



MESTRADO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA E HIGIENE OCUPACIONAIS

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre
Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

UTILIZAÇÃO DE PARÂMETROS CLIMÁTICOS NA GESTÃO DA CONSTRUÇÃO EM ALTURA

Maria do Rosário Soares Teixeira

Orientador: Professor Doutor João Santos Baptista (Professor Associado) (FEUP)
Coorientador: Eng. Hélio Cavalcanti Albuquerque Neto (FEUP)
Arguente: Professor Doutor Mário de Almeida Rodrigues Talaia (Professor Auxiliar).....(UAveiro)
Presidente do Júri: Professora Doutora Maria de Lurdes Proença de Amorim Dinis (Professor Auxiliar).....(FEUP)

2013



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto PORTUGAL

VoIP/SIP: feup@fe.up.pt ISN: 3599*654

Telephone: +351 22 508 14 00 Fax: +351 22 508 14 40

URL: <http://www.fe.up.pt> Correio Electrónico: feup@fe.up.pt

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor João Batista e ao Eng. Hélio Albuquerque Neto, pela disponibilidade, paciência, ânimo e apoio que me deram. Sem eles, este trabalho não seria uma realidade.

Agradeço à Iame Bowie, ao Iame, à Tatinha, ao Dot e ao Aramis e claro, aos seus humanos!

RESUMO

A construção em altura é cada vez mais corrente. À medida que os tempos evoluem a altura dos edifícios cresce.

A produtividade na construção é influenciada por diversos fatores como o ambiente físico, a eficiência do método construtivo adotado, o incentivo salarial e um conjunto de condições de trabalho que garantem o bem-estar físico dos trabalhadores.

Assim, o ambiente térmico é um fator que influencia a produtividade dos trabalhadores da construção civil, pois, grande parte dos trabalhos da construção expõem os trabalhadores aos elementos atmosféricos.

Com o objetivo de melhorar a gestão da construção, tentou-se perceber em que medida diferentes modelos de medição da produtividade conseguem avaliar a influência das condições de ambiente térmico, em particular as resultantes da variação da velocidade do ar em altura numa obra de construção.

Foram feitos registos de parâmetros ambientais numa obra de construção de um empreendimento, localizado na primeira linha de mar em Vila Nova de Gaia, com o intuito de verificar a variação da velocidade do ar em altura, o comportamento da velocidade do ar ao longo do dia de trabalho, testar o comportamento dos modelos previsionais de produtividade desenvolvidos por Koehn & Brown (1985), Thomas e Yiakoumis (1987) e Mohamed Sherif (2002) e utilização de diversos índices de conforto, PPV-PMV, WBGT e Wind Chill.

Constatou-se que há dias em que existe uma variação significativa da temperatura e velocidade do ar e esta última varia em altura.

Os índices de conforto PPV-PMV, WBGT e Wind Chill não traduziram valores satisfatórios e expectáveis, uma vez que os parâmetros não estavam dentro da amplitude dos intervalos para validação de dados.

Os modelos de produtividade não demonstraram o constatado. Assim, a questão fica em aberto para estudos posteriores nos quais possam ser desenvolvidos novos modelos previsionais para a produtividade na construção, em função, não apenas da temperatura e da humidade, mas também da velocidade do ar, em particular em altura.

Palavras-chave: produtividade, construção de edifícios, ambiente térmico e altura.

ABSTRACT

The construction in height is more and more current. While the times evolve the height of the buildings grows.

The productivity the construction is influenced by several factors like the physical environment, the efficiency of the constructive adopted method, the wage incentive and a set of conditions of work that guarantee the physical well-being of the workers.

So, the thermal environment is a factor that influences the productivity of the workers of the civil construction, so, great part of the works of the construction expose the workers to the atmospheric elements.

With the objective to improve the management of the construction, one tried to realize at which measure different models of measurement of the productivity manage to value the influence of the conditions of thermal environment, in individual the resultant forces of the variation of the speed of the air in height in a work of construction.

They were done registers of environmental parameters in a work of construction of an undertaking, located in the first line of sea in Town Nova de Gaia, with the intention of checking the variation of the speed of the air in height, the behaviour of the speed of the air along the day of work, testing the behavior of the previsional models of productivity developed by Koehn and Brown (1985), Thomas and Yiakoumis (1987) and Mohamed Sherif (2002) and use of several rates of comfort, PPV-PMV, WBGT and Wind Chill.

It was noticed that there are days in which there is a significant variation of the temperature and speed of the air and this last newspaper commentary in height.

The rates of comfort PPV-PMV, WBGT and Wind Chill did not translate satisfactory values and expected, as soon as the parameters were not inside the amplitude of the intervals for validation of data.

The models of productivity did not demonstrate the noted. So, the question is in opened for subsequent studies in which new models could be developed for the productivity in the construction, in function, you do not punish of the temperature and of the Moisture, but also of the speed of the air, in individual in height.

Keywords: productivity, building construction, thermal environment and height.

ÍNDICE

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 | Considerações iniciais..... | 1 |
| 1.2 | Ambiente Térmico | 2 |
| 1.3 | Produtividade e Ambiente Térmico na Construção | 3 |
| 1.4 | Métodos Previsionais de Produtividade..... | 5 |
| 2 | Revisão Bibliográfica..... | 7 |
| 2.1 | Breve História do Ambiente Térmico..... | 7 |
| 2.2 | Modelos Previsionais de Produtividade..... | 10 |
| 2.2.1 | Koehn & Brown | 10 |
| 2.2.2 | Thomas e Yiakoumis | 11 |
| 2.2.3 | Mohamed & Srinavin | 11 |
| 2.3 | Enquadramento Legal e Normativo | 12 |
| 2.3.1 | Ordem Jurídica Interna | 12 |
| 2.3.2 | Normas de Referência Internacional | 13 |
| 2.4 | O Clima..... | 19 |
| 2.4.1 | Normais Climatológicas | 20 |
| 2.4.2 | O Vento | 21 |
| 3 | OBJETIVOS, MATERIAIS E MÉTODOS..... | 23 |
| 3.1 | Objetivos da Dissertação | 23 |
| 3.2 | Metodologia | 23 |
| 3.2.1 | Procedimentos Metodológicos Globais..... | 23 |
| 3.3 | Referenciais Tecnológicos e de Contexto..... | 23 |
| 3.3.1 | Descrição da Obra | 23 |
| 3.4 | Recolha de Dados | 28 |
| 3.5 | Meios Utilizados na Medição e no Tratamento dos Resultados..... | 29 |
| 3.5.1 | Anemómetro WL1 | 29 |
| 3.5.2 | BABUC A – BSA10..... | 29 |
| 3.5.3 | InfoGAP | 30 |
| 3.5.4 | Folha de Cálculo para a obtenção do PMV | 30 |
| 3.6 | Recolha de dados | 31 |
| 3.6.1 | Medições..... | 31 |
| 3.7 | Localização dos Equipamentos de Recolha de Dados..... | 32 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.7.1 | Primeira Medição | 32 |
| 3.7.2 | Segunda Medição | 32 |
| 3.7.3 | Terceira Medição..... | 33 |
| 3.7.4 | Quarta Medição | 34 |
| 3.7.5 | Quinta Medição | 34 |
| 3.7.6 | Sexta e Sétima Medições..... | 34 |
| 3.8 | Condições Atmosféricas Durante os Períodos das Medições..... | 35 |
| 3.8.1 | O Wind Guru..... | 35 |
| 3.9 | Dados Obtidos | 36 |
| 3.9.1 | Parâmetros adotados..... | 36 |
| 4 | RESULTADOS e DISCUSSÃO | 39 |
| 4.1 | Resultados das medições | 39 |
| 4.2 | Tratamento e análise de resultados..... | 41 |
| 4.3 | Tendências verificadas | 41 |
| 4.3.1 | Variação da temperatura do ar e da humidade relativa | 41 |
| 4.3.2 | Variação da velocidade do ar | 43 |
| 4.4 | Wind Chill | 45 |
| 4.5 | PMV..... | 50 |
| 4.6 | Modelos de Produtividade | 54 |
| 4.6.1 | Modelo de Mohamed and Srinavin | 55 |
| 4.6.2 | Modelo de Koehn & Brown..... | 60 |
| 4.6.3 | Modelo de Thomas e Yiakoumis | 60 |
| 4.6.4 | Variação dos modelos de produtividade ao longo dos dias | 65 |
| 5 | CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS | 69 |
| 5.1 | Conclusões..... | 69 |
| 5.2 | Perspetivas Futuras | 70 |
| 6 | BIBLIOGRAFIA | 71 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - PPD em função do PMV..... | 15 |
| Figura 2 - Curvas de valores de referência do WBGT, para vários ciclos de trabalho/descanso | 17 |
| Figura 3 – Valores do Wind Chill. | 19 |
| Figura 4 - Classificação climática de Köppen-Geiger em Portugal Continental para o período 1971-2000..... | 20 |
| Figura 5 - Classificação climática de Köppen-Geiger na Península Ibérica e Ilhas Baleares. | 21 |
| Figura 6 - Representação esquemática de uma brisa marítima. | 22 |
| Figura 7 – Metodologia. | 24 |
| Figura 8 – Vista a 3D do empreendimento..... | 25 |
| Figura 9 – Divisão do bloco A. | 25 |
| Figura 10 – Localização do empreendimento..... | 26 |
| Figura 11 – Vista geral da obra na altura de redolha dos dados..... | 26 |
| Figura 12 – Vista geral sobre o bloco A..... | 27 |
| Figura 13 – Vista geral sobre o bloco B. | 27 |
| Figura 14 – Vista sobre o local de implantação da terceira fase. | 28 |
| Figura 15 – Anemómetro PCE – WL1 | 29 |
| Figura 16 – Babuc A – BSA10..... | 30 |
| Figura 17 – Localização dos aparelhos de medições – Vista sul..... | 31 |
| Figura 18 – Localização dos aparelhos de medições – Vista poente..... | 31 |
| Figura 19 – Valores da Ta e Hr no dia 1. | 32 |
| Figura 20 - Planta de localização dos aparelhos no dia 3..... | 33 |
| Figura 21 – Valores da velocidade do ar, no dia 3. | 34 |
| Figura 22 – Localização da obra e do Spot Wind Guru. | 35 |
| Figura 23 – Temperatura do ar (Ta) e humidade relativa (Hr) no dia 20 de agosto de 2013. | 40 |
| Figura 24 - Velocidade do ar (Va) no dia 20 de agosto de 2013..... | 40 |
| Figura 25 – Variação temperatura do ar (Ta) ao longo dos dias. | 42 |
| Figura 26 – Variação humidade relativa (Hr) ao longo dos dias..... | 42 |
| Figura 27 – Variação velocidade do ar (Va) ao longo dos dias..... | 43 |
| Figura 28 – Variação velocidade do ar (Va) no bloco A..... | 44 |
| Figura 29 – Variação velocidade do ar (Va) no bloco A, por piso..... | 44 |
| Figura 30 – Variação do Wind Chill no dia 1. | 46 |
| Figura 31 – Variação do Wind Chill no dia 2. | 46 |
| Figura 32 – Variação do Wind Chill no dia 3. | 47 |

| | |
|---|----|
| Figura 33 – Variação do Wind Chill no dia 4. | 48 |
| Figura 34 – Variação do Wind Chill no dia 5. | 48 |
| Figura 35 – Variação do Wind Chill no dia 6. | 49 |
| Figura 36 – Variação do Wind Chill no dia 7. | 49 |
| Figura 37 - Variação do Índice PMV no dia 1. | 50 |
| Figura 38 - Variação do Índice PMV no dia 2. | 51 |
| Figura 39 - Variação do Índice PMV no dia 3. | 52 |
| Figura 40 - Variação do Índice PMV no dia 4. | 52 |
| Figura 41 - Variação do Índice PMV no dia 5. | 53 |
| Figura 42 - Variação do Índice PMV no dia 6. | 53 |
| Figura 43 - Variação do Índice PMV no dia 7. | 54 |
| Figura 44 – Variação da Produtividade, no dia 1, segundo o modelo de Mohamed and Srinavin. | 56 |
| Figura 45 - Variação da Produtividade, no dia 2, segundo o modelo de Mohamed and Srinavin. | 57 |
| Figura 46 - Variação da Produtividade, no dia 3, segundo o modelo de Mohamed and Srinavin. | 57 |
| Figura 47 - Variação da Produtividade, no dia 4, segundo o modelo de Mohamed and Srinavin. | 58 |
| Figura 48 - Variação da Produtividade, no dia 5, segundo o modelo de Mohamed and Srinavin. | 58 |
| Figura 49 - Variação da Produtividade, no dia 6, segundo o modelo de Mohamed and Srinavin. | 59 |
| Figura 50 - Variação da Produtividade, no dia 7, segundo o modelo de Mohamed and Srinavin. | 59 |
| Figura 51 - Variação da Produtividade, no dia 1, segundo os modelos de Koehn and Brown e Thomas and Yiakoumis. | 61 |
| Figura 52 - Variação da Produtividade, no dia 2, segundo os modelos de Koehn and Brown e Thomas and Yiakoumis. | 61 |
| Figura 53- Variação da Produtividade, no dia 3, segundo os modelos de Koehn and Brown e Thomas and Yiakoumis. | 62 |
| Figura 54- Variação da Produtividade, no dia 4, segundo os modelos de Koehn and Brown e Thomas and Yiakoumis. | 63 |
| Figura 55- Variação da Produtividade, no dia 5, segundo os modelos de Koehn and Brown e Thomas and Yiakoumis. | 64 |
| Figura 56- Variação da Produtividade, no dia 6, segundo os modelos de Koehn and Brown e Thomas and Yiakoumis. | 64 |
| Figura 57 - Variação da Produtividade, no dia 7, segundo os modelos de Koehn and Brown e Thomas and Yiakoumis. | 65 |

| | |
|---|----|
| Figura 58 – Variação do modelo de Koehn and Brown ao longo dos dias. | 66 |
| Figura 59 - Variação do modelo de Thomas and Yiakoumis, às 12h e 13h, ao longo dos dias. | 66 |
| Figura 60 - Variação do modelo de Mohamed and Srinavin, para tarefas leves, ao longo dos dias..... | 67 |
| Figura 61 - Variação do modelo de Mohamed and Srinavin, para tarefas moderadas, ao longo dos dias. | 67 |
| Figura 62 - Variação do modelo de Mohamed and Srinavin, para tarefas pesadas, ao longo dos dias. | 68 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Escala de sete pontos de sensação térmica | 14 |
| Tabela 2 - Categorias de ambiente térmico | 15 |
| Tabela 3 - Valores de referência, em função da atividade desempenhada..... | 16 |
| Tabela 4 – Valores do Wind Chill..... | 18 |
| Tabela 5 – Valores do Wind Chill..... | 19 |
| Tabela 6 – Dados meteorológicos do Wind Guru. | 36 |
| Tabela 7 - Dados e respetiva gama de valores obtida através das medições..... | 36 |
| Tabela 8 – Parâmetros Ambientais do primeiro dia. | 39 |
| Tabela 9 – Valores do Wind Guru..... | 41 |

ABREVIATURAS

| | |
|--------|---|
| WBGT | Wet Bulb Globe Temperature |
| ISO | Organização Internacional de Normalização |
| PMV | Predicted Mean Vote / Voto Médio Previsível |
| Ta | Temperatura do ar |
| Hr | Humidade relativa |
| P | Produtividade |
| OIT | Organização Internacional do Trabalho |
| CEE | Comunidade Económica Europeia |
| ASHRAE | American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers |
| PPD | Percentagem Previsível de Insatisfeitos |
| PMV | Voto Médio Previsível |
| M | Metabolismo |
| WBGT | Índice Temperatura de Bolbo Húmido |
| Tnw | Temperatura de bolbo húmido |
| Tg | Temperatura de globo (média radiante) |
| Ts | Temperatura seca do ar |
| Te | Temperatura efetiva |
| Tnd | Temperatura de bolbo seco |
| Va | Velocidade do ar |
| Tec | Temperatura efetiva corrigida |
| To | Temperatura operativa |
| Swreq | Índice de taxa de suor requerida |
| IPMA | Instituto Português do Mar e da Atmosfera |
| Tr | Temperatura radiante |
| Hr | Humidade relativa |
| Ta | Temperatura do ar |

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

O objetivo último de qualquer empresa de construção é a obtenção de proveitos concretizando obras. Para tal, é fundamental o controle eficiente dos recursos, tais como, mão-de-obra, materiais, equipamentos, subcontratos e capital.

Assim, a gestão eficiente de uma obra reside em construir com segurança, dentro do prazo estipulado, com o menor custo e tendo sempre em consideração os critérios ambientais, de qualidade e de gestão territorial. No entanto, a gestão da qualidade, segurança, ambiente, custos e prazos é demasiado complexa, uma vez que, há uma interligação entre esses critérios. Consoante o tipo de obra, pode haver um ou mais critérios predominantes, sendo que devam continuar a ser todos ponderados, para que os níveis mínimos de exigência sejam obtidos.

Um dos fatores de suma importância para a rentabilidade de um edifício em construção, é a gestão da produtividade. Segundo Santos (1999), a produtividade é a capacidade de minimizar cientificamente o uso de recursos materiais, mão-de-obra, máquinas, equipamentos etc., para reduzir custos de produção, expandir mercados, aumentar o número de empregados, lutar por aumentos reais de salários e pela melhoria do padrão de vida, no interesse comum do capital, do trabalho e dos consumidores.

Dado o caráter da indústria da construção, a diversidade de tarefas e cunho súbito, existe um entrave ao desenvolvimento de ideias e planos para o alcance da qualidade de serviços e produtos. Um fator significativo para o alcance de bons níveis de produtividade e qualidade é a melhoria das condições de trabalho.

Neste sentido, emerge a importância que o ambiente físico desempenha na produtividade dos trabalhadores, pois Vasconcelos (2001) evidencia que o ambiente é o local onde irão germinar as sementes da boa convivência, onde proliferarão boas ideias, e onde o crescimento mútuo acontecerá naturalmente. Paralelamente a esse fato, Chiavenato (2004) afirma que a eficiência do processo produtivo não depende somente do método de trabalho adotado e do incentivo salarial mas também de um conjunto de condições de trabalho que garantam o bem-estar físico do trabalhador e a consequente diminuição da fadiga.

Nos estudos de ergonomia desenvolvidos por Lida (2005), o espaço físico e as condições dos ambientes (salubridade, iluminação, ventilação, ruídos, vibrações, etc.) são fatores que interferem diretamente no rendimento do trabalho e na qualidade de vida do trabalhador, provocando reações fisiológicas prejudiciais ao organismo, aumentando o *stress* e a diminuição de produtividade.

Investir num ambiente físico adequado estimula o trabalhador no desempenho das suas funções, aumenta a sua resistência ao *stress*, a estabilidade emocional, a motivação, a eficiência no trabalho, a autoconfiança, a autoestima e melhora o relacionamento interpessoal. Por outro lado as empresas colhem o benefício de ter um trabalho mais saudável, menor absentéismo e rotatividade, menor número de acidentes, diminuição dos

gastos nos prémios dos seguros, maior produtividade, melhor imagem e a conquista do seu objetivo principal, o lucro.

Segundo o Portal da Construção¹, a mão-de-obra representa, normalmente, 30 a 40 por cento do custo final da obra de construção de uma habitação.

A rentabilidade da mão-de-obra, em qualquer tipo de indústria é um fator determinante e alvo de diversas discussões e estudos. Na indústria da construção civil, sector ainda muito dependente da mão-de-obra, é um fator ainda mais crítico, uma vez que, o sucesso económico de um projeto será tanto maior quanto maior for a rentabilidade conseguida.

Uma cuidada revisão da literatura sobre a produtividade mostrou que há diversos fatores como a aprendizagem, o absentismo, a motivação, as horas extras de trabalho e o efeito do clima em geral e do ambiente térmico em particular, potencialmente influenciadores sobre a produtividade dos trabalhadores.

O ambiente térmico, devido à exposição dos trabalhadores aos elementos atmosféricos, é um dos fatores que tem influência sobre a produtividade em geral e na construção em particular, apesar de a frequência e as consequências variarem de um projeto para o outro, pois, cada projeto é único.

Este é um assunto que já foi alvo de alguns estudos, nomeadamente Chiavenato (2004) e Vasconcelos (2001), para a determinação de modelos que relacionam a produtividade com o ambiente térmico na construção.

As principais variáveis climáticas de conforto térmico são temperatura, humidade, velocidade do ar e radiação solar incidente, no entanto, nesta dissertação procurou-se perceber, sobretudo, em que medida a influência da variação da velocidade do ar em altura afeta a produtividade dos trabalhadores da indústria da construção civil.

1.2 Ambiente Térmico

A atividade humana é fortemente condicionada pelo ambiente térmico.

(in Segurança e Higiene do Trabalho – Manual Técnico, Fernando M. D. Oliveira Nunes [2006])

O ambiente térmico pode ser definido como o conjunto das variáveis térmicas ou meteorológicas do local em questão que influenciam as trocas de calor entre o meio e o organismo humano, sendo assim um fator que intervém, de forma direta ou indireta na saúde e bem-estar dos indivíduos e na realização das suas tarefas diárias.²

Conforto Térmico é definido como “um estado de espírito em que o indivíduo expressa satisfação em relação ao ambiente térmico” (ASHRAE 55 (1992); ISO 7730:2005) e alcança-se enquanto se está em equilíbrio com o ambiente térmico.

Os fatores térmicos podem ser ambientais ou pessoais. Os fatores ambientais exercem uma ação direta sobre o sujeito, sendo eles: a temperatura do ar, velocidade do ar, humidade

¹ www.portaldahabitacao.pt

² http://www.master.iag.usp.br/conforto/ambiente_termico.html

relativa e temperatura radiante. Já os fatores pessoais são compreendidos pelo metabolismo e vestuário.

Segundo Xavier (2000), o organismo humano pode se comparado a uma "máquina térmica", a qual gera calor quando executa algum trabalho. O calor gerado pelo organismo deve ser dissipado em igual proporção ao ambiente, a fim de que não se eleve nem diminua a temperatura interna do corpo. Como o homem é um animal homotérmico, isto é, deve manter sua temperatura corporal praticamente constante, esses desequilíbrios ocasionados entre a geração e a dissipação do calor pelo organismo podem ocasionar sensações desconfortáveis, ou mesmo patologias em casos mais extremos (stress térmico).³

A avaliação do conforto térmico pode ser efetuada a partir de diversos índices. Destacam-se os mais usados:

- índice de temperatura efetiva (Te). A temperatura efetiva (Te) foi proposta por Houghton e Yaglou (1923) e era determinada por meio da combinação da temperatura de bolbo seco (Tnd) e de bolbo húmido (Tnw) e da velocidade do ar (Va). Vernon e Warner (1932) propuseram a nova temperatura efetiva (Te'), substituindo a temperatura de bolbo seco (Tnd) pela temperatura de globo (Tg), para consideração dos efeitos da radiação. A nova temperatura efetiva (Te') foi adotada pela ASHRAE, tendo sido posteriormente adaptada, dando lugar à temperatura efetiva corrigida (Tec), onde a temperatura operativa (To) substituiu a temperatura de globo (Tg), dando lugar à temperatura efetiva corrigida (Tec);
- índice WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) foi proposto por Yaglou e Minard (1957);
- índice de taxa de suor requerida (Swreq) foi proposto por Vogt et al. (1981). Domínguez et al. (1992) propuseram critérios para a taxa de suor requerida (Swreq) com base no tipo de uso dos espaços;
- índice PMV (Predicted Mean Vote);
- índice PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied).

O conforto térmico deve assegurar a manutenção das seguintes condições:

- equilíbrio em termos térmicos;
- inexistência de arrepios ou tiritações;
- débito de sudação ideal;
- temperatura epidérmica ideal;
- pele seca, em termos relativos;
- inexistência de secura nas mucosas bucofaríngeas.

1.3 Produtividade e Ambiente Térmico na Construção

Muitos fatores têm o potencial de alterar a produtividade de um trabalhador e o ambiente térmico é um deles. Na indústria da construção civil, dada a exposição dos trabalhadores aos mais diversos fenómenos climáticos, o ambiente térmico é um fator a considerar na afetação da produtividade.

³ <http://www.labeee.ufsc.br/linhas-de-pesquisa/conforto-e-estresse-termico>

O âmbito dos trabalhos do sector da construção civil é diverso, podendo ser dividido em três grandes segmentos: as obras públicas, o serviço residencial e o serviço não residencial. O segmento residencial respeita ao uso como habitação. O segmento das obras públicas inclui as obras rodoviárias, ferroviárias e outros transportes, telecomunicações, energia, água entre outros. E o segmento não residencial inclui os escritórios, edifícios comerciais e industrias, educação, saúde e lazer, armazenamento, entre outros.

Apesar da abrangência do sector da construção civil ser muito vasta, há uma circunstância que é análoga a todos os segmentos: a exposição às condições atmosféricas. A maioria das atividades são realizadas em locais expostos, quer parcial, caso do assentamento de alvenarias, quer totalmente, no caso de execução das fundações.

O segmento residencial, âmbito da obra em estudo, inclui os seguintes tipos de trabalho:

- trabalhos prévios;
- demolições;
- acondicionamento do terreno;
- fundações;
- estruturas;
- fachadas;
- divisões;
- instalações;
- isolamentos e impermeabilizações;
- coberturas;
- revestimentos;
- equipamentos fixos e de sinalização;
- infraestruturas.

Com o objetivo de analisar a influência do ambiente térmico sobre a produtividade dos trabalhadores estas artes podem ser reunidas em três grupos.

O primeiro grupo constitui-se dos trabalhos prévios da edificação, tais como as demolições, fundações, levantamento de estruturas, revestimento de fachadas, entre outros. Neste grupo os trabalhadores desenvolvem a sua atividade totalmente expostos às condições atmosféricas desfavoráveis, como à exposição ao calor, ao frio, à precipitação sob a forma de chuva ou neve, grandes variações de vento, entre outros.

O segundo grupo é composto pelos trabalhos de instalações e revestimentos internos, visto que os trabalhadores já desenvolvem o trabalho no interior do edifício. Contudo, ficam apenas resguardados de algumas condições atmosféricas desfavoráveis, como a exposição à radiação solar direta e à precipitação, uma vez que, a obra apenas se encontra parcialmente fechada.

O terceiro grupo é aquele onde a exposição às condições atmosféricas desfavoráveis é mais reduzida, uma vez que o edifício se encontra completamente fechado, ou seja, a alvenaria externa já se encontra erguida. Neste caso a circulação do ar é minimizada o que pode ter como consequência o aumento da temperatura relativamente à sentida no exterior do edifício.

1.4 Métodos Previsionais de Produtividade

Os estudos quantitativos que relacionam a produtividade dos trabalhadores e o ambiente térmico, apresentados na pesquisa bibliográfica, podem ser divididos em dois grupos:

- estudos experimentais - ocorrem em contexto real de trabalho e definem valores, em função da temperatura do ar, para a variação da produtividade;
- estudos que propõem modelos de produtividade - apresentam equações que relacionam a produtividade com as variáveis ambientais.

Neste trabalho foram usados os estudos que propõem modelos de produtividade de Koehn & Brown (1985), Thomas & Yiakoumis (1987) e Mohamed & Srinavin (2002).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A construção de edifícios é um setor laboral em que uma vasta parte das tarefas são realizadas no exterior estando, assim, à mercê das variações do ambiente térmico.

Considerando as alterações climáticas que têm como consequências, entre outras, o aquecimento global, as ondas de frio e de calor, tempestades, aumento das catástrofes naturais, doenças, seca e fome, é de elevada importância perceber a influência do ambiente térmico sobre os trabalhadores da indústria da construção civil.

É assim pertinente fazer uma pesquisa bibliográfica, no sentido de encontrar os diversos autores e estudos existentes que se enquadravam no estudo.

As palavras-chave usadas na referida pesquisa bibliográfica foram *thermal environment*, *productivity*, *construction*, *building construction* e *height* e a pesquisa foi feita em diversas bases de dados e revistas científicas, disponibilizadas pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, através dos Serviços de Documentação e Informação, através do Meta Pesquisa.

Os resultados obtidos não foram, no entanto, muito satisfatórios, uma vez que, estudos sobre a variação da produtividade em altura na construção de edifícios e sobre a variação da produtividade em função da velocidade do ar na construção de edifícios praticamente não existem e os poucos que existem não se enquadravam no caso em estudo.

2.1 Breve História do Ambiente Térmico

A primeira abordagem à temática “Ambiente Térmico” terá sido feita por Aristóteles (384-322 AC), quando este se referiu os quatro elementos, Terra, Fogo, Ar e Água, e as quatro propriedades, quente, frio, seco e húmido.

Por outro lado, Santorius (1561-1636) de Pádua, com base na física aplicada, construiu um mecanismo que possibilitava obter o peso de um paciente ao longo do tempo e, com isso, conseguiu demonstrar a transpiração insensível e concretizar um dos primeiros estudos metabólicos.

O “pai” da Medicina Ocupacional, o médico italiano Bernardino Ramazzini (1633-1714), em 1700 publicou o livro *De Morbis Artificum Diatriba* (Doenças do Trabalho) que relacionava os riscos para a saúde ocasionados por produtos químicos, como poeira, metais e outros agentes encontrados por trabalhadores, em 52 ocupações. Este foi um dos trabalhos pioneiros e base da medicina ocupacional, que desempenhou um papel fundamental no seu desenvolvimento.

Chrenko (1974) apud Ken Parsons (2003) refere que em 1835, Michael Faraday chamou à atenção para o facto de a temperatura do ar não bastar para determinar condições de conforto de uma casa; Ken Parsons (2003), citou também outros autores, como Leslie (1804) e Heberden (1826), os quais desenvolveram uma série de instrumentos para mensurar a temperatura e a velocidade do ar, tendo já a firme convicção de que era a combinação de vários parâmetros ambientais que afetava o conforto térmico, e não apenas a temperatura.

Passado mais de um século, Yaglou & Minard (1957) desenvolveram o índice WBGT (*Wet Bulb Globe Temperature*) que verificava se o indivíduo estava sob condições de *stress* térmico a partir da mensuração de variáveis ambientais. Em contrapartida, a velocidade do vento não foi abordada pelos autores. Devido a grande relevância deste índice, ele foi normalizado pela ISO 7243.

O sustentáculo dos estudos de conforto térmico está no equilíbrio térmico que se verifica entre o Homem e o ambiente que o rodeia. Este princípio teve grande estímulo pelos estudos de Fanger (1970) na Dinamarca, feitos em câmaras climatizadas, cujos modelos propostos chamaram-se *Predicted Mean Vote* (PMV) e *Predicted Percentage Dissatisfied* (PPD). Tais modelos levaram em consideração seis variáveis, duas pessoais ou subjetivas, a taxa metabólica e o vestuário, e quatro ambientais, a temperatura do ar, a temperatura média radiante, a humidade do ar e a velocidade do vento, sendo que esta última variável tornou o modelo um diferencial em relação ao índice WBGT. Diante disto, o índice também foi normalizado, sendo apresentado pela ISO 7730.

Com a evolução dos estudos, muitas das pesquisas de conforto térmico passaram a ser realizadas em situações reais, nomeadamente e com mais notoriedade, os estudos realizados por Humphreys e Nicol.

Nicol e Humphreys (1973) apresentaram dados que sugeriam que o PMV variava menos com a temperatura interna, do que seria expectável. Humphreys (1976) confirmou o princípio através do estudo de uma ampla variedade de climas, tendo concluído, que a temperatura de conforto está intimamente relacionada com a temperatura média. Nicol et al (1995) e McCartney e Nicol (2002) chegaram à mesma conclusão. Nicol et al (1995), nas suas pesquisas no Paquistão, onde realizou estudos durante um ano, com intervalos mensais, encontrou um forte relacionamento com a temperatura de conforto.

Humphreys (1978) comparou a temperatura média mensal de conforto interior e exterior a partir de uma série de pesquisas realizadas em todo o mundo e verificou que havia uma notável diferença entre os ocupantes de edifícios climatizados e não climatizados. No caso de edifícios não climatizados a relação era estritamente linear, contudo, nos edifícios climatizados essa relação já era mais complexa.

De Dear e Brager (1998) fizeram uma divisão entre os edifícios climatizados e os não climatizados ou naturalmente ventilados e concluíram que os ocupantes de um edifício climatizados tinham expectativas distintas dos ocupantes de um edifício naturalmente ventilado. Humphreys e Nicol (2000), numa crítica aos estudos de De Dear e Brager (1998), afirmaram que a distinção original de Humphreys (1976) aumentava a precisão do relacionamento entre os edifícios ventilados naturalmente e climatizados.

Embora a temperatura exterior fosse somente usada para calcular a temperatura de conforto, esta também fazia variar outros fatores, como, segundo Nicol et al (1999), o isolamento das roupas e o uso de controladores de temperatura em edifícios Raja et al (2001). Também, segundo Raja e Nicol (1997), a postura é função da temperatura exterior e da taxa metabólica de determinada atividade.

A relação entre o ambiente térmico e a produtividade na construção tem sido alvo da atenção de diversos investigadores ao longo do tempo, com início nos anos 60, quando Clapp (1966)

examinou, em projetos de construção de edifícios destinados à habitação, a influência da meteorologia sobre a produtividade. Desde então, foram realizados distintos estudos independentes com o objetivo de estabelecer uma clara relação entre os dois parâmetros, ambiente térmico e produtividade.

Grimm e Wagner (1974) publicaram um trabalho elaborado com base numa investigação feita em campo, onde estabeleceram uma relação entre a produtividade e a combinação de dois parâmetros climáticos: a temperatura e a humidade relativa. Esta relação tem sido muito criticada, uma vez que, ignora o efeito da velocidade do ar relativa e a atividade considerada, montagem de alvenarias, é pouco abrangente.

Uma outra investigação contemporânea ao referido anteriormente, feito pela NECA (1974) que analisou o impacto sobre a produtividade, causado pela temperatura e pela humidade relativa, sobre uma tarefa sem esforço físico. O estudo permitiu mostrar que o fator humidade relativa pode ser significativo quer a altas quer a baixas temperaturas e que a qualidade da produção poderia baixar perante temperaturas relativamente altas.

Koehn & Brown (1985) propuseram uma relação não-linear para prever a produtividade. Publicaram duas funções, uma para ambientes frios e outra para ambientes quentes, que relacionam, num amplo intervalo de valores, a produtividade com a humidade relativa e a temperatura do ar.

Com base nas mesmas variáveis usadas por Koehn & Brown (1985), mas com uma gama de valores mais restrita, Thomas e Yiakoumis (1987) propuseram outro modelo para relacionar analiticamente a produtividade e o ambiente térmico. Porém, o baixo valor do limite superior da temperatura do ar, 28°C, incitou o estudo de Oglesby, Parker e Howell (1989), onde constataram que o máximo da produtividade era atingida na zona de conforto térmico humano, com variação das temperaturas entre os 10 e 21°C, sob variações muito significantes da humidade relativa.

Em seguida, Bilhaif (1990) concluiu que apesar da produtividade dos trabalhadores da construção ser vulgarmente influenciada pelas variações de temperatura, não existia qualquer relação entre estes dois parâmetros. Apurou, no entanto, que o nível ao qual a produtividade é afetada tem relação direta com o tipo de atividade desempenhada na construção, pelo que para estabelecer uma correta relação temperatura-produtividade, as tarefas de construção necessitam de ser classificadas com base nos seus efeitos, refletindo as exigências físicas a estas associadas.

Um modelo de produtividade mais pragmático foi introduzido por Hancher e Abd-Elkhalek (1998), uma vez que considera quer as condições de trabalho quer as condições térmicas. Estes autores usam o índice WBGT para avaliar o efeito concertado das condições climáticas na fisiologia e resposta sensorial do corpo humano e são aplicados quatro fatores, sendo eles: a temperatura do ar, a humidade relativa, a exposição solar e o esforço na concretização da tarefa. O modelo permitiu a obtenção de curvas de produtividade. Apesar de pragmático este modelo tem limitações, pois só em ambientes quentes é conseguido o resultado ótimo, uma vez que o índice WBGT não se aplica à avaliação de *stress* térmico perto da zona de conforto térmico, e não permite considerar o efeito da roupa na perceção do ambiente térmico por parte dos trabalhadores. Nenhuma prova prática foi mostrada para sustentar este modelo, à exceção de alguns dados conseguidos através de um questionário.

Posteriormente, os estudos de Mohamed & Srinavin (2002) propuseram um modelo que relaciona o índice PMV com a produtividade. O modelo proposto entra em consideração com os quatro parâmetros térmicos básicos (a temperatura do ar, umidade relativa, temperatura radiante e velocidade do ar), a natureza da tarefa de construção e a roupa do trabalhador. Foram desenvolvidas três funções, aplicáveis numa amplitude térmica entre os 5 e 45°C, para situações de tarefas leves, moderadas e pesadas. O modelo apresentou resultados satisfatórios na previsão da produtividade dos trabalhadores na execução de tarefas moderadas durante as estações frias e secas da Tailândia. Relativamente à execução de tarefas pesadas, verificou-se que este ainda necessita de algum desenvolvimento.

Mais recentemente, Jing Zhao (2009) propôs um modelo que contabiliza o tempo de tolerância ao calor por parte dos sujeitos, quando submetidos a determinadas condições de ambiente térmico, para três condições de trabalho, leve, médio e pesado. No entanto, para valores de referência do índice WBGT, o modelo proposto não é válido.

Os estudos experimentais com incidência no contexto real de trabalho apresentam valores de quebra de produtividade em função da temperatura por comparação a valores padrão. Estes estudos foram desenvolvidos por Witterseh et al. (2004) em escritórios, Eston (2005) em operações de perfuração mineira pesada, Seppänen, Fisk & Faulkner (2005) em *call centers* e indústria têxtil e Wyon (2010) em escola, para a o levantamento de dados referentes à aprendizagem escolar.

2.2 Modelos Previsionais de Produtividade

Com a intenção de avaliar a influência do ambiente térmico na produtividade dos trabalhadores que atuam na construção de edifícios, foi feita uma análise baseada em alguns dos modelos de produtividade existentes, elegendo-se alguns deles para os fins da presente tese. Diante disto, os modelos usados foram os de Koehn & Brown (1985), Thomas e Yiakoumis (1987) e Mohamed Sherif (2002). Portanto, os subtópicos a seguir abordam cada um deles de forma sucinta.

2.2.1 Koehn & Brown

O modelo de produtividade de Koehn & Brown (1985) foi desenvolvido com base num estudo destinado a determinar a relação entre a Produtividade (P) na construção com a Temperatura do ar (T_a) e a Umidade relativa (Hr). Nesse estudo foram considerados dados das atividades de escavação manual e mecânica, trabalhos de montagens de alvenarias, montagens elétricas e trabalhos de carpintarias, entre outros.

No estudo foram determinadas duas equações não lineares, uma para ambientes frios e outra para ambientes quentes.

Para ambientes frios, com temperaturas compreendidas entre -29°C a 10°C, derivou a equação 1:

$$P = 0.00144 * Ta - 0.00313 * Hr - 0.000107 * Ta^2 - 0.000029 * Hr^2 - 0.0000357 * (Ta * Hr) + 0.647 \quad (1)$$

Para ambientes quentes, com temperaturas compreendidas entre 21°C a 49°C, teve-se a equação 2:

$$P = 0.0517 * Ta + 0.0173 * Hr - 0.0032 * Ta^2 - 0.0000985 * Hr^2 - 0.0000911 * (Ta * Hr) - 1.459 \quad (2)$$

Em que:

P – Produtividade (%);

Ta – Temperatura do ar (°F);

Hr – Humidade relativa (%).

Através destas equações, os autores apuraram que abaixo de 35% de humidade relativa a produtividade não é afetada por variações na mesma. Também concluíram que em ambientes com temperaturas abaixo de -29°C e acima de 43°C dificilmente seria possível obter uma produtividade ótima.

2.2.2 Thomas e Yiakoumis

No estudo desenvolvido por Thomas e Yiakoumis (1987) que também relaciona, como o modelo de Koehn e Brown, a produtividade com a Temperatura do ar (Ta) e a Humidade relativa (Hr), O modelo proposto foi baseado em dados recolhidos durante a execução de obras, utilizando um método de regressão linear para obter a seguinte relação, equação 3:

$$Pr = 9.448 + 0.0518 * Ta - 2.89 * \ln(Ta) + 3.8910^{-37} * e^{Hr} \quad (3)$$

Em que:

Pr – Rácio da performance prevista (verificado/previsto);

Ta – Temperatura do ar às 13:00 (°F);

Hr – Humidade relativa às 13:00 (%).

A equação é válida para valores da Temperatura do ar (Ta) compreendidos no intervalo entre os 11 e 28°C e para valores da Humidade relativa (Hr) entre 19 e 85%.

Pode-se concluir que, tal como o modelo desenvolvido por Koehn e Brown, este também apresenta objeções similares, ou seja, os valores de Pr são análogos para cada temperatura, independentemente da variação dos valores da humidade relativa (Hr).

2.2.3 Mohamed & Srinavin

O estudo desenvolvido por Mohamed & Srinavin (2002) incidiu sobre a previsão da perda de produtividade devida a variações do ambiente térmico, nos trabalhadores da construção. Foi usada uma análise de regressão polinomial estatística para estabelecer uma relação entre a produtividade e o PMV, índice de conforto térmico. Para tal, foram usados dados sobre a produtividade da construção e o ambiente térmico. Os dados foram obtidos a partir da composição de duzentos conjuntos de dados, relativos a sete tarefas de construção distintas,

escavação manual, elevação de aço, trabalho de pedreiro, de eletricitista, de carpintaria e manuseamento de equipamentos

Para prever o grau de afetação na produtividade, foram desenvolvidas três equações de acordo com o tipo de tarefas:

Tarefas leves, equação 4: $PL = 102 - 0.80 * PMV - 1.84 * PMV^2$ (4)

Tarefas moderadas, equação 5: $PM = 102 + 1.19 * PMV - 2.17 * PMV^2$ (5)

Tarefas pesadas, equação 6: $PH = 83 + 21.64 * PMV - 9.53 * PMV^2 + 0.91 * PMV^3$ (6)

Em que:

PL – Produtividade para tarefas leves;

PM – Produtividade para tarefas moderadas;

PH – Produtividade para tarefas pesadas;

PMV - *Predicted Mean Vote*.

As equações são aplicáveis a temperaturas compreendidas entre 5°C a 45°C.

Foi feita pelos autores uma investigação experimental para validar as equações desenvolvidas. Os resultados da validação indicam que as equações desenvolvidas podem vaticinar a produtividade com um nível admissível de rigor. Além disso, eles mostram que a produtividade dos trabalhadores diminui à medida que o índice de PMV se afasta da gama ótima para todas as tarefas observadas.

2.3 Enquadramento Legal e Normativo

2.3.1 Ordem Jurídica Interna

2.3.1.1 *Segurança, higiene e saúde no trabalho*

Na sequência da Convenção nº 155 da OIT (Organização Internacional do Trabalho) e da resposta à obrigatoriedade da transposição para a ordem jurídica interna da Diretiva nº 89/391/CEE, foi aprovado o Decreto-Lei nº441/91 de 14 de Novembro, que estabelece o regime jurídico do enquadramento da segurança, higiene e saúde no trabalho, alterado posteriormente pelo Decreto-Lei n.º 133/99, de 21 de Abril. Mais tarde, os Princípios Gerais da Prevenção foram assumidos pela Lei nº 102/2009, de 10 de Setembro, que revoga os diplomas atrás referidos.

A Lei n.º 47/2012, de 29 de Agosto, que procede à quarta alteração ao Código do Trabalho, aprovado pela Lei n.º 7/2009, de 12 de fevereiro, na sua redação também contempla os princípios gerais de prevenção, assim como as obrigações e direitos de empregadores e trabalhadores, cuja regulamentação é feita pela Lei nº 35/2004 de 29 de Julho (Regulamento ao Código de Trabalho). Esta lei regulamenta o regime jurídico para os serviços de segurança, higiene e saúde no trabalho, assim como para os representantes dos trabalhadores para a segurança, higiene e saúde no trabalho.

2.3.1.2 *Ambiente térmico nos locais de trabalho*

Em Portugal, os ambientes térmicos nos locais de trabalho são regulados através de:

- Portaria n.º 987/93 (regula o Decreto-Lei n.º 347/93, de 1 de Outubro, que estabelece as prescrições mínimas para a segurança e saúde nos locais de trabalho);
- Portaria n.º 101/96 (regulamenta as prescrições mínimas de segurança e de saúde nos locais e postos de trabalho dos estaleiros temporários ou móveis);
- Portaria n.º 53/71 (regulamento geral de segurança e higiene do trabalho nos estabelecimentos industriais, alterado pela Portaria n.º 702/80, de 22 de Setembro);
- Decreto-Lei n.º 243/86 (regulamento geral de higiene e segurança do trabalho nos estabelecimentos comerciais, de escritório e serviços).

Esta regulamentação interna exige que a temperatura e a humidade sejam adequadas ao organismo humano e que estejam dentro de limites definidos para proteger a saúde do trabalhador, considerando os métodos de trabalho e os condicionalismos físicos existentes.

2.3.2 Normas de Referência Internacional

2.3.2.1 *ISO 7730*

Norma ISO 7730:1994 – *Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort.*

Norma ISO 7730:2005 – *Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*

Trata-se de uma norma que segue de perto a investigação desenvolvida por Fanger (1970) no seu doutoramento, tendo os princípios gerais sido adaptados pela ASHRAE na norma 55-1981 “*Thermal environment conditions for human occupancy*”.

Parâmetros de conforto

O nível de atividade de um indivíduo é definido pelo calor gerado pelo corpo mas também pela sua idade e sexo. Esse calor é trocado com o ambiente exterior por condução, convecção, radiação e evaporação. A condução não adota, genericamente, grande relevância. A convecção é função da temperatura e da velocidade do ar exterior. A radiação é função da temperatura média radiante. A evaporação depende da humidade e velocidade do ar.

Os parâmetros principais de conforto térmico são divididos em dois tipos, os parâmetros individuais (atividade e vestuário) e parâmetros ambientais (temperatura do ar, humidade do ar, velocidade do ar e temperatura média radiante).

Método

A norma ISO 7730 (1994) considera que um sítio exhibe condições de conforto térmico quando não mais do que 10% dos seus ocupantes se sintam desconfortáveis. A quantificação da percentagem de desconforto foi feita com base em estudos que envolveram 1300 pessoas. Esses estudos possibilitaram determinar uma relação entre o resultado do balanço energético do corpo (o resultado do balanço energético do corpo é a diferença entre o metabolismo e a

transferência de calor do corpo para o ambiente) e a tendência de insatisfação, designada por PPD.

O método de cálculo compreende o seguinte:

- parâmetros: quantificam-se os parâmetros individuais e ambientais das pessoas e do ambiente;
- equação de conforto: substituem-se estes valores na equação de conforto térmico para determinação do termo associado à acumulação energética no corpo, S;
- PMV: com base no valor da acumulação energética no corpo e no metabolismo determina-se o valor de PMV através de uma correlação. O PMV é uma escala quantitativa da sensação de calor e de frio;
- Insatisfação: a percentagem de pessoas insatisfeitas termicamente, PPD, é determinada com base no valor de PMV através de uma correlação.

PMV

A determinação do PMV é feita pela aplicação de uma correlação envolvendo o termo de acumulação de energia no corpo (S) e o metabolismo (M), equação 7:

$$PMV = (0.303 * e^{-0.036M} + 0.028) * S \quad (7)$$

Tabela 1 – Escala de sete pontos de sensação térmica
(Adaptado da ISO 7730:1994).

| | |
|----|---------------------|
| 3 | Muito quente |
| 2 | Quente |
| 1 | Ligeiramente Quente |
| 0 | Neutro |
| -1 | Ligeiramente Frio |
| -2 | Frio |
| -3 | Muito Frio |

PPD

Conhecido o valor do PMV, a percentagem de pessoas desconfortáveis termicamente, PPD, calcula-se de acordo com a correlação, equação 8:

$$PPD = 100 - 95 * e^{(-0.03353 * PMV^4 - 0.2179 * PMV^2)} \quad (8)$$

Uma conclusão interessante deste gráfico é que quaisquer que sejam as condições ambientais, não se consegue menos do que 5% de indivíduos descontentes. Baseado nesta caracterização de conforto térmico, a ISO 7730:1994 admite serem aceitáveis ambientes térmicos em que $-0.5 < PMV < 0.5$, ou seja, em que não mais de 10% dos ocupantes se mostrem descontentes.

No entanto a ISO 7730:2005 especifica diferentes níveis de aceitabilidade para o conforto térmico. O ambiente térmico desejado para um espaço pode ser selecionado entre 3 categorias A, B e C de acordo com a tabela 2.

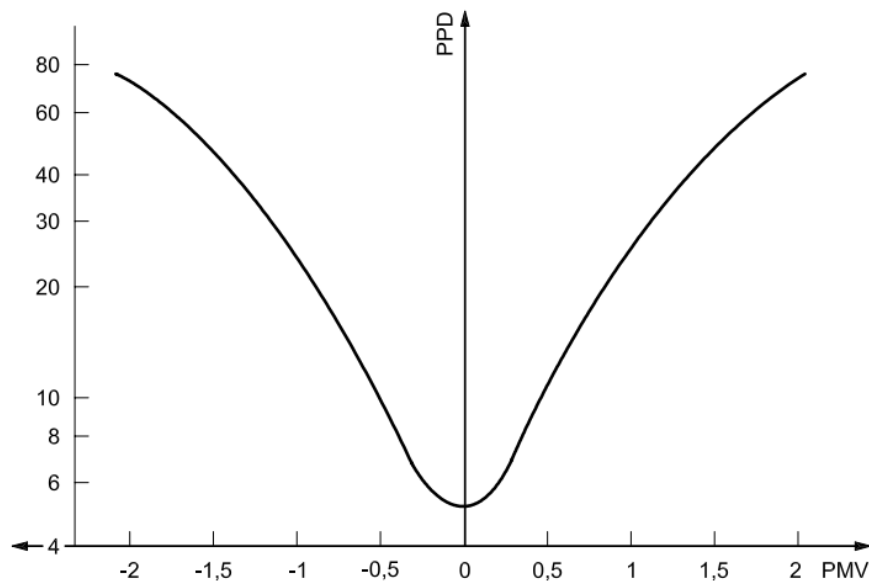


Figura 1 - PPD em função do PMV (Adaptado da ISO 7730:1994).

Tabela 2 - Categorias de ambiente térmico (Tabela A.1 da ISO 7730:2005).

| Category | Thermal state of the body as a whole | | Local discomfort | | | |
|----------|--------------------------------------|-----------------|------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------------|
| | PPD % | PMV | DR % | vertical air temperature difference | PD % caused by warm or cool floor | radiant asymmetry |
| A | <6 | -0.2 <PMV <+0.2 | <10 | <3 | <10 | <5 |
| B | <10 | -0.5 <PMV <+0.5 | <20 | <5 | <10 | <5 |
| C | <15 | -0.7 <PMV <+0.7 | <30 | <10 | <15 | <10 |

A norma estabelece outras regras necessárias para conforto térmico, relacionadas com os parâmetros de conforto:

- a assimetria da temperatura radiante de janelas ou outra superfície vertical fria deve ser inferior a 10°C (em relação a um plano vertical 0.6 m acima do chão);
- no Inverno, a velocidade do ar tem de ser inferior a 0.15 m.s⁻¹ e as temperaturas devem variar entre os 20 e 24°C. No Verão, a velocidade do ar tem de ser inferior a 0.25 m.s⁻¹, com temperaturas a variar entre 23 e 26°C;
- a diferença da temperatura do ar, entre 1.10 m e 0.10 m acima do chão, não deve exceder 3°C;
- a temperatura do chão deve variar entre 19 e 26°C, exceto no caso da existência de pavimentos radiantes, onde a temperatura pode atingir os 29°C.

2.3.2.2 ISO 7243

Norma ISO 7243 – Hot environments – Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT – index (wet bulb globe temperature), de 1989.

Esta norma define o nível de desconforto do ambiente e emprega-se nos casos em que, por razões técnico-económicas, é impossível aplicar a norma ISO 7730:2005. Define uma metodologia aplicável em ambiente industrial, para a avaliação do stress térmico.

Uma observação aprofundada da influência do ambiente na carga térmica à qual está submetido o sujeito, exige o conhecimento de quatro parâmetros ambientais:

- temperatura do ar;
- temperatura média radiante;
- velocidade do ar;
- humidade absoluta.

Contudo, uma avaliação mais geral da influência dos parâmetros ambientais pode ser feita através da medição de parâmetros, que derivam dos mencionados acima, que são função das características físicas do espaço em análise.

WBGT

O índice WBGT combina a medição de dois parâmetros derivados, a temperatura de bolbo húmido, T_{nw} , e a temperatura de globo (média radiante), T_g , bem como a medição, em algumas situações, de um parâmetro básico, a temperatura seca do ar, t_s .

Os valores máximos admissíveis para o índice WBGT, para que, o espaço em estudo possa ser considerada zona de conforto, são os seguintes:

Tabela 3 - Valores de referência, em função da atividade desempenhada.
(Tabela A.1 da ISO 7243:89)

| Classe de metabolismo | METABOLISMO (M) | | VALOR LIMITE DE WBGT | |
|-----------------------|---|---|------------------------------------|-------------------------------------|
| | Relativo à unidade de superfície de pele [W.m ⁻²] | Total (para um homem com uma área de superfície de pele de 1,8 m ²) [W] | Pessoa aclimatada ao calor [°C] | Pessoa não aclimatada ao calor [°C] |
| 0 (Repouso) | M < 65 | M < 117 | 33 | 32 |
| 1 | 65 < M < 130 | 117 < M < 234 | 30 | 29 |
| 2 | 130 < M < 200 | 234 < M < 360 | 28 | 26 |
| 3 | 200 < M < 260 | 360 < M < 468 | Sem movimento de ar sensível 25 | Sem movimento de ar sensível 22 |
| | | | Com movimento de ar sensível 26 | Com movimento de ar sensível 23 |
| 4 | M > 260 | M > 468 | Sem movimento de ar sensível 23 | Sem movimento de ar sensível 18 |
| | | | Com movimento de ar sensível 25 | Com movimento de ar sensível 20 |

No caso de os valores de referência serem excedidos, deve-se tomar uma das seguintes medidas:

- reduzir diretamente o stress por calor no posto de trabalho, através de métodos apropriados, como o controle do ambiente, do nível de atividade, do tempo de permanência no ambiente ou através da proteção individual;
- executar outras pesquisas mais detalhadas de stress por calor, de acordo com métodos mais sofisticados, a fim de se verificar com maior confiabilidade a existência ou não da situação de stress.

A norma 7243:1989 apresenta um ábaco que pode ser evidenciado na Figura 2, onde estão definidos os tempos de trabalho/descanso, no caso de *stress* térmico:

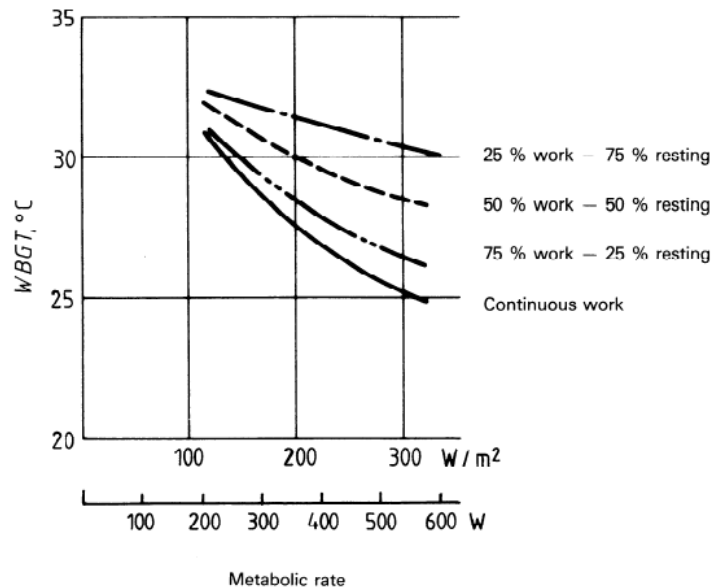


Figura 2 - Curvas de valores de referência do WBGT, para vários ciclos de trabalho/descanso (Fonte - Figura B.1 da ISO 7243:1989).

2.3.2.3 ISO 11079

Norma ISO 11079:2007 - *Ergonomics of the thermal environment - Determination and interpretation of cold stress when using required clothing insulation (IREQ) and local cooling effects.*

O WCI (*Wind Chill index*) traduz a sensação de arrefecimento provocada pelo efeito combinado da velocidade do vento com baixos valores da temperatura do ar.

Na prática, o WCI não é muito utilizado, sendo comum convertê-lo numa temperatura equivalente de arrefecimento pelo vento, representativa do desconforto relativo devido a temperaturas baixas combinadas com o vento.

A velocidade do vento retira o calor do corpo reduzindo a temperatura corporal. Esta perda será tão mais rápida quanto maior for a velocidade do vento e dá origem a uma sensação de mais frio quando o vento sopra.

Segundo o Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), num dia calmo, sem vento, com uma temperatura do ar de 0°C, se a velocidade do ar passar para 10 m.s⁻¹, o valor do índice Wind Chill é de -7°C, ou seja, irá sentir-se o frio que se sentiria num dia sem vento mas com a temperatura do ar de -7°C.

A fórmula original do Wind Chill, equação 9, foi desenvolvida por Paul Siple e Charles Passel, Passel (1945), exploradores na Antártica, quando estes mediram o tempo que demorava a congelar a água dentro de um saco de plástico cilíndrico, quando sujeito a vento:

$$WC = 33 + 0.04538 * (5.27 * \sqrt{V} + 10.45 - 0.28 * V) * (T - 33) \quad (9)$$

Em que:

V - Velocidade do vento em km.h^{-1} ;

T - Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), onde 33 corresponde à temperatura do corpo em condições de calma.

A fórmula desenvolvida precisava de ser ajustada, dado que existe uma diferença notável entre o corpo humano e um saco de plástico, sobretudo, porque o corpo humano produz calor. Assim, a nova fórmula, equação 10, foi desenvolvida com base no trabalho feito por Randall Oszewski do DCIEM, Defence and Civil Institute of Environmental Medicine em Toronto, e de Maurice Bluestein da Universidade de Purdue, Indiana, apresentado em Toronto, em agosto de 2001:

$$WC = 13.12 + 0.6215 * T - 11.37 * V_{10m}^{0.16} + 0.3965 * T * V_{10m}^{0.16} \quad (10)$$

tendo em consideração o seguinte:

- a velocidade do vento é calculada tendo em conta a altura média da face humana (1.50 m) em vez da altura padrão do anemómetro (10 m). Esta correção é efetuada multiplicando o vento a 10 metros por um fator de 2/3;
- baseia-se num modelo da face humana e incorpora teorias modernas de transferência de calor, ou seja, tem em conta quanto calor é perdido pelo corpo para o ar envolvente nos dias frios e ventosos, nomeadamente considerando a resistência à perda de calor pela pele;
- considera o limite de velocidade de vento de 4.8 km.h^{-1} , a partir do qual se começa a sentir o efeito de Wind Chill. Este valor foi determinado com base na velocidade média com que as pessoas normalmente se deslocam.

O cálculo deste índice está limitado aos intervalos de valores de temperatura entre -30 a 10°C e velocidade do ar superior a 1.39 m.s^{-1} .

| Velocidade do vento (aos 10m) | | Tabela da temperatura de arrefecimento por efeito do vento | | | | | | | |
|-------------------------------|-------|--|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| km/h | m/s | Temperatura Actual ($^{\circ}\text{C}$) | | | | | | | |
| calma | calma | 10 | 5 | 0 | -5 | -10 | -15 | -20 | -30 |
| Wind Chill | | | | | | | | | |
| 5 | 1.4 | 9 | 3 | -3 | -9 | -14 | -20 | -26 | -38 |
| 10 | 2.8 | 9 | 3 | -3 | -9 | -15 | -21 | -27 | -39 |
| 15 | 4.2 | 8 | 2 | -4 | -11 | -17 | -23 | -29 | -41 |
| 20 | 5.6 | 7 | 1 | -5 | -12 | -18 | -24 | -30 | -43 |
| 25 | 6.9 | 7 | 1 | -6 | -12 | -19 | -25 | -32 | -44 |
| 30 | 8.3 | 7 | 0 | -6 | -13 | -20 | -26 | -33 | -46 |
| 35 | 9.7 | 6 | 0 | -7 | -14 | -20 | -27 | -33 | -47 |
| 40 | 11.1 | 6 | -1 | -7 | -14 | -21 | -27 | -34 | -48 |
| 45 | 12.5 | 6 | -1 | -8 | -15 | -21 | -28 | -35 | -48 |
| 50 | 13.9 | 5 | -1 | -8 | -15 | -22 | -29 | -35 | -49 |
| 55 | 15.3 | 5 | -2 | -8 | -15 | -22 | -29 | -36 | -50 |
| 60 | 16.7 | 5 | -2 | -9 | -16 | -23 | -30 | -36 | -50 |
| 65 | 18.1 | 5 | -2 | -9 | -16 | -23 | -30 | -37 | -51 |
| 70 | 19.4 | 5 | -2 | -9 | -16 | -23 | -30 | -37 | -51 |
| 75 | 20.8 | 5 | -3 | -10 | -17 | -24 | -31 | -38 | -52 |
| 80 | 22.2 | 4 | -3 | -10 | -17 | -24 | -31 | -38 | -52 |

Tabela 4 – Valores do Wind Chill.
(fonte - IPMA)

| Grau de severidade do <i>Wind Chill</i> (sensação de frio) | | |
|--|---------------|---|
| 0 a -9 | Fraco | Ligeiro aumento de desconforto |
| -10 a -27 | moderado | Desconforto, sensação de frio, risco de hipotermia se a exposição ao frio for muito longa |
| -28 a -39 | Severo | Risco de congelamento na pele, risco de hipotermia se a exposição ao frio for longa |
| -40 a -47 | Extremo | As partes do corpo expostas ao frio podem congelar em minutos. Risco sério de hipotermia se a exposição ao frio for longa |
| -48 a -54 | Muito Extremo | PERIGO!! As condições são perigosas, As partes do corpo expostas ao frio podem congelar em menos de 2 minutos. |

Tabela 5 – Valores do Wind Chill.
(fonte - IPMA)

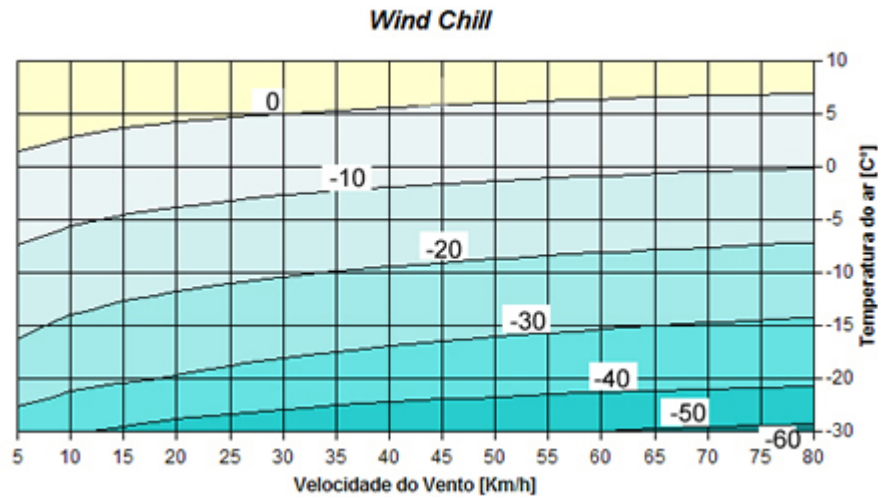


Figura 3 – Valores do Wind Chill.
(fonte - IPMA)

2.4 O Clima

O conhecimento do clima de uma região é fundamental para o planeamento e gestão das atividades socioeconómicas, e também essencial para mitigar as consequências dos riscos climáticos.⁴

A ocorrência, cada vez mais comum, de fenómenos meteorológicos extremos e a alteração das condições médias observadas, provocam a variabilidade e alterações climáticas, o que incita um impacto nos sectores socioeconómicos, atividades e bem-estar das populações em geral e um pouco por todo o planeta.

⁴ <http://www.ipma.pt/pt/enciclopedia/clima/index.html>

2.4.1 Normais Climatológicas

A classificação de climática de Köppen apesar de ter sido definida há cerca de 100 anos continua a ser uma das classificações mais utilizadas em estudos climatológicos de todo o mundo. A classificação de Köppen define distintos tipos de clima a partir dos valores médios mensais da precipitação e da temperatura. Para a delimitação dos distintos climas estabelecem-se intervalos de temperatura e precipitação baseados principalmente na sua influência sobre a distribuição da vegetação e da atividade humana (Essenwanger, 2001).

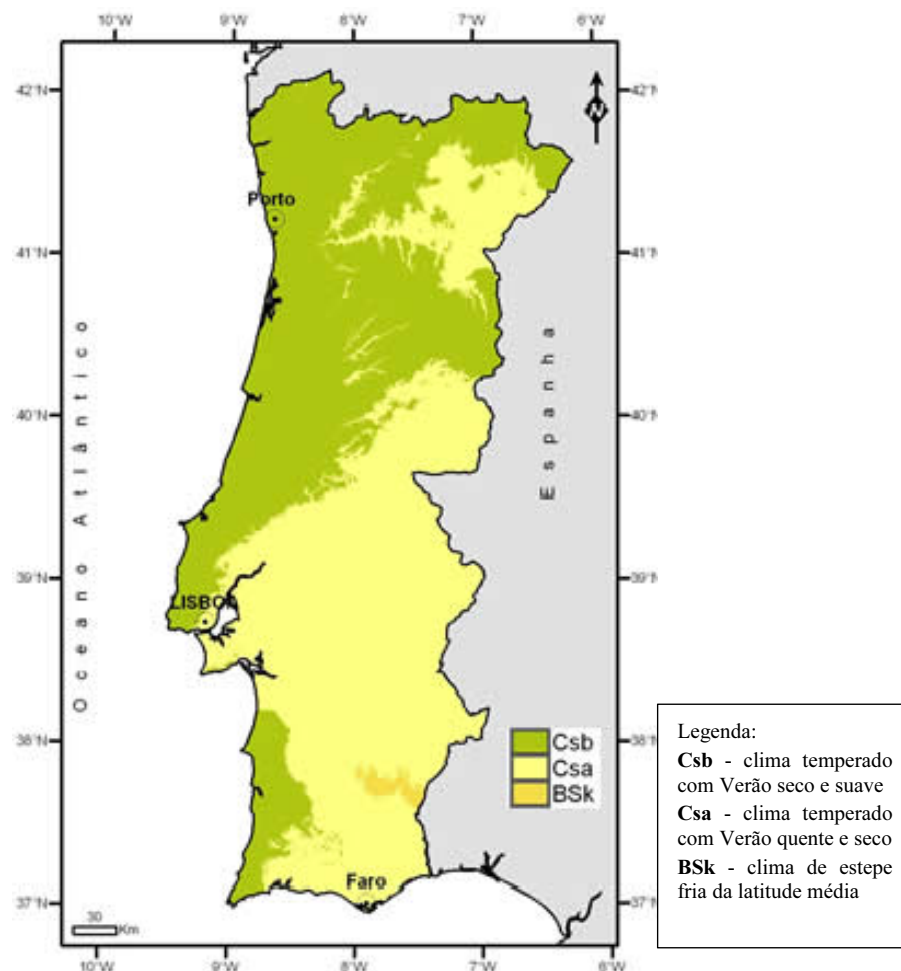


Figura 4 - Classificação climática de Köppen-Geiger em Portugal Continental para o período 1971-2000. (fonte - IPMA)

Os resultados das últimas normais climatológicas, definitivas, 1971-2000, permitem identificar os diferentes tipos de clima e para Portugal foi utilizada a classificação de Köppen-Geiger, que corresponde à última revisão de Köppen em 1936. Os resultados permitem atestar que em grande parte do território continental o clima é temperado. A Figura 4 mostra-nos a classificação climática obtida para o território continental de Portugal⁵ e a Figura 5 a classificação climática de Köppen-Geiger na Península Ibérica e Ilhas Baleares.

⁵ <http://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/>

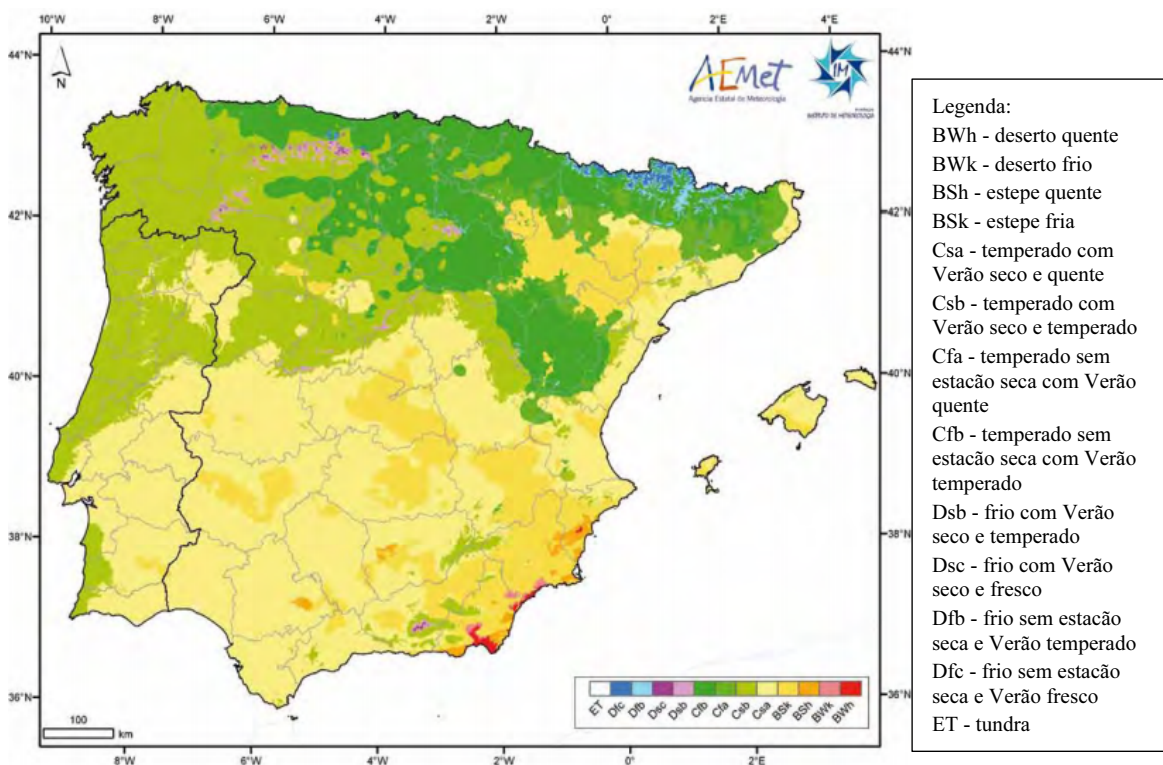


Figura 5 - Classificação climática de Köppen-Geiger na Península Ibérica e Ilhas Baleares. (fonte – Atlas Climático Ibérico (2011))

2.4.2 O Vento

A Nortada faz-se sentir em toda a faixa costeira Ocidental, onde é mais violenta, e pode estender-se aproximadamente até aos 80 Km para o interior.⁶

Junto à costa é frequente fazer-se sentir, ao final da manhã, uma brisa vinda do mar, que atinge a velocidade máxima, normalmente, no princípio da tarde e desaparece ao anoitecer e nos dias mais quentes tende a ser mais forte. A causa essencial do movimento do ar é a diferença de aquecimento entre as superfícies da terra e do mar sendo que, ao princípio da tarde se acentuam fazendo com que o gradiente de pressão local entre o mar e a terra se torne mais intenso, podendo o efeito da brisa marítima, fazer-se sentir segundo uma direção mais próxima da paralela à costa.⁷

Segundo Araújo (1991), as depressões de origem térmica no interior da Península Ibérica, juntamente com o anticiclone dos Açores são responsáveis por uma corrente de norte, a nortada, que se acentua a partir do final da manhã. A nortada incita uma corrente marítima que, devido à força de Coriolis, se encaminha para Oeste, forçando assim, através de um fenómeno de compensação, à subida constante de águas profundas e como as águas costeiras

⁶ <http://www.fpcolumbofilia.pt/meteo/main0614.htm>

⁷ <http://www.qualar.org/?page=5&subpage=13>

do oceano Atlântico são arrefecidas, desenvolve-se acima delas uma camada de ar fresco e húmido, onde surge o nevoeiro de advecção.

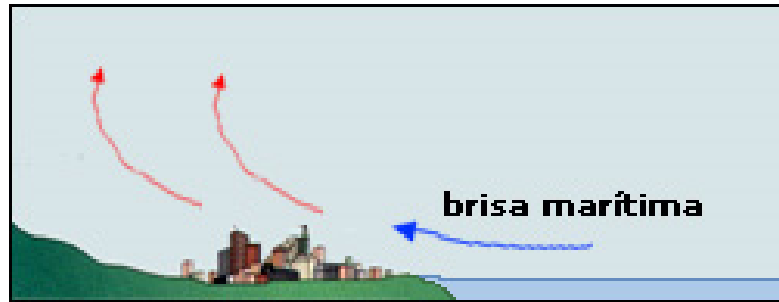


Figura 6 - Representação esquemática de uma brisa marítima.
(fonte – Agência Portuguesa do Ambiente)

Segundo Moreira (2011), do IPMA, a nortada é um fenómeno que habitualmente se intensifica durante o período da tarde. O anticiclone na região dos Açores e a depressão de origem térmica na Península Ibérica dão origem a uma corrente de quadrante Norte, que é mais ou menos intensa dependendo de dois fatores: da posição relativa dos centros de ação, ou seja, da região anticiclónica no Atlântico face à região depressionária no meio da Península; e da intensidade desses centros de ação. Em torno do centro de um anticiclone existem as isóbaras (linhas circulares que se veem nas cartas meteorológicas). Se as isóbaras estiverem mais afastadas, haverá pouco vento; quando estão mais aproximadas estiverem mais forte é o vento.

3 OBJETIVOS, MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Objetivos da Dissertação

O presente trabalho tem por objetivo global o de perceber em que medida os diferentes modelos de medição da produtividade respondem à influência das condições de ambiente térmico, em particular as resultantes da variação da velocidade do ar em altura numa obra de construção. Foi considerado como caso piloto, um empreendimento, localizado na primeira linha de mar em Vila Nova de Gaia.

Os objetivos específicos são:

- verificar a variação da velocidade do ar em altura;
- verificar o comportamento da velocidade do ar ao longo do dia de trabalho;
- testar o comportamento dos diversos modelos de produtividade;
- utilizar de diversos índices de conforto, PPV-PMV, WBGT e Wind Chill.

3.2 Metodologia

3.2.1 Procedimentos Metodológicos Globais

A metodologia empregue neste trabalho foi, após análise da bibliografia consultada, ordenada de acordo com as seguintes fases:

- análise das condicionantes do local, cuja apresentação foi já efetuada;
- levantamento dos diferentes dados relativos ao ambiente térmico;
- análise dos resultados;
- identificação de relações entre as variáveis e sua variação;
- conclusões e estudos futuros.

Na figura 7 é apresentado um diagrama onde se pode perceber a metodologia empregue no trabalho e o desenvolvimento do mesmo.

3.3 Referenciais Tecnológicos e de Contexto

3.3.1 Descrição da Obra

O empreendimento é constituído por dois blocos de habitação multifamiliar, com uma área de construção de seis mil quatrocentos e oitenta e seis metros quadrados e um volume de construção de dezanove mil seiscientos e dezasseis metros cúbicos e um outro bloco de serviços, ainda em fase de licenciamento.

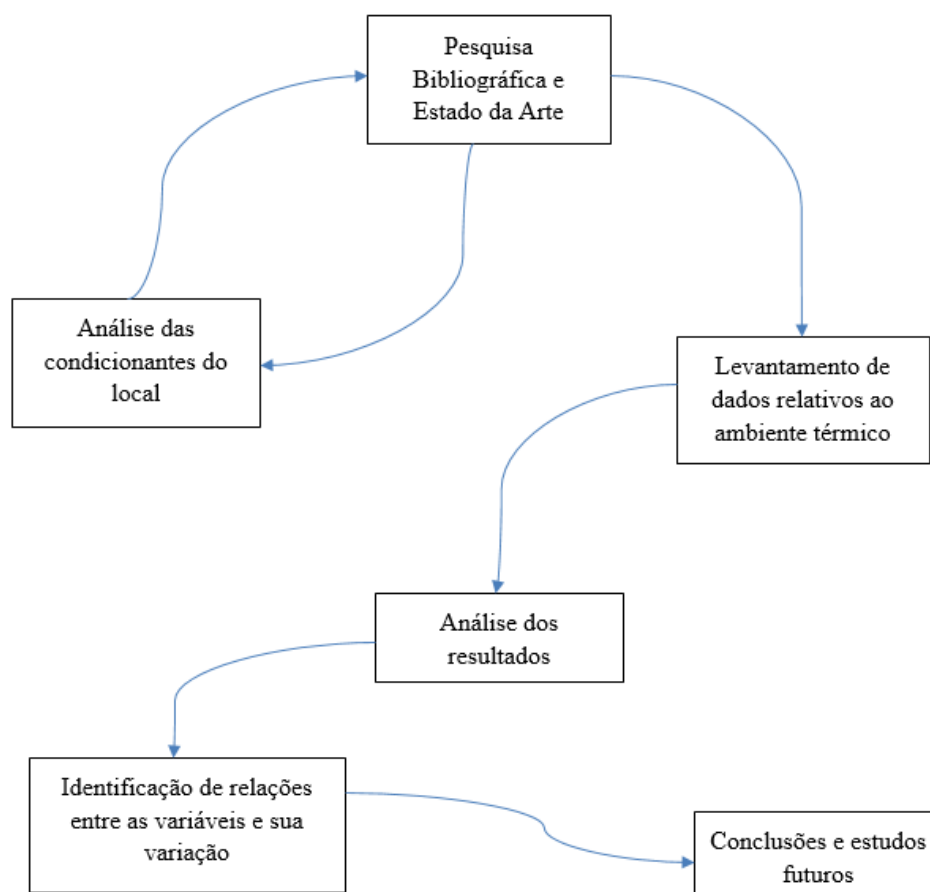


Figura 7 – Metodologia.

O bloco A é constituído por trinta e uma frações, dez da tipologia T3, dezasseis da tipologia T4, duas da tipologia T5, dois T5 duplex e um T4 recuados. Neste bloco o piso menos um está destinado para um Foyer para usufruto do condomínio.

O bloco B tem nove frações, seis da tipologia T3 duplex, duas da tipologia T3 triplex e uma da tipologia T3. Este bloco tem uma área de implantação de oitocentos e trinta metros quadrados.

O bloco de serviços albergará um restaurante e quatro espaços comerciais.

Os blocos A e B estão ligados entre si através dos pisos menos três e menos dois, onde se situam as quarenta garagens e o *health club*, constituído por uma piscina, um *jacuzzi*, banho turco e sauna e um ginásio. O bloco onde serão instaladas as lojas e o restaurante, não tem qualquer ligação com a parte residencial, blocos A e B.

O bloco A tem duas juntas de dilatação e uma implantação de mil e quatrocentos metros quadrados. Com intuito de obter facilidade de comunicação e entendimento no presente estudo, dividiu-se o bloco em três segmentos: A1, A2 e A3, ordenados de Sul para Norte.

Os blocos A1 e A3 albergam dois apartamentos da tipologia T4 nos pisos rés-do-chão, primeiro, segundo e terceiro. No piso quatro existem dois apartamentos, um da tipologia T5 e o outro é o primeiro piso de um andar duplex.



Figura 8 – Vista a 3D do empreendimento.

No bloco A2 existem dois apartamentos da tipologia T3 por cada um dos pisos, rés-do-chão, primeiro, segundo terceiro e quarto pisos. No último piso, andar recuado, existe um andar da tipologia T4.

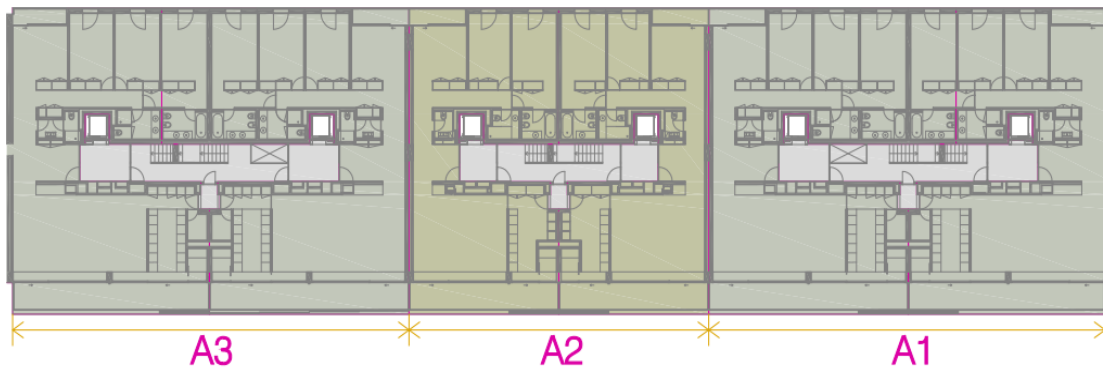


Figura 9 – Divisão do bloco A.

A obra é localizada na praia de Lavadores, freguesia de Canidelo, no concelho de Vila Nova de Gaia. A poente confronta com a Avenida Beira Mar, a nascente com a rua Jorge Dias e a sul com a rua do Thom.



Figura 10 – Localização do empreendimento
(fonte: Google Earth).

A execução da obra contempla três fases. A primeira corresponde à execução do bloco A e zonas comuns, a segunda à execução do bloco B e a terceira à execução do bloco de serviços. Durante a recolha dos dados, estavam a decorrer trabalhos nas duas primeiras fases.



Figura 11 – Vista geral da obra na altura de recolha dos dados.

Na primeira fase, os trabalhos de pedreiro já se encontravam terminados e estavam a ser desenvolvidos os trabalhos das especialidades de trolha, pintor, electricista, picheleiro, carpinteiro, serralheiro, vidraceiro, funileiro e arranjos exteriores.



Figura 12 – Vista geral sobre o bloco A.

Na segunda fase estavam a ser terminados os trabalhos de pedreiro, ao nível dos andares recuados.



Figura 13 – Vista geral sobre o bloco B.

Os trabalhos na fase três ainda não tinham sido iniciados.



Figura 14 – Vista sobre o local de implantação da terceira fase.

3.4 Recolha de Dados

A recolha de dados foi feita em sete dias intercalados do mês de agosto de 2013. As condições atmosféricas encontradas foram idênticas e típicas de dias de verão.

Cada leitura diária correspondeu a um só local da obra, uma vez que, cada leitura foi feita durante a jornada completa de trabalho, com início, geralmente, às 9h00 e com término às 17h00.

O intervalo de registo de dados adotado foi de 1 minuto em ambos os equipamentos (Babuc A e Anemómetro).

Considerando o objetivo deste trabalho e a limitação no tempo de disponibilidade dos equipamentos, os locais das leituras foram escolhidos de modo a garantir:

- registos ao nível do solo para ser feita a comparação com os dados do Wind Guru;
- registos em diferentes níveis da obra;
- registos a nascente e poente;
- registos nos dois blocos;
- registos em locais onde a obra estivesse aberta para a obtenção dos valores mais críticos;
- registos no mesmo local mas com exposições diferentes.

3.5 Meios Utilizados na Medição e no Tratamento dos Resultados

Para a este estudo foram utilizados dois equipamentos e *software* disponibilizados pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

3.5.1 Anemómetro WL1

Unidade de registo composta por um registador e um sensor de vento, da marca PCE – Instruments, modelo WL 1, figura 20.

O registador de vento possui um sensor de temperatura interno, com registos entre os -15°C e os 50°C , uma entrada analógica e duas digitais, uma porta de conexão RS 232, capacidade para fazer registos de um segundo e um ou dez minutos. O armazenamento dos dados é feito através de um cartão de memória e o arquivo é CSV, no formato ASCII.

O sensor de vento possui uma resolução de medição de $0.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, com escala de medição entre os $0.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ e os $40.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ e com a precisão de $\pm 0.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.



Figura 15 – Anemómetro PCE – WL1

3.5.2 BABUC A – BSA10

Unidade de base para medições ambientais, da marca LSI - Laboratori di Instrumentazione Industriale s.p.a., modelo BABUC A – BSA10, figura 16. Possui uma porta de série RS 232, 11 entradas para sondas e memória para 20 000 registos.

As sondas usadas na recolha dos dados foram:

- Sonda de temperatura ambiente – marca LSI – modelo BST 101;
- Sonda de temperatura húmida natural – marca LSI – modelo BSU 121;
- Sonda psicrométrica para medição da humidade relativa – marca LSI – modelo BSU 102;
- Sonda de globo preto opaco – marca LSI - modelo BST 131.

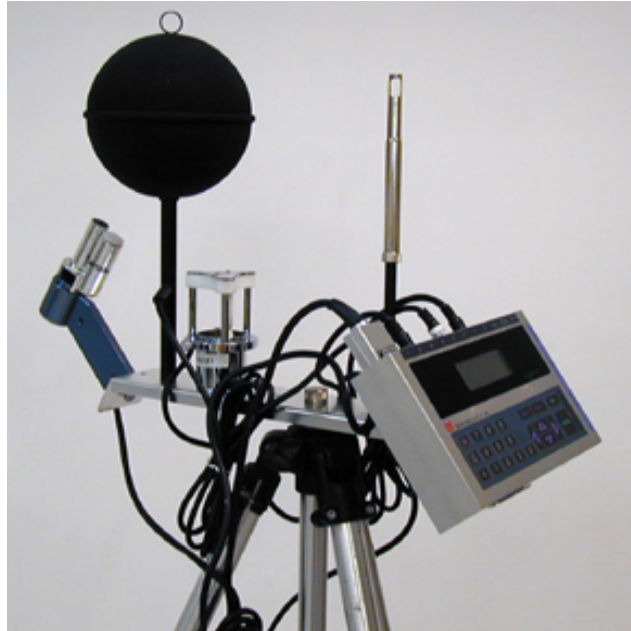


Figura 16 – Babuc A – BSA10.

3.5.3 InfoGAP

InfoGAP foi o *software* usado para a recolha e tratamento dos dados registados no BABUC A – BSA10. A versão do InfoGAP é a 2.0.5, código MW 6501 da LSI e a recolha e tratamento de dados são feitas segundo as normas internacionais ISO, para ambientes térmicos moderados e quentes:

- ISO 7730 (*Moderate Thermal Environments – Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort*);
- ISO 7243 (*Hot Environments – Estimation of the Heat Stress on Working Man, Based on the WBGT*);
- ISO 7933 (*Hot Environments – analytical determination and interpretation of thermal stress using calculation of required sweat rate*).

3.5.4 Folha de Cálculo para a obtenção do PMV

O cálculo do PMV foi feito com recurso a uma folha de cálculo programada para o efeito, segundo a Norma ISO 7730:2005.

3.6 Recolha de dados

3.6.1 Medições

As datas das medições realizadas foram:

- primeira medição – realizada no dia 20 de agosto de 2013;
- segunda medição – realizada no dia 21 de agosto de 2013;
- terceira medição – realizada no dia 23 de agosto de 2013;
- quarta medição – realizada no dia 26 de agosto de 2013;
- quinta medição – realizada no dia 27 de agosto de 2013;
- sexta medição – realizada no dia 29 de agosto de 2013;
- sétima medição – realizada no dia 30 de agosto de 2013.

As figuras 17 e 18 são de capital importância para o entendimento deste trabalho, pois é nela que se percebe a localização dos aparelhos em altura.

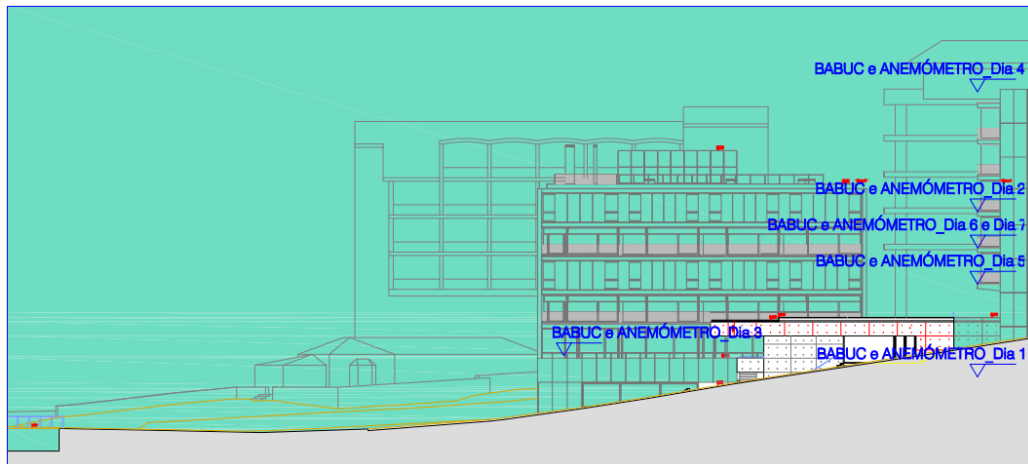


Figura 17 – Localização dos aparelhos de medições – Vista sul.

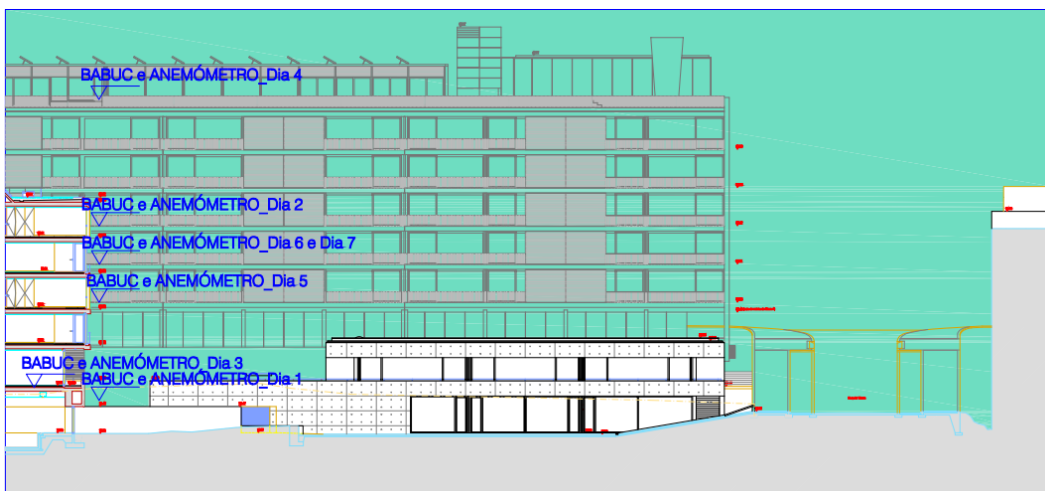


Figura 18 – Localização dos aparelhos de medições – Vista ponte.

3.7 Localização dos Equipamentos de Recolha de Dados

Para uma boa compreensão do trabalho desenvolvido, nomeadamente a localização dos aparelhos para a recolha dos dados usados e condicionantes existentes é feita uma descrição pormenorizada da localização em cada um dos dias.

3.7.1 Primeira Medição

O primeiro dia de registo de dados foi a 20 de agosto de 2013. Com o objetivo de se recolherem dados ao nível do solo, para posterior comparação com os dados do Wind Guru, o Babuc e o anemómetro foram colocados ao nível do solo, que corresponde ao piso menos dois da obra.

Durante a hora do almoço, uma vez que o aparelho ficava muito exposto para a rua, e com apreensão de que pudesse ser vandalizado ou furtado, optou-se por fechar as janelas e porta, continuando a ser feito o registo dos dados. Portanto, durante esse período, entre as 13 horas e as 14 horas, os dados correspondentes foram anulados, devido à falta de confiabilidade nos mesmos, como se pode observar na figura 19.

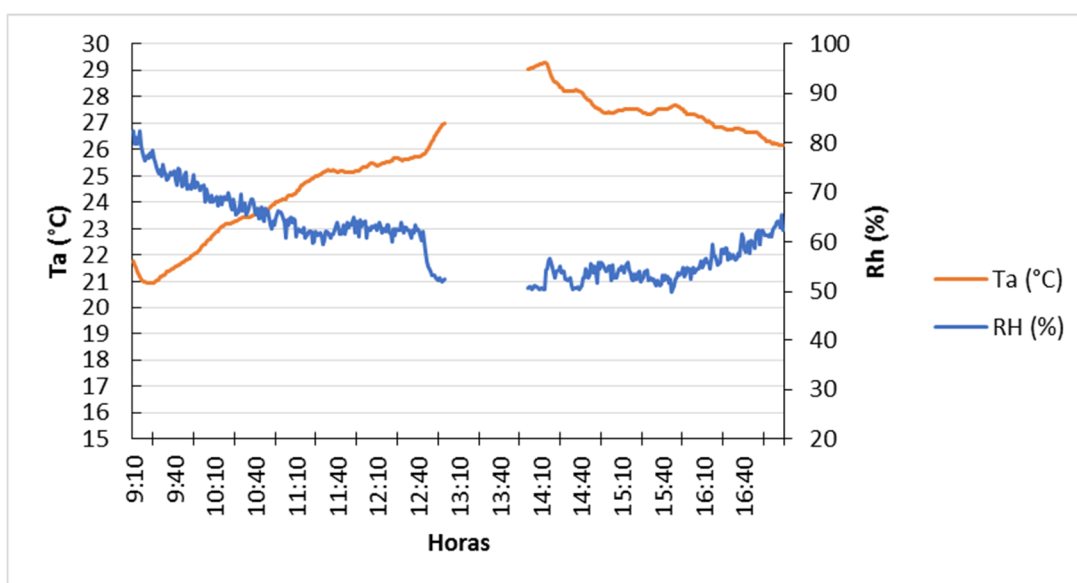


Figura 19 – Valores da Ta e Hr no dia 1.

3.7.2 Segunda Medição

No segundo dia optou-se por colocar os aparelhos no piso dois do bloco A3, uma vez que este bloco ainda não tinha a caixilharia colocada, criando assim as condições desejadas para este estudo, uma maior influência da velocidade do ar.

3.7.3 Terceira Medição

No terceiro dia mudou-se de bloco, a colocação dos aparelhos foi feita no bloco B, ao nível do piso menos um.

Ao contrário do que se verifica no bloco A, no bloco B as fachadas com vãos abertos estão voltadas a norte e a sul.

Assim, era de todo o interesse fazer registos de dados no bloco B, para se tentar perceber se existe variação da velocidade do ar conforme a orientação cardeal, que afete, consequentemente, a produtividade dos trabalhadores da construção.

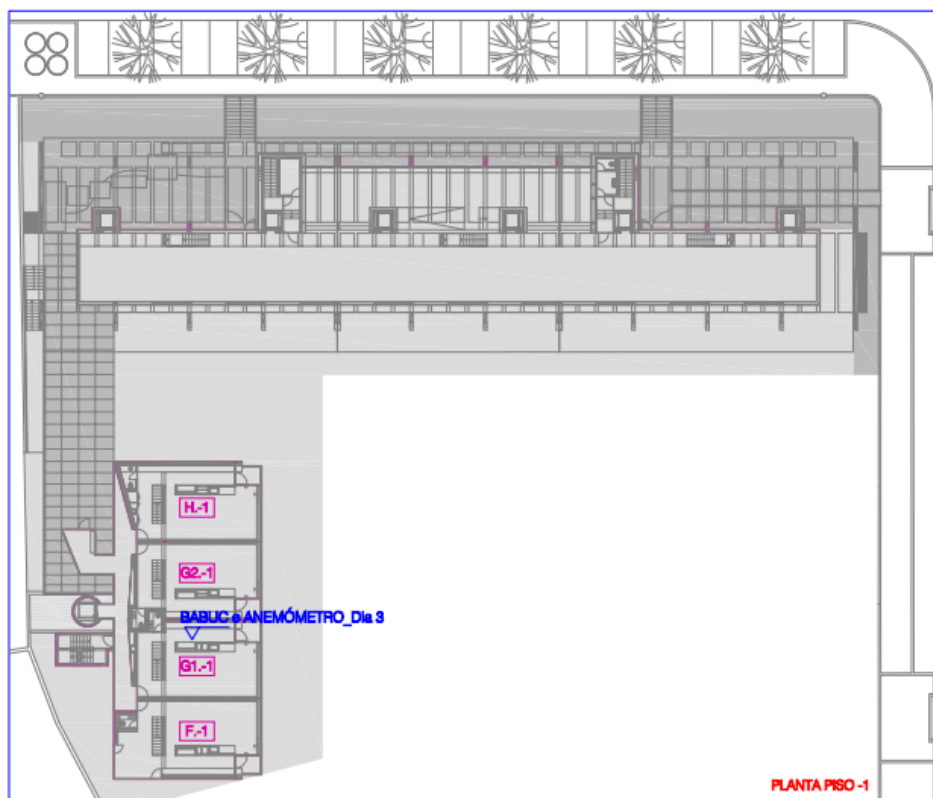


Figura 20 - Planta de localização dos aparelhos no dia 3.

Como houve apenas a possibilidade de fazer o registo de dados referente a um dia, no bloco B, a questão levantada não pode ser objeto de comparação, embora a velocidade do ar tenha sido crescente ao longo do dia.

Entre, sensivelmente, as 14h00 e as 15h00 não houve condições técnicas para proceder aos registos. Portanto, durante esse período, os dados correspondentes foram anulados, devido à falta de confiabilidade nos mesmos, como se pode verificar na figura 21.

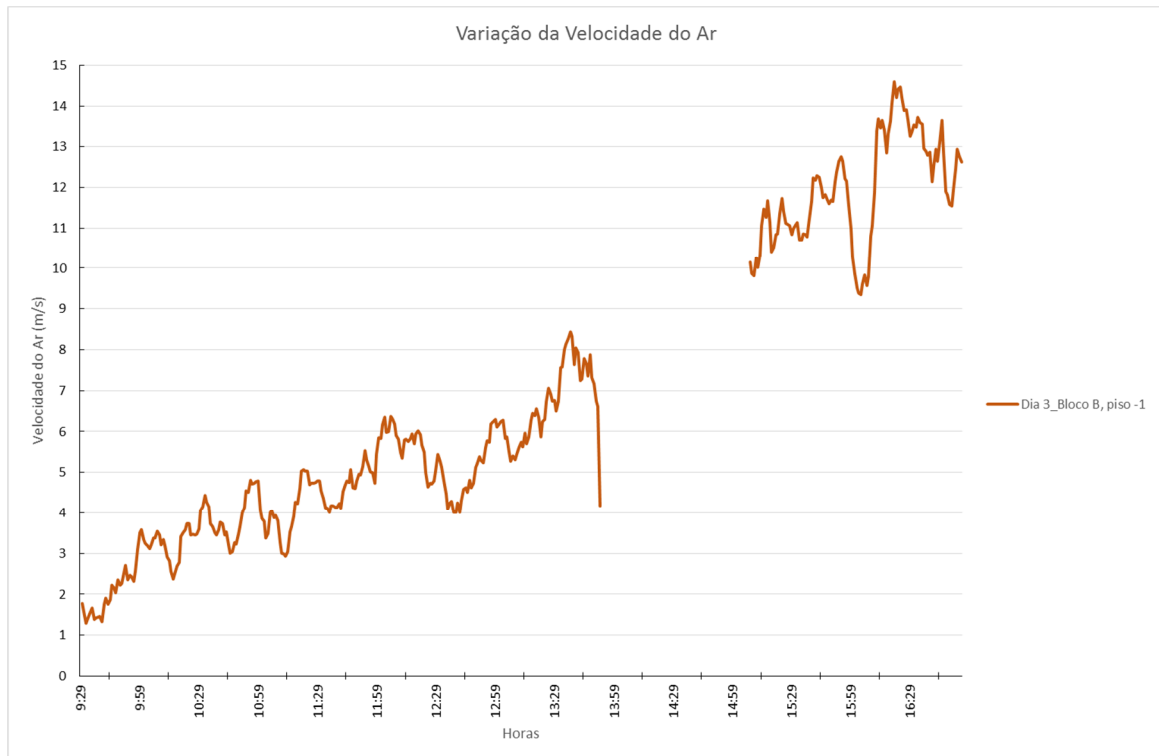


Figura 21 – Valores da velocidade do ar, no dia 3.

3.7.4 Quarta Medição

No quarto dia de registo de dados, os aparelhos foram colocados no bloco A3, no andar recuado.

As fachadas nascente e poente estavam perfeitamente desimpedidas de qualquer obstáculo e nas vertentes norte e sul existiam paredes de betão armado e tijolo.

3.7.5 Quinta Medição

No quinto dia os aparelhos foram colocados no bloco A3, no rés-do-chão (piso zero).

3.7.6 Sexta e Sétima Medições

Nestes dois dias, no bloco A3, os aparelhos foram colocados no piso 1.

3.8 Condições Atmosféricas Durante os Períodos das Medições

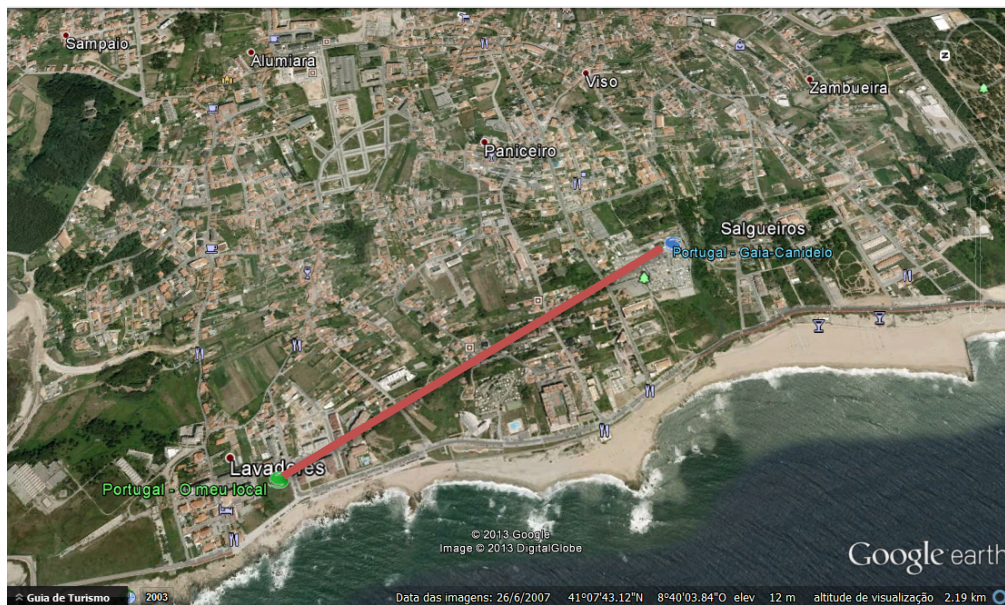


Figura 22 – Localização da obra e do Spot Wind Guru.

Dada a limitação no número de aparelhos disponíveis para a recolha dos dados, não foi possível proceder à caracterização das condições atmosféricas ao nível do solo. Assim, foram usados os dados das condições atmosféricas exteriores, referentes aos dias em análise, do Wind Guru⁸, uma vez que este apresenta dados relativos a Canidelo, em Vila Nova de Gaia. Na figura 22, pode observar-se a distância desde o local da obra até ao local de referência para as previsões Wind Guru e concluir que os dois locais são bastante próximos, na realidade, em linha reta, distam cerca de 1500 metros.

3.8.1 O Wind Guru

O Wind Guru é um serviço especializado em previsões meteorológicas, orientado para os amantes do windsurf e kitesurf. As previsões são baseadas em modelos meteorológicos. A velocidade do vento apresentada corresponde à velocidade dez metros acima do solo e o valor da temperatura do ar corresponde ao valor dois metros acima do nível do solo.

Os valores disponibilizados pelo Wind Guru, referentes aos dias nos quais foram efetuadas as medições são apresentados na tabela 6.

⁸ <http://www.windguru.cz/pt/>

| GFS 50 km | Velocidade do vento (m/s) | | | | | | | | Direcção do vento | | | | | | | | Temperatura (°C) | | | | | | | |
|------------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 01h | 04h | 07h | 10h | 13h | 16h | 19h | 22h | 01h | 04h | 07h | 10h | 13h | 16h | 19h | 22h | 01h | 04h | 07h | 10h | 13h | 16h | 19h | 22h |
| 20.08.2013 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 4 | 2 | 1 | | | | | | | → | | 18 | 20 | 20 | 24 | 31 | 29 | 25 | 17 |
| 21.08.2013 | 2 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 3 | 1 | | | | | | ↘ | ↘ | | 17 | 17 | 16 | 22 | 24 | 23 | 21 | 15 |
| 22.08.2013 | 1 | 0 | 1 | 1 | 4 | 5 | 4 | 3 | | | | | | ↘ | ↘ | ↘ | 14 | 13 | 14 | 20 | 22 | 22 | 20 | 16 |
| 23.08.2013 | 3 | 4 | 3 | 4 | 5 | 7 | 7 | 6 | | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↘ | ↘ | ↘ | 16 | 16 | 16 | 20 | 24 | 24 | 22 | 19 |
| 24.08.2013 | 6 | 6 | 6 | 6 | 7 | 8 | 8 | 7 | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | 18 | 17 | 17 | 21 | 25 | 26 | 24 | 19 |
| 25.08.2013 | 6 | 5 | 5 | 4 | 5 | 7 | 8 | 7 | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | 18 | 17 | 17 | 21 | 26 | 27 | 24 | 19 |
| 26.08.2013 | 6 | 5 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 | 5 | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | 17 | 16 | 16 | 21 | 26 | 27 | 25 | 21 |
| 27.08.2013 | 4 | 4 | 3 | 2 | 2 | 5 | 5 | 4 | ↙ | ↙ | ↙ | ↙ | ↙ | ↙ | ↙ | 20 | 19 | 18 | 22 | 27 | 27 | 25 | 20 | |
| 28.08.2013 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 5 | 5 | 5 | ↙ | ↙ | ↙ | ↙ | ↙ | ↓ | ↙ | 19 | 20 | 18 | 23 | 27 | 27 | 25 | 21 | |
| 29.08.2013 | 5 | 5 | 4 | 3 | 2 | 4 | 5 | 4 | ↙ | ↙ | ↙ | ↙ | ↙ | ↓ | ↙ | 21 | 20 | 18 | 22 | 26 | 26 | 24 | 20 | |
| 30.08.2013 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 5 | 5 | 3 | ← | ← | ← | ← | ← | ↘ | ↘ | 20 | 19 | 18 | 22 | 28 | 26 | 24 | 19 | |

Tabela 6 – Dados meteorológicos do Wind Guru.

3.9 Dados Obtidos

Após a medição e o tratamento dos dados, através dos equipamentos e software referidos, e utilizando os módulos de estudo de ambientes moderados e quentes utilizando os módulos de estudo de ambientes moderados e quentes os dados obtidos foram (Tabela 7).

Tabela 7 - Dados e respetiva gama de valores obtida através das medições.

| Símbolo | Gama de funcionamento | Obtenção do valor |
|---------------|-----------------------|-------------------|
| ta (°C) | 0 a 60°C | Medido |
| tw (°C) | -10 a 30°C | Medido |
| tg (°C) | 10 a 40°C | Medido |
| RH (%) | 0 a 100% | Medido |
| tr (°C) | 0 a 80°C | Calculado |
| va (m/s) | 0,8 a 40,0 m/s | Medido |
| WBGT Ext (°C) | 0 a 40°C | Calculado |
| PMV | -3 a +3 | Calculado |

3.9.1 Parâmetros adotados

Para o cálculo do PMV, assumiu-se:

- Vestuário muito leve 0.5 clo;
- Nível de atividade média da construção 3.0 met;

Sendo que:

- De acordo com a Norma ANSI/ASHRAE Standard 55-2010, 1 met equivale a 58 W.m⁻², o que para um adulto médio corresponde a 104.4 W;

- Na ISO 8994:2004 a indústria da construção apresenta tarefas que podem variar de trabalhos leve a trabalho pesado. Nesse sentido temos:
 - Trabalho leve: $100 \text{ W.m}^{-2} = 100 / 58 = 1.73 \text{ met}$;
 - Trabalho pesado: $290 \text{ W.m}^{-2} = 290 / 58 = 5 \text{ met}$.

O registo, feito pelo Anemómetro WL1, dos valores da velocidade do ar, com intervalos de 1 minuto, deram origem a gráficos de leitura difícil. Portanto, optou-se por trabalhar com valores da velocidade do ar obtidos através da média ponderada 5 minutos. Assim, exceto no gráfico da figura 24, todas as representações gráficas da velocidade do ar são apresentadas com valores media ponderada a 5 minutos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados das medições

De modo a facilitar a leitura e análise dos dados e resultados desta tese, todas as medições e resultados foram colocados no ANEXO 1, agrupados por dia/local da medição.

Para cada dia/local da medição são apresentados os registos dos parâmetros medidos e, segundo os índices ambientais térmicos adotados, os valores calculados.

A título elucidativo, são apresentados tabelas e gráficos, feitos com base nos valores medidos e calculados, para o primeiro dia em que foram feitos registos dos parâmetros, dia vinte de agosto de 2013. Neste primeiro dia de registos, os aparelhos foram colocados ao nível do solo, correspondente ao piso menos um do empreendimento, e as medições tiveram início às 9h10 e terminaram às 17h09.

Tabela 8 – Parâmetros Ambientais do primeiro dia.

| Parâmetro | Média | Mínimo | Máximo | Desvio Padrão |
|---------------|-------|--------|--------|---------------|
| ta (°C) | 25,88 | 20,96 | 29,28 | 2,24 |
| tw (°C) | 24,61 | 20,88 | 27,96 | 2,06 |
| tg (°C) | 26,65 | 20,62 | 29,81 | 2,20 |
| RH (%) | 59,84 | 49,90 | 82,50 | 7,56 |
| tr (°C) | 27,56 | 19,78 | 31,49 | 2,62 |
| va (m/s) | 0,48 | 0,00 | 2,27 | 0,55 |
| WBGT Ext (°C) | 25,02 | 21,14 | 28,42 | 2,08 |
| PMV | 2,37 | 1,32 | 2,88 | 0,29 |

Observando os valores de referência, apresentados na Tabela 8 e expressos nos gráficos das figuras 23 e 24, podemos fazer uma caracterização inicial do dia em análise.

Imediatamente pode-se concluir que foi um dia com uma amplitude térmica significativa, de 8.32°C, e com uma temperatura ambiente alta, compreendida entre um valor mínimo de 20.96°C, atingido no início do dia de trabalho, e um máximo de 29.28°C, atingido depois da hora do almoço.

A variação da humidade relativa acompanhou a variação da temperatura. O valor máximo foi registado no início da manhã e o valor mínimo ao início da tarde. A amplitude do intervalo da variação é de 32.60%.

Relativamente à velocidade do ar, podemos concluir que esta varia ao longo do dia, aumentando no período da tarde.

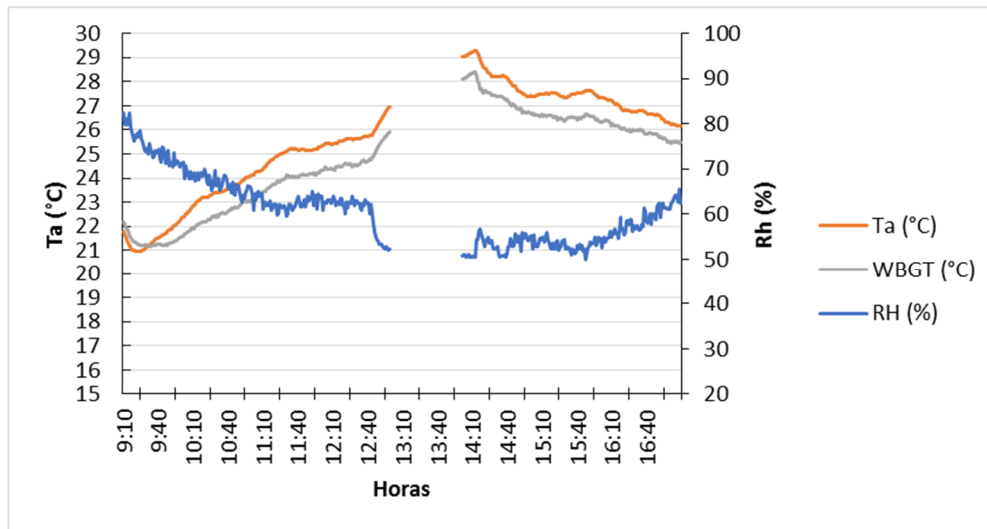


Figura 23 – Temperatura do ar (Ta) e umidade relativa (Hr) no dia 20 de agosto de 2013.

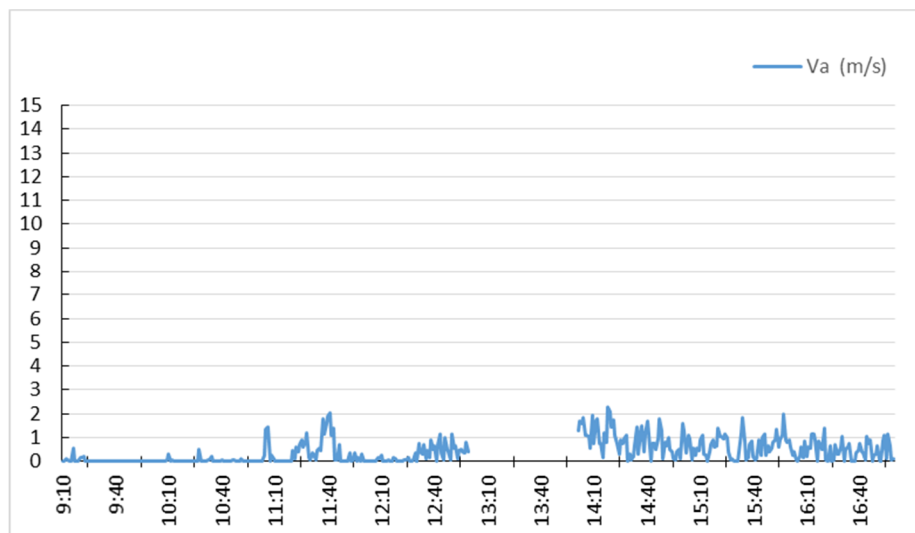


Figura 24 - Velocidade do ar (Va) no dia 20 de agosto de 2013.

Os valores do PMV, expressos na tabela 1 permitem atestar que o dia em estudo foi um dia que seria considerado quente a muito quente, uma vez que o valor médio do PMV foi de 2.37, tendo sido atingido o máximo de 2.88.

Através do valor obtido, e de acordo com a norma ISO 7730, pode-se concluir que o ambiente era quente. Assim, impôs-se uma análise segundo a norma ISO 7243:1989. O valor médio do WBGT foi de 25.02°C e o valor máximo 28.42°C, segundo o gráfico da figura 23. Assim, foi atingido o nível de alerta, uma vez que o valor máximo do WBGT se encontra acima do valor de referência normalizado para pessoas não aclimatizadas (26°C) e até mesmo acima do valor de referência normalizado para pessoas aclimatizadas (28°C) (tabela 2).

Sendo assim, segundo a mesma norma, e de acordo com a figura 2, neste dia deveria ter sido implementado um ciclo de trabalho/descanso, no qual o trabalhador numa hora deveria

trabalhar 75% e descansar 25%, para que os trabalhadores não estivessem sobre *stress* térmico.

4.2 Tratamento e análise de resultados

A tabela 9 mostra-nos que no primeiro dia de registos, os dados recolhidos pelos instrumentos de medição e os valores do Wind Guru, são muito diferentes.

Assim, o Wind Guru não poderá ser útil neste trabalho, uma vez que esta medição foi feita ao nível do solo, local onde pretendíamos fazer a validação dos dados do mesmo. Caso essa validação tivesse possível, os valores disponibilizados pelo Wind Guru poderiam ser muito úteis no desenvolvimento deste trabalho, pois, com o equipamento disponível não foi possível fazer comparação dos valores da velocidade do ar a diferentes níveis ou locais, no mesmo instante.

Esta diferença de valores deve-se ao facto de os valores apresentados no Wind Guru serem previsões feitas com base em modelos meteorológicos e no presente estudo se trabalhar com dados reais.

Tabela 9 – Valores do Wind Guru

| Data | Hora | Wind Guru_Ta (°C) | Ta (°C) | Wind Guru_Va (m/s ⁻¹) | Va (m/s ⁻¹) |
|------------|----------|-------------------|---------|-----------------------------------|-------------------------|
| 20/08/2013 | 10:00:00 | 24 | 21,48 | 2 | 0,03 |
| 20/08/2013 | 13:00:00 | 31 | 24,69 | 1 | 0,24 |
| 20/08/2013 | 16:00:00 | 29 | 27,99 | 4 | 0,85 |

4.3 Tendências verificadas

Ao longo dos sete dias de recolha de dados, verificou-se que existiam tendências na variação de alguns dos dados recolhidos, nomeadamente na temperatura do ar (Ta), humidade relativa (Hr) e na velocidade do ar (Va).

4.3.1 Variação da temperatura do ar e da humidade relativa

Segundo o gráfico da figura 25 pode-se constatar que a variação da temperatura pode ser dividida em dois grupos.

No primeiro grupo podem-se incluir os dias 1, 2 e 3, nos quais o valor da temperatura foi subindo ao longo da jornada de trabalho dentro de um intervalo com uma curta amplitude, cerca de 3°C para os dias 2 e 3 e de 8°C no dia 1.

No segundo grupo poderão alocar-se os restantes dias, dias 4, 5, 6 e 7, nos quais se verifica uma subida da temperatura até a meio do dia, antes ou depois da hora do almoço, que depois desce significativamente.

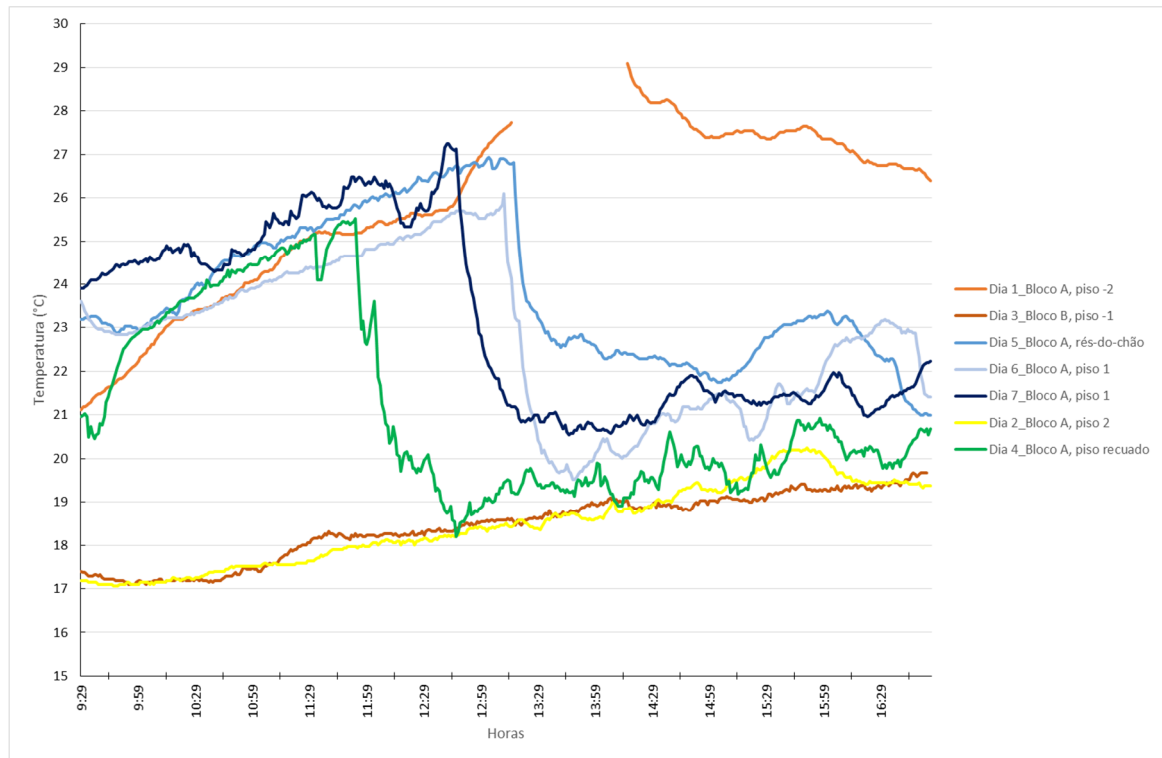


Figura 25 – Variação temperatura do ar (T_a) ao longo dos dias.

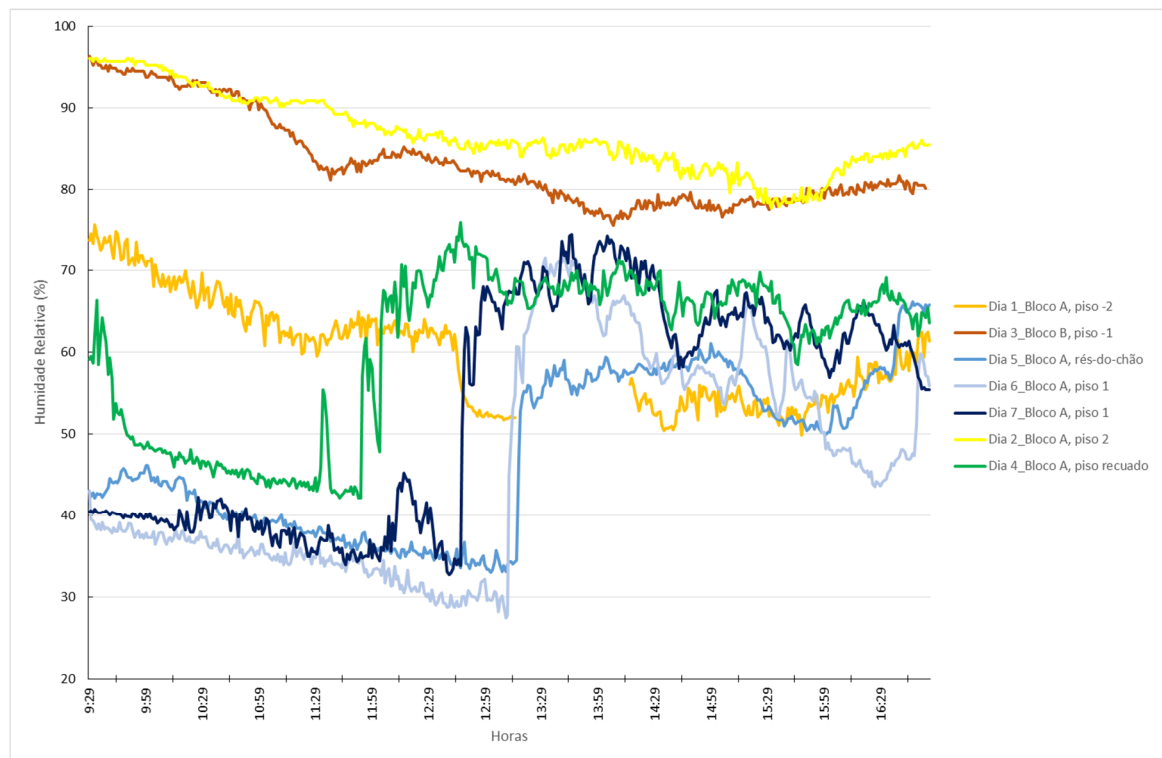


Figura 26 – Variação humidade relativa (H_r) ao longo dos dias.

Relativamente à variação da humidade relativa (H_r), expressa no gráfico da figura 26, pode-se concluir que esta acompanha a variação da temperatura do ar, isto é, quando a temperatura ar sobe a humidade relativa desce e vice-versa, o que era expectável. Assim, a variação da

humidade relativa pode ser dividida em dois grupos, tal como a divisão feita para a variação da temperatura.

No primeiro grupo, onde se incluem os dias 1, 2 e 3, a humidade relativa foi baixando ao longo do dia de trabalho, sem apresentar variações significativas.

No segundo grupo, dias 4, 5, 6 e 7, verifica-se que há uma alteração brusca do valor da humidade relativa, entre as 12h00 e as 14h00. Essa subida significativa do valor da humidade relativa acompanha a descida da temperatura, tal como era previsível.

4.3.2 Variação da velocidade do ar

A variação da velocidade do vento não é tão linear como a variação da humidade relativa e da temperatura do ar.

Analisando o gráfico da figura 27 verifica-se de imediato que o terceiro dia de registo de dados é aquele que mais presença tem na representação gráfica. O facto de neste dia os aparelhos *Babuc A* e *anemómetro* terem sido colocados no bloco B pode ser a explicação para tal, ou seja, o bloco B tem as fachadas com aberturas orientadas a Norte-Sul, o que na costa norte portuguesa é muito significativo, pois, os ventos predominantes são os ventos de Norte e noroeste que, com frequência, alcançam velocidades elevadas durante a tarde (ver secção 2.6), como se verifica na representação gráfica da velocidade do ar no dia 3, gráfico da figura 27.

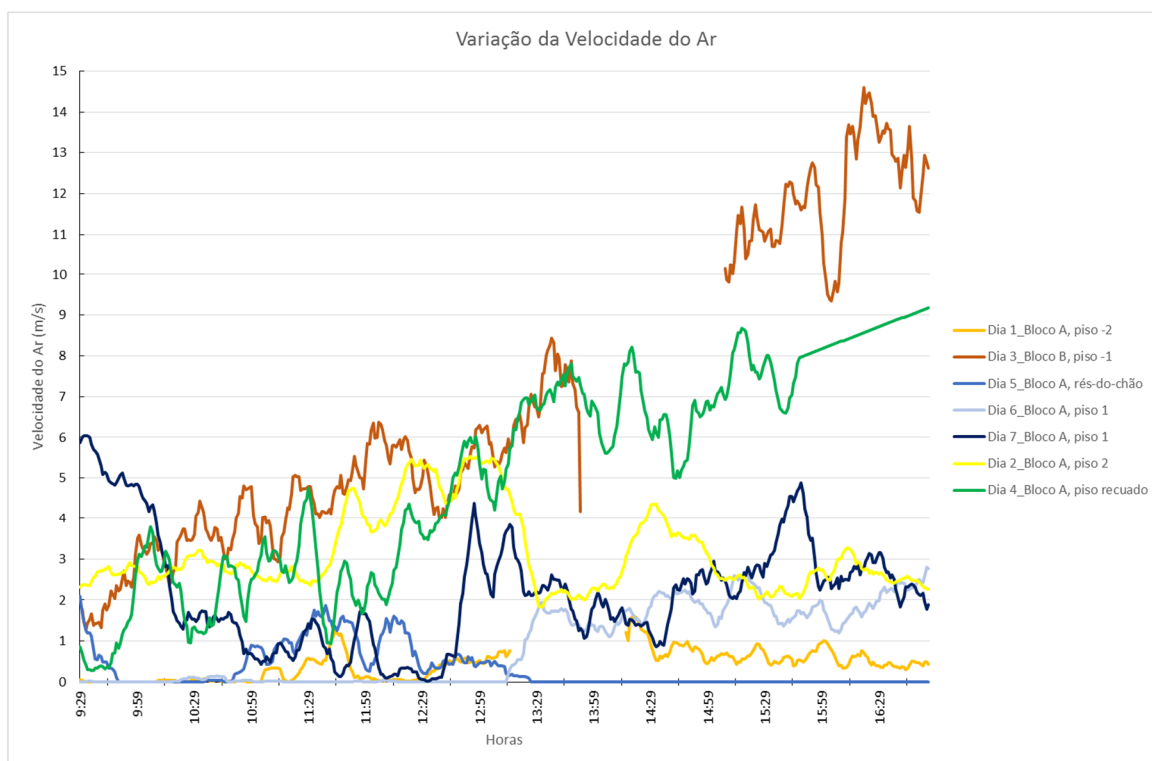


Figura 27 – Variação velocidade do ar (V_a) ao longo dos dias.

Assim, uma vez que a posição dos aparelhos no terceiro dia foi distinta dos outros seis dias, registos feitos no bloco A com orientação das fachadas abertas Nascente-Poente, a análise à variação do ar será feita sem considerar o registo do dia 3, gráfico da figura 28:

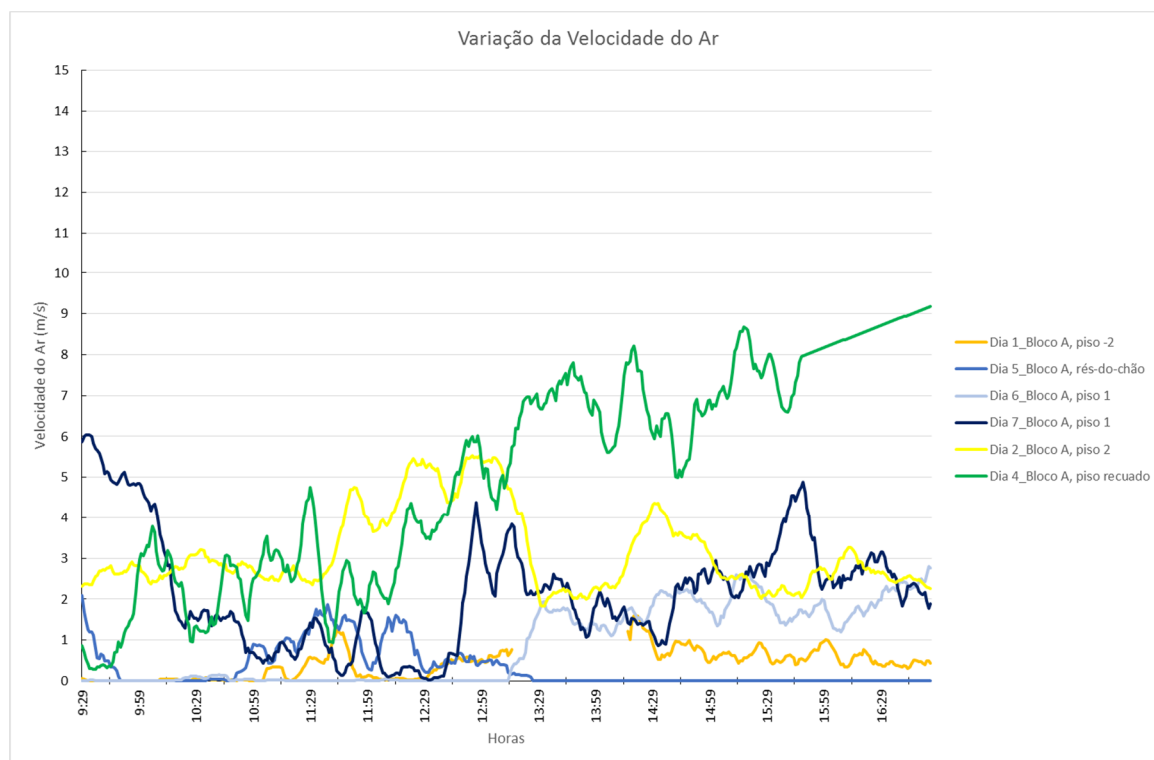


Figura 28 – Variação velocidade do ar (V_a) no bloco A.

Feita a análise ao gráfico da figura 29 pode-se concluir que a velocidade do vento varia com a altura, isto é, à medida que o aparelho foi “subindo” em altura, a velocidade do ar também subiu. Continua-se a verificar-se o efeito das “Nortadas” depois do meio-dia, normalmente, uma vez que é na parte da tarde que são registadas maiores velocidades do ar.

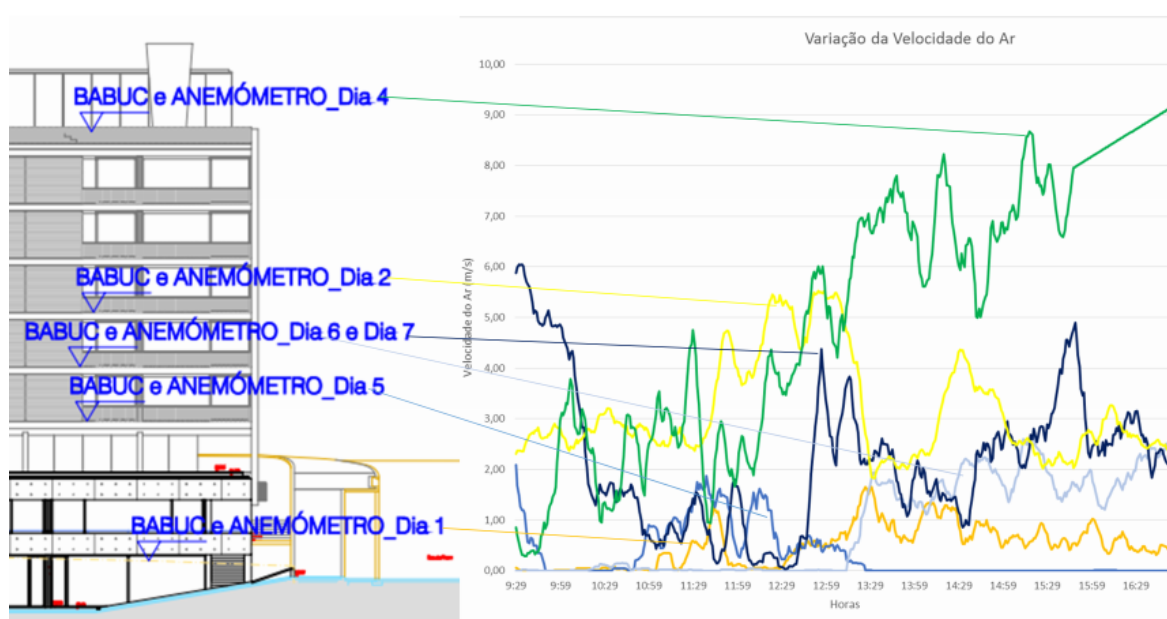


Figura 29 – Variação velocidade do ar (V_a) no bloco A, por piso.

A exceção será o dia cinco, uma vez que neste, a velocidade do ar na parte de tarde foi, praticamente, nula. Esta situação explica-se com o facto de os registos terem sido feitos num local onde a existência de aberturas para o exterior é praticamente inexistente. No dia dois as velocidades do ar mais altas não foram registadas na parte da tarde mas na parte da manhã. Isto verifica-se porque o dia não apresentou valores da temperatura do ar típicos de um dia de verão, assim, de acordo com o explicitado na secção 2.6, a diferença de temperatura entre o ar e a água do mar não era significativa, daí que a formação do vento não fosse a típica de um dia de verão, com as consequentes nortadas.

4.4 Wind Chill

O Wind Chill é função da temperatura e da velocidade do ar. Assim, são apresentados os gráficos onde se pode verificar a variação dos referidos parâmetros.

Em termos de valores de temperatura do ar, a gama de valores obtida na recolha de dados está bastante acima do valor limite superior, 10°C. Por outro lado, grande parte dos valores da velocidade do ar recolhidos estão acima do valor mínimo para o cálculo do Wind Chill, 1.39 m.s⁻¹.

A variação dos valores do Wind Chill, no primeiro dia de registo de medições, foi contrária ao expectável, ou seja, o valor não baixou à medida que a velocidade do ar subiu. Neste dia, observando o gráfico da figura 30, verifica-se que a temperatura do ar registada é muito superior à temperatura máxima do ar válida para o cálculo do valor do Wind Chill e a velocidade do ar também esteve, praticamente, abaixo do limite válido, 1.39 m.s⁻¹. Os valores obtidos são superiores aos valores da temperatura do ar, o que não se devia verificar. Esse resultado deve-se ao facto de o valor da temperatura ter sido ultrapassado e o valor mínimo da velocidade do ar não ter sido atingido.

O gráfico da figura 31 mostra que no segundo dia de medições, o valor máximo da temperatura do ar para validação dos resultados do cálculo foi ultrapassado mas os valores da velocidade do ar estão dentro da gama válida de valores, no entanto, o valor do Wind Chill está maioritariamente acima do valor da temperatura do ar, o que não é expectável. Esse resultado deve-se ao facto de o valor da temperatura ter sido ultrapassado.

Na figura 32, referente ao terceiro dia, podemos verificar que, como se registaram valores de temperatura do ar relativamente baixos e velocidades do ar bastante significativas, com uma temperatura média de 18.42°C, valor máximo de 19.67°C e valor mínimo de 17.10°C, o resultado do Wind Chill já se aproxima do esperado, uma vez que o valor do Wind chill acompanha a variação da temperatura e com valores inferiores a esta.

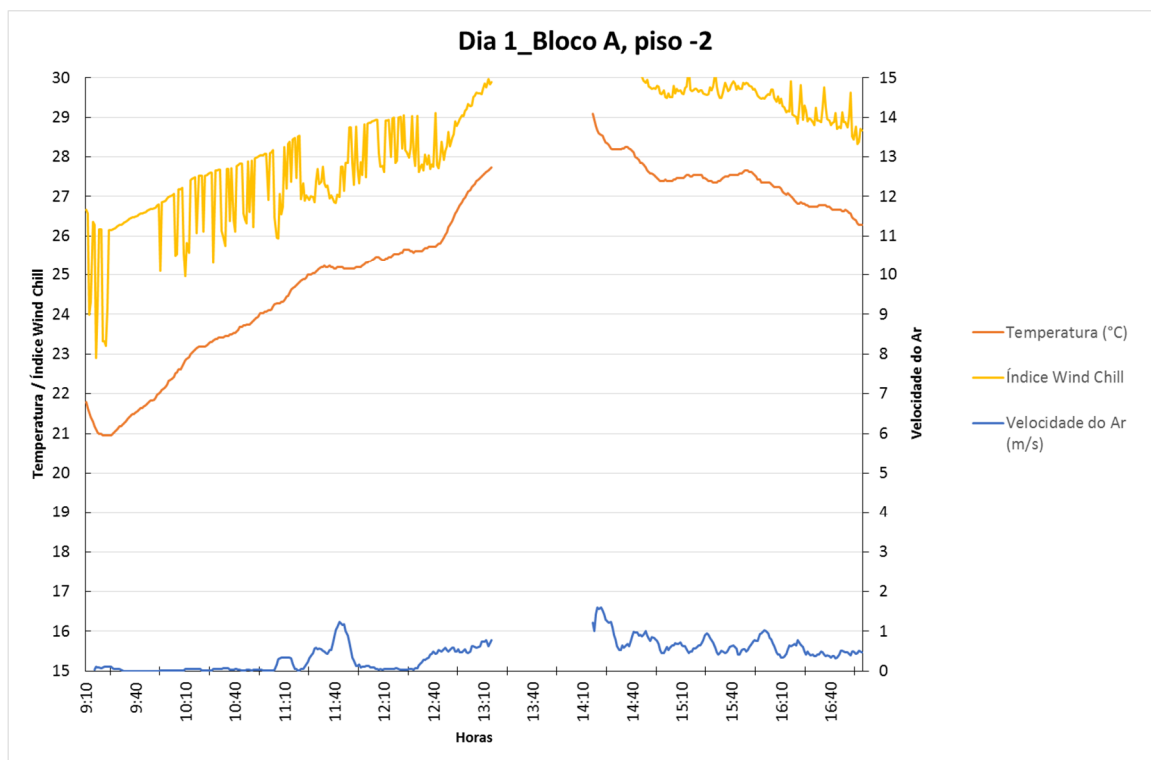


Figura 30 – Variação do Wind Chill no dia 1.

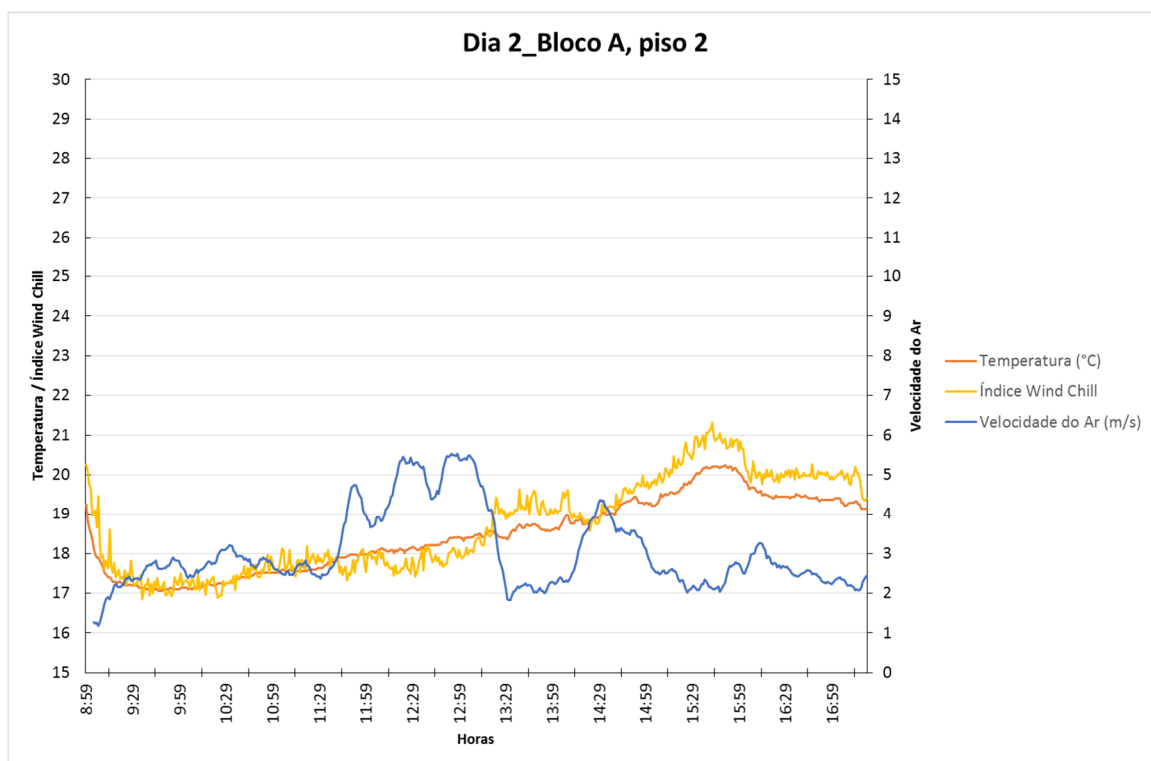


Figura 31 – Variação do Wind Chill no dia 2.

No quarto dia, gráfico da figura 33, verifica-se que, na parte da manhã, onde a velocidade do ar registada foi mais baixa e a temperatura do ar mais alta, o valor obtido para o Wind Chill foi contrário ao expectável. No entanto, perto do meio-dia, onde se verificou uma

quebra nos valores da temperatura do ar e um aumento significativo dos valores da velocidade do ar, o valor do Wind Chill já foi inferior ao valor da temperatura do ar, no entanto, considerando os valores da velocidade do ar verificados, essa diferença devia ser muito significativa, o que não se verifica.

Analisando o gráfico da figura 34, com dados referentes ao dia 5, constata-se que o valor obtido no cálculo do Wind Chill é sempre contrário ao esperado, o valor é sempre superior à temperatura do ar. Esta situação verifica-se porque os valores da velocidade do ar, acima do valor mínimo para aplicação da fórmula para o cálculo do Wind Chill, só se verifica mesmo no início da manhã mas acompanhado com temperaturas bem altas, durante o todo o dia, muito superiores aos 10°C.

Neste sexto dia, gráfico da figura 35, verificamos que durante o período da manhã, onde a temperatura do ar foi muito superior a 10°C e o valor da velocidade do ar inferior a 1.39 m.s⁻¹ o valor do Wind Chill foi superior à temperatura do ar, contrário ao esperado, com uma diferença significativa entre os valores. No período da tarde, como a velocidade do ar ultrapassou o valor mínimo, 1.39 m.s⁻¹ a diferença entre o valor do Wind Chill e a temperatura do ar foi menos significativo, no entanto, sempre contrário ao previsível.

No sétimo dia, representado no gráfico da figura 36, verifica-se que o valor da temperatura do ar é sempre ultrapassado pelo valor do Wind Chill e, tal como verificado no gráfico da figura 33, apesar de o valor ser contrário ao previsível, quando o valor da velocidade do ar é maior a diferença entre os valores da temperatura do ar e Wind Chill são menos significativos.

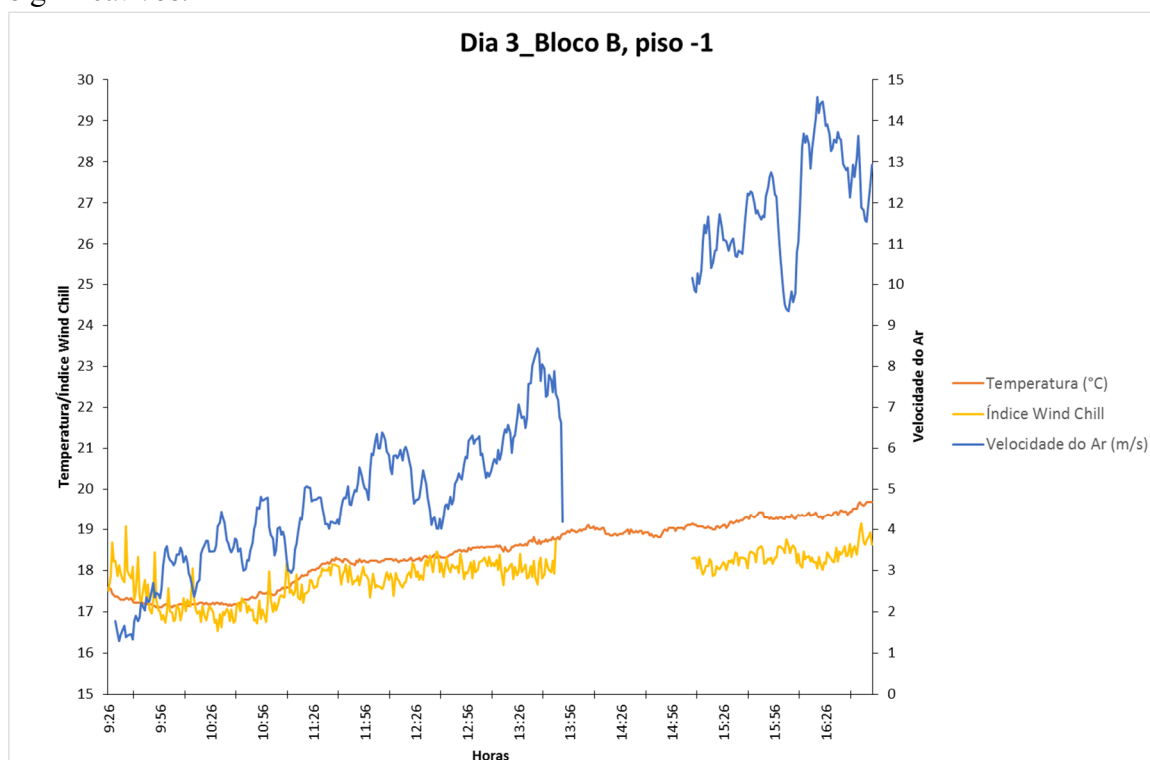


Figura 32 – Variação do Wind Chill no dia 3.

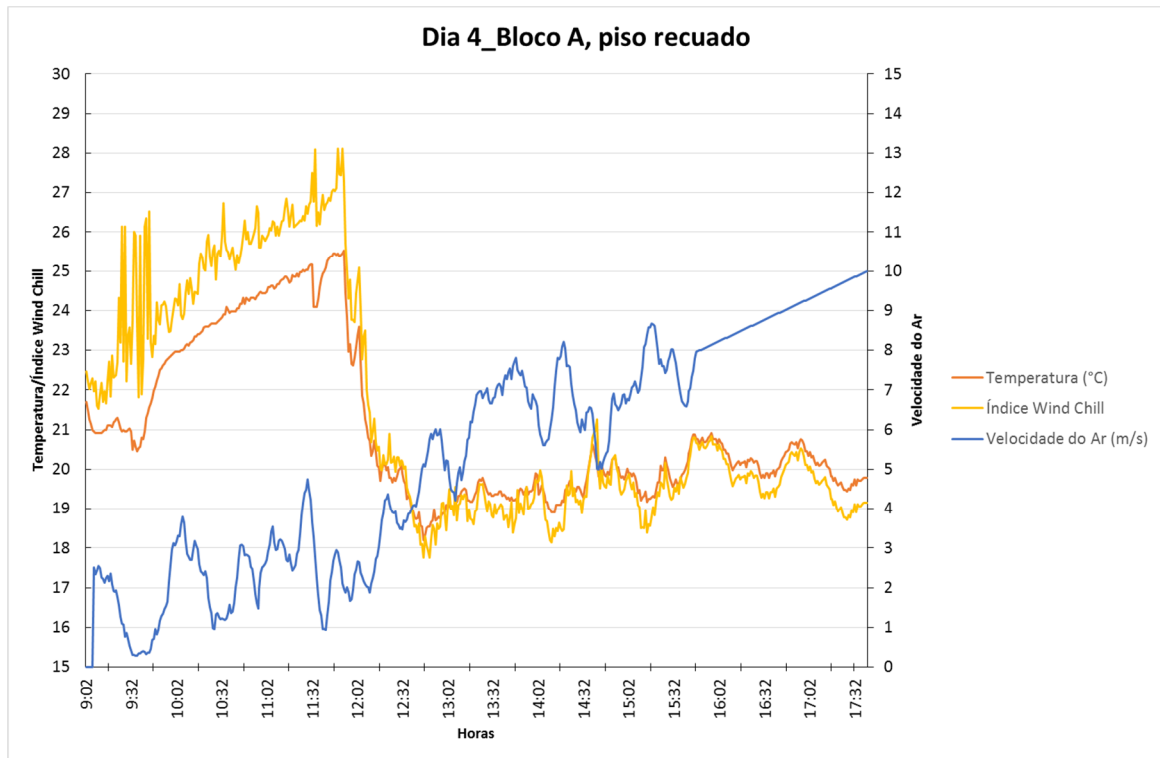


Figura 33 – Variação do Wind Chill no dia 4.

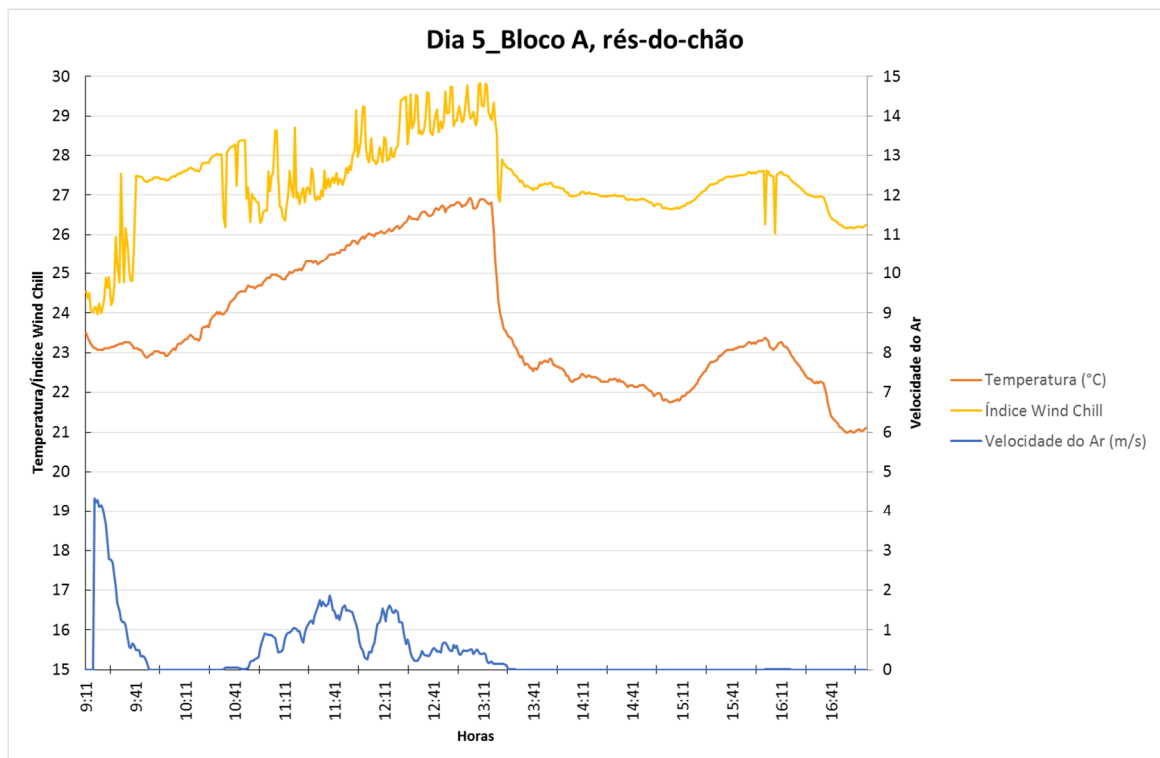


Figura 34 – Variação do Wind Chill no dia 5.

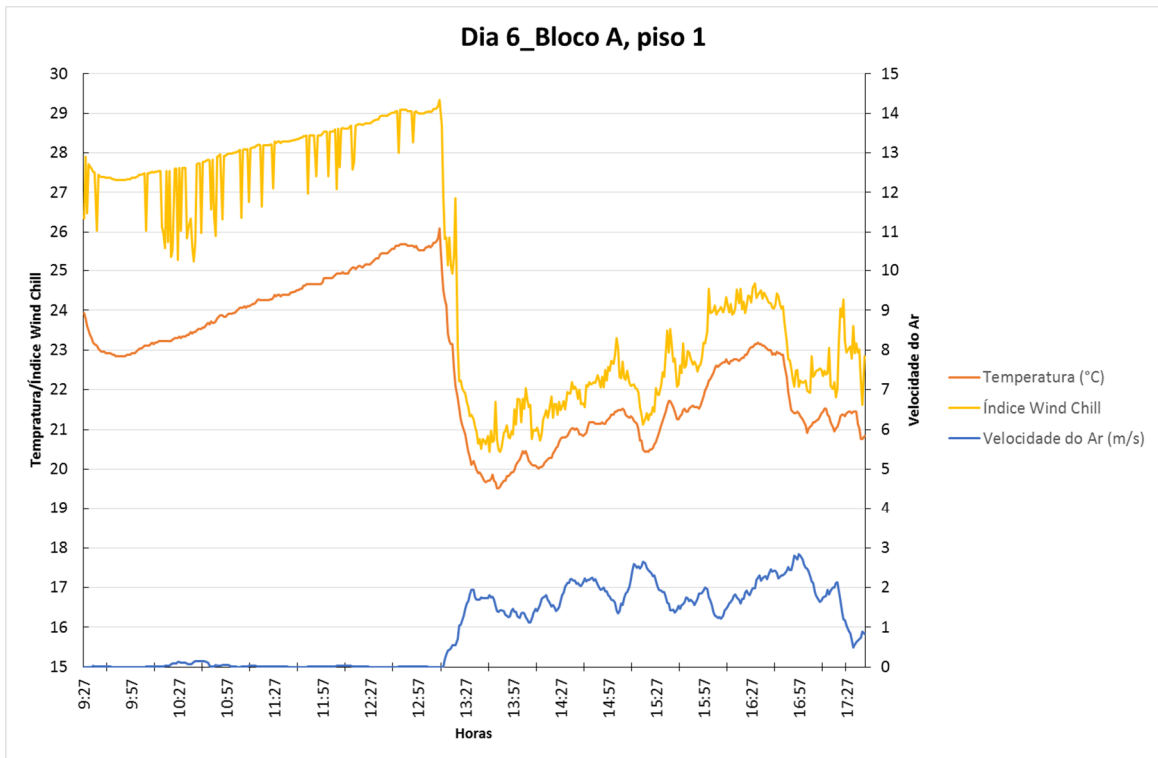


Figura 35 – Variação do Wind Chill no dia 6.

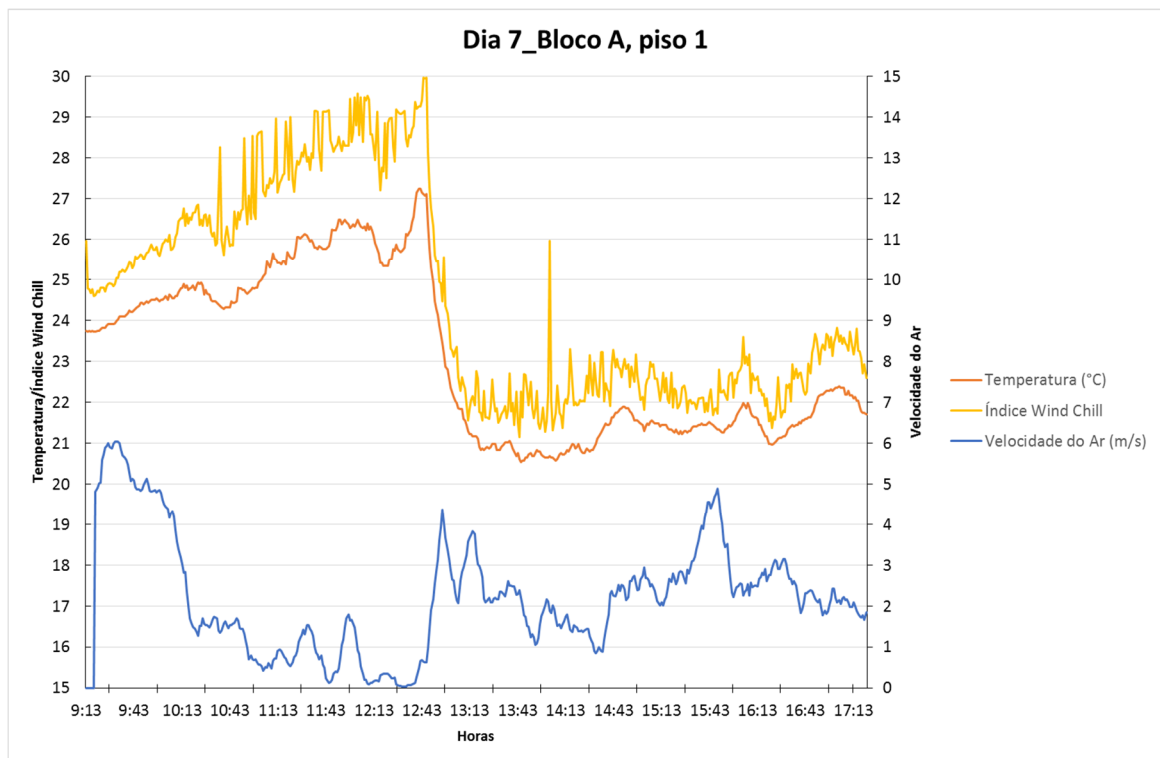


Figura 36 – Variação do Wind Chill no dia 7.

4.5 PMV

O valor do PMV varia de acordo com os valores da temperatura radiante (T_r) (que é função da temperatura do ar (T_a), velocidade do ar (V_a) e a temperatura de globo (T_g)), temperatura do ar (T_a), velocidade do ar (V_a) e a humidade relativa (H_r). Assim, são apresentados os gráficos de cada um dos dias analisados, com os valores do PMV obtidos, os valores da temperatura do ar (T_a), velocidade do ar (V_a) e a humidade relativa (H_r).

Analisando os gráficos apresentados nas figuras 37 a 43, podemos concluir que em todos os dias de recolha de dados foi excedido o limite da velocidade do ar (V_a) para o cálculo do PMV. Os valores limite da temperatura também foram ultrapassados.

Observa-se também que nenhum dos dias apresentou um ambiente térmico aceitável, pois, o intervalo $-0.5 < PMV < 0.5$ foi sempre ultrapassado. Os dias que se apresentaram um ambiente térmico mais próximo do aceitável, dentro dos limites do intervalo referido, foram os segundo e terceiro dia, o que, *in situ* não foi verificado, uma vez que nesses dias os valores registados da velocidade do ar foram bastante significativos, chegando aos 16 m.s^{-1} , atingindo velocidades que interferiam com o decorrer normal dos trabalhos.

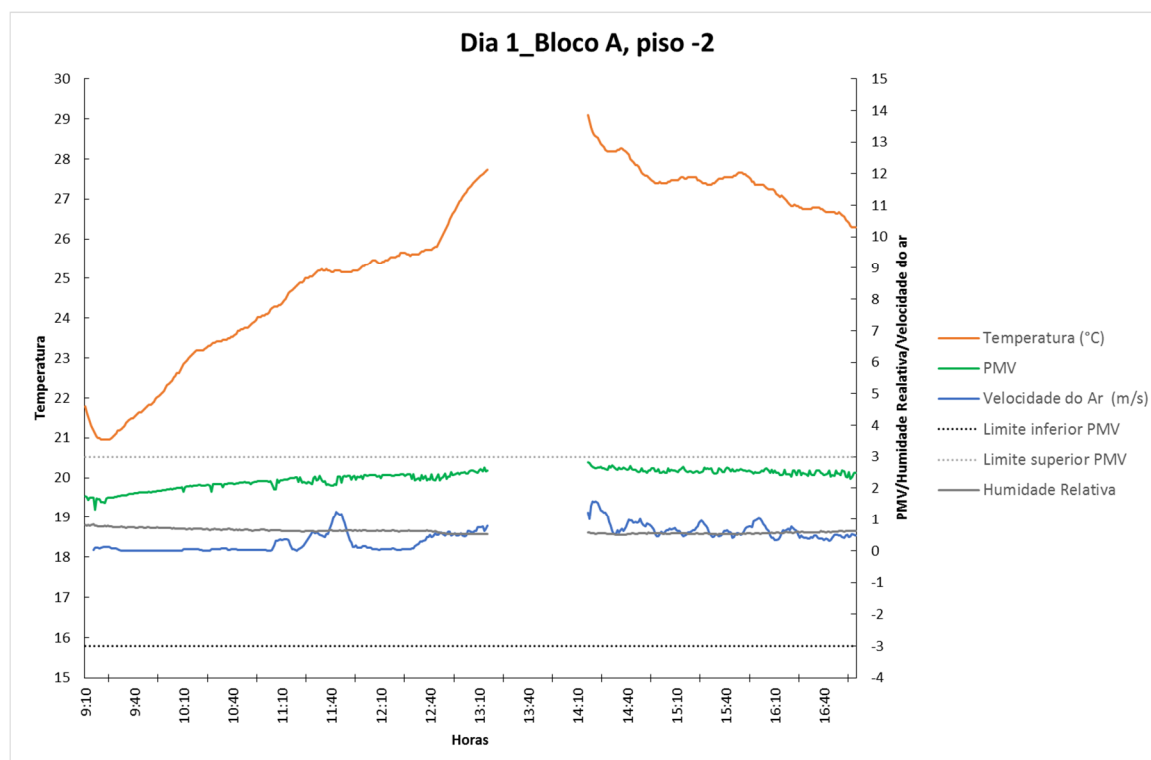


Figura 37 - Variação do Índice PMV no dia 1.

Analisando o gráfico da figura 37, respeitante ao primeiro dia de registo de dados, observa-se que os valores do PMV ficaram muito afastados do intervalo do conforto térmico, $-0.5 < PMV < 0.5$. O valor do PMV varia com a temperatura ambiente, velocidade do ar e humidade relativa e, como os valores recolhidos são de um dia de verão, a temperatura do ar devia variar entre os 23 a 26°C e a velocidade do ar devia ser inferior a 0.25 m.s^{-1} , para que os resultados fossem válidos, situação que não foi verificada. Assim, apesar de os valores obtidos para o PMV não serem válidos, verifica-se que acompanharam a evolução da

temperatura do ar, velocidade do ar e humidade relativa e que os valores limite para o PMV não foram excedidos.

O segundo dia, que se encontra expresso no gráfico da figura 38, mostra que os valores limite do PMV não foram excedidos, -3 a 3. Durante o período da manhã, foi atingido o conforto térmico, segundo os valores do PMV, no entanto, no local verificou-se que havia desconforto provocado pela velocidade do ar.

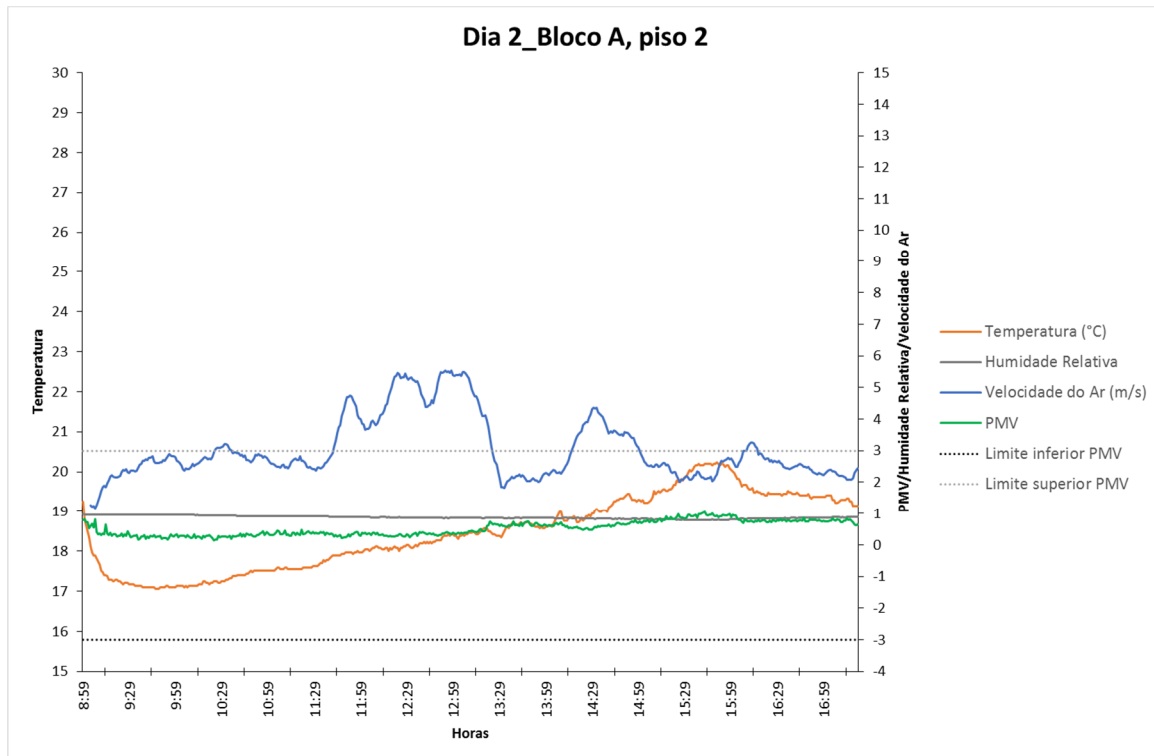


Figura 38 - Variação do Índice PMV no dia 2.

Ao longo do terceiro dia, representado no gráfico da figura 39, foi atingido o conforto térmico, uma vez que os valores do PMV se mantiveram, quase sempre, entre os valores -0.5 e 0.5. Contudo, os intervalos de validade para os resultados, da temperatura do ar, humidade relativa e velocidade do ar, não foram verificados; os valores da temperatura do ar estiveram fora do intervalo, entre os 23 e 26°C e a velocidade do ar foi sempre muito superior a 0.25 m.s^{-1} . No local verificou-se um grande desconforto provocado pela elevada velocidade do ar.

No decorrer do quarto dia, representado no gráfico da figura 40, os valores limite do PMV não foram ultrapassados mas o intervalo de conforto térmico nunca foi alcançado. Novamente, tal como nos primeiro, segundo e terceiro dias, os intervalos de validade para os resultados não foi verificado, quer os valores da temperatura do ar, quer os valores da velocidade do ar, foram largamente ultrapassados, no caso da temperatura do ar, os valores foram inferiores mas os valores da velocidade do ar foram muito superiores.

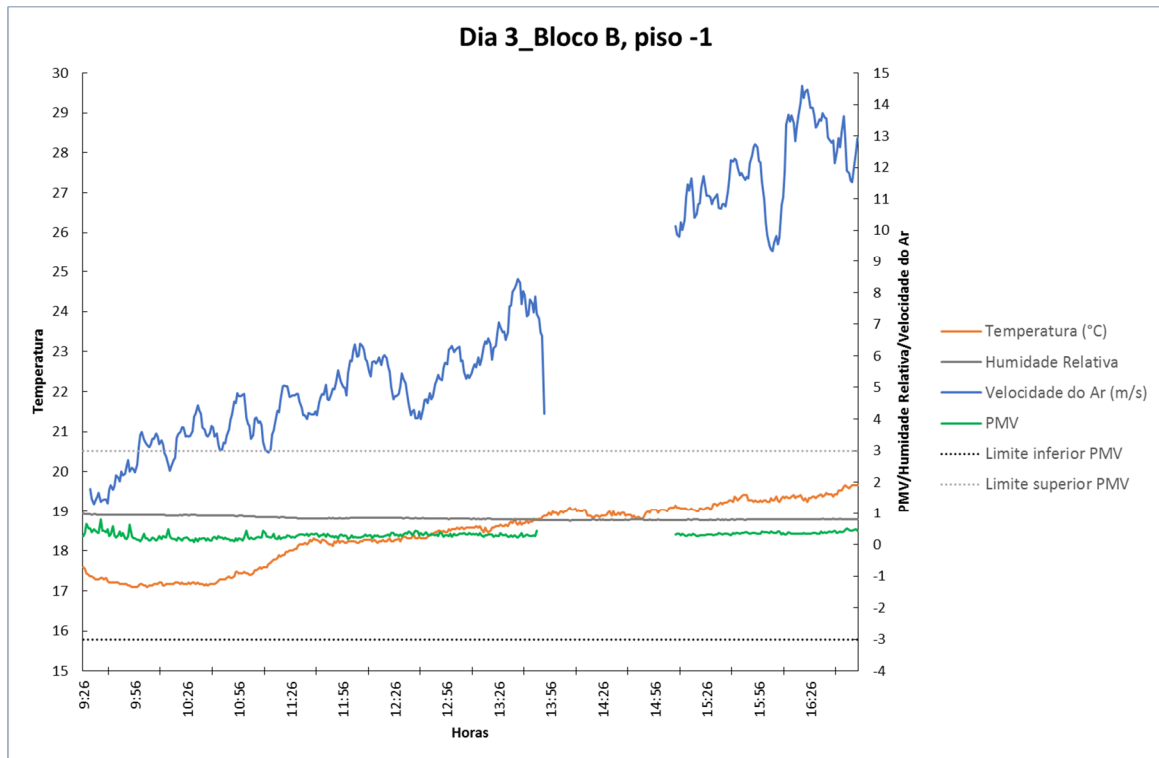


Figura 39 - Variação do Índice PMV no dia 3.

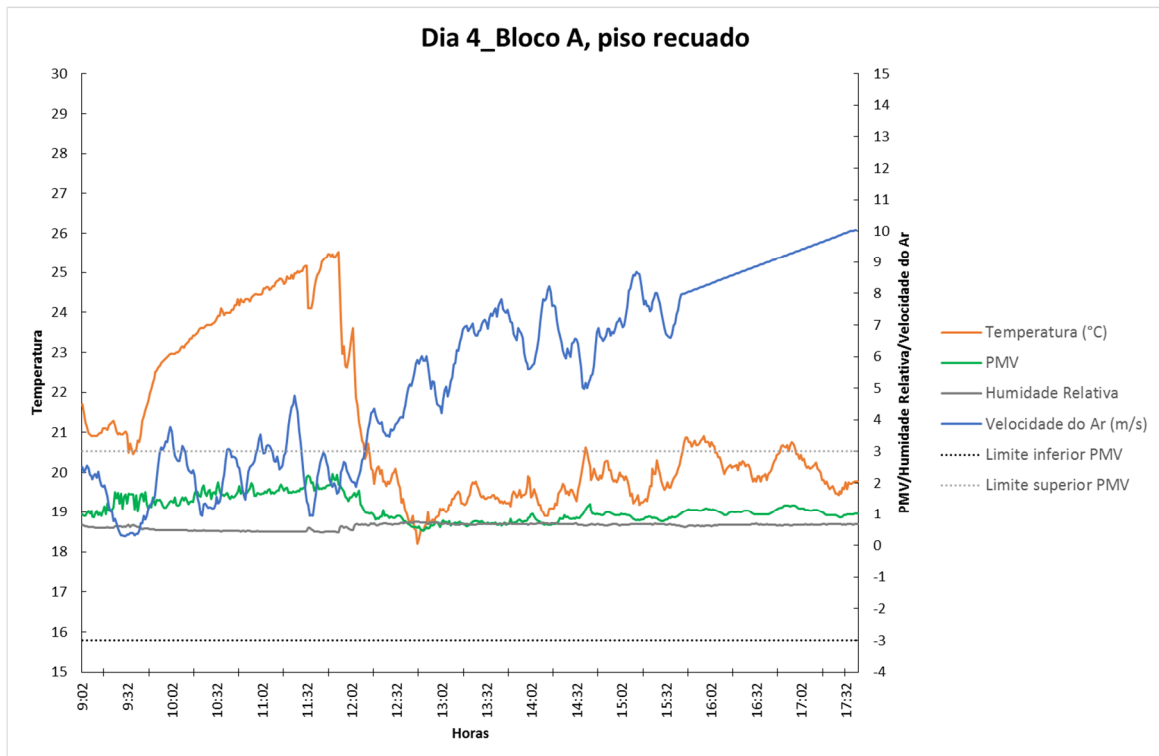


Figura 40 - Variação do Índice PMV no dia 4.

No dia cinco, gráfico da figura 41, os intervalos de validade para os resultados não foram verificados, contudo, foi o dia, a par do dia seis, em que mais se aproximaram dos valores dos intervalos de validação; verificou-se isso no período da manhã, no caso da temperatura,

e no período da tarde, no caso da velocidade do ar. No entanto, os valores do PMV mantiveram-se sempre acima do valor limite superior do conforto térmico, apesar de não ter sido ultrapassado o valor limite do PMV.

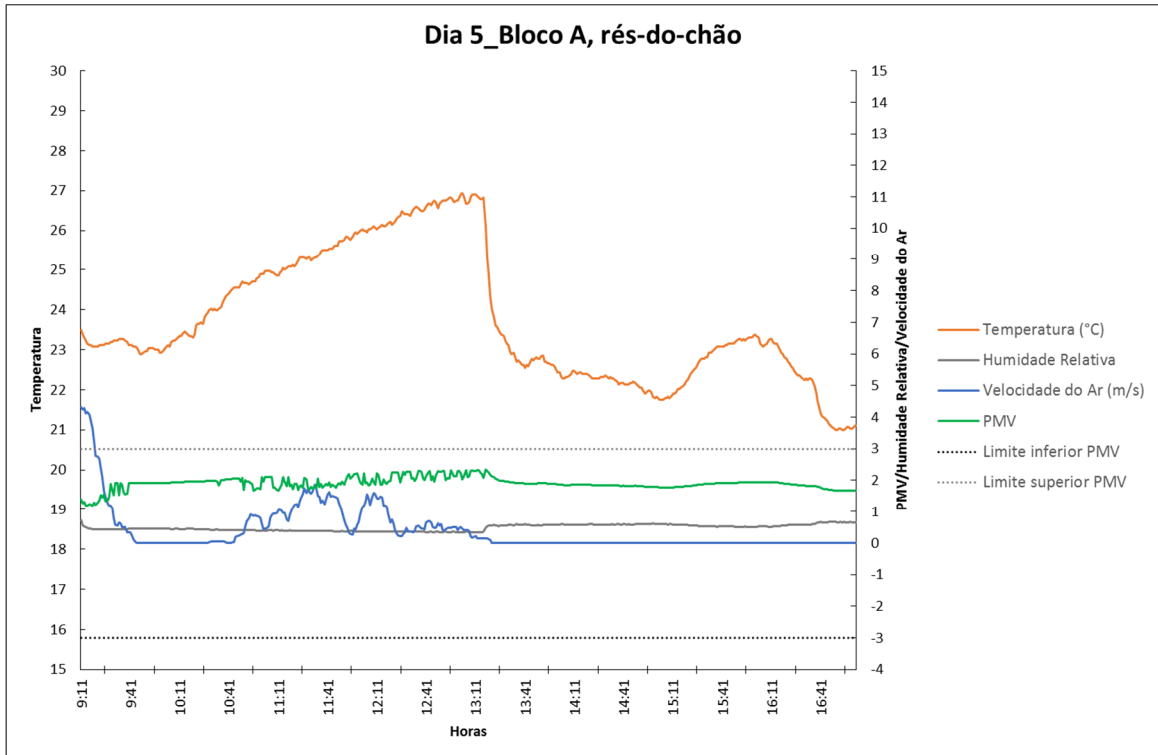


Figura 41 - Variação do Índice PMV no dia 5.

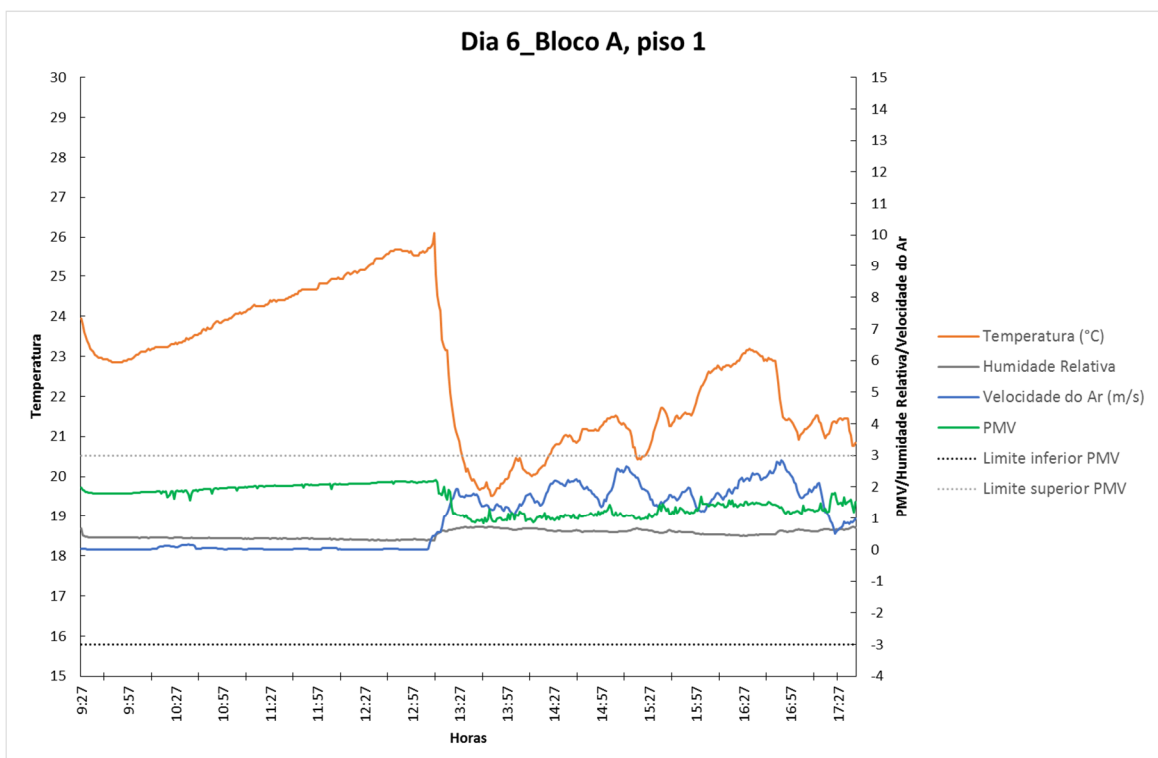


Figura 42 - Variação do Índice PMV no dia 6.

Tal como no dia cinco, no sexto dia, representado no gráfico da figura 42, os intervalos de validade para os resultados não foram verificados, mas aproximaram-se dos valores dos intervalos de validação; verificou-se isso no período da manhã, nos valores da temperatura do ar e da velocidade do ar. No entanto, os valores do PMV mantiveram-se sempre acima do valor limite superior do conforto térmico, apesar de não ter sido ultrapassado o valor limite do PMV.

O dia sete, gráfico da figura 43, foi análogo aos quinto e sexto dias, apesar de os valores verificados ficarem mais distantes dos intervalos de validade para os resultados. Analisando o gráfico da figura 43, no período da manhã, os valores da temperatura do ar estão contidos nos intervalos mas o valor da velocidade do ar é sempre ultrapassado. Os valores limite do PMV não foram ultrapassados mas não foram atingidos valores de conforto térmico.

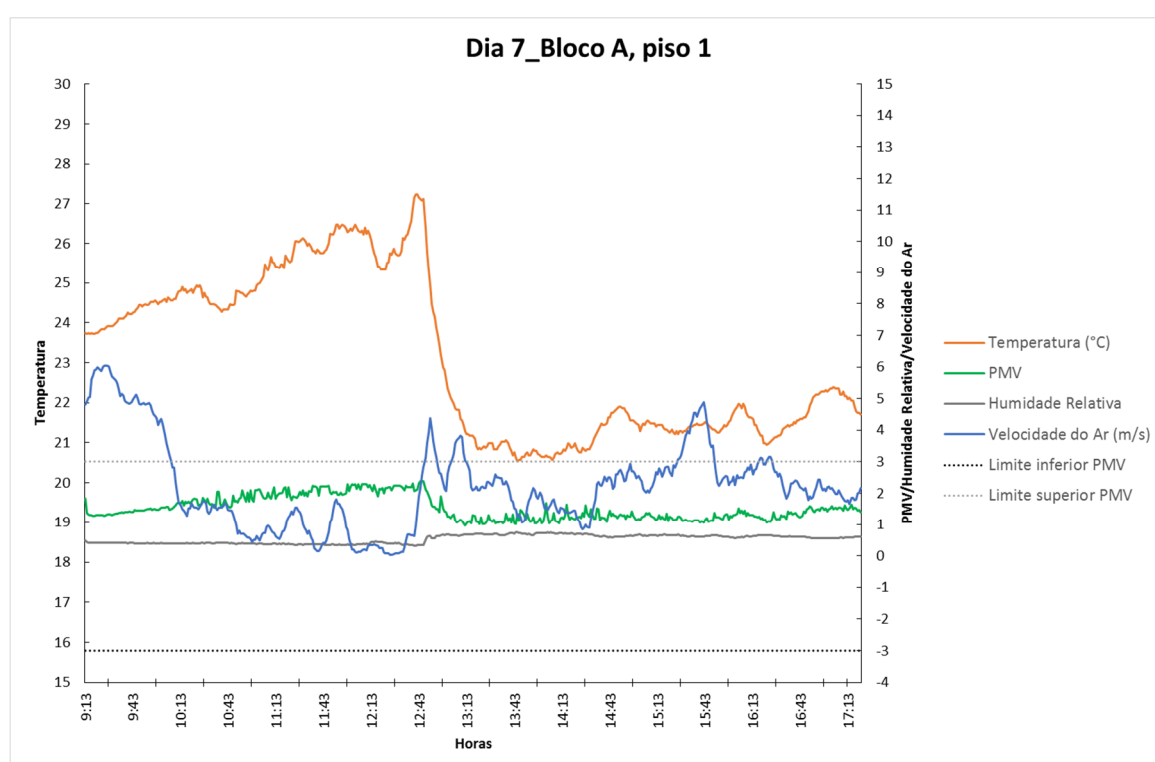


Figura 43 - Variação do Índice PMV no dia 7.

4.6 Modelos de Produtividade

No capítulo 2, Revisão da Literatura, já foi feita uma abordagem aos modelos previsionais de produtividade usado neste trabalho. São eles os modelos de Koehn & Brown (1985), Thomas e Yiakoumis (1987) e Mohamed Sherif (2002).

Com esta análise importa perceber se algum dos modelos varia com a altura e a velocidade do ar (V_a).

4.6.1 Modelo de Mohamed and Srinavin

Neste modelo os autores relacionaram a produtividade com o PMV, para três tipos de tarefas, tarefas leves, moderadas e pesadas.

Na representação gráfica é apresentada, para cada dia, a variação da produtividade com o índice PMV, para os três tipos de tarefas: produtividade para tarefas leves (PL), produtividade para tarefas moderadas (PM), produtividade para tarefas pesadas (PH).

Analisando genericamente os gráficos das figuras 44 a 50 conclui-se para valores do $0.08 \leq \text{PMV} \leq 0.5$, os valores da produtividade para tarefas leves e moderadas atingem os valores máximos, alguns valores de produtividade, nesta gama de valores, chegam a ultrapassar os 100%. Para estes valores do PMV a produtividade para tarefas pesadas é mínima, tendo sido atingido o valor mínimo de 85% de produtividade para um valor de PMV de 0.08, valor mínimo do PMV obtido.

Para uma gama de valores do PMV entre 0.5 e 1.00 os valores da produtividade para tarefas leves e moderadas são máximos e para tarefas pesadas são muito próximos dos valores máximos da produtividade para esse tipo de tarefa, do dia em análise.

Para o intervalo de valores do PMV compreendidos entre 1.00 e 2.00, não foi possível encontrar um padrão de variação das produtividades para os trabalhos leves e moderados, no entanto, para trabalhos pesados, os valores da produtividade são máximos, para o dia considerado.

A falta de congruência e convergência de valores deve-se ao facto de os valores limite da velocidade do ar e temperatura do ar, para validação dos resultados, terem sido ultrapassados.

No gráfico da figura 44, referente ao primeiro dia, verifica-se que a produtividade varia inversamente aos valores do PMV. Para trabalhos leves a produtividade é mais baixa do que para trabalhos moderados e pesados, sendo que a máxima produtividade é atingida para os trabalhos moderados, exceto no período do início da manhã, onde a máxima produtividade é atingida para os trabalhos pesados, onde o valor do PMV é inferior a 2.

Nos segundo e terceiro dias, gráficos das figuras 45 e 46, respetivamente, onde os valores do PMV variaram, sensivelmente, entre zero e um, a produtividade é mínima para trabalhos pesados, apresentando valores muito variados, mas para trabalhos moderados a produtividade atinge valores superiores a um, ou seja, produtividade superior a cem por cento, o que não pode ser considerado um valor válido. No caso dos trabalhos leves a produtividade atinge valores superiores à produtividade dos trabalhos moderados, o que também não se pode considerar válido.

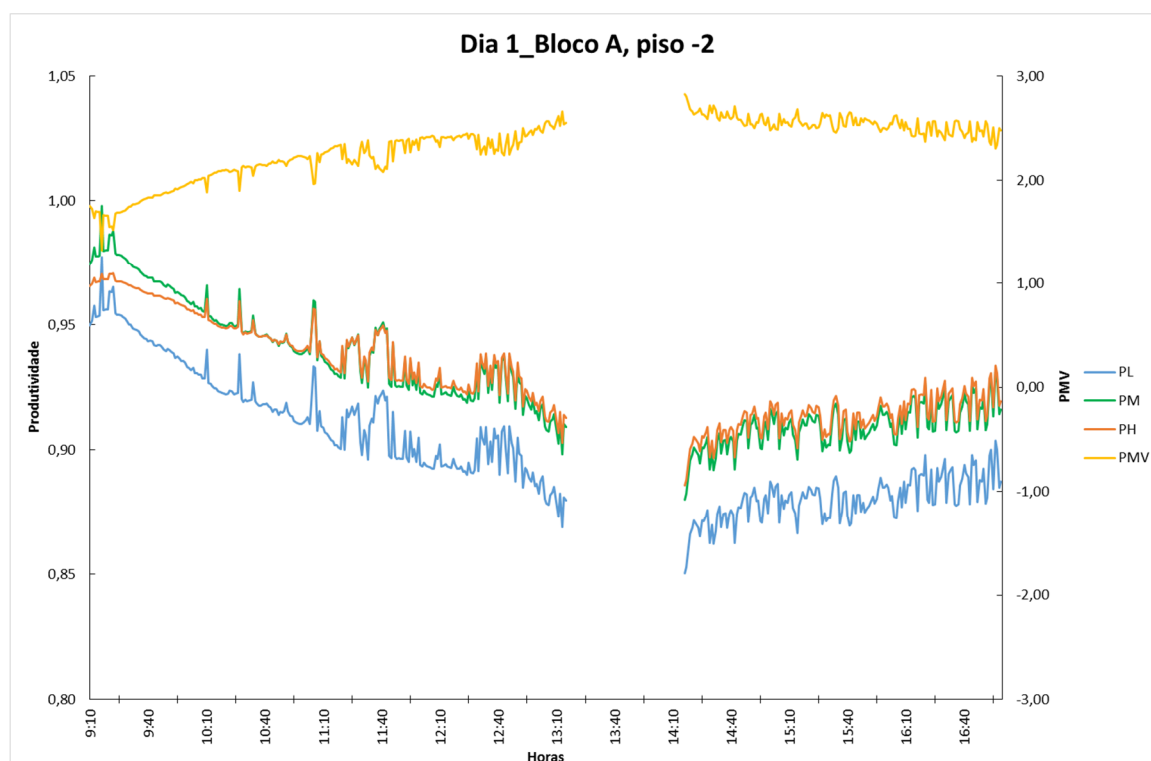


Figura 44 – Variação da Produtividade, no dia 1, segundo o modelo de Mohamed and Srinavin.

O que se pode concluir é que o valor da produtividade para trabalhos pesados é influenciado pelo valor da velocidade do ar (o PMV é função, entre outras variáveis, da velocidade do ar). No dia quatro, gráfico da figura 47, o modelo de Mohamed and Srinavin para a produtividade apresenta valores muito variados, ao contrário dos dias anteriores. Essa variação acompanha a variação dos valores do PMV. Assim, para valores do PMV compreendidos entre zero e um, os valores da produtividade são máximos para os trabalhos moderados mas não são mínimos para os trabalhos pesados. Esta variação, ao contrário da constatada nos gráficos das figuras 45 e 46, deve-se ao facto de neste dia os valores da velocidade do ar serem muito significativos.

O quinto dia, gráfico da figura 48, pode ser equiparado ao dia um. Os valores da produtividade, segundo o modelo de Mohamed and Srinavin acompanham a variação dos valores do PMV e os valores mínimos de produtividade correspondem ao trabalho leve e os valores máximos ao trabalho moderado.

Os dias sexto e sétimo, gráficos das figuras 49 e 50, são análogos em termos de produtividade, segundo o modelo de Mohamed and Srinavin. Ao longo de todo o dia, a variação da produtividade acompanha a variação do PMV. Na parte da manhã, tal como nos dias um e cinco, a produtividade é máxima para trabalhos moderados e mínima para os trabalhos leves. No período da tarde a produtividade é máxima para os trabalhos moderados e mínima para os trabalhos pesados.

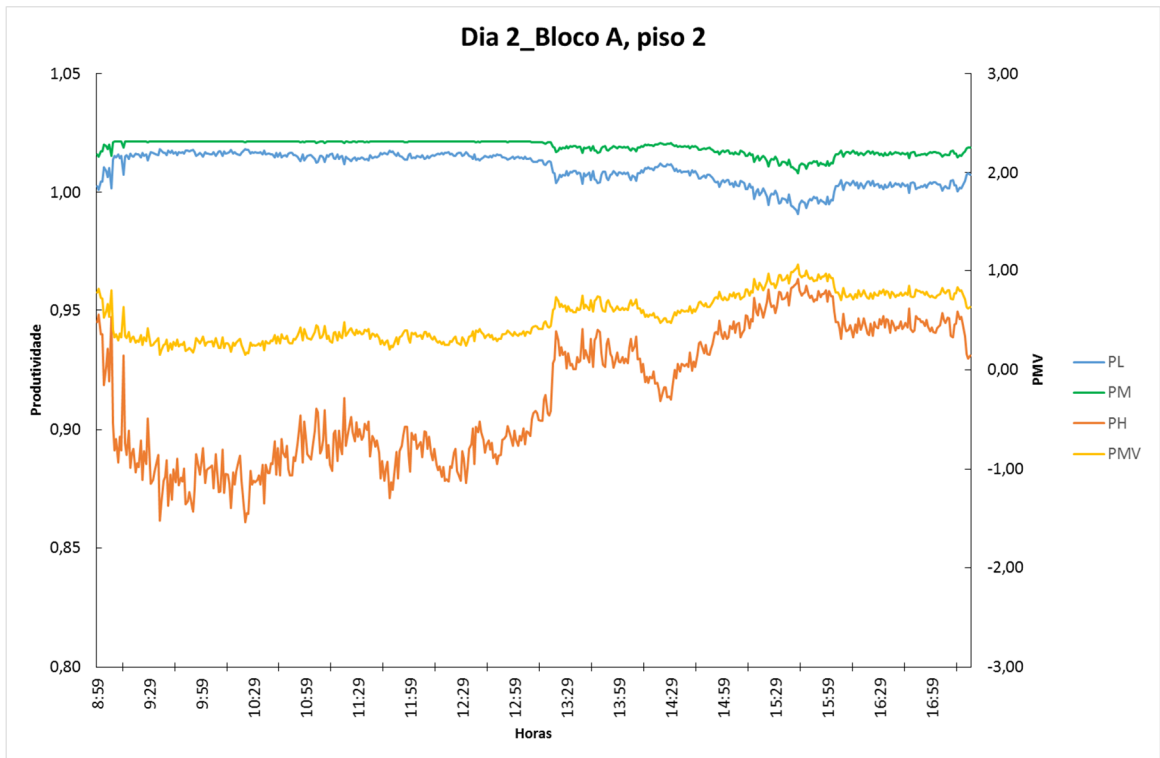


Figura 45 - Variação da Produtividade, no dia 2, segundo o modelo de Mohamed and Srinavin.

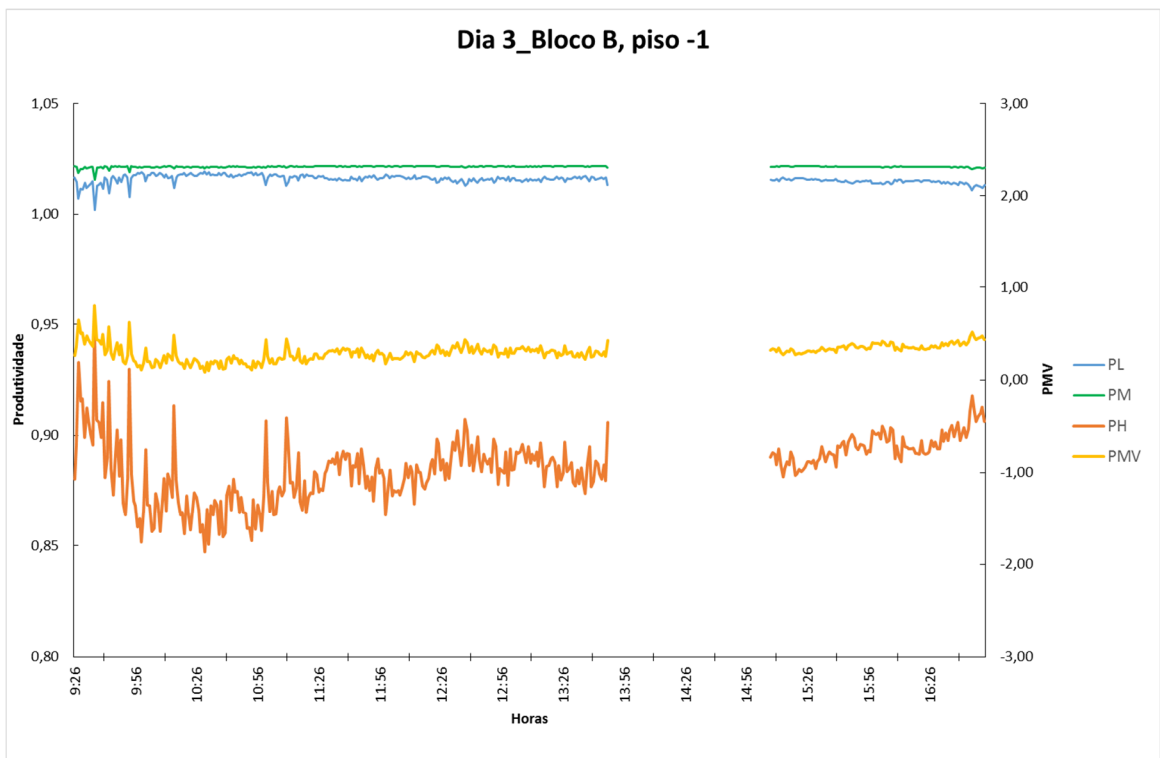


Figura 46 - Variação da Produtividade, no dia 3, segundo o modelo de Mohamed and Srinavin.

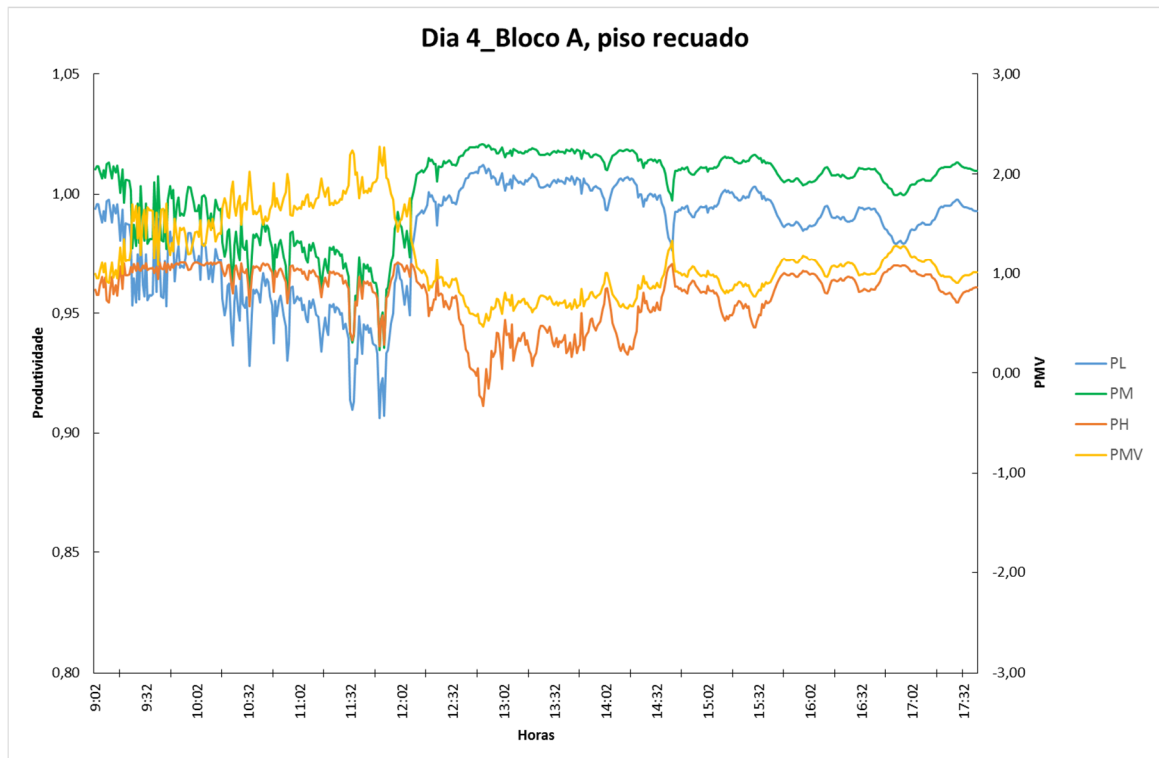


Figura 47 - Variação da Produtividade, no dia 4, segundo o modelo de Mohamed and Srinavin.

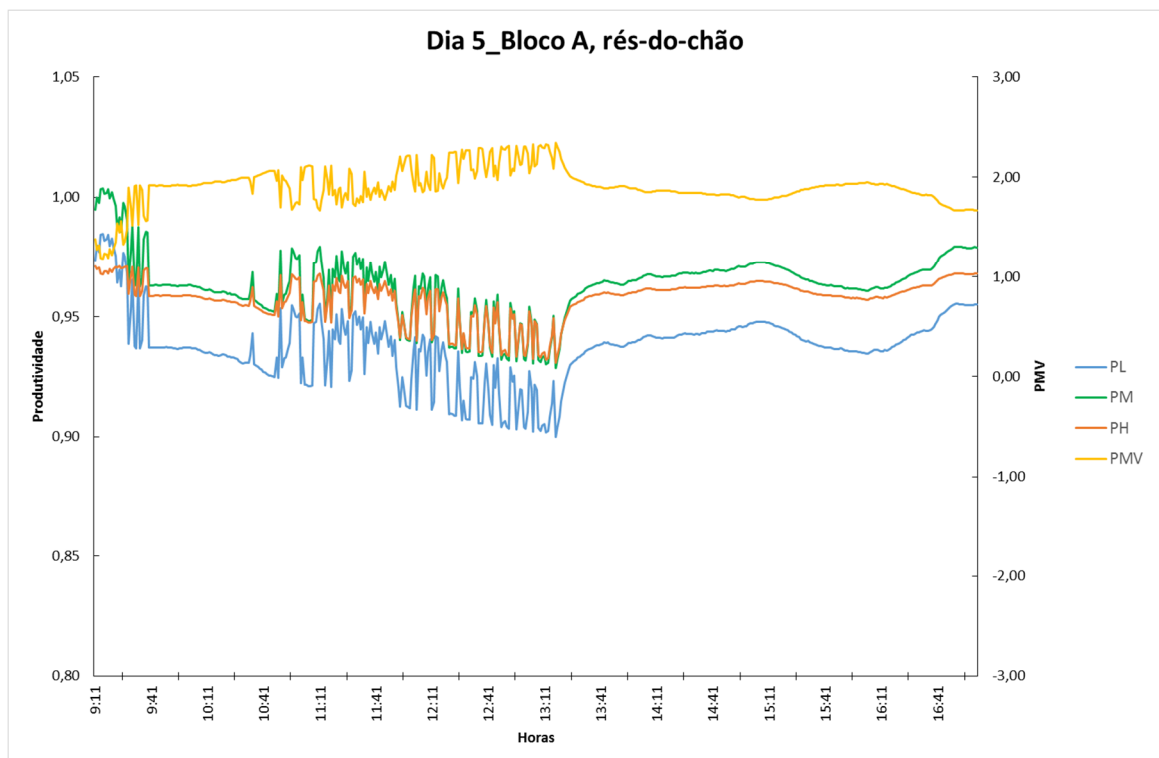


Figura 48 - Variação da Produtividade, no dia 5, segundo o modelo de Mohamed and Srinavin.

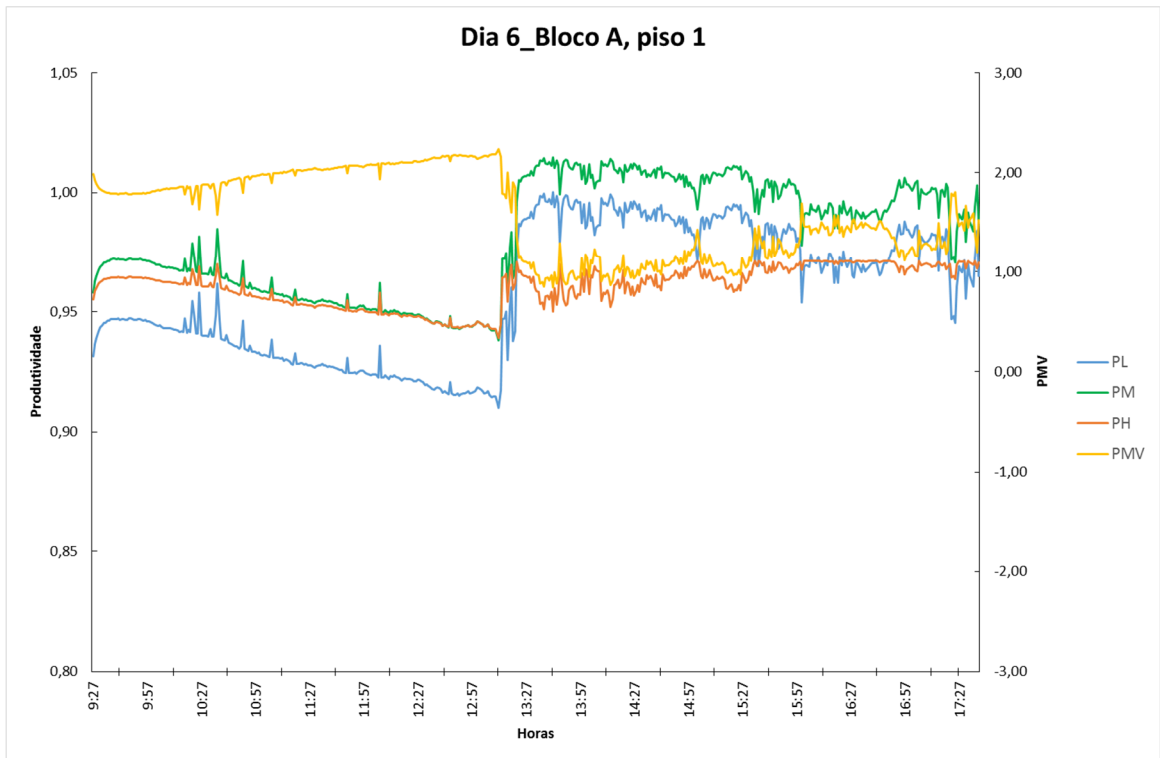


Figura 49 - Variação da Produtividade, no dia 6, segundo o modelo de Mohamed and Srinavin.

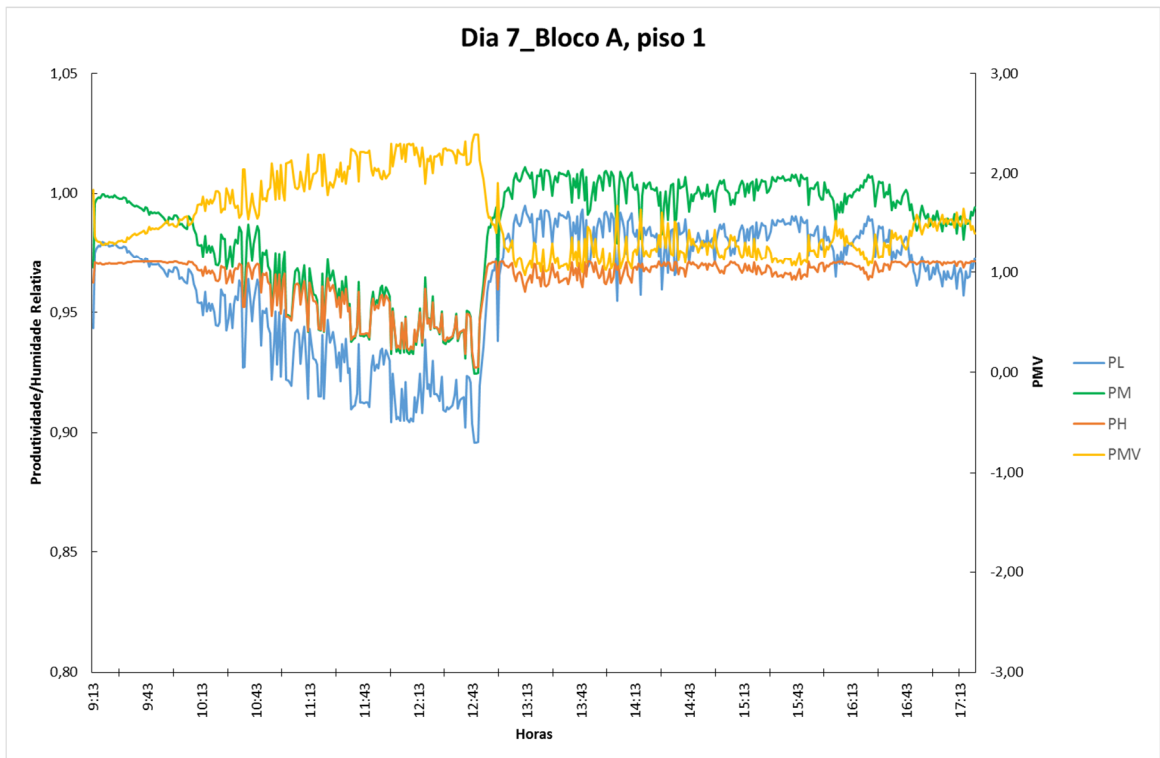


Figura 50 - Variação da Produtividade, no dia 7, segundo o modelo de Mohamed and Srinavin.

4.6.2 Modelo de Koehn & Brown

Analisando os gráficos das figuras 51 a 57, pode-se concluir que, os valores de produtividade segundo o modelo de Koehn & Brown variam conforme a variação da temperatura do ar (T_a) e a humidade relativa (H_r), o que era expectável, uma vez que, a equação proposta pelos autores, para aplicação em ambientes quentes, é função das duas variáveis, temperatura do ar (T_a) e a humidade relativa (H_r), e também porque, como já constatado na secção 4.3.1, a humidade varia inversamente à temperatura do ar. Quando a temperatura do ar sobe e a humidade relativa desce, genericamente, a produtividade tende a descer.

Por outro lado, também se pode concluir que para valores fora do intervalo de aplicação do modelo, no caso ambientes quentes em que os valores da temperatura do ar variam entre os 21 e os 49 °C, a produtividade tende a crescer, de acordo com o aumento da temperatura do ar e a consequente diminuição da humidade relativa.

4.6.3 Modelo de Thomas e Yiakoumis

Este modelo, tal como o anterior, depende das mesmas variáveis, temperatura do ar (T_a) e a humidade relativa (H_r), como se pode verificar nos gráficos das figuras 51 a 57. Os limites dos intervalos para os quais os resultados são válidos, no caso da temperatura do ar entre os 11 e 28°C e a humidade relativa pode estar compreendida entre os 19 a 85%. Para a representação gráfica foi usado o valor absoluto da humidade relativa, para que a leitura dos gráficos pudesse ser mais perceptível.

No entanto, este modelo tem a particularidade de analisar a produtividade às 13 horas. Assim, e de acordo com a figura 5, o clima que se fizer sentir em Montalegre será o mesmo que se sentirá em Tosende, por exemplo, ambos os locais situados nas fronteiras portuguesa e espanhola, respetivamente. No entanto, de acordo com os dados recolhidos e que se podem observar nos gráficos das figuras 54 a 60, as diferenças de produtividade, segundo o modelo de Thomas e Yiakoumis, seriam significativas. No caso dos dias 5 e 6, as diferenças de produtividade de um local para o outro seriam de 2%, no dia 1 de 5%, no dia 4 de 7% e no dia 7 a diferença na produtividade seria de 9%. Nos dias de menor diferença de produtividade, o valor seria favorável a Espanha mas, por outro lado, nos dias com uma diferença de produtividade menos expressiva a produção seria maior em Portugal.

No primeiro dia, gráfico da figura 51, os intervalos de validade para os resultados são verificados, exceto no caso do modelo de Thomas and Yiakoumis no qual é ligeiramente ultrapassado o limite superior da temperatura. No modelo de Koehn and Brown a produtividade acompanhou a variação da humidade relativa, ao contrário do expectável, uma vez que uma das lacunas apontadas ao modelo é o facto de este ser pouco sensível à variação da humidade. No modelo proposto por Thomas and Yiakoumis, apesar de serem apresentados apenas dois pontos, às 12 horas e às 13 horas, percebe-se que este acompanha a variação da temperatura. No entanto, a variação do valor da produtividade entre as 12 horas e as 13 horas, explicado no início do deste capítulo, não é compreensível, uma vez que há uma variação de cinco por cento na produtividade.

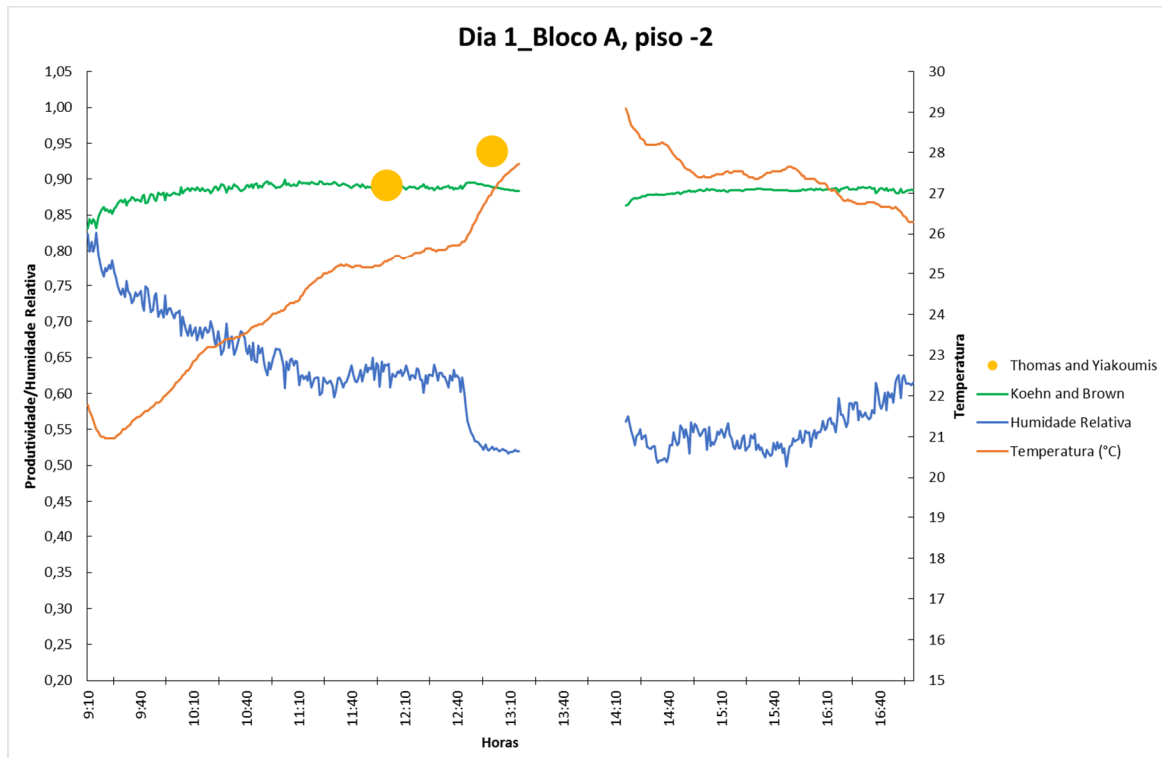


Figura 51 - Variação da Produtividade, no dia 1, segundo os modelos de Koehn and Brown e Thomas and Yiakoumis.

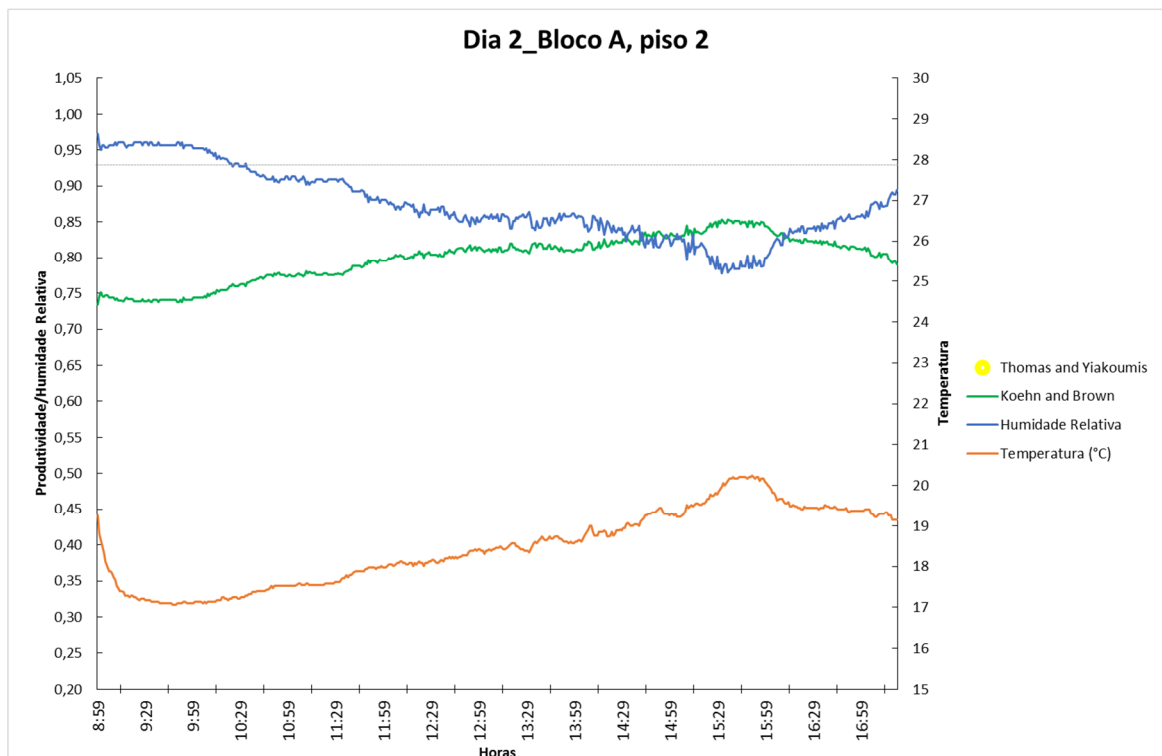


Figura 52 - Variação da Produtividade, no dia 2, segundo os modelos de Koehn and Brown e Thomas and Yiakoumis.

No dia dois, gráfico da figura 52, os intervalos de validade para os resultados não são verificados em qualquer dos modelos, exceto o valor da temperatura para o modelo proposto

por Thomas and Yiakoumis. No modelo de Koehn and Brown a produtividade acompanhou a variação da humidade relativa, ao contrário do expectável, uma vez que uma das lacunas apontadas ao modelo é o facto de este ser pouco sensível à variação da humidade. Este dia não apresenta resultados gráficos para o modelo desenvolvido por Thomas e Yiakoumis, porque como os valores registados estão fora dos intervalos de validação dos resultados, os valores da humidade eram extremamente altos, os valores obtidos para a produtividade eram díspares e sem significado.

No dia três, gráfico da figura 53, os intervalos de validade para os resultados não são verificados em qualquer dos modelos, exceto o valor da temperatura para o modelo proposto por Thomas and Yiakoumis. No modelo de Koehn and Brown a produtividade acompanhou a variação da humidade relativa, ao contrário do expectável, uma vez que uma das lacunas apontadas ao modelo é o facto de este ser pouco sensível à variação da humidade. Este dia só apresenta resultados gráficos para o modelo desenvolvido por Thomas e Yiakoumis às 13 horas, porque como os valores registados estão fora dos intervalos de validação dos resultados, os valores da humidade eram extremamente altos, os valores obtidos para a produtividade às 12 horas eram díspares e sem significado.

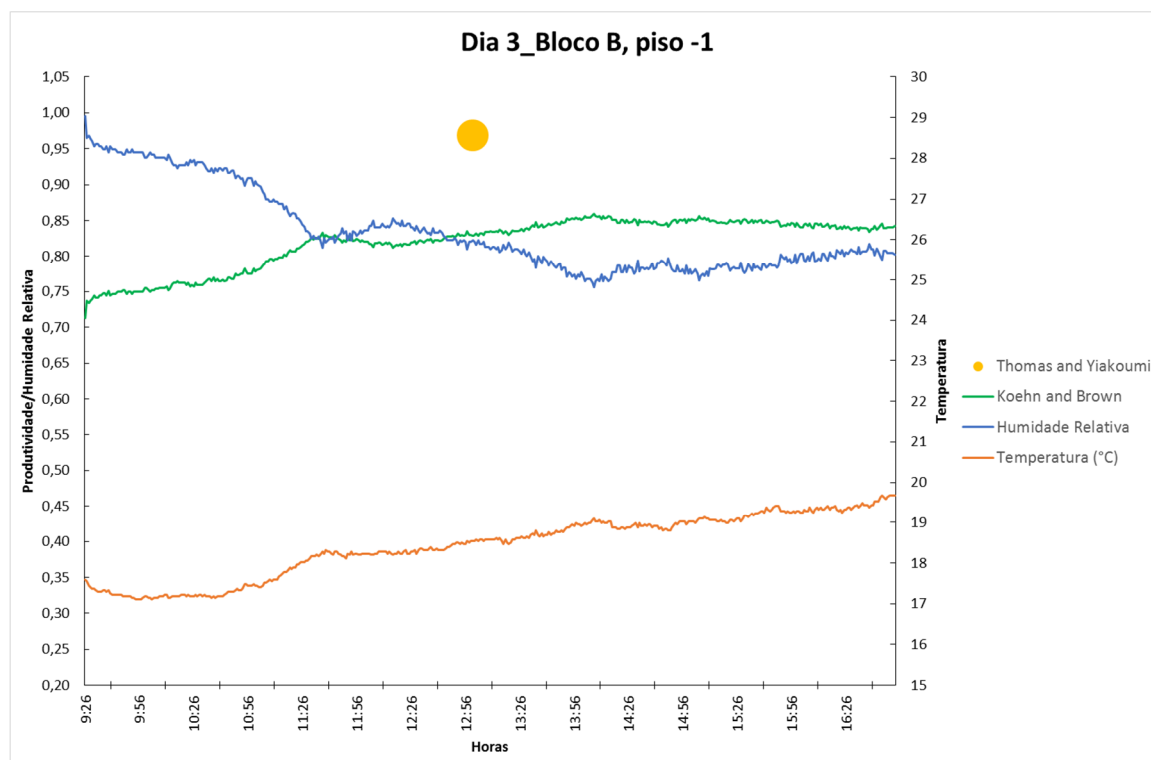


Figura 53- Variação da Produtividade, no dia 3, segundo os modelos de Koehn and Brown e Thomas and Yiakoumis.

No quarto dia, gráfico da figura 54, os intervalos de validade para os resultados são verificados, exceto no caso do modelo de Koehn and Brown no qual é ultrapassado o limite inferior da temperatura do ar, 21°C. No modelo de Koehn and Brown a produtividade foi bastante linear, não tendo acompanhado a variação da humidade relativa ou a temperatura do ar. No modelo proposto por Thomas and Yiakoumis, apesar de serem apresentados apenas dois pontos, às 12 horas e às 13 horas, percebe-se que este acompanha a variação da

temperatura. No entanto, a variação do valor da produtividade entre as 12 horas e as 13 horas, explicado no início do deste capítulo, não é compreensível, uma vez que há uma variação de sete por cento na produtividade.

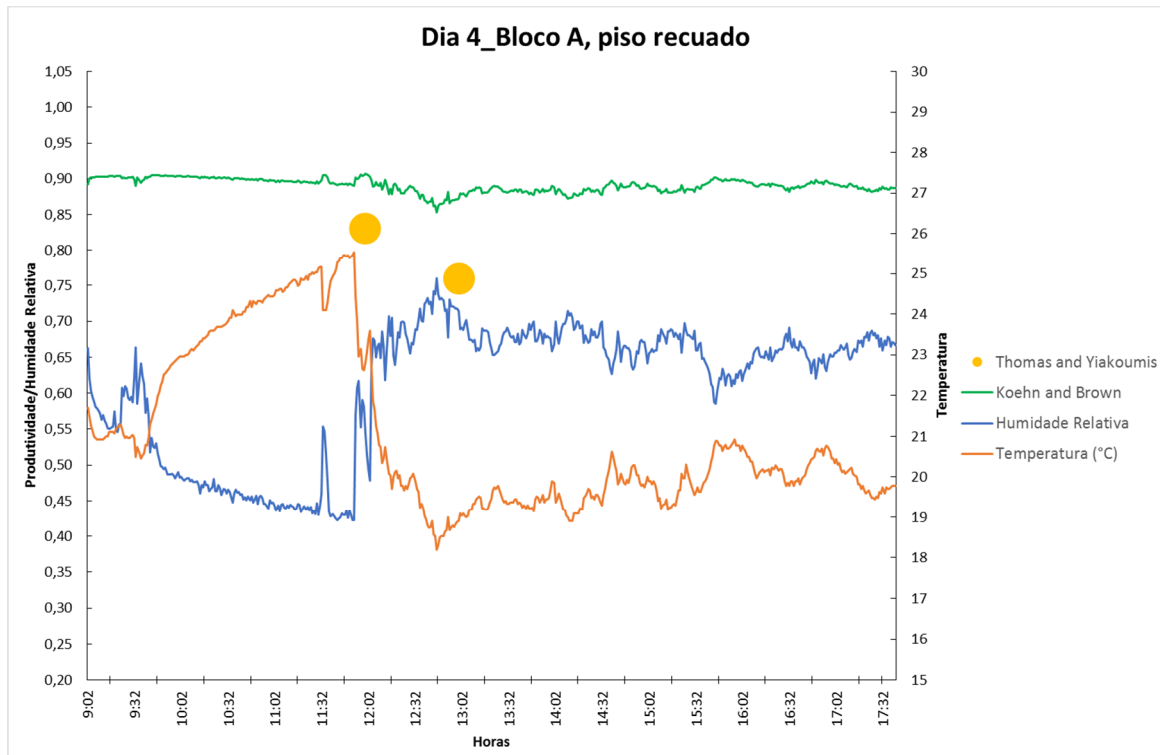


Figura 54- Variação da Produtividade, no dia 4, segundo os modelos de Koehn and Brown e Thomas and Yiakoumis.

No dia cinco, gráfico da figura 55, os intervalos de validade para os resultados são verificados. No modelo de Koehn and Brown a produtividade foi bastante linear, tendo acompanhado ligeiramente a variação da humidade relativa. No modelo proposto por Thomas and Yiakoumis, apesar de serem apresentados apenas dois pontos, às 12 horas e às 13 horas, percebe-se que este acompanha a variação da temperatura. No entanto, a variação do valor da produtividade entre as 12 horas e as 13 horas, explicado no início do deste capítulo, já é relativamente compreensível, uma vez que há uma variação de dois por cento na produtividade.

No sexto dia, gráfico da figura 56, os intervalos de validade para os resultados são verificados, exceto os valores da temperatura, limite inferior, no modelo proposto por Koehn and Brown. No modelo de Koehn and Brown a produtividade foi bastante linear, não tendo acompanhado a variação da humidade relativa ou a temperatura do ar. No modelo proposto por Thomas and Yiakoumis, apesar de serem apresentados apenas dois pontos, às 12 horas e às 13 horas, percebe-se que este acompanha a variação da temperatura. No entanto, a variação do valor da produtividade entre as 12 horas e as 13 horas, explicado no início do deste capítulo, já é relativamente compreensível, uma vez que há uma variação de dois por cento na produtividade.

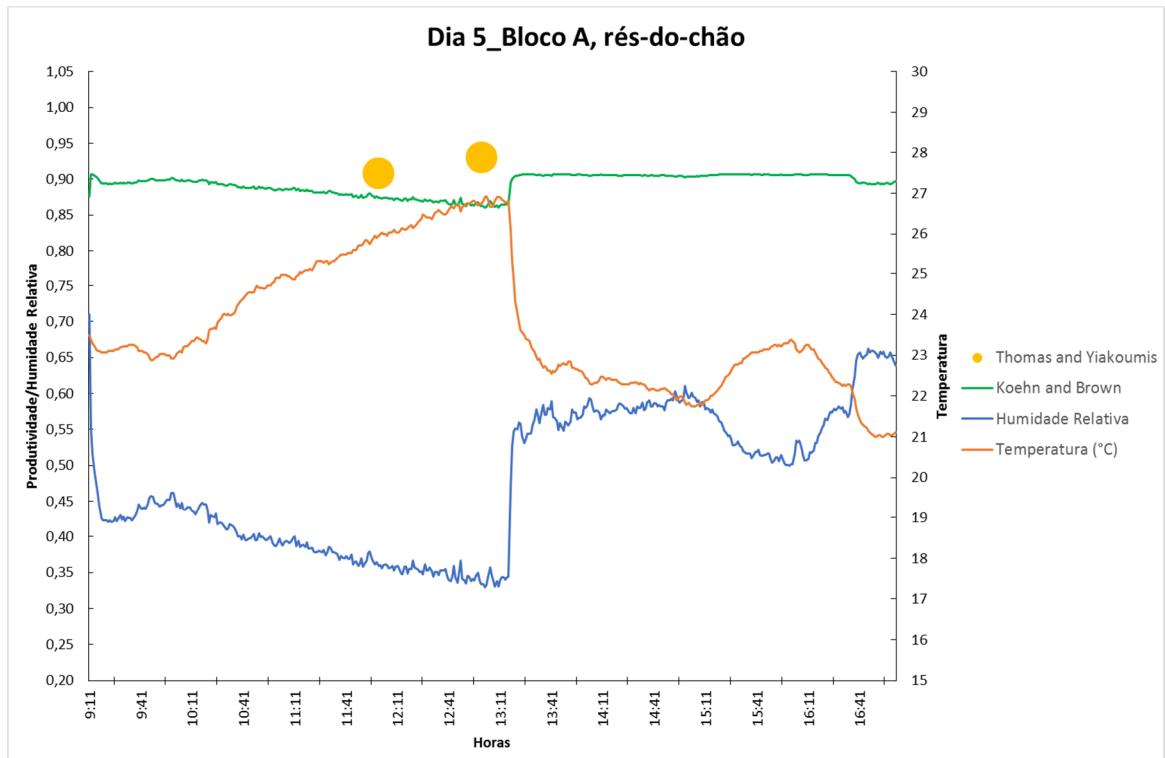


Figura 55- Variação da Produtividade, no dia 5, segundo os modelos de Koehn and Brown e Thomas and Yiakoumis.

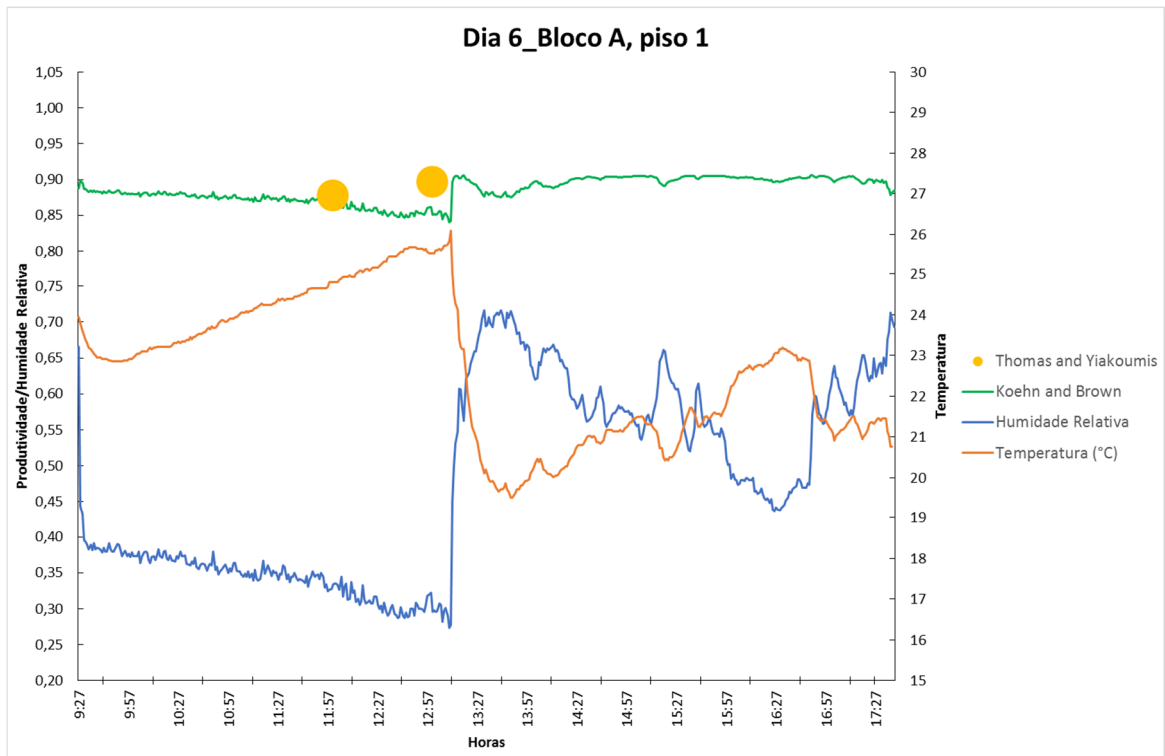


Figura 56- Variação da Produtividade, no dia 6, segundo os modelos de Koehn and Brown e Thomas and Yiakoumis.

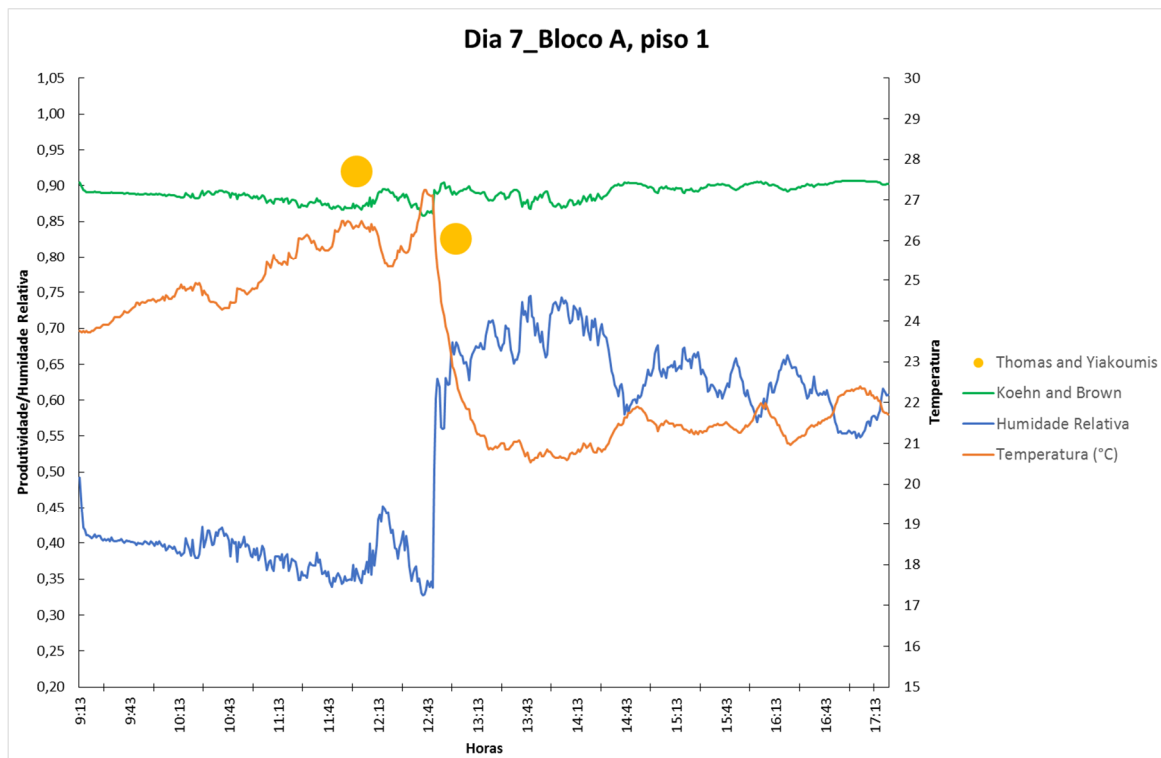


Figura 57 - Variação da Produtividade, no dia 7, segundo os modelos de Koehn and Brown e Thomas and Yiakoumis.

No sétimo dia, gráfico da figura 57, os intervalos de validade para os resultados são verificados, exceto os valores da temperatura, limite inferior, no modelo proposto por Koehn and Brown. No modelo de Koehn and Brown a produtividade foi relativamente linear, não tendo acompanhado a variação da humidade relativa ou a temperatura do ar. No modelo proposto por Thomas and Yiakoumis, apesar de serem apresentados apenas dois pontos, às 12 horas e às 13 horas, percebe-se que este acompanha a variação da temperatura. No entanto, a variação do valor da produtividade entre as 12 horas e as 13 horas, explicado no início do deste capítulo, não é compreensível, uma vez que há uma variação de nove por cento na produtividade.

4.6.4 Variação dos modelos de produtividade ao longo dos dias

Analisando os gráficos das figuras 58 a 62 pode-se concluir que não existe qualquer relação entre a produtividade e a variação em altura, tal como era pretendido, uma vez que nenhum dos modelos considera a variação da velocidade do ar, exceto o modelo proposto por Mohamed and Srinavin, que varia em função do valor do PMV e este varia, entre outros parâmetros, em função da velocidade do ar. No entanto, a variação introduzida pela variação do PMV não nos permite concluir que os valores da produtividade obtidos através da aplicação do modelo proposto por Mohamed and Srinavin varia com a altura, aliás, como se pode verificar pelos gráficos das figuras 60 a 62.

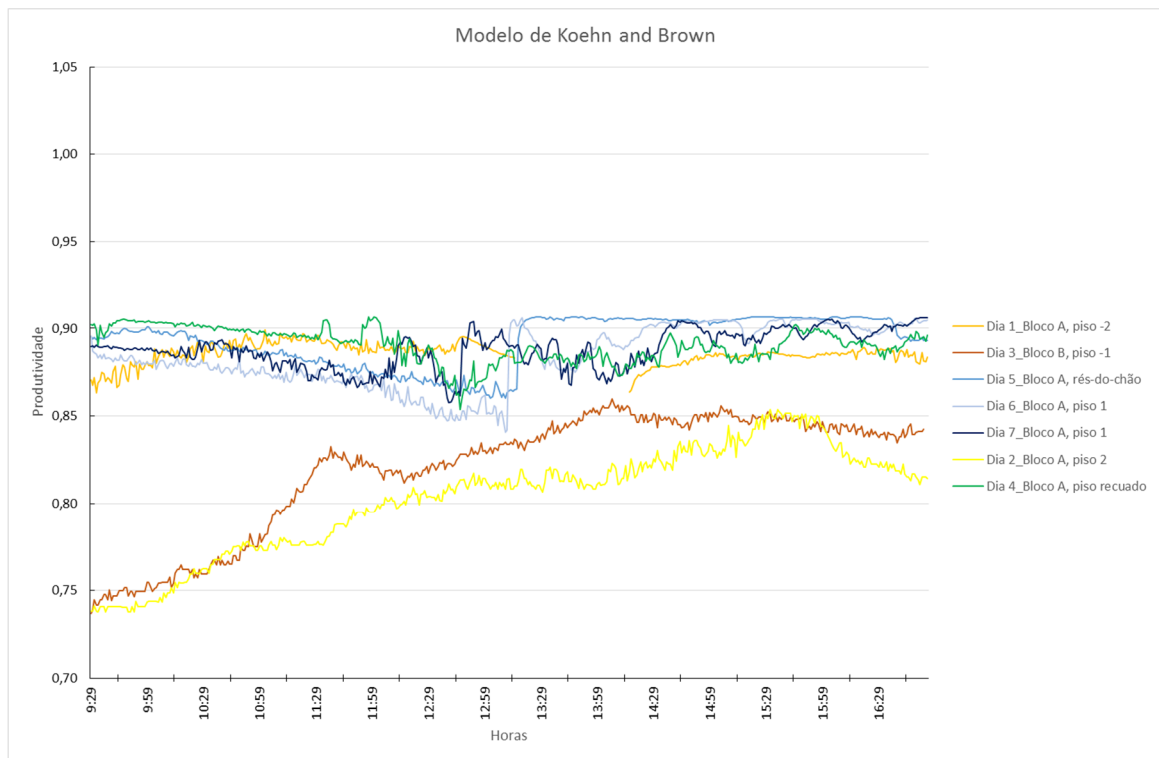


Figura 58 – Variação do modelo de Koehn and Brown ao longo dos dias.

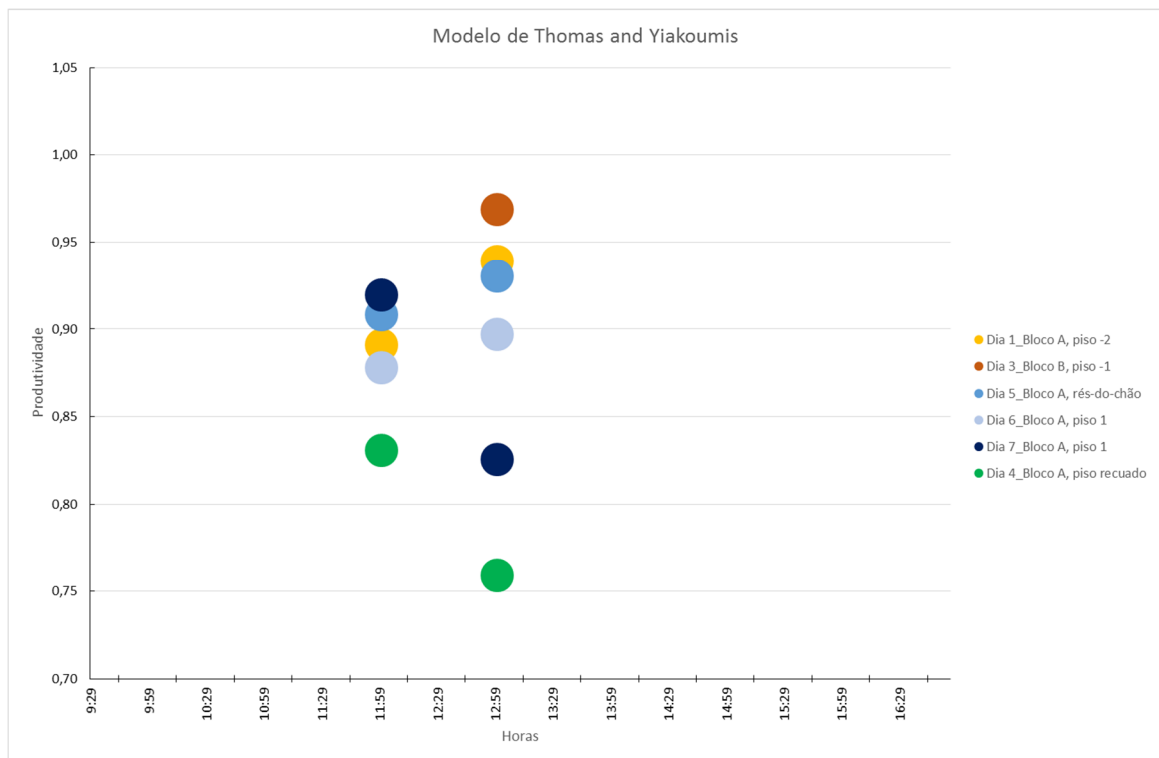


Figura 59 - Variação do modelo de Thomas and Yiakoumis, às 12h e 13h, ao longo dos dias.

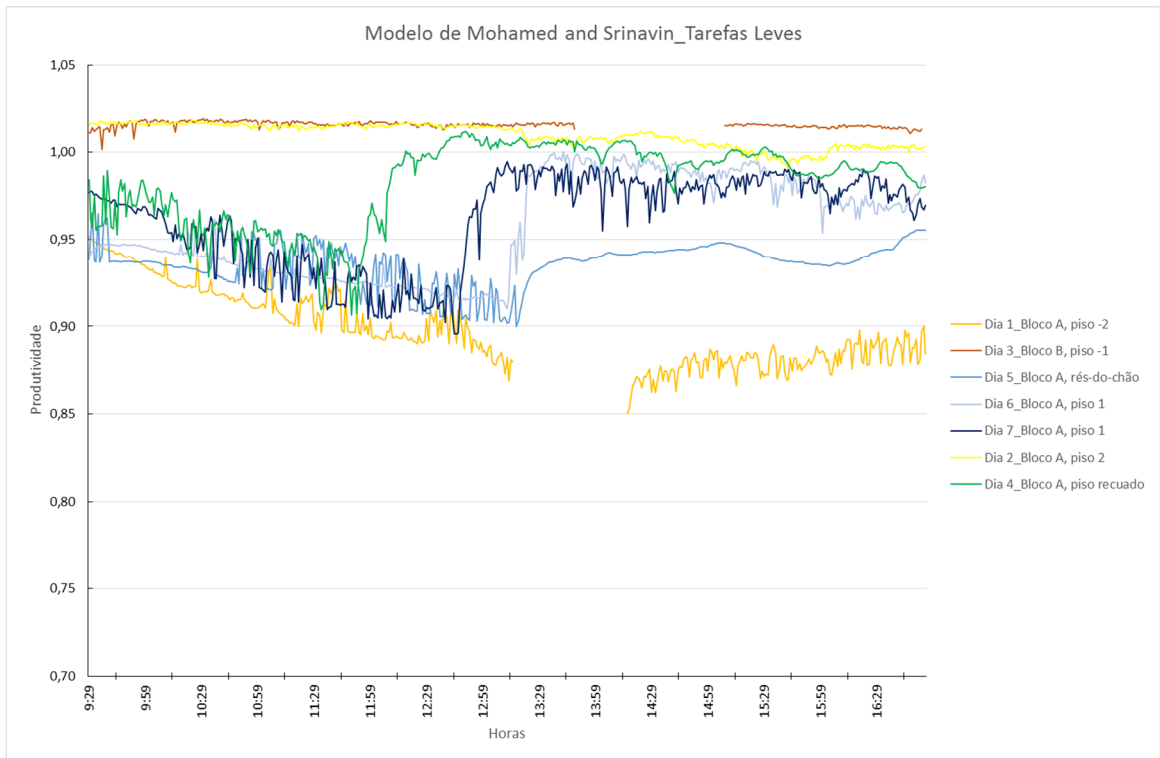


Figura 60 - Variação do modelo de Mohamed and Srinavin, para tarefas leves, ao longo dos dias.

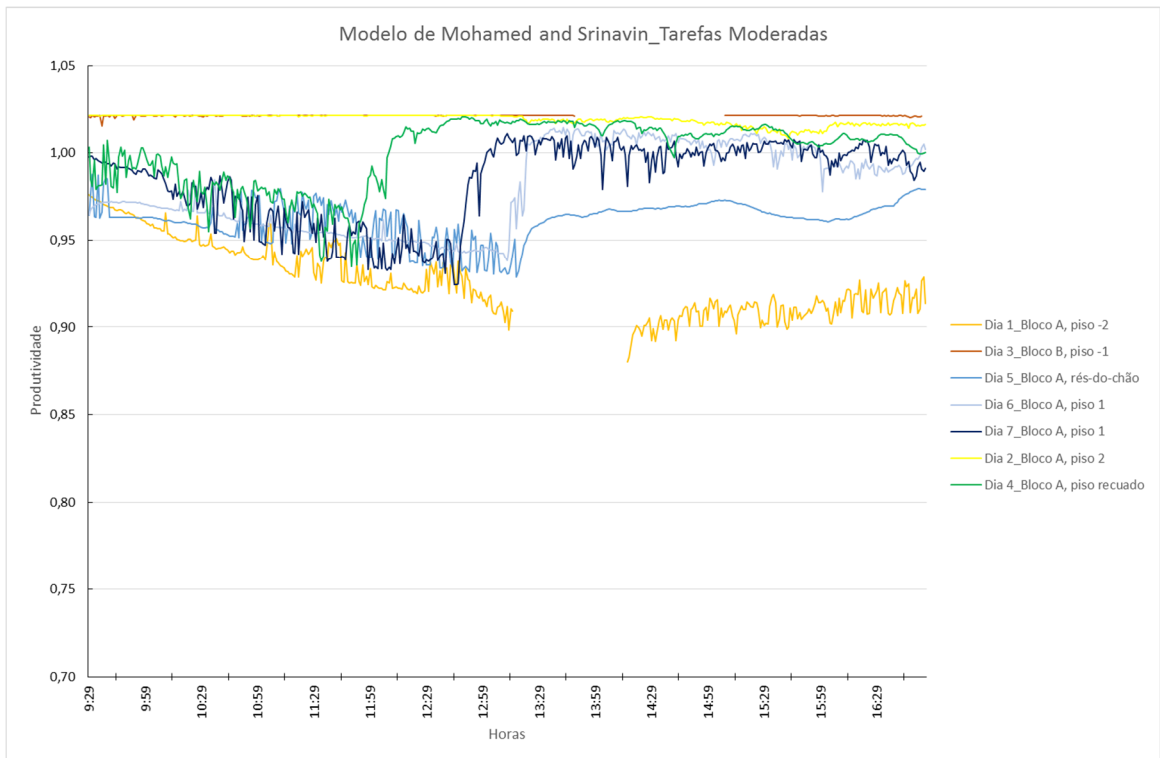


Figura 61 - Variação do modelo de Mohamed and Srinavin, para tarefas moderadas, ao longo dos dias.

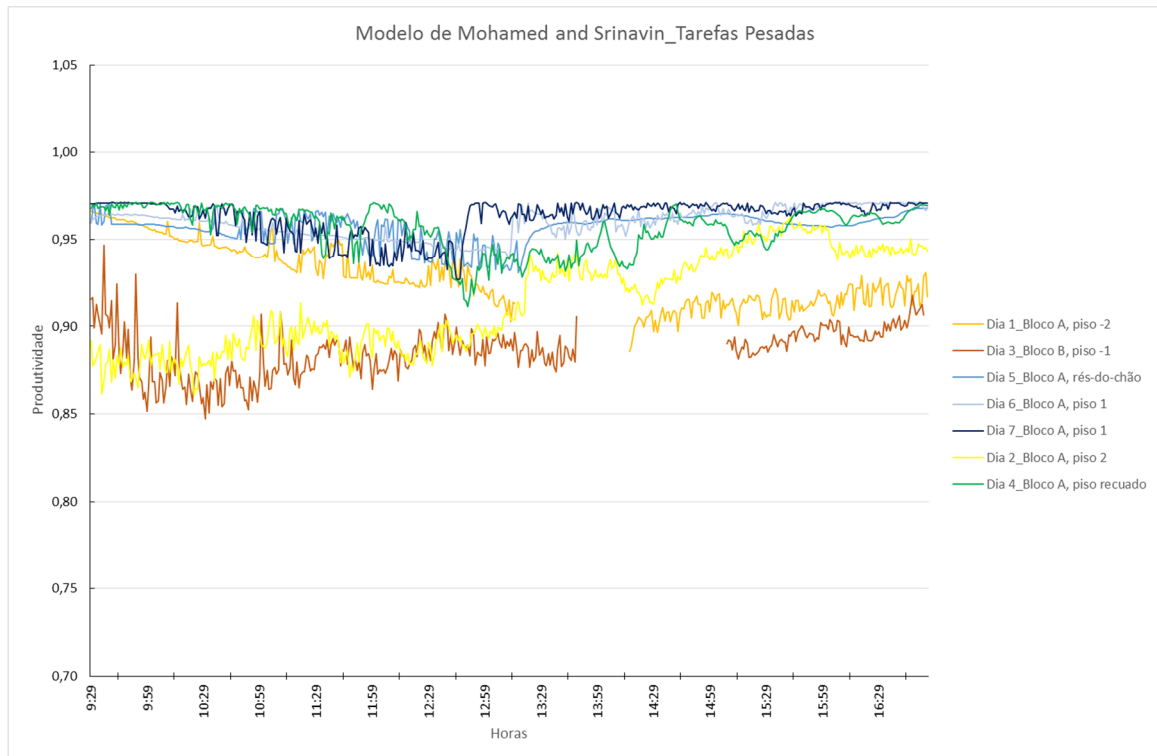


Figura 62 - Variação do modelo de Mohamed and Srinavin, para tarefas pesadas, ao longo dos dias.

Pontualmente, no gráfico da figura 59, que nos traduz a variação do modelo de Thomas and Yiakoumis, às 12 e 13 horas, ao longo dos sete dias, podemos achar uma relação com a variação em altura, mas somente nos valores obtidos para a produtividade para as 13 horas. Assim, não podemos concluir que esse modelo reflita a variação da variação em altura, uma vez que ele não considera a variação da velocidade do ar.

Os valores obtidos através da aplicação dos três modelos de produtividade não são valores tão pouco próximos da realidade, uma vez que os valores obtidos são muito próximos da produtividade máxima, um ou cem por cento, sendo que em algumas situações foi mesmo ultrapassado esse valor.

5 CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

5.1 Conclusões

A atividade da construção expõe os trabalhadores a condições atmosféricas extremas como, por exemplo, de chuva, vento, calor, frio e radiação solar. Estes fatores condicionam a sensação de conforto e a sua capacidade produtiva. As condições ambientais no local de trabalho, em particular o ambiente térmico, constituem assim uma das peças chave na gestão do processo produtivo.

Importava, por isso perceber, na construção, em particular na construção em altura, em que medida a velocidade do ar, um dos parâmetros influenciadores do conforto e do ambiente térmico, varia com a altura e ao longo do dia e, qual o seu impacto na produtividade.

Da recolha de dados efetuada, foi possível confirmar que com o aumento da altura na qual se processam os trabalhos, os trabalhadores estão expostos a velocidades do ar crescentes (Figuras 27 e 29), indo ao encontro do que foi constatado empiricamente, no decorrer dos trabalhos na obra.

Da mesma forma foi confirmado o que é a opinião do senso comum, de que há uma mudança da velocidade do ar da manhã para a tarde. Embora esta alteração dos valores da velocidade do ar não ocorra todos os dias, verificou-se que ocorreu em cerca de metade dos dias em que foram efetuadas medições (figura 27). Este fator que também pode constituir um dos elementos de gestão dos trabalhos em obra está também relatado em autores como Leslie (1804) e Heberden (1826). Relativamente à produtividade e aos modelos que procuram prever este fator, foi verificada a existência de diferentes modelos baseados em condicionantes do ambiente térmico, nomeadamente na temperatura e humidade. Estes modelos pretendem avaliar a influência das condições ambientais na capacidade de trabalho. No entanto, na pesquisa efetuada, não foi encontrado qualquer modelo que refletisse a variação da velocidade do ar. Foram, por isso testados os modelos gerais disponíveis. No trabalho desenvolvido, foram aplicados os modelos produtividade propostos por Koehn & Brown (1985), Thomas e Yiakoumis (1987) e Mohamed Sherif (2002), aos dados recolhidos em obra, durante sete dias. Contudo, esta aplicação apenas permitiu confirmar que nenhum deles responde às condições de ambiente térmico resultantes da variação da velocidade do ar. Esta constatação abre as portas a um novo campo de investigação de grande utilidade prática, em particular para a gestão dos trabalhos na construção em altura.

Por fim, na verificação da aplicabilidade de índices de conforto, apesar de os seus limites de aplicabilidade não se enquadrarem completamente nos dados recolhidos, foram testados os índices PPV-PMV, WBGT e Wind Chill. Os resultados obtidos comprovam o que se esperava, que quando os valores se encontram fora dos limites de aplicabilidade não tem interesse prosseguir com o cálculo, uma vez que os resultados não possuem adesão à realidade.

Conclui-se por fim que os modelos previsionais de produtividade existentes não demonstram o constatado no terreno de obra, ou seja, que a produtividade é afetada pela velocidade do ar e esta é afetada pela altura.

5.2 Perspetivas Futuras

Uma vez que os modelos previsionais de produtividade na construção usados não demonstram que a produtividade é afetada pela variação da velocidade do ar, fica em aberto a possibilidade de realização de estudos que contemplem o desenvolvimento de novos modelos previsionais de produtividade que relacionem a variação da produtividade com a variação da velocidade do ar para que, no futuro, a gestão das obras em altura possa ser melhorada no sentido de garantir uma máxima produtividade.

6 BIBLIOGRAFIA

Araújo (1991). Maria da Assunção Ferreira Pedroso de Araújo. Evolução Geomorfológica da Plataforma Litoral da Região do Porto, 1991.

Atlas Climático Ibérico (2011). Atlas Climático Ibérico – Temperatura do ar e precipitação (1971 – 200). ISBN: 978-84-7837-079-5.

Bilhaif (1990). Bilhaif, A. The influence of high temperatures on the productivity of construction workers.

Clapp (1966). The effect of adverse weather conditions on productivity on five building sites. Building Research Establishment, Watford Construction series current paper N°. 21, 1966.

Chiavenato (2004). Chiavenato, Idalberto. Introdução à teoria geral da Administração. 3ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

Chrenko (1974). Bedford's Basic Principles of Ventilation and Heating, 3rd ed., London: H. K. Lewis.

De Dear e Brager (1998). Brager, G. S.; and de Dear, R. J. (1998), Thermal Adaptation in the Built Environment: A Literature Review, Energy and Buildings, V.27 (1), p.83-96.

Domínguez et al. (1992). Control Climático en espacios abiertos. Sevilla: Universidad de Sevilla.

Essenwanger (2001). Essenwanger, O. M.: General Climatology 1C: Classification of Climates. Elsevier Science.

Eston (2005). Eston, S. M. Problemas de conforto termo-corporal em minas subterrâneas. Revista de Higiene Ocupacional, v. 4, n.13, jul./set. São Paulo. 2005. P.15-17.

Fanger (1970). Thermal Comfort Analyses and applications in environmental engineering. Danmarks: McGraw-Hill Book Company.

Grimm e Wagner (1974). Weather effects on mason productivity. Journal of the Construction Division 1974;100:319 – 35.

Hancher e Abd-Elkhalek (1998). The effects of hot weather on construction productivity and costs, Cost Engineering, Vol. 40 No.4, pp.32-6.

Houghton e Yaglou (1923). Houghton FC, Yaglou CP. Determining equal Comfort lines. J Am Soc Heat Vent Engrs 29, 165 – 76.

Humphreys (1976). Field Studies of Thermal Comfort Compared and Applied. Building Services Engineer. Watford, 1976.

Humphreys (1978). Humphreys, M. A.. Outdoor temperature and Comfort indoors. Build. Res. Pract., 6 (2), 92-105 (14 pages).

Humphreys e Nicol (2000). Humphreys, M. A.; Nicol, J. F.. Outdoor temperature and indoor thermal comfort: Raising the precision of the relationship for the 1998 ASHRAE data base of field studies. ASHRAE Transact., 206 (2), 485-492 (8 pages).

Jing Zhao (2009). Productivity model in hot and humid environment based on heat tolerance time analysis. Building and Environment 44, 2202-2207.

Ken Parsons (2003) - Human Thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort and performance. 2nd ed. London: Taylor & Francis. ISBN 0-415-23793-9 (pbk).

Koehn & Brown (1985). Climatic effects on construction. *Journal of Construction Engineering and Management ASCE* 1985;111: 129 – 37.

McCartney e Nicol (2002). McCartney, K. J.; Nicol, J. F.. Developing an adaptive control algorithm for Europe. *Energy Build.*, 34 (6), 623-635 (12 pages).

Mohamed Sherif (2002). Mohamed, Sherif / Srinavin, Korb – Thermal environment and construction workers productivity: some evidence from Thailand.

Moreira (2011). Nuno Moreira. <http://www.surfportugal.pt/noticias-surf-portugal/ambiente/297-descodificando-a-nortada>. Acesso: 3 de setembro de 2013.

NECA (1974). NECA, The effect of temperature on productivity. National Electrical Contractors Association (NECA), Washington, DC, 1974.

Nicol e Humphreys (1973). Nicol, J. F.; Humphreys, M. A.. Thermal comfort as part of a self regulating system, in: *Proceedings of the CIB Symposium on thermal comfort*. Building Research Establishment, Watford, UK.

Nicol et al. (1995). Nicol, J. F. et al. A survey of thermal comfort in Pakistani toward new indoor temperature standards. Londres, In: Nicol, F., Humphreys, M., Sykes, O. e Roaf, S. Londres: Chapman & Hall, cap.2: Standards for thermal comfort, 1995.

Oglesby, Parker e Howell (1989). *Productivity Improvement in Construction*. McGraw-Hill, Inc., New York, NY.

Passel (1945). Siple, P.A., and C.F. Passel: Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures. *Proc. Amer. Phil. Soc.*, 89, 177-199.

Raja e Nicol (1997). Raja, I.A. and Nicol, J.F.. A technique for postural recording and analysis for thermal comfort research *Applied Ergonomics* Vol. 27 (3) pp. 221-225, Elsevier Science Ltd., London 1997.

Raja et al (2001). Raja, L. A. *et al.* Thermal Comfort: use of controls in naturally ventilated buildings. *Energy and Buildings*, v. 33, n. 3, p. 235-244, 2001.

Santos (1999). SANTOS, Paulo. O que é produtividade. São Paulo, 1999. Disponível em: http://www.produtividade.net/index.php?option=com_content&view=article&id=26:o-que-é-produtividade-&catid=1:latest&Itemid=2. Acesso: 3 setembro 2013.

Seppänen, Fisk & Faulkner (2005). Olli Seppänen, William J Fisk, David Faulkner, Brian Wandling. Control of temperature for health and productivity in offices. Discussion. *ASHRAE transactions*, 2005.

Thomas e Yiakoumis (1987). Factor model of construction productivity. *Journal of Construction Engineering and Management* 1987; 113:623 – 39.

Vasconcelos (2001). Vasconcelos, Anselmo Ferreira. Artigo: Qualidade de vida no trabalho: origem, evolução e perspectivas, caderno de pesquisas em administração. São Paulo, v. 08, nº 1, janeiro/março 2001.

Vernon e Warner (1932). The influence of the humidity of the air on capacity for work at high temperatures. *J. Hyg.*, v.32, p.431-462, 1932.

Vogt et al. (1981). A thermal environment in physiologically significant terms. Archives for Meteorology, Geophysics, and Bioclimatology, v. 29, p. 313-326, 1981

Witterseh et al. (2004). Witterseh, T., Wyon, D.P. and Clausen, G.. The effects of moderate heat stress and open-plan office noise distraction on SBS symptoms and on the performance of office work. Indoor Air 14 (s8) 30-40, 2005.

Yaglou e Minard (1957). YAGLOU, C.; MINARD, D. Control of Heat Casualties at Military Training Centers. Archives of Industrial Health, n. 16, p. 302-16, 1957.

Xavier (2000). Predição de conforto térmico em ambientes internos com atividades sedentárias - Teoria física aliada a estudos de campo. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/teses/TESE_Antonio_Augusto_Xavier.pdf. Acesso: 3 setembro 2013.

ANEXOS

Anexo1 - CD com:

- dados recolhidos nos 7 dias;
- cálculos efetuados;
- representações gráficas.