

## Thermal comfort assessment in cold environments

### Análise das condições de conforto em ambientes refrigerados

Eduardo Fernandes - fernandes.eduardo.afonso@gmail.com

Universidade da Beira Interior

Pedro D. Silva - dinho@ubi.pt

Universidade da Beira Interior

Pedro D. Gaspar - dinis@ubi.pt

Universidade da Beira Interior

Luís Pires - pires@ubi.pt

Universidade da Beira Interior

José Nunes - jnunes@ipcb.pt

Instituto Politécnico de Castelo Branco

#### **Abstract**

This study evaluates the cold conditions to which workers are subject in the agroindustrial sector evaluating both cases, a food distribution company and a dairy company. In order to evaluate the thermal comfort conditions of the workers the procedures referred on international standards were followed. It was conducted surveys and carried out experimental measurements in order to characterize the zones and the conditions under which workers operate, and to evaluate the activity levels of each worker. The work allowed to identify the type of exposure to which each worker is subject and to determine the thermal comfort characteristic indexes, including the IREQ index. The results show that in some situations workers have adequate thermal insulation conditions but still manifest sensations related to the thermal discomfort. On the other hand, it has been found that some workers although with insufficient clothing insulation level exhibit neutral thermal sensations. It is therefore concluded that workers have a tendency to an effective acclimation to cold environments that do not appear in the corresponding standards.

#### **Resumo**

O presente estudo avalia as condições de frio a que os trabalhadores estão sujeitos no sector agroindustrial avaliando dois casos, uma empresa de distribuição alimentar e uma empresa de lacticínios. De forma a avaliar as condições de conforto térmico dos trabalhadores foram seguidos os procedimentos indicados em normas internacionais. Foram realizados inquéritos e efectuadas medições experimentais de forma a caracterizar as zonas e as condições em que os trabalhadores operam, bem como para avaliar os níveis de atividade de cada trabalhador. O trabalho desenvolvido permitiu identificar o tipo de exposição a que cada trabalhador está sujeito assim como determinar os índices característicos de conforto térmico, nomeadamente o índice IREQ. Os resultados mostram que ocorrem situações em que os trabalhadores possuem isolamento térmico adequado às condições onde estão inseridos mas que ainda assim manifestam sensações relacionadas com o desconforto térmico. Por outro lado, verificou-se também que alguns dos trabalhadores que possuem níveis de isolamento térmico supostamente insuficientes manifestam sensações térmicas neutras. Conclui-se assim que os trabalhadores apresentam uma tendência para uma aclimação efectiva a ambientes frios que não aparece referida nas normas correspondentes.

#### **Keywords**

Thermal Comfort, Cold Stress, Cold Environments, Clothing thermal Insulation

#### **Palavras-chave**

Conforto térmico, stress térmico por frio, ambientes refrigerados, isolamento térmico

# Análise das condições de conforto em ambientes refrigerados

## 1. Introdução

Nas últimas décadas tem-se notado uma preocupação acrescida com a temática do conforto térmico, nomeadamente no local de trabalho, em que níveis deficientes de conforto térmico levam a um desempenho inferior nas tarefas realizadas pelos trabalhadores. Esta preocupação também está presente na indústria alimentar, onde a utilização de frio para a produção, conservação e transporte dos produtos alimentares requer que grande parte das instalações das empresas deste sector sejam maioritariamente refrigeradas. Em geral, os indivíduos que laboram neste tipo de indústria estão sujeitos a vários tipos de exposição ao frio que decorre naturalmente do acompanhamento das diferentes etapas do processo produtivo, conservação e transporte dos produtos com requisitos de temperatura específicos. De modo a preservar o bem-estar e saúde dos trabalhadores destas empresas torna-se necessário definir um conjunto de medidas que proporcionem um nível de conforto térmico adequado.

As estratégias e princípios para a avaliação e prevenção do stress térmico nos trabalhadores sujeitos a condições de trabalho em ambientes frios pode ser encontrada em Holmér (2009) [1]. O método utilizado [2] permite a avaliação do balanço térmico do corpo como um todo, bem como a determinação do tempo limite de exposição, tendo em conta a temperatura das mãos que não deve ser inferior a 24 °C durante exposições prolongadas, ou 15 °C durante exposições ocasionais. Proteções especiais de índole respiratória devem ser adotadas para atividades realizadas a temperaturas inferiores a -20 °C, particularmente quando estas envolvem um nível elevado de metabolismo. Os riscos associados a este tipo de exposições, como o contacto com superfícies frias podem ser avaliados através da mesma norma. Os níveis de isolamento do vestuário podem ser determinados através da avaliação do índice IREQ (required clothing insulation) [3]. No entanto, a determinação rigorosa deste índice depende da avaliação cuidada do nível metabólico.

O presente estudo avalia as condições de cada zona climatizada a que os trabalhadores estão expostos, bem como características de índole individual e fisiológica, de forma a determinar os níveis de isolamento requerido do vestuário (IREQ) e respetivos tempos limites de exposição (Dlim) para cada trabalhador. É ainda realizada uma otimização dos valores de isolamento térmico requerido do vestuário de cada trabalhador, tendo em conta o nível de atividade e os tempos de exposição ao frio de cada um.

## 2. Materiais e métodos

### 2.1. Procedimento adotado

Para avaliação experimental das condições de conforto térmico na indústria agroalimentar, foram analisadas duas empresas representativas do sector. O estudo experimental desenrolou-se de março a julho de 2013. As medições foram efetuadas desde o período da manhã até ao fim da tarde, obtendo-se assim registos dos vários parâmetros pretendidos durante um dia normal de trabalho. Os trabalhadores foram sujeitos, quando possível, à medição da frequência cardíaca em condições neutras, tanto termicamente como de atividade física, e em condições de trabalho em que estão expostos ao frio. Para condições neutras, parte das medições eram realizadas no intervalo de pausa que estes utilizam a meio da manhã e as restantes realizadas antes de iniciarem o dia de trabalho.

Este intervalo de pausa tem normalmente lugar numa sala que possui condições térmicas neutras (cerca de 19 °C e 58% de humidade relativa (HR) numa das empresas e cerca de 20 °C e 65 % de HR na outra empresa). Relativamente às medições da frequência cardíaca em

regime normal de trabalho, sujeitos a condições de frio, foram realizadas sempre após um período mínimo de quinze minutos de exposição exigidos pela norma ISO 11079 (2007) [4], de forma a que o organismo de cada um se adaptasse às condições de frio existentes. Para determinar alguns parâmetros fundamentais ao estudo, foi realizado um inquérito do qual constavam questões de origem fisiológica, como a idade, peso, sexo e a altura, questões em que era contabilizado todo o vestuário que cada trabalhador possuía no desenvolver da sua atividade e era ainda registado, neste mesmo questionário, a frequência cardíaca de cada um. Os trabalhadores eram interrogados quanto à sensação térmica durante a jornada de trabalho em que estão sujeitos a ambientes frios, por forma a avaliar a sensação térmica para cada zona corporal, como, mãos, costas, face, entre outros.

## 2.2. Nível de vestuário

O nível de isolamento do vestuário utilizado constitui um parâmetro fundamental na determinação do nível de conforto de um determinado indivíduo. Quer em ambientes quentes como ambientes frios, este é um parâmetro que deve ser mensurado de forma a proteger o trabalhador das condições a que está sujeito. Segundo a norma ISO 9920 (2007) [5] o isolamento térmico (I) é definido como a resistência à perda de calor entre duas superfícies e expressa-se em clo (1 clo corresponde a  $0,155 \text{ m}^2\text{K/W}$ ). O nível de isolamento básico (Icl) de um determinado conjunto de vestuário necessita ser corrigido, tendo em conta a movimentação do ar que se possa fazer sentir num dado espaço e a própria atividade desenvolvida pelo trabalhador, contabilizando deste modo a permeabilidade ao ar da camada exterior do vestuário utilizado (Icl,r).

## 2.3. Nível de metabolismo

O metabolismo é definido como o processo de produção de energia interna, a partir de elementos combustíveis orgânicos. Este parâmetro expressa-se em "met" (1 met corresponde a  $58,15 \text{ W/m}^2$ ). O nível metabólico consiste na conversão de energia química em energia térmica e mecânica, em que é mensurado o custo energético da carga muscular, sendo apresentado sob a forma de índice numérico por atividade [6]. O método utilizado neste estudo foi o método referido como de nível 3 na norma ISO 8996 [6], no qual é necessário registar a frequência cardíaca para cada trabalhador para diferentes condições.

## 2.4. Índice IREQ

O índice IREQ (required clothing insulation) é definido como o isolamento resultante do vestuário necessário para que, em determinadas condições do ambiente, o corpo humano se mantenha num estado de equilíbrio térmico, com níveis aceitáveis de temperatura quer para o corpo quer para a pele [4]. O cálculo deste índice é baseado na análise das trocas de calor do corpo humano com o meio envolvente, em que se utiliza a equação do balanço térmico. O IREQ é subdividido em dois níveis de tensão fisiológica:  $\text{IREQ}_{\text{min}}$ , como o isolamento térmico mínimo necessário para manter o equilíbrio térmico do corpo humano a um nível subnormal da temperatura média do corpo, representando o valor máximo admissível para o arrefecimento do corpo no desenrolar de uma determinada atividade;  $\text{IREQ}_{\text{neutro}}$ , como o isolamento térmico necessário que fornecer condições térmicas neutras, ou seja, o isolamento térmico requerido para manter o equilíbrio a um nível normal de temperatura média corporal, representando assim o arrefecimento mínimo ou nulo para com o corpo humano.

## 2.5. Equipamento de medição utilizado

Nas medições das variáveis ambientais foi utilizado o equipamento DeltaOhm Thermal Microclimate HD32.1 e respetivas sondas. Este equipamento foi instalado nas zonas em que os

trabalhadores desenvolviam a sua atividade, sujeitos a condições de frio. Nos casos em que o equipamento da DeltaOhm não suportava a gama de valores encontrados no interior das câmaras, nomeadamente as câmaras de congelação, foram utilizados os dataloggers EasyLog da Lascar. Nestas câmaras registaram-se temperaturas na ordem dos  $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$ , quando a unidade de medição do equipamento da DeltaOhm, segundo o fabricante, não deve ser utilizado em espaços com temperaturas inferiores a  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . As sondas foram mantidas durante as medições sempre à mesma cota (1,1 m). Na medição da frequência cardíaca dos trabalhadores foi utilizado um tensiómetro convencional, BC16 da marca Beurer, seguindo o procedimento da norma ISO 8996, 2004 [6].

### 3. Análise e discussão de resultados

Nesta secção apresentam-se os resultados da avaliação das condições de isolamento térmico dos trabalhadores de modo a poder quantificar o número de indivíduos que estão em condições favoráveis ao stress e tensões térmicas. Foram estudados dois casos: no caso 1 (empresa de distribuição alimentar) a amostra avaliada é composta por 7 trabalhadores (6 do género masculino e 1 do género feminino) com idades compreendidas entre 20 e 39 anos; no caso 2 (empresa de Lacticínios/Queijaria) a amostra é composta por 4 trabalhadores, todos do género feminino com idades entre 22 e 58 anos. Para cada empresa avaliada, foi realizada uma análise para cada câmara, ou espaço climatizado, tendo em conta o nível de isolamento térmico e metabolismo de cada trabalhador. No final da secção são analisados e discutidos os resultados de um modo geral, verificando a adequabilidade das condições dos trabalhadores, bem como o procedimento da norma ISO 11079, 2007 [4].

#### 3.1. Tipo e duração de exposição

O tipo de exposição ao frio que se verificou no primeiro caso estudado apresentou duas características distintas: verificaram-se situações em que alguns trabalhadores apresentavam um tipo de exposição ao frio maioritariamente intermitente enquanto outros apresentavam um tipo de exposição maioritariamente contínuo. Estas características de exposição ao frio encontradas nesta empresa decorrem da variedade de produtos comercializados pela empresa, em que, dependendo do tipo de conservação necessária de cada um, obriga à existência de diferentes temperaturas. No segundo caso estudado o tipo de exposição acaba por ser maioritariamente contínuo, pois os trabalhadores desta empresa operam sob condições ambientais que não possuem grandes oscilações. Ambas as empresas permitem aos trabalhadores uma pausa de aproximadamente 20 minutos, tanto no período da manhã como no período da tarde. Independentemente do tipo de exposição, os trabalhadores no primeiro caso estão sujeitos a um período de exposição contínuo de cerca de 2 horas e no segundo caso a um período de cerca de 1,5 horas.

#### 3.2. Variáveis ambientais e individuais

As variáveis ambientais e individuais registadas em ambas as empresas são apresentadas na tabela 1. De referir que, no caso 1, existem no total 10 zonas climatizadas: 4 câmaras de congelação (CC1 a CC4), 3 câmaras de refrigeração (CR1 a CR3) e 3 antecâmaras (AC1 a AC3). No caso 2, existem 7 zonas climatizadas: 5 de refrigeração (CR1 a CR5), 1 câmara de congelação (CC1) e 1 túnel de congelação (TC).

Tabela 1. Variáveis ambientais e individuais registadas em ambas as empresas.

Variáveis	Empresa em estudo							
	Caso 1				Caso 2			
	Min	Máx	$\bar{T}$	$\sigma$	Min	Máx	$\bar{T}$	$\Sigma$
$t_a$ [°C]	-24	7,5	-4,7	10,5	-24,5	16	3,8	10,2
HR [%]	42,5	100	76,3	11,0	49	100	82,6	6,9
Idade	20	39	31,1	6,7	22	58	36,8	13,9
Altura (cm)	163	187	171,9	7,8	146	160	154,3	5,1
Peso (kg)	64	95	79,3	11,4	51	61	56,3	3,7
$FC_0^1$	60	81	66,4	7,4	65	80	72,8	6,0
$FC^2$	71	100	83,3	12,1	67	97	81,1	8,9
$M_0$ [W/m <sup>2</sup> ] <sup>3</sup>	92,9	121,4	105,6	8,4	81,8	86,6	74,4	1,8
Met [W/m <sup>2</sup> ] <sup>4</sup>	151	221	177,3	25,9	76	136	108,2	25,8
Icl [clo]	0,48	1,24	0,78	0,24	0,73	1,08	0,89	0,13

<sup>1</sup> Frequência cardíaca em condições de repouso e termicamente neutras.

<sup>2</sup> Frequência cardíaca em condições de trabalho e exposição ao frio.

<sup>3</sup> Nível de metabolismo em condições de repouso e termicamente neutras.

<sup>4</sup> Nível de metabolismo em condições de trabalho e exposição ao frio.

Quanto à velocidade do ar, de acordo com as recomendações da norma ISO 11079 [4], por ser sempre inferior a 0,4 m/s em todas as zonas avaliadas, tomou-se este valor como referência.

### 3.3. Índice IREQ

Após as medições de índole ambiental e fisiológica, e da determinação dos níveis de metabolismo e de isolamento de vestuário utilizado por parte dos trabalhadores, procedeu-se ao cálculo do índice IREQ. Para o caso 1 (empresa de distribuição alimentar), foram avaliadas as condições de cada trabalhador para cada uma das câmaras. A zona climatizada mais utilizada é a AC3. Trata-se de uma antecâmara principal de frio positivo, com uma temperatura sempre inferior a 10 °C e que dá acesso a todas as outras câmaras da empresa. O nível de IREQ para cada trabalhador para esta mesma zona é apresentado na figura 1.

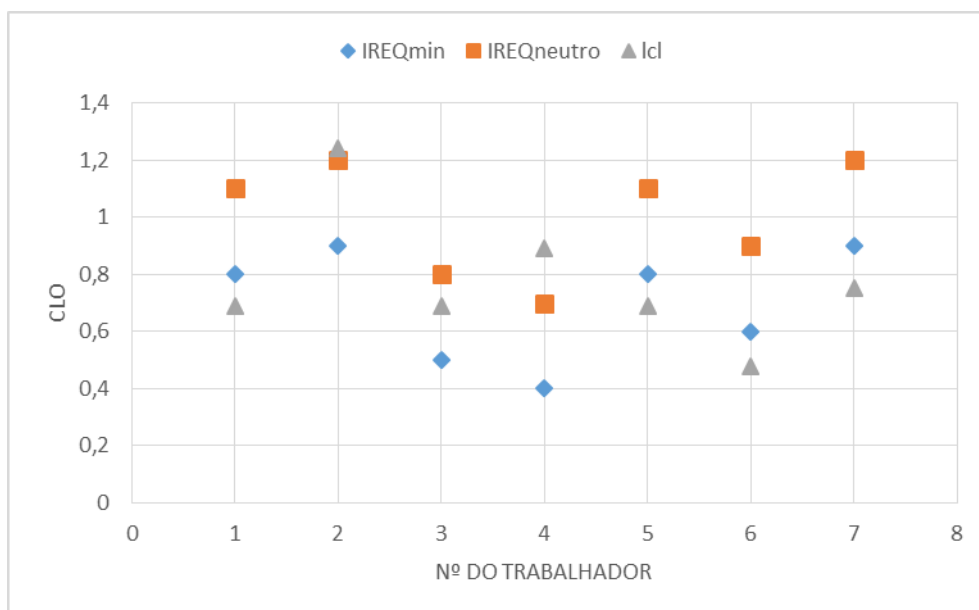


Fig. 1. Nível de IREQ para cada trabalhador em AC3.

Como resulta da figura, 57 % dos trabalhadores possuem um nível de isolamento insuficiente. O facto de estarem abaixo do nível mínimo de isolamento requerido calculado, leva a que a probabilidade de manifestarem stress térmico seja superior. Nestes casos, quando o nível de isolamento utilizado pelo trabalhador é inferior ao nível de isolamento requerido neutro ( $IREQ_{neutro}$ ) torna-se necessário determinar o tempo limite ( $D_{lim}$ ) de permanência nestas condições. A figura 1 mostra também que existem trabalhadores (2 e 4) com um nível de isolamento superior a  $IREQ_{neutro}$  podendo ocasionar igualmente situações de stress térmico. Resta salientar que apenas o trabalhador 3 apresenta um nível de isolamento adequado para este espaço climatizado por se encontrar entre os níveis mínimo e neutro do índice IREQ. O nível de IREQ na câmara CR1 do caso 2 (queijaria) é apresentado na figura 2. Esta câmara é das mais utilizadas e, como se observa, apenas o trabalhador número 1 apresenta um nível de isolamento térmico adequado. Os restantes trabalhadores situam-se abaixo no nível do  $IREQ_{min}$  sendo o caso mais crítico o do trabalhador número 4 que apresenta um nível de isolamento térmico que corresponde a cerca de metade do  $IREQ_{min}$ .

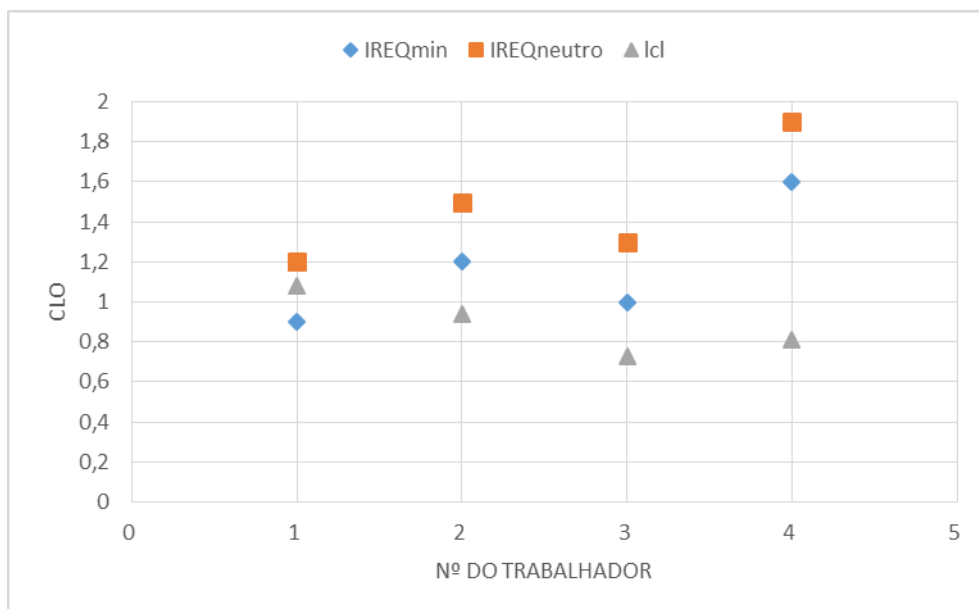


Fig. 2. Nível de IREQ para cada trabalhador em CR1.

### 3.4. Tempo limite de exposição ( $D_{lim}$ )

As figuras 3 e 4 representam o tempo limite de exposição (mínimo e neutro) para cada trabalhador nos casos estudados. Como mostra a figura 3, apenas os trabalhadores 2 e 4 reúnem as condições necessárias, quer de atividade quer de isolamento térmico de vestuário, para laborar em condições de conforto naquele ambiente. Apesar do trabalhador 3 estar entre os níveis mínimo e neutro deste indicador, apenas poderia permanecer em AC3 1,4 horas. Os restantes trabalhadores apresentam tempos limites para condições mínimas significativamente inferiores ao período que efetivamente permanecem em AC3, o que pode desencadear fenómenos de stress térmico. Para o caso 2, como mostra a figura 4, verifica-se que para o período de tempo em que efetivamente permanecem no interior da câmara de refrigeração CR1 existem situações distintas. Dois dos trabalhadores avaliados (1 e 3) reúnem condições necessárias quer de atividade quer de isolamento térmico do vestuário utilizado para laborar em condições de conforto. Quanto aos restantes trabalhadores, enquanto que o trabalhador 2 apresenta condições de isolamento térmico para permanecer em condições térmicas mínimas durante um período de cerca de 2,1 horas, o trabalhador 4, mesmo para condições térmicas mínimas, ultrapassa o tempo que efetivamente poderia permanecer no

interior desta câmara (0,8 horas) pelo facto do nível de isolamento térmico do seu vestuário ser insuficiente.

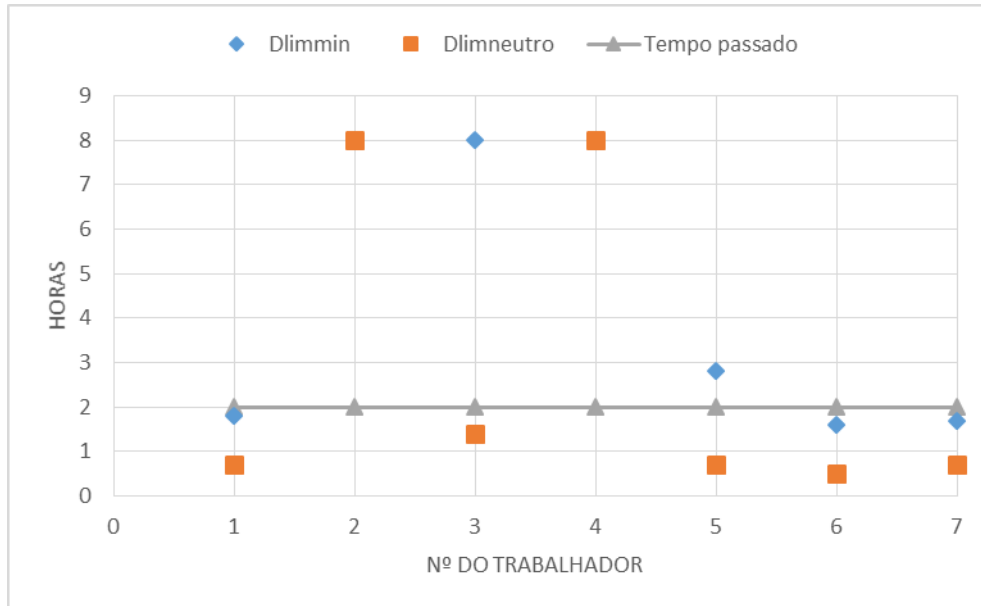


Fig. 3. Tempo limite mínimo e neutro para cada trabalhador para as condições de AC3.

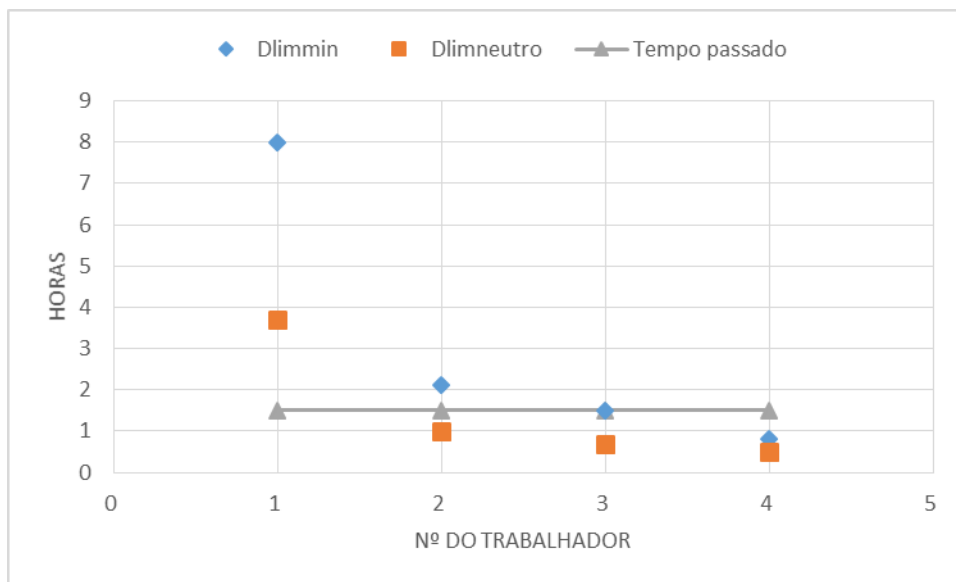


Fig. 4. Tempo limite mínimo e neutro para cada trabalhador para as condições de CR1.

A tabela 2 mostra, para o caso 2, a adequabilidade de cada trabalhador para cada zona climatizada, tendo em conta os períodos em que efetivamente permanecem no seu interior. Foram considerados os tempos de permanência de 1,5 horas para as três câmaras (CR1, CR2 e CR3) e para as restantes câmaras foram definidos tempos de permanência de 15 min (0,25 horas). Apesar da permanência dos trabalhadores no interior das restantes câmaras

ser normalmente inferior a este período, foi definido este intervalo de tempo, visto ser o período mínimo que a norma ISO 11079 [4] recomenda. O tipo de adequabilidade de cada trabalhador para cada zona climatizada é identificada com uma cor, em que a cor laranja refere-se à não adequabilidade do trabalhador à zona em questão, pois não reúne as condições para níveis mínimos. Contrariamente, a cor azul indica a adequabilidade do trabalhador, em que são reunidas as condições para níveis neutros. Com ambas as cores, uma cor mista entre azul e laranja, diz respeito à adequabilidade apenas para condições mínimas, em que o trabalhador nestes casos situa-se na zona neutra/regulação, podendo manifestar sensações de frio ligeiro. Por fim, a cor mais escura, avermelhada, refere-se a casos em que o nível de isolamento do vestuário é superior ao requerido, podendo gerar situações de sobreaquecimento.

Tabela 2. Adequabilidade de cada trabalhador para cada zona climatizada, tendo em conta os períodos de exposição.

Zona \ N° do trabalhador	1	2	3	4
<b>CR1</b>	Blue	Yellow	Yellow	Yellow
<b>CR2</b>	Blue	Yellow	Yellow	Yellow
<b>CR3</b>	Red	Yellow	Yellow	Yellow
<b>CR4</b>	Blue	Blue	Blue	Blue
<b>CR4.1</b>	Blue	Blue	Blue	Blue
<b>CC</b>	Blue	Blue	Yellow	Yellow
<b>TC</b>	Blue	Yellow	Yellow	Yellow

#### 4. Conclusões

A necessidade de utilização de frio no sector agroindustrial durante o processo produtivo e na conservação de produtos, expõe os trabalhadores a condições ambientais que podem contribuir para o aumento do stress térmico. A utilização de um nível de isolamento térmico adequado bem como uma correcta avaliação do tempo de exposição, constituem aspectos fundamentais para garantir condições mínimas de conforto aos trabalhadores. Relativamente à determinação do nível de metabolismo, verificou-se que, quanto maior o nível de atividade, maior a discrepância de valores entre o nível de metabolismo calculado através da utilização da frequência cardíaca e os valores que figuram na norma. Deste modo, sugere-se a utilização sempre que possível do método número 3 da norma ISO 8996 [6]. No geral, contabilizando as sensações térmicas de todos os trabalhadores avaliados nos dois casos estudados, verifica-se que existem casos de manifestações por parte dos trabalhadores que não coincidem com o nível de isolamento utilizado e calculado. Os inquéritos e as medições efectuadas mostram que ocorrem situações em que os trabalhadores possuem isolamento adequado às condições onde estão inseridos mas que ainda assim manifestam sensações relacionadas com o desconforto térmico. Também, por outro lado, verificou-se que alguns dos trabalhadores que possuem níveis de isolamento térmico supostamente insuficiente manifestam sensações térmicas neutras. Estas manifestações contraditórias resultam da diferente adaptabilidade do organismo às condições de ambientes frios. Os trabalhadores que laboram sob aquelas condições durante um período significativo possuem, em geral, níveis de isolamento térmico inferiores ao nível de isolamento requerido mínimo e nos inquéritos indicam sensações térmicas neutras. Constata-se portanto uma tendência para a aclimação dos trabalhadores a ambientes frios, tendência essa que não é tida em conta na norma 11079 [4].

## REFERÊNCIAS

- [1] Holmér, I., "Evaluation of Cold Workplaces: An Overview of Standards for Assessment of Cold Stress", *Industrial Health*, 47 (2009), pp. 228-234.
- [2] ISO 15743. *Ergonomics of the Thermal Environment e Cold Workplaces Risk Assessment and Management*. International Standard, first ed. International Organization for Standardization (ISO), Geneva, 2008.
- [3] Holmér, I., "Required clothing insulation (IREQ) as an analytical index of cold Stress". *ASHRAE Transactions* 90 (1984), pp. 1116-1128.
- [4] ISO 11079. *Evaluation of Cold Environments e Determination of Required Clothing Insulation (IREQ)*. International Standard, first ed. International Organization for Standardization (ISO), Geneva, 2007.
- [5] ISO 9920. *Ergonomics of the thermal environment -- Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble*. International Standard, first ed. International Organization for Standardization (ISO), Geneva, 2007.
- [6] ISO 8996. *Ergonomics of the thermal environment - Determination of metabolic rate*. International Standard, first ed. International Organization for Standardization (ISO), Geneva, 2004.