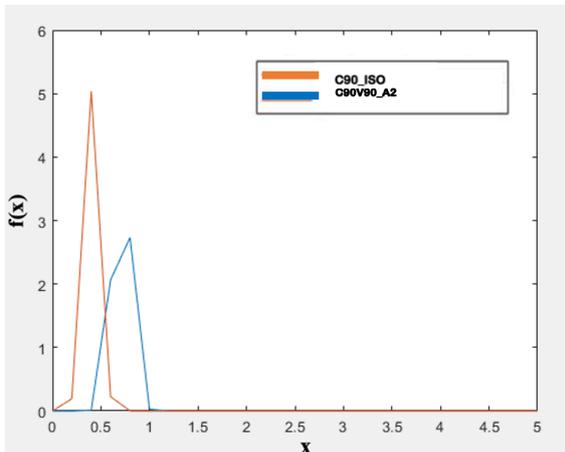
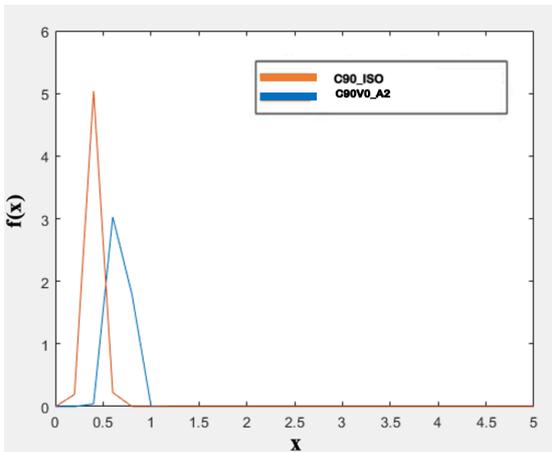
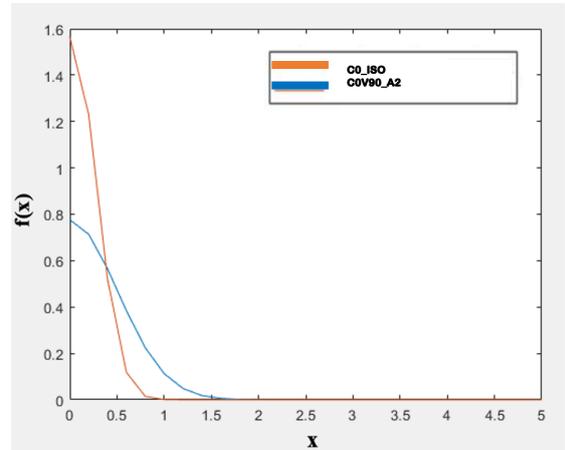
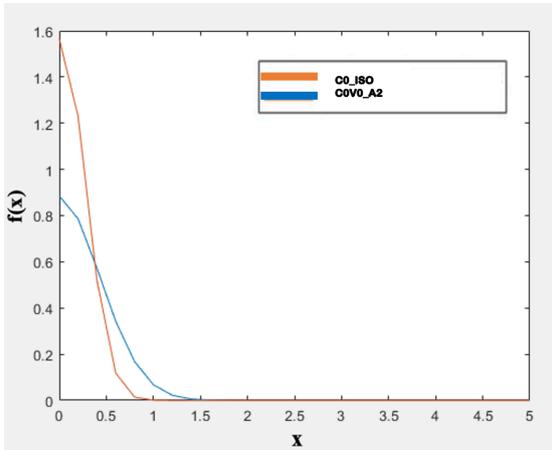


## A.2 DADOS CALCULADOS E GRÁFICOS DE DISTRIBUIÇÕES DE MÉDIA PARA FORÇA NA DIREÇÃO TRANSVERSAL AO VENTO

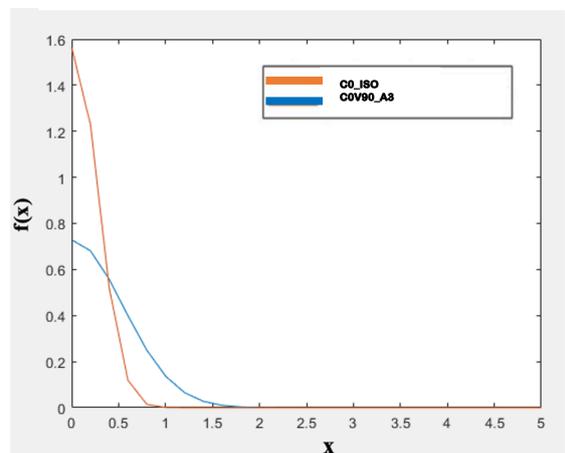
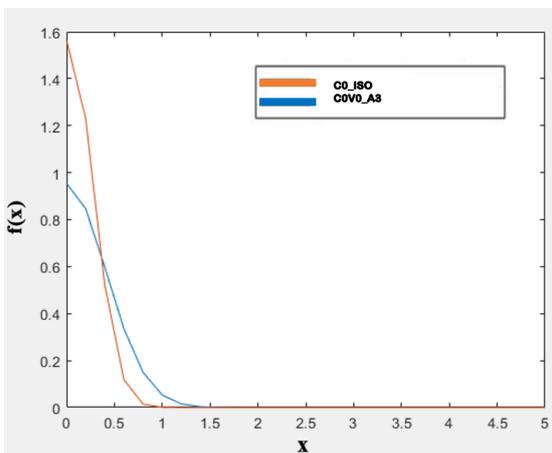
	C0_ISO	C0V0_A1	C0V90_A1	C90_ISO	C90V0_A1	C90V90_A1
MÉDIA ( $\mu$ )	0,002148448	-0,022637854	-0,030117509	-0,029446379	0,049177728	0,059550641
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,569762961	0,408914718	0,43916314	0,270029247	0,210214945	0,206098059
DISTRIBUIÇÃO	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	-0,035144	-0,044317	-	0,22822	0,26262

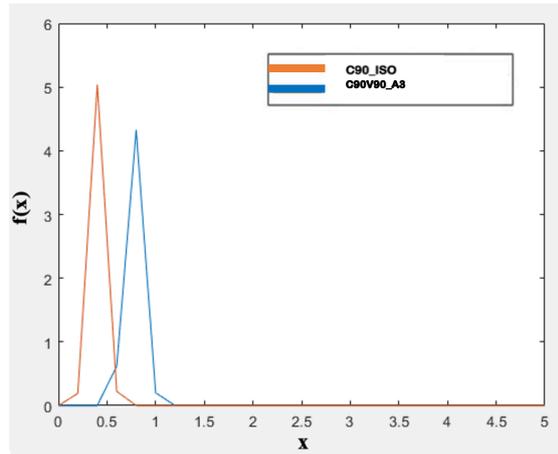
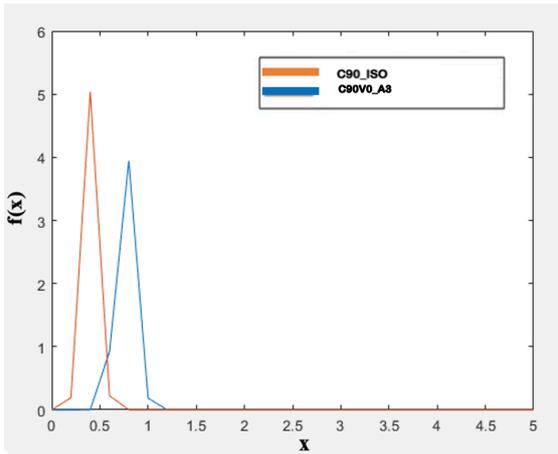


	C0_ISO	C0V0_A2	C0V90_A2	C90_ISO	C90V0_A2	C90V90_A2
MÉDIA ( $\mu$ )	0,002148448	-0,02082853	-0,010136975	-0,029446379	0,021686313	0,023351524
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,569762961	0,450138621	0,513907344	0,270029247	0,387913733	0,337735965
DISTRIBUIÇÃO	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	-0,031293	-0,016682	-	0,10816	0,12095

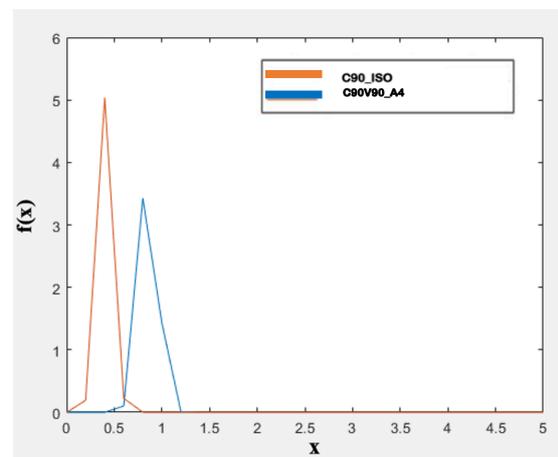
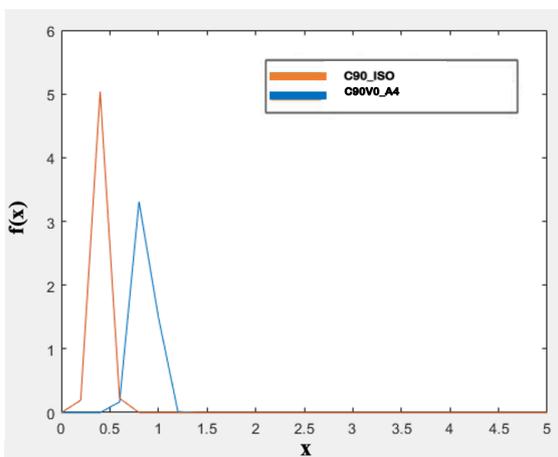
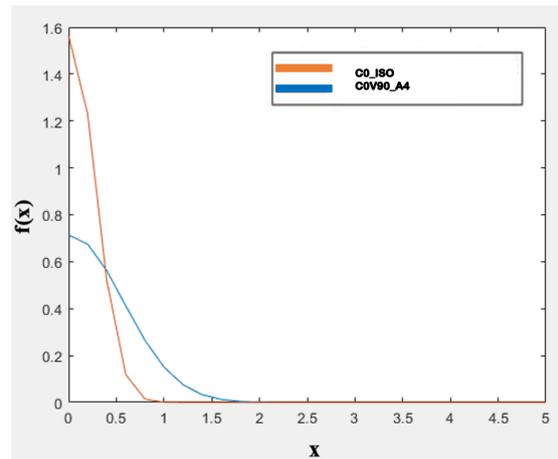
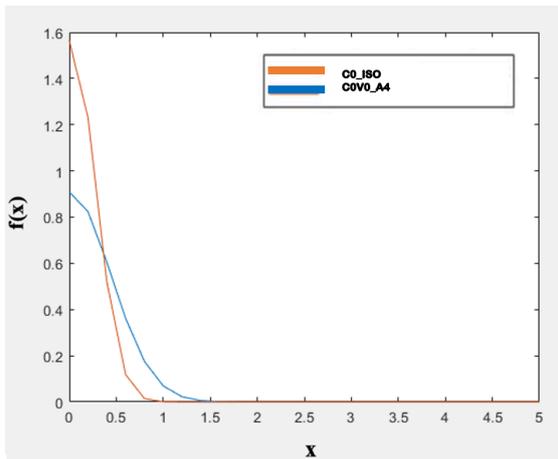


	C0_ISO	C0V0_A3	C0V90_A3	C90_ISO	C90V0_A3	C90V90_A3
MÉDIA ( $\mu$ )	0,002148448	-0,005039092	0,001209027	-0,029446379	0,020193791	0,027358478
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,569762961	0,417823645	0,547346522	0,270029247	0,372177069	0,310015527
DISTRIBUIÇÃO	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	-0,010545	-0,0014129	-	0,10756	0,13877

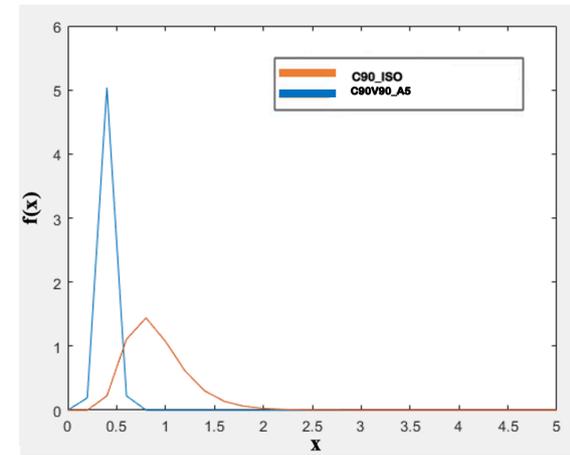
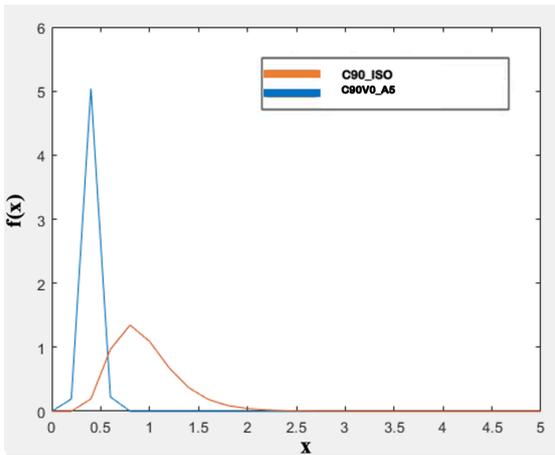
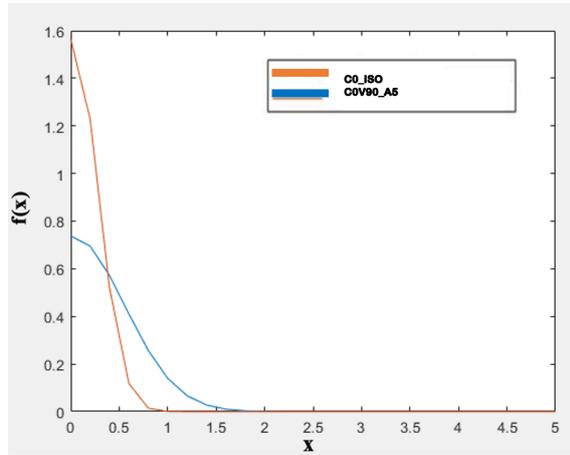
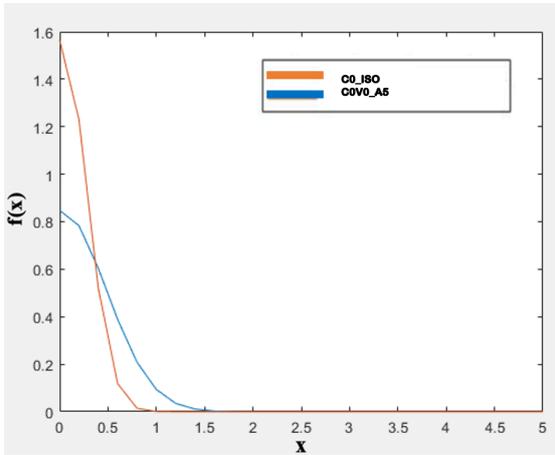




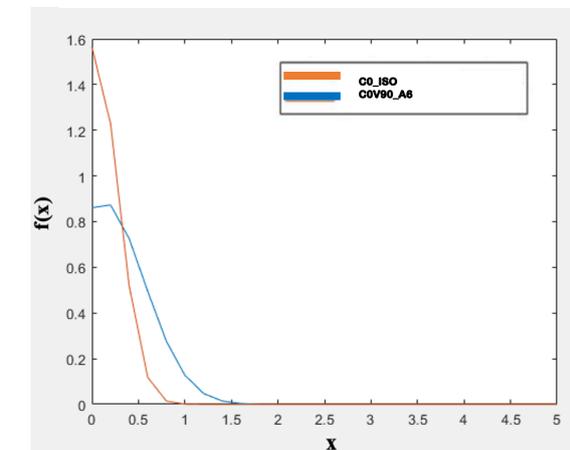
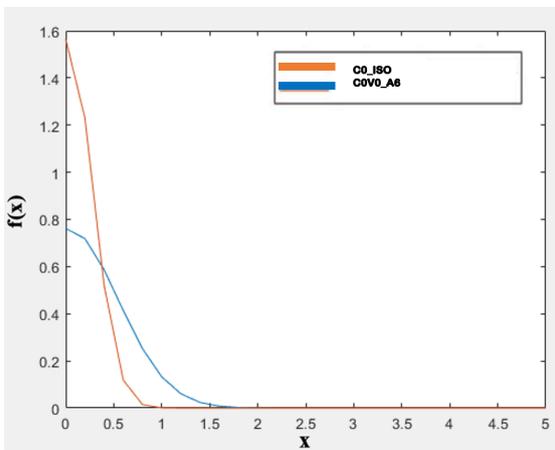
	C0_ISO	C0V0_A4	C0V90_A4	C90_ISO	C90V0_A4	C90V90_A4
MÉDIA ( $\mu$ )	0,002148448	0,004126254	0,01302015	-0,029446379	0,028565078	0,02534737
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,569762961	0,438678755	0,558886057	0,270029247	0,271254199	0,287562593
DISTRIBUIÇÃO	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	0,0023395	0,013271	-	0,15239	0,13853

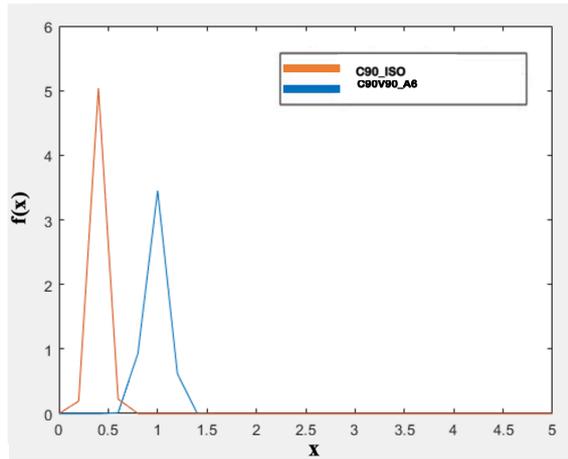
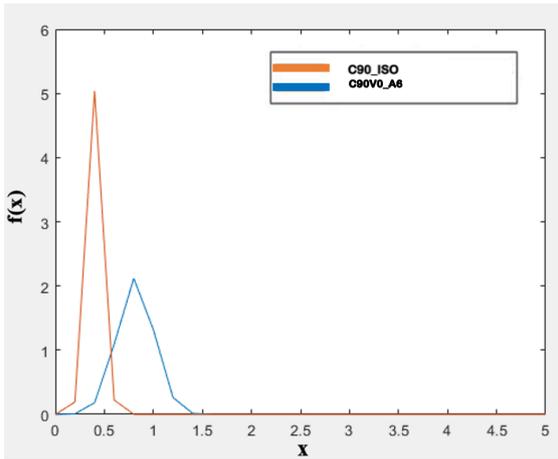


	C0_ISO	C0V0_A5	C0V90_A5	C90_ISO	C90V0_A5	C90V90_A5
MÉDIA ( $\mu$ )	0,002148448	0,012249861	0,013905302	-0,029446379	0,022151651	0,01331265
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,569762961	0,470391472	0,540697907	0,270029247	0,234652059	0,247576125
DISTRIBUIÇÃO	Normal	Normal	Normal	Normal	Lognormal	Lognormal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	0,015414	0,015156	-	0,14599	0,11711

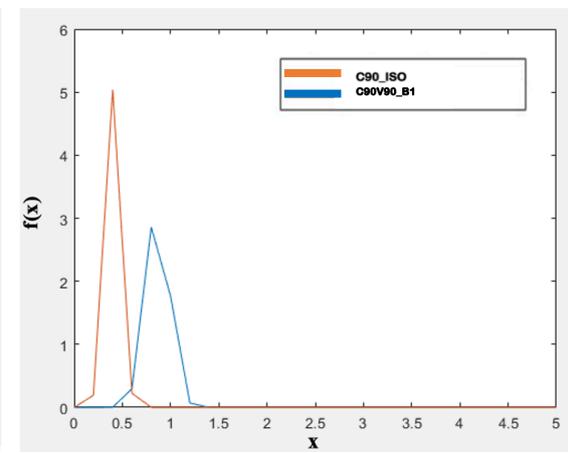
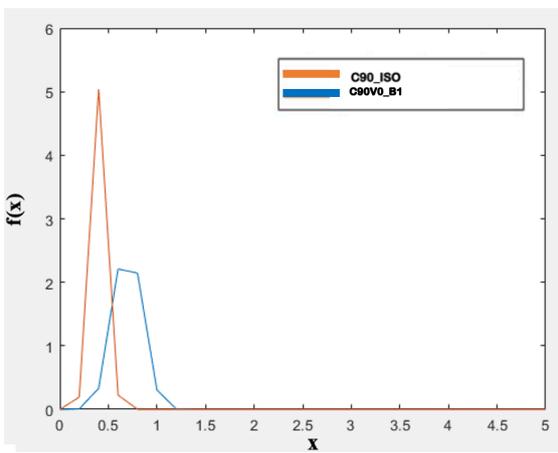
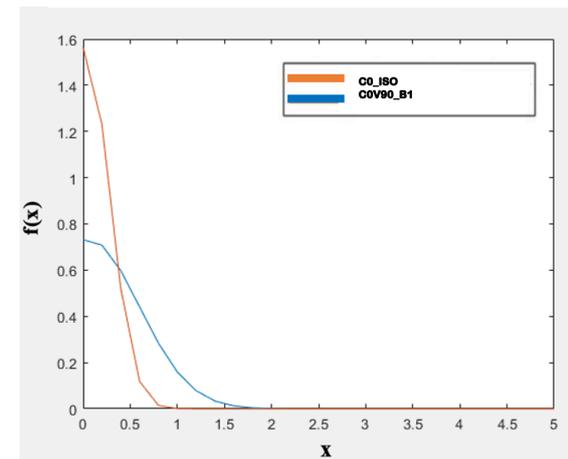
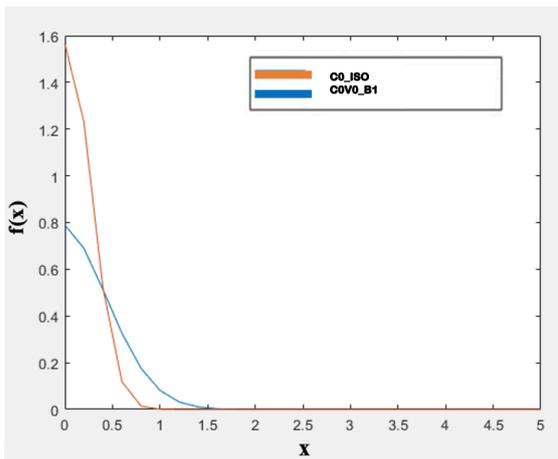


	C0_ISO	C0V0_A6	C0V90_A6	C90_ISO	C90V0_A6	C90V90_A6
MÉDIA ( $\mu$ )	0,002148448	0,020668795	0,114296892	-0,029446379	0,011857525	0,005735706
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,569762961	0,523296482	0,448581722	0,270029247	0,229750178	0,239769504
DISTRIBUIÇÃO	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	0,023483	0,15567	-	0,11833	0,098569

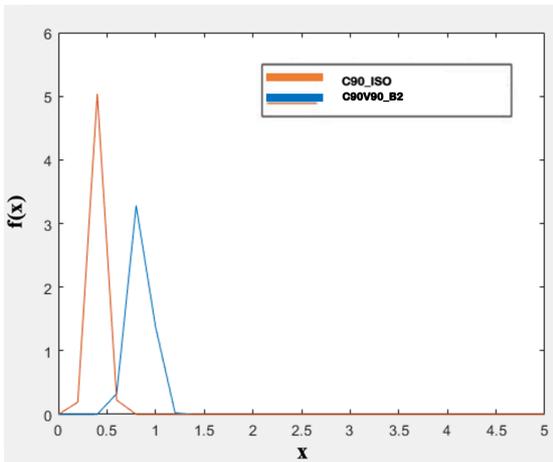
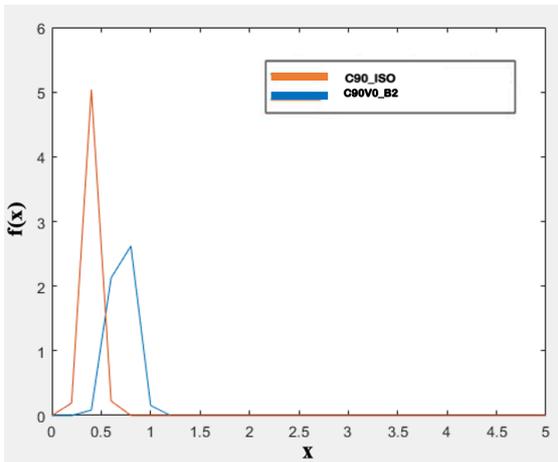
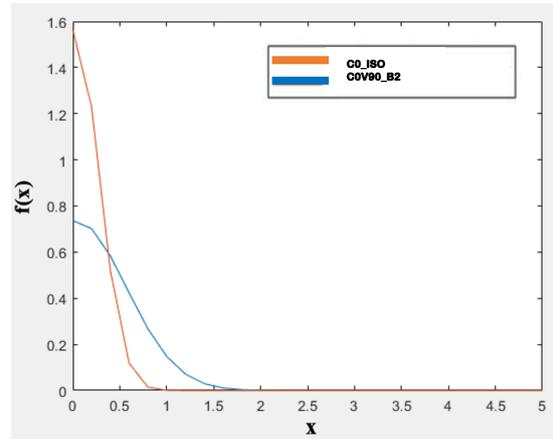
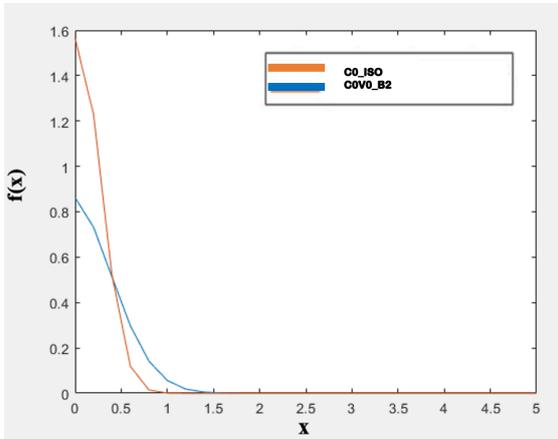




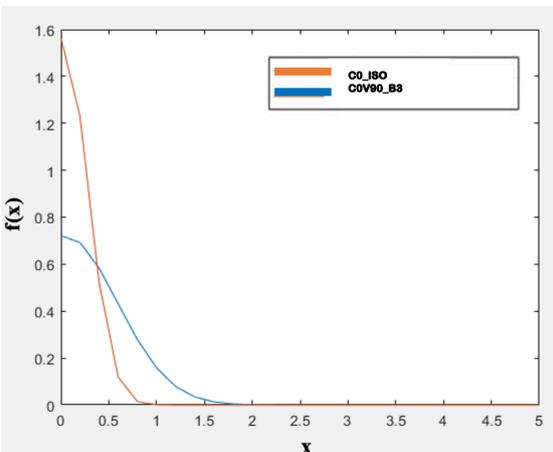
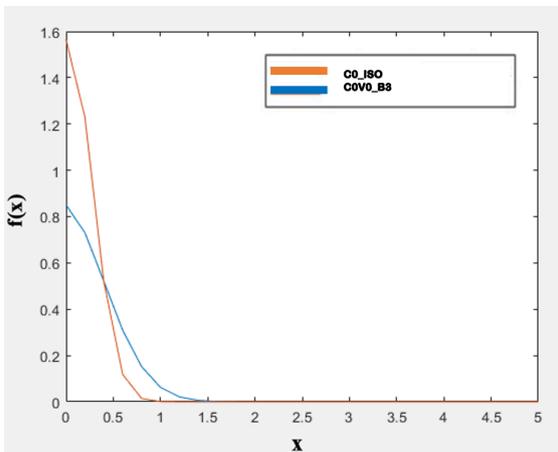
	C0_ISO	C0V0_B1	C0V90_B1	C90_ISO	C90V0_B1	C90V90_B1
MÉDIA ( $\mu$ )	0,002148448	-0,069813801	0,050790102	-0,029446379	0,118425291	-0,02424671
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,569762961	0,500382263	0,542677246	0,270029247	0,366166925	0,345058265
DISTRIBUIÇÃO	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	-0,093978	0,060976	-	0,32606	0,010493

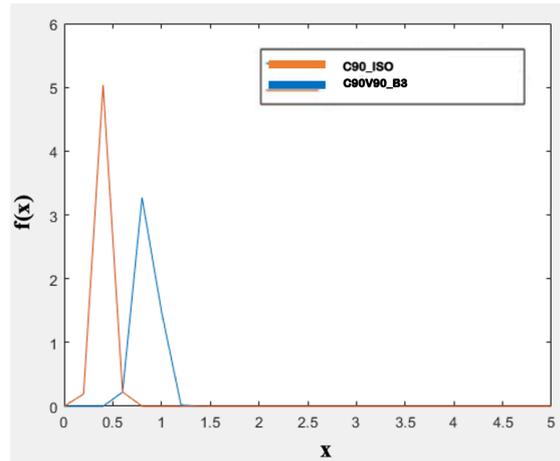
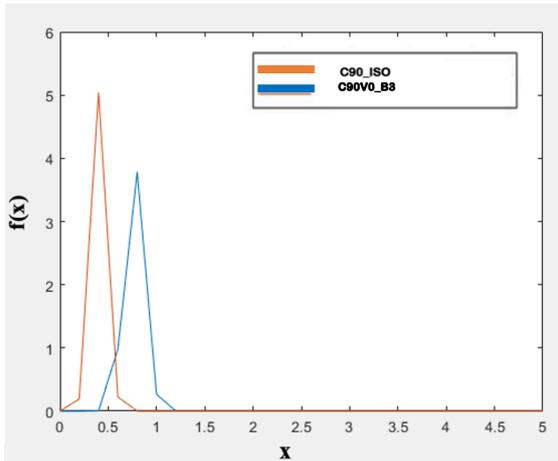


	C0_ISO	COV0_B2	COV90_B2	C90_ISO	C90V0_B2	C90V90_B2
MÉDIA ( $\mu$ )	0,002148448	-0,071366401	0,029314249	-0,029446379	0,021917235	0,018576625
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,569762961	0,456837587	0,540904158	0,270029247	0,335020729	0,286553233
DISTRIBUIÇÃO	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	-0,10112	0,034792	-	0,11828	0,12151

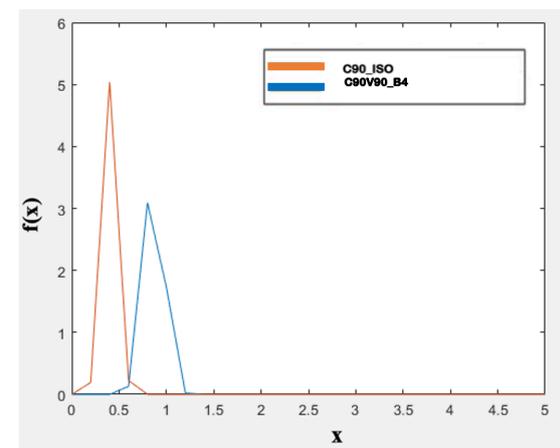
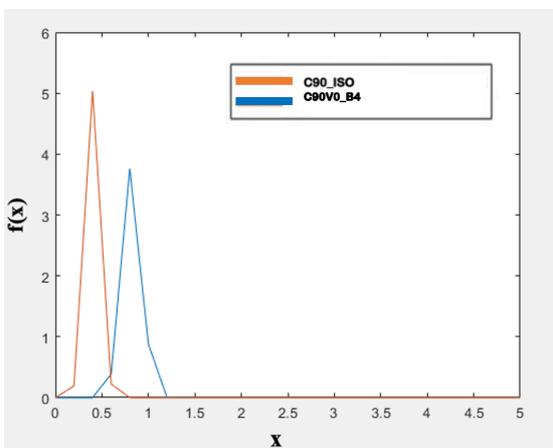
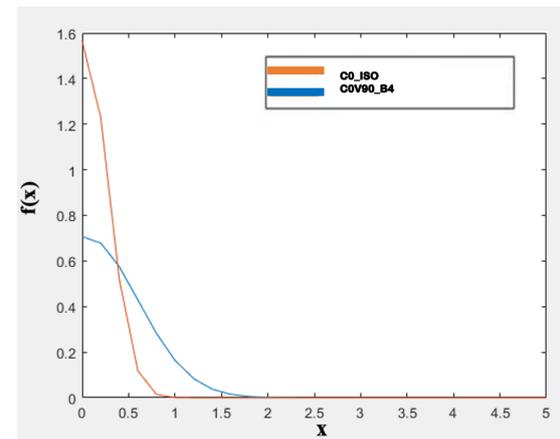
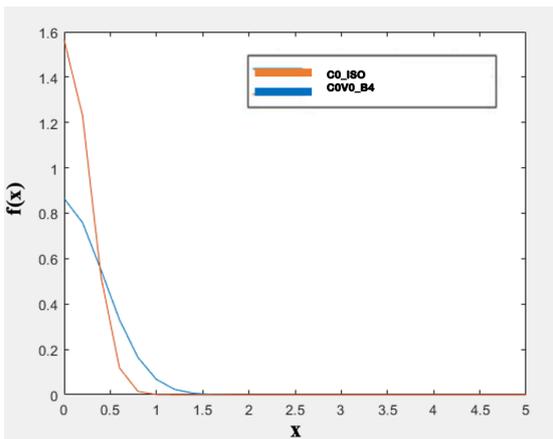


	C0_ISO	COV0_B3	COV90_B3	C90_ISO	C90V0_B3	C90V90_B3
MÉDIA ( $\mu$ )	0,002148448	-0,064335292	0,037536105	-0,029446379	0,026929316	0,033640993
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,569762961	0,464529169	0,551772452	0,270029247	0,268391381	0,279201835
DISTRIBUIÇÃO	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	-0,090353	0,045343	-	0,14712	0,16247

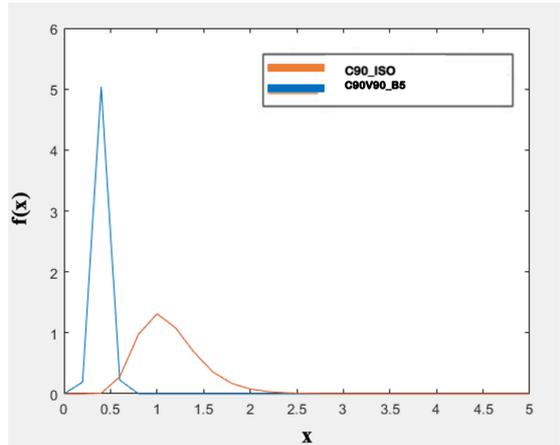
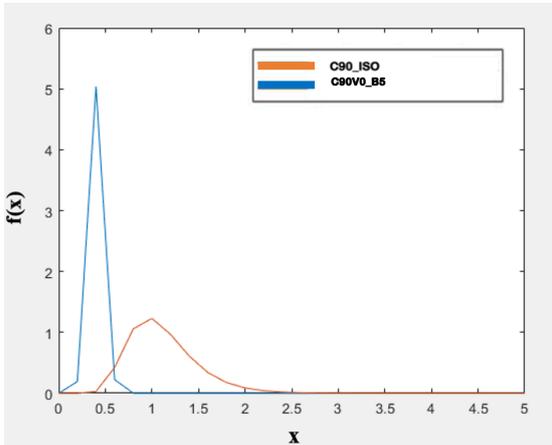
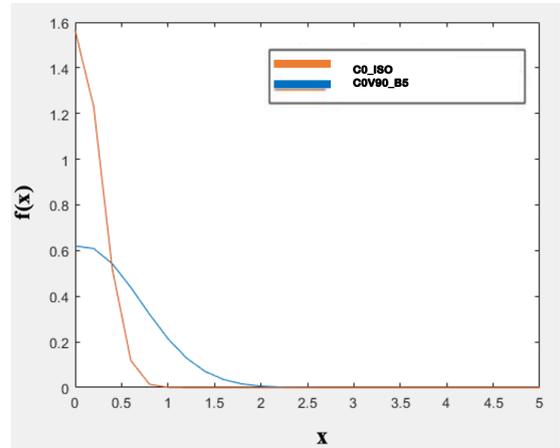
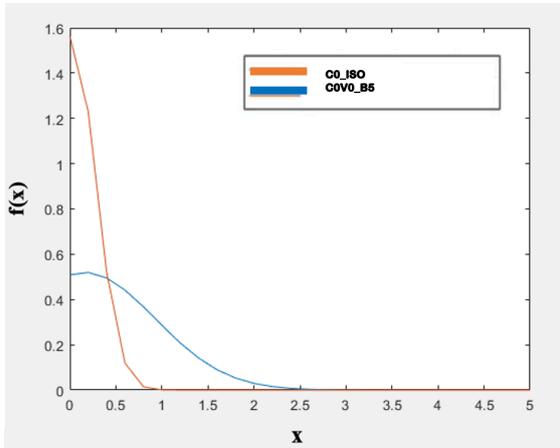




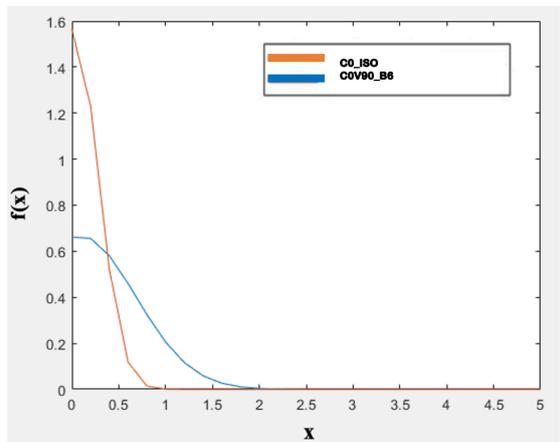
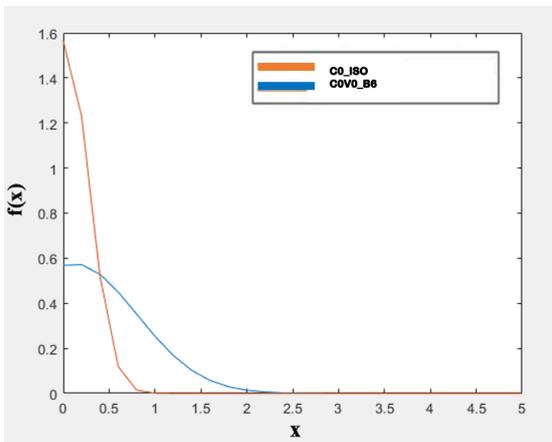
	C0_ISO	C0V0_B4	C0V90_B4	C90_ISO	C90V0_B4	C90V90_B4
MÉDIA ( $\mu$ )	0,002148448	-0,038929198	0,035982798	-0,029446379	0,049842494	0,033852618
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,569762961	0,459378246	0,563393705	0,270029247	0,234885072	0,270458973
DISTRIBUIÇÃO	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	-0,056606	0,043023	-	0,22251	0,1655

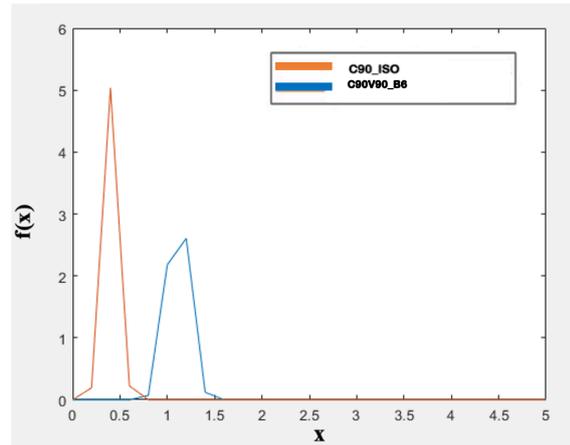
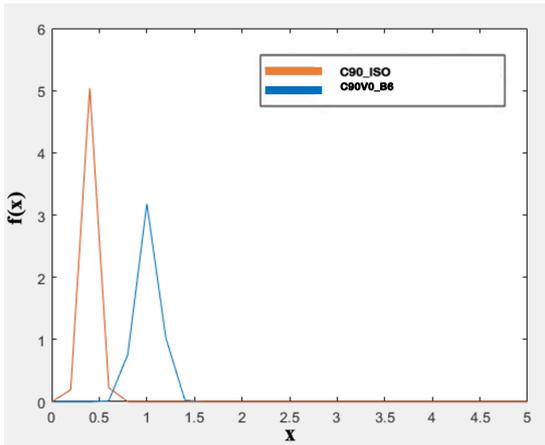


	C0_ISO	COV0_B5	COV90_B5	C90_ISO	C90V0_B5	C90V90_B5
MÉDIA ( $\mu$ )	0,002148448	0,160456021	0,063156045	-0,029446379	0,063191874	0,019659295
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,569762961	0,767142767	0,6402547	0,270029247	0,2289205	0,254236227
DISTRIBUIÇÃO	Normal	Normal	Normal	Normal	Lognormal	Lognormal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	0,16624	0,071278	-	0,26095	0,13223

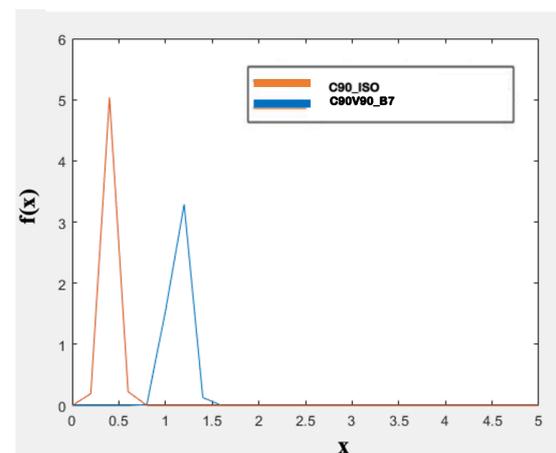
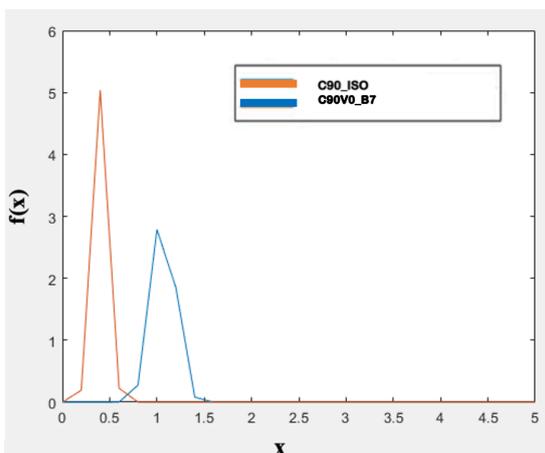
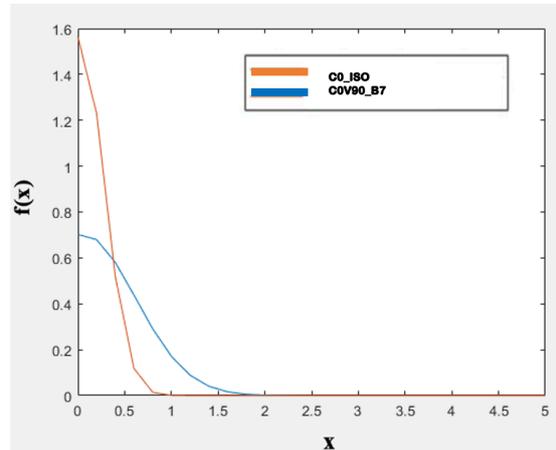
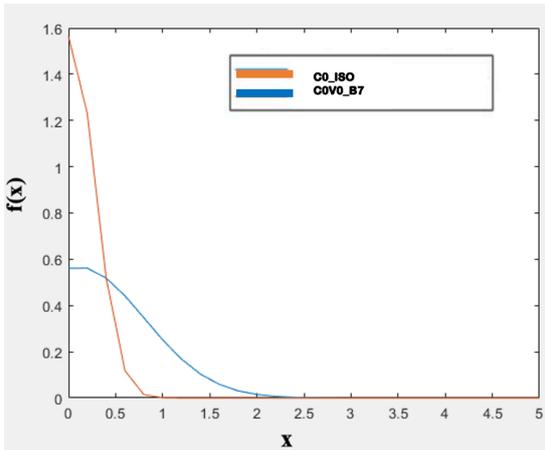


	C0_ISO	COV0_B6	COV90_B6	C90_ISO	C90V0_B6	C90V90_B6
MÉDIA ( $\mu$ )	0,002148448	0,111918208	0,083008614	-0,029446379	0,005798328	-0,04269304
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,569762961	0,692555311	0,597007975	0,270029247	0,41941605	0,407804403
DISTRIBUIÇÃO	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	0,12215	0,097565	-	0,071259	-0,026001

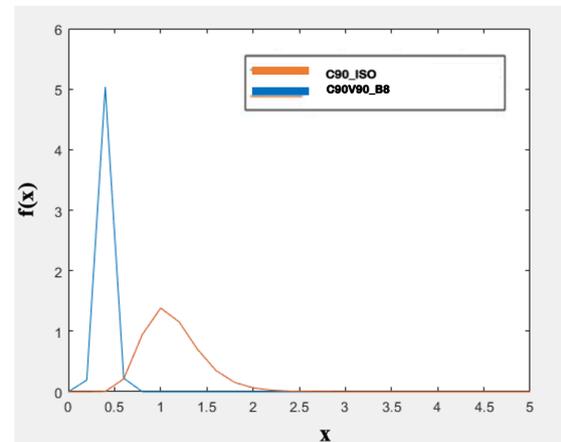
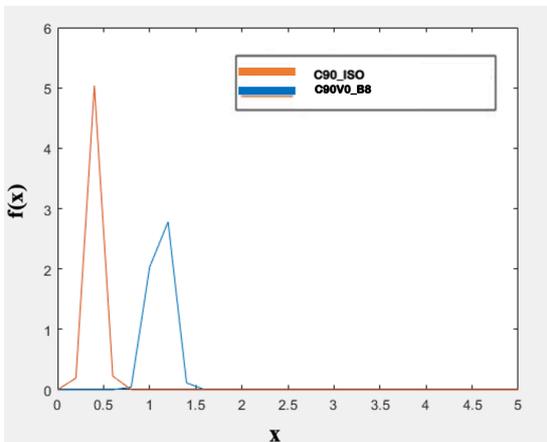
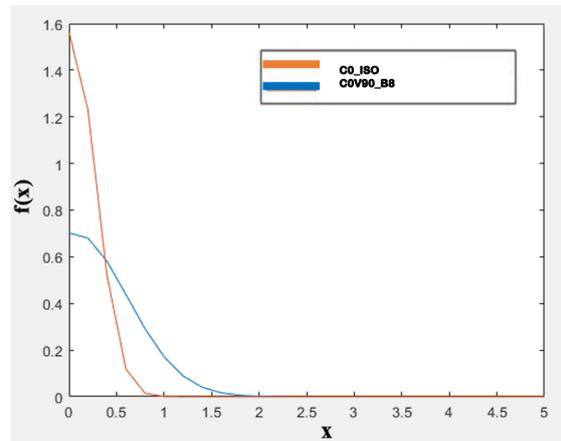
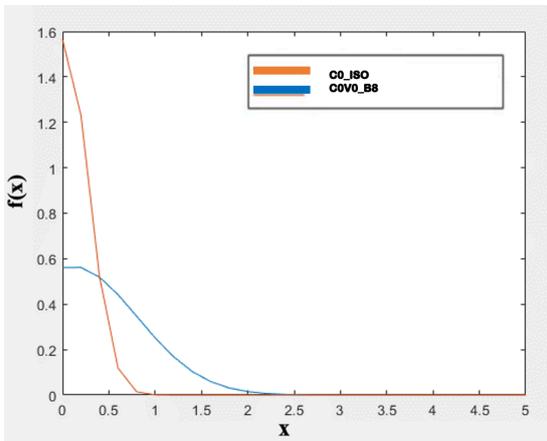




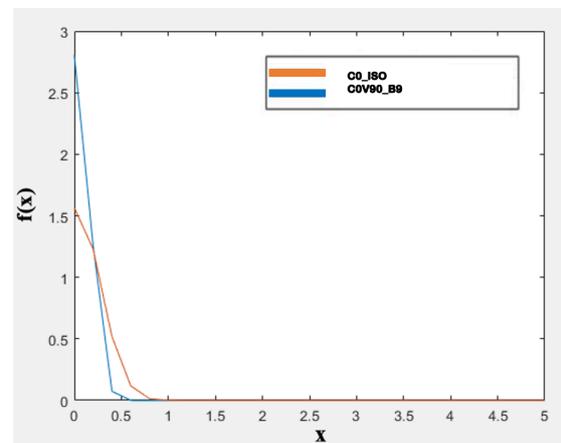
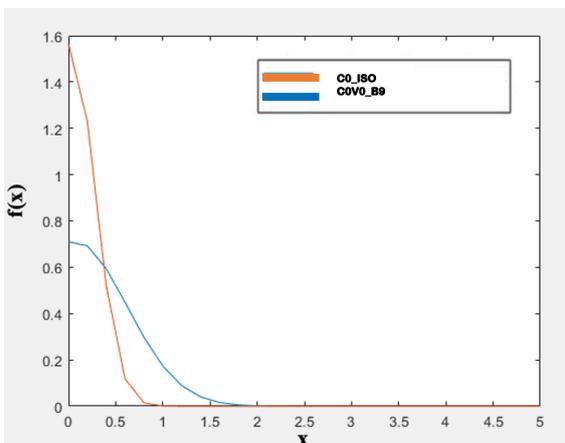
	C0_ISO	C0V0_B7	C0V90_B7	C90_ISO	C90V0_B7	C90V90_B7
MÉDIA ( $\mu$ )	0,002148448	0,102594209	0,047574747	-0,029446379	0,025880326	-0,04998278
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,569762961	0,703843051	0,565985031	0,270029247	0,345971859	0,367032748
DISTRIBUIÇÃO	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	0,11221	0,056789	-	0,12659	-0,045172

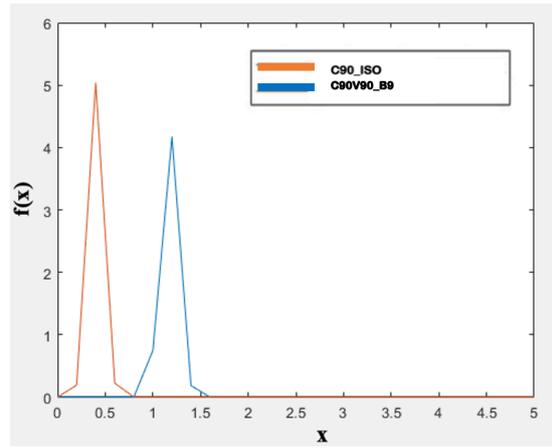
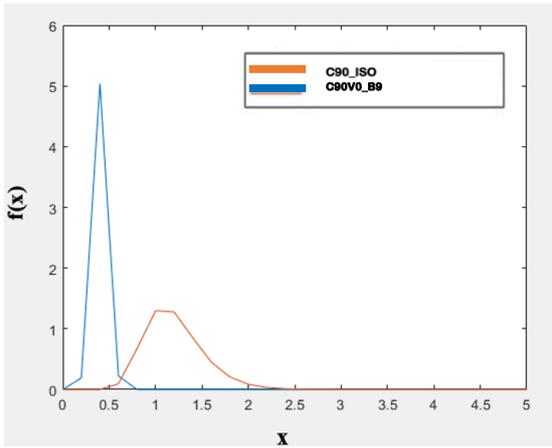


	C0_ISO	COV0_B8	COV90_B8	C90_ISO	C90V0_B8	C90V90_B8
MÉDIA ( $\mu$ )	0,002148448	0,060666283	0,02480543	-0,029446379	-0,0018282	-0,04051339
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,569762961	0,558279784	0,537455094	0,270029247	0,334703021	0,347599678
DISTRIBUIÇÃO	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Lognormal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	0,073652	0,028381	-	0,064151	-0,02585

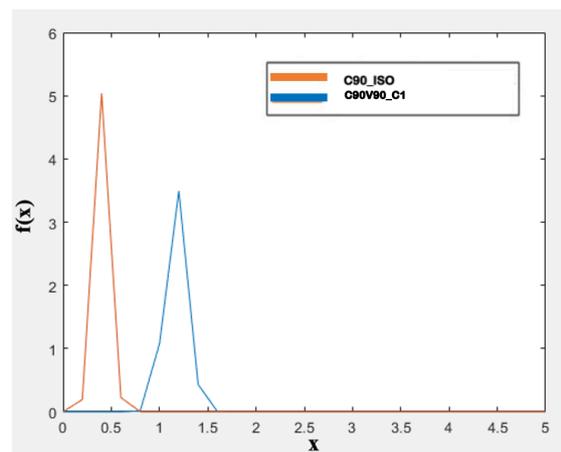
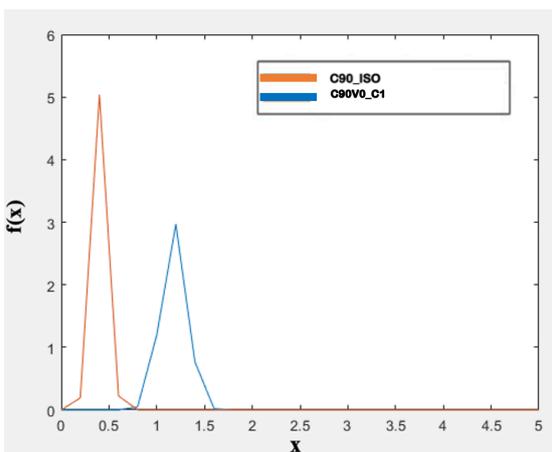
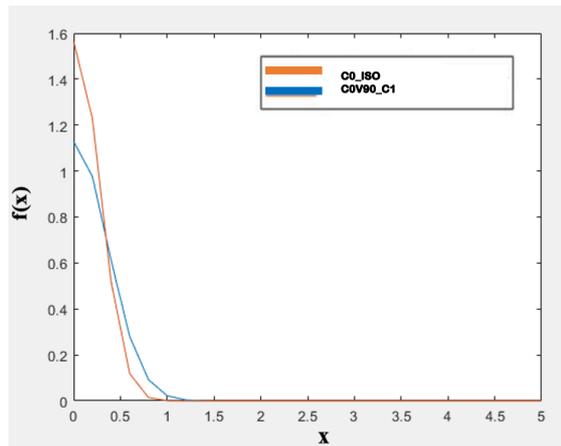
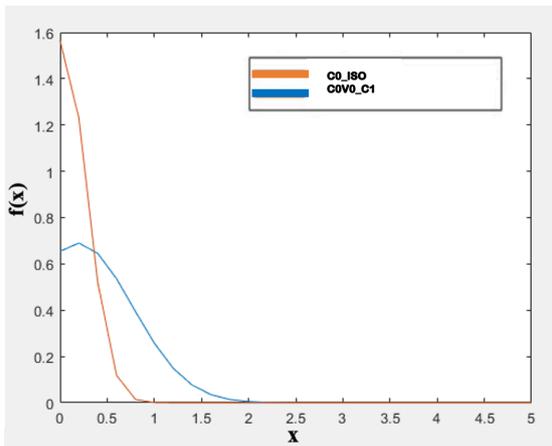


	C0_ISO	COV0_B9	COV90_B9	C90_ISO	C90V0_B9	C90V90_B9
MÉDIA ( $\mu$ )	0,002148448	0,015200981	0,020584873	-0,029446379	-0,015672402	-0,03413966
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,569762961	0,109265426	0,140695742	0,270029247	0,338279953	0,330355872
DISTRIBUIÇÃO	Normal	Normal	Normal	Normal	Lognormal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	0,022117	0,032005	-	0,030239	-0,01057

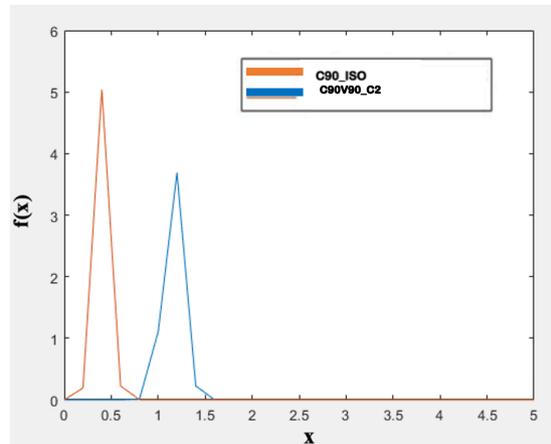
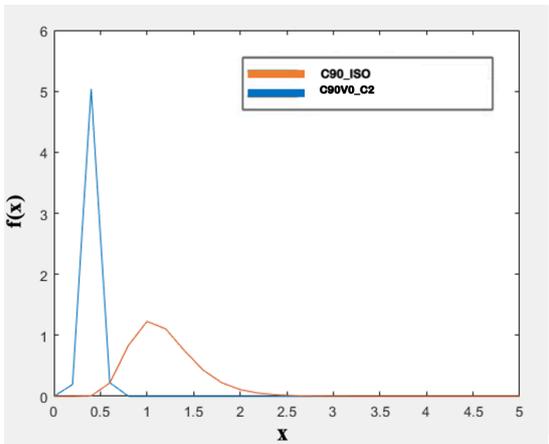
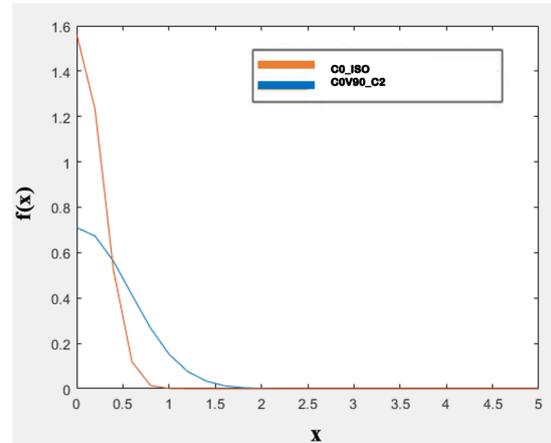
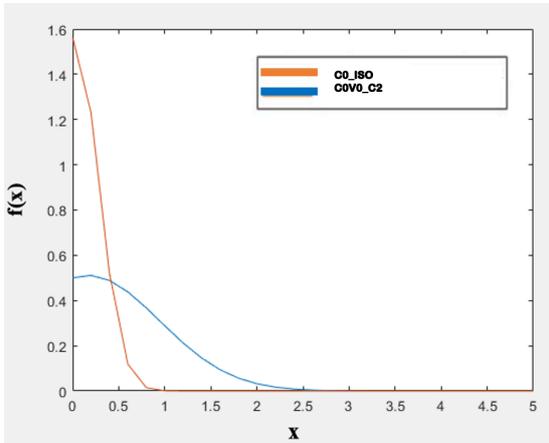




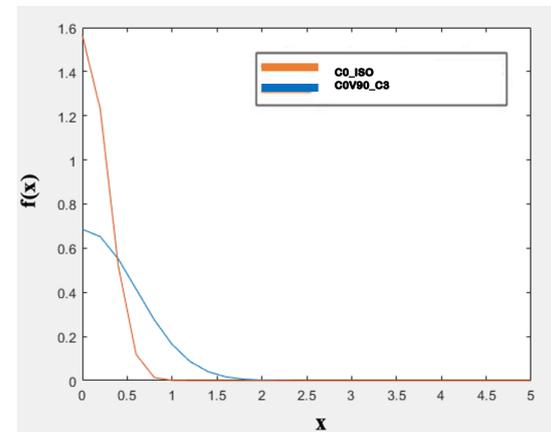
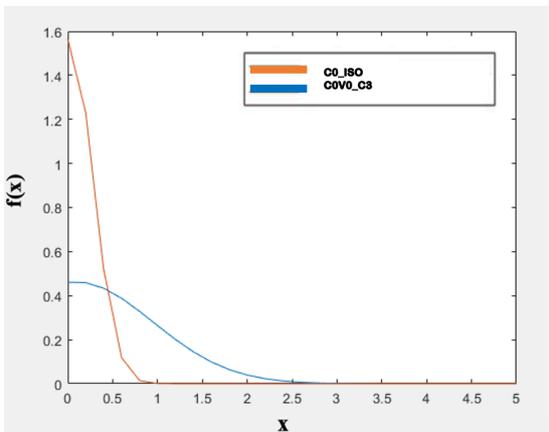
	C0_ISO	COV0_C1	COV90_C1	C90_ISO	C90V0_C1	C90V90_C1
MÉDIA ( $\mu$ )	0,002148448	0,188457252	0,009548261	-0,029446379	0,049177728	0,059550641
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,569762961	0,57797903	0,353134337	0,270029247	0,210214945	0,206098059
DISTRIBUIÇÃO	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	0,2304	0,01077	-	0,23033	0,26226

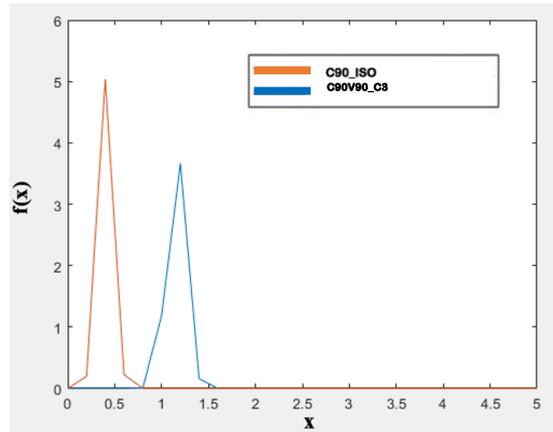
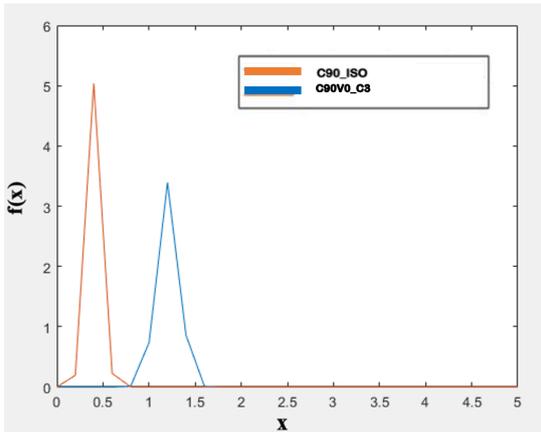


	C0_ISO	COV0_C2	COV90_C2	C90_ISO	C90V0_C2	C90V90_C2
MÉDIA ( $\mu$ )	0,002148448	0,164479642	0,01457819	-0,029446379	-0,084159559	-0,00627006
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,569762961	0,779658814	0,561363153	0,270029247	0,612001107	0,411312866
DISTRIBUIÇÃO	Normal	Normal	Normal	Normal	Lognormal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	0,16624	0,01631	-	-0,081563	0,046868

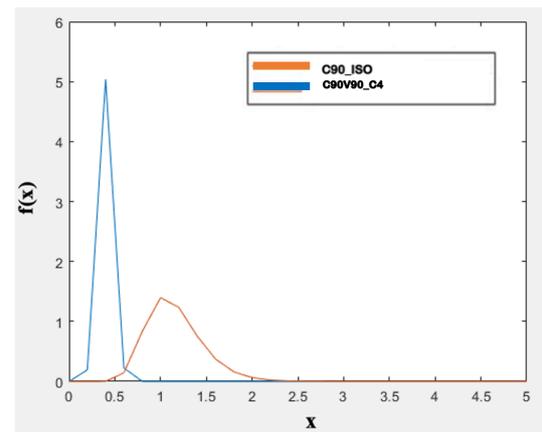
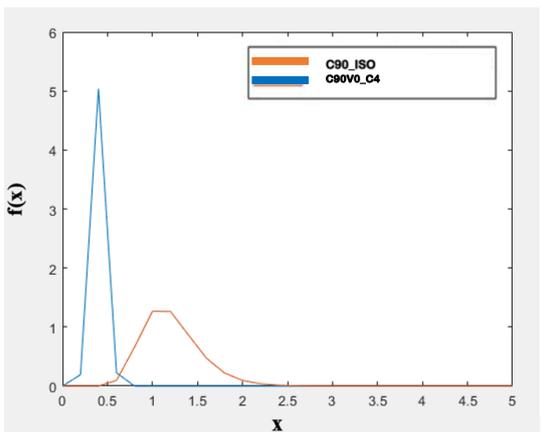
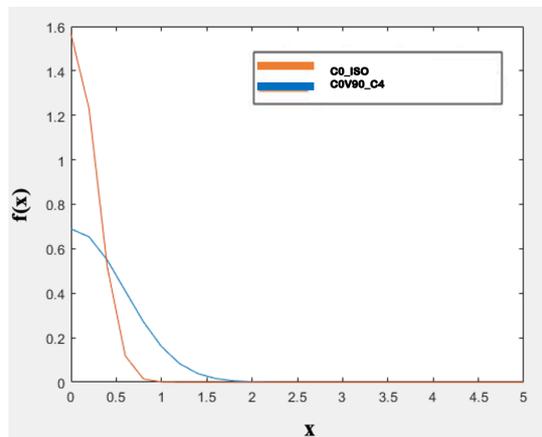
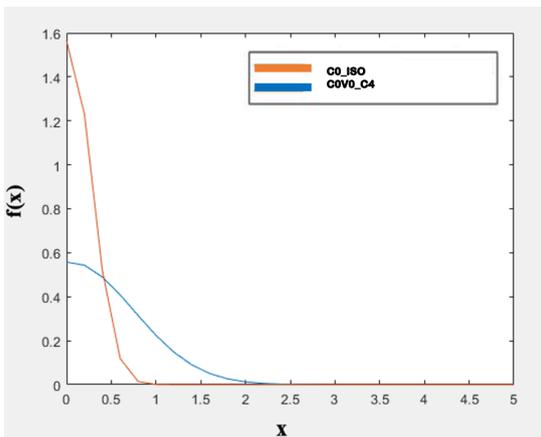


	C0_ISO	COV0_C3	COV90_C3	C90_ISO	C90V0_C3	C90V90_C3
MÉDIA ( $\mu$ )	0,002148448	0,086511906	0,015623829	-0,029446379	-0,022550141	-0,01266785
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,569762961	0,861219353	0,58160323	0,270029247	0,519640959	0,385259068
DISTRIBUIÇÃO	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	0,081807	0,017632	-	0,012615	0,035704

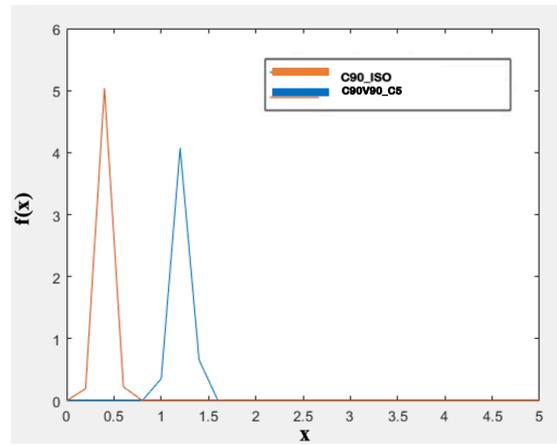
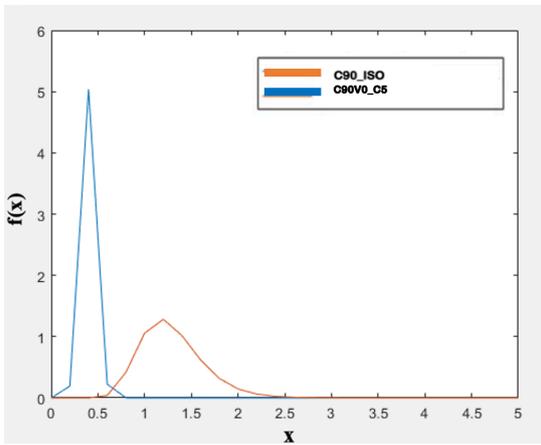
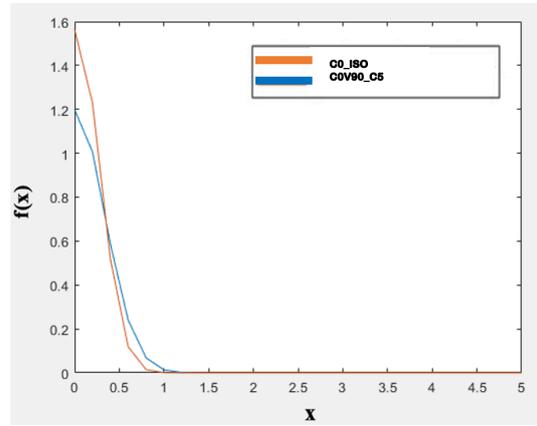
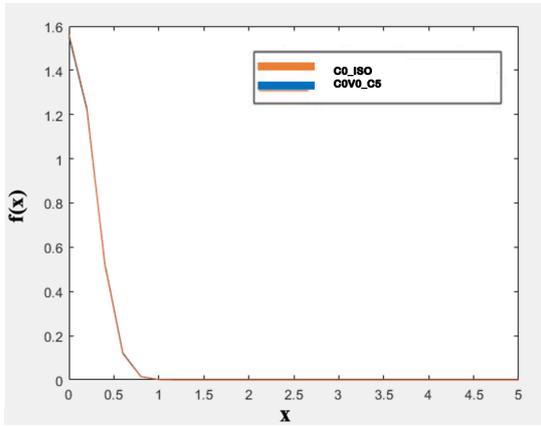




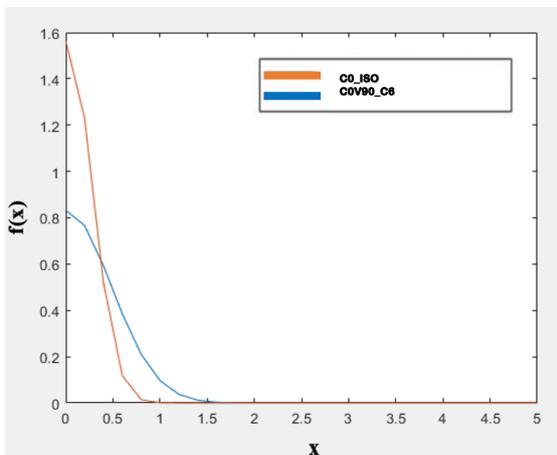
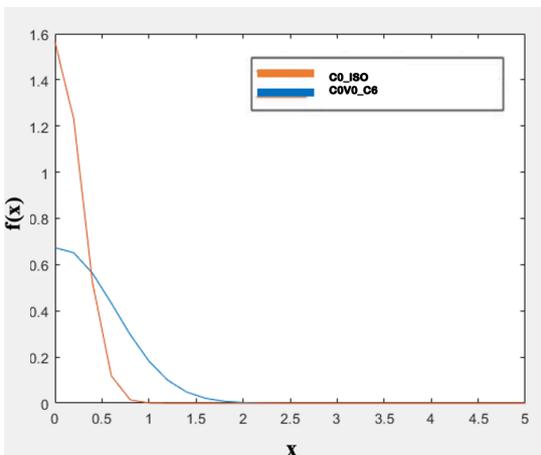
	C0_ISO	C0V0_C4	C0V90_C4	C90_ISO	C90V0_C4	C90V90_C4
MÉDIA ( $\mu$ )	0,002148448	0,034158076	0,010110325	-0,029446379	-0,021810141	-0,02834336
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,569762961	0,714719286	0,578574371	0,270029247	0,458250696	0,356651695
DISTRIBUIÇÃO	Normal	Normal	Normal	Normal	Lognormal	Lognormal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	0,035323	0,011115	-	0,014446	-0,0018649

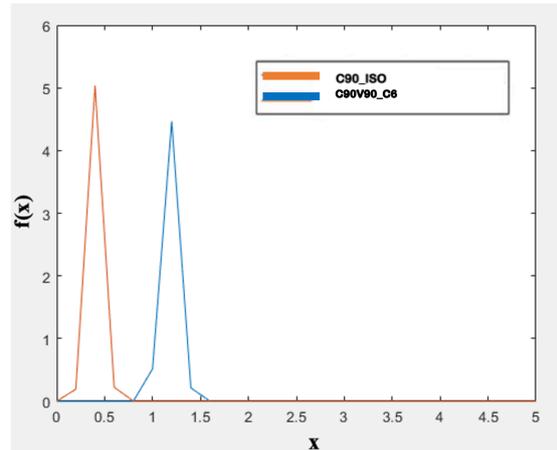
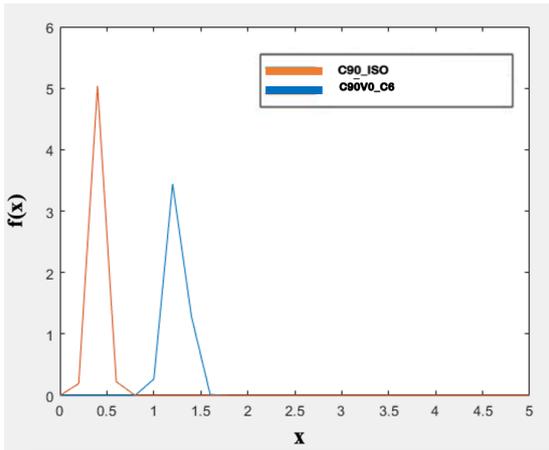


	C0_ISO	C0V0_C5	C0V90_C5	C90_ISO	C90V0_C5	C90V90_C5
MÉDIA ( $\mu$ )	0,002148448	0,021818097	0,003171338	-0,029446379	-0,032826623	-0,02860555
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,569762961	0,256267021	0,33259665	0,270029247	0,387351157	0,315207663
DISTRIBUIÇÃO	Normal	Normal	Normal	Normal	Lognormal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	0,032216	0,0011113	-	-0,0080146	0,0013987

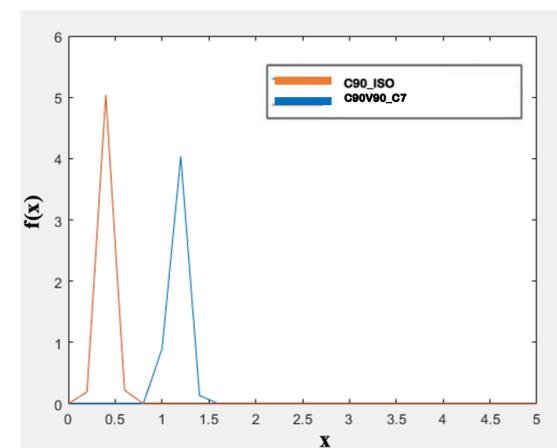
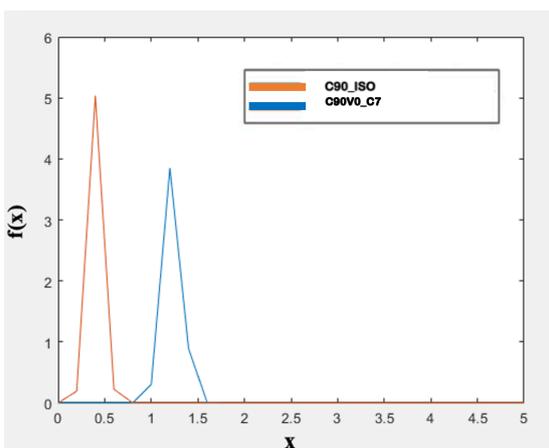
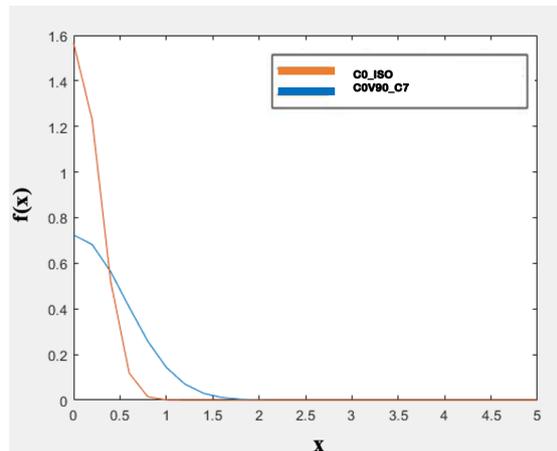
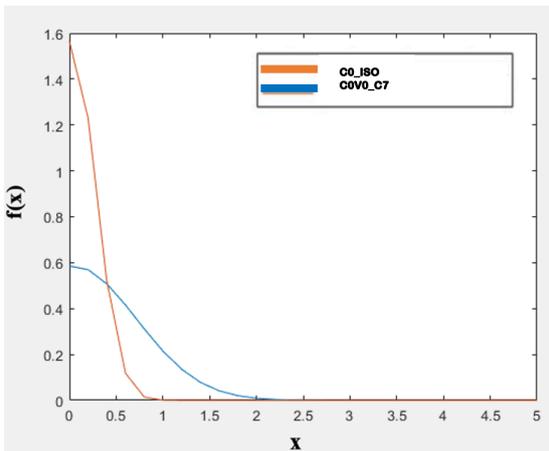


	C0_ISO	C0V0_C6	C0V90_C6	C90_ISO	C90V0_C6	C90V90_C6
MÉDIA ( $\mu$ )	0,002148448	0,042552743	0,005052061	-0,029446379	-0,07772214	-0,03632549
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,569762961	0,590939904	0,479233942	0,270029247	0,55994245	0,32647712
DISTRIBUIÇÃO	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	0,04894	0,0041476	-	-0,078124	-0,061198

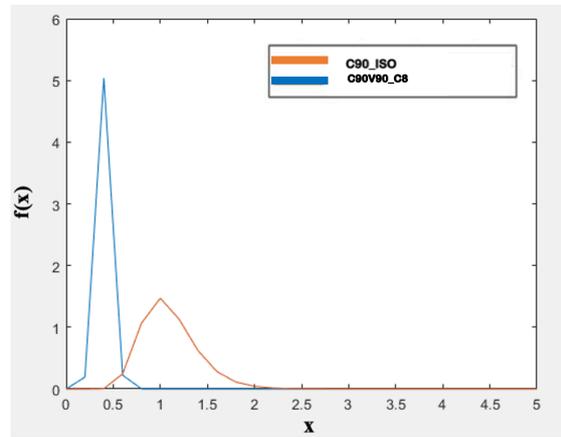
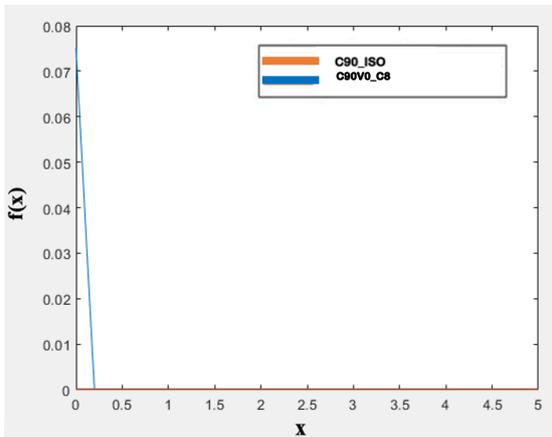
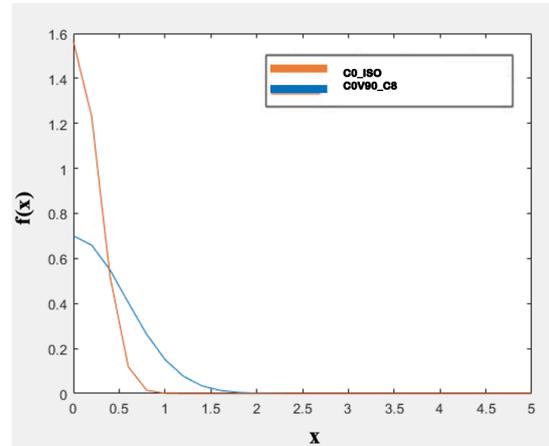
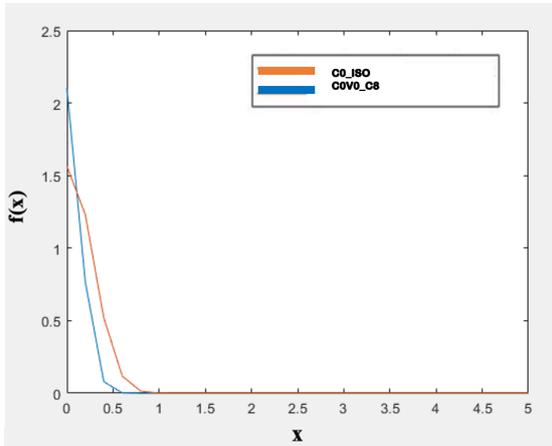




	C0_ISO	C0V0_C7	C0V90_C7	C90_ISO	C90V0_C7	C90V90_C7
MÉDIA ( $\mu$ )	0,002148448	0,035042627	0,008815092	-0,029446379	-0,045922592	-0,01314679
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,569762961	0,680537947	0,550567949	0,270029247	0,481001717	0,337776638
DISTRIBUIÇÃO	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	0,037674	0,0092646	-	-0,029888	0,037209



	C0_ISO	C0V0_C8	C0V90_C8	C90_ISO	C90V0_C8	C90V90_C8
MÉDIA ( $\mu$ )	0,002148448	-0,061684424	0,002148356	-0,029446379	-0,061543704	-0,02158117
DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ )	0,569762961	0,178778292	0,569755724	0,270029247	0,401060276	0,305884364
DISTRIBUIÇÃO	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Lognormal
ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA AERODINÂMICA ( $\Delta\beta$ )	-	-0,10618	0,00027991	-	-0,066039	0,018484



**A.3 QUANTIFICADORES ESTOCÁSTICOS E ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA DE ARRASTO OBTIDOS PARA FORÇA NA DIREÇÃO DO VENTO**

<b>COVO</b>				
<b>Vizinho</b>	<b>Hellinger</b>	<b>KL(P  Q)</b>	<b>KL(Q  P)</b>	<b><math>\Delta\beta</math></b>
<b>A1</b>	1,0000	22,4235	26,0832	3,8734
<b>A2</b>	1,0000	22,4235	23,3674	3,2115
<b>A3</b>	1,0000	22,4235	23,7308	1,7713
<b>A4</b>	0,8241	4,7205	4,2211	0,8151
<b>A5</b>	1,0000	22,4235	23,6254	0,5947
<b>A6</b>	0,2956	0,3207	0,4247	0,2590
<b>B1</b>	1,0000	22,4235	23,2911	0,8463
<b>B2</b>	1,0000	22,4235	23,3421	1,2537
<b>B3</b>	1,0000	22,4235	23,4968	1,2099
<b>B4</b>	1,0000	22,4235	23,5763	0,9774
<b>B5</b>	1,0000	22,4235	23,5657	0,6948
<b>B6</b>	1,0000	22,4215	23,0982	-0,1283
<b>B7</b>	1,0000	22,4231	23,2925	0,0702
<b>B8</b>	1,0000	22,4232	23,3298	-0,9880
<b>B9</b>	0,0653	0,0155	0,0190	0,0294
<b>C1</b>	1,0000	22,4235	24,1105	0,4623
<b>C2</b>	1,0000	22,4234	23,3662	0,2102
<b>C3</b>	0,1171	0,0475	0,0682	-0,0438
<b>C4</b>	0,1688	0,1086	0,1220	-0,2477
<b>C5</b>	0,1978	0,1538	0,1636	-0,2514
<b>C6</b>	0,1185	0,0603	0,0531	0,0893
<b>C7</b>	0,0930	0,0328	0,0369	-0,0964
<b>C8</b>	0,1525	0,0887	0,0992	-0,2126

<b>COV90</b>				
<b>Vizinho</b>	<b>Hellinger</b>	<b>KL(P    Q)</b>	<b>KL(Q    P)</b>	<b><math>\Delta\beta</math></b>
<b>A1</b>	1,0000	22,4235	24,7028	2,5913
<b>A2</b>	1,0000	22,4235	23,4378	2,0931
<b>A3</b>	0,9291	7,9338	7,6904	1,4950
<b>A4</b>	1,0000	22,4235	23,6917	0,9606
<b>A5</b>	0,5593	1,4442	1,5194	0,4905
<b>A6</b>	0,3696	0,5545	0,6171	0,3186
<b>B1</b>	0,4129	0,6599	0,8539	0,3678
<b>B2</b>	1,0000	22,4235	23,3156	0,5988
<b>B3</b>	1,0000	22,4235	23,4151	0,6363
<b>B4</b>	1,0000	22,4235	23,4653	0,5810
<b>B5</b>	1,0000	22,4235	23,5154	0,4377
<b>B6</b>	0,0726	0,0196	0,0230	-0,0395
<b>B7</b>	0,1032	0,0368	0,0515	0,0408
<b>B8</b>	0,0604	0,0135	0,0160	-0,0108
<b>B9</b>	0,0482	0,0092	0,0094	-0,0482
<b>C1</b>	0,5398	1,9356	1,0314	0,3868
<b>C2</b>	0,1906	0,1445	0,1510	0,1633
<b>C3</b>	0,0638	0,0154	0,0174	-0,0381
<b>C4</b>	0,0829	0,0269	0,0282	-0,0869
<b>C5</b>	0,0936	0,0347	0,0356	-0,0938
<b>C6</b>	0,0910	0,0338	0,0327	0,0763
<b>C7</b>	0,0425	0,0071	0,0074	-0,0367
<b>C8</b>	0,0984	0,0385	0,0394	-0,0988

<b>C90V0</b>				
<b>Vizinho</b>	<b>Hellinger</b>	<b>KL(P    Q)</b>	<b>KL(Q    P)</b>	<b><math>\Delta\beta</math></b>
<b>A1</b>	0,1825	0,1642	0,1152	-4,149
<b>A2</b>	0,1061	0,0400	0,0517	-3,326
<b>A3</b>	0,0928	0,0309	0,0390	-2,608
<b>A4</b>	0,0483	0,0095	0,0092	-1,785
<b>A5</b>	0,1065	0,0504	0,0416	-0,957
<b>A6</b>	0,1065	0,0510	0,0412	-1,366
<b>B1</b>	0,0508	0,0097	0,0111	-2,387
<b>B2</b>	0,0542	0,0109	0,0128	-2,673
<b>B3</b>	0,0513	0,0108	0,0103	-2,499
<b>B4</b>	0,1313	0,0776	0,0629	-2,041
<b>B5</b>	0,1554	0,1117	0,0868	0,1058
<b>B6</b>	0,1373	0,0659	0,0890	-0,573
<b>B7</b>	0,0641	0,0151	0,0181	-0,193
<b>B8</b>	0,0664	0,0162	0,0193	0,1372
<b>B9</b>	0,0781	0,0224	0,0269	0,7818
<b>C1</b>	0,1825	0,1642	0,1152	0,5117
<b>C2</b>	0,2408	0,1954	0,2962	0,5694
<b>C3</b>	0,1991	0,1350	0,1971	0,7286
<b>C4</b>	0,1717	0,1016	0,1429	0,8426
<b>C5</b>	0,1316	0,0613	0,0805	1,3776
<b>C6</b>	0,2274	0,1751	0,2612	1,0571
<b>C7</b>	0,1911	0,1252	0,1795	0,9637
<b>C8</b>	0,1552	0,0846	0,1137	0,9523

<b>C90V90</b>				
<b>Vizinho</b>	<b>Hellinger</b>	<b>KL(P  Q)</b>	<b>KL(Q  P)</b>	<b><math>\Delta\beta</math></b>
<b>A1</b>	0,2015	0,2051	0,1391	-3,7579
<b>A2</b>	0,0565	0,0118	0,0139	-3,0735
<b>A3</b>	0,0256	0,0025	0,0027	-2,5597
<b>A4</b>	0,0247	0,0024	0,0025	-1,8459
<b>A5</b>	0,0744	0,0236	0,0209	-1,3942
<b>A6</b>	0,0817	0,0290	0,0249	-0,77725
<b>B1</b>	0,0900	0,0295	0,0362	-1,5712
<b>B2</b>	0,0210	0,0018	0,0018	-1,7833
<b>B3</b>	0,0409	0,0067	0,0067	-1,7664
<b>B4</b>	0,0539	0,0119	0,0114	-1,7004
<b>B5</b>	0,0683	0,0196	0,0179	0,26242
<b>B6</b>	0,1507	0,0796	0,1074	0,085362
<b>B7</b>	0,1245	0,0554	0,0710	0,26933
<b>B8</b>	0,1020	0,0377	0,0467	0,28804
<b>B9</b>	0,0808	0,0240	0,0287	0,57339
<b>C1</b>	0,2015	0,2051	0,1391	0,51726
<b>C2</b>	0,1368	0,0656	0,0881	0,462
<b>C3</b>	0,1201	0,0511	0,0666	0,41268
<b>C4</b>	0,1035	0,0386	0,0484	0,46013
<b>C5</b>	0,0603	0,0136	0,0156	0,88711
<b>C6</b>	0,0780	0,0225	0,0266	0,67976
<b>C7</b>	0,0761	0,0213	0,0256	0,4983
<b>C8</b>	0,0443	0,0074	0,0083	0,000257

**A.4 QUANTIFICADORES ESTOCÁSTICOS E ÍNDICE DE PERTURBAÇÃO DA FORÇA DE ARRASTO OBTIDOS PARA FORÇA NA DIREÇÃO TRANSVERSAL AO VENTO**

<b>COVO</b>				
<b>Vizinho</b>	<b>Hellinger</b>	<b>KL(P  Q)</b>	<b>KL(Q  P)</b>	<b><math>\Delta\beta</math></b>
<b>A1</b>	0,2066	0,1444	0,2158	-0,035144
<b>A2</b>	0,2302	0,1771	0,2754	-0,031293
<b>A3</b>	0,2045	0,1410	0,2122	-0,010545
<b>A4</b>	0,2137	0,1531	0,2348	0,0023395
<b>A5</b>	0,2283	0,1732	0,2725	0,015414
<b>A6</b>	0,2497	0,2052	0,3332	0,023483
<b>B1</b>	0,2696	0,2407	0,3889	-0,093978
<b>B2</b>	0,2533	0,2143	0,3370	-0,10112
<b>B3</b>	0,2539	0,2149	0,3395	-0,090353
<b>B4</b>	0,2419	0,1952	0,3064	-0,056606
<b>B5</b>	0,2880	0,2678	0,4638	0,16624
<b>B6</b>	0,2802	0,2543	0,4352	0,12215
<b>B7</b>	0,2843	0,2618	0,4492	0,11221
<b>B8</b>	0,2519	0,2078	0,3421	0,073652
<b>B9</b>	0,3398	10,5970	0,3287	0,022117
<b>C1</b>	0,2276	0,1690	0,2776	0,2304
<b>C2</b>	0,2897	0,2709	0,4701	0,16624
<b>C3</b>	0,3117	0,3137	0,5504	0,081807
<b>C4</b>	0,2980	0,2881	0,4961	0,035323
<b>C5</b>	0,0045	0,0001	0,0001	0,032216
<b>C6</b>	0,2675	0,2336	0,3900	0,04894
<b>C7</b>	0,2914	0,2758	0,4719	0,037674
<b>C8</b>	0,0868	0,0359	0,0264	-0,10618

COV90				
Vizinho	Hellinger	KL(P  Q)	KL(Q  P)	$\Delta\beta$
A1	0,2066	0,1444	0,2158	-0,044317
A2	0,2302	0,1771	0,2754	-0,016682
A3	0,2045	0,1410	0,2122	-0,0014129
A4	0,2137	0,1531	0,2348	0,013271
A5	0,2283	0,1732	0,2725	0,015156
A6	0,2497	0,2052	0,3332	0,15567
B1	0,2696	0,2407	0,3889	0,060976
B2	0,2533	0,2143	0,3370	0,034792
B3	0,2539	0,2149	0,3395	0,045343
B4	0,2419	0,1952	0,3064	0,043023
B5	0,2880	0,2678	0,4638	0,071278
B6	0,2802	0,2543	0,4352	0,097565
B7	0,2843	0,2618	0,4492	0,056789
B8	0,2519	0,2078	0,3421	0,028381
B9	0,3398	10,5970	0,3287	0,032005
C1	0,2276	0,1690	0,2776	0,01077
C2	0,2897	0,2709	0,4701	0,01631
C3	0,3117	0,3137	0,5504	0,017632
C4	0,2980	0,2881	0,4961	0,011115
C5	0,0045	0,0001	0,0001	0,0011113
C6	0,2675	0,2336	0,3900	0,0041476
C7	0,2914	0,2758	0,4719	0,0092646
C8	0,0868	0,0359	0,0264	0,00027991

<b>C90V0</b>				
<b>Vizinho</b>	<b>Hellinger</b>	<b>KL(P  Q)</b>	<b>KL(Q  P)</b>	<b><math>\Delta\beta</math></b>
<b>A1</b>	0,9363	53,3740	13,1224	0,22822
<b>A2</b>	0,9999	24,1208	20,7023	0,10816
<b>A3</b>	0,9999	24,1294	20,8533	0,10756
<b>A4</b>	0,9999	24,1185	20,7587	0,15239
<b>A5</b>	1,0000	23,0000	26,0000	0,14599
<b>A6</b>	0,9933	11,9446	17,4009	0,11833
<b>B1</b>	0,9985	18,2152	18,5880	0,32606
<b>B2</b>	0,9998	23,5725	19,8515	0,11828
<b>B3</b>	0,9999	24,1058	20,6282	0,14712
<b>B4</b>	0,9999	24,1029	20,6338	0,22251
<b>B5</b>	1,0000	23,0000	26,0000	0,26095
<b>B6</b>	0,9999	23,9565	20,3268	0,071259
<b>B7</b>	0,9999	24,0713	20,5782	0,12659
<b>B8</b>	1,0000	24,1380	21,1587	0,064151
<b>B9</b>	1,0000	23,0000	26,0000	0,030239
<b>C1</b>	0,9999	23,9837	20,4126	0,23033
<b>C2</b>	1,0000	22,0000	26,0000	-0,081563
<b>C3</b>	0,9999	24,1285	20,9534	0,012615
<b>C4</b>	1,0000	23,0000	26,0000	0,014446
<b>C5</b>	1,0000	23,0000	26,0000	-0,0080146
<b>C6</b>	1,0000	24,1411	21,3780	-0,078124
<b>C7</b>	1,0000	24,1420	21,5585	-0,029888
<b>C8</b>	0,7752	42,8930	32,1460	-0,066039

<b>C90V90</b>				
<b>Vizinho</b>	<b>Hellinger</b>	<b>KL(P  Q)</b>	<b>KL(Q  P)</b>	<b><math>\Delta\beta</math></b>
<b>A1</b>	0,9993	21,7102	19,0587	0,26262
<b>A2</b>	0,9999	24,1303	20,8456	0,12095
<b>A3</b>	1,0000	24,1383	21,0906	0,13877
<b>A4</b>	1,0000	24,1364	21,0429	0,13853
<b>A5</b>	1,0000	23,0000	26,0000	0,11711
<b>A6</b>	0,9999	24,0896	20,6237	0,098569
<b>B1</b>	0,9998	23,7994	20,1003	0,010493
<b>B2</b>	0,9999	24,0189	20,3703	0,12151
<b>B3</b>	0,9999	24,0909	20,5861	0,16247
<b>B4</b>	0,9999	24,1196	20,7727	0,1655
<b>B5</b>	1,0000	23,0000	26,0000	0,13223
<b>B6</b>	1,0000	24,1325	21,0035	-0,026001
<b>B7</b>	1,0000	24,1414	21,4104	-0,045172
<b>B8</b>	1,0000	23,0000	26,0000	-0,02585
<b>B9</b>	1,0000	24,1425	21,7833	-0,01057
<b>C1</b>	1,0000	24,1368	21,1210	0,26226
<b>C2</b>	1,0000	24,1417	21,4592	0,046868
<b>C3</b>	1,0000	24,1421	21,5631	0,035704
<b>C4</b>	1,0000	23,0000	26,0000	-0,0018649
<b>C5</b>	1,0000	24,1423	21,6442	0,0013987
<b>C6</b>	1,0000	24,1425	21,9147	-0,061198
<b>C7</b>	1,0000	24,1425	21,7921	0,037209
<b>C8</b>	1,0000	23,0000	26,0000	0,018484