

**ELIZABETH SPENGLER COX DE MOURA LEITE**

***STRESS* TÉRMICO POR CALOR - ESTUDO COMPARATIVO  
DOS MÉTODOS E NORMAS DE QUANTIFICAÇÃO**

**Florianópolis – 2002**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ELIZABETH SPENGLER COX DE MOURA LEITE**

***STRESS* TÉRMICO POR CALOR - ESTUDO COMPARATIVO  
DOS MÉTODOS E NORMAS DE QUANTIFICAÇÃO**

Florianópolis

2002

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ELIZABETH SPENGLER COX DE MOURA LEITE**

***STRESS TÉRMICO POR CALOR - ESTUDO COMPARATIVO  
DOS MÉTODOS E NORMAS DE QUANTIFICAÇÃO***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil

Área de concentração: Construção Civil

Orientador: Roberto Lamberts

Florianópolis  
2002

**ELIZABETH SPENGLER COX DE MOURA LEITE**

**STRESS TÉRMICO POR CALOR - ESTUDO COMPARATIVO  
DOS MÉTODOS E NORMAS DE QUANTIFICAÇÃO**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

---

Prof. Dr. Jucilei Cordini  
Coordenador

Banca Examinadora:

---

Prof. Roberto Lamberts, PhD (UFSC)  
Orientador / Moderador

---

Prof. Dr. Antonio Augusto de Paula Xavier (CEFET-PR)

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Leila Gontijo (UFSC)

---

Prof. Dr. Eduardo Concepcion (UFSC)

A todos os trabalhadores que submetidos a condições inóspitas de trabalho, dão seu suor, sua saúde e suas vidas (infelizmente), para a produção de bens e desenvolvimento de nosso país.

## **AGRADECIMENTOS**

A Universidade Federal de Santa Catarina e a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul que em convênio tornou realidade a realização deste Mestrado.

Ao Prof. Roberto Lamberts, pela orientação e incentivo no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Antonio Augusto de Paula Xavier, pelo apoio e por disponibilizar seu tempo às minhas dúvidas, ajudando sobremaneira na materialização deste trabalho.

Ao colega Wagner Augusto Andreasi, pelo esforço em viabilizar a realização deste Mestrado em nosso Departamento.

A todos que direta e indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho, principalmente os colegas do Labeee – UFSC e do Departamento de Estruturas e Construção Civil - UFMS.

Ao meu esposo Reinaldo e aos meus filhos Rosamaria, Rubens e Renata, pela tolerância em relação às minhas ausências e a grande colaboração dentro do meu lar, que possibilitou dedicar-me inteiramente a realização deste trabalho.

LEITE, Elizabeth Spengler Cox de Moura

*Stress Térmico por Calor - Estudo Comparativo dos Métodos e Normas de Quantificação.*

Florianópolis, UFSC, 2002

V, 123p.

Dissertação: Mestre em Engenharia Civil (Construção Civil)

1. Estresse térmico 2. Normas de quantificação 3. *Stress* térmico 4. Calor

I. Universidade Federal de Santa Catarina

II. Título

## SUMÁRIO

1.	<b>INTRODUÇÃO</b>	1
1.1	JUSTIFICATIVA DO TEMA E MOTIVAÇÃO PARA ESTUDO	1
1.2	OBJETIVOS	3
I.	ESTRUTURA DO TRABALHO	3
2.	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b>	6
I.	INTRODUÇÃO	7
II.	EFEITOS DO CALOR	9
<b>III.</b>	<b>Efeitos Biológicos</b>	9
<b>IV.</b>	<b>Efeitos na Produtividade e na Incidência de Acidentes</b>	11
2.3	VARIÁVEIS ENVOLVIDAS	14
<b>2.3.1</b>	<b>Variáveis Ambientais</b>	15
<b>2.3.2</b>	<b>Variáveis Pessoais</b>	16
2.4	QUANTIFICAÇÃO DO AGENTE CALOR	21
2.5	NORMAS DE QUANTIFICAÇÃO DO AGENTE CALOR	23
2-	ISO 7243/1989 – AMBIENTES QUENTES – ESTIMATIVA DO STRESS POR CALOR EM TRABALHADORES, BASEADOS NO ÍNDICE – WBGT (Wet Bulb Globe Temperature)	24
3-	<b>Mensuração das Variáveis Ambientais</b>	25
4-	<b>Mensuração ou Estimativa da Taxa Metabólica</b>	27
5-	<b>Especificação das Medições</b>	30
6-	<b>Valores de Referência</b>	33
7-	NR-15 ANEXO 3 DA PORTARIA 3.214/78 DO MINISTÉRIO DO TRABALHO – LIMITES DE TOLERÂNCIA PARA EXPOSIÇÃO AO CALOR	36
8-	<b>Calor</b>	36

9-	ISO 7933/1989 – AMBIENTES QUENTES – DETERMINAÇÃO ANALÍTICA E INTERPRETAÇÃO DO <i>STRESS</i> TÉRMICO, UTILIZANDO O CÁLCULO DA TAXA REQUERIDA DE SUOR ( $SW_{req}$ )	38
<b>2.8.1</b>	<b><i>Princípios do Método de Avaliação</i></b>	39
<b>4.1.1</b>	<b><i>Princípio e Etapas de Cálculo das Variáveis do Balanço Térmico</i></b>	40
<b>b-</b>	<b><i>Cálculo da Taxa Requerida de Evaporação <math>E_{req}</math>, Fração Requerida de Pele Molhada <math>w_{req}</math>, e Taxa Requerida de Suor <math>SW_{req}</math></i></b>	43
<b>2.8.4</b>	<b><i>Interpretação dos Valores Calculados</i></b>	44
<b>2.8.5</b>	<b><i>Análise da Situação de Trabalho</i></b>	45
<b>1.3.1</b>	<b><i>Determinação do Tempo de Exposição Permitido (DLE em minutos)</i></b>	46
<b>1.3.2</b>	<b><i>Os Tempos Permissíveis e a Organização do Trabalho, Sob Stress Térmico</i></b>	47
<b>3.</b>	<b><i>MATERIAIS E MÉTODOS</i></b>	48
1.	<i>ANÁLISE COMPARATIVA DAS NORMAS</i>	48
<b>3.1.1</b>	<b><i>Variáveis de Influência – Ambientais e Pessoais</i></b>	48
<b>3.1.2</b>	<b><i>Ciclo de Trabalho/Descanso</i></b>	49
<b>3.1.3</b>	<b><i>Classificação do Metabolismo e os Valores dos Limites de Exposição</i></b>	50
1.	NR-15	51
2.	ISO 7243/89	56
3.	Metodologia Adotada para Estimativa do Metabolismo nos Cálculos Visando a Comparação das Normas	57
<b>3.1.4</b>	<b><i>Isolamento Térmico das Roupas</i></b>	57
4.	LEVANTAMENTO DE DADOS CADASTRADOS E MENSURAÇÕES DE VARIÁVEIS	58

3.2.1	<b>Equipamentos de Medição</b>	58
3.3	CÁLCULO DOS ÍNDICES E CICLO DE TRABALHO/DESCANSO	58
3.3.1	<b>Dados de Entrada</b>	58
3.3.1.1	Dados de Entrada Medidos, Estimados e Adotados	59
3.3.2.	<b>Cálculo do WBGT e IBUTG</b>	61
3.3.3.	<b>Identificação do Nível de Stress Térmico e dos Ciclos de Trabalho/Descanso Permissível Para WBGT e IBUTG</b>	61
3.3.4.	<b>Cálculo da Taxa Requerida de Suor e os Tempos de Exposição Permitidos</b>	65
1.	TRATAMENTO PARAMÉTRICO DOS DADOS	66
2.	METODOLOGIA DE APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	67
3.5.1	<b>Cálculo dos Índices Considerando os "Casos"</b>	67
1.	<b>Cálculo dos Índices Considerando os "Casos" e a Variação Paramétrica de Fatores Intervenientes Destacados</b>	69
3.5.2.1	Variação Paramétrica do Metabolismo	69
3.5.2.2	Variação Paramétrica da Umidade Relativa	69
3.5.2.3	Variação Paramétrica da Velocidade do Ar	70
1.3.1.1	Variação Paramétrica do Isolamento Térmico das Roupas	70
1.3.1.2	Apresentação e Análise dos Resultados	70
4.	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	71
I.	PRIMEIRO CONJUNTO DE DADOS – "1º CASO"	71
II.	<b>Entrada de dados Quantificados e Estimados e Resultados dos Cálculos dos Índices, DL1, DL2, IBUTG e WBGT</b>	71
III.	<b>Entrada de Dados Variando Parametricamente Cada um dos Dados Quantificados e Estimados, Apresentação e Análise dos Resultados dos Índices; DL1, DL2, IBUTG e WBGT</b>	73
4.1.2.1	Quanto a Variação Paramétrica da Umidade Relativa	74
4.1.2.2	Quanto a Variação Paramétrica do Metabolismo	76
4.1.2.3	Quanto a Variação Paramétrica da Velocidade do Ar	79
1.	Quanto a Variação Paramétrica do Isolamento Térmico	

das Roupas	81
2. CASOS QUE APRESENTARAM RESULTADOS MAIS SIGNIFICATIVOS QUANTO A VARIAÇÃO PARAMÉTRICA DA VELOCIDADE DO AR	84
2.1.1 <i>Apresentação do “2º Caso”</i>	84
2.1.2 <i>Apresentação do “9º Caso”</i>	87
2.1.3 <i>Apresentação do “11º Caso”</i>	90
2.1.4 <i>Conclusão Sobre a Variação Paramétrica da Velocidade do Ar</i>	92
2.2 CASOS QUE APRESENTARAM RESULTADOS MAIS SIGNIFICATIVOS QUANTO A VARIAÇÃO PARAMÉTRICA DO ISOLAMENTO TÉRMICO DAS ROUPAS	94
2.2.1 <i>Apresentação do “5º Caso”</i>	94
2.2.2 <i>Apresentação do “7º Caso”</i>	96
2.2.3 <i>Variação Paramétrica do Isolamento Térmico das Roupas “9º Caso”</i>	98
2.2.4 <i>Conclusão Sobre a Variação Paramétrica do Isolamento Térmico das Roupas</i>	99
2.3 CASOS QUE APRESENTARAM RESULTADOS MAIS SIGNIFICATIVOS QUANTO A VARIAÇÃO PARAMÉTRICA DA UMIDADE DO AR	100
2.3.1 <i>Variação Paramétrica Umidade Relativa – “5º Caso”</i>	100
2.3.2 <i>Variação Paramétrica da Umidade Relativa – “4º Caso”</i>	102
2.3.3 <i>Conclusão Sobre a Variação Paramétrica da Umidade Relativa</i>	105
2.4 CASOS QUE APRESENTARAM RESULTADOS MAIS SIGNIFICATIVOS QUANTO A VARIAÇÃO PARAMÉTRICA DA TAXA METABÓLICA	106
2.4.1 <i>Apresentação do “3º Caso”</i>	106
2.4.2 <i>Apresentação do “8º Caso”</i>	109
2.4.3 <i>Variação Paramétrica do Metabolismo – “9º Caso”</i>	111
2.4.4 <i>Conclusão Sobre a Variação Paramétrica do Metabolismo</i>	112
2.5 APRESENTAÇÃO GERAL DOS RESULTADOS OBTIDOS	113

5.	<b>CONCLUSÃO</b>	114
1.2	SOBRE OS DOIS MÉTODOS E SOBRE AS TRES NORMAS IDENTIFICANDO SUAS DIFERENÇAS E OS EFEITOS NOS RESULTADOS APRESENTADOS	116
1.2.1	<b><i>Método do Índice de Bulbo Úmido e Termômetro de Globo</i></b>	116
1.2.2	<b><i>Método do Balanço Térmico</i></b>	119
1.3	SUGESTÕES PARA MELHOR AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE LABOR EM ATIVIDADES COM EXPOSIÇÃO A <i>STRESS</i> TÉRMICO	121
1.4	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	122

#### ANEXO A

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

#### ANEXO B

PLANILHA DE ENTRADA DE DADOS POR “CASO” E SAÍDA DOS VALORES DOS ÍNDICES E TEMPO PERMISSÍVEL DA APLICAÇÃO DE CADA UMA DAS TRÊS NORMAS.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 2.1</b> – Fatores que afetam a troca de calor nos corpos vestidos	14
<b>Tabela 2.2</b> – Níveis aproximados para determinação da taxa metabólica	18
<b>Tabela 2.3</b> – Avaliação do ambiente térmico usando normas internacionais	22
<b>Tabela 2.4</b> – Classificação dos níveis da taxa de metabolismo	29
<b>Tabela 2.5</b> – Valores de referência, em função da atividade desempenhada	34
<b>Tabela 2.6</b> – Limites de Tolerância para exposição ao calor, em regime de trabalho intermitente com períodos de descanso no próprio local de prestação de serviço	37
<b>Tabela 2.7</b> – Taxas de Metabolismo por tipo de atividade	37
<b>Tabela 2.8</b> – Valores de referência para os diferentes critérios de <i>Stress</i> Térmico e disfunções	44
<b>Tabela 3.1</b> – Quadro comparativo das variáveis incidentes em cada um dos índices analisados (WBGT, IBUTG e Taxa Requerida de Suor)	49
<b>Tabela 3.2</b> – Taxas de Metabolismo por tipo de atividade na unidade kcal/h e transformadas para as unidades W/m <sup>2</sup> e W	51
<b>Tabela 3.3</b> – Limites de Tolerância adotados para cada regime de Trabalho / Descanso	54
<b>Tabela 3.4</b> – Quadro resumo das medições e valores adotados para as variações ambientais, atividade tipo, e variáveis pessoais	60
<b>Tabela 4.1</b> – “1º Caso” - Dados Quantificados, Estimados e Adotados	72
<b>Tabela 4.2</b> – “1º Caso” - Resultados “com carga solar”, UR 50% e p=101,3kPa	72
<b>Tabela 4.3</b> – “1º Caso” - Resultados da variação paramétrica da UR, para “com carga solar” e p = 101,3 kPa. O DL1 e DL2 foram calculados para ciclo “trabalho contínuo”	74
<b>Tabela 4.4</b> – “1º Caso” - Resultados da variação paramétrica do Metabolismo, para “com carga solar” e p = 101,3 kPa.	77
<b>Tabela 4.5</b> – “1º Caso” - Resultados da variação paramétrica do Isolamento Térmico das Roupas, para os dados da Tabela 4.1, “com carga solar” e p = 101,3 kPa.	79

<b>Tabela 4.6</b> – “1º Caso” - Cálculos de DL1 e DL2 referente aos mesmos dados da Tabela 4.5, considerando ciclos de Trabalho / Descanso.	80
<b>Tabela 4.7</b> – “1º Caso” - Resultado da variação paramétrica da velocidade do ar para os dados da Tabela 4.1, “com carga solar” e $p=101,3$ kPa.	82
<b>Tabela 4.8</b> – “2º Caso” - Dados Quantificados, Estimados e Adotados	84
<b>Tabela 4.9</b> – “2º Caso” - Resultados “com carga solar”, UR 50% e $p=101,3$ kPa	84
<b>Tabela 4.10</b> – “2º Caso” - Resultados dos cálculos de DL1 e DL2 na variação paramétrica da $v_a$ , para Metabolismo de Descanso, Metabolismo de Trabalho e ciclos de Trabalho/Descanso.	86
<b>Tabela 4.11</b> – “9º Caso” - Dados Quantificados, Estimados e Adotados	87
<b>Tabela 4.12</b> – “9º Caso” - Resultados “com carga solar”, UR 50% e $p=101,3$ kPa	88
<b>Tabela 4.13</b> – “9º Caso” - Resultados da variação paramétrica da $v_a$ , para os dados da Tabela 4.11, “com carga solar” e $p = 101,3$ kPa.	89
<b>Tabela 4.14</b> – “11º Caso” - Dados Quantificados, Estimados e Adotados	90
<b>Tabela 4.15</b> – “11º Caso” - Resultados “com carga solar”, UR 50% e $p=101,3$ kPa	90
<b>Tabela 4.16</b> – “11º Caso” - Resultados da variação paramétrica da $v_a$ , para os dados da Tabela 4.11, “com carga solar” e $p = 101,3$ kPa.	91
<b>Tabela 4.17</b> – “5º Caso” - Dados Quantificados, Estimados e Adotados	94
<b>Tabela 4.18</b> – “5º Caso” - Resultados “com carga solar”, UR 50% e $p=101,3$ kPa	94
<b>Tabela 4.19</b> – “5º Caso” – Cálculos do Balanço Térmico para Metabolismo de Descanso, Metabolismo de Trabalho e para ciclos de Trabalho / Descanso na variação paramétrica do Isolamento Térmico das Roupas.	95
<b>Tabela 4.20</b> – “7º Caso” - Dados Quantificados, Estimados e Adotados	96
<b>Tabela 4.21</b> – “7º Caso” - Resultados “com carga solar”, UR 50% e $p=101,3$ kPa	97
<b>Tabela 4.22</b> – “7º Caso” – Cálculos do Balanço Térmico para Metabolismo de Descanso, Metabolismo de Trabalho e para ciclos de Trabalho / Descanso	98
<b>Tabela 4.23</b> – “9º Caso” – Cálculos do Balanço Térmico na variação paramétrica do Isolamento Térmico das Roupas para Metabolismo de Descanso, Metabolismo de Trabalho e para ciclos de Trabalho / Descanso	99
<b>Tabela 4.24</b> – “5º Caso” - Resultados da variação paramétrica da UR, para “com carga solar” e $p = 101,3$ kPa. O DL1 e DL2 foram calculados para ciclo “trabalho contínuo”	101
<b>Tabela 4.25</b> – “5º Caso” – Cálculos do Balanço Térmico na variação paramétrica da UR para Metabolismo de Descanso, Metabolismo de Trabalho e para ciclos	

de Trabalho / Descanso	102
<b>Tabela 4.26</b> – “4º Caso” - Dados Quantificados, Estimados e Adotados	102
<b>Tabela 4.27</b> – “4º Caso” - Resultados “com carga solar”, UR 50% e p=101,3kPa	103
<b>Tabela 4.28</b> – “4º Caso” - Resultados da variação paramétrica da UR, para “com carga solar” e p = 101,3 kPa. O DL1 e DL2 foram calculados para ciclo “trabalho contínuo”	104
<b>Tabela 4.29</b> – “4º Caso” – Cálculos do Balanço Térmico na variação paramétrica da Umidade Relativa para Metabolismo de Descanso, Metabolismo de Trabalho e para ciclos de Trabalho / Descanso	104
<b>Tabela 4.30</b> – “3º Caso” - Dados Quantificados, Estimados e Adotados	106
<b>Tabela 4.31</b> – “3º Caso” - Resultados “com carga solar”, UR 50% e p=101,3kPa	106
<b>Tabela 4.32</b> – “3º Caso” - Resultados da variação paramétrica do Metabolismo, para “com carga solar” e p = 101,3 kPa. O DL1 e DL2 foram calculados para ciclo “trabalho contínuo”	107
<b>Tabela 4.33</b> – “3º Caso” – Cálculos do Balanço Térmico na variação paramétrica Do Metabolismo, para Metabolismo de Descanso, Metabolismo de Trabalho e para ciclos de Trabalho / Descanso	108
<b>Tabela 4.34</b> – “8º Caso” - Dados Quantificados, Estimados e Adotados	109
<b>Tabela 4.35</b> – “8º Caso” - Resultados “com carga solar”, UR 50% e p=101,3kPa	109
<b>Tabela 4.36</b> – “8º Caso” - Resultados da variação paramétrica do Metabolismo, para “com carga solar” e p = 101,3 kPa. O DL1 e DL2 foram calculados para ciclo “trabalho contínuo”	110
<b>Tabela 4.37</b> – “8º Caso” – Cálculos do Balanço Térmico na variação paramétrica do Metabolismo, para Metabolismo de Descanso, Metabolismo de Trabalho e para ciclos de Trabalho / Descanso	110
<b>Tabela 4.38</b> – “9º Caso” - Resultados da variação paramétrica do Metabolismo, para “com carga solar” e p = 101,3 kPa. O DL1 e DL2 foram calculados para ciclo “trabalho contínuo”	111
<b>Tabela 4.39</b> – “9º Caso” – Cálculos do Balanço Térmico na variação paramétrica do Metabolismo, para Metabolismo de Descanso, Metabolismo de Trabalho e para ciclos de Trabalho / Descanso	112
<b>Tabela 4.40</b> – Quadro resumo dos resultados de tempos permissíveis dos onze “Casos” resultantes das aplicações das normas ISO 7933/89, NR-15/78 e ISO 7243/89.	113

## LISTAS DE ABREVIações

ABNT = Associação Brasileira de Normas Técnicas

**ACGIH = American Conference of Governmental Industrial Hygienists**

ASHRAE = American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

$f_{cl}$  - fator de área superficial do corpo vestido / área superficial do corpo nu.

IBUTG = WBGT = Índice de Bulbo Úmido - Termômetro de Globo

$I_{cl}$  - resistência térmica da vestimenta ( $m^2 \cdot ^\circ C / W$ ) 1 clo = 0,155  $m^2 \cdot ^\circ C / W$

ISO = International Organization for Standardization

$M$  = Taxa Metabólica ( $W / m^2$ )      1 kcal/h = 0,65  $W/m^2$       met = 58,2  $W/m^2$

**NR = Norma Regulamentadora**

$t_a = t_{bs}$  = Temperatura do ar ( $^\circ C$ )

$t_{bu}$  = Temperatura de Bulbo Úmido Natural

$t_g$  = Temperatura de Globo

TRM ,  $t_r$  ( $^\circ C$ ),  $T_r$  (kelvin) = Temperatura Radiante Média

$v, v_a$  = velocidade do ar (m/s)

$W$  = Trabalho Mecânico Efetivo (watts /  $m^2$ )

ET = temperatura Efetiva

$^\circ F$  = grau Farenheit

$^\circ C$  = grau Celsius

$^\circ C = (^\circ F - 32) / 1,8$

ADE = Ação Dinâmica Específica

$SW_{req}$  = Taxa Requerida de Suor

UR = Umidade Relativa

## RESUMO

No Brasil o *stress* térmico por calor é tratado na legislação trabalhista como um agente que, se classificado como insalubre, corresponde a um adicional no *holerit* do trabalhador. Esta legislação, NR-15, está em vigor com texto original desde 1978. No Brasil, não existe outra norma de quantificação do *stress* térmico calor, e apesar da NR-15 ter finalidade de classificação quanto a insalubridade, constantemente, é utilizada para controle desse agente nos ambientes laborais, objetivando a ausência de prejuízos a saúde do trabalhador. A NR-15/78 é baseada no método do Índice de Bulbo Úmido e Termômetro de Globo, que leva em consideração a temperatura de bulbo seco, a temperatura de bulbo úmido, e a temperatura de globo, assim como o metabolismo da atividade. A nível internacional a norma ISO 7243/89 também é baseada neste mesmo método, porém possui muitas particularidades diferentes da NR-15/78. A norma internacional ISO 7933/89 é baseada no método do Balanço Térmico – Taxa Requerida de Suor entre o homem e o ambiente com presença de fonte de calor, que leva em consideração os parâmetros já citados e outros complementares.

A metodologia contemplou a análise comparativa, textual e de aplicabilidade das normas, com estudo de casos versando sobre os tempos limites de exposição.

Conclui-se que, a aplicação da NR-15/78 é mais conservadora, em muitos casos, porém não pode ser considerada como uma norma técnica fronteira entre o permissível e o danoso, isso porque, o método não permite um diagnóstico dos tipos de transferência de calor que ocorrem em cada situação e não indica em que parâmetros devem ser realizados as ações para a melhoria das condições de trabalho. Recomenda-se, que a NR-15/78 seja utilizada como dispositivo legal pertinente e a ISO 7933/89 utilizada como norma técnica para o diagnóstico e controle das condições e processo laboral em presença de *stress* térmico.

## ABSTRACT

*In Brazil thermal stress, due to heat, is dealt with in the labor legislation as a condition that, when classified as unhealthy, results in additional figures on the worker's paycheck. This legislation, NR-15, has been in force with its original text since 1978. In Brazil there is no other norm for quantification of heat stress, and in spite of NR-15 having been created with the intention of being used for purposes of classification of insalubrity levels, it is constantly referred to concerning heat control in the workplace, seeking a healthier work environment. NR-15/78 is based on the method of the Natural Wet Bulb (NWB) temperature and Globe temperature, which considers the temperature of dry bulb, the temperature of humid bulb, and the globe temperature, as well as the metabolism of the activity. At international levels the ISO 7243/89 norm is also based on this same method, however it possesses many particularities which differ from NR-15/78. The international ISO 7933/89 standard is based on the method of heat Balance Amount of sweat needed from the worker in the environment with presence of a source of heat, that takes into consideration the afore mentioned parameters and other complements.*

*The methodology contemplated the comparative, textual and applicability analysis of the norms, with case studies of the length of heat exposition.*

The conclusion is that the application of NR-15/78 is the most conservative, in many cases, however it cannot be considered as a frontier technical standard between what is permissible and what is unhealthy, because the method does not allow for a diagnosis of the types of heat transfer that happen in each situation and it does not indicate under which parameters the actions for the improvement of the working conditions should be held. It is recommended, that NR-15/78 be used as pertinent legal device and ISO 7933/89 be used as technical standard for the diagnosis and control of the work conditions and processes in the presence of heat stress.

## **1. INTRODUÇÃO**

A atividade laborativa nasceu com o homem e foi evoluindo, do pastoreio, passando pelo agrário, até atingir o período do artesanato, modificando até constituir o período industrial.

O homem, desenvolvendo suas atividades descobriu o fogo e a sua grande importância como processo para aquecer, cozer, fundir, enfim, transformar vegetais, metais e materiais diversos, necessários para a produção de bens.

O calor é uma das formas de energia há mais tempo utilizada pela humanidade.

Na época da Revolução Industrial, as atividades foram fomentadas pelo comércio, incentivando o surgimento de galpões e máquinas improvisadas. Ao longo deste período, muitos trabalhadores (operadores destas máquinas) foram suas vítimas no que se refere à ocorrência de acidentes e de doenças ocupacionais.

Muitos destes acidentes e ocorrências de doenças ocupacionais estavam ligadas a existências de vários agentes, nos processos e ambientes laborais tais como: ruídos excessivos, calor e frio fatigantes, radiações ionizantes e não ionizantes e pressões anormais descontroladas, agentes químicos diversos, assim como agentes biológicos em condições prejudiciais ao ser humano.

Destes agentes, iremos aqui, focar o agente físico calor.

### **1.1 JUSTIFICATIVA DO TEMA E MOTIVAÇÃO PARA O ESTUDO**

Quando se fala em sobrecarga térmica, há a tendência normal de se associar a presença desse agente agressivo às operações que desenvolvem temperaturas muito elevadas, tais como aquelas provenientes dos altos fornos das usinas siderúrgicas ou das indústrias vidreiras. No entanto, há muitos

outros ramos de atividade que também estão sujeitos a temperaturas elevadas, como por exemplo:

- Fabricação de produtos de borracha,
- Fabricação de artefatos em cerâmica,
- Indústria de alimentos,
- Lavanderia e Cozinha Industrial, e
- Trabalhos de Engenharia e Rurais a céu aberto.

Todo processo industrial, que utiliza fonte de calor pode causar efeitos nocivos ao homem trabalhador, relacionado a sobrecarga térmica, propiciando no mínimo sensação de desconforto.

A variação da temperatura corporal provoca, o decréscimo do rendimento físico e intelectual do trabalhador, diminuindo assim a sua produtividade e aumentando consideravelmente, a tendência a acidentes, que pode ser exemplificados, inclusive pela manifestação de doenças correlacionadas à sobrecarga térmica.

No sentido de melhor monitorar o agente físico calor, nos ambientes laborais, se faz necessário a quantificação desse agente, e a partir desses valores realizar ações corretivas no sentido de minimizar, até eliminar os efeitos nocivos ao homem.

Existe no Brasil, a Lei nº 6.514 de 22 de dezembro de 1977 que dedica na Seção VIII, três artigos específicos sobre Conforto Térmico e seu estabelecimento nos ambientes de trabalho. Esta Lei, na Seção XIII, dedica vários artigos sobre insalubridade e estabelece o adicional de insalubridade quando existir no ambiente de trabalho, agente de risco em condições acima de limites de tolerância. A Portaria 3.214 de 08 de junho de 1978, na Norma Regulamentadora - NR-15 estabeleceu o método de quantificação do agente calor baseado no método do Índice de Bulbo Úmido e Termômetro de Globo - IBUTG e regulamentou as faixas de limites de tolerância por tipos de ciclos de Trabalho / Descanso. Quando o agente calor existe no ambiente/processo de trabalho, em valores superiores aos limites de tolerância / regime de trabalho previamente estabelecido pela legislação, é permitido a atividade, a título do

adicional dito adicional de insalubridade, que é subscrito no *holerit* do trabalhador.

A nível internacional existem muitas normas técnicas sobre quantificação de calor e estabelecimentos de padrões de limites de exposição / regime de trabalho, das quais destacamos a ISO 7243/89 e a ISO 7933/89.

O enfoque do presente trabalho está embasado na procura de resposta às seguintes incógnitas:

- Os parâmetros (temperatura de globo, temperatura de bulbo seco e temperatura de bulbo úmido) utilizados para o índice legal IBUTG representam significativamente, todas as trocas de calor existentes no corpo humano, podendo representar um índice cientificamente seguro de fronteira entre o permissível e o danoso?
- A análise comparativa da aplicação das normas referentes aos índices IBUTG, WBGT e SWreq e dos valores de tolerância / regime de trabalho indicam homogeneidade nos resultados?

## 1.2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é realizar um estudo comparativo entre três normas de quantificação do agente calor. Duas normas (internacional ISO 7243/89 e a nacional NR-15/78) baseadas no método do índice de Bulbo Úmido e Termômetro de Globo e uma norma internacional (ISO 7933/89) baseada no método do Balanço Térmico.

## 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Além do capítulo Introdução, o presente trabalho apresenta mais quatro capítulos e três anexos.

No segundo capítulo, a revisão bibliográfica é apresentada ressaltando os principais estudos e pesquisas que corroboram com o objeto deste trabalho.

São enfocados textos de conceituação sobre os vários parâmetros e índices existentes, suas correlações, além de definir e apresentar alguns valores tabelados e usualmente utilizados. Apresentam, também, o conteúdo técnico das três normas enfocadas neste trabalho e a descrição do instrumental necessário para as medições do agente calor.

No terceiro capítulo, a metodologia dos trabalhos é apresentada, subdividindo-a em três etapas: o levantamento dos dados em campo, o tratamento destes dados e obtenção dos índices e seus respectivos significados quanto à caracterização da sobrecarga térmica e a metodologia de apresentação dos resultados.

No quarto capítulo são realizadas a interpretação e análise dos resultados obtidos, onde se destaca entre outros:

- A análise do comportamento de alguns parâmetros mais significativos frente aos demais, no que se refere a influência nos resultados dos índices obtidos pela aplicação dos dois métodos de cálculo e das condições de *stress*, representados pelas três normas objeto deste trabalho.
- Resumo e análise geral dos resultados.

No capítulo quinto é apresentado uma conclusão sobre os resultados e a análise crítica sobre a justificativa das diferenças entre os métodos de análise das condições de trabalho em *stress* térmico e as diferenças apresentadas entre índices do mesmo método, ou seja:

- A apresentação dos índices e dos tempos permissíveis por jornada resultantes da aplicação das três normas.
- A análise comparativa da aplicação dos métodos descritos pelas normas NR-15/78 e ISO 7243/89, respectivamente; pelos índices IBUTG e WBGT e seus limites de tolerância / regime de trabalho.
- A análise comparativa entre os dois métodos; avaliação por Índice de Bulbo Úmido e Termômetro de Globo e o método do Balanço Térmico.

Neste capítulo são apresentadas algumas sugestões para uniformidade entre as normas e considerações técnicas sobre parâmetros mais relevantes nas

trocas de calor em ambientes laborais, com fonte de calor artificial e/ou natural. Ainda neste capítulo são sugeridos temas para trabalhos futuros.

No anexo A, referências bibliográficas.

No anexo B, planilha de entrada de dados por “Caso” e saída dos valores dos índices e tempo permissível da aplicação de cada uma das três normas.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

Stress é uma palavra de origem inglesa, que é traduzida para o português, representada pela palavra estresse.

*“Estresse - Conjunto de reações do organismo a agressões de ordem física, psíquica, infectuosa, e outras, capazes de perturbar-lhe a homeostase”.*

*“Homeostase - Propriedade auto-reguladora de um sistema ou organismo que permite manter o estado de equilíbrio de suas variáveis essenciais ou de seu meio ambiente”.*

*“O calor é a sensação que se experimenta, em ambiente aquecido (pelo sol ou artificialmente), ou junto de um objeto quente e/ou que aquece. É a qualidade ou estado de quente; quentura. Forma de energia que se transfere de um sistema para outro em virtude duma diferença de temperatura existente entre os dois, e que se distingue das outras formas de energia porque, como o trabalho, só se manifesta num processo de transformação.”*

Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa (1993).

Logo o stress térmico por calor, representa uma situação de calor extremo que agride o organismo, submetendo-o a mecanismos fatigantes de equilíbrio térmico.

Conforme Wasterlund (1998), o stress térmico por calor pode ser definido como a situação onde o corpo experimenta problemas de dissipação do excesso de calor para o ambiente.

A sobrecarga térmica, quanto ao objeto deste trabalho – comparação de normas de quantificação e determinação de ciclos de exposição permissíveis, não tem sido muito explorada através de pesquisas.

A grande maioria dos artigos e pesquisas estão centrados no objetivo de melhor se compreender como a incidência do calor se processa no corpo humano, quais os parâmetros de troca de calor envolvidos, quais os índices utilizados e os mais relevantes, e quais os efeitos sobre a produtividade e a saúde do trabalhador exposto.

Desses trabalhos destacamos os que relacionam o meio ambiente do trabalho e a produtividade e as condições de *Stress* térmico com a incidência de ocorrência de acidentes do trabalho.

## 2.1 INTRODUÇÃO

Com relação a Produtividade, é inquestionável que o impacto das condições do ambiente influi na produtividade humana. Em atividades com exposição ao *stress* térmico verifica-se que a produtividade aumenta com a diminuição até a eliminação do *stress* térmico.

O interesse por produtividade tem sido acelerado, em nossos tempos, devido a maior competitividade entre as empresas e a busca de maior e melhor desempenho, no sentido de produzir mais com menos custo, maior qualidade e rentabilidade.

Goldman (1994) realizou estudos sobre a influência do conforto na produtividade e concluiu que a tarefas exigindo menos do que 20% da capacidade física do trabalhador são consideradas confortáveis. Mesmo assim, a produtividade pode ser otimizada quando a exigência é de 20% a 40% da capacidade. Quando o trabalho exige mais que 40% da capacidade física do

trabalhador, principalmente em atividades de metabolismo médio a pesado, o desempenho é decrescente, quanto maior forem os valores dos indicadores das condições térmicas ambientais.

Kroner (1994) realizou estudo sobre a relação do controle do meio ambiente e o desempenho humano. Através de estações de trabalho com controle individual das condições ambientais, a pesquisa concluiu que mudanças no ambiente, incluindo a arquitetura interna, aumenta a produtividade estimada em até 16%. Se mudança dessa natureza reflete psicologicamente, aumentando a produtividade, mudança tornando o ambiente mais confortável (quanto ao *stress* térmico) influi positivamente na produtividade desgastando fisicamente menos o trabalhador. Também neste sentido, Rohles (1994), realizou estudo sobre a influência do conforto térmico em relação à produtividade e concluiu que a temperatura é um fator importante.

Quando a ocorrência de acidentes, Lorsch (1994) faz referência ao estudo realizado por Bedford (1949), que relaciona a influência do calor no ambiente laboral e a frequência de ocorrência de acidentes de trabalho. Conclui o estudo, que em ambientes quentes, principalmente nos meses de maior incidência dos raios solares, elevando a temperatura ambiente, o número de acidentes é maior. O estudo não avalia fontes internas de calor, apenas estuda a temperatura ambiente proveniente do sol em ambientes industriais fechados. No caso de condições de *stress* térmico, com incremento de temperatura pela geração de calor, pelo funcionamento de máquinas e execução de processos industriais, essa elevação de temperatura é ainda maior e variável ao longo do dia, conforme as condições de isolamento térmico, tendendo a um número ainda maior de acidentes.

Quanto a aclimação, Bennett (1977) realizou estudo sobre a tolerância do corpo humano vestido à exposição de temperaturas extremas, como função do tempo, e concluiu que o homem possui capacidade de aclimação progressiva ao calor. Esta exposição progressiva, em tempos cada vez maiores, vai

aclimatando o organismo do trabalhador e estabelecendo novos limites pessoais de tempo de exposição sem sobrecarga orgânica. A aclimação é prevista na ISO 7243/89.

## 2.2 EFEITOS DO CALOR

O clima influencia o homem de várias maneiras, como também, o homem interfere no clima através de suas atividades.

Olgay (1973) concluiu que os efeitos negativos do calor no homem podem ser descritos através do *Stress*, dor, doença e morte, e os positivos definindo as condições na qual a produtividade, a saúde, a energia física e mental do homem são eficientes. A inter-relação destas situações estabelece as condições térmicas ideais.

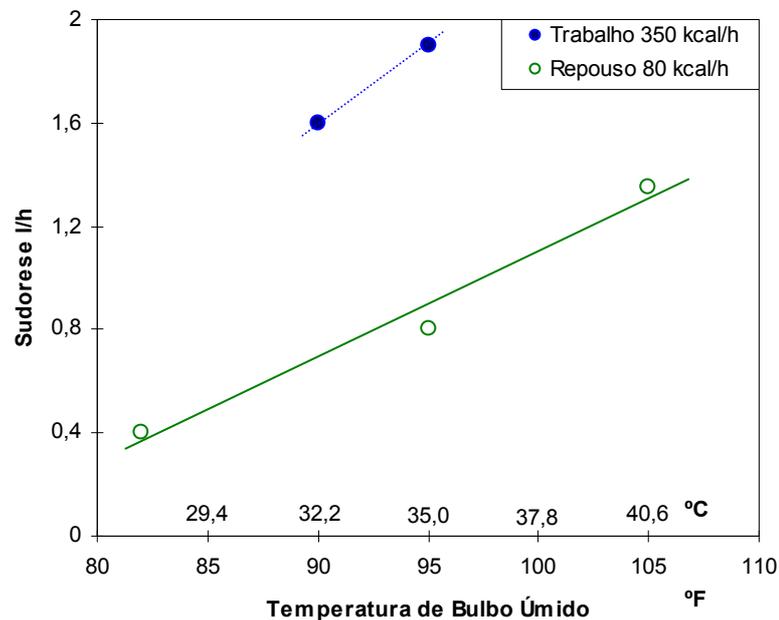
### **2.2.1. Efeitos Biológicos**

Torreira (1999) define que *os efeitos que o calor pode produzir sobre o corpo, podem ser classificados em doenças provenientes da sua exposição e queimaduras.*

Quanto às doenças, estas tem origem na excessiva exposição ao calor, da qual podem advir vários tipos de patologias, entre as quais: a desidratação, a hipertermia, inflamação das glândulas sudoríparas, modificação comportamental e outras tais como: insolação ou choque térmico, hiperpirexia, síncope, exaustão, câimbras, erupção, fadiga, tensão (*Stress*).

Em poucas horas de atividade árdua, exposta ao calor, a perda de água no organismo humano, ou desidratação, pode alcançar proporções que impeçam a dissipação de calor e comprometam profundamente a função cardiovascular e a capacidade de trabalho. Para uma pessoa aclimatada, a perda de água pela sudorese, pode alcançar um máximo de 3 litros por hora durante um trabalho intenso, e uma média de quase 12 litros diários – L eithed (1964).

A perda de líquido é particularmente visível, durante atividade em ambiente quente-úmido. Nessa situação, a eficácia do esfriamento pela evaporação é dificultada pela alta pressão de vapor do ar ambiente. Como está ilustrado na Figura 2.1, existe uma relação linear entre a intensidade da transpiração, tanto em repouso quanto durante a atividade, e o conteúdo em umidade do ar – Lampietro (1971).



**Figura 2.1** - Efeito da umidade (temperatura de Bulbo Úmido sobre a taxa de suor em repouso e durante o trabalho no calor).

A figura 2.1 representa a sudorese de metabolismo de trabalho a 350 kcal/h (227,50 W/m<sup>2</sup>), com valor crescente de 1,6 a 1,9 litros/h quando o termômetro de bulbo úmido apresenta temperatura de 32,2 a 35,0°C.

O *déficit* na água corporal de cerca de 1,5 litro, pode ser tolerada pelos adultos, sem significativa resposta fisiológica anormal. Porém, uma perda líquida equivalente a apenas 1% do peso corporal está associada a um aumento significativo na temperatura retal, em comparação com a mesma atividade realizada com uma hidratação normal – Claremont, et al (1975).

### **2.2.2. Efeitos na Produtividade e na Incidência de Acidentes**

Além dos efeitos à saúde, o *stress* térmico por calor, causa fadiga, afeta o desempenho, a vigilância e a produtividade – Wasterlund (1998).

As pesquisas sobre os efeitos climáticos no desempenho humano têm sido realizadas, há apenas 70 anos, que é considerado um período curto na história da Ciência - Lorsch (1994). Esses primeiros estudos na categoria “*Stress* térmico” efetuado em regiões de clima temperado, foram estudos de campo, normalmente liderados por organizações industriais para determinar os efeitos de condições severas de temperatura e umidade nos trabalhadores. Uma breve revisão de Auliciems (1973) oferece uma amostra desses estudos:

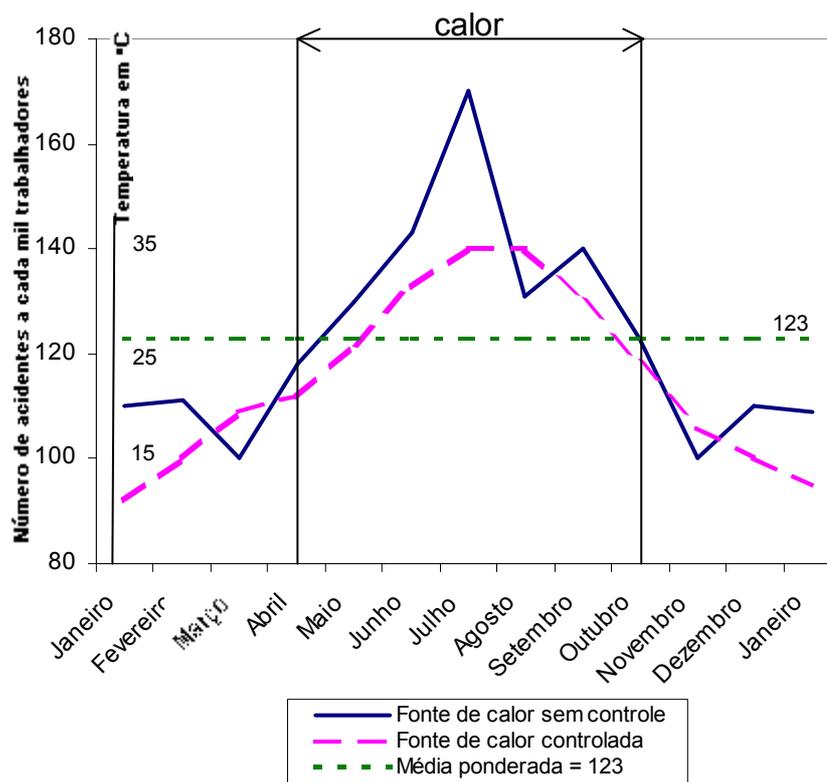
“As taxas de acidente em fábricas de munição aumentaram 30% em temperaturas acima de 23,8°C (75°F) e abaixo de 10°C (50°F) ... em minas de carvão, as ausências devido a acidentes mostraram uma incidência substancialmente alta em filões quentes... quando a temperatura efetiva (ET) é de 27,8°C (82°F), menos tubos de carvão foram produzidos e foram dadas mais pausas para descanso que a 18,8°C (66°F). Em produção de placas de vidro e em indústrias metalúrgicas... mostraram uma diminuição significativa da produção durante os meses mais quentes do ano, e em indústrias têxteis... a produção de tecelagem de algodão e linho diminuíram acima de temperaturas de 21,1 a 22,7°C (70 a 73°F).”

O clima afeta a capacidade para o trabalho físico e mental.

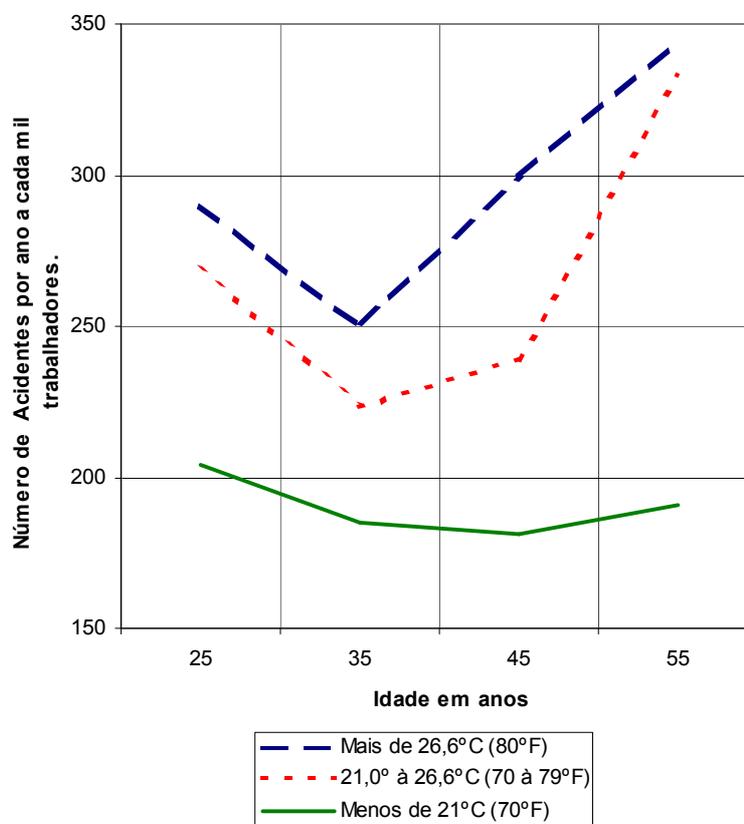
As figuras 2.2 e 2.3 (Bedford,1949) mostram a relação entre o aumento sazonal das temperaturas ambientes e a frequência de acidentes relacionados ao trabalho.

O número de acidentes sobe, acompanhando o crescimento da temperatura dos meses do ano. Quando a fonte de calor é controlada, o número de acidentes decresce comparado com o número de acidentes da fonte de calor sem controle. A média ponderada encontrada foi de 123 acidentes por mês.

Em ambientes quentes o trabalhador é mais vulnerável a acidentes, isso devido às condições ambientais de desconforto e a diminuição da concentração no exercício da atividade.

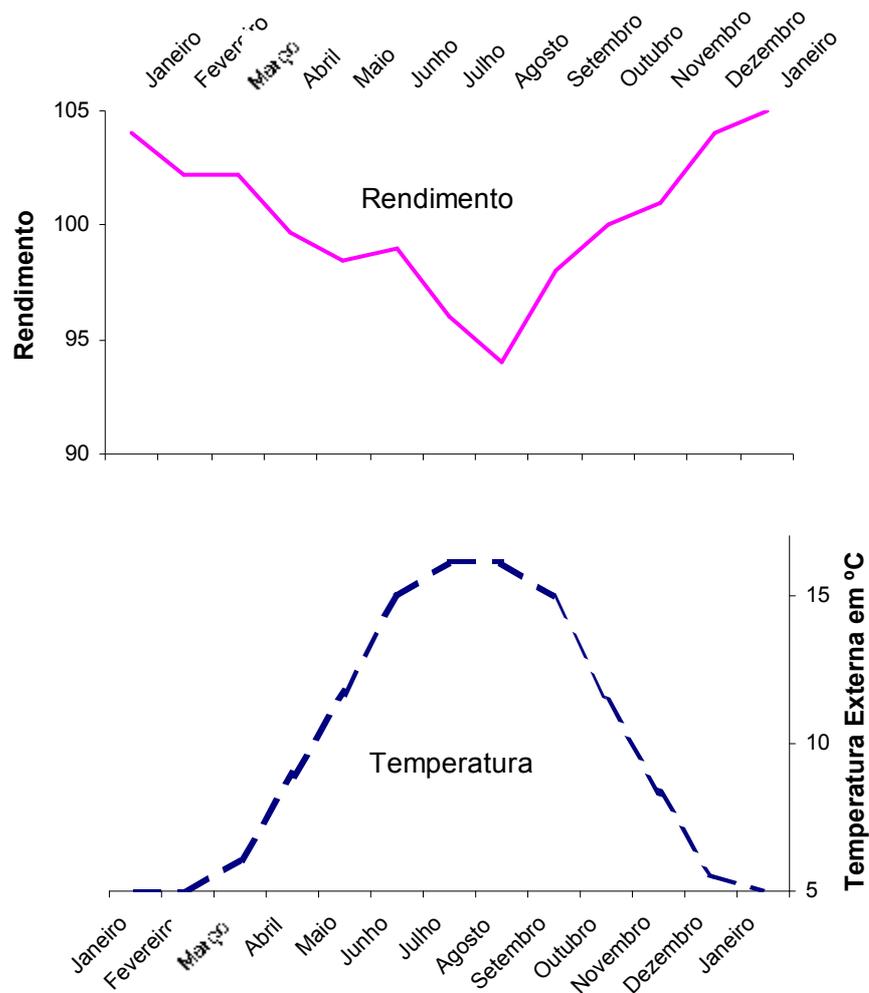


**Figura 2.2** – Relação entre o aumento sazonal em temperaturas ambientes e a freqüência de acidentes relacionados ao trabalho.



**Figura 2.3** - Freqüência dos acidentes em relação à temperatura e a idade de trabalhadores na produção de carvão.

O clima afeta a precisão do desempenho, particularmente quando atividades perceptivas e psicomotoras estão envolvidas (Lee, 1963). O calor pode provocar cansaço que, em parte, pode aumentar o índice de acidentes no trabalho (Kamon, 1978).



**Figura 2.4** - Rendimento do trabalho em ambientes fabris comparados com a temperatura externa.

Landsberg (1978) afirmou, que se o ambiente é muito quente, a produtividade cai, e se as pessoas não se sentem confortáveis, estão mais suscetíveis a cometerem erros, sofrerem acidentes ou realizarem uma quantidade menor de trabalho. Bedford (1949) afirmou que existe relação entre a temperatura externa e a produção dos trabalhadores (figura 2.4) Além disso, ele notou que é certo que a inclinação de um indivíduo para o trabalho mental tende a

diminuir em ambientes quentes. O mau desempenho pode ser atribuído a insônia, devido ao calor.

Na Europa, a estação do verão ocorre nos meses de julho, agosto e setembro e a pesquisa mostrou que nestes meses a produtividade do trabalhador atinge os menores valores, sendo que, à medida que a temperatura externa diminui a produtividade aumenta.

No caso de fontes artificiais de calor relacionadas com as atividades laborativas, estas influem na produtividade do trabalho e ainda levam o trabalhador a picos de pouca produtividade quando estas atividades laborais, com exposição de fonte artificial ocorrem nos meses de temperatura externa alta.

### 2.3 VARIÁVEIS ENVOLVIDAS

*“A manutenção do equilíbrio térmico entre o corpo humano e seu ambiente é um dos primeiros requisitos para saúde, boa existência e conforto. Isto envolve a manutenção da temperatura dos tecidos do cerne do corpo com uma pequena amplitude, indiferente da amplitude da variação relativa do ambiente externo.”* Givoni (1981)

Para melhor entendimento da relação existente entre os fatores que determinam as trocas de calor de um corpo vestido, submetido a ambiente térmico, pode-se dividi-los em dois grupos: fatores independentes ou primários e fatores dependentes ou secundários (tabela 2.1)

**Tabela 2.1** - Fatores que afetam a troca de calor nos corpos vestidos

<b>Fatores primários</b>	<b>Fatores secundários</b>
Metabolismo	Temperatura da roupa
Temperatura do ar	Movimento do ar abaixo da roupa
Temperatura média radiante	Temperatura da pele
Movimento do ar	Suor
Pressão de vapor	Umidade da pele e da roupa
Tipos de vestimenta e seus materiais	Eficiência do resfriamento por suor

FONTE : Givoni (1981)

Os fatores primários podem variar, independentemente dos outros, e usualmente esta variação causará trocas em alguns fatores secundários.

Portanto, as trocas de calor a serem consideradas na quantificação da sobrecarga térmica a que um trabalhador exposto à fonte de calor está submetido, envolvem muitas variáveis, entre as quais destacamos as designadas como físicas ou ambientais e também variáveis subjetivas ou pessoais.

As variáveis físicas ou ambientais são; a temperatura do ar, a umidade do ar, a velocidade relativa do ar e a temperatura radiante média.

Entre as variáveis pessoais, destacamos: a atividade metabólica realizada pelo trabalhador e o tipo e resistência térmica da vestimenta.

### **2.3.1 Variáveis Ambientais**

A influência da temperatura do ar na troca térmica entre o organismo e o meio ambiente pode ser avaliada, observando-se a diferença, positiva ou negativa, existente entre esta temperatura e a temperatura da pele. Quando a temperatura do ar é maior que a temperatura da pele, o organismo ganha calor por condução – convecção. Quando a temperatura da pele é menor que a temperatura do ar, o organismo perde calor pelo mesmo mecanismo. A quantidade de calor ganha ou perdida, é diretamente proporcional à diferença existente entre as temperaturas, em cada um dos casos.

Esta variável “temperatura do ar” é representada por “ $t_a$ ” e a unidade utilizada é em graus Celsius.

Para a medição desta variável são utilizados sensores de expansão de líquidos ou sólidos, termômetros elétricos, de resistência ou termopares. Recomenda-se a proteção do sensor quanto à radiação.

A evaporação do suor ocorre de forma inversamente proporcional à umidade do ar. Quando a umidade é 100% a evaporação é nula, e quando a umidade é 0% a evaporação é máxima.

Esta variável “Umidade Relativa” é representada por “UR” e a unidade é a percentagem.

Para a medição desta variável utiliza-se o aparelho denominado psicrômetro, entre outros.

O intercâmbio de calor entre o organismo e o ambiente, pode ser uma ação positiva ou negativa na troca térmica, por condução-convecção, dependendo das grandezas das temperaturas e da velocidade do ar.

No mecanismo de convecção, o aumento da velocidade do ar acelera a troca de camadas de ar próximas ao corpo, aumentando o fluxo de calor entre este e o ar. Portanto, se a temperatura do ar for superior à da pele o processo de troca de calor deste para a pele é acelerado pela velocidade do ar. Se a temperatura do ar for inferior à da pele o processo de troca de calor dar-se-á no sentido inverso, da pele para o ar.

Esta variável “velocidade do ar” é representada por “  $v_a$  “ e a unidade em metros por segundo.

A medição desta variável é realizada com aparelhos denominados anemômetros.

As fontes de calor que emitem quantidades consideráveis de radiações infravermelhas não podem ser desconsideradas, pois contribuem significativamente para a elevação da sobrecarga térmica. Na ausência de fonte de radiação térmica, o corpo humano poderá perder calor através deste mecanismo. Esta variável “temperatura média radiante” é representada por “  $t_g$  “ e a unidade de medida é em graus Celsius.

Esta variável é quantificada através de aparelho denominado termômetro de globo.

### **2.3.2 Variáveis Pessoais**

As variáveis pessoais são: o metabolismo e resistência térmica das roupas.

Com relação ao metabolismo, o homem produz energia necessária para a manutenção das suas funções vitais, através do processo metabólico de

degradação dos alimentos. Esse processo pode ser comparado a uma lenta queima de produtos devido ao consumo de oxigênio. A maior parte da energia produzida pelo metabolismo é convertida em energia térmica e desse modo, a parcela mecânica pode ser negligenciada, considerando-se o calor metabólico igual à taxa de metabolismo – Ruas (2001).

A ingestão alimentar causa um aumento na produção interna de calor que é denominado Ação Dinâmica Específica ou efeito ADE.

Fanger (1970) afirma que o efeito ADE de uma dieta balanceada pode produzir um aumento no metabolismo que corresponde a até 15% da taxa de metabolismo basal. O aumento será maior se a alimentação for rica em proteínas.

A taxa do metabolismo não depende só da atividade física e da alimentação, mas também da idade, sexo e temperatura ambiente.

McArdle et al (1985a) afirmam que o metabolismo basal das mulheres é de 5% a 10% menor que o dos homens, devido ao fato delas possuírem mais gordura corporal do que os homens com idade e dimensões idênticas. A gordura é metabolicamente menos ativa que o músculo.

Quanto à influência da idade no metabolismo McIntyre (1980) mostra que o metabolismo basal decresce constantemente com a idade e que um homem de vinte anos tem um metabolismo, em média, 125 maior que um de 45 anos com as mesmas características corporais – Ruas (2001).

Mcintyre (1980) estudou o efeito da temperatura do ar na taxa de metabolismo e mostrou que num ambiente a 10°C, o tremor muscular pode duplicar o metabolismo de pessoas nuas em repouso. Esse autor afirma também, que o aumento do calor ambiente afeta diretamente o processo metabólico, pois aumenta a velocidade das reações químicas envolvidas. Consolazio (1963) encontrou um aumento de 12% no metabolismo de atividades realizadas numa temperatura ambiente de 38°C, quando comparado com o metabolismo da mesma atividade num ambiente a 29°C.

Conforme a atividade exercida, o corpo humano produz, internamente, uma quantidade de calor que é diretamente proporcional ao esforço despendido.

Conforme a ISO 8996 (1990), a taxa metabólica pode ser obtida por três métodos, que diferem na exatidão dos resultados e na aplicabilidade prática.

a) Método Através de Tabelas.

A ISO 8996 (1990), apresenta quatro tabelas: taxa de metabolismo por classes (repouso, baixa, moderada, alta e muito alta), por tipo de atividade ou ocupação (pintor, jardineiro, motorista de ônibus, professor, etc...), por atividades específicas (transportar peso, correr, trabalhos domésticos, etc...), e taxa de metabolismo através de atividades decompostas em termos de movimentos e esforços. As duas primeiras tabelas são de aplicação restrita a diagnósticos rápidos, por serem mais susceptíveis a erros. As duas últimas apresentam resultados melhores na prática, pois as atividades são mais específicas e avaliadas com detalhes.

A tabela 2.2 apresenta um resumo quanto das tabelas e métodos, sua característica, exatidão e aplicabilidade.

**Tabela 2.2** – Níveis aproximados para determinação de taxa metabólica

Nível	Método	Exatidão	Inspeção do local de trabalho
I	A: Classificação de acordo com o tipo de atividade	Informação da rudeza onde o risco de erro é muito grande	Não necessário
	B: Classificação de acordo com a ocupação		Informação do equipamento, organização do trabalho.
II	A: Uso de tabelas de grupo de taxa	Alto risco de erro Exatidão: + - 15%	Necessário tempo de estudo
	B: Uso de tabelas estimativas para atividades específicas		
	C: Uso da taxa do coração sob condições definidas		Não necessário
III	Medição	Risco de erros com os limites de exatidão da medição e tempo de estudo. Exatidão: + - 5%	Necessário tempo de estudo

FONTE: ISO 8996 – Tradução Hackenberg (2000)

Estas tabelas foram construídas a partir de quantificações realizadas em pessoa padrão de 35 anos (homem com 70kg e 1,70m e mulher com 60kg e 1,6m), sendo a taxa de metabolismo basal de 44 W/m<sup>2</sup>, para homem e 41 W/m<sup>2</sup>, para mulher. Em condições reais, McArdle et al (1985a,b) concluíram que a partir dos 25 anos, o metabolismo natural decresce constantemente e o peso corporal aumenta o metabolismo das atividades que exigem movimentação. Portanto, a idade e o peso do trabalhador influem na quantidade despendida de metabolismo natural, adicionado ao metabolismo ocupacional.

A NR-15 apresenta no anexo nº3, quadro nº3, uma tabela de metabolismo com quatro classes: repouso, leve, moderada e pesada. A tabela de metabolismo da ISO 8996 (1990), possui cinco classes: descanso, baixa, moderada, alta e muito alta. Estas tabelas estabelecem para cada classe faixas de valores de metabolismo diferentes, sendo iguais apenas para a classe “repouso” (NR-15) com a classe “descanso” (ISO 7243/89).

#### b) Método do Registro da Frequência Cardíaca.

Cada pessoa possui uma relação linear entre a frequência cardíaca e o consumo de oxigênio, logo, também existe relação desta frequência com o metabolismo.

Essa relação é individual e depende da idade, do sexo e da capacidade física, Astrand (1960). O procedimento consiste em monitorar a frequência cardíaca do indivíduo descansado e sendo submetido a teste numa esteira ou bicicleta ergométrica. Esse teste normalmente é realizado em etapas de progressiva solicitação física. As medições da frequência cardíaca e do consumo de oxigênio podem ser realizadas ao longo do teste ou no último minuto. Estabelecida a relação, é possível calcular a taxa metabólica de uma pessoa num determinado ciclo de trabalho, a partir do consumo de oxigênio obtido do registro da frequência cardíaca.

O registro da frequência cardíaca em campo foi muito facilitado com a fabricação de instrumentos portáteis, que permitem a transferência de dados à distância, NIELSEN & MEYER (1987). A técnica desses instrumentos é o registro da atividade elétrica do coração, através de eletrodos ligados a um pequeno emissor portátil. Esses equipamentos possibilitam ao trabalhador submeter-se ao método no seu próprio local de trabalho e com liberdade de movimentos.

Malchaire et al.(1984) desenvolveram um trabalho de campo, com dois grupos de doze trabalhadores, para comparar as taxas de metabolismo obtidas com os métodos de consumo de oxigênio e de frequência cardíaca. O consumo de oxigênio foi medido em um período de trinta minutos e a frequência cardíaca durante oito horas. Essa pesquisa revelou uma preferência pelos registros da frequência cardíaca realizados durante todo o período de trabalho, porque permitem analisar tanto a solicitação num determinado instante, como a média de todo o período trabalhado – Ruas (2001).

A ISO 8996(1990) recomenda a avaliação da taxa de metabolismo através do método da frequência cardíaca, só para trabalhos dinâmicos, na ausência de sobrecarga térmica e mental e desenvolvido por grupos de músculos grandes com pequena solicitação estática.

#### c) Método de Consumo de Oxigênio

A taxa de metabolismo resultante da medição do consumo de oxigênio e da produção de gás carbônico é a de maior precisão, porém de pouca praticidade.

O método consiste em obter os volumes de oxigênio consumido e de gás carbônico produzido, a partir da análise do gás expirado pelo trabalhador num período representativo do seu ciclo de trabalho.

O procedimento para coleta do ar expirado é função da solicitação física das atividades, conforme Ruas (2001);

*“Quando a classificação da atividade é leve ou moderada a coleta é feita enquanto o trabalho é desenvolvido, começando cinco minutos após o seu início e tendo uma duração o aproximada de quinze minutos. Nas tarefas pesadas, a coleta começa com o início da atividade e continua até o seu término, período usualmente não superior a cinco minutos. Após esse tempo o trabalhador senta e a coleta continua até que haja a recuperação do débito de oxigênio ocorrido durante o serviço.”*

A variável pessoal resistência térmica das roupas, depende do tipo de vestimenta, do material e da espessura dos tecidos com que é confeccionada, a roupa utilizada pode ser responsável por uma considerável resistência às trocas de calor entre a pele e o ambiente.

A representação deste isolamento térmico é convencionado pela variável “ $I_{cl}$ ”. Esta variável é expressa em  $m^2.K/W$  ou em “clo”, sendo que uma unidade clo equivale a  $0,155 m^2.K/W$ .

Fanger (1970), utilizando manequins aquecidos determinou vários desses valores, estando tabelados nas normas e manuais ISO 7730 (1994), ISO 9920 (1995) e ASHRAE (1997).

## 2.4 QUANTIFICAÇÃO DO AGENTE CALOR

O agente físico calor, necessita ser quantificado, para possibilitar sua avaliação quanto a presença nos processos, ambientes de trabalho e a nocividade ao homem trabalhador.

Um dos estudos neste sentido teve origem no exército americano, que desenvolveu uma metodologia de quantificação deste agente, baseado em observações do comportamento de integrantes do exercito, quanto a suas reações biológicas e limites impostos pelos exercícios militares (metabolismo exercido e a exposição a condições de radiação solar e de fontes de calor). Desses estudos surgiu a metodologia de quantificação baseada no *WBGTG* –

*index (wet bulb globe temperature)*, IBUTG – Índice de Bulbo Úmido - Termômetro de Globo.

Esta metodologia é amplamente utilizada como um dos métodos mais fáceis e rápidos para avaliação exploratória das condições de trabalho sob agente físico calor.

A norma ISO 11399 dispõe sobre a Ergonomia do ambiente térmico - Princípios e aplicação de normas internacionais relevantes. Essa norma especifica o uso adequado, efetivo e prático das normas internacionais relacionadas com a ergonomia do ambiente térmico. Para o ambiente quente (visando avaliar os parâmetros de conforto e *Stress*) especifica o uso do método de WBGT como método diagnóstico e o método SWreq (taxa de suor requerida) como um método analítico, conforme descrito na tabela 2.3

**Tabela 2.3** - Avaliação do ambiente térmico usando normas internacionais

Parâmetro avaliado	Tipo de ambiente térmico		
	Quente	Moderado	Frio
Conforto e <i>Stress</i>	Bulbo úmido e temperatura de globo (WBGT) Taxa de suor requerida (SWreq)	Voto médio estimado PMV e Percentagem estimada de insatisfeitos (PPD)	Índice de vento frio – WCI Isolamento térmico requerido – IREQ
Carga fisiológica	Temperatura do centro e pele, taxa do coração, perda de massa por transpiração e respiração		
Carga psicológica	Método de avaliação subjetiva		

FONTE: ISO 11399 – Tradução Hackenberg (2000)

Outros métodos foram desenvolvidos, com maior ou menor rigor e observação quanto aos vários fatores e reações biológicas de troca de calor que ocorre no corpo humano quando submetido ao agente calor extremo.

Conforme Auliciems e Szokolay (1997), os principais índices existentes de quantificação do agente calor são:

- *Relação de aceitação Térmica (TAR)* – Plummer, 1945.
- *Taxa de suor estimado para 4 horas (P4SR)* – McArdle, 1947.
- *Índice de stress por calor (USI)* – Belding e Hatch, 1955.

- *Índice de Bulbo Úmido e Temperatura de Globo (WBGT) – Yaglou e Minard, 1957.*
- *Índice de tensão térmica (TSI) – Lee, 1958.*
- *Índice relativo de tensão (RSI) – Lee e Henschel, 1963.*
- *Índice de stress térmico ou taxa requerida de suor (IST- SWreq) – Givoni, 1963, que deu origem a ISO*

Além destes índices, podemos quantificar os efeitos do agente calor no corpo humano, através de medições fisiológicas.

## 2.5 NORMAS DE QUANTIFICAÇÃO DE CALOR

As normas de quantificação de *Stress* térmico por calor, que serão comparadas neste trabalho são:

- ISO 7243/1989 – Ambientes quentes – Estimativa do *Stress* por calor em trabalhadores, baseado no índice WBGT (Índice de Bulbo Úmido e Temperatura de Globo),
- NR-15 anexo nº3 – MT/1978 – Limites de Tolerância para exposição ao calor laboral.
- ISO 7933/1989 – Ambientes quentes – Determinação analítica e interpretação do *Stress* térmico, utilizando o cálculo da taxa requerida de suor (SWreq).

Além destas normas, podemos quantificar os efeitos do agente calor no corpo humano, pelo método - ISO 9886/1992 – Avaliação de tensão térmica, através de medições fisiológicas.

Neste trabalho, são utilizadas as três primeiras normas citadas, que consideram os parâmetros ambientais, a taxa metabólica e o índice evaporativo das roupas.

O índice de Temperatura de Bulbo Úmido e Termômetro de Globo é um índice empírico e de fácil determinação em um ambiente industrial. Portanto, os índices IBUTG e WBGT são de fácil e rápida determinação, sendo baseados

por no máximo, três parâmetros: temperatura de bulbo úmido natural (  $t_{\text{bun}}$  ), temperatura de globo (  $t_g$  ) e temperatura bulbo seco (  $t_{\text{bs}}$  ). Por não considerar os demais parâmetros envolvidos na troca de calor entre o ambiente e o corpo humano, estes índices devem ser considerados como um método exploratório. O método de estimativa do *stress* térmico baseado em análise de todos os parâmetros de troca de calor entre o homem e o meio (SWreq), permite uma estimativa mais apurada do *stress* e uma análise individual dos valores de cada parâmetro, que interferem no *stress* térmico. Porém, com a tecnologia atual de mensuração, o método tem a desvantagem de ser mais demorado e mais difícil de executar. Esse método é utilizado quando o objetivo da mensuração do *stress* térmico está relacionado a uma análise das condições de trabalho, com identificação dos parâmetros de maior influência. Tal identificação orienta os procedimentos de controle e minimização do *stress* térmico. O método SWreq é considerado um método de complementação ao método ISO 7243/89, utilizado quando os valores indicados por pelo índice WBGT excedem os valores de referência.

## 2.6 - ISO 7243/89 – AMBIENTES QUENTES – ESTIMATIVA DO STRESS POR CALOR EM TRABALHADORES, BASEADO NO ÍNDICE – WBGT (Wet Bulbo Globe Temperature)

Este método foi desenvolvido por Yaglow e Minard em 1957, em condições críticas nas operações armadas do exército, envolvendo a radiação solar, as temperaturas de globo, temperatura de bulbo úmido natural e temperatura do ambiente (ASHRAE, 1993).

A norma internacional apresenta um método que possibilita avaliar rapidamente o *stress* de calor ao qual o indivíduo está exposto, permitindo um rápido diagnóstico. Este método insere-se na avaliação do efeito maléfico do calor durante um período representativo da atividade do indivíduo, mas não é aplicável à avaliação de *stress* de calor em períodos muito curtos nem à avaliação de *stress* de calor próxima a zonas de conforto.

O índice WBGT combina as mensurações de dois parâmetros derivados, temperatura de bulbo úmido natural (  $t_{bun}$  ) e temperatura de globo (  $t_g$  ) e em algumas situações a medida de um parâmetro básico temperatura bulbo seco (  $t_{bs}$  ) ou temperatura do ar (  $t_a$  ).

As seguintes expressões mostram as relações entre estes diferentes parâmetros, com ou sem carga solar:

- Sem carga solar:  $WBGT = 0,7 t_{bun} + 0,3 t_g$  ( Eq. 2.1 )

- Com carga solar:  $WBGT = 0,7 t_{bun} + 0,2t_g + 0,1 t_a$  ( Eq. 2.2 )

Este método de estimar *stress* de calor é baseado na mensuração dos diferentes parâmetros incidentes e no cálculo da média destes valores levando-se em conta as variações laborais existentes no tempo e no espaço.

O objetivo do índice WBGT expresso na ISO 7243/89 é proporcionar uma análise quantitativa do *stress* térmico, para maximizar métodos apropriados de labor, em presença de *stress* térmico, ou para conduzir a uma análise mais detalhada do *stress* térmico utilizando outros métodos que identifique o parâmetro mais significativo a ser minimizado, visando a melhoria do ambiente e processo laboral.

Após a mensuração dos parâmetros envolvidos nas equações 2.1 e 2.2, o índice IBUTG, respectivo, é comparado com os valores de referência.

Os valores de referência correspondem a níveis de exposição, aos quais sob condições específicas, quase todos os indivíduos sadios, podem ser comumente expostos, sem nenhum efeito danoso conhecido (excetuando-se indivíduos com patologias preexistentes). No entanto, a fixação destes valores de referência em relação à saúde do indivíduo, não deve excluir a análise de outros que, possivelmente, podem ser fixados por razões diversas e importantes, tais como, a alteração de reações psicossomáticas que, por exemplo, podem causar acidentes no trabalho.

### **2.6.1 Mensuração das Variáveis Ambientais**

Os instrumentos de medição das variáveis ambientais devem atender aos preceitos da ISO/DIS 7726/96:

Quanto aos parâmetros derivados ( $t_{\text{bun}}$  e  $t_g$ ): a temperatura de globo ( $t_g$ ) é indicada através de um sensor de temperatura, localizada no centro de um globo, e a temperatura de bulbo úmido com ventilação natural ( $t_{\text{bun}}$ ), é indicada através de um sensor de temperatura coberto por um pavio molhado, que é ventilado naturalmente.

A temperatura de bulbo úmido ventilado ( $t_{\text{bu}}$ ) é indicada através de um sensor de temperatura, coberto por um pavio molhado, submetido a ventilação forçada do ar. Esta temperatura pode ser obtida através de equipamento denominado psicrômetro. As especificações do sensor que indica a temperatura de bulbo úmido ventilado são:

- formato cilíndrico na parte sensível do sensor,
- diâmetro externo da parte sensível do sensor:  $6 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ ;
- comprimento do sensor:  $30 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ ,
- limite mensurável:  $5^\circ\text{C}$  a  $40^\circ\text{C}$ ,
- precisão da mensuração:  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ ,
- o pavio ou material altamente absorvente de água (por exemplo, algodão), deve ser branco e cobrir toda a parte sensível do sensor,
- o suporte do sensor deve ter um diâmetro igual a 6 mm e 20 mm do seu comprimento deve ser coberto pelo pavio para reduzir o efeito da condução de calor do suporte para o sensor,
- o pavio deve ser tecido no modelo de uma manga e deve encaixar-se sobre o sensor com precisão. Muito justo ou muito frouxo perde-se a precisão da medida,
- o pavio deve ser mantido limpo,
- a parte inferior do pavio deve estar imersa em uma reserva de água destilada. O comprimento livre do pavio no ar deve ser de 20 a 30 mm,
- a reservatório de água deve ser de tal maneira que a temperatura da água interior não aumente com a radiação do ambiente.

A temperatura do termômetro de globo é indicada por um sensor de temperatura colocado no centro de um globo, tendo as seguintes características:

- diâmetro: 150 mm;
- emissividade de superfície: 0,95 (cobertura do globo negro);
- espessura: tão fino quanto possível;
- intervalo de medida: 20°C a 120°C;
- precisão da medida:
  - entre 20°C a 50°C:  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$
  - entre 50°C a 120°C:  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

Quanto ao parâmetro básico ( $t_a$ ) - temperatura do ar, pode ser medida por qualquer método que se adapte, qualquer que seja o modelo do sensor usado. É, contudo, necessário observar as precauções na execução das medições.

O sensor de temperatura do ar deve, em particular, ser protegido da radiação por um mecanismo que não impeça a circulação de ar ao redor do sensor. A variação de medida para a temperatura do ar é de 10°C a 60°C e a precisão é de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

De acordo com a ISO 7726/96, o termômetro para medição da temperatura do ar, deve permitir intervalo de medida de - 40°C a 120°C com precisão de medida variável conforme a grandeza medida:

- entre -40°C a 0°C:  $(\pm 0,5^{\circ}\text{C} + 0,01[t_a])^{\circ}\text{C}$
- entre >0°C a 50°C:  $\pm 0,5$
- entre >50°C a 120°C:  $\pm [0,5^{\circ}\text{C} + 0,04(t_a - 50)]^{\circ}\text{C}$

### **2.6.2 Mensuração ou Estimativa da Taxa Metabólica**

A quantidade de calor produzido pelo corpo é uma das variáveis que podem levar ao *stress* de calor. A taxa metabólica apresenta a quantidade total de

energia produzida em forma de calor, devido ao metabolismo da atividade física exercida pelo trabalhador.

A taxa metabólica, de acordo com a ISO 8996/90, pode ser determinada, através:

- da medida de consumo de oxigênio do trabalhador;
- da estimativa em Tabelas de referência.

A quantificação da taxa metabólica, considerada a medida do consumo de oxigênio do trabalhador, não é usualmente utilizada devido ser de procedimento pouco prático.

Na ISO 7243/89, a Tabela de referência da taxa de metabolismo, classifica as atividades em cinco classes principais: *descanso*, *taxa metabólica baixa*, *taxa metabólica moderada*, *taxa metabólica alta* e *taxa metabólica muito alta*. A Tabela 2.4 apresenta esta classificação. Os valores dados foram estabelecidos para atividades contínuas.

No caso de dificuldade de interpretar os dados, a taxa metabólica considerada mais precisa é a medida diretamente no indivíduo através da mensuração do consumo de oxigênio do trabalhador.

**Tabela 2.4** - Classificação dos níveis da taxa de metabolismo.

Classe	Variação da taxa metabólica M relacionada a uma área de superfície		Taxa metabólica média		Exemplos
	de pele (W / m <sup>2</sup> )	Pele - 1,8 m <sup>2</sup> (W)	W/m <sup>2</sup>	W	
<b>0</b> DESCANSO	M ≤ 65	M ≤ 117	65	117	Descanso ou repouso
<b>1</b> Taxa metabólica BAIXA	65 < M ≤ 130	117 < M ≤ 234	100	180	<p>Posição <b>sentada</b>: trabalho manual leve (escrever, datilografar, desenhar, costurar, guardar livros) trabalho de braços e mão (pequenas ferramentas de bancada, inspeção, organizando materiais leves), trabalho de perna e braço (dirigir um veículo em condições normais, operando dispositivos para os pés ou pedais).</p> <p>Posição <b>em pé</b>: furar (partes pequenas), máquinas de moer (pequenas partes), enrolar bobinas enrolar pequenas armaduras, operar máquinas com ferramentas de baixo esforço.</p> <p>Caminhada casual (velocidade até 3,5 km por hora).</p>
<b>2</b> Taxa metabólica MODERADA	130 < M ≤ 200	234 < M ≤ 360	165	297	<b>De pé</b> : Trabalho sustentando mãos e braços (martelar, encher); de braços e pernas (operação sobre rodas, trator ou equipamento de construção); de braço e tronco; (martelo pneumático, trator de linha de montagem, empacotar, carregamento intermitente de material moderadamente pesado); limpar, cavar ou picar frutas e vegetais, puxar ou empurrar carretas leves; andar de 3,5 a 5,5 km/h; forjar.
<b>3</b> Taxa metabólica ALTA	200 < M ≤ 260	360 < M ≤ 468	230	414	Trabalho intenso de tronco e braços, carregando material pesado, trabalhando com pá, trabalho com martelo de malhar, serrando, plainando ou cinzelando madeira dura, podar manualmente, cavar, caminhar a uma velocidade de 5,5km/h a 7km/h, empurrando ou puxando carrinho de mão ou carretas cheias. Trabalhos em torno mecânico, empilhar blocos de cimento.
<b>4</b> – Taxa metabólica MUITO ALTA	M > 260	M > 468	290	522	Atividade fatigante, trabalho com machado, cavar intensamente, subir escadas, rampas ou escada de pintor, caminhar rapidamente em passos pequenos, correr e caminhar a uma velocidade > 7km/h

FONTE: ISO 8996 –1990 e ISO 7243 - 1989

### 2.6.3 Especificação das Medições

Os ambientes podem ser classificados, em relação ao agente calor, em: heterogêneos ou homogêneos. Observa-se também, procedimento distinto quando as variáveis são temporais.

O ambiente é considerado heterogêneo quando a variação dos valores das variáveis físicas ao redor da pessoa é superior a 5%. Ou seja, quando certo parâmetro não tem um valor constante no espaço ao redor do trabalhador, faz-se necessário determinar o índice WBGT, em três posições correspondentes a altura da cabeça, abdômen, e tornozelos, todos em relação ao chão. Quando o trabalhador está de pé, as medições devem ser realizadas a 0,1 metros, 1,1m e 1,7m acima do piso, e quando sentado a 0,1metros, 0,6m e 1,1m acima do piso. As medições usadas para determinar os índices devem ser preferencialmente tomadas simultaneamente. O valor do índice WBGT é obtido a partir de três índices mais significativos, usando a seguinte fórmula.

$$WBGT = (WBGT_{\text{cabeça}} + (2 \times WBGT_{\text{abdômen}}) + WBGT_{\text{tornozelos}}) / 4 \quad (\text{Eq. 2.3})$$

Para uma determinação rápida do índice WBGT é suficiente executar uma medição no nível, onde o *stress* de calor é máximo. O uso deste procedimento, induz a uma segura influência de uma super avaliação do *stress* de calor.

Se utilizado, o procedimento simplificado ou de determinação rápida deve ser anotado, no relatório de avaliação.

Neste caso, onde for impossível situar os sensores no posto normal de trabalho, estes, devem ser situados onde fiquem expostos, a aproximadamente a mesma influência do meio.

O ambiente é considerado homogêneo quando a variação nos valores das variáveis no espaço ao redor da pessoa, for inferior a 5%. Neste caso, de

pequena heterogeneidade menor ou igual a cinco por cento, pode ser realizada apenas uma medição ao nível do abdômen da pessoa, observando-se sua postura sentada ou de pé.

Se a análise da quantificação do *stress* de calor, nos pontos citados (Eq. 2-3) apresentar heterogeneidade menor que cinco por cento, adota-se a homogeneidade dos pontos, adotando-se o procedimento simplificado que consiste em mensurar somente ao nível do abdômen, para a determinação do índice WBGT.

No caso de variações temporais das variáveis, ou seja, se a análise do espaço de trabalho e da atividade, mostrar que um parâmetro não apresenta um valor constante no tempo, este deve ser quantificado quanto aos diferentes valores ao longo da jornada de trabalho, a fim de obter-se um valor, significativamente representativo.

O procedimento mais preciso, consiste em medir o desenvolvimento contínuo deste parâmetro, como uma função de tempo, e deduzi-lo de um valor significativo por integração. Como esse método pode ser usado com dificuldade em muitos casos, as variações de cada parâmetro considerado, são assim classificados em níveis quase constantes. O valor significativo do parâmetro considerado é então obtido por medição dos níveis de diferentes categorias, pelo total de tempo durante cada qual destes níveis foram obtidos. A base de tempo “t” para calcular os valores significativos é um período de Trabalho/Descanso de sessenta minutos, o que representa o máximo para o *stress* de calor. Deve ser calculado a partir do começo de um período de trabalho.

O valor significativo de um parâmetro “p” (por exemplo: taxa metabólica, temperatura de globo, ou WBGT, no caso de medições simultâneas de três parâmetros de meio ambiente), para o qual o desenvolvimento como uma função de tempo tem sido distribuída em “n” níveis, é expressa pela seguinte fórmula:

$$p \text{ (médio)} = ( p_1 t_1 + p_2 t_2 + p_3 t_3 + \dots + p_n t_n ) / ( t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n ) \quad (\text{Eq. 2.4})$$

$p_1, p_2, \dots, p_n$  = parâmetro que se esteja medindo:  $t_{\text{bun}}, t_g, M$  ou WBGT

$t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$  = período de ocorrência do valor do parâmetro,

$t_1 + t_2 + \dots + t_n = 60$  minutos.

O número de medições a serem executadas, depende da frequência de variação dos parâmetros, das características de resposta dos sensores utilizados e da precisão desejada da quantificação.

As considerações acima se aplicam às determinações do valor significativo da taxa metabólica, baseado em valores medido ou estimado a partir de Tabelas de Referência. Se a taxa metabólica é simplesmente classificada sob uma das cinco classes principais mencionadas na Tabela 2.4, o nível de taxa metabólica significativa é determinado como acima, tomando-se para cada atividade elementar o valor significativo da taxa metabólica apresentada nesta Tabela.

Em caso de diferença na interpretação dos dados, o parâmetro significativo mais preciso é aquele calculado a partir das variações do parâmetro, medido constantemente, seguido por aquele calculado a partir do número maior de níveis precisamente determinado.

A determinação do índice WBGT de acordo com esse padrão internacional, permite a estimativa de *stress* de calor ao qual um trabalhador está sujeito referente apenas ao período quando da realização das medições.

Conseqüentemente, é recomendado que estas medições sejam executados no período correspondente ao máximo de *stress* de calor a que o trabalhador está exposto, isto é, geralmente durante um período quente do verão, ao meio dia, ou quando o equipamento que gera calor está em produção máxima. Como estas condições variam ao longo da jornada, é importante amostrar períodos representativos, anotando-se os tempos de exposição diária de cada um.

A duração de cada medição depende principalmente das características físicas e do tempo de resposta dos sensores utilizados, principalmente com relação ao sensor do termômetro de globo.

Pode ser executada somente uma única leitura ou estimativa para cada parâmetro, porém, no caso de ocorrência de variações temporais dos mesmos, deve-se seguir o especificado anteriormente (Eq. 2.4).

#### **2.6.4 Valores de Referência**

Os valores do índice WBGT apresentados na Tabela 2.5, são dados como uma referência. Eles são baseados em dados disponíveis na literatura científica.

Se tais valores são excedidos, deve-se:

- Reduzir diretamente o *stress* de calor no lugar do trabalho, através de métodos apropriados como; controle do meio ambiente quanto à geração e transferência de calor (gerenciamento da fonte e/ou introdução de EPC – Equipamento de Proteção Coletiva), alteração do metabolismo da atividade, diminuição do tempo de permanência no ambiente e/ou utilização de proteção individual.
- Ou executar uma análise detalhada do *stress* de calor, de acordo com métodos mais elaborados, a fim de verificar com maior confiabilidade a existência ou não de *stress* térmico, identificando a variável ou as variáveis, diretamente envolvidas neste *stress*.

O valor de referência correspondente à vestimenta utilizada por um trabalhador vestido normalmente, é correspondente ao índice  $I_{cl} = 0,6$  clo. Este valor é apropriado para trabalhador apto para o trabalho, apresentando condições físicas de boa saúde.

Em geral, usando-se vestimentas que são impermeáveis ao vapor de água, é necessário um decréscimo nos valores de referência. Por outro lado, usando-se vestimentas reflexivas, podemos ter um resultado de um acréscimo nos valores de referência.

Os valores de referência correspondentes aos efeitos de calor no indivíduo sobre um longo período de trabalho, representado pelo índice WBGT, estão apresentados na Tabela 2.5.

Estes valores de referência, não levam em consideração valores de pico de *stress* de calor, aos quais os indivíduos podem estar submetidos por períodos curtos (poucos minutos), em presença de fonte de calor significativa, ou de atividade física intensa momentaneamente. De fato em tais casos o *stress* de calor pode exceder os valores permissíveis apresentados.

**Tabela 2.5** - Valores de referência, em função da atividade desempenhada

Classe de taxa metabólica	Taxa metabólica		Valores de referência do WBGT			
	Relativa a unidade de área (W/m <sup>2</sup> )	Taxa total (W)	Pessoas aclimatadas ao calor (°C)		Pessoas não aclimatadas ao calor (°C)	
<b>0</b>	M≤65	M≤117	<b>33</b>		<b>32</b>	
<b>1</b>	65<M≤130	117<M≤234	<b>30</b>		<b>29</b>	
<b>2</b>	130<M≤200	234<M≤360	<b>28</b>		<b>26</b>	
<b>3</b>	200<M≤260	360<M≤468	Sem mov. de ar sensível <b>25</b>	Mov. de ar sensível <b>26</b>	Sem mov. de ar sensível <b>22</b>	Mov. de ar sensível <b>23</b>
<b>4</b>	M>260	M>468	<b>23</b>	<b>25</b>	<b>18</b>	<b>20</b>

FONTE: ISO 7243/89 – Tabela A1

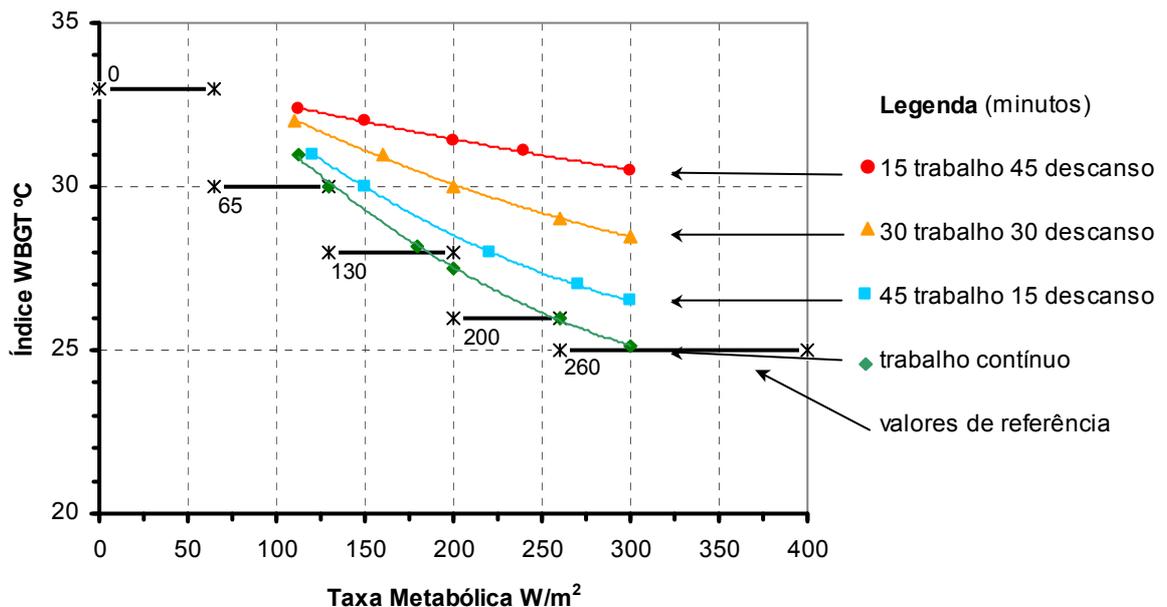
A Tabela 2.5 fornece valores de referência estabelecidos em função da atividade desempenhada. Os valores de referência apresentam valores diferenciados para trabalhadores aclimatados e trabalhadores não aclimatados.

A aclimação é fator importante, pois a capacidade de adaptação fisiológica do organismo, permite uma aclimação parcial que pode ser alcançada em sete dias, através de um aumento gradual de exposição ao *stress* de calor.

O anexo B da ISO 7243/89 apresenta um método de aclimação, baseado em um acréscimo gradual de períodos de trabalho e colocação de um descanso adicional.

Pode-se, considerar como não climatizadas todas as pessoas que não tenham sido expostas diretamente ao calor e ou a acréscimo de taxa metabólica, durante a semana de trabalho que precede a exposição.

A **Figura 2.5** apresenta Curvas de Valores de Referência estabelecidos para Ciclos de Trabalho/Descanso, baseado na hipótese de que o valor do WBGT no local reservado para descanso é igual ou muito próximo do valor do WBGT no ambiente de trabalho.



**Figura 2.5** Curvas dos Valores de Referência do Índice WBGT para Ciclos de Trabalho/Descanso e os Segmentos de Reta dos Valores de Referência dos Limites constantes da Tabela 2.5 (pessoas aclimatadas com movimentação sensível de ar).

Obs: A Figura 2.5 foi reproduzida da Norma ISO 7243/89 através da leitura de pontos das curvas da Figura B.1 do anexo B da ISO 7243/89 e a construção da linha de tendência polinomial.

As equações obtidas das linhas para os valores máximos de WBGT em cada ciclo de Trabalho/Descanso foram:

- Para trabalho contínuo - 480 minutos -  $WBGT = 0,00004xM^2 - 0,0497xM + 35,956$

- Para 45 min trabalho e 15 min descanso -  $WBGT = 0,00006xM^2 - 0,0506xM + 36,206$

- Para 30 min trabalho e 30 min descanso -  $WBGT = 0,00003xM^2 - 0,0317xM + 35,150$

- Para 15 min trabalho e 45 min descanso -  $WBGT = 0,00008xM^2 - 0,0135xM + 33,821$

Obs: Os valores da Tabela 2.5 referentes a pessoas aclimatadas com movimento de ar sensível para cada classe de metabolismo estão representadas na Figura 2.5, por segmentos de reta (valores de referência).

A Figura 2.5 foi construída para possibilitar a visualização em um só gráfico de todos os limites de tolerância do WBGT em função das classes de metabolismo

e dos ciclos de Trabalho/Descanso, para pessoas aclimatadas e em ambiente com movimentação de ar (situação comumente encontrada em ambientes laborais com presença de *stress* térmico por calor).

Esta Figura 2.5 será utilizada posteriormente para análise dos resultados.

## 2.7 - NR-15 ANEXO 3 DA PORTARIA 3.214/78 DO MINISTÉRIO DO TRABALHO DO BRASIL – LIMITES DE TOLERÂNCIA PARA EXPOSIÇÃO AO *STRESS* TÉRMICO – CALOR

Esta norma brasileira é uma das vinte e nove Normas Regulamentadoras contida em Portarias do Ministério do Trabalho, que tem como finalidade regulamentar o texto da Lei nº 6.514 de 22 de dezembro de 1977. Esta NR-15 estabelece os agentes passíveis de classificação como insalubres e apresenta as atividades e os limites de tolerância destes agentes.

Os agentes passíveis de classificação como insalubres são: os agentes físicos, químicos e biológicos. Dentre os agentes físicos temos o agente calor que pode estar presente em muitas atividades laborais, seja através de fontes naturais como artificiais, provenientes dos processos industriais.

### **2.7.1 Calor**

O agente calor está definido na Norma Regulamentadora NR-15, no anexo 3.

Os princípios e definições do método para medição do *stress* de calor a que um trabalhador está exposto são o mesmo apresentado para o índice WBGT, pois depende, em particular, da produção de calor interna do corpo, como resultado de uma atividade física, da presença de fonte de calor e das características do meio onde ocorre a transferência de calor, entre a atmosfera e o corpo.

As equações 2.1e 2.2 são válidas para o índice IBUTG.

Os valores de índice IBUTG são então comparados com Limites de Tolerância para exposição ao calor, em regime de trabalho intermitente, com períodos de descanso no próprio local de prestação de serviço.

**Tabela 2.6** Limites de Tolerância para exposição ao calor, em regime de trabalho intermitente com períodos de descanso no próprio local de prestação de serviço

REGIME DE TRABALHO INTERMITENTE COM DESCANSO NO PRÓPRIO LOCAL DE TRABALHO	TIPO DE ATIVIDADE		
	LEVE	MODERADA	PESADA
Trabalho contínuo	Até 30,0	Até 26,7	Até 25,0
45 minutos de trabalho 15 minutos de descanso	30,1 a 30,6	26,8 a 28,0	25,1 a 25,9
30 minutos de trabalho 30 minutos de descanso	30,7 a 31,4	28,1 a 29,4	26,0 a 27,9
15 minutos de trabalho 45 minutos de descanso	31,5 a 32,2	29,5 a 31,1	28,0 a 30,0
Não é permitido o trabalho, sem a adoção de medidas adequadas de controle.	Acima de 32,2	Acima de 31,1	Acima de 30,0

FONTE: Portaria nº3.214/78 – NR15 – Anexo nº3 – Quadro nº1

**Tabela 2.7** Taxas de Metabolismo por tipo de atividade

TIPO DE ATIVIDADE	kcal/h
SENTADO EM REPOUSO	100
TRABALHO LEVE	
Sentado, movimentos moderados com braços e tronco (ex: datilografia).	125
Sentado, movimentos moderados com braços e pernas (ex: dirigir).	150
De pé, trabalho leve, em máquina ou bancadas, principalmente com os braços.	150
TRABALHO MODERADO	
Sentado, movimentos vigorosos com braços e pernas.	180
De pé, trabalho leve em máquina ou bancada, com alguma movimentação.	175
De pé, trabalho moderado em máquina ou bancada, com alguma movimentação.	220
Em movimento, trabalho moderado de levantar ou empurrar.	300
TRABALHO PESADO	
Trabalho intermitente de levantar, empurrar ou arrastar pesos - remoção com pá.	440
Trabalho fatigante.	550

FONTE: Portaria nº3.214/78 – NR15 – Anexo nº3 – Quadro nº3.

A Tabela 2.6 apresenta os limites de tolerância para o índice IBUTG, que são diferentes dos limites de tolerância do índice WBGT.

A identificação do valor da taxa de metabolismo laboral precede a comparação do índice IBUTG e os valores de limite de tolerância.

A Tabela 2.7 apresenta os valores tabelados da taxa metabólica na unidade kcal/h, utilizada nesta norma.

A NR-15 ainda apresenta a metodologia de cálculos para a obtenção de índices de IBUTG quando a jornada laboral expõe o trabalhador a fontes diferentes de *stress* térmico, ou quando as condições ambientais do local de descanso são diferentes das do local de trabalho, no que se refere ao *stress* térmico, porém este trabalho não tratará sobre esta parte da norma.

## 2.8 - ISO 7933/1989 – AMBIENTES QUENTES – DETERMINAÇÃO ANALÍTICA E INTERPRETAÇÃO DO *STRESS* TÉRMICO, UTILIZANDO O CÁLCULO DA TAXA REQUERIDA DE SUOR ( $SW_{req}$ )

Este padrão internacional especifica um método de avaliação analítica e interpretação do *stress* térmico experimentado por um sujeito em um meio quente. Ele descreve o método de cálculo de equilíbrio de calor quanto à taxa de suor que o corpo humano deveria produzir para manter este equilíbrio em ação: esta taxa de suor é chamada de taxa requerida de suor ( $SW_{req}$ ).

Os vários termos usados na determinação da taxa requerida de suor mostram a influência de diferentes parâmetros físicos do meio sobre o *stress* térmico, experimentado por um trabalhador. Desta forma, o padrão internacional torna possível determinar qual o parâmetro ou grupo de parâmetros que devem ser modificados, e em qual extensão, para reduzir-se o risco de manifestação da fadiga física.

*“Esta norma apresenta cálculos do balanço de calor e taxa de suor que o corpo humano produz para manter o equilíbrio. Determina os parâmetros que devem ser modificados para reduzir o risco de carga fisiológica e o tempo de exposição máximo permissível. Avalia o ambiente e estima os fatores de vestimenta, taxa metabólica e postura, das pessoas expostas ao calor, usados no cálculo da troca de calor entre as pessoas e o ambiente. Apresenta valores*

*limites de advertência e risco da carga de calor e perda máxima de água permitida compatível com a manutenção do equilíbrio de água e minerais do corpo.” Hackenberg (2000).*

Os objetivos principais deste padrão internacional são:

- a) A avaliação do *stress* térmico que conduz a uma excessiva elevação da temperatura corpórea, ou excessiva perda de água (por suor),
- b) A determinação das modificações a serem introduzidas na situação de trabalho, para reduzir ou excluir estes efeitos,
- c) A determinação do tempo máximo de exposição requerido como limite aceitável, para limitar a fadiga física a um valor aceitável.

Esta norma internacional não apresenta resposta fisiológica para trabalhadores individuais, mais sim para trabalhadores gozando de boa saúde e aptos para o trabalho que executam.

Utiliza-se de considerações técnicas contidas na:

- ISO 7243: 1989, ambientes ou meios quentes – estimativa de *stress* de calor sob o trabalhador, baseado no índice WBGT (temperatura de bulbo úmido e temperatura de globo).
- ISO 7726: 1996, ambientes térmicos - instrumentos e métodos para medições de parâmetros físicos.

### **2.8.1 Princípios do Método de Avaliação**

O método da avaliação, cálculo e interpretação do balanço térmico do corpo dependem das seguintes variáveis:

- a) Parâmetros típicos do ambiente térmico:
  - temperatura do ar,  $t_a$  (°C);
  - temperatura radiante média,  $t_{rm}$  (°C);
  - pressão parcial de vapor,  $p_a$  (em kilopascal - kPa);

- velocidade do ar,  $v_a$  (m/s).

(esses parâmetros são mensurados de acordo com especificações do ISO 7726).

b) Características pessoais dos trabalhadores em meio termal e/ou atividade de *stress* térmico;

- Produção de calor metabólico,  $M$  (W/m<sup>2</sup>);

- Isolamento térmico das roupas,  $I_{cl}$  (m<sup>2</sup>.k / W);

### 2.8.2 Princípios e Etapas de Cálculo das Variáveis do Balanço Térmico

A equação geral de equilíbrio térmico do corpo pode ser representada pela seguinte expressão:

$$M - W = C_{res} + E_{res} + K + C + R + E + S \quad (\text{Eq. 2.5})$$

A equação 2.5 expressa a produção interna de calor do corpo, correspondente à energia metabólica (  $M$  ) menos a energia mecânica efetiva (  $W$  ) que é balanceada, pelas trocas de calor, no trato respiratório; por convecção (  $C_{res}$  ); por evaporação (  $E_{res}$  ); tanto quanto pela troca de calor da pele por condução (  $K$ , *desprezado*), convecção (  $C$  ), radiação (  $R$  ) e evaporação (  $E$  ) e pelo equilíbrio eventual de calor (  $S$  ) acumulado no corpo. As diferentes variáveis desta equação são sucessivamente revistas quanto aos termos e os princípios de cálculo.

a) Energia metabólica (**M**, em W/m<sup>2</sup>)

“  $M$  “ é a energia metabólica, sua estimativa ou medição é definida no padrão internacional ISO 8996/90.

b) Energia mecânica efetiva (**W**, em W/m<sup>2</sup>)

“  $W$  “ é o trabalho mecânico, eficiência mecânica ou energia mecânica efetiva.

Na maioria das situações industriais é de pequeno valor podendo ser ignorada.

c) Calor trocado pela convecção respiratória ( $C_{res}$  em  $W/m^2$ )

É o valor da perda de calor por convecção respiratória.

A flutuação de calor por convecção respiratória pode ser expressa em princípio, pela relação:

$$C_{res} = c_p \cdot V \cdot (t_{ex} - t_a) / A_{Du} \quad (\text{Eq. 2.6})$$

Onde:

$c_p$  = calor específico do ar seco, a pressão constante ( $J/kg_{ar\ seco}$ );

$V$  = taxa de ventilação da respiração, ( $kg_{ar}/s$ );

$t_{ex}$  = temperatura do ar expirado, ( $^{\circ}C$ );

$t_a$  = temperatura do ar ambiente, ( $^{\circ}C$ );

$A_{Du}$  = área da superfície corporal de DuBois, ( $m^2$ ).

A troca de calor latente pela respiração pode ser escrita pela seguinte expressão:

$$E_{res} = c_e \cdot V \cdot (w_{ex} - w_a) / A_{Du} \quad (\text{Eq. 2.7})$$

$c_e$  = calor latente da evaporação da água, ( $J/kg$ );

$V$  = taxa de ventilação da respiração, ( $kg_{ar}/s$ );

$w_{ex}$  = razão de umidade do ar expirado, ( $kg_{\acute{a}gua}/kg_{ar\ seco}$ );

$w_a$  = razão de umidade do ar inalado, ( $kg_{\acute{a}gua}/kg_{ar\ seco}$ ).

A troca de calor por convecção na superfície da pele ( $C$ , em  $W/m^2$ ) pode ser expressa pela seguinte equação:

$$C = h_c \cdot F_{cl} \cdot (t_{sk} - t_a) \quad (\text{Eq. 2.8})$$

$h_c$  = coeficiente de transferência de calor por convecção, ( $W/m^2.K$ );

$F_{cl}$  = fator de redução para trocas de calor sensível, devido ao uso de roupas, (adimensionais);

$t_{sk}$  = temperatura média da pele, (°C);

$t_a$  = temperatura do ar ambiente, (°C) como definido na Equação 2.6.

A troca de calor por radiação na superfície da pele ( $R$ , em  $W/m^2$ ) é uma função característica da pele, roupa, postura, temperatura média da pele, e a temperatura radiante média do meio.

Portanto, a equação pode ser assim escrita:

$$R = h_r \cdot F_{cl} \cdot (t_{sk} - t_{rm}) \quad (\text{Eq. 2.9})$$

$h_r$  = coeficiente de transferência de calor por radiação ( $W/m^2.K$ );

$t_{rm}$  = temperatura radiante média, (°C).

A evaporação da superfície da pele, ( $E$ , em  $W/m^2$ ) apresenta duas situações distintas de trocas de calor:

- No caso da pele estar totalmente molhada, ( $E_{max}$ , em  $W/m^2$ )

A taxa de evaporação máxima é:

$$E_{max} = (p_{sk,s} - p_a) / R_T \quad (\text{Eq. 2.10})$$

$p_{sk,s}$  = pressão saturada de vapor, a temperatura da pele, (kPa);

$p_a$  = pressão parcial do vapor d'água no ambiente considerado, (kPa);

$R_T$  = resistência do ar e roupas à evaporação, ( $m^2.kPa/W$ ).

- No caso da pele estar parcialmente molhada,  $E$ , ( $W/m^2$ )

A taxa de evaporação é expressa pela equação:

$$E = w \cdot E_{max} \quad (\text{Eq. 2.11})$$

$w$  = fração equivalente da superfície da pele que pode ser considerada totalmente molhada, (adimensional).

A soma algébrica dos fluxos de calor apresentados (nos itens acima), corresponde ao calor armazenado no organismo ( $S$ , em  $W/m^2$ ). Portanto, a equação pode ser assim escrita:

$$S = M - W - C_{res} - E_{res} - C - R - E \quad (\text{Eq. 2.12})$$

### 2.8.3 Cálculo da taxa requerida de evaporação, $E_{req}$ , fração requerida de pele molhada $w_{req}$ , e taxa requerida de suor, $SW_{req}$ .

A Equação 2.12 pode ser reescrita isolando-se no primeiro membro o calor armazenado no organismo, juntamente com a perda de calor por evaporação da pele  $E$ . Portanto, a equação pode ser assim reescrita:

$$S + E = M - W - C_{res} - E_{res} - C - R \quad (\text{Eq. 2.13})$$

Considerando-se que, no estado de equilíbrio térmico do corpo  $S$  equivale a zero, concluímos que em equilíbrio térmico, a perda de calor por evaporação da pele, é neste caso denominada taxa requerida de evaporação para a manutenção do equilíbrio térmico do corpo  $E_{req}$ .

$$0 + E = E_{req} = M - W - C_{res} - E_{res} - C - R \quad (\text{Eq. 2.14})$$

A fração requerida de pele molhada,  $w_{req}$ , é definida como a razão entre a taxa requerida de evaporação e a taxa de evaporação máxima. Assim sendo:

$$w_{req} = E_{req} / E_{máx} \quad (\text{Eq. 2.15})$$

A taxa requerida de suor,  $SW_{req}$ , é determinada com base na taxa requerida de evaporação, porém também é influenciada pelo tipo e quantidade de suor, o qual eventualmente pode escorrer ou pingar sem evaporar, não apresentando, dessa maneira, um resfriamento eficaz devido à evaporação.

$$SW_{req} = E_{req} / r_{req} \quad (\text{Eq. 2.16})$$

$r_{req}$  = eficiência da evaporação do suor, (adimensional).

Onde  $r_{req}$ , pode ser demonstrado matematicamente em função de  $w_{req}$ .

$$r_{req} = 1 - w_{req}^2/2 \quad (\text{Eq. 2.17})$$

### 2.8.4 Interpretação dos Valores Calculados

As interpretações dos valores obtidos utilizando este método analítico obedecem, a dois critérios de *stress* e a dois limites permissíveis (considerando-se que a maioria dos trabalhadores sadios e aclimatados, não sofram danos à saúde pela exposição ao *stress* de calor).

Os dois critérios de *stress* são:

- A máxima fração de pele molhada,  $w_{m\acute{a}x}$  (adimensional);
- A máxima taxa de suor, no organismo,  $SW_{m\acute{a}x}$ , (em  $W/m^2$  ou g).

Os dois limites permitidos para não haver danos à saúde são:

- O máximo calor armazenado pelo corpo,  $Q_{m\acute{a}x}$ , (em  $W.h/m^2$ );
- A máxima perda de água do organismo,  $D_{m\acute{a}x}$ , (em  $W.h/m^2$  ou g).

**Tabela 2.8** – Valores de referência para os diferentes critérios de *Stress* térmico e disfunções

CRITÉRIOS	Pessoas não aclimatadas		Pessoas aclimatadas	
	Precaução	Perigo	Precaução	Perigo
<b>Fração de pele molhada máxima</b> $w_{m\acute{a}x}$ (adimensional)	0,85	0,85	1,0	1,0
<b>Taxa de suor máxima</b>				
Descanso $M < 65 W/m^2$ $SW_{m\acute{a}x}$ ( $W/m^2$ ) (g/h)	100 260	150 390	200 520	300 780
Trabalho $M > 65 W/m^2$ $SW_{m\acute{a}x}$ ( $W/m^2$ ) (g/h)	200 520	250 650	300 780	400 1040
<b>Máximo calor armazenado</b> $Q_{m\acute{a}x}$ ( $W.h/m^2$ )	50	60	50	60
<b>Máxima perda de água</b> $D_{m\acute{a}x}$ ( $W.h/m^2$ ) (g)	1000 2600	1250 3250	1500 3900	2000 5200

FONTE: ISO 7933/1989

Para pessoas aclimatadas, o limite da taxa requerida de suor  $SW_{req}$  é um valor inferior a taxa de suor máxima admitida para o corpo humano  $SW_{m\acute{a}x}$  e a fração requerida de pele molhada,  $w_{req}$  não pode ultrapassar a fração máxima de pele molhada,  $w_{m\acute{a}x}$

Em situação de exposição ao calor, o equilíbrio térmico do organismo fica prejudicado e o calor armazenado no corpo  $S$  deve ser limitado a um valor

máximo  $Q_{m\acute{a}x}$ , de maneira que o aumento de temperatura corporal resultante não cause nenhum efeito patológico.

Em qualquer situação de balanço térmico, em equilíbrio ou não, a perda de água do organismo deve ser limitada a um valor máximo  $D_{m\acute{a}x}$  compatível com a manutenção do equilíbrio hidromineral do organismo.

### 2.8.5 Análise da Situação de Trabalho

Neste método a análise da situação de trabalho consiste na determinação dos valores esperados de fração de pele molhada, taxa de evaporação e taxa de suor para a situação real,  $w_p$ ,  $E_p$ , e  $SW_p$ , levando-se em conta os valores requeridos  $w_{req}$ ,  $E_{req}$ , e  $SW_{req}$  e os limites máximos permitidos,  $w_{m\acute{a}x}$ , e  $SW_{max}$ .

1. Quando a situação de trabalho apresenta  $w_{req} < w_{m\acute{a}x}$  e  $SW_{req} < SW_{max}$ , o corpo do trabalhador encontra-se em equilíbrio térmico e os valores esperados para a situação real de trabalho são:

$$w_{p1} = w_{req} \quad (\text{Eq. 2.18})$$

$$E_{p1} = E_{req} \quad (\text{Eq. 2.19})$$

$$SW_{p1} = SW_{req} \quad (\text{Eq. 2.20})$$

2. Quando  $w_{req} > w_{m\acute{a}x}$  os valores esperados são:

$$w_{p2} = w_{m\acute{a}x} \quad (\text{Eq. 2.21})$$

$$E_{p2} = w_{p2} E_{m\acute{a}x} \quad (\text{Eq. 2.22})$$

$$SW_{p2} = E_{p2} / r_{p2} \quad (\text{Eq. 2.23})$$

Onde  $r_p$  é a eficiência na evaporação do suor, correspondente à  $w_p$ .

3. Quando na situação de trabalho  $SW_{req} > SW_{max}$ , os valores esperados são:

$$w_{p3} = (SW_{m\acute{a}x} \cdot r_{p3}) / E_{m\acute{a}x} \quad (\text{Eq. 2.24})$$

onde aplica-se a relação entre  $r_p$  e  $w_p$  apresentada no anexo A da norma:

$$r_{p3} = (1 - w_{p3}^2 / 2) \quad (\text{Eq. 2.25})$$

$$E_{p3} = w_{p3} \cdot E_{m\acute{a}x} \quad (\text{Eq. 2.26})$$

$$SW_{p3} = SW_{m\acute{a}x} \quad (\text{Eq. 2.27})$$

4. Quando  $w_{req} > w_{m\acute{a}x}$  e  $SW_{req} < SW_{max}$ , os valores esperados são:

$w_{p4}$  é o maior valor entre  $w_{p2}$  e  $w_{p3}$

$E_{p4}$  é o menor valor entre  $E_{p2}$  e  $E_{p3}$

$SW_{p4}$  é o maior valor entre  $SW_{p2}$  e  $SW_{p3}$

### 2.8.6 Determinação do Tempo de Exposição Permitido (DLE em minutos)

Neste método o tempo de exposição pode ser calculado em função dos valores máximos permitidos para calor armazenado no corpo,  $Q_{m\acute{a}x}$  e perda de água do organismo,  $D_{m\acute{a}x}$ , apresentados na Tabela 2.8, constante do anexo C da norma. Quando,  $E_p = E_{req}$  e  $SW_p < D_{m\acute{a}x}/8$  não é necessário estipular limite de tempo de exposição em uma jornada de trabalho de oito horas.

Nos casos em que as condições acima não se verificam, deve-se calcular o tempo de exposição permitido (DLE).

Se  $E_{req} > E_p$ , onde a diferença ( $E_{req} - E_p$ ) representa um acúmulo de calor no organismo resultando em um aumento da temperatura corporal, o limite de exposição pode ser calculado conforme a expressão abaixo:

$$DLE_1 = 60 \times Q_{m\acute{a}x} / (E_{req} - E_p) \quad (\text{min}) \quad (\text{Eq. 2.28})$$

Se  $SW_p > D_{m\acute{a}x}/8$  ou seja, quando está ocorrendo uma excessiva perda de água do organismo, o tempo de exposição pode ser calculado por:

$$DLE_2 = 60 \times Q_{m\acute{a}x} / SW_p \quad (\text{min}) \quad (\text{Eq. 2.29})$$

Após os cálculos de  $DLE_1$  e  $DLE_2$  adota-se aquele que representar o menor valor entre os encontrados pelas equações 2.28 e 2.29

### **2.8.7 Os Tempos Permissíveis e a Organização do Trabalho, Sob Stress Térmico**

O tempo limite de exposição  $DLE_1$  está fundamentado no aumento da temperatura corporal. O tempo limite de exposição  $DLE_2$  está fundamentado na excessiva perda de água do organismo.

O menor valor dentre  $DLE_1$  e  $DLE_2$  (calculados para a mesma situação de trabalho) representa o tempo máximo de exposição permissível ao calor para uma jornada diária.

No caso da situação de trabalho envolver diferentes condições de exposição, com períodos de Trabalho/Descanso, os cálculos de  $DLE_1$  e  $DLE_2$  devem ser realizados usando os valores médios ponderados pelo tempo entre  $E_{req}$  e  $E_{máx}$ .

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

Neste capítulo, a metodologia do trabalho é apresentada, subdividida em três etapas; a análise das diferenças observadas no estudo comparativo entre os dois métodos e os três índices, a metodologia de levantamento e tratamento dos dados hipotéticos, aplicação de variação paramétrica na obtenção de resultados através das três normas, e a metodologia da apresentação dos resultados e análise comparativa destes.

#### **3.1 ANÁLISE COMPARATIVA DAS NORMAS**

As normas ISO 7243/89 e a NR-15 de avaliação sobre *stress* térmico, são baseadas no método Índice de Bulbo Úmido e Termômetro de Globo, representadas pelas siglas: WBGT (ISO 7243/89) e IBUTG (NR-15/78).

A norma ISO 7933/89 é baseada no método do Balanço Térmico –  $SW_{req}$  e é representada pelos índices DL1 e DL2.

Estes dois métodos diferem entre si quanto aos parâmetros considerados na análise do *stress* térmico.

Mesmo entre os índices WBGT e IBUTG as aplicações das normas apresentam diferentes resultados.

##### **3.1.1 Variáveis de Influência – Ambientais e Pessoais**

Cada índice é obtido em função de variáveis ambientais e pessoais.

Algumas destas variáveis são incidentes nos três índices, tais como a temperatura de globo e a temperatura de bulbo seco. Outras variáveis, tais como

a velocidade do ar, umidade relativa do ar e a resistência térmica das roupas, são levadas em consideração apenas no cálculo da taxa requerida de suor.

**Tabela 3.1** – Quadro comparativo das variáveis incidentes em cada um dos índices analisados (WBGT, IBUTG e Taxa Requerida de Suor)

PARÂMETROS Ambientais ou Pessoais	TIPO DE ÍNDICE		
	WBGT	IBUTG	Taxa Requerida de Suor
Temperatura de globo	Sim	Sim	*
Temperatura de bulbo seco	Sim	Sim	Sim
Temperatura de bulbo úmido natural	Sim	Sim	Não
Temperatura de bulbo úmido ventilado	Não	Não	Sim
Velocidade do ar	Não	Não	Sim
Umidade relativa do ar	*	*	Sim
Taxa metabólica	Sim	Sim	Sim
Resistência evaporativa das roupas	Não	Não	Sim
Temperatura radiante média	Não	Não	Sim

\* usado indiretamente através de outros parâmetros.

Como a fórmula e os parâmetros que envolvem a determinação dos índices WBGT e IBUTG são os mesmos, os dois métodos ISO 7243/89 e NR-15 diferem seus resultados através de uma variável tabelada com intervalos de valores diferentes: a estimativa e classificação das taxas de metabolismo e a conseqüentemente aplicação dos respectivos limites de tolerância.

Os valores da taxa de metabolismo na norma brasileira são classificados em: descanso, leve, moderado e pesado (Tabela 2.7) e na norma ISO 7243, classificado em cinco classes, conforme já demonstrado na Tabela 2.4, ou seja, uma mesma taxa de metabolismo é classificada, diferentemente, conforme a norma utilizada.

Os limites de tolerância para os índices WBGT e IBUTG são diferentes, conforme o Ciclo de Trabalho/Descanso.

### 3.1.2 **Ciclo de Trabalho/Descanso**

Os Ciclos de Trabalho/Descanso são períodos pré-determinados de tempo de trabalho e tempo de descanso para cada hora de jornada de trabalho.

Os Ciclos pré-definidos que valem para os índices IBUTG e WBGT são:

- trabalho contínuo (sessenta minutos de trabalho a cada hora);
- quarenta e cinco minutos de trabalho e quinze minutos de descanso;
- trinta minutos de trabalho e trinta minutos de descanso;
- quinze minutos de trabalho e quarenta e cinco minutos de descanso;
- trabalho não permissível.

Para o método da ISO 7933/89, o tempo permissível de trabalho está relacionado com o valor do DL1 e o DL2 onde, DL1 representa o tempo máximo de trabalho permissível por jornada laboral considerando o aumento da temperatura corporal e o DL2 representa o tempo máximo permissível de jornada laboral considerando a perda água do organismo em exposição ao *stress* térmico. A jornada diária permissível é o menor valor dos índices DL1 e DL2.

Primeiramente os cálculos de DL1 e DL2 contemplam a situação “trabalho contínuo”. Se  $DL1 < DL2$  e  $DL1 > 30\text{min}$  é possível calcular novos valores de DL1 e DL2 agora, considerando os ciclos.

Quando os cálculos de DL1 e DL2 são refeitos para ciclos de Trabalho/Descanso, o tempo limite de exposição do trabalhador ao agente *stress* térmico assume novo par de valores (DL1 e DL2), válidos apenas para o ciclo proposto. Se estes novos valores de DL1 e DL2 forem superiores a 480 significa que, a jornada neste ciclo é permissível, porém, quando forem inferiores, significa que mesmo nesta nova situação de trabalho existe *stress* e a jornada fica restrita aos tempos calculados. Outras comparações entre DL1 e DL2 estão apresentadas no capítulo 4.

### **3.1.3 Classificação do Metabolismo e os Valores dos Limites de Exposição**

A taxa metabólica “M” é a taxa de produção de energia do corpo. O metabolismo, que varia de acordo com a atividade desempenhada é expresso em unidade “met”. Conforme a tabela ISO 7730 (1994, anexo A), a unidade met, corresponde a  $58,2 \text{ W/m}^2$ , que é equivalente à quantidade de energia produzida por unidade de área superficial de pele para uma pessoa sentada em repouso.

A área superficial aproximada de pele de uma pessoa média é de  $1,8\text{m}^2$  para homens e  $1,6\text{m}^2$  para mulheres.

As tabelas foram construídas para 1,8m<sup>2</sup> de área superficial de pele.

Nas ISO 7243 (1989, Tabela1), ISO 7730 (1994, anexo A) e ASHRAE (1992, p11) estão tabeladas, alguns tipos de atividades e a taxa metabólica correspondente.

A grandeza do metabolismo determina faixas de caracterização das classes que em outra tabela, fixa os valores limites de exposição das atividades com *stress* térmico.

### 3.1.3.1 NR-15

Na NR-15, a unidade do metabolismo está grafada em kcal/h, e nas normas ISO em W/m<sup>2</sup>. Para efeito do objeto deste trabalho, comparar as normas, a unidade padronizada foi W/m<sup>2</sup>.

A tabela 3.2 apresenta a estimativa do metabolismo e suas classes, apresentadas pela norma NR-15 em kcal/h (Tabela 2.7), em W/m<sup>2</sup> e em W.

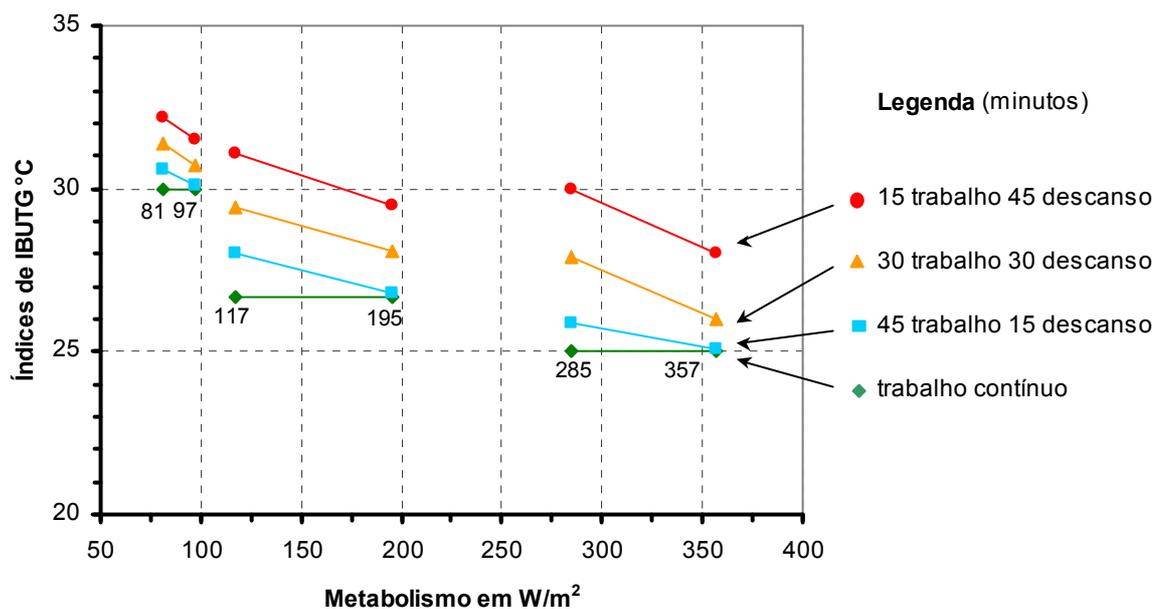
**Tabela 3.2** - Taxas de Metabolismo por tipo de atividade na unidade Kcal/h e transformadas para W/m<sup>2</sup> e W

TIPO DE ATIVIDADE	kcal/h	W/m <sup>2</sup>	W
SENTADO EM REPOUSO	100	65	117
TRABALHO LEVE			
Sentado, movimentos moderados com braços e tronco (ex: datilografia).	125	81	146
Sentado, movimentos moderados com braços e pernas (ex: dirigir).	150	97	175
De pé, trabalho leve, em máquina ou bancadas, principalmente com os braços.	150	97	175
TRABALHO MODERADO			
Sentado, movimentos vigorosos com braços e pernas.	180	117	210
De pé, trabalho leve em máquina ou bancada, com alguma movimentação.	175	113	204
De pé, trabalho moderado em máquina ou bancada, com alguma movimentação.	220	143	257
Em movimento, trabalho moderado de levantar ou empurrar.	300	195	350
TRABALHO PESADO			
Trabalho intermitente de levantar, empurrar ou arrastar pesos - remoção com pá.	440	285	513
Trabalho fatigante.	550	357	642

FONTE: Portaria nº3.214/78 – NR15 – Anexo nº3 – Quadro nº3.

**OBS:** As colunas W/m<sup>2</sup> e W não fazem parte da Portaria 3.214/78. Estas colunas foram construídas para facilitar na leitura deste trabalho quando da comparação com a Tabela 2.4. A coluna na unidade W representa a taxa metabólica, para uma área de 1,8 m<sup>2</sup> de superfície de pele, do “homem” exposto ao *stress* térmico por calor.

Observa-se que, a Tabela da NR-15 não contempla uma faixa contínua de valores de taxa metabólica. A leitura da Tabela deixa dúvidas sobre sua aplicação, em relação às faixas de valores de metabolismo quando obtidos através de outras Tabelas, diferente da apresentada no método. Por exemplo, se o metabolismo obtido por outros métodos for de 301 kcal/h a classificação é TRABALHO MODERADO ou será classificado como TRABALHO PESADO? Qual a faixa limite de aplicação dos valores do metabolismo para cada classe? Esta é uma das dificuldades que foi encontrada para fazer comparação entre IBUTG e WBGT. A Tabela 2.6 apresenta os Limites de Tolerância para exposição ao calor, em regime de trabalho intermitente com períodos de descanso, no próprio local de prestação de serviço. Esta tabela estabelece os limites de Tolerância em função da classe que por sua vez é definida pela grandeza da estimativa do metabolismo. Para maior entendimento, a Figura 3.2 apresenta graficamente as classes em função do metabolismo e as respectivas faixas de limite de tolerância do índice IBUTG.



**Figura 3.1** Segmentos de reta inclinada dos Valores de Referência para o índice IBUTG em função da Atividade e do ciclo de Trabalho/Descanso utilizando valores limites de metabolismo da tabela 2.7 e as faixas de Limites de Tolerância da tabela 2.6.

OBS: Esta Figura 3.1 foi construída a partir dos dados da Tabela 2.7 – Taxas de Metabolismo por Tipo de Atividade e da Tabela 2.6 – Limites de Tolerância para Exposição ao Calor, em regime de trabalho intermitente com períodos de descanso no próprio local de prestação de serviço.

Observa-se que, conforme representado na Figura 3.1, os segmentos de reta dos valores limite de tolerância do índice IBUTG, apresentam descontinuidade de valores, para algumas grandezas de metabolismo, gerando incertezas de classificação.

Os intervalos de valores limites de tolerância do IBUTG estão apresentados para os regimes de Trabalho/Descanso e para as faixas de metabolismo: leve, moderado e pesado. Observa-se, que estes valores limites de tolerância apresentam continuidade de grandeza, por classe de metabolismo, ou seja, quanto maior o metabolismo (dentro da mesma classe) menor o valor limite de tolerância do IBUTG.

Quando analisados por tipo de regime de trabalho, os valores de limites de tolerância da NR-15 (Tabela 2.6) não apresentam continuidade lógica de grandeza. Primeiramente porque as faixas de classificação do metabolismo não são contínuas, deixando vazios (Tabela 2.7) e segundo, porque o limite superior do IBUTG ( $30,0^{\circ}\text{C}$ ) do metabolismo Pesado para o regime 15 trabalho 45 descanso é superior ao limite do IBUTG ( $29,5^{\circ}\text{C}$ ), para o metabolismo Moderado. Isso equivale à situação de que, para o mesmo regime de trabalho (15 de trabalho 45 de descanso) o metabolismo Moderado possui limite de tolerância maior do que se a atividade for classificada como metabolismo Pesado. Exemplificando, pela leitura da Figura 3.1 e nas Tabelas 2.6 e 2.7, observa-se que para o regime 15 trabalho 45 descanso, metabolismo Moderado de  $195 \text{ W/m}^2$  o limite de tolerância é IBUTG igual a  $29,5^{\circ}\text{C}$  e se o metabolismo Pesado for de  $285 \text{ W/m}^2$  o limite de tolerância será IBUTG igual a  $30,0^{\circ}\text{C}$ . Portanto, uma atividade com maior taxa metabólica possui limite de tolerância maior, o que contraria a premissa da norma.

No sentido de ser possível uma comparação entre o método ISO 7243 (WBGT) e a NR-15 (IBUTG) este trabalho representou os dados das Tabelas 2.6 e 2.7 construindo curvas por regime de Trabalho/Descanso, utilizando os valores máximos do intervalo de Limite de Tolerância.

Quanto aos valores limites de tolerância, foi adotado para cada regime de Trabalho/Descanso, o maior valor deste intervalo, ou seja:

**Tabela 3.3** – Limites de Tolerância adotados para cada regime de Trabalho/Descanso

REGIME DE TRABALHO INTERMITENTE COM DESCANSO NO PRÓPRIO LOCAL DE TRABALHO	TIPO DE ATIVIDADE		
	LEVE	MODERADA	PESADA
Trabalho contínuo	Até 30,0	Até 26,7	Até 25,0
45 minutos de trabalho 15 minutos de descanso	30,6	28,0	25,9
30 minutos de trabalho 30 minutos de descanso	31,4	29,4	27,9
15 minutos de trabalho 45 minutos de descanso	32,2	31,1	30,0
Não é permitido o trabalho, sem a adoção de medidas adequadas de controle.	Acima de 32,2	Acima de 31,1	Acima de 30,0

Para ser possível a comparação entre curvas foram adotados os seguintes procedimentos:

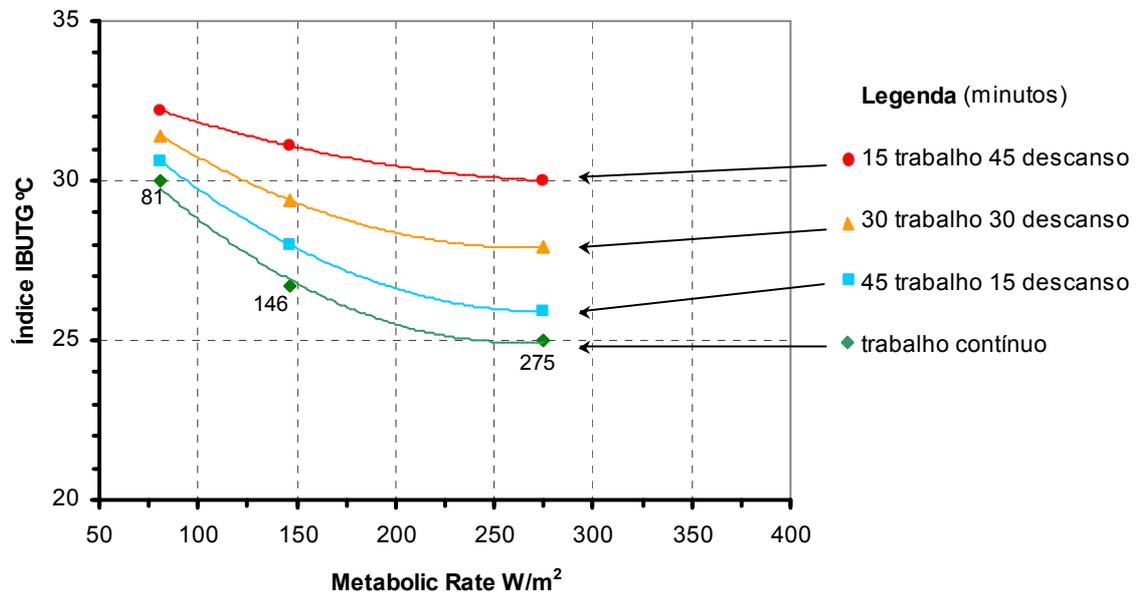
Quanto às faixas de metabolismo foi adotado para:

- TRABALHO LEVE
  - o Intervalo maior que 100 kcal (65W/m<sup>2</sup>) até 150 kcal (97 W/m<sup>2</sup>).
- TRABALHO MODERADO
  - o Intervalo maior que 150kcal (97 W/m<sup>2</sup>) até 300 kcal (195 W/m<sup>2</sup>);
- TRABALHO PESADO
  - o Maior que 300 kcal (195 W/m<sup>2</sup>).

Na Figura 3.2 temos a construção de curvas de valores de Referência, para o índice IBUTG, em função da Atividade e do Ciclo de Trabalho/Descanso, utilizando os valores médios de cada uma das faixas de metabolismo e os maiores valores do intervalo de IBUTG para cada regime de Trabalho/Descanso. As curvas foram construídas de conformidade com os intervalos de taxa metabólica, definida na Tabela 2.7, porém, na mesma unidade da ISO 7243 (Tabela 3.2), ou seja, na unidade W/m<sup>2</sup> e os valores de limite de tolerância de cada regime de Trabalho/Descanso.

Como o quadro nº 1 da NR-15, não apresenta com clareza a interpretação quanto aos intervalos dos limites de tolerância, em relação às classes e valores das taxas metabólicas, é comum a avaliação do agente calor (NR-15) ser procedida, interpretando como em situação de *stress* térmico – calor, apenas quando ultrapassado o maior valor do limite de tolerância. Portanto, uma outra leitura pode ser feita das Tabelas 2.6 e 2.7 da NR-15, ou seja, a de admitir o valor

máximo do intervalo do índice IBUTG para cada classe de metabolismo como sendo válida para todo o intervalo de cada classe e regime de Trabalho/Descanso. Desta forma, a representação assume a forma de segmentos de reta.

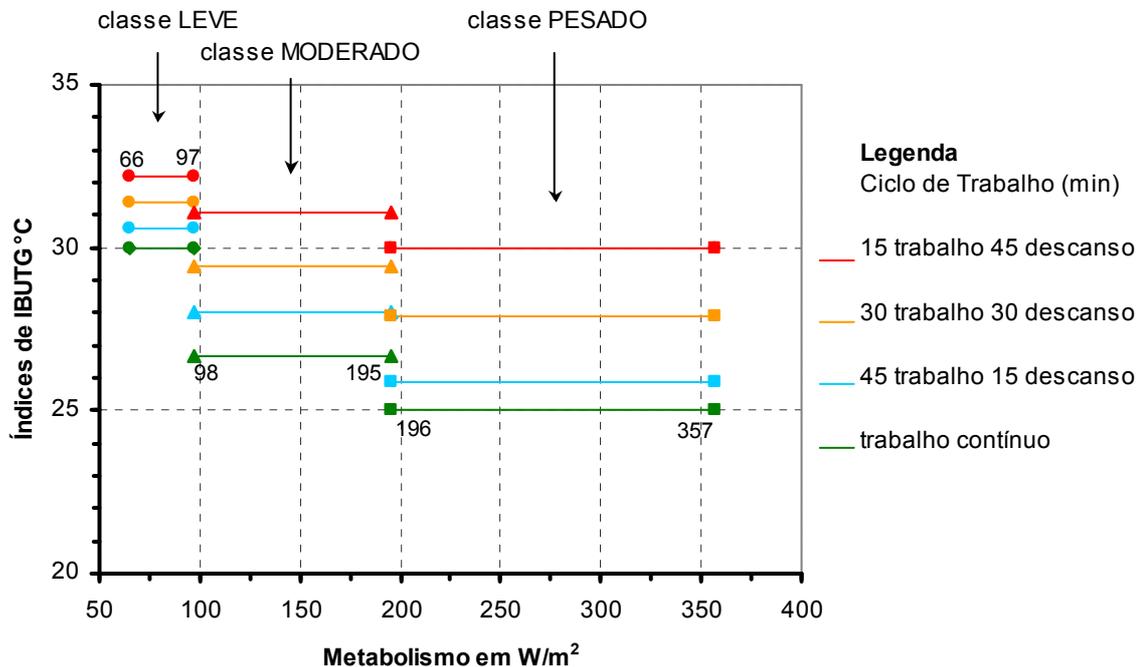


**Figura 3.2** Curvas de Valores de Referência para o Índice IBUTG em função da Atividade e do Ciclo de Trabalho/Descanso utilizando os valores médios dos limites de metabolismo adotado e os valores máximos do índice IBUTG adotado na Tabela 3.3.

A **Figura 3.3** são apresenta os segmentos de reta dos valores de referência do índice IBUTG para Ciclos de Trabalho/Descanso, representado pela faixa do metabolismo leve, moderado e pesado e o valor máximo do intervalo de valores índice IBUTG para cada Ciclo de Trabalho/Descanso.

Observa-se que os segmentos de retas representam as faixas do metabolismo, para o maior valor do índice IBUTG permissível, conforme a Tabela 3.3.

Exemplificando, para o regime de trabalho 45 minutos de trabalho e 15 minutos de descanso, quando o metabolismo da atividade é classificado como leve (maior que 65W/m<sup>2</sup> até 97 W/m<sup>2</sup>) a representação do valor limite de tolerância do IBUTG é um segmento de reta para IBUTG igual a 30,6°C. Isso equivale dizer, que para metabolismo leve e ciclo de 45 de trabalho e 15 de descanso o IBUTG admitido varia do limite máximo do trabalho contínuo superior a 30,0 até o limite máximo de 30,6°C.



**Figura 3.3** Segmentos de Retas do valor máximo do limite de tolerância do índice IBUTG em função da Atividade e do Ciclo de Trabalho/Descanso.

Portanto, podemos representar os valores da Tabela 2.6 considerando a classificação da Tabela 3.2, através dos segmentos de reta da Figura 3.1, das curvas da Figura 3.2 e de segmentos de retas da Figura 3.3, conforme se interprete os valores das Tabelas mencionadas.

A NR-15 não apresenta estes valores em gráfico. As Figuras 3.2 e 3.3 foram produzidas para melhor entendimento através de gráficos das possibilidades de interpretação dos limites impostos pela NR-15, anexo 3.

Neste trabalho serão adotados a interpretação dos Limites de Tolerância da Tabela 3.3 e os segmentos de reta (índice IBUTG x Metabolismo) da Figura 3.3 por ser uma interpretação a favor da segurança.

### 3.1.3.2 ISO 7243/89

A norma ISO 7243/89 apresenta uma tabela de classificação de *stress* térmico baseado em um intervalo de valores de metabolismo. Para a estimativa do metabolismo, é possível utilizar esta tabela ou consultar as tabelas da ISO 8996/90.

### 3.1.3.3 *Metodologia Adotada para Estimativa do Metabolismo nos Cálculos Visando Comparar as Normas*

Como as tabelas e a estimativa do metabolismo em cada norma são diferentes, e estas são a base para extrair os valores de referência de cada norma, foi adotado o seguinte procedimento padrão, nos cálculos objeto deste trabalho:

Primeiramente, foram observados as condições de exposição, operações e tipo da atividade exercida pelo trabalhador exposto.

Em seguida, estas características foram estimadas para obter o valor do metabolismo em  $W/m^2$ , através da tabela da NR-15 (Tabela 3.2) e classificada para a determinação dos ciclos de Trabalho/Descanso do índice IBUTG.

Com o valor do metabolismo em  $W/m^2$  estimado na tabela 3.2, é enquadrada a atividade na Tabela 2.4 da classificação metabólica do índice WBGT.

### 3.1.4 *Isolamento Térmico das Roupas*

A NR-15 não faz referência quanto ao índice de influência das roupas, e não menciona para que valor o índice IBUTG é válido.

A ISO 7243/89 apresenta valores de referência do índice WBGT, válidos para trabalhadores treinados para o desempenho da atividade, com boa saúde e vestidos com isolamento térmico das roupas de 0,6 clo.

A estimativa do isolamento térmico das roupas pode ser calculada através do uso das Tabelas apresentadas pela ISO 9920/95. Estas tabelas apresentam valores da resistência evaporativa das roupas, conforme o tipo, a combinação de peças utilizadas e a especificação do material do tecido.

### 3.2 LEVANTAMENTO DE DADOS CADASTRADOS E MENSURAÇÕES DE VARIÁVEIS

Foram escolhidos onze jogos de dados de atividades expostas a fonte de calor. Os dados mensurados foram  $t_{bs}$ ,  $t_g$ , e  $t_{bu}$ . Estes dados foram quantificados através de dois equipamentos IBUTG digital e IBUTG árvore. O metabolismo “M” foi estimado através da tabela da norma NR-15.

#### 3.2.1 Equipamentos de Medição

A medição das variáveis incidentes nos índices WBGT e IBUTG foi realizada através de equipamento denominado Índice de Bulbo Úmido e Termômetro de Globo. Existem várias versões deste equipamento no mercado, porém o mais utilizado no Brasil é a denominada árvore do IBUTG e o equipamento digital com a determinação direta do valor do IBUTG.

### 3.3 CÁLCULO DOS ÍNDICES E CICLO DE TRABALHO DESCANSO

Para obter o valor dos índices WBGT, IBUTG, DL1 e DL2, foi criado uma Tabela de cálculos em planilha eletrônica.

#### 3.3.1 Dados de entrada

Os dados de entrada de cada planilha eletrônica são quantificados e estimados em postos de trabalho, com exposição a fontes de calor geradores de *stress* térmico. Os postos laborais avaliados foram:

- atividades com exposição a calor radiante (fonte solar) e processo laboral de alta exigência quanto à taxa metabólica tais como: cortador de cana e trabalhador na atividade de acabamento de asfalto (rastelamento da massa asfáltica);

- atividades com exposição parcial a calor radiante (fonte solar) e processo laboral de média exigência, quanto à taxa metabólica, tais como: motorista de usina e tratorista;
- atividade sem exposição direta a raios solares, porém em presença de fonte de calor devido ao funcionamento de equipamentos ou processos laborais com emissão de calor, tais como: padeiro, armazenista, operador de prensa, operador de secador, empacotador e cozinheiro industrial.

Para cada um destes postos laborais, foram levantadas as condições ambientais do posto de trabalho, analisados os Ciclos de Trabalho/Descanso, observado o processo de execução das atividades, avaliado o metabolismo despendido pelo trabalhador para executar sua atividade e a resistência térmica de suas roupas utilizadas na jornada laboral. Foram medidas as variáveis ambientais;  $t_{bun}$ ,  $t_{bs}$ ,  $t_g$ , e estimado a variável  $M$ .

### 3.3.1.1 Dados de Entrada Mensurados, Estimados e Adotados

De cada um dos postos de trabalho com exposição ao agente calor em condições de *stress* térmico, foram anotados os dados quantificados  $t_{bun}$ ,  $t_{bs}$  e  $t_g$ , os dados estimados  $M$  e o dados adotados  $I_{cl} = 0,6$  clo,  $v_a = 0,01$  m/s, “com carga solar” e  $p = 101,3$  kPa.

O metabolismo “ $M$ ” foi estimado através da tabela da NR-15.

O isolamento térmico das roupas “ $I_{cl}$ ” foi adotado igual a 0,6 clo para todos os casos, pois a ISO 7243/89 faz observação que os tempos limites de exposição resultantes da aplicação desta norma é válida para  $I_{cl} = 0,6$  clo, sendo que para os demais valores existe a necessidade de ajustes.

A velocidade do ar,  $v_a = 0,01$  m/s, foi adotada no sentido de facilitar as comparações.

Na planilha eletrônica, os primeiros cálculos consideram a situação de exposição “com carga solar” e depois contempla a situação “sem carga solar”. O mesmo ocorre com a pressão atmosférica que foi primeiramente adotada 101,3 kPa de Florianópolis- SC e depois 94,6 kPa de Campo Grande – MS. Foram adotados

estes valores no sentido de contemplar análise das diferenças nos resultados quando esta variável sofre mudança de grandeza.

A Tabela 3.4 apresenta o resumo das Atividades Tipo, suas variáveis ambientais e pessoais, que formam o conjunto de dados de cada um dos casos que serão objeto de análise quanto aos resultados dos tempos limites de exposição.

**Tabela 3.4** – Quadro resumo das medições e valores adotados para as variáveis ambientais, atividades tipo, e variáveis pessoais

Casos	Atividade Tipo	Variáveis ambientais				Variáveis pessoais	
		$t_{bun}$ (°C)	$t_{bs}$ (°C)	$t_g$ (°C)	$V_a$ (m/s)	$M$ (W/m <sup>2</sup> )	$I_{cl}$ (clo)
1º	<b>Padeiro</b> – em ambiente pequeno e de pouca renovação de ar.	27,2	35,7	37,6	0,01	113	0,6
2º	<b>Empacotador</b> – em fábrica de biscoitos e macarrão.	26,8	40,4	40,8	0,01	113	0,6
3º	<b>Cozinheiro Industrial</b> – atividade em cozinha hospitalar.	27,0	35,4	36,6	0,01	113	0,6
4º	<b>Operador de prensa</b> - em indústria de biscoitos.	31,8	41,8	45,3	0,01	97	0,6
5º	<b>Armazenista</b> – de galpão de secador de cereais, com exposição indireta a raios solares (sob superfície de cobertura de chapas de zinco).	27,5	34,4	36,0	0,01	285	0,6
6º	<b>Operador de Secador</b> – em galpão de cobertura de zinco.	28,0	33,5	40,4	0,01	285	0,6
7º	<b>Servente</b> – carregamento de tijolos em olaria com e sem carga solar.	25,0	32,2	33,2	0,01	143	0,6
8º	<b>Motorista de Caminhão em Usina de Álcool</b> – atividade exposta a raios solares de forma não contínua e metabolismo de classe leve.	31,2	32,2	32,4	0,01	97	0,6
9º	<b>Tratorista e Operador de Colheitadeira</b> – Exposição direta e intermitente a radiação solar.	29,8	34,6	41,6	0,01	117	0,6
10º	<b>Cortador de Cana</b> – atividade com exposição direta aos raios solares e de alta taxa de metabolismo.	32,4	39,5	44,4	0,01	357	0,6
11º	<b>Rasteleiro</b> – rastelamento de asfalto – exposição contínua a radiação direta de raios solares.	25,1	39,5	43,1	0,01	285	0,6

### 3.3.2 Cálculo do WBGT e IBUTG

Com os dados de entrada de cada hipótese composta por  $t_{bun}$ ,  $t_{bs}$ ,  $t_g$ , e  $M$ , em planilha eletrônica, foram calculados os índices IBUTG e WBGT e determinados os ciclos correspondentes de Trabalho/Descanso. Foram realizados os cálculos com os dados da Tabela 3.4 (situação de mensuração e estimativa das variáveis do posto laboral). Com estes mesmos dados, para cada um dos parâmetros: UR;  $M$ ;  $I_{cl}$ , e  $v_a$  foi realizada a variação paramétrica individual, enquanto, os outros fatores permaneciam constantes. A variação paramétrica foi realizada no sentido de contemplar as várias situações a que o trabalhador é submetido quando exposto à fonte de calor.

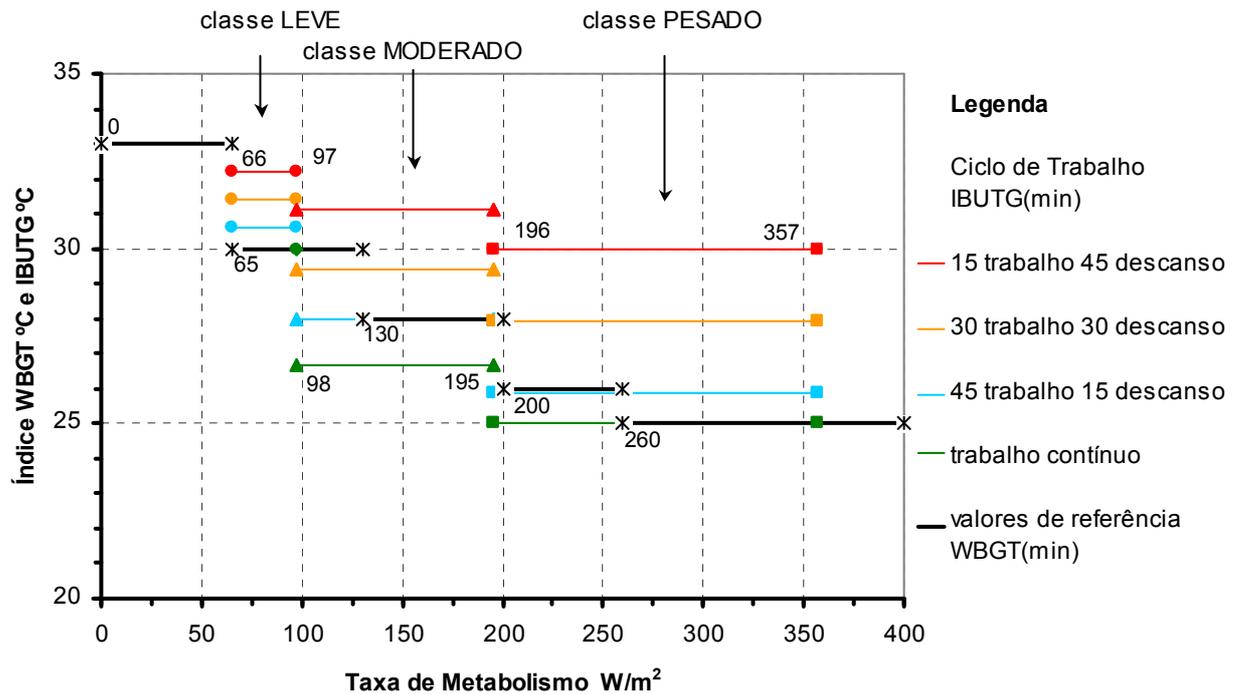
### 3.3.3 Identificação do Nível de *Stress* Térmico e dos Ciclos de Trabalho / Descanso Permissível Para WBGT e IBUTG

Os índices WBGT e IBUTG são analisados conforme a classificação da taxa metabólica e através das Tabelas dos Limites de Tolerância e/ou Valores de Referência identificando a situação de *stress* térmico e classificando o Ciclo de Trabalho/Descanso permissível.

A Figura 3.4 é uma representação gráfica, com superposição da Figura 3.3 e dos segmentos de reta dos Valores de Referência do índice WBGT, apresentado na Figura 3.1, em função da classe da Atividade e do Ciclo de Trabalho/Descanso.

A Figura 3.4 representa as retas do valor máximo do índice IBUTG, em função da atividade e do Ciclo de Trabalho/Descanso e os segmentos de reta representativos dos Valores de Referência do índice WBGT.

Os valores máximos dos limites de tolerância para o índice IBUTG em função do metabolismo são representados através de segmentos de reta em coerência com as retas que representam os valores de referência do WBGT. Porém, estes últimos mostram valores mais rigorosos, quanto maior for o valor do metabolismo.

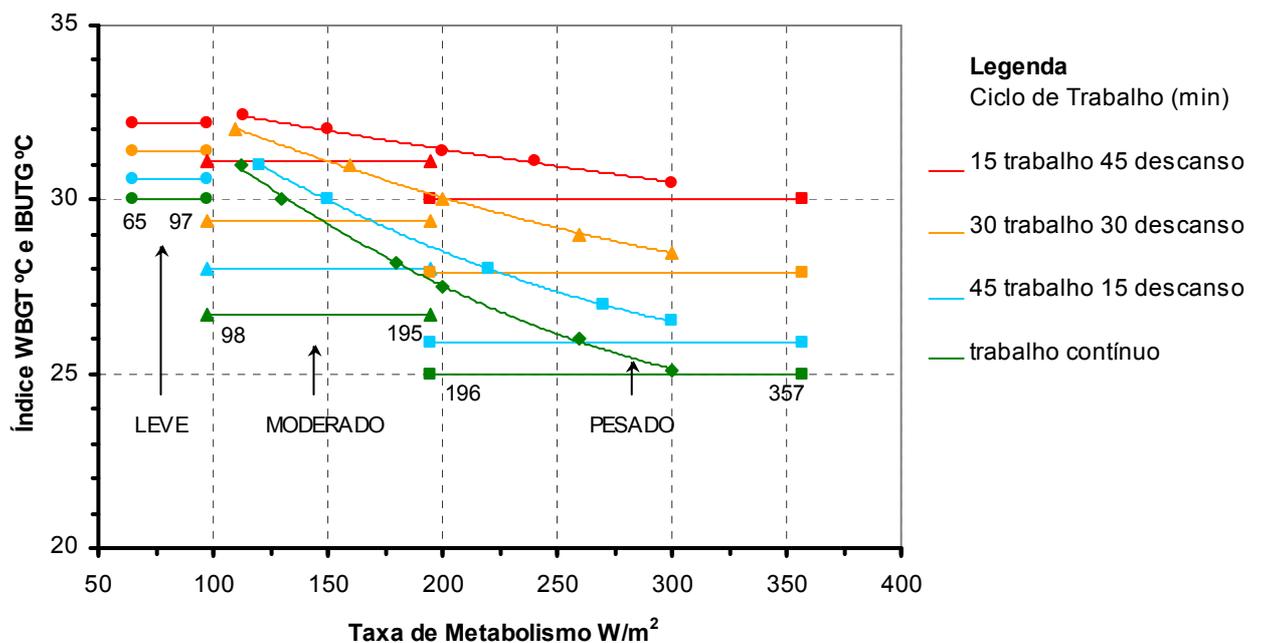


**Figura 3.4** Segmentos de retas de Valores de Referência do índice IBUTG adotados em função da classe da atividade e do Ciclo de Trabalho/Descanso e os segmentos de retas dos Valores de Referência do WBGT.

Na faixa de classe leve, todos os ciclos de Trabalho/Descanso do IBUTG estão acima dos valores de referência do WBGT. Na faixa de metabolismo moderado estes ciclos estão mesclados, sendo que, até o metabolismo  $130\text{W/m}^2$ , os ciclos trabalho contínuo, 45 e 30 minutos apresentam valores abaixo dos valores de referência do WBGT. Porém, para metabolismo maiores que  $130\text{W/m}^2$  apenas, o trabalho contínuo apresenta limites mais rigorosos que os valores de referência do WBGT e o ciclo 45 de trabalho apresenta o mesmo valor de limite máximo de IBUTG e WBGT. Para o metabolismo Pesado, os valores máximos de limite de tolerância para IBUTG são coincidentes com os valores de referência do WBGT, com exceção para a faixa de metabolismo  $196\text{ W/m}^2$  até  $199\text{ W/m}^2$ , onde o índice WBGT apresenta valores de referencia mais restritivos que o índice IBUTG, e da faixa  $200\text{W/m}^2$  a  $259\text{W/m}^2$ , quando o índice IBUTG apresenta limite de tolerância de menor valor para ciclo de trabalho contínuo. Para metabolismo pesado, a partir de  $260\text{ W/m}^2$ , o valor máximo de IBUTG coincide com o Valor de Referencia do índice WBGT.

A Figura 3.5 apresenta os segmentos de reta representativos dos valores máximos do índice IBUTG, para o mesmo Ciclo de Trabalho/Descanso, comparado com as curvas dos valores de referência do índice WBGT, que apresenta a mesma tendência de valores. Porém os valores do índice IBUTG são sempre mais rigorosos do que os valores tabelados na norma ISO, para o mesmo Ciclo de Trabalho/Descanso e mesmo valor da taxa metabólica em W.

A Figura 3.5 apresenta a superposição das curvas da Figura 2.5 com os segmentos de reta da Figura 3.3, sendo uma comparação gráfica das curvas de correlação dos índices WBGT e os intervalos de valores (segmentos de retas) do IBUTG para vários Ciclos de Trabalho/Descanso relacionados às taxas de metabolismo.



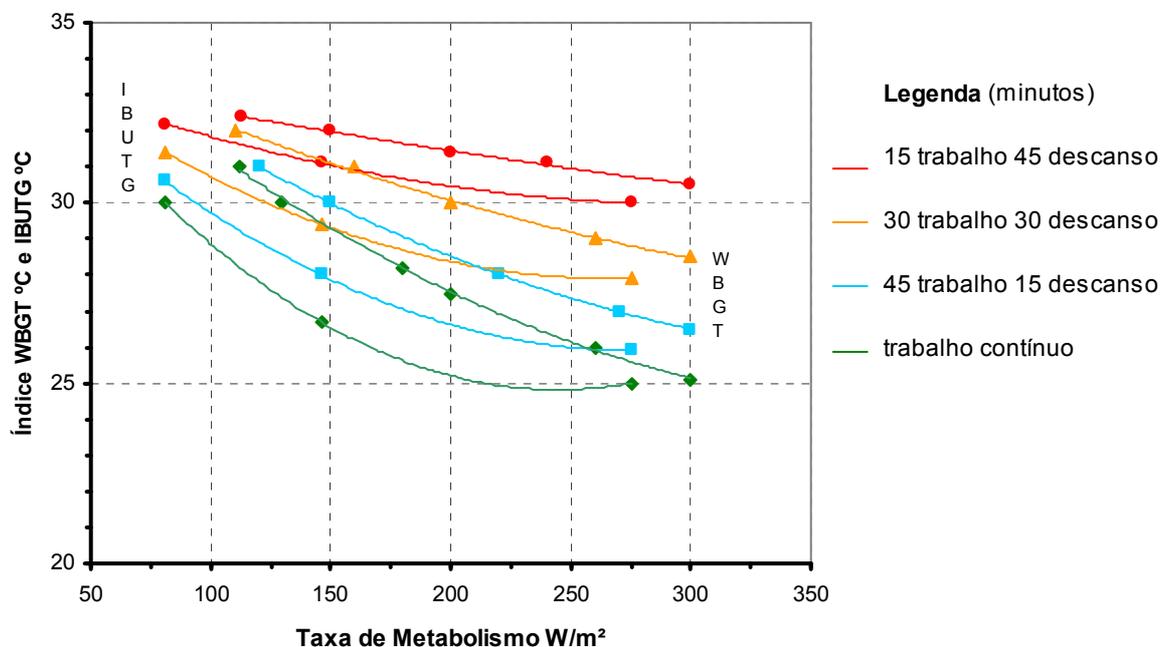
**Figura 3.5** Curvas de valores do índice WBGT e das retas de valores de referência do índice IBUTG em função da atividade e do Ciclo de Trabalho/Descanso.

Na figura 3.5 observa-se, que para cada tipo de ciclo de Trabalho/Descanso existe uma área de variação entre o limite máximo do índice IBUTG e o limite máximo do índice WBGT, sendo que, o primeiro apresenta-se sempre com limites mais rigorosos. Por exemplo: A curva para ciclo de trabalho contínuo do índice WBGT está acima de todos os valores dos segmentos de reta que representam

os limites máximos de IBUTG para cada classe de metabolismo, seja: leve, moderado ou pesado. A área existente entre a curva e os segmentos de reta, representam a variação existente entre estes dois índices que, está relacionada não as suas fórmulas, por que são idênticas, mais sim, as tabelas e classificações do metabolismo, e a fixação empírica dos limites de tolerância para ciclos de Trabalho/Descanso. Cumpre destacar, que a ISO do índice WBGT propõe os ciclos de Trabalho/Descanso para a fase de adaptação, sendo que, para atividade contínua, admite os valores de referência da tabela 2.5.

A figura 3.6 foi construída no sentido de comparar as curvas do índice WBGT para ciclos de Trabalho/Descanso e as curvas representativas dos limites máximos para o ponto médio de cada classe de metabolismo (leve, moderado e pesado) do índice IBUTG. O objetivo de construir este gráfico é visualizar as curvas e compará-las quanto à forma, disposição e valores.

Observa-se que as curvas do índice IBUTG apresentam valores máximos de limite de tolerância inferiores aos admitidos pelas curvas do índice WBGT.



**Figura 3.6** Curvas de Valores de Referência do índice WBGT da tabela 2.5 e os Valores de Referência para o índice IBUTG utilizando os valores médios dos limites de metabolismo adotado e os valores máximos do índice IBUTG da tabela 3.3.

As figuras 3.5 e 3.6 demonstram graficamente serem os valores dos índices IBUTG para os vários ciclos de Trabalho/Descanso, menores em grandeza do que os valores limite do índice WBGT, para os mesmos ciclos de Trabalho/Descanso. Isso equivale concluir que, os resultados para a mesma entrada de dados na aplicação da norma do índice IBUTG pode determinar um ciclo de menor tempo de atividade, do que o determinado pela aplicação da norma do índice WBGT.

Após estes estudos comparativos foram adotados, para efeito do desenvolvimento das análises deste trabalho, os limites de tolerância para os índices WBGT e IBUTG.

- Para a verificação do ciclo de trabalho permissível relacionado ao índice IBUTG adotou-se a Tabela 3.3, que é a interpretação mais conservadora na preservação da saúde do trabalhador de conformidade com a NR-15 da Portaria 3214/78 do Ministério do Trabalho do Brasil.
- Para a verificação do ciclo de trabalho permissível referente ao índice WBGT, adotou-se, primeiramente, a comparação deste índice, com os valores de referência da Tabela 2.5 e depois, se WBGT superior a estes valores, a verificação dos ciclos de Trabalho/Descanso ocorreu através das equações das curvas da Figura 2.5.

A representação gráfica dos valores adotados está contida na Figura 3.5.

#### **3.3.4 Cálculo da Taxa Requerida de Suor e os Tempos de Exposição Permitidos**

Para o cálculo do DL1 e DL2, as variáveis de entrada são as já mencionadas, incluindo também: a pressão atmosférica do local ( $p_a$ ), a temperatura de bulbo úmido ventilado ( $t_{bu}$ ), a velocidade do ar ( $v_a$ ) e a resistência térmica das roupas ( $I_{cl}$ ). A umidade relativa UR foi inicialmente adotada em 50% (cinquenta por cento) para os dados quantificados e depois, durante o estudo paramétrico, este parâmetro variou conforme apresentado a seguir.

### 3.4 TRATAMENTO PARAMÉTRICO DOS DADOS

Para cada atividade laboral os valores das variáveis envolvidas nos índices WBGT e IBUTG foram quantificados e registrados, em uma única linha de cálculos. Estes índices foram então analisados e definidos os ciclos de trabalho /descanso e com outros dados de entrada calculados os valores do DL1 e DL2.

Após a análise (utilizando os valores reais quantificados), passamos a realizar a variação paramétrica destes parâmetros:

- Para a variável - isolamento térmico das roupas " $I_{cl}$ " foi admitido, inicialmente, o valor utilizado pela ISO 7243 de 0,6 clo e posteriormente variando este valor de 0,6 até 1,10 clo.
- Para a variável - velocidade do ar " $v_a$ ", foi admitido o valor mínimo de 0,01 m/s e posteriormente variando em até 1,00 m/s, com intervalos de 0,25 e depois variando de 1,5 m/s até 5,0 m/s, com intervalos de 0,5.
- Para a taxa de metabolismo " $M$ ", foi admitido inicialmente o valor observado *in-locu* por ocasião da análise das condições e processo laboral, estimado pela tabela da NR-15 e posteriormente variando este parâmetro dentro dos limites da Tabela 2.4 – Classificação dos níveis da taxa de Metabolismo - ISO 7243 (65, 130, 200 e 260 W/m<sup>2</sup>) e dos valores limites da Tabela 3.2 – Taxas de Metabolismo, por tipo de atividade da NR-15, transformados para 65, 98 e 196 W/m<sup>2</sup>.

Como a Tabela da NR-15 apresenta seus valores em kcal/h, estes foram transformados para a unidade W/m<sup>2</sup>, conforme apresentado na coluna complementar da Tabela 3.2. Para a construção da planilha de cálculos, foi utilizado o critério mais conservador da leitura do quadro original em kcal/h da NR-15. Observa-se que, por exemplo, se uma taxa de metabolismo construída por outros métodos chegar a 151kcal/h (98W/m<sup>2</sup>) a NR-15 não define o limite do tipo de atividade, podendo estar contemplada no trabalho leve ou no trabalho moderado. Existe uma incerteza de classificação para os intervalos maior que 150kcal/h (97W/m<sup>2</sup>) e menor que 180kcal/h (117W/m<sup>2</sup>) e para maior que 300kcal/h (195W/m<sup>2</sup>) e menor que 440 kcal/h (285W/m<sup>2</sup>). Portanto, o critério adotado foi o mais conservador,

classificando-se o 151kcal/h como trabalho moderado e o 301kcal/h como trabalho pesado.

- Para o “ $t_{bu}$ ”, “ $t_{bs}$ ” e “ $t_g$ ” foi admitido valores individuais, variando para mais ou para menos, um de cada vez, enquanto os demais parâmetros permanecem constantes.
- Para a variável ambiental UR, foi primeiramente adotado o valor de 50% e parametricamente os valores de 100% a 10% variando na dezena.
- O “ $t_{bu}$ ”, foi calculado em função dos valores de  $t_{bs}$ , UR (umidade relativa) e p (pressão atmosférica).

Após cada uma das variáveis citadas serem submetidas a variações, enquanto os demais parâmetros eram mantidos constantes, foi realizada análise destes resultados e promovido novas variações dos parâmetros, combinando-os dentre os que mais influenciaram em resultados adversos.

As variações paramétricas também foram realizadas para as opções de entrada de dados, “com carga solar” e “sem carga solar”, para possibilitar a análise da influência deste, nos resultados.

Ignorando-se o “p” (pressão atmosférica) do local do levantamento dos dados, a análise paramétrica também levou em consideração a variação deste parâmetro já que os índices IBUTG e WBGT não o contemplam diretamente. Foi adotado o “p” de Florianópolis 101,33 kPa e de Campo Grande 94,6 kPa, pois representa uma variação significativa em grandeza (mais de seis unidade em kPa).

### 3.5 METODOLOGIA DE APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

#### **3.5.1 Cálculos dos Índices Considerando os “Casos”**

Para cada conjunto de “Casos” é apresentado o resultado dos cálculos dos três índices, considerando a existência de “com carga solar” e para pressão atmosférica 101,3 kPa.

A análise dos resultados obtidos apresenta os valores de DL1 e DL2 para “trab. contínuo” e o valor dos índices IBUTG e WBGT, com seus respectivos ciclos de Trabalho/Descanso, definidos em função das tabelas de valores de referência.

Se  $DL1 > DL2$  e  $DL2 < 480$  a jornada laboral diária fica limitada ao valor de DL2 em minutos, não sendo permissível estudos para ciclos, devido à excessiva perda d’água do organismo.

Se  $DL1 < DL2$  e  $DL1 \leq 30$ min, a ISO 7933/89 permite atividade contínua, limitada ao valor de DL1 em minutos, porém exige acompanhamento individual no homem exposto, e controle constante na fonte.

Se  $DL1 < DL2$  e  $DL1 > 45$ min é realizado o cálculo dos índices DL1 e DL2 para ciclo 30t 30d e 15t 45d considerado M de descanso igual a  $65 \text{ W/m}^2$ . Neste caso, a interpretação dos resultados é calculada usando-se os valores médios ponderados pelo tempo entre  $E_{req}$  e  $E_{máx}$ .

$$E_{reqciclo} = ( \text{tempo(trab)} \times E_{reqt} + \text{tempo(desc)} \times E_{reqd} ) / 60 \quad (\text{Eq. 3.01})$$

tempo(trab) = tempo de trabalho/hora

tempo(desc) = tempo de descanso/hora

$E_{reqciclo}$  = Taxa requerida de evaporação para manutenção do equilíbrio térmico do corpo durante o ciclo de Trabalho/Descanso;

$E_{reqt}$  = Taxa requerida de evaporação para manutenção do equilíbrio térmico do corpo durante o tempo de trabalho;

$E_{reqd}$  = Taxa requerida de evaporação para manutenção do equilíbrio térmico do corpo durante o tempo de descanso.

$$E_{máxciclo} = ( \text{tempo(trab)} \times E_{máxt} + \text{tempo(desc)} \times E_{máxd} ) / 60 \quad (\text{Eq. 3.02})$$

$E_{máxciclo}$  = Taxa de evaporação máxima para manutenção do equilíbrio térmico do corpo durante o ciclo de Trabalho/Descanso;

$E_{máxt}$  = Taxa de evaporação máxima para manutenção do equilíbrio térmico do corpo durante o tempo de trabalho;

$E_{máxd}$  = Taxa de evaporação máxima para manutenção do equilíbrio térmico do corpo durante o tempo de descanso.

Se  $DL1 < DL2$  e  $DL1 > 60$ min é realizado o cálculo dos índices DL1 e DL2 para ciclo “45t 15d”, “30t 30d” e “15t 45d”, considerando M de descanso igual a  $65 \text{ W/m}^2$ . A

interpretação dos resultados é calculada usando-se os valores médios ponderados, pelo tempo entre  $E_{req}$  e  $E_{máx}$ .

De cada “Caso”, os cálculos dos índices são novamente realizados considerando a existência de “sem carga solar” e para 94,6 kPa. Se as diferenças apresentadas são pequenas, na casa dos até 0,20 (vinte décimos), os valores não são apresentados, apenas citados.

### **3.5.2 Cálculo dos Índices Considerando os “Casos” e a Variação Paramétrica Individual dos Fatores Intervenientes Destacados**

#### **3.5.2.1 Variação do Metabolismo**

Para cada “Caso” foi realizada a variação paramétrica do metabolismo enquanto os demais fatores:  $t_{bun}$ ,  $t_{bu}$ ,  $t_{bs}$ ,  $t_g$ ,  $v_a$ ,  $I_{cl}$ , e UR permanecem constantes. A variação paramétrica do metabolismo assume os valores limites adotados da tabela da NR-15 e os definidos pelas classes da ISO 7243/89, a saber: 65, 98, 130, 196, 200 e 260W/m<sup>2</sup>.

Apresentação e análise dos resultados dos índices e dos cálculos para ciclo, quando permissíveis.

Cálculo para “sem carga solar” e para 94,6 kPa. Apresentação e análise dos resultados. Se estes resultados apresentam pouca diferença em relação ao anterior, será apenas comentado.

#### **3.5.2.2 Variação da Umidade Relativa**

Para cada “Caso”, cálculo dos índices variando a umidade relativa de 100% até 10% e mantendo os demais fatores constantes.

Apresentação e análise dos resultados.

Idem quanto aos DL1 e DL2 dos ciclos de Trabalho/Descanso, quando permissíveis.

### 3.5.2.3 Variação da Velocidade do Ar

Para cada conjunto de dados, cálculo dos índices variando a velocidade do ar de 0,01m/s até 5m/s e mantendo os demais fatores constantes.

#### Apresentação e análise dos Resultados

Idem quanto aos DL1 e DL2 dos ciclos de Trabalho/Descanso, quando permissíveis.

### 3.5.2.4 Variação do Isolamento Térmico das Roupas

Para cada “Caso” foram calculados os índices, variando o Icl de 0,6 clo até 1,1 clo e mantendo os demais fatores constantes.

### 3.5.2.5 Apresentação e análise dos resultados

Idem quanto aos DL1 e DL2 dos ciclos de Trabalho/Descanso, quando permissíveis.

Quando os resultados dos vários “Casos” forem muito semelhantes, será apresentado e comentado apenas o mais significativo, realizando análise sobre as diferenças apresentadas.

De cada variação paramétrica a partir da observação e análise de cada um dos “Casos”, é possível concluir se existe uma correlação lógica entre elas.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os dados quantificados e estimados nos diversos postos laborais (Tabela 3.4) foram trabalhados em planilha eletrônica, servindo como referência para análise hipotética dos valores dos parâmetros envolvidos nas três normas de quantificação do *stress* térmico. Esses dados sofreram variações paramétricas já descritas no capítulo 3, cujos resultados obtidos pela aplicação desses métodos, apresentaram valores de índices e respectivas definições de Ciclo de Trabalho/Descanso, que foram concentrados e resumidos propiciando, desta forma, uma comparação desses resultados.

Portanto, a Tabela 3.4 apresenta dados quantificados e estimados, que foram utilizados hipoteticamente como ponto de partida para a variação dos dados, visando o estudo dos índices e sua aplicação quanto ao tempo permissível da atividade com exposição ao *stress* térmico.

Neste capítulo, serão apresentados, primeiramente, para o “1º Caso”, os resultados dos cálculos dos índices e a aplicação das normas, bem como os resultados da variação paramétrica do  $I_{cl}$ ,  $M$ ,  $UR$  e  $v_a$ . Serão apresentados também, em item específico, os “Casos” que apresentaram resultados mais expressivos para a variação paramétrica de cada um dos itens.

### **4.1 PRIMEIRO CONJUNTO DE DADOS – 1º CASO**

#### **4.1.1 *Entrada dos Dados Quantificados e Estimados e Resultados dos Cálculos dos Índices, DL1, DL2, IBUTG e WBGT, Quanto a Aplicação das Normas***

A Tabela 4.1 destaca os dados do posto laboral “Padeiro” já apresentados no capítulo 3, na tabela 3.4, que será utilizado como o conjunto de dados hipotéticos “1º Caso”, nos cálculos para comparação das normas.

**Tabela 4.1** – “1º Caso” - Dados Quantificados, Estimados e Adotados

Tipo de atividade	Dados da atividade com exposição ao stress térmico						
	t <sub>bun</sub> (°C)	t <sub>bs</sub> (°C)	t <sub>g</sub> (°C)	V <sub>a</sub> (m/s)	M		I <sub>cl</sub> (clo)
					(kcal/h)	(W/m <sup>2</sup> )	
1º Caso	27,2	35,7	37,6	0,01	175	113	0,6

**A** - Cálculos “com carga solar” e variação de pressão atmosférica (p).

Para propiciar os cálculos de IBUTG e WBGT foi adotado o ambiente “com carga solar”, e para atender aos cálculos dos índices DL1 e DL2 foi adotado: Umidade Relativa UR = 50% e Pressão Atmosférica p = 101,3 kPa.

**Tabela 4.2** – “1º Caso” – Resultados “com carga solar”, UR = 50% e p = 101,3 kPa

ISO 7933/89		IBUTG WBGT (°C)	CICLO DE TRABALHO PERMISSÍVEL Minutos de Trabalho/Descanso	
DL1 (min)	DL2 (min)		NR-15/78 - IBUTG	ISO 7243/89 - WBGT
Superior a 480	Superior a 480	30,13	Moderado - 15t 45 d	Baixa – 45T 15D

Os índices apresentaram resultados diferentes.

A taxa metabólica, primeiramente estimada pela tabela da norma NR-15 em kcal/h e transformada para W/m<sup>2</sup> (considerando a superfície de pele igual a 1,8m<sup>2</sup>) foi enquadrada na tabela da norma ISO 7243/89. Essas tabelas possuem classificações diferentes e determinaram classe “Moderado” para NR-15 e “Baixa” para ISO 7243/89.

Com o valor dos índices IBUTG e WBGT, e com as classes dos metabolismos já estimados, estes foram comparados com as respectivas tabelas de valores de referência, e determinado os máximos ciclos de exposição permissíveis. Para a NR-15, resultou ciclo de “15t 45d”, ou seja, quinze minutos de trabalho e quarenta e cinco minutos de descanso (120 min de efetivo trabalho) e para ISO 7243/89 ciclo de “45T15D”, que representa exposição permissível de 360 minutos por jornada.

O índice WBGT apresentou valor igual a 30,13 que para o metabolismo 113 W/m<sup>2</sup> - classe Baixa, fica próximo das condições de conforto (valor limite WBGT = 30), e

nestas condições o método da ISO 7243/89 não é muito recomendado, para avaliação do *stress* térmico.

Pelo método ISO 7933/89, os índices DL1 e DL2, resultaram em valores superiores a 480 minutos, ou seja, valor limite de exposição em minutos, superior à jornada laboral diária de 480 minutos.

O método NR-15 permite 15 min de trabalho a cada 45 de descanso, o que equivale a oito ciclos de 15 min, totalizando 120 minutos de efetivo trabalho.

Concluindo, para estes dados, do “1º Caso”, a NR-15 permite 120 min, a ISO 7243/89 permite 360 min e a ISO 7933/89 permite 480 min de trabalho em metabolismo 113 W/m<sup>2</sup>. Isto equivale a dizer que, para as condições do “1º Caso”, o método do Índice de Bulbo Úmido e Termômetro de Globo apresenta resultados mais rigorosos do que o método do Balanço Térmico.

#### **B - Cálculos “sem carga solar” e variação de pressão atmosférica (p).**

Os mesmos dados da tabela 4.1 foram utilizados para a condição de “sem carga solar” e para a variação da pressão atmosférica de 101,3 kPa para 94,6 kPa.

O valor de DL1 e DL2 permanecem iguais, pois o dado “carga solar” não é considerado diretamente nos cálculos destes índices.

Para “sem carga solar” o índice WBGT resultou no valor de 30,32 e o metabolismo é classificado como “Baixa”. Este resultado encontra-se próximo à zona de conforto e, portanto, o método não é muito indicado e apresentou resultado de ciclo trabalho “45T 15D”.

Refazendo-se os cálculos para  $p = 94,6$  kPa, os índices IBUTG e WBGT permanecem os mesmos e o DL1 e DL2 apresentam tempo permissível superior a 480 min, definindo nestas condições, ciclo “trabalho contínuo”.

Esses resultados comparados com os da alínea “A” apresentaram variação na casa de dois a três décimos, considerados desprezíveis.

#### **4.1.2 Entrada de Dados Variando Parametricamente Cada um dos Dados Quantificados e Estimados, Apresentação e Análise dos Resultados dos Índices; DL1, DL2, IBUTG e WBGT, na Aplicação das Normas**

A variação paramétrica ocorreu com um dado de entrada enquanto os demais dados de entrada permanecem constantes.

A variação paramétrica foi desenvolvida conforme apresentada no capítulo 3.

#### 4.1.2.1 Quanto a Variação Paramétrica da Umidade Relativa

A Umidade Relativa não participa, diretamente, como parâmetro nas fórmulas dos índices IBUTG e WBGT, porém, interfere indiretamente no dado de  $t_{bu}$  e  $t_{bun}$ .

Como  $t_{bu}$  não foi quantificado, este foi calculado em função da UR e do  $t_{bs}$ . Nestes cálculos, o  $t_{bun}$  assumiu o valor do  $t_{bu}$  em número inteiro, acrescido de, no máximo, dois graus.

A Umidade Relativa sofreu variação paramétrica, enquanto os dados quantificados e estimados permaneceram constantes.

**A** – Cálculos “com carga solar” e variação da pressão atmosférica (p).

A Tabela 4.3 apresenta os resultados dos índices IBUTG, WBGT e DL1 em relação à UR para os dados quantificados e estimados, considerando-se “com carga solar” e  $p = 101,3$  kPa.

**Tabela 4.3** – Dados de entrada “1º Caso” – Resultados da variação paramétrica da UR, para “com carga solar” e  $p = 101,3$  kPa. O DL1 e DL2 foram calculados para ciclo “trabalho contínuo”

UR	IBUTG	ISO 7933/89		NR -15/78		ISO 7243/89	
		WBGT	DL1(trab)	DL2 (trab)	Ciclo NR-15	IBUTG trab(min)	Ciclo ISO 7243
1,00	36,08	33,54	480,00	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0
0,90	35,59	43,12	480,00	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0
0,80	34,19	60,09	480,00	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0
0,70	32,79	99,31	480,00	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0
0,60	32,09	287,15	480,00	Trab Não Per	0	15T 45D	120
0,50	30,69	480,00	480,00	15t 45d	120	45T 15D	360
0,40	28,59	480,00	480,00	30t 30d	240	W trab contínuo	480
0,30	27,19	480,00	480,00	45t 15d	360	W trab contínuo	480
0,20	25,09	480,00	480,00	Trab Contínuo	480	W trab contínuo	480
0,10	23,69	480,00	480,00	Trab Contínuo	480	W trab contínuo	480

Para UR=0,10 e 0,20 a aplicação das três normas resultaram ciclo permissível de trabalho contínuo.

Para UR=0,30 e 0,40 as normas ISO 7243/89 e ISO 7933/89 resultaram em ciclo permissível de trabalho contínuo e a NR-15/78 em ciclo “45t 15d” para UR=0,30 e “30t 30d” para UR=0,40.

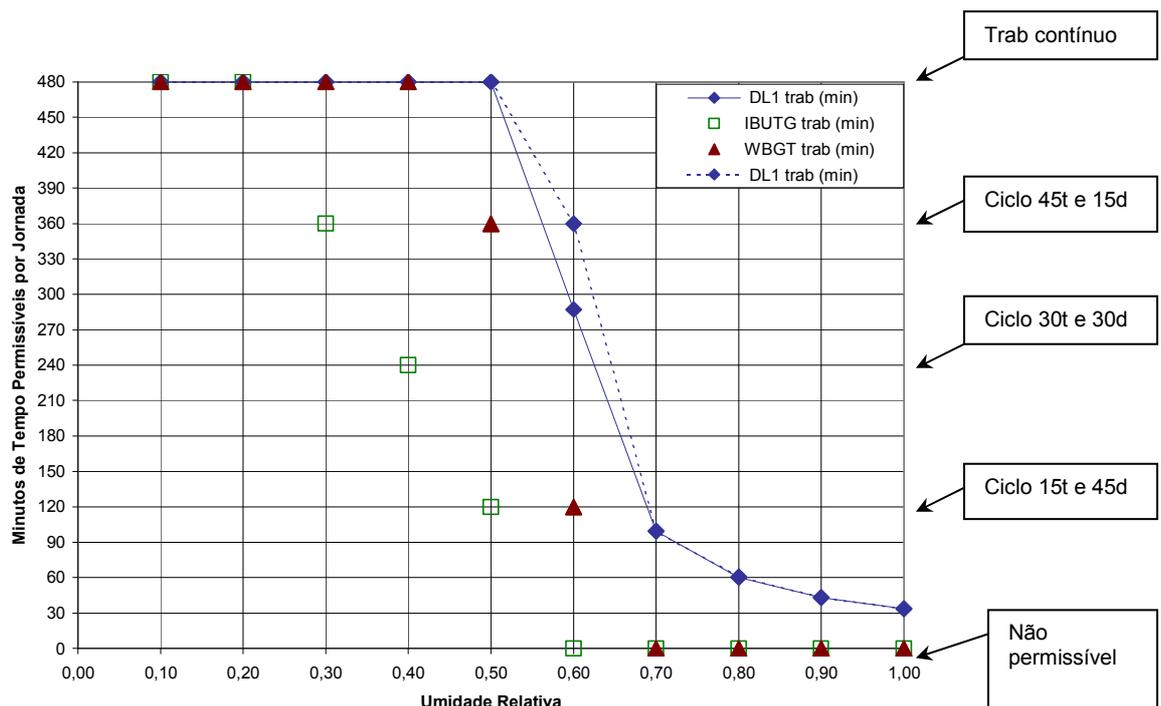
Para UR=0,50 a aplicação das normas resultou em trabalho contínuo para ISO 7933/89, “15t 45d” para NR-15/78 e “45T 15D” para ISO 7243/89.

Para UR=0,60 até UR=1,00 a ISO 7933/89 resultou em jornada restritiva devido ao aumento da temperatura corporal, a aplicação da NR-15/78 resultou em “Trabalho Não Permissível” e a aplicação da ISO 7243/89, também resultou em “W Não Permissível” com exceção para UR=0,60 que determinou ciclo máximo de “15T 45D”.

Conclui-se, portanto, que no conjunto da variação paramétrica da umidade relativa, a aplicação da norma NR-15 apresentou os resultados mais restritivos, em relação ao tempo permissível da atividade.

Em análise aos valores de DL1 calculados (apresentados na Tabela 4.3, foram calculados o DL1 para outros ciclos. Apenas para UR=0,6, estes cálculos determinaram ciclo permissível de “45T 15D”, para os demais, permaneceu a restrição de jornada pelo aumento da temperatura corporal.

A Figura 4.1 apresenta graficamente os resultados da Tabela 4.3 e o resultado dos cálculos por ciclos de Trabalho /Descanso da ISO 7933/89 para UR=0,60.



**Figura 4.1** - "1º Caso" - Gráfico comparativo dos Índices DL1, DL2, WBGT / IBUTG em Relação a Umidade Relativa, para "com carga solar", p=101,3kPa e ciclos de Trabalho/Descanso.

Para os valores plotados, pode-se construir uma linha de tendência apenas para melhor visualização do comportamento dos dados. Para DL1, esta linha de tendência representa um possível valor intermediário quando a umidade relativa

não for número inteiro, porém, no caso do IBUTG esta linha de tendência não é verdadeira, pois os tempos máximos de exposição serão sempre valores múltiplos de quinze, já que representam os ciclos de Trabalho/Descanso.

Observa-se que, para cálculo de trabalho contínuo e  $UR = 0,60$ , o  $DL1 = 287,15$  (linha contínua) e para cálculos de ciclo de Trabalho /Descanso é permissível 360 minutos de efetivo trabalho (linha tracejada).

Para  $UR = 0,50$  observa-se, que pela norma NR-15 é permitido labor de 120min pela norma ISO 7243/89 é permitido 360 min e pela ISO 7933/89 é permitido 480 min. A norma que apresentou valor mais restritivo foi a NR-15.

Quando esses mesmos dados de entrada, foram utilizados para  $p = 94,6$  kPa a variação dos resultados em relação a  $p = 101,3$  kPa foram pequenos, atingindo um máximo de seis minutos para  $UR = 0,70$ .

**B** – Cálculos para “sem carga solar” e variação da pressão atmosférica.

Para os mesmos dados de entrada quantificados e estimados, para os dois tipos de pressão atmosférica, para “sem carga solar” e “com carga solar”, os resultados não variaram significativamente, ficando também na casa decimal, atingindo o máximo de seis minutos de diferença para DL1. Para o método NR-15, apesar da variável “carga solar” ter influência direta na escolha da equação do IBUTG o valor deste índice não apresentou variação significativa e não determinou alteração nos ciclos, permanecendo os mesmos.

Pode-se afirmar que esta situação corresponde a um caso particular, pois uma variação de um décimo no valor do índice, pode determinar uma mudança no ciclo permissível (Tabela 2.6).

#### 4.1.2.2 *Quanto a Variação Paramétrica do Metabolismo.*

O Metabolismo é um fator muito importante para comparações entre as três normas, pois é determinante na obtenção dos ciclos permissíveis de Trabalho/Descanso do índice IBUTG e WBGT e participa significativamente nos cálculos dos índices DL1 e DL2.

Conforme mencionado no capítulo 3, o metabolismo sofreu variação paramétrica assumindo os valores limites de classificação, das normas NR-15/78 e ISO 7243/89. O metabolismo sofreu variação paramétrica enquanto os demais dados permaneceram constantes.

#### A – Cálculos “com carga solar” e variação da pressão atmosférica (p).

A Tabela 4.4 apresenta os resultados dos índices IBUTG, WBGT e DL1 em relação ao Metabolismo para os dados quantificados e estimados considerando-se “com carga solar” e  $p = 101,3 \text{ kPa}$ .

**Tabela 4.4** – “1º Caso” – Resultado da variação paramétrica do metabolismo para os dados da Tabela 4.1, “com carga solar” e  $p=101,3\text{kPa}$

Metabolismo	IBUTG	ISO 7933/89		NR -15/78		ISO 7243/89	
		W/m2	WBGT	DL1trab(min)	DL2 trab(min)	Ciclo NR-15	IBUTG trab(min)
65,0	30,1	480,00	480,00	45t 15d	360	45T 15D	360
98,0	30,1	480,00	480,00	15t 45d	120	45T 15D	360
113,0	30,1	480,00	480,00	15t 45d	120	45T 15D	360
130,0	30,1	480,00	466,48	15t 45d	120	45T 15D	360
196,0	30,1	83,67	401,57	Trab Não Per	0	15T 45D	120
200,0	30,1	78,52	399,06	Trab Não Per	0	15T 45D	120
260,0	30,1	40,10	300,00	Trab Não Per	0	15T 45D	120

Obs: Os valores de DL1 e DL2 foram calculados para Trabalho Contínuo.

Os valores de DL1 foram calculados para ciclo contínuo.

O valor dos índices IBUTG - WBGT não variou, pois o parâmetro Metabolismo não está contemplado nas fórmulas destes índices.

O DL1 apresenta valor inversamente proporcional ao aumento do Metabolismo.

Para  $M = 65 \text{ W/m}^2$  até  $113 \text{ W/m}^2$  a ISO 7933/89 determinou ciclo de trabalho contínuo, a NR-15/78 para  $65 \text{ W/m}^2$  ciclo de “45t 15d”, e para  $98 \text{ W/m}^2$  e  $113 \text{ W/m}^2$  ciclo de “15t 45d”.

Para  $M = 130 \text{ W/m}^2$  a ISO 7933/89 determinou “Jornada Restritiva por Excesso de Perda D’água” limitada a 466,48 min, NR-15/78 – 120 min e ISO 7243/89 - 360 min.

Para  $M = 196 \text{ W/m}^2$  até  $M = 260 \text{ W/m}^2$  a NR-15/78 não permite a atividade, a ISO 7243/89 permite ciclo de “15t 45d” (120 min) e a ISO 7933/89 restringe a jornada por aumento da temperatura corporal e excesso de perda d’água.

Refazendo-se os cálculos de DL1 para  $M = 196 \text{ W/m}^2$  até  $360 \text{ W/m}^2$ , considerando os ciclos de “15t 45d” e “30t 30d”, estes apresentaram permissão de trabalho para ciclo “15t 45d”. Os cálculos para “30t 30d” apresentaram-se restritivos devido ao aumento da temperatura corporal e excesso de perda d’água. Como para  $M=130\text{W/m}^2$  o DL2 restringe a jornada devido ao excesso de perda d’água, não foram realizados os cálculos para ciclo de Trabalho / Descanso, pois a ISO 7933/89 não permite qualquer exposição acima do tempo calculado para “trabalho contínuo”.

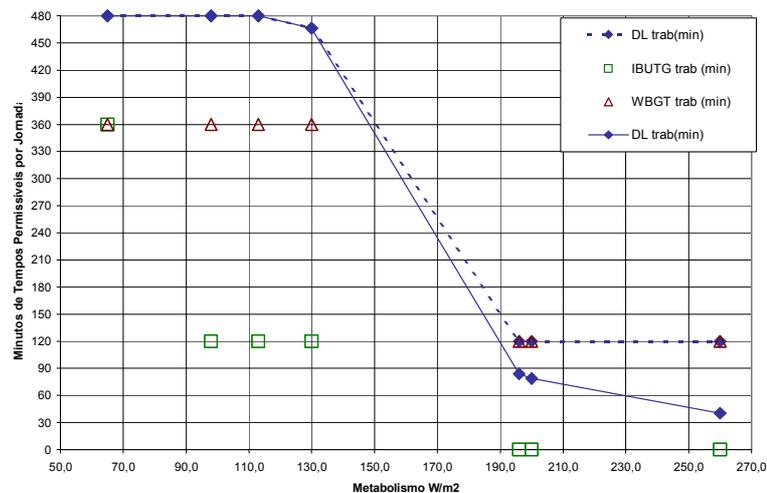


Figura 4.2 . "1º Caso" - Comparativo dos Índices DL1,DL2 / WBGT / IBUTG em Relação a variação paramétrica do Metabolismo - M - para "com carga solar",  $p=101,3\text{kPa}$  e ciclos de Trabalho/Descanso.

Na Figura 4.2, a linha de tendência tracejada representa os tempos permissíveis por ciclos e a linha de tendência contínua representa os cálculos de DL1 e DL2 para “trabalho contínuo”. Em análise à Figura 4.2, podemos concluir, que a aplicação da NR-15 resultou em tempos permissíveis mais restritivos, sendo que, para  $M$  variando de  $130 \text{ W/m}^2$  até  $260 \text{ W/m}^2$  os tempos permissíveis pela ISO 7243/89 são coincidentes com os tempos permissíveis da ISO 7933/89.

A diferença mínima, entre os tempos permissíveis da NR-15 para as demais normas é de 120 minutos.

Quando esses mesmos dados de entrada foram utilizados para  $p = 94,6 \text{ kPa}$ , a variação dos resultados em relação a  $p = 101,3 \text{ kPa}$  foram inferiores a cinco minutos.

**B** – Cálculos para “sem carga solar” e variação da pressão atmosférica ( $p$ ).

Para os mesmos dados de entrada (Tabela 4.1), para os dois tipos de pressão atmosférica, e os dois tipos de carga solar, os resultados não variaram significativamente, ficando na casa decimal, inferior a cinco minutos para DL1.

#### 4.1.2.3 Quanto a Variação Paramétrica do Isolamento Térmico das Roupas.

O Isolamento Térmico das Roupas é um parâmetro muito importante para as trocas de calor entre a superfície da pele e o meio ambiente. A roupa pode facilitar o processo evaporativo do suor proporcionando o resfriamento da superfície da pele ou agir como isolante não permitindo as trocas de calor.

Nas normas dos índices IBUTG e WBGT, esse parâmetro não é considerado nas fórmulas utilizadas.

A Norma NR-15 não faz nenhuma referência a esse parâmetro.

A ISO 7243/89 faz referência ao Isolamento Térmico das Roupas –  $I_{cl}$ , como sendo um fator importante e que a tabela de referência é válida para  $I_{cl} = 0,6$  clo.

#### A – Cálculos para “com carga solar” e variação da pressão atmosférica (p).

**Tabela 4.5** – “1º Caso” – Resultado da variação paramétrica do isolamento térmico das roupas para os dados da Tabela 4.1, “com carga solar” e  $p=101,3$  kPa

$I_{cl}$ (clo)	IBUTG	ISO 7933/89		NR -15/78		ISO 7243/89	
	WBGT	DL1 trab (min)	DL2 trab (min)	Ciclo NR-15	IBUTG trab (min)	Ciclo ISO 7243	WBGT trab (min)
0,6	30,13	480,00	480,00	15t 45d	120	45T 15D	360
0,7	30,13	480,00	480,00	15t 45d	120	45T 15D	360
0,8	30,13	489,87	480,00	15t 45d	120	45T 15D	360
0,9	30,13	242,63	480,00	15t 45d	120	45T 15D	360
1,0	30,13	168,10	480,00	15t 45d	120	45T 15D	360
1,1	30,13	132,17	480,00	15t 45d	120	45T 15D	360

Os índices IBUTG-WBGT não variaram com  $I_{cl}$ , pois esse parâmetro não é considerado na fórmula desses índices, apesar do método ISO 7243/89 considerar válida as tabelas de referência apenas para  $I_{cl} = 0,6$  clo.

O índice DL1 para a variação paramétrica do isolamento térmico das roupas de  $I_{cl} = 0,6$  clo até  $I_{cl} = 0,7$  clo, não caracterizou condições de *stress*.

Para  $I_{cl} = 0,8$  clo, o DL1 resultou em valor superior a 480 minutos, ou seja, permitindo a atividade contínua durante toda a jornada, já que DL2 = 480.

Para  $I_{cl} = 0,9$  clo até  $I_{cl} = 1,1$  clo, o DL1 resultou em tempos restritivos respectivamente, 242,63 min, 168,10 min e 132,17 min.

Para  $I_{cl} = 0,9$  clo até  $I_{cl} = 1,1$  clo foram realizados os cálculos de DL1 para os ciclos Trabalho/Descanso. O Resultado está apresentado na Tabela 4.6.

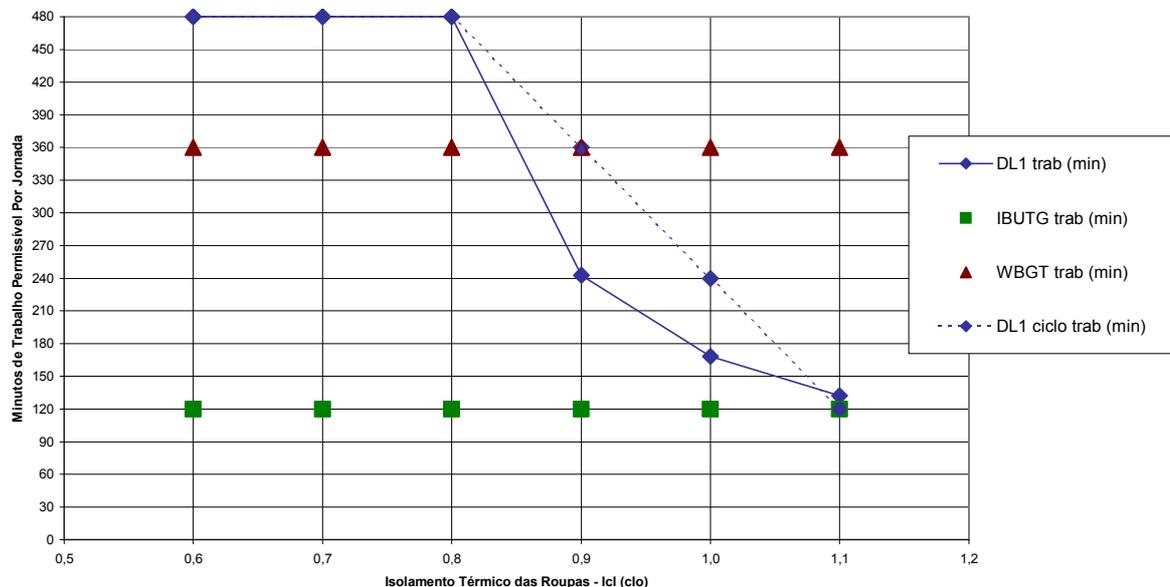
**Tabela 4.6** – “1º Caso” - Cálculos de DL1 e DL2 referente aos mesmos dados da Tabela 4.5, considerando ciclos de Trabalho/Descanso

I <sub>cl</sub>	para M=65W/m <sup>2</sup>		trab. Contínuo		15 trab 45 desc		30 trab 30 desc		45 trab 15 desc	
	DL1d	DL2d	DL1t	DL2t	DL1-15t	DL2-15t	DL1-30t	DL2-30t	DL1-45t	DL2-45t
0,6	-	480,00	480,00	480,00	-	480,00	-	480,00	-	480,00
0,7	-	480,00	480,00	480,00	-	480,00	-	480,00	-	480,00
0,8	-	480,00	489,87	480,00	-	480,00	-	480,00	-	480,00
0,9	-	480,00	242,63	480,00	-	480,00	-	480,00	543,22	480,00
1	-	480,00	168,10	480,00	-	480,00	849,92	480,00	280,69	480,00
1,1	-	480,00	132,17	480,00	6998,70	480,00	382,08	480,00	196,40	480,00

Portanto, para os dados do 1º Caso, a variação paramétrica do  $I_{cl} = 0,9$  clo até 1,1 clo nos cálculos iniciais, referente a aplicação da ISO 7933/89, apresentou jornada restritiva por aumento da temperatura corporal e para os cálculos em ciclos de Trabalho/Descanso, resultaram nos seguintes ciclos permissíveis;

- Para  $I_{cl} = 0,9$  clo ciclo de “45t 15d”.
- Para  $I_{cl} = 1,0$  clo ciclo de “30t 30d”.
- Para  $I_{cl} = 1,1$  clo ciclo de “15t 45d”.

Portanto, a Figura 4.3 representa, graficamente, todos os resultados da Tabela 4.5 e os ciclos definidos para a ISO 7933/89.



**Figura 4.3** - “1º Caso” - Comparativo dos Índices DL1 / WBGT / IBUTG em Relação ao Isolamento Térmico das Roupas -  $I_{cl}$ , para “com carga solar”,  $p=101,3kPa$  e ciclos.

A Figura 4.3 apresenta os resultados da aplicação da ISO 7933/89 (DL1) de duas maneiras: a linha de tendência contínua representa os cálculos de tempo

permissível para atividade contínua e a linha de tendência tracejada representa os ciclos permissíveis de Trabalho/Descanso.

Portanto, para os dados do “1º Caso” e variação paramétrica do isolamento térmico das roupas na aplicação das três normas, apresenta resultados de tempos permissíveis bem diferentes, sendo que a NR-15 apresentou ciclos mais restritivos.

Quando os cálculos são refeitos para  $p = 94,6$  kPa, os resultados das normas NR-15 e ISO 7243/89 permanecem os mesmos, pois, a pressão atmosférica não é fator diretamente envolvido nos cálculos do método destas normas, porém, os tempos permissíveis da norma 7933/89, apresentaram diferenças significativas:

- Quando  $I_{cl} = 0,9$  clo e  $p = 101,3$  kPa,  $DL1 = 242,63$  min e para  $p = 94,6$  kPa,  $DL1 = 266,67$  min de tempo permissível de exposição.
- Quando  $I_{cl} = 1,0$  clo e  $p = 101,3$  kPa,  $DL1 = 168,10$  min e para  $p = 94,6$  kPa  $DL1 = 178,81$  min de tempo permissível de exposição.
- Quando  $I_{cl} = 1,1$  clo a diferença resultou em valor próximo a seis minutos.

Portanto, a variação paramétrica do isolamento térmico das roupas, juntamente com a variação da pressão atmosférica, resultou em diferença nos tempos de permissão, com acréscimo significativo quando decresce a pressão atmosférica.

**B** – Cálculos para “sem carga solar” e variação da pressão atmosférica ( $p$ ).

Os cálculos dos dados da Tabela 4.1, para variação paramétrica do isolamento térmico das roupas, para os dois tipos de “carga solar”, e os dois valores de pressão atmosférica, e para os ciclos das normas NR-15/78 e ISO 7243/89 não tiveram alteração e os valores de  $DL1$  apresentaram diferenças, apenas quanto à variação da pressão atmosférica, já descrita no item anterior.

#### 4.1.2.4 Quanto a Variação Paramétrica da Velocidade do Ar.

A velocidade do ar é um parâmetro de influência nas trocas de calor, pois possibilita a renovação do ar e afeta o processo evaporativo. Dependendo da

posição da fonte de calor, do sentido da ventilação do ar e do posto laboral, o incremento de ventilação pode amenizar ou acrescentar calor ao trabalhador.

Se a temperatura de bulbo seco apresenta temperatura superior a temperatura da pele, a ventilação, mesmo no sentido de isolamento do trabalhador da fonte, proporcionará um incremento de calor, devido à transferência por convecção ser maximizada. Haverá uma sensação de conforto pelo processo evaporativo, porém, a temperatura do ar sendo maior que a temperatura da pele este processo incrementará calor à pele.

Neste trabalho, a ventilação será evocada apenas como variável nos cálculos de situação ou não de *stress* térmico através da ISO 7933/89.

**A** – Cálculos para “com carga solar” e variação da pressão atmosférica (p).

A Tabela 4.7 apresenta os resultados para  $p = 101,3$  kPa e “com carga solar”.

**Tabela 4.7** – “1º Caso” – Resultado da variação paramétrica da velocidade do ar para os dados da Tabela 4.1, “com carga solar” e  $p = 101,3$  kPa

va (m/s)	IBUTG	ISO 7933/89		NR -15/78		ISO 7243/89	
		DL1 trab (min)	DL2 trab (min)	Ciclo NR15	IBUTG trab (min)	Ciclo ISO	WBGT trab (min)
0,01	30,13	480,00	480,00	15t 45d	120	45T 15D	360
0,25	30,13	480,00	480,00	15t 45d	120	45T 15D	360
0,50	30,13	480,00	480,00	15t 45d	120	45T 15D	360
0,75	30,13	480,00	480,00	15t 45d	120	45T 15D	360
1,00	30,13	480,00	480,00	15t 45d	120	45T 15D	360
1,50	30,13	480,00	480,00	15t 45d	120	45T 15D	360
2,00	30,13	480,00	480,00	15t 45d	120	45T 15D	360
2,50	30,13	480,00	480,00	15t 45d	120	45T 15D	360
3,00	30,13	480,00	480,00	15t 45d	120	45T 15D	360
3,50	30,13	480,00	480,00	15t 45d	120	45T 15D	360
4,00	30,13	480,00	480,00	15t 45d	120	45T 15D	360
4,50	30,13	480,00	480,00	15t 45d	120	45T 15D	360
5,00	30,13	480,00	473,24	15t 45d	120	45T 15D	360

Obs: Os cálculos de DL1 e DL2 foram realizados para trabalho contínuo.

A aplicação da variação paramétrica da velocidade do ar não influi, diretamente, nos cálculos dos índices e na determinação dos tempos permissíveis. Apenas para a aplicação da ISO 7933/89, quando a velocidade do ar assume o valor de 5m/s que o DL2, determinou jornada reduzida devido ao excesso de perda d’água. Refazendo-se o cálculo o ciclo permissível foi de “45t 15d”.

A Figura 4.4 é a representação gráfica destes resultados.

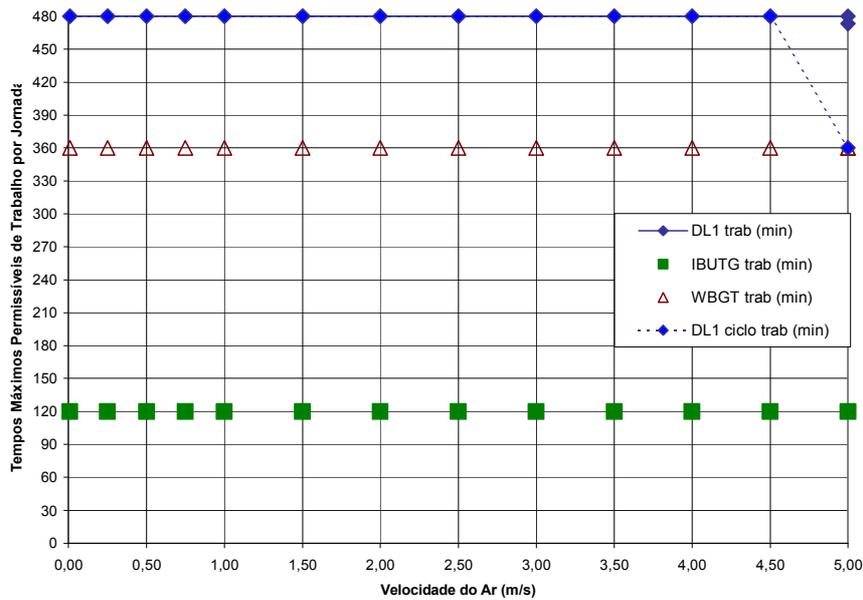


Figura 4.4 - "1º Caso" - Comparativo dos Índices DL1, DL2 / WBGT / IBUTG em Relação a Velocidade do Ar -  $V_a$  (m/s) - para "com carga solar",  $p = 101,3$  kPa e ciclos.

Para o conjunto de dados do 1º Caso, a variação paramétrica da velocidade do ar, aplicados nos cálculos pelas normas NR-15, ISO 7243/89 e ISO 7933/89, apresentam resultados diferentes; a NR-15 permite ciclo de "15t 45d" (120min), a ISO 7243/89 permite ciclo "45T 15D" (360min) e a ISO 7933/89 permite atividade contínua, durante toda a jornada de 480min, com exceção para  $v = 5\text{m/s}$  onde o ciclo permissível é de "45t 15d".

Quando os cálculos são refeitos para  $p = 94,6$  kPa, os resultados das normas NR-15 e ISO 7243/89 permanecem os mesmos, pois a pressão atmosférica não é fator diretamente envolvido nos cálculos do método destas normas. Para os cálculos da ISO 7933/89 a variação apresentada com a modificação da pressão de 101,3 kPa para 94,6 kPa, foi considerada insignificante.

#### **B** – Cálculos para "sem carga solar" e variação da pressão atmosférica ( $p$ ).

Os cálculos dos dados da Tabela 4.1, para variação paramétrica da velocidade do ar, para os dois tipos de "carga solar" e os dois valores de pressão atmosférica, os ciclos das normas NR-15/78 e ISO 7243/89 não tiveram alteração e os valores de DL1 apresentaram diferenças apenas quanto a variação da pressão atmosférica considerada insignificante.

## 4.2 “CASOS” QUE APRESENTARAM RESULTADOS MAIS SIGNIFICATIVOS QUANTO A VARIAÇÃO PARAMÉTRICA DA VELOCIDADE DO AR

Observando a variação paramétrica da velocidade do ar, no conjunto de todas as hipóteses, destacamos os resultados para o 2º, 9º e 11º Caso.

### 4.2.1 Apresentação do 2º Caso

Primeiramente, os dados do 2º Caso são apresentados na Tabela 4.8

**Tabela 4.8** – “2º Caso” - Dados Quantificado, Estimados e Adotados

Tipo de atividade	Dados da atividade com exposição ao stress térmico						
	t <sub>bun</sub> (°C)	t <sub>bs</sub> (°C)	t <sub>g</sub> (°C)	V <sub>a</sub> (m/s)	M		I <sub>cl</sub> (clo)
					(kcal/h)	(W/m <sup>2</sup> )	
2º Caso	26,8	40,4	40,8	0,01	175	113	0,6

#### A – Cálculos “com carga solar” e variação de pressão atmosférica.

Para propiciar os cálculos de IBUTG e WBGT foi adotado o ambiente “com carga solar” e para atender aos cálculos dos índices DL1 e DL2 foi adotado: Umidade Relativa UR = 50% e Pressão Atmosférica p = 101,3 kPa.

**Tabela 4.9** – “2º Caso” – Resultados “com carga solar”, UR = 50% e p = 101,3 kPa

ISO 7933/89		IBUTG WBGT (°C)	CICLO DE TRABALHO PERMISSÍVEL Minutos de Trabalho/Descanso	
DL1 (min)	DL2 (min)		NR-15/78 - IBUTG	ISO 7243/89 - WBGT
106,36	480	30,96	Moderado - 15t 45d	Baixa – 45T 15D

Os índices apresentaram resultados diferentes;

Para a NR-15, resultou ciclo de “15t 45d” ou seja, quinze minutos de trabalho e quarenta e cinco minutos de descanso e para ISO 7243/89 ciclo de “45T 15D” que representa exposição permissível de 360 minutos por jornada.

O índice WBGT apresentou valor igual a 30,96 que, para o metabolismo 113 W/m<sup>2</sup> - classe Baixa, fica próximo das condições de conforto (valor limite

WBGT=30), e nestas condições o método da ISO 7243/89 não é muito recomendado, para avaliação do *stress* térmico.

Pelo método ISO 7933/89, a taxa de evaporação real para manter o equilíbrio térmico do corpo  $E_p$  é menor que a taxa de evaporação requerida, portanto, a diferença ( $E_{req}-E_p$ ) representa um acúmulo de calor no organismo resultando em um aumento da temperatura corporal. O valor do índice DL1 representa o limite máximo de exposição para que não seja ultrapassado o limite de aumento na temperatura corporal.

Como o valor de DL1 é menor que DL2, este restringe a jornada diária, não sendo permissível o trabalho além deste tempo.

O método NR-15 permite 15min de trabalho a cada 45 de descanso o que equivale a oito ciclos de 15min, totalizando 120 minutos de efetivo trabalho.

Concluindo, para estes dados do 2º Caso a NR-15 permite 120min, a ISO 7243/89 permita 360min e a ISO 7933/89 permite 106min de trabalho. Isso equivale a dizer que para as condições do “2º Caso”, o método do Balanço Térmico é mais rigoroso do que o método do Índice de Bulbo Úmido e Termômetro de Globo.

#### **B - Cálculos “sem carga solar” e variação de pressão atmosférica (p).**

Os mesmos dados da tabela 4.1 foram utilizados para a condição de “sem carga solar” e para a variação da pressão atmosférica de 101,3 para 94,6 kPa.

O valor de DL1 e DL2 permanecem iguais, pois o dado “carga solar” não é considerado diretamente nos cálculos desses índices.

Para “sem carga solar” o índice WBGT resultou no valor de 31,00 e o metabolismo é classificado como baixo, este resultado encontra-se próximo à zona de conforto e, portanto, o método não é muito indicado e apresentou resultado de ciclo trabalho “45t 15d”.

Refazendo-se os cálculos para  $p = 94,6$  kPa, os índices IBUTG e WBGT permanecem os mesmos, para o índice DL2 resultou em 480 minutos, e o índice DL1 um acréscimo no tempo permissível de 6 minutos.

#### **C - Variação Paramétrica da Velocidade do Ar.**

Para os dados do 2º Caso,  $p = 101,3 \text{ kPa}$  e “com carga solar” o fator velocidade do ar -  $v_a$  sofreu variação paramétrica, conforme descrito no capítulo 3.

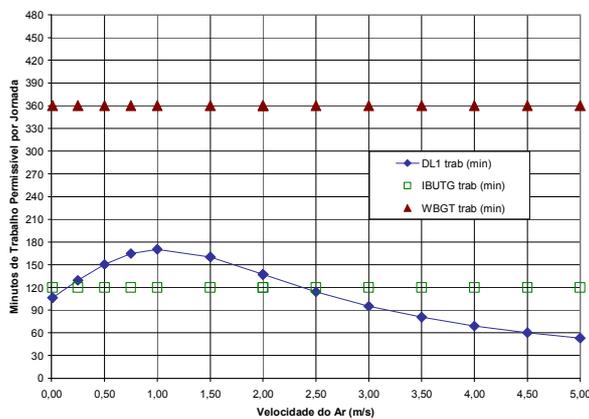
Como a velocidade do ar -  $v_a$  não é fator incidente nos índices da NR-15 e ISO 7243/89, os ciclos de Trabalho/Descanso definidos por estas normas em toda a variação paramétrica foram: NR-15/78 - Moderado “15t 45d” e para ISO 7243/89 - Baixa “45T 15D”.

Pode-se observar que as temperaturas  $t_{bun}$ ,  $t_{bs}$  e  $t_g$  são valores altos e, portanto, mesmo para  $M = 65 \text{ W/m}^2$  (metabolismo de descanso) a jornada fica restrita quando a velocidade do ar é igual a 4,0 m/s a 5,0 m/s. Quando os cálculos são refeitos considerando os ciclos de Trabalho/Descanso, estes definem ciclos de “15T 45D” e “30T 30D” e Jornadas Reduzidas por aumento da temperatura corporal DL1 = 80 min para  $v_a = 3,5 \text{ m/s}$  e DL1 = 53 min para  $v_a = 5,0 \text{ m/s}$ .

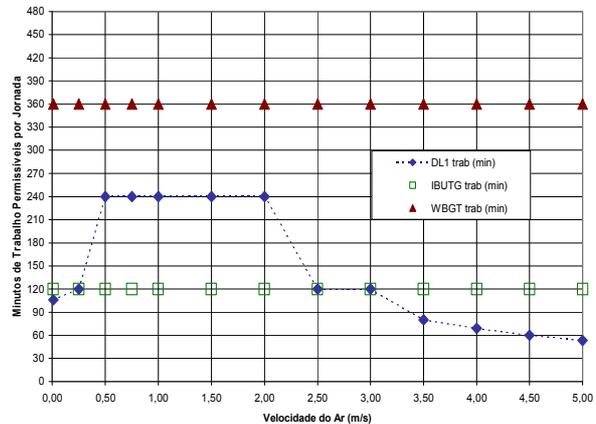
As Figuras 4.5 e 4.6, respectivamente, representam graficamente os valores pelo cálculo de DL1, para trabalho contínuo, e pelo cálculo considerando os ciclos de Trabalho/Descanso.

**Tabela 4.10** – “2º Caso”- Resultados dos cálculos de DL1 e DL2 na variação paramétrica da  $V_a$ , para Metabolismo de Descanso, Metabolismo de Trabalho e para ciclos de Trabalho/Descanso

$v_a$ m/s	para $M=65\text{W/m}^2$		trab. Contínuo		15 trab 45 desc		30 trab 30 desc		45 trab 15 desc	
	DL1d	DL2d	DL1t	DL2t	DL1-15t	DL2-15t	DL1-30t	DL2-30t	DL1-45t	DL2-45t
0,01	2734,32	480,00	106,36	480,00	380,97	480,00	204,75	480,00	139,99	480,00
0,25	-	480,00	129,38	480,00	3866,88	480,00	363,80	480,00	190,88	480,00
0,50	-	480,00	150,50	480,00	-	480,00	748,04	480,00	250,59	480,00
0,75	-	480,00	164,73	480,00	-	480,00	1865,58	480,00	302,73	480,00
1,00	-	480,00	170,33	480,00	-	480,00	5731,37	480,00	330,83	480,00
1,50	-	480,00	160,17	480,00	-	480,00	2942,55	480,00	303,80	480,00
2,00	-	480,00	137,20	480,00	-	480,00	790,58	480,00	233,82	480,00
2,50	-	480,00	114,22	480,00	-	480,00	376,48	480,00	175,27	480,00
3,00	-	480,00	95,28	480,00	784,09	480,00	229,94	480,00	134,73	480,00
3,50	15674,23	480,00	80,49	480,00	317,08	480,00	160,16	480,00	107,14	480,00
4,00	481,95	480,00	69,05	480,00	193,18	480,00	120,80	480,00	87,88	480,00
4,50	238,66	480,00	60,13	480,00	136,98	480,00	96,06	480,00	73,96	480,00
5,00	156,77	480,00	53,07	480,00	105,32	480,00	79,29	480,00	63,58	480,00



**Figura 4.5** - “2º Caso”- Comparativo dos Índices DL / WBGT / IBUTG em Relação a Velocidade do Ar -  $V_a$  (m/s) - para “com carga solar” e  $p=101,3\text{kPa}$ .



**Figura 4.6** - “2º Caso” - Comparativo dos Índices DL / WBGT / IBUTG em Relação a Velocidade do Ar -  $V_a$  (m/s) - para “com carga solar”,  $p = 101,3 \text{ kPa}$  e cálculos de DL em função do ciclo Trabalho/Descanso.

Observa-se que a influência da velocidade do ar em relação a tolerância, pelo aumento da temperatura corporal, altera os ciclos de atividade permissível.

As Figuras 4.5 e 4.6 representam os valores de tempo permissíveis, resultantes da aplicação da ISO 7933/89 pelo método do Balanço Térmico, e das normas NR-15 e ISO 7243/89 pelo método do Índice de Bulbo Úmido e Termômetro de Globo. Na Figura 4.5 os tempos permissíveis de DL1 foram calculados para trabalho contínuo e na Figura 4.6 foram calculados para ciclos de Trabalho/Descanso. Observa-se que os DL1 da Figura 4.5, estão representados por linha de tendência contínua e os da Figura 4.6 estão representados com linha de tendência pontilhada.

Concluindo, os dados do 2º Caso, sofrendo variação paramétrica da velocidade do ar apresenta resultado de tempo permissível de 360 minutos pela ISO 7243/89, 120 minutos pela norma NR-15/78 e ciclos variados de 120 minutos, 240 minutos e tempos de trabalho contínuo inferiores a 120, restringindo a jornada por aumento da temperatura corporal (ISO 7933/89).

Analisando-se pelos resultados da ISO 7933/89 por ciclos, esta foi mais restritiva para  $v_a = 3,5$  m/s em diante e resultou em tempo permissível médio entre NR-15 e ISO 7243/89 para  $v_a = 0,50$  m/s até  $v_a = 2,0$  m/s.

A NR-15 apresentou tempos permissíveis menores que as outras duas normas no intervalo de  $v_a = 0,25$  m/s até  $v_a = 2,5$  m/s.

#### 4.2.2 Apresentação do 9º Caso

**Tabela 4.11** – “9º Caso” - Dados Quantificados, Estimados e Adotados

Tipo de atividade	Dados da atividade com exposição ao stress térmico						
	$t_{bun}$ (°C)	$t_{bs}$ (°C)	$t_g$ (°C)	$v_a$ (m/s)	M		$I_{cl}$ (clo)
					(kcal/h)	(W/m <sup>2</sup> )	
9º Caso	29,8	34,6	41,5	0,01	100	117	0,6

Com os dados apresentados na Tabela 4.11, os cálculos da aplicação das três normas foram realizados, conforme demonstrados nas letras A, B e C, a seguir:

A – Cálculos “com carga solar” e variação de pressão atmosférica.

Para propiciar os cálculos de IBUTG e WBGT foi adotado o ambiente “com carga solar” e para atender aos cálculos dos índices DL1 e DL2 foram adotados: Umidade Relativa UR = 50% e Pressão Atmosférica  $p = 101,3$  kPa.

**Tabela 4.12** – “9º Caso” – Resultados “com carga solar”, UR = 50% e  $p = 101,3$  kPa

ISO 7933/89		IBUTG WBGT (°C)	CICLO DE TRABALHO PERMISSÍVEL Minutos de Trabalho/Descanso	
DL1 (min)	DL2 (min)		NR-15/78 - IBUTG	ISO 7243/89 - WBGT
480	480	32,64	MODERADO - Trab. Não Per	BAIXA – W Não Permitido

A aplicação dos dois métodos apresentou resultados diferentes, sendo que os índices IBUTG e WBGT forma coincidentes na determinação do tempo máximo de exposição: para a NR-15, resultou ciclo de “Trabalho Não Permissível” e para ISO 7243/89 ciclo também de “W Não Permitido”.

Os valores de DL1 e DL2, resultante da aplicação da ISO 7933/89, determinaram jornada de 480 minutos, ou seja, trabalho contínuo.

#### **B** - Cálculos “sem carga solar” e variação de pressão atmosférica ( $p$ ).

Os mesmos dados da tabela 4.11 foram utilizados para a condição de “sem carga solar” e para a variação da pressão atmosférica de 101,3 kPa para 94,6 kPa.

O valor de DL1 e DL2 permanecem iguais, pois o dado “carga solar” não é considerado diretamente nos cálculos destes índices.

Refazendo-se os cálculos para  $p = 94,6$  kPa, os índices IBUTG e WBGT permanecem os mesmos e para os índices DL1 e DL2 resultou em diferença considerada insignificante.

#### **C** - Variação Paramétrica da Velocidade do Ar.

Para os dados do 9º Caso,  $p = 101,3$  kPa e “com carga solar” o fator velocidade do ar -  $v_a$  sofreu variação paramétrica, conforme descrito no capítulo 3.

Como a variável  $v_a$  não é fator incidente nos índices da NR-15 e ISO 7243/89, os ciclos de Trabalho/Descanso definidos por estas normas, em toda a variação paramétrica, permaneceram constantes.

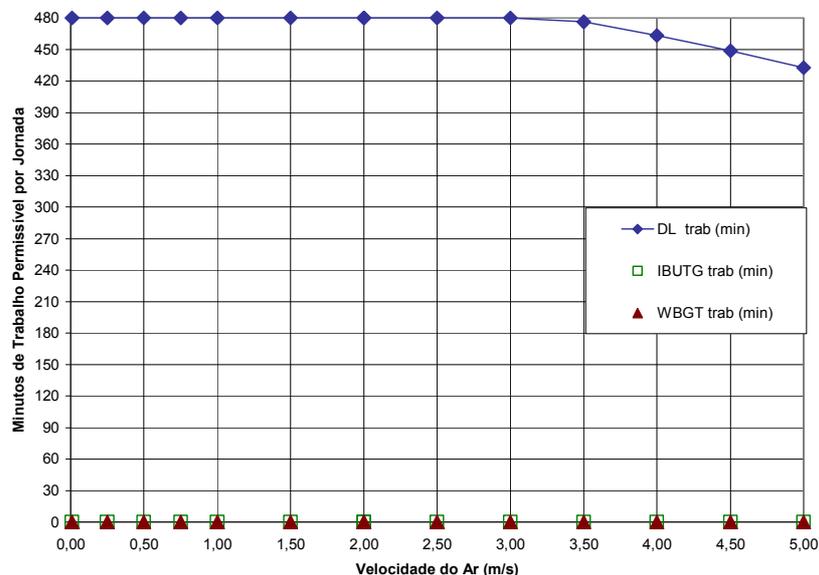
**Tabela 4.13** – “9º Caso” – Resultados da variação paramétrica da velocidade do ar para os dados da Tabela 4.11, “com carga solar” e  $p = 101,3 \text{ kPa}$

va (m/s)	IBUTG	ISO 7933/89		NR -15/78		ISO 7243/89	
		DL1 trab (min)	DL2 trab (min)	Ciclo NR15	IBUTG trab (min)	Ciclo ISO	WBGT trab (min)
0,01	32,64	480,00	480,00	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0
0,25	32,64	480,00	480,00	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0
0,50	32,64	480,00	480,00	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0
0,75	32,64	480,00	480,00	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0
1,00	32,64	480,00	480,00	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0
1,50	32,64	480,00	480,00	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0
2,00	32,64	480,00	480,00	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0
2,00	32,64	480,00	480,00	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0
2,50	32,64	480,00	480,00	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0
3,00	32,64	480,00	480,00	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0
3,50	32,64	480,00	476,35	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0
4,00	32,64	480,00	463,43	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0
4,50	32,64	480,00	448,78	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0
5,00	32,64	480,00	432,44	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0

Obs: O DL1 e DL2 foram calculados para ciclo “Trabalho Contínuo”.

A variação paramétrica  $v_a = 3,5 \text{ m/s}$  até  $5,0 \text{ m/s}$  apresentou “Jornada Restrita por Excesso de Perda D’água”. Nestas condições os cálculos para ciclos de Trabalho/Descanso ficam prejudicados pois a ISO 7933/89 não permite exposição acima destes tempos, mesmo com intervalo de descanso.

A Figura 4.7 apresenta graficamente os valores da Tabela 4.13.



**Figura 4.7** - “9º Caso”- Comparativo dos Índices DL / WBGT / IBUTG em Relação a Velocidade de Ar -  $V_a$  (m/s) - para “trabalho contínuo”, “com carga solar” e  $p=101,3\text{kPa}$ .

A aplicação dos dois métodos de quantificação de *stress* térmico apresentaram resultados antagônicos para este “9º Caso”.

### 4.2.3 Apresentação do 11º Caso

**Tabela 4.14** – “11º Caso” - Dados Quantificados, Estimados e Adotados

Tipo de atividade	Dados da atividade com exposição ao stress térmico						
	t <sub>bun</sub> (°C)	t <sub>bs</sub> (°C)	t <sub>g</sub> (°C)	V <sub>a</sub> (m/s)	M		I <sub>cl</sub> (clo)
					(kcal/h)	(W/m <sup>2</sup> )	
11º Caso	25,1	39,5	43,1	0,01	440	285	0,6

Com os dados apresentados na Tabela 4.14, os cálculos da aplicação das três normas foram realizados conforme demonstrados nas letras A, B, e C seguintes:

#### A – Cálculos “com carga solar” e variação de pressão atmosférica.

Para propiciar os cálculos de IBUTG e WBGT foi adotado o ambiente “com carga solar” e para atender aos cálculos dos índices DL1 e DL2 foram adotados: Umidade Relativa UR = 50% e Pressão Atmosférica p = 101,3 kPa.

**Tabela 4.15** – “11º Caso” – Resultados “com carga solar”, UR = 50% e p = 101,3 kPa

ISO 7933/89		IBUTG WBGT (°C)	CICLO DE TRABALHO PERMISSÍVEL Minutos de Trabalho/Descanso	
DL1 (min)	DL2 (min)		NR-15/78 - IBUTG	ISO 7243/89 - WBGT
22,33	300	30,96	PESADO - Trab. Não Per	MUITO ALTA – 15T 5D

Os índices apresentaram resultados diferentes.

Para a NR-15, resultou ciclo de “Trabalho Não Permissível” e para ISO 7243/89 ciclo de “15T 45D” que representa exposição permissível total de 120 minutos por jornada.

Como os valores de DL1 e DL2, resultante da aplicação da ISO 7933/89, determinaram jornada restritiva, devido ao aumento da temperatura corporal (22,33min) e excesso de perda d’água (300min), e o valor de DL1 ser inferior a 30 minutos, os cálculos por ciclos restaram prejudicados.

Pela ISO 7933/89, a permissão para o labor nestas condições, só é permitida com rigoroso controle quanto às reações orgânicas do homem exposto, limitado ao

valor de DL1 e monitoramento constante da fonte não permitindo acréscimos na emissão de calor.

### B - Cálculos “sem carga solar” e variação de pressão atmosférica (p).

Os mesmos dados da tabela 4.14 foram utilizados para a condição de “sem carga solar” e para a variação da pressão atmosférica de 101,3 kPa para 94,6 kPa.

O valor de DL1 e DL2 permanecem iguais, pois o dado “carga solar” não é considerado diretamente nos cálculos destes índices.

Refazendo-se os cálculos para  $p = 94,6$  kPa, os índices IBUTG e WBGT permanecem os mesmos e para os índices DL1 e DL2, resultam em diferença consideradas insignificantes.

### C - Variação Paramétrica da Velocidade do Ar.

Para os dados do 11º Caso,  $p = 101,3$  kPa e “com carga solar” o fator velocidade do ar -  $v_a$  sofreu variação paramétrica conforme descrito no capítulo 3.

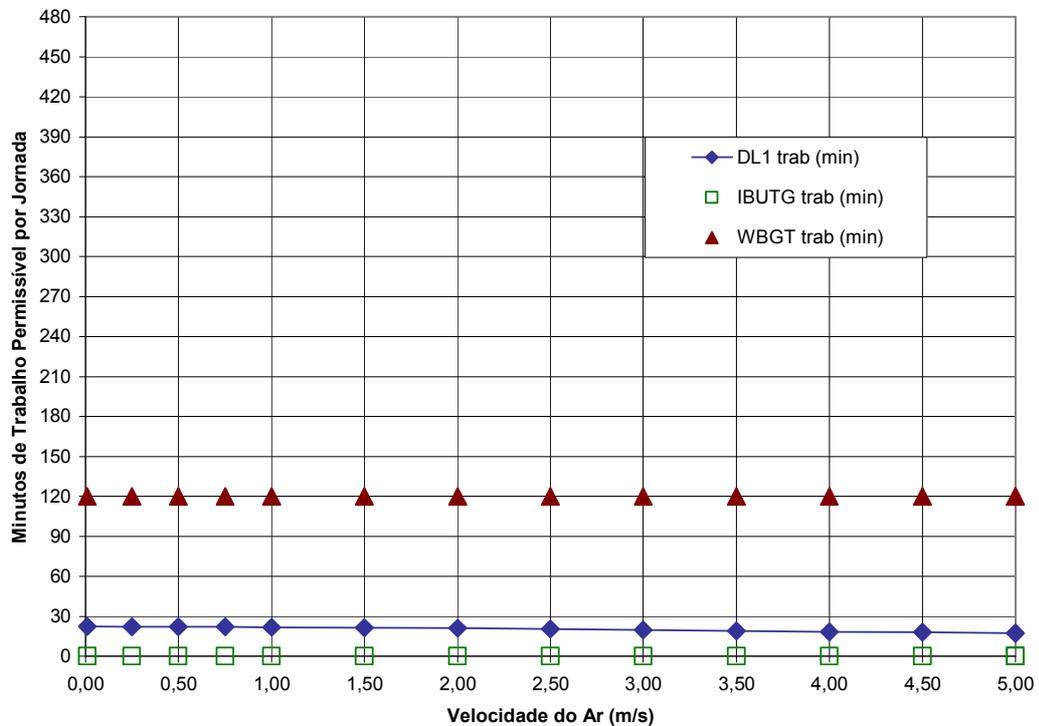
Como a  $v_a$  não é fator incidente nos índices da NR-15 e ISO 7243/89, os ciclos de Trabalho/Descanso definidos por estas normas, em toda a variação paramétrica, foram: NR-15/78 – Trabalho Não Permissível e para ISO 7243/89 - Ciclo “15T 45D”.

Tabela 4.16 – “11º Caso” – Resultados da variação paramétrica da velocidade do ar para os dados da Tabela 4.14, “com carga solar” e  $p = 101,3$  kPa

va (m/s)	IBUTG	ISO 7933/89		NR -15/78		ISO 7243/89	
	WBGT	DL1 trab (min)	DL2 trab (min)	Ciclo NR15	IBUTG trab (min)	Ciclo ISO	WBGT trab (min)
0,01	30,14	22,33	300,00	Trab Não Per	0	15T 45D	120
0,25	30,14	22,17	300,00	Trab Não Per	0	15T 45D	120
0,50	30,14	22,11	300,00	Trab Não Per	0	15T 45D	120
0,75	30,14	22,00	300,00	Trab Não Per	0	15T 45D	120
1,00	30,14	21,85	300,00	Trab Não Per	0	15T 45D	120
1,50	30,14	21,43	300,00	Trab Não Per	0	15T 45D	120
2,00	30,14	20,90	300,00	Trab Não Per	0	15T 45D	120
2,50	30,14	20,31	300,00	Trab Não Per	0	15T 45D	120
3,00	30,14	19,69	300,00	Trab Não Per	0	15T 45D	120
3,50	30,14	19,06	300,00	Trab Não Per	0	15T 45D	120
4,00	30,14	18,44	300,00	Trab Não Per	0	15T 45D	120
4,50	30,14	17,83	300,00	Trab Não Per	0	15T 45D	120
5,00	30,14	17,25	300,00	Trab Não Per	0	15T 45D	120

Obs: O DL1 e DL2 foram calculados para ciclo “Trabalho Contínuo”.

A Figura 4.8 representa graficamente, os resultados apresentados na Tabela 4.16.



**Figura 4.8** - "11º Caso"- Comparativo dos Índices DL1 / WBGT / IBUTG em Relação a Velocidade do Ar -  $v_a$  (m/s) - para "com carga solar" e  $p = 101,3$  kPa.

Os índices DL1 e DL2 indicam aumento da temperatura corporal e excesso de perda d'água, limitando a jornada em valores inversamente proporcional ao incremento da velocidade do ar, ou seja, para  $v_a = 0,01$  m/s jornada de 22,33 minutos e para  $v_a = 5,00$  m/s jornada de 17,25 minutos.

Como as temperaturas  $t_{bs}$  e  $t_g$  são muito altas, inclusive para o metabolismo de descanso, existe redução de jornada por aumento da temperatura corporal só sendo permitido trabalho contínuo por toda a jornada quando,  $v_a = 0,01$  m/s.

Concluindo, a variação paramétrica para os dados do "11º Caso", apresenta tempos permissíveis próximos para as normas ISO 7933/89 ( $\leq 22,33$  min) e NR-15/78 (zero) e tempo permissível maior pela ISO 7243/89 (120 min).

#### **4.2.4 Conclusão Sobre a Variação Paramétrica da Velocidade do Ar**

A variação paramétrica da velocidade do ar, para os onze conjuntos de dados hipotéticos, demonstrou que:

- Para as normas baseadas no método de Índice de Bulbo Úmido e Termômetro de Globo, os tempos permissíveis não se modificam com a velocidade do ar.
- Em situações onde o Balanço Térmico detecta excesso de perda d'água ( $DL2 < 480$ ), e aumento da temperatura corporal ( $DL1 < 480$ ) o incremento da velocidade do ar é linearmente inversamente proporcional ao tempo permissível da atividade (Figura 4.8).
- Em situações onde o Balanço Térmico detecta apenas o aumento da temperatura corporal ( $DL1 < 480$ ), o incremento da velocidade do ar é diretamente proporcional ao aumento do tempo de permissão da atividade até o máximo de  $v_a = 1,0 \text{ m/s}$ , e depois decresce até  $5,0 \text{ m/s}$  atingindo aproximadamente 50% do tempo permissível quando  $v_a = 0,01 \text{ m/s}$  (Figura 4.5).
- Em situações na presença de Balanço Térmico  $DL1 \geq 480$  e  $DL2 \geq 480$ , a variação paramétrica da velocidade do ar apresentou resultados constantes, sendo que para a situação do "9º Caso", devida ao alto valor de  $t_{bs}$  e  $t_g$ , ocorreu uma diminuição no tempo permissível de jornada por excesso de perda d'água relacionado ao incremento de temperatura na pele, carregado pelo processo convectivo acelerado da velocidade de ar quente.
- Sempre que possíveis, os cálculos da ISO 7933/89 foram realizados por ciclos de Trabalho/Descanso e observados os resultados comparativamente aos demais métodos, a saber:
  - No caso do 1º e 11º Caso, a aplicação da NR-15 determinou os menores tempos permissíveis,
  - No caso do 2º Caso, a aplicação da NR-15 determinou os menores tempos de permissão para  $v_a = 0,25 \text{ m/s}$  até  $v_a = 2,5 \text{ m/s}$ .
  - Nos demais casos, quanto maior o valor de  $t_{bs}$ ,  $t_g$  e  $M$ , os resultados tendem a se aproximarem. Porém, quando a situação encontra-se no limite do Balanço Térmico (9º Caso), é possível encontrar resultados antagônicos onde o método do IBUTG/WBGT apresenta restrição à atividade (Trabalho Não Permissível) e o método do Balanço Térmico apresenta permissão de trabalho 480 min a 432,44 minutos (Figura 4.7).

#### 4.3 “CASOS” QUE APRESENTARAM RESULTADOS MAIS SIGNIFICATIVOS QUANTO A VARIAÇÃO PARAMÉTRICA DO ISOLAMENTO TÉRMICO DAS ROUPAS

Observando a variação paramétrica do isolamento térmico das roupas, no conjunto de todos os casos, destacamos os resultados para o 5º, 7º e 9º Caso.

##### 4.3.1 Apresentação do 5º Caso

Primeiramente os dados do 5º Caso são apresentados na Tabela 4.17

**Tabela 4.17 – “5º Caso” - Dados Quantificado, Estimados e Adotados**

Tipo de atividade	Dados da atividade com exposição ao stress térmico						
	t <sub>bun</sub> (°C)	t <sub>bs</sub> (°C)	t <sub>g</sub> (°C)	v <sub>a</sub> (m/s)	M		I <sub>cl</sub> (clo)
					(kcal/h)	(W/m <sup>2</sup> )	
5º Caso	27,5	34,4	36,0	0,01	440	285	0,6

##### A – Cálculos “com carga solar” e variação de pressão atmosférica.

Para propiciar os cálculos de IBUTG e WBGT foi adotado o ambiente “com carga solar” e para atender aos cálculos dos índices DL1 e DL2 foi adotado: Umidade Relativa UR = 50% e Pressão Atmosférica p = 101,3 kPa.

**Tabela 4.18 – “5º Caso” – Resultados “com carga solar”, UR = 50% e p = 101,3 kPa**

ISO 7933/89		IBUTG WBGT (°C)	CICLO DE TRABALHO PERMISSÍVEL Minutos de Trabalho/Descanso	
DL1 (min)	DL2 (min)		NR-15/78 - IBUTG	ISO 7243/89 - WBGT
37,29	300	29,89	PESADO - 15t 45d	MUITO ALTA – 15T 45D

Os índices apresentaram os seguintes resultados:

Para a NR-15/78 e a ISO 7243/89, resultou permissão de 120 min de trabalho, e a norma ISO 7933/89 permissão de 37 minutos.

##### B - Cálculos “sem carga solar” e variação de pressão atmosférica (p).

Os mesmos dados da tabela 4.17 foram utilizados para a condição de “sem carga solar” e para a variação da pressão atmosférica de 101,3 kPa para 94,6 kPa.

Os valores de DL1 e DL2 permanecem iguais, pois o dado “carga solar” não é considerado diretamente nos cálculos destes índices.

Os cálculos de IBUTG e WBGT para “sem carga solar” alteram o valor destes índices, sendo que, para a ISO 7243/89 o tempo de permissão de trabalho permanece o mesmo (“15T 45D”), porém para a NR-15/78, o tempo de permissão de trabalho mudou de “15t 45d” para “Trab. Não Permitido”.

Refazendo-se os cálculos para  $p = 94,6$  kPa, os índices IBUTG e WBGT permanecem os mesmos e para o índice DL1 as diferenças são insignificantes.

### C - Variação Paramétrica do Isolamento Térmico das Roupas.

Para os dados do 7º Caso,  $p = 101,3$  kPa e “com carga solar” o fator isolamento térmico das roupas –  $I_{cl}$  sofreu variação paramétrica, conforme descrito no capítulo 3.

Como o  $I_{cl}$  não é fator incidente nos índices da NR-15 e ISO 7243/89, os ciclos de Trabalho/Descanso, definidos por estas normas em toda a variação paramétrica, permaneceram os mesmos.

O cálculo dos tempos permissível para trabalho contínuo, demonstrou que para a variação do isolamento térmico das roupas resultou em valores de DL1 e DL2 indicando aumento da temperatura corporal e excesso de perda d’água.

Quando os cálculos são refeitos considerando os ciclos de Trabalho/Descanso, estes definem ciclos de “15T 45D” e jornada restrita, apresentados na Tabela 4.19.

**Tabela 4.19** – “5º Caso” – Cálculos do Balanço Térmico na variação paramétrica do  $I_{cl}$ , para Metabolismo de Descanso, Metabolismo de Trabalho e para ciclos de Trabalho/Descanso

I <sub>cl</sub>	para M=65W/m <sup>2</sup>		trab. Contínuo		15 trab 45 desc		30 trab 30 desc		45 trab 15 desc	
	DL1d	DL2d	DL1t	DL2t	DL1-15t	DL2-15t	DL1-30t	DL2-30t	DL1-45t	DL2-45t
0,6	-	480,00	37,29	300,00	-	480,00	162,56	420,67	62,61	300,00
0,7	-	480,00	32,28	300,00	-	480,00	101,57	462,45	48,99	300,00
0,8	-	480,00	28,37	300,00	554,79	480,00	77,22	480,00	41,50	300,00
0,9	-	480,00	25,76	300,00	250,65	480,00	64,10	480,00	36,75	300,00
1	-	480,00	23,89	300,00	169,34	480,00	55,90	480,00	33,48	300,00
1,1	-	480,00	22,49	300,00	131,62	480,00	50,29	480,00	31,08	300,00

As Figuras 4.9 e 4.10, apresentam os ciclos da aplicação dos índices IBUTG e WBGT e, respectivamente, representam graficamente os valores de DL1 para cálculo de trabalho contínuo e os ciclos de Trabalho/Descanso.

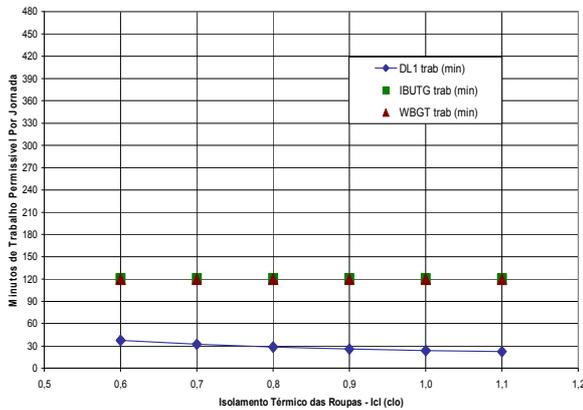


Figura 4.9 - "5º Caso" - Comparativo dos Índices DL / WBGT / IBUTG em Relação ao Isolamento Térmico das Roupas - I<sub>cl</sub>, para "com carga solar" e p = 101,3 kPa.

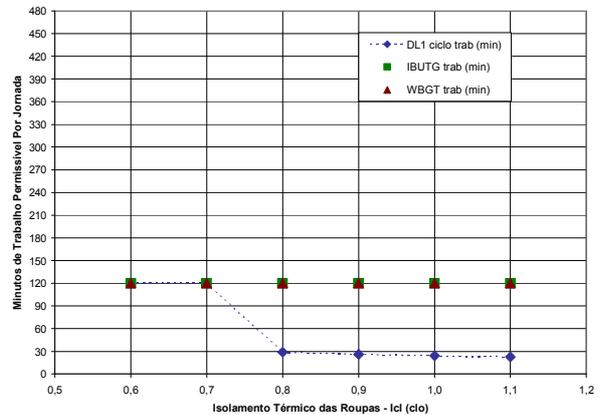


Figura 4.10 - "5º Caso" - Comparativo dos Índices DL / WBGT / IBUTG em Relação ao Isolamento Térmico das Roupas, para ciclos Trabalho/Descanso, "com carga solar" e p = 101,3kPa.

### 4.3.2 Apresentação do 7º Caso

Primeiramente os dados do 7º Caso são apresentados na Tabela 4.20

Tabela 4.20 – "7º Caso" - Dados Quantificados, Estimados e Adotados

Tipo de atividade	Dados da atividade com exposição ao stress térmico						
	t <sub>bun</sub> (°C)	t <sub>bs</sub> (°C)	t <sub>g</sub> (°C)	V <sub>a</sub> (m/s)	M		I <sub>cl</sub> (clo)
					(kcal/h)	(W/m <sup>2</sup> )	
7º Caso	25,0	32,2	33,2	0,01	220	143	0,6

#### A – Cálculos "com carga solar" e variação de pressão atmosférica.

Para propiciar os cálculos de IBUTG e WBGT foi adotado o ambiente "com carga solar" e para atender aos cálculos dos índices DL1 e DL2 foi adotado: Umidade Relativa UR = 50% e Pressão Atmosférica p = 101,3 kPa.

**Tabela 4.21** – “7º Caso” – Resultados “com carga solar”, UR = 50% e p = 101,3 kPa

ISO 7933/89		IBUTG WBGT (°C)	CICLO DE TRABALHO PERMISSÍVEL Minutos de Trabalho/Descanso	
DL1 (min)	DL2 (min)		NR-15/78 - IBUTG	ISO 7243/89 - WBGT
480	480	27,36	MODERADO - 45t 15d	MODERADA – W Trab.Contínuo

Os índices apresentaram os seguintes resultados:

Para a NR-15, resultou permissão de 360 min de trabalho, e as normas ISO 7243/89 e ISO 7933/89 permissão de 480 minutos.

### **B - Cálculos “sem carga solar” e variação de pressão atmosférica (p).**

**Os mesmos dados da tabela 4.20 foram utilizados para a condição de “sem carga solar” e para a variação da pressão atmosférica de 101,3 kPa para 94,6 kPa.**

O valor de DL1 e DL2 permanecem iguais, pois o dado “carga solar” não é considerado diretamente nos cálculos destes índices.

**Os cálculos de IBUTG e WBGT para “sem carga solar” alterou o valor destes índices, porém, a determinação do tempo permissível permaneceu a mesma.**

Refazendo-se os cálculos para p = 94,6 kPa, os índices IBUTG e WBGT permanecem os mesmos e para o índice DL1 também permaneceu jornada de 480 minutos.

### **C - Variação Paramétrica do Isolamento Térmico das Roupas.**

**Para os dados do 7º Caso, p = 101,3 kPa e “com carga solar” o fator isolamento térmico das roupas –  $I_{cl}$  sofreu variação paramétrica conforme descrito no capítulo três.**

Como o  $I_{cl}$  não é fator incidente nos índices da NR-15 e ISO 7243/89, os ciclos de Trabalho/Descanso, definidos por estas normas em toda a variação paramétrica, permaneceram os mesmos.

O cálculo dos tempos permissível para trabalho contínuo, demonstrou que para  $I_{cl}$  = 0,9 clo ate 1,1 clo a jornada é restrita por aumento da temperatura corporal. Quando os cálculos são refeitos considerando os ciclos de

Trabalho/Descanso, estes definem ciclos de “45T 15D” e “30T 30D” apresentados na Tabela 4.22.

**Tabela 4.22** – “7º Caso” – Cálculos do Balanço Térmico para Metabolismo de Descanso, Metabolismo de Trabalho e para ciclos de Trabalho/Descanso

I <sub>cl</sub>	para M=65W/m <sup>2</sup>		trab. Contínuo		15 trab 45 desc		30 trab 30 desc		45 trab 15 desc	
	DL1d	DL2d	DL1t	DL2t	DL1-15t	DL2-15t	DL1-30t	DL2-30t	DL1-45t	DL2-45t
0,6	-	480,00	480,00	480,00	-	480,00	-	480,00	-	480,00
0,7	-	480,00	480,00	480,00	-	480,00	-	480,00	-	480,00
0,8	-	480,00	480,00	480,00	-	480,00	-	480,00	-	480,00
0,9	-	480,00	427,35	480,00	-	480,00	-	480,00	-	480,00
1	-	480,00	206,09	480,00	-	480,00	-	480,00	914,18	480,00
1,1	-	480,00	141,61	480,00	-	480,00	-	480,00	317,61	480,00

As Figuras 4.9 e 4.10, respectivamente representam graficamente os valores de DL1 para cálculo de trabalho contínuo e pelo cálculo considerando os ciclos de Trabalho/Descanso.

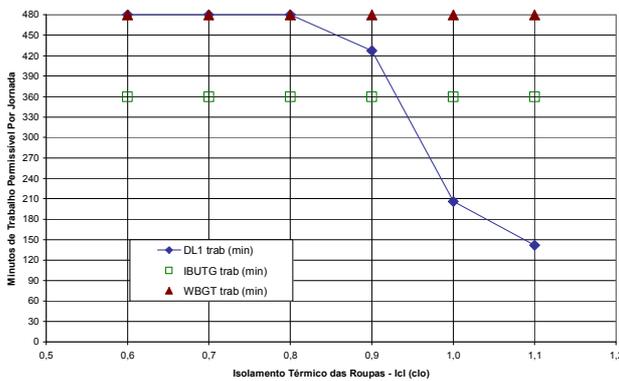


Figura 4.11 - “7º Caso” - Comparativo dos Índices DL1 / WBGT / IBUTG em Relação ao Isolamento Térmico das Roupas - I<sub>cl</sub>, para “com carga solar” e p=101,3kPa.

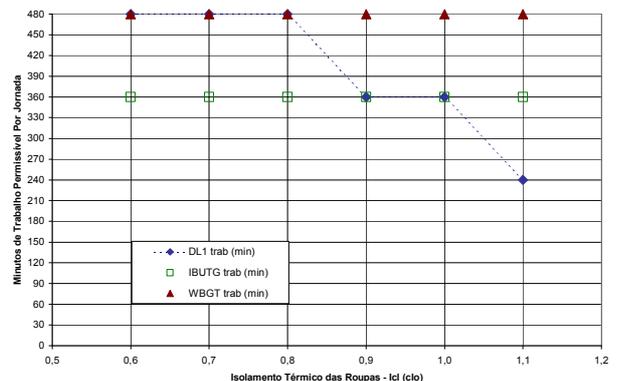


Figura 4.12 - “7º Caso” - Comparativo dos Índices DL1 / WBGT / IBUTG em Relação ao Isolamento Térmico das Roupas - I<sub>cl</sub>, para “com carga solar” e p=101,3kPa e ciclos Trabalho/Descanso.

Observa-se que, o método baseado no Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo apresentou resultados de 480 min e 360 min e o método do Balanço Térmico para I<sub>cl</sub> = 0,9 clo até 1,1 clo apresentou aumento da temperatura corporal indicando menores tempos de permissão de trabalho, entre 360 min a 240 min.

### 4.3.3 Variação Paramétrica do Isolamento Térmico das Roupas – 9º Caso

Com os dados da Tabela 4.11, os cálculos da aplicação das três normas foram realizados conforme demonstrados nos itens 4.2.2, letras “A” e “B”. A letra “C”, sobre a variação paramétrica do isolamento térmico das roupas será tratada aqui.

Como o  $I_{cl}$  não é fator incidente nos índices da NR-15 e ISO 7243/89, os ciclos de Trabalho/Descanso definidos por estas normas, em toda a variação paramétrica, permanecem os mesmos.

O cálculo dos tempos permissíveis para trabalho contínuo demonstrou que, para  $I_{cl} = 0,7$  até 1,1 clo, a jornada apresenta aumento da temperatura corporal. Para  $I_{cl} = 0,7$  este aumento ocorre além da jornada de 480 minutos, portanto, não restringe a jornada diária normal, porém de  $I_{cl} = 0,8$  clo até 1,1 clo ocorre restrição à jornada.

**Tabela 4.23** – “9º Caso” – Cálculos do Balanço Térmico, na variação paramétrica do  $I_{cl}$ , para Metabolismo de Descanso, Metabolismo de Trabalho e para ciclos de Trabalho/Descanso

$I_{cl}$ clo	para $M=65W/m^2$		trab. Contínuo		15 trab 45 desc		30 trab 30 desc		45 trab 15 desc	
	DL1d	DL2d	DL1t	DL2t	DL1-15t	DL2-15t	DL1-30t	DL2-30t	DL1-45t	DL2-45t
0,6	-	480,00	480,00	480,00	-	480,00	-	480,00	-	480,00
0,7	-	480,00	1713,32	480,00	-	480,00	-	480,00	-	480,00
0,8	-	480,00	332,97	480,00	-	480,00	-	480,00	1179,68	480,00
0,9	-	480,00	195,85	480,00	-	480,00	2010,68	480,00	356,93	480,00
1	-	480,00	143,88	480,00	-	480,00	477,64	480,00	221,15	480,00
1,1	-	480,00	116,55	480,00	1017,54	480,00	284,49	480,00	165,36	480,00

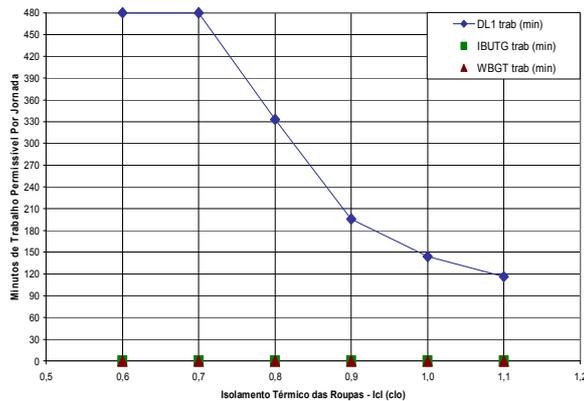


Figura 4.13 - “9º Caso” - Comparativo dos Índices DL / WBGT / IBUTG em Relação ao Isolamento Térmico das Roupas -  $I_{cl}$ , para “com carga solar” e  $p=101,3kPa$ .

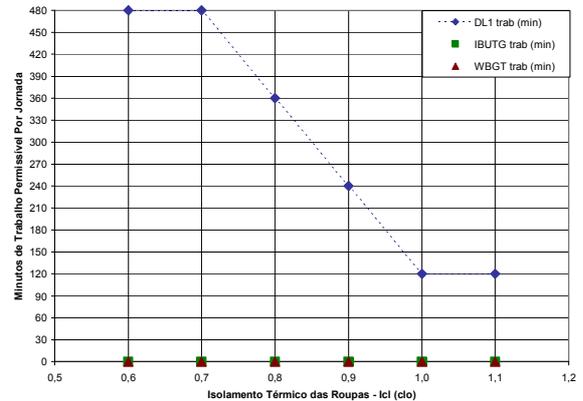


Figura 4.14 - “9º Caso” - Comparativo dos Índices DL / WBGT / IBUTG em Relação ao Isolamento Térmico das Roupas -  $I_{cl}$ , para cálculos por ciclo de Trabalho/Descanso, “com carga solar” e  $p=101,3kPa$ .

#### 4.3.4 Conclusão Sobre a Variação Paramétrica do Isolamento Térmico das Roupas

A variação paramétrica do isolamento térmico das roupas, para os onze conjuntos de dados hipotéticos, demonstrou que:

- Para as normas baseadas no método de Índice de Bulbo Úmido e Termômetro de Globo, os tempos permissíveis não se modificam com o isolamento térmico

- das roupas, porém a ISO 7243/89 apresenta suas tabelas como válidas para  $I_{cl} = 0,6$  clo.
- Em situações onde o Balanço Térmico detecta excesso de perda d'água ( $DL2 < 480$ ), e aumento da temperatura corporal ( $DL1 < 480$ ), o incremento do  $I_{cl}$  apresentou variação no tempo permissível da atividade de 120 min para  $I_{cl} = 0,7$  para 30 min quando  $I_{cl} = 0,8$  (Figura 4.10).
  - Em situações na presença de Balanço Térmico  $DL1 \geq 480$  e  $DL2 \geq 480$ , a variação paramétrica do Isolamento Térmico das Roupas apresentou resultados expressivos para o “7º Caso”, diminuindo o ciclo permissível de 480 minutos a  $I_{cl} = 0,8$  para 240 minutos a  $I_{cl} = 1,1$  (Figura 4.12). No 9º Caso, também apresentou diminuição do tempo permissível, que passou de 480 min a  $I_{cl} = 0,7$  para 120min para  $I_{cl} = 1,0$  (Figura 4.14).
  - Em todos os casos, estando ou não em situação de balanço térmico, o incremento de  $I_{cl}$  apresentou resultados de diminuição no tempo permissível de exposição ao calor.
  - Sempre que possíveis, os cálculos da ISO 7933/89 foram realizados por ciclos de Trabalho/Descanso e observados os resultados, comparativamente, aos demais métodos, a saber:
    - No “5º Caso”, a aplicação das normas resultou ciclos iguais a “15t 45d” para  $I_{cl} = 0,6$  até  $0,8$  e “Jornada Restrita por Aumento da Temperatura Corporal” para  $I_{cl} > 0,8$ .
    - No “6º Caso”, a aplicação das normas resultou em “Trabalho Não Permissível” para NR-15 e ISO 7243/89 e para ISO 7933/89 resultou em “15t 45d” quando  $I_{cl} = 0,6$  e  $0,7$  e “Jornada Restrita por Aumento da Temperatura Corporal” para  $I_{cl} > 0,8$ .

#### 4.4 “CASOS” QUE APRESENTARAM RESULTADOS MAIS SIGNIFICATIVOS QUANTO A VARIAÇÃO PARAMÉTRICA DA UMIDADE RELATIVA DO AR

Observando a variação paramétrica da umidade relativa do ar, no conjunto de todas as hipóteses, destacamos os resultados para o 5º e 4º Caso.

#### 4.4.1 Variação Paramétrica da Umidade Relativa do Ar – 5º Caso

Com os dados da Tabela 4.17, os cálculos da aplicação das três normas foram realizados conforme demonstrados nos itens 4.3.1, letras A e B. A letra “C”, sobre a variação paramétrica da umidade relativa do ar, será tratada aqui.

Como o parâmetro UR não é fator diretamente incidente nos índices da NR-15 e ISO 7243/89, mais indiretamente modifica os parâmetros tbs e tbu, a aplicação destas normas apresenta variação nos ciclos de Trabalho/Descanso, conforme se verifique a alteração na umidade relativa. A Tabela 4.24 apresenta os resultados da aplicação das três normas.

**Tabela 4.24** – “5º Caso” – Resultados da variação paramétrica da UR para “com carga solar” e  $p = 101,3$  kPa. O DL1 e DL2 foram calculados para ciclo “Trabalho Contínuo”

UR	IBUTG	ISO 7933/89		NR -15/78		ISO 7243/89	
		DL1(trab)	DL2 (trab)	Ciclo NR-15	IBUTG trab(min)	Ciclo ISO 7243	WBGT trab(min)
1,00	34,72	14,83	300,00	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0
0,90	34,44	16,91	300,00	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0
0,80	33,74	19,68	300,00	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0
0,70	32,34	23,54	300,00	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0
0,60	30,94	29,34	300,00	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0
0,50	29,89	37,29	300,00	15t 45d	120	15T 45D	120
0,40	28,14	44,28	296,12	15t 45d	120	30T 30D	240
0,30	26,74	51,27	259,99	30t 30d	240	30T 30D	240
0,20	24,64	57,13	231,35	Trab Contínuo	480	W trab contínuo	480
0,10	23,24	60,09	300,00	Trab Contínuo	480	W trab contínuo	480

Na Tabela 4.24 os resultados para UR=0,50 encontram-se destacados por corresponderem aos resultados da Tabela 4.18.

O cálculo dos tempos permissíveis para trabalho contínuo, demonstrou que a umidade relativa varia inversamente proporcional, com estes tempos, para as três normas.

De UR=1,0 até UR=0,6 a atividade não é permitida para as normas NR-15 e ISO 7243/89, mas é permitida para a ISO 7933/89. Porém, com “Jornada Restrita por Aumento da Temperatura Corporal” e “Jornada Restrita por Excesso de Perda D’água”, limitada a um máximo de 29,34 minutos de atividade quando UR=0,60.

Quando UR assume valores de 0,50 até 0,10, esses tempos de permissão de trabalho vão progressivamente aumentando de “15t 45d” até “trabalho contínuo” para as normas NR-15 e ISO 7933/89. Porém, para a ISO 7933/89 estes tempos aumentam até 60,09 minutos, permanecendo com “Jornada Restrita por Aumento da Temperatura Corporal” e “Jornada Restrita por Excesso de Perda D’água”.

Quando os cálculos são refeitos, considerando os ciclos de Trabalho/Descanso para a norma ISO 7933/89, estes definem ciclos de: “15t 45d” e “30t 30d”, conforme demonstrado na Tabela 4.25.

**Tabela 4.25** – “5º Caso” – Cálculos do Balanço Térmico na variação paramétrica da UR para Metabolismo de Descanso, Metabolismo de Trabalho e para ciclos de Trabalho/Descanso

UR	para M=65W/m <sup>2</sup>		trab. Contínuo		15 trab 45 desc		30 trab 30 desc		45 trab 15 desc	
	DL1d	DL2d	DL1t	DL2t	DL1-15t	DL2-15t	DL1-30t	DL2-30t	DL1-45t	DL2-45t
1	82,26	480,00	14,83	300,00	38,50	480,00	25,13	480,00	18,65	300,00
0,9	141,84	480,00	16,91	300,00	49,81	480,00	30,21	480,00	21,68	300,00
0,8	520,02	480,00	19,68	300,00	70,69	480,00	37,92	480,00	25,91	300,00
0,7	-	480,00	23,54	300,00	121,86	480,00	50,95	480,00	32,21	300,00
0,6	-	480,00	29,34	300,00	447,68	480,00	77,82	480,00	42,62	300,00
0,5	-	480,00	37,29	300,00	-	480,00	162,56	420,67	62,61	300,00
0,4	-	480,00	44,28	296,12	-	480,00	480	376,07	92,82	300,00
0,3	-	480,00	51,27	259,99	-	480,00	480	463,53	136,05	285,48
0,2	-	480,00	57,13	231,35	-	480,00	-	480,00	480	338,49
0,1	-	480,00	60,09	300,00	-	480,00	-	480,00	480	385,98

As Figuras 4.15 e 4.16, apresentam graficamente os ciclos resultantes da aplicação dos índices IBUTG e WBGT e, respectivamente, representam os valores de DL1 para cálculo de trabalho contínuo e os ciclos de Trabalho/Descanso.

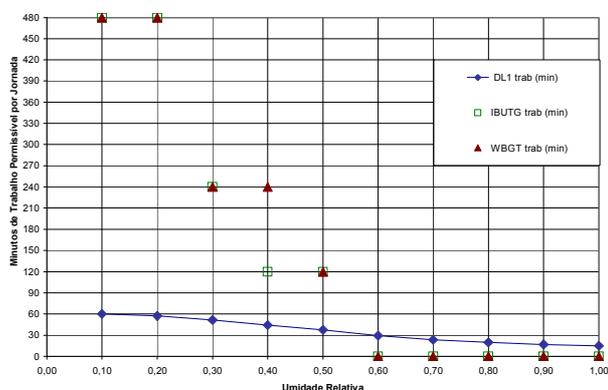


Figura 4.15 - “5º Caso” - Comparativo dos Índices DL1 / IBUTG / WBGT em Relação a Umidade Relativa - UR Para Valores Quantificados “com carga solar” e p=101,3kPa.

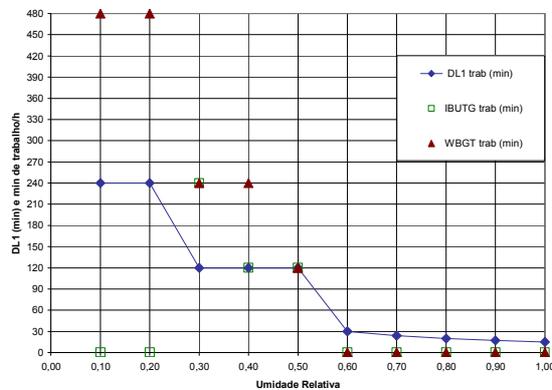


Figura 4.16 - “5º Caso” - Comparativo dos Índices DL / WBGT / IBUTG em Relação a Umidade Relativa - Para UR, para cálculos por ciclos de Trabalho/Descanso, “com carga solar e p=101,3kPa.

#### 4.4.2 Variação Paramétrica da Umidade Relativa do Ar – 4º Caso

Primeiramente os dados do 4º Caso são apresentados na Tabela 4.26

**Tabela 4.26** – “4º Caso” - Dados Quantificados, Estimados e Adotados

Tipo de atividade	Dados da atividade com exposição ao stress térmico						
	t <sub>bun</sub> (°C)	t <sub>bs</sub> (°C)	t <sub>g</sub> (°C)	V <sub>a</sub> (m/s)	M		I <sub>cl</sub> (clo)
					(kcal/h)	(W/m <sup>2</sup> )	
4º Caso	31,8	41,8	45,3	0,01	150	97	0,6

**A – Cálculos “com carga solar” e variação de pressão atmosférica.**

Para propiciar os cálculos de IBUTG e WBGT foi adotado o ambiente “com carga solar” e para atender aos cálculos dos índices DL1 e DL2 foi adotado: Umidade Relativa UR = 50% e Pressão Atmosférica  $p = 101,3$  kPa.

**Tabela 4.27 – “4º Caso” – Resultados “com carga solar”, UR = 50% e  $p = 101,3$  kPa**

ISO 7933/89		IBUTG WBGT (°C)	CICLO DE TRABALHO PERMISSÍVEL Minutos de Trabalho/Descanso	
DL1 (min)	DL2 (min)		NR-15/78 - IBUTG	ISO 7243/89 - WBGT
80	480	36,55	LEVE – Trab Não Per	BAIXA – W Não Permitido

Os índices apresentaram os seguintes resultados:

Para a NR-15 e ISO 7243/89, resultou “Não Permissão de Trabalho” e para ISO 7933/89 resultou em “Jornada Restrita por Aumento da Temperatura Corporal” e “Jornada Restrita por Excesso de Perda D’água”, limitado a 80,0 minutos de atividade por jornada diária.

Quando os cálculos são refeitos, considerando os ciclos de Trabalho/Descanso para a norma ISO 7933/89, estes confirmam “Jornada Restritiva por Aumento da Temperatura Corporal “ ciclo de “15t 45d” para tempo de exposição Máximo de 126 minutos.

**B - Cálculos “sem carga solar” e variação de pressão atmosférica (p).**

Os mesmos dados da tabela 4.26 foram utilizados para a condição de “sem carga solar” e para a variação da pressão atmosférica de 101,3 kPa para 94,6 kPa.

O valor de DL1 e DL2 permanecem iguais, pois o dado “carga solar” não é considerado diretamente nos cálculos destes índices.

Os cálculos de IBUTG e WBGT para “sem carga solar” alteraram o valor destes índices, porém a determinação do tempo permissível permaneceu a mesma.

Refazendo-se os cálculos para  $p = 94,6$  kPa, os índices IBUTG e WBGT não alteraram e para ISO 7933/89 a variação foi desprezível.

### C - Variação Paramétrica da Umidade Relativa do Ar.

A Tabela 4.28 apresenta os resultados da variação paramétrica da UR com os dados do 4º Caso.

**Tabela 4.28** – “4º Caso” – Resultados da variação paramétrica da UR para “com carga solar” e  $p = 101,3$  kPa. O DL1 e DL2 foram calculados para ciclo “Trabalho Contínuo”

UR	IBUTG	ISO 7933/89		NR -15/78		ISO 7243/89	
		WBGT	DL1 trab (min)	DL2 (trab)	Ciclo NR-15	IBUTG trab(min)	Ciclo ISO 7243
1,00	42,50	480,00	480,00	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0
0,90	41,94	480,00	480,00	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0
0,80	40,54	480,00	480,00	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0
0,70	39,84	33,57	480,00	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0
0,60	38,44	47,38	480,00	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0
0,50	36,34	80,00	480,00	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0
0,40	34,94	259,35	480,00	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0
0,30	33,54	480,00	480,00	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0
0,20	30,74	480,00	480,00	30t 30d	240	45T 15D	360
0,10	27,24	480,00	480,00	Trab Contínuo	480	W trab contínuo	480

A aplicação das normas NR-15 e ISO 7243/89, ambas baseadas no método do Índice de Bulbo Úmido e Termômetro de Globo, não permitem a atividade no intervalo da UR de 1,00 até 0,30. Para UR=0,20 permitem atividade em ciclos de “30t 30d” para NR-15/78 e “45T 15T” para ISO 7243/89. Para UR=0,1 estas duas normas permitem atividade em “Trabalho contínuo”.

Observa-se, que no intervalo 0,7 até 0,4 da UR, a situação é de stress térmico com “Restrição da Jornada por Aumento da Temperatura Corporal” limitado respectivamente a 33,57min, 47,38min, 80min e 259,35minutos de jornada para “trabalho contínuo”.

Quando os cálculos são refeitos considerando os ciclos de Trabalho/Descanso, no caso da aplicação da ISO 7933/89, foi identificada para UR=0,40 permissão para jornada integral “45T15D”. A Tabela 4.29 apresenta estes resultados.

**Tabela 4.29** – “4º Caso” – Cálculos do Balanço Térmico na variação paramétrica da UR para Metabolismo de Descanso, Metabolismo de Trabalho e para ciclos de Trabalho/Descanso

UR	para M=65W/m2		trab. Contínuo		15 trab 45 desc		30 trab 30 desc		45 trab 15 desc	
	DL1d	DL2d	DL1t	DL2t	DL1-15t	DL2-15t	DL1-30t	DL2-30t	DL1-45t	DL2-45t
1	-	480,00	480,00	480,00	-	480,00	-	480,00	-	480,00
0,9	-	480,00	480,00	480,00	-	480,00	-	480,00	-	480,00
0,8	-	480,00	480,00	480,00	-	480,00	-	480,00	-	480,00
0,7	46,68	480,00	33,87	480,00	42,65	480,00	39,26	480,00	36,36	480,00
0,6	73,13	480,00	48,22	480,00	64,77	480,00	58,12	480,00	52,71	480,00
0,5	166,93	480,00	83,20	480,00	133,37	480,00	111,05	480,00	95,13	480,00
0,4	-	480,00	307,63	480,00	-	480,00	1322,04	480,00	499,12	480,00
0,3	-	480,00	480,00	480,00	-	480,00	-	480,00	-	480,00
0,2	-	480,00	480,00	480,00	-	480,00	-	480,00	-	480,00
0,1	-	480,00	480,00	480,00	-	480,00	-	480,00	-	480,00

As Figuras 4.17 apresenta graficamente os tempos permissíveis de para “Trabalho Contínuo”.

A Figura 4.18 apresenta os tempos permissíveis considerando os ciclos de Trabalho/Descanso. Observa-se que, os cálculos para ciclos apresentaram apenas uma diferença permitindo jornada de “45T 15D”, para UR=0,4 sendo que para os demais valores de UR, permaneceram os mesmos valores já definidos para “trabalho contínuo”, ou seja, com “Jornada Restrita por Aumento da Temperatura Corporal”.

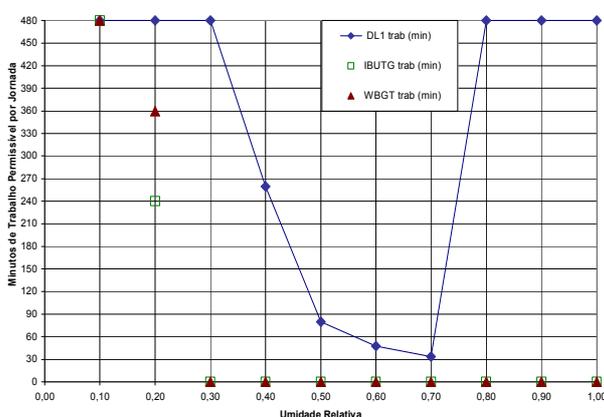


Figura 4.17 - "4º Caso" - Comparativo dos Índices DL / IBUTG / WBGT em Relação a Umidade Relativa - UR, para "com carga solar" e  $p=101,3\text{kPa}$ .

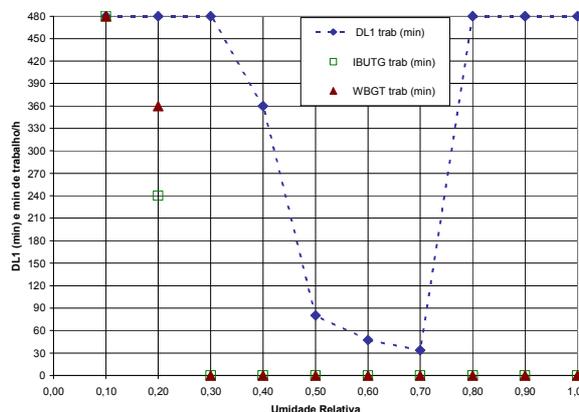


Figura 4.18 - "4º Caso" - Gráfico dos Índices DL / WBGT / IBUTG em Relação a Umidade Relativa - Para ciclos de Trabalho / Descanso, "com carga solar" e  $p=101,3\text{kPa}$ .

#### 4.4.3 Conclusão Sobre a Variação Paramétrica da Umidade Relativa do Ar.

A variação paramétrica da umidade relativa do ar, para os onze conjuntos de dados hipotéticos, demonstrou que:

- Para as normas baseadas no método de Índice de Bulbo Úmido e Termômetro de Globo, a variação da Umidade Relativa modifica os parâmetros incidentes nos índices IBUTG e WBGT, modificando-os através do  $t_{bs}$  e  $t_{bun}$  que assumem novos valores a cada valor da UR.
- As análises do 5º e 4º Caso demonstram que, as influências indiretas da UR nos índices  $t_{bs}$  e  $t_{bun}$  refletem de forma desproporcional, para os índices IBUTG e WBGT permitindo ciclos de trabalho de “Não Permissível” para “Trabalho Contínuo” enquanto a ISO 7933/89 do Balanço Térmico restringe a

atividade por aumento da temperatura corporal. No 5º Caso, a ISO 7933/89 também restringe a atividade por excesso de perda d'água.

- Portanto, a UR está indiretamente levada em consideração nos índices IBUTG e WBGT, porém, em discrepância com a norma de Balanço Térmico.
- Em todos os casos o aumento da UR levou a diminuição do tempo de permissão da atividade.

#### 4.5 “CASOS” QUE APRESENTARAM RESULTADOS MAIS SIGNIFICATIVOS QUANTO A VARIAÇÃO PARAMÉTRICA DO METABOLISMO

Observando a variação paramétrica do metabolismo, no conjunto de todos os casos, destacamos os resultados para o 3º, 8º e 9º Caso.

##### 4.5.1 Apresentação do 3º Caso

Primeiramente os dados do 3º Caso são apresentados na Tabela 4.30.

**Tabela 4.30** – “3º Caso” - Dados Quantificados, Estimados e Adotados

Tipo de atividade	Dados da atividade com exposição ao stress térmico						
	t <sub>bun</sub> (°C)	t <sub>bs</sub> (°C)	t <sub>g</sub> (°C)	V <sub>a</sub> (m/s)	M		I <sub>cl</sub> (clo)
					(kcal/h)	(W/m²)	
3º Caso	27,0	35,4	36,6	0,01	175	113	0,6

**A** – Cálculos “com carga solar” e variação de pressão atmosférica.

Para propiciar os cálculos de IBUTG e WBGT foi adotado o ambiente “com carga solar” e para atender aos cálculos dos índices DL1 e DL2 foi adotado: Umidade Relativa UR = 50% e Pressão Atmosférica p = 101,3 kPa.

**Tabela 4.31** – “3º Caso” – Resultados “com carga solar”, UR = 50% e p = 101,3 kPa

ISO 7933/89		IBUTG WBGT (°C)	CICLO DE TRABALHO PERMISSÍVEL Minutos de Trabalho/Descanso	
DL1 (min)	DL2 (min)		NR-15/78 - IBUTG	ISO 7243/89 - WBGT
480	480	29,76	MODERADO – 15t 45d	BAIXA – W trab contínuo

Os índices apresentaram os seguintes resultados:

Para a ISO 7243/89 e ISO 7933/89, resultou “Trabalho Contínuo” e para NR-15 resultou ciclo “15t 45d”.

### B - Cálculos “sem carga solar” e variação de pressão atmosférica (p).

Os mesmos dados da tabela 4.30 foram utilizados para a condição de “sem carga solar” e para a variação da pressão atmosférica de 101,3 kPa para 94,6 kPa.

O valor de DL1 e DL2 permanecem iguais, pois o dado “carga solar” não é considerado diretamente nos cálculos destes índices.

Os cálculos de IBUTG e WBGT para “sem carga solar” alteraram o valor destes índices, porém a determinação do ciclo permissível permaneceu a mesma.

Refazendo-se os cálculos para  $p = 94,6$  kPa, os índices não apresentaram variação quanto ao tempo permissível.

### C - Variação Paramétrica do Metabolismo.

A variação paramétrica do metabolismo para os dados do “3º Caso”, estão apresentados na Tabela 4.32.

**Tabela 4.32** – “3º Caso” – Resultados da variação paramétrica do Metabolismo para os dados da Tabela 4.30, “com carga solar” e  $p = 101,3$  kPa

Metabolismo	IBUTG	ISO 7933/89		NR -15/78		ISO 7243/89	
		DL1 trab(min)	DL2 trab(min)	Ciclo NR-15	IBUTG trab(min)	Ciclo ISO 7243	WBGT trab(min)
65,0	29,8	480,00	480,00	Trab Contínuo	480	W trab contínuo	480
98,0	29,8	480,00	480,00	15t 45d	120	W trab contínuo	480
113,0	29,8	480,00	480,00	15t 45d	120	W trab contínuo	480
130,0	29,8	480,00	480,00	15t 45d	120	45T 15D	360
196,0	29,8	93,37	398,90	15t 45d	120	30T 30D	240
200,0	29,8	87,02	396,41	15t 45d	120	30T 30D	240
260,0	29,8	42,24	300,00	15t 45d	120	15T 45D	120

Obs: Os DL1 e DL2 foram calculados para ciclo “Trabalho Contínuo”.

Apesar da variação paramétrica do Metabolismo contemplar os limites das três classes (Leve, Moderada e Pesada), quando aplicada a norma NR-15, o ciclo permissível não variou permanecendo “15t 45d” de  $M=98\text{W/m}^2$  até  $M=260\text{W/m}^2$ . Isso se deve, a larga faixa de valores do índice IBUTG, válido para cada ciclo de Trabalho/Descanso, em cada Tipo de Atividade (Tabela 2.6).

Calculando o DL1 e DL2 para ciclos diversos, a variação paramétrica do Metabolismo, apresenta permissão de “Trabalho Contínuo” de  $M=65\text{W/m}^2$  até

130W/m<sup>2</sup>, permissão de ciclo “30t 30d” para M=196W/m<sup>2</sup> e permissão de ciclo “15t 45d” para M=200 W/m<sup>2</sup> e 260W/m<sup>2</sup>.

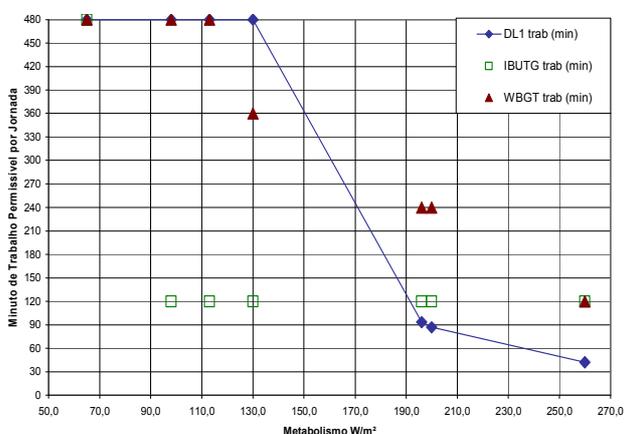
Na Tabela 4.33 estes resultados são apresentados.

**Tabela 4.33** – “3º Caso” – Cálculos do Balanço Térmico para Metabolismo de Descanso, e cálculos de ciclos de Trabalho/Descanso na variação paramétrica do Metabolismo de Trabalho

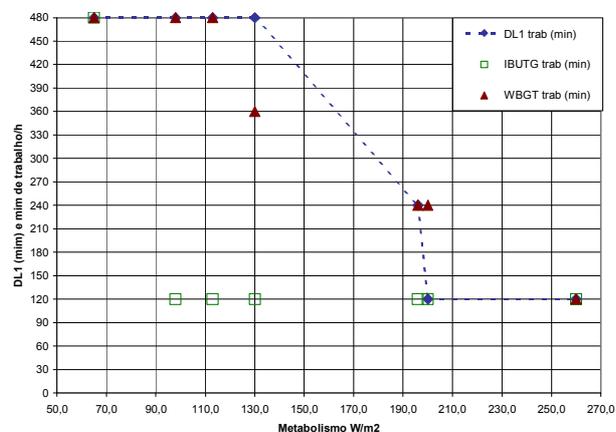
M W/m <sup>2</sup>	para M=65W/m <sup>2</sup>		trab. Contínuo		15 trab 45 desc		30 trab 30 desc		45 trab 15 desc	
	DL1d	DL2d	DL1t	DL2t	DL1-15t	DL2-15t	DL1-30t	DL2-30t	DL1-45t	DL2-45t
65	-	480,00	480,00	480,00	-	480,00	-	480,00	-	480,00
98	-	480,00	480,00	480,00	-	480,00	-	480,00	-	480,00
113	-	480,00	480,00	480,00	-	480,00	-	480,00	-	480,00
130	-	480,00	480,00	480,00	-	480,00	-	480,00	-	480,00
196	-	480,00	93,37	398,90	-	480,00	-	480,00	194,10	429,71
200	-	480,00	87,02	396,41	-	480,00	480	464,55	174,25	427,54
260	-	480,00	42,24	300,00	-	480,00	164,56	442,52	67,22	300,00

As Figuras 4.19 e 4.20 apresentam graficamente os tempos permissíveis de trabalho referente a aplicação dos índices IBUTG, WBGT e DL dos dados do “3º Caso” com a variação paramétrica do Metabolismo.

Na Figura 4.19 o valor de DL1 é válido para cálculo de ciclo “Trabalho Contínuo” e na Figura 4.20 é válido para cálculo de trabalho por ciclo.



**Figura 4.19** - “3º Caso” - Comparativo do Índices DL1 / WBGT / IBUTG em Relação ao Metabolismo - M - Para “com carga solar” e  $\rho=101,3$  kPa.



**Figura 4.20** - “3º Caso” - Comparativo do Índices DL1 / WBGT / IBUTG em Relação ao Metabolismo - M - Para ciclos de Trabalho /Descanso,  $\rho=101,3$  kPa e “com carga solar”.

Observa-se que os tempos permissíveis por ciclos (Figura 4.20), referentes aos índices WBGT e DL, apresentam resultados mais próximos, do que quando calculados para “Trabalho Contínuo”. Observa-se também que na faixa de Metabolismo considerada classe “Pesada” para o índice IBUTG, as aplicações das três normas apresentam o mesmo resultado ciclo “15t 45d”.

A norma ISO 7243/89 (WBGT) apresentou seus resultados mais próximos aos resultados da norma ISO 7933/89 (balanço térmico), do que os resultados da

NR-15 (IBUTG). Isso indica que, as tabelas e gráficos da aplicação da ISO 7243/89 são mais próximos dos resultados da norma de balanço térmico, do que a norma de aplicação do índice IBUTG.

#### 4.5.2 Apresentação do 8º Caso

Primeiramente os dados do 8º Caso são apresentados na Tabela 4.34

**Tabela 4.34** – “8º Caso” - Dados Quantificados, Estimados e Adotados

Tipo de atividade	Dados da atividade com exposição ao stress térmico						
	t <sub>bun</sub> (°C)	t <sub>bs</sub> (°C)	t <sub>g</sub> (°C)	V <sub>a</sub> (m/s)	M		I <sub>cl</sub> (clo)
					(kcal/h)	(W/m <sup>2</sup> )	
8º Caso	31,2	32,2	32,4	0,01	150	97	0,6

**A** – Cálculos “com carga solar” e variação de pressão atmosférica.

Para propiciar os cálculos de IBUTG e WBGT foi adotado o ambiente “com carga solar” e para atender aos cálculos dos índices DL1 e DL2 foi adotado: Umidade Relativa UR = 50% e Pressão Atmosférica p = 101,3 kPa.

**Tabela 4.35** – “8º Caso” – Resultados “com carga solar”, UR = 50% e p = 101,3 kPa

ISO 7933/89		IBUTG WBGT (°C)	CICLO DE TRABALHO PERMISSÍVEL Minutos de Trabalho/Descanso	
DL1 (min)	DL2 (min)		NR-15/78 - IBUTG	ISO 7243/89 - WBGT
480	480	31,54	LEVE – 15t 45d	BAIXA – 45T 15D

Os índices apresentaram os seguintes resultados:

Para a NR-15 resultou ciclo “15t 45d” e para a ISO 7243/89, resultou ciclo “45T 15D” e para ISO 7933/89 resultou “Trabalho Contínuo”.

**B** - Cálculos “sem carga solar” e variação de pressão atmosférica (p).

Os mesmos dados da tabela 4.34 foram utilizados para a condição de “sem carga solar” e pressão atmosférica 94,6 kPa.

Os valores de DL1 e DL2 permanecem iguais, pois o dado “carga solar” não é considerado diretamente nos cálculos destes índices.

Os cálculos de IBUTG e WBGT para “sem carga solar” alteraram o valor destes índices, porém a determinação do ciclo permissível permaneceu a mesma.

Refazendo-se os cálculos para  $p = 94,6$  kPa, os índices não apresentaram variação quanto ao tempo permissível.

### C - Variação Paramétrica do Metabolismo.

Aos resultados da variação paramétrica do metabolismo para os dados do “8º Caso”, estão apresentados na Tabela 4.36.

**Tabela 4.36** – “8º Caso” – Resultados da variação paramétrica do Metabolismo para os dados da Tabela 4.29, “com carga solar” e  $p = 101,3$  kPa

Metabolismo	IBUTG	ISO 7933/89		NR -15/78		ISO 7243/89	
		W/m <sup>2</sup>	WBGT	DL1trab(min)	DL2 trab(min)	Ciclo NR-15	IBUTG trab(min)
65,0	31,5	480,00	480,00	15t 45d	120	45T 15D	360
98,0	31,5	480,00	480,00	Trab Não Per	0	45T 15D	360
113,0	31,5	480,00	480,00	Trab Não Per	0	30T 30D	240
130,0	31,5	480,00	480,00	Trab Não Per	0	15T 45D	120
196,0	31,5	1016,30	364,35	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0
200,0	31,5	582,27	362,10	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0
260,0	31,5	67,04	300,00	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0

Obs: Os DL1 e DL2 foram calculados para ciclo “Trabalho Contínuo”.

Observa-se que o valor do índice IBUTG igual a 31,5 é considerado alto, dentro das faixas de valores do índice, para cada ciclo por classe de atividade. Portanto, apenas para o metabolismo de descanso ( $65$  W/m<sup>2</sup>) a atividade é permissível, não sendo permitido o trabalho nos demais. No entanto, para a ISO 7243/89, é permitido a exposição em ciclo de “45T 15D” de  $M = 65$ W/m<sup>2</sup> até  $98$ W/m<sup>2</sup>, ciclo de “30T 30D” para  $M = 113$ W/m<sup>2</sup>, ciclo de “15T 45D” para  $M = 130$ W/m<sup>2</sup> e trabalho “Não Permitido” para os demais valores da variação paramétrica.

Para a norma ISO 7933/89, os cálculos de DL1 e DL2, apresentaram “Jornada Restrita por Excesso de perda D’água” quando  $M = 196$ W/m<sup>2</sup> e  $200$ W/m<sup>2</sup>. Nestas condições, como DL2 que restringiu a jornada, não é permitida nenhuma exposição acima deste tempo, mesmo em situação de intervalos de tempo de descanso. A Tabela 4.37 apresenta o resultado por ciclo para  $M = 260$ W/m<sup>2</sup>.

**Tabela 4.37** – “8º Caso” – Cálculos do Balanço Térmico para Metabolismo de Descanso, e cálculos de ciclos de Trabalho/Descanso na variação paramétrica do Metabolismo de Trabalho

M de trab.	para $M=65$ W/m <sup>2</sup>		trab. Contínuo		15 trab 45 desc		30 trab 30 desc		45 trab 15 desc		
	W/m <sup>2</sup>	DL1d	DL2d	DL1t	DL2t	DL1-15t	DL2-15t	DL1-30t	DL2-30t	DL1-45t	DL2-45t
65	-	480,00	480,00	480,00	480,00	-	480,00	-	480,00	-	480,00
98	-	480,00	480,00	480,00	480,00	-	480,00	-	480,00	-	480,00
113	-	480,00	480,00	480,00	480,00	-	480,00	-	480,00	-	480,00
130	-	480,00	480,00	480,00	480,00	-	480,00	-	480,00	-	480,00
196	-	480,00	1016,30	364,35	364,35	-	480,00	-	480,00	-	480,00
200	-	480,00	582,27	362,10	362,10	-	480,00	-	480,00	-	480,00
260	-	480,00	67,04	300,00	300,00	-	480,00	-	480,00	195,37	366,15

Os valores da Tabela 4.37 estão representados graficamente pela Figura 4.22.

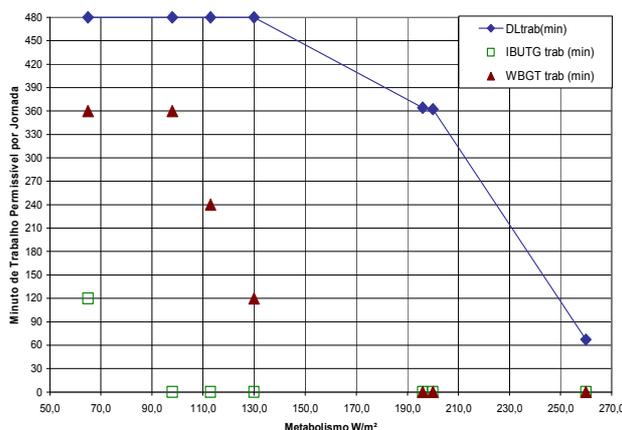


Figura 4.21 - "8º Caso" - Comparativo dos Índices DL / WBGT / IBUTG em Relação ao Metabolismo - M - Para "Trabalho Contínuo", p=101,3 kPa e "com carga solar".

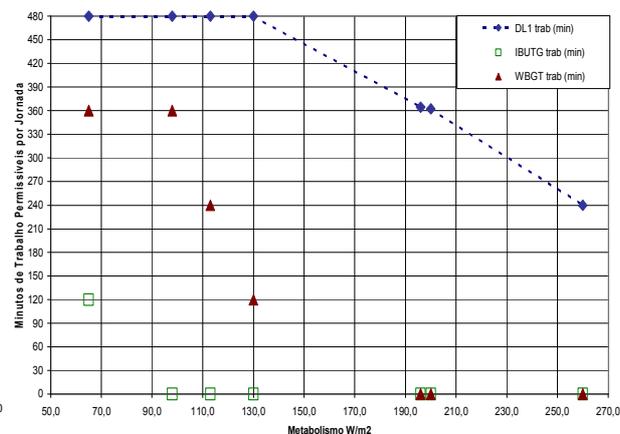


Figura 4.22 - "8º Caso" - Comparativo dos Índices DL / WBGT / IBUTG em Relação ao Metabolismo - M - Para p=101,3 kPa e "com carga solar". Para M=260W/m2, cálculo por ciclo Trabalho / Descanso.

A aplicação das normas do método Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo apresentou tempos permissíveis mais restritivos do que a aplicação da norma pelo Método do Balanço Térmico.

### 4.5.3 Variação Paramétrica do Metabolismo – 9º Caso

Com os dados da Tabela 4.11, os cálculos da aplicação das três normas foram realizados conforme demonstrados nos itens 4.2.2, letras "A" e "B". A letra "C", sobre a variação paramétrica do isolamento térmico das roupas será tratada aqui. A variação paramétrica do metabolismo para os dados do "9º Caso", apresentaram os resultados da Tabela 4.38.

**Tabela 4.38** – "9º Caso" – Resultados da variação paramétrica do Metabolismo, para "com carga solar" e p = 101,3 kPa. DL1 e DL2 foram calculados para "trabalho contínuo"

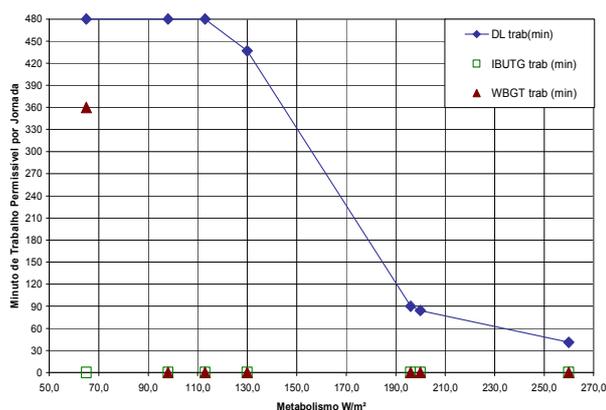
Metabolismo	IBUTG	ISO 7933/89		NR -15/78		ISO 7243/89	
W/m2	WBGT	DL1trab(min)	DL2 trab(min)	Ciclo NR-15	IBUTG trab(min)	Ciclo ISO 7243	WBGT trab(min)
65,0	32,6	480,00	480,00	Trab Não Per	0	45T 15D	360
98,0	32,6	480,00	480,00	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0
113,0	32,6	480,00	480,00	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0
130,0	32,6	480,00	436,65	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0
196,0	32,6	89,99	377,44	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0
200,0	32,6	84,39	300,00	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0
260,0	32,6	41,15	300,00	Trab Não Per	0	W Não Permitido	0

O valor dos índices IBUTG e WBGT é superior a 30,00 e a aplicação das normas baseadas no método do Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo, não permite atividade.

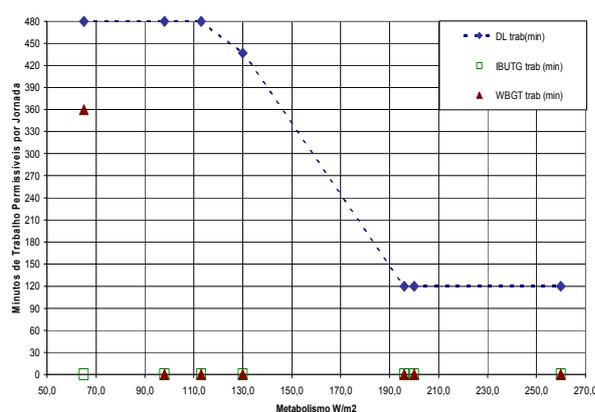
Para a norma ISO 7933/89 é permissível atividade de “Trabalho Contínuo” na faixa de metabolismo  $M = 65\text{W/m}^2$  até  $113\text{W/m}^2$ , e “Jornada Restrita por Aumento de Temperatura Corporal e Excesso de Perda D’água” para a faixa de metabolismo  $M=196\text{W/m}^2$  até  $260\text{W/m}^2$ . Para  $M=130\text{W/m}^2$ , a “Jornada foi Restrita por Excesso de Perda D’água”, não sendo permitido, nestas condições, qualquer tempo de exposição acima do valor calculado para “trabalho contínuo”.

**Tabela 4.39** – “9º Caso” – Cálculos do Balanço Térmico para Metabolismo de Descanso, e cálculos de ciclos de Trabalho/Descanso na variação paramétrica do Metabolismo de Trabalho

M W/m <sup>2</sup>	para M=65W/m <sup>2</sup>		trab. Contínuo		15 trab 45 desc		30 trab 30 desc		45 trab 15 desc	
	DL1d	DL2d	DL1t	DL2t	DL1-15t	DL2-15t	DL1-30t	DL2-30t	DL1-45t	DL2-45t
65	-	480,00	480,00	480,00	-	480,00	-	480,00	-	480,00
98	-	480,00	480,00	480,00	-	480,00	-	480,00	-	480,00
113	-	480,00	480,00	480,00	-	480,00	-	480,00	-	480,00
130	-	480,00	480,00	436,65	-	480,00	-	480,00	-	480,00
196	-	480,00	89,99	377,44	-	480,00	1065,87	440,51	165,96	406,54
200	-	480,00	84,39	300,00	-	480,00	765,44	438,91	152,03	404,50
260	-	480,00	41,15	300,00	-	480,00	141,17	418,69	65,60	300,00



**Figura 4.23** - “9º Caso” - Comparativo dos Índices DL / WBGT / IBUTG em Relação ao Metabolismo - M - Para “trabalho contínuo”, “com carga solar” e  $p=101,3\text{ kPa}$ .



**Figura 4.24** - “9º Caso” - Comparativo dos Índices DL / WBGT / IBUTG em Relação ao Metabolismo - M - Obs: Para  $M=196\text{W/m}^2$  até  $260\text{W/m}^2$ , por ciclos de Trabalho / Descanso.

Observa-se novamente, que o método do balanço térmico para este “9º Caso” apresenta resultados que se distanciam dos tempos permissíveis pela aplicação do método do Índice de Bulbo Úmido e Termômetro de Globo.

#### 4.5.4 Conclusão Sobre a Variação Paramétrica do Metabolismo

O parâmetro “Metabolismo” é determinante na obtenção do ciclo permissível quando da aplicação das normas pelo método Índice de Bulbo Úmido e Termômetro de Globo. As duas normas: ISO 7243/89 e NR-15 apresentam

diferentes definições de classes e faixas de limite de tolerância dos índices, respectivamente, WBGT e IBUTG, e em alguns pontos até antagônicos. Durante a análise dos onze casos amostrados, observou-se que estas normas, ora apresentam tempos permissíveis iguais ou proporcionais, ora apresentam tempos muito diferentes, principalmente para índices com valores próximos ou superiores a 30°C. O método do Balanço Térmico apresenta maiores tempos de permissão de trabalho, quanto maiores são os valores de IBUTG e WBGT, ou seja, quanto maiores os valores da temperatura  $t_{bs}$  e  $t_{bu}$  na aplicação da norma ISO 7933/89.

#### 4.6 APRESENTAÇÃO GERAL DOS RESULTADOS OBTIDOS

A Tabela 4.40 apresenta o resumo dos resultados obtidos de cada um dos casos em relação a aplicação das três normas definido os ciclos de trabalho permissíveis.

**Tabela 4.40** – Quadro resumo dos resultados de tempos permissíveis dos onze “Casos”, resultantes das aplicações das normas ISO 7933/89, NR-15/78 e ISO 7243/89

Caso	Dados da atividade com exposição ao stress térmico.						Resultados			
	$t_{bun}$ (°C)	$t_{bs}$ (°C)	$t_g$ (°C)	$v_a$ (m/s)	M (W/m <sup>2</sup> )	$I_{cl}$ (clo)	IBUTG WBGT	ISO 7933/89 (min)	NR-15 Classe - min	ISO 7243/89 Classe - min
1°	27,2	35,7	37,6	0,01	113	0,6	30,13	480	Moderado - 120	Baixa - 360
2°	26,8	40,4	40,8	0,01	113	0,6	30,96	106*	Moderado - 120	Baixa - 360
3°	27,0	35,4	36,6	0,01	113	0,6	29,76	480	Moderado - 120	Baixa - 480
4°	31,8	41,8	45,3	0,01	97	0,6	36,55	80*	Leve - 0	Baixa - 0
5°	27,5	34,4	36,0	0,01	285	0,6	29,89	120	Pesado - 120	Muito Alta - 120
6°	28,0	33,5	40,4	0,01	285	0,6	31,03	120	Pesado - 0	Muito Alta - 0
7°	25,0	32,2	33,2	0,01	143	0,6	27,36	480	Moderado - 120	Moderada - 480
8°	31,2	32,2	32,4	0,01	97	0,6	31,54	480	Leve - 120	Baixa - 360
9°	29,8	34,6	41,5	0,01	117	0,6	32,4	480	Moderado - 0	Baixa - 0
10°	32,4	39,5	44,4	0,01	357	0,6	35,51	16,19*	Pesado - 0	Muito Alta - 0
11°	25,1	39,5	43,1	0,01	285	0,6	30,96	22,33*	Pesado - 0	Muito Alta - 120

\* Jornada Restrita por Aumento da Temperatura Corporal

Para o “5º Caso”, a aplicação das três normas resultaram em tempo limite de exposição iguais ao ciclo “15t 45d”, ou seja, 120 minutos de efetivo trabalho com intervalo de tempos de descanso.

Para o “9º Caso”, a aplicação das normas baseadas no Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo, resultaram em “Trabalho Não Permissível”, ou seja, zero minutos de jornada. Para a norma do Balanço Térmico resultou jornada de “Trabalho Contínuo”, ou seja, 480 minutos de atividade. Neste “9º Caso” a aplicação dos dois métodos resultaram em tempos antagônicos.

Para o “6º Caso”, a aplicação do método do Índice de Bulbo Úmido e Termômetro de Globo resultou em “Trabalho Não Permissível” e para a aplicação do método do Balanço Térmico resultou em ciclo “15T 45D”.

Observa-se pelos demais resultados, em relação aos tempos permissíveis, que a norma NR-15/78 para os “Casos” analisados, restou mais restritiva do que a aplicação das outras duas normas.

Pela análise geral dos resultados de todos os “Casos”, observa-se uma tendência da ISO 7243/89 se aproximar dos valores da aplicação da ISO 7933/89 do Balanço Térmico. Isso é evidente, pela análise do “1º Caso”, “8º Caso”, e principalmente do “3º Caso” e “7º Caso”, onde os tempos limites de exposição da ISO 7243/89 são iguais ao tempo limite de exposição pela aplicação da ISO 7933/89.

No “2º Caso”, o resultado para aplicação do Balanço Térmico definiu 106 minutos de “trabalho contínuo” limitado por Aumento da Temperatura Corporal, valor mais restritivo que o definido pela NR-15/78 – 120 minutos de efetivo trabalho em uma jornada de 480 minutos.

Nos “Casos” onde o resultado, apresentou “Jornada Restrita por Aumento da Temperatura Corporal” (\* na Tabela 4.40), os cálculos por ciclos de Trabalho / Descanso restaram inaproveitáveis, já que não permitiram nenhum ciclo em tempo igual ou superior a 480 minutos, ou seja, jornada completa em ciclos. A possibilidade no aumento do tempo de exposição ocorre porém, para parte da jornada em ciclos de Trabalho / Descanso.

Em análise geral dos resultados advindos da aplicação das três normas, pode-se afirmar que não existe homogeneidade, comparativamente, aos tempos limite de exposição do trabalhador ao stress térmico resultante de cada uma das normas.

Mesmo os resultados da aplicação da NR-15 e da ISO 7243/78 que são baseados no mesmo método Índice de Bulbo Úmido e Termômetro de Globo apresentam resultados variados, as vezes próximos, as vezes diferentes e as vezes até antagônicos como os comentados acima.

A influência de cada um dos parâmetros destacados  $I_{cl}$ ,  $M$ ,  $v_a$  e  $UR$  apresentaram diferenças significativas na aplicação das três normas, principalmente no caso do  $v_a$  e do  $I_{cl}$  que não participam da formula dos índices IBUTG e WBGT permanecendo os mesmos conforme se varia estes parâmetros. A velocidade do ar através da aceleração da transferência do calor pode influenciar valores maiores para  $t_{bs}$  e  $t_{bun}$  provocando indiretamente um aumento destes parâmetros e consecutivamente dos índices IBUTG e WBGT, porém a grandeza deste aumento não fez parte deste trabalho.

A variação do  $I_{cl}$  foi de todos, o mais significativo dos parâmetros, pois não participa do índice IBUTG nem direta nem indiretamente. Porém, o parâmetro  $I_{cl}$  é considerado no índice SWreq, alterando significativamente os tempos permissíveis e para o índice WBGT a aplicação da norma ISO 7243/89 só é válida para  $I_{cl} = 0,6$  clo.

Portanto, na análise geral, para a mesma situação de exposição e metabolismo, as aplicações das três normas não apresentam homogeneidade nos resultados de tempos limites de jornada laboral.

## 5. CONCLUSÃO

### 5.1 CONCLUSÃO SOBRE OS DOIS MÉTODOS E SOBRE AS TRES NORMAS IDENTIFICANDO SUAS DIFERENÇAS E OS EFEITOS NOS RESULTADOS APRESENTADOS

Este trabalho enfocou dois métodos de quantificação de stress térmico: o método Índice de Bulbo Úmido e Termômetro de Globo e o método do Balanço Térmico.

#### ***5.1.1 Método do Índice de Bulbo Úmido e Termômetro de Globo***

Este método foi analisado através das normas NR-15/78 (nacional) e a ISO 7243/89 (internacional). Estas normas definem tempo limite de exposição às condições de stress térmico (calor), baseado respectivamente nos índices IBUTG e WBGT, em tabelas de classificação e taxas metabólicas, que são comparadas a tabelas de valores pré-determinados de limite de exposição por classe. Os índices IBUTG e WBGT são função dos mesmos parâmetros ( $t_{bs}$ ,  $t_{bun}$ , e  $t_g$ ) e possuem a mesma fórmula, porém, as aplicações das correspondentes normas, resultam em tempos de limite de exposição diferentes pelos seguintes motivos:

- A tabela da taxa metabólica da NR-15/78 possui quatro classes e intervalos de taxas metabólicas próprios (Tabela 2.7). A tabela da taxa metabólica da ISO 7243/89 possui cinco classes e intervalos de taxas metabólicas diferentes da NR-15/78, com exceção da primeira

classe (tabela 2.4). Para uma mesma descrição de atividade, a estimativa da taxa metabólica terá valor diferente conforme a tabela da norma utilizada. Portanto, existem diferenças na estimativa da taxa metabólica e do enquadramento da classe. A tabela da NR-15 está baseada em descrição sumária das atividades e não possui definição clara das faixas de metabolismo válidas para cada classe. Esta tabela foi construída para servir unicamente de estimativa de taxa metabólica e não para classificar uma taxa já estimada por outras tabelas.

- A tabela dos valores limites dos índices IBUTG e WBGT são diferentes, desde os intervalos por classes, até a grandeza destas faixas limites de tolerância. A tabela dos limites de tolerância da NR-15/78 possui quatro classes de metabolismo da atividade e quatro tipos de jornadas diferentes (“trabalho contínuo”, “45t 15d”, “30t 30d” e “15t 45d”). Possui faixas de valores do índice IBUTG, que representam segmentos de retas válidos para cada regime de trabalho por classe de metabolismo (Figura 3.1). A análise gráfica destes segmentos indica uma incongruência nas faixas de classe “Pesado” e “Moderado” para regime “45t 15d”, onde para metabolismo “Pesado” no mesmo regime, o limite de tolerância é maior que na classe “Moderado” para a mesma atividade e existe descontinuidades de limite de tolerância para faixas de metabolismo. A NR-15/78 inclusive, não deixa claro a validade destas faixas de valores limite de tolerância conforme já discutido no item 3.1.3. A tabela de “Valores de Referência” do índice WBGT apresenta quatro classes com um único valor de referência para cada classe, porém para as classes “3” e “4” (Tabela 2.5), existe um valor de referência para a situação “sem movimento de ar” e outro para a situação “com movimento de ar”. Esta tabela também contempla valores de referencia diferentes para situações de “Pessoas aclimatadas ao calor” e “Pessoas não aclimatadas ao calor”. Esta tabela de Valores de Referência é válida para ciclo “trabalho contínuo”. Para regimes de trabalho em ciclos de Trabalho / Descanso, a ISO 7243/89

apresenta no anexo B curvas de valores referência para os quatro tipos de ciclos de Trabalho / Descanso;

- Os valores de referencia da ISO 7243/89 são válidos para situações onde o trabalhador esteja vestido, com resistência térmica das roupas no valor correspondente a  $I_{cl} = 0,6$  clo. Para outros valores de  $I_{cl}$  a ISO recomenda utilizar a tabela com restrição e fazendo correções. A NR-15 não faz nenhuma menção a resistência térmica das roupas;
- Quando a situação de stress térmico e o regime de trabalho por ciclos de Trabalho / Descanso, a ISO 7243/89 recomenda a aclimação do trabalhador de forma graduação com duração mínima de sete dias. A NR-15 não faz menção sobre a aclimação do trabalhador e permite através da alternância de ambiente de trabalho e ambiente de descanso, a exposição alternada a altos e baixos índices de stress de calor, que podem provocar desorganização orgânica no trabalhador exposto, conforme seja o diferencial térmico desta exposição. A NR-15/78 possibilita tempos intermitentes de descanso em outro local com índice de stress térmico mais ameno que o ambiente/processo de trabalho, mais não consegue avaliar as taxas de suor, desidratação, e aumento da temperatura corporal do trabalhador exposto.
- O objetivo da ISO 7243/89 é ser uma metodologia prática e rápida visando o diagnóstico da situação de stress a que o trabalhador está exposto. Quando esta situação de stress se configura e corresponde a período representativo da atividade do trabalhador, outros métodos de avaliação devem ser utilizados para indicar as melhorias necessárias para afastar o stress térmico. Ainda na ISO 7243/89 existe uma observação de que a norma não deva ser aplicada para avaliação de stress de calor em períodos curtos de atividade e também em condições de metabolismo próximas a zonas de

conforto, onde os valores de referência são acima de 30,0 para o índice WBGT. Estes valores, acima de trinta para WBGT e taxa de metabolismo “Baixa” (abaixo de 130 W/m<sup>2</sup>), representam a região onde as curvas representativas dos valores de referência dos ciclos de Trabalho / Descanso tendem a se encontrar;

- A NR-15 não faz referência às restrições da aplicação da norma, inclusive, esta foi normalizada com vistas à compensação financeira aos trabalhadores relacionadas à perda de padrões de saúde. A NR-15 é uma norma que estabelece padrões de limite de tolerância de exposição, visando o enquadramento se a atividade é insalubre ou não e se essa circunstância pode ser resolvida através de regime intermitente com períodos de descanso. Não sendo possível o estabelecimento da “salubridade”, através de ciclos de Trabalho / Descanso, caracteriza-se a insalubridade que reflete financeiramente no holerit do “Trabalhador Celetista”. A ISO 7243/89 possui objetivo técnico de diagnóstico e remete a outros métodos para identificar os parâmetros mais significativos e apartir da análise de cada situação propor a minimização das condições de stress pela implementação de ações que diminuam o efeito do parâmetro mais significativo referente ao stress diagnosticado.

A aplicação da NR-15/78 baseada exclusivamente nos parâmetros:  $t_{bs}$ ,  $t_{bun}$ ,  $t_g$  e  $M$ , não representa cientificamente a fronteira entre o permissível e o danoso. Esta norma foi elaborada com vistas a definição de insalubridade e não representa com segurança todos os parâmetros de trocas de calor existentes em Atividades / Processos com exposição a fonte de calor.

Portanto, mesmo sendo baseadas no mesmo método, as normas NR-15/78 e ISO 7243/89 apresentam diferenças significativas na aplicação de cada uma destas normas, o que resulta em tempos limite de exposição diferenciados e por vezes antagônicos, conforme demonstrado no capítulo quatro.

### **5.1.2 Método do Balanço Térmico**

Este método foi analisado através da norma ISO 7933/89 (internacional) que apresenta cálculos do balanço de calor e taxa de suor produzido pelo corpo para manter o equilíbrio. Para reduzir o risco de carga fisiológica, e modificar o tempo máximo de exposição, esta norma determina os parâmetros que devem ser modificados.

O ambiente, as vestimentas da pessoa exposta assim como a postura e movimentos executados determinantes da taxa metabólica, são usados no cálculo da troca de calor entre a pessoa e o ambiente. Este cálculo apresenta valores limites de advertência e risco da carga de calor e perda máxima de água permitida compatível com a manutenção do equilíbrio de água e minerais do corpo.”

Esta norma tem como objetivo:

- A avaliação do stress térmico de pessoa exposta a condições de stress térmico, avaliando a elevação da temperatura corpórea e a excessiva perda d'água (suor) do organismo;
- A indicação do parâmetro mais significativo que deve ser modificado para minimização das condições de stress térmico;
- A determinação do tempo máximo de exposição requerido como limite aceitável para limitar a fadiga física a um valor aceitável. Ainda neste objetivo esta norma ISO 7933/89 não apresenta resposta fisiológica para trabalhadores individuais, mais sim para trabalhadores gozando de boa saúde e aptos para o trabalho que executam.

Como este método, estabelece através do DL1 e DL2 os tempos limite de exposição considerando, respectivamente, o “Aumento da Temperatura Corporal” e o “Excesso de Perda D'água”, prevalece o menor tempo calculado, como máximo tempo permissível para jornada laboral diária, podendo ser refeitos os

cálculos para regime intermitente, ou seja, ciclos de Trabalho / Descanso onde novos valores de DL1 e DL2 serão estabelecidos. Estes cálculos por ciclos Trabalho / Descanso são permitidos, com exceção quando o DL2 é o tempo mais restritivo, pois nestas condições haverá excessiva perda d'água do organismo, não sendo permissível qualquer tempo de exposição acima deste valor.

Portanto, este método leva em consideração todos os parâmetros que envolvem a transferência de calor entre: o ambiente com fonte de calor, a produção interna de calor (metabólico) e o trabalhador. É um método que indica o parâmetro para modificações e melhoria das condições de trabalho e que não pode ser aplicado sem o devido acompanhamento das condições de saúde de cada trabalhador submetido a estas circunstâncias.

Este método representado pela norma ISO 7933/89 em sua essência é mais completo que o método do Índice de Bulbo Úmido e Termômetro de Globo, apesar de em comparação com as normas deste último, por vezes apresentar resultados menos restritivos. Isso pode ser entendido devido às considerações já comentadas sobre essas normas, baseadas no método do Índice de Bulbo Úmido e Termômetro de Globo.

## 5.2 SUGESTÕES PARA MELHOR AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE LABOR EM ATIVIDADES COM EXPOSIÇÃO A *STRESS* TÉRMICO.

Comparativamente, o método do Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo é o mais simples, rápido e prático dos métodos. O método do Balanço Térmico é um método mais demorado, que necessita de mais quantificações de parâmetros, porém é o método que indica a onde está o problema, e que parâmetro(s) deve(m) ser modificado(s) para melhoria das condições de trabalho.

Dentro destas características, sugere-se que a NR-15/78, estruturada no método do IBUTG com redação em vigor datada de 1978, seja revisada, pois faz parte de dispositivo legal, que delimita de forma quantitativa condições salubres de exposição ao calor, e que com as incongruências de interpretação e de utilização

dos índices e tabelas (mencionados nos capítulos anteriores), comparativamente com o método do Balanço Térmico, não é tecnicamente o método mais indicado para estabelecimento quantitativo de salubridade.

Dos dois métodos, o método do Balanço Térmico, é o mais indicado para ser aplicado objetivando: o diagnóstico, a análise e os fundamentos técnicos de medidas saneadoras do ambiente e dos processos metabólicos com exposição a fonte de calor.

Ressalta-se também, que a NR-15/78 – norma legal válida em território de preponderante clima tropical, utiliza-se de índices e tabelas de limite de tolerância originários de climas frios a temperados.

Recomendamos que for força legal, seja a NR-15/78 utilizada dentro do que preceitua a Consolidação das Leis Trabalhistas do Brasil, porém que para efeito de Higiene e Segurança do Trabalho, os ambientes/processos laborais com exposição a fontes de calor, seja sempre avaliado pelo método do Balanço Térmico que indica as medidas saneadoras para minimização do stress térmico.

### 5.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros ligados ao tema, destacam-se os relacionados abaixo:

- Levantamentos e análises sobre a influencia dos níveis de stress térmico no desempenho e na produtividade do trabalhador de regiões de clima tropical.
- Levantamento da ocorrência de acidentes tipos e doenças profissionais em grupos de risco - trabalhadores com exposição a níveis de stress térmico em clima tropical, no sentido de registrar um banco de dados para a análise de possível correlação entre os índices de exposição e estas ocorrências, possibilitando também dados para análise de índices de exposição máxima permissível e limites de tolerância baseada na realidade de clima tropical.
- Levantamentos e análises mais específicos sobre taxa metabólica para região de clima tropical, considerando-se os movimentos

necessários para a execução da atividade, o respectivo desprendimento de energia corpórea e as condições ambientais sob as quais estas atividades são desenvolvidas.

- Estudos mais aprofundados sobre a influencia da resistência térmica das roupas nos mecanismos de troca de calor e estudos específicos contemplando os tipos de tecidos mais utilizados nos uniformes industriais de clima tropical.
- Estudos no sentido de Tabelar valores de referência para Isolamento térmico de roupas diferentes de 0,6clo, utilizando a ISO 7243/89 que apresenta tabela válida apenas para Icl = 0,6 clo.

## ANEXO A

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AULICIEMS, A, SZOKOLAY, S. *Thermal Comfort*. Kenmore: 1997. University of Queensland – Department of Architecture.
- CLAREMONT, A D. et al.: *Comparison of metabolic, temperature, Heat rate and ventilatory response to exercise at extreme ambient temperature (0° and 35°C)*. Med. Sci. Sports, 7:150, 1975.
- CLAREMONT, A D. et al.: *Heat tolerance following diuretic induced dehydration*. Med. Sci. Sports, 8:239, 1976.
- FANGER, P. O. *Thermal comfort, Copenhagen, Danish technical Press, 1970*
- GIVONI, B. *Man, Climate and Architecture*. 2º edição. London: Applied Science, 1981 (1981)....
- GIAMPAOLI, E. *Temperaturas Extremas – Riscos Químicos*, São Paulo, 1994, Fundacentro, Editora Fundacentro, 112p.
- GOLDMAN, R. F. *Productivity in the United States: A question of Capacity or Motivation?* ASHRAE Transactions. Florida: v.10, n.4, p.49-60, 1994.
- HACKENBERG, A. M.; Pereira, J. T. V. *Normas de Conforto e Stress Térmico*. Campinas. UNICAMP. 2000
- ISO 7243: 1989, *Hot environments -Estimation of the heat Stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature)*.

- ISO 7726: 1996, *Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities.*
- ISO 7933: 1989, *Hot environments - Analytical determination and interpretation of thermal Stress using calculation of required sweat rate.*
- ISO 8996: 1990, *Ergonomics - Determination of metabolic heat production.*
- ISO 9920: 1995, *Ergonomics of thermal environment - Estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of clothing ensemble.*
- ISO 11399: 1995, *Ergonomics of the thermal environment – Principles and application of relevant International Standards*
- KAMON, E. *Physiological and behavioral responses to the Stresses of desert climate. In Urban Planning for Arid Zones*, G. Golany, ed. New York: John Wiley and Sons. 1978
- KRONER, W. M. *Environmentally Responsive Workstations and Office-Worker Productivity*, ASHRAE Transactions. 1994, Florida: v.10, n.4, p.35-39.
- LAMPIETRO, P. F.: *Exercise in hot environments. In Frontiers of Fitness.* 1971, Edited by R. J. Shepard. Springefeild, Ill.: Charles C. Thomas.
- LEE, D. H. K. *Physiological Objectives in Hot Weather Housing.*1963. Washington, DC: Departament of Housing and Urban Development.
- Lei nº6.514 de 22 de dezembro de 1977, que altera o Capítulo V do Título II da Consolidação das Leis do Trabalho - CLT, relativo à Segurança e Medicina do Trabalho no Brasil.
- LEITHEAD, C. S., and Lind, A R.: *Heat Stress and Disorders.* 1964 London; Cassel and Co., Ltda.
- LORSCH, H. G. *The Impact of the Building Indoor Environment on Occupant Productivity – Part 2: Effects of temperature*, ASHRAE Transactions.1994. Florida: v.10, n.4, p.16-22.
- McARDLE, W. D.; Katch, F. L.; Katch, V. L. *Fisiologia do Exercício, Energia, Nutrição e Desempenho Humano.* Rio de Janeiro: Editora Guanabara,1985a Cap. 9: Consumo de energia humana durante o repouso e a atividade física. p. 96-107

- McARDLE, W. D.; Katch, F. L.; Katch, V. L. *Fisiologia do Exercício, Energia, Nutrição e Desempenho Humano*. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1985b. Cap. 11: Diferenças individuais e mensurações das capacidades energéticas. p. 122-139.
- McARDLE, W. D.; Katch, F. L.; Katch, V. L. *Fisiologia do Exercício, Energia, Nutrição e Desempenho Humano*. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1985c. Cap. 24: Exercício e Estresse Térmico. p. 315-331.
- MCINTYRE, D. A. *Indoor Climate*. London: *Applied Science Publishers*, 1980. 443p.
- Norma Regulamentadora – NR-15, Portaria 3.214 de 08 de junho de 1978 do Ministério do Trabalho do Brasil.
- PEPLER, R. D. *Psychological Effects of Heat, In Heat Stress and Heat Disorders*, C. S. Leithhead and A.R. Lind, 1964, ed., 237-271. London: Cassel.
- ROHLES, F.H. *A Human Factors Approach to Performance and Productivity*, ASHRAE Transactions. Florida: v.10, n.4, p.1-6, 1994.
- RUAS, A.C. *Avaliação de Conforto Térmico – Contribuição à Aplicação Prática das Normas Internacionais*, 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Universidade Estadual de Campinas, FUNDACENTRO, 69p.
- SOMMERS, R. *Personal Space*. 1969. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, p 162
- TORREIRA, R.P. *Manual de Segurança Industrial*. 1999. Margus Publicações, 1035p.
- WASTERLUND, D. S. *A Review of Heat Stress Research with Application to Forestry*. 1998. Elsevier Science Ltda. *Applied Ergonomics* Vol 29 nº3 pp. 179-183
- WYON, D. P. 1974. The effects of moderate heat Stress on typewriting performance. *Ergonomics* 17: 309-318
- XAVIER, Antonio Augusto de Paula. *Condições de conforto térmico para estudantes de 2º grau na região de Florianópolis*. Florianópolis, 1999, 198p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.
- SITES pesquisados

- [www.segurancaetrabalho.com.br](http://www.segurancaetrabalho.com.br)
- [www.ergonet.com.br](http://www.ergonet.com.br)
- [www.ergoline](http://www.ergoline)
- [www.higieneocupacional.com.br](http://www.higieneocupacional.com.br)
- [www.periódicos.capes.gov.br](http://www.periódicos.capes.gov.br)
- [www.mte.gov.br](http://www.mte.gov.br)

## ANEXO B

<b>FORMULAS UTILIZADAS NA PLANILHA ELETRÔNICA</b>											fl.01/05		
<b>DADOS DE ENTRADA:</b>													
Quantificados:						Adotados ou observados in-locu:							
<b>tbun</b>	temperatura de bulbo úmido natural					<b>va</b>	velocidade do ar				<b>lcl</b>	isolamento térmico das roupas	
<b>tbs</b>	temperatura de bulbo seco					<b>UR</b>	umidade relativa				<b>M</b>	taxa metabolica exercida	
<b>tg</b>	temperatura de globo					<b>p</b>	pressão atmosférica do local						
<b>VALORES CALCULADOS:</b>													
<b>tbu</b>	temperatura de bulbo úmido em função de UR e tbs					OBS: Para solução da equação abaixo foi utilizado o programa MATcad							
	$UR = \frac{(0,6105 \cdot 2,71828182846^{((17,27 \cdot tbu)/(tbu+237,3))} - 0,000667 \cdot p \cdot (tbs - tbu))}{0,6105 \cdot 2,71828182846^{((17,27 \cdot tbs)/(tbs+237,3))}}$												
<b>pa</b>	pressão parcial do vapor de água no ambiente em função de tbs e tbu												
	$pa = 0,6105 \cdot 2,71828182846^{((17,27 \cdot tbu)/(tbu+237,3))} - 0,000667 \cdot 101,325 \cdot (tbs - tbu)$												
<b>pas</b>	pressão de saturação do ar ambiente												
	$pas = 0,6105 \cdot 2,71828182846^{((17,27 \cdot tbs)/(tbs+237,3))}$												
											<b>SIMBOLOGIA</b>		
<b>carga solar</b>											* = multiplicar		
NÃO não exposto a radiação											^ = exponencial		
SIM exposto a carga solar - ambiente externo ou interno com carga solar											/ = dividir		
											. = vírgula		
<b>IBUTG =</b> 0,7tbu+0,3tg para CARGA SOLAR = SIM													
<b>IBUTG =</b> 0,7tbu+0,1tbs+0,2tg para CARGA SOLAR = NÃO													
<b>COLUNAS DE DADOS DA PLANILHA DE CÁLCULO</b>													
na primeira linha - letra da coluna da planilha de cálculo						na segunda linha - unidade utilizada				na terceira linha - sigla do parâmetro			
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
°C	°C	°C	°C	m/s	clo	W/m2	Kpa	Kpa	Kpa	%		°C	
<b>tbun</b>	<b>tbu</b>	<b>tbs</b>	<b>tg</b>	<b>va</b>	<b>lcl</b>	<b>MET</b>	<b>UR</b>	<b>p</b>	<b>pa</b>	<b>pas</b>	<b>carga solar</b>	<b>IBUTG</b>	

continuação da planilha																	
<b>FORMULAS UTILIZADAS NA PLANILHA ELETRÔNICA</b>											fl.02/05						
<b>SIMBOLOGIA</b>																	
* = multiplicar																	
^ = exponencial																	
/ = dividir																	
, = vírgula																	
<b>considerando o termômetro de globo negro E=0,95 e D=0,15m</b>																	
trm = $((tg+273)^4 + ((1,1 \cdot 10^8 \cdot va^{0,6}) / (0,95 \cdot 0,15^{0,4})) \cdot (tg-tbs)^{0,25} \cdot (tg-tbs))^{0,25} - 273$																	
<b>1clo = 0,155 m²C/W</b>				<b>tsk = temperatura média da pele</b>				<b>Fator de redução para trocas de calor sensível</b>									
tsk = $30 + 0,093 \cdot tbs + 0,045 \cdot trm - 0,571 \cdot va + 0,254 \cdot pa + 0,00128 \cdot MET - 3,57 \cdot lcl \cdot 0,155$				Fpcl = $1 / (1 + 2,22 \cdot hc \cdot (lcl \cdot 0,155 - (1 - 1/fcl) / (hc + hr)))$													
<b>coeficiente de troca de calor por radiação</b>							<b>Resistência das roupas à evaporação</b>										
hr = $5,67 \cdot 10^{(-8)} \cdot 0,97 \cdot 0,77 \cdot ((tsk+273)^4 - (trm+273)^4) / (tsk-trm)$							RT = $1 / (he \cdot Fpcl)$										
emissividade da pele 0,97      AD/ADu = 0,77 posição em pé																	
<b>Pressão de saturação para a temperatura da pele</b>																	
hn conv nat = $2,38 \cdot (((tsk-tbs)^2)^{0,5})^{0,25}$											Psk,s = $0,6105 \cdot 2,71828182846^{((17,27 \cdot tsk) / (tsk+237,3))}$						
hf = $3,5 + 5,2 \cdot (va + 0,0052 \cdot (M-58))$				var = $va + 0,0052 \cdot (M-58)$				<b>Taxa de evaporação máxima</b>									
								Emáx = $(Psk,s - pa) / RT$									
hc = SE(hf > hn conv nat, hf, hn conv nat)				he = $16,7 \cdot hc$				<b>Perda de calor por convecção na pele</b>									
fcl = $1 + 1,197 \cdot lcl \cdot 0,155$				Fcl = $1 / ((hc + hr) \cdot lcl \cdot 0,155 + 1/fcl)$				C = $hc \cdot Fcl \cdot (tsk-tbs)$									
<b>COLUNAS DE DADOS DA PLANILHA DE CÁLCULO</b>																	
na primeira linha - letra da coluna da planilha de cálculo						na segunda linha - unidade utilizada				na terceira linha - sigla do parâmetro							
T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG				
°C	°C																
trm	tsk	hr	hn conv nat	hf	hc	fcl	Fcl	he	Fpcl	RT	Psk,s	Emáx	C				

## FORMULAS UTILIZADAS NA PLANILHA ELETRÔNICA

fl.04/05

**coluna AS=** SE(wreq<1,"SIM","NÃO")

**Taxa de suor máxima**

SWmáx = SE(MET<65,300,400)

Tabela 2.7.1 da ISO 7933

peças aclimatadas perigo

**coluna AU =** SE(SWreq<SWmáx,"SIM","NÃO")

**Wp = Fração de pele molhada predita (esperado para a situação real de trabalho)**

WpCasoAB = SE(E(wreq<1,SE(E(MET<65,SWreq<300),wreq,SE(E(MET>65,SWreq<400),wreq))),wreq,SE(E(MET<65,SWreq<300),1,SE(E(MET>65,SWreq<400),1,""))))

WpCasoC = SE(WpCasoAB<1.01,"",SE(SWreq>SWmáx,(-Emáx+RAIZ(Emáx^2+4\*SWmáx^2/2))/SWmáx))

wmáx = 1 Fração de pele molhada máxima (ISO 7933)

**Ep = Evaporação de suor predita SWp = Taxa de suor predita DL = Tempo máximo de exposição**

Ep = SE(E(wreq<1,SE(E(MET<65,SWreq<300),rreq,SE(E(MET>65,SWreq<400),rreq))),rreq,SE(WpCasoAB="",WpCasoC\*Emáx,WpCasoAB\*Emáx))

**DL1 = tempo de exposição quanto ao aumento da temperatura corporal**

**DL2 = tempo de exposição quanto a perda de água do organismo**

SWp = SE(E(wreq<1,SE(E(MET<65,SWreq<300),SWreq,SE(E(MET>65,SWreq<400),SWreq))),SWreq,SE(WpCasoAB="",SWmáx,(Ep/(1-WpCasoAB^2/2))))

DL = SE(E(Ep=Ereq,SWp<2000/8),"-","Stress")

DL1 = SE(DL="","-",SE(Ereq>Ep,(60\*60/(Ereq-Ep)),""))

DL2 = SE(DL="","-",60\*2000/SWp)

## COLUNAS DE DADOS DA PLANILHA DE CÁLCULO

primeira linha - letra da coluna da planilha de cálculo

segunda linha - unidade utilizada

terceira linha - sigla do parâmetro

AS

AT

AU

AV

AW

AX

AY

AZ

BA

BB

BC

wreq < wmáx

SWmáx

SWreq < SWmáx

WpCasoAB

WpCasoC

Wp

Ep

SWp

DL

DL1

DL2

continuação	da planilha								
<b>FORMULAS UTILIZADAS NA PLANILHA ELETRÔNICA</b>								fl.03/05	
								<b>SIMBOLOGIA</b>	
								* = multiplicar	
								^ = exponencial	
								/ = dividir	
								. = vírgula	
<b>Perda de calor por convecção pela respiração</b>									
Cres =		0.0014*MET*(35-tbs)		temperatura externa da respiração = 35°C					
<b>Perda de calor por evaporação da respiração</b>									
Eres =		0.0173*MET*(5.624-pa)		pressão da respiração externa = 5,624					
<b>Perda de calor pela radiação da pele</b>				<b>Taxa requerida de evaporação</b>					
R =		hr*Fcl*(tsk-trm)		Ereq = MET-Cres-Eres-'C'-'R'					
<b>Fração requerida de pele molhada</b>				<b>Se wreq1 &gt; 1 admite-se a unidade</b>					
wreq1 =		Ereq/Emáx		wreq = SE(wreq1>1,1,wreq1)					
<b>Eficiência requerida na evaporação</b>				<b>Taxa requerida de suor</b>					
rreq =		1-((wreq^2)/2)		SWreq = Ereq/rreq					
<b>COLUNAS DE DADOS DA PLANILHA DE CÁLCULO</b>									
primeira linha - letra da coluna da planilha de cálculo				segunda linha - unidade utilizada			terceira linha - sigla do parâmetro		
AH	AI	AJ	AK	AL	AM	NA	AO		
<b>Cres</b>	<b>Eres</b>	<b>R</b>	<b>Ereq</b>	<b>wreq1</b>	<b>wreq</b>	<b>rreq</b>	<b>SWreq</b>		

## FORMULAS UTILIZADAS NA PLANILHA ELETRÔNICA

f.05/05

Após os cálculos, os resultados finais estão apresentados nas últimas colunas que possibilita a comparação entre os três resultados:

NR-15 - IBUTG

ISO 7243/89 - WBGT

ISO 7933/89 - SWreq - DL1 e DL2

## COLUNAS DE DADOS DA PLANILHA DE CÁLCULO

primeira linha - letra da coluna da planilha de cálculo

segunda linha - unidade utilizada

terceira linha - sigla do parâmetro

M

BB

BC

BD

BE

BF

BG

°C

min

min

classe - período de exposição

classe - período de exposição

**IBUTG ou WBGT**

**DL1**

**DL2**

**NR-15 - IBUTG**

**ISO 7243 - WBGT**