

**UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
PÓS-GRADUAÇÃO
ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO**

NERIVALDO RODRIGUES DA SILVA

AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO

**SANTOS - SP
AGOSTO/ 2007**

**UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
PÓS-GRADUAÇÃO
ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO**

NERIVALDO RODRIGUES DA SILVA

AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO

**Trabalho de conclusão de curso
apresentado como exigência para obtenção
do título de engenheiro de segurança do
trabalho.**

**SANTOS - SP
AGOSTO / 2007**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho em especial a meus pais, que sempre mostraram o caminho da educação como forma de reduzir a desigualdade social e a miséria.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os professores que tive durante esse curso, a minha esposa e a Deus.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 – Justificativa	2
1.2 - Objetivo	3
CAPÍTULO 2 – REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 – Temperatura corporal	4
2.2 – Taxa de metabolismo	5
2.3 – Termo regulação	7
2.4 – Trocas térmicas	7
2.4.1- Convecção e Condução	7
2.4.2 – Radiação térmica	8
2.4.3 - Evaporação	9
2.4.4 – Circulação Sanguínea	10
2.5 – Parâmetros ambientais e Instrumentos de medição	11
2.5.1 – temperatura do ar	11
2.5.2 – Temperatura radiante média	11
2.5.3 – Umidade relativa do ar	13
2.5.4 – Velocidade relativa do ar	14
2.5.5 – Escolha dos pontos de medição	15
2.5.6 – Posicionamento dos instrumentos de medição	15
2.5.7 – Assimetria de radiação	16
2.5.8 – Diferenças verticais na temperatura do ar	16
CAPÍTULO 3 – AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO	18
3.1 – Avaliação do conforto térmico segundo Norma ISSO 7730 (1994)	18
Voto Médio Estimado	
3.1.1 – Determinação do VME	19
3.1.2 – Porcentagem estimada de Insatisfeitos (PMI)	20
3.1.3 – Draught	21
3.1.4 – Parâmetros recomendadas para as condições ambientais de	22
conforto	
3.1.5 – Taxa de metabolismo para diferentes atividades (M)	22
3.1.6 – Determinação do isolamento térmico da vestimenta (I_{cl})	23
3.1.7 – Determinação PMV para umidade relativa de 50%	25
3.2. – Avaliação do conforto térmico segundo Norma NR-17 –	26
Temperatura efetiva	
3.2.1 – Temperatura efetiva	26
CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA EXPERIMENTAL	30
CAPÍTULO 5 – RESULTADOS	32
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES	33
6.1 – Norma Regulamentadora 17	33
6.2 – Norma ISSO 7730 de 1994	33
6.3 – Comparação entre as Normas	34
6.4 – Recomendações para trabalhos futuros	34
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Termômetro de globo	12
Figura 2.2 – Psicrômetro	14
Figura 2.3 – Anemômetro	15
Figura 3.1 – Curva de percentual de insatisfeitos	21
Figura 3. 2 – Escala de temperatura efetiva normal (para pessoas normalmente vestidas)	29
Figura 4.1- Carta psicrômétrica	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Escala de sensação térmica	18
Tabela 3.2 – Taxa de metabolismo	22
Tabela 3.3 – Isolamento térmico para peças de roupas	23
Tabela 3.4 – Determinação do PMV para o met de 1.2 e 50% UR.	25
Tabela 4.1 – Dados experimentais para verificação do conforto térmico	30
Tabela 5.1 – Variáveis ambientais e resultados da norma ISO 7730	32
Tabela 6.1 – Sensação térmica	34

RESUMO

Silva, Nerivaldo Rodrigues, Avaliação do Conforto Térmico, 2007.

O conforto térmico de um ambiente definido como a sensação de bem estar experimentada por uma pessoa, como resultado de uma combinação satisfatória da temperatura radiante média, umidade relativa, temperatura do ambiente, velocidade relativa do ar, atividade desenvolvida e com a vestimenta usada pelas pessoas.

O objetivo de trabalho é o estudo das metodologias para determinação do conforto térmico segundo as normas NR 17 e ISO 7730, verificar suas diferenças e avaliar o conforto utilizando a metodologia da NR17.

O método utilizado para comparar quantitativamente as normas, foi verificar o conforto térmico segundo a norma NR17, utilizando os dados ambientais do exemplo resolvido, do anexo B, da norma ISO 7730.

Com as variáveis ambientais, a temperatura efetiva foi determinada através do ábaco da figura 4.2. No ábaco traçou-se uma linha ligando a t_{bu} a t_{bs} , no ponto de intersecção da reta com a linha da velocidade do ar, de 0,1 m/s, obteve-se o ponto correspondente à temperatura efetiva. Os outros parâmetros foram confrontados diretamente com os valores estabelecidos pela norma NR 17.

Para o exemplo analisado pode-se concluir que a temperatura efetiva estava inaceitável para a condição de conforto estabelecida pela NR 17, o valor do VME (Voto Médio Estimado) de $-0,7$ indicam uma leve sensação de frio e o percentual de pessoas insatisfeitas, corresponde a 15,5%. Demais conclusões e recomendações para outros trabalhos, encontram-se no capítulo 6.

Palavras chave: Conforto térmico, Ergonomia, Segurança do Trabalho.

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

O conforto térmico num determinado ambiente pode ser definido como a sensação de bem estar experimentada por uma pessoa, como resultado de uma combinação satisfatória, nesse ambiente, da temperatura radiante média, umidade relativa, temperatura do ambiente e velocidade relativa do ar com a atividade lá desenvolvida e com a vestimenta usada pelas pessoas.

As sensações são subjetivas, isto é, dependem das pessoas, portanto certo ambiente confortável termicamente para uma pessoa pode ser frio ou quente para outra. Assim, em se tratando de um grande grupo de pessoas, é impossível estabelecer condições ambientais que satisfaçam plenamente a todos, sempre haverá insatisfeitos.

A sensação de conforto térmico está intimamente relacionada com a temperatura média da pele e com a quantidade de calor perdida pelo corpo por evaporação do suor, assim uma pessoa só estará em neutralidade térmica, se o seu corpo como um todo o estiver. Isto pode ser facilmente verificado, por exemplo, analisando-se o caso de uma pessoa que mesmo estando numa situação de neutralidade térmica, sente-se desconfortável quando é obrigada a ficar com as mãos submersas em água gelada. Este caso extremo mostra que a assimetria de perda de calor do corpo tem que ser limitada de forma a não comprometer o conforto térmico, (Ruas, 1999).

As variáveis de maior influência no conforto térmico podem ser reunidas em dois grandes grupos: as de natureza ambiental e as de natureza pessoal.

As de natureza ambiental são:

- temperatura do ar;
- temperatura radiante média;
- velocidade relativa do ar;
- umidade relativa do ar ambiente.

As de natureza pessoal são:

- tipo de vestimenta (representada pelo seu isolamento térmico);

- tipo de atividade física executada (representada pela taxa de metabolismo).

A ISO 7730 (1994) estabelece que um ambiente seja confortável quando a porcentagem de pessoas insatisfeitas devido ao desconforto no corpo como um todo esta limitado a 10% e os insatisfeitos devido ao draught são no máximo 15%. Essa norma também estabelece limites para conforto localizado causado pela assimetria de radiação térmica, pelas diferenças verticais na temperatura do ar e pelo contato com superfícies quentes ou frias.

O índice de PMV foi desenvolvido no Laboratório de Calor e Ar condicionado da Universidade Técnica da Dinamarca pelo Prof. Fanger. O PMV foi incluído na norma ISO 7730 (1984) como índice recomendado para a avaliação do conforto térmico de um ambiente.

A norma Brasileira NR 17, tem sua existência jurídica assegurada através da lei nº 6.514, de 22 de dezembro de 1977 e aprovada pela portaria n 3214, de 8 de junho de 1978, estabelece no item 17.5 as condições de conforto térmico: índice de temperatura efetiva entre 20 e 23 C, velocidade do ar não superior a 0,75 m/s e a umidade relativa ao ar não inferior a 40%.

1.1 Justificativa

O clima, principalmente a temperatura e a umidade ambiental, influi diretamente no desempenho do trabalho humano. Estudos realizados em laboratórios e na indústria comprovam essas influências, tanto sobre a produtividade como sobre os riscos de acidentes, (Iida, 2005).

A norma regulamentadora do trabalho urbano, NR 17, cujo título é Ergonomia visa estabelecer os parâmetros que permitam à adaptação das condições de trabalho as condições psicofisiológicas dos trabalhadores, de modo a proporcionar um máximo de conforto, segurança e desempenho eficiente. A norma estabelece que nos locais onde sejam executadas atividades que exijam solicitação intelectual e atenção constante deve existir condições de conforto. No entanto a norma não apresenta a metodologia para

obtenção da temperatura efetiva, que é o principal parâmetro para avaliação do conforto térmico e este não é obtido por medição direta.

1.2 Objetivo

O objetivo de trabalho é o estudo das metodologias para determinação do conforto térmico segundo as normas NR 17 e ISO 7730, verificar suas diferenças e avaliar o conforto utilizando a metodologia da NR17, utilizando as variáveis ambientais do exemplo resolvido contido na norma ISO.

No capítulo 2 é apresentada à revisão da literatura abordando o conceito de conforto, suas variáveis térmicas.

No capítulo 3 é apresentada à metodologia utilizada para a avaliação quantitativa do conforto térmico, segundo a norma Brasileira NR17 e a norma Internacional ISO 7730 de 1994.

No capítulo 4 é apresentado à metodologia utilizada na parte experimental deste estudo.

No capítulo 5 são apresentados os resultados e sua análise.

No capítulo 6 são apresentadas às conclusões e recomendações para outros trabalhos.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO DE LITERATURA

A primeira condição para o conforto é o equilíbrio, ou seja, a quantidade de calor ganho pelo organismo deve ser igual à quantidade de calor cedido para o ambiente. Contudo, ela não é a suficiente para garantir o conforto térmico. O sistema termoregulador do organismo é capaz de fazer várias combinações entre as variáveis ambientais e individuais.

O organismo utiliza vários mecanismos para promover o balanço térmico. Durante o frio, o organismo pode acelerar o metabolismo para produzir mais calor. Isso ocorre com os tremores, quando a musculatura atua para gerar mais calor. Se o corpo estiver em atividade, o calor gerado pode chegar ao triplo, em relação ao repouso. Os vestuários também ajudam a manter a temperatura corporal, conservando o ar quente próximo a pele e evitando as perdas por convecção. As roupas também absorvem o calor radiante do corpo. Contudo, se a roupa estiver úmida, perde grande parte do seu poder isolante.

Existem diversos fatores que se conjugam para a produção de um ambiente confortável. Eles se classificam em aqueles de natureza ambiental e pessoal. Entre os fatores de natureza ambiental, destacam-se:

- Temperatura do ar,
- Temperatura radiante média,
- Umidade, e
- Velocidade do ar.

O conforto térmico depende também das condições ocasionais e preferências individuais, sendo influenciado por fatores como:

- Vestimenta (isolamento térmico); e
- Intensidade do esforço físico (metabolismo).

2.1 Temperatura Corporal

O homem é um ser homeotérmico. Isto significa que possui mecanismos de compensação para manter sua temperatura interna relativamente constante ao variar as condições externas dentro de certos limites.

Denomina-se temperatura corporal (TC) o valor médio da temperatura da massa subcutânea por debaixo da pele, exceto as extremidades, e que representa aproximadamente de 70 a 80 % da massa corporal total. Esta temperatura varia durante o dia de acordo com a atividade física realizada pelo indivíduo. A temperatura do corpo se manterá constante se existir um equilíbrio dinâmico entre a produção de calor e a troca de calor com o ambiente através dos mecanismos reguladores.

A temperatura adotada para representar a temperatura do corpo é a temperatura retal (TR). Seu valor médio em repouso é de 37° C em repouso. Durante o exercício físico a temperatura retal aumenta em função do metabolismo dentro de uma estreita faixa.

A temperatura superficial (Ts) correspondendo à temperatura da pele varia dentro de uma larga faixa devido à pele atuar como interfase entre corpo e o ambiente. Em condições normais de temperatura ambiente a temperatura média da pele é de 3 a 5°C inferior a temperatura corporal. Em ambiente frios a temperatura da pele pode chegar a 20°C inferior a temperatura corpo, e em ambiente quente fica a 1 grau inferior (desde que esteja em equilíbrio térmico).

2.2 Taxa de metabolismo

No processo metabólico o homem produz energia interna a partir da transformação dos alimentos. Essa energia é consumida na manutenção das funções fisiológicas vitais, na realização de trabalhos mecânicos externos (atividade muscular), e o restante é liberado na forma de calor. A parcela da energia produzida internamente que se transforma em calor, de acordo com o princípio adotado na norma ISO 8996 (1990), pode ser igualada à energia do metabolismo. Isso se deve ao fato de que a maior parte da energia do metabolismo transforma-se em energia térmica e a parcela correspondente ao trabalho mecânico pode ser geralmente negligenciada.

A produção de calor é contínua e aumenta com o esforço físico executado, assim a taxa de metabolismo é a taxa de produção de energia do corpo que varia com a atividade física e neste trabalho é dada na unidade met ($1\text{met}=58,2\text{ W/m}^2$). Um met corresponde à energia produzida por unidade de área superficial do corpo por uma pessoa sentada descansando.

A representação de um ciclo de trabalho por uma taxa de metabolismo é uma tarefa difícil uma vez que esse ciclo é normalmente composto por diferentes atividades que expõem o homem a uma combinação de períodos de descanso e de variada solicitação física, o que torna necessário a ponderação do metabolismo de cada atividade em relação ao tempo; além disso, essa taxa também depende de fatores individuais e do método utilizado na execução da tarefa.

A forma mais precisa de se obter a energia do metabolismo é através da medição do consumo de oxigênio; esse método, no entanto, tem aplicação em campo limitada devido aos recursos técnicos necessários. Outro método disponível, não tão preciso quanto o anterior, é através do registro da frequência cardíaca durante o trabalho. Esse método é aplicável quando a solicitação muscular é principalmente dinâmica e na ausência de sobrecarga térmica e mental.

A obtenção da energia do metabolismo através da medição do consumo de oxigênio e da frequência cardíaca exige equipamentos adequados e tempo para os estudos necessários; esses recursos geralmente não estão disponíveis nas aplicações de campo e isso faz com que o metabolismo seja normalmente estabelecido a partir de valores referenciais tabelados, ISO 8996 (1990).

As reações metabólicas são fundamentalmente exotérmicas. O metabolismo, analisado como uma conversão de energia química em energia mecânica e térmica é um indicador da carga física durante uma atividade. O conhecimento do metabolismo permitira estimar a produção de calor no organismo.

A “maquina humana” tem um baixo rendimento do ponto de vista mecânico. A maior parte da energia química consumida se transforma em calor e só uma pequena

parte em energia útil (W). Por tanto a energia calórica é comparada com o consumo metabólico.

O consumo metabólico pode ser calculado por vários métodos, dependendo dos meios disponíveis e a precisão desejada. Para a análise do ambiente térmico é suficiente à estimativa do consumo metabólico através de tabelas.

2.3 Termo regulação

A troca de calor entre o corpo humano e o ambiente é regulada através de diferentes mecanismos. A manutenção do balanço térmico é responsabilidade de um grupo de células nervosas situadas no hipotálamo e que constituem os centros de regulação. Existem dois centros anatomicamente diferenciados, um é responsável pela conservação do calor e o outro pela dissipação do mesmo.

A informação sobre o estado térmico do corpo é levada ao hipotálamo por dois caminhos: os nervos receptores e o fluxo sanguíneo. Os nervos informam normalmente sobre o estado térmico da pele e o sangue sobre o estado geral do corpo e sobre as estruturas internas. Os centros no hipotálamo agem por via nervosa e via endócrina. Os impulsos nervosos são enviados aos vasos sanguíneos epiteliais, as glândulas sudoríparas e aos músculos.

A circulação cutânea pode ser incrementada para aumentar a perda de calor ou diminuída para conservar o calor. A quantidade de água na pele se ajusta para adequar-se a evaporação e o tônus muscular varia, relaxando com o calor e produzindo tremores diante do frio.

O hipotálamo produz hormônios que controlam as glândulas tiróide e supra-renal. Quando é necessário aumentar a produção de calor o hormônio tiroidal aumenta e estimula a atividade dos tecidos.

2.4 Trocas térmicas

2.4.1 Convecção e Condução

Entre dois corpos com temperaturas diferentes o calor tende a passar do corpo mais quente para o corpo mais frio até atingir o equilíbrio térmico. Se esta transferência se realiza através de sólidos ou de fluido sem movimento, o processo se denomina transferência de calor por condução, e quando ocorre através de um fluido em movimento se conhece como transferência de calor por convecção.

Convecção é o processo de troca de calor entre a pele e o ar circundante. Se a temperatura da pele for maior que a do ar, a pele será resfriada porque lhe cederá calor. O aquecimento do ar provocará um movimento ascensional. À medida que o ar quente sobe, o ar frio ocupa seu lugar, completando-se, assim, o ciclo de convecção. Se a temperatura do ar for exatamente igual à da pele, não haverá troca térmica por esse processo. Se a temperatura do ar for mais elevada do que a da pele, o ar cederá calor para o corpo, invertendo-se o mecanismo.

O calor trocado por esse processo é diretamente proporcional à velocidade do ar e inversamente proporcional ao isolamento térmico da vestimenta.

2.4.2 Radiação térmica

O calor também pode ser transferido de um corpo para outro sem que exista um meio material entre eles; fenômeno conhecido como radiação. O processo de convecção e de radiação tem certa importância como mecanismo de troca de calor entre o corpo humano e o ambiente; visto que interferem influenciando notadamente sobre a resposta térmica do organismo.

Radiação é o processo pelo qual a energia radiante é transmitida de uma superfície quente para uma fria através de ondas eletromagnéticas que ao atingirem a superfície fria, transformam-se em calor.

A energia radiante é emitida continuamente por todos os corpos que estão a uma temperatura superior ao zero absoluto. Isso equivale a dizer que uma pessoa num

ambiente está continuamente emitindo e recebendo energia radiante, e o diferencial entre a energia recebida e a emitida é que define se o corpo é aquecido ou resfriado por radiação. Dessa forma, se a temperatura das paredes de um ambiente for inferior à da pele de um homem, este perderá calor por radiação. Se as paredes estiverem mais quentes que a pele, a temperatura do corpo aumentará por efeito da radiação.

As trocas térmicas por radiação entre a pele e o ambiente dependem:

- da temperatura superficial do corpo que é influenciada pela absorvância da pele e da roupa, a qual é característica do comprimento de onda da radiação. Para as radiações de ondas longas, a absorvância pode ser considerada 1 para a pele e 0,95 para as roupas comuns, independente da cor. Já para as de ondas curtas, a absorvância depende da pigmentação da pele e da cor da roupa, sendo maior para as de tonalidades escuras.

- da temperatura radiante média do ambiente, função das superfícies e das temperaturas e posições relativas entre o corpo e as fontes de radiação.

2.4.3 Evaporação

Quando as condições ambientais fazem com que as perdas de calor do corpo humano por convecção e radiação não sejam suficientes para regular a sua temperatura interna, o organismo intensifica a atividade das glândulas sudoríparas, de modo a perder calor pela evaporação da umidade (suor) que se forma na pele.

A perda de calor do corpo por evaporação é inversamente proporcional à umidade relativa do ar e, para ar não saturado, é diretamente proporcional à velocidade do e à permeabilidade da roupa ao vapor d'água.

No corpo humano a produção de vapor de água se realiza pelo aparelho respiratório (aumento do vapor de água no ar expirado) e via cutânea por duas vias principais: a transpiração insensível e sudoração. A transpiração insensível consiste em uma difusão de água contida em um organismo através da superfície da epiderme. A sudoração é uma secreção produzida pelas glândulas sudoríparas devido à entrada em funcionamento do sistema termo regulador.

As perdas de calor por evaporação respiratória são proporcionais ao volume de ar respirado; o qual depende principalmente do metabolismo e da diferença de umidade entre o ar ambiente e o ar exalado.

A quantidade de calor eliminada por transpiração insensível é independente do sistema termo regulador e depende diretamente da umidade do ambiente, acontecendo unicamente em zonas da pele não molhadas pelo suor. A quantidade de calor que se elimina por sudoração depende da secreção glandular, na distribuição de suor sobre a pele, da velocidade do ar e a diferença da pressão parcial de vapor de água do ambiente e na pele.

Os centros do hipotálamo estimulam as glândulas sudoríparas. A quantidade de glândulas ativadas e a magnitude da secreção de cada uma delas são função do desequilíbrio térmico. O mecanismo de sudoração, dentro de sua capacidade, produz o suor necessário para manter o balanço térmico. A capacidade deste mecanismo de reduz com o aumento da exposição.

A efetividade do suor para transferir calor depende da sua evaporação. A capacidade de produção de suor pode chegar a litro por hora, podendo chegar de 3 a 4 l/h para pessoas aclimatadas e por curto período de tempo, que equivale a uma eliminação de calor corporal de até 600 Kcal/h. Se a evaporação é restringida devido às condições ambientais, a temperatura da pele aumentará. O centro regulador ativará um maior número de glândulas sudoríparas para aumentar a superfície úmida da pele.

Se o resfriamento logo estabelece o balanço térmico, a temperatura corporal permanecerá praticamente invariável. Em ambientes muito úmidos ou com baixas velocidades de ar, a superfície da pele estará com 100% de umidade e nenhum aumento de suor irá contribuir para o resfriamento. Para que uma gota de suor retirar calor deve evaporar-se, recebendo calor do corpo para passar do estado líquido para estado gasoso.

2.4.4 Circulação Sanguínea

A transferência de calor desde os tecidos até a pele é dissipado pelo aparelho respiratório e depende fundamentalmente pela circulação. O sistema respiratório de uma pessoa deve responder as demandas abaixo:

O sangue e os líquidos corporais estão são compostos com uma importante proporção de água. Por este motivo, possui um elevado calor específico e, por conseguinte, são capazes de trocar grandes quantidades de calor através de pequenas trocas térmicas.

A primeira ação de controle dos centros reguladores consiste na redução do tônus vaso-constritor seguido da dilatação dos vasos sanguíneos da pele. As conseqüências imediatas são: aumento da circulação superficial e da temperatura da pele, que produz um aumento na perda de calor por convecção e radiação.

A modificação da circulação superficial aumenta a condutividade térmica dos tecidos, de 16 kcal/h°C de temperatura da pele em um ambiente ameno até 60 Kcal/h°C em um ambiente quente. Para trabalho moderado e ambiente quente a troca térmica pode chegar a 120 Kcal/h°C.

2.5 Parâmetros ambientais e Instrumentos de medição

2.5.1 Temperatura do ar

A temperatura do ar pode ser medida com termômetros de mercúrio, termômetros de resistência ou termopares, sendo que os primeiros são os mais usados principalmente por uma questão de custo. A escala mínima do instrumento deve ser de 0 a 50°C e o tempo de resposta adequado ao número de medidas a serem executadas.

A norma ISO 7726 (1998) estabelece que a leitura do medidor só deva ser realizada após uma vez e meia o tempo de resposta (90%)¹⁰ do sensor e sugere um equipamento com precisão de pelo menos $\pm 0,5$ °C.

É importante observar, quando se trata da medição de temperatura do ar, o efeito da radiação das superfícies circundantes sobre o sensor do equipamento de medição. Se a temperatura do ambiente for aproximadamente igual à das superfícies circundantes, o efeito da radiação poderá ser ignorado, mas se a diferença for considerável, deverão ser adotadas medidas como a utilização de sensores refletivos e/ou colocação de anteparos refletivos entre o sensor do equipamento e as superfícies circundantes, de forma a protegê-lo da radiação, sem restringir a passagem de ar pelo sensor.

2.5.2 Temperatura radiante média

A radiação térmica recebida por uma pessoa num ambiente pode ser calculada com as temperaturas das superfícies circundantes e os respectivos fatores de ângulo em relação a essa pessoa. Esse método, contudo, é de difícil aplicação prática, por isso a norma ISO 7726 (1998) sugere também equações que permitem calculá-la a partir da temperatura de globo, da velocidade do ar na altura do globo e da temperatura do ar.

A temperatura de globo pode ser definida como a temperatura de equilíbrio do ar confinado numa esfera oca de cobre mantida hermeticamente fechada. Essa esfera (globo) é pintada externamente de preto fosca de modo a ter emissividade de 0,95. A medição é feita no centro da esfera e para isso pode-se utilizar qualquer um dos instrumentos especificados no item temperatura do ar desde que observado os mesmos requisitos de escala e precisão.

A esfera deve ter aproximadamente 1 mm de espessura e teoricamente qualquer diâmetro uma vez que ele é uma das variáveis das equações de cálculo da temperatura radiante média. Contudo quanto menor ele for maiores serão as influências da temperatura e velocidade do ar, portanto recomenda-se uma esfera com 0,15m de diâmetro. A leitura da temperatura de globo só deve ser realizada após a estabilização

do sistema, isto é depois de transcorrido o tempo de resposta do equipamento. A figura 2.1 mostra um termômetro de globo.



Figura 2.1 Termômetro de globo

2.5.3 Umidade relativa do ar

A umidade relativa pode ser obtida com higrômetros capacitivos, mas o método mais usado é determiná-la a partir das temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido, carta psicrométrica e da pressão atmosférica. As temperaturas são medidas com um equipamento chamado psicrômetro e a pressão atmosférica pode ser medida ou calculada através da altitude do local.

O psicrômetro é um instrumento que consiste de dois termômetros e um dispositivo que ventila os sensores com ar em velocidade entre 3 e 5 m/s. Um dos sensores é recoberto, sem folgas, por um pavio que tem a extremidade mergulhada em água destilada num reservatório do equipamento. A água sobe por capilaridade do reservatório ao sensor e então é evaporada numa proporção que depende da umidade do

ar. Quanto mais seco for o ar, maior o resfriamento causado pela evaporação. A temperatura medida no termômetro recoberto com o pavio é chamada temperatura de bulbo úmido psicrométrica.

A ISO 7726 (1998) recomenda que o pavio estenda-se além do sensor pelo menos 20 mm para diminuir a influência da troca por condução entre o corpo do termômetro e o sensor. Essa norma sugere também, quando a temperatura radiante média é diferente da temperatura ambiente, a utilização de anteparos refletores entre os sensores do equipamento e as superfícies circundantes, de forma a protegê-los da radiação. A escala mínima do medidor deve ser de 0 a 40°C e a precisão de pelo menos $\pm 0,5$ °C. A figura 2.2 mostra um psicrômetro



Figura 2.2 Psicrômetro

2.5.4 Velocidade relativa do ar

É a velocidade que efetivamente atua sobre o corpo humano, sendo, portanto, a resultante de duas componentes: uma é a velocidade do ar incidente sobre a pessoa, considerando-a parada, e a outra é em razão do movimento do corpo na realização de uma tarefa, considerando agora o ar parado. Essa última componente pode ser desprezada para atividades sedentárias, mas tem que ser contabilizada nas atividades que exigem movimentação do corpo. A ISO 7730 (1994) estima que essa componente

seja zero para as atividades sedentárias ($M \leq 1$ met) e $v_{mc} = 0,3 \cdot (M-1)$ para $M > 1$ met, sendo v_{mc} dada em m/s.

A velocidade relativa do ar pode ser medida prendendo-se um anemômetro onidirecional no corpo do trabalhador durante a execução normal de suas tarefas. O equipamento normalmente utilizado para medir a velocidade do ar é o termo anemômetro. A ISO 7726 (1998) recomenda equipamentos com capacidade para medir velocidades da ordem de 0,05 m/s, sensor onidirecional, escala mínima de 0 a 1 m/s, precisão de pelo menos $\pm (0,05 + 0,05 \cdot v)$ m/s e tempo de resposta (90%) da ordem de 0,5s.

Para a obtenção do valor médio da velocidade num determinado ponto, deve-se fazer várias medidas, por exemplo, a cada 15 segundos durante um período de 3 a 5 minutos, a fim de considerar as flutuações de velocidade normalmente existentes. A figura 2.3 mostra um anemômetro.



Figura 2.3 Anemômetro

2.5.5 Escolha dos pontos de medição

As medições têm de ser planejadas de acordo com a natureza do problema a ser estudado e com as condições específicas de cada ambiente. Se o objetivo é fazer um levantamento da situação de conforto num ambiente como um todo, poder-se-ia imaginar a divisão da área ocupada em múltiplos quadrados iguais, por exemplo, quadrados de 2 a 4 m de lado, e medir as variáveis ambientais no centro desses

quadrados. Exceção é feita para o caso da umidade relativa, que na ausência de processo que interfira na umidade do ambiente, pode ser medida em qualquer ponto da área ocupada.

2.5.6 Posicionamento dos instrumentos de Medição

A ISO 7726 (1998) recomenda que as medições sejam feitas a 0,60 m do piso para pessoas sentadas e a 1,10 m do piso para pessoas em pé. Quando houver a possibilidade de heterogeneidade, as medições devem ser feitas a 0,10 m, 0,60 m e 1,10 m do piso para pessoas sentadas e a 0,10 m, 1,10 m e 1,70 m para pessoas em pé. Para verificar a existência de heterogeneidade, efetua-se, num mesmo instante, medições nas três alturas especificadas acima e compara-se os valores obtidos com sua a média aritmética. A heterogeneidade é caracterizada por valores fora dos intervalos seguintes:

- Temperatura do ar: $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$;
- Temperatura radiante média: $\pm 4^{\circ}\text{C}$
- Velocidade média do ar: $\pm (0,01+0,01 \cdot v)$ m/s.

Quando as medições são realizadas nas três alturas, a média aritmética dos valores obtidos é considerada para o cálculo do Voto Médio Estimado (VME) naquele ponto.

2.5.7 Assimetria de radiação

A radiação assimétrica proveniente de superfícies quentes e frias e da incidência direta do sol pode causar desconforto local e reduzir a aceitabilidade térmica de um ambiente.

Em geral as pessoas são mais sensíveis à radiação assimétrica originada do calor ou frio das superfícies horizontais, como por exemplo, forros, do que a proveniente de superfícies verticais.

Dessa forma, a norma ISO 7730(1994) especifica para atividades leves ($M = 70$ W/m²), que a assimetria da temperatura radiante deve ser menor que 10°C na direção horizontal e menor que 5°C na direção vertical.

A assimetria da temperatura radiante na direção vertical é a diferença entre a temperatura radiante plana da parte superior e da parte inferior de um ambiente em relação a um pequeno plano horizontal situado a 0,60 m do solo para pessoas sentadas e 1,10 m para as pessoas em pé. Na direção horizontal, ela é a diferença entre as temperaturas radiantes planas nos lados opostos de um pequeno plano vertical posicionado a 0,60 m do solo para pessoas sentadas e 1,10 m para as pessoas em pé.

2.5.8 Diferenças verticais na temperatura do ar

A temperatura do ar nos ambientes internos geralmente cresce do piso para o teto. Se essa diferença é suficientemente grande, poderá ocorrer desconforto devido à sensação de calor na altura da cabeça e/ou devido à sensação de frio nos pés. Baseado nisso, a norma ISO 7730(1994) limita em 3°C, para atividades leves ($M = 70 \text{ W/m}^2$), a diferença entre as temperaturas do ar medidas na altura da cabeça (1,10 m do solo para pessoas sentadas e 1,70 m para as pessoas em pé) e na altura dos tornozelos (0,10 m do solo).

A ISO 7730(1994) estabelece que um ambiente seja confortável quando a porcentagem de pessoas insatisfeitas devido ao desconforto no corpo como um todo, está limitada a 10% e os insatisfeitos devido ao draught são no máximo 15%. A porcentagem de insatisfeitos devido ao draught, para atividades sedentárias, pode ser obtida pela ISO 7730(1994) em função da velocidade, intensidade de turbulência e temperatura do ar.

CAPÍTULO 3 – AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO

3.1 Avaliação do conforto térmico segundo Norma ISO 7730 (1994) - Voto Médio Estimado.

Índice de avaliação de conforto térmico adotado pela norma ISO 7730 (1994), foi desenvolvido pelo professor dinamarquês Ole Fanger. Baseia-se na relação entre a resposta fisiológica do sistema termorregulador humano e a sensação térmica das pessoas dada na seguinte escala conforme tabela 3.1:

Tabela 3.1- Escala de sensação térmica

- 3	Muito frio
- 2	Frio
-1	Leve sensação de frio
0	Neutralidade térmica
+1	Leve sensação de calor
+2	Calor
+3	Muito quente

Essa escala é simétrica em relação ao ponto 0 (zero), que corresponde à neutralidade térmica e apresenta valores de 1 a 3 que podem ser positivos, correspondendo às sensações progressivas de calor, ou negativos, correspondendo às sensações progressivas de frio.

A relação encontrada por Fanger, foi obtida a partir da análise estatística das informações de várias experiências em câmaras climatizadas (Rohles et al, Mcnall et al), onde mais de 1300 pessoas foram expostas, de forma controlada, a diversas combinações das variáveis ambientais e pessoais de conforto. As variáveis eram mantidas constantes por 3 horas e a cada 30 minutos cada pessoa expressava através do voto escrito a sua sensação térmica na escala definida acima. Dessa forma, Fanger elaborou uma equação que permitia obter a sensação térmica para qualquer combinação

das variáveis ambientais e pessoais de conforto. Como as sensações foram obtidas através do voto, Fanger as denominou Voto Médio Estimado (VME), (Ruas,1991).

3.1.1 Determinação do VME

O índice VME é determinado quando se pode estimar o metabolismo, resistência térmica das vestimentas e os parâmetros ambientais: temperatura do ar, temperatura radiante media, velocidade relativa do ar e pressão parcial de vapor de água ou umidade relativa do ar.

O VME é determinado através da equação 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4.

$$\begin{aligned} \text{VME} = & (0,303e^{-0,036M} + 0,028)\{(M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} [5733 - 6,99(M - W) - P_a -] \\ & 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] - 1,17 \cdot 10^{-5} M(5867 - P_a) - 0,0014 M(34 - t_a) - \\ & 3,96 \cdot 10^{-8} f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_m + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a)\} \end{aligned} \quad 3.1$$

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028(M - W) - I_{cl} \{3,96 \times 10^{-8} f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)\} \quad 3.2$$

$$\begin{aligned} h_c = 2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} \text{ quando } \rightarrow 2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} > 12,1\sqrt{v_{ar}} \\ h_c = 12,1\sqrt{v_{ar}} \text{ quando } \rightarrow 2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} < 12,1\sqrt{v_{ar}} \end{aligned} \quad 3.3$$

$$\begin{aligned} f_{cl} = 1,00 + 1,290I_{cl} \text{ quando } \rightarrow I_{cl} \leq 0,078m^2 \cdot ^\circ C / W \\ f_{cl} = 1,00 + 0,645I_{cl} \text{ quando } \rightarrow I_{cl} > 0,078m^2 \cdot ^\circ C / W \end{aligned} \quad 3.4$$

Onde:

VME **Voto Médio Estimado;**

M **Energia do Metabolismo, (W/m²)**

W **Trabalho externo, igual à zero para a maioria das atividades (W/m²)**

I_{cl} **Isolamento térmico da vestimenta, (m²·°C/W)**

f_{cl} **Fator de área da vestimenta**

t_a **Temperatura do ar, (°C)**

t_{rm} **Temperatura radiante media, (°C)**

P_a **Pressão parcial de vapor, (Pa);**

- h_c **Coefficiente de transferência de calor por convecção, ($W/m^2 \cdot ^\circ C$);**
 t_{cl} **Temperatura superficial da vestimenta, ($^\circ C$)**

É recomendado o uso do VME unicamente quando este índice estiver entre -2 e +2 e o metabolismo esteja dentro do intervalos abaixo:

$M = 46 W/m^2$ até $232 W/m^2$ (0,8 met até 4 met).

$I_{cl} = 0 m^2 \cdot ^\circ C/W$ até $0,310 m^2 \cdot ^\circ C/W$ (0 clo até 2 clo)

$t_a = 10^\circ C$ a $30^\circ C$

$t_r = 10^\circ C$ a $40^\circ C$

$v_{ar} = 0 m/s$ a $1 m/s$

Nota : 1 unidade metabólica = 1 met = $58,2 W/m^2$

1 unidade de isolamento térmico = 1 clo = $0,155 m^2 \cdot ^\circ C/W$

3.1.2 Porcentagem Estimada de Insatisfeitos (PMI)

O Voto Médio Estimado (VME) representa a sensação térmica de um grupo de pessoas quando expostas a uma determinada combinação de variáveis pessoais e ambientais de conforto. Na pratica é impossível obter num ambiente uma combinação das variáveis de conforto que satisfaça plenamente a todos os integrantes, a norma ISO 7730 calcula o porcentagem de insatisfeitos (PMI) através da equação 3.5 ou pode ser estimada através da figura 3.1, que mostra a porcentagem de insatisfeitos para cada valor de VME.

$$PMI = 100 - 95 \times e^{-(0,03353 \times PMV^4 + 0,2179 \times PMV^2)} \quad 3.5$$

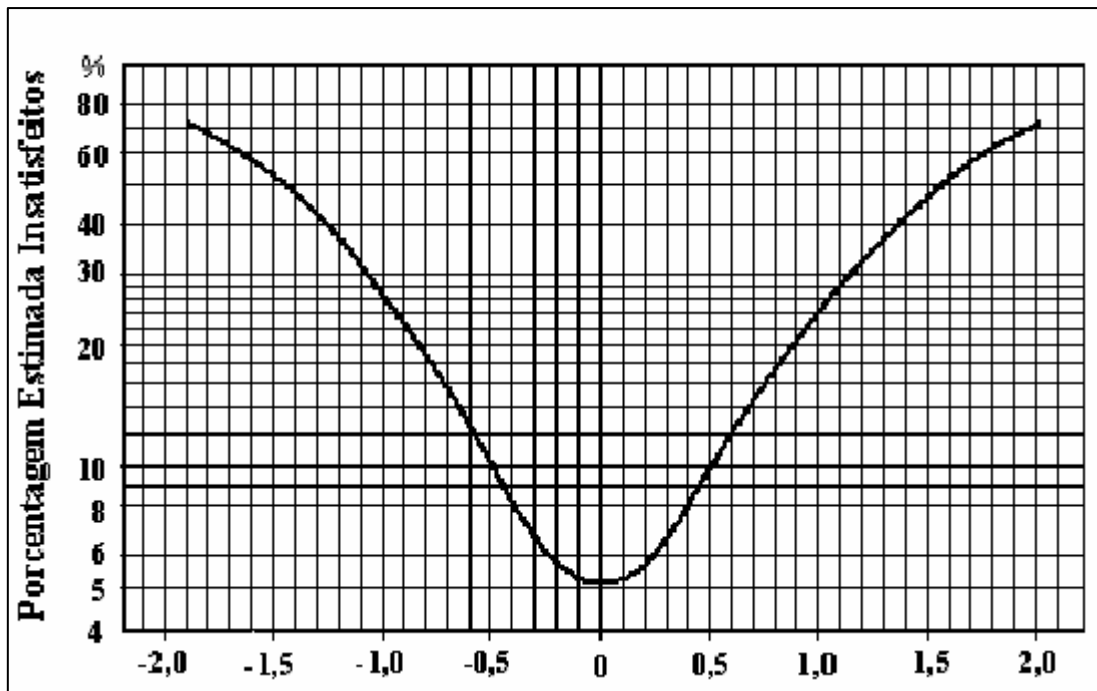


Figura 3.1 - Curva de percentual de insatisfeitos

Nesta curva nota-se que, para a condição de neutralidade térmica (VME=0), existem 5% de insatisfeitos com, sensações equivalentes de calor e de frio, (mesmo VME em valores absolutos).

3.1.3 Draught

Draught é a terminologia internacionalmente usada para o desconforto localizado causado pelo resfriamento devido o movimento do ar em velocidade e/ou temperatura inadequados. Esse é um dos mais habituais motivos de queixa nos ambientes ventilados mecanicamente. O draft pode ser calculado através da equação 3.6.

$$DR = (34 - t_a)(v - 0,05)^{0,62} (0,37.v.Tu + 3,14) \quad 3.6$$

Onde:

t_a = Temperatura local

v = velocidade do ar

Tu = Intensidade da turbulência local do ar

O movimento do ar num ambiente interfere nos processos de troca de calor do corpo com o meio por convecção e por evaporação. Essa influência pode ser benéfica, quando o aumento da velocidade do ar provoca uma desejável aceleração nos processos de perda de calor do corpo, ou prejudicial, quando a perda de calor é indesejável e provoca o resfriamento excessivo do corpo com um todo ou de uma de suas partes.

3.1.4 Parâmetros recomendados para as condições ambientais de conforto

A ISO 7730(1994) especifica que um ambiente é aceitável no que se refere ao conforto térmico se a porcentagem de pessoas insatisfeitas devido ao desconforto no corpo como um todo for menor que dez por cento (VME entre -0,5 e +0,5) e os insatisfeitos devido ao draught, desconforto causado pelo resfriamento localizado do corpo devido ao movimento do ar, forem menos que quinze por cento.

3.1.5 Taxa de metabolismo para diferentes atividades (M)

O metabolismo pode ser estimado usando-se a tabela 3.2, levando-se em consideração o tipo de trabalho realizado e a estação do ano. Quando as atividades realizadas possuem varias taxas de metabolismo recomenda-se efetuar a media ponderada para o período de 01 hora.

Tabela 3.2 - Taxas de metabolismo, Fonte: ISO 7730 (1994), p. 6.

Atividade	Metabolismo (W/m) (met)	
Reclinado	46	0,8
Sentado, relaxado	58	1,0
Atividade sedentária (escritório, residência, escola, laboratório).	70	1,2
Em pé, atividade leve (compras, laboratório, indústria leve).	93	1,6
Em pé, atividade média (trabalho com máquina, doméstico).	116	2,0
Andando em superfície nivelada		
2 km/h	110	1,9
3 km/h	140	2,4
4 km/h	165	2,8
5 km/h	200	3,4

3.1.6 Determinação do Isolamento térmico da vestimenta (I_{cl})

A ISO 7730(1994) usa o isolamento térmico básico para diferenciar as vestimentas; essa propriedade representa o isolamento da pele até a superfície da vestimenta, considerando o fato de que um corpo vestido tem área superficial maior que um corpo nu, mas desconsiderando a permeabilidade do tecido à umidade. Essa permeabilidade não tem grande influência para atividades sedentárias em ambientes com temperaturas próximas à de conforto, mas quando o nível de atividade e/ou a temperatura aumentam essa propriedade é relevante devido à maior necessidade do corpo perder calor por evaporação do suor.

O isolamento térmico de uma roupa é calculado pelo somatório dos isolamentos das peças que a compõem, conseguidos em tabelas como as da ISO 9920 (1995). O isolamento térmico da roupa é obtido através da tabela 3.3:

Tabela 3.3 - Isolamento térmico para peças de roupa. Fonte: ISO 7730 (1994).

Peças de roupa	Isolamento térmico (clo)
Roupa de baixo	
calcinha	0,03
ceroula longa	0,10
camiseta sem manga	0,04
camiseta com manga curta	0,09
camiseta com manga longa	0,12
calcinha e sutiã	0,03
Camisa-blusa	
mangas curtas	0,15
leve, mangas longas.	0,20
normal, mangas longas.	0,25
camisa de flanela, mangas longas.	0,30
blusa leve, mangas longas.	0,15
Calça	
leve	0,20
normal	0,25
flanela	0,28
shorts	0,06
Vestido-saia	
saia leve (verão)	0,15
saia pesada (inverno)	0,25
vestido leve, mangas curtas.	0,20
vestido de inverno, mangas longas.	0,40
Suéter	
colete sem manga	0,12

suéter leve	0,20
suéter	0,28
suéter pesado	0,35
Paletó	
leve, paletó de verão.	0,25
paletó	0,35
guarda-pó	0,30
Alto isolamento, fibra-pele.	
calça	0,35
paletó	0,40
colete	0,20
Roupa para ambientes externos	
casaco	0,60
jaqueta	0,55
casaco com capuz	0,70
macacão, fibra-pele.	0,55
Diversas	
meias	0,02
meias grossas, altura do tornozelo.	0,05
meias grossas, longas.	0,10
meias femininas de nylon	0,03
sapatos (sola fina)	0,02
sapatos (sola grossa)	0,04
botas	0,10
luvas	0,05

3.1.7 Determinação PMV para umidade relativa de 50%

A equação do voto médio estimado, a exemplo da equação de conforto, é complexa e de difícil manipulação; assim, para aplicação prática, Fanger preparou uma tabela que fornece o voto médio estimado para a combinação de 8 diferentes níveis de atividade, 7 possibilidades de vestimenta, 9 velocidades relativas do ar e 8 temperaturas do ambiente. Uma parte dessa tabela é mostrada na Tabela 3.4 a seguir:

Tabela 3.4 – Determinação do PMV para o met de 1.2 e 50% UR.

Fonte: ISO 7730 (1994).

Clothing			Operative temperature °C	Relative air velocity m/s							
clo	m ² ·°C/W			< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00
0	0	25	-1,33	-1,33	-1,59	-1,92					
		26	-0,83	-0,83	-1,11	-1,40					
		27	-0,33	-0,33	-0,63	-0,88					
		28	0,15	0,12	-0,14	-0,36					
		29	0,63	0,56	0,35	0,17					
		30	1,10	1,01	0,84	0,69					
		31	1,57	1,47	1,34	1,24					
		32	2,03	1,93	1,85	1,78					
0,25	0,039	23	-1,18	-1,18	-1,39	-1,61	-1,97	-2,25			
		24	-0,79	-0,79	-1,02	-1,22	-1,54	-1,80	-2,01		
		25	-0,42	-0,42	-0,64	-0,83	-1,11	-1,34	-1,54	-2,21	
		26	-0,04	-0,07	-0,27	-0,43	-0,68	-0,89	-1,06	-1,65	
		27	0,33	0,29	0,11	-0,03	-0,25	-0,43	-0,58	-1,09	
		28	0,71	0,64	0,49	0,37	0,18	0,03	-0,10	-0,54	
		29	1,07	0,99	0,87	0,77	0,61	0,49	0,39	0,03	
		30	1,43	1,35	1,25	1,17	1,05	0,95	0,87	0,58	
0,50	0,078	18	-2,01	-2,01	-2,17	-2,38	-2,70				
		20	-1,41	-1,41	-1,58	-1,76	-2,04	-2,25	-2,42		
		22	-0,79	-0,79	-0,97	-1,13	-1,36	-1,54	-1,69	-2,17	
		24	-0,17	-0,20	-0,36	-0,48	-0,68	-0,83	-0,95	-1,35	
		26	0,44	0,39	0,26	0,16	-0,01	-0,11	-0,21	-0,52	
		28	1,05	0,98	0,88	0,81	0,70	0,61	0,54	-0,31	
		30	1,64	1,57	1,51	1,46	1,39	1,33	1,29	1,14	
		32	2,25	2,20	2,17	2,15	2,11	2,09	2,07	1,99	
0,75	0,116	16	-1,77	-1,77	-1,91	-2,07	-2,31	-2,49			
		18	-1,27	-1,27	-1,42	-1,56	-1,77	-1,93	-2,05	-2,45	
		20	-0,77	-0,77	-0,92	-1,04	-1,23	-1,36	-1,47	-1,82	
		22	-0,25	-0,27	-0,40	-0,51	-0,66	-0,78	-0,87	-1,17	
		24	0,27	0,23	0,12	0,03	-0,10	-0,19	-0,27	-0,51	
		26	0,78	0,73	0,64	0,57	0,47	0,40	0,34	0,14	
		28	1,29	1,23	1,17	1,12	1,04	0,99	0,94	0,80	
		30	1,80	1,74	1,70	1,67	1,62	1,58	1,55	1,46	
1,00	0,155	16	-1,18	-1,18	-1,31	-1,43	-1,59	-1,72	-1,82	-2,12	
		18	-0,75	-0,75	-0,88	-0,98	-1,13	-1,24	-1,33	-1,59	
		20	-0,32	-0,33	-0,45	-0,54	-0,67	-0,76	-0,83	-1,07	
		22	0,13	0,10	0,00	-0,07	-0,18	-0,26	-0,32	-0,52	
		24	0,58	0,54	0,46	0,40	0,31	0,24	0,19	0,02	
		26	1,03	0,98	0,91	0,86	0,79	0,74	0,70	0,58	
		28	1,47	1,42	1,37	1,34	1,28	1,24	1,21	1,12	
		30	1,91	1,86	1,83	1,81	1,78	1,75	1,73	1,67	
1,50	0,233	12	-1,09	-1,09	-1,19	-1,27	-1,39	-1,48	-1,55	-1,75	
		14	-0,75	-0,75	-0,85	-0,93	-1,03	-1,11	-1,17	-1,35	
		16	-0,41	-0,42	-0,51	-0,58	-0,67	-0,74	-0,79	-0,96	
		18	-0,06	-0,09	-0,17	-0,22	-0,31	-0,37	-0,42	-0,56	
		20	0,28	0,25	0,18	0,13	0,05	0,00	-0,04	-0,16	
		22	0,63	0,60	0,54	0,50	0,44	0,39	0,36	0,25	
		24	0,99	0,95	0,91	0,87	0,82	0,78	0,76	0,67	
		26	1,35	1,31	1,27	1,24	1,20	1,18	1,15	1,08	
2,00	0,310	10	-0,77	-0,78	-0,86	-0,92	-1,01	-1,06	-1,11	-1,24	
		12	-0,49	-0,51	-0,58	-0,63	-0,71	-0,76	-0,80	-0,92	
		14	-0,21	-0,23	-0,29	-0,34	-0,41	-0,46	-0,49	-0,60	
		16	0,08	0,06	-0,00	-0,04	-0,10	-0,15	-0,18	-0,27	
		18	0,37	0,34	0,29	0,26	0,20	0,17	0,14	0,05	
		20	0,67	0,63	0,59	0,56	0,52	0,48	0,46	0,39	
		22	0,97	0,93	0,89	0,87	0,83	0,80	0,78	0,72	
		24	1,27	1,23	1,20	1,18	1,15	1,13	1,11	1,06	

3.2 Avaliação do conforto térmico segundo Norma NR 17 - Temperatura Efetiva

A norma regulamentadora de Ergonomia, NR 17, visa estabelecer parâmetros que permitam as adaptações das condições de trabalho às condições psicofisiológicas dos trabalhadores, de modo a proporcionar um máximo de conforto, segurança e desempenho eficiente. A NR 17 tem a sua existência jurídica assegurada, a nível de legislação ordinária através do artigos 198 e 199 da CLT e sua redação dada pela Portaria TEM 3.751, de 23 de novembro de 1990. A seguir será apresentada a transcrição na íntegra dos artigos 17.5 que estabelece os parâmetros para a condição de conforto térmico.

Condições ambientais de trabalho:

“17.5.1”. As condições ambientais de trabalho devem estar adequadas às características psicofisiológicas dos trabalhadores e à natureza do trabalho a ser executado.

17.5.2. Nos locais de trabalho onde são executadas atividades que exijam solicitação intelectual e atenção constante, tais como: salas de controle, laboratórios, escritórios, salas de desenvolvimento ou análise de projetos, dentre outros, são recomendadas as seguintes condições de conforto:

- b) índice de temperatura efetiva entre 20oC (vinte) e 23oC (vinte e três graus centígrados);
- c) velocidade do ar não superior a 0,75m/s;
- d) umidade relativa do ar não inferior a 40 (quarenta) por cento. “(NR17,1978)”.

3.2.1 Temperatura efetiva

Temperatura efetiva é aquela que produz sensação térmica equivalente a uma temperatura medida com o ar saturado (100% de umidade relativa) e praticamente parado. Ou seja, uma temperatura efetiva de 25°C é aquela que mede 25°C com umidade de 100% e o ar parado. Essa temperatura efetiva corresponde, então, a todas as demais combinações de temperaturas ambientais, umidades relativas do ar e de velocidade do vento, que produzem a mesma sensação térmica. (Iida,2005).

Na prática, é medida a temperatura de bulbo seco e a temperatura de bulbo úmido (envolve-se o bulbo do termômetro num chumaço de algodão molhado). Essas duas

temperaturas mais a velocidade do ar são plotados num diagrama para obter-se a temperatura efetiva.

A ASHVE, Associação Americana dos Engenheiros de Aquecimento e Ventilação publicou o trabalho de HOUGHTEN & YAGLOU (1923) que estabelecia "linhas de igual conforto", definidas depois como de temperatura efetiva, e determinava a "zona de conforto". Nasce assim o Índice de Temperatura Efetiva.

Esse índice foi desenvolvido num laboratório que continha duas câmaras climatizadas interligadas por uma porta, mas com controles independentes de temperatura e umidade.

Numa das câmaras, chamada de controle, a temperatura era fixada num determinado valor e a umidade relativa mantida em 100% enquanto que na outra, chamada de teste, as temperaturas de bulbo seco e úmido eram alteradas, enquanto homens despidos até a cintura andavam de uma câmara para outra. Em cada entrada na câmara de teste eles reportavam qual das câmaras estava mais quente. O ar nas duas câmaras foi mantido praticamente parado.

As temperaturas na câmara de teste eram alteradas progressivamente, desde uma sensação de leve frescor em relação à câmara de controle, até a de leve calor. O objetivo dos testes foi determinar as combinações das temperaturas de bulbo seco e de bulbo úmido que provocavam a mesma sensação térmica. Essas combinações originaram as chamadas linhas de igual conforto, que foram plotadas numa carta psicrométrica e chamadas de temperatura efetiva (ET). Essas linhas foram identificadas pelo correspondente valor da temperatura de bulbo seco no ponto do seu cruzamento com a linha de umidade relativa de 100 %.

Assim a sensação térmica de um ambiente com temperatura efetiva de 25°C corresponde à sensação de um ambiente com ar parado, umidade relativa de 100% e temperatura de 25°C. A ET é sempre numericamente inferior à temperatura de bulbo seco, exceto quando a umidade relativa for de 100%.

Foram utilizados diferentes tempos de exposição às condições de teste; dessa forma doze pessoas foram expostas por três horas, quatorze por duas horas e cem por

quinze minutos. Para se definir o intervalo de conforto foram incluídas as temperaturas efetivas em que pelo menos 50 % das pessoas sentiam-se confortáveis.

Experiências adicionais foram realizadas para incorporar os efeitos da velocidade do ar (HOUGHTEN & YAGLOU, 1924) e os da vestimenta (YAGLOU & MILLER, 1925). A vestimenta usada nos testes era composta de meias e roupa de baixo de algodão, camisa de algodão de manga longa com o colarinho abotoado, terno de lã com colete e sapatos.

O resultado dessas experiências foi um novo intervalo de conforto que indicou haver influência das estações do ano no conforto térmico das pessoas, devido às diferenças nas vestimentas utilizadas. Esse intervalo encontrado foi considerado válido para o período de inverno.

As temperaturas efetivas foram então representadas em dois ábacos, um válido para pessoas despidas da cintura para cima, chamado de escala básica, e outro para pessoas normalmente vestidas, chamado de escala normal. Nesses ábacos, as temperaturas efetivas eram obtidas em função da velocidade do ar e das temperaturas de bulbo seco e úmido.

Com a temperatura de bulbo seco (°C), bulbo úmido (°C), velocidade do ar (m/s) e o Ábaco de Temperatura Efetiva apresentado na Figura 3.2, obtém-se a temperatura efetiva, conforme demonstrado. A velocidade do ar é medida diretamente, a partir de um termo-anemômetro. Todos esses parâmetros foram medidos nos locais de exposição onde os funcionários permanecem expostos e a 1,5 metro do piso (aproximadamente, na altura do tórax), (Ruas,1999).

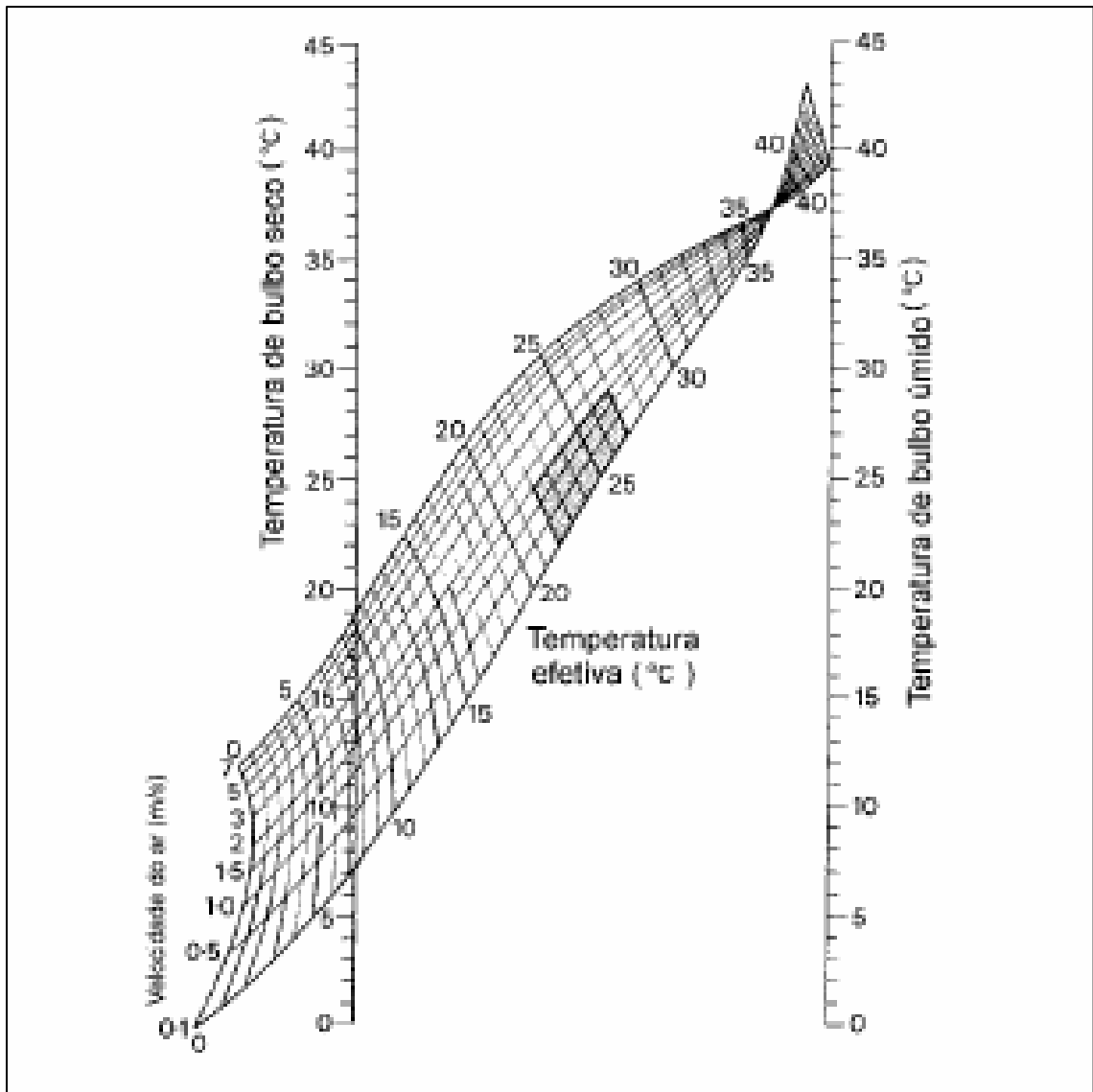


Figura 3.2 - Escala de temperatura efetiva normal (para pessoas normalmente vestidas). Fonte: Szokolay, (1980), p.278.

Observa-se que a temperatura efetiva, medida pelo método dos dois termômetros não considera o efeito da radiação. Em ambientes onde a radiação for intensa, será necessário substituir o termômetro seco por outro chamado de termômetro de globo. A temperatura efetiva assim obtida chama-se temperatura efetiva corrigida. (Lida, 2005)

CAPÍTULO 4 - METODOLOGIA EXPERIMENTAL

O método utilizado para comparar quantitativamente as normas, foi utilizar os dados ambientais de um exemplo da norma ISO 7730 e verificar se estes estão de acordo com as condições de conforto estabelecidos pela norma NR17. Os dados experimentais necessários ao desenvolvimento deste trabalho foram obtidos de um exemplo do anexo B da norma ISO 7730 de 1994. A tabela 4.1 apresenta os dados experimentais que serão utilizados para verificar o conforto térmico segundo a NR17 e comparar com os resultados do Exemplo da norma ISO.

Tabela 4.1- Dados experimentais para verificação do conforto térmico

EXAMPLE		
DATA ENTRY		
Clothing		(clo)? 1.0
Metabolic rate		(met)? 1.2
External work, normally around 0		(met)? 0
Air temperature		(C)? 19.0
Mean radiant temperature		(C)? 18.0
Relative air velocity		(m/s)? 0.1
ENTER EITHER RH OR WATER VAPOUR PRESSURE BUT NOT BOTH		
Relative humidity		(%)? 40
Water vapour pressure		(Pa)?
OUTPUT		
Predicted Mean Vote		(PMV) : -0.7
Predicted Percent of Dissatisfied		(PPD) : 15.3

A avaliação do conforto térmico segundo a NR 17 utiliza as seguintes variáveis ambientais: temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, velocidade do ar e umidade do ar. No exemplo acima não temos a temperatura de bulbo úmido, que será obtida através de uma carta psicrométrica, utilizando-se a umidade e a temperatura do ar. A figura 4.1 mostra a carta psicrométrica que foi utilizada para determinação da umidade relativa quando se possui a temperatura de bulbo seco e a temperatura de bulbo úmido.

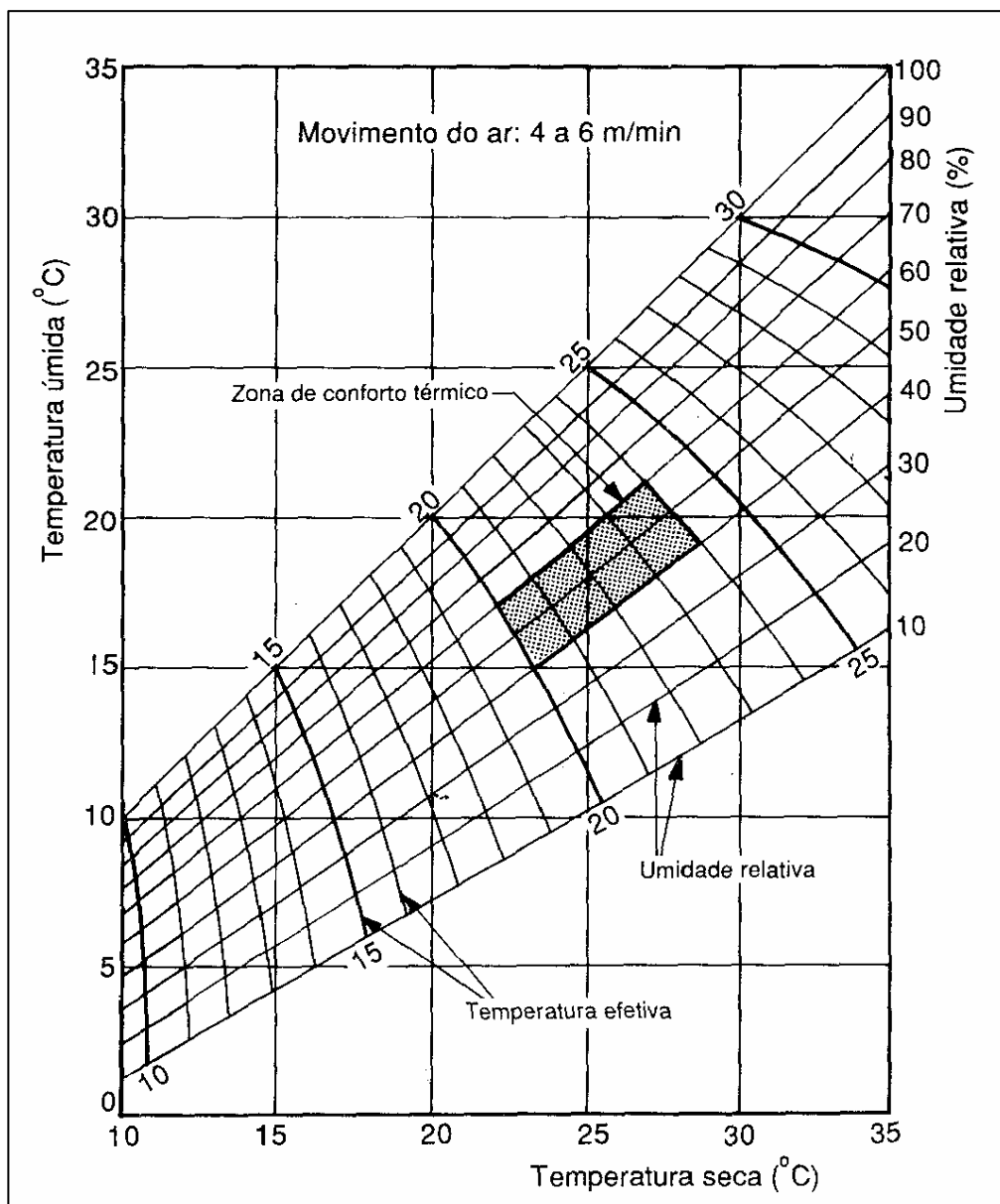


Figura 4.1 - Carta psicrômétrica

Com todas as variáveis ambientais necessárias disponíveis, a temperatura efetiva foi determinada através do ábaco da figura 4.2. No ábaco traçou-se uma linha ligando a t_{bu} a t_{bs} , na intersecção da reta com a linha da velocidade do ar de 0,1 m/s obtem-se o ponto correspondente à temperatura efetiva. Os outros parâmetros foram confrontados diretamente com os valores estabelecidos pela norma NR 17.

CAPÍTULO 5 – RESULTADOS

Os resultados obtidos aplicando-se a metodologia para determinação do conforto térmico segundo a NR17 e os resultados do exemplo da norma ISO 7730 estão apresentados na tabela 5.1.

Tabelas 5.1 – Variáveis ambientais e resultados da norma ISO 7730

Variáveis	NR 17					ISO 7730	
	Tbs (°C)	Tbu (°C)	Var (m/s)	TE (°C)	UR (%)	VME	PMI (%)
Dados do exemplo	19	12	0,10	16	40	-0,7	15,3

Onde:

TbS Temperatura de bulbo seco do ar (°C)

Tbu **Temperatura de bulbo úmido (°C),**

Var Velocidade relativa do ar (m/s)

TE Temperatura Efetiva

UR **Umidade Relativa do ar (%)**

VME **Voto Médio Estimado.**

PMI **Percentual médio de insatisfeito (%)**

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES

6.1 Norma Regulamentadora NR 17

Analisando-se os dados obtidos, é possível concluir segundo a NR 17, para cada parâmetro, o que segue:

a) Velocidade do ar

A velocidade do ar de 0,1 m/s esta de acordo com o valor recomendado pela NR-17 item 17.5.2 alínea c, ou seja, inferior a 0,75 m/s.

b) Umidade Relativa

A umidade relativa não esta aceitável segundo a NR-17 item 17.5.2 alínea d, ou seja, superiores a 40 %.

c) Temperatura Efetiva

Para o exemplo avaliado, considerou-se inaceitável a condição de exposição ao parâmetro temperatura efetiva, ou seja, índice de temperatura efetiva entre 20oC (vinte) e 23oC (vinte e três graus centígrados) conforme estabelecido na NR-17 alínea b.

6.2 Norma ISO 7730 de 1994

Analisando-se os dados obtidos, é possível concluir segundo a ISSO 7730, para cada parâmetro, o que segue:

- a) **O valor do VME (Voto Médio Estimado) de – 0,7, esta acima da neutralidade térmica e próximo de uma leve sensação de frio, conforme a tabela 6.1**

Tabela 6.1 Sensação térmica

-2	Frio
-1	Leve sensação de frio
0	Neutralidade térmica
+1	Leve sensação de calor
+2	Calor
+3	Muito quente

b) O PMI de 15,5 indica que o Percentual Médio de pessoas Insatisfeitas com o ambiente térmico.

6.3 Comparação entre as Normas

Após análise das metodologias utilizadas pelas normas conclui-se que:

a) A NR 17 não leva em consideração as variáveis pessoais para análise do conforto térmico. Como visto na literatura o isolamento térmico das vestimentas e o metabolismo, que depende da atividade física, são dois parâmetros fundamentais para a avaliação do conforto térmico.

b) Através da NR17 não é possível estimar o percentual de insatisfeitos.

6.4 Recomendações para trabalhos futuros

a) Acrescentar um questionário com as variáveis pessoais numa avaliação de conforto térmico segundo a NR17 para estimar o percentual de insatisfeitos

b) Medir as variáveis ambientais, elaborar um estudo estatístico com o questionário das variáveis pessoais, calcular o VME e o PMI através de um software disponível na literatura e comparar o resultado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Ministério do Trabalho. Portaria nº. 3214 de 8 de junho de 1978; Normas Regulamentadoras, Relativas a Segurança e Medicina do Trabalho, 5ª edição. São Paulo: Atlas, 2006. 672 p.

BREVIOLIERO, E; POSSEBON, J; SPINELLI, R. Higiene Ocupacional. Agentes Biológicos, Químicos e Físicos. São Paulo. Senac, 2006. 409 p.

COUTO, H. Araújo. Fisiologia Aplicada ao Trabalho. Belo Horizonte. Ergo, 1979.

IIDA, Itiro. Ergonomia: Projeto e Produção. São Paulo: E. Blucher, ;2005. 465p.

ISO 7726, Thermal Environments – Instruments and methods for measuring physical quantities, International Standard, 1985.

ISO 7730, Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort, International Standard, 1994.

ISO 8996, Ergonomics – Determination of metabolic heat production, International Standard, 1990.

ISO 9920, Ergonomics of the thermal environment – Estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble, International Standard, 1995.

MENDES, René. Patologia do trabalho. V.2. 2.ed. São Paulo : Atheneu, 2003 . 1924p.

MINISTERIO DA SAUDE. Protocolo de investigação, diagnóstico, tratamento e prevenção de lesões por esforços repetitivos /distúrbios. osteomusculares relacionados ao trabalho. Brasília, 2000.

RUAS, A. César. Avaliação de conforto térmico – Contribuição à aplicação prática das normas internacionais. Campinas, 1999 b. 71 p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Estadual de Campinas.

RUAS, A. César. Conforto térmico nos ambientes de trabalho. São Paulo: FUNDACENTRO, 1999 A 94 P.

RUAS, A. César. Sistematização da Avaliação de Conforto térmico em ambientes edificadas e sua aplicação num software. Campinas, 2002. 159 p. (Tese de Doutorado). Faculdade de engenharia Civil. Universidade Estadual de Campinas.