

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADEMICO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

RUAN CARLOS SUSIN

**EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL EM AMBIENTES FRIOS: AVALIAÇÃO
E APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DO IREQ**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2015

RUAN CARLOS SUSIN

**EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL EM AMBIENTES FRIOS: AVALIAÇÃO
E APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DO IREQ**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Mecânica da Coordenação de Engenharia Mecânica – COEME – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Luiz Ribas Pessa

PATO BRANCO
2015

Dedico este trabalho, de modo especial, ao meu pai, Celso (in memoriam), e a minha mãe, Lucilde, por fazer o impossível para que eu pudesse alcançar todos os meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço, e não poderia ser diferente, a minha mãe, Lucilde, pela dedicação e suporte em todos os momentos de minha vida.

Agradeço, a Renato e Marcelo, pelo incentivo e apoio incondicional provido.

Ao Professor Dr. Sérgio Luiz Ribas Pessa pela sua disposição e orientação para a conclusão deste trabalho.

À esta universidade e a todos os professores que contribuíram da melhor forma com seus conhecimentos para a minha formação.

Aos amigos que estiveram presentes ao longo dessa trajetória, pelo apoio, ensinamentos e momentos de descontração, sendo fundamentais para a conclusão desta etapa em minha vida. Em especial a Alex Scalizze, Renan Nardino e Vinícius Artmann, os quais tornaram-se minha família durante o período de graduação.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

Sucesso não é o final, falhar não é fatal:
É a coragem para continuar que conta.

Winston Churchill

RESUMO

SUSIN, Ruan Carlos. Exposição ocupacional em ambientes frios: avaliação e aplicação da metodologia do IREQ. 2015. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2015.

Este trabalho apresenta uma análise sobre o método de avaliação termoambiental baseado no Isolamento Requerido de Roupas (IREQ), proposto pela norma europeia EN ISO 11079:2007. Tem por finalidade avaliar suas principais características, sua metodologia de cálculo e sua aplicabilidade como técnica para quantificar a exposição ocupacional ao frio. O estudo ainda traz uma análise sobre a atual legislação brasileira empregada na normalização das condições de exposição a temperaturas baixas, fazendo uma comparação, da regulamentação vigente perante o método adotado internacionalmente para avaliação de ambientes frios. O ambiente analisado, apresentava avaliação segundo os critérios das normas brasileiras, indicando o não enquadramento de atividade insalubre, o que mostrou-se uma inverdade, perante o emprego do método do IREQ. Observou-se a viabilidade do emprego do método, o qual, apresenta condições mais restritivas para a exposição dos trabalhadores. Notou-se também, a diferença existente entre as técnicas de avaliação, ressaltando a defasagem dos critérios empregados pelas normativas brasileiras vigentes.

Palavras-chave: IREQ. Exposição Ocupacional. ISO 11079. Avaliação Termoambiental.

ABSTRACT

SUSIN, Ruan Carlos. Occupational exposure to cold environments: evaluation and application of the IREQ methodology. 2015. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2015.

The work presents an analysis about the thermoambiental evaluation method based on the Required Clothing Insulation (IREQ), proposed by the European standard EN ISO 11079:2007. Its aims to evaluate its main characteristics, calculation method and application as a technique to quantify the occupational exposure to cold. The research includes an analysis of the current Brazilian legislation used in the standardization of low temperatures exposure conditions, making a comparison between the existing regulations and the internationally adopted method for evaluating cold environments. The examined environment, presented evaluation along the lines of Brazilian standards, indicating the non-existence of unhealthy activity, which proved to be untrue, before the use of the IREQ method. It was verified the feasibility of the method, which presents more restrictive conditions for worker exposure. It was noted also, the difference between the evaluation techniques, emphasizing the gap of the criteria used by the Brazilian normative.

Keywords: IREQ. Occupational Exposure. ISO 11079. Thermoambiental evaluation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Frostbite, lesão característica	24
Figura 2 - Equipamento de proteção individual térmico	25
Figura 3 - Manequim térmico usado para determinar o isolamento de roupas.....	26
Figura 4 – Modelo do “micro-ambiente”	31
Figura 5 – Procedimento de avaliação de ambientes frios	34
Figura 6 - Termômetro do túnel de congelamento	47
Figura 7 - Termo-Higrômetro INSTRUTHERM THDL-400	47
Figura 8 - Equipamento de Proteção Individual utilizado no túnel de congelamento	51
Figura 9 - Equipamento de Proteção Individual utilizado na expedição	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Escala de sensação térmica	20
Tabela 2 - Sintomas clínicos progressivos de hipotermia	22
Tabela 3 - Poder de resfriamento do vento sobre a pele exposta	28
Tabela 4 - Sensação térmica em função do WCI	29
Tabela 5 - Regime de trabalho diário em baixas temperaturas	36
Tabela 6 - Valores de isolamento de EPI's térmicos	49
Tabela 7 - Icl e Iclr das vestimentas utilizadas nos ambientes de trabalho	52
Tabela 8 – Dados de entrada para os cálculos	53
Tabela 9 - Resultados dos cálculos do IREQ e DLE	54

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação (1).....	28
Equação (2).....	28
Equação (3).....	38
Equação (4).....	39
Equação (5).....	39
Equação (6).....	40
Equação (7).....	40
Equação (8).....	40
Equação (9).....	40
Equação (10).....	41
Equação (11).....	41
Equação (12).....	41
Equação (13).....	42
Equação (14).....	42
Equação (15).....	42
Equação (16).....	43
Equação (17).....	43
Equação (18).....	43
Equação (19).....	43
Equação (20).....	43
Equação (21).....	44
Equação (22).....	44
Equação (23).....	44
Equação (24).....	44
Equação (25).....	44

Equação (26).....	45
Equação (27).....	48

LISTA DE ABREVIações E SÍMBOLOS

ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc
C	Transferência de calor por convecção
C_{res}	Transferência de calor por convecção da respiração
C_{lo}	Unidade de medição de resistência térmica de roupas
CLT	Consolidação das Leis do Trabalho
DLE	Tempo limite de exposição
E	Transferência de calor por evaporação do suor
EN	Norma Europeia
E_{res}	Transferência de calor por evaporação da respiração
EPI	Equipamento de Proteção Individual
f_{cl}	Razão da superfície da área vestida pela área do corpo nú
h_c	Coefficiente de transferência de calor por convecção
h_k	Coefficiente de transferência de calor por condução
h_r	Coefficiente de transferência de calor por radiação
$I_{a,r}$	Isolamento térmico resultante da camada limite
I_{cl}	Isolamento básico das vestimentas
I_{clr}	Isolamento resultante das vestimentas
IREQ	Isolamento requerido das roupas
$IREQ_{min}$	Isolamento mínimo requerido das roupas
$IREQ_{neutro}$	Isolamento neutro requerido das roupas
ISO	International Organization for Standardization
K	Transferência de calor por condução
M	Calor metabólico gerado pelo organismo
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
NR	Norma Regulamentadora
p	Permeabilidade do ar
p_a	Pressão parcial de vapor d'água à temperatura ambiente
p_{ex}	Pressão parcial de vapor d'água saturado à temperatura do ar expirado
p_{pele}	Pressão parcial de vapor d'água à temperatura da pele
PMV	<i>Predicted Mean Vote</i> - Voto Médio Estimado

PPD	<i>Predicted Percentage of Dissatisfied</i> - Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas
Q_{lim}	Valor máximo de perda de calor admitida
R	Transferência de calor por radiação
R_E	Resistência evaporativa
S	Taxa de calor armazenado no corpo
Sindiavipar	Sindicato das Indústrias de Produtos Avícolas do Paraná
SIT	Secretaria de Inspeção do Trabalho
t_a	Temperatura do ar ambiente
t_{cl}	Temperatura média da superfície das roupas
t_{ex}	Temperatura do ar expirado
t_{pele}	Temperatura local da pele
t_r	Temperatura média radiante
TR	Tempo de Recuperação
UBABEF	União Brasileira de Avicultura
UR	Umidade Relativa
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
v_a	Velocidade do ar
w	Fator de encharcamento de pele
v_w	Velocidade de deslocamento
WCI	<i>Wind Chill Index</i> – Índice de Resfriamento do Vento

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	Objetivos.....	16
1.1.1	Objetivo Geral	16
1.1.2	Objetivos Específicos	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	Frio: Exposição e Fisiologia.....	17
2.2	Conforto Térmico	19
2.3	Efeitos Nocivos à Saúde.....	21
2.4	Equipamentos de Proteção Individual (EPI's).....	24
2.5	Métodos de Avaliação Termoambiental.....	27
2.5.1	Índice WCI (Wind Chill Index)	27
2.5.2	IREQ – Índice de Isolamento Requerido	30
2.5.2.1	Interpretação do IREQ	31
2.5.2.2	Aplicação Prática de Ambientes Utilizando o IREQ	33
2.6	Regulamentação no Brasil.....	34
3	METODOLOGIA	38
3.1	Análise do Método de Avaliação Termoambiental IREQ	38
3.2	Metodologia de Cálculo do IREQ.....	38
3.2.1	Cálculo do Tempo Máximo de Exposição e do Tempo de Recuperação	44
3.3	Aplicação do Método do IREQ.....	45
3.3.1	Empresa e Ambiente de Trabalho.....	45
3.3.2	Parâmetros Físicos	46
3.3.3	Parâmetros Individuais.....	48
4	RESULTADOS	50
4.1	Determinação do Metabolismo	50

4.2	Determinação do Isolamento Resultante dos EPI's (I_{clr}).....	51
4.3	Cálculo do Índice de Isolamento Requerido e dos Tempos de Exposição	52
4.4	Interpretação dos Resultados	55
4.5	Método IREQ x Legislação Brasileira	57
5	CONCLUSÃO.....	59
	REFERÊNCIAS.....	60
	APÊNDICES.....	63
	ANEXOS	66

1 INTRODUÇÃO

Na última década, o Brasil aumentou a sua produção de carne, se estabelecendo como um dos maiores produtores e exportadores do ramo no mundo. Segundo a UBABEF (2013), o Brasil é o terceiro maior produtor de carne de frango, perdendo apenas para Estados Unidos e China. Sendo desde de 2004 o maior exportador da carne no mundo. O mercado de exportação de frango continua batendo recordes, nesse mesmo ano a receita totalizou US\$ 7,97 bilhões, caracterizando um aumento de 3,4%, em comparação com o ano de 2012.

O estado do Paraná figura no cenário nacional como sendo o maior produtor de frango do país. Em 2013, o estado alcançou o recorde de 31,12% da produção nacional de carne de frango, totalizando cerca de 3,8 milhões de toneladas no ano. Com respeito às exportações, o Paraná manteve-se em primeiro lugar, exportando cerca de 29,35% do total do país (1.142.235 MT), deixando em segundo lugar o estado de Santa Catarina (16,66%) e em terceiro o Rio Grande do Sul (14,56%).

A região sudoeste do estado do Paraná, região essa onde está inserida a UTFPR – *campus* Pato Branco, caracteriza-se pela presença de várias instalações frigoríficas destinadas ao abate de aves. Esses frigoríficos contribuem com uma grande parcela da produção total do estado. Segundo a Sindiavipar (2013) a produção do Sudoeste alcançou 22% do total produzido no estado, garantindo assim o segundo lugar dentre todas as regiões, perdendo apenas para a região Oeste (33%).

Devido à grande produção encontrada na região, faz-se necessária a contratação de uma grande quantidade de mão de obra para trabalhar nos diversos setores presentes em um frigorífico. Dentre todos os setores da produção, volta-se uma atenção especial aos trabalhadores que laboram em exposição à baixas temperaturas. A exposição é encontrada nas câmaras frias e túneis de congelamento, os quais tem a função de resfriar a carne à níveis recomendados por normas nacionais e internacionais, para realizar a armazenagem do produto e o transporte até o consumidor.

O trabalhador exposto ao frio, está sujeito à uma série de complicações em sua saúde, uma vez que o frio é agente estressante ao corpo humano, causando alterações fisiológicas no mesmo durante o período de exposição. Hipotermia,

frostbite, artrites, doenças respiratórias, pé de trincheira, são alguns exemplos de complicações que podem ser originadas ou facilitadas através da exposição ao frio.

Para Goldsmith (1989), o frio age diretamente na habilidade durante o trabalho, a qual depende das funções, do cérebro e dos membros. Ocorrem, dessa maneira, confusões mentais e dificuldades de coordenação, com relação ao cérebro, e sintomas de imprecisão de movimentos para os membros, e até mesmo paralisia nos casos mais graves. Hadler (2001) em sua pesquisa constatou os efeitos do frio como “fator desencadeador de distúrbios articulares como artrites e reumatismo ao nível de membros.”

Com o intuito de amenizar os efeitos relacionados à exposição à baixas temperaturas, os empregadores fornecem os EPI's (Equipamentos de Proteção Individual) para o trabalho em ambientes frios, os quais constituem-se de vestimentas que fornecem o isolamento térmico necessário do corpo do trabalhador para com o meio. Tais EPI's nem sempre são dimensionados de acordo com a características de uso de cada indivíduo, resultando em um desbalanceamento térmico, gerando perda excessiva de calor ou superaquecimento e produção de suor conseqüentemente.

Visando o estabelecimento de parâmetros de conforto térmico e conseqüentemente, a segurança dos trabalhadores, a norma ISO 11079 (International Organization for Standardization) estabelece uma análise termoambiental baseada fundamentalmente nos estudos promovidos por Holmér (1984), onde o método propõe a determinação do Isolamento Requerido de Roupas (IREQ), com o objetivo de estabilizar o equilíbrio térmico entre o corpo do indivíduo e o ambiente frio. De acordo com Gallois (2002, p. 4), “a análise do método proporciona quantificar o índice de isolamento para ser comparado com escala analógica e obter-se a aproximação maior possível da neutralidade ($IREQ_{neutro}$), sensação de conforto, e alertar para as condições de stress, que comprometeriam as funções vitais e aceitações de saúde.”

O conjunto de normas brasileiras que dizem respeito à exposição ao frio não apresentam uma análise específica como a apresentada pela norma EN ISO 11079:2007. Instruções sobre jornadas de trabalho e tempos de exposição são fornecidas pela FUNDACENTRO bem como nas normas regulamentadoras instituídas pelo Ministério do Trabalho e Emprego, as quais alertam sobre os riscos da exposição ocupacional prolongada, porém não se atinge o nível de avaliação proposto pelas normas internacionais, as quais são base de estudo para diversos autores nesse campo de pesquisa em todo o mundo. Oliveira et al. (2007) em Portugal, Gallois (2002)

no Brasil e Griefahn (1999) na Alemanha são alguns exemplos de aplicação e viabilidade desses métodos.

Tendo em vista o grande número de trabalhadores da região possivelmente expostos à baixas temperaturas, o presente trabalho objetiva a apresentação do método do IREQ proposto pela ISO 11079, como método de avaliação termoambiental, conceitualizando-o e explicitando sua metodologia de cálculo. Além da revisão bibliográfica acerca do método do IREQ, o trabalho propõe a aplicação do mesmo em uma unidade frigorífica previamente considerada como salubre segundo a legislação brasileira, buscando uma comparação entre os métodos empregados internacionalmente e as atuais normativas brasileiras em relação à exposição ocupacional de trabalhadores que laboram em ambientes frios.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Comparar a regulamentação brasileira, no que diz respeito a avaliação da exposição ocupacional ao frio, com a metodologia adotada pela ISO 11079, visando estabelecer as diferenças existentes entre os métodos.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a metodologia de perícia empregada no Brasil;
- Apresentar o método do IREQ, proposto pela ISO 11079 como método de avaliação termoambiental;
- Aplicar a metodologia do IREQ, em ambiente considerado salubre perante as normativas brasileiras.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Frio: Exposição e Fisiologia

A temperatura interna do corpo é determinada pelo balanço entre o calor produzido internamente e o calor ganho ou perdido para o ambiente externo. A energia interna é produzida pelo organismo através da transformação química dos alimentos ingeridos. E a transferência de calor com o meio é função das condições externas, ocorrendo por convecção, radiação, condução e evaporação, manifestando-se fisiologicamente como: vasodilatação, aumento ou diminuição da taxa respiratória, aumento da sudorese, variação das condições da alimentação e alterações comportamentais. Essas características são alteradas pelo centro termorregulador, localizado no hipotálamo, que responde ao sinal da própria temperatura do sangue que passa através do mesmo e aos sinais dos receptores cutâneos de temperatura. Tais receptores enviam sinais de resposta às condições ambientais térmicas ao qual o indivíduo está submetido, ou seja, da temperatura, umidade relativa, velocidade do ar e da intensidade de radiação solar.

A regulação térmica do corpo humano é executada pelo fluxo regular do sangue. A distribuição regular do sangue no corpo é através da vasoconstrição e da vasodilatação ordenado de modo a controlar a temperatura da pele e aumentar ou diminuir a perda de calor com o ambiente, de acordo com a necessidade. Durante a atividade do corpo, o sangue carrega a produção extra de calor para a superfície do corpo onde o aumento de temperatura da pele troca calor por convecção e radiação (PREK, 2005).

Para manter a termoneutralidade perante ambientes que causam estresse por conta do frio, o homem e os animais utilizam diversos mecanismos comportamentais e fisiológicos. Segundo Gallois (2002), os principais mecanismos fisiológicos são:

- Metabolismo Basal: atividade metabólica da célula se converte quase toda em calor e quanto maior o metabolismo basal, maior a produção endógena de calor;
- Atividade Muscular Generalizada (tiritar): o tiritar é uma manifestação de atividade muscular generalizada; em cada região do corpo, onde os agonistas são estimulados e os antagonistas também. O resultado é uma atividade muscular de eficiência mecânica praticamente nula, com produção muito alta de calor.

- Efeitos de Hormônios: dos hormônios do organismo, a tireoxina, a triiodotironina, a adrenalina e a noradrenalina são os que exercem os efeitos mais nítidos sobre o metabolismo, aumentando-o e conseqüentemente elevando a produção de calor endógeno.
- Efeito do aumento de temperatura: o próprio aumento da temperatura do organismo acelera a atividade do metabolismo. Pode-se dizer que para 1°C de aumento da temperatura orgânica o metabolismo aumenta 13%, com conseqüente produção de calor.

Quando colocado em um ambiente frio, o organismo toma atitudes com o intuito de manter a temperatura central do corpo constante. Segundo Couto (1978) adequadamente vestido o homem pode suportar variações de temperatura entre -50 até 100°C. Porém, o organismo não suporta uma variação de temperatura na parte central do corpo acima de 4°C sem que haja conseqüências da capacidade física e mental. Essa manutenção de temperatura é essencial para garantir a vida e a capacidade de trabalho.

A temperatura central é praticamente constante, mas pode variar em aproximadamente 0,6°C. A temperatura do corpo não é igual em todo o organismo. Uma temperatura média próxima dos 37°C é mantida no cérebro, no coração e nos órgãos abdominais, chamada de temperatura de núcleo. Macintyre (1980) cita que essa temperatura de núcleo, ajustada pelo sistema termorregulador, não é constante e depende da taxa de metabolismo. Também afirma que, em atividades físicas severas, com alta taxa de metabolismo, essa temperatura pode ser elevada até 39,5°C.

A temperatura cutânea, por sua vez, varia de acordo com a temperatura ambiente, sendo de grande importância quando se refere à capacidade da pele de perder calor para o meio ambiente, uma vez que, quando varia-se a circulação cutânea, e conseqüentemente a temperatura de pele, reduz-se a transferência de calor da mesma para com o meio mais frio.

A vasoconstrição pode ser caracterizada de acordo com Wiczick (2008) pela ação da pele de conservar o calor no organismo, diminuindo o fluxo de sangue nas extremidades para valores próximos a 250 ml/min, quando em exposição a ambientes mais frios, podendo atingir 1500 ml/min em dias quentes.

Diminuindo a circulação de sangue, bem como a temperatura nas extremidades, o corpo diminui a perda de calor, porém essa atividade fisiológica interfere de maneira direta na mobilidade e coordenação motora do ser humano. De acordo com Pascoe (1994), a atividade física que requer atividade motora fina pode

ser grandemente enfraquecida quando submetida ao stress por frio. Os ambientes frios anestesiam os termoreceptores das mãos, ocorrendo a diminuição da sensibilidade tátil e da destreza manual.

Nesse sentido, Grandi (2006, p.19) diz que “as temperaturas extremas, principalmente o frio, dificultam a concentração mental, porque a sensação de desconforto provoca distrações.” Além disso, as pessoas passam a tomar decisões mais arriscadas e isso pode diminuir a qualidade do trabalho e aumentar o risco de acidentes.

2.2 Conforto Térmico

A expressão conforto térmico, pode ser definida como aquela condição em que a mente expressa satisfação com o ambiente térmico (ASHRAE, 2004). A referência à mente, indica ser um termo subjetivo, ou seja, tem-se que a satisfação térmica é alcançada de maneiras diferentes para cada indivíduo, sendo dependente de vários fatores.

Givoni (1998) afirma que conforto térmico pode ser bem definido como o alcance da condição climática considerada confortável no ambiente interno do edifício, implicando em abster-se qualquer sensação térmica quente ou fria de desconforto.

Conforme Lamberts e Xavier (2002), o conforto térmico pode ser visto e analisado sob dois aspectos: do ponto de vista pessoal e do ponto de vista ambiental:

- Do ponto de vista pessoal, aquele onde um determinado indivíduo que se encontra em determinado ambiente em estado confortável com relação à sua sensação térmica.
- Do ponto de vista ambiental os estudos de conforto propõem o estabelecimento de um estado térmico para determinado ambiente, com relação às suas variáveis físicas, a fim de que um número pequeno de pessoas esteja insatisfeito com o mesmo.

Fanger (1970), realizou pesquisas em câmeras climatizadas, e estabeleceu três condições fisiológicas e ambientais necessárias para que a pessoa se encontre em estado de conforto térmico:

- i) Estar em neutralidade térmica;
- ii) Possuir a temperatura da pele e a taxa de secreção de suor dentro de limites aceitáveis de acordo com a atividade;
- iii) Não estar sujeito a nenhum tipo de desconforto térmico localizado, tais, como assimetria de radiação térmica, correntes de ar indesejáveis, diferenças na temperatura do ar no sentido vertical e contato com pisos aquecidos ou resfriados.

Como método para a avaliação do conforto térmico, a American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), utiliza uma escala com sete pontos psicofísicos, o Predicted Mean Vote (PMV), o qual caracteriza-se por ser um índice de voto prognosticado em sete pontos da escala de sensação térmica. A escala varia de +3 (quente) a -3 (frio).

Tabela 1 - Escala de sensação térmica

Pontos	Sensação Térmica
-3	Fria
-2	Resfriada
-1	Levemente fria
0	Neutra
1	Levemente morna
2	Morna
3	Quente

Fonte: ASHRAE (2004)

Cada indivíduo atribui um valor entre -3 e 3 para determinada condição térmica ao qual é submetido, porem tal método tem discrepâncias uma vez que, como já citado, o conforto térmico depende de muitas variáveis, ou, segundo a própria ASHRAE (2001), a avaliação do conforto térmico é um processo cognitivo que envolve muitos dados influenciados por aspectos físicos, fisiológicos, psicológicos e outros.

2.3 Efeitos Nocivos à Saúde

O estresse é um conjunto de reações orgânicas a fatores de ordens diversas (físico, químico, emocional, infeccioso, etc.) capazes de perturbar o equilíbrio do organismo (homeostase). O frio é um dos agentes físicos capazes de causar esse estresse ao organismo humano.

Se um indivíduo não é adequadamente preparado ou não pode compensar as perdas calóricas, a exposição ao ambiente frio pode trazer sérias consequências. Após uma longa exposição em ambientes com temperaturas extremas, ocorrem alterações termorreguladoras fundamentais. Esse fenômeno permite ao trabalhador o desempenho de suas tarefas em situações que seriam originalmente intoleráveis (BUZANELLO, 2003).

Matos (2007) afirma que os fatores que mais contribuem para a hipotermia e as ulcerações causadas pelo frio é a exposição ao vento e à umidade. Condições de saúde podem piorar os efeitos do frio, como alergias, problemas vasculares, fumo, bebidas alcoólicas e utilização de certos medicamentos. A ocorrência de acidentes por queda tem maior probabilidade de acontecer em ambientes frios. A umidade causa efeito prejudicial ao corpo em ambientes frios em razão da perda de calor. A água é 25 a 30 vezes mais condutiva de calor que o ar, significando que o trabalhador em tempo úmido pode perder de 25 a 30 vezes mais calor do corpo do que se tivesse seco. O vento também é um fator importante, que aumenta a suscetibilidade do indivíduo à hipotermia devido à sua capacidade de causar perda de calor por convecção e evaporação.

A diminuição da temperatura corpórea resulta em diminuição da produção de calor e aumento da perda. O fluxo sanguíneo cai proporcionalmente em relação à queda de temperatura. A diminuição gradativa de todas as atividades fisiológicas ocorre, quando a temperatura corpórea fica inferior a 35°C. A Tabela 2 demonstra os efeitos da diminuição progressiva da temperatura de núcleo sobre o organismo.

Tabela 2 - Sintomas clínicos progressivos de hipotermia

Temperatura Interna		
°C	°F	SINTOMAS CLÍNICOS
37,6	99,6	Temperatura retal normal
37	98,6	Temperatura oral normal
36	96,8	Taxa metabólica aumenta para compensar as perdas por calor
35	95	Calafrio máximo
34	93,2	Vítima consciente e com resposta, com pressão arterial normal
33	91,4	Hipotermia severa abaixo desta temperatura
32 } 31 }	89,6 } 87,8 }	Consciência diminuída; dificuldade de tomar a pressão sanguínea; dilatação da pupila, mas ainda reagindo à luz; Cessa o calafrio
30 } 29 }	86,0 } 84,2 }	Perda progressiva da consciência; aumento da rigidez muscular, pulso e pressão arterial difíceis de determinar; redução da frequência respiratória
28	82,4	Possível fibrilação ventricular, com irritabilidade miocárdica
27	80,6	Parada do movimento voluntário; as pupilas não reagem à luz; ausência de reflexos profundos e superficiais
26	78,8	Vítima raramente consciente
25	77	Fibrilação ventricular pode ocorrer espontaneamente
24	75,2	Edema pulmonar
22 } 21 }	71,6 } 69,8 }	Risco máximo de fibrilação ventricular
20	68	Parada cardíaca
18	64,4	Vítima de hipotermia acidental mais baixa de recuperar
17	62,6	Eletroencefalograma isoelétrico
9	48,2	Vítima de hipotermia por resfriamento artificial mais baixa de recuperar

Fonte: ACGIH, ABHO (1999).

Segundo Gallois (2002), destacam-se os principais riscos decorrentes da exposição ao frio:

- Hipotermia: quando os métodos para produção de calor não conseguem manter o balanço térmico, resulta na diminuição da temperatura corpórea, ocorrendo a hipotermia. A temperatura central cai e o hipotálamo perde a capacidade termorreguladora. A tabela 2 mostra os efeitos decorrentes do resfriamento;
- Predisposição para acidentes: quando da exposição ao frio intenso, é comprovada a diminuição da habilidade manual, o que implica conseqüentemente em um aumento na tendência do trabalhador em realizar alguma operação de risco, podendo resultar em acidente;
- Predisposição para doenças de vias respiratórias: as mudanças bruscas de temperaturas em curtos espaços de tempo influenciam no aparecimento de

doenças pulmonares, gripes e etc., uma vez que as vias respiratórias se encontram resfriadas, o que possibilita a patogenização de germes e comensais;

- Agravamento de doenças reumáticas: em um organismo exposto ao frio, as articulações são submetidas a alterações, o que provoca prejuízo ao movimento, resultando em artralguas, muito semelhantes às artrites reumatóides (BUZANELLO, 2003);
- Complicações dermatológicas: as lesões produzidas nos tecidos pela ação do frio apresentam manifestações diversas, especialmente nas extremidades (mãos, pés, face, orelhas...). Os próximos parágrafos mostram as principais complicações na pele estudadas por Ali (1994).

O eritema pérmio é uma lesão que acomete as extremidades distais, resultam da constrição das arteríolas superficiais da pele em estase capilar. São lesões eritematosas ou arroxeadas, pode haver queimação e prurido local, aparecimento de bolhas, ulcerações rasas e posterior descamação e lesões na face.

A frostbite se dá por lesões que atingem preferencialmente as extremidades devido à intensa vasoconstrição e presença de micro cristais de gelo nos tecidos. Os mecanismos se dão através da ação direta do frio ocasionando desnaturação proteica com consequente inativação enzimática local.

A moléstia de Raynaud é uma hipersensibilidade idiopática ao frio e stress, ocorrendo alterações do mecanismo vasomotor. Mais incidente no sexo feminino, 2ª e 3ª década de vida inicialmente nos 2º e 3º dedos das mãos, nos períodos de crises ocorre isquemia nas extremidades, principalmente nas mãos com cianose, podendo surgir gangrena.

Os trabalhadores que tem seus pés expostos à água fria por longos períodos de tempo apresentam queda da temperatura local, cianose, parestesias, que caracterizam a patologia pé de imersão. A isquemia tecidual torna a extremidade suscetível à infecção.

A urticária pelo frio ocorre nos trabalhadores que tem contato direto das mãos com manivelas, mercadorias ou partes do maquinário no frio.



Figura 1 - Frostbite, lesão característica
Fonte: Bilgiç et al. (2008).

2.4 Equipamentos de Proteção Individual (EPI's)

Os equipamentos de proteção utilizados em ambientes frios são essenciais para a segurança dos trabalhadores. Segundo Vanos (2010), a roupa influencia diretamente na troca de calor por Condução. A troca de calor acontece da superfície externa da pele até a superfície externa da roupa. Depois desse processo o calor é dissipado por Convecção ao meio ambiente, pois a roupa atua como uma interface entre o corpo e o meio ambiente.

Ela é importante para o balanço térmico, pois a umidade gerada pelo suor da pele precisa evaporar e passar como vapor pela estrutura fibrosa. Essa ação facilita a termorregulação e impede que o valor devido a transpiração fique retido entre a peça de roupa e a pele (GASI; BITTENCOURT, 2010). “A permeabilidade ao vapor d’água consiste na passagem de água sob a forma de vapor pelo substrato têxtil e é uma das propriedades mais importantes de um tecido no que tange ao conforto fisiológico” (GASI; BITTENCOURT, 2010, p. 117).

No passado, a roupa característica de climas frios era projetada de acordo com efeito isolante do material, que, em alguns casos, levou a roupas muito volumosas, sem ser confortável no uso. Hoje, busca-se oferecer roupas modernas a partir de níveis iguais de isolamento derivadas de várias camadas de materiais mais

finos, com o intuito de renovar o ar que fica entre a pele e o tecido. Existem dois tipos de modelos, o tradicional que apresenta um comportamento estático, através de trocas secas, e um comportamento dinâmico. Ou seja, o primeiro comportamento, refere-se ao isolamento comum, quase constante, útil para as condições ambientais. O outro, dinâmico, pode ser rapidamente modulado através do abrir e fechar a roupa através de botões, punhos, gola, a fim de manter um equilíbrio com diferentes atividades e ventilação do ar. Essas duas formas de isolamento são necessárias para adaptar as pessoas ao seu contexto de vida (BERGER; SARI, 2000).

Os equipamentos utilizados por trabalhadores expostos às temperaturas baixas devem garantir a estabilidade térmica do mesmo, possibilitando a realização do trabalho sem interferir nas habilidades motoras e assim evitando possíveis acidentes. Os novos projetos de roupas para trabalho em ambientes frios estão cada vez possibilitando mais a movimentação do indivíduo sem prejudicar seu balanço térmico, diminuindo assim os riscos relacionados à acidentes originados pela exposição ao frio. A figura 2 demonstra um EPI padrão utilizado para trabalho em câmaras frias.



Figura 2 - Equipamento de proteção individual térmico
Fonte: Matos (2007).

A avaliação do isolamento das roupas de proteção ao frio é feita por laboratórios especializados, os quais utilizam manequins térmicos para a obtenção do isolamento requerido (figura 3). Charles (2003) afirma que o método que institui as propriedades isolantes da roupa é um processo demorado e detalhado, geralmente realizado em experimentos de laboratório destinados a esta finalidade. Como não é prático medir diretamente o isolamento das roupas na maioria dos estudos de conforto térmico, os pesquisadores geralmente utilizam uma estimativa de valores, fazendo uso de tabelas desenvolvidas a partir de estudos de isolamento térmico de vestimentas disponíveis em normas como a ISO 9920.



Figura 3 - Manequim térmico usado para determinar o isolamento de roupas
Fonte: Teixeira et al. (2011 p. 03).

A importância deste documento pode ser atribuída a sua abordagem padronizada para pesquisadores do mundo todo para avaliar como um ser humano é afetado pelas roupas usadas em um dado ambiente. São descritas equações envolvendo interações do meio físico com o conjunto de roupas (VANOS et al, 2010).

Segundo Grandi (2006) introduziu-se então o índice I_{cl} , que é uma unidade de medida criada para facilitar a visualização do nível de vestimenta. Os valores referentes ao índice de isolamento térmico da vestimenta descritos na ISO 9920 tem sua variável expressa em “clo”.

A ISO 9920 apresenta tabelas em que são descritos conjuntos de roupa, a massa, razão da área do corpo vestido e corpo despido (representada por f_{cl}), Isolamento térmico das roupas (representada por I_{cl} e expressa em clo), e o

Isolamento térmico resutante (I_{clr}). Sendo, portanto, suficientes para a utilização em estudos de avaliação de conforto térmico.

2.5 Métodos de Avaliação Termoambiental

De acordo com Oliveira et al. (2007), os métodos atualmente disponíveis para a avaliação das diferentes formas de resfriamento ainda são poucos, e os índices mais comuns de avaliação de estresse pelo frio, de fato, são o isolamento necessário de roupa, o índice IREQ (HOLMÉR, 1984) e o índice Wind Chill (SIPLE e PASSEL, 1945). O índice de resfriamento pelo vento tem sido amplamente utilizado para prever desconforto térmico ao ar livre, uma vez que foi derivado particularmente nos Estados Unidos e Canadá, países que apresentam condições rigorosas de frio em certas épocas do ano. Em contraste com o Índice IREQ, o qual, durante os primeiros anos, poucos trabalhos experimentais foram reconhecidos, não tendo assim apoio e experiência prática na sua utilização (ISO 11399, 1995). Atualmente, a norma regulamentadora ISO 11079 utiliza o IREQ proposto por Holmér (1984) como método padrão de avaliação termoambiental. Com relação as atuais normativas brasileiras que fazem frente à exposição ao frio, pouco pode ser encontrado, a avaliação das condições dos trabalhadores que laboram em temperaturas baixas fica por conta de instruções de trabalho e recomendações gerais de utilização de EPI e de exposição.

2.5.1 Índice WCI (Wind Chill Index)

Partindo da sensação térmica, a qual é profundamente influenciada pela velocidade do vento, Siple e Passel (1945) desenvolveram um método para avaliar tal condição. Desse estudo extrai-se a Tabela 4, a qual também faz parte da norma ISO 11079, que considera os índices do WCI quando há a presença considerável de vento no local.

O desconforto devido ao frio somente passa a ser importante quando a temperatura da pele, principalmente na frente cai abaixo de 17°C, expressando uma relação de insatisfação através da percepção facial. Assim, a temperatura naquele local depende da temperatura de bulbo seco e da velocidade do ar, haja vista a ocorrência de perda de calor por convecção (COUTINHO, 1998).

Tabela 3 - Poder de resfriamento do vento sobre a pele exposta

		Leitura da Temperatura Real (°C)											
Velocidade Estimada do Vento (km/h)		10	4	-1	-7	-12	-18	-23	-29	-34	-40	-46	-51
		Temperatura Equivalente de Resfriamento (°C)											
Em calma		10	4	-1	-7	-12	-18	-23	-29	-34	-40	-46	-51
8		9	3	-3	-9	-14	-21	-26	-32	-38	-44	-49	-56
16		4	-2	-9	-16	-23	-31	-36	-43	-50	-57	-64	-71
24		2	-6	-13	-21	-28	-36	-43	-50	-58	-65	-73	-80
32		0	-8	-16	-23	-32	-39	-47	-55	-63	-71	-79	-85
40		-1	-9	-18	-26	-34	-42	-51	-59	-67	-76	-83	-92
48		-2	-11	-19	-28	-36	-44	-53	-61	-70	-78	-87	-96
56		-3	-12	-20	-29	-37	-46	-55	-63	-72	-81	-89	-98
64		-3	-12	-21	-29	-38	-47	-56	-65	-73	-82	-91	-100
Velocidade do Vento maiores que 64 km/h tem pequeno efeito adicional		POUCO PERIGOSO Em < horas c/ a pele seca. Perigo máximo de falsa sensação de segurança				POUCO CRESCENTE Perigo que o corpo exposto se congele em um minuto				MUITO PERIGOSO O corpo pode congelar em 30 segundos			
		Em qualquer ponto deste ábaco pode ocorrer o pé de trincheira e o pé de imersão											

Fonte: ACGIH, ABHO (1999).

Siple e Passel (1945) propuseram o índice WCI, representando a quantidade de calor perdido por convecção e radiação pelo corpo, cuja pele é considerada nessas condições a 33 °C. Este índice é definido na equação (1):

$$WCI = (h_c + h_k) \cdot (33 - t_a) = (1,16 \cdot (10,45 - v_a + (100 \cdot v_a) \cdot 0,5)) \cdot (33 - t_a) \quad (1)$$

Resultando pela prática a temperatura de resfriamento pela equação (2):

$$T_{ch} = 33 - WCI/25,5 \quad (2)$$

Onde:

v_a : velocidade do ar (m/s);

t_a : temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$);

h_c, h_k : coeficientes de convecção e condução, respectivamente ($\text{W}/\text{m}^2.\text{K}$).

Os resultados obtidos, representam as sensações térmicas conforme a tabela 4.

Tabela 4 - Sensação térmica em função do WCI

WCI (W/m^2)	SENSAÇÃO TÉRMICA
60	Quente
120	Morno
230	Conforto
460	Fresco
700	Quase frio
930	Frio
1200	Muito frio
1400	Severamente frio
1600	Congelamento de região exposta (em 1 hora)

Fonte: Konz (1990).

De acordo com Coutinho (1998), dado o fato que o índice foi definido por recipientes de água expostos ao frio, a precisão não pode ser absolutamente confiável quando aplicada ao homem. Por isso ele só deve ser aplicado para avaliar a sensação térmica de animais domésticos e o perigo de congelamento nas mãos e nas orelhas das pessoas.

2.5.2 IREQ – Índice de Isolamento Requerido

Desenvolvido por Holmér (1984), e adotado pela ISO como Relatório Técnico (ISO/TR 11079) o IREQ fornece um método para calcular o estresse térmico relacionado com a exposição à ambientes frios. O método determina o isolamento necessário, segundo um conjunto de condições de exposição, para que o indivíduo sob efeito de temperaturas baixas estabeleça um balanço térmico aceitável com relação ao ambiente frio. É aplicado para exposição contínua, intermitente e ocasional, como também, aplica-se tanto para ambientes abertos como internos.

Quanto maior o poder de resfriamento do ambiente, maior é o valor do IREQ para uma determinada atividade. O estresse térmico, ou o IREQ, para um conjunto de condições ambientais é diminuído com o aumento da atividade metabólica, devido à demanda extra de dissipação do calor orgânico.

O índice IREQ pode ser aplicado como:

- Uma medida de stress por frio, que leva em conta a temperatura do ar, temperatura média radiante, umidade, velocidade do ar e taxa metabólica;
- Um método de análise dos efeitos de parâmetros específicos e avaliação das medidas de correção;
- Um método de especificação do isolamento necessário das roupas, bem como a seleção das roupas a serem utilizadas sob determinadas condições ambientais (GALLOIS, 2002, p. 45).

O principal propósito do método de avaliação termoambiental baseado no IREQ, é analisar se o EPI, que é formado por peças de roupas, fornece o isolamento necessário para estabilizar o balanço de calor, comparando o resultado de isolamento calculado, com o isolamento provido pelos EPI's aos trabalhadores. A avaliação é feita para o resfriamento geral do corpo, não levando em consideração o resfriamento específico local, encontrado nas extremidades, como por exemplo nos dedos das mãos, onde é reconhecida a condição mais crítica. Para esses casos, é indicado uma atenção especial de proteção para cada atividade.

A base de cálculo do método está estruturada na equação de equilíbrio térmico, equação (4), onde são definidas as transferências de calor considerando um isolamento uniforme do corpo (resfriamento geral) como exposto na figura (4).

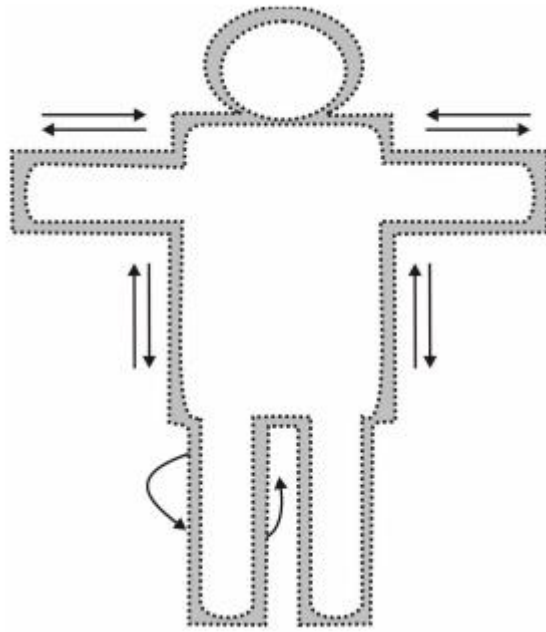


Figura 4 – Modelo do “micro-ambiente”
Fonte: Adaptado de Almeida e Veiga (2010).

O método de avaliação termoambiental através do IREQ, é baseado em estudos realizados anteriormente, de acordo com as seguintes normas internacionais:

- ISO 7726: instrumentos e métodos de medição de parâmetros ambientais;
- ISO 7730: determinação do PMV e PPD em ambientes moderados;
- ISO 8996: determinação da produção do calor metabólico;
- ISO 9920: estudo sobre isolamento das roupas.

2.5.2.1 Interpretação do IREQ

O resultado do cálculo do IREQ apresenta dois valores, $IREQ_{min}$ e $IREQ_{neutro}$, tais variáveis avaliam a disfunção fisiológica e determinam uma faixa de valores de isolamentos permissíveis que o EPI deve fornecer, em termos da temperatura e umidade média da pele e a mudança no conteúdo de calor do corpo:

- $IREQ_{min}$: caracteriza-se pela vasoconstrição periférica e a ausência de regulação pelo suor. O balanço térmico é mantido com o corpo “levemente resfriado” com relação às condições normais. Se a exposição começa das condições neutras, há um período de resfriamento inicial e então, o

equilíbrio é restabelecido, com um débito de calor armazenado de 40 Wh/m². Neste novo nível o balanço térmico é mantido com uma temperatura da pele de 30°C, sem presença de suor. As trocas por evaporação nesse estado são feitas apenas por difusão. Este estado do corpo coincide com uma sensação subjetiva de “levemente frio”, e é tolerado para exposições longas. O IREQ_{min} pode então ser considerado como o mais alto resfriamento aceitável do corpo para exposições prolongadas, ou como o isolamento mínimo necessário para manter o equilíbrio térmico nessas condições.

- IREQ_{neutro}: representa o isolamento térmico suficiente de um corpo para manter a sua neutralidade térmica, sendo que o equilíbrio térmico está conservado em condições de temperatura normais.

Por ser um índice de isolamento de roupas requerido para enfrentar as situações reais existentes, ele serve como um guia de escolha de roupas, por comparação com seus valores medidos de isolamento térmico. O intervalo entre o IREQ_{min} e IREQ_{neutro}, representa um intervalo de resfriamento do corpo possível sem haver estresse térmico, correspondendo a uma zona reguladora de vestimentas, onde as mesmas podem ser então definidas. Roupas com isolamento inferiores ao IREQ_{min}, podem acarretar o risco de resfriamento do corpo, resultando em alterações fisiológicas no organismo, enquanto que aquelas com valores maiores que o IREQ_{neutro}, poderão levar a um superaquecimento. (GALLOIS, 2002, p.50)

Resumindo o acima citado, temos que:

- I. $I_{cl,r} < IREQ_{min}$: a roupa selecionada não fornece o isolamento térmico mínimo necessário. Há sério risco de hipotermia com a exposição contínua.
- II. $IREQ_{min} < I_{cl,r} < IREQ_{neutro}$: a vestimenta selecionada fornece suficiente isolamento térmico. As condições térmicas das pessoas são percebidas como “levemente frio” ou neutro.
- III. $I_{cl,r} > IREQ_{neutro}$: a vestimenta selecionada fornece mais isolamento térmico que o necessário. Há risco de superaquecimento.

Quando o isolamento necessário é menor que o valor do IREQ_{neutro}, uma análise do tempo de exposição é realizada para evitar o resfriamento progressivo do corpo. Além do cálculo do isolamento, o método fornece o cálculo do tempo de exposição ao frio, ou, o tempo de trabalho relacionado com a atividade desempenhada

(DLE). O tempo de exposição é avaliado considerando uma perda de calor do corpo que não resulta em alteração fisiológica. De modo complementar ao cálculo de exposição, pode-se determinar o tempo necessário para recuperação em ambiente externo, em condições normais de temperatura.

2.5.2.2 Aplicação Prática de Ambientes Utilizando o IREQ

A avaliação termoambiental, de um modo geral, deve ser realizada seguindo um roteiro de atividades para cada ambiente avaliado. As atividades necessárias são descritas com os itens citados a seguir:

- Medição dos parâmetros ambientais: temperatura ambiente, temperatura radiante, umidade relativa e velocidade do ar;
- Determinação da taxa de calor metabólico;
- Cálculo do isolamento térmico requerido, IREQ.
- Determinação do isolamento básico das vestimentas, I_{cl} ;
- Avaliação das condições de balanço térmico, tendo em vista a comparação do IREQ calculado e do isolamento das vestimentas resultante, I_{clr} ;
- Determinação do tempo de exposição máximo, DLE, e do tempo de recuperação mínimo, TR.

A figura (5) esquematiza os procedimentos de determinação:

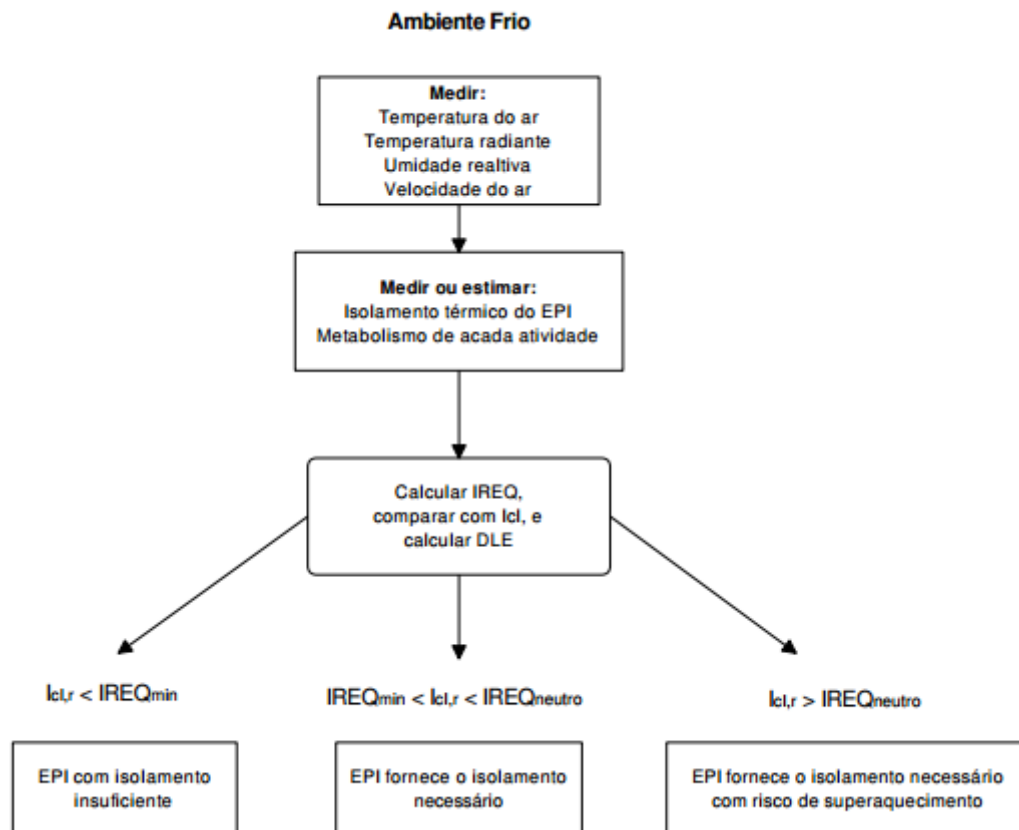


Figura 5 – Procedimento de avaliação de ambientes frios
 Fonte: Adaptado da ISO 11079 (2007).

2.6 Regulamentação no Brasil

A legislação brasileira referente à exposição ao frio, não institui nenhum método de avaliação termoambiental, sendo resumida a instruções e considerações superficiais sobre as diretrizes que devem ser tomadas durante o trabalho nessas condições. As considerações não são encontradas em uma única norma, estando difundidas em outras normas regulamentadoras instituídas pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), órgão responsável pelo estabelecimento das normas de proteção, segurança e saúde do trabalhador.

Nas considerações presentes nas normativas brasileiras, cita-se o exposto no anexo 9 da Norma Regulamentadora 15, instituída pela Portaria MTB 3.214/78:

As atividades ou operações executadas no interior de câmaras frigoríficas, ou em locais que apresentem condições similares, que exponham os trabalhadores ao frio, sem a proteção adequada, serão consideradas

insalubres em decorrência de laudo de inspeção realizada no local de trabalho.

Para caracterizar a presença de frio, cita-se o parágrafo único do artigo 253 da CLT (Consolidação das Leis do Trabalho - Lei 6.514 de 22 de Dezembro de 1977) "considera-se artificialmente frio, para fins do presente artigo, o que for inferior, na primeira, segunda e terceira zonas climáticas do mapa oficial do MTE, a 15°C, na quarta zona a 12 °C e sexta e sétima zonas a 10 °C." O mapa citado, refere-se ao mapa de climas do Brasil, onde o MTE adota o mapa de climas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O Paraná, especificamente a região Sudoeste, enquadra-se no clima mesotérmico, caracterizando frio abaixo da temperatura de 10°C.

Com respeito ao tempo de exposição ao frio, o artigo 253 da CLT, cita:

Para os empregados que trabalham no interior das câmaras frigoríficas e para os que movimentam mercadorias do ambiente quente ou normal para o frio e vice-versa, depois de uma hora e quarenta minutos de trabalho contínuo, será assegurado um período de vinte minutos de repouso, computado esse intervalo como de trabalho efetivo.

Complementando o artigo 253, a NR-29 apresenta em seu item 3.16.2 as jornadas de trabalho para determinadas faixas de temperatura, admitindo a alternância entre trabalho e repouso/recuperação fora do ambiente frio. As jornadas de trabalho são apresentadas na tabela 5.

Além do citado, a NR 36 instituída em 2013, conhecida por NR dos Frigoríficos, faz recomendações gerais sobre condições de trabalho nesse tipo de indústria, buscando a prevenção e a redução de acidentes de trabalho e doenças ocupacionais, com adequação e organização de postos de trabalho, adoção de pausas, gerenciamento de riscos, disponibilização de EPI's adequados e rodízios de atividades, porém, limita-se a instruções e considerações que não apresentam especificidade quantitativa em relação à exposição ao frio.

Tabela 5 - Regime de trabalho diário em baixas temperaturas

Faixa de Temperatura de Bulbo Seco (°C)	Máxima Exposição Diária Permissível para Pessoas Adequadamente Vestidas para Exposição ao Frio
15,0°C a -17,9°C (*) 12,0°C a -17,9°C (**) 10,0°C a -17,9°C (***)	Tempo total de trabalho no ambiente frio de 6 horas e 40 minutos , sendo quatro períodos de 1 hora e 40 minutos alternados com 20 minutos de repouso e recuperação térmica fora do ambiente de trabalho
-18,0°C a -33,9°C	Tempo total de trabalho no ambiente frio de 4 horas , alternando-se 1 hora de trabalho com 1 hora para recuperação térmica fora do ambiente frio.
-34,0°C a -56,9°C	Tempo total de trabalho no ambiente frio de 1 hora sendo 2 períodos de 30 minutos com separação mínima de 4 horas para recuperação térmica fora do ambiente frio.
-57,0°C a -73,0°C	Tempo total de trabalho no ambiente frio de 5 minutos , sendo o restante da jornada cumprido obrigatoriamente fora do ambiente frio.
Abaixo de -73,0°C	Não é permitida a exposição ao ambiente frio, seja qual for a vestimenta utilizada.

* faixa de temperatura válida para trabalhos em zona climática quente, de acordo com o IBGE.

** faixa de temperatura válida para trabalhos em zona climática sub-quente, de acordo com o IBGE.

*** faixa de temperatura válida para trabalhos em zona climática mesotérmica, de acordo com o IBGE.

Fonte: Adaptado da Norma Regulamentadora 29 (MTE, 2006)

Com relação aos equipamentos de proteção, as NR's 06 e 15 fornecem diretrizes básicas de utilização e recomendação de vestimentas para a proteção contra temperaturas baixas. Para a proteção contra o frio, a NR 6 indica os seguintes EPI's:

- Capuz para proteção do crânio e pescoço;
- Vestimentas para proteção do tronco;
- Luvas para proteção das mãos;
- Meia, e sapato para proteção dos pés;
- Calça e perneira para proteger os membros inferiores;
- Macacão para proteção do corpo inteiro.

Até o ano de 2009, os EPI's comercializados no Brasil, não apresentavam uma especificação de isolamento confiável, uma vez que não eram empregadas análises técnicas para a liberação do CA (Certificado de Aprovação). Entretanto, houve uma melhora significativa nas especificações dos EPI's térmicos nos últimos anos. Instituiu-se em 30 de setembro de 2009, segundo a portaria SIT nº121, que a fabricação de vestimentas para proteção ao frio deve seguir as normas EN 342:2004

e EN 14058:2004, que fornecem informações sobre materiais a serem utilizados, isolamento mínimo, ergonomia, ensaios e requisitos obrigatórios para cada tipo de EPI térmico de proteção ao agente estressante.

- a) os EPI's devem ser concebidos e fabricados de forma a propiciar dentro das condições normais das atividades o nível mais alto possível de proteção;
- b) a concepção dos EPI's deve levar em consideração o conforto e a facilidade de uso por diferentes grupos de trabalhadores, em diferentes tipos de atividades e de condições ambientais;
- c) os EPI's devem ser concebidos de maneira a propiciar o menor nível de desconforto possível;
- d) o EPI deve ser concebido de forma a não acarretar riscos adicionais ao usuário e não reduzir ou eliminar sentidos importantes para reconhecer e avaliar os riscos das atividades;
- e) todas as partes do EPI em contato com o usuário devem ser desprovidas de asperezas, saliências ou outras características capazes de provocar irritação ou ferimentos;
- f) os EPI's devem adaptar-se à variabilidade de morfologias do usuário quanto a dimensões e regulagens, ser de fácil colocação e permitir uma completa liberdade de movimentos, sem comprometimento de gestos, posturas ou destreza;
- g) os EPI's devem ser tão leves quanto possível, sem prejuízo de sua eficiência, e resistentes às condições ambientais previsíveis;
- h) EPI's que se destinam a proteger simultaneamente contra vários riscos devem ser concebidos e fabricados de modo a satisfazerem as exigências específicas de cada um desses riscos e de possíveis sinergias entre eles;
- i) os materiais utilizados na fabricação não devem apresentar efeitos nocivos à saúde. (MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO, 2009, p. 2)

Ademais, não encontram-se considerações relevantes sobre a exposição ao frio além das supracitadas.

3 METODOLOGIA

3.1 Análise do Método de Avaliação Termoambiental IREQ

O estudo da metodologia do IREQ, foi realizado através de uma pesquisa bibliográfica a partir de artigos e dissertações publicadas, que utilizavam o método em avaliações termoambientais de ambientes frios, visando a quantificação da real exposição ao frio encontrada. Os trabalhos de Gallois (2002), Oliveira et al. (2007), Griefahn (1999), Moura (2012) e Wiczick (2008) serviram como base para o entendimento dos conceitos introduzidos pela norma ISO 11079:2007.

O cálculo do IREQ desenvolvido por Holmér (1984) mostrou-se extenso, e passível de solução apenas através de iterações numéricas, sendo necessário a utilização de software capaz de computar os resultados. Para efeitos de cálculo, o equacionamento foi realizado através de planilhas de cálculo do software Excel, obtendo de maneira prática os resultados de avaliação dos ambientes analisados.

3.2 Metodologia de Cálculo do IREQ

A determinação do IREQ é dada através da resolução da equação do balanço térmico, equação (3). Onde tem-se, do lado esquerdo da igualdade, a produção interna de calor do corpo humano, e ao lado direito, a soma das trocas de calor do trato respiratório, das trocas de calor da pele e do acúmulo de calor do corpo.

$$M - W = E_{RES} + C_{RES} + E + K + R + C + S \quad (3)$$

Onde:

M: calor metabólico gerado pelo organismo (W/m^2);

W: trabalho muscular realizado, ou eficiência mecânica, (W/m^2);

E_{res} : transferência de calor por evaporação da respiração (W/m^2);

C_{res} : transferência de calor por convecção da respiração (W/m^2);

E: transferência de calor por evaporação do suor (W/m^2).

- R: transferência de calor por radiação (W/m²);
 K: transferência de calor por condução (W/m²);
 C: transferência de calor por convecção (W/m²);
 S: armazenamento de calor do corpo (W/m²).

A transferência de calor por condução, K, é relacionada com a área superficial do corpo em contato direto com superfícies externas. Seu valor é geralmente muito menor que as transferências de calor por convecção e radiação, podendo ser desprezado.

As transferências de calor através da roupa acontecem por condução, convecção e radiação, e pela transferência do suor evaporado. O efeito da roupa na transferência de calor latente é representado por E. Já o efeito da roupa nas trocas secas de calor é determinado pelo isolamento térmico do conjunto de roupas e o gradiente de temperatura superficial da pele para a roupa. O fluxo de calor seco até a superfície da roupa é equivalente à transferência de calor entre a roupa e o ambiente. A transferência de calor através das vestimentas, pode ser expressa então, pelo isolamento resultante da roupa, $I_{cl,r}$.

Desse modo, a equação (3) anterior, pode ser reescrita para:

$$M - W - E_{res} - C_{res} - E = \frac{t_{pele} - t_{cl}}{I_{cl,r}} = R + C \quad (4)$$

Onde:

t_{pele} : temperatura média da pele (°C);

t_{cl} : temperatura média da superfície das vestimentas (°C);

$I_{cl,r}$: isolamento resultante das roupas (m².K/W).

Considerando a condição de equilíbrio e utilizando a hipótese formulada sobre o fluxo de calor por condução, o IREQ pode ser definido como:

$$IREQ = \frac{t_{pele} - t_{cl}}{R + C} \quad (5)$$

Essa equação apresenta 2 incógnitas, IREQ e t_{cl} . Desse modo, a equação (5) é calculada para t_{cl} , resultando em:

$$t_{cl} = t_{pele} - IREQ \cdot (M - W - E_{res} - C_{res} - E) \quad (6)$$

Tal equação, substitui a incógnita t_{cl} nas fórmulas dos cálculos das variáveis da equação (4), sendo determinado então o IREQ através de iterações computacionais entre essas fórmulas. A determinação de cada variável é feita a seguir.

— E_{res} e C_{res} : transferência de calor por evaporação e convecção da respiração

As perdas de calor respiratórias estão relacionadas diretamente com o metabolismo, M , e podem ser determinadas pelas fórmulas:

$$E_{res} = 0,0173 \cdot M \cdot (p_{ex} - p_a) \quad (7)$$

$$C_{res} = 0,014 \cdot M \cdot (t_{ex} - t_a) \quad (8)$$

Onde:

p_{ex} : pressão parcial de vapor de água na temperatura de expiração (kPa);

p_a : pressão parcial de vapor de água (kPa);

t_a : temperatura ambiente (°C);

t_{ex} : temperatura do ar expirado (°C).

Os valores de p_{ex} e p_a são obtidos através da análise da carta psicrométrica (APÊNDICE B), relacionando a temperatura e a umidade do ambiente. É assumido que o ar expirado encontra-se no estado saturado, e sua temperatura, t_{ex} , é estimada pelo cálculo:

$$t_{ex} = 29 + 0,2 \cdot t_a \quad (9)$$

— R: transferência de calor por radiação

As trocas de calor realizadas por radiação entre a superfície externa das roupas (incluindo a pele exposta) e o ambiente, são estimadas pela fórmula:

$$R = f_{cl} \cdot h_r \cdot (t_{cl} - t_r) \quad (10)$$

Onde:

f_{cl} : fator de área da roupa (adimensional);

h_r : coeficiente de transferência de calor por radiação (W/m².K);

t_{cl} : temperatura superficial da roupa (°C);

t_r : temperatura média radiante (°C).

f_{cl} , é definido por:

$$f_{cl} = 1 + 1,97 \cdot I_{cl} \quad (11)$$

Onde:

I_{cl} : Isolamento básico da roupa (m².K/W).

O $I_{cl,r}$ caracteriza-se por ser um valor mais restritivo, englobando as perdas de isolamento em função de movimentos gerados pelo indivíduo. O isolamento básico, I_{cl} , corresponde ao valor corrigido do $I_{cl,r}$, e seu valor é obtido através da equação (23). Ele fornece uma avaliação complementar ao $I_{cl,r}$, considerando que não há perdas de isolamento durante movimentos do corpo. O I_{cl} é o valor que pode ser comparado com as tabelas de isolamento térmico da norma ISO 9920 e com os dados retirados de manequins térmicos, onde a avaliação é feita de modo estático.

Já o coeficiente de transferência de calor por radiação, é obtido pela fórmula:

$$h_r = \sigma \cdot \epsilon_{cl} \cdot \frac{(t_{cl} + 274)^4 - (t_r + 273)^4}{t_{cl} - t_r} \quad (12)$$

Onde:

σ : constante de Stefan-Boltzmann, com valor de $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$;

ε : emissividade do material da roupa, com valor padrão de 0,97.

— C: transferência de calor por convecção

A transferência de calor por convecção da superfície da roupa e da pele exposta, para o ambiente, é avaliada por:

$$C = f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \quad (13)$$

Onde:

h_c : coeficiente de transferência de calor por convecção ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$).

A obtenção de h_c é definida pelo cálculo:

$$h_c = \frac{f_{cl}}{I_{a,r}} - h_r \quad (14)$$

Onde:

$I_{a,r}$: isolamento térmico resultante da camada limite ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$).

O isolamento da camada limite, $I_{a,r}$, é definido em função da movimentação do ar que rodeia o indivíduo, sendo obtido por:

$$I_{a,r} = 0,092 \cdot e^{(0,15 \cdot v_a - 0,22 \cdot v_w)} - 0,0045 \quad (15)$$

Onde:

v_a : velocidade do ar (m/s);

v_w : velocidade de deslocamento (m/s).

— E: transferência de calor por evaporação do suor

A determinação da transferência de calor pela evaporação do suor da pele, é feita através da equação:

$$E = 0,06 \cdot (p_{pele} - p_a) / R_E \quad (16)$$

Onde:

p_{pele} : pressão parcial de vapor d'água saturado à temperatura da pele (°C);

R_E : resistência evaporativa ($m^2 \cdot kPa / W$).

O valor de p_{pele} pode ser estimado através da fórmula:

$$p_{pele} = 610,78 \cdot e^{\frac{(17,27 \cdot t_{pele})}{(t_{pele} + 23,3)}} \quad (17)$$

Sendo a temperatura da pele, por sua vez, determinada de maneira diferente para os dois níveis de isolamento, equação (19) para o $IREQ_{min}$, e a equação (20) para o $IREQ_{neutro}$:

$$t_{pele} = 33,34 - 0,0354 \cdot M \quad (18)$$

$$t_{pele} = 35,7 - 0,0285 \cdot M \quad (19)$$

O valor de R_E é calculado com base no isolamento e permeabilidade da roupa, com relação ao vapor de água. Obtido pela fórmula:

$$R_E = w \cdot \left(\frac{I_{a,r}}{f_{cl}} + I_{cl,r} \right) \quad (20)$$

Onde:

w: fator de encharcamento de pele (adimensional).

O fator de encharcamento, w, está relacionado com a fração de pele recoberta por suor que participa na troca de calor evaporativa. Seu valor varia para o nível de estresse, assumindo o valor de 0,06 no caso do $IREQ_{neutro}$, e para o caso do $IREQ_{min}$ é determinado por:

$$w = 0,001 \cdot M \quad (21)$$

— I_{cl} : isolamento básico das roupas

Após definido o $I_{cl,r}$, ou no caso, o IREQ, pode-se então determinar o I_{cl} :

$$I_{cl} = \frac{I_{cl,r} + (0,092 \cdot e^{(0,15) \cdot v_a - 0,22 \cdot v_w}) - 0,0045}{(0,54 \cdot e^{(0,075 \cdot \ln(p) - 0,15 \cdot v_a - 0,22 \cdot v_w)}) - 0,06 \cdot \ln(p) + 0,5} \cdot \frac{0,085}{f_{cl}} \quad (22)$$

Onde:

p : permeabilidade da roupa ao ar ($l/m^2 \cdot s$).

3.2.1 Cálculo do Tempo Máximo de Exposição e do Tempo de Recuperação

Quando as roupas de proteção utilizadas não provêm o isolamento mínimo ($IREQ_{min}$), é de fundamental importância definir o tempo de exposição para evitar a perda excessiva de calor para o meio. Uma certa redução no calor armazenado no organismo, Q_{lim} , é aceitável durante à exposição de poucas horas, e esse valor pode ser utilizado para a determinação do limite de exposição. O tempo máximo é definido por:

$$DLE = \frac{Q_{lim}}{S} \quad (23)$$

Onde:

Q_{lim} = valor máximo de perda de calor admitida (40 Wh/m^2).

$$S = M - W - C_{res} - E_{res} - E - R - C \quad (24)$$

$$t_{cl} = t_{pele} - I_{cl,r} \cdot (M - W - C_{res} - E_{res} - E - R - C) \quad (25)$$

Os parâmetros são os mesmos utilizados na determinação do IREQ, seguindo os mesmos passos para o cálculo das variáveis. A diferença entre a equação

(26) e a equação (7) está no fato de que a última é realizada na hipótese de estado de equilíbrio térmico para obter o IREQ, e a equação (26) utiliza as atuais condições quando o isolamento das roupas é conhecido.

Tendo sido exposto ao resfriamento durante o tempo limite, deve-se proporcionar ao indivíduo um período de recuperação (RT), onde o mesmo possa reestabelecer o equilíbrio térmico do corpo. Tal período é calculado da mesma maneira, utilizando as fórmulas (25) e (26) porém com a substituição das condições frias por condições ambientes (fora do ambiente frio), medidas no local de recuperação. Assim, o período de recuperação mínimo pode ser determinado por:

$$RT = \frac{Q_{lim}}{S'} \quad (26)$$

Onde:

S': taxa de calor armazenada (positiva), durante as condições de recuperação.

3.3 Aplicação do Método do IREQ

O trabalho buscou a interpretação da situação dos EPI's direcionando a avaliação conforme a atividade desempenhada pelos trabalhadores, e não avaliando cada indivíduo, uma vez que as roupas utilizadas e os ambientes frequentados são os mesmos para cada atividade, não justificando dessa forma uma análise específica.

3.3.1 Empresa e Ambiente de Trabalho

Visando a aplicação do método proposto pela ISO 11079:2007, o trabalho em questão foi realizado a partir de trabalhos previamente realizados pelo Professor Orientador Sergio L. R. Pessa em um frigorífico presente na região Sudoeste do Paraná, especificamente na cidade de Pato Branco. A empresa em questão, previamente avaliada segundo a legislação brasileira, não apresentava

enquadramento como ambiente insalubre. Conforme acordado, a empresa onde foi realizado o trabalho não será identificada.

Foram considerados como parte da amostragem para a realização do trabalho, os trabalhadores que laboram em temperaturas inferiores a 10°C, temperatura abaixo da qual tem-se indícios claros de alteração fisiológica do corpo humano. Dentro dessa faixa de temperatura, analisou-se dois ambientes em particular, os quais apresentavam condições distintas de operação, sendo, o Túnel de Congelamento, que apresenta temperaturas negativas, e o setor de Carregamento e Expedição onde as temperaturas são positivas, variando em valores abaixo de 9°C.

3.3.2 Parâmetros Físicos

A avaliação da temperatura ambiente, t_a , foi realizada através dos próprios termômetros instalados na empresa, os quais estão posicionados nas paredes dos ambientes, e informam aos controladores do sistema de refrigeração a situação em tempo real do ambiente. A figura 6 mostra um dos termômetros do túnel de congelamento.

Considerou-se para a realização dos cálculos um valor de temperatura média radiante igual ao da temperatura ambiente, uma vez que, baseando-se no exposto por Wiczick (2008), constatou-se que, para essas condições, as mesmas são geralmente próximas, apresentando uma variação de décimos de grau, e podem ser igualadas sem resultar em impacto no resultado do cálculo do IREQ.



Figura 6 - Termômetro do túnel de congelamento
Fonte: O autor (2015)

A obtenção da umidade relativa dos ambientes foi realizada com o auxílio do Termo-Higrômetro digital marca Incoterm, modelo THDL-400, com leituras entre 25% e 95% UR, apresentando uma resolução de 0,1% e uma precisão de $\pm 5\%$ UR. A figura 7 apresenta o instrumento utilizado.



Figura 7 - Termo-Higrômetro INSTRUTHERM THDL-400
Fonte: Manual de instruções INSTRUTHERM (2009).

Nos ambientes analisados, a velocidade do ar (v_a) durante a estadia dos trabalhadores não foi caracterizada como fator de influência no poder resfriamento do

ambiente, uma vez que a mesma apresentava valores baixos, não sendo relevante no cálculo do IREQ, onde para esses casos instrui-se a utilização de uma velocidade mínima padrão de 0,4 m/s.

Relacionada diretamente com a velocidade do ar, a velocidade de deslocamento do trabalhador, v_w , representa a velocidade média com que o indivíduo movimenta-se durante as atividades de trabalho e, segundo a norma ISO 7730, quando o mesmo não apresenta grandes deslocamentos ou o trabalho é estacionário, a velocidade de deslocamento pode ser calculada com base no metabolismo decorrente da atividade realizada, segundo a fórmula (27):

$$V_w = 0,0052(M - 58) \quad (27)$$

Onde:

M: metabolismo (W/m^2).

Apenas no caso dos condutores de empilhadeira é que o cálculo não foi empregado, uma vez que seu metabolismo é muito baixo devido à pouca movimentação em sua função, não correspondendo assim ao valor real de velocidade de deslocamento, a qual, corresponde a velocidade média da empilhadeira.

3.3.3 Parâmetros Individuais

O nível de metabolismo, M, foi estimado de acordo com a ISO 8996. O procedimento padrão consiste na adição das taxas metabólicas correspondente para a postura, o tipo de trabalho, o movimento do corpo relacionados com a velocidade de trabalho e o metabolismo basal. A taxa metabólica pode ser também estimada tomando como base algumas atividades padrões já calculadas presentes nas tabelas. Os valores das taxas metabólicas relacionadas com cada atividade são obtidos através das tabelas presentes na norma ISO 8996, as quais encontram-se no anexo A.

Para a determinação do isolamento térmico fornecido pelos EPI's dos trabalhadores, foi seguido o método usual proposto na norma ISO 9920, onde o isolamento total é conseguido através da soma do isolamento fornecido por cada peça de roupa vestida. Procurou-se interpolar os valores específicos, para somados, indicarem o I_{clr} , também, buscou-se em outras literaturas os valores de isolamento comumente utilizados. A tabela 6 demonstra alguns valores tipicamente aplicados à EPI's térmicos.

Tabela 6 - Valores de isolamento de EPI's térmicos

Proteção / Isolamento (clo)							
Vestimenta	Clo	Vestimenta	Clo	Vestimenta	Clo	Vestimenta	Clo
Calça térmica	0,35	Blusa moletom	0,34	Luva borracha	0,08	Meia algodão	0,02
Calça de brim	0,25	Cueca	0,03	Luva térmica (nylon)	0,08	Meião algodão	0,06
Japona térmica	0,9	Avental napa	0,12	Sapatão	0,05	Touca ninja	0,1
Camiseta	0,09	Luva algodão	0,05	Bota térmica	0,15	Boné	0,01
Guarda pó	0,15	Luva de lã	0,05	Meia de lã	0,05	Luva de couro	0,08

Fonte: Adaptado de Gallois (2001).

Analisando o estudo efetuado por Oliveira et al. (2007), considerou-se uma redução do isolamento devido aos movimentos do corpo durante as atividades, adotando uma diminuição de 20 e 10% no valor do I_{clr} calculado, para as atividades em que M é maior ou menor do que 100 W/m², respectivamente.

4 RESULTADOS

4.1 Determinação do Metabolismo

A determinação da taxa metabólica gerada por cada trabalhador foi realizada a partir das atividades desempenhadas durante o período de trabalho. A seguir caracteriza-se as atividades realizadas e sua respectiva taxa metabólica atribuída interpolando-se os valores encontrados na norma ISO 8996:

- Movimentador de Cargas: tem por função trabalhar dentro dos túneis de congelamento e setor de expedição realizando a movimentação de produtos para devida alocação. Devido ao grande esforço empregado no transporte manual de produtos, atribui-se uma taxa metabólica de 220 W/m².

- Operador de Empilhadeira: atribui-se a função de operar a empilhadeira elétrica, movimentando os pallets no interior das câmaras frigoríficas. Faz o empilhamento dos pallets colocando e retirando os pallets dos boxes do túnel de congelamento conforme a programação recebida. Trabalha sentado e seus movimentos são reduzidos, restringindo-se a movimentos dos membros superiores, caracterizando baixo nível metabólico, estimado em 70 W/m².

- Auxiliar de Limpeza: tem por atividade realizar a limpeza do setor de expedição. Trabalho caracterizado por apresentar taxa metabólica significativa, avaliada em 115 W/m².

- Conferente e Encarregado da Expedição: efetuam trabalho de fiscalização e gerenciamento do setor e de produtos, desenvolvem atividades em pé com pouca movimentação, realizando principalmente esforços mentais. Devido à baixa exigência do trabalho, apresentam atividade metabólica baixa, estimada em 90 W/m².

4.2 Determinação do Isolamento Resultante dos EPI's (I_{clr})

A avaliação do isolamento das roupas utilizadas pelos trabalhadores levou em consideração dois conjuntos padrões, as vestimentas utilizadas nos túneis de congelamento e as usadas no setor de expedição. As figuras 8 e 9 apresentam os EPI's utilizados nos respectivos ambientes.



Figura 8 - Equipamento de Proteção Individual utilizado no túnel de congelamento
Fonte: O autor (2015).



Figura 9 - Equipamento de Proteção Individual utilizado na expedição
Fonte: O autor (2015)

A determinação dos índices de isolamento baseou-se nos valores pré-definidos encontrados nas tabelas da norma ISO 9920 (ANEXO A) e em trabalhos realizados por outros autores nesse campo de estudo. A tabela 7 apresenta os valores discriminados para cada vestimenta utilizada e o isolamento resultante de cada conjunto.

Tabela 7 - I_{cl} e I_{clr} das vestimentas utilizadas nos ambientes de trabalho

Vestimenta _(túnel)	I _{cl} (clo)	Vestimenta _(expedição)	I _{cl} (clo)
Calça Térmica	0,35	Uniforme Calça	0,25
Cueca	0,03	Cueca	0,03
Uniforme (calça)	0,25	Uniforme (camisa)	0,15
Uniforme (manga longa)	0,25	Meia de Algodão	0,02
Meião de Algodão	0,06	Sapatão	0,05
Bota Térmica	0,15	Touca	0,1
Touca	0,1	Jaqueta de Brim	0,35
Japona Térmica	0,9	Luva (nylon)	0,08
Luva (nylon)	0,08	Avental napa	0,12
Capacete	0,015	Capacete	0,015
I_{clr}	2,18	I_{clr}	1,16

Os valores de I_{clr} obtidos do equacionamento adicional das vestimentas devem ainda serem corrigidos para, segundo Oliveira et al (2007), levar em consideração os movimentos dos membros durante as atividades. Na tabela 8, os valores corrigidos são apresentados para cada trabalho desenvolvido.

4.3 Cálculo do Índice de Isolamento Requerido e dos Tempos de Exposição

Para a análise da condição de stress gerado pelo frio algumas considerações foram tomadas, uma vez que alguns dados que fazem parte dos *inputs* para o cálculo são de difícil determinação e/ou não alteram de maneira significativa os resultados finais.

A norma ISO 11079 recomenda a utilização de alguns valores padrões para fins de cálculo. A taxa de trabalho mecânico (*W*), que corresponde à potência

mecânica aplicada durante as atividades de trabalho, não apresenta um valor nulo, porém, por ser muito pequena quando comparada à taxa metabólica produzida, é considerada, na grande maioria dos casos, como 0.

A permeabilidade da roupa ao ar (p), caracteriza-se por ser um aspecto de resistência à passagem do ar de cada tipo de tecido. Segundo a norma, a maioria dos tipos de vestuário para uso em condições externas são feitos de tecidos à prova de vento, e um valor padrão de 8 l/m²s pode ser utilizado.

Em ambientes com temperaturas negativas, a quantidade de água no ar é muito pequena, desse modo, consideráveis variações na humidade relativa não implicam em mudanças significativas nos resultados dos cálculos. A norma estabelece um padrão de humidade relativa de 50% para temperaturas inferiores à -5°C.

Os dados de entrada para a realização dos cálculos do IREQ e do DLE são apresentados na tabela 8.

Tabela 8 – Dados de entrada para os cálculos

Ambiente	Atividade	t_a (°C)	M (W/m ²)	v_w (m/s)	UR (%)	I_{clr} (clo)
Túnel de Cong.	Mov. De Cargas	-25,25	220	0,89	50	1,75
	Op. De Empilhadeira	-25,25	70	1,11	50	1,96
Expedição	Mov. De Cargas	7,40	220	0,89	43,1	0,93
	Op. De Empilhadeira	7,40	70	1,11	43,1	1,05
	Aux. de Limpeza	7,40	115	0,29	43,1	0,93
	Conferente e Enc.	7,40	90	0,17	43,1	1,05

A temperatura ambiente do túnel de congelamentos de -25,25°C corresponde ao valor médio das temperaturas alcançadas nesse ambiente, as quais podem ser encontradas em uma faixa grande de variação, -16,5°C a -34°C. Desse modo, é conveniente analisar a situação dos trabalhadores enquanto expostos as temperaturas máximas e mínimas, uma vez que a grande variação encontrada pode afetar significativamente a condição de stress térmico. A tabela 9 apresenta os resultados encontrados a partir dos dados da tabela 8 empregando a metodologia de cálculo exposta no item 4.1.

Tabela 9 - Resultados dos cálculos do IREQ e DLE

Ambiente	Atividade	IREQ	I _{cl}	DLE	IREQ	I _{cl}	DLE
		(clo)	(clo)	(h)	(clo)	(clo)	(h)
		mínimo			neutro		
Túnel de Congelamento	Mov. De Cargas (-16,5°)	1,1	1,2	8	1,4	1,5	8
	Mov. De Cargas (-25,25°C)	1,4	1,6	6	1,7	1,9	3,6
	Mov. De Cargas (-34°C)	1,7	1,9	2,5	2	2,3	0,9
	Op. De Empilhadeira (-16,5°)	4,9	5,8	0,4	5,2	6,2	0,4
	Op. De Empilhadeira (-25,25°C)	5,8	6,9	0,3	6,2	7,3	0,3
	Op. De Empilhadeira (-34°C)	6,8	8,1	0,3	7,2	8,5	0,2
Expedição	Mov. De Cargas	0,2	0,2	8,0	0,5	0,5	8
	Op. De Empilhadeira	2,3	2,6	0,6	2,6	3,1	0,5
	Aux. de Limpeza	1	1,1	3,6	1,4	1,4	1,1
	Conferente e Enc.	1.6	1.9	0.9	2	2.3	0.6

Os valores dos tempos de recuperação podem variar, uma vez que a recuperação dos trabalhadores é realizada em temperatura ambiente, a qual pode variar constantemente. Considerando uma situação padrão de condições normais de temperatura e pressão, com temperatura ambiente de 25°C, umidade relativa de 60%, para uma pessoa sentada utilizando vestimentas normais, o método indica um intervalo de aproximadamente 50 minutos de recuperação, para que seja possível atingir os níveis normais de temperaturas de núcleo e de extremidades. O tempo de recuperação não depende da atividade desempenhada, nem mesmo das temperaturas de exposição, apenas está relacionado com o tempo de exposição, sendo o valor calculado, definido para o trabalhador que foi exposto ao seu tempo limite de exposição ao ambiente. Trabalhadores expostos a tempos menores que o limite, não necessitam do tempo total de recuperação.

4.4 Interpretação dos Resultados

Analisando os valores obtidos na tabela 9, é possível avaliar que os isolamentos de roupas resultantes, $I_{cl,r}$, são inferiores aos limites de isolamento requeridos para certas atividades. Para os trabalhadores que desempenham a atividade de movimentar cargas, devido à sua alta taxa metabólica, o isolamento fornecido condiz com a necessidade do mesmo. Mesmo sendo maior que o necessário quando da temperatura de $-16,5^{\circ}\text{C}$, o isolamento não se enquadra como superaquecimento. Para aqueles que laboram no setor de expedição, uma atenção deve ser voltada, embora seja mínima a diferença de isolamento necessária, a exposição contínua pode resultar em um aumento da temperatura corpórea.

O $I_{cl,r}$ dos auxiliares de limpeza apresenta um valor pouco abaixo do valor mínimo recomendado, essa diferença não constitui maiores problemas, porém o tempo de exposição de 1,1 h deve ser respeitado.

Conferente e Encarregado, devido ao baixo metabolismo relacionado à suas funções, apresentam um isolamento inferior ao recomendado. A diferença de 0,55 clo pode caracterizar uma condição insalubre, caso a exposição ao ambiente seja contínua. Medidas de correção devem ser empregadas para diminuir o efeito do frio. A adição de mais uma vestimenta, pode vir a resolver a situação.

Uma atenção especial deve ser voltada aos operadores de empilhadeiras, os quais apresentam os piores índices de isolamento perante os níveis aceitáveis de exposição. Uma vez que seu metabolismo é reduzido, e está exposto a velocidades de ar maiores, o efeito do resfriamento é aumentado, e mesmo a sua exposição sendo caracterizada por um processo intermitente, o isolamento fornecido não protege contra as grandes variações de temperatura impostas, resultando no enquadramento como atividade insalubre, tanto no túnel de congelamento, quanto no setor de expedição. A simples adição de vestimentas como forma de corrigir o isolamento não é suficiente, pela grande diferença de valores entre os isolamentos resultantes e requeridos (cerca de 5 clo), o volume de roupas resultante para suprir a necessidade, impossibilitaria a movimentação normal do operador, podendo resultar em acidentes. Uma solução a esse problema, é a utilização de empilhadeiras climatizadas, as quais propiciam uma proteção maior ao operador, anulando os efeitos da exposição ao frio intenso.

Os tempos limites de exposição (DLE's) expostos na tabela 9, apresentam o tempo de exposição que os trabalhadores podem ser expostos até que a máxima perda de calor admissível seja atingida, assim, para os trabalhadores com isolamento suficiente, o resultado são grandes tempos de exposição sem que haja resfriamento geral do corpo. Como o IREQ não leva em conta o resfriamento localizado, esse tempo de exposição é limitado, geralmente, nos países que adotam o IREQ como método de padrão de avaliação ambiental, é adotado os limites de exposição ao frio da ACGIH (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists*), para evitar o resfriamento das extremidades.

Analisando a metodologia de cálculo, vê-se a grande influência do metabolismo, M , no resultado final do IREQ. Muitas variáveis são estimadas a partir de seu valor, e assim, pequenas mudanças em seu valor podem acarretar diferenças nos valores finais. Desse modo, a correta avaliação do metabolismo deve ser empregada, de modo a garantir a acuracidade dos resultados.

A diminuição dos valores do isolamento resultante de 20 e 10% para valores de metabolismo acima e abaixo de 100 W/m^2 respectivamente, proposto por Oliveira et al (2007) mostrou-se uma boa aproximação para comparação com o valor do IREQ, uma vez que, analisando os valores de I_{cl} calculados através da equação (23), tem-se uma grande proximidade com os valores de $I_{cl,r}$ encontrados através do equacionamento aditivo das vestimentas sem a aplicação da correção.

Realizando a avaliação termoambiental através do método do IREQ, é constatado dentro da empresa o enquadramento de atividade insalubre, uma vez que o isolamento fornecido pelo EPI, não atingiu os valores de isolamento necessários para a proteção dos trabalhadores. Essa constatação, vai em contrapartida à perícia previamente realizada na empresa, a qual, empregando as normativas brasileiras, averiguou que não havia enquadramento de atividade insalubre.

4.5 Método IREQ x Legislação Brasileira

O resultado da aplicação do IREQ demonstra as diferenças existentes entre as normativas brasileiras e o método de avaliação termoambiental adotado pela ISO. Enquanto o método quantifica e determina as condições específicas para cada trabalhador em cada ambiente, a legislação brasileira traz as mesmas recomendações gerais sobre as condições e limites de exposição para todos os trabalhadores, não realizando uma análise específica de cada caso.

O método do IREQ apresenta-se como um método prático e eficaz para avaliar a situação de exposição encontrada, uma vez que o mesmo engloba características dos ambientes frios, das vestimentas utilizadas e ainda parâmetros relacionados com cada indivíduo, resultando em uma análise integral dos parâmetros de trabalho e avaliando de modo específico cada categoria de exposição. As vantagens em aplicar o método, também são evidenciadas em trabalhos realizados por outros autores, onde os resultados encontrados pelo método, condizem com as sensações subjetivas de frio sentidas pelas pessoas.

A partir da análise das técnicas empregadas em outros países, pode-se mensurar a situação dos trabalhadores brasileiros quando da exposição ao frio. As normativas nacionais não provêm a proteção necessária para grande parte dos indivíduos que laboram nessas circunstâncias, uma vez que a mesma ainda adota princípios instituídos há mais de 30 anos, época onde os estudos sobre exposição ocupacional ainda eram extremamente limitados. Pode-se presumir a inércia da legislação brasileira referente à essas questões, devido ao fato da grande logística envolvida em relação à adoção de uma alteração com esse porte nesse ramo industrial, bem como da aversão das indústrias em relação a alterações desse patamar. Pelo Brasil apresentar-se como um dos grandes produtores e exportadores de carne do mundo, é proporcional a sua produção, o número de empresas e trabalhadores que constituem esse negócio. Segundo dados estimados pela Confederação Nacional da Indústria (CNI), a instituição da NR-36 em 2013, causou mudanças significativas nas condições de trabalho de cerca de meio milhão de trabalhadores, resultando em um custo para as empresas estimado em R\$ 7 bilhões de reais. Desse modo, pode-se ter uma noção da mobilização que seria provocada

caso houvesse a implantação de uma avaliação termoambiental mais rigorosa, acarretando em grandes custos para as empresas envolvidas.

Contudo, é notado uma evolução no que diz respeito às normativas brasileiras em relação ao frio, com a adoção a partir de 2009 das normas europeias EN 342 e EN 14367 para parametrizar os EPI's vendidos em nosso país, vê-se uma preocupação dos higienistas brasileiros com a segurança dos trabalhadores expostos ao frio, uma vez que até o referido ano, os EPI's comercializados seguiam normas nacionais de fabricação, onde não havia padronização e certificação do isolamento térmico efetivo provido, resultando em vestimentas que não forneciam a adequada proteção e ergonomia aos trabalhadores.

Mesmo com o Brasil alterando a configuração de fabricação dos EPI's vendidos no país, autores de estudos na área afirmam que há a necessidade de fornecer o EPI não somente para tornar o ambiente seguro, mas deve-se fornecer o EPI correto em relação a cada tipo de atividade desempenhada.

Existe uma grande carência no método de avaliação da resposta orgânica ao estresse térmico provocado pela vestimenta associado à condição climática desfavorável ao resfriamento corporal necessário para que ocorra a termorregulação corporal. [...] A legislação é omissa no que diz respeito a parâmetros sobre a termorregulação corporal e o conforto térmico. A legislação deve ser aprimorada, incorporando aspectos da termorregulação. Mas, para isso deve ser acompanhada pelo desenvolvimento tecnológico relativo à vestimenta de proteção do trabalhador. Cada EPI deve ser desenvolvido para uma atividade específica e se possível para uma população específica. (ALMEIDA; VEIGA, 2010, p. 37).

A implantação de vestimentas específicas para cada atividade, só é possível após a implantação de métodos de avaliação ambiental quantitativos, algo que já vem sendo aplicado em países desenvolvidos, que possuem políticas de higiene ocupacional consolidadas, como os EUA, onde a designação de específica EPI's ergonômicos e protetivos já é uma realidade.

5 CONCLUSÃO

Esse trabalho teve por objetivo analisar, avaliar e aplicar a metodologia do Isolamento Requerido de Roupas (IREQ) como procedimento de avaliação termoambiental de ambientes onde há a exposição ocupacional ao frio. A partir de uma análise de literatura, observou-se a validade e a aplicabilidade do método, onde o mesmo atingiu os resultados previamente estabelecidos pelos autores, caracterizando-se como uma metodologia apropriada para determinar quantitativamente a exposição dos trabalhadores que laboram em temperaturas insalubres.

Visando a avaliação do método, realizou-se um estudo de caso com dados de um frigorífico localizado na cidade de Pato Branco-PR, o qual não apresentava enquadramento de atividade insalubre, segundo avaliação previamente realizada. Constatou-se divergência na avaliação do ambiente, onde o mesmo foi caracterizado como apresentando atividade insalubre, confirmando a hipótese preliminar de que o método do IREQ denota uma avaliação mais restritiva do que as técnicas empregadas no Brasil para avaliação termoambiental.

O estudo traz também, uma análise da atual legislação brasileira em relação ao tema, apontando as principais normas e diretrizes empregadas. Foi percebido assim, a defasagem da mesma em relação a outros países, uma vez que seu método de avaliação, leva em consideração um mesmo nível de exposição para os trabalhadores que laboram em diferentes atividades. Através da metodologia do IREQ, fica claro que essa diferença existe e deve ser mensurada, para que o EPI forneça o isolamento necessário ao indivíduo.

Percebendo a grande influência do metabolismo, M , nos cálculos do IREQ, sugere-se para os próximos trabalhos, a determinação do metabolismo através do método com nível 3 de acuracidade proposto pela ISO 8996, o qual determina precisamente a taxa metabólica do indivíduo através da medição da frequência cardíaca, diminuindo dessa forma, a imprecisão dos resultados.

REFERÊNCIAS

American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais. **TLVs (Limites de Exposição) e BEIs (Índices Biológicos de Exposição)** – São Paulo, 1999.

ALI, S. A. **Dermatoses ocupacionais**. Medicina básica do trabalho. Curitiba: Gênese, Cap.XI, p.283-341, 1994.

ALMEIDA, R. A. C. S.; VEIGA, M. M. **Aspectos relevantes na termorregulação corporal no uso de equipamentos de proteção individual**. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro, 2008;

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, INC. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**, ASHRAE Standard 55-2004. Atlanta, 2004.

BILGIÇ S.; ÖZKAN H.; ÖZENÇ S.; SAFAZ I.; YILDIZ C. **Case report: treating frostbite**. Canadian Family Physician. Vol 54, march, 2008.

BRASIL, Ministério do Trabalho (2013). **Manual de Legislação, Segurança e Medicina do Trabalho**. São Paulo, Editora Atlas, 32ª ed.

BUZANELLO M. P. **Influência de variáveis ambientais em frigorífico da unidade climática subtropical sul sobre os trabalhadores expostos a baixas temperaturas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

COUTINHO A. S. **Conforto e Insalubridade Térmica em Ambientes de Trabalho**, 1998. Editora Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

COUTO, H. A. **Temperaturas Extremas**. Fisiologia do Trabalho Aplicada. Editora Ibérica, Minas Gerais, Belo Horizonte, 1978.

COX, JOE W **Temperaturas Extremas**. Curso de Engenharia do Trabalho. Editora da Fundacentro, São Paulo. Vol 2, 1981.

FANGER, P. O. **Thermal Comfort**. McGraw-Hill Book Company, New York, 1970.

GALLOIS, N.S.P., **Análise das condições de estresse e conforto térmico sob baixas temperaturas em indústrias frigoríficas de Santa Catarina**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Curso de pós-graduação em Engenharia de Produção. Florianópolis, 2002.

GASI, F.; BITTENCOURT, E. **Estudo das propriedades de conforto em tecidos de malha das fibras sintéticas de poliéster e poliamida 6.6: permeabilidade ao vapor, transporte de umidade e proteção ultravioleta**. Revista de Design, Inovação e Gestão Estratégica. ISSN 2179- 1679. Senai v. 1, n. 1, 2010.

GIVONI, B. **Climate considerations buildings and urban design**. 1998, New York, John Wiley & Sons, Inc. 464pp

GOLDSMITH, R. **Cold and work in the cold**. Encyclopaedia of Occupational Health and Safety, International Labour Office, Geneva, Switzerland, pp. 504-507, 1989.

GRIEFAHN, B. **Limits of and possibilities to improve the IREQ cold stress model (ISO/TR 11079). A validation study in the field**. Applied Ergonomics 31, Dortmund, Germany, p. 423-431, 2000.

HADLER, N. M. **Rheumatology and the health of the workforce. Arthritis & Rheumatism** In: Official Journal of the American College of Rheumatology, Atlanta, U.S.A, 44(9), 2001.

HÓLMER, I., **Assessment of Cold Estresse in Terms of Required Clothing Insulation - IREQ**. In: Internacional Journal of Industrial Ergonomics, Amsterdam, Netherlands, p. 159-166, 1988.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities, ISO 7726**. Genebra, 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Ergonomics Determination of Metabolic Heat Production**. ISO 8996. Genebra, 1990.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Evaluation of Cold Environments: Determination of Required Clothing Insulation**. ISO 11079. Genebra, 1993.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Ergonomics of the thermal environment – Estimation of the Thermal Insulation and Evaporative Resistance of a Clothing Ensemble**. ISO 9920. Genebra, 1995.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort.** ISO 7730. Genebra, 1994.

KONZ, S. A. **Work design: industrial ergonomics.** 3.ed. Ohio, Worthington, U.S.A., 1990.

LAMBERTS R., XAVIER A. A. **Conforto Térmico e Stress Térmico,** Apostila, UFSC/LabEEE, Florianópolis, Santa Catarina, 1988.

MATOS M.P. **Exposição Ocupacional ao Frio.** Revista Nacional da Carne, Novembro de 2007.

McINTYRE, D. A. **Thermal sensation: a comparison of rating scales and cross modality matching.** International Journal of Biometeorology. v.20, p.295-303, 1976.

PASCOE, D.; BELLINGAR, T.; McCLUSKEY, B. S. **Clothing and exercise: influence of clothing during exercise, work in environmental extremes.** Sports Med. Alabama, USA, v.18, n.2, p.94-108, 1994.

PREK, M. **Thermodynamic analysis of human heat and mass transfer and their impact on thermal comfort.** International Journal of Heat and Mass Transfer, 48. Elsevier, 2005.

SINDICATO DAS INDUSTRIAS DE PRODUTOS AVÍCOLAS DO ESTADO DO PARANÁ. **Anuário Paranaense da Avicultura.** Paraná, Brasil, 2014.

TEIXEIRA, S. F. C. F.; LEÃO, C. P.; AREZES, P.; NEVES, M. M. **Testes de conforto térmico aplicados a uma malha multifuncional desenvolvida com novos materiais.** CIBIM 10, Porto, Portugal, 2011.

UNIÃO BRASILEIRA DE AVICULTURA. **Relatório Anual.** Brasil, 2014.

VANOS, J. K. et al. **Review of the physiology of human thermal comfort while exercising in urban landscapes and implications for bioclimatic design.** International Journal Biometeorol. 2010, p. 319-334.

WICZICK, L.F.S., **Diagnóstico da Incidência de Doenças Associadas a Ler/Dort em Trabalhadores de Câmaras Frigoríficas de Curitiba e Região Metropolitana,** 2008, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Tabelas ISSO 8996 para Determinação do Metabolismo

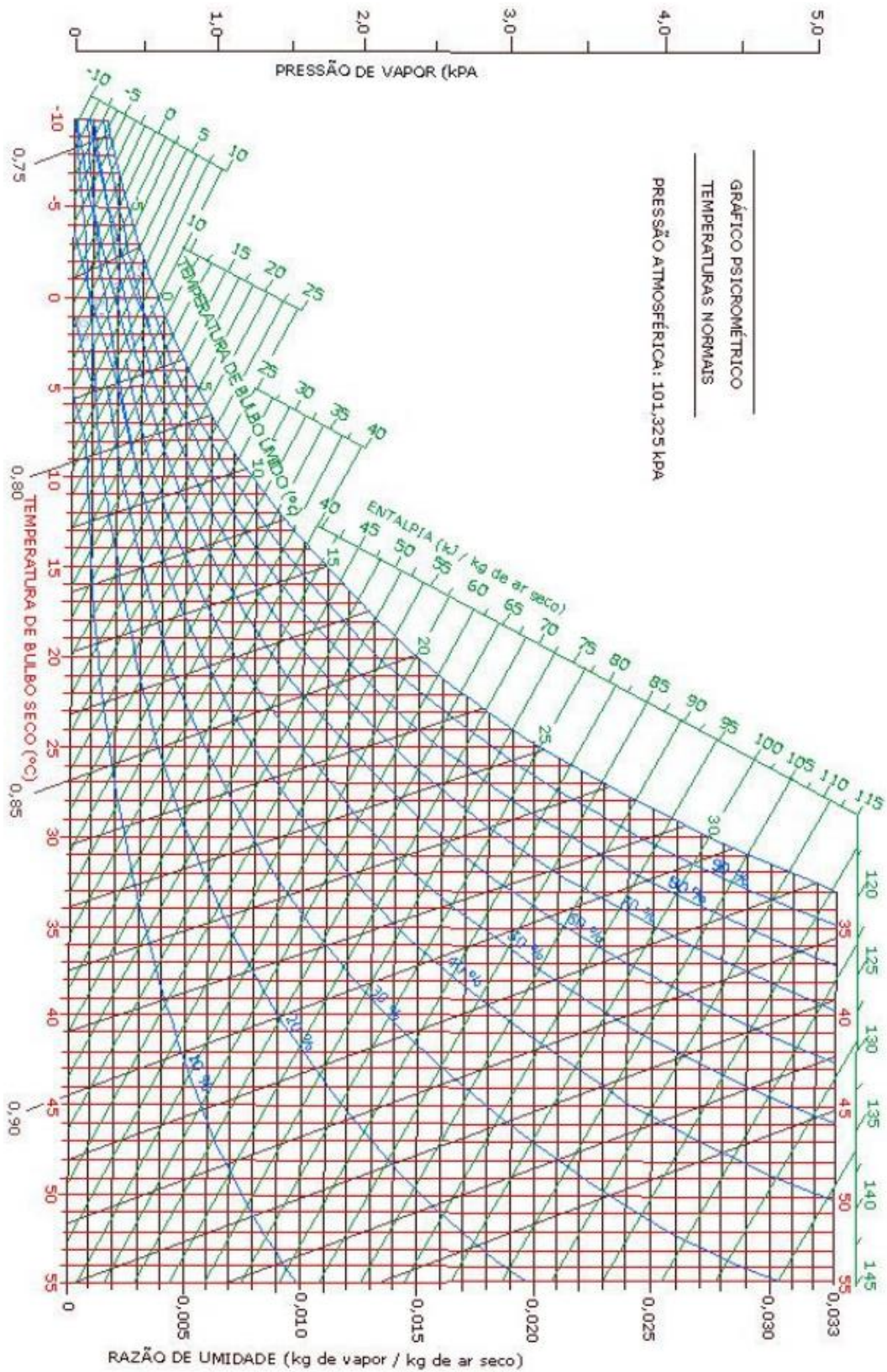
Table A.1 — Metabolic rate for various occupations

Occupation	Metabolic rate (W·m ⁻²)	
Office work	Sedentary work	55 to 65
	Clerical work	65 to 100
	Janitor	80 to 115
Craftsmen	Bricklayer	110 to 160
	Carpenter	110 to 175
	Glazier	90 to 125
	Painter	100 to 130
	Baker	110 to 140
	Butcher	105 to 140
	Clock and watch repairer	55 to 70
Mining industry	Haulage operator	70 to 85
	Coal hewer	110
	Cokeoven worker	115 to 175
Iron and steel industry	Blast furnace worker	170 to 220
	Electric furnace worker	125 to 145
	Hand moulder	140 to 240
	Machine moulder	105 to 165
	Foundry man	140 to 240
Iron and metal-working industry	Smith	90 to 200
	Welder	75 to 125
	Turner	75 to 125
	Drilling machine operator	80 to 140
	Precision mechanic	70 to 110
Graphic occupations	Hand compositor	70 to 95
	Book-binder	75 to 100
Agriculture	Gardener	115 to 190
	Tractor driver	85 to 110
Traffic	Car driver	70 to 100
	Bus driver	75 to 125
	Tramway driver	80 to 115
	Crane operator	65 to 145
Various occupations	Laboratory assistant	85 to 100
	Teacher	85 to 100
	Shop assistant	100 to 120
	Secretary	70 to 85

Table A.2 — Classification of metabolic rate by category

Class	Average metabolic rate (with range in brackets)		Examples
	$W \cdot m^{-2}$	W	
0 Resting	65 (55 to 70)	115 (100 to 125)	Resting, sitting at ease
1 Low metabolic rate	100 (70 to 130)	180 (125 to 235)	Light manual work (writing, typing, drawing, sewing, book-keeping); hand and arm work (small bench tools, inspection, assembly or sorting of light materials); arm and leg work (driving vehicle in normal conditions, operating foot switch or pedal). Standing drilling (small parts); milling machine (small parts); coil winding; small armature winding; machining with low power tools; casual walking (speed up to $2,5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$).
2 Moderate metabolic rate	165 (130 to 200)	295 (235 to 360)	Sustained hand and arm work (hammering in nails, filing); arm and leg work (off-road operation of lorries, tractors or construction equipment); arm and trunk work (work with pneumatic hammer, tractor assembly, plastering, intermittent handling of moderately heavy material, weeding, hoeing, picking fruits or vegetables, pushing or pulling lightweight carts or wheelbarrows, walking at a speed of $2,5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ to $5,5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, forging).
3 High metabolic rate	230 (200 to 260)	415 (360 to 465)	Intense arm and trunk work; carrying heavy material; shovelling; sledgehammer work; sawing; planing or chiselling hard wood; hand mowing; digging; walking at a speed of $5,5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ to $7 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Pushing or pulling heavily loaded hand carts or wheelbarrows; chipping castings; concrete block laying.
4 Very high metabolic rate	290 (260)	520 (465)	Very intense activity at fast to maximum pace; working with an axe; intense shovelling or digging; climbing stairs, ramp or ladder; walking quickly with small steps; running; walking at a speed greater than $7 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

APÊNDICE B – Carta Psicrométrica



Fonte: Compagnom et al. (2010)

ANEXOS

ANEXO A – Imagens do Ambiente Avaliado



Figura A-1 - Determinação da humidade relativa



Figura A-2 - Temperatura medida no setor de expedição



Figura A-3 - Armazenamento de produtos



Figura A-4 - Trabalhadores expostos ao frio