

João Filipe Barreto Neves Lopes Teixeira

**Estudo do comportamento de um edifício de habitação sujeito a  
ventilação natural e forçada**

Lisboa  
**2009**

UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA  
Faculdade de Ciências e Tecnologia  
Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial

**Estudo do comportamento de um edifício de habitação sujeito a  
ventilação natural e forçada**

João Filipe Barreto Neves Lopes Teixeira

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade  
Nova de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Orientador: José Fernando de Almeida Dias  
(FCT/UNL, DEMI)

Lisboa  
2009

*A todos aqueles que de uma forma ou outra contribuíram para  
o sucesso deste trabalho*

## **Agradecimentos**

Ao longo da elaboração desta dissertação foram várias as pessoas que demonstraram o seu apoio através da sua amizade, compreensão e colaboração. É claro que não é possível enumerar todos aqueles que ao longo deste ano de trabalho influenciaram de alguma forma o desenvolvimento desta tarefa.

Ao Professor José Fernando de Almeida Dias, como orientador científico, desejo expressar o meu agradecimento pela sua disponibilidade e mais-valia técnica no esclarecimento de dúvidas e clarificação de ideias, sempre com valiosas sugestões e análises imprescindíveis no decorrer dos trabalhos.

A todos os meus Colegas e amigos de faculdade, fazendo uma ressalva especial aos meus companheiros Pedro Catarino e Hugo Rodrigues que foram companhia permanente e indispensável desde a entrada na faculdade.

A todos os meus amigos que pelo seu companheirismo me ajudaram de uma forma não académica mas não menos essencial no meu percurso académico, deixando uma palavra de especial apreço ao Paulo Reis, Henrique Teixeira e Tiago Baptista.

Por fim, deixo uma palavra amiga e um sentido agradecimento a toda a minha família em especial aos meus pais e minha irmã, pela força e incentivo, partilhando alegrias e frustrações próprias destes trabalhos.

## **Resumo**

Numa primeira fase e partindo de estudos anteriormente realizados, onde já havia sido utilizado o programa de cálculo de ventilação natural de edifícios, procurou-se fazer a validação do programa, saber quais as influências que determinados elementos podem ter na ventilação de um edifício e modelar a ventilação forçada e as condutas de ventilação.

Na fase seguinte testaram-se várias soluções de ventilação para um edifício de habitação de dois andares sujeito a vento exterior (20 m/s), sendo posteriormente escolhida a solução que melhor serve os propósitos da ventilação de edifícios de habitação.

Na última fase e partindo da solução anteriormente escolhida, mas onde se introduziu uma fonte de calor, efectuaram-se vários testes para diferentes valores de velocidades exteriores. Utilizando inicialmente apenas a ventilação natural e depois introduzindo a ventilação forçada, procurou-se saber como iria reagir o edifício às diferentes solicitações e desta forma se concluir sobre as necessidades, ou não, da ventilação forçada. A influência da presença de uma fonte de calor no interior do edifício foi também analisada.

**Palavras-Chave:** Ventilação Natural, Ventilação Forçada, Condutas de Ventilação, Edifícios de Habitação.

## **Abstract**

In a first phase, based on earlier studies, which had used the program for calculating natural ventilation of buildings, we started by validating the program and to know what were the influences of certain elements may have on the ventilation of a building and model forced ventilation and ventilation ducts.

In the next phase we tested several ventilation solutions to a common house with two floors subjected to a wind pool (20 m/s), and then we choose the solution that best serves the purposes of ventilation for residential buildings.

In the last phase and based on the solution chosen previously, but in which were introduced a heat source, carried out several tests for different values of wind speed. Initially using only natural ventilation and then introducing forced ventilation, we would know how the building would react to different solicitations and therefore we could reach a conclusion about the true needs of forced ventilation. The influence of the presence of a heat source in the interior of the building has also been analysed.

**Key-Words:** Natural ventilation, Forced Ventilation, Ventilation Ducts, Residential Buildings.

# Índice

<b>1.</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>Modelo Simplificado para a Ventilação Natural .....</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>Verificação de resultados para a Ventilação Natural .....</b>	<b>9</b>
<b>4.</b>	<b>Modelação .....</b>	<b>13</b>
<b>4.1.</b>	<b>Modelação de ventiladores mecânicos .....</b>	<b>13</b>
<b>4.1.1.</b>	<b>Estudo de uma edificação com apenas um espaço e um ventilador.....</b>	<b>16</b>
<b>4.1.2.</b>	<b>Estudo de uma edificação com dois espaços e com ventiladores .....</b>	<b>19</b>
<b>4.2.</b>	<b>Modelação das condutas de ventilação .....</b>	<b>27</b>
<b>4.3.</b>	<b>Modelação das chaminés [2] .....</b>	<b>31</b>
<b>5.</b>	<b>Caracterização do Edifício Estudo .....</b>	<b>33</b>
<b>5.1.</b>	<b>Esquema do edifício .....</b>	<b>33</b>
<b>5.2.</b>	<b>Direcção e Acção do vento sobre o edifício.....</b>	<b>35</b>
<b>5.3.</b>	<b>Área em planta e identificação das aberturas.....</b>	<b>37</b>
<b>5.4.</b>	<b>Tipo de aberturas .....</b>	<b>39</b>
<b>5.5.</b>	<b>Estudos Preliminares.....</b>	<b>43</b>
<b>5.5.1.</b>	<b>Edifício sem ventiladores ou condutas sujeito a vento frontal .....</b>	<b>45</b>
<b>5.5.2.</b>	<b>Edifício sem ventiladores ou condutas sujeito a vento lateral .....</b>	<b>46</b>
<b>5.5.3.</b>	<b>Edifício com ventilador na abertura (11) e (30) sujeito a vento frontal .....</b>	<b>47</b>
<b>5.5.4.</b>	<b>Edifício com ventilador na abertura (16) e (35) sujeito a vento lateral .....</b>	<b>48</b>
<b>5.5.5.</b>	<b>Edifício com conduta no WC sujeito a vento frontal.....</b>	<b>49</b>
<b>5.5.6.</b>	<b>Edifício com conduta na cozinha sujeito a vento frontal .....</b>	<b>51</b>
<b>5.5.7.</b>	<b>Edifício com conduta na cozinha e no WC sujeito a vento frontal .....</b>	<b>53</b>
<b>5.5.8.</b>	<b>Edifício com conduta no WC sujeito a vento Lateral .....</b>	<b>55</b>
<b>5.5.9.</b>	<b>Edifício com conduta na cozinha sujeito a vento lateral.....</b>	<b>56</b>
<b>5.5.10.</b>	<b>Edifício com conduta na cozinha e no WC com vento lateral .....</b>	<b>57</b>
<b>6.</b>	<b>Caso de Estudo .....</b>	<b>59</b>
<b>6.1.</b>	<b>Vento Perpendicular à Fachada Principal sem ventiladores .....</b>	<b>61</b>
<b>6.2.</b>	<b>Vento Paralelo à Fachada Principal sem ventiladores.....</b>	<b>65</b>
<b>6.3.</b>	<b>Vento Perpendicular à Fachada Principal sem ventiladores e com aberturas na zona cinzenta .....</b>	<b>67</b>
<b>6.4.</b>	<b>Vento Paralelo à Fachada Principal sem ventiladores e com abertura na zona cinzenta .....</b>	<b>69</b>

6.5.	Vento Perpendicular à Fachada Principal com ventiladores .....	71
6.6.	Vento Paralelo à Fachada Principal com ventiladores .....	75
6.7.	Vento Perpendicular à Fachada Principal com ventiladores e com aberturas na zona cinzenta .....	77
6.8.	Vento Paralelo à Fachada Principal com ventiladores e com abertura na zona cinzenta .....	79
7.	Conclusões .....	81
8.	Bibliografia .....	83
Anexo A – Listagem do Programa .....		85
Anexo B – Catálogo da Sodeca .....		99
Anexo C – Resultados .....		101
C1 –	Vento Frontal sem ventiladores .....	101
C2 –	Vento Lateral sem ventiladores .....	109
C3 –	Vento Frontal sem ventiladores e com aberturas na zona cinzenta .....	117
C4 –	Vento Lateral sem ventiladores e com abertura na zona cinzenta .....	125
C5 –	Vento Frontal com ventiladores .....	133
C6 –	Vento Lateral com ventiladores .....	141
C7 –	Vento Frontal com ventiladores e com aberturas na zona cinzenta .....	149
C8 –	Vento Lateral com ventiladores e com abertura na zona cinzenta .....	157

## Lista de Figuras

Figura 1 – Esquema da acção do vento sobre um edifício .....	5
Figura 2 – Esquematisação da edificação em teste.....	9
Figura 3 – Velocidade nas aberturas ( $Q=0W$ ).....	9
Figura 4 – Velocidade nas aberturas ( $Q=5000W$ ).....	10
Figura 5 – Pressão interior ( $Q=0W$ e $Q=5000W$ ) .....	10
Figura 6 – Temperatura interior ( $Q=0W$ e $Q=5000W$ ) .....	11
Figura 7 – Massa Volúmica interior ( $Q=0W$ e $Q=5000W$ ) .....	11
Figura 8 – Número de Renovações.....	11
Figura 9 – Dimensões do ventilador .....	13
Figura 10 – Curva característica do ventilador (P-Q).....	13
Figura 11 – Curva característica (P-V).....	14
Figura 12 – Representação esquemática do insuflador .....	14
Figura 13 – Representação esquemática do exaustor .....	14
Figura 14 – Curvas (P-V).....	15
Figura 15 – Curvas (P-V).....	15
Figura 16 – Curvas (P-V) com a nova curva característica do ventilador .....	16
Figura 17 – Modos de funcionamento do ventilador .....	18
Figura 18 – Velocidade nas aberturas com um insuflador na abertura (1).....	18
Figura 19 – Velocidade nas aberturas com um exaustor na abertura (1).....	18
Figura 20 – Esquematisação da edificação em teste.....	19
Figura 21 – Velocidade nas aberturas com um insuflador na abertura (1).....	20
Figura 22 – Esquematisação da edificação em teste.....	20
Figura 23 – Velocidade nas aberturas com um exaustor na abertura (1).....	20
Figura 24 – Esquematisação da edificação em teste.....	21
Figura 25 – Velocidade nas aberturas com um insuflador na abertura (7).....	21
Figura 26 – Esquematisação da edificação em teste.....	21
Figura 27 – Velocidade nas aberturas com um insuflador na abertura (7).....	22
Figura 28 – Esquematisação da edificação em teste.....	23
Figura 29 – Velocidade nas aberturas com um insuflador na abertura (6) e um exaustor na abertura (2).....	24
Figura 30 – Esquematisação da edificação em teste.....	24
Figura 31 – Velocidade nas aberturas com um exaustor na abertura (6) e um insuflador na abertura (2).....	25
Figura 32 – Esquema de um edifício com um espaço com tubos de ventilação.....	27
Figura 33 – Diagrama de Moody [9] .....	28
Figura 34 – Esquema do edificio em estudo .....	33
Figura 35 – Acção do vento frontal sobre o edifício.....	35
Figura 36 – Acção do vento lateral .....	35
Figura 37 – Área em planta e identificação das aberturas.....	37
Figura 38 – Abertura tipo 1.....	39
Figura 39 – Abertura tipo 2.....	39
Figura 40 – Abertura tipo 3.....	40
Figura 41 – Abertura tipo 4.....	40

Figura 42 – Abertura tipo 5.....	41
Figura 43 – Edifício sem ventiladores ou condutas e vento frontal .....	45
Figura 44 – Edifício sem ventiladores ou condutas e vento lateral.....	46
Figura 45 – Edifício com ventilador na abertura (11) e (30) e vento frontal.....	47
Figura 46 – Edifício com ventilador na abertura (16) e (35) e vento lateral .....	48
Figura 47 – Edifício com conduta no WC e vento frontal (Direita) e Planta (Esquerda) ...	49
Figura 48 – Identificação das aberturas para conduta no WC .....	50
Figura 49 – Edifício com conduta na cozinha e vento frontal (Direita) e Planta (Esquerda). .....	51
Figura 50 – Identificação das aberturas para conduta na Cozinha .....	52
Figura 51 – Edifício com conduta na cozinha e no WC e vento frontal (Direita) e Planta (Esquerda).....	53
Figura 52 – Identificação das aberturas para conduta no WC e na Cozinha.....	53
Figura 53 – Edifício com conduta no WC e vento Lateral.....	55
Figura 54 – Edifício com conduta na cozinha e vento lateral.....	56
Figura 55 – Edifício com conduta na cozinha e no WC e vento lateral .....	57
Figura 56 – Edifício para o caso de estudo .....	59
Figura 57 – Identificação das aberturas para o caso de estudo .....	60
Figura 58 – Tipo de aberturas para o caso de estudo .....	61
Figura 59 – Velocidade nas aberturas no espaço comum (pisos 1) para vento frontal sem ventiladores.....	62
Figura 60 – Velocidade nas aberturas na cozinha (pisos 2) para vento frontal sem ventiladores .....	62
Figura 61 – Velocidade nas aberturas no espaço comum (pisos 2) para vento frontal sem ventiladores.....	63
Figura 62 – Variação da pressão no espaço comum (pisos 1) para vento frontal sem ventiladores .....	63
Figura 63 – Variação da temperatura na cozinha (pisos 1) para vento frontal sem ventiladores .....	64
Figura 64 – Variação da temperatura no WC (pisos 1) para vento frontal sem ventiladores	64
Figura 65 – Número de renovações por hora no espaço comum (pisos 1) para vento frontal sem ventiladores.....	64
Figura 66 – Tipo de aberturas para o caso de estudo .....	65
Figura 67 – Velocidade nas aberturas no espaço comum (pisos 1) para vento lateral sem ventiladores.....	65
Figura 68 – Edifício para o caso de estudo com as zonas cinzentas para vento frontal identificadas.....	67
Figura 69 – Tipo de aberturas para o caso de estudo .....	67
Figura 70 – Velocidade nas aberturas no espaço comum (pisos 1) para vento frontal sem ventiladores com uma abertura na zona cinzenta .....	68
Figura 71 – Velocidade nas aberturas no espaço comum (pisos 2) para vento frontal sem ventiladores com uma abertura na zona cinzenta .....	68
Figura 72 – Edifício para o caso de estudo com as zonas cinzentas para vento Lateral identificadas.....	69
Figura 73 – Tipo de aberturas para o caso de estudo .....	69
Figura 74 – Velocidade nas aberturas no espaço comum (pisos 1) para vento Lateral sem ventiladores com uma abertura na zona cinzenta .....	70

Figura 75 – Velocidade nas aberturas no espaço comum (piso 2) para vento Lateral sem ventiladores com uma abertura na zona cinzenta .....	70
Figura 76 – Tipo de aberturas para o caso de estudo .....	71
Figura 77 – Velocidade nas aberturas no Espaço Comum (piso 1) para vento frontal com ventiladores .....	72
Figura 78 – Velocidade nas aberturas na Cozinha (piso 2) para vento frontal com ventiladores .....	72
Figura 79 – Velocidade nas aberturas no Espaço Comum (piso 2) para vento frontal com ventiladores .....	72
Figura 80 – Variação da pressão no Espaço Comum (piso 1) para vento frontal com ventiladores .....	73
Figura 81 – Variação da temperatura na Cozinha (piso 1) para vento frontal com ventiladores .....	73
Figura 82 – Variação da temperatura no WC para vento frontal com ventiladores .....	74
Figura 83 – Número de renovações por hora no espaço comum (piso 1) para vento frontal com ventiladores .....	74
Figura 84 – Tipo de aberturas para o caso de estudo .....	75
Figura 85 – Velocidade nas aberturas no espaço comum (piso 1) para vento lateral com ventiladores .....	75
Figura 86 – Edifício para o caso de estudo com as zonas cinzentas para vento frontal identificadas .....	77
Figura 87 – Tipo de aberturas para o caso de estudo .....	77
Figura 88 – Velocidade nas aberturas no espaço comum (piso 1) para vento frontal com ventiladores com uma abertura na zona cinzenta .....	78
Figura 89 – Velocidade nas aberturas no espaço comum (piso 2) para vento frontal com ventiladores com uma abertura na zona cinzenta .....	78
Figura 90 – Edifício para o caso de estudo com as zonas cinzentas para vento Lateral identificadas .....	79
Figura 91 – Tipo de aberturas para o caso de estudo .....	79
Figura 92 – Variação da velocidade nas aberturas no espaço comum (piso 1) para vento Lateral com ventiladores com uma abertura na zona cinzenta .....	80
Figura 93 – Variação da velocidade nas aberturas no espaço comum (piso 2) para vento Lateral com ventiladores com uma abertura na zona cinzenta .....	80

## Lista de Tabelas

Tabela 1 – Quadro resumo .....	25
Tabela 2 – Relações Geométricas do Edifício .....	33
Tabela 3 – Resultados para edifício sem ventiladores ou condutas sujeito a vento frontal .....	45
Tabela 4 – Resultados para edifício com vento frontal e aberturas (2), (16), (21) e (35) na zona destacada a cinzento (Figura 35) .....	45
Tabela 5 – Resultados para edifício sem ventiladores ou condutas sujeito a vento lateral .....	46
Tabela 6 – Resultados para edifício com vento lateral e aberturas (1), (11), (20) e (30) na zona destacada a cinzento (Figura 36) .....	46
Tabela 7 – Resultados para edifício com ventilador na abertura (11) e (30) sujeito a vento frontal .....	47
Tabela 8 – Resultados para edifício com ventilador na abertura (11) e (30) com vento frontal frontal e aberturas (2), (16), (21) e (35) na zona destacada a cinzento (Figura 35) .....	47
Tabela 9 – Resultados para edifício com ventilador na abertura (16) e (35) sujeito a vento lateral .....	48
Tabela 10 – Resultados para edifício com ventilador na abertura (16) e (35) com vento lateral e aberturas (1), (11), (20) e (30) na zona destacada a cinzento (Figura 36) .....	48
Tabela 11 – Resultados para edifício com conduta no WC sujeito a vento frontal .....	50
Tabela 12 – Resultados para edifício com conduta na cozinha sujeito a vento frontal .....	52
Tabela 13 – Resultados para edifício com conduta na cozinha e no WC sujeito a vento frontal ... .....	54
Tabela 14 – Resultados para edifício com conduta na cozinha e no WC com vento frontal e aberturas (2) e (21) na zona destacada a cinzento .....	54
Tabela 15 – Resultados para edifício com conduta no WC sujeito a vento Lateral .....	55
Tabela 16 – Resultados para edifício com conduta na cozinha sujeito a vento lateral .....	56
Tabela 17 – Resultados para edifício com conduta na cozinha e no WC com vento lateral .....	58
Tabela 18 – Resultados para edifício com conduta na cozinha e no WC com vento lateral e aberturas (1) e (20) na zona destacada a cinzento .....	58

## Nomenclatura

- $A_k$  Área das aberturas
- $A_F$  Área de cada uma das paredes  $l_i$  do espaço  $i$
- $B_F$  Força de impulsão térmica
- $cp_0$  Calor específico do ar
- $Cp_k$  Coeficientes de pressão
- $F_k$  Força dinâmica motriz do escoamento
- $g$  Aceleração da gravidade
- $h_{F,U}$  Coeficiente global de transmissão de calor da parede
- $H_k$  Cota média da abertura  $k$  medida relativamente à abertura a nível mais baixo no espaço  $i$
- $i$  Índice dos espaços
- $k$  Índice das aberturas
- $P$  Pressão
- $P_0$  Pressão estática de referência
- $\dot{Q}_i$  Calor gerado no espaço  $i$
- $R$  Constante do ar
- $T_0$  Temperatura exterior
- $T_i$  Temperatura do espaço  $i$
- $U_k$  Velocidade média na abertura  $k$
- $U_0$  Valor da velocidade do vento
- $U_{0C}$  Velocidade do vento ao nível da extremidade da chaminé
- $V_i$  Volume do espaço  $i$
- $\Delta\rho_i$  Diferença entre a massa volúmica do ar no espaço  $i$  e a massa volúmica do ar exterior
- $\rho_i$  Massa volúmica do ar no espaço  $i$
- $\rho_0$  Massa volúmica do ar exterior
- $\xi_k$  Coeficiente de perda de carga na abertura  $k$

## 1. Introdução

Garantir a qualidade do ar dentro de um determinado espaço, especialmente, quando este se destina à ocupação humana, é essencial para que este se possa considerar apto à sua utilização, é neste contexto que surge a ventilação. A ventilação é o garante da qualidade do ar, não só em termos da sua viciação resultante do ar respirado, como também uma forma de evitar a proliferação de doenças diluindo as possíveis ameaças para a saúde contidas no ar e ainda uma forma de evitar a proliferação de cheiros desagradáveis. A ventilação pode ainda servir para regular as condições térmicas no interior dos espaços habitados.

A ventilação consiste na remoção do ar interior viciado através da introdução de ar exterior fresco. Este processo é conseguido pondo os espaços interiores em contacto com o exterior através de aberturas de ventilação por onde se faz a infiltração do ar exterior novo e a remoção do ar interior viciado.

Existem dois modos distintos de ventilação, quando esta é promovida apenas pela acção do vento e dos efeitos térmicos diz-se natural. Quando é promovida utilizando também meios mecânicos, como os ventiladores, diz-se forçada.

Esta problemática da ventilação e dos fenómenos que lhe estão associados é importante e existem normas específicas que regulamentam os dispositivos de ventilação das novas construções. São disto exemplo as normas NP 1037-1 (2002) *“Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás. Parte 1: Edifícios de habitação. Ventilação natural”* que se aplica à ventilação natural [13] e NP 1037-2 (2002) *“Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás. Parte 2: Edifícios de habitação. Ventilação mecânica centralizada (VMC) de simples fluxo”* que se aplica à ventilação forçada [14]. Existe também no *Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios* [11] e no *“Regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios”* [12] informações relativas à qualidade do ar que deve ser garantida no interior dos edifícios destinados a diferentes utilizações. É evidente a importância da ventilação e estas normas impõe requisitos para que esta se efectue da forma correcta. Estas normas impõem

determinados tipos de dispositivos de ventilação nos espaços e recorrem a métodos empíricos para a sua quantificação.

Em termos do estudo da ventilação tem-se assistido a duas abordagens diferentes, uma delas é baseada na simulação numérica dos escoamentos de ventilação no interior dos espaços, a outra na utilização modelos simplificados. A primeira recorre à simulação numérica das equações de *Navier-Stokes*, são disto exemplo os seguintes trabalhos *“Contribuições para o estudo da ventilação natural de edifícios”* [5], *“Ventilação Natural (Simulação de um Escoamento de Ventilação natural)”* [6] e *“Ventilação Natural”* [7]. O primeiro estudo simula o escoamento interior do espaço e faz a ligação do escoamento interior com o exterior através dos coeficientes de pressão no exterior das aberturas de ventilação do edifício e dos coeficientes de perda de carga das aberturas. Nos dois últimos trabalhos estes dados empíricos não são utilizados, uma vez que se faz a simulação da interacção do vento atmosférico com o edifício considerando-o como um corpo poroso com aberturas de ventilação, i. e. que fazem a simulação do escoamento no exterior e no interior do edifício. O segundo método de estudo que podemos denominar de modelo simplificado, recorre às equações integrais de massa, quantidade de movimento e energia e ao conhecimento empírico dos coeficientes de perda de carga das aberturas e dos coeficientes de pressão resultante da acção do vento nas paredes exteriores dos edifícios. São disto exemplo os seguintes trabalhos *“Fundamentals of industrial ventilation”* [8], *“Um Programa de Cálculo Automático (PCA) de Ventilação Natural: Ventil.For”* [1], *“Um Programa de Cálculo de Ventilação Natural de Edifícios”* [2], *“Wind action and temperature difference effects on the ventilation rate of a two-storey building communicating with the outside environment by a chimney”* [4] e *“Pavilhões Industriais. Solicitações, Interferência e Ventilação Natural”* [3]. Nos quatro últimos apresenta-se o modelo numérico que foi aplicado no presente trabalho e que permite determinar a velocidade do ar nas aberturas de ventilação, a pressão, a massa volúmica e a temperatura no interior de cada espaço do edifício, i. e., os parâmetros de ventilação mais relevantes.

O estudo desenvolvido no presente trabalho insere-se no segundo tipo de abordagem anteriormente referida. Focaliza a sua atenção nos valores dos parâmetros de ventilação para cada espaço de um edifício e não no escoamento no interior desses espaços. O modelo de

partida para a ventilação natural descrito em [1] e [2] foi aqui expandido para condições de ventilação mista e forçada com a introdução da modelação adequada aos ventiladores e às condutas de ventilação.

No capítulo 2 do presente trabalho faz-se a apresentação do modelo simplificado que serve de base ao estudo aqui desenvolvido, faz-se ainda uma breve descrição do modo de funcionamento do software no qual foram realizados os estudos que vão ser apresentados posteriormente. No capítulo 3 faz-se a validação dos resultados recorrendo ao modelo analítico simples. No capítulo 4 apresenta-se a forma como foi realizada a modelação dos ventiladores para a sua aplicação no software utilizado, ainda como uma descrição dos problemas encontrados neste mesmo processo e a validação dos resultados encontrados. Ainda no 4º capítulo é apresentada a forma como foram modeladas as condutas de ventilação, assim como a chaminé, para também estas serem inseridas no software utilizado. No capítulo 5 faz-se a caracterização do edifício em estudo, nomeadamente quanto à sua utilização, a sua geometria, o número de andares e divisões. São também apresentadas as direcções e a acção do vento sobre o edifício assim como, a identificação de cada espaço e de cada abertura existente em cada um dos espaços e ainda apresentadas as dimensões de cada um destes. Ainda no 5º capítulo é feita a caracterização de cada uma das aberturas. São ainda, neste mesmo capítulo, apresentados vários casos de estudo para diferentes configurações do edifício, para posteriormente ser escolhida aquela que melhor servirá os propósitos da ventilação. No capítulo 6 e partindo da configuração escolhida no capítulo anterior, introduz-se uma fonte de calor em dois dos espaços e faz-se variar a velocidade do vento exterior para posteriormente se estudar o comportamento do edifício para as diferentes solicitações, inicialmente sem ventiladores e posteriormente com a introdução de ventiladores à entrada das condutas de ventilação.

A análise realizada neste trabalho, partindo de um modelo simples, permite-nos obter de uma forma relativamente rápida e concisa as soluções para problemas complexos de ventilação. Contudo e apesar das simplificações esta dá uma resposta eficaz às questões de interesse do ponto de vista da engenharia.



## 2. Modelo Simplificado para a Ventilação Natural

Sabemos que para a ventilação natural, o ar move-se das zonas de maior pressão para as de menor pressão, os gradientes de pressão estabelecidos entre as aberturas de ventilação são o motor dos escoamentos de ventilação. As forças que promovem estes escoamentos são assim resultantes da pressão nas aberturas de ventilação. A força aplicada de cada lado das aberturas da figura 1 pode ser traduzida por:

$$F_{ext(1ou2)} = p_{ext} \times A_{Abert} \quad (2.1)$$

$$F_{int(1ou2)} = p_{int} \times A_{Abert} \quad (2.2)$$

As pressões que geram estas forças no exterior das aberturas têm origem na acção dinâmica do vento e podem ser expressas por:

$$P_{ext(1ou2)} = \frac{1}{2} \times \rho \times U_0^2 \times Cp_{(1ou2)} \quad (2.3)$$

Onde,

$$Cp_{(1ou2)} = \frac{P_{(1ou2)} - P_0}{\frac{1}{2} \times \rho \times U_0^2}, \quad (2.4)$$

$U_0$  é o valor da velocidade do vento (a uma cota de referência),  $\rho_0$  a massa volúmica do ar e  $P_0$  é a pressão atmosférica.

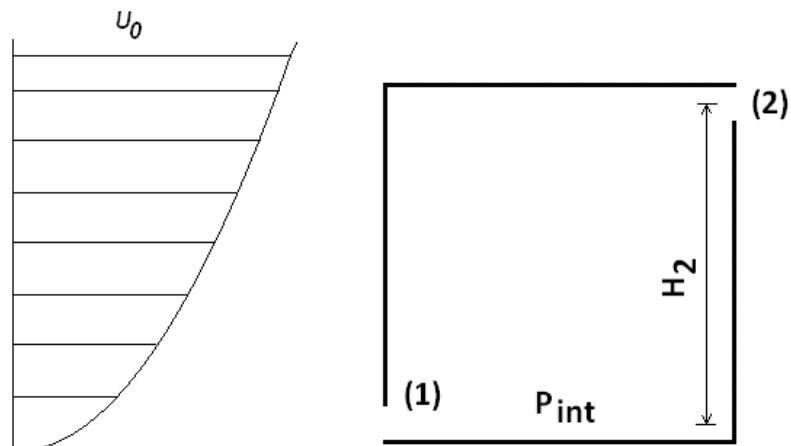


Figura 1 – Esquema da acção do vento sobre um edifício

Se o espaço for aquecido o efeito da impulsão térmica far-se-á sentir e a pressão no lado interior da abertura superior (abertura (2)) será dado por:

$$P_{int} + B_2 \quad (2.5)$$

Onde,

$$B_2 = -\Delta\rho_{int} \times H_2 \times g, \quad (2.6)$$

$\Delta\rho_i (= \rho_i - \rho_0)$  é a diferença entre a massa volúmica do ar no espaço  $i$ ,  $\rho_{int}$ , e a massa volúmica do ar exterior,  $\rho_0$ .  $H_2$  é a cota média da abertura 2, medida relativamente à abertura a nível mais baixo do espaço e  $g$  é a aceleração da gravidade

A velocidade do ar no interior dos espaços internos do edifício é muito inferior à velocidade nas aberturas de ventilação assim as forças dissipativas que se opõem aquelas forças podem ser expressas pelas perdas de carga nas aberturas de ventilação. Sendo esta dissipação expressa por:

$$\Delta P_{(1ou2)} = \xi_{(1ou2)} \times \frac{1}{2} \times \rho_0 \times U_{(1ou2)} \times |U_{(1ou2)}| \quad (2.7)$$

Onde  $\xi_{(1ou2)}$  e  $U_{(1ou2)}$  são respectivamente o coeficiente de perda de carga e a velocidade média na abertura.

Os estudos que foram realizados e que serão apresentados numa fase posterior consideram ainda que, a temperatura é uniforme em cada espaço interno e que a variação de pressão é hidrostática.

Considerando agora um edifício genérico constituído por  $n$  espaços internos, onde pode, ou não, haver libertação de calor e que cada um desses espaços ( $i=1,2, \dots, n$ ) pode comunicar com os restantes ou com o exterior a partir de  $m_i$  aberturas e  $l_i$  paredes. Considera ainda que a pressão no exterior do edifício é caracterizada pelo coeficiente de pressão  $Cp_k$  e tendo em conta as simplificações já atrás enumeradas, vem que a Equação da Continuidade para cada um dos espaços internos  $i$ :

$$\sum_{k=1}^{m_i} U_k A_k = 0 \quad (2.8)$$

Onde  $U_k$  e  $A_k$  são respectivamente a velocidade média e a área da abertura  $k$ .

A Equação da Quantidade de Movimento que se reduz à equação de Bernoulli para cada uma das aberturas k [1], [2], sendo que para aberturas interiores:

$$(\Delta\rho_i H_k - \Delta\rho_i^* H_k^*)g + (P_i^* - P_i) - \xi_k \frac{1}{2} \rho_o U_k |U_k| = 0 \quad (2.9)$$

Onde o índice superior <sup>(\*)</sup> se refere às grandezas no espaço em comunicação com o espaço i através da abertura k. Para as aberturas em comunicação com o exterior  $\Delta\rho_k^*$  é por definição nulo e  $P_i^*$  é a pressão  $P_k$  expressa pela equação. E para as aberturas exteriores vem que:

$$(\Delta\rho_i H_k)g + (\frac{1}{2} \rho_o U_o^2 C_{p_k} - \Delta P_i) - \xi_k \frac{1}{2} \rho_o U_k |U_k| = 0 \quad (2.10)$$

A Equação da Energia para cada um dos espaços internos i, traduz-se por:

$$\dot{Q}_i + \sum_{k=1}^{m_i} \rho_o c_{p0} U_k A_k T^+ + \sum_{p=1}^{l_i} h_p A_p (T_i - T_i^{**}) = 0 \quad (2.11)$$

Onde  $\dot{Q}_i$  é o calor gerado no espaço i,  $c_{p0}$  é o calor específico do ar e  $T^+$  é igual a  $T_i$  se  $U_k < 0$  ou a  $T_i^*$  se  $U_k > 0$ .  $A_p$  é a área de cada uma das paredes  $l_i$  do espaço i e  $h_p$  o seu coeficiente global de transmissão de calor. Nesta equação o sobre índice <sup>(\*)</sup> refere-se ao espaço em comunicação com o espaço i através da abertura k e o sobre índice duplo <sup>(\*\*)</sup> ao espaço contíguo a i através da parede p.

Para fechar este sistema de equações, considera-se que o ar se comporta como um gás perfeito e tendo-se em conta as hipóteses atrás consideradas, através da equação de estado ( $P = \rho RT$ ) que, pela hipótese de Boussinesq, se reduz à seguinte relação para cada um dos espaços internos i.

$$\frac{\Delta\rho_i}{\rho_o} + \frac{(T_i - T_o)}{T_o} = 0 \quad (2.12)$$

O modelo que aqui se apresenta utiliza informações relativamente às condições de fronteira no exterior de um edifício, que podem ser obtidas recorrendo a testes laboratoriais, a

bibliografia [9] ou a legislação específica [10], [11], [12]. Os coeficientes de pressão, de perda de carga e global de transmissão de calor permitem por via analítica conhecer as condições de escoamento no interior, recorrendo às equações integrais de balanço de massa, da quantidade de movimento e energia.

Este é o modelo que serve de base ao programa informático de cálculo automático de ventilação que é utilizado nos estudos realizados no decorrer desta tese. Para o seu funcionamento o programa requer que lhe sejam introduzidas as características geométricas, dissipativas e térmicas do edifício, bem como, as condições ambientes exteriores de temperatura (T0) e as condições de vento (U0 e direcção). O programa depois dá informações relativas às taxas de renovação, as pressões e as temperaturas no interior de cada um dos espaços internos do edifício. Este é constituído por um ficheiro principal, onde está o algoritmo de cálculo, ficheiro este que lê um ficheiro de dados, onde o utilizador insere as condições geométricas e ambientais a que a edificação em estudo vai ser submetida. O programa principal vai então gerar um conjunto de incógnitas, conforme o seguinte:

$$N = \sum_{I=1}^{NESP} NA(I) + 3 \times NESP \quad (2.13)$$

Em que N é o número total de incógnitas, NA(I) as aberturas e NESP os espaços internos. As incógnitas a ser geradas são relativas às  $\Sigma NA(I)$  velocidades, em cada uma das aberturas e 3 x NESP variações: de pressão (NESP), de massa volúmica (NESP) e de temperatura (NESP). Após construir e resolver os sistemas de equações, com base no sistema de geração de incógnitas atrás referido, o programa emite um ficheiro com os resultados obtidos para os parâmetros de ventilação para as condições inseridas.

*Nota 1: Para os casos atrás enunciados apenas se entrou em linha de conta com forças naturais, o escoamento para dentro de um determinado espaço também pode ser promovido através de agente mecânicos que serão tratados mais à frente.*

*Nota 2: Apenas foram consideradas as aberturas de ventilação. A situação de condutas, chaminés e ventiladores será abordada numa fase posterior.*

### 3. Verificação de resultados para a Ventilação Natural

Para o estudo do programa começou-se por efectuar um conjunto de simulações, para um edifício com apenas um espaço interior e duas aberturas de ventilação situadas a cotas diferentes. O espaço tem um volume de  $(5 \times 5 \times 5) \text{ m}^3$  e a área de cada das aberturas é de  $(1 \times 1) \text{ m}^2$ , tal como mostra a figura 2. As paredes foram consideradas adiabáticas e simuladas duas situações de aquecimento interno  $Q=0\text{W}$  e  $Q=5000\text{W}$ .

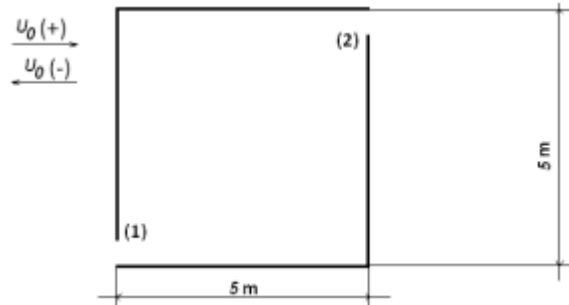


Figura 2 – Esquematização da edificação em teste

Considerou-se a direcção do vento normal às fachadas com aberturas e os dois sentidos do vento como se representa na figura 2. Os valores dos coeficientes de pressão no exterior das aberturas são de  $C_{p(1,2)} = \pm 1$  consoante fiquem a montante (+1) ou a jusante (-1) do sentido do vento. Para os valores dos coeficientes de perda de carga das aberturas de ventilação foram tomados os valores  $\xi_1 = \xi_2 = 2.5$ . Nas figuras 3 e 4 apresentam-se os resultados obtidos para a velocidade do ar nas aberturas de ventilação em função da intensidade e sentido do vento atmosférico, respectivamente para  $Q=0\text{W}$  e  $Q=5000\text{W}$ .

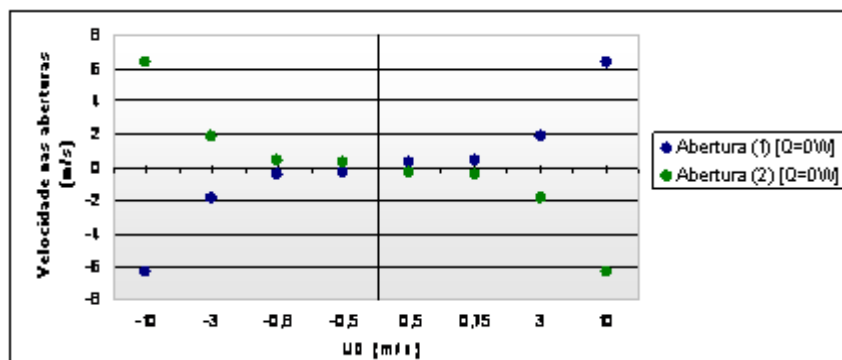


Figura 3 – Velocidade nas aberturas ( $Q=0\text{W}$ )

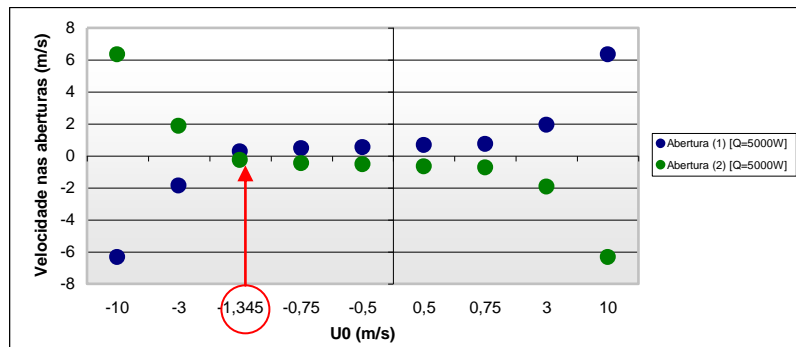


Figura 4 – Velocidade nas aberturas (Q=5000W)

Podemos concluir que na primeira situação,  $Q=0W$ , independentemente do sentido do vento a distribuição de velocidades na abertura 1 é simétrica relativamente à da abertura 2 e que em ambas a velocidade se anula quando a velocidade do vento atmosférico se anula  $U_0=0m/s$ .

Com a introdução da fonte de calor ( $Q=5000W$ ) observou-se que o efeito de impulsão térmico é relativamente pequeno. Apenas para baixos valores da velocidade do vento atmosférico se faz sentir e a velocidade nas aberturas de ventilação anulam-se para valores de  $U_0=-1,35m/s$ , isto é, vento a incidir do lado da abertura 2, a mais elevada.

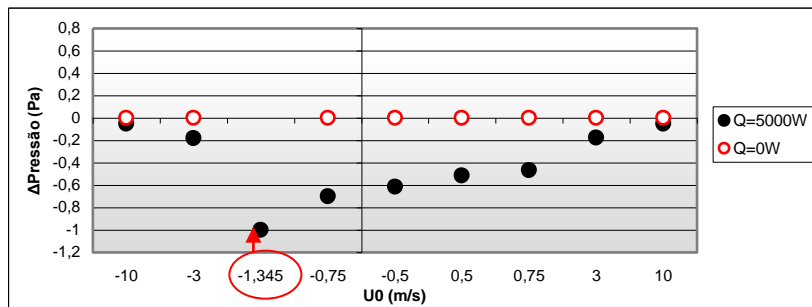


Figura 5 – Pressão interior (Q=0W e Q=5000W)

Na figura 5 apresentam-se os valores da pressão interior em função da intensidade e sentido do vento para as duas situações de aquecimento  $Q=0W$  e  $Q=5000W$ . Nas figuras 6 e 7 apresentam-se a variação da temperatura e da massa volúmica interior. Estas variações são máximas para valores de  $U_0=-1,35m/s$  que correspondem ao anulamento da taxa de ventilação e logo à ausência das correntes de convecção entre as aberturas.

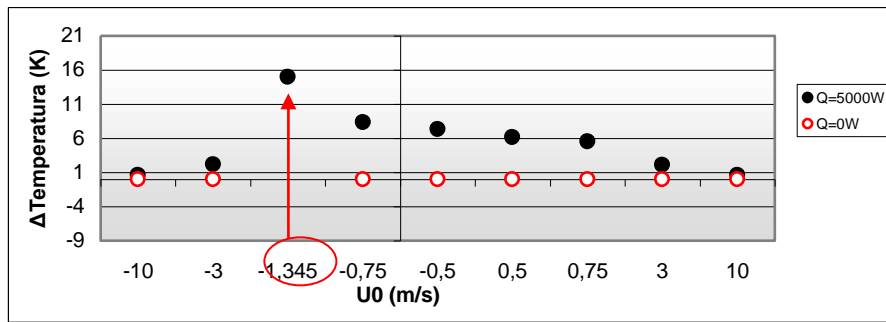


Figura 6 – Temperatura interior (Q=0W e Q=5000W)

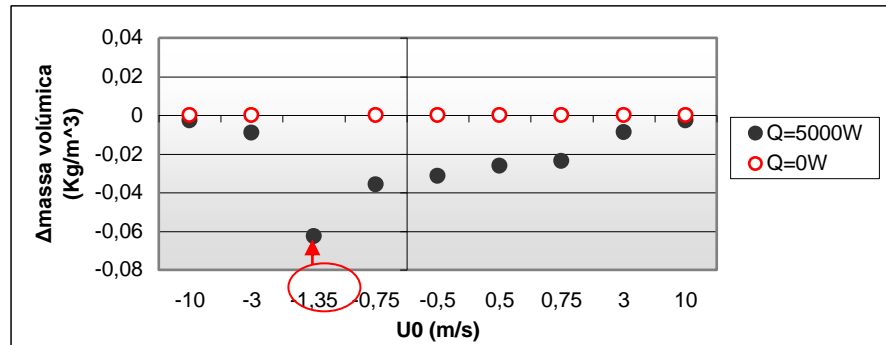


Figura 7 – Massa Volúmica interior (Q=0W e Q=5000W)

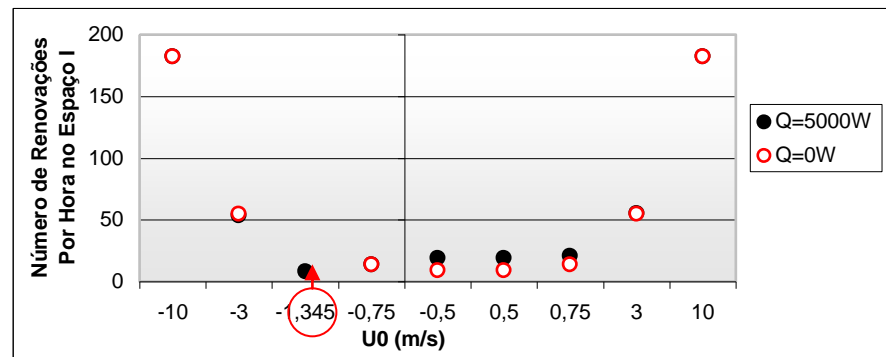


Figura 8 – Número de Renovações

A taxa de renovação do interior do espaço, figura 8, tem uma distribuição simétrica para a ausência de calor ( $Q=0$  W) e com calor ( $Q=5000W$ ) a influência no número de renovações só é significativa para valores muito baixos da velocidade do vento i.e. entre  $U_0=-1,35m/s$  e  $U_0=0,75m/s$ .



## 4. Modelação

O objectivo principal do presente trabalho foi a extensão do programa de ventilação natural referido em [1] para ventilação mista e forçada. Foi assim necessário ainda no campo da ventilação natural, modelar as condutas de ventilação e as chaminés e no da ventilação forçada os ventiladores mecânicos, modelações estas que se apresentam no presente capítulo.

### 4.1. Modelação de ventiladores mecânicos

Tomou-se como exemplo para a presente aplicação o ventilador MF-150 LL do fabricante Sodeca (Anexo B). Na figura 9 apresentam-se as dimensões e na figura 10 a curva característica de funcionamento deste ventilador.

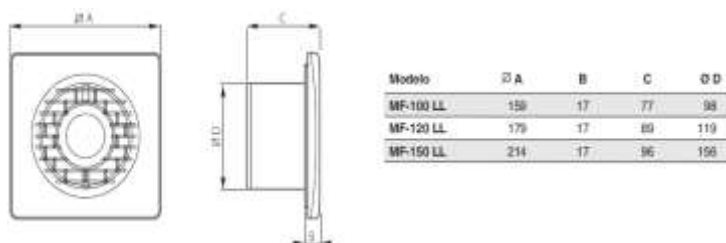


Figura 9 – Dimensões do ventilador

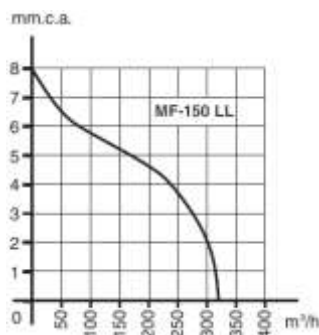
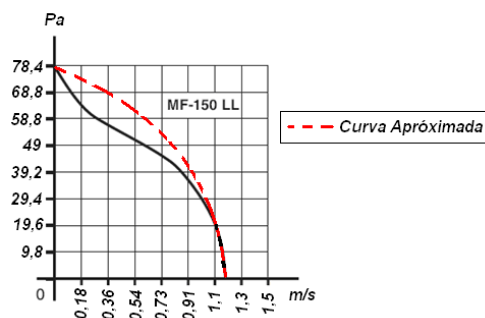


Figura 10 – Curva característica do ventilador (P-Q)

Para modelar esta curva característica, com vista à sua introdução no programa de cálculo, aproximou-se a curva (P-Q) a uma parábola com origem no eixo (0,Y) e substituiu-se o caudal pela velocidade no ventilador ( $V=Q/A$ ; com  $A=\pi r^2=0,076454\text{m}^2$ ), para que a pressão fosse dada em função da velocidade. Obteve-se a curva característica (P-V) que se representa na figura 11, que poderá ser expressa pela equação (4.1).

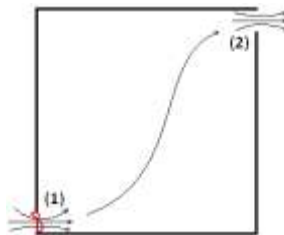
$$P = \underbrace{-59,5}_{\text{Constante-a}} (v)^2 + \underbrace{78,4}_{\text{Constante-c}} \quad (4.1)$$

Em que a constante  $a$  é a concavidade da função e a constante  $c$  é o valor máximo da pressão, tal como se pode observar na figura 11.

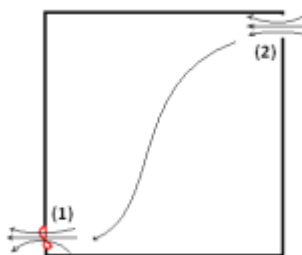


**Figura 11 – Curva característica (P-V)**

Para o efeito de testes, considerou-se a mesma edificação utilizada nos capítulos anteriores, e foi introduzido um ventilador na abertura (1), que poderá funcionar como um insuflador como se mostra esquematicamente na figura 12 ou como exaustor como se mostra esquematicamente na figura 13:



**Figura 12 – Representação esquemática do insuflador**



**Figura 13 – Representação esquemática do exaustor**

No programa de cálculo, substituiu-se a curva do ventilador pela equação de perda de carga na abertura e realizou-se uma sequência de testes. Verificou-se que existia um erro de modelação. O problema foi identificado e posteriormente resolvido. Teve como causa, a curva característica utilizada para modelar o ventilador, equação 4.1. Trata-se de uma função quadrática que se intersecta duas vezes com a curva da pressão no interior do edifício. Isto deu origem a que a equação tivesse duas soluções. Acontece que apenas uma dessas soluções é válida. Passamos a demonstrar graficamente a fonte do problema.

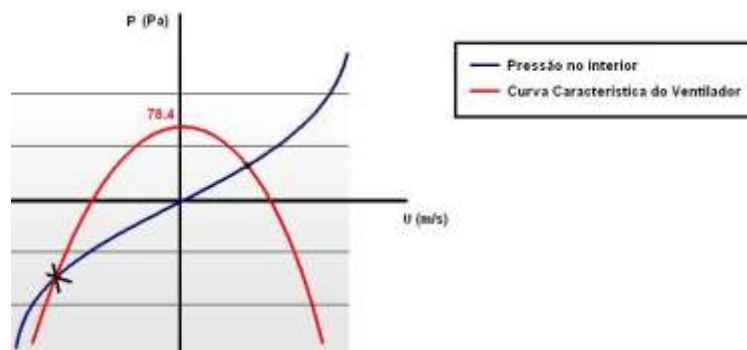


Figura 14 – Curvas (P-V)

A parábola refere-se ao ventilador como insuflador e a curva azul à variação da pressão no interior da edificação. O ponto de intersecção das duas curvas, identificado por um ponto preto, corresponde à solução correcta do problema para aquele regime de funcionamento. Estamos obviamente a referir-nos ao momento em que a velocidade exterior é nula e conseqüentemente a pressão no interior da edificação tem origem no processo de ventilação provocado pelo insuflador, o que origina que  $P_{int} > 0$ . O ponto representado por uma cruz negra, não é então uma solução para este problema, logo é uma solução não válida. Para o caso do exaustor, a situação é muito semelhante, o que acontece é que a curva do exaustor inverte em relação ao eixo das velocidades, o que origina a que a  $P_{int} < 0$ , para o ponto em que a velocidade exterior é nula, que passamos a demonstrar graficamente, identificando as situações de modo semelhante.

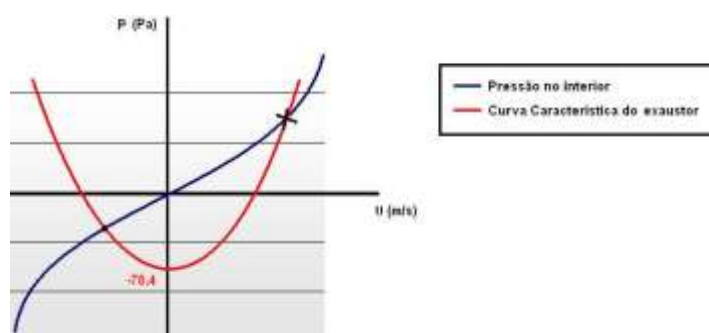


Figura 15 – Curvas (P-V)

Detectado o problema partiu-se para a sua resolução, por forma, a que a curva do ventilador, esteja ele a funcionar como insuflador ou exaustor, apenas intersecte a curva característica da pressão interior, no ponto da solução válida, obtendo-se desta forma uma única solução, a

correcta. A solução encontrada foi substituir-se na equação do ventilador, o valor quadrado da velocidade, por uma multiplicação do valor da velocidade pelo seu valor absoluto, ou seja:

$$P = \underbrace{-59,5}_{\text{Constante}-a} \times v \times |v| + \underbrace{78,4}_{\text{Constante}-c} \quad (4.2)$$

O que graficamente resulta em:

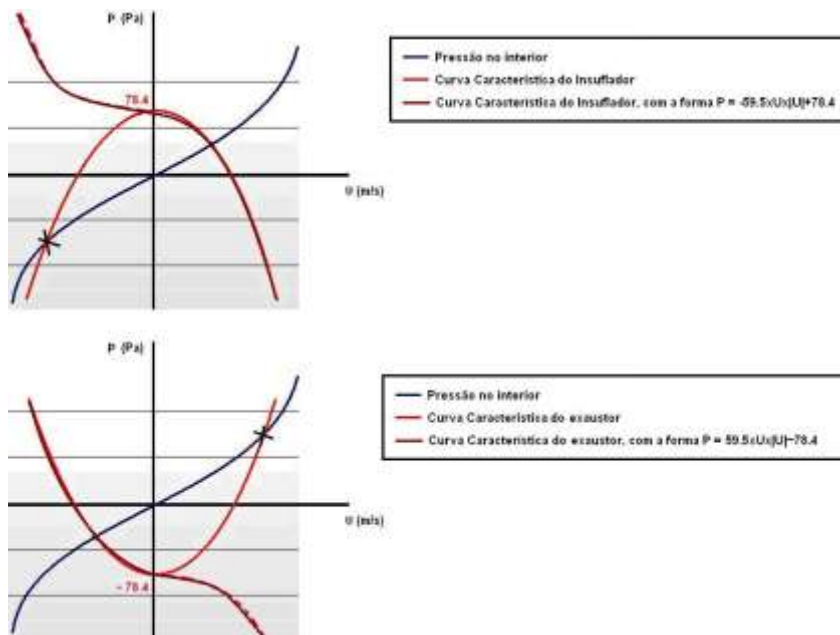


Figura 16 – Curvas (P-V) com a nova curva característica do ventilador

#### 4.1.1. Estudo de uma edificação com apenas um espaço e um ventilador

Efectuadas estas correcções obteve-se, independentemente da primeira aproximação, os valores que eram esperados de acordo com o modelo, tanto para o insuflador como para o exaustor. De referir que durante a realização destes testes, por motivos de simplificação de cálculos, se manteve a área característica das aberturas (1 m<sup>2</sup>), o implica que na abertura (1) onde se colocou o ventilador não esteja presente um ventilador mas sim aproximadamente 13 ventiladores. No entanto para o presente estudo não interessa a quantidade de ventiladores mas sim o efeito que estes produzem dentro da edificação, assim sendo manteve-se a simplificação de se manter as áreas das aberturas iguais e de 1 m<sup>2</sup> de área.

Para o caso do insuflador, a equação de Bernoulli traduz-se agora em:

$$\rho_0 \times h \times g + \frac{1}{2} \times \rho_0 \times C_p \times U_0^2 = -78,4 + 59,5 \times U \times |U| \quad (4.3)$$

E para o caso do exaustor:

$$\rho_0 \times h \times g + \frac{1}{2} \times \rho_0 \times Cp \times U_0^2 = 78,4 + 59,5 \times U \times |U| \quad (4.4)$$

Para o caso em que o ventilador, esta sob uma pressão superior à sua pressão limite de funcionamento, neste caso 78,4 Pa. Para este caso o ventilador deixa de realizar a actividade para a qual foi projectado, seja ele insuflador ou exaustor, e passa a apenas a introduzir uma perda de carga no fluxo de ar a passar pela abertura. Vamos dar como exemplo o caso em que está colocado na abertura (1) um insuflador, neste caso a velocidade nesta abertura é negativo. Ao contrário do que acontecia na situação estudada anteriormente, apenas se sentiria uma diminuição da velocidade a passar pela abertura, considerou-se um valor de 10 para a perda de carga do ventilador. Para se introduzir no programa de cálculo, seguiu-se o seguinte raciocínio:

$$P_{ext(abertura(1))} + 78,4 \leq P_{int} \quad (4.5)$$

O que vem de encontro ao que foi dito anteriormente, já que para se anular o efeito do ventilador a pressão no interior da edificação tem que ser superior à pressão limite do ventilador e à pressão sentida no exterior da abertura, para desta forma o ar sair e não entrar. Desta forma vem então que a condição de fronteira é dada por:

$$P_{int} - P_{ext(abertura(1))} \geq 78,4 \quad (4.6)$$

Para esta condição de fronteira a equação de Bernoulli para o insuflador vem na seguinte forma:

$$\rho \times h \times g + \frac{1}{2} \times \rho_0 \times U_0^2 \times Cp = \frac{1}{2} \times \rho \times \underbrace{10}_{\varepsilon_{Ventilador}} \times U \times |U| - 78,4 \quad (4.7)$$

E para o exaustor na seguinte forma:

$$\rho \times h \times g + \frac{1}{2} \times \rho_0 \times U_0^2 \times Cp = \frac{1}{2} \times \rho \times \underbrace{10}_{\varepsilon_{Ventilador}} \times U \times |U| + 78,4 \quad (4.8)$$

Vamos agora apresentar os resultados obtidos para um conjunto de testes realizados para diferentes valores da velocidade exterior ( $U_0$ ), na figura 17 encontram-se os modos de funcionamento do ventilador assim como a direcção do vento considerada.

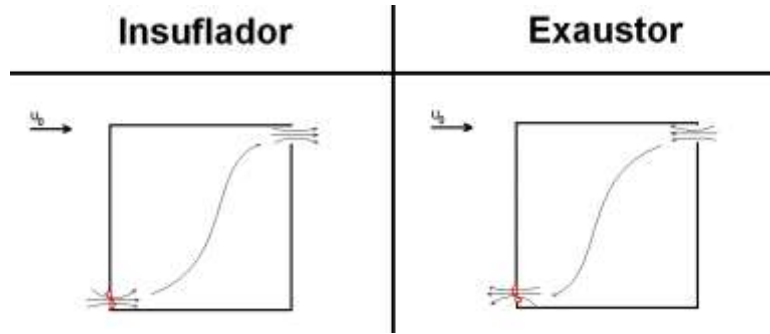


Figura 17 – Modos de funcionamento do ventilador

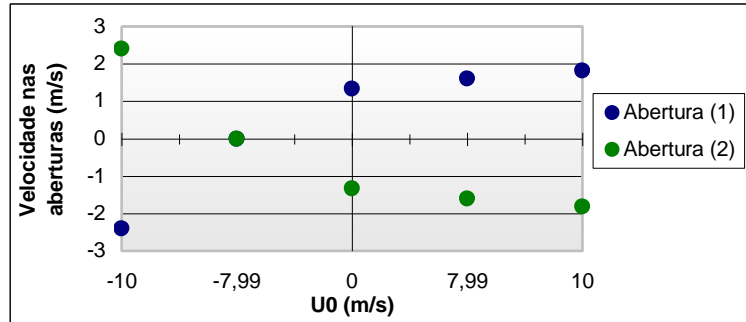


Figura 18 – Velocidade nas aberturas com um insuflador na abertura (1)

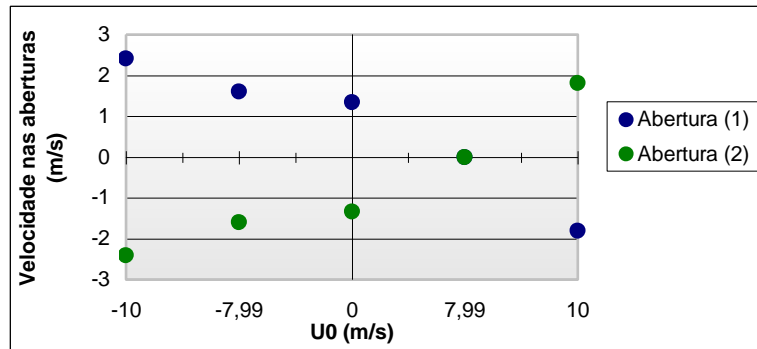


Figura 19 – Velocidade nas aberturas com um exaustor na abertura (1)

Destas figuras concluímos que quando o vento exterior atinge o valor absoluto de  $U_0=7,99\text{m/s}$  anula o efeito do ventilador, mais especificamente quando  $U_0=-7,99\text{m/s}$  anula o efeito do insuflador e quando  $U_0=7,99\text{m/s}$  anula o efeito do exaustor.

De referir, tal como foi explicado no capítulo 2, que por cada espaço as primeiras incógnitas geradas correspondem às velocidades nas aberturas, figuras 18 e 19, às quais se acrescem mais três incógnitas referentes à pressão, massa volúmica e temperatura. A forma como são geradas estas incógnitas é fundamental para a correcta interpretação de estruturas mais complexas, tal como sucede no subcapítulo seguinte.

#### 4.1.2. Estudo de uma edificação com dois espaços e com ventiladores

Nestes ensaios preliminares foi ainda considerado a situação em que temos mais que um espaço dentro de uma edificação e de como esta situação é modelada no programa quando está presente um ventilador. Para tal foram consideradas diferentes configurações para um mesmo edifício, começemos pela situação em que é colocado um insuflador na abertura (1), tal como demonstra a figura.

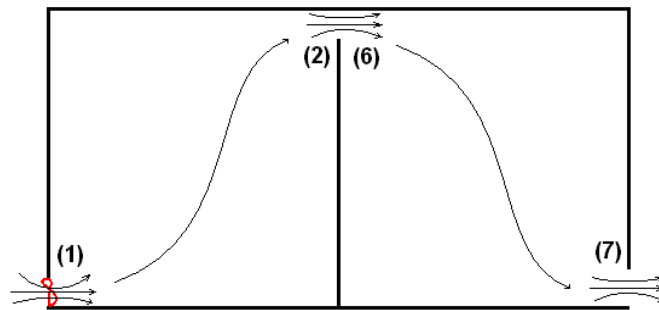


Figura 20 – Esquematização da edificação em teste

*Nota: Os índices 2 e 6 referem-se à mesma abertura, mas correspondem a espaços diferentes, logo incógnitas diferentes, de acordo com o esquema de geração de incógnitas que foi atrás explicado, daí a existência de dois índices diferentes para as mesmas aberturas. Em termos práticos obtemos dois resultados para a mesma abertura, que em caso de correcta modelação são iguais, mas de diferente sinal.*

Considera-se que cada espaço desta edificação é em tudo idêntico ao espaço único da edificação estudada anteriormente, seja em termos da área em planta de cada espaço, a área característica das aberturas, a altura característica da edificação, o posicionamento das aberturas, o número de aberturas e o número de paredes adiabáticas. Para este caso não foi necessário efectuar quaisquer adaptações ao programa já que o ventilador se situa numa abertura exterior, situação que já se verificava nas situações anteriores, obtivemos então os resultados que se demonstram na seguinte forma gráfica:

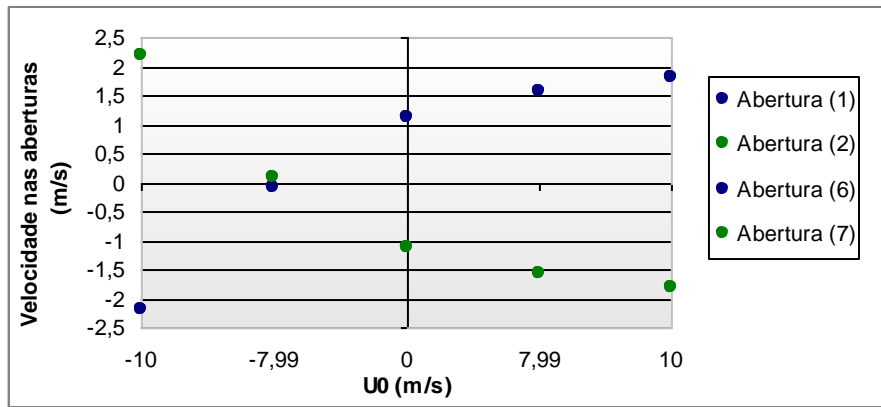


Figura 21 – Velocidade nas aberturas com um insuflador na abertura (1)

Vamos agora ver o que sucede para a mesma edificação, para o caso em que se coloca um exaustor na abertura (1).

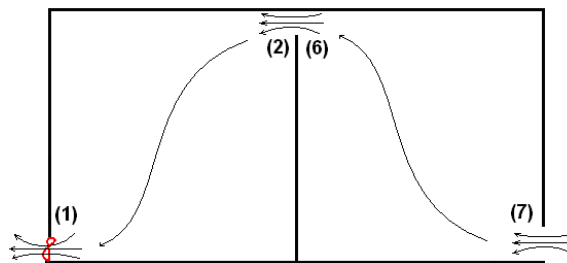


Figura 22 – Esquemática da edificação em teste

Pelas mesmas razões apresentadas anteriormente para o estudo do presente caso não se efectuaram quaisquer alterações no programa, obtendo-se os seguintes resultados:

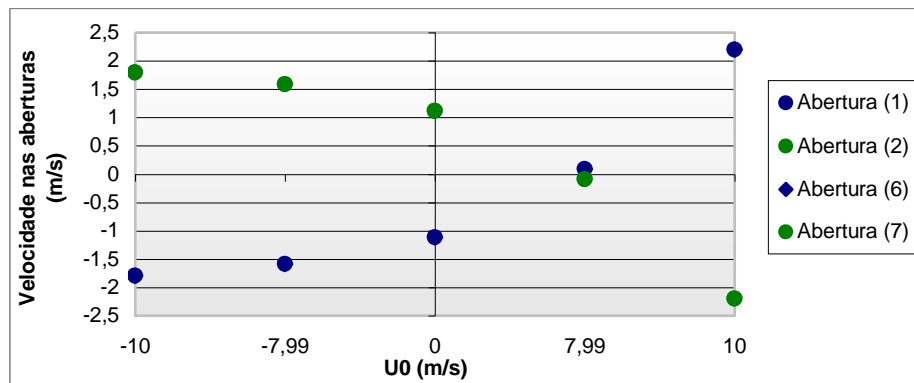


Figura 23 – Velocidade nas aberturas com um exaustor na abertura (1)

Para o caso em que é colocado um insuflador na abertura (7), como ilustra a figura abaixo.

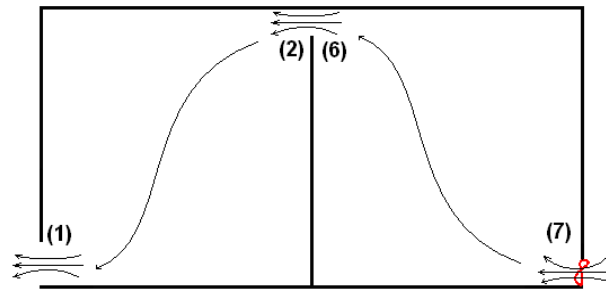


Figura 24 – Esquemática da edificação em teste

Os resultados obtidos foram os seguintes:

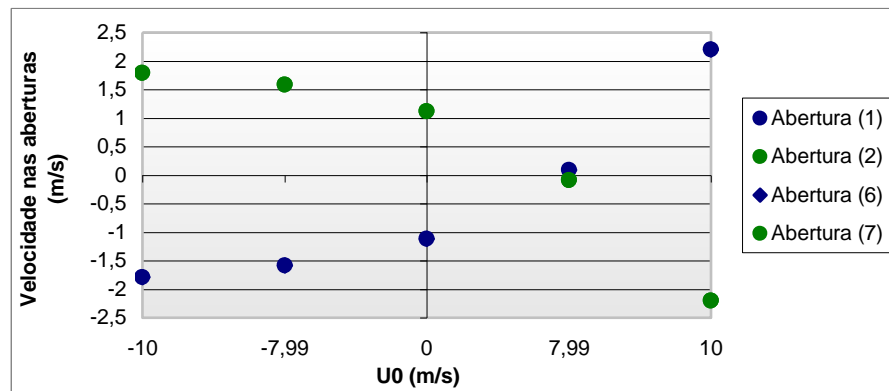


Figura 25 – Velocidade nas aberturas com um insuflador na abertura (7)

Após uma breve análise dos resultados é nos fácil concluir que para as condições aqui idealizadas , tal como seria de esperar, o comportamento do exaustor na abertura (1) é em tudo identico ao do insuflador na abertura (7). Será também fácil de prever que algo de muito similar irá suceder para o insuflador na abertura (1) e um exaustor na abertura (7) que iremos analisar em seguida.

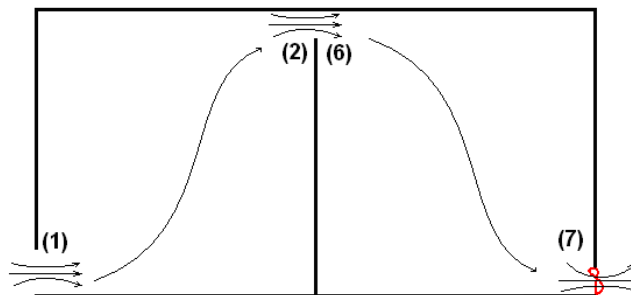


Figura 26 – Esquemática da edificação em teste

Donde, se obtve os seguintes resultados:

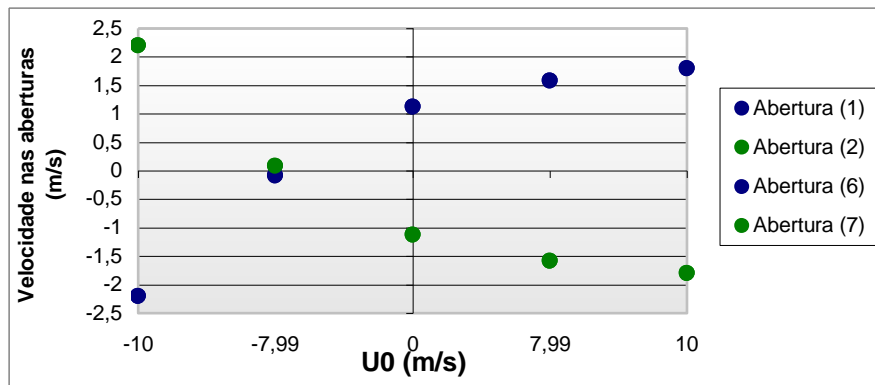


Figura 27 – Velocidade nas aberturas com um insuflador na abertura (7)

Confirma-se então as nossas conclusões relativamente ao insuflador na abertura (7).

Vamos agora analisar a última hipótese de configuração de ventilação que falta avaliar, quando está presente um ventilador numa abertura interior. Para este último caso, foi necessário efectuar algumas alterações no programa. Tal como sucedeu quando se modelou o ventilador na abertura exterior, também para este caso foi necessário introduzir as curvas características do ventilador e do insuflador na equação de Bernoulli para um escoamento numa abertura interior, que se traduziram nas equações 4.9 para o insuflador e 4.10 para o exaustor.

$$(\rho \times h - \rho' \times h') \times g + P' = -78,4 + 59,5 \times U \times |U| \quad (4.9)$$

$$(\rho \times h - \rho' \times h') \times g + P' = 78,4 + 59,5 \times U \times |U| \quad (4.10)$$

O índice ' refere-se ao espaço adjacente aquele que está a ser analisado.

Falta apenas considerar o caso em que o ventilador na abertura interior, está sob uma pressão superior à sua pressão limite de funcionamento, para esta situação voltou a considerar-se o mesmo valor de perda de carga (10) introduzido pelo ventilador. De forma a contemplar esta situação considerou-se a seguinte condição de transição:

$$P_{\text{espaço\_adjacente}} + 78,4 \leq P_{\text{int}} \quad (4.11)$$

Esta é a condição de transição do insuflador, o raciocínio que nos levou a esta conclusão é em tudo semelhante ao que utilizamos para o insuflador numa abertura exterior. Para que o insuflador deixe de realizar a função para a qual foi projectada, é necessário que a pressão no

interior do espaço em estudo seja inferior, à pressão do espaço adjacente mais a pressão limite de funcionamento do ventilador (78,4 Pa), ou seja:

$$P_{\text{int}} - P_{\text{espaço\_adjacente}} \geq 78,4 \quad (4.12)$$

Para esta condição de fronteira a equação de Bernoulli para o insuflador vem na seguinte forma:

$$(\rho \times h - \rho' \times h') \times g + P' = \frac{1}{2} \times \rho \times \underbrace{10}_{\xi_{\text{Ventilador}}} \times U \times |U| - 78,4 \quad (4.13)$$

E para o exaustor:

$$(\rho \times h - \rho' \times h') \times g + P' = \frac{1}{2} \times \rho \times \underbrace{10}_{\xi_{\text{Ventilador}}} \times U \times |U| + 78,4 \quad (4.14)$$

O índice ' refere-se ao espaço adjacente aquele que está a ser analisado.

Vamos agora analisar os resultados obtidos pelo programa quando se simula uma situação tal como mostra a imagem seguinte.

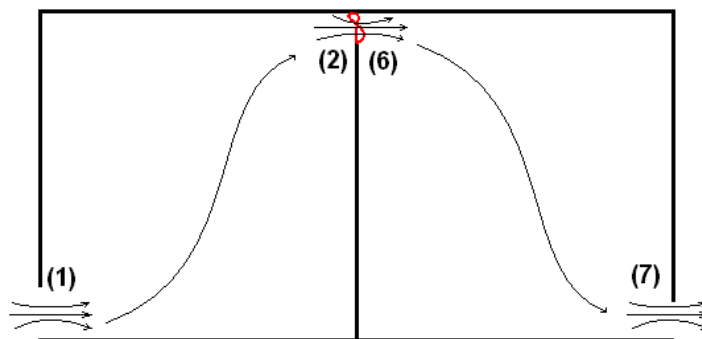
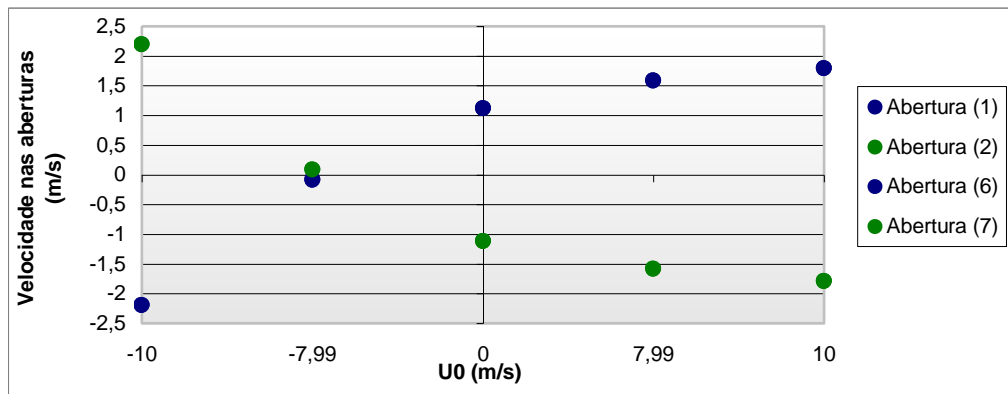


Figura 28 – Esquemática da edificação em teste

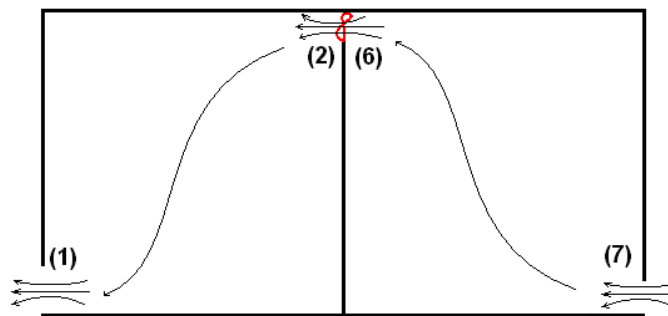
Considera-se novamente que cada espaço desta edificação é em tudo idêntico ao espaço da edificação que apenas tinha uma divisão, primeira situação estudada. Seja em termos das características geométricas do espaço e das aberturas, seja o posicionamento das aberturas dentro de cada espaço, o número de aberturas em cada espaço e o comportamento das paredes. Assim sendo os resultados obtidos foram os seguintes:



**Figura 29 – Velocidade nas aberturas com um insuflador na abertura (6) e um exaustor na abertura (2)**

Para esta situação considera-se que o ventilador introduzido funciona como exaustor na abertura (2) e conseqüentemente insuflador na abertura (6). Pode verificar-se que neste esquema de funcionamento o ventilador se comporta de igual modo ao insuflador colocado na abertura (1) ou ao exaustor na abertura (7). Estamos então em condições de concluir que, para as condições enunciadas, qualquer uma das posições que acabamos de referir para o ventilador são válidas, se pretendemos um regime de ventilação tal como mostra o gráfico da figura 29.

Vamos agora analisar o que sucede quando o ventilador introduzido na abertura interior funciona como insuflador na abertura (2) e exaustor na abertura (6), como mostra a figura abaixo.



**Figura 30 – Esquematização da edificação em teste**

Mantendo todas as características do edifício invertendo apenas o sentido do ventilador relativamente ao caso anterior obtemos os seguintes resultados:

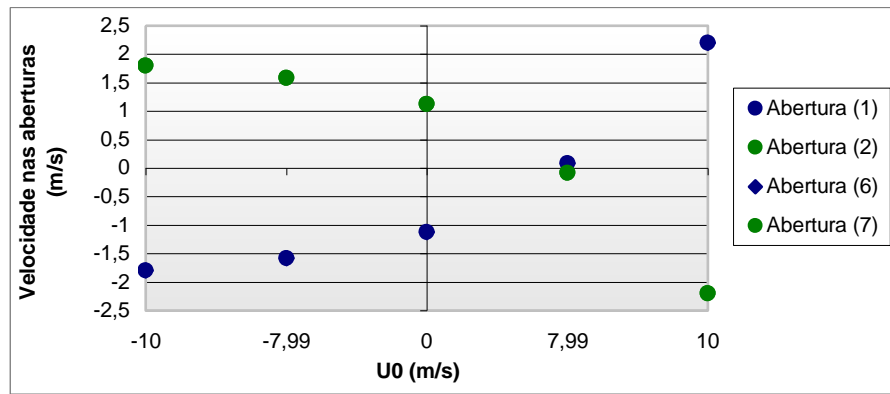


Figura 31 – Velocidade nas aberturas com um exaustor na abertura (6) e um insuflador na abertura (2)

Pode verificar-se que neste esquema de funcionamento o ventilador se comporta de igual modo ao exaustor colocado na abertura (1) ou ao insuflador na abertura (7). Estamos então em condições de concluir que, para as condições enunciadas, qualquer uma das posições que acabamos de referir para o ventilador são válidas se pretendemos um regime de ventilação tal como mostra o gráfico da figura 31.

Apresenta-se agora um quadro resumo com todas as equações que foram acrescentadas ao programa de cálculo para que este pudesse ter em linha de conta a utilização de ventiladores.

Ventilador Externo		
	Insuflador	Exaustor
<b>Normal</b>	$\rho_0 \times h \times g + \frac{1}{2} \times \rho_0 \times Cp \times U_0^2 = -78,4 + 59,5 \times U \times  U $	$\rho_0 \times h \times g + \frac{1}{2} \times \rho_0 \times Cp \times U_0^2 = 78,4 + 59,5 \times U \times  U $
<b>Inverso</b>	$\rho \times h \times g + \frac{1}{2} \times \rho_0 \times U_0^2 \times Cp = \frac{1}{2} \times \rho \times \frac{10}{\xi_{Ventilador}} \times U \times  U  - 78,4$	$\rho \times h \times g + \frac{1}{2} \times \rho_0 \times U_0^2 \times Cp = \frac{1}{2} \times \rho \times \frac{10}{\xi_{Ventilador}} \times U \times  U  + 78,4$
Ventilador Interno		
	Insuflador	Exaustor
<b>Normal</b>	$(\rho \times h - \rho' \times h') \times g + P' = -78,4 + 59,5 \times U \times  U $	$(\rho \times h - \rho' \times h') \times g + P' = 78,4 + 59,5 \times U \times  U $
<b>Inverso</b>	$(\rho \times h - \rho' \times h') \times g + P' = \frac{1}{2} \times \rho \times \frac{10}{\xi_{Ventilador}} \times U \times  U  - 78,4$	$(\rho \times h - \rho' \times h') \times g + P' = \frac{1}{2} \times \rho \times \frac{10}{\xi_{Ventilador}} \times U \times  U  + 78,4$

Tabela 1 – Quadro resumo



## 4.2. Modelação das condutas de ventilação

As condutas de ventilação estão presentes em todos os sistemas de ventilação natural ou forçada, foi assim necessário considerar também estes elementos dos sistemas de ventilação.

Considerando o exemplo do capítulo 4.1.1, mas em que agora a abertura (2) se encontra ligada através de uma conduta a um ventilador estático, uma chaminé, tal como mostra a figura 32, tornou necessário encontrar uma forma de se conseguir introduzir este novo elemento no programa. A solução encontrada foi considerar dois novos espaços fictícios B e C, B de ligação entre a conduta e o ventilador estático (7) – (11), sendo a abertura (12) o ventilador estático. Assim as características de perda de carga propriamente ditas são introduzidas na ligação (7) – (11) destes espaços fictícios.

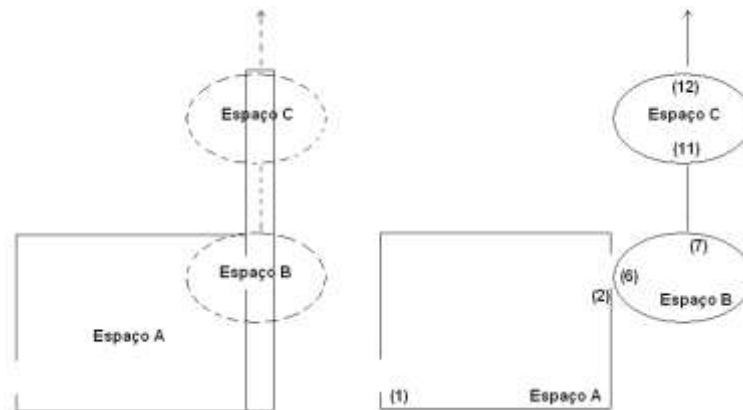


Figura 32 – Esquema de um edifício com um espaço com tubos de ventilação

Sendo que (1), (2), (6), (7), (11) e (12) correspondem aos índices das aberturas.

Deste modo, foi necessário expressar as perdas de carga lineares das condutas em perdas de carga localizadas como de uma abertura se tratasse. Recorreu-se então ao diagrama de Moody que nos dá o factor de atrito em função do Número de Reynolds e da rugosidade relativa, como mostra a figura abaixo.

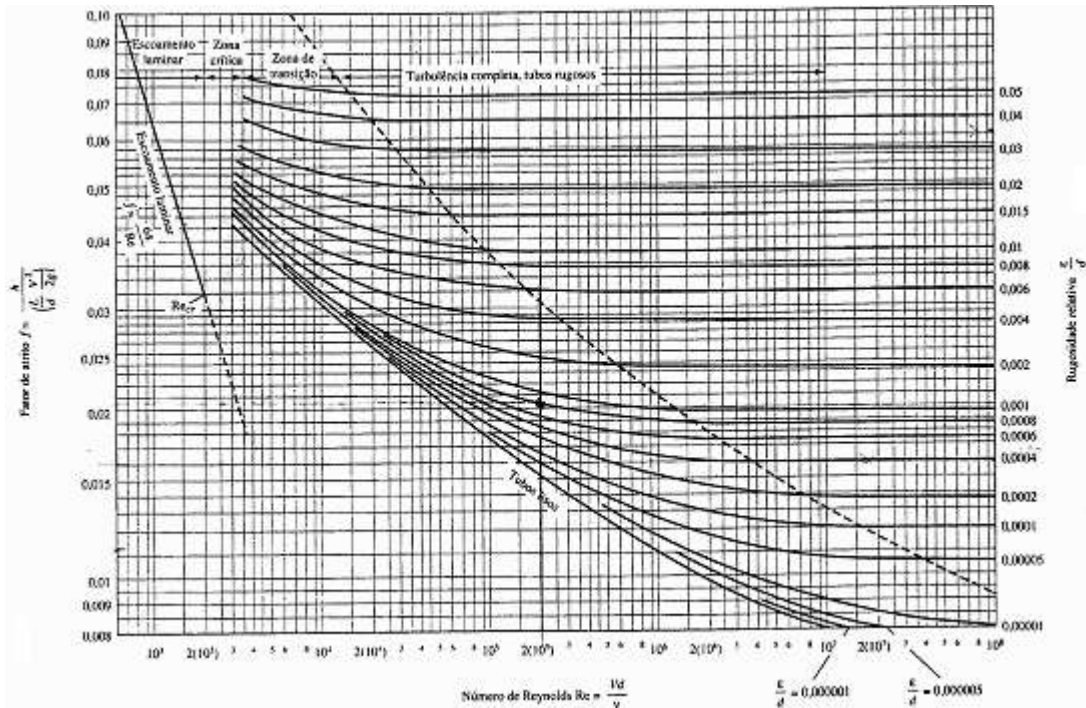


Figura 33 – Diagrama de Moody [9]

Sabendo a rugosidade do tubo, dependendo esta, do material do qual o tubo é construído e o diâmetro do mesmo podemos calcular a rugosidade relativa. Como o escoamento dentro deste tipo de espaços pode ser considerado como sendo sempre turbulento e como no diagrama de Moody para escoamentos turbulentos o factor de atrito pouco varia em função do Número de Reynolds, podemos considerar que o factor de atrito é função da rugosidade relativa.

Tendo em conta estas simplificações e substituindo a equação da perda carga retirada do “*Mecânica dos Fluidos*” [9] na equação da variação de pressão com a distância, obtemos:

$$\Delta p = \rho \times g \times \underbrace{\left( f \times \frac{L}{d} \times \frac{V^2}{2 \times g} \right)}_{h_p} \quad (4.15)$$

Em que \$h\_p\$ é a perda de carga linear em metros, \$f\$ é o factor de atrito, \$L\$ o comprimento da tubagem em metros, \$d\$ o diâmetro da tubagem em metros, \$V\$ a velocidade do escoamento em metros por segundo e \$g\$ a aceleração gravítica em metros por segundo quadrado. Donde finalmente podemos concluir que:

$$\Delta p = \frac{1}{2} \times \rho \times \underbrace{\left( f \times \frac{L}{d} \right)}_{Zeta} \times V^2 \quad (4.16)$$

Ou seja a perda de carga localizada que é introduzida no ficheiro de dados quando se pretende modelar as tubagens é dada por:

$$Zeta = f \times \frac{L}{d} \quad (4.17)$$

Desta forma fica garantida a correcta modelação das tubagens de ventilação de forma a obtermos os parâmetros de ventilação de um determinado edifício.



### 4.3. Modelação das chaminés [2]

A modelação de chaminés já havia sido realizada em trabalhos anteriores [2], não tendo sido efectuada qualquer alteração ao modelo que aqui apresentamos. O que se apresenta em seguida visa apenas explicar a forma como foi realizada a modelação nos trabalhos anteriores. Para o caso da abertura (k) ser a chaminé, se adicionarmos à sua curva característica os efeitos de impulsão térmica, a anterior equação virá dada por:

$$\Delta\rho_i H_k g - P_i + C p_k \frac{1}{2} \rho_0 U_{0C}^2 - (1 + \xi_{in}) \frac{1}{2} \rho_0 U_k^2 = 0, \text{ Se } U_k / U_{0C} > 0 \quad (4.18)$$

$$\Delta\rho_i H_k g - P_i + C p_k \frac{1}{2} \rho_0 U_{0C}^2 + F \left( \frac{U_k}{U_{0C}} \right) \frac{1}{2} \rho_0 U_{0C}^2 = 0, \text{ Se } -1 \leq U_k / U_{0C} \leq 0 \quad (4.19)$$

$$\Delta\rho_i H_k g - P_i - (1 - \xi_{out}) \frac{1}{2} \rho_0 U_k^2 = 0, \text{ Se } U_k / U_{0C} < -1 \quad (4.20)$$

Com

$$F \left( \frac{U_k}{U_{0C}} \right) = -1.25 \sin \left( \frac{\pi}{2} \frac{U_k}{0.8 U_{0C}} \right), \text{ Se } -0,8 \leq U_k / U_{0C} \leq 0 \quad (4.21)$$

$$F \left( \frac{U_k}{U_{0C}} \right) = 1.25, \text{ Se } -1 \leq U_k / U_{0C} \leq 0,8 \quad (4.22)$$

Onde  $U_{0C}$  é a velocidade do vento ao nível da extremidade da chaminé, à cota  $z_{0C}$ , relacionada com a velocidade de referência para os coeficientes de pressão,  $U_0$ , à cota  $z_0$ , pela lei de potência da camada limite atmosférica,  $U_{0C} / U_0 = (z_{0C} / z_0)^{1/\beta}$ . Nestas expressões  $C p_k = -1,15$  é o coeficiente de pressão à saída da chaminé quando por alguma razão  $U_k = 0$ , e  $\xi_{in} = 0,8$  e  $\xi_{out} = 1,1$  são os coeficientes de perda de carga da chaminé, respectivamente quando o ar entra e sai pela sua extremidade.



## 5. Caracterização do Edifício Estudo

### 5.1. Esquema do edifício

O edifício que serve de base de estudo que vai ser desenvolvido mais adiante é um edifício habitacional de dois andares com 3 espaços (espaço comum, WC e Cozinha) em cada um, a representação esquemática deste edifício apresenta-se em seguida:

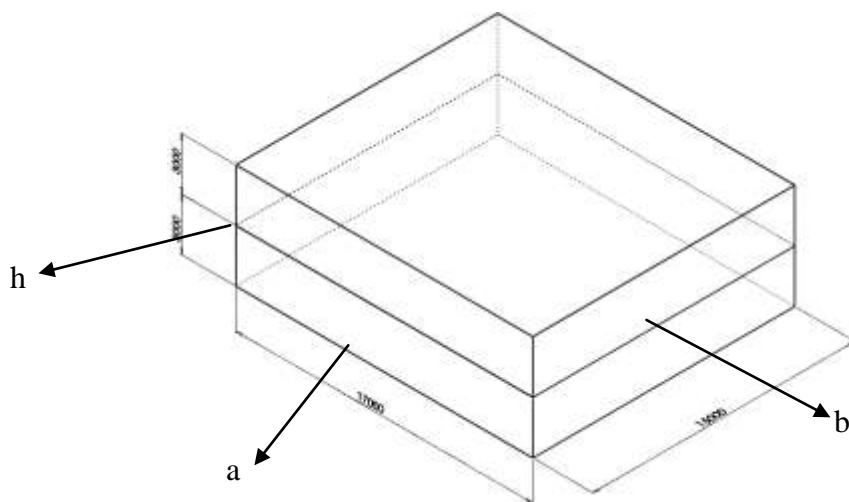


Figura 34 – Esquema do edifício em estudo

Para se determinar os coeficientes de pressão foi necessário determinar as relações geométricas do edifício, de acordo com a presente legislação [10], conforme mostra a tabela 2.

Relações Geométricas do Edifício	
$h/b$	$a/b$
0.4	1.133

Tabela 2 – Relações Geométricas do Edifício



## 5.2. Direcção e Acção do vento sobre o edifício

Considerou-se duas direcções principais do vento, frontal e lateral. O vento frontal é perpendicular à parede de fachada, zona laranja da Figura 35. Na mesma figura mostra-se também os coeficientes de pressão para esta direcção do vento [10].

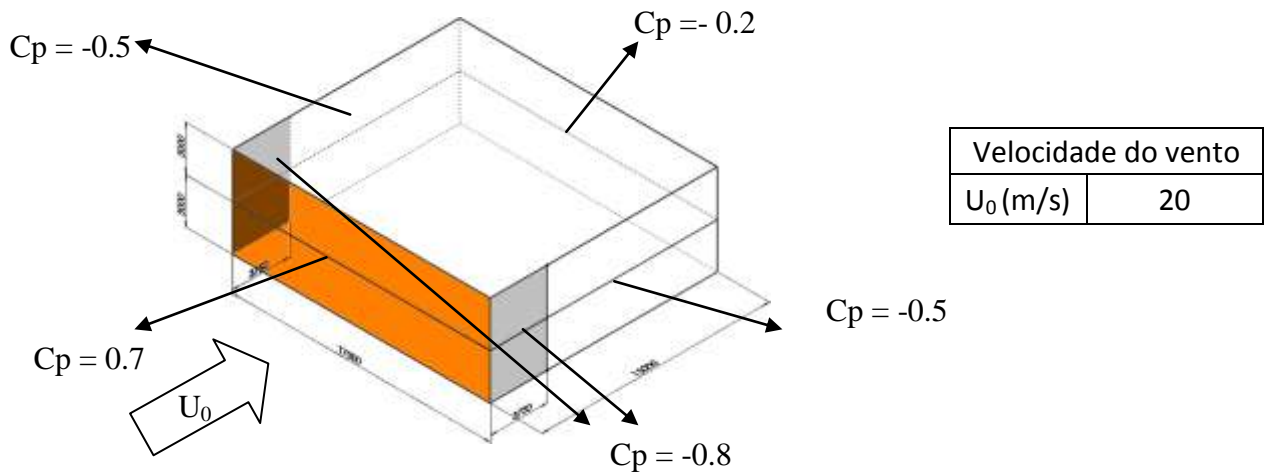


Figura 35 – Acção do vento frontal sobre o edifício

O vento Lateral é paralelo à parede de fachada, zona laranja da Figura 36. Na mesma figura mostra-se também os coeficientes de pressão para esta direcção do vento [10].

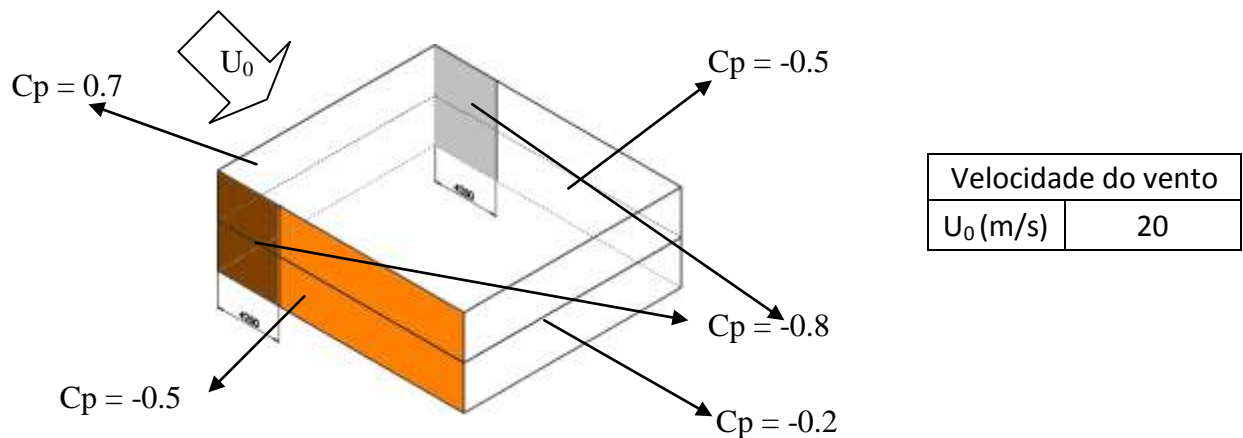


Figura 36 – Acção do vento lateral

Para ambas as direcções do vento e para todos os casos que vamos ver neste capítulo a velocidade do vento é constante e tem a intensidade de 20m/s, tal como se mostra nas duas figuras anteriores.



### 5.3. Área em planta e identificação das aberturas

Em seguida mostra-se a área em planta dos dois andares do edifício, assim como a identificação das aberturas e dos espaços para facilitar a consulta dos resultados

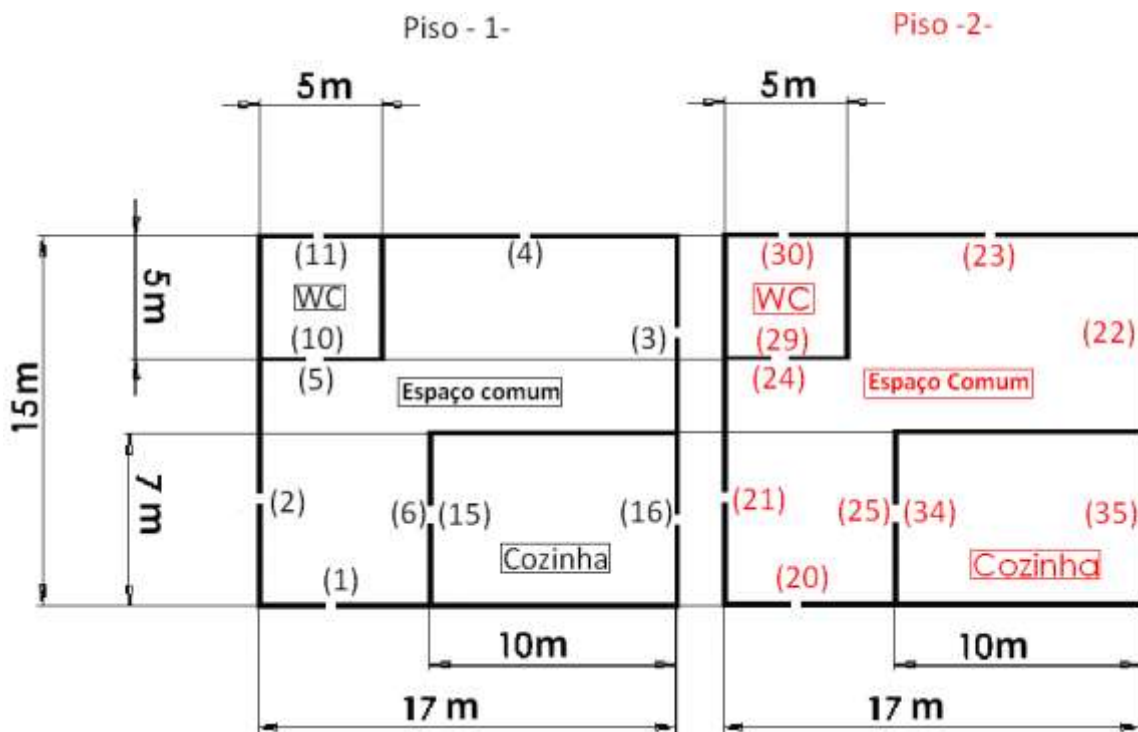


Figura 37 – Área em planta e identificação das aberturas

Como se pode observar os dois andares são em tudo semelhantes, seja em termos das dimensões como em termos da distribuição dos espaços, esta configuração irá sofrer alterações aquando da introdução das condutas de ventilação, assim quando for necessário far-se-á a identificação dos novos espaços e aberturas conforme o caso em estudo.



#### 5.4. Tipo de aberturas

Existem vários tipos de aberturas no edifício em estudo, vamos agora caracterizar cada uma delas.

- Abertura tipo (1) – Abertura de paredes de fachada



Figura 38 – Abertura tipo 1

Características da abertura (1):

$$A = 35\text{cm}^2$$

$$\text{Zeta} = 2.67$$

- Abertura tipo (2) – Abertura de passagem de ar dos componentes principais para os componentes de serviço

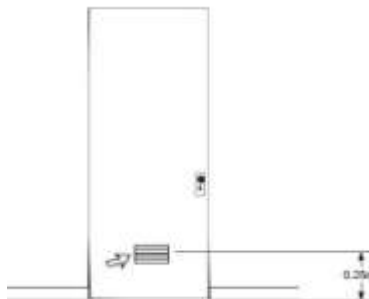


Figura 39 – Abertura tipo 2

Características da abertura (2):

$$A = 100\text{cm}^2$$

$$\text{Zeta} = 2.89$$

- Abertura tipo (3) – Aberturas servidas por condutas colectivas com secção uniforme

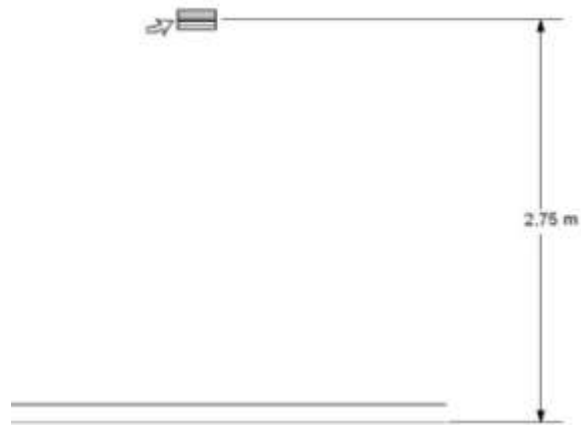


Figura 40 – Abertura tipo 3

Características da abertura (3):

$$A = 40\text{cm}^2$$

$$\text{Zeta} = 3.7$$

- Abertura tipo (4) – Abertura com um ventilador

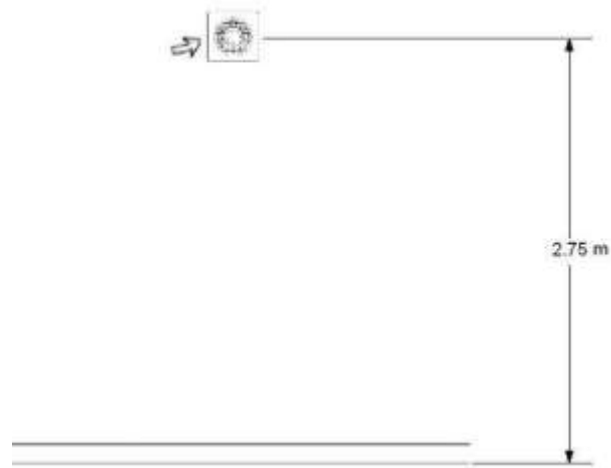


Figura 41 – Abertura tipo 4

Características da abertura (4):

$$A = 764.54\text{cm}^2$$

$$\text{Zeta} = 10$$

- Abertura tipo (5) – Conduto de Ventilação

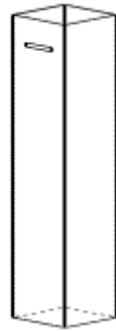


Figura 42 – Abertura tipo 5

Características da abertura (5):

$$A = 410\text{cm}^2$$

$$\text{Zeta} = 0.23$$

Os valores aqui apresentados estão de acordo com a norma portuguesa NP 1037-1 (2002) [13].



## 5.5. Estudos Preliminares

O Programa de Cálculo Automático, descrito no início deste documento foi utilizado para testar diversas configurações possíveis para o edifício que acabámos de caracterizar. As velocidades, direcções e acções do vento também já foram atrás descritas para todas as situações que aqui vamos abordar.

O objectivo destas simulações foi o de escolher a configuração que mais se adequa ao princípio da ventilação, explicado na introdução. Para tal vamos procurar o maior número de renovações em cada espaço sem que existam infiltrações de ar da Cozinha e WC para o Espaço Comum. Alerta-se mais uma vez para a existência de índices que se referem às mesmas aberturas, mas a espaços diferentes, nomeadamente (5) e (10), (6) e (15), (29) e (24) e (25) e (34). A origem de tal facto já foi explicada em capítulos anteriores e surge aqui apenas para alertar o leitor de tal facto. De referir também que quando forem acrescentadas as condutas de ventilação, pela forma como estas foram modeladas, vai-se verificar novamente esta situação.



### 5.5.1. Edifício sem ventiladores ou condutas sujeito a vento frontal

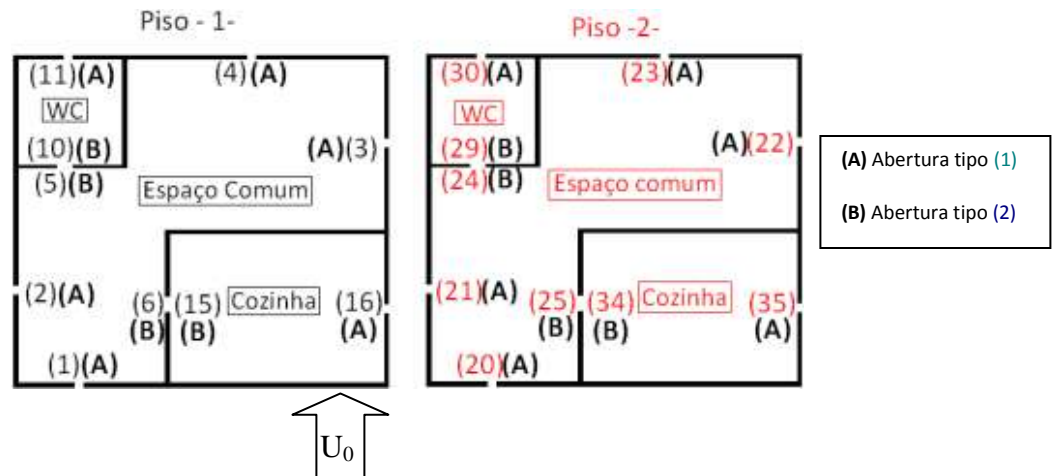


Figura 43 – Edifício sem ventiladores ou condutas e vento frontal

### Resultados

Espaço comum – Piso 1		Espaço comum – Piso 2	
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)
(1)	12,0	(20)	12,0
(2)	-6,0	(21)	-6,0
(3)	-6,0	(22)	-6,0
(4)	2,9	(23)	2,9
(5)	1,0	(24)	1,0
(6)	-2,0	(25)	-2,0
WC – Piso 1		WC – Piso 2	
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)
(10)	-1,0	(29)	-1,0
(11)	2,8	(30)	2,8
Cozinha – Piso 1		Cozinha – Piso 2	
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)
(15)	2,0	(34)	2,0
(16)	-5,7	(35)	-5,7

Tabela 3 – Resultados para edifício sem ventiladores ou condutas sujeito a vento frontal

Espaço comum – Piso 1		Espaço comum – Piso 2	
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)
(1)	12,5	(20)	12,5
(2)	-8,3	(21)	-8,3
(3)	-5,0	(22)	-5,0
(4)	4,5	(23)	4,5
(5)	1,5	(24)	1,5
(6)	-2,7	(25)	-2,7
WC – Piso 1		WC – Piso 2	
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)
(10)	-1,5	(29)	-1,5
(11)	4,2	(30)	4,2
Cozinha – Piso 1		Cozinha – Piso 2	
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)
(15)	2,7	(34)	2,7
(16)	-7,8	(35)	-7,8

Tabela 4 – Resultados para edifício com vento frontal e aberturas (2), (16), (21) e (35) na zona destacada a cinzento (Figura 35)

### 5.5.2. Edifício sem ventiladores ou condutas sujeito a vento lateral

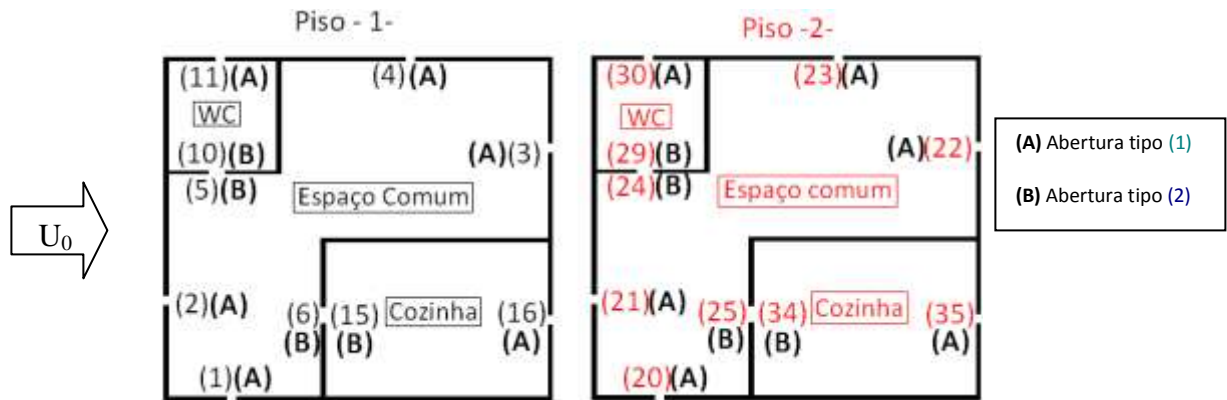


Figura 44 – Edifício sem ventiladores ou condutas e vento lateral

### Resultados

Espaço comum – Piso 1		Espaço comum – Piso 2	
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)
(1)	-6,0	(20)	-6,0
(2)	12,0	(21)	12,0
(3)	2,9	(22)	2,9
(4)	-6,0	(23)	-6,0
(5)	-2,0	(24)	-2,0
(6)	1,0	(25)	1,0
WC – Piso 1		WC – Piso 2	
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)
(10)	2,0	(29)	2,0
(11)	-5,7	(30)	-5,7
Cozinha – Piso 1		Cozinha – Piso 2	
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)
(15)	-1,0	(34)	-1,0
(16)	2,8	(35)	2,8

Tabela 5 – Resultados para edifício sem ventiladores ou condutas sujeito a vento lateral

Espaço comum – Piso 1		Espaço comum – Piso 2	
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)
(1)	-8,3	(20)	-8,3
(2)	12,5	(21)	12,5
(3)	4,5	(22)	4,5
(4)	-5,0	(23)	-5,0
(5)	-2,7	(24)	-2,7
(6)	1,5	(25)	1,5
WC – Piso 1		WC – Piso 2	
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)
(10)	2,7	(29)	2,7
(11)	-7,8	(30)	-7,8
Cozinha – Piso 1		Cozinha – Piso 2	
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)
(15)	-1,5	(34)	-1,5
(16)	4,2	(35)	4,2

Tabela 6 – Resultados para edifício com vento lateral e aberturas (1), (11), (20) e (30) na zona destacada a cinzento (Figura 36)

### 5.5.3. Edifício com ventilador na abertura (11) e (30) sujeito a vento frontal

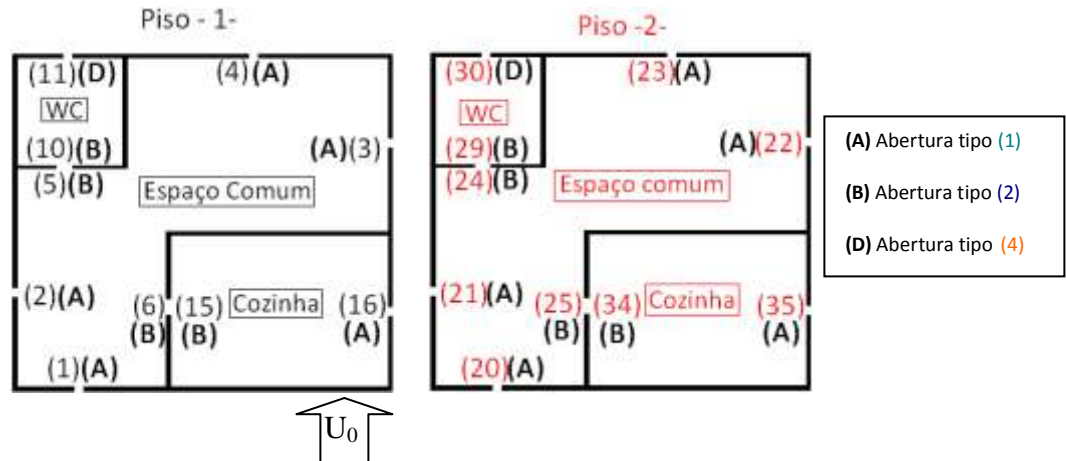


Figura 45 – Edifício com ventilador na abertura (11) e (30) e vento frontal

### Resultados

Espaço comum – Piso 1		Espaço comum – Piso 2	
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)
(1)	12,9	(20)	12,9
(2)	-3,5	(21)	-3,5
(3)	-3,5	(22)	-3,5
(4)	5,7	(23)	5,7
(5)	-3,0	(24)	-3,0
(6)	-1,1	(25)	-1,1
WC – Piso 1		WC – Piso 2	
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)
(10)	3,0	(29)	3,0
(11)	-0,4	(30)	-0,4
Cozinha – Piso 1		Cozinha – Piso 2	
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)
(15)	1,1	(34)	1,1
(16)	-3,3	(35)	-3,3

Tabela 7 – Resultados para edifício com ventilador na abertura (11) e (30) sujeito a vento frontal

Espaço comum – Piso 1		Espaço comum – Piso 2	
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)
(1)	13,3	(20)	13,3
(2)	-6,9	(21)	-6,9
(3)	-1,5	(22)	-1,5
(4)	6,5	(23)	6,5
(5)	-1,7	(24)	-1,7
(6)	-2,3	(25)	-2,3
WC – Piso 1		WC – Piso 2	
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)
(10)	1,7	(29)	1,7
(11)	-0,2	(30)	-0,2
Cozinha – Piso 1		Cozinha – Piso 2	
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)
(15)	2,3	(34)	2,3
(16)	-6,5	(35)	-6,5

Tabela 8 – Resultados para edifício com ventilador na abertura (11) e (30) com vento frontal e aberturas (2), (16), (21) e (35) na zona destacada a cinzento (Figura 35)

#### 5.5.4. Edifício com ventilador na abertura (16) e (35) sujeito a vento lateral

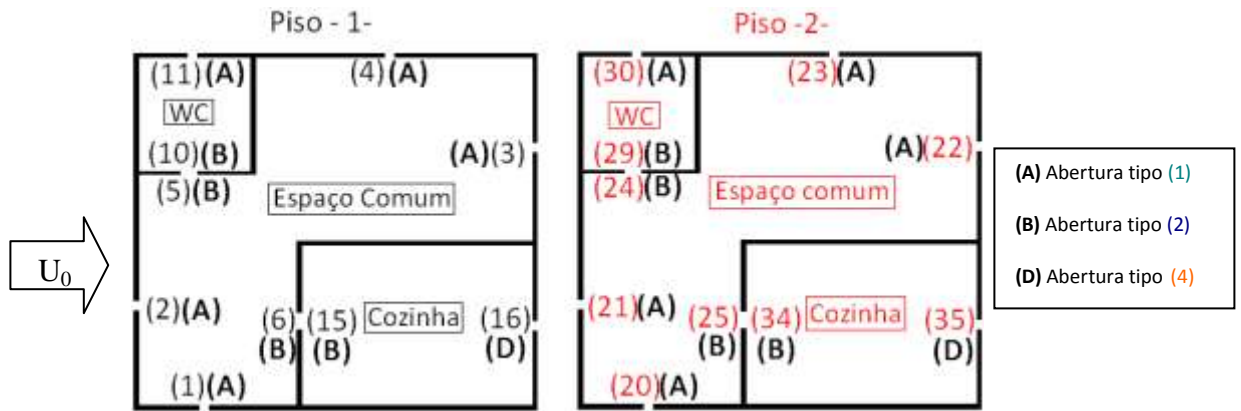


Figura 46 – Edifício com ventilador na abertura (16) e (35) e vento lateral

#### Resultados

Espaço comum – Piso 1		Espaço comum – Piso 2	
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)
(1)	-3,5	(20)	-3,5
(2)	12,9	(21)	12,9
(3)	5,7	(22)	5,7
(4)	-3,5	(23)	-3,5
(5)	-1,1	(24)	-1,1
(6)	-3,0	(25)	-3,0
WC – Piso 1		WC – Piso 2	
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)
(10)	1,1	(29)	1,1
(11)	-3,3	(30)	-3,3
Cozinha – Piso 1		Cozinha – Piso 2	
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)
(15)	3,0	(34)	3,0
(16)	-0,4	(35)	-0,4

Tabela 9 – Resultados para edifício com ventilador na abertura (16) e (35) sujeito a vento lateral

Espaço comum – Piso 1		Espaço comum – Piso 2	
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)
(1)	-6,9	(20)	-6,9
(2)	13,3	(21)	13,3
(3)	6,5	(22)	6,5
(4)	-1,5	(23)	-1,5
(5)	-2,3	(24)	-2,3
(6)	-1,7	(25)	-1,7
WC – Piso 1		WC – Piso 2	
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)
(10)	2,3	(29)	2,3
(11)	-6,5	(30)	-6,5
Cozinha – Piso 1		Cozinha – Piso 2	
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)
(15)	1,7	(34)	1,7
(16)	-0,2	(35)	-0,2

Tabela 10 – Resultados para edifício com ventilador na abertura (16) e (35) com vento lateral e aberturas (1), (11), (20) e (30) na zona destacada a cinzento (Figura 36)

### 5.5.5. Edifício com conduta no WC sujeito a vento frontal

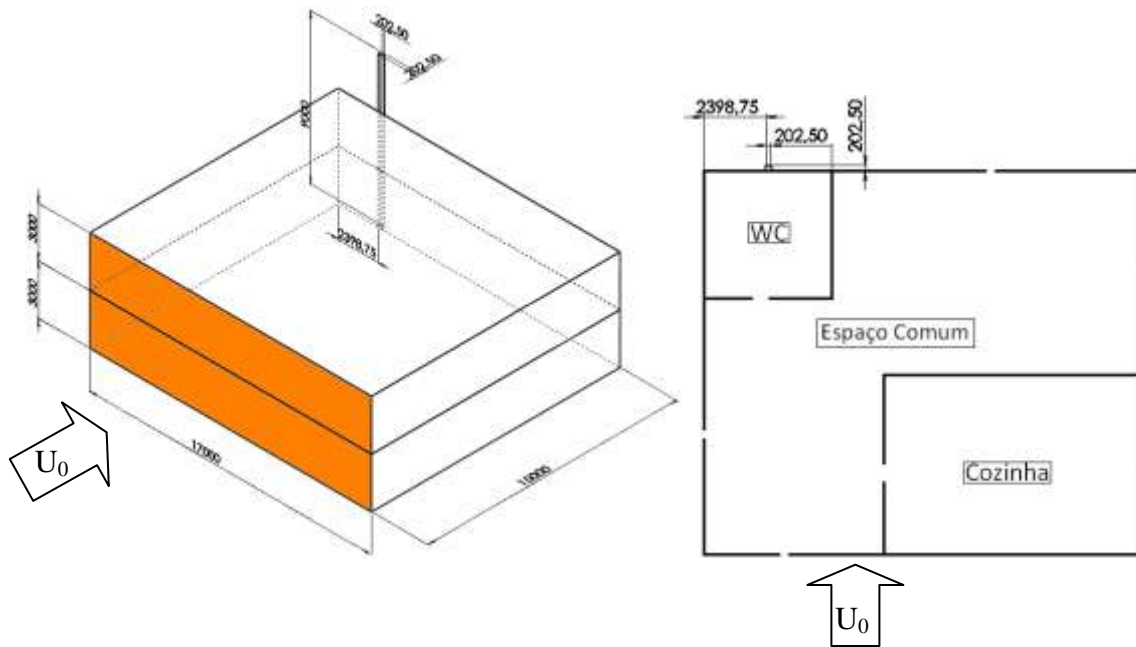


Figura 47 – Edifício com conduta no WC e vento frontal (Direita) e Planta (Esquerda)

## Identificação das aberturas

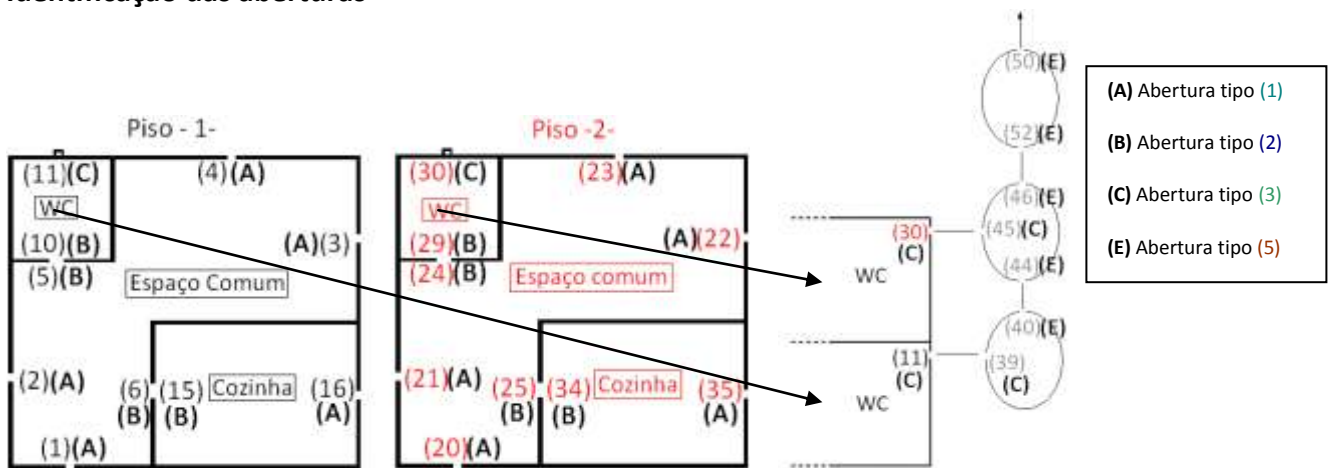


Figura 48 – Identificação das aberturas para conduta no WC

## Resultados

Espaço comum – Piso 1		Espaço comum – Piso 2		Conduta WC – Piso 1		Conduta WC – Piso 2	
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)
(1)	13,1	(20)	13,1	(39)	9,7	(44)	0,9
(2)	-2,8	(21)	-2,8	(40)	-0,9	(45)	9,7
(3)	-2,8	(22)	-2,8	X		(46)	-1,9
(4)	6,1	(23)	6,1	<b>Conduta WC – Saída Chaminé</b>			
(5)	-3,9	(24)	-3,9	Abertura	Velocidade (m/s)		
(6)	-0,9	(25)	-0,9	(50)	1,9		
<b>WC – Piso 1</b>		<b>WC – Piso 2</b>		(51)	-1,9		
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)				
(10)	3,9	(29)	3,9				
(11)	-9,7	(30)	-9,7				
<b>Cozinha – Piso 1</b>		<b>Cozinha – Piso 2</b>					
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)				
(15)	0,9	(34)	0,9				
(16)	-2,6	(35)	-2,6				

Tabela 11 – Resultados para edifício com conduta no WC sujeito a vento frontal

### 5.5.6. Edifício com conduta na cozinha sujeito a vento frontal

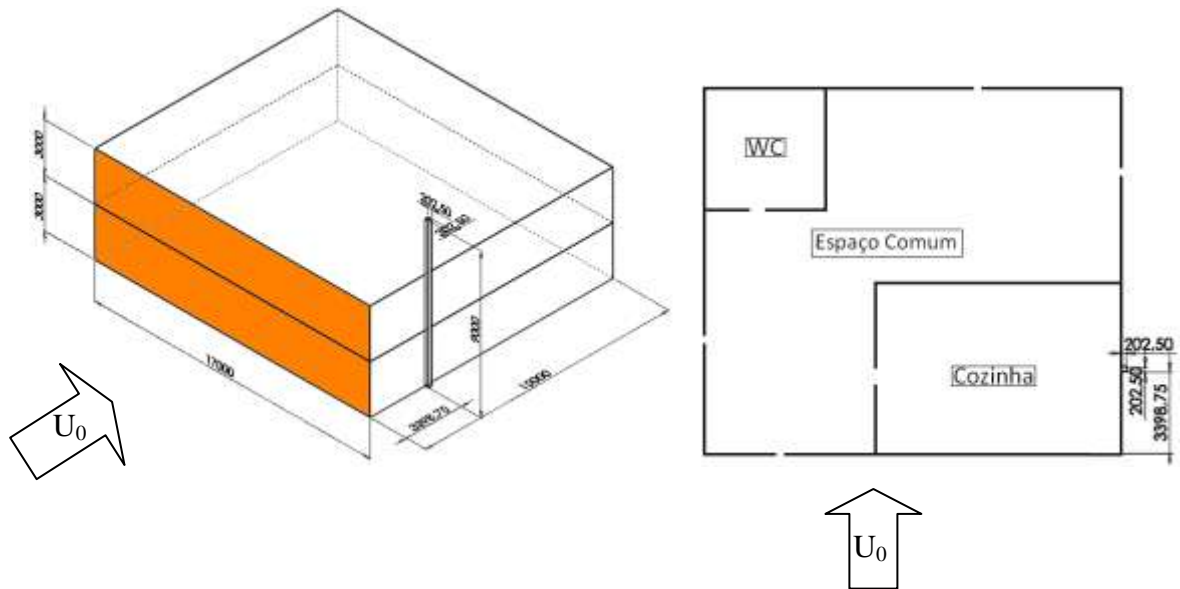


Figura 49 – Edifício com conduta na cozinha e vento frontal (Direita) e Planta (Esquerda)

## Identificação das aberturas

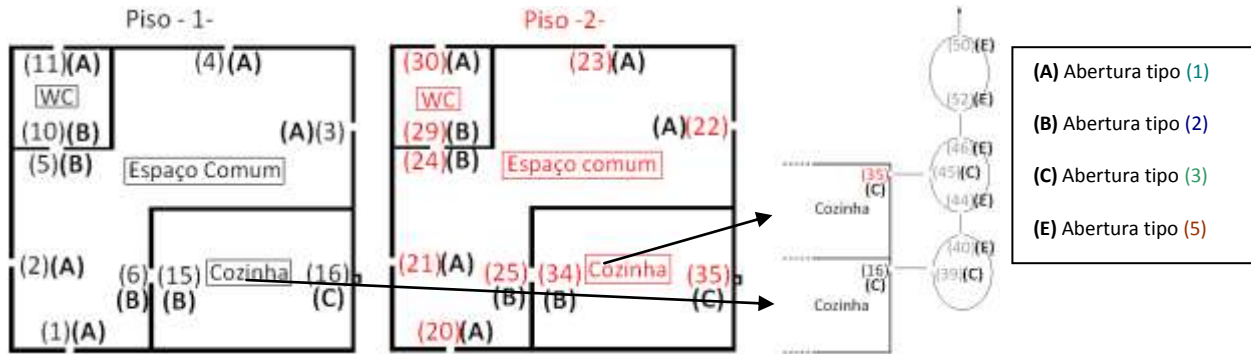


Figura 50 – Identificação das aberturas para conduta na Cozinha

## Resultados

Espaço comum – Piso 1		Espaço comum – Piso 2		Conduta Cozinha – Piso 1		Conduta Cozinha – Piso 2	
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)
(1)	13,4	(20)	13,4	(39)	9,5	(44)	0,9
(2)	-0,6	(21)	-0,6	(40)	-0,9	(45)	9,5
(3)	-0,6	(22)	-0,6			(46)	-1,8
(4)	6,7	(23)	6,7	<b>Conduta Cozinha – Saída Chaminé</b>			
(5)	-2,9	(24)	-2,9	Abertura	Velocidade (m/s)		
(6)	-3,8	(25)	-3,8	(50)	1,8		
<b>WC – Piso 1</b>		<b>WC – Piso 2</b>		(51)	-1,8		
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)				
(10)	2,9	(29)	2,9				
(11)	-8,1	(30)	-8,1				
<b>Cozinha – Piso 1</b>		<b>Cozinha – Piso 2</b>					
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)				
(15)	3,8	(34)	3,8				
(16)	-9,5	(35)	-9,5				

Tabela 12 – Resultados para edifício com conduta na cozinha sujeito a vento frontal

### 5.5.7. Edifício com conduta na cozinha e no WC sujeito a vento frontal

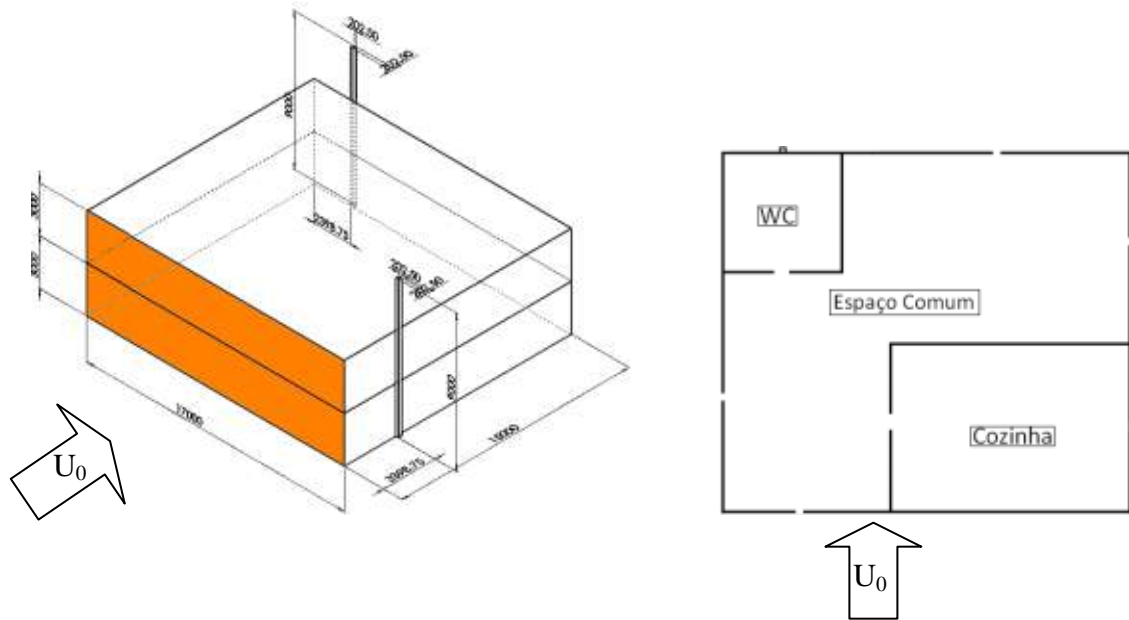


Figura 51 – Edifício com conduta na cozinha e no WC e vento frontal (Direita) e Planta (Esquerda)

### Identificação das aberturas das condutas

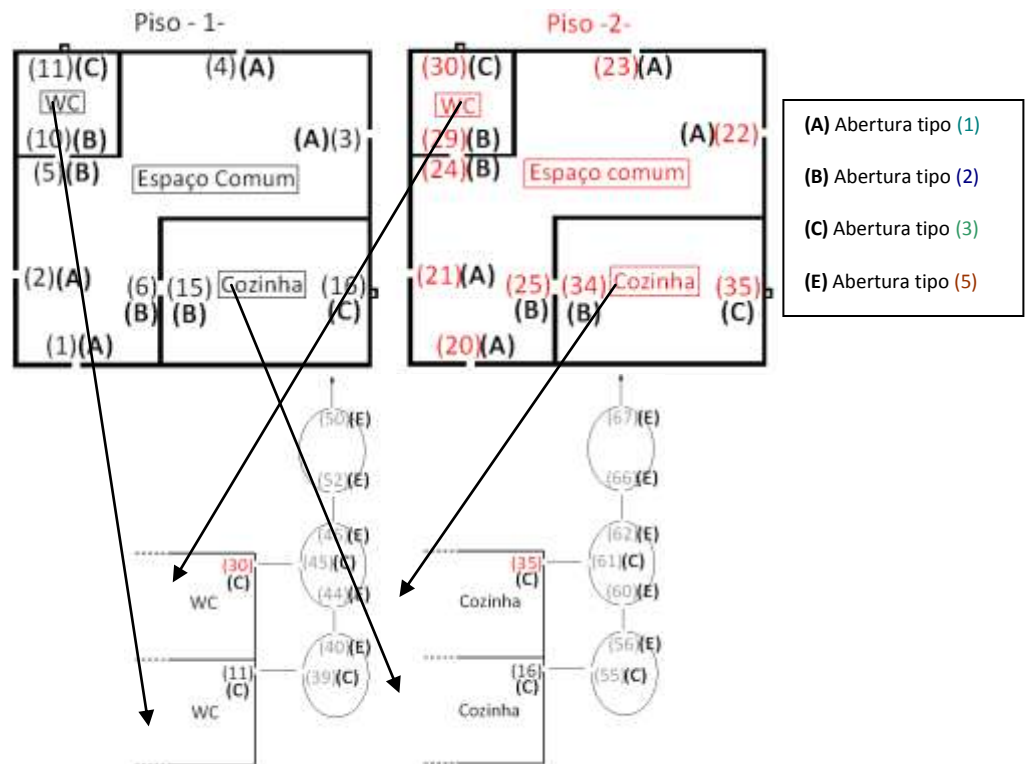


Figura 52 – Identificação das aberturas para conduta no WC e na Cozinha

## Resultados

Espaço comum – Piso 1		Espaço comum – Piso 2		Conduta WC – Piso 1		Conduta WC – Piso 2	
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)
(1)	13,4	(20)	13,4	(39)	9,7	(44)	0,8
(2)	-0,3	(21)	-0,3	(40)	-0,8	(45)	9,7
(3)	-0,3	(22)	-0,3	X		(46)	-1,7
(4)	6,7	(23)	6,7	<b>Conduta WC – Saída Chaminé</b>		<b>Conduta Cozinha – Piso 1</b>	
(5)	-3,4	(24)	-3,4	Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)
(6)	-3,4	(25)	-3,4	(50)	1,7	(55)	9,7
<b>WC – Piso 1</b>		<b>WC – Piso 2</b>		(51)	-1,7	(56)	-0,8
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)	<b>Conduta Cozinha – Piso 2</b>		<b>Conduta Cozinha – Saída Chaminé</b>	
(10)	3,4	(29)	3,4	Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)
(11)	-9,7	(30)	-9,7	(60)	0,8	(66)	1,7
<b>Cozinha – Piso 1</b>		<b>Cozinha – Piso 2</b>		(61)	9,7	(67)	-1,7
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)	(62)	-1,7		
(15)	3,4	(34)	3,4				
(16)	-9,7	(35)	-9,7				

Tabela 13 – Resultados para edifício com conduta na cozinha e no WC sujeito a vento frontal

Espaço comum – Piso 1		Espaço comum – Piso 2		Conduta WC – Piso 1		Conduta WC – Piso 2	
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)
1)	13,8	20)	13,8	39)	9,4	44)	0,8
2)	-5,8	21)	-5,8	40)	-0,8	45)	9,4
3)	3,3	22)	3,3	X		46)	-1,6
4)	7,5	23)	7,5	<b>Conduta WC – Saída Chaminé</b>		<b>Conduta Cozinha – Piso 1</b>	
5)	-3,3	24)	-3,3	Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)
6)	-3,3	25)	-3,3	50)	1,6	55)	9,4
<b>WC – Piso 1</b>		<b>WC – Piso 2</b>		51)	-1,6	56)	-0,8
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)	<b>Conduta Cozinha – Piso 2</b>		<b>Conduta Cozinha – Saída Chaminé</b>	
10)	3,3	29)	3,3	Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)
11)	-9,4	30)	-9,4	60)	0,8	66)	1,6
<b>Cozinha – Piso 1</b>		<b>Cozinha – Piso 2</b>		61)	9,4	67)	-1,6
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)	62)	-1,6		
15)	3,3	34)	3,3				
16)	-9,4	35)	-9,4				

Tabela 14 – Resultados para edifício com conduta na cozinha e no WC com vento frontal e aberturas (2) e (21) na zona destacada a cinzento

### 5.5.8. Edifício com conduta no WC sujeito a vento Lateral

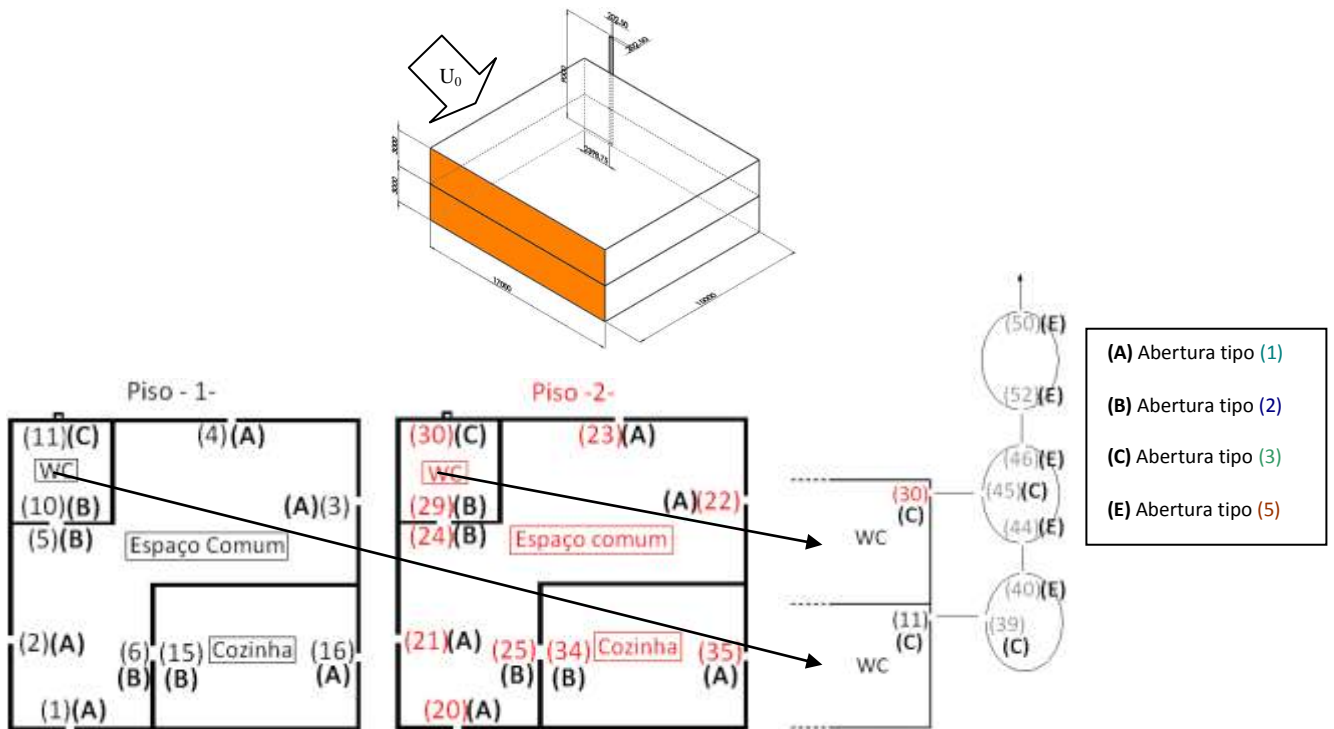


Figura 53 – Edifício com conduta no WC e vento Lateral

### Resultados

Espaço comum – Piso 1		Espaço comum – Piso 2		Conduta WC – Piso 1		Conduta WC – Piso 2						
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)					
(1)	-4,9	(20)	-4,9	(39)	10,1	(44)	1,0					
(2)	12,5	(21)	12,5	(40)	-1,0	(45)	10,1					
(3)	4,6	(22)	4,6	<del>Conduta WC – Saída Chaminé</del>		(46)	-2,0					
(4)	-4,9	(23)	-4,9									
(5)	-4,1	(24)	-4,1	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Abertura</th> <th>Velocidade (m/s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(50)</td> <td>2,0</td> </tr> <tr> <td>(51)</td> <td>-2,0</td> </tr> </tbody> </table>		Abertura	Velocidade (m/s)	(50)	2,0	(51)	-2,0	
Abertura	Velocidade (m/s)											
(50)	2,0											
(51)	-2,0											
(6)	1,5	(25)	1,5									
WC – Piso 1		WC – Piso 2										
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)									
(10)	4,1	(29)	4,1									
(11)	-10,1	(30)	-10,1									
Cozinha – Piso 1		Cozinha – Piso 2										
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)									
(15)	-1,5	(34)	-1,5									
(16)	4,3	(35)	4,3									

Tabela 15 – Resultados para edifício com conduta no WC sujeito a vento Lateral

### 5.5.9. Edifício com conduta na cozinha sujeito a vento lateral

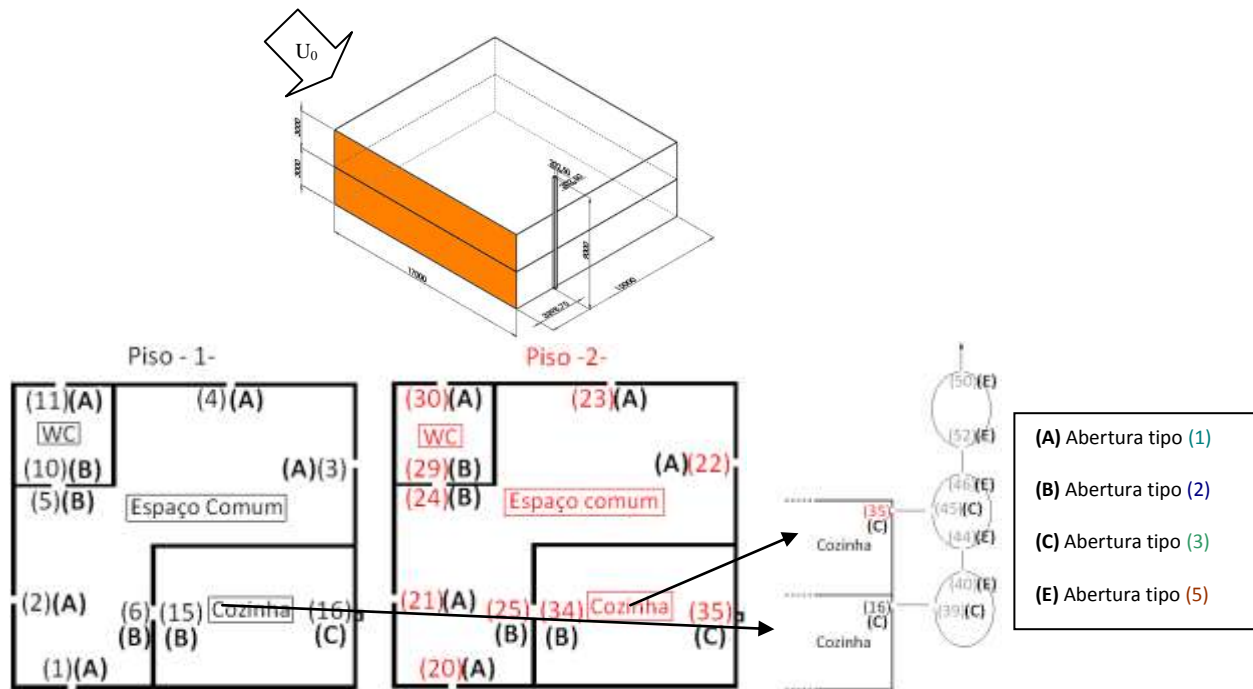


Figura 54 – Edifício com conduta na cozinha e vento lateral

### Resultados

Espaço comum – Piso 1		Espaço comum – Piso 2		Conduta Cozinha – Piso 1		Conduta Cozinha – Piso 2	
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)
(1)	-0,6	(20)	-0,6	(39)	9,5	(44)	0,9
(2)	13,4	(21)	13,4	(40)	-0,9	(45)	9,5
(3)	6,7	(22)	6,7	Conduta Cozinha – Saída Chaminé		(46)	-1,8
(4)	-0,6	(23)	-0,6	Abertura	Velocidade (m/s)		
(5)	-2,9	(24)	-2,9	(50)	1,8		
(6)	-3,8	(25)	-3,8	(51)	-1,8		
WC – Piso 1		WC – Piso 2					
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)				
(10)	2,9	(29)	2,9				
(11)	-8,1	(30)	-8,1				
Cozinha – Piso 1		Cozinha – Piso 2					
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)				
(15)	3,8	(34)	3,8				
(16)	-9,5	(35)	-9,5				

Tabela 16 – Resultados para edifício com conduta na cozinha sujeito a vento lateral

### 5.5.10. Edifício com conduta na cozinha e no WC com vento lateral

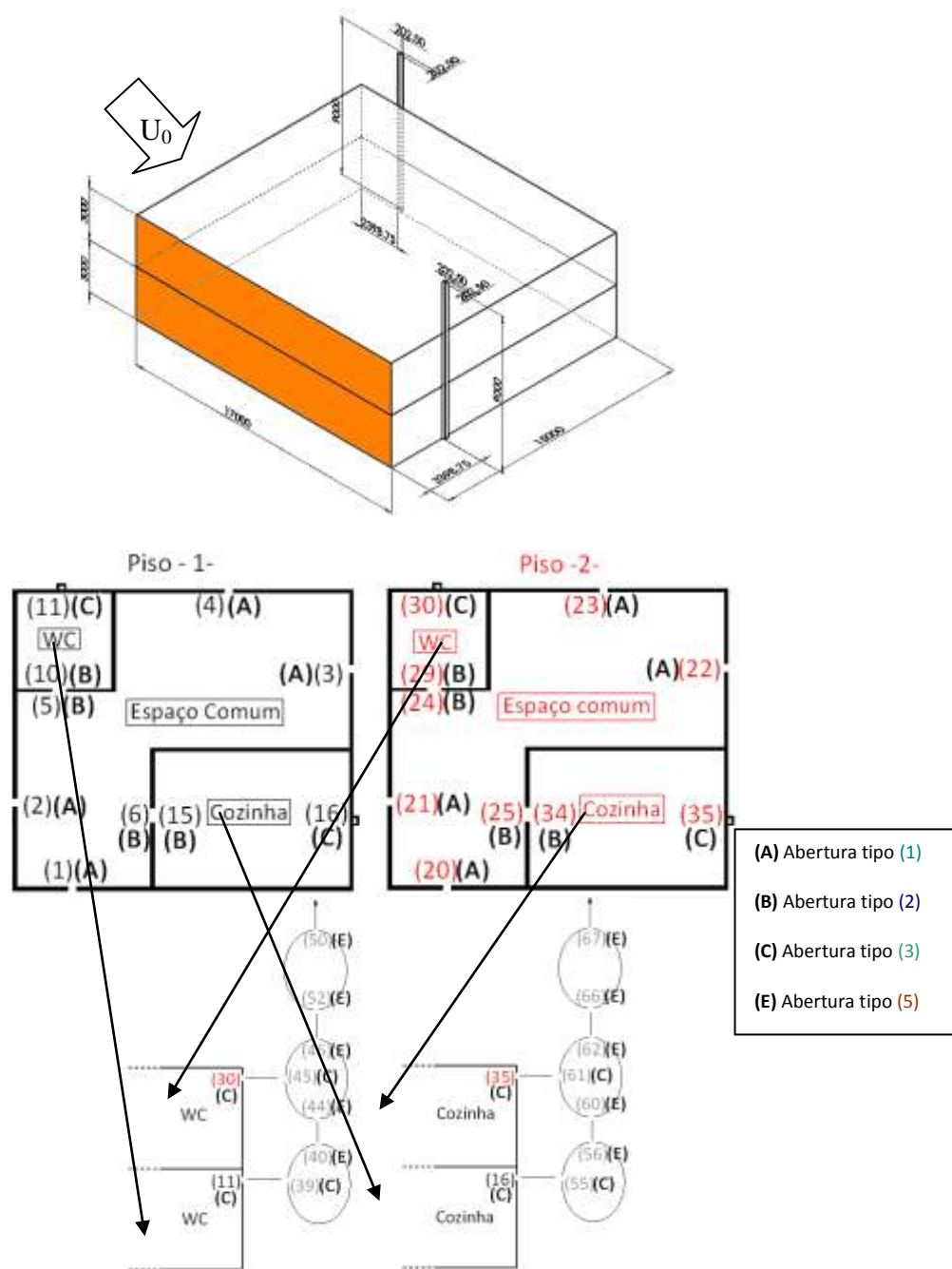


Figura 55 – Edifício com conduta na cozinha e no WC e vento lateral

## Resultados

Espaço comum – Piso 1		Espaço comum – Piso 2		Conduta WC – Piso 1		Conduta WC – Piso 2	
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)
(1)	0,6	(20)	0,6	(39)	9,4	(44)	0,9
(2)	13,4	(21)	13,4	(40)	-0,9	(45)	9,5
(3)	6,7	(22)	6,7	X		(46)	-1,8
(4)	0,6	(23)	0,6	Conduta WC – Saída Chaminé		Conduta Cozinha – Piso 1	
(5)	-3,8	(24)	-3,8	Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)
(6)	-3,7	(25)	-3,7	(50)	1,7	(55)	10,9
WC – Piso 1		WC – Piso 2		(51)	-1,7	(56)	-1,1
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)	Conduta Cozinha – Piso 2		Conduta Cozinha – Saída Chaminé	
(10)	3,8	(29)	3,8	Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)
(11)	-9,4	(30)	-9,5	(60)	1,1	(66)	2,1
Cozinha – Piso 1		Cozinha – Piso 2		(61)	10,9	(67)	-2,1
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)	(62)	-2,1		
(15)	3,7	(34)	3,7				
(16)	-9,2	(35)	-9,2				

Tabela 17 – Resultados para edifício com conduta na cozinha e no WC com vento lateral

Espaço comum – Piso 1		Espaço comum – Piso 2		Conduta WC – Piso 1		Conduta WC – Piso 2	
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)
(1)	-5,4	(20)	-5,4	(39)	9,0	(44)	0,9
(2)	14,0	(21)	14,0	(40)	-0,9	(45)	9,0
(3)	7,8	(22)	7,8	X		(46)	-1,8
(4)	4,0	(23)	4,0	Conduta WC – Saída Chaminé		Conduta Cozinha – Piso 1	
(5)	-3,6	(24)	-3,6	Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)
(6)	-3,5	(25)	-3,5	(50)	1,8	(55)	10,3
WC – Piso 1		WC – Piso 2		(51)	-1,8	(56)	-1,0
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)	Conduta Cozinha – Piso 2		Conduta Cozinha – Saída Chaminé	
(10)	3,6	(29)	3,6	Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)
(11)	-9,0	(30)	-9,0	(60)	1,0	(66)	2,0
Cozinha – Piso 1		Cozinha – Piso 2		(61)	10,3	(67)	-2,0
Abertura	Velocidade (m/s)	Abertura	Velocidade (m/s)	(62)	-2,0		
(15)	3,5	(34)	3,5				
(16)	-8,8	(35)	-8,8				

Tabela 18 – Resultados para edifício com conduta na cozinha e no WC com vento lateral e aberturas (1) e (20) na zona destacada a cinzento

## 6. Caso de Estudo

Após análise dos resultados anteriores e como seria de esperar a estrutura que melhor serve o propósito da ventilação é a seguinte:

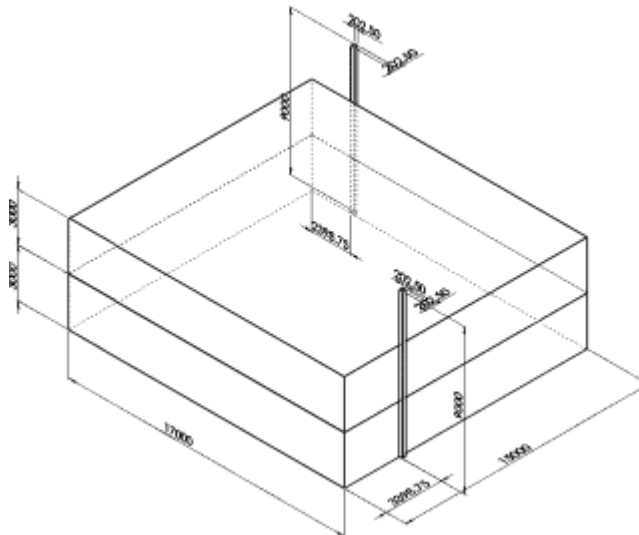


Figura 56 – Edifício para o caso de estudo

Os coeficientes de pressão variam conforme mostrado anteriormente com a direcção do vento e com os mesmos valores já apresentados, já que não foram alteradas as relações geométricas do edifício. A geometria também já foi comentada anteriormente e foi mantida.

Para uma simulação mais realista de um edifício de habitação introduziu-se uma fonte de calor de 7500W na cozinha, considerou-se também que todas as paredes eram não adiabáticas à excepção do piso térreo e as paredes das condutas. Os valores de coeficientes de transmissão térmica,  $U$  ( $W/m^2\text{°C}$ ), que foram considerados foram os coeficientes máximos conforme a legislação em vigor. Para os elementos exteriores nas zonas opacas verticais foi considerado o Valor de  $1,8 W/m^2\text{°C}$  e para as zonas opacas horizontais  $1,25 W/m^2\text{°C}$ . Para elementos interiores nas zonas opacas verticais foi considerado o valor de  $2 W/m^2\text{°C}$  e para as zonas opacas horizontais  $1,65 W/m^2\text{°C}$  [11], [12].

Os índices das aberturas são os que se apresentam a seguir:

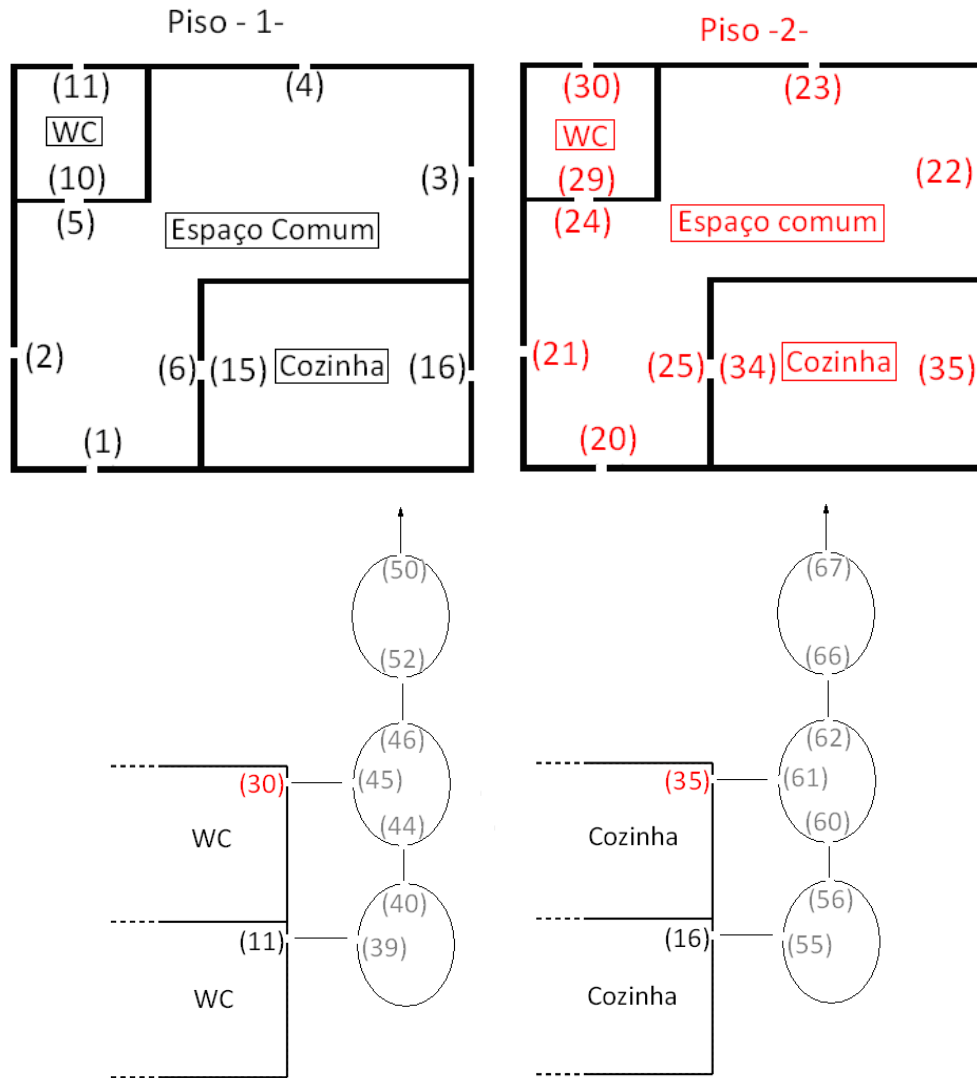


Figura 57 – Identificação das aberturas para o caso de estudo

## 6.1. Vento Perpendicular à Fachada Principal sem ventiladores

Para este caso considerou-se a direcção do vento como perpendicular àquela que foi considerada como fachada principal do edifício (figura 35), na figura abaixo identificamos o tipo de aberturas utilizadas. Vamos em seguida ver mais detalhadamente o que sucede em cada uma das divisões quando se faz variar a velocidade do vento exterior. Os resultados completos para todos os espaços estão no anexo C1.

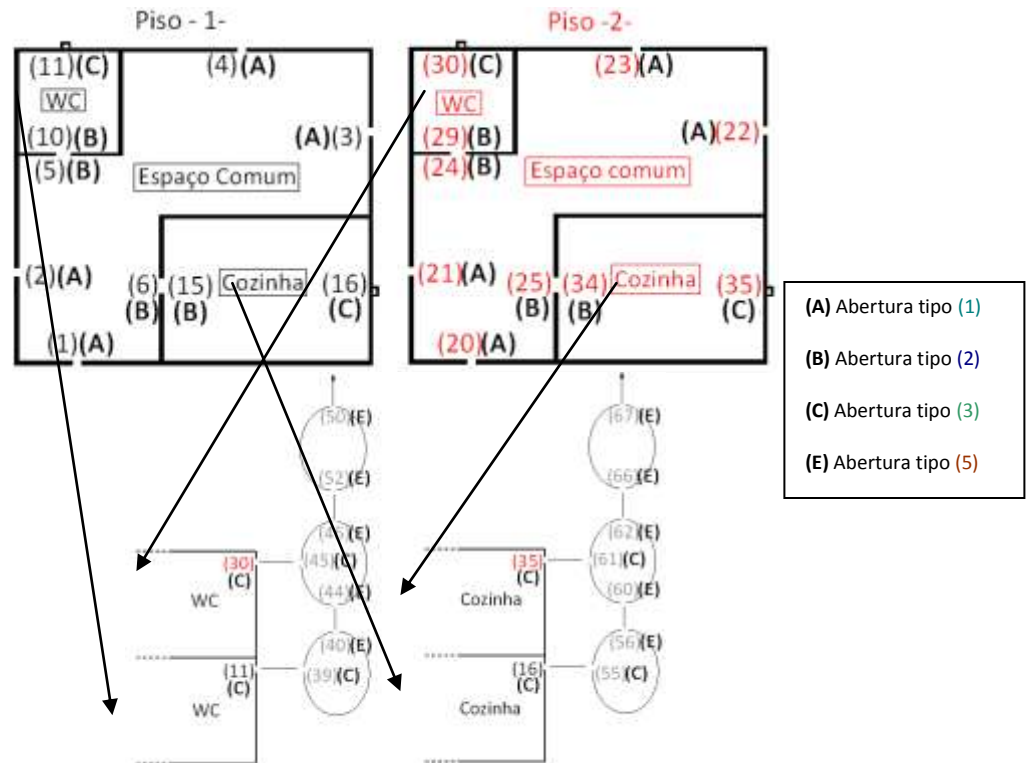


Figura 58 – Tipo de aberturas para o caso de estudo

O primeiro a destacar é que o escoamento em cada abertura agora se processa duma forma parabólica como se pode observar na figura 59 o que implica que não existe uma inversão no sentido do escoamento. Isto traduz-se numa independência relativamente à direcção do vento exterior, tendo este influência apenas na velocidade a que o escoamento se processa, ao contrário do que acontecia por exemplo no caso apresentado no capítulo 3, isto permite-nos manter os sentidos de ventilação conforme nos é mais favorável, neste caso e tal como já tinha sido referido no capítulo 5.5 fazer com que o ar da cozinha e do WC não se infiltre no espaço comum. Esta ocorrência deve-se essencialmente à presença das condutas de ventilação com chaminé.

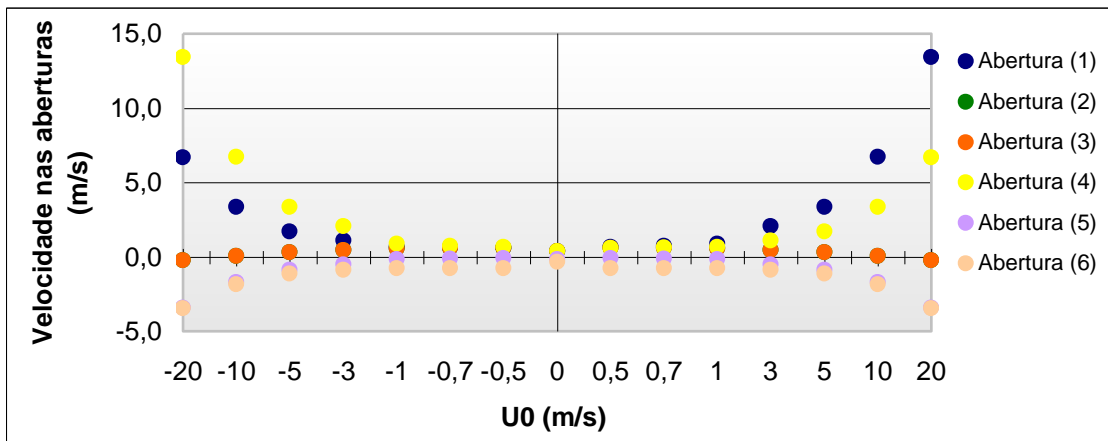


Figura 59 – Velocidade nas aberturas no espaço comum (piso 1) para vento frontal sem ventiladores

A exceção ao que foi referido anteriormente sucede no piso superior do edifício e na ausência de vento exterior em que existe uma inversão nos sentidos de ventilação. Tal deve-se à influência da fonte calor, tal como seria de esperar, pelo efeito da impulsão térmica que leva a bloquear uma das aberturas invertendo o sentido de escoamento como mostra a figura seguinte:

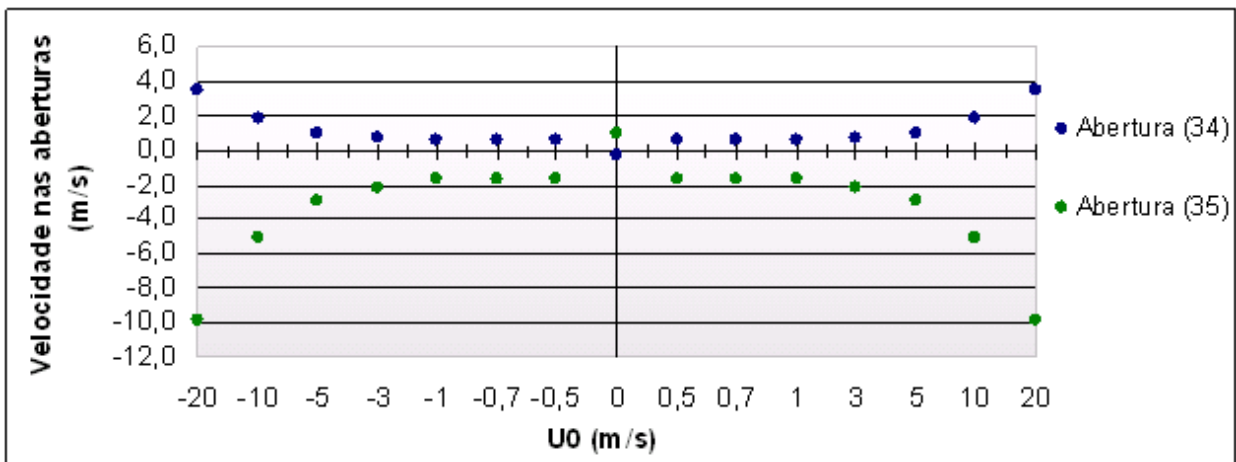


Figura 60 – Velocidade nas aberturas na cozinha (piso 2) para vento frontal sem ventiladores

Como a cozinha, se encontra ligada ao espaço comum através de uma abertura leva a que também aqui se faça uma inversão no sentido de escoamento (Fig. 61) o que resulta numa infiltração do ar da cozinha no espaço comum algo que é desejável que não suceda.

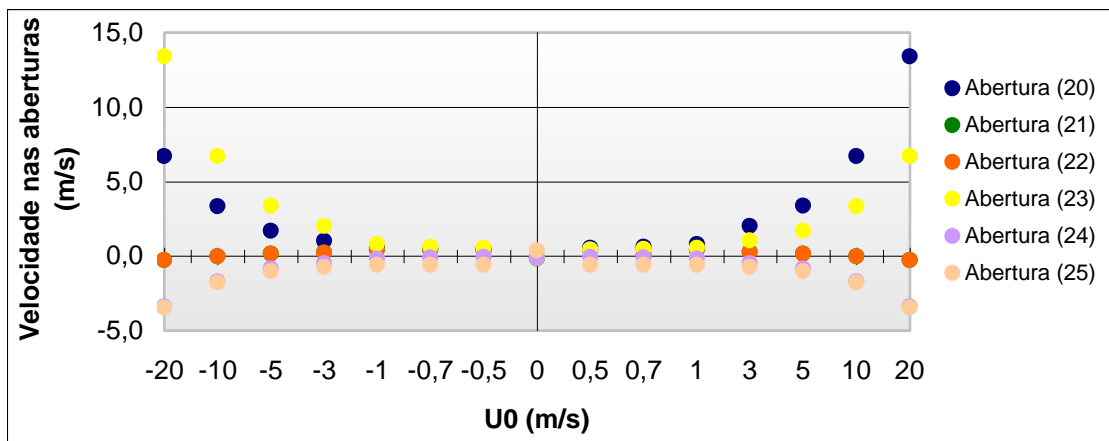


Figura 61 – Velocidade nas aberturas no espaço comum (piso 2) para vento frontal sem ventiladores

A variação da pressão apresenta uma forma parabólica, tal como sucedia para as velocidades, comum a todas as divisões variando apenas nos valores apresentados. A variação de pressão atinge o seu máximo na ausência de vento exterior, sendo aí aproximadamente zero, tal como se pode observar na figura 62.

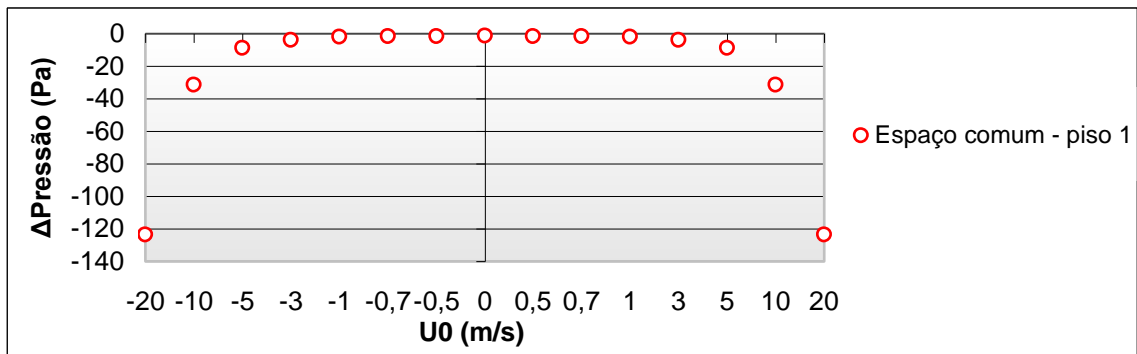


Figura 62 – Variação da pressão no espaço comum (piso 1) para vento frontal sem ventiladores

A variação da temperatura dentro de cada espaço é também muito semelhante em todos os espaços exceptuando o WC, variando aqui também essencialmente nos valores apresentados, sendo os mais altos, tal como seria de esperar, na cozinha onde se encontra a fonte de calor (Fig. 63). Para o espaço do WC esta atinge uma forma mais excêntrica tal como mostra a figura 64.

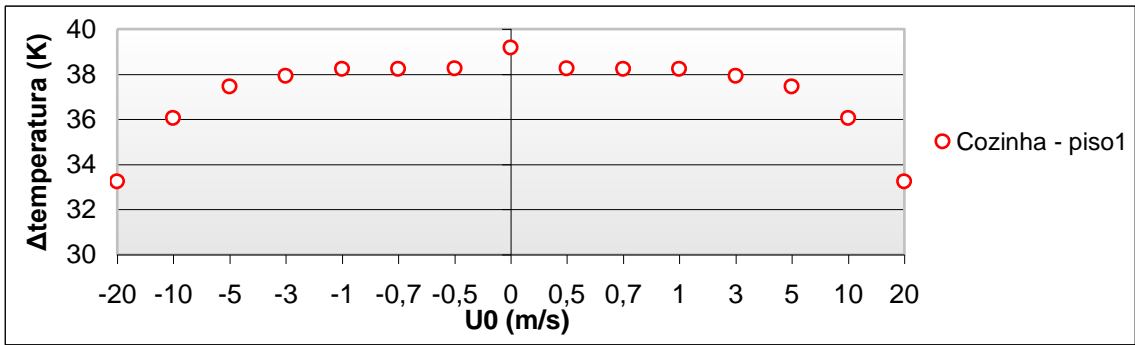


Figura 63 – Variação da temperatura na cozinha ( piso 1) para vento frontal sem ventiladores

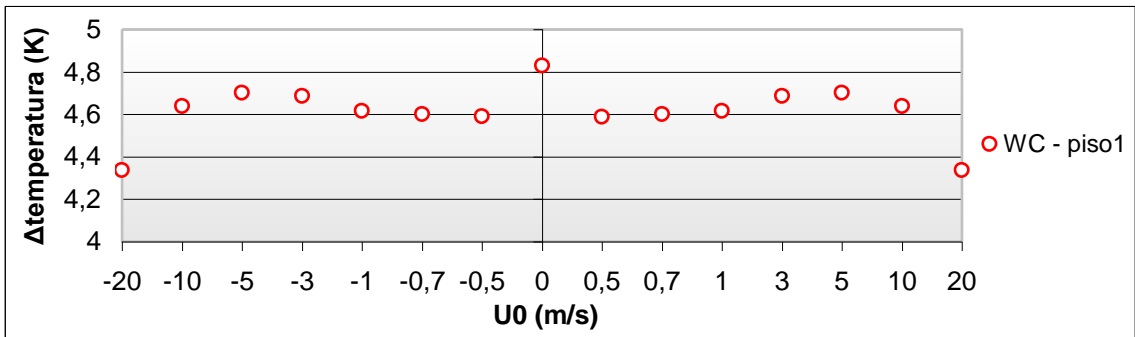


Figura 64 – Variação da temperatura no WC ( piso 1) para vento frontal sem ventiladores

O número de renovações também se processa de forma idêntica em todos os espaços, sendo o seu mínimo atingido na ausência de vento exterior. Devido às maiores dimensões do Espaço Comum o seu número de renovações é mais baixo que a dos outros espaços (Fig. 65).

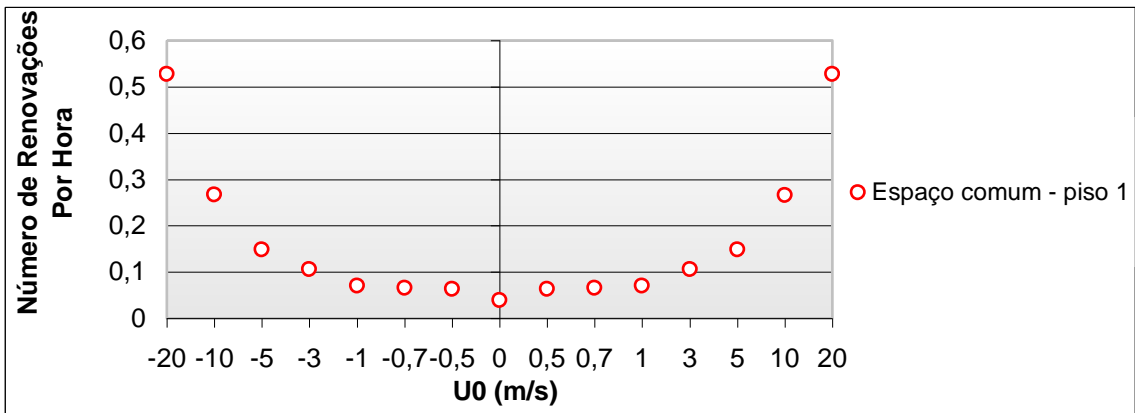


Figura 65 – Número de renovações por hora no espaço comum ( piso 1) para vento frontal sem ventiladores

## 6.2. Vento Paralelo à Fachada Principal sem ventiladores

Para este caso considerou-se a direcção do vento como paralela àquela que foi considerada como fachada principal do edifício (figura 36). Vamos ver agora mais detalhadamente o que sucede em cada uma das divisões quando se faz variar a velocidade do vento exterior. Os resultados completos para todos os espaços estão no anexo C2.

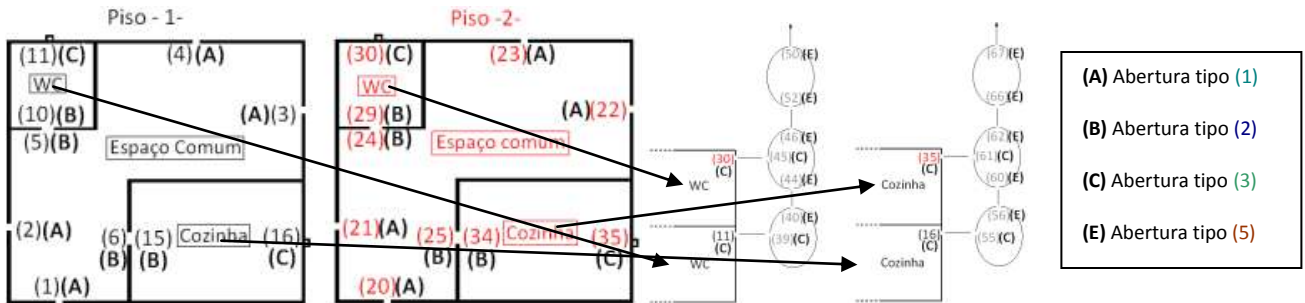


Figura 66 – Tipo de aberturas para o caso de estudo

A ventilação do edifício para este caso processa-se de igual modo ao apresentado anteriormente, a única alteração regista-se ao nível da velocidade de algumas aberturas do espaço comum fruto da alteração dos coeficientes de pressão, mas tal não tem implicações quanto às possíveis infiltrações de ar provenientes da Cozinha ou do WC, já que aí se processa de igual modo ao capítulo 6.1, tal como se pode observar na figura seguinte:

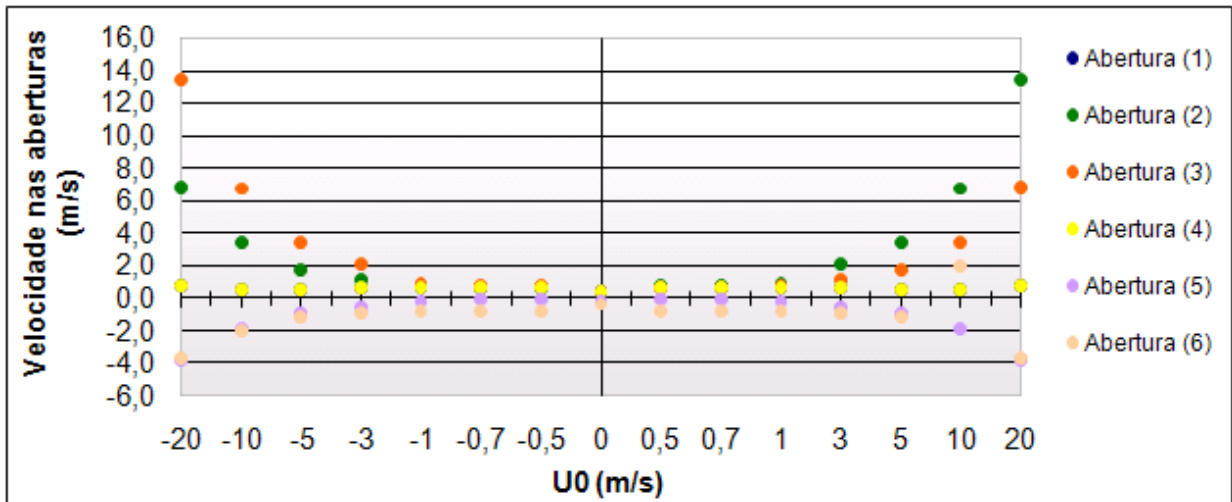


Figura 67 – Velocidade nas aberturas no espaço comum (piso 1) para vento lateral sem ventiladores



### 6.3. Vento Perpendicular à Fachada Principal sem ventiladores e com aberturas na zona cinzenta

Neste caso considerou-se que duas das aberturas, abertura (2) e a abertura (21), encontram-se na zona destacada a cinzento como mostra a figura 68, onde o coeficiente de pressão é diferente, conforme demonstrado no capítulo anterior.

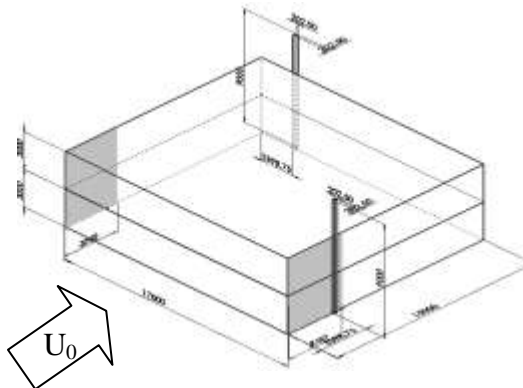


Figura 68 – Edifício para o caso de estudo com as zonas cinzenta para vento frontal identificadas

A direcção do vento é perpendicular àquela que foi considerada como fachada principal do edifício (figura 35). Vamos agora ver mais detalhadamente o que sucede em cada uma das divisões quando se faz variar a velocidade do vento exterior. Os resultados completos para todos os espaços estão no anexo C3.

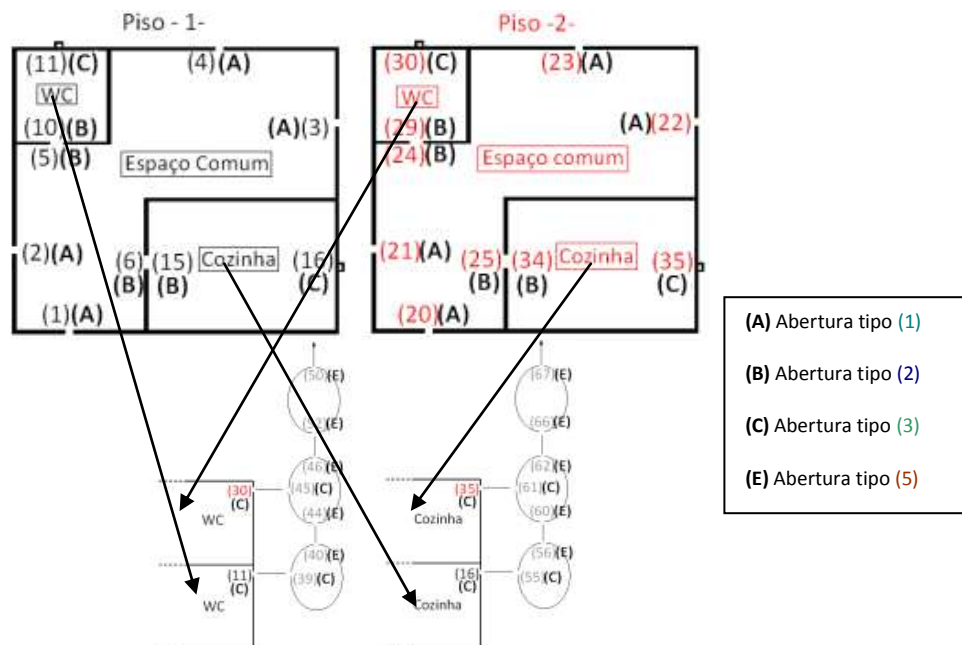


Figura 69 – Tipo de aberturas para o caso de estudo

Com a alteração do posicionamento das aberturas (2) e (21), aberturas de ligação do exterior com o Espaço comum, a única alteração imposta foi no coeficiente de pressão das referidas aberturas, o que levou a uma alteração da forma como se processa a variação da velocidade das aberturas (2) e (3) para o piso 1 (Fig. 70) e (21) e (22) para o piso 2 (Fig. 71), sendo que, para estas situações apresentam um comportamento semelhante àquele que foi verificado no Capítulo 3. Nas restantes aberturas tudo se manteve idêntico, verificando-se apenas pequenas alterações não significativas nos valores das velocidades, o mesmo é válido para os restantes parâmetros de ventilação.

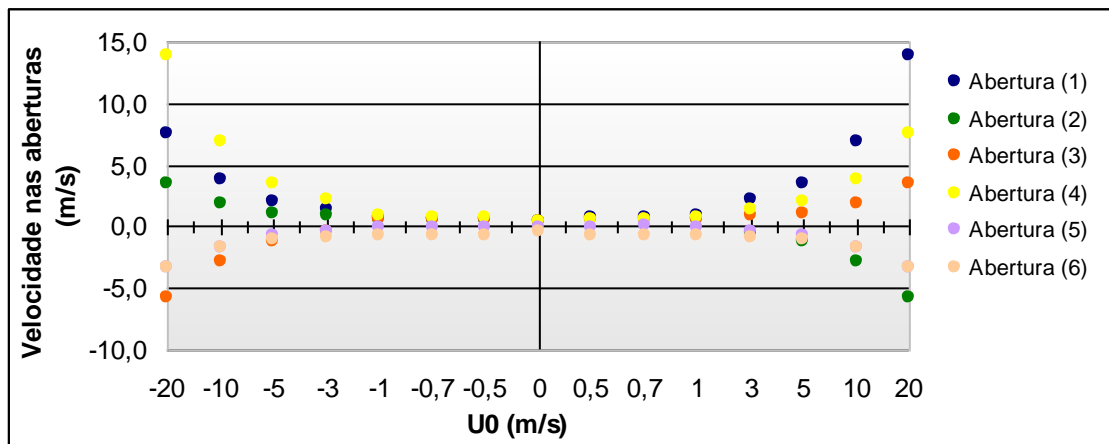


Figura 70 – Velocidade nas aberturas no espaço comum (piso 1) para vento frontal sem ventiladores com uma abertura na zona cinzenta

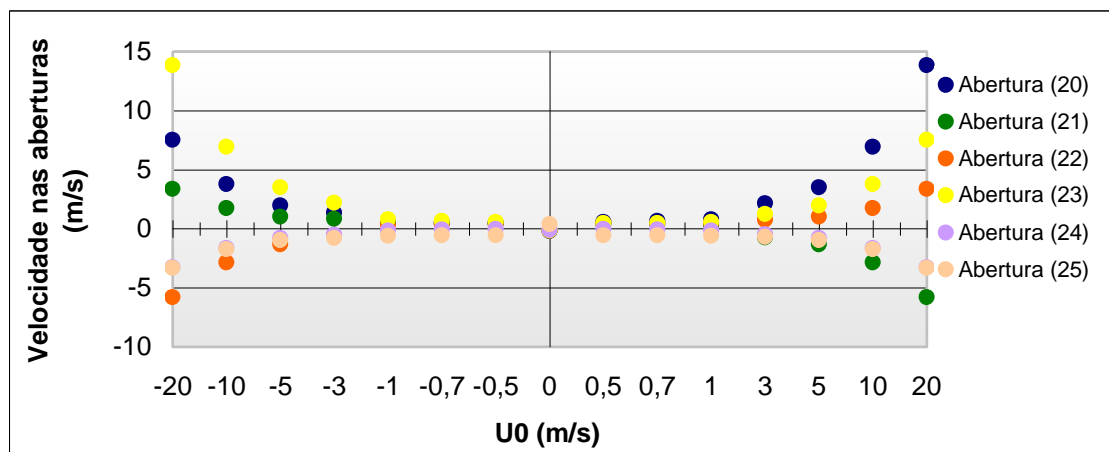


Figura 71 – Velocidade nas aberturas no espaço comum (piso 2) para vento frontal sem ventiladores com uma abertura na zona cinzenta

#### 6.4. Vento Paralelo à Fachada Principal sem ventiladores e com abertura na zona cinzenta

Neste caso considerou-se que duas das aberturas, abertura (1) e a abertura (20), encontram-se na zona destacada a cinzento como mostra a figura 72, onde o coeficiente de pressão é diferente conforme demonstrado no capítulo anterior.

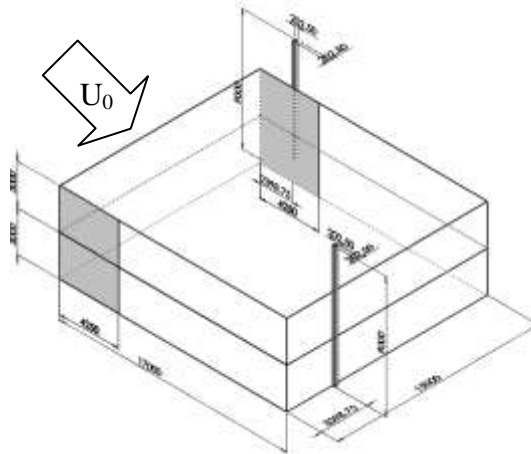


Figura 72 – Edifício para o caso de estudo com as zonas cinzentas para vento Lateral identificadas

A direcção do vento é paralela àquela que foi considerada como fachada principal do edifício (figura 36). Vamos, agora ver, mais detalhadamente o que sucede em cada uma das divisões quando se faz variar a velocidade do vento exterior. Os resultados completos para todos os espaços estão no anexo C4.

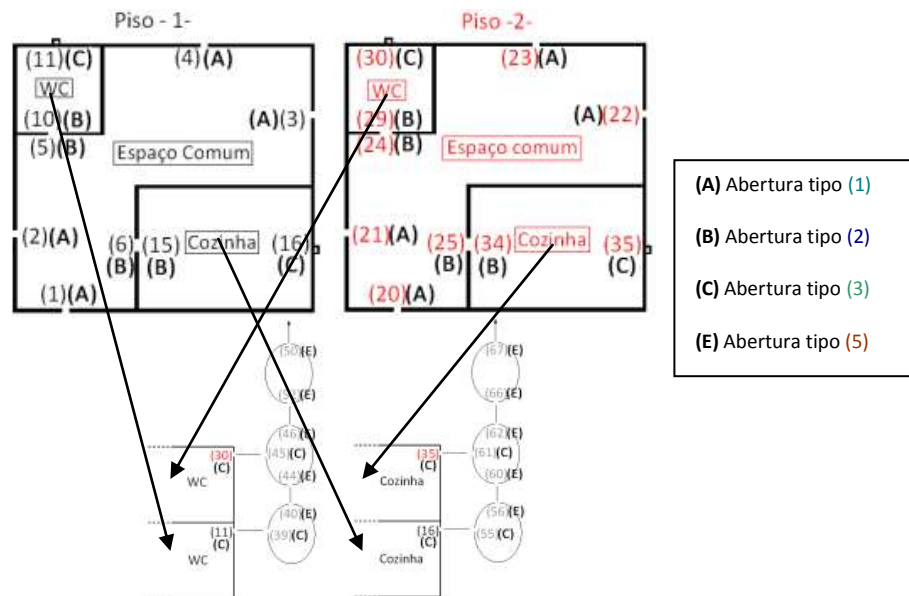


Figura 73 – Tipo de aberturas para o caso de estudo

A situação que aqui se verifica é bastante semelhante à do Capítulo 6.2, mas a suceder o mesmo que no Capítulo anterior, mas, desta feita, as aberturas onde se verificaram as alterações de comportamento foram as (1) e (4) para o piso 1 (Fig. 74) e (20) e (23) para o piso 2 (Fig. 75), no restante as alterações não são significativas em termos de como se processa a ventilação do edifício.

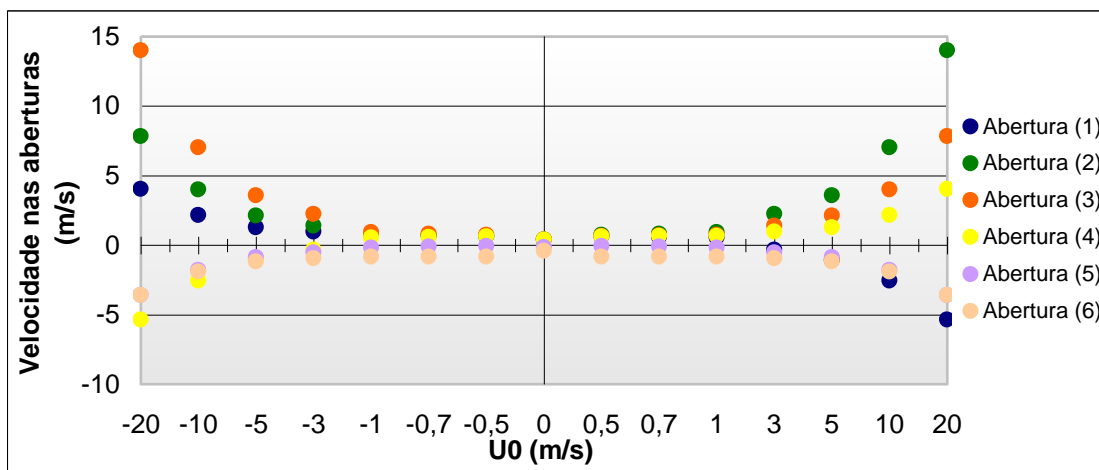


Figura 74 – Velocidade nas aberturas no espaço comum (piso 1) para vento Lateral sem ventiladores com uma abertura na zona cinzenta

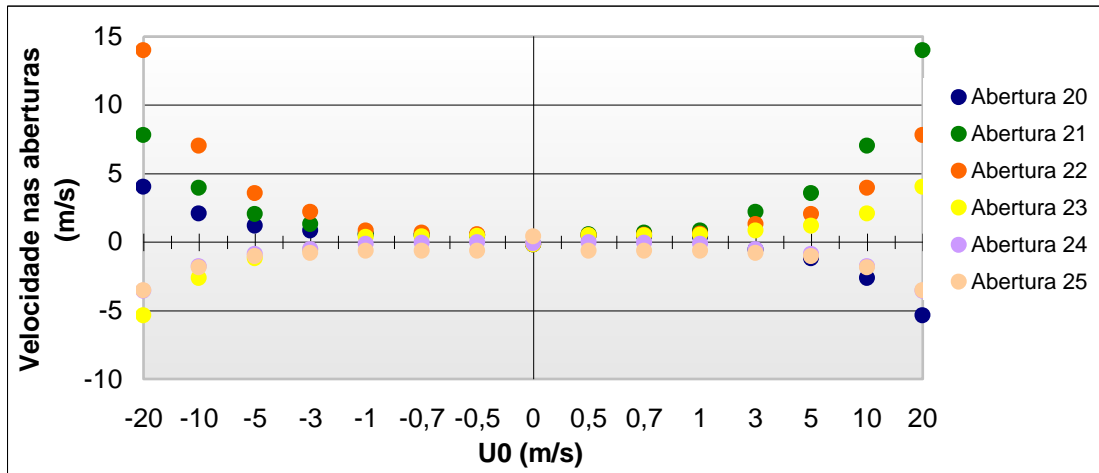


Figura 75 – Velocidade nas aberturas no espaço comum (piso 2) para vento Lateral sem ventiladores com uma abertura na zona cinzenta

## 6.5. Vento Perpendicular à Fachada Principal com ventiladores

Para este caso considerou-se a direcção do vento como perpendicular àquela que foi considerada como fachada principal do edifício (figura 35). Vamos agora ver mais detalhadamente o que sucede em cada uma das divisões quando se faz variar a velocidade do vento exterior. Os resultados completos para todos os espaços estão no anexo C5.

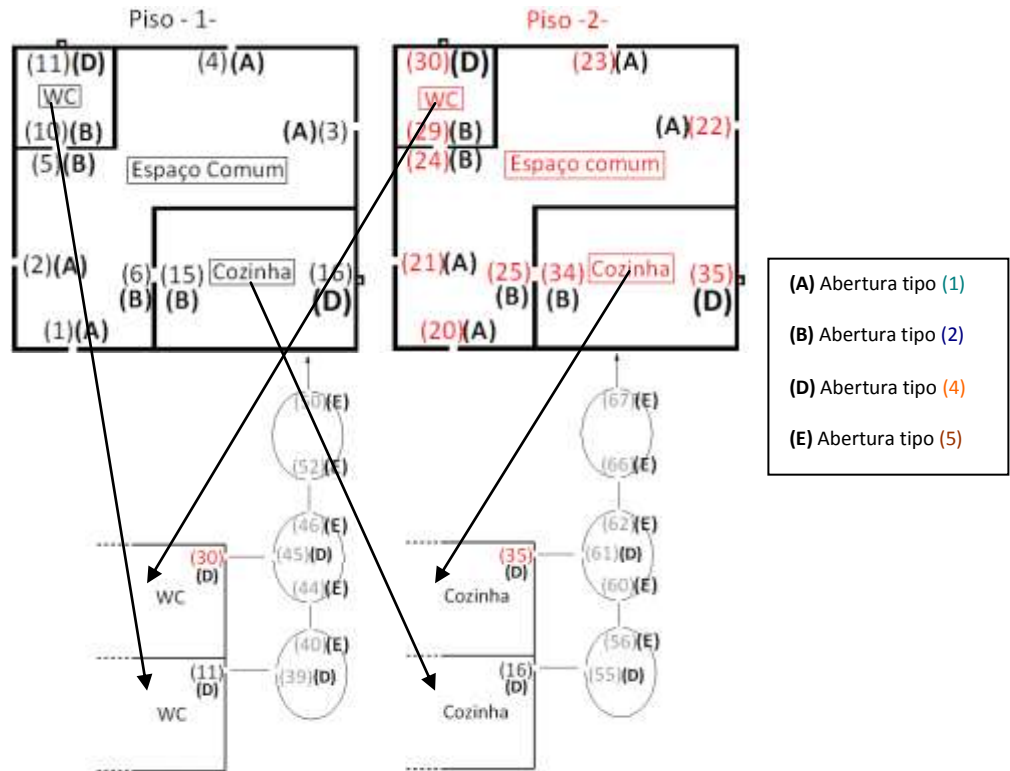


Figura 76 – Tipo de aberturas para o caso de estudo

Tal como no capítulo 6.1 a evolução das velocidades nas aberturas apresenta uma forma parabólica, registando as mesmas características inerentes a este comportamento e já explicadas, mas, agora, com a introdução dos ventiladores mecânicos consegue-se manter uma taxa de ventilação constante para baixas velocidades do vento, desta forma colmatando a ausência de vento exterior. Para as velocidades mais elevadas a presença do ventilador tem pouca influência na forma como se processa a ventilação (Fig. 77).

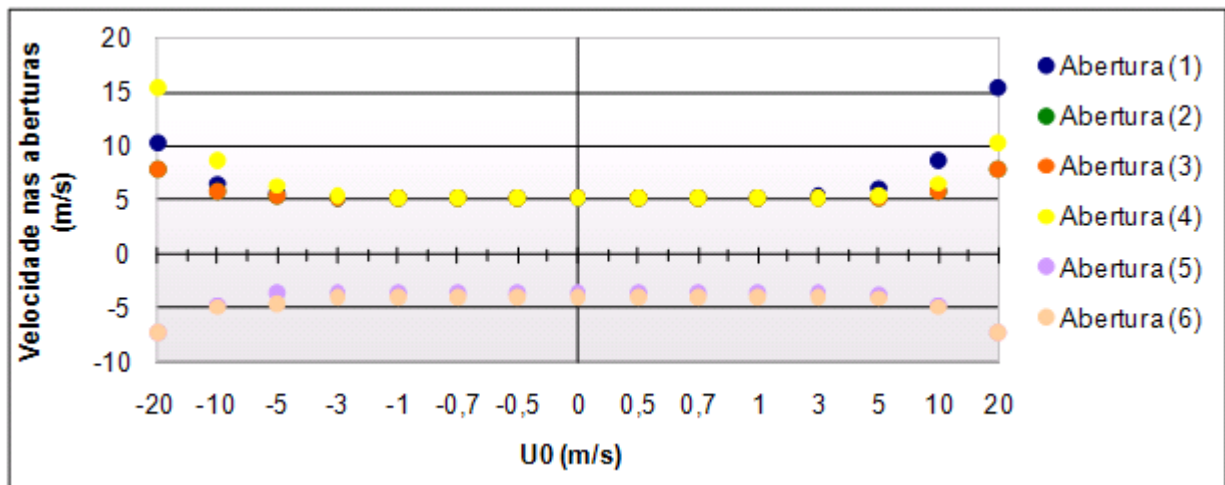


Figura 77 – Velocidade nas aberturas no Espaço Comum (piso 1) para vento frontal com ventiladores

Relativamente à inconformidade verificada no segundo piso do edifício, esse problema fica resolvido com a introdução dos ventiladores como se pode observar pelas figuras 78 e 79 já não existem inversões no sentido do escoamento.

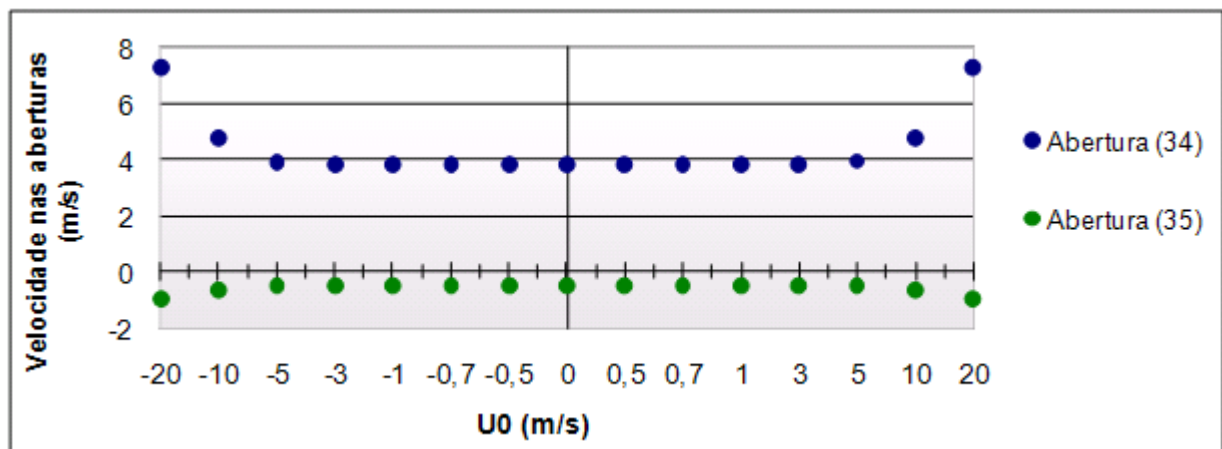


Figura 78 – Velocidade nas aberturas na Cozinha (piso 2) para vento frontal com ventiladores

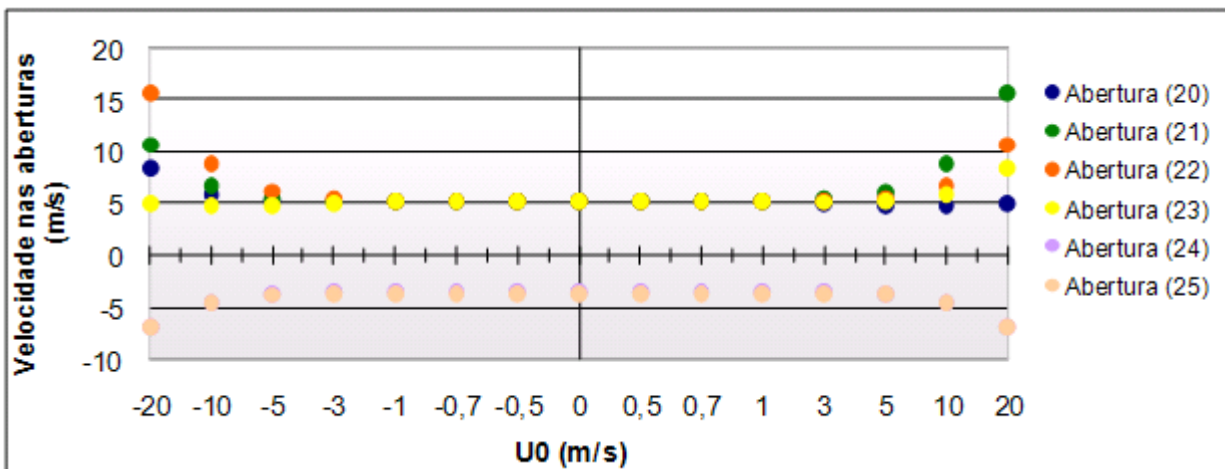


Figura 79 – Velocidade nas aberturas no Espaço Comum (piso 2) para vento frontal com ventiladores

Podemos também observar relativamente à variação de pressão que se processa de forma muito semelhante à do Capítulo 6.1, mas, desta feita, a pressão nunca se chega a anular (Fig. 80) o que nos garante que está sempre a ser introduzido ar novo no espaço, mais uma vez este fenómeno se deve também à introdução dos ventiladores. É também de notar que os valores apresentados para a variação de pressão, comparativamente com o mesmo espaço no Capítulo 6.1, são significativamente maiores.

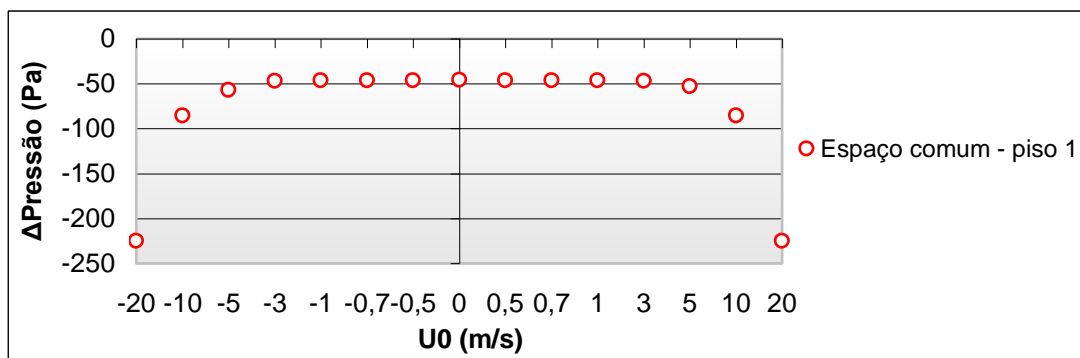


Figura 80 – Variação da pressão no Espaço Comum (piso 1) para vento frontal com ventiladores

Quanto à variação da temperatura dentro de cada espaço esta tem uma evolução semelhante à do capítulo 6.1 e também aqui, a evolução é muito semelhante em todos os espaços. Os valores registados são igualmente mais altos na cozinha, mas mais baixos comparativamente com o que se passa no mesmo espaço no referido Capítulo. Outra diferença registada relativamente a esse capítulo diz respeito à temperatura registada para a ausência de vento exterior, para este caso, ela acompanha a evolução das temperaturas dentro do espaço e não sobressai com acontecia no capítulo 6.1 (Fig. 81).

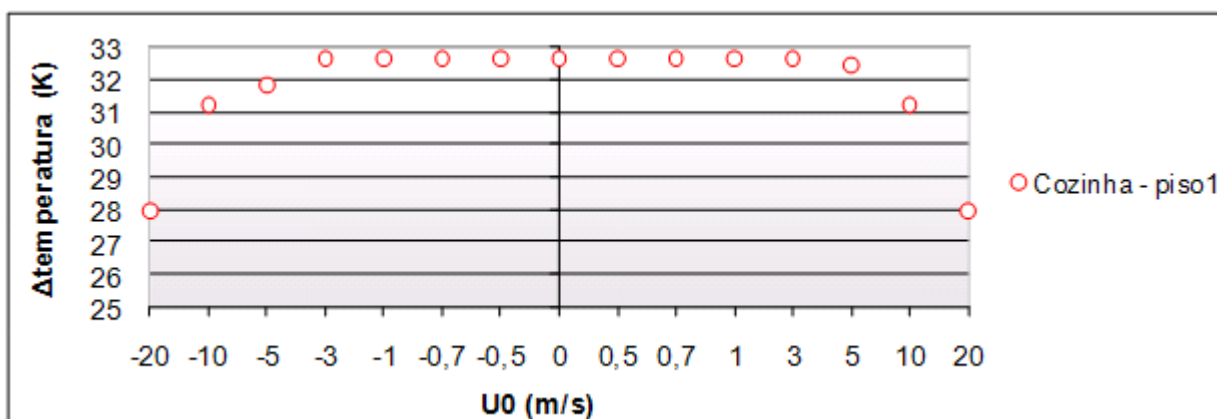


Figura 81 – Variação da temperatura na Cozinha (piso 1) para vento frontal com ventiladores

Relativamente ao WC a evolução segue a mesma que as outras divisões ao contrário do que acontecia no capítulo sem ventiladores, não apresentando desta feita a forma excêntrica que se tinha verificado nos outros capítulos (Fig. 82).

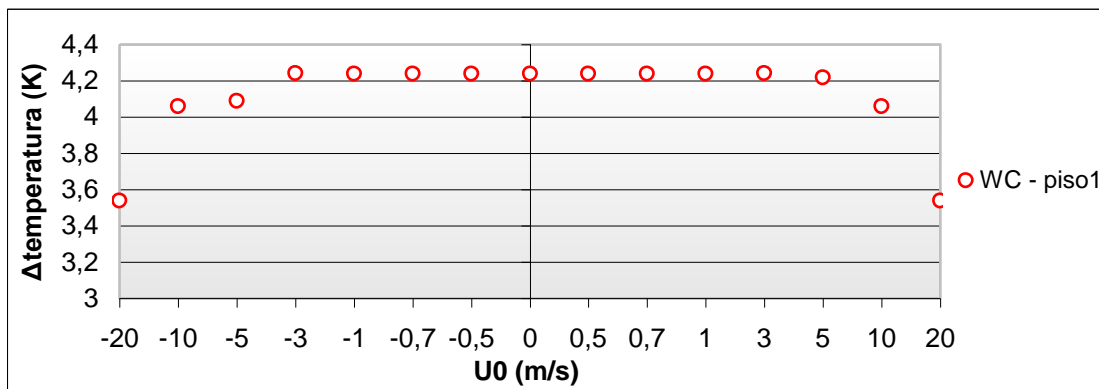


Figura 82 – Variação da temperatura no WC para vento frontal com ventiladores

O número de renovações também se processa de forma idêntica ao verificado nos capítulos anteriores, mas com valores consideravelmente mais elevados. Também aqui devido às maiores dimensões do Espaço Comum o seu número de renovações é mais baixa que a dos outros espaços (Fig. 83).

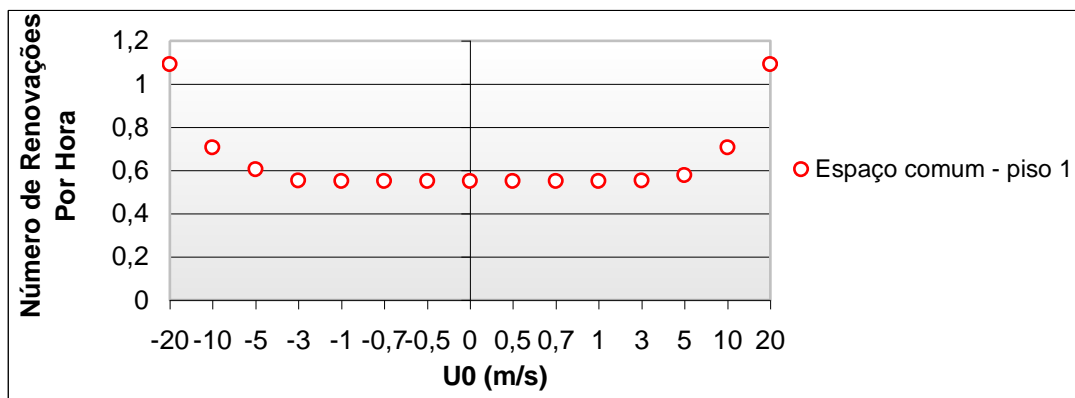


Figura 83 – Número de renovações por hora no espaço comum (piso 1) para vento frontal com ventiladores

## 6.6. Vento Paralelo à Fachada Principal com ventiladores

Para este caso considerou-se a direcção do vento como paralela àquela que foi considerada como fachada principal do edifício (figura 36). Vamos, agora ver, mais detalhadamente, o que sucede em cada uma das divisões quando se faz variar a velocidade do vento exterior. Os resultados completos para todos os espaços estão no anexo C6.

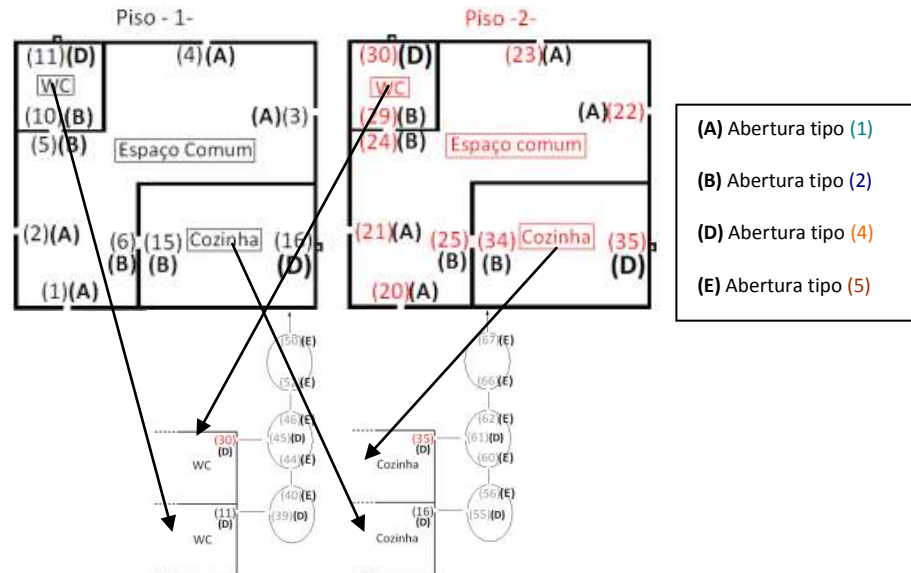


Figura 84 – Tipo de aberturas para o caso de estudo

A ventilação do edifício para este caso processa-se de igual modo ao apresentado anteriormente, a única alteração verifica-se ao nível da velocidade de algumas aberturas do espaço comum, fruto da alteração dos coeficientes de pressão (Fig. 85), mas, tal, não tem implicações quanto às possíveis infiltrações de ar provenientes da Cozinha ou do WC, já que, aqui, a presença dos ventiladores colmata as deficiências registadas no segundo piso tal como acontece no capítulo 6.5.

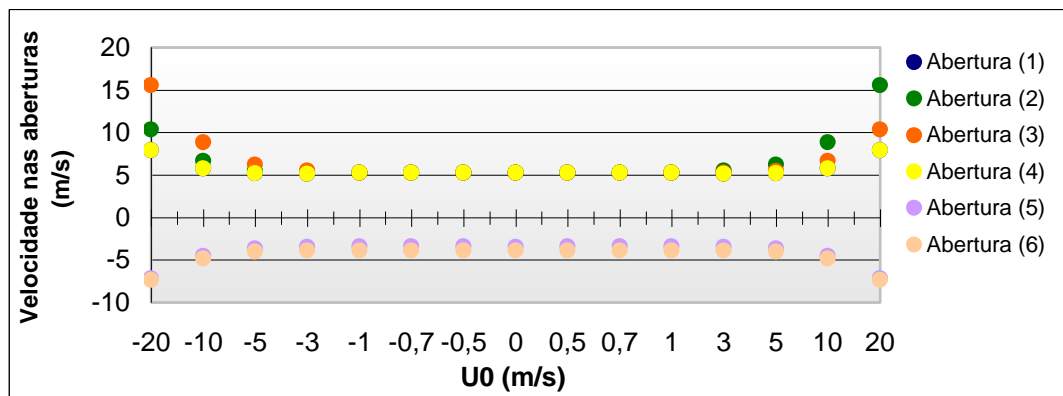


Figura 85 – Velocidade nas aberturas no espaço comum (piso 1) para vento lateral com ventiladores



## 6.7. Vento Perpendicular à Fachada Principal com ventiladores e com aberturas na zona cinzenta

Neste caso considerou-se que duas das aberturas, abertura (2) e a abertura (21), encontram-se na zona destacada a cinzento como mostra a figura 86, onde o coeficiente de pressão é diferente conforme demonstrado no capítulo anterior. Os resultados completos para todos os espaços estão no anexo C7.

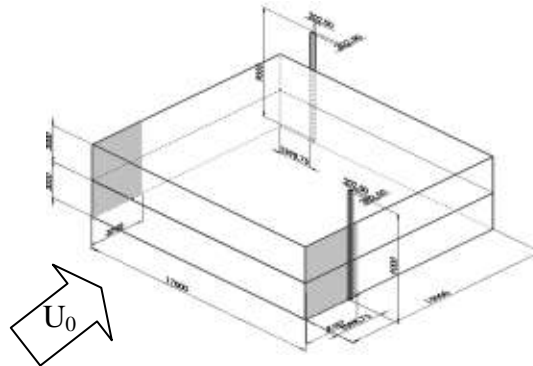


Figura 86 – Edifício para o caso de estudo com as zonas cinzentas para vento frontal identificadas

A direcção do vento é perpendicular àquela que foi considerada como fachada principal do edifício (figura 87). Vamos agora ver mais detalhadamente o que sucede em cada uma das divisões quando se faz variar a velocidade do vento exterior

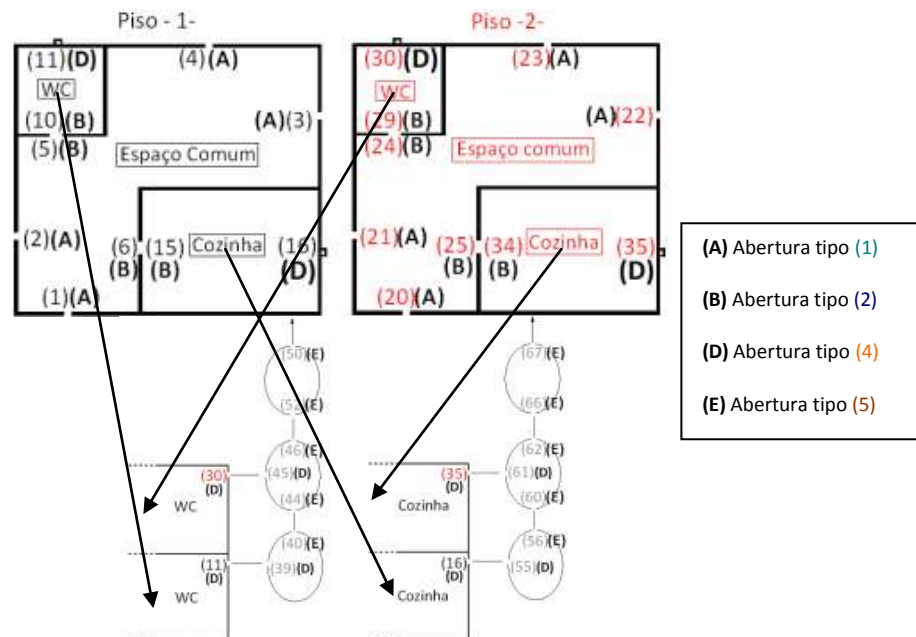


Figura 87 – Tipo de aberturas para o caso de estudo

Com a alteração do posicionamento das aberturas (2) e (21), aberturas de ligação do exterior com o Espaço comum, a única alteração imposta foi no coeficiente de pressão das referidas aberturas, o que levou a uma alteração da forma como se processa a variação da velocidade das aberturas (2) e (3) para o piso 1 (Fig. 88) e (21) e (22) para o piso 2 (Fig. 89). Ao contrário do que acontecia no capítulo 6.3, para situações semelhantes, aqui, nunca se chega a assistir a uma inversão no sentido de ventilação. Nas restantes aberturas tudo se manteve idêntico verificando-se apenas pequenas alterações não significativas nos valores das velocidades, o mesmo é válido para os restantes parâmetros de ventilação.

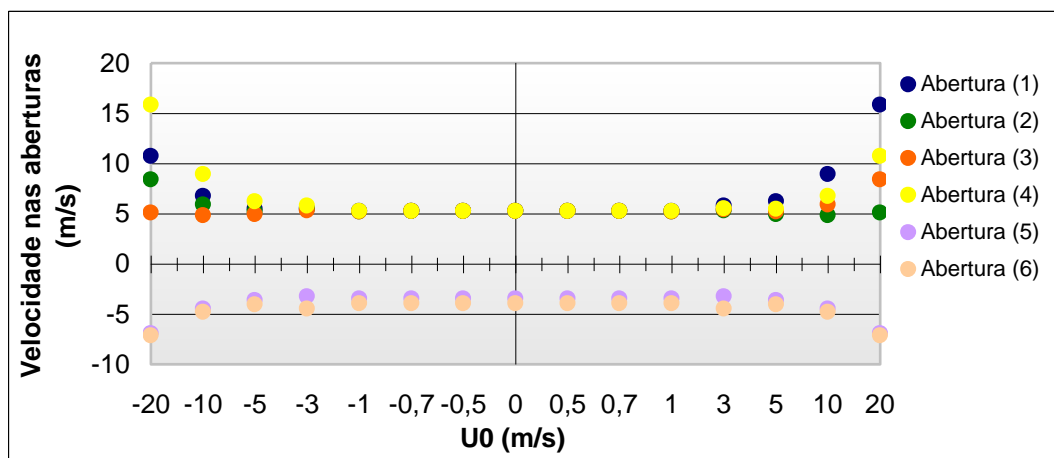


Figura 88 – Velocidade nas aberturas no espaço comum (piso 1) para vento frontal com ventiladores com uma abertura na zona cinzenta

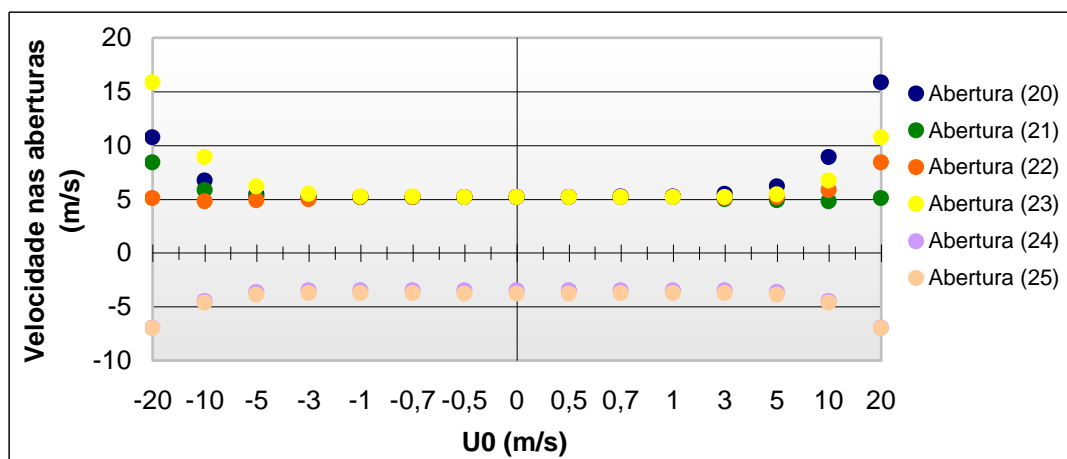


Figura 89 – Velocidade nas aberturas no espaço comum (piso 2) para vento frontal com ventiladores com uma abertura na zona cinzenta

## 6.8. Vento Paralelo à Fachada Principal com ventiladores e com abertura na zona cinzenta

Neste caso considerou-se que duas das aberturas, abertura (1) e a abertura (20), encontram-se na zona destacada a cinzento como mostram a figura 90, onde o coeficiente de pressão é diferente conforme demonstrado no capítulo anterior. Os resultados completos para todos os espaços estão no anexo C8.

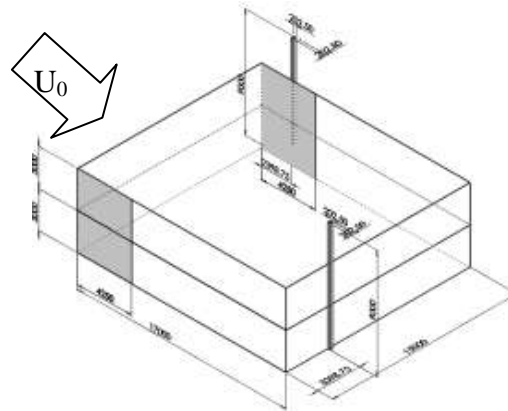


Figura 90 – Edifício para o caso de estudo com as zonas cinzentas para vento Lateral identificadas

A direcção do vento é paralela àquela que foi considerada como fachada principal do edifício (figura 91). Vamos agora ver mais detalhadamente o que sucede em cada uma das divisões quando se faz variar a velocidade do vento exterior

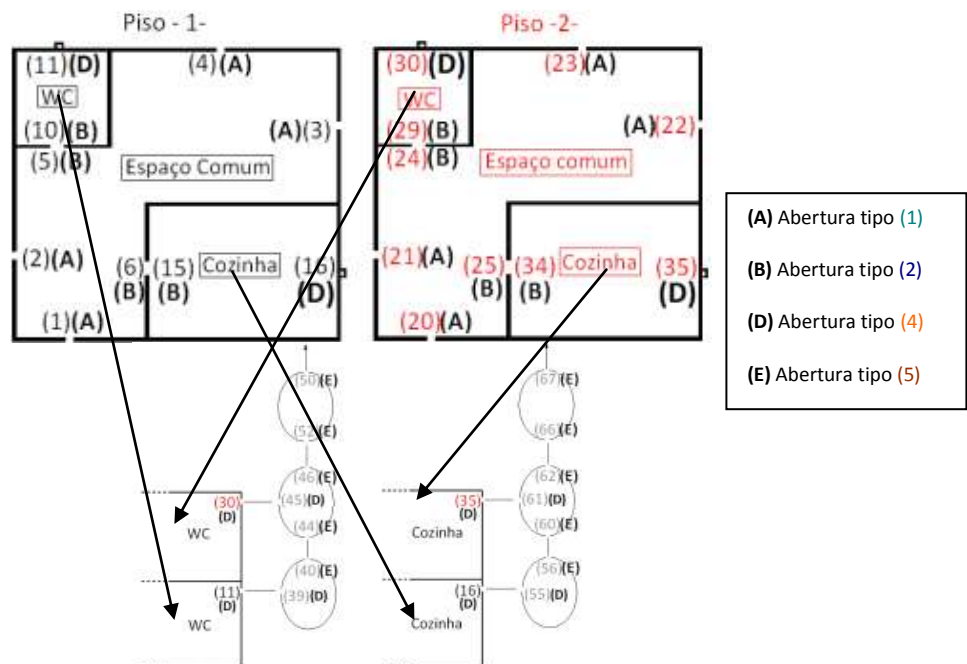


Figura 91 – Tipo de aberturas para o caso de estudo

A situação que aqui se verifica é bastante semelhante à do Capítulo 6.7, mas com uma nova orientação do vento o que dá origem a outra alteração dos coeficientes de pressão. Esta variação provoca desta feita alterações ao comportamento das aberturas (1) e (4) para o piso 1 (Fig. 92) e (20) e (23) para o piso 2 (Fig. 93), em todo o resto as alterações não são significativas em termos de como se processa a ventilação do edifício.

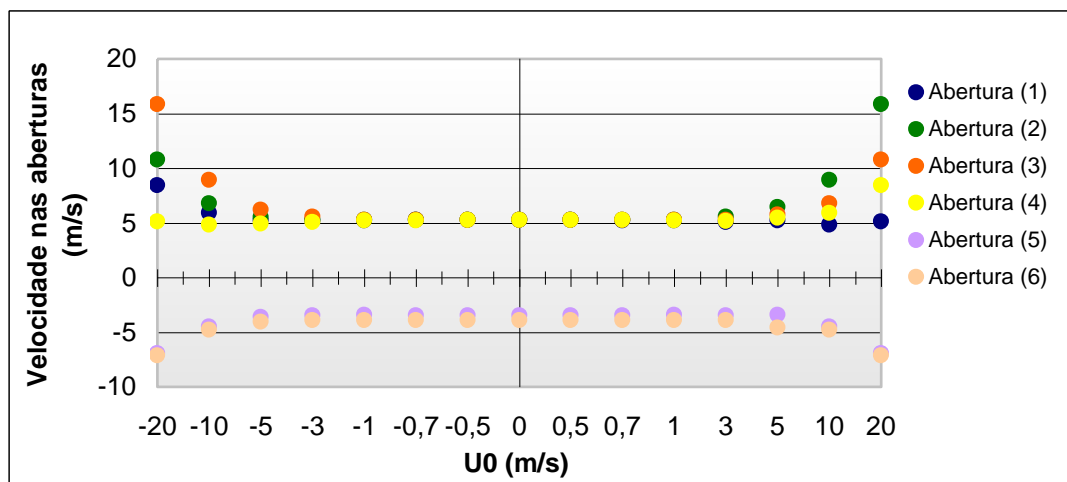


Figura 92 – Variação da velocidade nas aberturas no espaço comum (piso 1) para vento Lateral com ventiladores com uma abertura na zona cinzenta

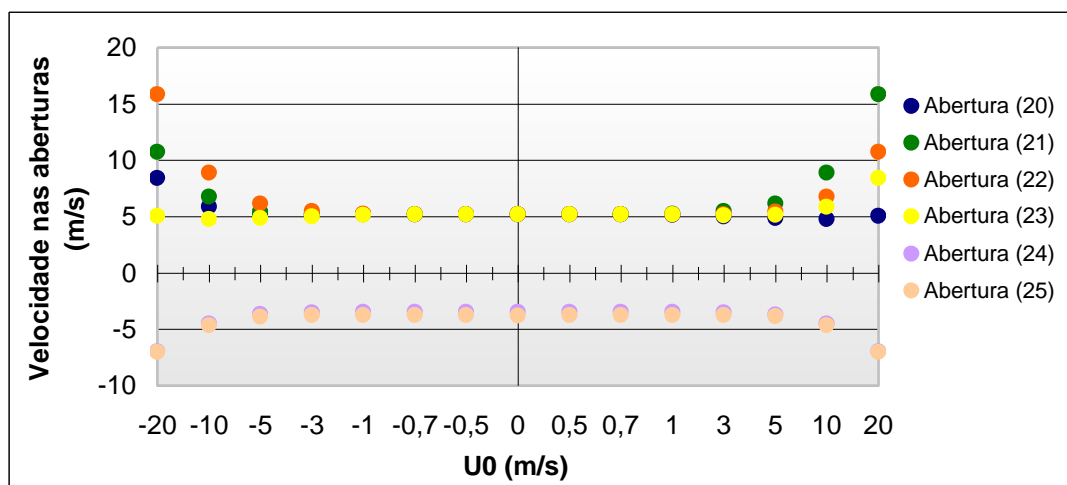


Figura 93 – Variação da velocidade nas aberturas no espaço comum (piso 2) para vento Lateral com ventiladores com uma abertura na zona cinzenta

## 7. Conclusões

Os resultados obtidos mostram a influência do aquecimento, do vento, das condutas e dos ventiladores mecânicos na ventilação de um edifício de habitação, nomeadamente na velocidade nas aberturas, na variação da pressão e temperatura dentro de cada espaço e das taxas de renovação.

Alguns destes efeitos eram fáceis de prever, tal como, o aumento da velocidade nas aberturas e das taxas de renovação com o aumento da velocidade do vento. A presença da fonte de calor pode promover um aumento das velocidades nas aberturas se estas se encontrarem a cotas superiores ou bloquear a passagem do ar se estas se encontrarem a cotas inferiores. Isto pode ser constatado na situação em que não existe vento exterior nem existem elementos de ventilação mecânica. A ventilação do piso superior do edifício de habitação que analisámos no capítulo 6 fica comprometida, não suprimindo as necessidades de ventilação que ali se impunham.

A presença das condutas de ventilação com chaminé promove a infiltração do ar e logicamente torna as aberturas onde estão colocadas independentes dos coeficientes de pressão característicos da parede onde a abertura esta colocada. Isto é de enorme importância quando queremos impor sentidos de circulação do ar em alguns dos espaços como era o caso do WC e da cozinha.

É também importante notar que pequenas alteração dos coeficientes de pressão, que não impliquem a mudança de sinal, tal como sucedia nas áreas assinaladas a cinzento nos Capítulos 5 e 6, podem alterar o comportamento de algumas aberturas, mas não alteram aqueles que foram definidos como os sentidos principais que eram necessários impor à circulação. Estas alterações também não são significativas relativamente a outros parâmetros de ventilação como a pressão, temperatura e o número de renovações.

A presença da ventilação forçada é especialmente notada para baixas velocidades de vento exterior, já que esta acaba por impor para estas situações uma ventilação quase constante e

independente da orientação do vento exterior. Provoca também um aumento considerável na variação da pressão de cada espaço. Nota-se também uma diminuição da variação da temperatura e um aumento das taxas de renovação de cada espaço, para ambos mais significativos para velocidades do vento exterior mais baixas.

Em resultado da experiência da utilização do programa faz-se a sugestão para trabalhos futuros do desenvolvimento tanto da forma como são introduzidos no programa os dados relativos ao modelo que procuramos simular, assim como, a forma como são fornecidos os resultados dessas simulações e as opções que se encontram disponíveis. Para a introdução dos dados é importante o melhoramento do interface do programa para que o utilizador possa com relativa facilidade introduzir todos os dados relativamente a situações mais complexas, como é exemplo o edifício estudado no capítulo 6. Quanto à forma como são fornecidos os resultados, poderia facilitar a apresentação e análise dos mesmos, se o programa os fornecesse já na forma de gráfico, fazendo a variação da velocidade exterior, tal como foi apresentado nos vários resultados obtidos no decorrer desta tese.

## 8. Bibliografia

- [1] – **Saraiva, J. A. Gil; Delgado, J. Dias; Borges, A. R. Janeiro**, *“Um Programa de Cálculo Automático (PCA) de Ventilação Natural: Ventil.For”*, Universidade Nova de Lisboa; Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Novembro de 1985
- [2] – **Delgado, J.F.A. Dias; Borges, A. R. Janeiro; Conde, J.M. Paixão**, *“Um Programa de Cálculo de Ventilação Natural de Edifícios”*, Métodos Numéricos en Ingeniería, SEMNI, España 1999.
- [3] – **Saraiva, J. A. Gil; Delgado, J. Dias; Borges, A. R. Janeiro**, *“Pavilhões Industriais. Solicitações, Interferência e Ventilação Natural”*, Universidade Nova de Lisboa; Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Novembro de 1985
- [4] – **Delgado, J.F.A. Dias; Borges, A. R. Janeiro; Conde, J.M. Paixão**, *“Wind action and temperature difference effects on the ventilation rate of a two-storey building communicating with the outside environment by a chimney”*, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Volume 65, Number 1, December 1996.
- [5] – **Dias, José Fernando de Almeida, Tese de Doutoramento**, *“Contribuições para o estudo da ventilação natural de edifícios”*, FCT-UNL, Lisboa 1989.
- [6] – **Veiga, P. Vieira – Projecto II** – *“Ventilação Natural (Simulação de um Escoamento de Ventilação natural)”*, 2008.
- [7] – **Sequeira, André Assunção, Tese de Mestrado**, *“Ventilação Natural”*, FCT-UNL, Lisboa 2009. (Em preparação)
- [8] – **Baturin, V. V.**, *“Fundamentals of Industrial Ventilation”*, 3<sup>rd</sup> Ed. Pergamon Press, Oxford, 1972.
- [9] – **White, F. M.**, *“Mecânica dos Fluidos”*, McGraw-Hill, 4<sup>a</sup> ed., 2002.

[10] – *“Regulamento de segurança e acções para estruturas de edifícios e pontes”*. Decreto-Lei nº 235/83, Diário da República, I Série (83-5-31). Decreto-Lei n 357/85, Diário da República, I Série (85-9-3).

[11] – *“Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios”* – Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de Abril.

[12] – *“Regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios”* – (Decreto-Lei n.º80/2006, de 4 de Abril).

[13] – NP 1037-1 (2002). *“Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás. Parte 1: Edifícios de habitação. Ventilação natural”*. Instituto Português da Qualidade.

[14] – NP 1037-2 (2002). *“Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás. Parte 2: Edifícios de habitação. Ventilação mecânica centralizada (VMC) de simples fluxo”*. Instituto Português da Qualidade.

## Anexo A – Listagem do Programa

```
C*****
C
C          VENTIL21.FOR
C          Teve origem na versão VENTIL7.FOR
C          (10-05-2009)
C          VENTILACAO NATURAL
C
C  ESTE PROGRAMA DETERMINA OS PRINCIPAIS PARAMETROS LIGADOS AO
C  PROBLEMA DA VENTILACAO NATURAL DE UM EDIFICIO COM I (=NESP)
C  ESPACOS INTERNOS CADA UM COM K(I) ABERTURAS, PARTINDO DO CON-
C  HECIMENTO DA DISTRIBUICAO DE PRESSOES RESULTANTES DA ACCAO
C  DO VENTO OBTIDA EXPERIMENTALMENTE EM MODELOS DO EDIFICIO NA
C  ZONA DAS ABERTURAS. O PROBLEMA FICA CARACTERIZADO POR UM
C  SISTEMA DE N (=SOMA(K(I))+3*I) EQUACOES ALGEBRICAS NAO LINE-
C  ARES A N INCOGNITAS, QUE GERA NA SUB.SYSTEM E RESOLVE PELO
C  METODO DE BROWN NA SUB.NONLIN .
C
C  OS DADOS RELATIVOS AO CASO PARTICULAR EM ESTUDO SAO DADOS
C  ATRAVES DO FICHEIRO "VENTIL.DAD" :
C
C  NESP  NUMERO DE ESPACOS INTERNOS
C  NA(I) NUMERO DE ABERTURAS NO ESPACO INTERNO I
C  NPA(I) NUMERO DE PAREDES NAO ADIABATICAS NO ESPACO INTERNO I
C  QGE(I) CALOR LIBERTADO NO ESPACO INTERNO I
C  V(I)  VOLUME DO ESPACO INTERNO I
C  APL(I) AREA EM PLANTA DO ESPACO INTERNO I
C  HF(I) ALTURA CARACTERISTICA DO ESPACO INTERNO I
C  X(J)  PRIMEIRA ESTIMATIVA A SOLUCAO DO PROBLEMA
C  CP(J) COEFICIENTES DE PRESSAO PARA AS ABERTURAS EXTERNAS
C  ICPCO(J) INDICE RELATIVO A PRESSAO NO ESPACO CONTIGUO A I
C          PELA ABERTURA J
C  ZETA(J) COEF. DE PERDA DE CARGA CARACT. DA ABERTURA J
C  IAB(J) TIPO DE ABERTURA J
C          01-ABERTURA EXTERMA ; 10-ABERTURA INTERNA;
C          20-CHAMINÉ;
C          30-INSUFLADOR EXTERNO, 31-EXAUSTOR EXTERNO;
C          35-INSUFLADOR INTERNO; 36-EXAUSTOR INTERNO.
C  AAB(J) AREA DA ABERTURA J
C  H(J)  COTA MEDIA DA ABERTURA J TOMADA EM RELACAO A COTA
C          MEDIA DA ABERTURA MAIS BAIXA NO ESPACO INTERNO I
C  IHCO(J) INDICE DA ABERTURA INTERNA J NO ESPACO CONTIGUO
C          A I
C  APA(JJ) AREA DA PAREDE JJ
C  U(JJ)  COEF. GLOBAL DE TRANSMISSAO DE CALOR DA PAREDE JJ
C
```

```

C      IAPACO(JJ) INDICE DA TEMPERATURA NO ESPACO CONTIGUO A I      C
C      PELA PAREDE JJ      C
C      U0,T0,P0,R,G,CPAR      VELOC.DO VENTO,TEMPERATURA,PRESSAO ATMOSF.,C
C      CONST.DO AR,ACEL.GRAVIDADE,CALOR ESP.DO AR      C
C      BIBLIOGRAFIA      C
C      -----      C
C      1. J. DIAS DELGADO, A. R. JANEIRO BORGES, J. A. GIL SARAIVA      C
C      - PAVILHOES INDUSTRIAIS ; SOLICITACOES , INTERFERENCIA E      C
C      VENTILACAO NATURAL- LNEC , LISBOA , 1985.      C
C      2. J. DIAS DELGADO, A. R. JANEIRO BORGES, J. A. GIL SARAIVA      C
C      - UM PROGRAMA DE CALCULO AUTOMATICO (PCA) DE VENTILACAO      C
C      NATURAL : VENTIL.FOR - LNEC , LISBOA, 1985.      C
C      3. K. M. BROWN , SOLUTION OF SIMULTANEOUS NONLINEAR      C
C      EQUATIONS, COMM. OF THE ACM,VOL. 10, NO. 11, NOV.,      C
C      1967, PP. 728-729.      C
C      4. K. M. BROWN,A QUADRATICALLY CONVERGENT NEWTON-LIKE      C
C      METHOD BASED UPON GAUSSIAN ELIMINATION, SIAM J.      C
C      ON NUMERICAL ANALYSIS , VOL. 6, NO. 4, DECEMBER,      C
C      1969, PP. 560-569.      C
C*****C
C      DIMENSAO DOS ARGUMENTOS DE CHAMADA PARA A SUB.NONLIN
C
PARAMETER(NMAX=800,NESPMAX=500,NTPAMAX=600)
CHARACTER FILEIN*12,FILEOUT*12
DIMENSION X(NMAX),PART(NMAX),TEMP(NMAX),COE(NMAX*(NMAX+1)),
1ISUB(NMAX),LOOKUP(NMAX*NMAX)
C
C      DIMENSAO DOS ARGUMENTOS DEFINIDORES DO PROBLEMA
C
DIMENSION NA(NESPMAX),NPA(NESPMAX),CP(NMAX),ICPCO(NMAX),
1ZETA(NMAX),IAB(NMAX),AAB(NMAX),H(NMAX),IHCO(NMAX),APA(NTPAMAX),
1IAPACO(NTPAMAX),U(NTPAMAX),V(NESPMAX),APL(NESPMAX),
1QGE(NESPMAX),HF(NESPMAX)
C
C      DIMENSAO DOS PARAMETROS DELIMITADORES PARA A SUB.SYSTEM
C
DIMENSION JCI(NESPMAX),JCF(NESPMAX),KS3(NMAX),JBF(NMAX),
1JEI(NMAX),JEF(NMAX),JEPI(NMAX),JEPF(NMAX)
C
C      DIMENSAO DOS PARAMETROS ADIMENSIONAIS DE SAIDA      C
DIMENSION REN(NESPMAX),FROUDE(NESPMAX),PSI(NESPMAX)
C
COMMON/BLOCO1/NA,NPA,CP,ICPCO,ZETA,IAB,AAB,H,IHCO,APA,IAPACO,
1U,V,APL,QGE,HF
COMMON/BLOCO2/JCI,JCF,KS3,JBF,JEI,JEF,JEPI,JEPF
COMMON/BLOCO3/N1,N2,N3

```

```

COMMON/BLOCO4/U0 , T0 , P0 , RO0 , R , G , CPAR
EXTERNAL SYSTEM
C
C      ENTRADA DOS NOMES DO FICHEIROS
C
PRINT* , 'DIGA O NOME DO FICHEIRO DE DADOS '
READ( * , 1111) FILEIN
1111 FORMAT(A12)
PRINT* , 'DIGA O NOME DO FICHEIRO DE RESULTADOS '
READ( * , 1111) FILEOUT
C
C      LEITURA DOS DADOS      "FILEIN"
C
OPEN(UNIT=1 , FILE=FILEIN)
READ(1 , *)  NESP
PRINT * ,    NESP
READ(1 , *)  (NA(I) , I=1 , NESP)
PRINT 8000 , (NA(I) , I=1 , NESP)
READ(1 , *)  (NPA(I) , I=1 , NESP)
PRINT 8000 , (NPA(I) , I=1 , NESP)
READ(1 , *)  (QGE(I) , I=1 , NESP)
PRINT 9000 , (QGE(I) , I=1 , NESP)
READ(1 , *)  (V(I) , I=1 , NESP)
PRINT 9000 , (V(I) , I=1 , NESP)
READ(1 , *)  (APL(I) , I=1 , NESP)
PRINT 9000 , (APL(I) , I=1 , NESP)
READ(1 , *)  (HF(I) , I=1 , NESP)
PRINT 9000 , (HF(I) , I=1 , NESP)
8000 FORMAT (I3)
9000 FORMAT (F10.3)

N=0
DO 500 I=1 , NESP
500    N=N+NA(I)+3
MM=N+1
NTPA=0
DO 501 I=1 , NESP
501    NTPA=NTPA+NPA(I)
READ(1 , *)  (X(J) , J=1 , N)
PRINT 9000 , (X(J) , J=1 , N)
READ(1 , *)  (CP(J) , J=1 , N)
PRINT 9000 , (CP(J) , J=1 , N)
READ(1 , *)  (ICPCO(J) , J=1 , N)
PRINT 8000 , (ICPCO(J) , J=1 , N)
READ(1 , *)  (ZETA(J) , J=1 , N)
PRINT 9000 , (ZETA(J) , J=1 , N)

```

```

READ(1,*) (IAB(J),J=1,N)
PRINT 8000,(IAB(J),J=1,N)
READ(1,*) (AAB(J),J=1,N)
PRINT 9000,(AAB(J),J=1,N)
READ(1,*) (H(J),J=1,N)
PRINT 9000,(H(J),J=1,N)
READ(1,*) (IHCO(J),J=1,N)
PRINT 8000,(IHCO(J),J=1,N)
READ(1,*) (APA(JJ),JJ=1,NTPA)
PRINT 9000,(APA(JJ),JJ=1,NTPA)
READ(1,*) (U(JJ),JJ=1,NTPA)
PRINT 9000,(U(JJ),JJ=1,NTPA)
READ(1,*) (IAPACO(JJ),JJ=1,NTPA)
PRINT 8000,(IAPACO(JJ),JJ=1,NTPA)
READ(1,*) U0,T0,P0,R,G,CPAR
PRINT 9000,U0,T0,P0,R,G,CPAR
CLOSE(UNIT=1)
ERROR=1.E-5
MAXIT=150
NUMSIG=3
ROO=P0/(R*T0)
C
C      DETERMINACAO DOS PARAMETROS DELIMITADORES PARA A SUB.SYSTEM      C
N1=NESP
N2=N1+NESP
NTAB=0
DO 1 J=1,NESP
1      NTAB=NTAB+NA(J)
N3=N2+NTAB
C
DO 50 I=1,NESP
IF(I.GT.1) GOTO 51
JCI(I)=1
JCF(I)=NA(1)
GOTO 50
51    JCI(I)=JCF(I-1)+4
JCF(I)=JCF(I-1)+NA(I)+3
50    CONTINUE
C
DO 60 I=1,NESP
IF(I.GT.1) GOTO 61
NAI=N2+1
NAF=N2+NA(1)
KS1=0
JBF1=NA(1)
GOTO 62

```

```

61      NAI=NAF+1
NAF=NAF+NA(I)
KS1=KS1+3
JBF1=JBF1+NA(I)+3
62      DO 63 J=NAI,NAF
KS3(J)=KS1
JBF(J)=JBF1
63      CONTINUE
60      CONTINUE
C
DO 70 I=1,NESP
IF(I.GT.1) GOTO 71
JEI(I+N3)=1
JEF(I+N3)=NA(1)
JEPI(I+N3)=1
JEPF(I+N3)=NPA(1)
GOTO 70
71      JEI(I+N3)=JEF(I-1+N3)+4
JEF(I+N3)=JEF(I-1+N3)+NA(I)+3
JEPI(I+N3)=JEPI(I-1+N3)+NPA(I-1)
JEPF(I+N3)=JEPF(I-1+N3)+NPA(I)
70      CONTINUE
CALL NONLIN(N,MM,MAXIT,SYSTEM,X,PART,TEMP,COE,ISUB,
1LOOKUP,NUMSIG,1,ERROR)
C
C      NUMERO DE RENOVACOES DO ESPACO I
C
JRI=1
JRF=NA(1)
DO 100 I=1,NESP
REN(I)=0.
DO 101 J=JRI,JRF
IF(X(J).LE.0.) GOTO 101
REN(I)=REN(I)+X(J)*AAB(J)*3600./V(I)
101      CONTINUE
JRI=JRF+4
JRF=JRF+NA(I+1)+3
100      CONTINUE
C
C      NUMERO DE FROUDE DO ESPACO I
C
DO 200 I=1,NESP
IF ( HF(I) .EQ. 0. ) THEN
FROUDE(I) = .1E30
GO TO 200
END IF

```

```

FROUDE(I)=REN(I)*V(I)/(APL(I)*SQRT(2.*G*HF(I)))
200 CONTINUE
C
C          NUMERO DE      PSI
C
DO 300 I=1,NESP
IF ( QGE(I) .EQ. 0. ) THEN
PSI(I) = .1E30
GO TO 300
END IF
PSI(I)=.5*RO0*U0*U0*U0/(QGE(I)/APL(I))
300 CONTINUE
OPEN(UNIT=1,FILE=FILEOUT)
JWI=1
JWF=NA(1)
DO 1000 I=1,NESP
WRITE(1,1999) I
DO 1001 J=JWI,JWF
1001  WRITE(1,2000) J,X(J)
CPI=X(JWF+1)/(0.5*RO0*U0*U0)
WRITE(1,2001) X(JWF+1),CPI
WRITE(1,2002) X(JWF+2)
WRITE(1,2003) X(JWF+3)
WRITE(1,2004) REN(I),FROUDE(I),PSI(I)
JWI=JWF+4
1000 JWF=JWF+NA(I+1)+3
1999  FORMAT('ESPACO INTERNO NUMERO=' ,I3,/)
2000  FORMAT('VELOCIDADE ( ' ,I3, ')=' ,F10.4)
2001  FORMAT('DELTA PRESSAO=' ,F10.4,5X, 'COEF. PRESSAO=' ,F10.4)
2002  FORMAT('DELTA DE RO=' ,F10.4)
2003  FORMAT('DELTA DE TEMPERATURA=' ,F10.4)
2004  FORMAT('REN.=' ,F10.4,5X, 'FROU.=' ,F10.4,5X, 'PSI=' ,E15.8,/)
CLOSE(UNIT=1)
STOP
END
C
C          SUBROUTINE GERADORA DE EQUACOES
C
SUBROUTINE SYSTEM(X,F,K)
PARAMETER(NMAX=800,NESPMAX=500,NTPAMAX=600,PI=3.141592654)
DIMENSION X(NMAX)
DIMENSION NA(NESPMAX),NPA(NESPMAX),CP(NMAX),ICPCO(NMAX),
1ZETA(NMAX),IAB(NMAX),AAB(NMAX),H(NMAX),IHCO(NMAX),APA(NTPAMAX),
1IAPACO(NTPAMAX),U(NTPAMAX),V(NESPMAX),APL(NESPMAX),
1QGE(NESPMAX),HF(NESPMAX)
DIMENSION JCI(NESPMAX),JCF(NESPMAX),KS3(NMAX),JBF(NMAX),

```

```

1JEI(NMAX) , JEF(NMAX) , JEPI(NMAX) , JEPF(NMAX)
COMMON/BLOCO1/NA, NPA, CP, ICPCO, ZETA, IAB, AAB, H, IHCO, APA, IAPACO,
1U, V, APL, QGE, HF
COMMON/BLOCO2/JCI, JCF, KS3, JBF, JEI, JEF, JEPI, JEPF
COMMON/BLOCO3/N1, N2, N3
COMMON/BLOCO4/U0, T0, P0, RO0, R, G, CPAR
IF(K.GT.N3) GOTO 40
IF(K.GT.N2) GOTO 30
IF(K.GT.N1) GOTO 20
C
C      EQUACAO DA CONTINUIDADE PARA O ESPACO I
C
10      F=0.
DO 11 J=JCI(K), JCF(K)
11      F=X(J)*AAB(J)+F
RETURN
C
C      EQUACAO DOS GASES PERFEITOS PARA O ESPACO I
C
20      IM=K-N1
JM2=0
JM3=0
DO 21 I=1, IM
IF(I.GT.1) GOTO 22
JM2=JM2+NA(I)+2
JM3=JM3+NA(I)+3
GOTO 21
22      JM2=JM2+NA(I)+3
JM3=JM3+NA(I)+3
21      CONTINUE
F=X(JM2)/RO0+X(JM3)/T0
RETURN
C
C      EQUACAO DE BERNOULLI PARA A ABERTURA J
C
30      J=K-N2+KS3(K)
C      ABERTURA EXTERNA
IF(IAB(J).EQ.01) THEN
F=(X(JBF(K)+2)*H(J)*G)+(0.5*RO0*U0*U0*CP(J)-X(JBF(K)+1))-
1      0.5*RO0*ZETA(J)*X(J)*ABS(X(J))
RETURN
END IF
C      ABERTURA INTERNA
IF(IAB(J).EQ.10) THEN
F=(X(JBF(K)+2)*H(J)-X(ICPCO(J)+1)*H(IHCO(J)))*G+(X(ICPCO(J))-
1X(JBF(K)+1))-0.5*RO0*ZETA(J)*X(J)*ABS(X(J))

```

```

RETURN
END IF
C    CHAMINÉ
IF (IAB(J).EQ.20) THEN
U0C=1.219*U0
IF ( X(J) .GE. 0. )THEN
F=X(JBF(K)+2)*H(J)*G-X(JBF(K)+1)-(1.8/2)*R00*X(J)*X(J)
1      -(1.15/2)*R00*U0C*U0C
RETURN
END IF
IF ( X(J) .LT. 0. )THEN
IF ((X(J)/U0C) .LE. -1.0) THEN
F=X(JBF(K)+2)*H(J)*G-X(JBF(K)+1)+(0.1/2)*R00*X(J)*X(J)
RETURN
END IF
IF (((X(J)/U0C) .LE. -0.8) .AND. ((X(J)/U0C) .GT. -1.0))THEN
F=X(JBF(K)+2)*H(J)*G-X(JBF(K)+1)+(0.1/2)*R00*U0C*U0C
RETURN
END IF
IF (((X(J)/U0C) .LE. 0.) .AND. ((X(J)/U0C) .GT. -0.8))THEN
F=X(JBF(K)+2)*H(J)*G-X(JBF(K)+1)-(1.15/2)*R00*U0C*U0C
1      -1.25*SIN((PI/2)*((X(J)/U0C)/0.8))*0.5*R00*U0C*U0C
RETURN
END IF
END IF
END IF
END IF
C    VENTILADOR EXTERNO
C    INSUFLADOR
IF(IAB(J).EQ.30) THEN
IF((0.5*R00*U0*U0*CP(J)+78.4-X(JBF(K)+1)).LT.0.0) THEN
F=(X(JBF(K)+2)*H(J)*G)+(0.5*R00*U0*U0*CP(J)-X(JBF(K)+1))
1+78.4-0.5*R00*10*X(J)*ABS(X(J))
RETURN
END IF
F=(X(JBF(K)+2)*H(J)*G)+(0.5*R00*U0*U0*CP(J)-X(JBF(K)+1))
1-59.5*X(J)*ABS(X(J))
1+78.4
RETURN
END IF
C    EXAUSTOR
IF(IAB(J).EQ.31) THEN
IF((0.5*R00*U0*U0*CP(J)-78.4-X(JBF(K)+1)).GT.0.0) THEN
F=(X(JBF(K)+2)*H(J)*G)+(0.5*R00*U0*U0*CP(J)-X(JBF(K)+1))
1-78.4-0.5*R00*10*X(J)*ABS(X(J))
RETURN
END IF

```

```

F=(X(JBF(K)+2)*H(J)*G)+(0.5*R00*U0*U0*CP(J)-X(JBF(K)+1))
1-59.5*X(J)*ABS(X(J))
1-78.4
RETURN
END IF
C    VENTILADOR INTERNO
C    INSUFLADOR
IF(IAB(J).EQ. 35) THEN
IF((X(ICPCO(J))+78.4-X(JBF(K)+1)).LT.0.0) THEN
F=(X(JBF(K)+2)*H(J)-X(ICPCO(J)+1)*H(IHCO(J)))*G+(X(ICPCO(J))-
1X(JBF(K)+1))
1-0.5*R00*10*X(J)*ABS(X(J))+78.4
RETURN
END IF
F=(X(JBF(K)+2)*H(J)-X(ICPCO(J)+1)*H(IHCO(J)))*G+(X(ICPCO(J))-
1X(JBF(K)+1))
1+78.4-59.5*ABS(X(J))*X(J)
RETURN
END IF
C    EXAUSTOR
IF(IAB(J).EQ. 36) THEN
IF((X(ICPCO(J))-78.4-X(JBF(K)+1)).GT.0.0) THEN
F=(X(JBF(K)+2)*H(J)-X(ICPCO(J)+1)*H(IHCO(J)))*G+(X(ICPCO(J))-
1X(JBF(K)+1))
1-0.5*R00*10*X(J)*ABS(X(J))-78.4
RETURN
END IF
F=(X(JBF(K)+2)*H(J)-X(ICPCO(J)+1)*H(IHCO(J)))*G+(X(ICPCO(J))-
1X(JBF(K)+1))
1-78.4-59.5*X(J)*ABS(X(J))
RETURN
END IF
RETURN
C
C    EQUACAO DA ENERGIA PARA O ESPACO I
C
40    IE=K-N3
QAB=0.
41    DO 42 J=JEI(K),JEF(K)
IF(X(J).LT.0.) GOTO 43
IF(ICPCO(J).EQ.0) GOTO 42
QAB=QAB+R00*CPAR*X(J)*AAB(J)*X(ICPCO(J)+2)
GOTO 42
43    QAB=QAB+R00*CPAR*X(J)*AAB(J)*X(JEF(K)+3)
42    CONTINUE
C

```

```

QPA=0.
DO 45 J=JEPI(K),JEPF(K)
IF(IAPACO(J).NE.0) GOTO 46
QPA=QPA+U(J)*APA(J)*X(JEF(K)+3)
GOTO 45
46      QPA=QPA+U(J)*APA(J)*(X(JEF(K)+3)-X(IAPACO(J)))
45      CONTINUE
F=QAB+QGE(IE)-QPA
RETURN
END
C      SUBROUTINE PARA SOLUCAO DO SISTEMA DE EQUACOES
C      (SITEMA DE EQUACOES ALGEBRICAS NAO LINEAR)
C
SUBROUTINE NONLIN(N,MM,MAXIT,AUXFCN,X,PART,TEMP,COE,ISUB,LOOKUP,
+NUMSIG,IPRINT,EPS)
PARAMETER(NMAX=800,NESPMAX=500,NTPAMAX=600)
DIMENSION X(1),PART(1),TEMP(1),ISUB(1),LOOKUP(N,N),COE(N,MM)
DIMENSION NA(NESPMAX),NPA(NESPMAX),CP(NMAX),ICPCO(NMAX),
1ZETA(NMAX),IAB(NMAX),AAB(NMAX),H(NMAX),IHCO(NMAX),APA(NTPAMAX),
1IAPACO(NTPAMAX),U(NTPAMAX),V(NESPMAX),APL(NESPMAX),QGE(NESPMAX),
1HF(NESPMAX)
DIMENSION JCI(NESPMAX),JCF(NESPMAX),KS3(NMAX),JBF(NMAX),JEI(NMAX),
1JEF(NMAX),JEPI(NMAX),JEPF(NMAX)
COMMON/BLOCO1/NA,NPA,CP,ICPCO,ZETA,IAB,AAB,H,IHCO,APA,IAPACO,
1U,V,APL,QGE,HF
COMMON/BLOCO2/JCI,JCF,KS3,JBF,JEI,JEF,JEPI,JEPF
COMMON/BLOCO3/N1,N2,N3
COMMON/BLOCO4/U0,T0,P0,R0,R,G,CPAR
C
C DELTA WILL BE A FUNCTION OF THE MACHINE AND THE PRECISION USED:
C
DELTA=1.E-4
RELCON=10.E+0**(-NUMSIG)
JTEST = 1
IF(IPRINT .EQ. 1) PRINT 48
48      FORMAT (1H1)
DO 700 M = 1, MAXIT
IQUIT=0
FMAX = 0.
M1 = M-1
IF (IPRINT .NE. 1) GO TO 9
PRINT   49, M1, (X(I), I = 1,N)
49      FORMAT(I5,3E18.8 / (E23.8 ,2E18.8))
9       DO 10 J = 1,N
10      LOOKUP (1,J) = J
C      THE ARRAY LOOKUP PERMITS A PARTIAL PIVOTING EFFECT WITHOUT

```

```

C      HAVING TO PHYSICALLY INTERCHANGE ROWS OR COLUMNS.
C
DO 500 K = 1,N
IF (K-1) 134,134,131
131  KMIN = K-1
CALL BACK(KMIN,N,MM,X,ISUB,COE,LOOKUP)
C
C      SET UP PARTIAL DERIVATIVES OF KTH FUNCTION..
134  CALL AUXFCN (X,F,K)
FMAX = AMAX1 (FMAX,ABS(F))
IF (ABS(F) .GE. EPS) GO TO 1345
IQUIT=IQUIT+1
IF(IQUIT .NE. N) GO TO 1345
GO TO 725
1345  FACTOR=.001E+00
135  ITALLY = 0
DO 200 I = K,N
ITEMP = LOOKUP (K,I)
HOLD = X(ITEMP)
PREC = 5.E+0  ** ( -NUMSIG + 2 )
C
C      PREC IS A FUNCTION OF THE MACHINE SIGNIFICANCE, SIG, AND SHOULD
C      BE COMPUTED AS PREC=5.M10.**E-SIGF2). IN THIS INSTANCE
C      WE WERE DEALING WITH AN 8 DIGIT MACHINE.
C
ETA = FACTOR*ABS(HOLD)
HH = AMIN1 (FMAX,ETA)
IF (HH .LT. PREC) HH=PREC
X (ITEMP)=HOLD+HH
IF (K-1)161,161,151
151  CALL BACK(KMIN,N,MM,X,ISUB,COE,LOOKUP)
161  CALL AUXFCN (X,FPLUS,K)
PART (ITEMP) = (FPLUS-F)/HH
X(ITEMP) = HOLD
IF(ABS(PART(ITEMP)) .LT. DELTA ) GO TO 190
IF ( ABS(F/PART(ITEMP)) .LE. 1.E+15)GO TO 200
190  ITALLY = ITALLY+1
200  CONTINUE
IF (ITALLY .LE. N-K) GO TO 202
FACTOR = FACTOR*10.0E+00
IF(FACTOR .GT. 11.) GO TO 775
GO TO 135
202  IF(K.LT.N) GO TO 203
IF(ABS(PART(ITEMP)).LT. DELTA) GO TO 775
COE(K,N+1) = 0.0E+00
KMAX = ITEMP

```

```

GO TO 500
C      FIND PARTIAL DERIVATIVE OF LARGEST ABSOLUTE VALUE..
C
203  KMAX=LOOKUP (K,K)
DERMAX = ABS (PART(KMAX))
KPLUS=K+1
DO 210 I=KPLUS,N
JSUB= LOOKUP (K,I)
TEST = ABS(PART(JSUB))
IF (TEST .LT. DERMAX) GO TO 209
DERMAX = TEST
LOOKUP (KPLUS,I) = KMAX
KMAX = JSUB
GO TO 210
209  LOOKUP (KPLUS,I) = JSUB
210  CONTINUE
IF ( ABS(PART(KMAX)) .EQ. 0.0) GO TO 775
C
C      SET UP COEFFICIENTS FOR KTH ROW OF TRIANGULAR LINEAR SYSTEM USED
C      TO BACK-SOLVE FOR THE FIRST K VALUES OF X(I)
C
ISUB (K) = KMAX
COE (K,N+1) = 0.0E+00
DO 220 J= KPLUS,N
JSUB = LOOKUP (KPLUS,J)
COE (K,JSUB) = -PART (JSUB)/PART(KMAX)
COE (K,N+1) = COE (K,N+1)+PART (JSUB)*X(JSUB)
220  CONTINUE
500  COE (K,N+1) = (COE (K,N+1)-F)/PART(KMAX)+X(KMAX)
C      BACK SUBSTITUTE TO OBTAIN NEXT APPROXIMATION TO X..
X (KMAX) = COE (N,N+1)
IF (N .EQ. 1) GO TO 610
CALL BACK (N-1,N,MM,X,ISUB,COE,LOOKUP)
610  IF (M-1) 650,650,625
C
C      TEST FOR CONVERGENCE..
C
625  DO 630 I = 1,N
IF( ABS(TEMP(I)-X(I)) .GT. ABS(X(I))*RELCON ) GO TO 649
630  CONTINUE
JTEST = JTEST+1
IF (JTEST-3)650,725,725
649  JTEST = 1
650  DO 660 I = 1,N
660  TEMP (I) = X(I)
700  CONTINUE

```

```

PRINT1753
1753  FORMAT(/' NO CONVERGENCE. MAXIMUM NUMBER OF ITERATIONS USED.')
```

IF(IPRINT .NE. 1) GO TO 800

```

PRINT 1763
1763  FORMAT(' FUNCTION VALUES AT THE LAST APPROXIMATION FOLLOW..' /)
IFLAG=1
GO TO 7777
725  IF (IPRINT .NE. 1) GO TO 800
7777  DO 750 K= 1,N
CALL AUXFCN (X,PART(K),K)
750  CONTINUE
IF(IFLAG .NE. 1) GO TO 8777
PRINT 7788, (PART(K),K=1,N)
7788  FORMAT(3E20.8)
GO TO 800
8777  PRINT 751
751  FORMAT(//' CONVERGENCE HAS BEEN ACHIEVED. THE FUNCTION VALUES')
```

PRINT 7515, (PART(K),K= 1,N)

```

7515  FORMAT(' AT THE FINAL APPROXIMATION FOLLOW..' / (3E20.8))
GO TO 800
775  PRINT 752
752  FORMAT(//' MODIFIED JACOBIAN IS SINGULAR. TRY A DIFFERENT')
```

PRINT 7525

```

7525  FORMAT(' INITIAL APPROXIMATION.')
```

800 MAXIT=M1 + 1

```

RETURN
END
```

C       SUBROUTINE BACK(KMIN,N,MM,X,ISUB,COE,LOOKUP)

C       THIS SUBROUTINE BACK-SOLVES THE FIRST KMIN ROWS OF A

C       TRIANGULARIZED LINEAR SYSTEM FOR IMPROVED X VALUES IN TERMS

C       PREVIOUS ONES

```

DIMENSION X(1),ISUB(1),COE(N,MM),LOOKUP(N,N)
DO 200 KK= 1,KMIN
KM = KMIN-KK+2
KMAX = ISUB (KM-1)
X (KMAX) = 0.0E+00
DO 100 J = KM,N
JSUB = LOOKUP (KM,J)
X (KMAX) = X (KMAX)+COE(KM-1,JSUB)*X(JSUB)
100  CONTINUE
X(KMAX)=X(KMAX)+COE(KM-1,N+1)
200  CONTINUE
RETURN
END
```



# PUNTO FILO LL



Extractores de baño con rodamientos a bolas  
LONG LIFE de Larga Duración

**LONG LIFE 30.000 h**



PUNTO FILO LL

- Diseñados para evitar ruidos y vibraciones
- Ultra-silenciosos
- Diseño extraplano con solo 17 mm de grosor
- Alto rendimiento gracias a su aerodinámico diseño
- Fácil y rápida instalación

**Construcción:**

- Acabado en blanco
- Rodamientos a bolas diseñados para 30.000 horas LONG LIFE
- Computa anti-reboto incorporada en todos los modelos
- Construido con materiales reciclables

**Versiones:**

- BASIC: funciona con el interruptor de la luz o independiente
- TIMER: funciona con temporizador electrónico regulable



Solo 17 mm de espesor



Rodamientos a bolas diseñados para 30.000 horas LONG LIFE



Instalación integrada a pared



Instalación integrada a techo



Extractores de baño con rotamiento a bolas  
LONG LIFE de Larga Duración

## PUNTO FILO LL

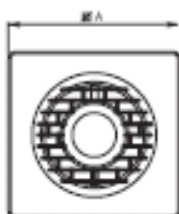
### Características técnicas

Modelo	mm	Versión	Código
MF-100 LL	100	BA3C	600100
MF-100 LL-T	100	TIMER	600100T
MF-120 LL	120	BA3C	600120
MF-120 LL-T	120	TIMER	600120T
MF-150 LL	150	BA3C	600150
MF-150 LL-T	150	TIMER	600150T

Modelo	250v.50 Hz		m <sup>3</sup> /h	mm.c.a.	db(A)	Kg
	rpm	w				
MF-100 LL	2400	15	90	3	31	0,51
MF-120 LL	2100	20	190	5	34,4	0,61
MF-150 LL	2100	20	320	6	40,1	0,97



### Dimensiones mm



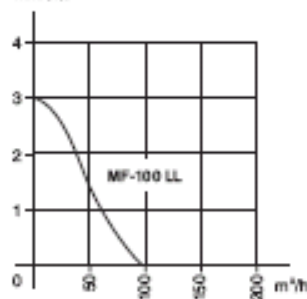
Modelo	Ø A	Ø	C	Ø D
MF-100 LL	159	17	77	96
MF-120 LL	179	17	69	119
MF-150 LL	214	17	96	156

### Curvas Características

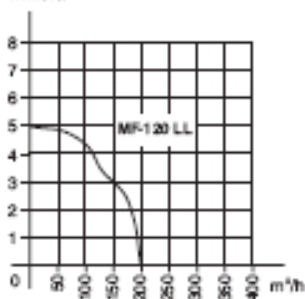
Q = Caudal en m<sup>3</sup>/h

Pa = Presión estática en mm.c.a.

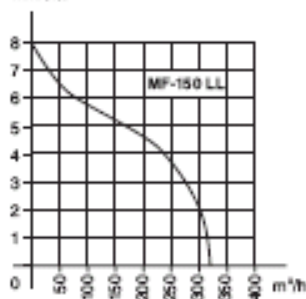
mm.c.a.



mm.c.a.



mm.c.a.



### Accesorios

Ver apartado accesorios.



Rejilla decorativa



Rejilla ajustable

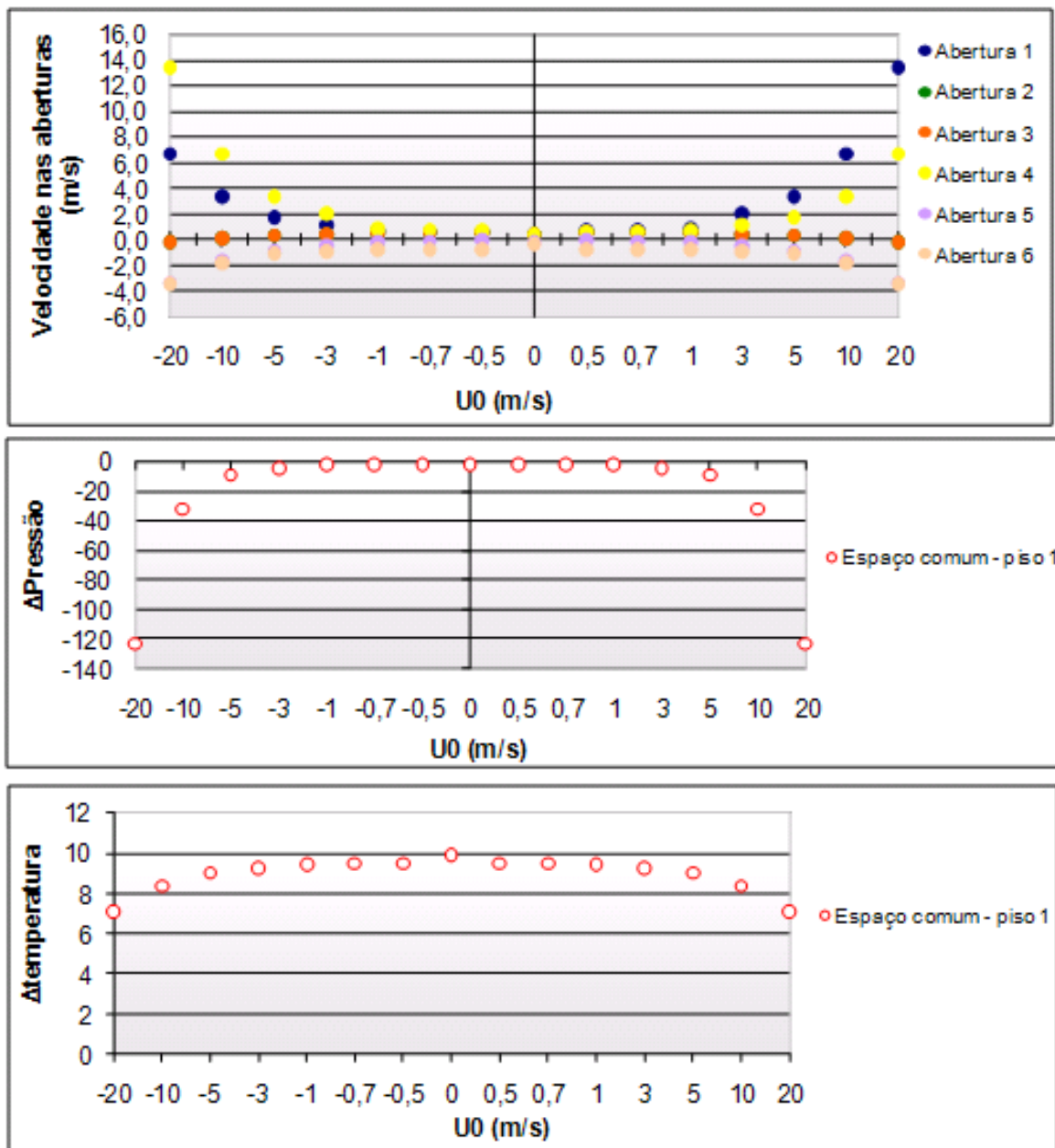


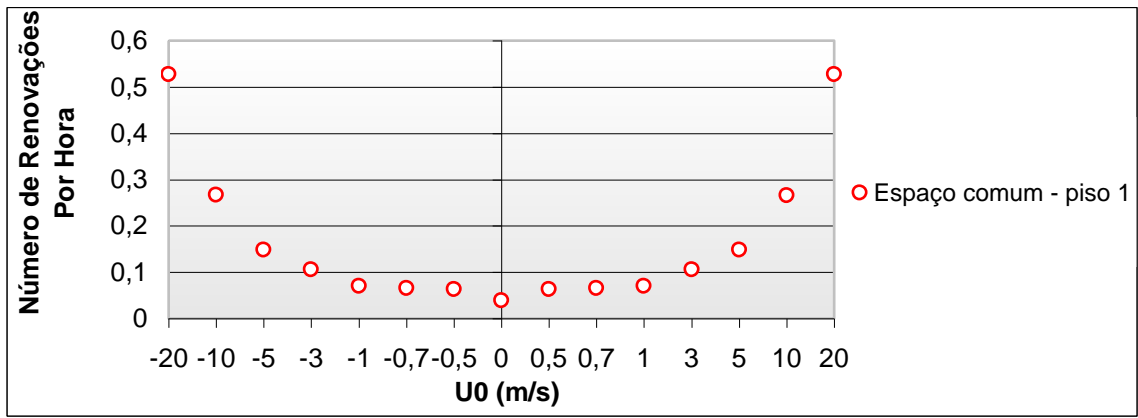
Regulador de velocidad

## Anexo C – Resultados

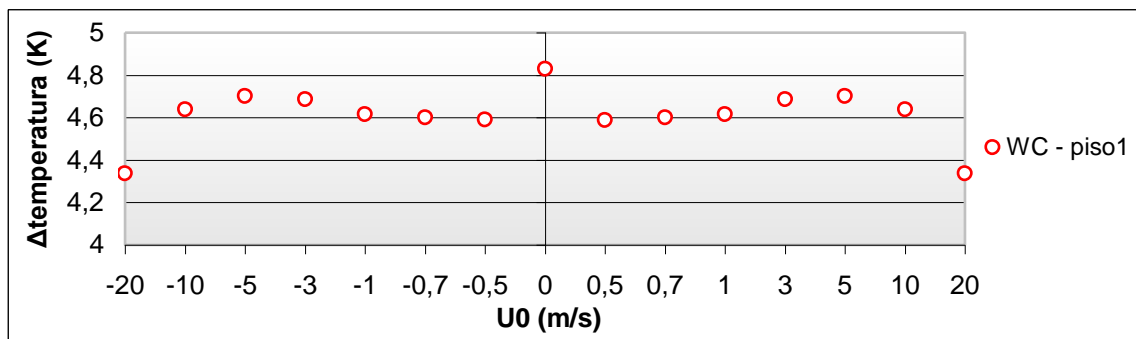
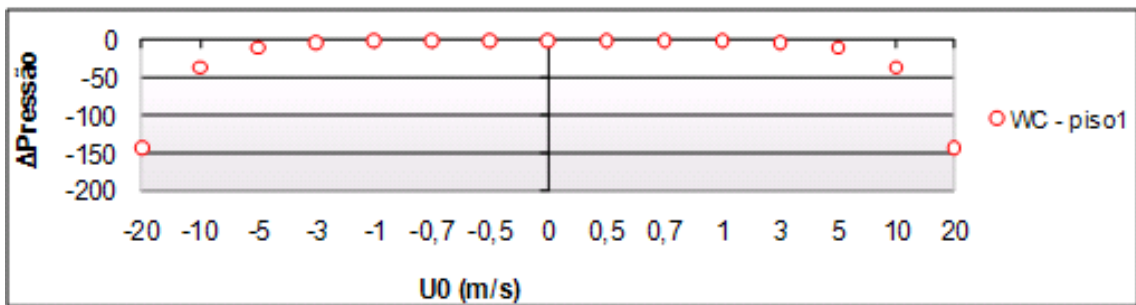
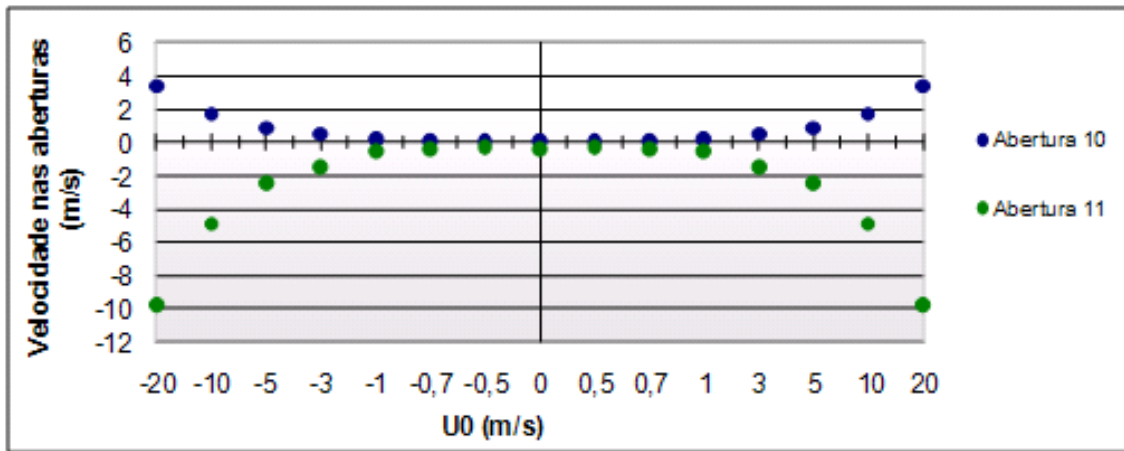
### C1 – Vento Frontal sem ventiladores

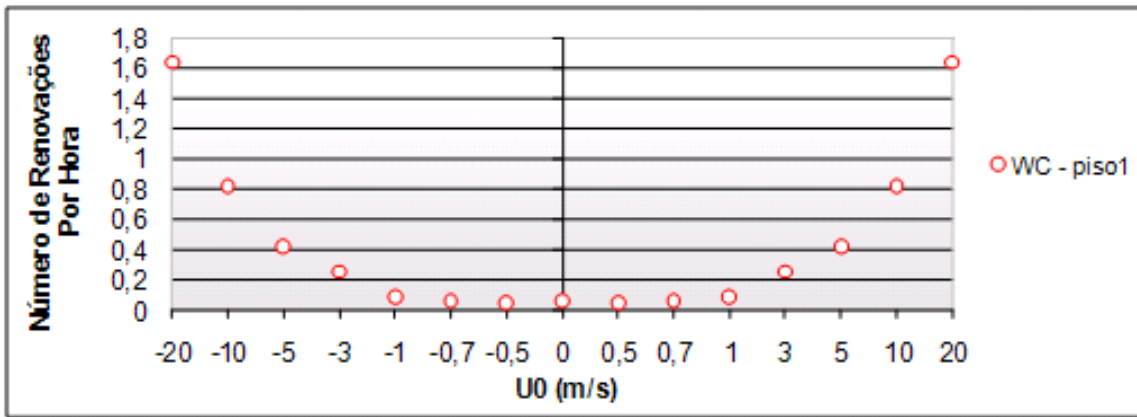
#### Espaço comum piso -1-



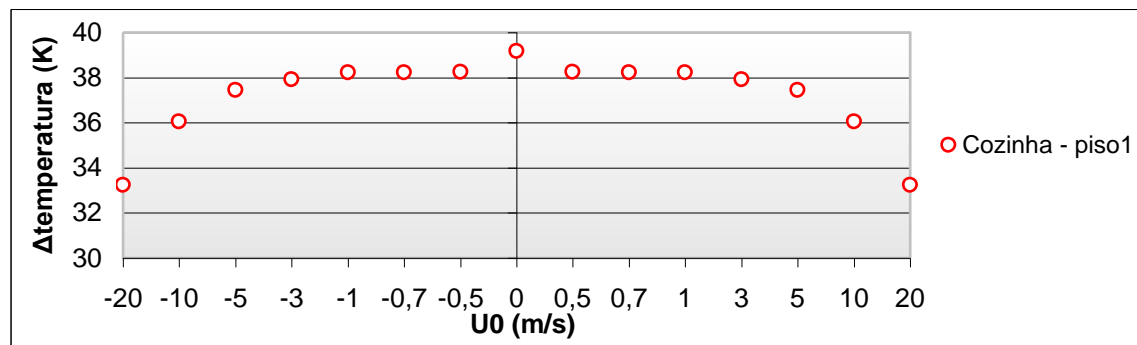
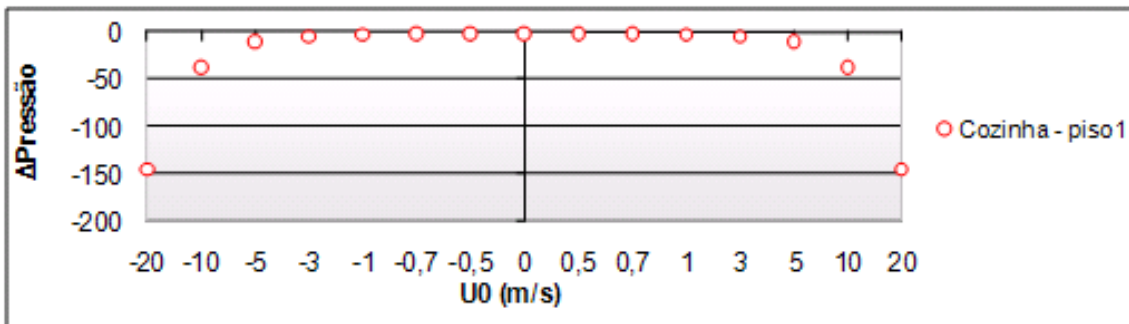
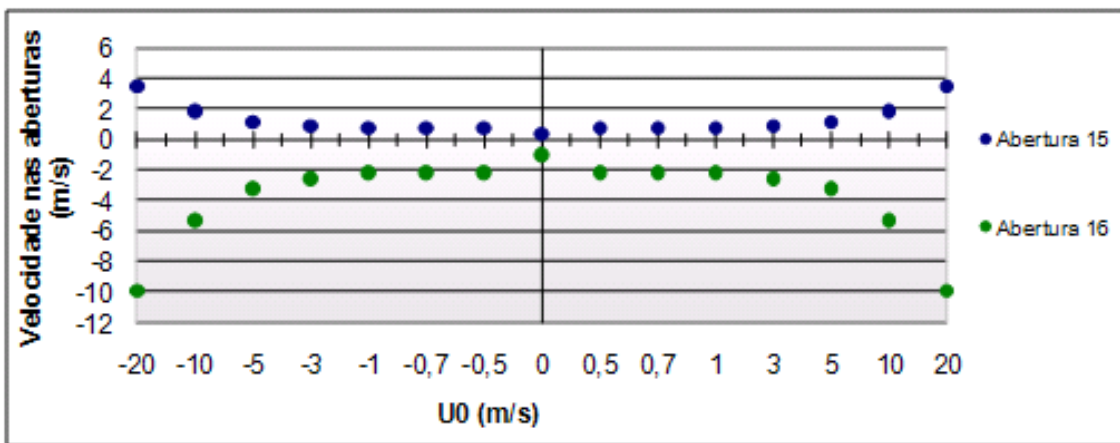


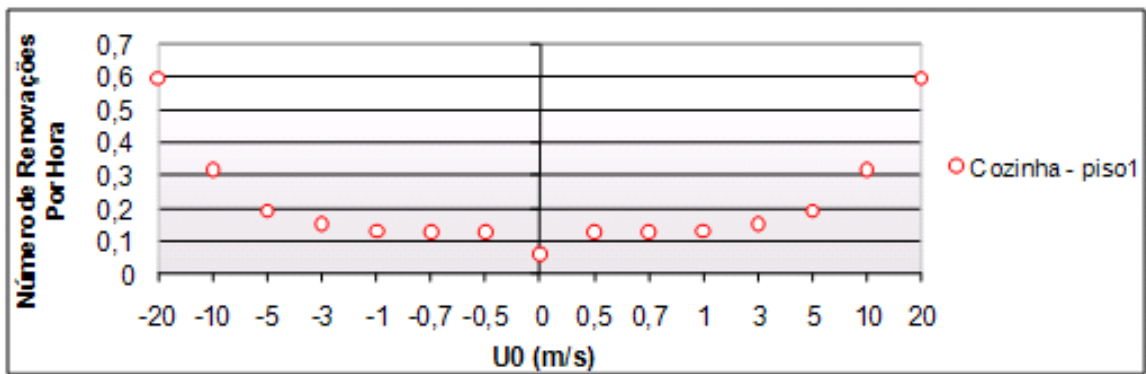
WC piso -1-



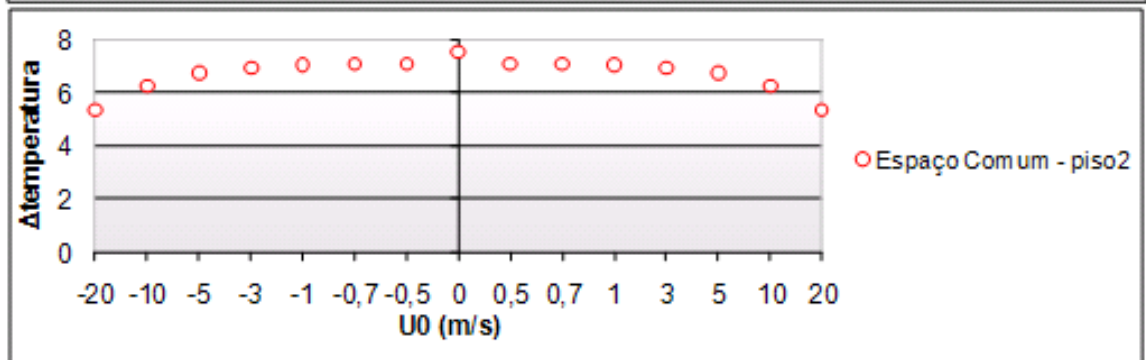
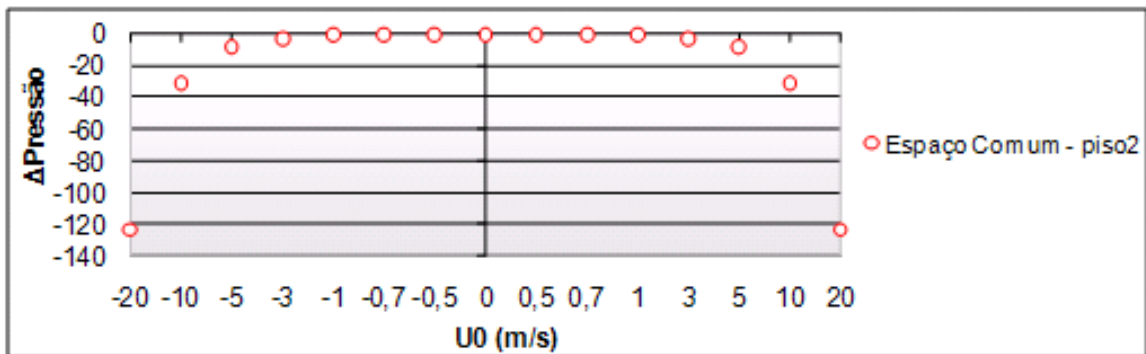
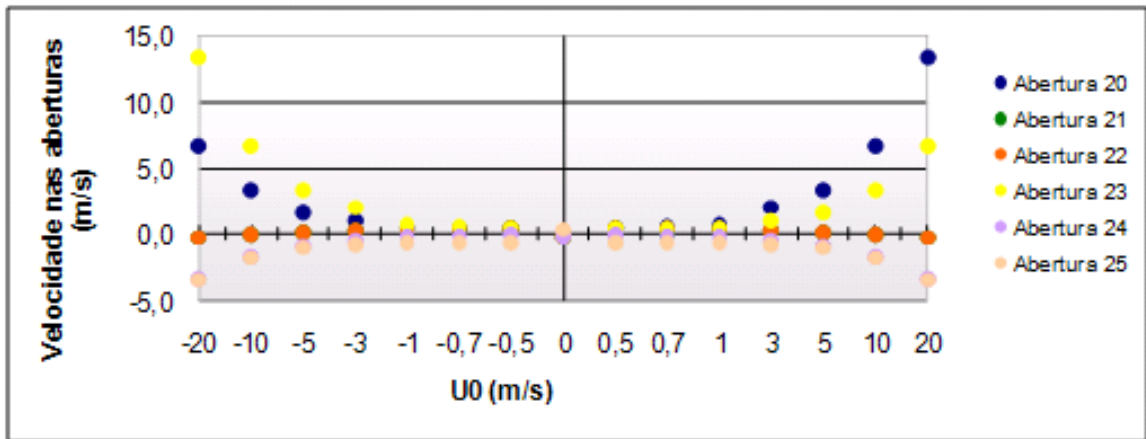


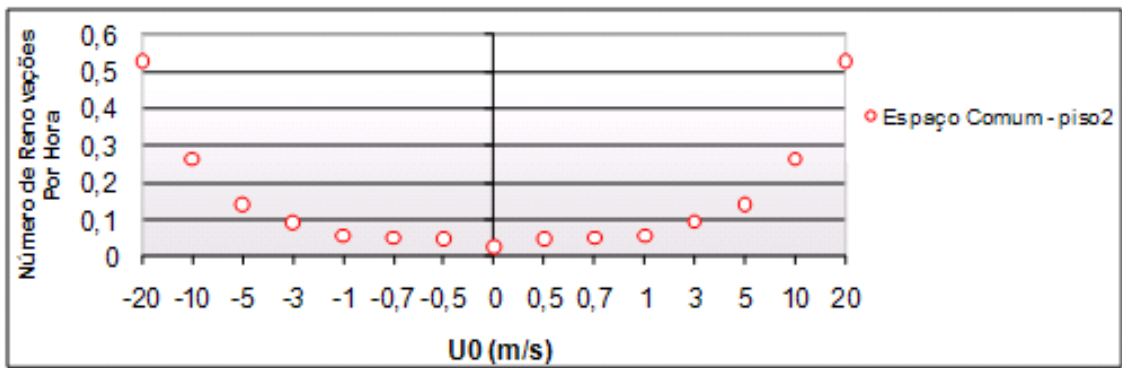
Cozinha piso -1-



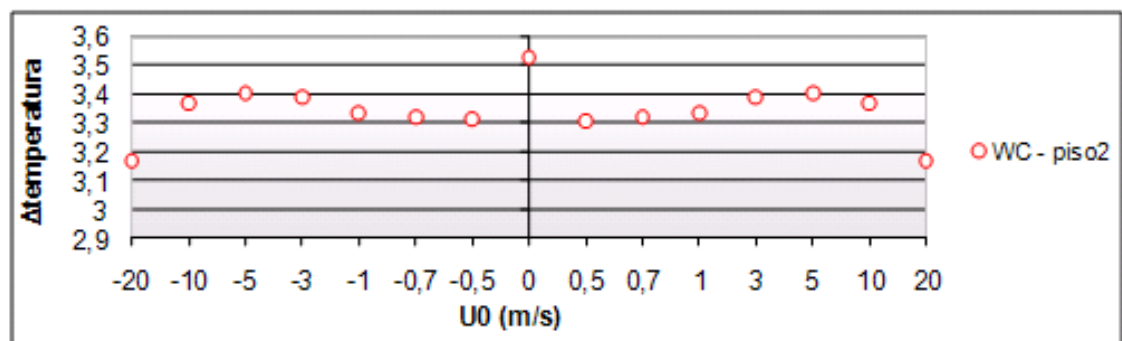
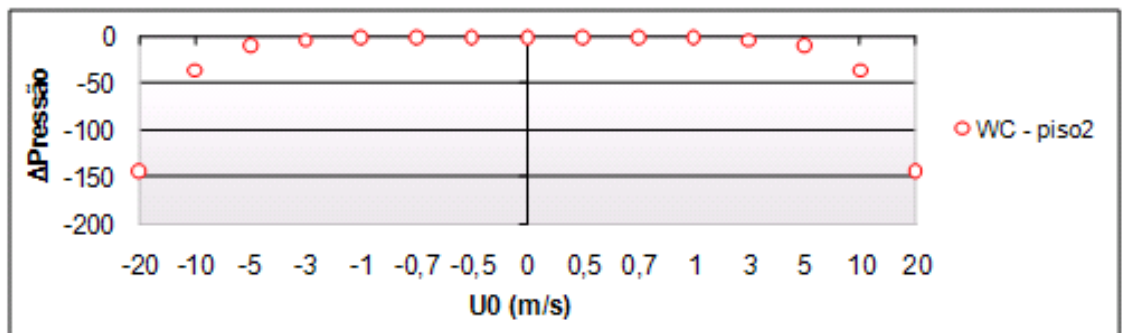
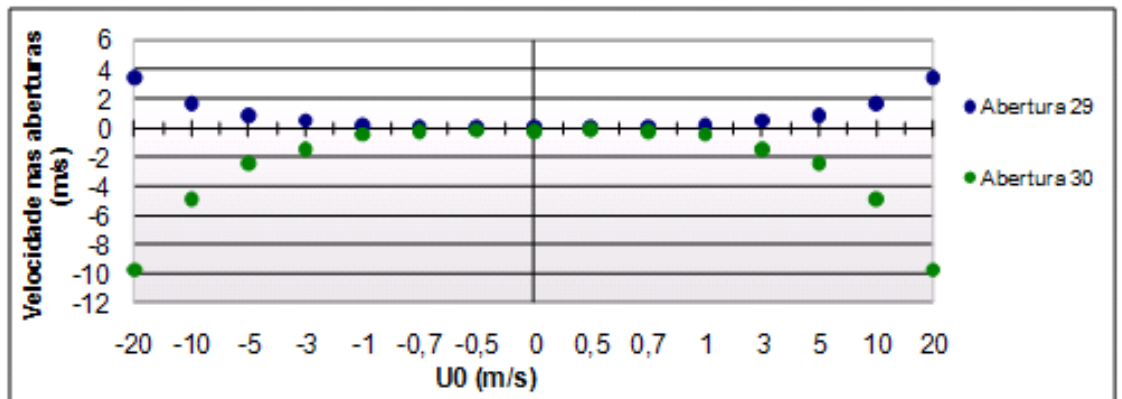


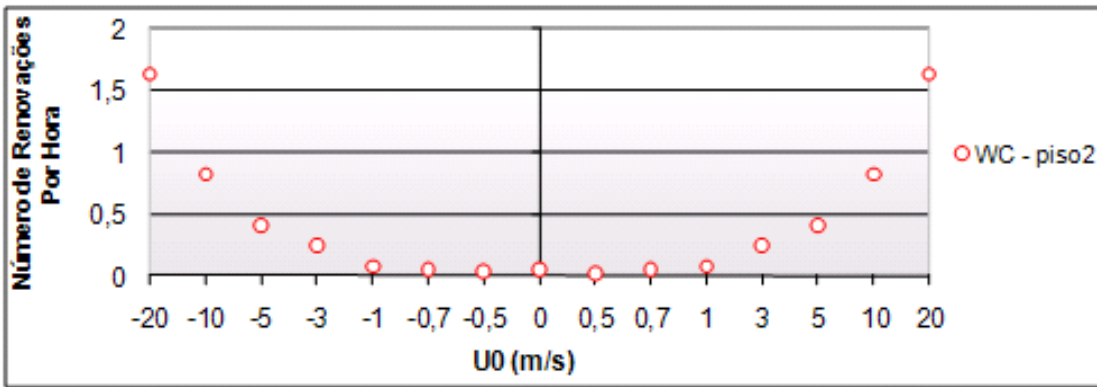
Espaço comum piso -2-



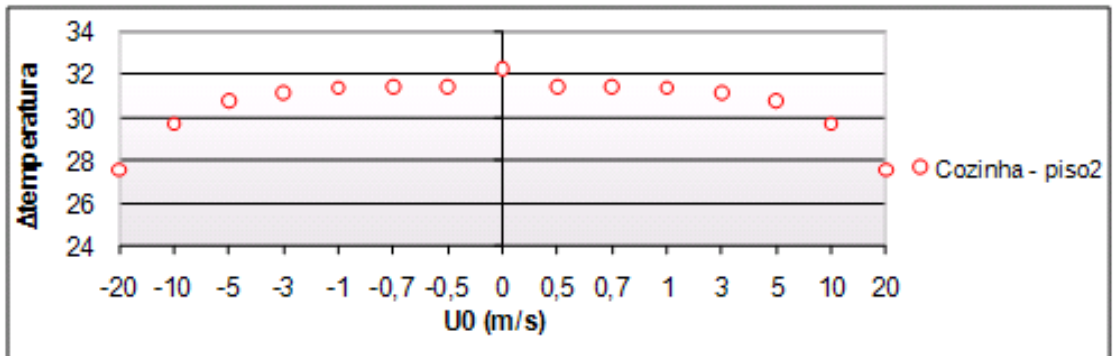
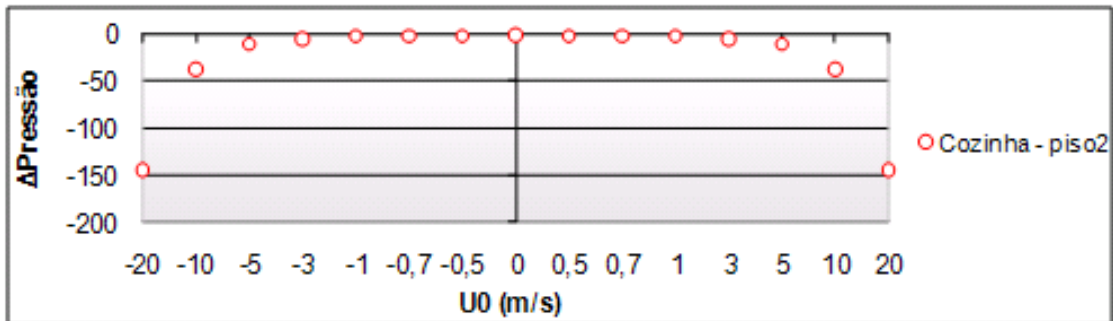
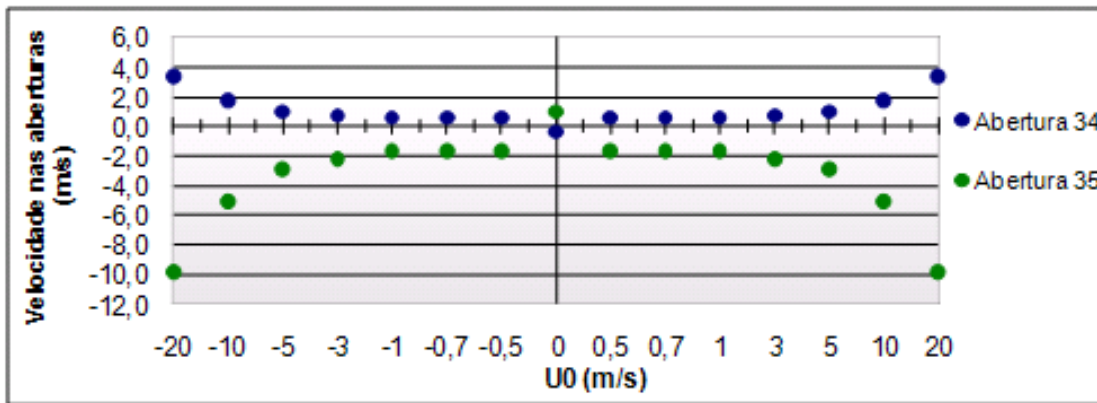


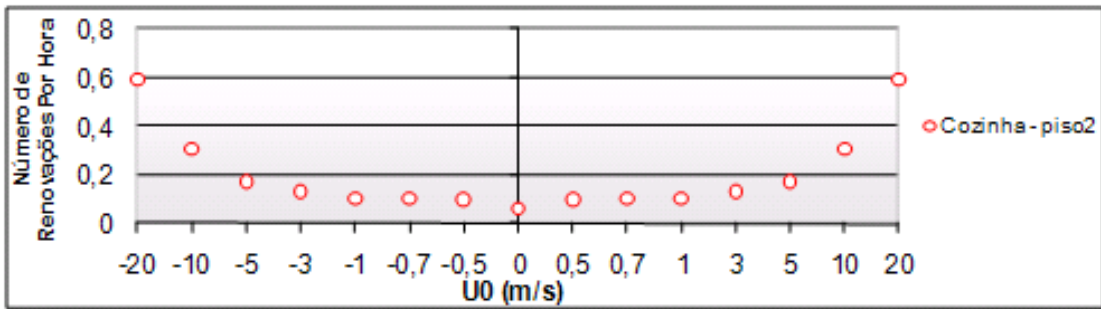
WC piso -2-



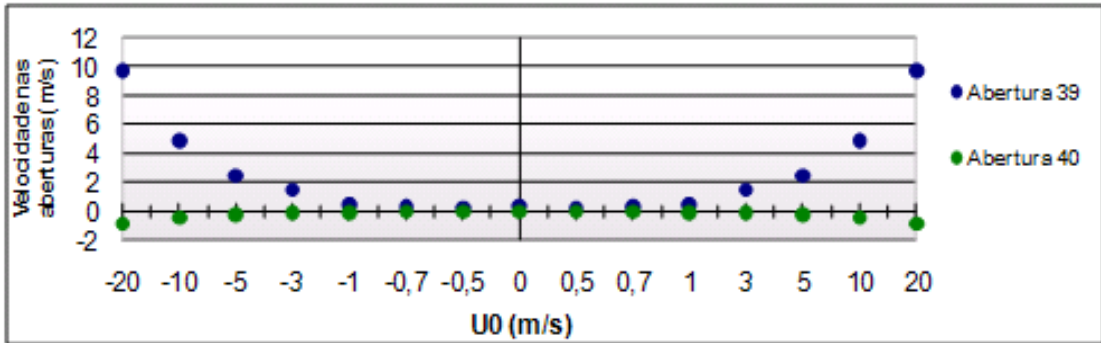


Cozinha piso -2-

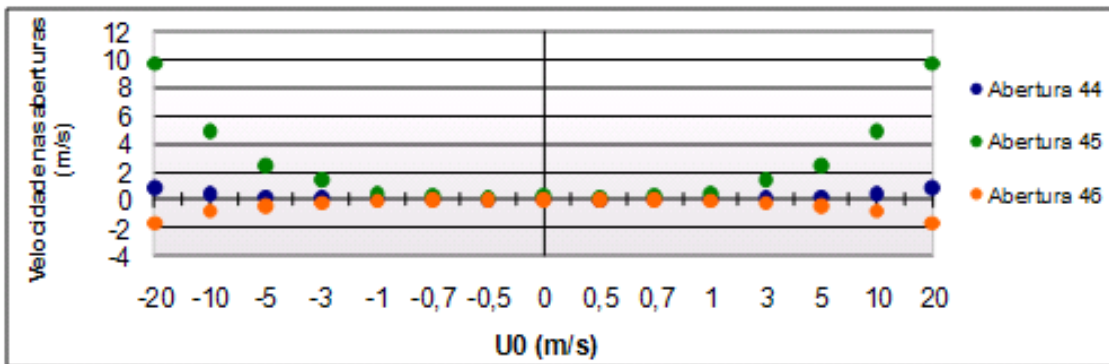




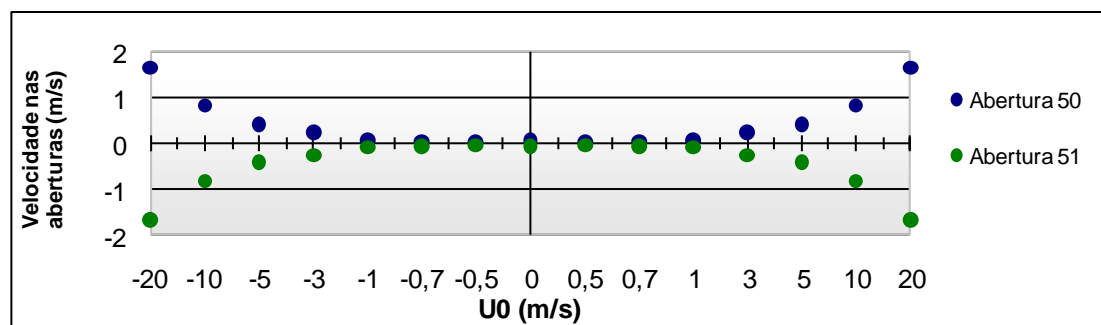
Conduta à saída do WC piso -1-



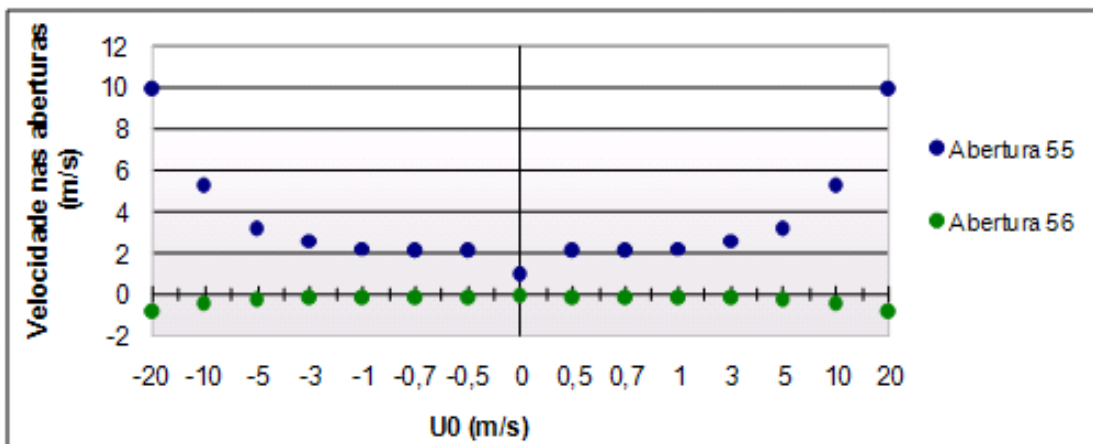
Conduta à saída do WC piso -2-



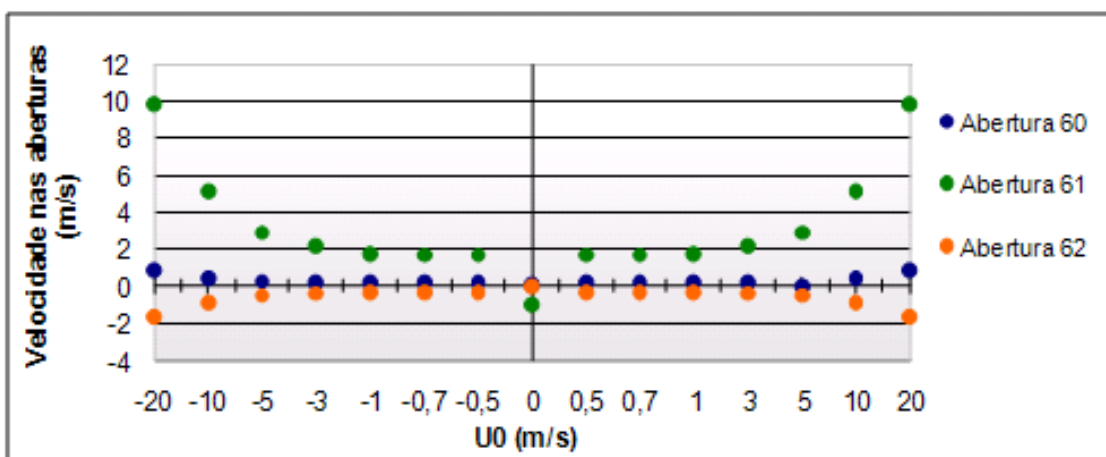
Conduta à saída do WC – chaminé



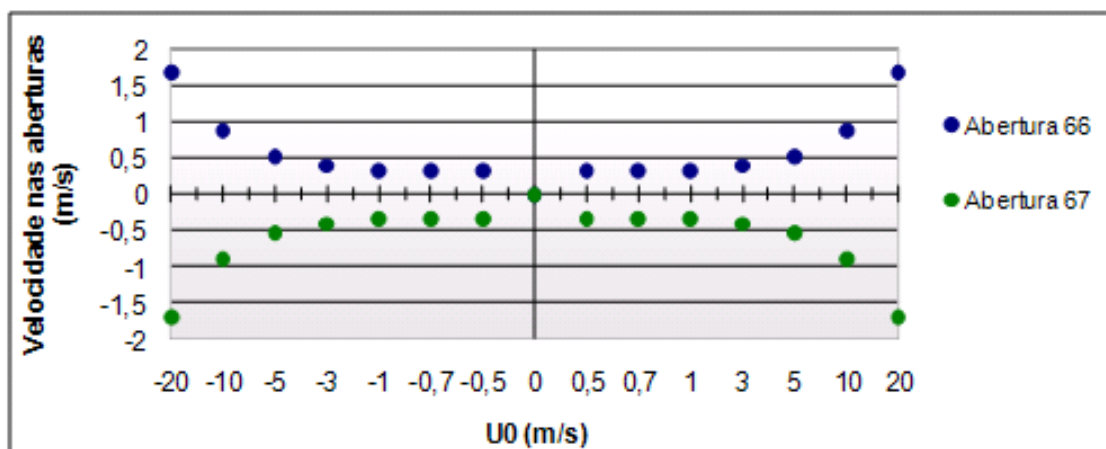
Conduta à saída do Cozinha piso -1-



Conduta à saída do Cozinha piso -2-

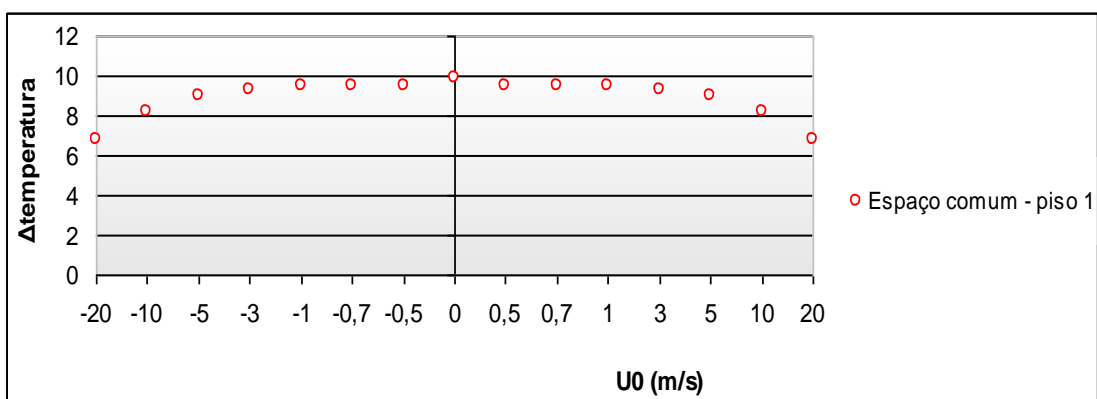
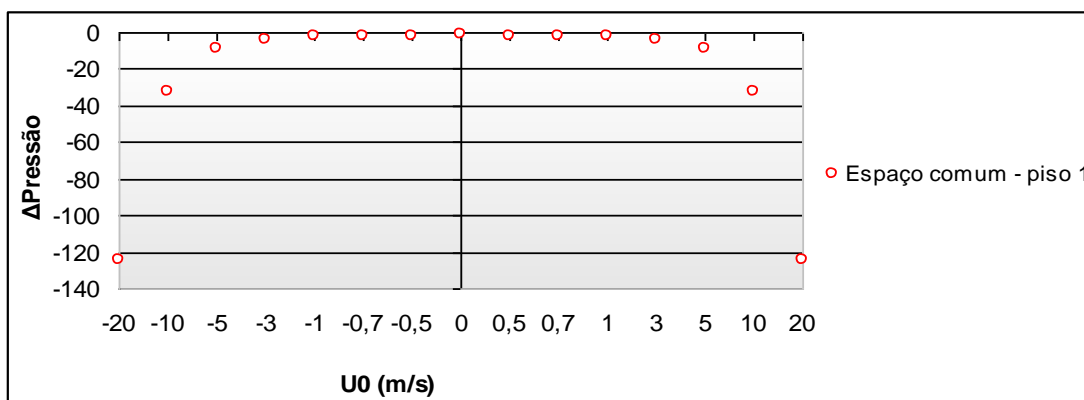
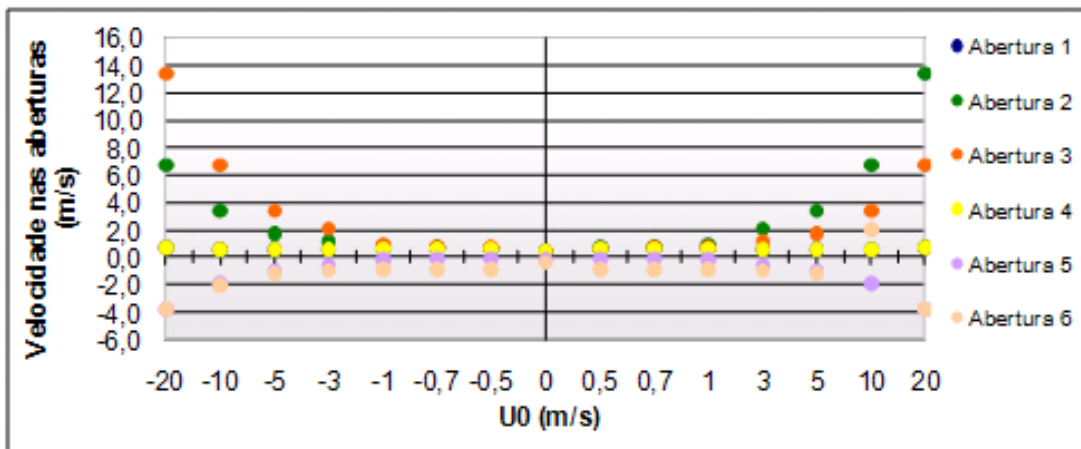


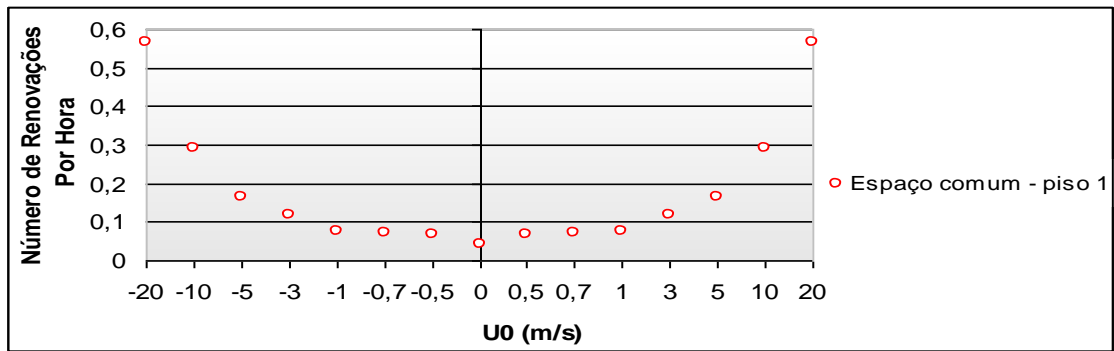
Conduta à saída do Cozinha – chaminé



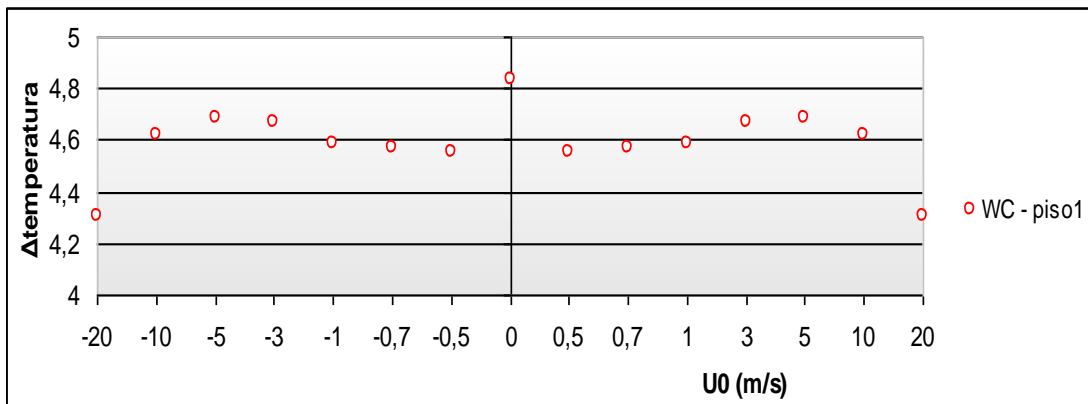
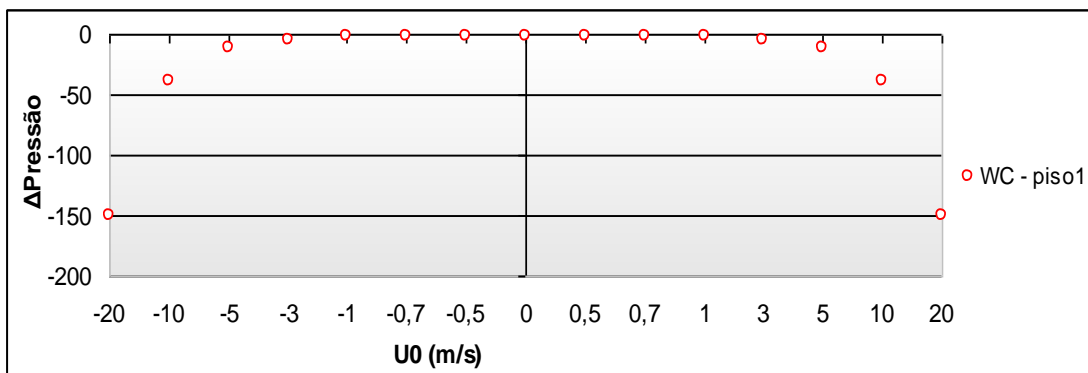
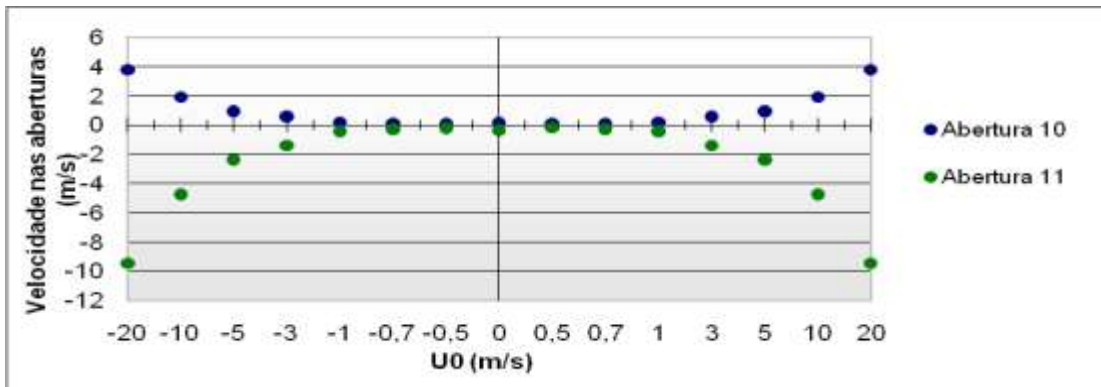
## C2 – Vento Lateral sem ventiladores

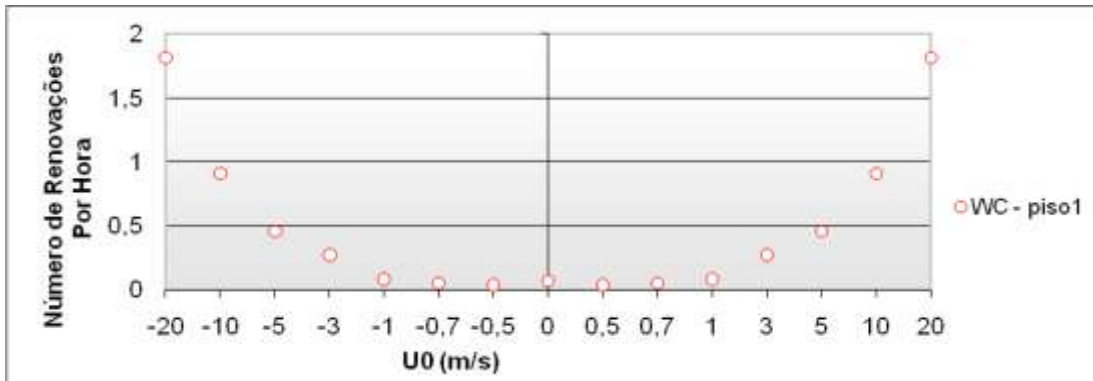
WC piso -1-



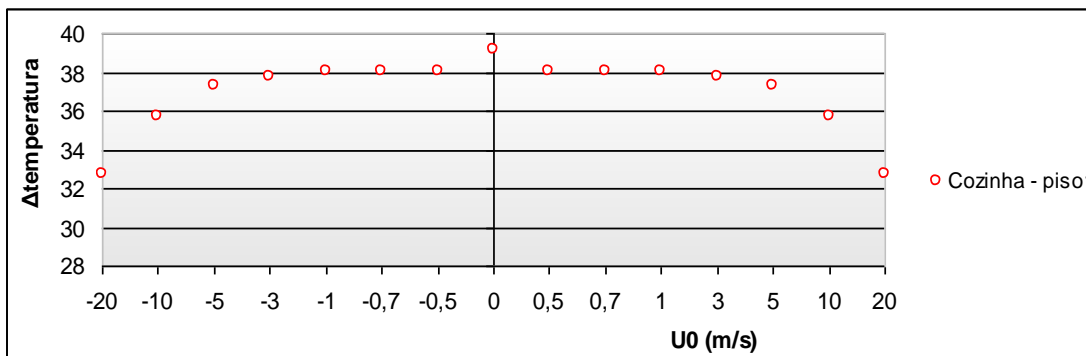
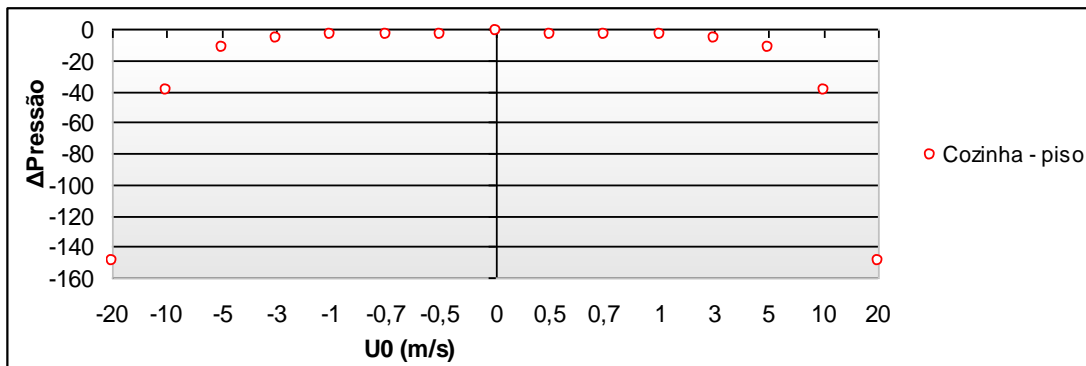
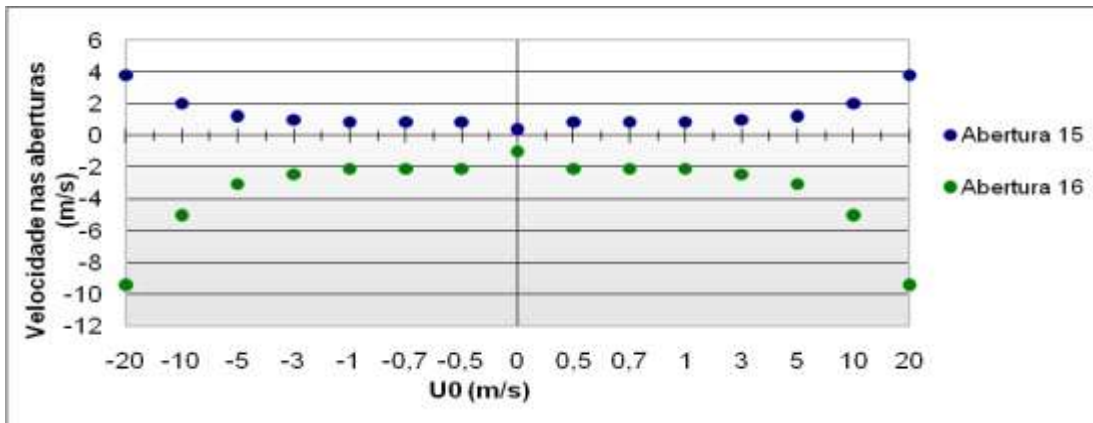


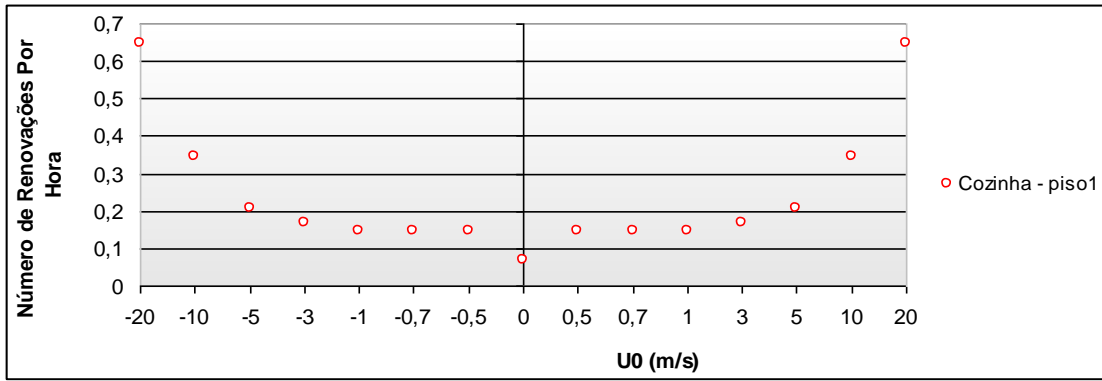
WC piso -1-



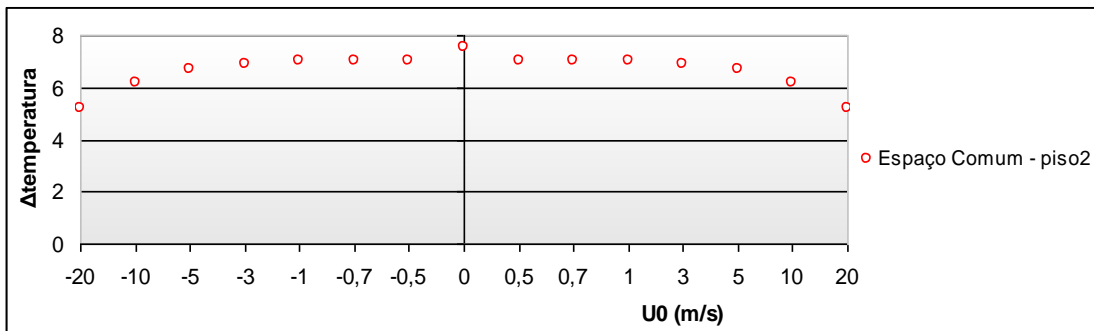
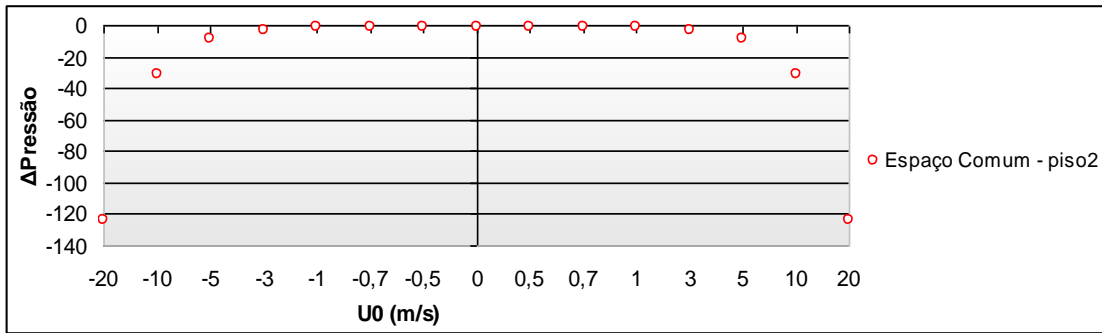
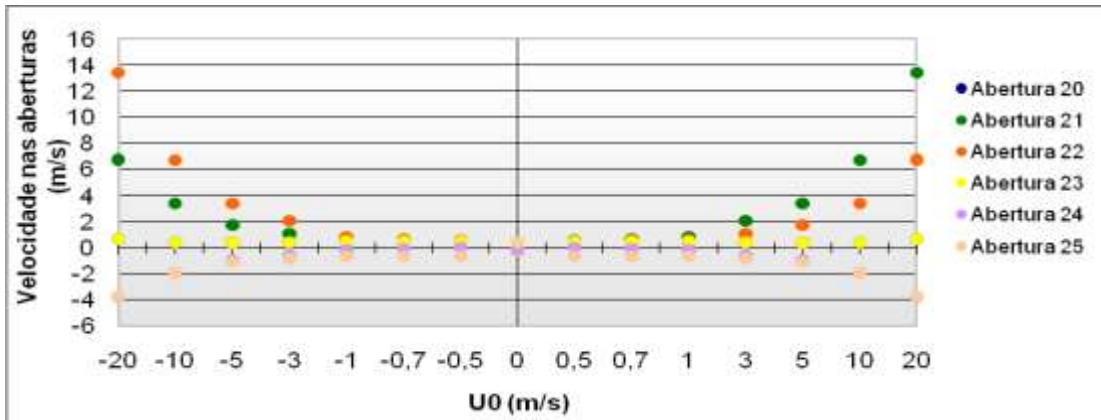


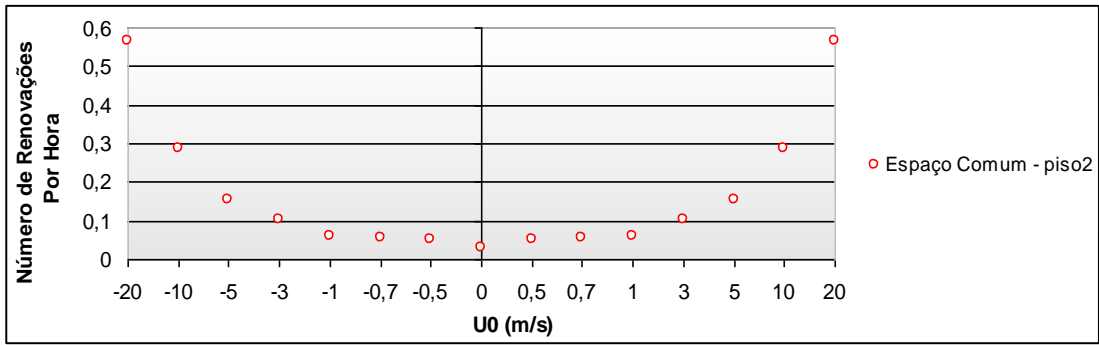
Cozinha piso -1-



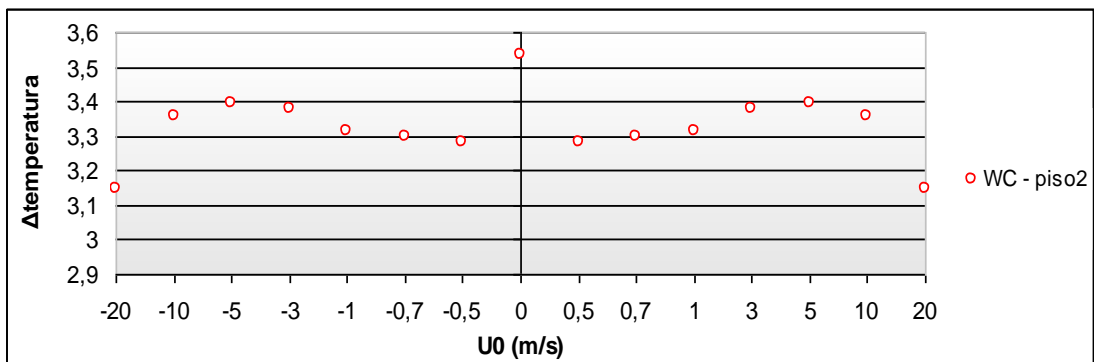
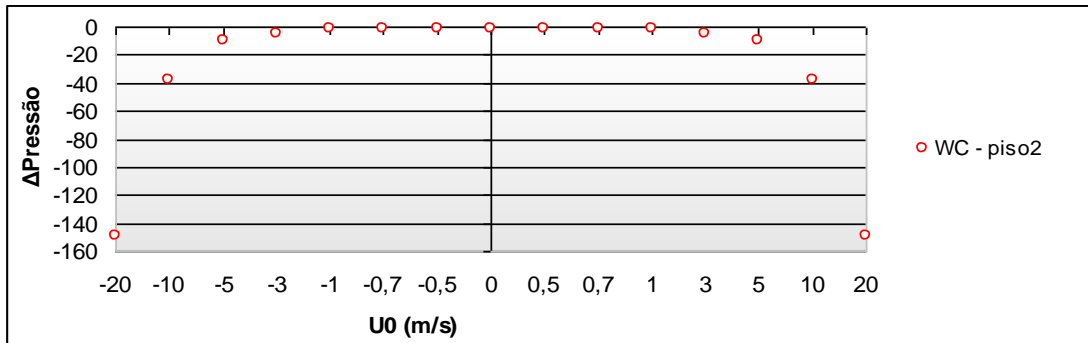
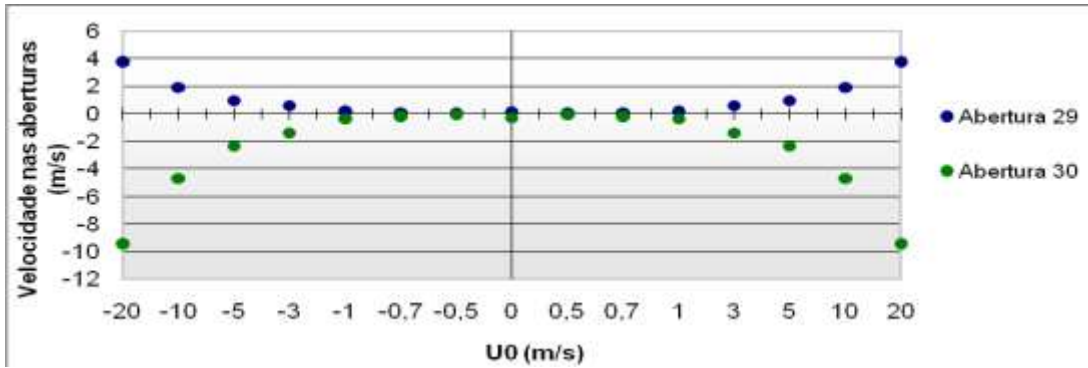


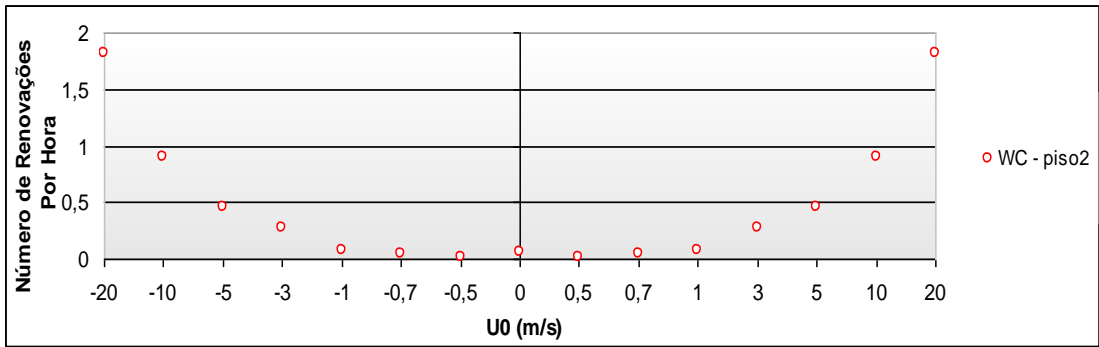
Espaço comum piso -2-



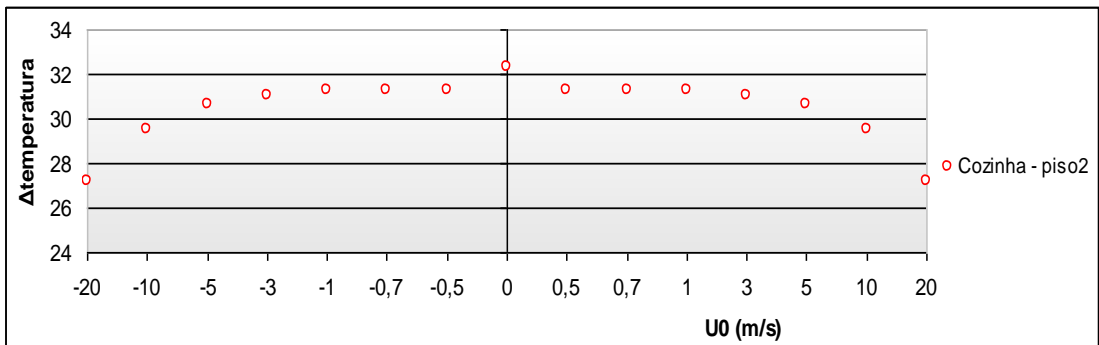
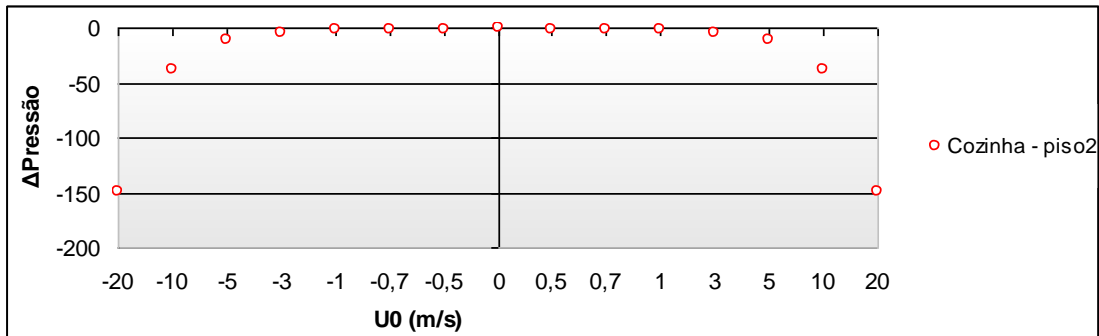
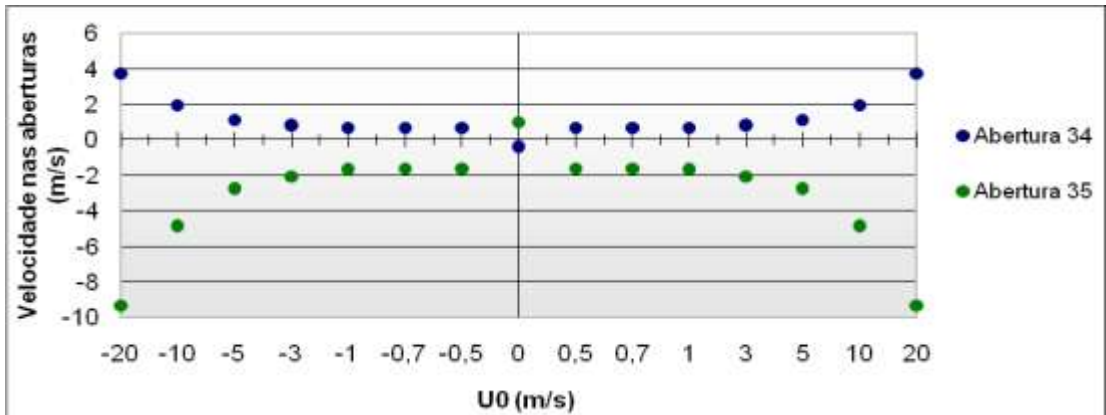


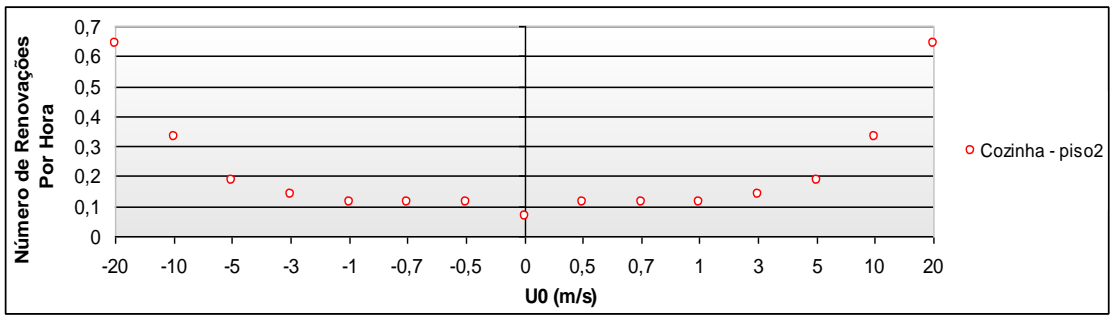
WC piso -2-



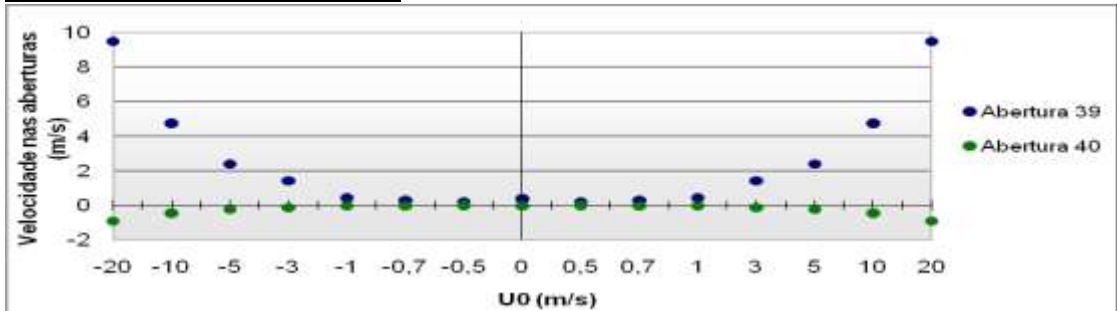


Cozinha piso -2-

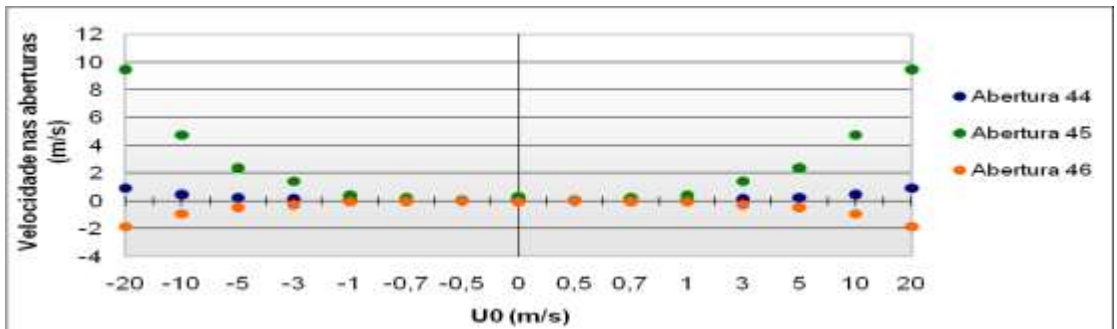




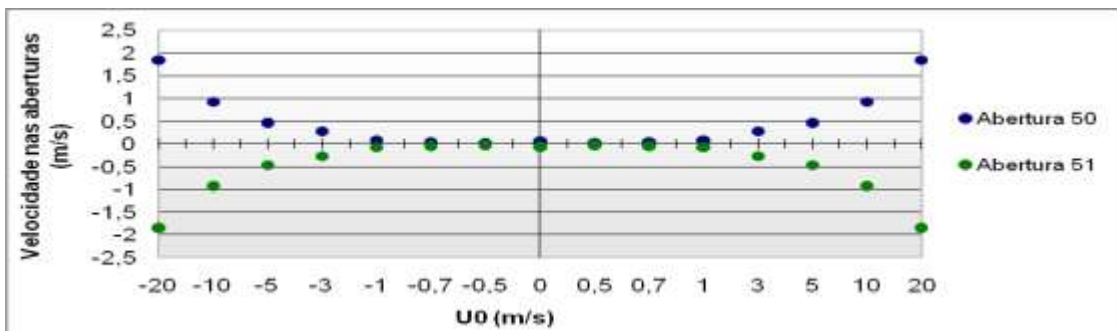
Conduta à saída do WC piso -1



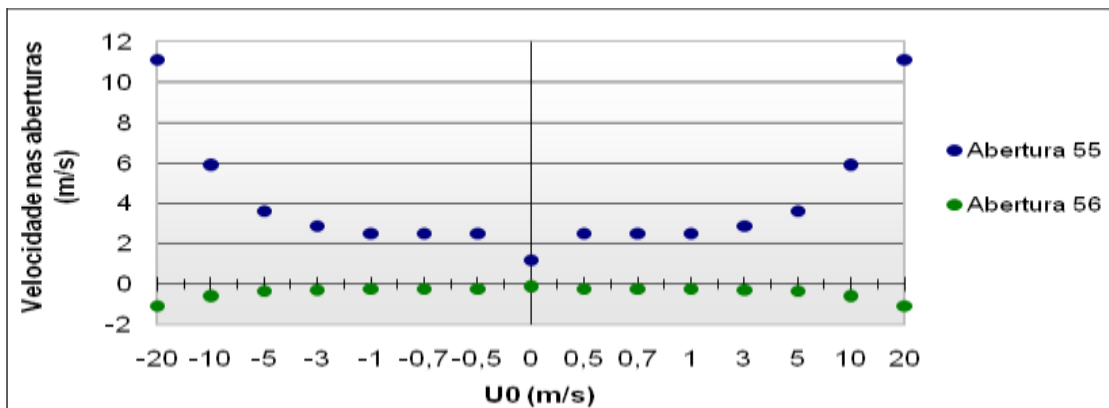
Conduta à saída do WC piso -2-



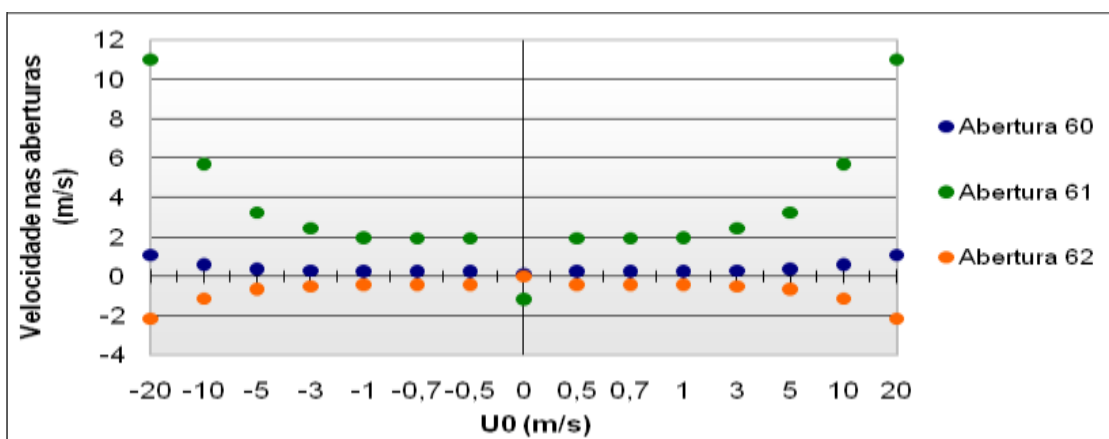
Conduta à saída do WC – chaminé



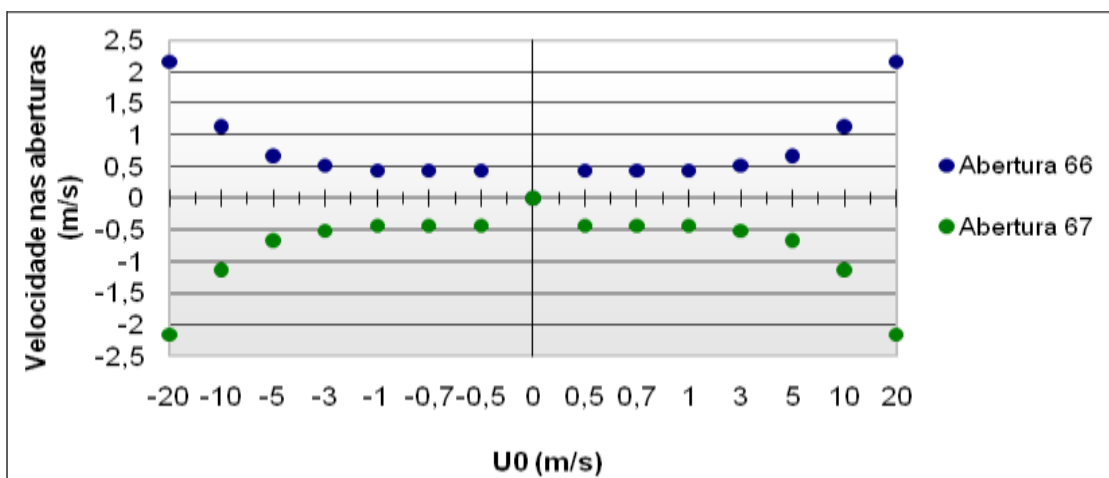
Conduta à saída do Cozinha piso -1-



Conduta à saída do Cozinha piso -2-

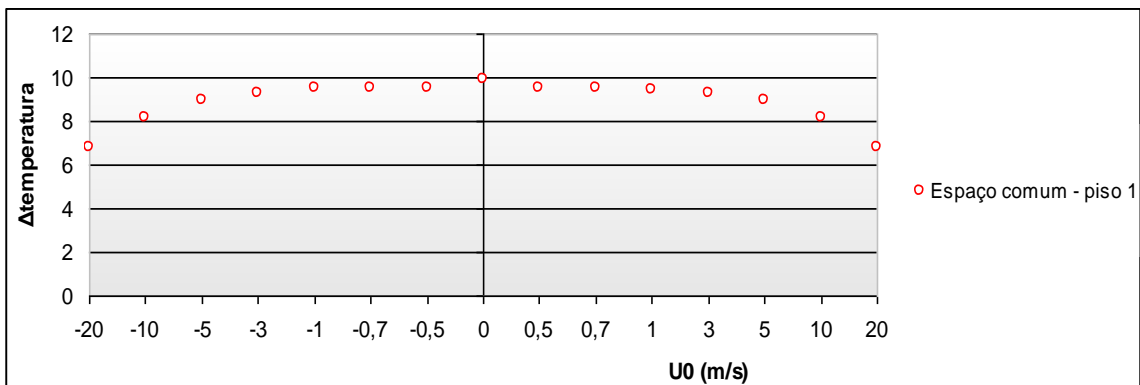
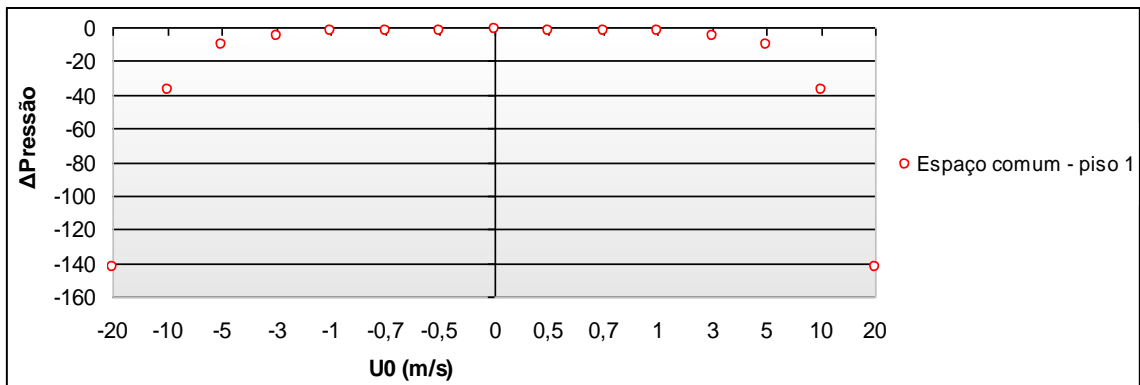
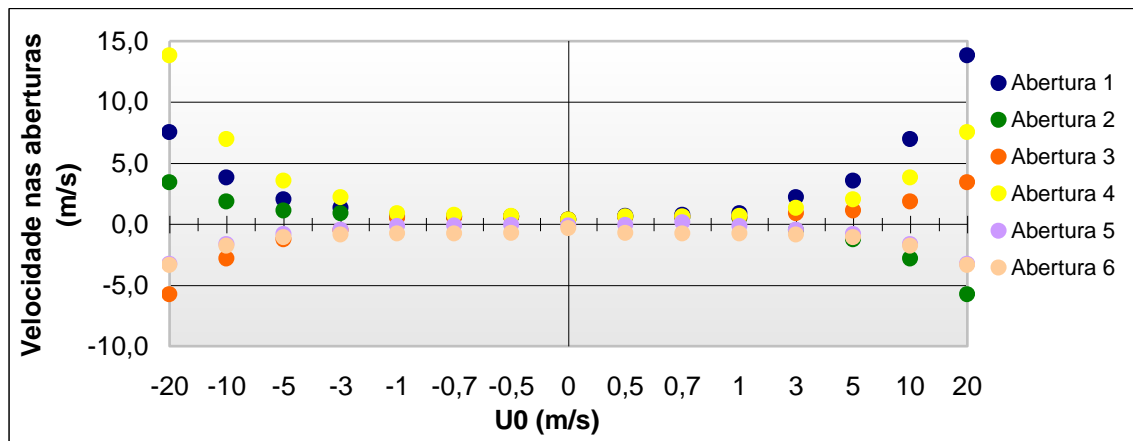


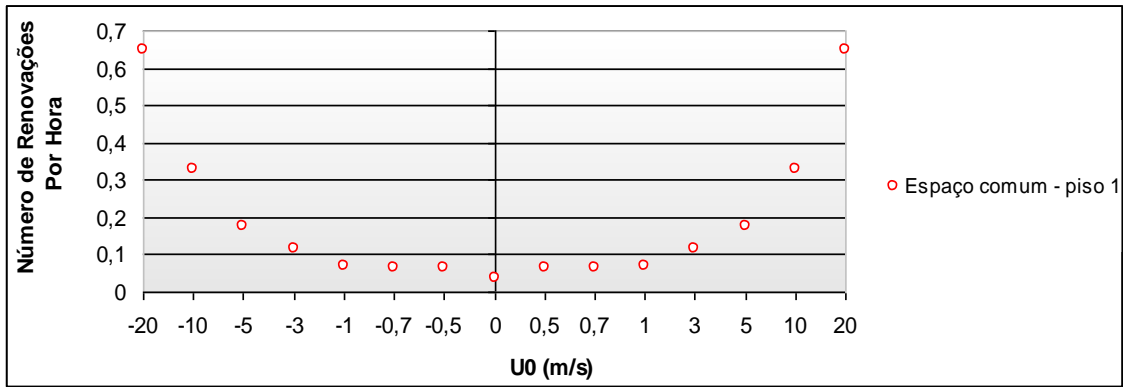
Conduta à saída do Cozinha – chaminé



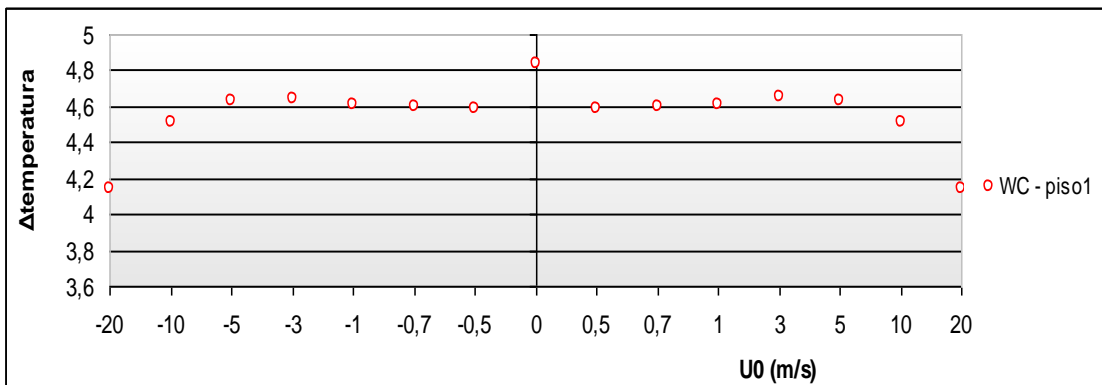
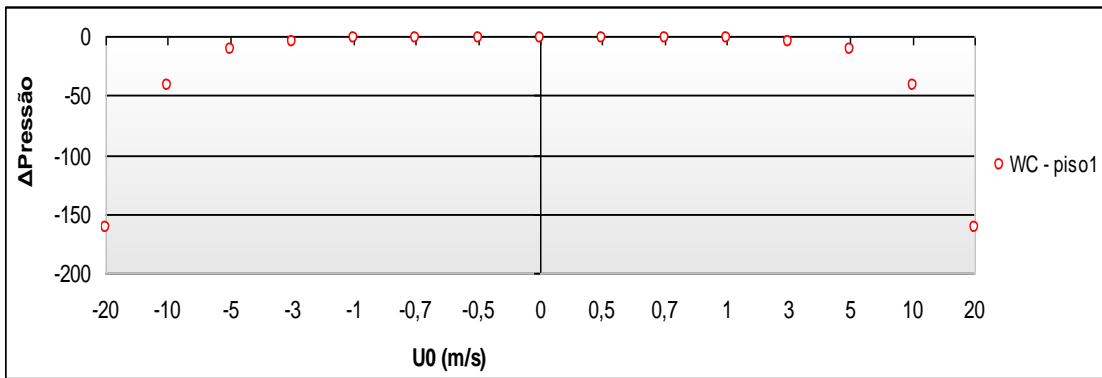
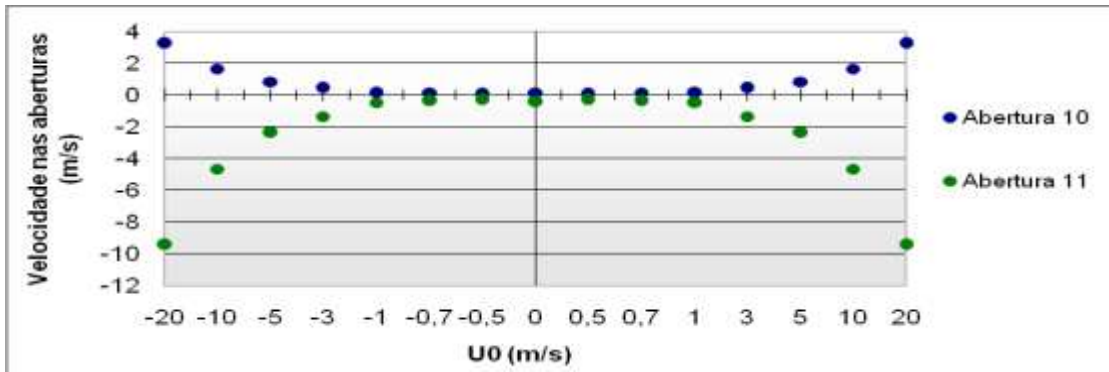
### C3 – Vento Frontal sem ventiladores e com aberturas na zona cinzenta

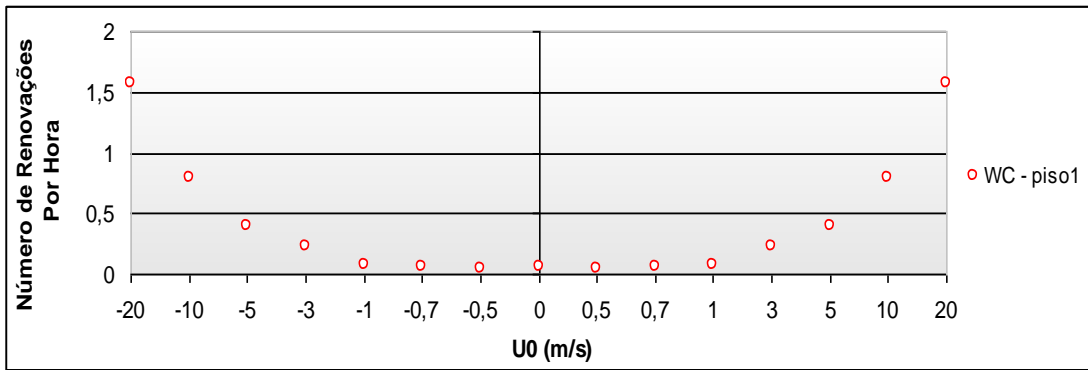
#### Espaço comum piso -1-



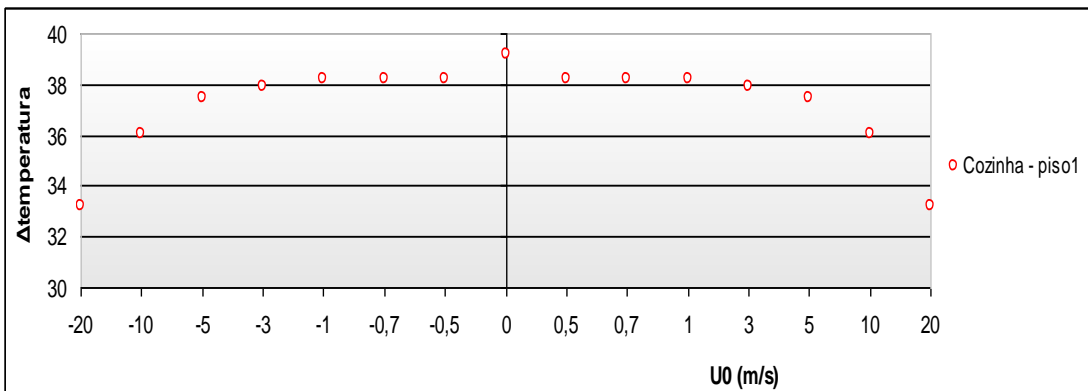
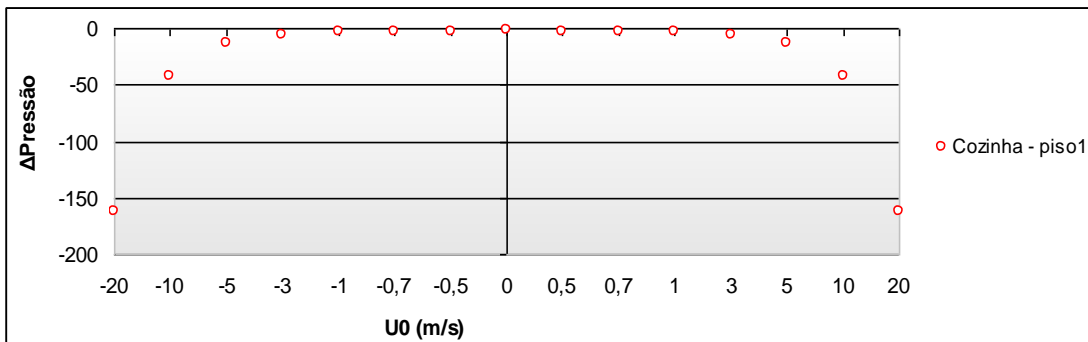
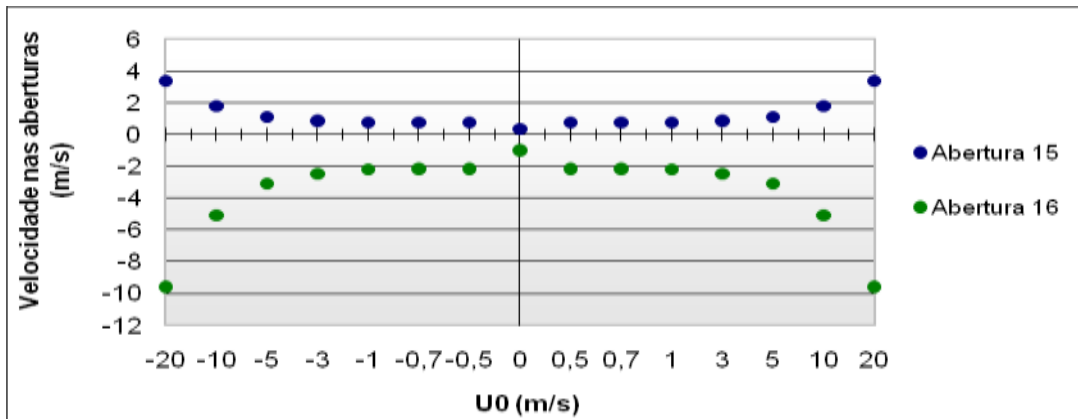


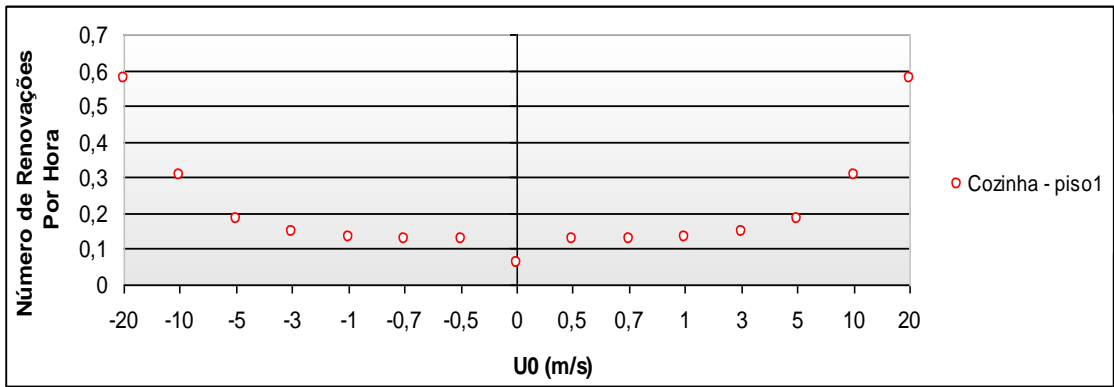
WC piso -1-



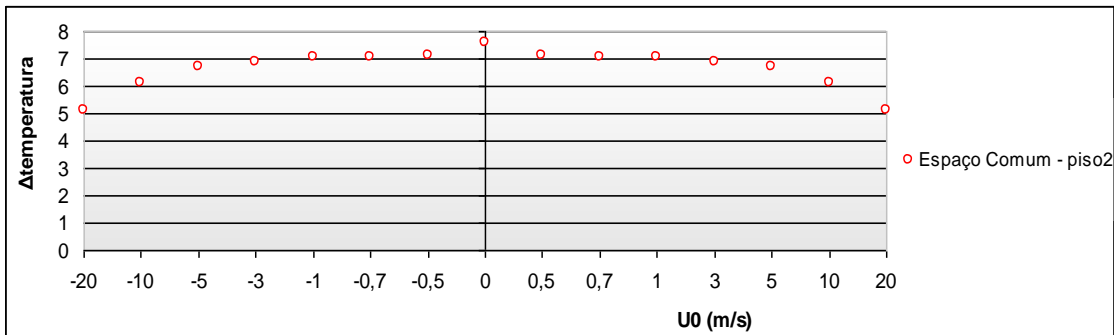
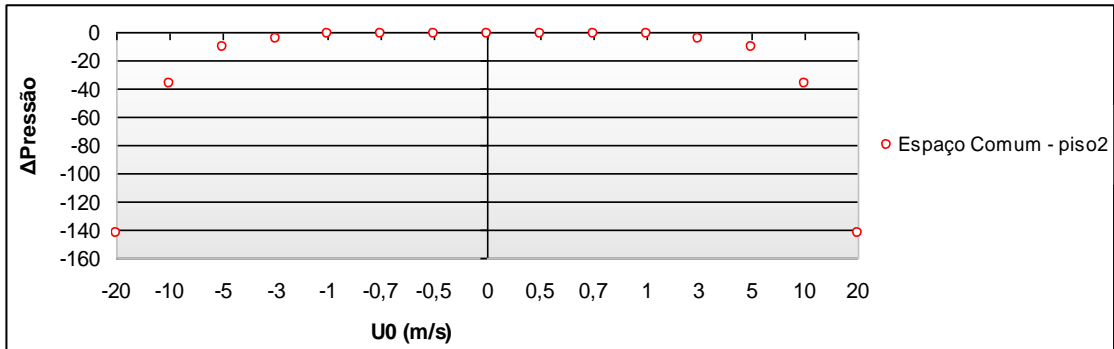
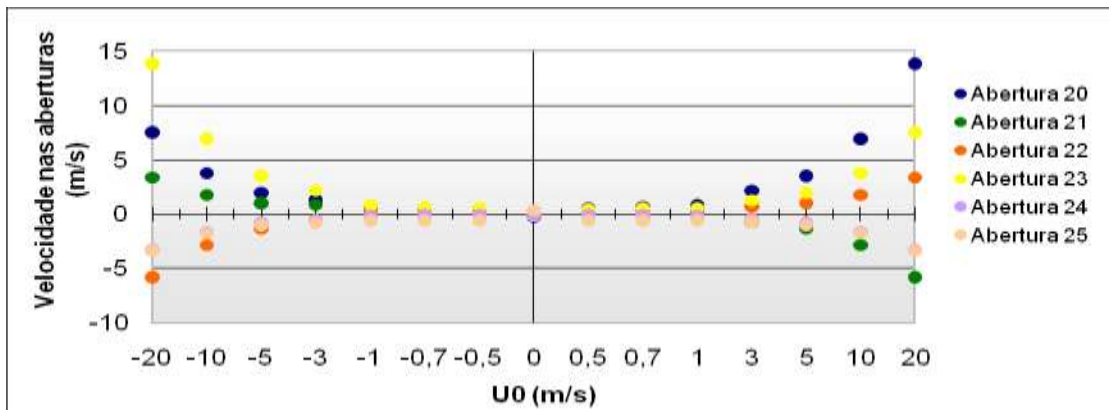


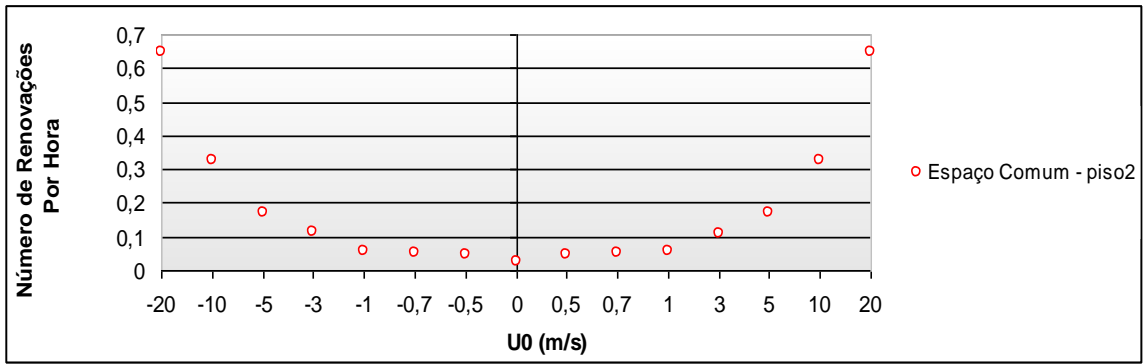
Cozinha piso -1-



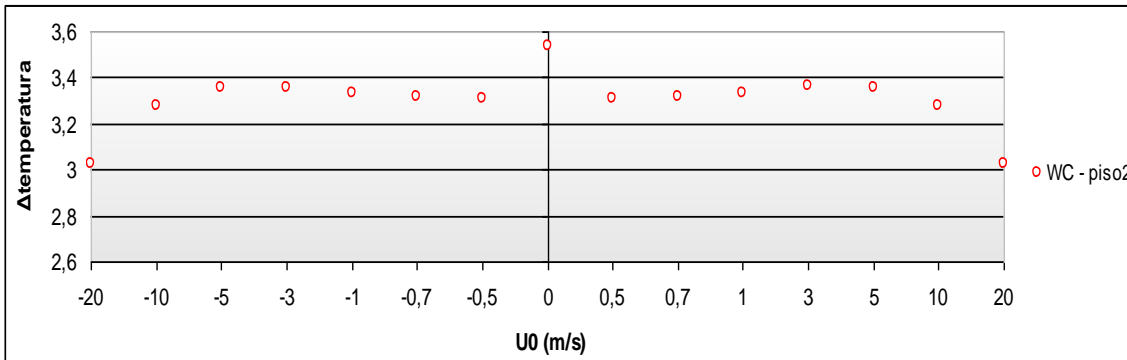
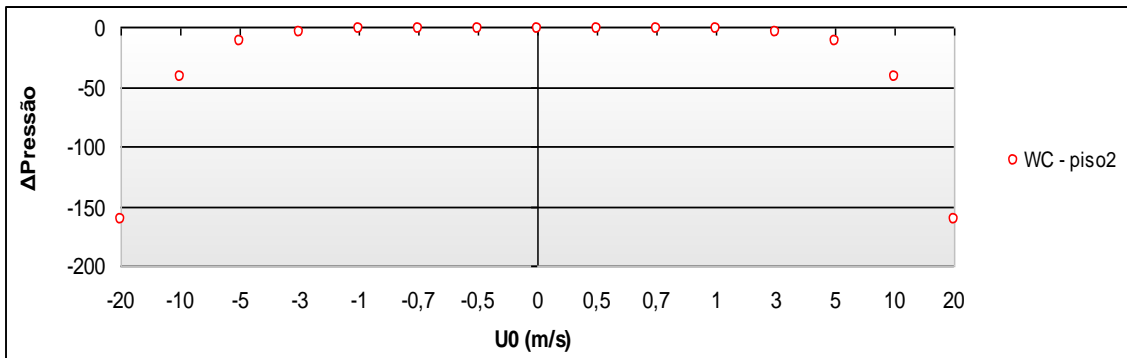
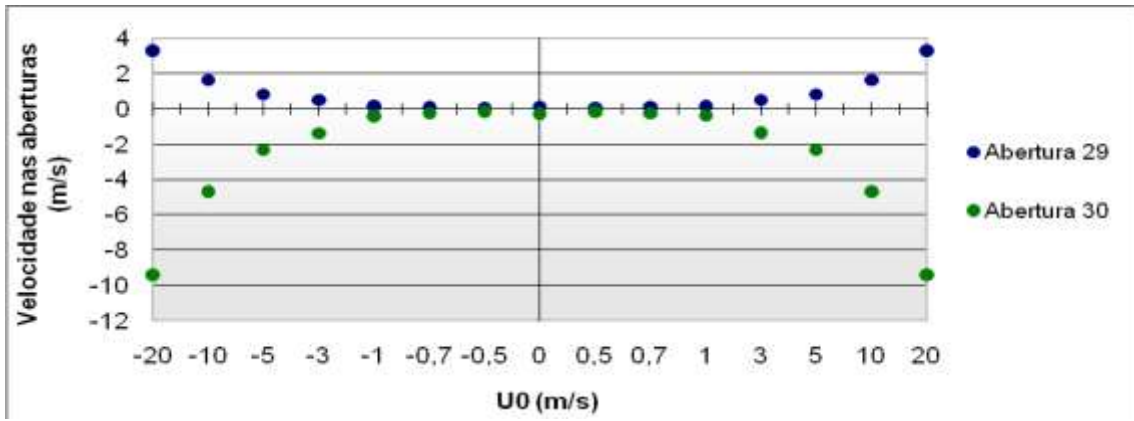


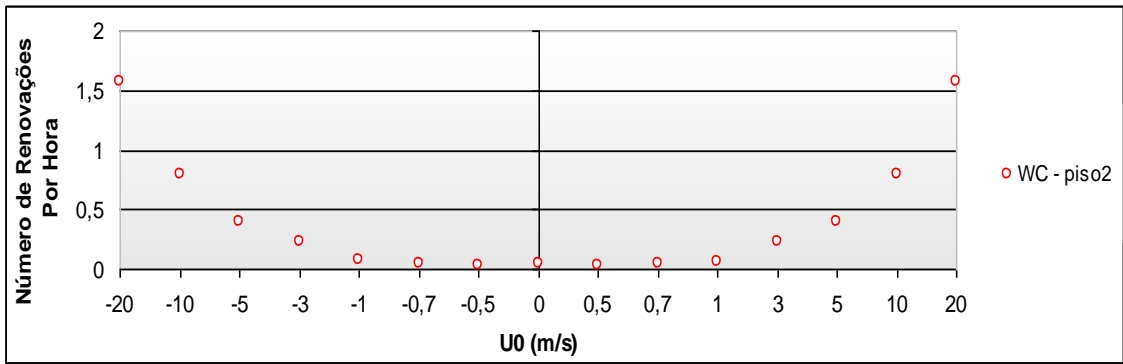
Espaço comum piso -2-



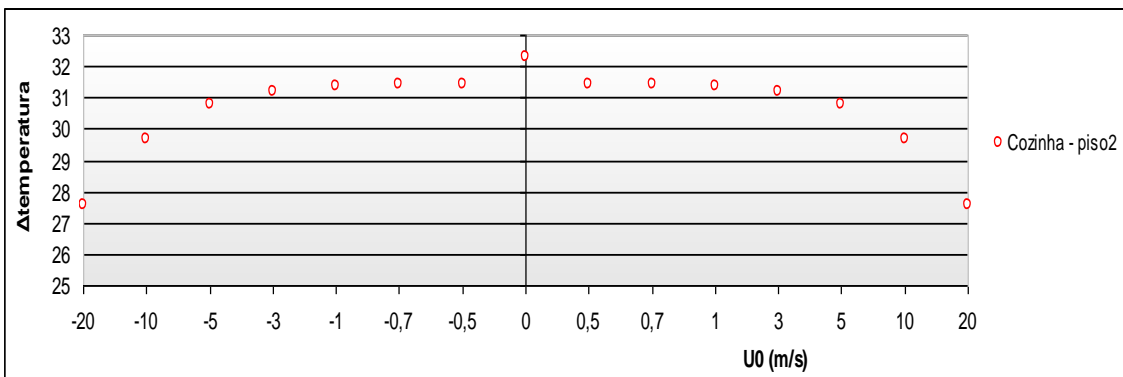
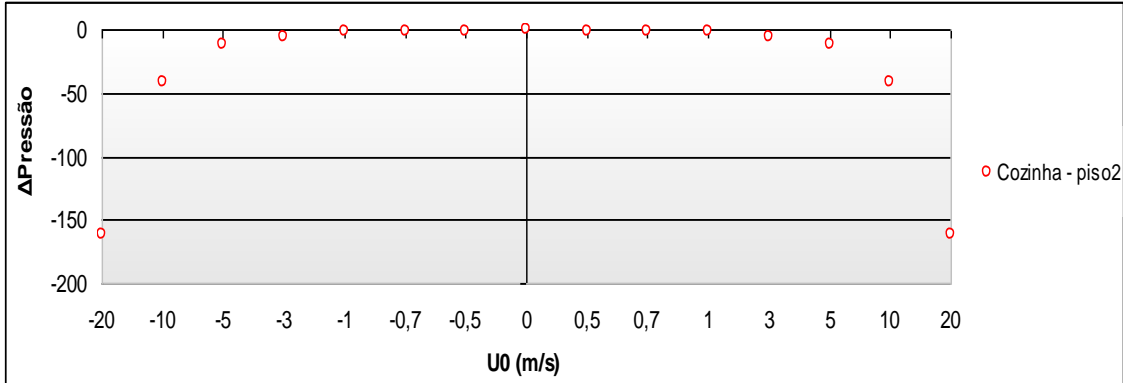
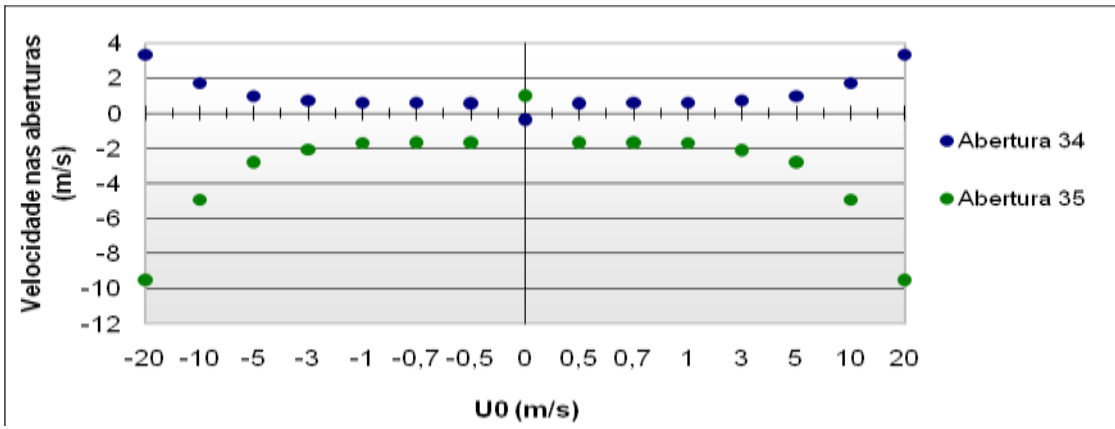


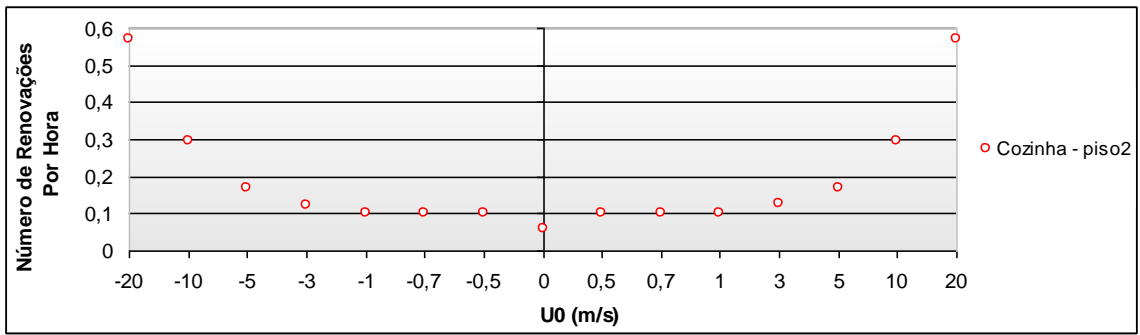
WC piso -2-





Cozinha piso -2-

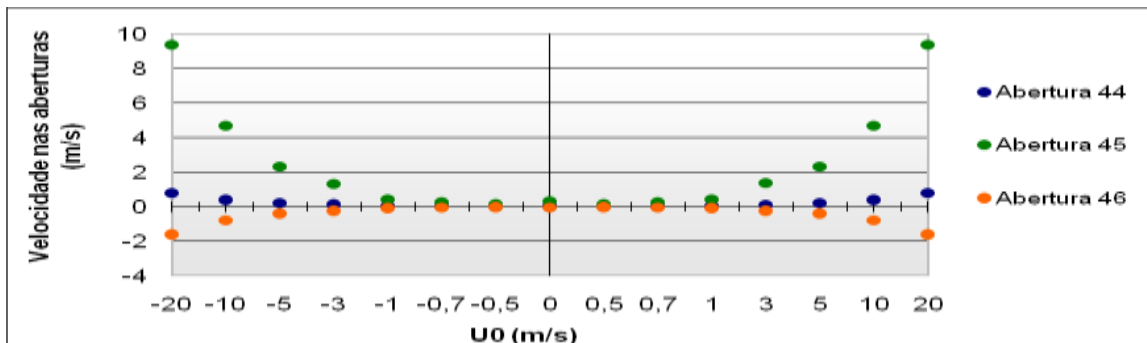




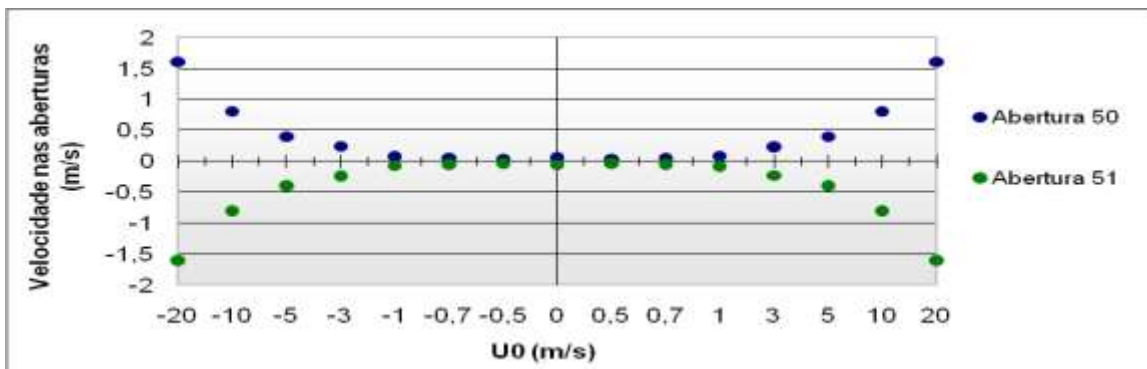
Conduta à saída do WC piso -1



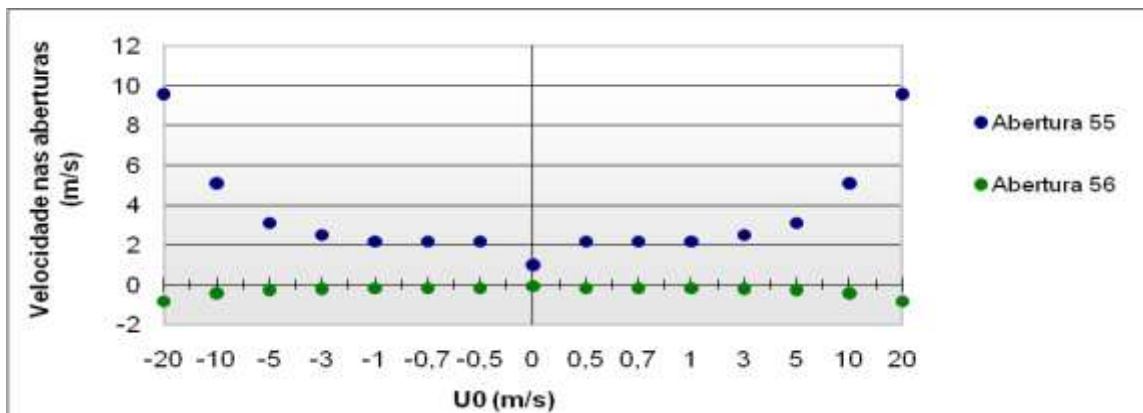
Conduta à saída do WC piso -2-



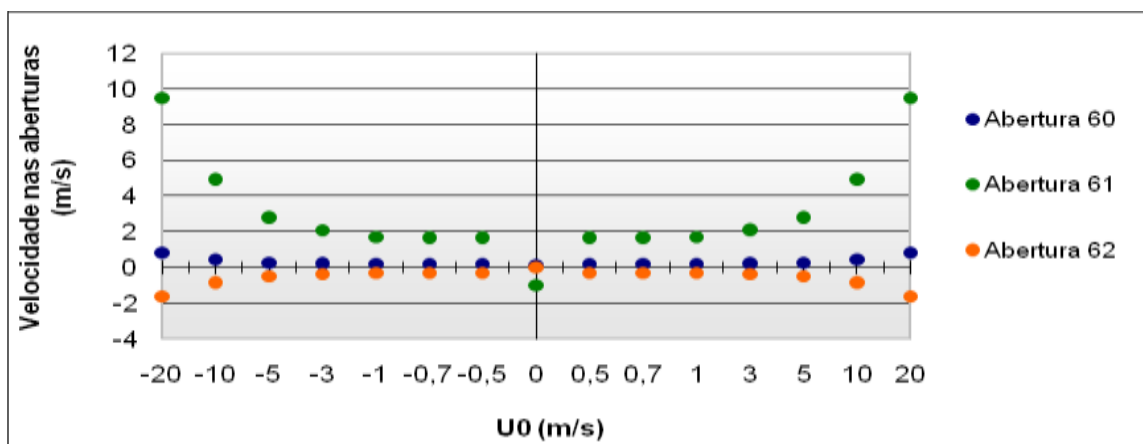
Conduta à saída do WC – chaminé



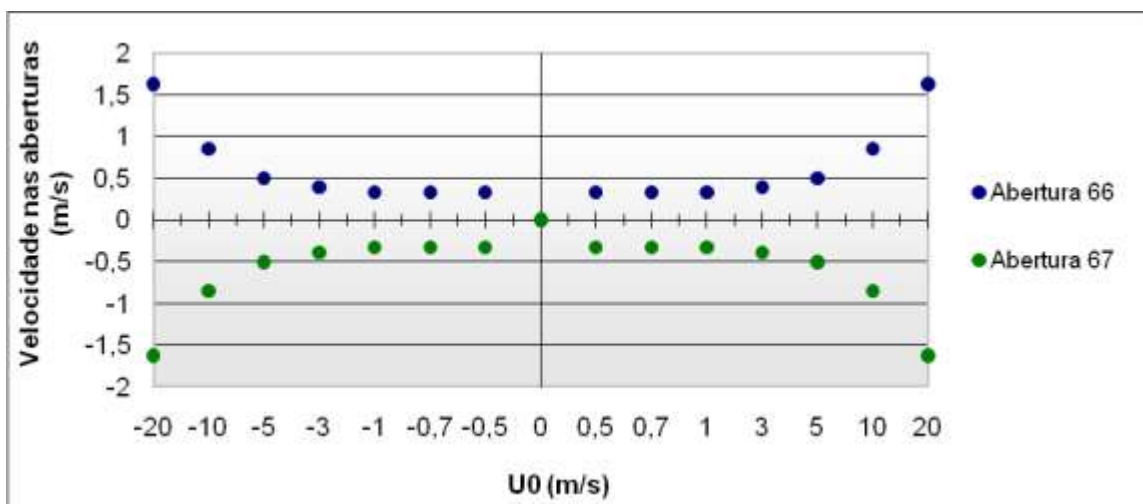
Conduta à saída do Cozinha piso -1-



Conduta à saída do Cozinha piso -2-

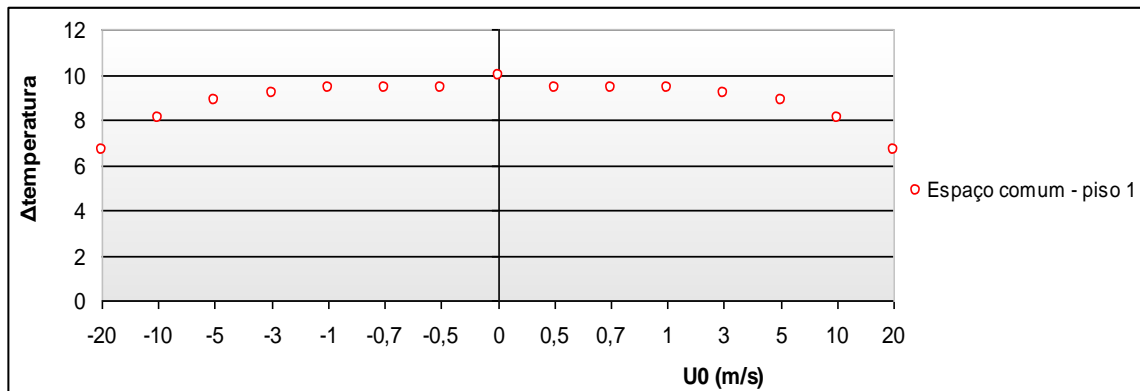
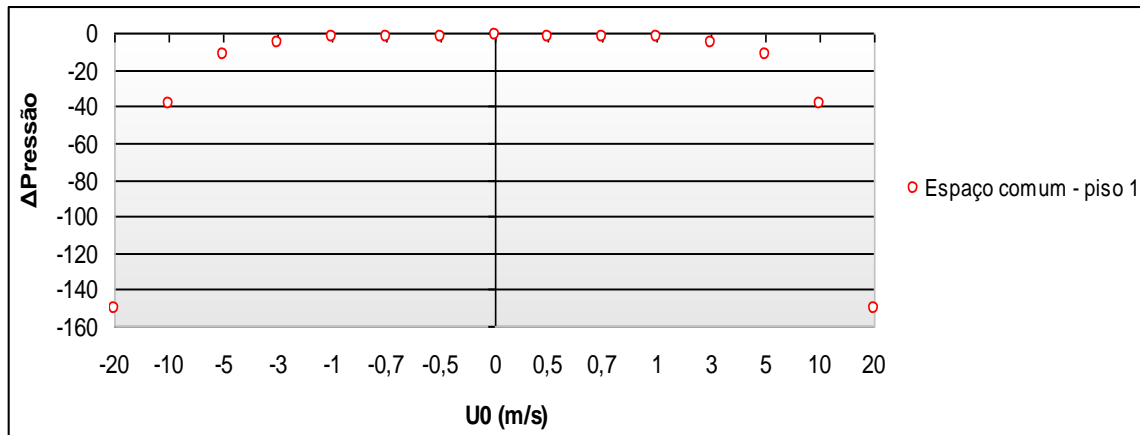
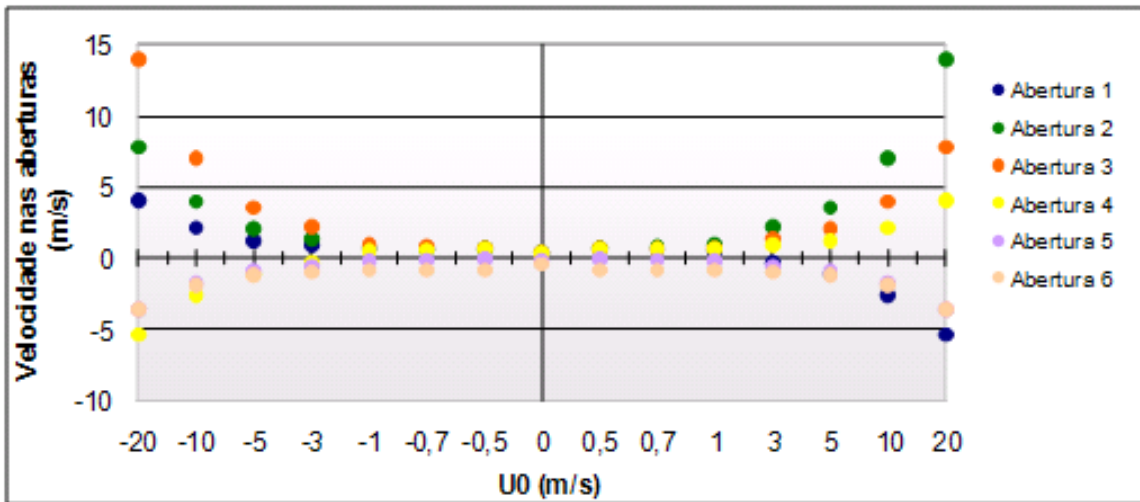


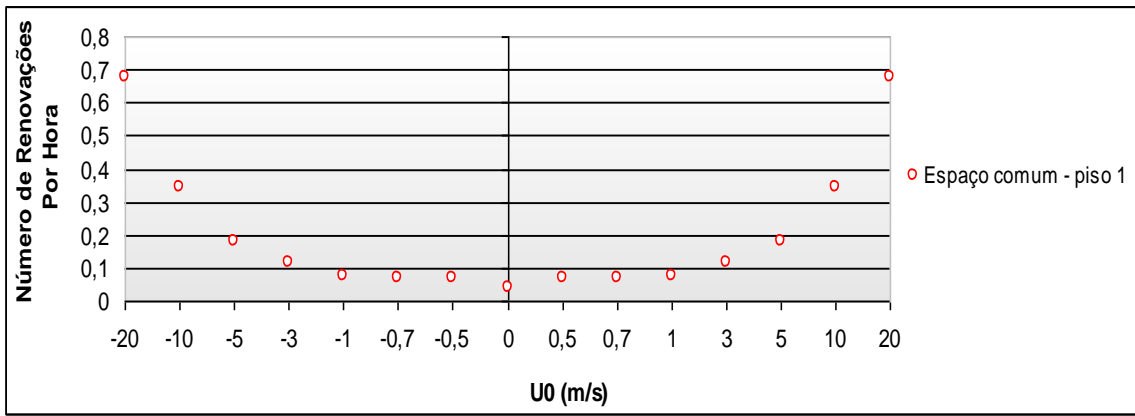
Conduta à saída do Cozinha – chaminé



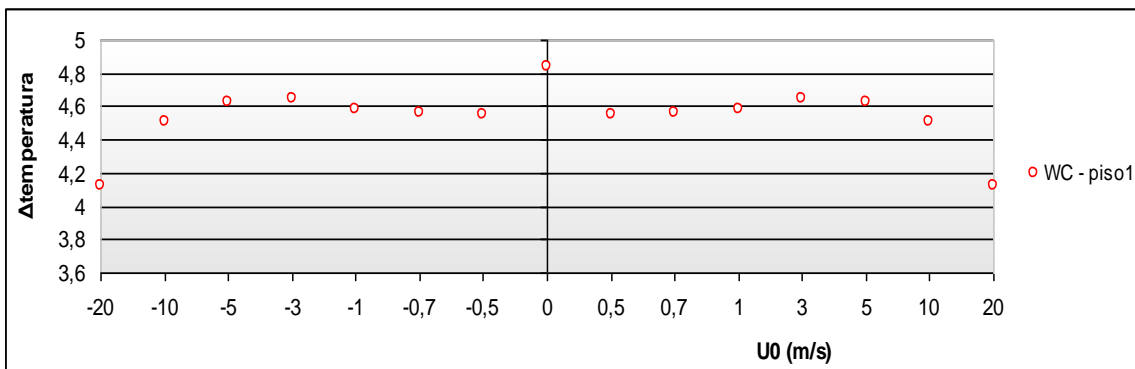
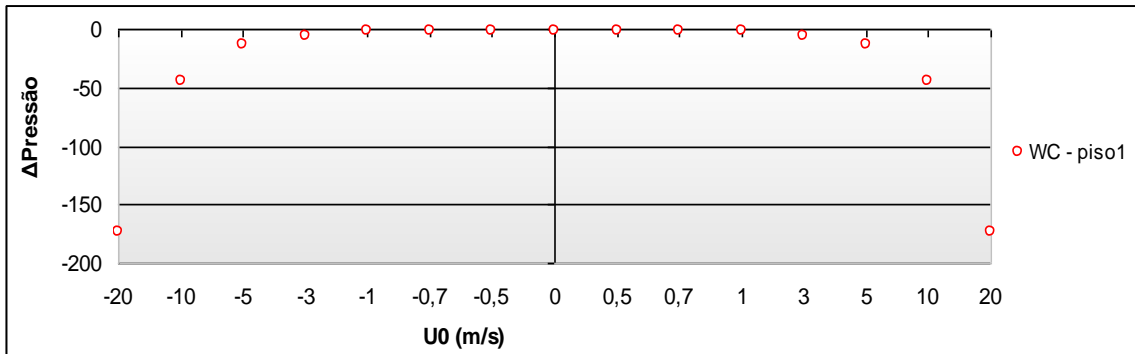
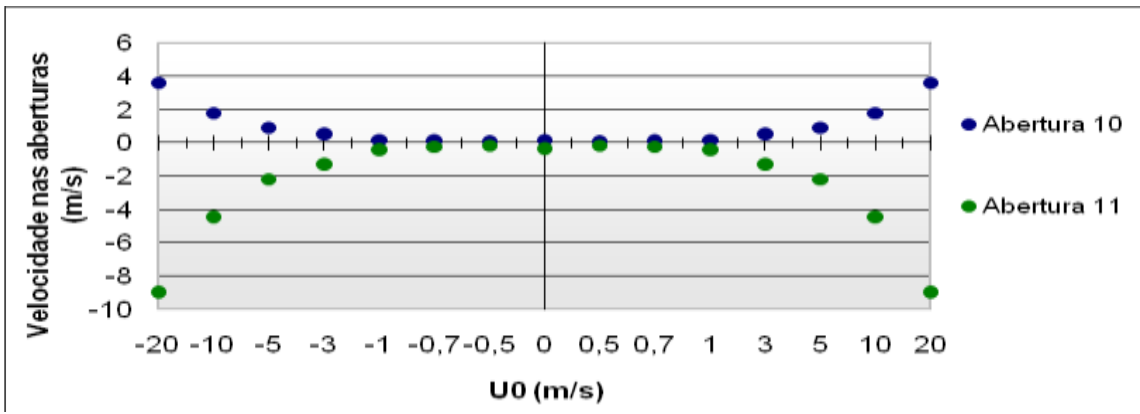
## C4 – Vento Lateral sem ventiladores e com abertura na zona cinzenta

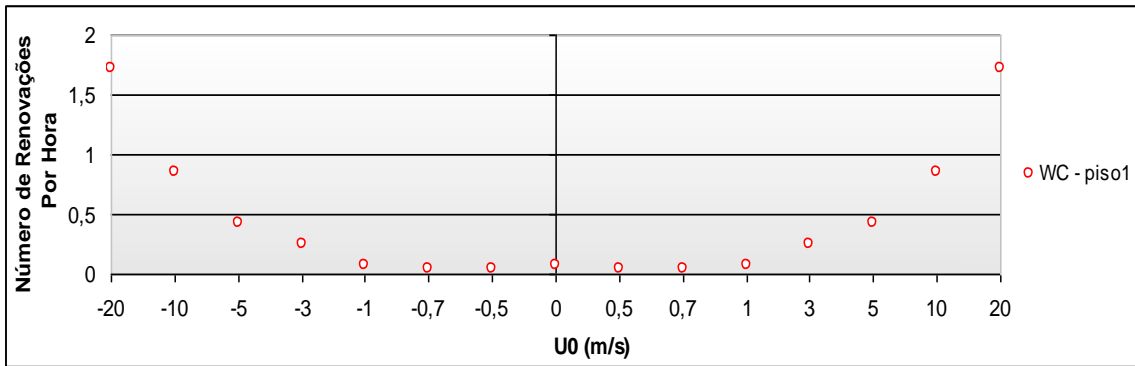
Espaço comum piso -1-



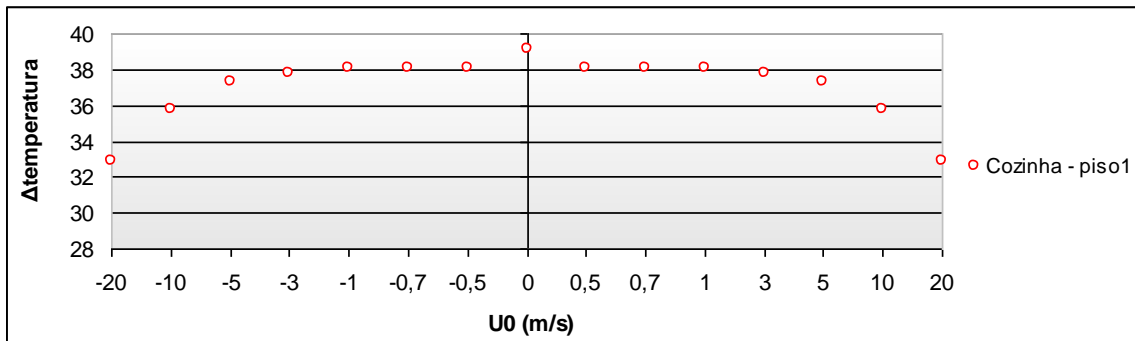
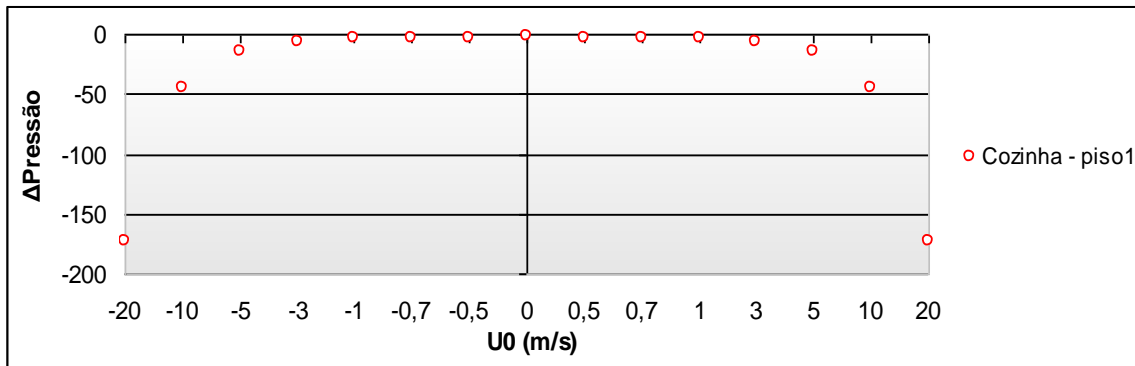
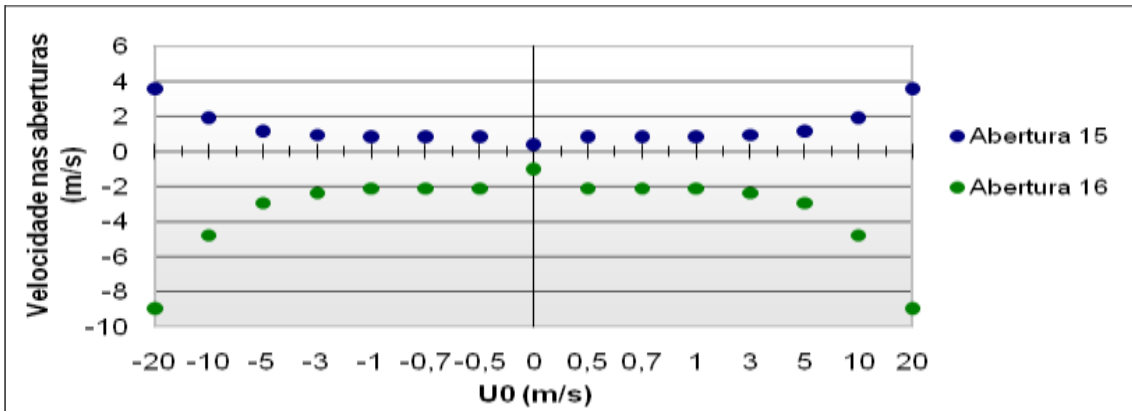


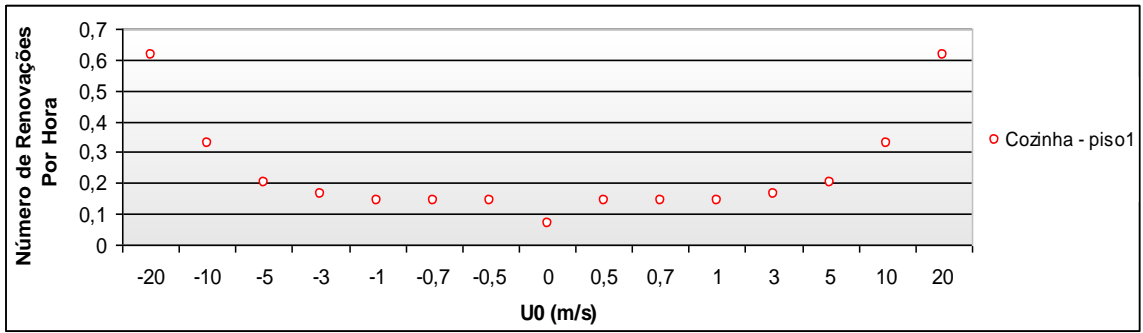
WC piso -1-



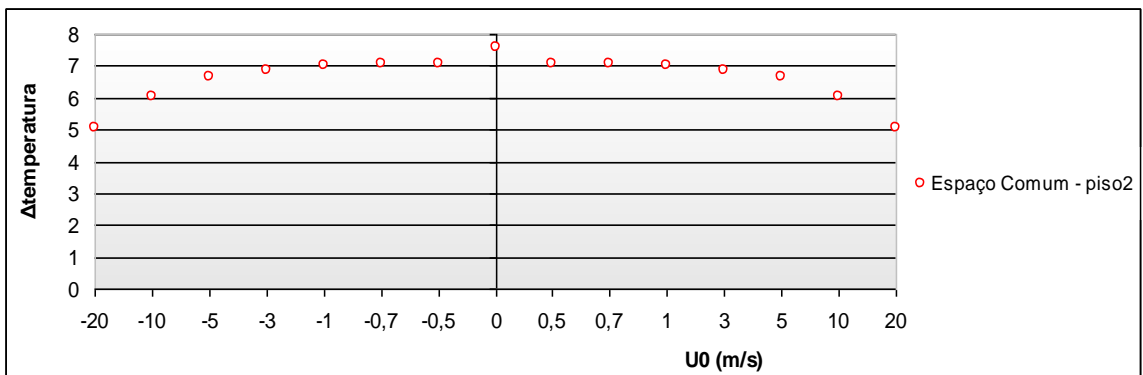
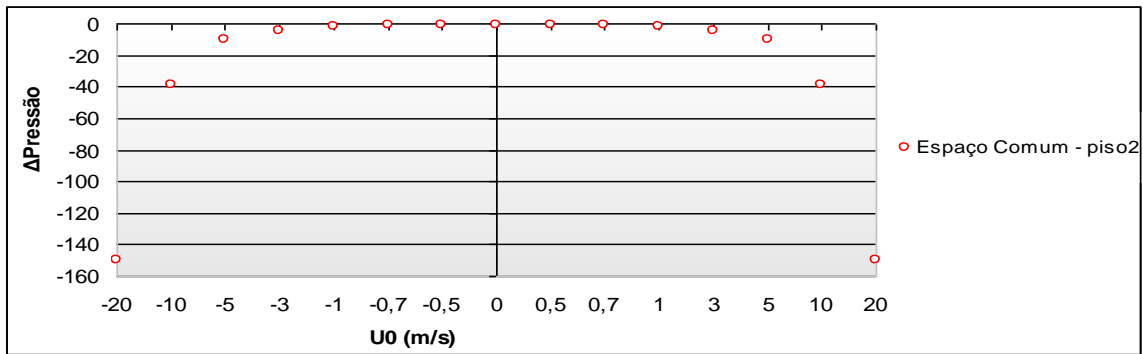
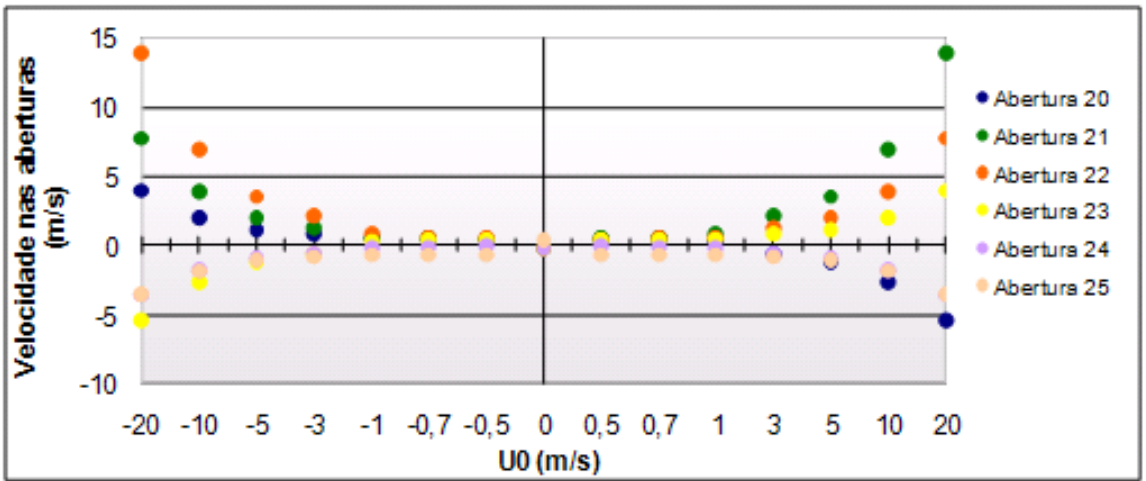


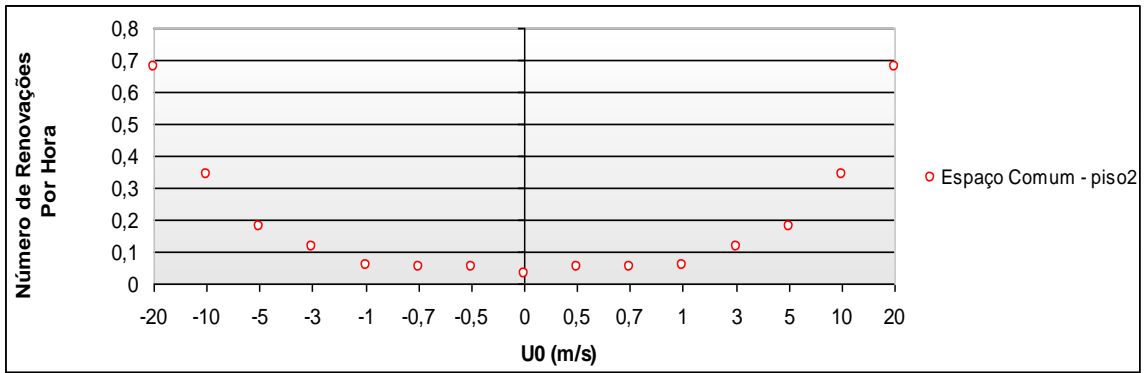
Cozinha piso -1-



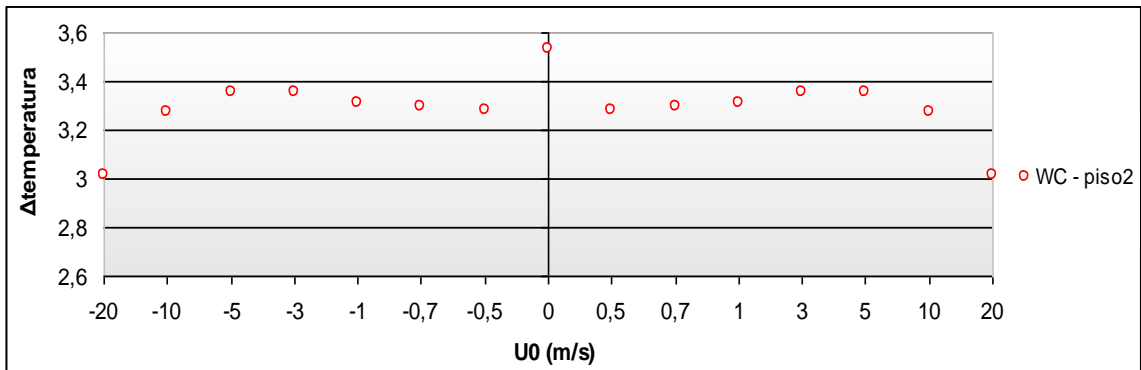
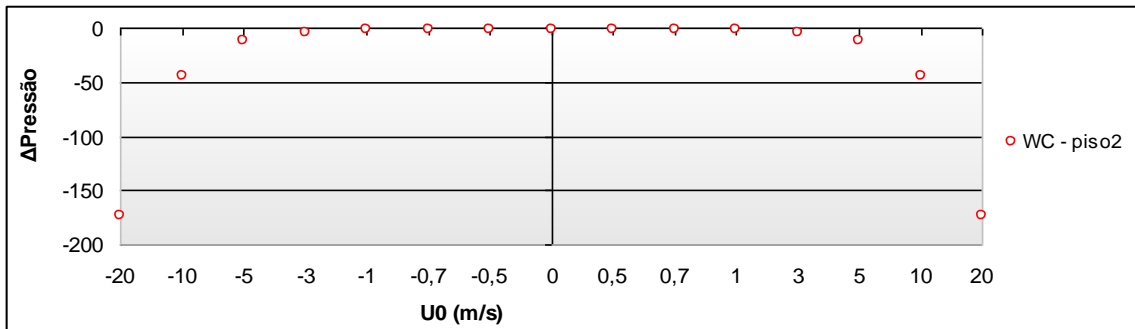
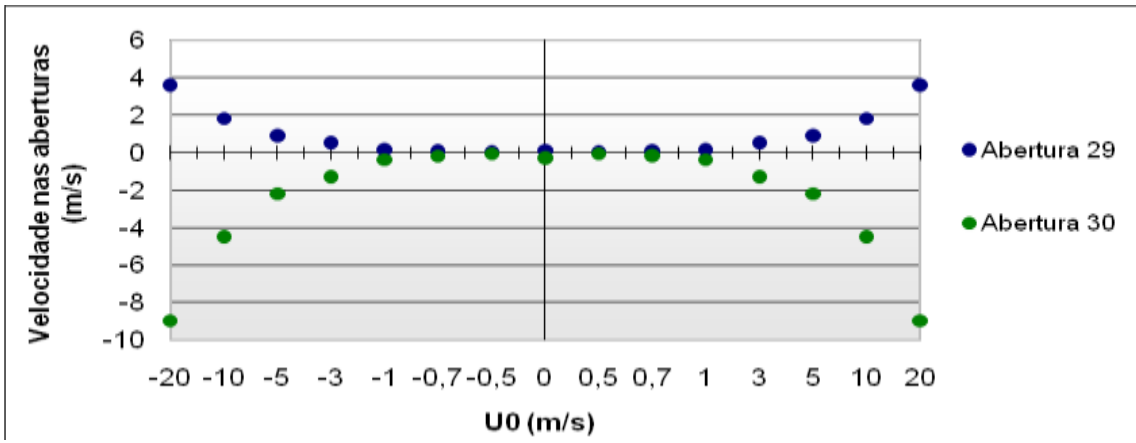


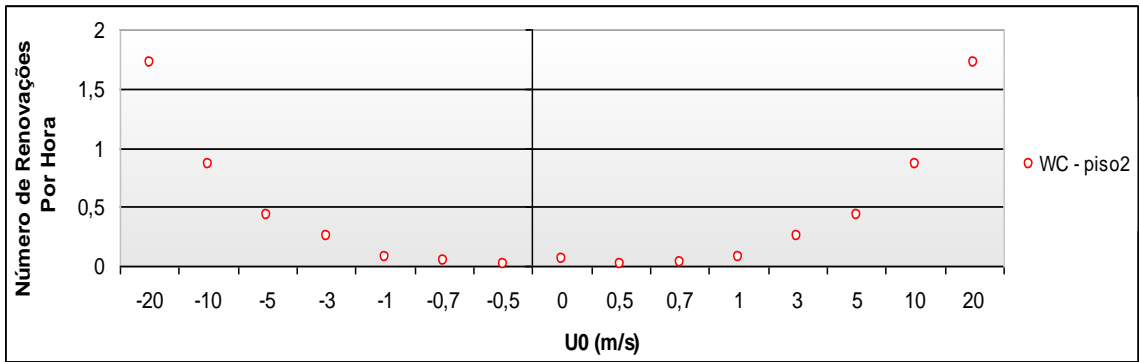
Espaço comum piso -2-



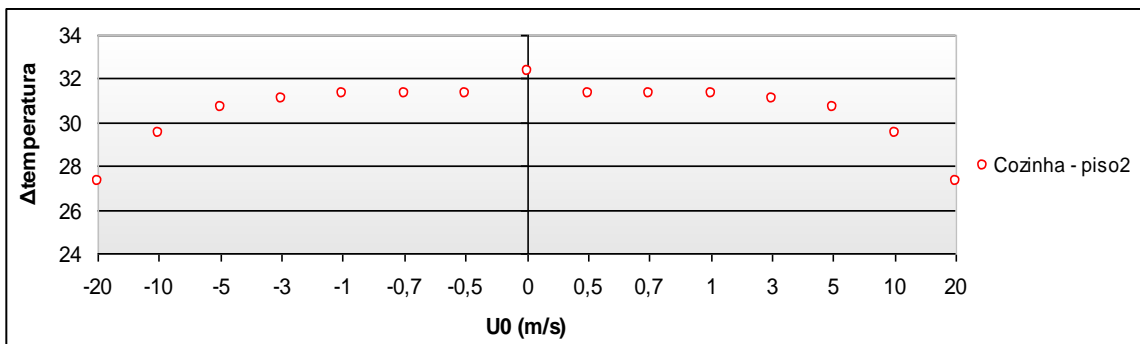
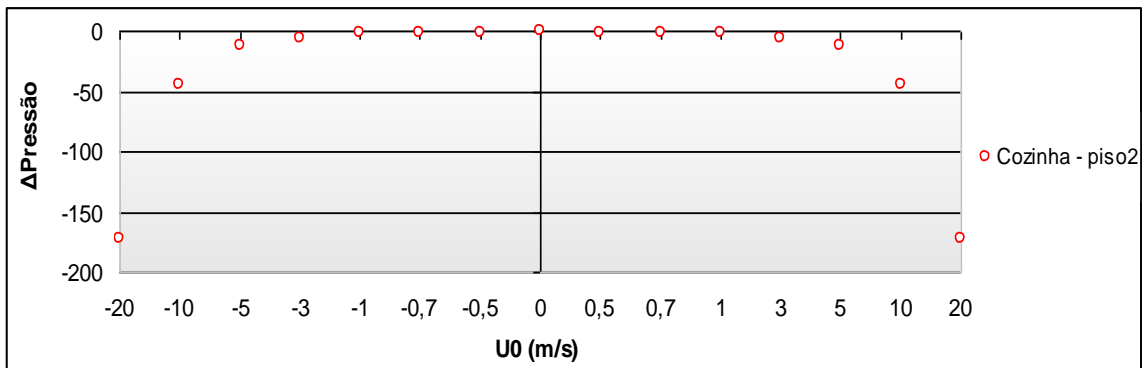
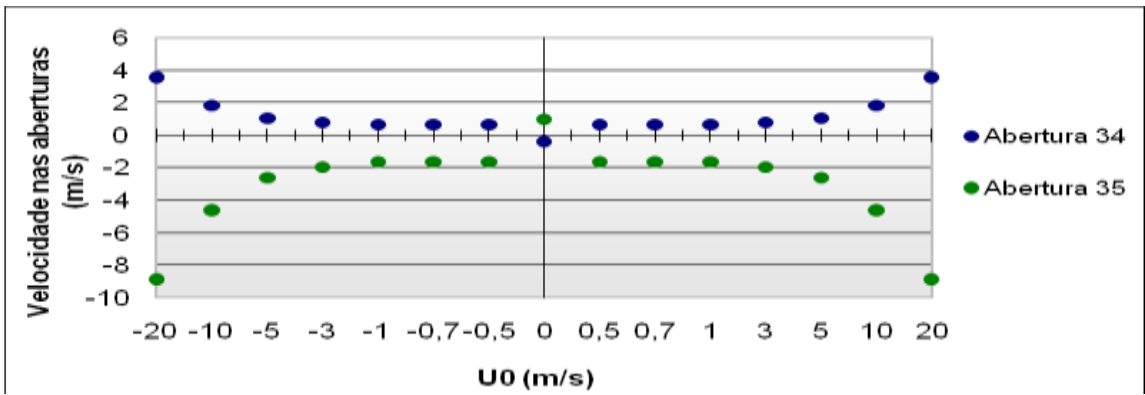


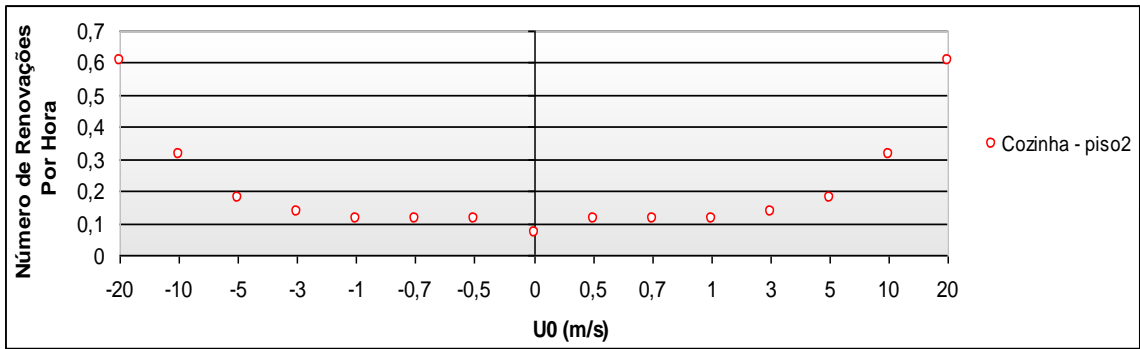
WC piso -2-



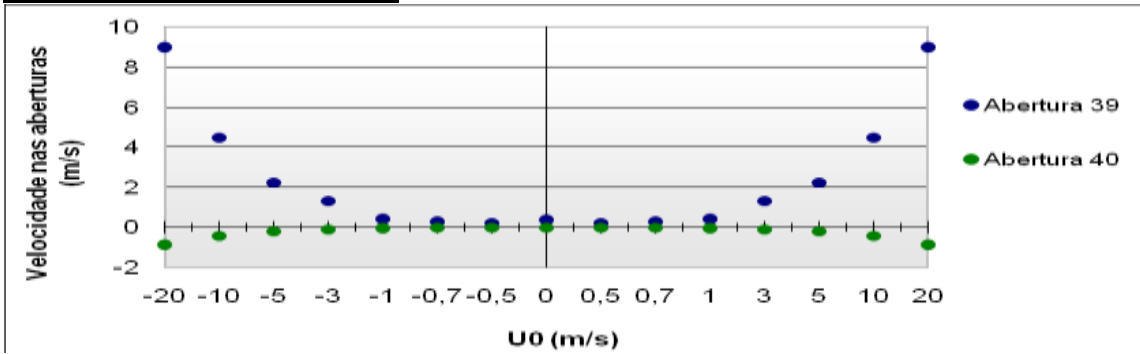


Cozinha piso -2-

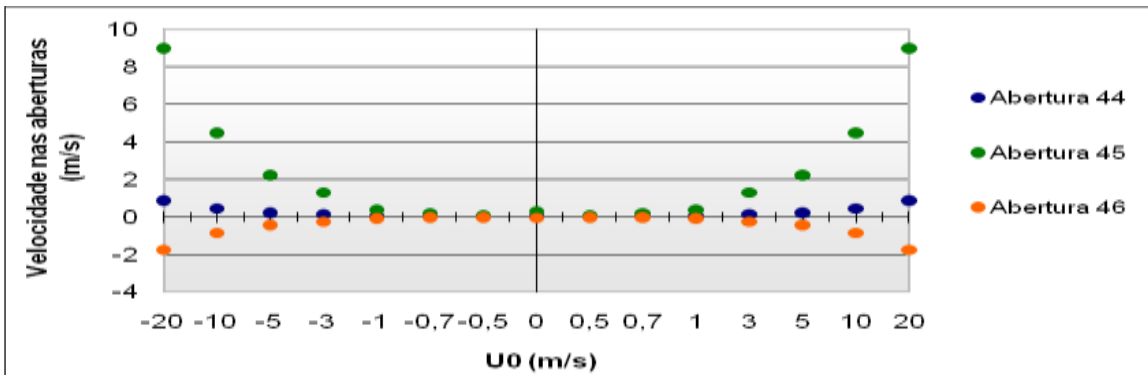




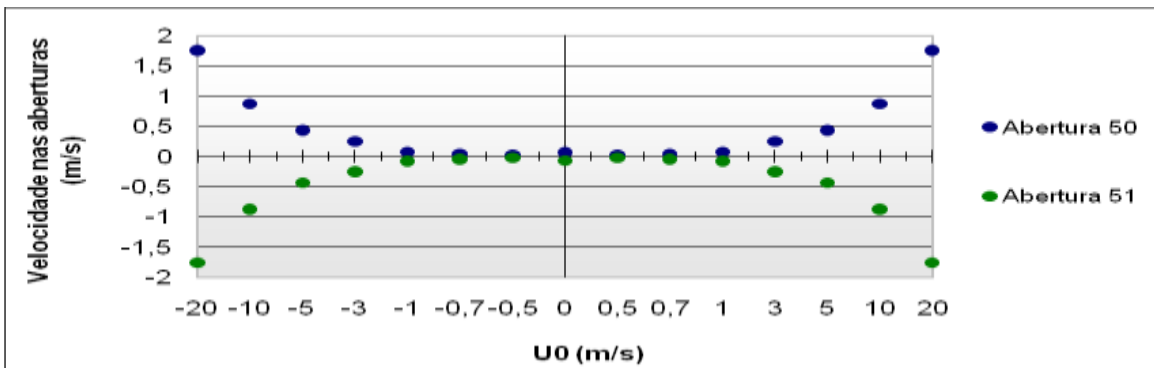
Conduta à saída do WC piso -1



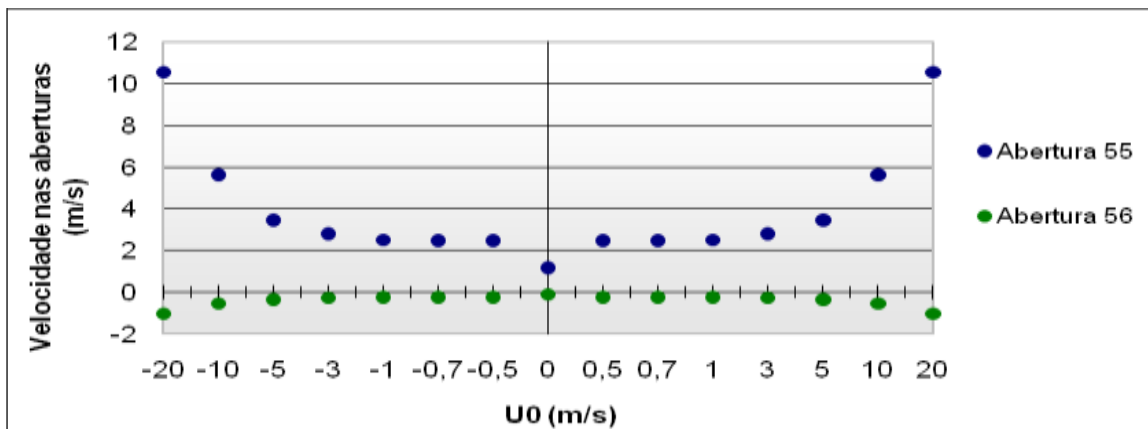
Conduta à saída do WC piso -2-



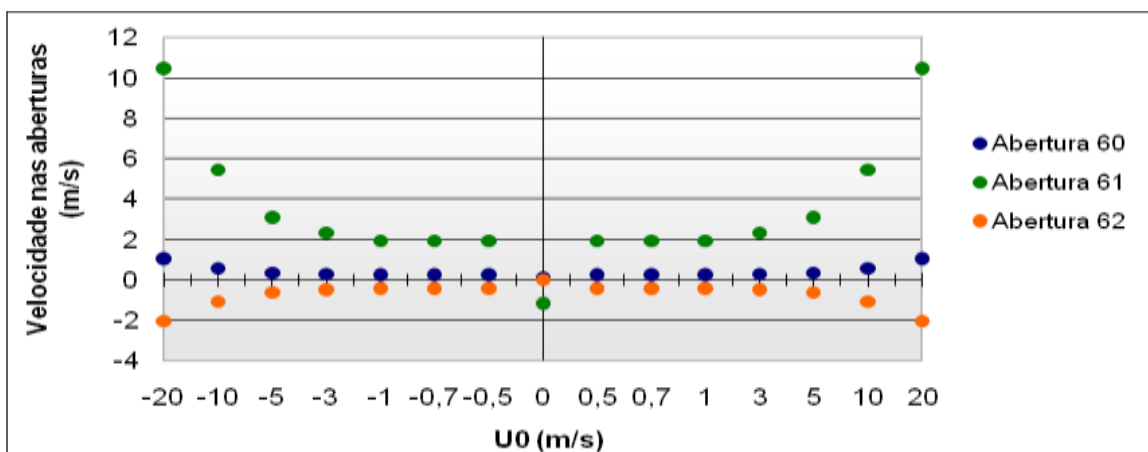
Conduta à saída do WC – chaminé



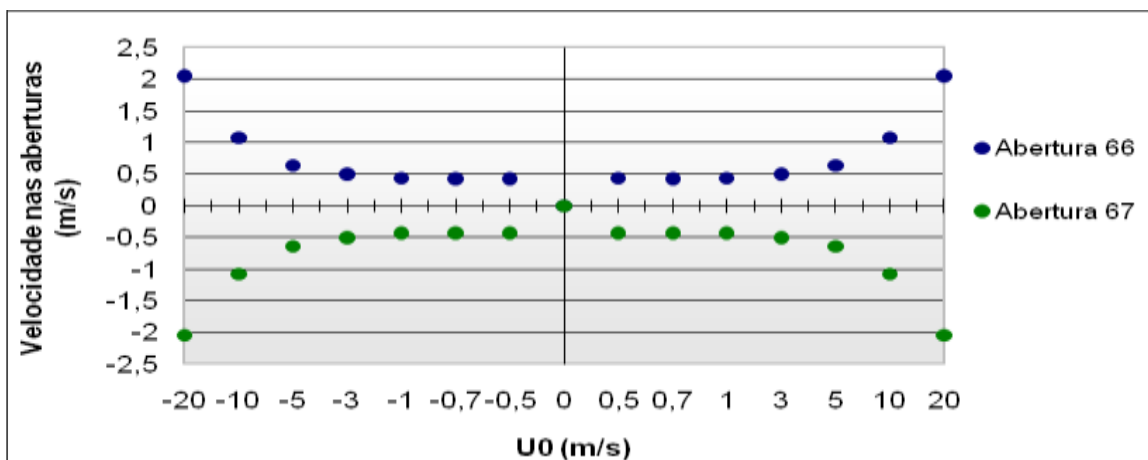
Conduta à saída do Cozinha piso -1-



Conduta à saída do Cozinha piso -2-

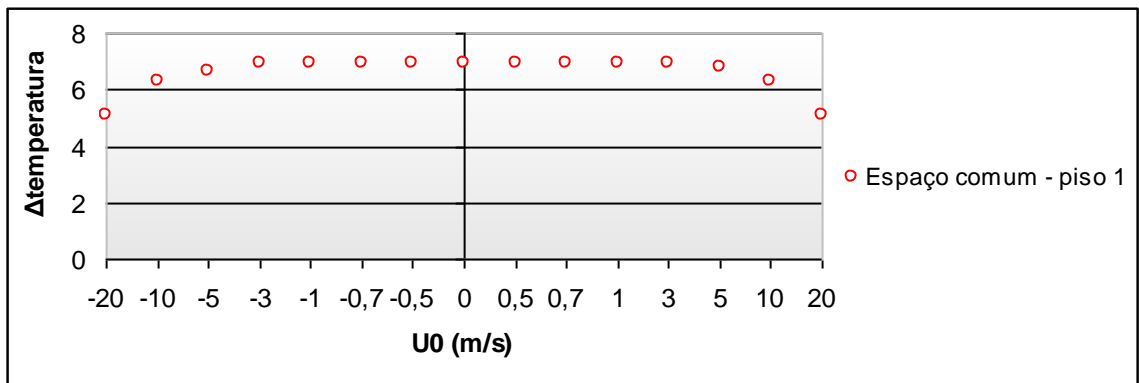
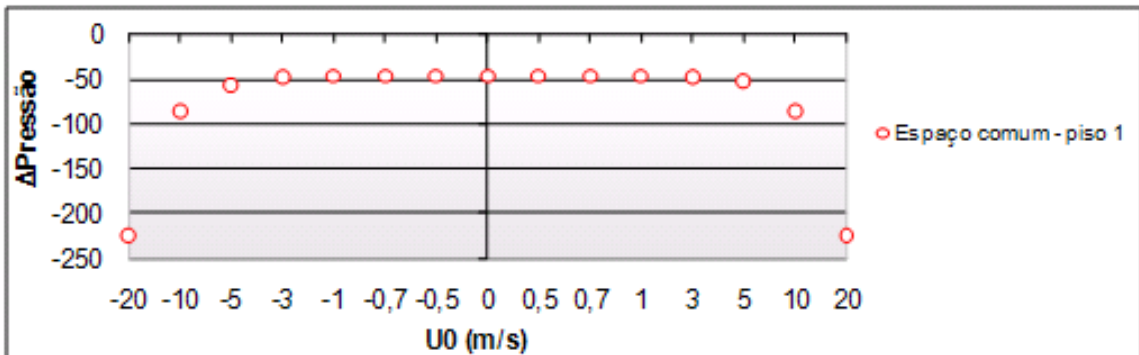
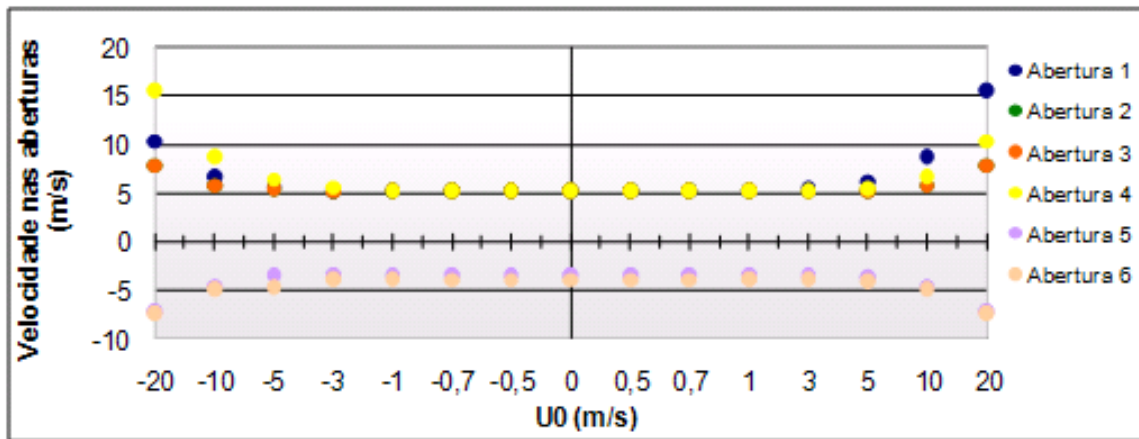


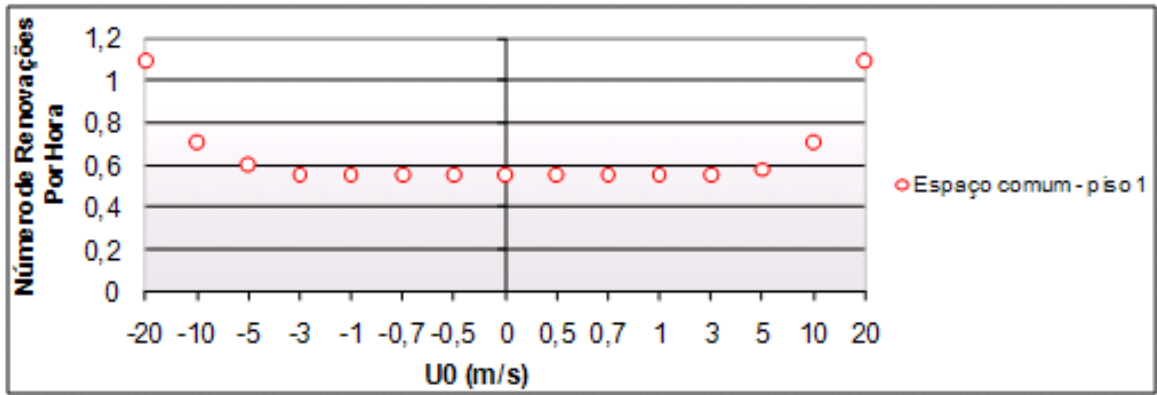
Conduta à saída do Cozinha – chaminé



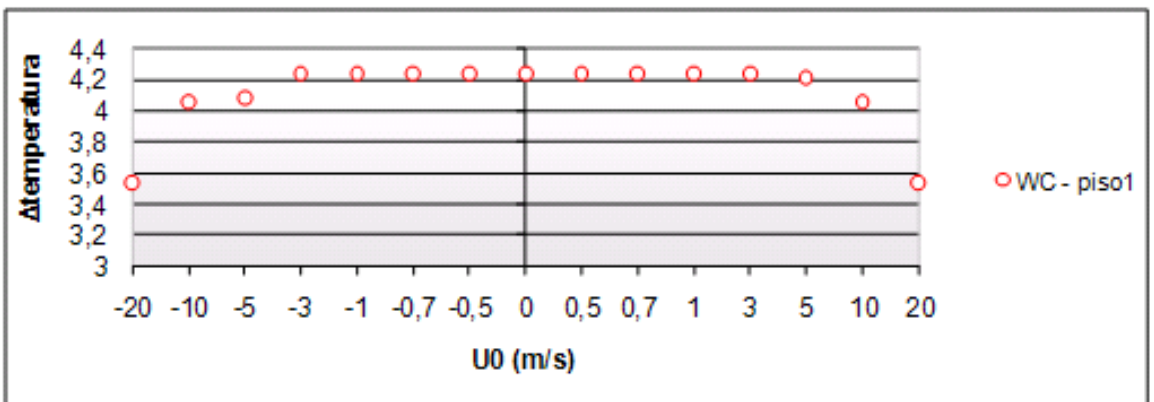
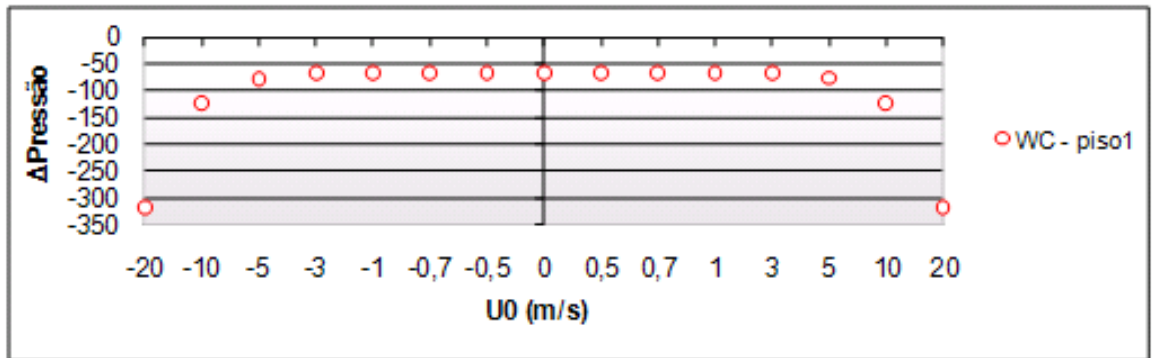
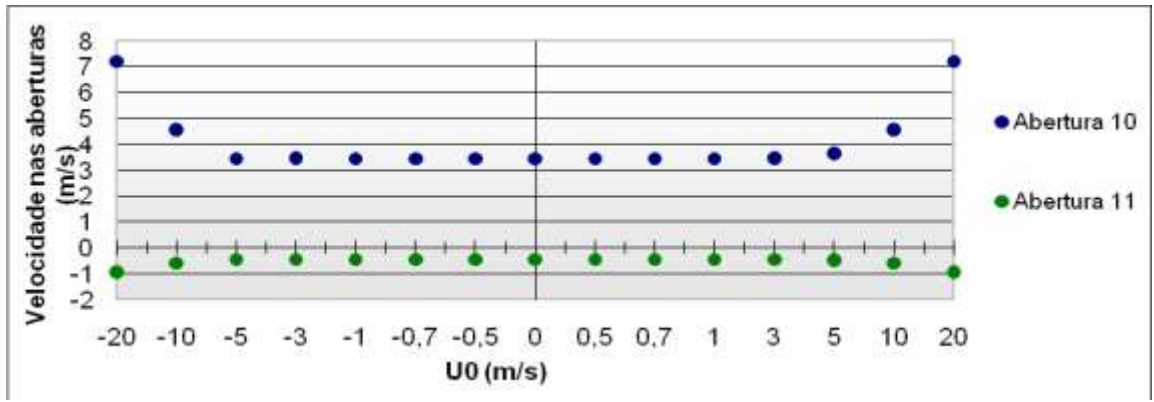
## C5 – Vento Frontal com ventiladores

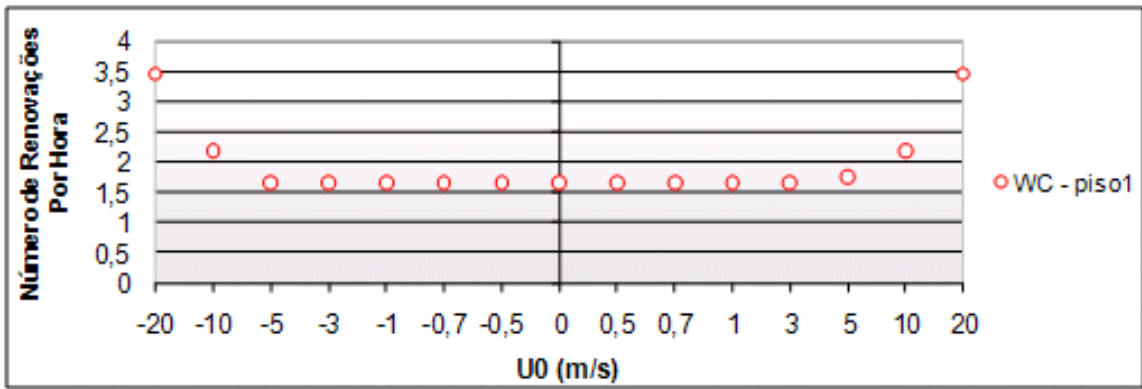
Espaço comum piso -1-



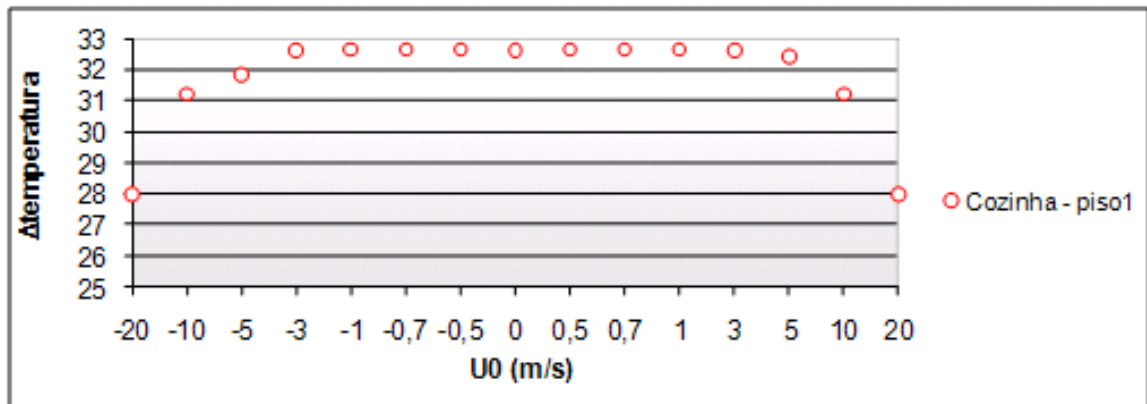
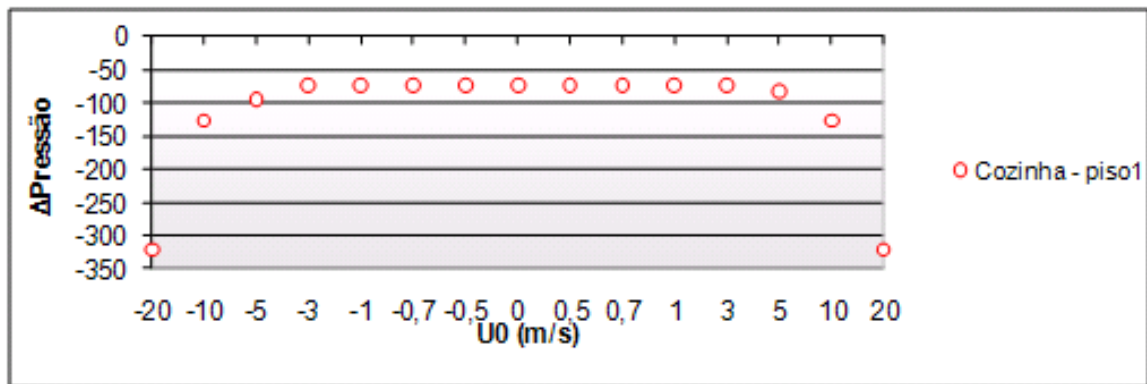
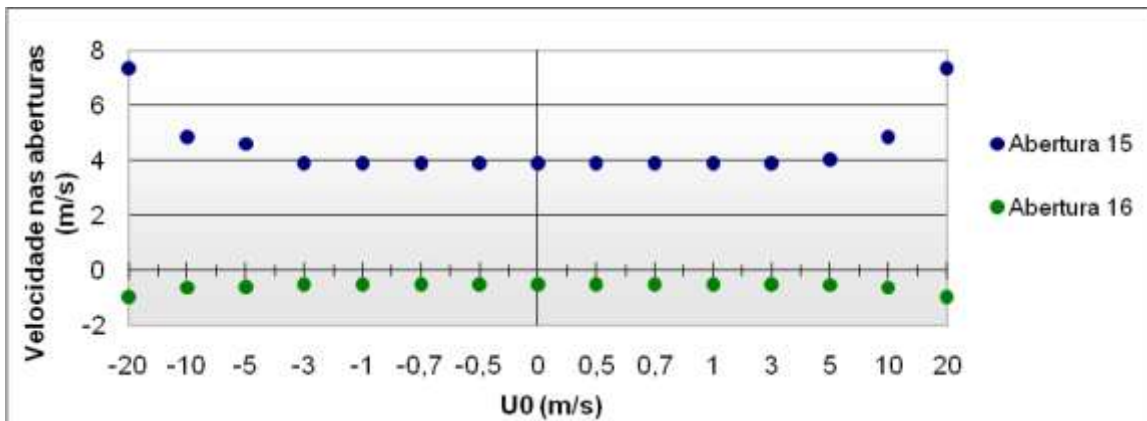


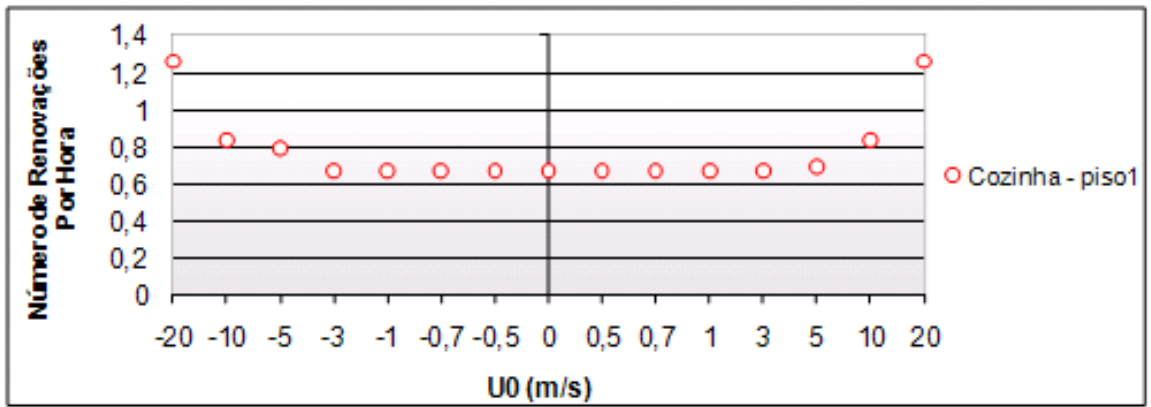
WC piso -1-



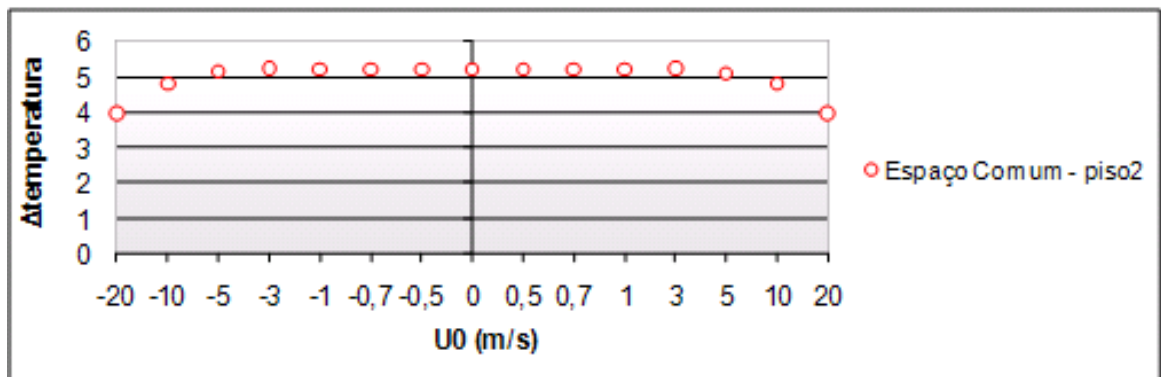
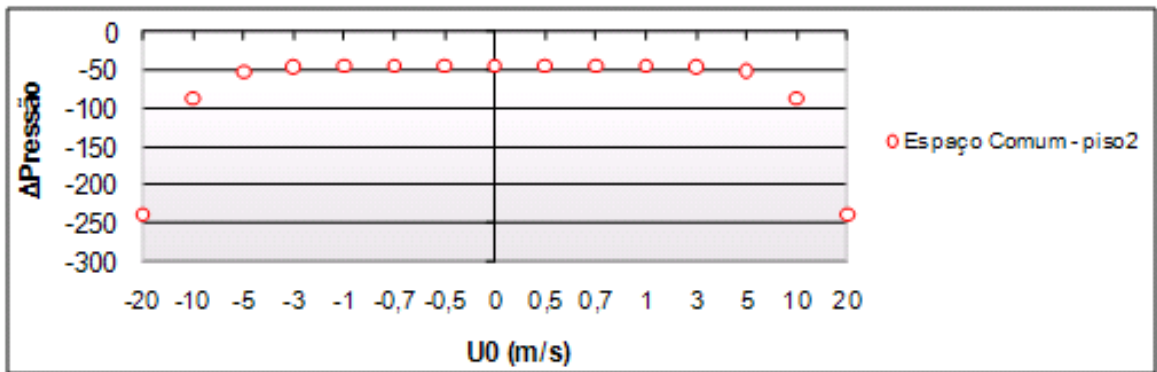
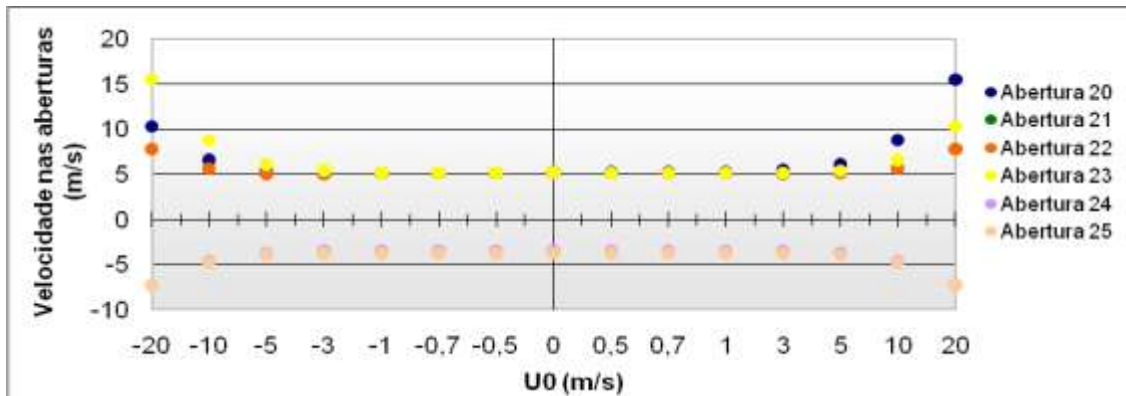


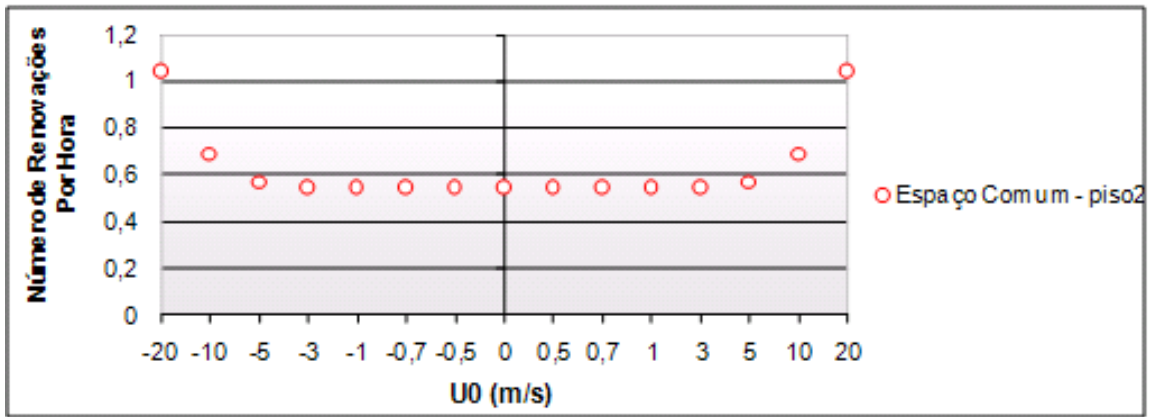
Cozinha piso -1-



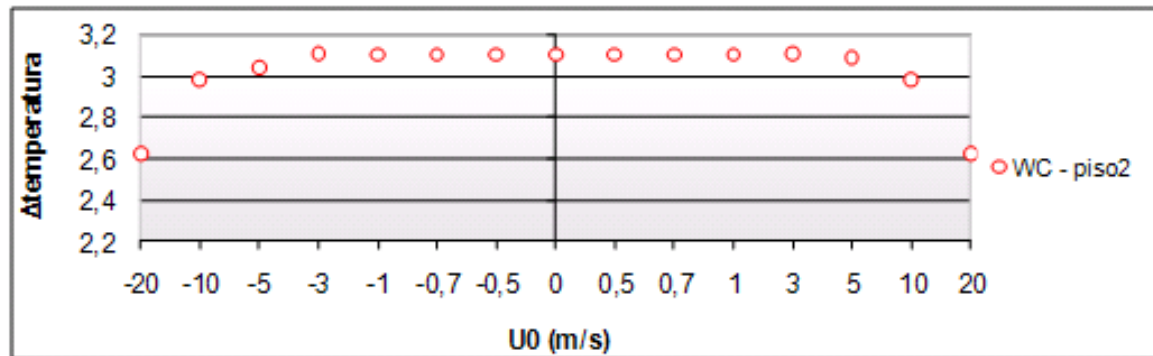
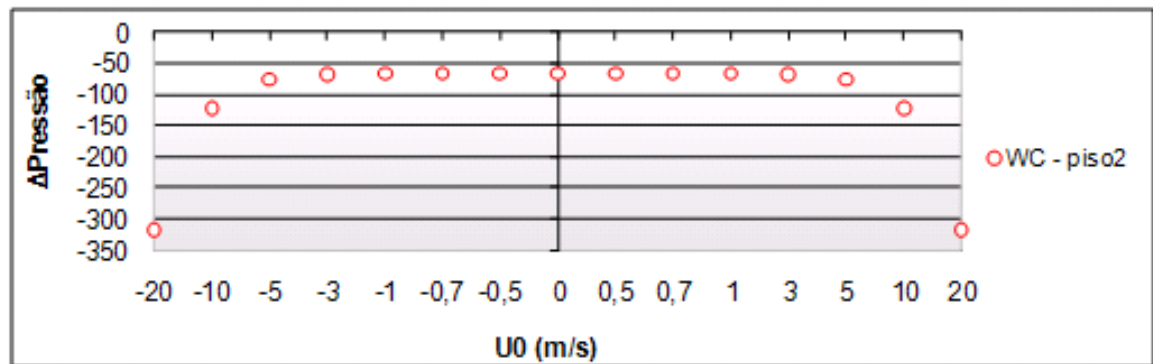
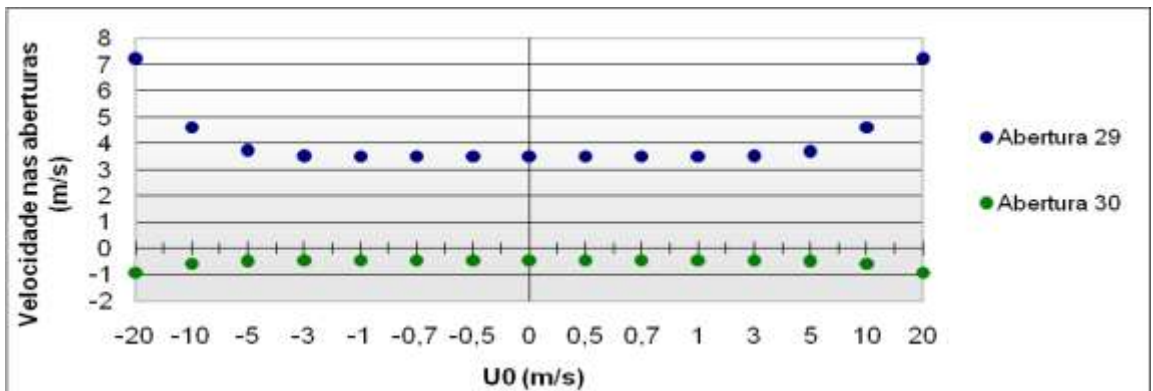


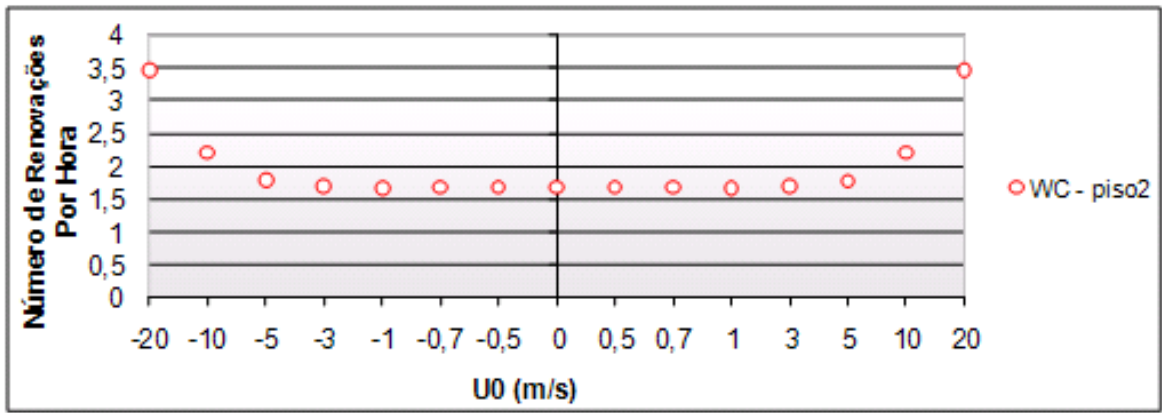
Espaço comum piso -2-



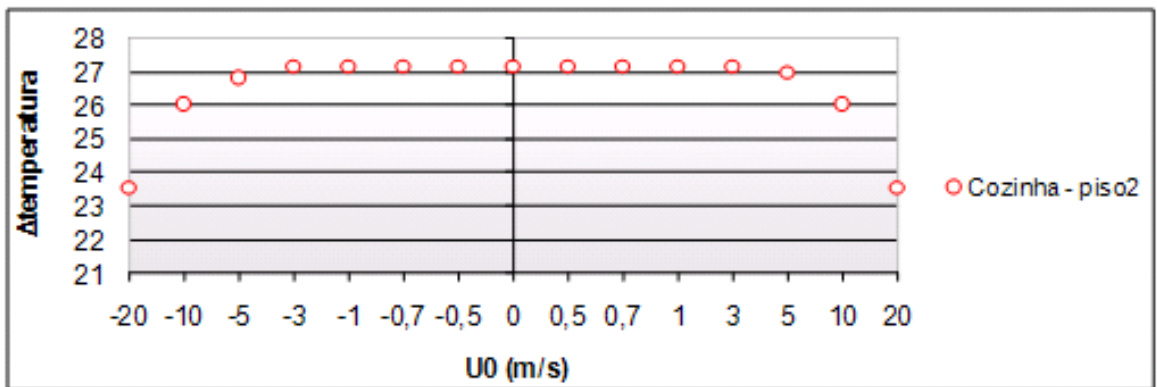
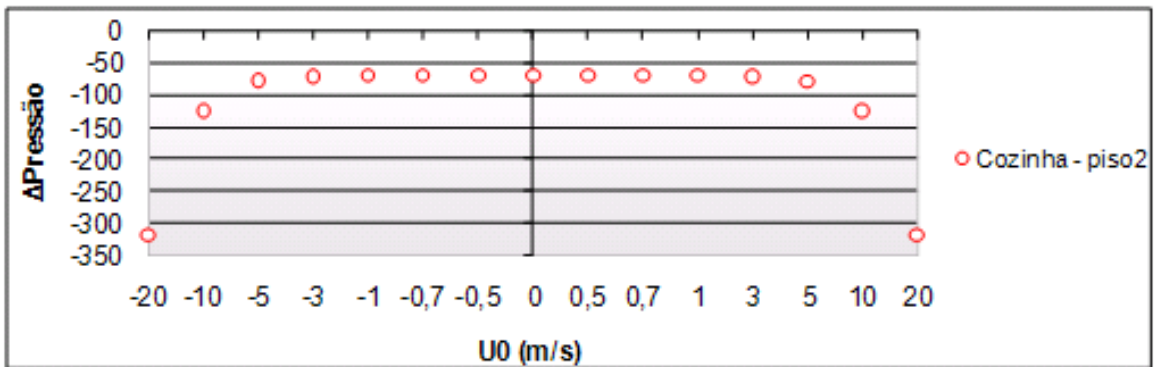
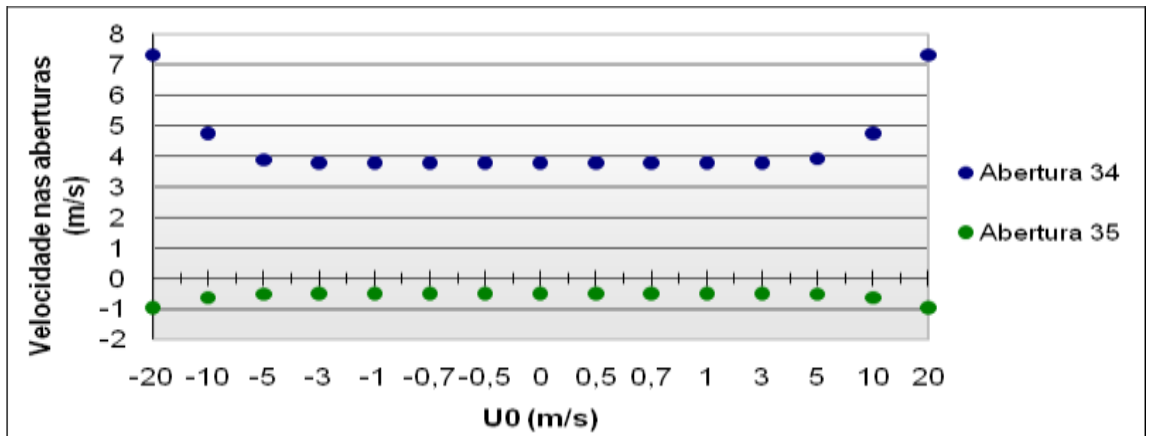


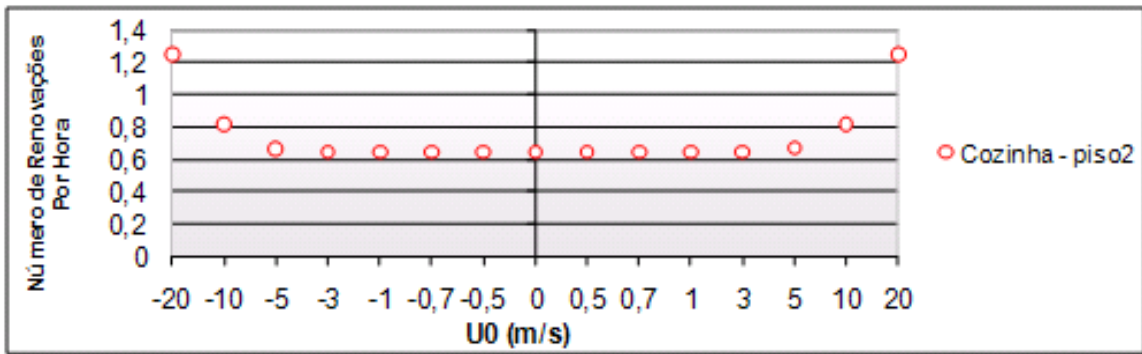
WC piso -2-



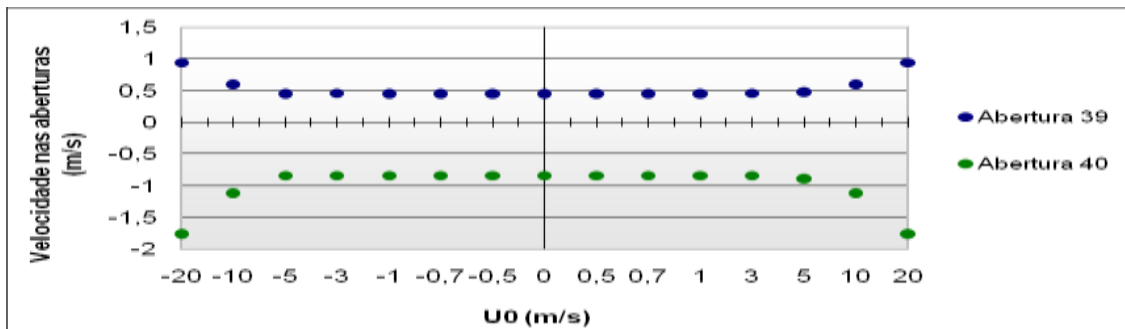


Cozinha piso -2-

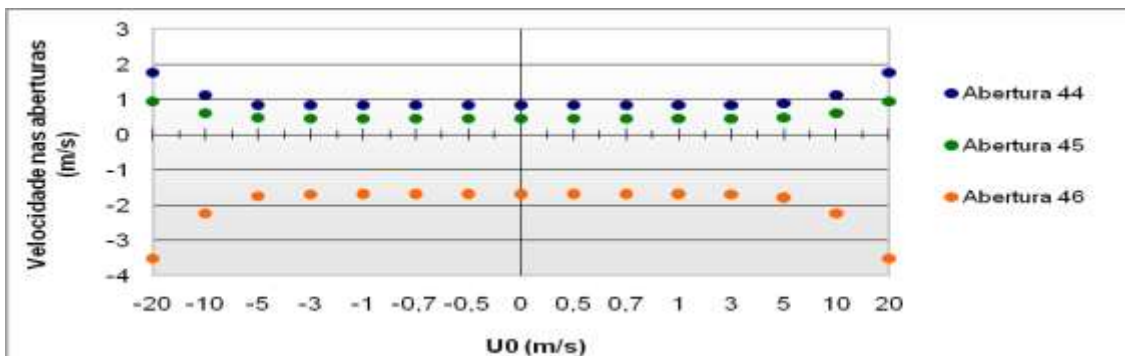




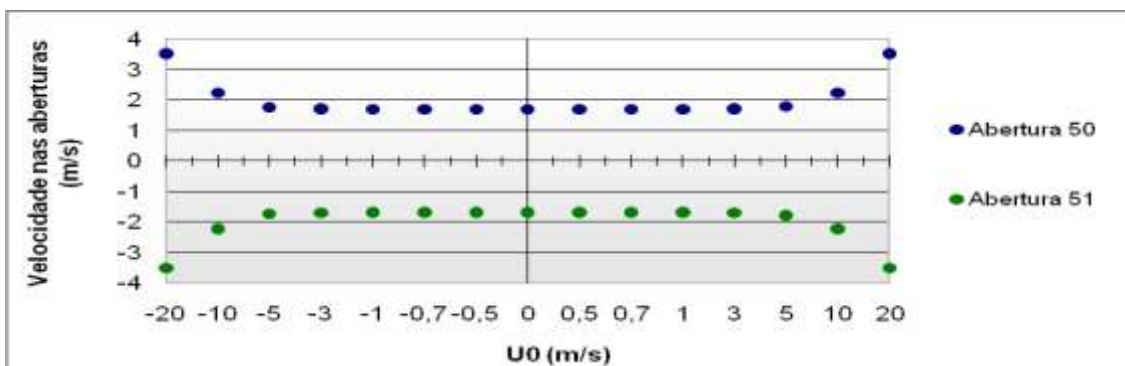
Conduta à saída do WC piso -1-



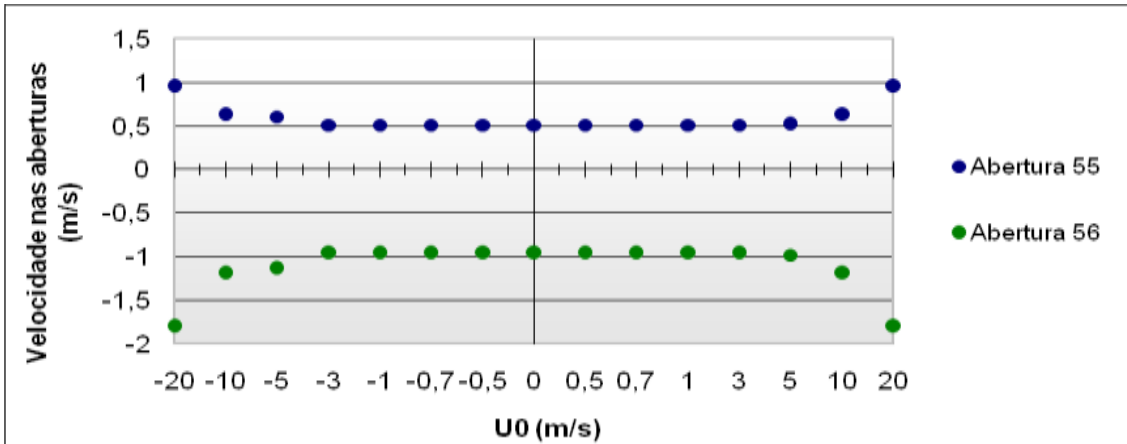
Conduta à saída do WC piso -2-



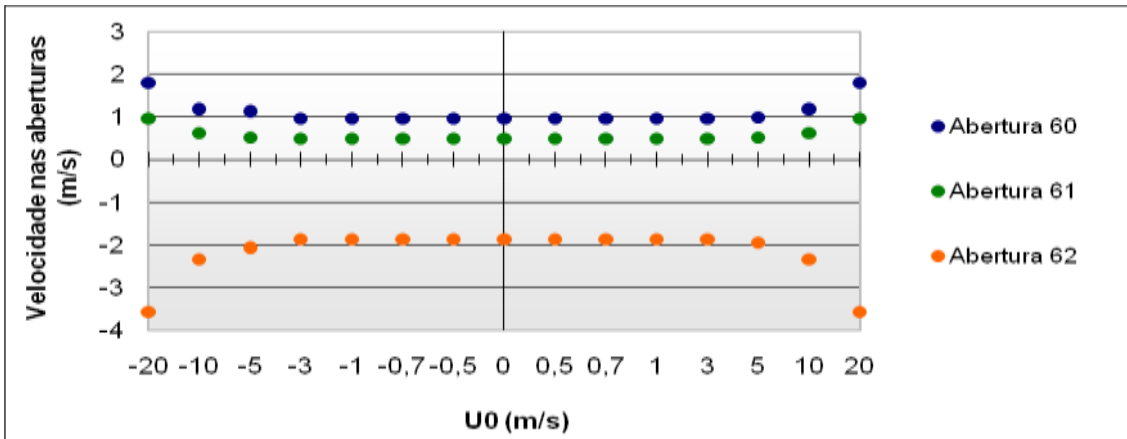
Conduta à saída do WC – chaminé



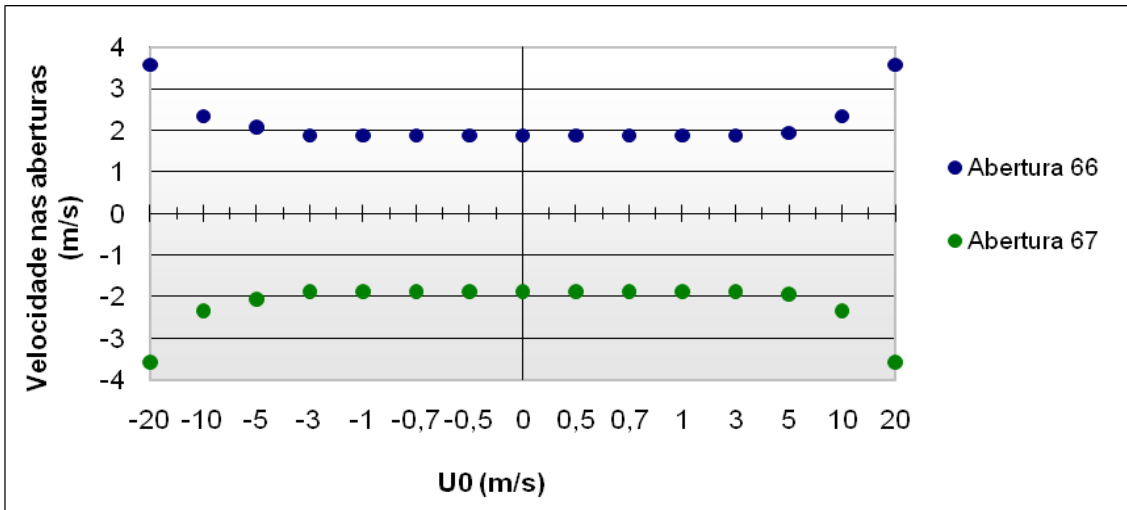
Conduta à saída do Cozinha piso -1-



Conduta à saída do Cozinha piso -2-

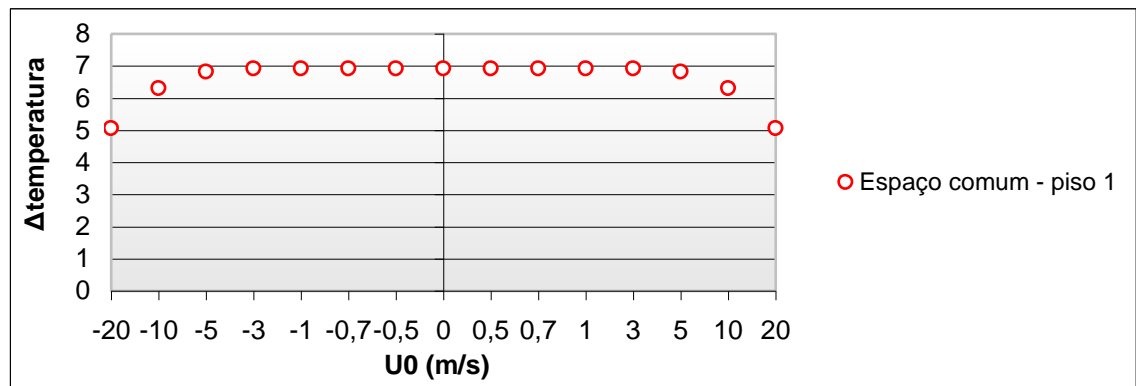
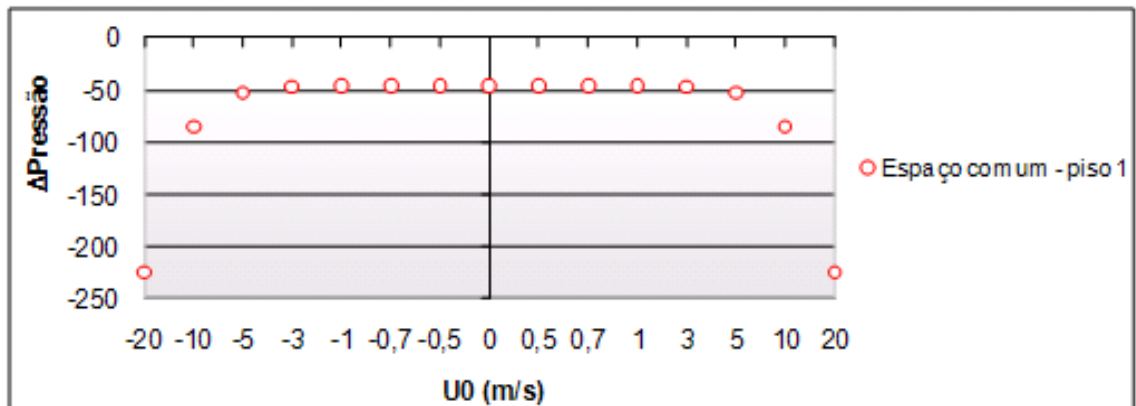
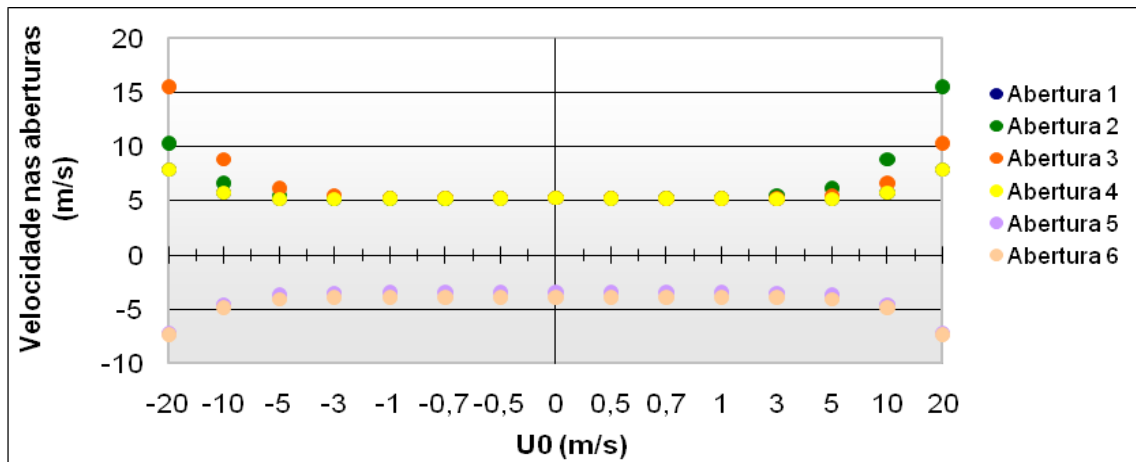


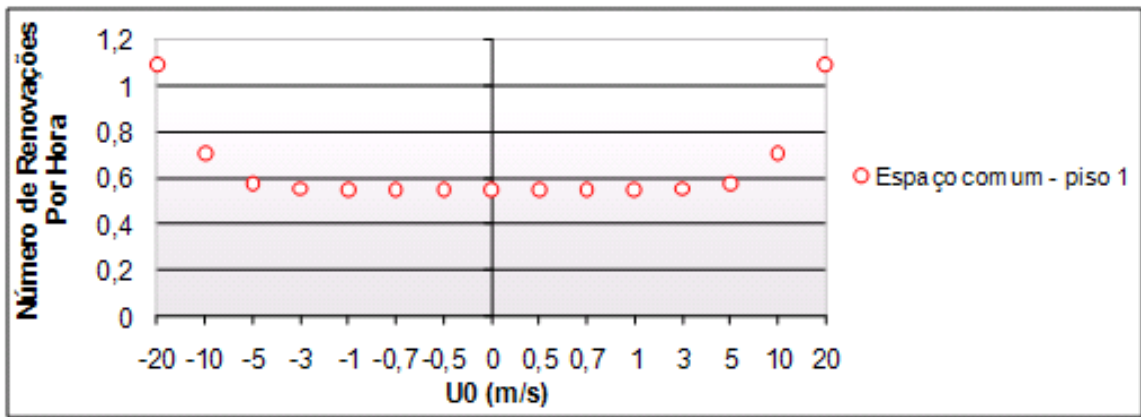
Conduta à saída do Cozinha – chaminé



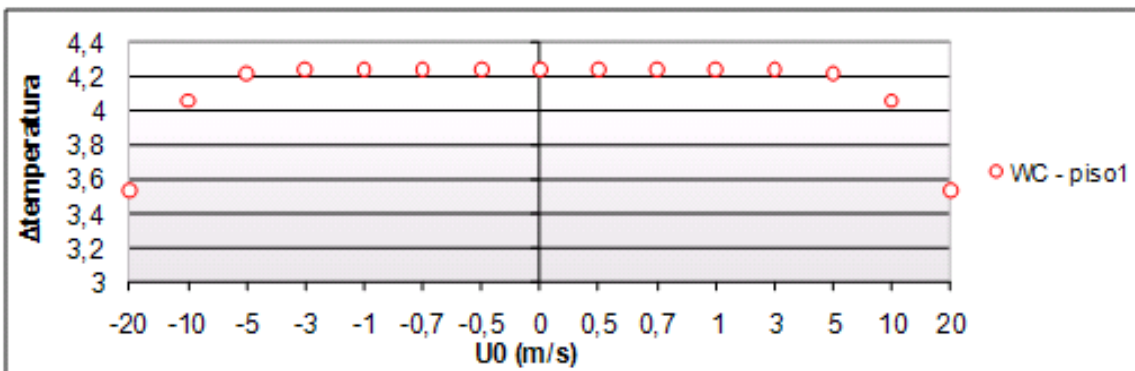
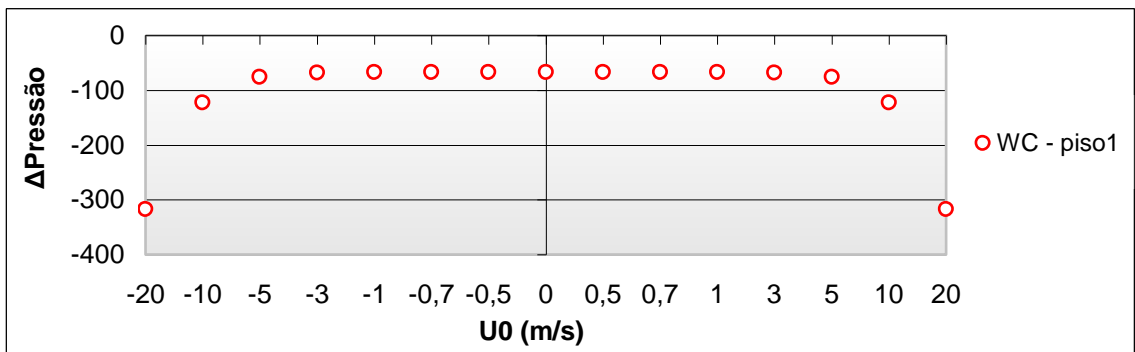
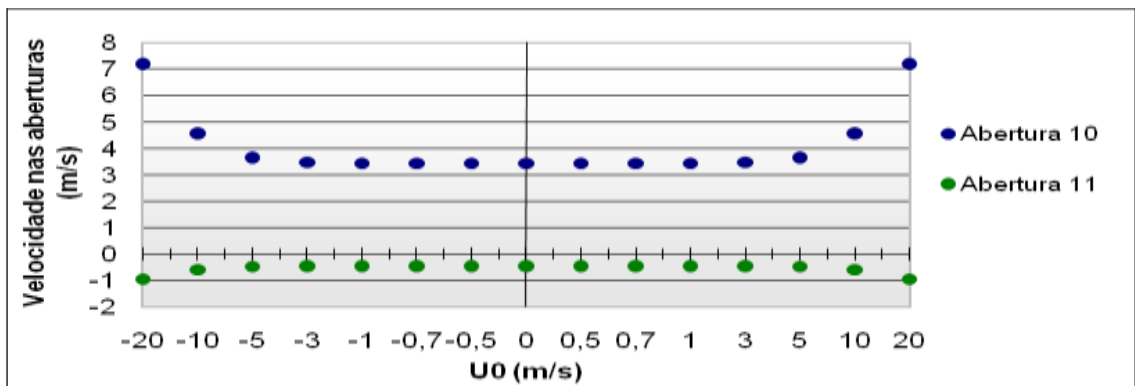
## C6 – Vento Lateral com ventiladores

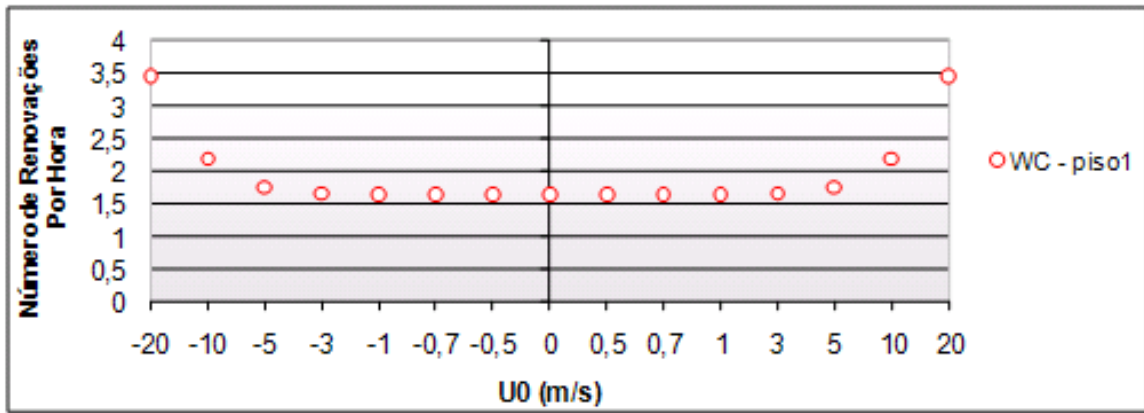
### Espaço comum piso -1-



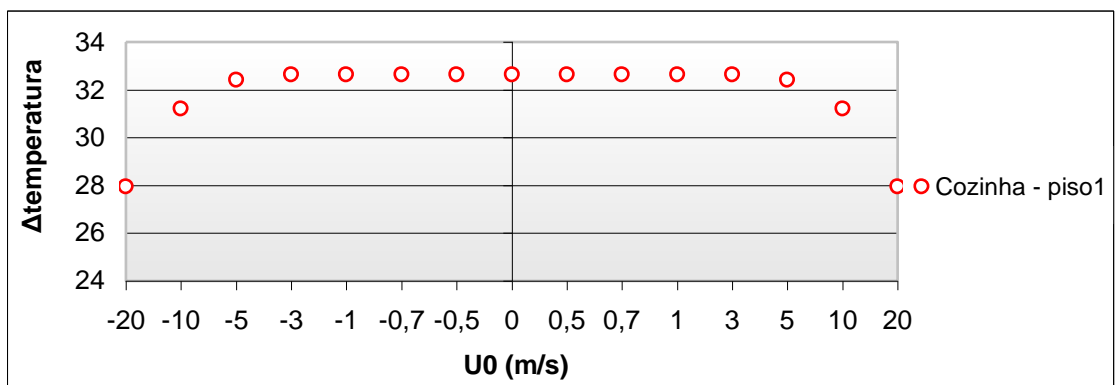
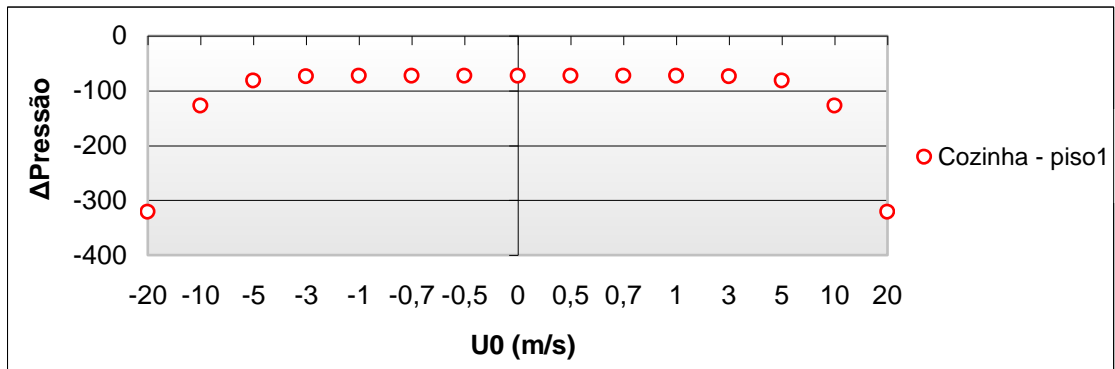
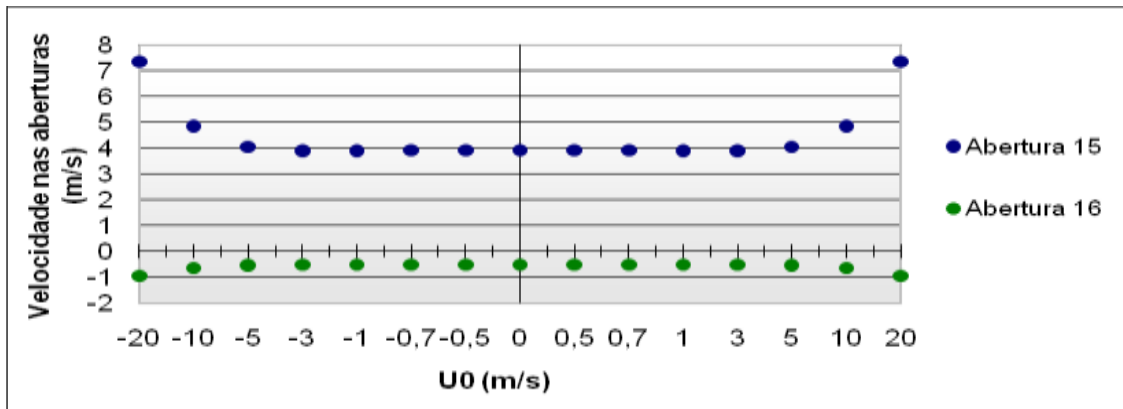


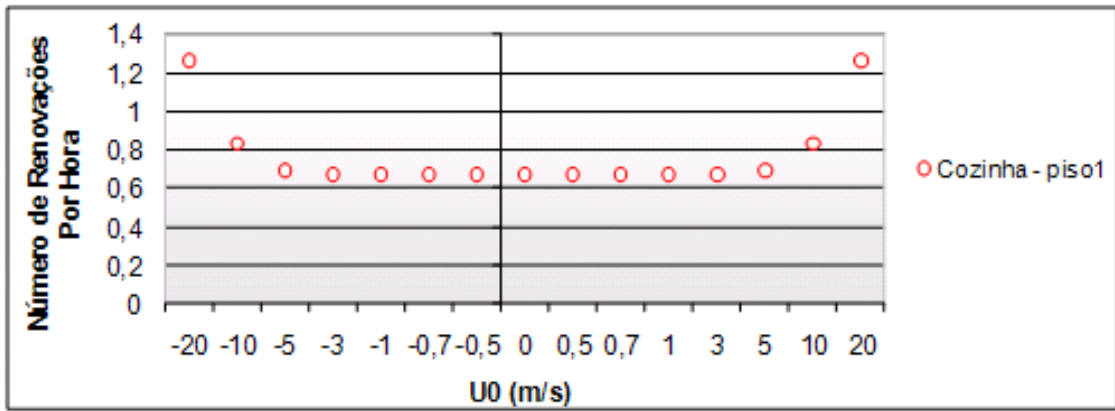
WC piso -1-



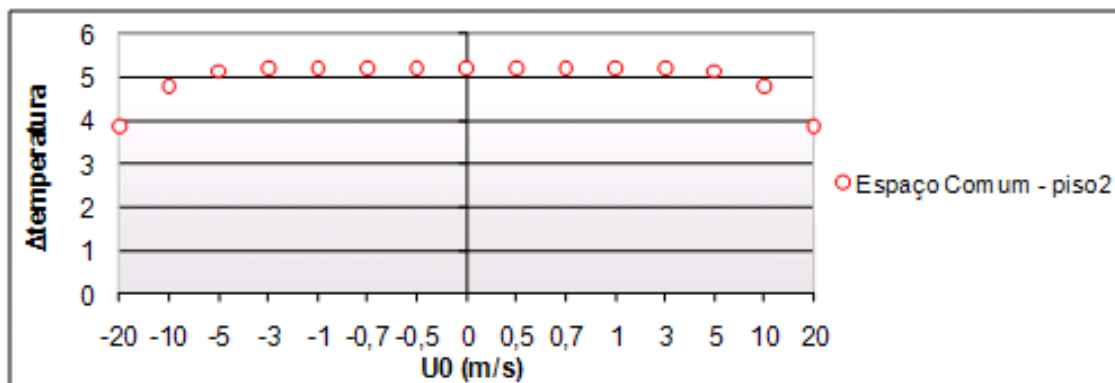
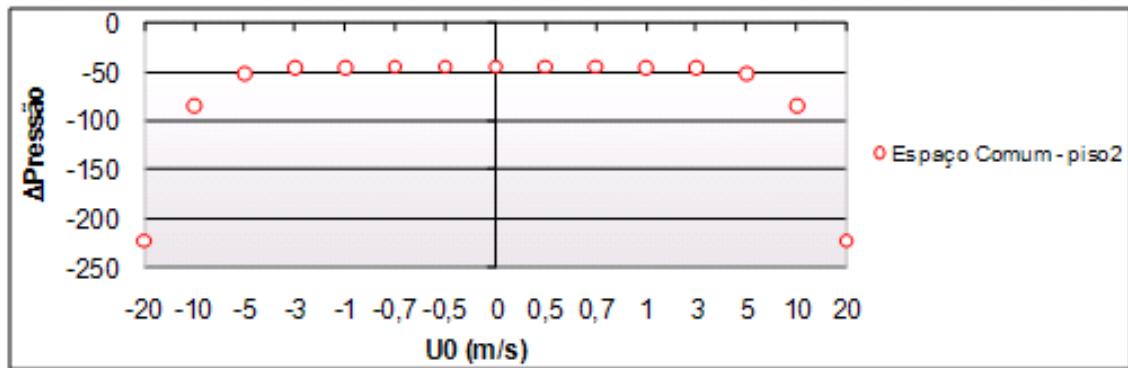
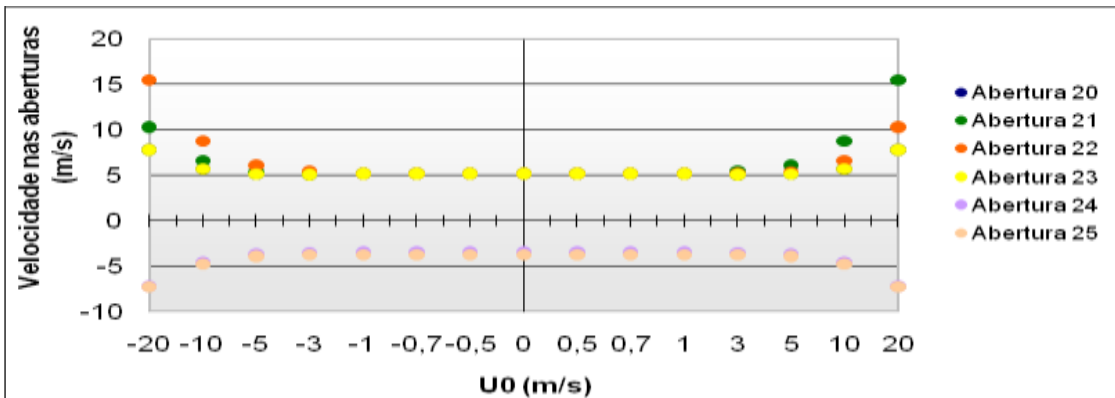


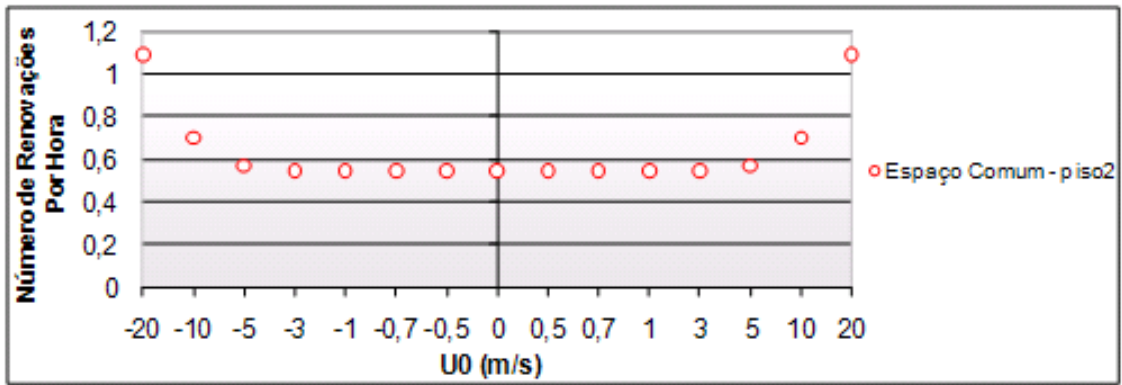
Cozinha piso -1-



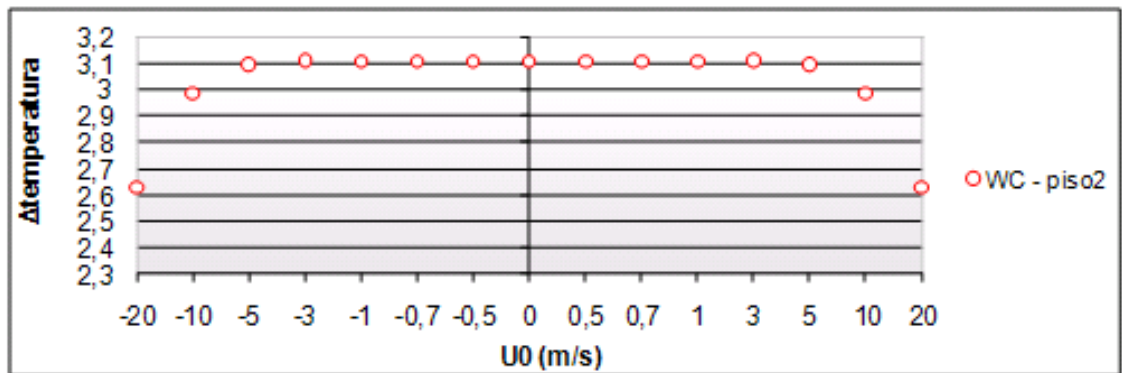
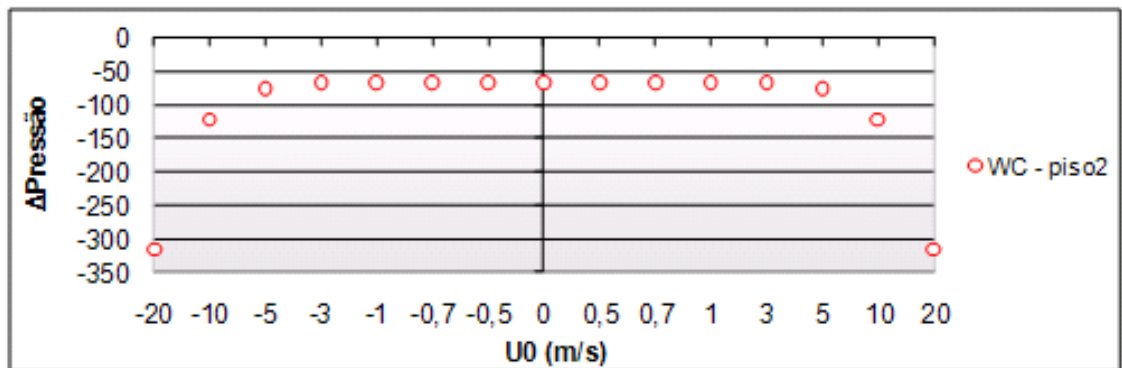
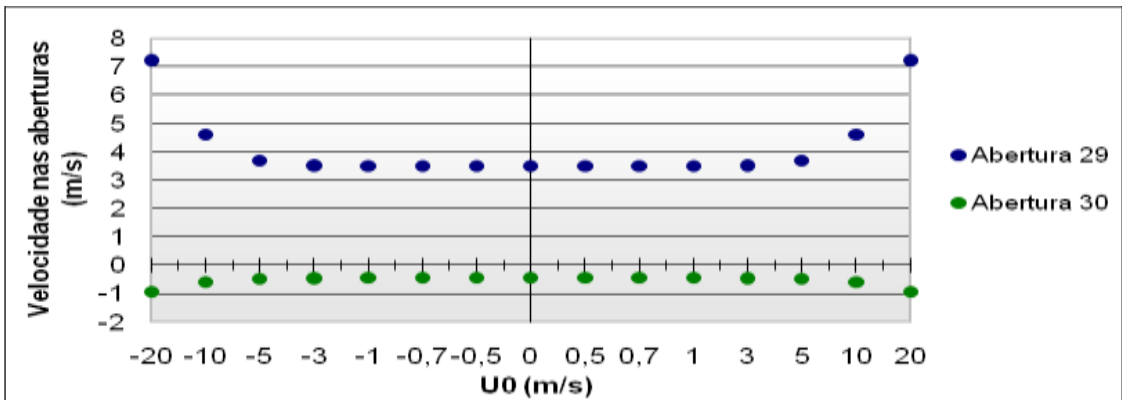


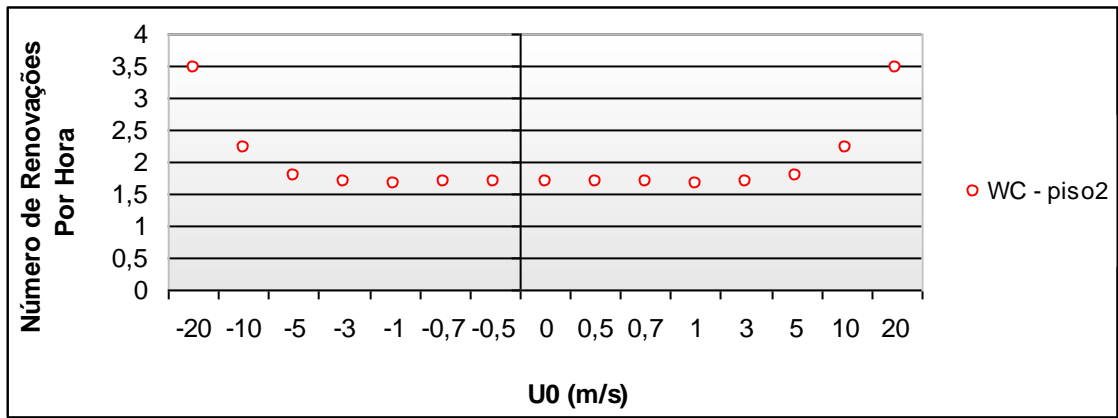
Espaço comum piso -2-



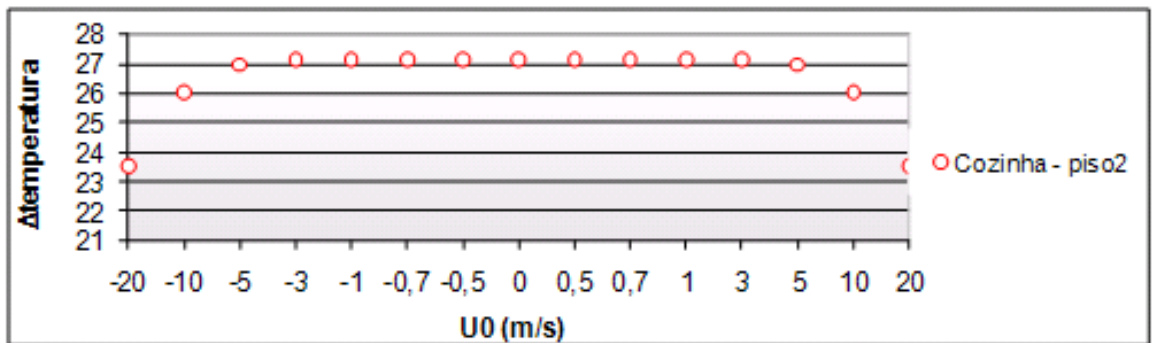
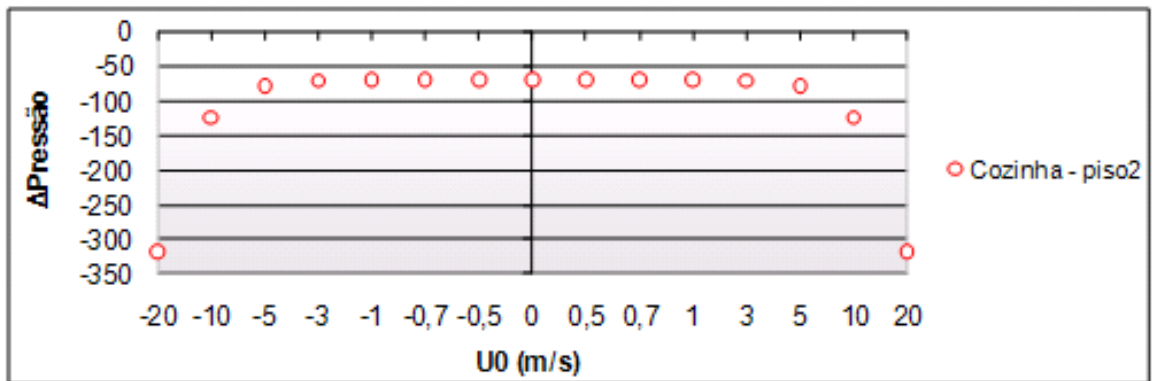
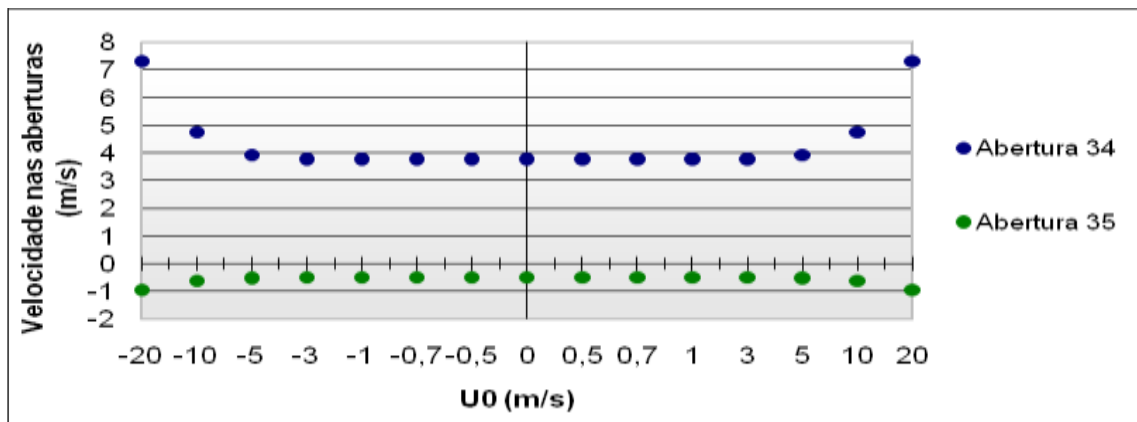


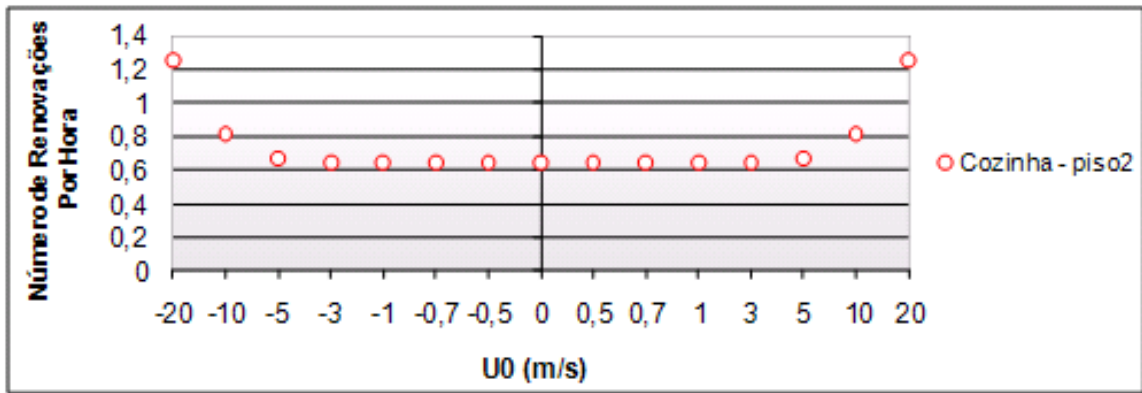
WC piso -2-



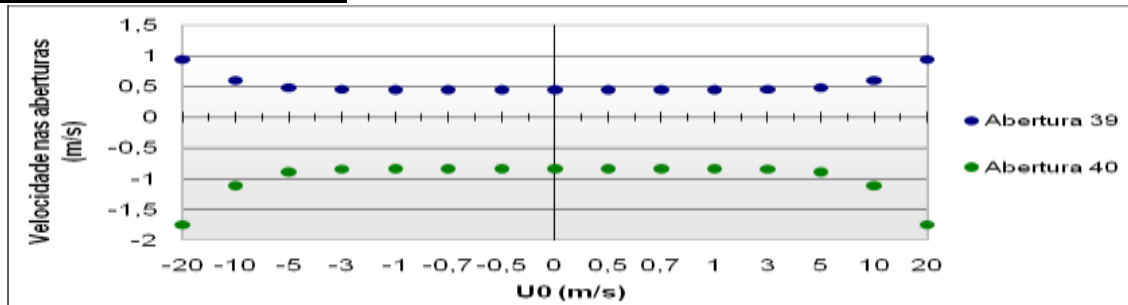


Cozinha piso -2-

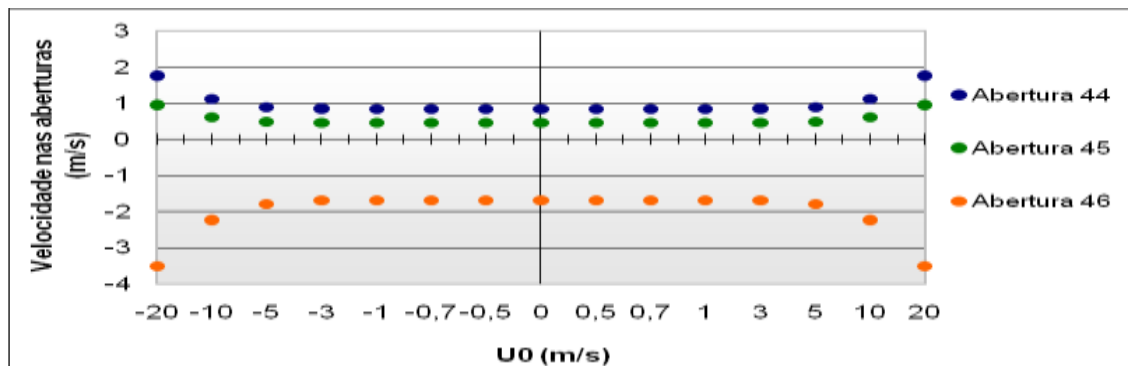




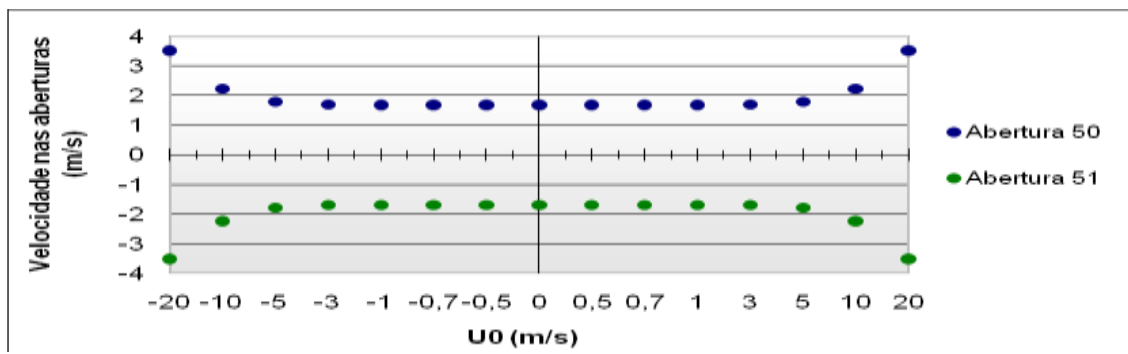
Conduta à saída do WC piso -1



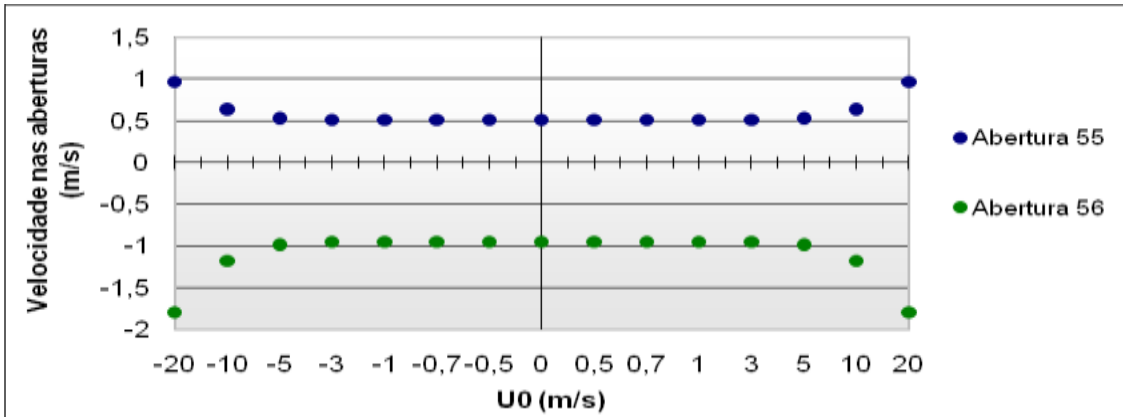
Conduta à saída do WC piso -2-



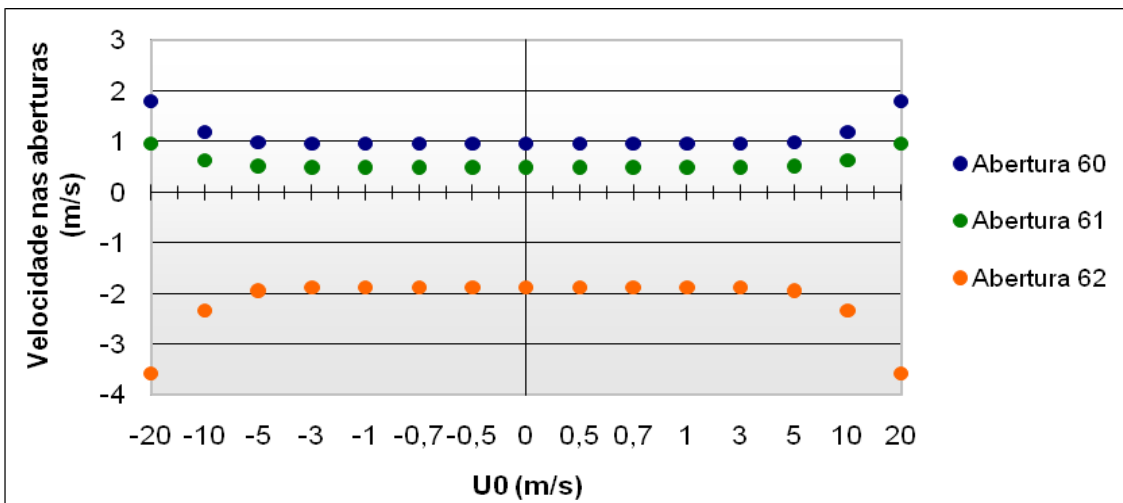
Conduta à saída do WC – chaminé



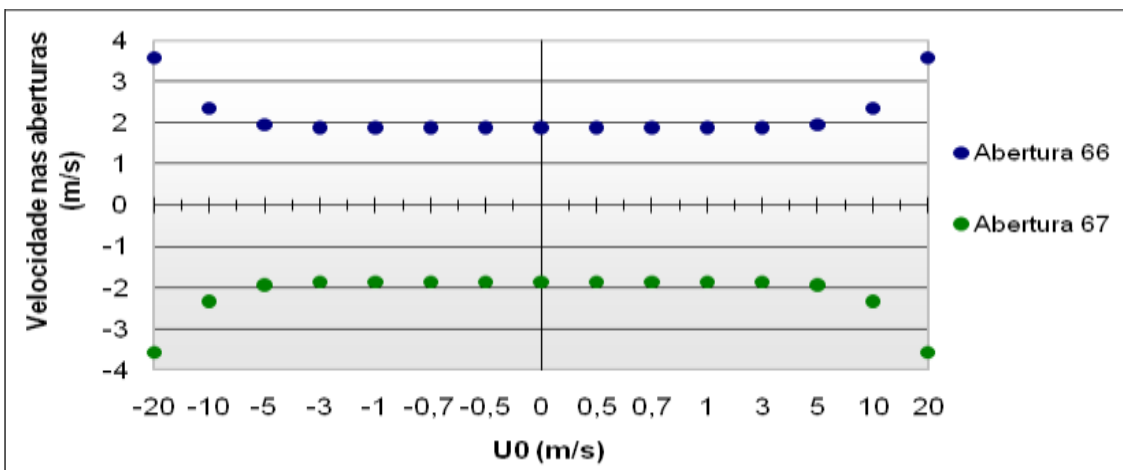
Conduta à saída do Cozinha piso -1-



Conduta à saída do Cozinha piso -2-

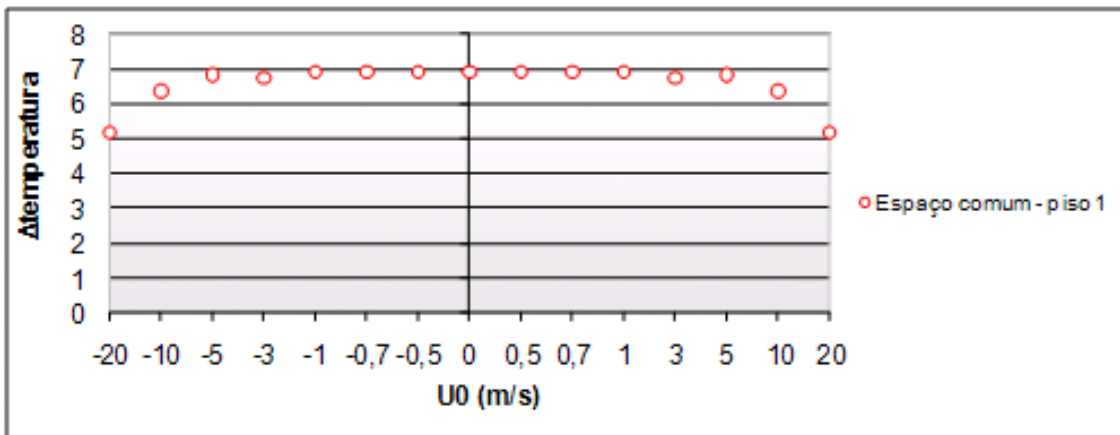
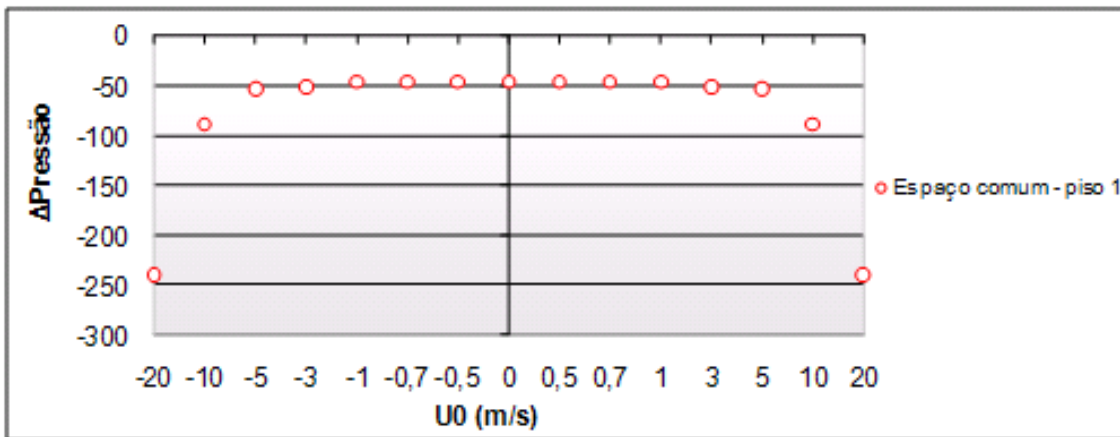
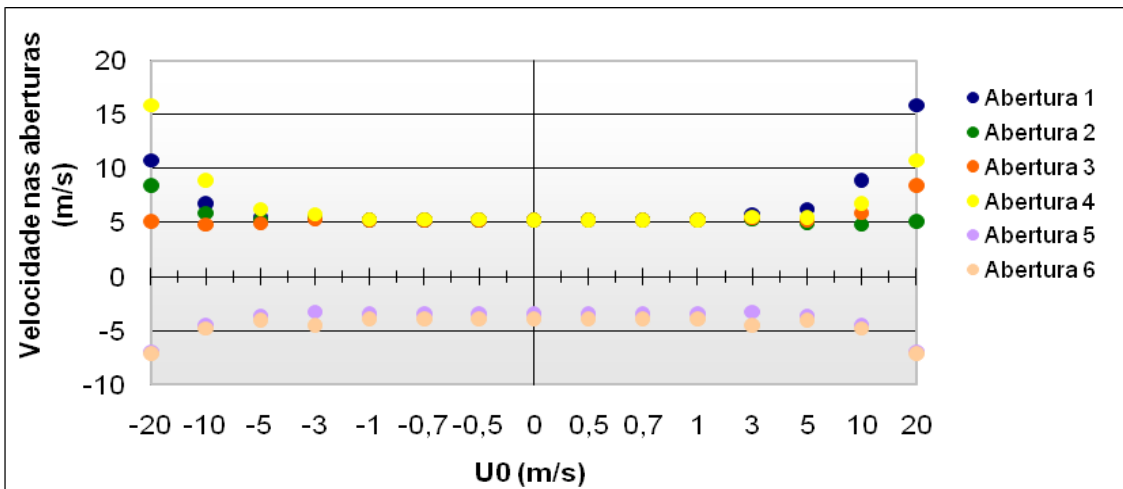


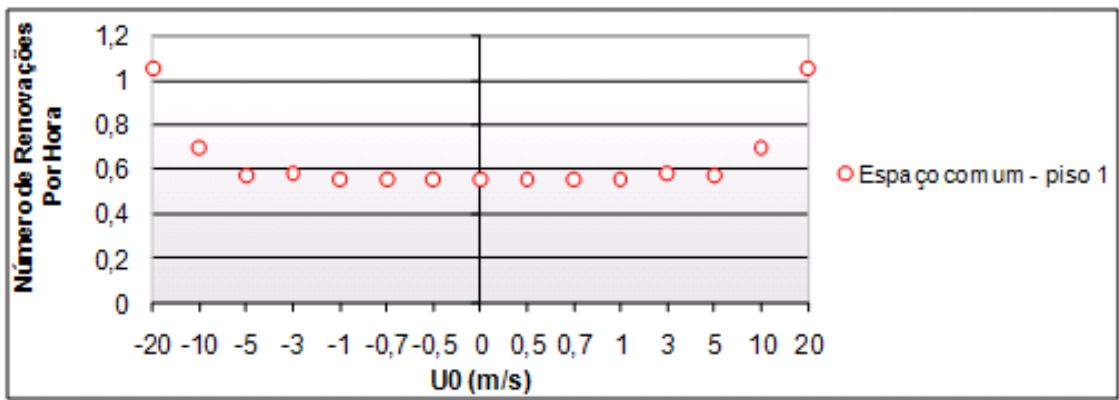
Conduta à saída do Cozinha – chaminé



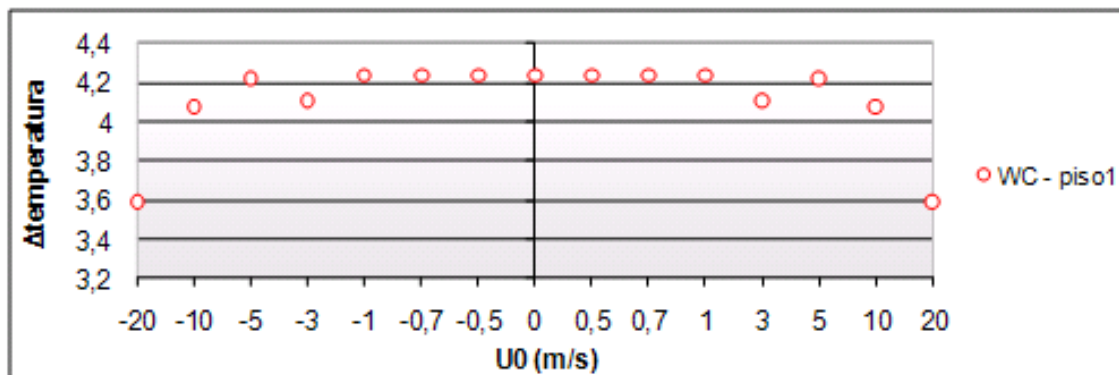
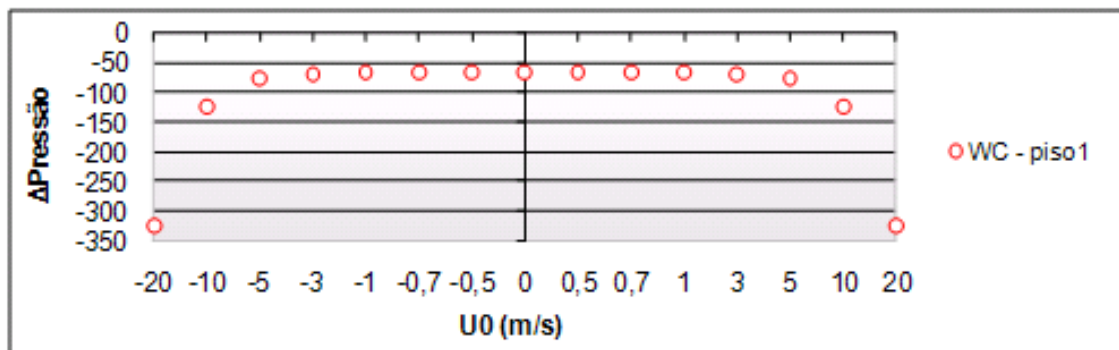
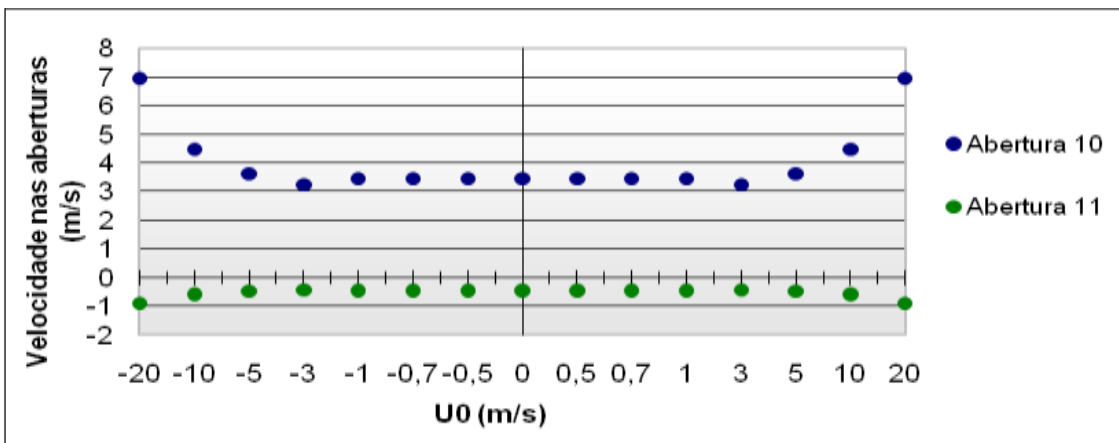
C7 – Vento Frontal com ventiladores e com aberturas na zona cinzenta

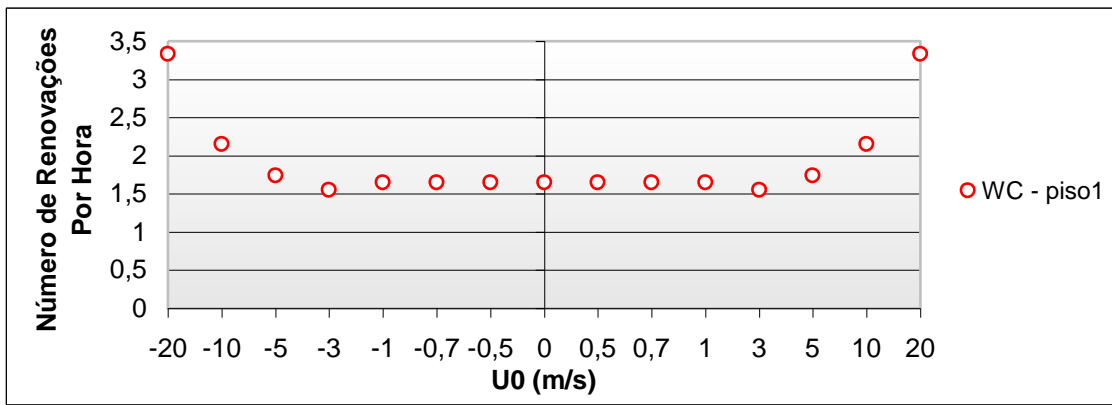
*Espaço comum piso -1-*



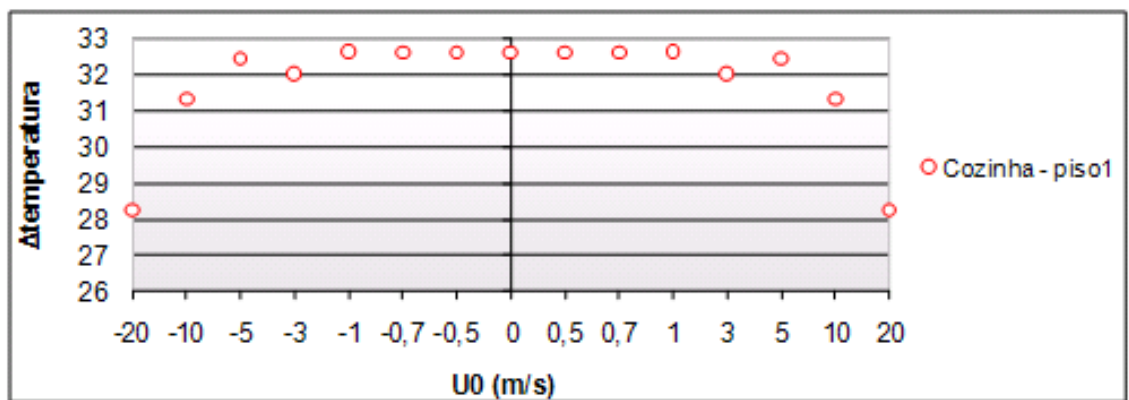
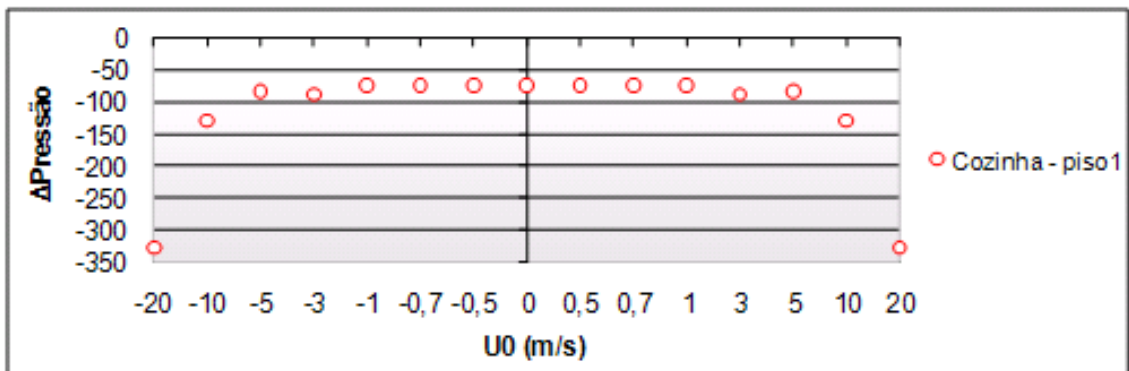
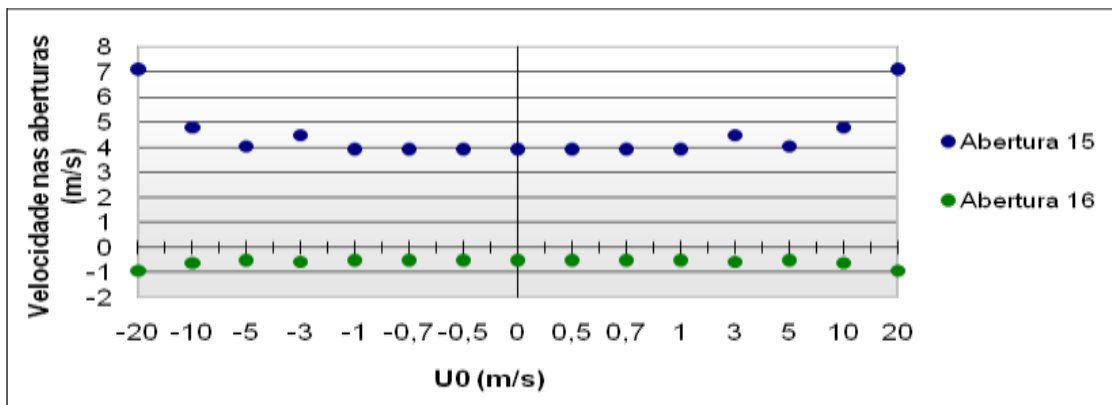


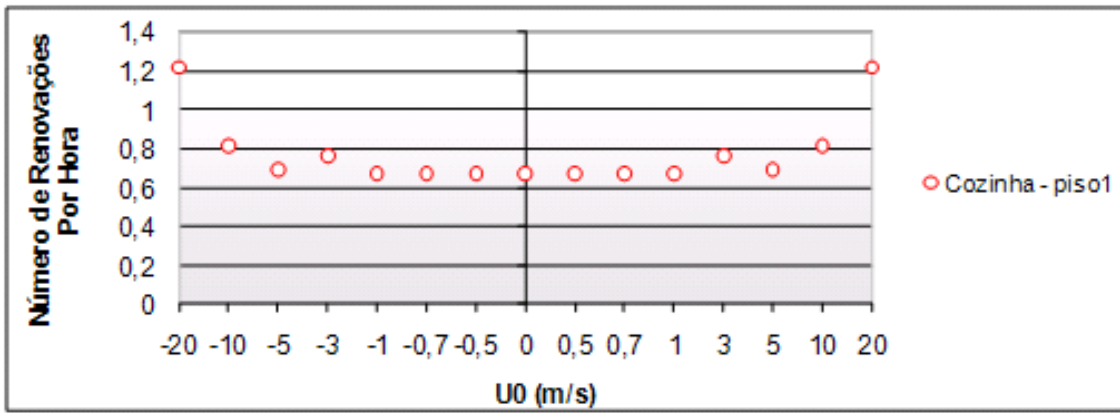
WC piso -1-



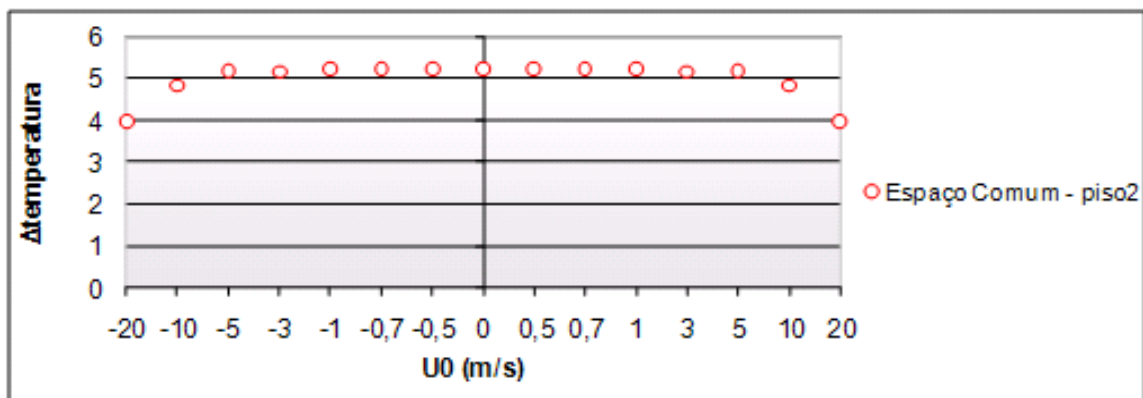
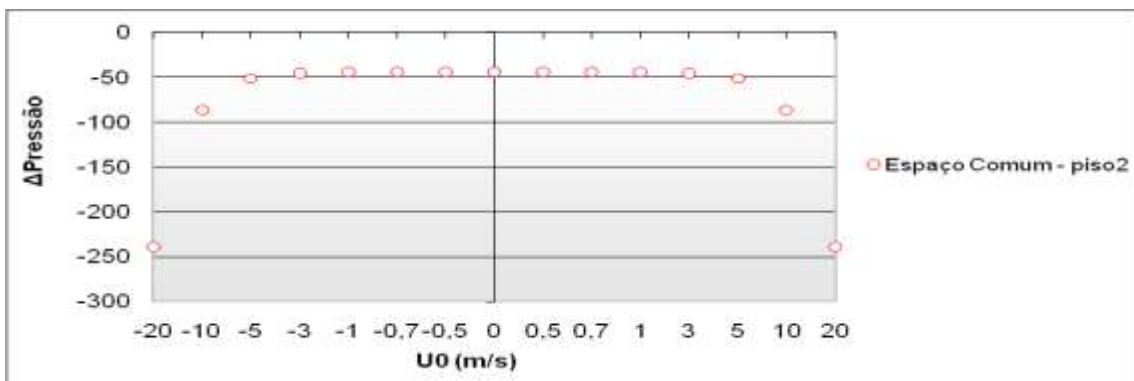
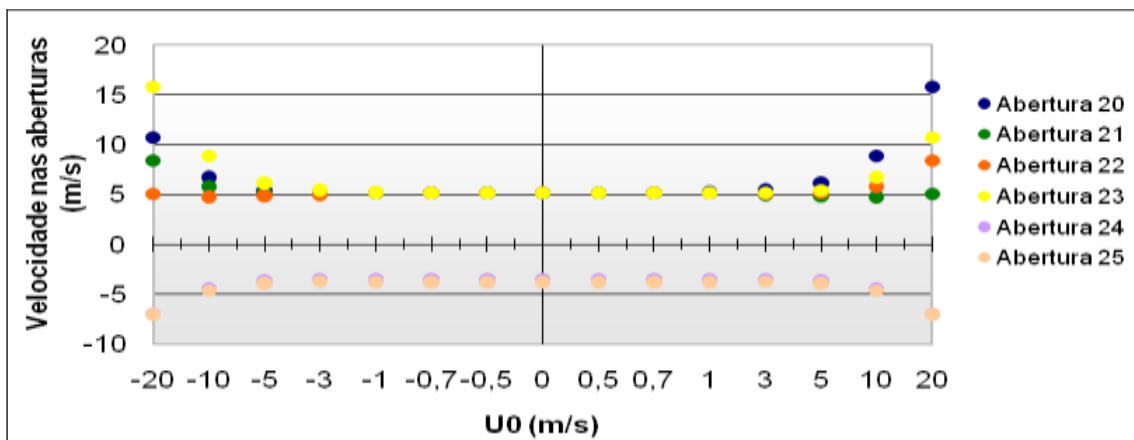


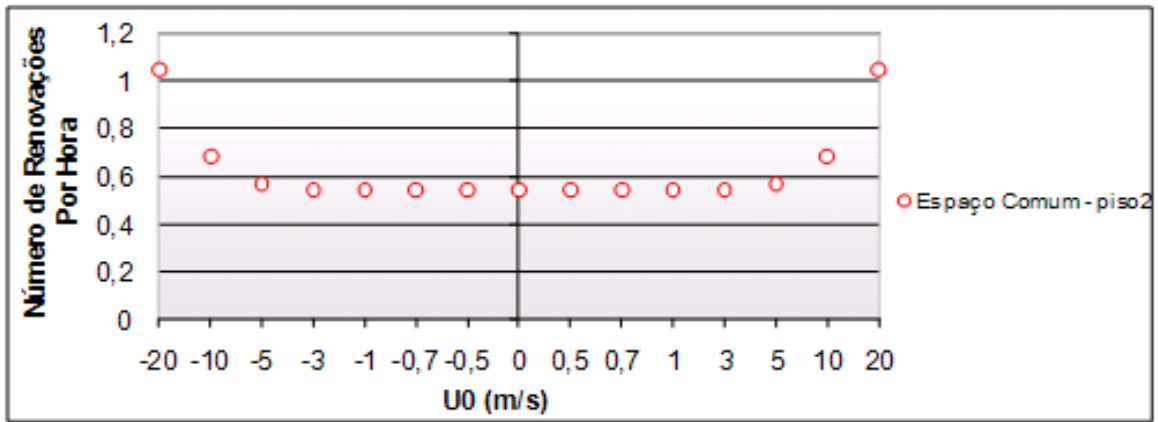
Cozinha piso -1-



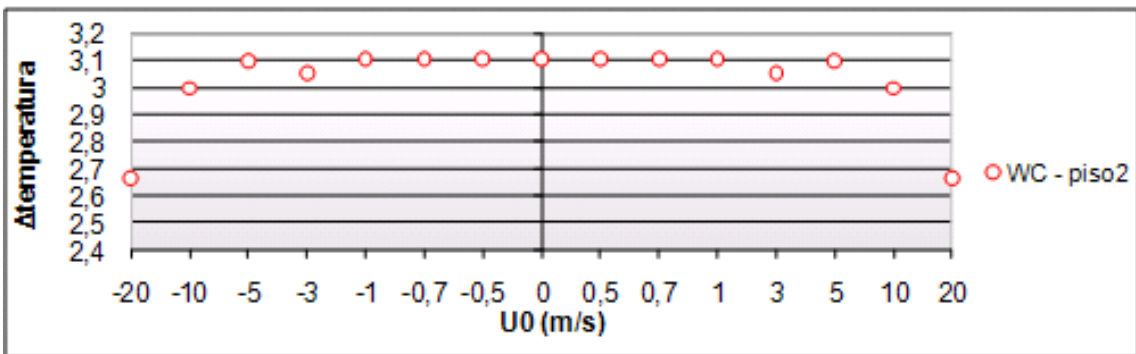
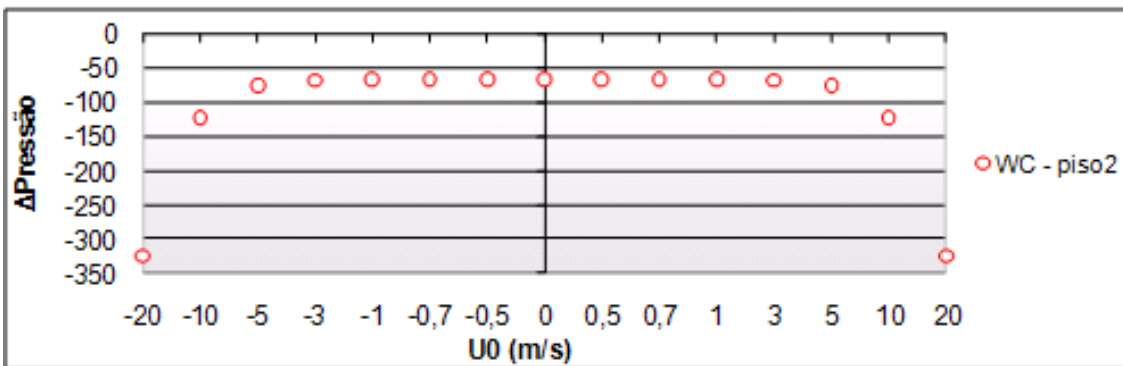
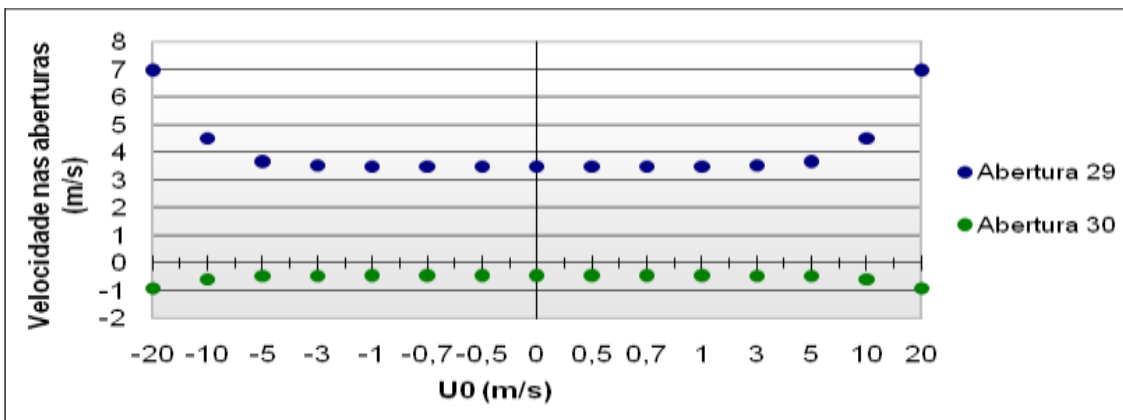


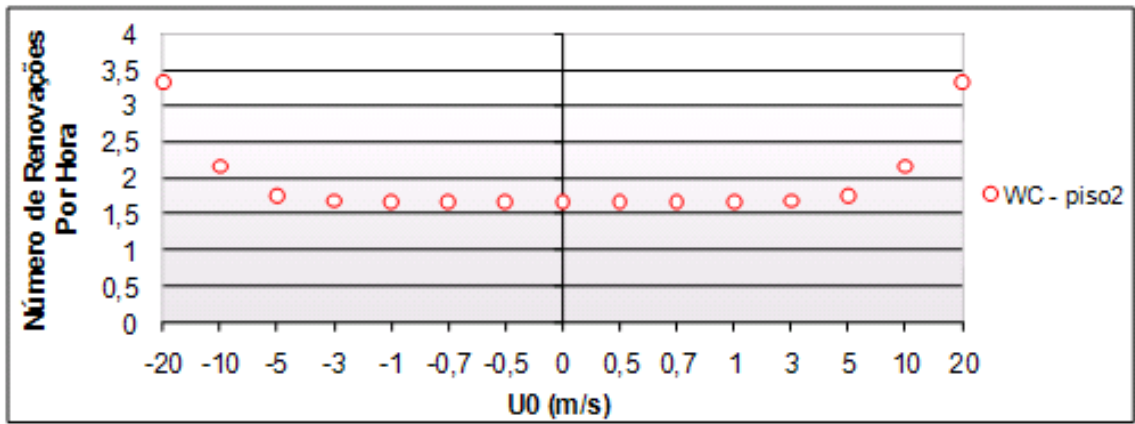
Espaço comum piso -2-



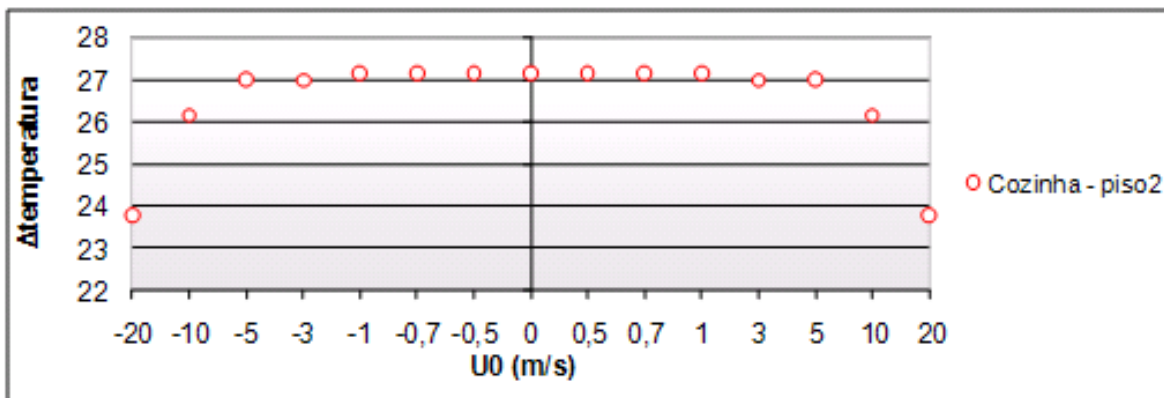
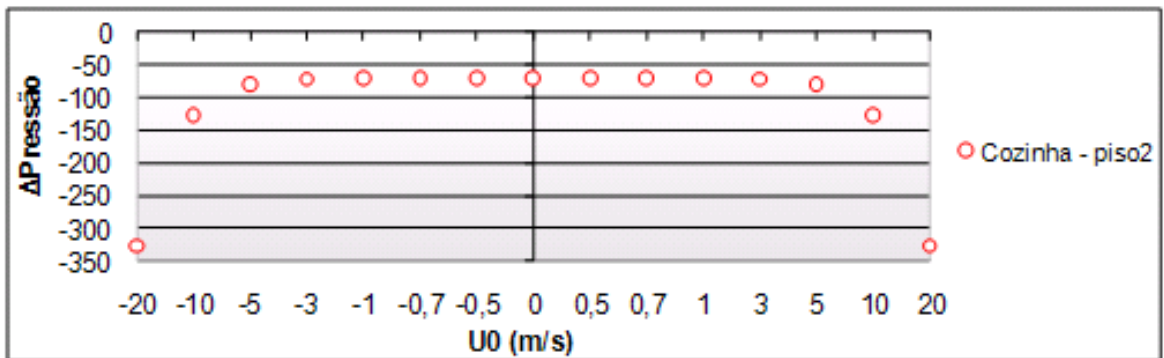
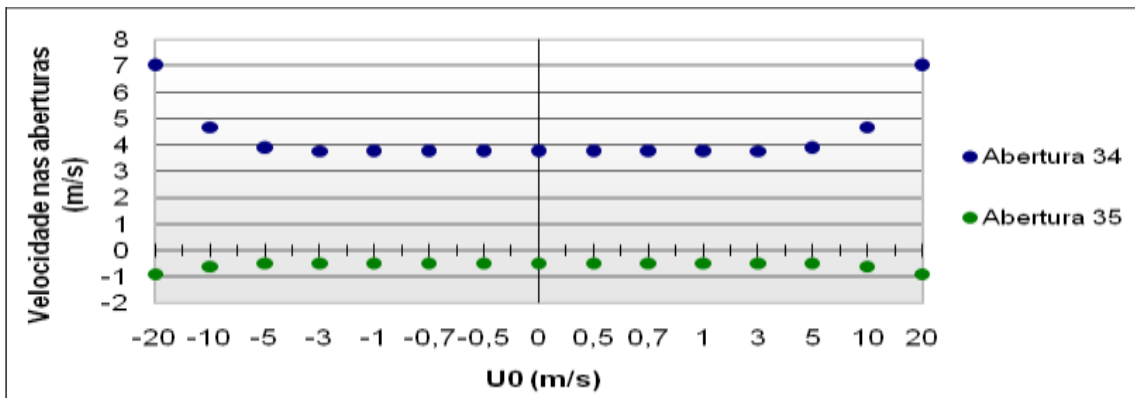


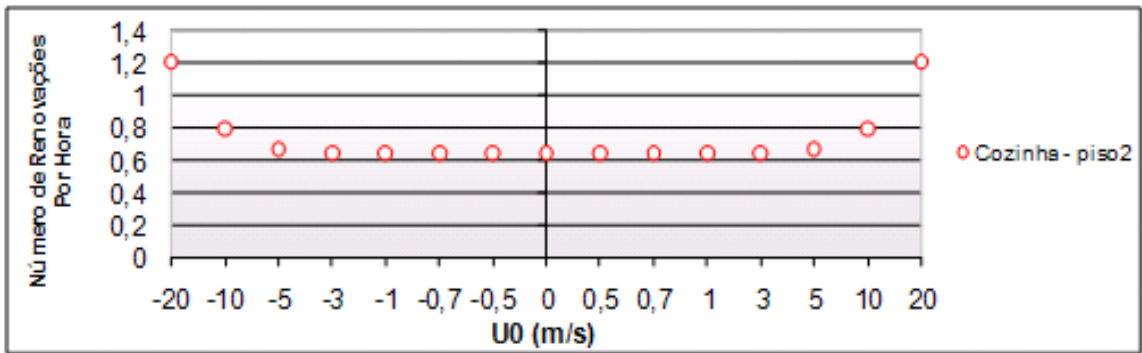
WC piso -2-



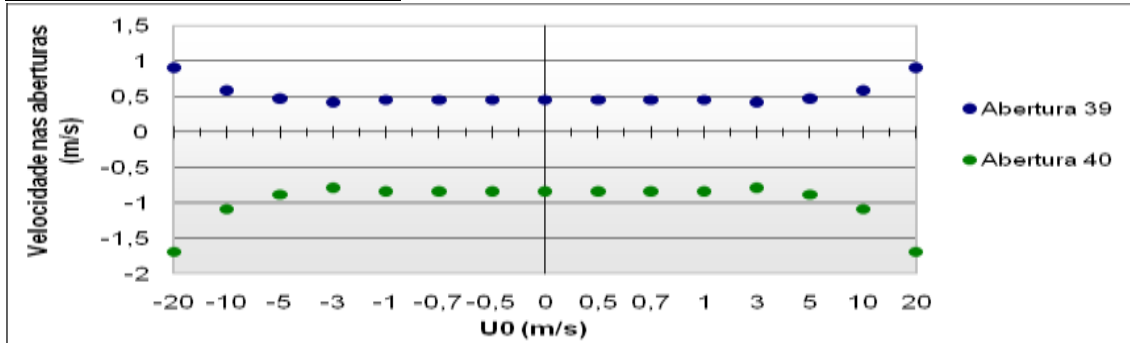


Cozinha piso -2-

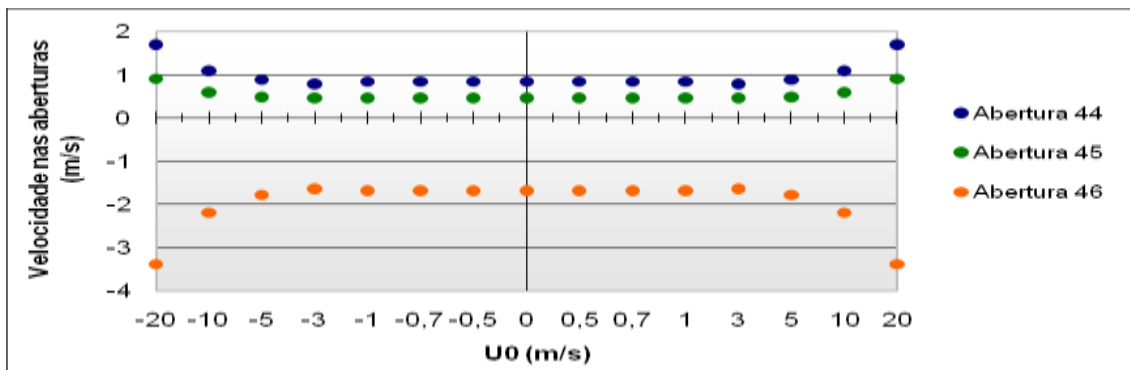




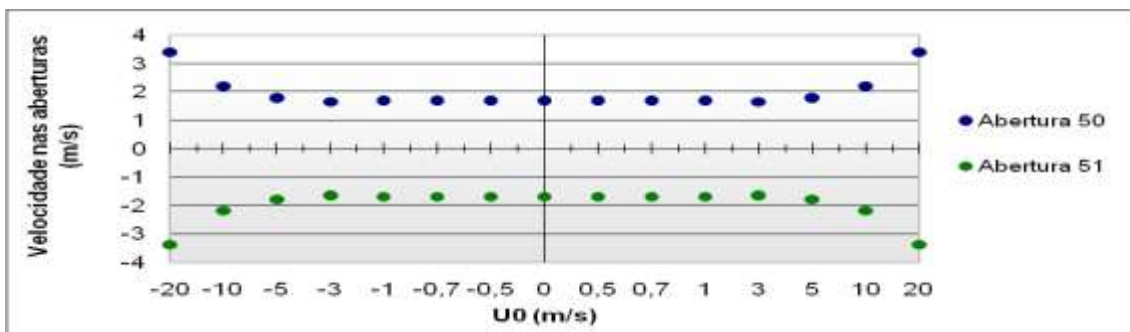
Conduta à saída do WC piso -1



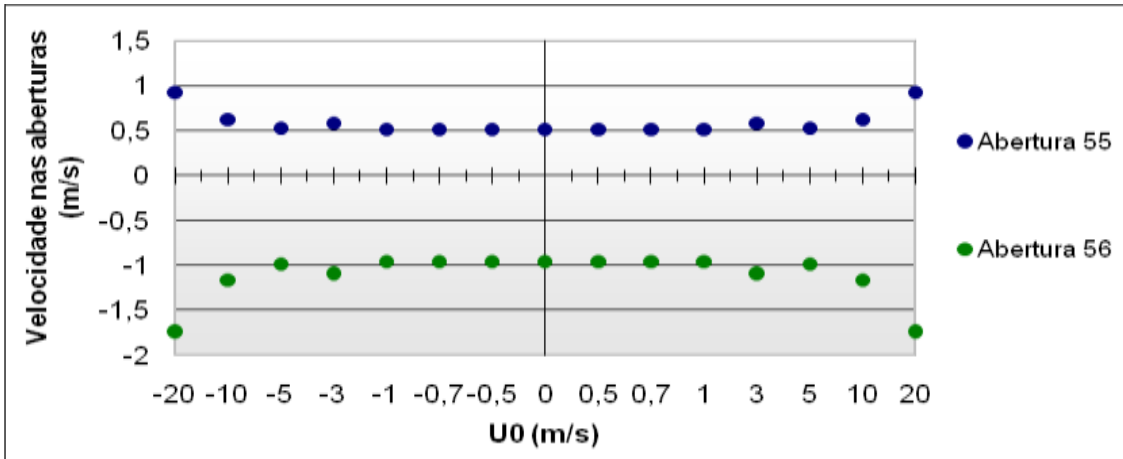
Conduta à saída do WC piso -2-



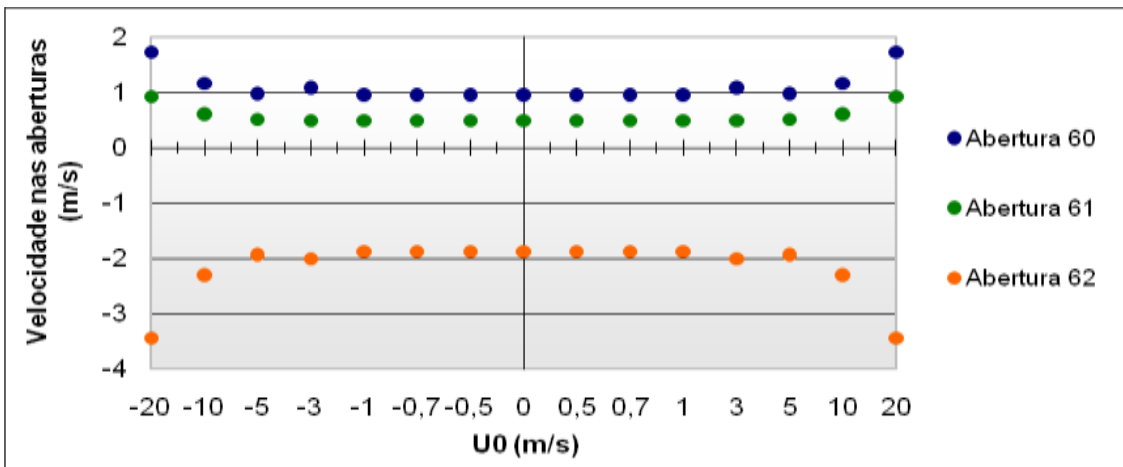
Conduta à saída do WC – chaminé



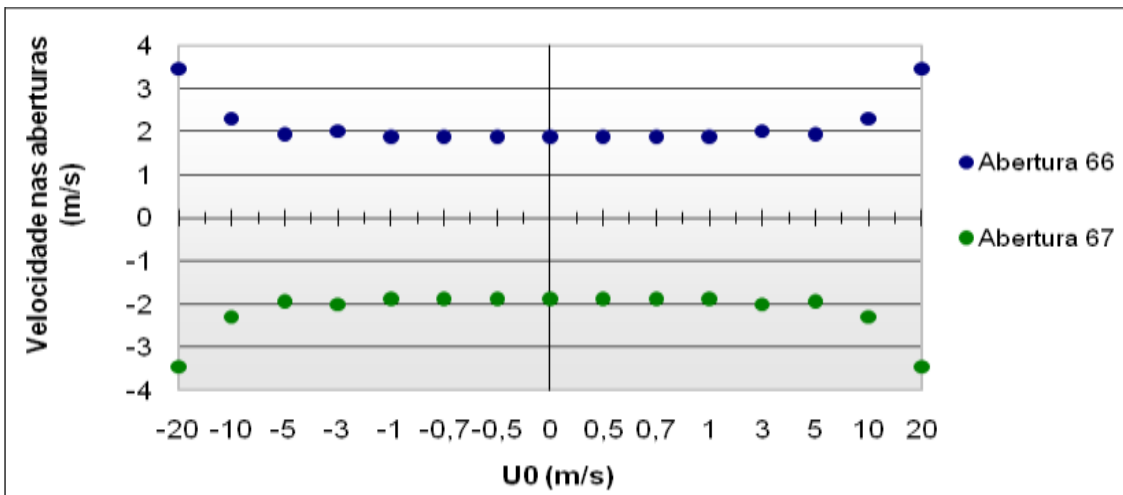
Conduta à saída do Cozinha piso -1-



Conduta à saída do Cozinha piso -2-

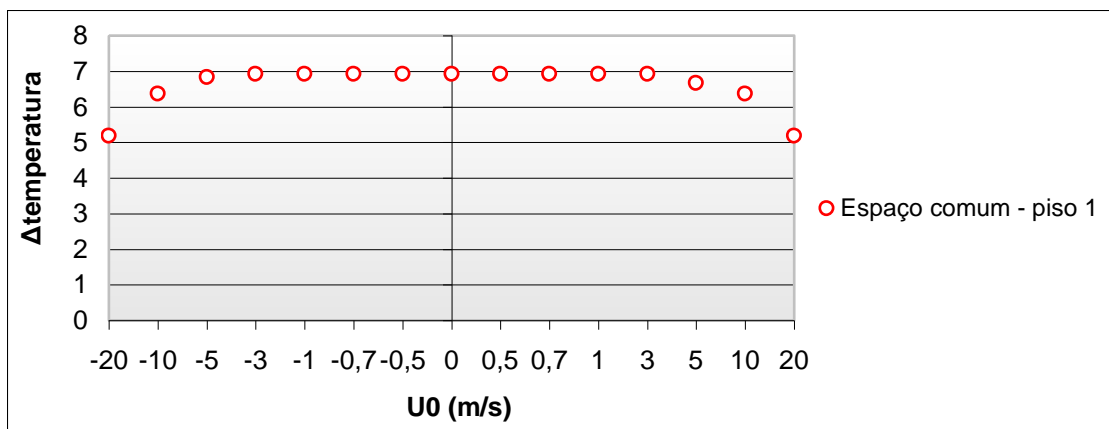
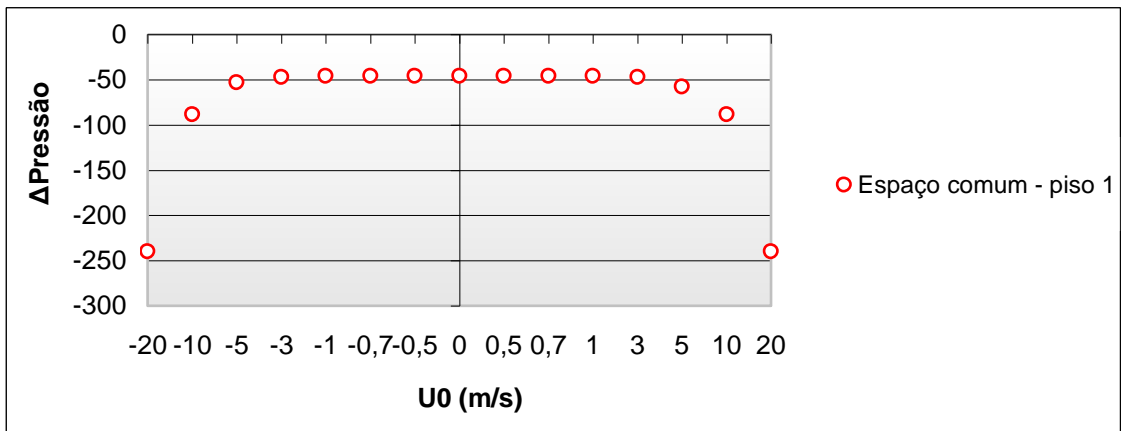
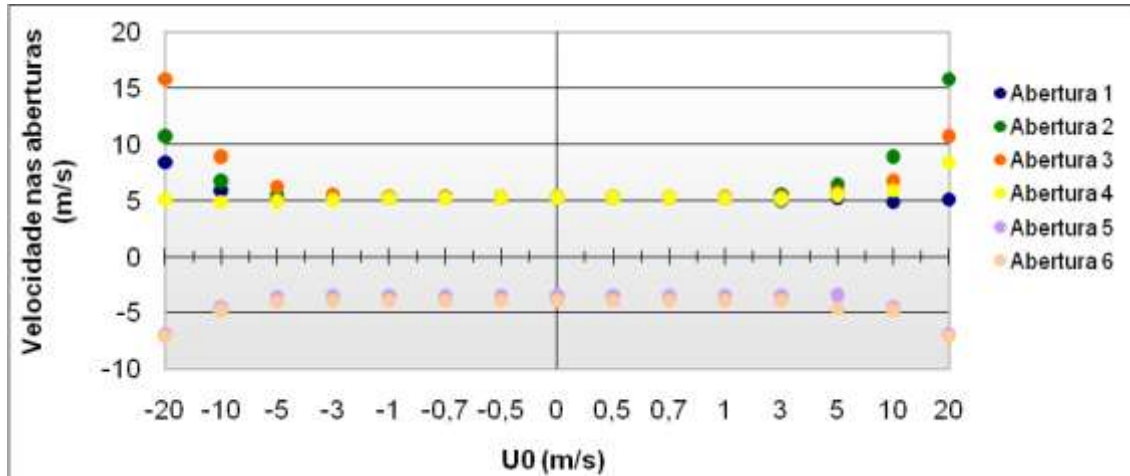


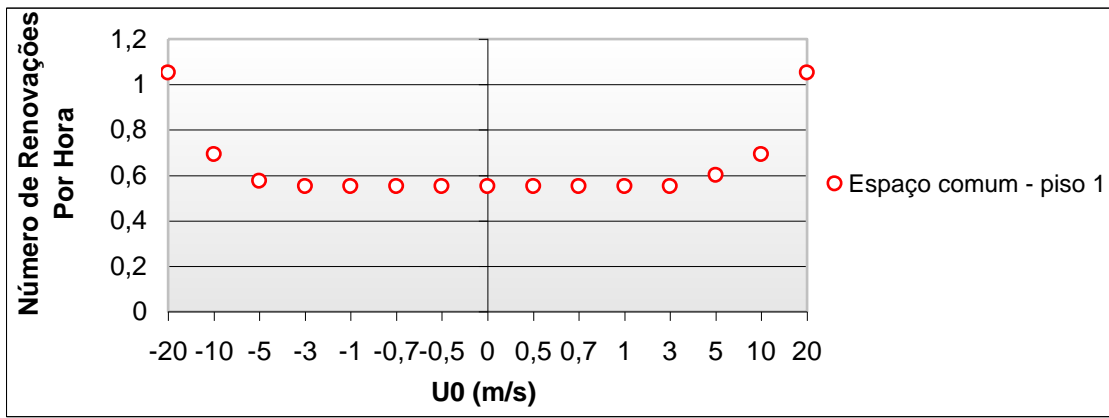
Conduta à saída do Cozinha – chaminé



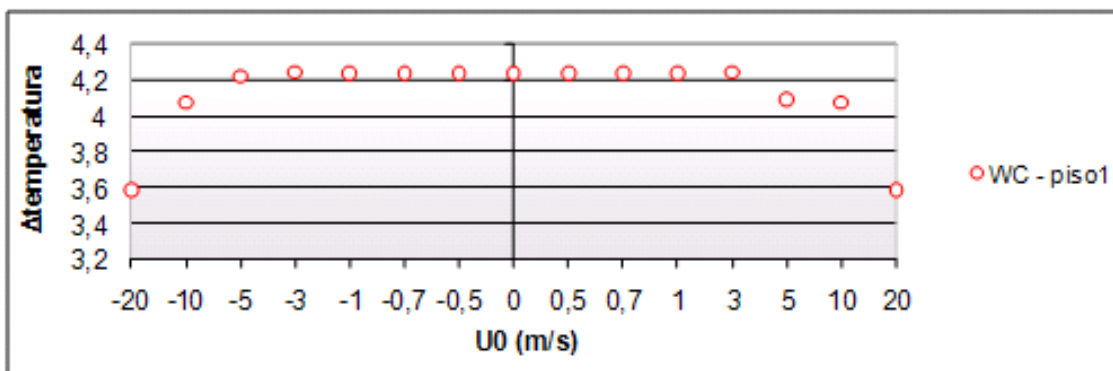
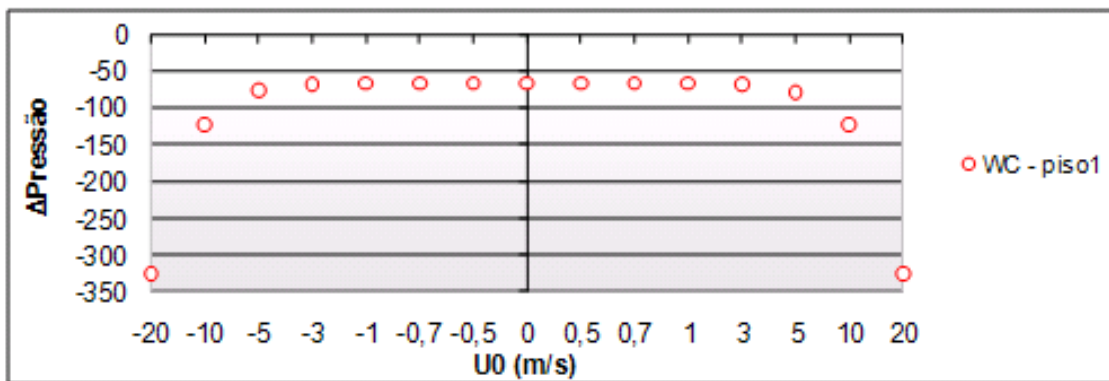
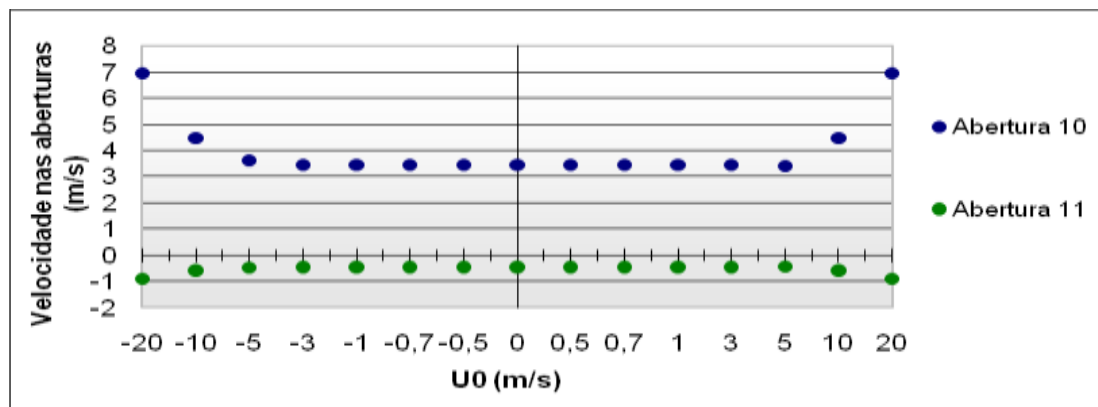
## C8 – Vento Lateral com ventiladores e com abertura na zona cinzenta

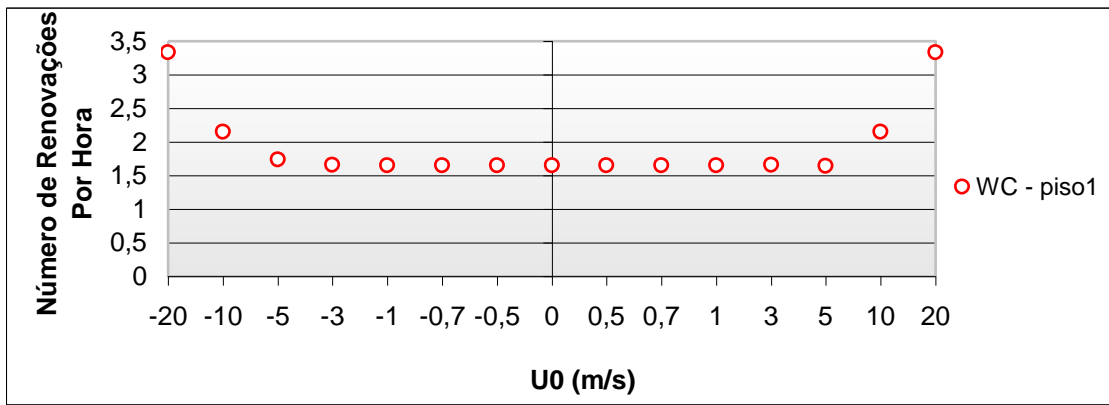
Espaço comum piso -1-



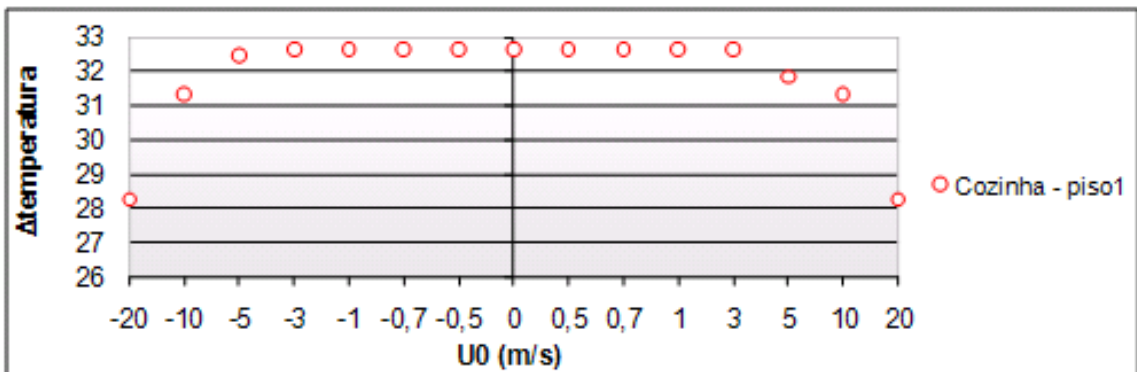
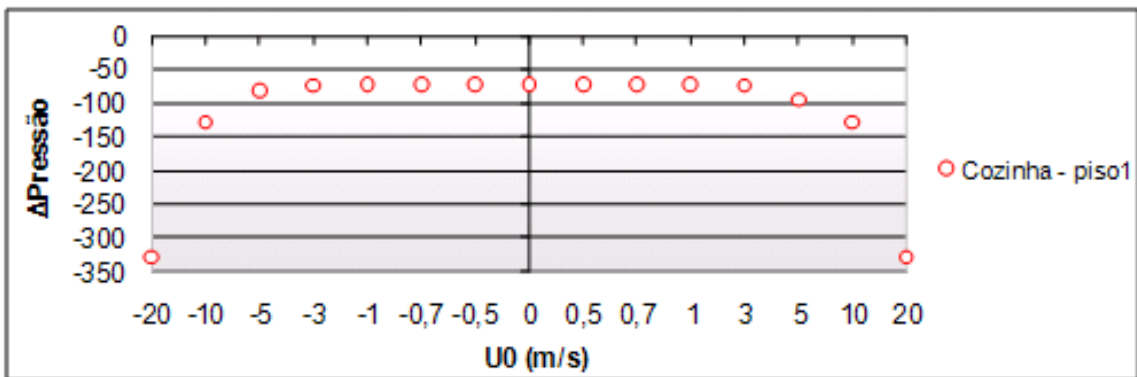
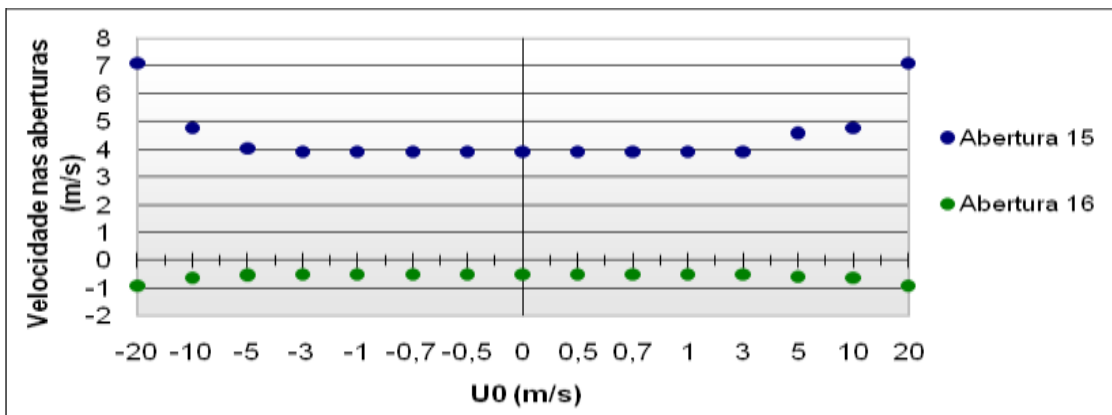


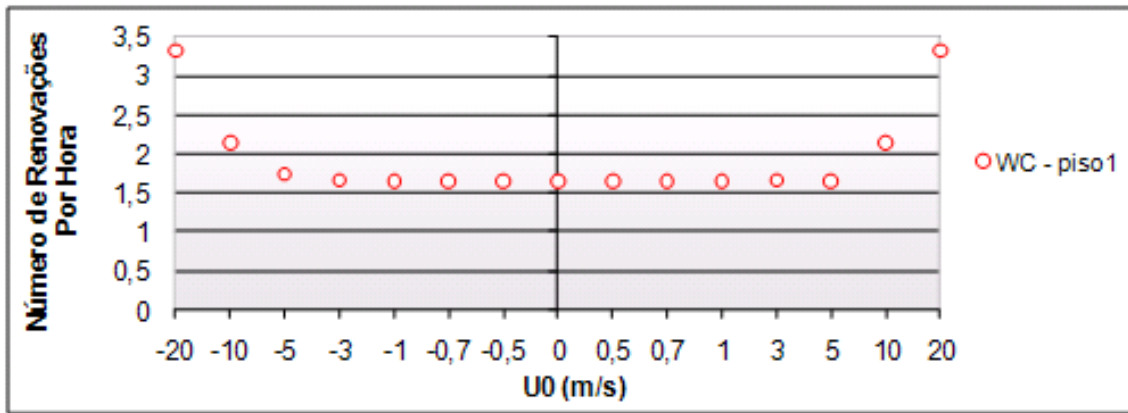
WC piso -1-



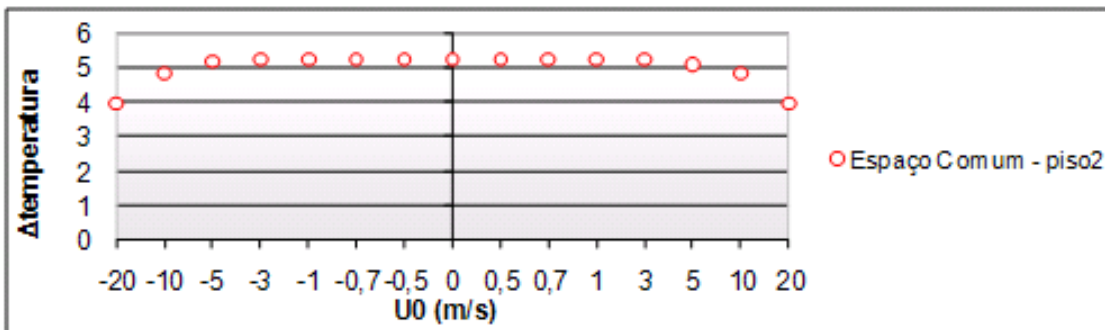
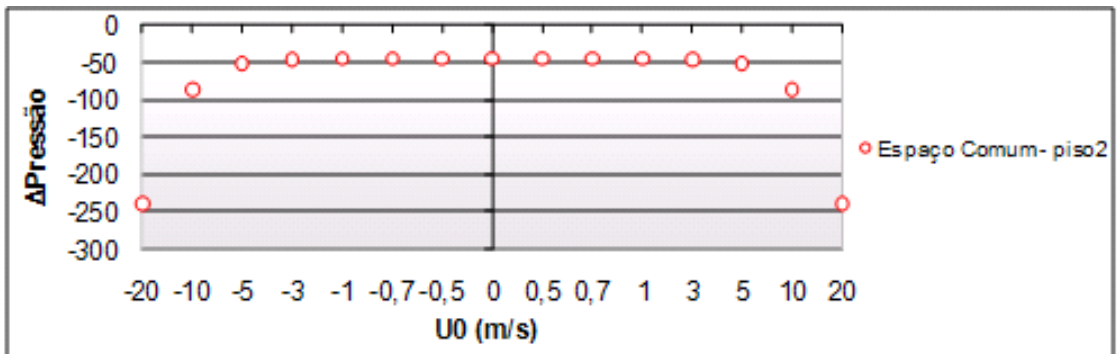
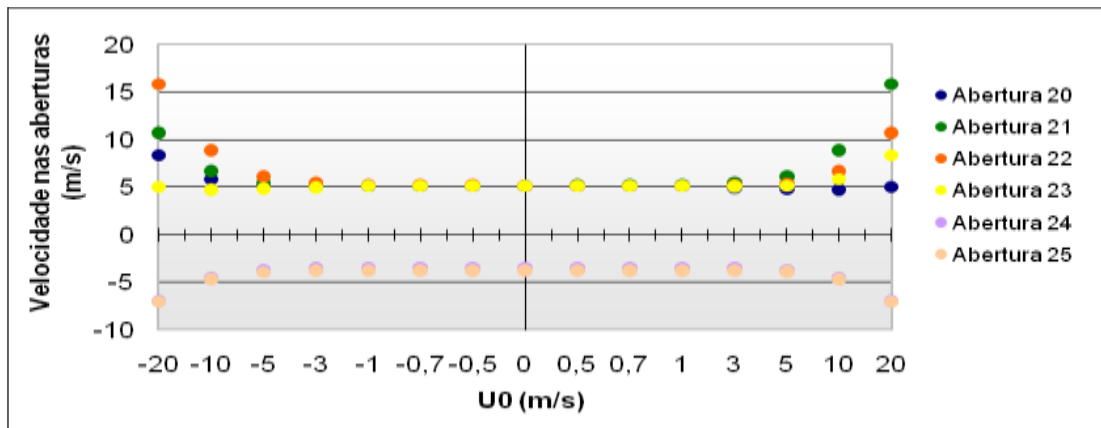


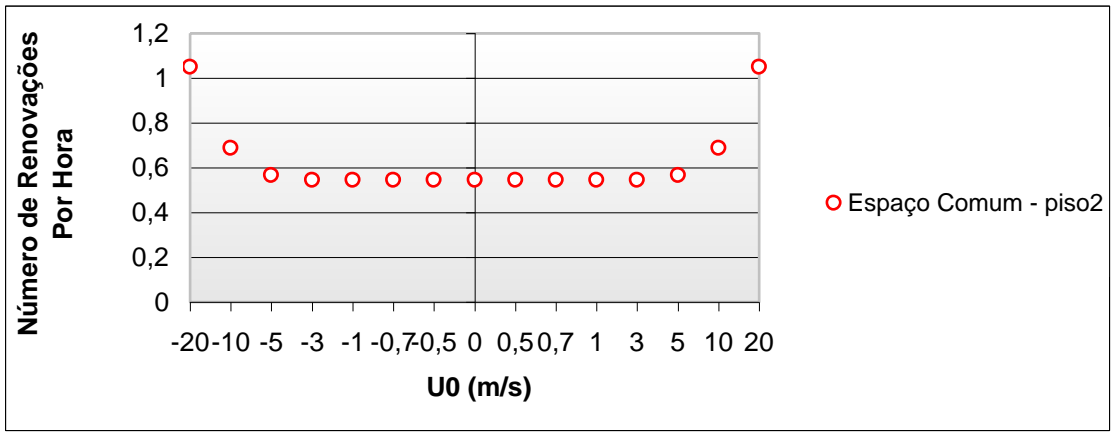
Cozinha piso -1-



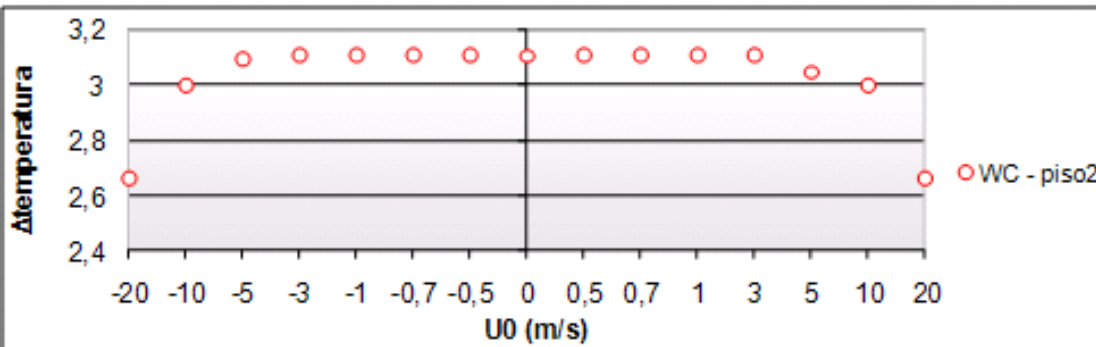
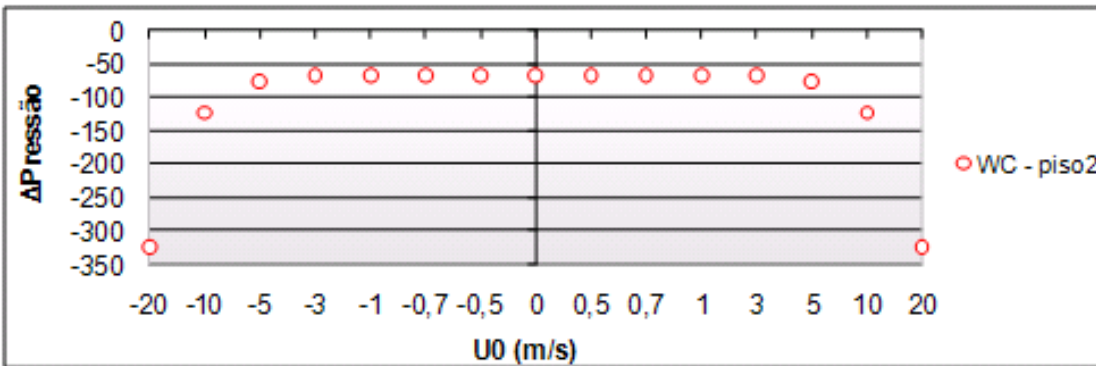
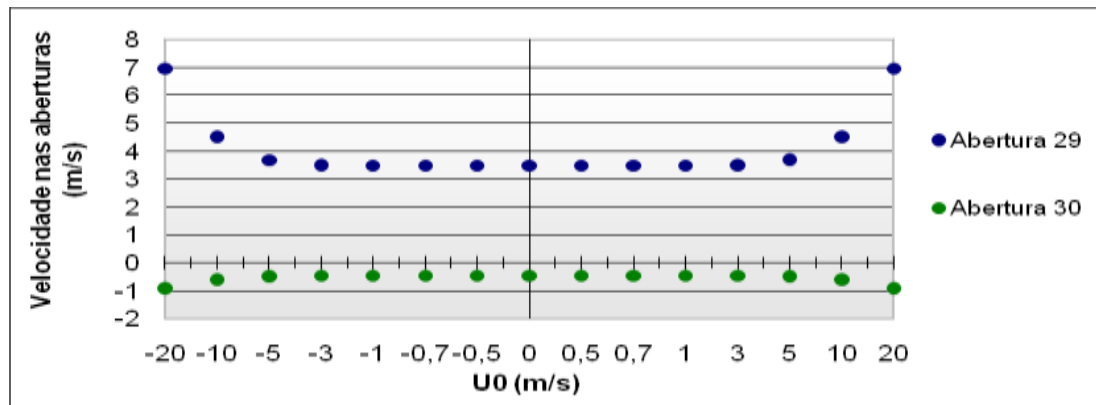


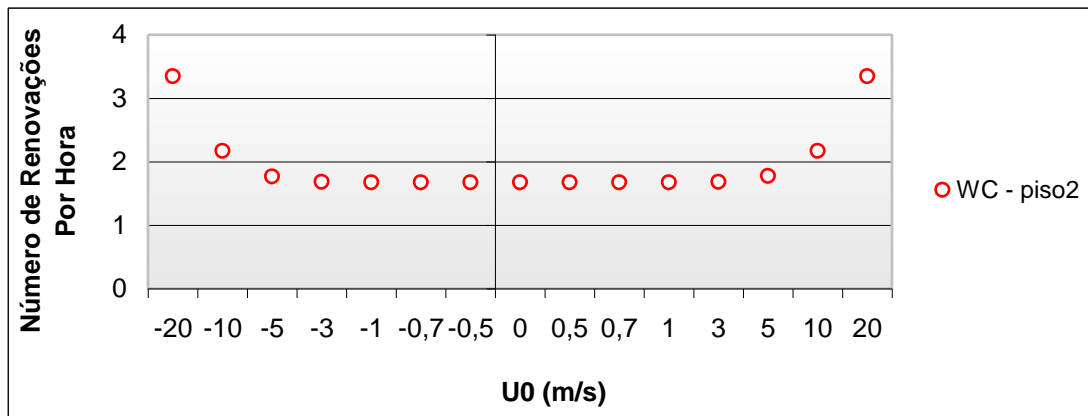
Espaço comum piso -2



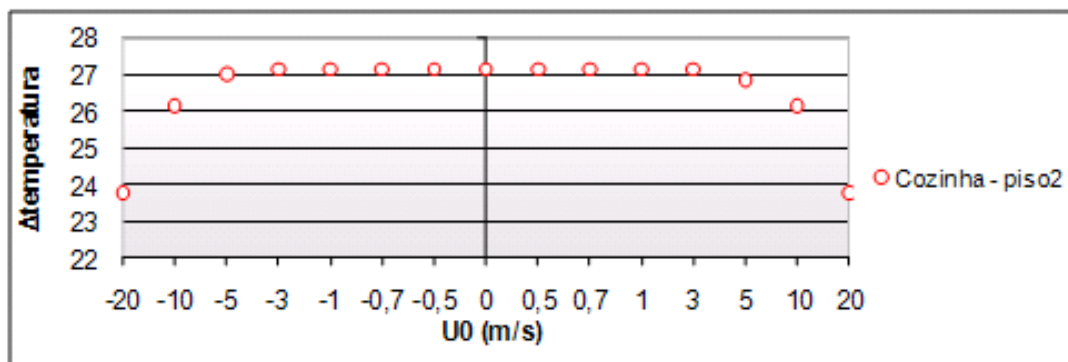
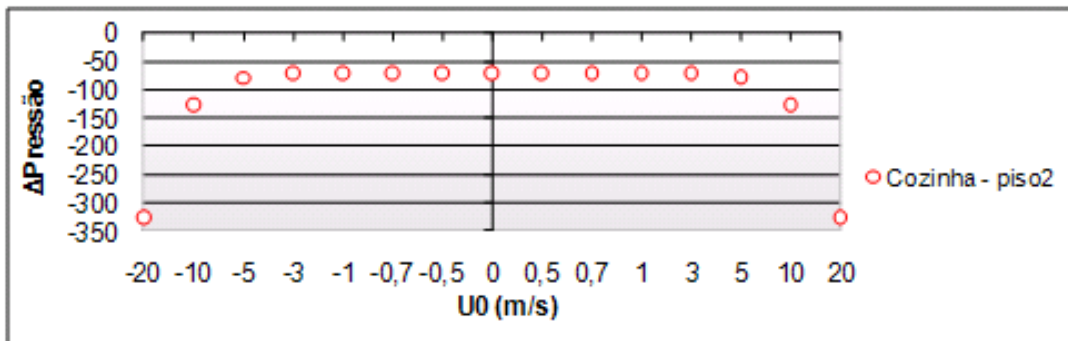
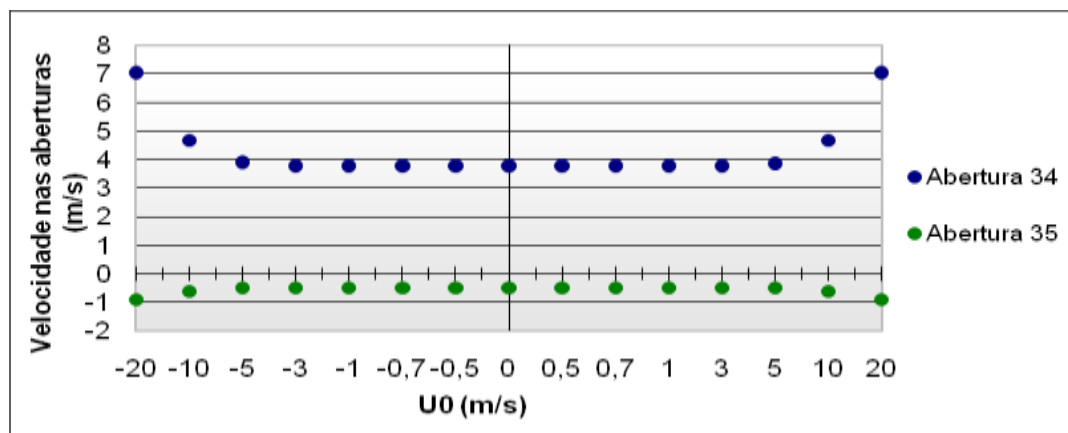


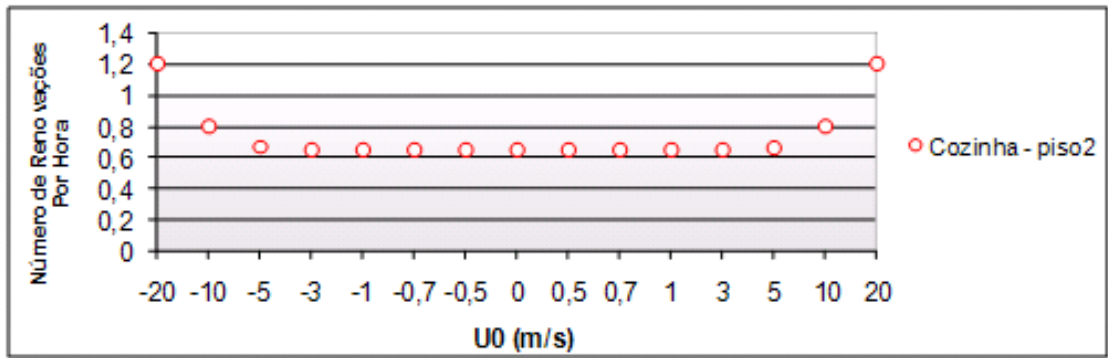
WC piso -2-



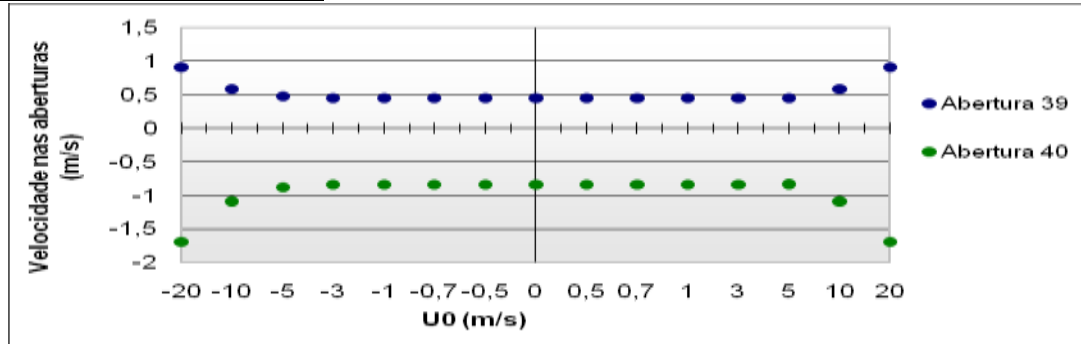


Cozinha piso -2-

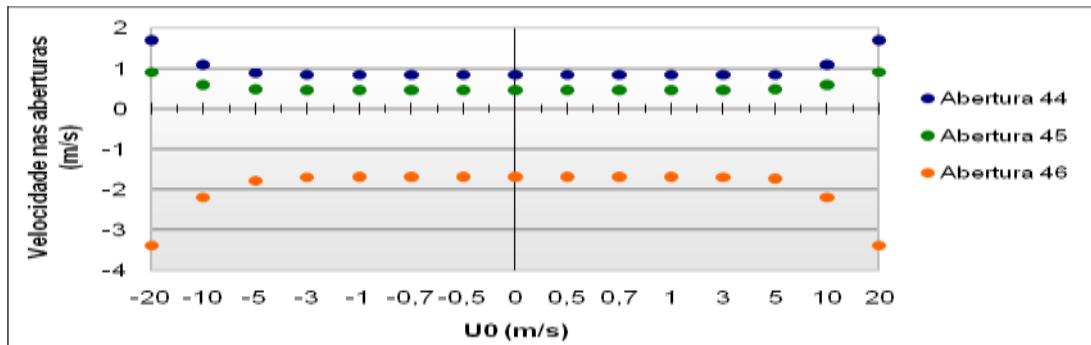




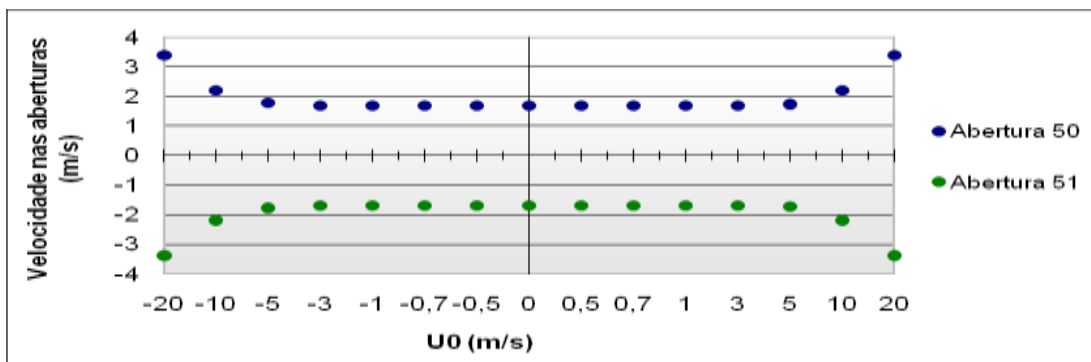
Conduta à saída do WC piso -1



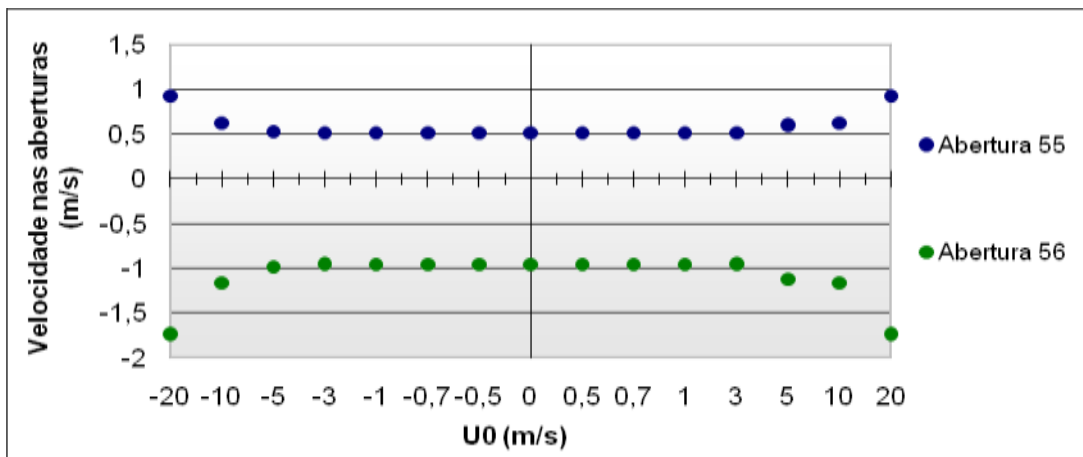
Conduta à saída do WC piso -2-



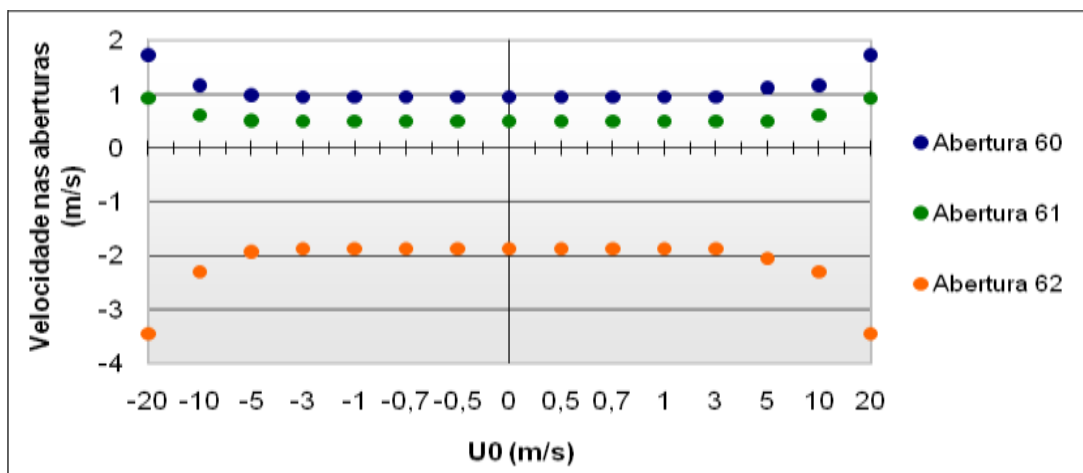
Conduta à saída do WC – chaminé



Conduta à saída do Cozinha piso -1-



Conduta à saída do Cozinha piso -2-



Conduta à saída do Cozinha – chaminé

