



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Priscila Elida de Medeiros Vasconcelos

ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS TÉRMICAS E O
DESEMPENHO DE ESTUDANTES DA ACADEMIA DE POLÍCIA
MILITAR DO ESTADO DA PARAÍBA

João Pessoa
Abril de 2013

Priscila Elida de Medeiros Vasconcelos

ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS TÉRMICAS E O
DESEMPENHO DE ESTUDANTES DA ACADEMIA DE POLÍCIA
MILITAR DO ESTADO DA PARAÍBA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Tecnologia, trabalho e organizações

Orientador: Luiz Bueno da Silva, Dr.

João Pessoa
Abril de 2013

Priscila Elida de Medeiros Vasconcelos

ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS TÉRMICAS E O
DESEMPENHO DE ESTUDANTES DA ACADEMIA DE POLÍCIA
MILITAR DO ESTADO DA PARAÍBA

DATA: 23/04/2013

LOCAL: UFPB – Campus I – Centro de Tecnologia –
Departamento de Engenharia de Produção

HORÁRIO: 09:00h

BANCA EXAMINADORA

Orientador – Prof. Luiz Bueno da Silva (Dr.)

Examinador interno–Prof. Antonio Souto Coutinho (Dr)

Examinador externo - Prof. Antonio Augusto de Paula Xavier (Dr.)

V331eVasconcelos, Priscila Elida de Medeiros

Estudo da relação entre variáveis térmicas e o desempenho de estudantes da Academia de Polícia Militar do Estado da Paraíba /Priscila Elida de Medeiros Vasconcelos. – João Pessoa, 2013.

118f.: il.

Orientador: Prof. Luiz Bueno da Silva, Dr.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – PPGEP- Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção/ CT - Centro de Tecnologia/ UFPB - Universidade Federal da Paraíba.

1. Conforto térmico 2. Desempenho de estudantes 3. Modelos lineares generalizados (MLG) I. Título.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”.
Madre Teresa de Calcutá

AGRADECIMENTOS

A Deus, por permitir que eu nunca desistisse dos meus objetivos, por mais difíceis que estes se mostrassem.

Aos meus pais, Eronice e Pedro, por sempre me educarem para que eu me tornasse uma pessoa responsável, e me ensinarem que o sucesso só pode ser alcançado com honestidade, humildade e trabalho.

Às minhas irmãs Patrícia e Poliana, por estarem presentes nos bons e maus momentos desse período, sempre trazendo novas músicas e séries viciantes para os momentos de insônia em grupo.

Aos meus primos, tios e avós, em especial vovó Rita, pelas constantes orações e conselhos.

Aos meus muitos amigos de graduação que a cada dia começam a traçar seus caminhos profissionais. Que mesmo com o passar dos anos, com a distância, conseguimos manter vivos os laços de amizade que conquistamos.

Ao major Roberto e todos do Centro de Ensino da Polícia Militar da Paraíba pela facilitação na coleta de dados, bem como a todos os cadetes que participaram como voluntários e ajudaram na construção deste trabalho.

A todos os colegas do Grupo de Pesquisa CESET, em especial a Roberta e Eivaldo pela ajuda e paciência.

A Flávia pela amizade e parceria no desenvolvimento do projeto e coleta de dados.

Aos colegas de turma, em especial Renata e Tarso pelas parcerias nas aulas e fora delas.

A Ana Araújo por estar sempre disponível para ajudar.

Aos professores Antonio Souto Coutinho do Departamento de Engenharia de Produção Mecânica e Josemberg Moura de Andrade do Departamento de Psicologia da UFPB, pela contribuição e disponibilidade em ajudar.

Ao professor Luiz Bueno da Silva, orientador desta dissertação, por sua orientação empenhada e séria, sempre pensando no melhor para seus alunos.

A CAPES por minha bolsa de pesquisa.

Enfim, a todos que contribuíram direta e indiretamente com a realização deste trabalho.

RESUMO

A temperatura do ar é considerada um dos fatores ambientais com maior influência sobre o desempenho do trabalhador. Entretanto, existe pouca informação sobre a influência da mesma em ambiente escolar. Com isso, este estudo pretende analisar os efeitos causados pelo desconforto térmico sobre o desempenho de estudantes. Para tanto, cadetes da Polícia Militar da Paraíba foram submetidos a uma série de testes psicométricos que avaliaram seu raciocínio em cinco áreas específicas: raciocínio verbal, abstrato, mecânico, espacial e numérico. Os testes foram aplicados durante três sessões sob diferentes temperaturas: 20°C, 24°C e 30°C. As temperaturas ideais para as sensações de neutralidade térmica e conforto térmico encontrados foram de aproximadamente 23°C e 21°C, respectivamente, que reflete numa preferência térmica relativamente baixa, se comparado ao previsto pela norma ISO 7730/2005. O desempenho dos estudantes em relação à temperatura variou de acordo com a natureza dos testes. Os mesmos se demonstram motivados para realizar os testes, independente das condições térmicas às quais estavam submetidos. Entretanto, com o auxílio de Modelos lineares generalizados (MLG), foi possível constatar que as temperaturas de bulbo seco, temperatura de globo e umidade relativa do ar exercem influência no desempenho geral dos cadetes ($\text{pseudo-R}^2 = 0,8497$).

Palavras chave: Conforto térmico, Desempenho de estudantes, Modelos lineares generalizados (MLG)

ABSTRACT

Air temperature is regarded as an environmental factor with greatest influence on worker performance. However, little information exists about its influence on academic environment. Therefore, this study aims to analyze the effects caused by thermal discomfort on students performance. Thus, students of Military Police Academic Center of Paraíba were subjected to a series of psychometric tests that assessed their reasoning skills in five specific areas: verbal, abstract, mechanical, spatial and numerical reasoning; on three sessions under different temperatures: 20 ° C, 24 ° C and 30 ° C. The optimal temperatures found to thermal sensations and thermal comfort neutrality were approximately 23 ° C and 21 ° C, respectively, which reflects a relatively low thermal preference, compared to that provided by ISO 7730/2005 standard. The performance of students varied according to the nature of the tests. They demonstrated motivation to perform the tests, regardless of which thermal conditions that were subjected. However, with the aid of generalized linear models (GLM), it was found that the dry bulb temperature, globe temperature, and relative humidity influence the overall performance of the students (pseudo- $R^2 = 0.8497$).

Keywords: Thermal Comfort, Student performance, Generalized linear models (GLM)

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Taxa Metabólica para diferentes atividades segundo ISO 7730/2005	16
Tabela 2 - Índice de resistência Térmica para vestimentas	17
Tabela 3 - Escala de sete pontos da sensação térmica	26
Tabela 4 - Dados para modelo	45
Tabela 5 - Funções de ligação usadas na distribuição normal inversa	46
Tabela 6 - Questões utilizadas em cada sessão e seus respectivos pesos	58
Tabela 7 – Porcentagem de votos para percepção térmica para cada faixa de temperatura	60
Tabela 8 – Porcentagem de votos para Avaliação térmica para cada faixa de temperatura	62
Tabela 9 – Porcentagem de votos para preferência térmica para cada faixa de temperatura	62
Tabela 10 - Média das variáveis ambientais alcançadas em cada sessão, com nível de significância $\alpha = 95\%$	63
Tabela 11 - Média e desvio padrão do tempo de resposta	69
Tabela 12 - Média e desvio padrão das provas de raciocínio	69
Tabela 13 – Distribuições e links testados, e seus respectivos desvios residuais	71
Tabela 14 - Variáveis pessoais e votos declarados	93
Tabela 15 - variáveis ambientais	94
Tabela 16 - Desempenho e tempo de resposta por tipo de prova	95

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais funções testadas e seus correspondentes testes	36
Quadro 2 - Baterias de Prova de Raciocínio (BPR-5) e seus cinco subtestes: Raciocínio verbal, abstrato, mecânico, espacial e numérico	41
Quadro 3 - Variáveis e indicadores da pesquisa	50
Quadro 4 - Subtestes de Raciocínio baseados na BPR-5.....	56
Quadro 5 - Estimativa dos coeficientes do modelo de sensação térmica (ST) x T_g	63
Quadro 6 - Estimativa dos coeficientes do modelo de avaliação térmica (AT). 65	
Quadro 7 - Estimativa dos coeficientes do modelo	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Definição de Sistema	6
Figura 2 - Termorreceptores corporais.....	12
Figura 3 - Atuação do sistema de termorregulação.....	21
Figura 4 - Relação entre os índices PMV e PPD.....	27
Figura 5 - Um quadro neurocomportamental para avaliação da produtividade de trabalho de escritório.....	36
Figura 6 - Sala de aula da turma do terceiro ano do Curso de Formação de Oficiais	49
Figura 7 - Procedimento experimental	51
Figura 8 - Estação microclimática BABUC-A. a) psicrômetro; b) termômetro de globo	52
Figura 9 - Layout da sala de aula.....	53
Figura 10 – Vestimentas observadas: a) fardamento para aulas nas escolas de formação; b) Uniforme 3ªA para – Instrução Fonte: RUPMPB (2012)	54
Figura 11 - O efeito da temperatura no desempenho dos estudantes	67
Figura 12 - Efeito da temperatura no tempo de resposta	68
Figura 13- Tela com instruções para o teste a ser iniciado	92
Figura 14- Layout da tela para resposta com cronômetro	92
Figura 15 - Tela para inserção dos dados pessoais.....	92
Figura 16 - Resultado final do teste.....	92

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Percepção térmica dos estudantes.....	61
Gráfico 2 - Correlação entre a sensação térmica e a temperatura de globo versus o PMV calculado.....	64
Gráfico 3 - Correlação entre a avaliação térmica dos participantes e a temperatura de bulbo seco.....	66
Gráfico 4 - Distribuição de frequência Drt	70
Gráfico 5 - Normalidade dos resíduos.....	73
Gráfico 6 - Resíduos x Preditor linear	74
Gráfico 7 – Distância de Cook.....	75

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	vi
RESUMO.....	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE QUADROS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE GRÁFICOS.....	xii
CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO	1
1.1. Definição do Tema.....	1
1.2. Justificativa	3
1.3. Objetivo geral.....	5
1.3.1. Objetivos específicos	5
CAPÍTULO 2: REFERENCIAL TEÓRICO	6
2.1. Noções sobre calor	6
2.1.1. Mecanismos de transmissão de calor	6
2.1.1.1. Condução	7
2.1.1.2. Convecção	8
2.1.1.3. Radiação	8
2.1.1.4. Evaporação	10
2.2. Fisiologia da Termorregulação	10
2.2.1. Regulação da temperatura corporal.....	10
2.3. Variáveis do conforto térmico	13
2.3.1. Variáveis Pessoais.....	14
2.3.1.1. Metabolismo	14
2.3.1.2. Vestimentas.....	17
2.3.2. Variáveis Ambientais	18
2.3.2.1. Temperatura do ar (°C)	18
2.3.2.2. Temperatura radiante média – t_{rm} (°C)	18
2.3.2.3. Velocidade do ar, V (m/s).....	19
2.3.2.4. Umidade relativa do ar (%).....	19
2.4. Conforto Térmico	20

2.4.1. Balanço térmico	23
2.4.2. Modelo de Fanger – Equação de conforto	24
2.4.3. Os índices PMV e PPD	25
2.4.4. Caráter Subjetivo da Percepção Térmica	27
2.5. Produtividade e Conforto térmico	29
2.6. Ergonomia e desempenho cognitivo.....	33
2.6.1. Aprendizagem, inteligência e a Baterias de Prova de Raciocínio (BPR-5)37	
2.7. Modelos Lineares Generalizados	44
CAPÍTULO 3: PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	48
3.1. Natureza e Classificação da Pesquisa.....	48
3.2. População e amostra	49
3.3. Variáveis e Indicadores.....	49
3.4. Coleta de dados.....	50
3.4.1. Variáveis Ambientais	51
3.4.2. Variáveis pessoais	53
3.4.3. Parâmetros Subjetivos.....	54
3.4.4. Desempenho dos estudantes	55
3.5. Tratamento dos dados	59
CAPÍTULO 4: RESULTADOS E DISCUSSÕES	60
4.1. Análise dos questionários	60
4.2. Conforto e Sensação térmica	62
4.3. Testes de Raciocínio	66
4.3.1. Modelagem Matemática.....	70
CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES	77
5.1. Sugestões para estudos futuros	79
5.2. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
APÊNDICE I - Questionário das variáveis perceptivas	86
APÊNDICE II – Nível de dificuldade e determinação dos Pesos das questões	88
APÊNDICE III – Layout do <i>BPR-5 Info</i>	92
APÊNDICE IV – Variáveis	93
APÊNDICE V – Rotina utilizada no software R	97

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

1.1. Definição do Tema

O ser humano está constantemente submetido às ações oriundas do meio em que vive. E para manter-se em pleno funcionamento, protegendo suas funções fisiológicas, possui mecanismos que promovem a regulação de seu equilíbrio como um todo. Com isso, as variáveis ambientais como temperatura, iluminação, ruído e qualidade do ar, encontram-se como fatores condicionantes para proporcionar o bem-estar, a segurança e, conseqüentemente, a qualidade das atividades desempenhadas pelos indivíduos.

Durante a realização de trabalho, o homem gera e dissipa a diferença entre o calor e o trabalho no ambiente. Devido a essa propriedade ele é comparado a uma “máquina térmica”. O controle entre o calor produzido e o liberado é feito pelo sistema termorregulador, que assegura a homeotermia corporal, ou seja, que a temperatura interna do corpo permaneça praticamente constante a 37°C, protegendo assim os seus órgãos internos. Qualquer variação na temperatura do corpo aciona mecanismos de regulação de forma a garantir o equilíbrio térmico do mesmo. Entretanto, quanto mais termicamente desfavorável se encontrar o ambiente, maior será o esforço do sistema de termorregulação para o restabelecimento do equilíbrio e, conseqüentemente, maior a sensação de desconforto.

Se as condições térmicas ambientais causam sensação de frio ou de calor, significa que o organismo está perdendo mais ou menos calor que o necessário para a manutenção da homeotermia. Esta passa a ser alcançada com um esforço adicional que representa sobrecarga, acarretando queda de rendimento no trabalho e, no caso de condições mais rigorosas, podendo chegar à perda total de capacidade para realização de trabalho e/ou problemas de saúde (FROTA & SCHIFFER, 2001).

Os edifícios em geral têm como principal objetivo proporcionar um ambiente saudável e confortável para seus ocupantes. Segundo Steskens (2010), estima-se que as pessoas passam em média 90% do seu tempo dentro de algum edifício, seja ele, casa, local de trabalho, lojas, meios de transporte,

etc. Desta forma, a qualidade do ambiente interno, caracteriza-se como fator importante para garantir a segurança e qualidade de vida dos seus usuários.

Em se tratando de escritórios em geral, o custo humano representa cem vezes mais que o custo energético das edificações, o que torna o desempenho das pessoas em seu trabalho significativamente importante para melhoria do fator produtividade nas organizações como um todo (OLESEN, 2005). Roelofsen (2002) observa que as condições ambientais representam maior influência sobre a produtividade dos trabalhadores quando comparada à insatisfação e o stress no trabalho, o que justifica o custo-benefício de se investir em sua melhoria.

A temperatura do ar, por sua vez, é considerada um dos fatores ambientais com grande influência sobre o desempenho do trabalhador. Com isso, muitos estudos vêm sendo realizados a fim de analisar a relação existente entre o conforto térmico e a produtividade. Seppänen et al. (2005) sintetiza estudos mais relevantes que relacionam os efeitos da temperatura sobre o desempenho no trabalho em escritórios, calculando, com base estatística, o percentual de alteração do desempenho por grau de aumento de temperatura. Segundo o autor, os estudos de campo geralmente utilizam uma atividade como métrica de desempenho, em *call centers*, por exemplo, o tempo de conversação ou o tempo médio de atendimento por cliente é usado como indicação da velocidade de trabalho. Os estudos de laboratório, por outro lado, normalmente quantificam o desempenho através de tarefas simples repetitivas, que representem alguma atividade observada em campo.

A baixa qualidade do ar e níveis elevados de temperatura tem demonstrado uma influência negativa na performance de adultos em ambientes de trabalho (LAN et al., 2011; AKIMOTO et al., 2010; OLESEN, 2005; NIEMELA et al. 2002), mas existe pouca informação sobre a influência da mesma em ambiente escolar.

Schneider (2002) vê a qualidade do ambiente escolar como uma oportunidade de melhorar o desempenho acadêmico em geral. Segundo o autor, é de comum conhecimento que ambientes limpos, silenciosos, seguros, confortáveis e saudáveis são importantes para o sucesso no ensino e aprendizagem. Entretanto é necessário identificar quais atributos mais afetam os resultados acadêmicos, e de que maneira e intensidade.

O desempenho escolar de crianças de 10 a 12 anos de idade foi medido durante experimentos realizados por Wargocki e Wyon (2006), envolvendo a melhoria da qualidade do ar, e a redução da temperatura do ar, separadamente. Os resultados mostraram que, dobrando-se a taxa de ventilação, tem-se um aumento no desempenho escolar de 8-14%, enquanto que a redução da temperatura em 1°C implicou num aumento de 2-4%, dependendo da natureza da tarefa. Os autores, entretanto, ressaltam a necessidade de quantificar como os efeitos sobre cada tarefa, individualmente, podem afetar o aprendizado como um todo, e sugere a repetição do experimento em regiões mais quentes e úmidas que a Dinamarca, país onde foi realizado o estudo.

Assim sendo, neste trabalho deseja-se responder à seguinte questão: **Qual a relação entre o conforto térmico e o desempenho dos estudantes na academia de Polícia Militar do Cabo Branco?**

1.2. Justificativa

Uma das condições para que o ambiente possa ser considerado termicamente confortável, sem esforço para o sistema de termorregulação, é permitir que a produção de calor gerada pelo metabolismo esteja em equilíbrio com as trocas de calor com o ar e as superfícies ao seu redor. Entretanto, além dos fatores fisiológicos, a sensação de conforto térmico depende de fatores físicos, comportamentais e emocionais dos indivíduos. Essa subjetividade faz com que a percepção sobre o ambiente varie de pessoa para pessoa.

A sensação de conforto termico é obtida a partir da interação entre as variáveis ambientais como temperatura, velocidade e umidade do ar e radiação de superfícies vizinhas, bem como as de ordem pessoal como o metabolismo e vestimenta. Além desses fatores, outros como sexo, idade, aclimação, atividades realizadas, motivação, estado emocional, etc., podem agravar a sensação de desconforto. Tendo em vista que a Academia de Polícia Militar do Cabo Branco (APMCB) consiste em uma unidade de educação profissional de nível Superior, responsável pela formação dos oficiais da Polícia e do Corpo de Bombeiros Militar no estado da Paraíba, observou-se uma oportunidade de se

realizar uma pesquisa sobre conforto térmico em que grande parte das variáveis envolvidas no fenômeno fosse comum a todos os indivíduos, como vestimentas, atividades, idade, condicionamento físico, alimentação, etc.

Diante do caráter subjetivo na percepção da sensação térmica, são utilizadas normas que permitem julgar se o ambiente de trabalho oferece ou não condições de conforto para os seus usuários. Segundo Cheng, *et al.* (2012), tendo em vista que a sensação térmica e o conforto humano constituem complexas respostas fisiológicas e psicológicas, um modelo de conforto térmico deve conter simultaneamente fatores físicos, fisiológicos e psicológicos. A norma ISO 7730/2005 estima a sensação térmica encontrada em ambientes moderados, que não proporcionam sensações extremas de calor ou frio, calculando a quantidade de pessoas insatisfeitas com o mesmo.

Para Yau (2009), embora a ISO 7730/2005 forneça orientações de conforto térmico, sua aplicabilidade sempre foi questionada, devido ao fato de que em inúmeros estudos observou-se que os ocupantes aceitaram ambientes térmicos que não cumpriam com os critérios estabelecidos por estas normas. Olesen (2005), por sua vez, afirma que mesmo em situações em que as condições térmicas satisfaçam as normas existentes, uma quantidade significativa de pessoas não declarará o ambiente como aceitável.

Estudos vêm sendo realizados no desejo de avaliar as condições térmicas oferecidas em ambientes escolares. Porém a grande maioria trata da relação entre os resultados obtidos através da percepção dos usuários com àqueles calculados analiticamente através das normas internacionais.

Xavier (1999), em estudo realizado com estudantes do ensino médio em Florianópolis (SC), verificou que, em vários casos, pessoas que se manifestavam como sentindo leve calor ou leve frio mostraram-se satisfeitas com o ambiente térmico, sem desejar alterações do mesmo. Em contrapartida, outros ocupantes que relataram as mesmas sensações, manifestaram o desejo de alteração do ambiente térmico.

Em estudo realizado por Kwok e Chun (2003), em escolas japonesas com e sem o uso de ar-condicionado, ocupantes das salas naturalmente ventiladas mostraram aceitação às temperaturas, mesmo estas estando fora da faixa de conforto. Porém, quando questionados sobre sua preferência, aproximadamente 50% afirmaram que preferia uma temperatura mais baixa.

Nas salas com ar-condicionado, que demonstraram estar dentro das fronteiras de conforto térmico da ASHARE/2004, foram observadas situações de adaptação dos estudantes, que passaram a levar casacos para sala de aula.

Situação semelhante foi observada ainda por Wong e Khoo (2003), Corgnati *et. al.*(2007) e Mors *et. al.* (2011), em estudos realizados em Singapura, Itália e Holanda, respectivamente, em que os usuários consideraram aceitáveis níveis de temperatura fora da faixa estipulada de conforto pelas normas internacionais.

Tendo em vista a subjetividade dos julgamentos sobre percepção térmica por parte dos indivíduos, e mais especificamente dos estudantes, observa-se a necessidade de quantificar os efeitos do desconforto térmico sobre o desempenho dos mesmos.

1.3. Objetivo geral

Analisar a relação entre variáveis térmicas e o desempenho dos estudantes da Academia de Polícia do Cabo Branco.

1.3.1. Objetivos específicos

- a) Identificar quais as funções cognitivas utilizadas durante o processo de aprendizagem;
- b) Aplicar testes que avaliem o desempenhocognitivo em diferentes faixas de temperatura do ar;

CAPÍTULO 2: REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Noções sobre calor

A análise das interações térmicas entre o homem e o ambiente, requer o estudo dos fatores envolvidos durante todo processo de transmissão de calor.

Um passo primordial em qualquer análise de engenharia é descrever precisamente o que está sendo estudado. O termo *Sistema* é normalmente utilizado para representar o sujeito em análise (Moran e Shapiro, 2006), e pode ser definido como uma quantidade de matéria delimitada para um estudo, não sendo necessário que sua forma ou o volume seja essencialmente constante. Uma vez que o sistema está definido, as interações com outros sistemas relevantes podem ser identificados.

O sistema distingue-se dos seus arredores, *vizinhança*, por uma *fronteira* especificada, que pode estar em repouso ou em movimento (figura 2). Ou seja, as interações entre um sistema e sua vizinhança, se realizam através da fronteira que, portanto, deve ser delineada cuidadosamente antes de prosseguir com qualquer análise termodinâmica, de acordo com a conveniência do estudo.

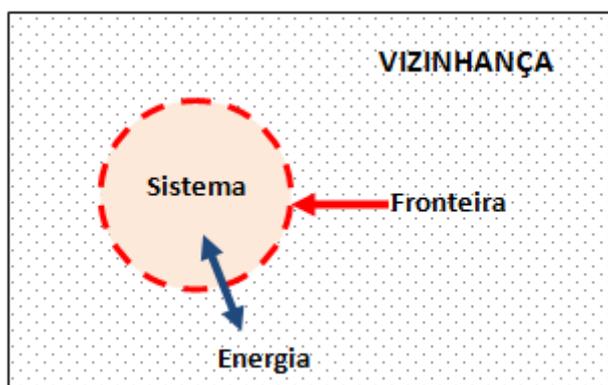


Figura 1 - Definição de Sistema

2.1.1. Mecanismos de transmissão de calor

Devido à dificuldade em se conceituar a propriedade temperatura, Sonntag *et. al.*(2003) opta por definir a igualdade de temperatura, sendo este o

estado em que dois corpos se encontram se não apresentarem alterações em qualquer unidade mensurável (resistência elétrica, altura da coluna de mercúrio em um termômetro, etc) quando colocados em contato térmico.

O calor é definido como a energia que atravessa a fronteira de um sistema devido a uma diferença de temperatura entre este e seus arredores, fluindo no sentido da temperatura mais baixa (BAERHR e STEPHAN, 2011).

Dessa forma, sempre que exista diferença de temperaturas entre um ou mais corpos, deve ocorrer uma transferência de calor.

Sonntag *et. al.* (2003) ressalta que um corpo não contém calor, ou seja, este só pode ser identificado quando atravessa uma fronteira, o que o caracteriza como fenômeno transitório.

De acordo com Frota & Fisher (2003), a contração muscular durante a realização de trabalho mecânico acarreta na produção de calor, que deve ser liberado pelo corpo. Tal calor pode ser dissipado através da condução, convecção e radiação, tidas como trocas secas, e pela evaporação, troca úmida.

Incropera e DeWitt (1996) apresentam a definição das trocas, tidas como secas, condução, convecção e radiação, que serão descritas adiante.

2.1.1.1. Condução

Ocorre quando existe um gradiente de temperatura em um meio estacionário, sólido ou líquido na direção x , por meio da interação entre partículas mais energizadas com outras menos energizadas. O processo de transferência de calor pode ser quantificado através da equação (1).

$$q_x'' = -k \frac{dt}{dx} \quad (1)$$

O fluxo de calor q_x'' (W/m²) é a taxa de transferência de calor na direção x por unidade de área perpendicular, enquanto a constante de proporcionalidade k é uma propriedade de transporte conhecida como condutividade térmica (W/m².K), que varia de acordo com a estrutura molecular de cada material.

Dessa forma, a taxa de condução de calor através de uma parede plana de área A pode ser obtida a partir da equação (2):

$$q_x = -kA \frac{dt}{dx} \quad (2)$$

2.1.1.2. Convecção

Refere-se à transferência de calor que ocorre entre uma superfície e um fluido em movimento, mediante a diferença de temperatura entre eles. Neste caso, além da transferência de calor provocada pelo movimento molecular aleatório (difusão), a energia também se transfere pelo movimento de massa do fluido.

A transferência convectiva pode ser classificada como: forçada, quando o escoamento for provocado por meios externos; ou livre (natural), quando o mesmo se origina pelas forças de empuxo originadas das diferenças de densidade devido às variações de temperatura do fluido.

De uma forma geral, a transferência de calor por convecção pode ser representada pela equação (3):

$$q_c = h_c A (T_s - T_f) \quad (3)$$

Onde a taxa de transferência de calor é proporcional à diferença entre as temperaturas da superfície e do fluido, T_s e T_f , respectivamente; à área A da superfície sólida (m^2), e ao coeficiente de transferência convectiva de calor, h ($W/m^2.K$). O coeficiente de convecção depende das condições na camada limite de escoamento, que são influenciadas pela geometria da superfície, pela natureza do movimento do fluido e por um conjunto de propriedades termodinâmicas e de transporte do mesmo.

2.1.1.3. Radiação

A radiação térmica consiste em energia cuja emissão pode ser atribuída às modificações das configurações eletrônicas dos átomos ou das moléculas constituintes da matéria. Desta forma, todas as superfícies em uma temperatura maior que 0K emitem radiação em forma de ondas

eletromagnéticas, não necessitando de qualquer meio físico para a transferência de calor.

O fluxo de calor emitido por uma superfície real é obtido em função da comparação deste a um corpo negro, ideal (equação 4).

$$\dot{q} = \sigma T_s^4 \quad (4)$$

Neste caso, uma propriedade radiativa ε , emissividade, dentro do intervalo $0 < \varepsilon < 1$, é multiplicado ao fluxo máximo (W/m^2) emissível por uma superfície ideal, resultando na equação (5):

$$q'' = \varepsilon \sigma T_s^4 \quad (5)$$

Onde T_s é a temperatura absoluta (K) da superfície e σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8} W/m^2.K^4$).

Considerando o caso frequente em que uma pequena superfície se encontra envolvida por outra muito maior, a taxa líquida de troca de radiação entre a superfície e a sua vizinhança pode ser expressa de acordo com a equação (6):

$$q_{rad} = \varepsilon \sigma A (T_s^4 - T_v^4) \quad (6)$$

Em que A é a área da superfície envolvida, ε é a emissividade da mesma, enquanto T_v representa a temperatura da vizinhança.

Entretanto, é conveniente exprimir a troca líquida de calor por radiação de acordo com a equação (7):

$$q_{rad} = h_r A (T_s - T_v) \quad (7)$$

Para tanto o coeficiente de transferência radiativa de calor h_r é expresso pela equação (8):

$$h_r = \varepsilon \sigma (T_s + T_v) (T_s^2 + T_v^2) \quad (8)$$

Neste caso, o modo radiante é modelado analogamente ao modo convectivo, ou seja, a equação da taxa de radiação é linearizada de forma que o calor irradiado seja proporcional à diferença de temperatura.

2.1.1.4. Evaporação

Segundo Frota & Schiffer (2001), a evaporação consiste na troca térmica úmida proveniente da mudança do suor, em estado líquido, para o estado gasoso. Este, para ser evaporado, necessita de certo dispêndio de energia, em média 700J por litro evaporado. A velocidade da evaporação, por sua vez, é função da relação entre o peso de vapor d'água contido no ar, a certa temperatura, e o peso de vapor saturado do ar à mesma temperatura, assim como da velocidade do ar.

2.2. Fisiologia da Termorregulação

Tendo o ser humano como sistema de estudo, é necessário identificar as interações deste com o meio ambiente. Para tanto, é imprescindível conhecer quais os esforços fisiológicos necessários para a manutenção do seu equilíbrio térmico. A seguir faz-se uma análise das referidas interações.

2.2.1. Regulação da temperatura corporal

O homem é um animal homeotérmico, ou seja, sua temperatura corporal interna se mantém constante, a aproximadamente 37°C. Oscilações superiores a $\pm 2^\circ\text{C}$ indicam anormalidade no sistema termorregulador. (IIDA, 2005).

Grande parte do calor produzido pelo corpo é oriunda de órgãos profundos como fígado, cérebro e coração, e músculos esqueléticos, sendo transferido dos mesmos para a pele, onde é perdido para o ar e o meio ambiente. A condução do calor para a pele através do sangue é controlada pelo grau de vasoconstrição das arteríolas e das anastomoses arteriovenosas que irrigam a pele, em resposta a alterações na temperatura central do corpo ou na pele. O calor pode ser transferido através da superfície da

peleporradiação, condução, convecção e evaporação (GUYTON e HALL, 2011):

- a) Radiação – corresponde a 60% da perda total de calor. Dá-se através de raios infravermelhos, entretanto, raios de calor também são irradiados pelas paredes e outros objetos em direção ao corpo.
- b) Condução – a condução direta da superfície corporal para objetos sólidos (cadeiras, camas, etc) representa 3% da perda total de calor do corpo. Por outro lado, a condução para a camada de ar adjacente à pele permite que o calor seja posteriormente dissipado por convecção.
- c) Convecção - a remoção do calor conduzido até a camada adjacente de ar, pelas correntes de ar ou água, é responsável por 15% das perdas de calor pelo corpo.
- d) Evaporação – A cada grama de água que evapora insensivelmente a partir da pele e dos pulmões, 0,58kcal de calor é perdido. Dessa forma, a evaporação é responsável por 22% das perdas de calor pelo corpo.

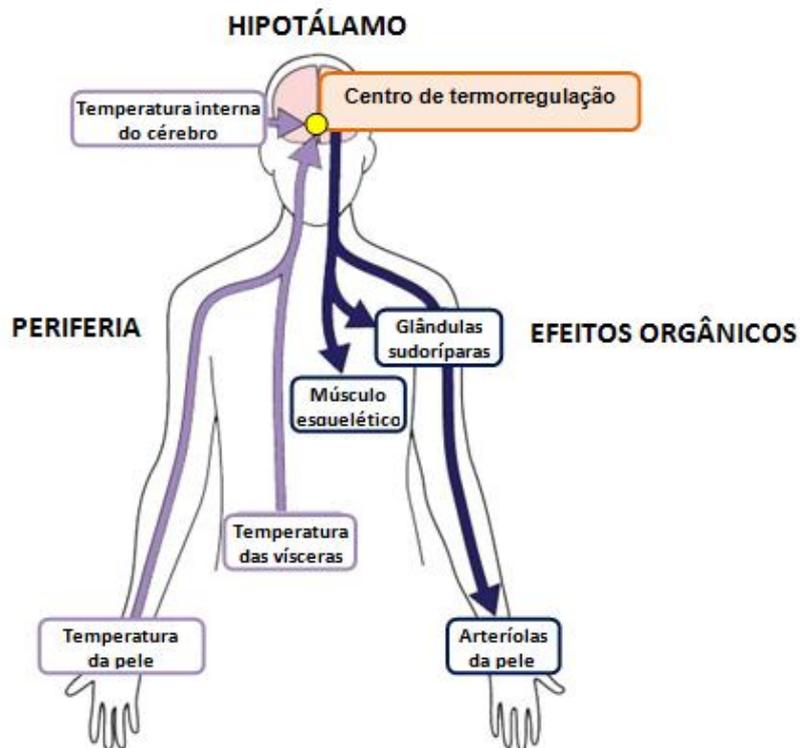
Considerou-se como base para as perdas de calor uma pessoa sentada em uma sala com temperatura normal.

Devido ao fato de gerar calor durante a realização de trabalho, o corpo humano é comparado a uma “máquina térmica”. Com isso, segundo Coutinho (2005), o corpo não pode apresentar saldo positivo ou negativo em seu balanço térmico. Isto porque, o primeiro caso implicaria no aumento da temperatura interna, e o segundo implicaria na redução dessa temperatura, podendo em ambos os casos acarretar em danos aos órgãos vitais.

O responsável pela manutenção da temperatura corpórea normal é uma estrutura denominada hipotálamo. Nele, encontra-se o sistema de controle central, que regula a temperatura do corpo ao integrar os impulsos térmicos provenientes de quase todos os tecidos do organismo. Quando o impulso integrado excede ou fica abaixo da faixa limiar de temperatura, ocorrem respostas termorreguladoras autonômicas, que mantêm a temperatura do corpo em valor adequado. Tais impulsos são provenientes de receptores periféricos existentes na pele e em alguns tecidos profundos específicos do corpo, encontradas principalmente na medula espinhal, nas vísceras abdominais e em torno de grandes veias, no abdômen superior e tórax (GUYTON e HALL, 2011).

A figura (3) apresenta um esquema das vias de termorregulação corporal, em que os termorreceptores periféricos detectam as temperaturas na pele e nas vísceras e a reportam para o hipotálamo.

Figura 2 - Termorreceptores corporais



Fonte: Siemenslab (2012)

Quando o centro de termorregulação do hipotálamo constata que a temperatura corporal encontra-se muito alta ou muito baixa, aciona mecanismos fisiológicos de controle que vão propiciar o aumento ou diminuição da mesma, a fim de manter um saldo nulo de calor no corpo. Quando o corpo está muito quente o sistema de controle de temperatura utiliza três mecanismos importantes para reduzi-lo (Guyton e Hall, 2011; Coutinho, 2005):

1. **Vasodilatação** - Em quase todas as áreas do corpo, os vasos sanguíneos da pele tornam-se intensamente dilatados, aumentando a vazão de sangue, conduzindo maior quantidade de calor do interior para a superfície, onde será perdido por convecção e/ou radiação. Esse mecanismo é capaz de aumentar a taxa de transferência de calor para a pele em até oito vezes.

2. **Transpiração** - Quando a temperatura do núcleo do corpo se eleva acima do nível crítico de 37 °C, as glândulas sudoríparas são acionadas, desta forma, a sudorese permite um aumento da taxa de evaporação corporal, que é adicionada a perda por convecção provocada pela vasodilatação. Um aumento adicional de 1°C da temperatura corporal provoca sudorese suficiente para remover 10 vezes a taxa basal de produção de calor corporal.
3. **Diminuição da produção de calor.** Os mecanismos que causam a produção de calor em excesso, como tremores e termogênese química, são fortemente inibidos.

Já os mecanismos de aumento de temperatura interna do corpo quando o corpo este se encontra abaixo do valor normal são exatamente opostos (Guyton e Hall, 2011; Coutinho, 2005):

1. **Vasoconstrição** - Os diâmetros dos vasos sanguíneos passam a ser reduzidos, diminuindo, assim, a vazão sanguínea do interior para a superfície e, conseqüentemente, as perdas de calor por convecção.
2. **Piloereção** - Também conhecido como cabelos "em pé", consiste em uma estimulação simpática que traz os cabelos para uma postura ereta. Não é importante para os seres humanos, mas nos demais animais permitem-lhes prender uma espessa camada de "ar isolante" sobre a pele, de modo a diminuir a transferência de calor para o ambiente.
3. **Aumento da termogênese (produção de calor)** - A produção de calor pelo sistema metabólico é aumentada através da promoção de tremores (tiritar), da produção de calor simpático, e secreção de tiroxina. Durante esse processo observa-se um aumento no metabolismo.

2.3. Variáveis do conforto térmico

Segundo a ASHRAE (2004), há seis fatores principais que devem ser abordadas ao definir as condições de conforto térmico, independente dos fatores secundários que também podem influenciá-lo em algumas circunstâncias. Essas variáveis estão divididas em variáveis ambientais e variáveis humanas ou pessoais.

As variáveis pessoais são:

- Metabolismo;
- Resistência térmica das vestes;

Enquanto as variáveis ambientais são:

- Temperatura do ar ou de bulbo seco;
- Temperatura radiante média;
- Velocidade do ar;
- Umidade relativa do ar.

2.3.1. Variáveis Pessoais

2.3.1.1. Metabolismo

O corpo humano necessita de energia para prover todas as reações que ocorrem continuamente dentro de si mesmo, permitindo a realização de todas as suas funções biológicas. O metabolismo corporal representa a totalidade das reações químicas em todas as células do organismo, sendo a taxa metabólica, expressa em termos de taxa de liberação de calor durante as mesmas.

Segundo Guyton e Hall (2011), para que a energia presente nos alimentos chegue até as células é necessária a presença de um composto rico em energia, o trifosfato de adenosina (ATP). O ATP é obtido a partir da combustão dos carboidratos, gorduras e proteínas encontrados nos alimentos. A quebra de cada uma de suas ligações libera energia suficiente para desencadear a ocorrência de qualquer etapa de qualquer reação química no organismo. Sua energia pode ser usada por diferentes sistemas funcionais celulares como: síntese e crescimento, contração muscular, secreção glandular, condução nervosa, absorção ativa, etc.

Vale ressaltar, que em média 35% da energia dos alimentos transforma-se em calor na formação do ATP, sendo esta perda aumentada gradativamente no decorrer das demais reações existentes até a chegada aos sistemas funcionais celulares, culminando em um aproveitamento de apenas 27% em média de toda a energia dos alimentos.

Quando as células se tornam ativas, de acordo com o tipo de atividade realizada pelo indivíduo, o ATP é convertido em difosfato de adenosina (ADP), aumentando sua concentração, elevando assim a velocidade de todas as reações de liberação metabólica de energia dos alimentos, o que garante o suprimento de energia necessária para a realização da atividade humana.

O atrito entre os tecidos durante a atividade muscular, a fricção das diferentes camadas de sangue, e do mesmo com as paredes dos vasos, durante seu bombeamento pelo coração, são algumas das formas de como o calor é gerado no corpo humano.

A realização de um trabalho externo é a única maneira em que a energia do corpo não é despendida em forma de calor, e a ingestão calórica necessária para a manutenção do equilíbrio energético caracteriza a taxa metabólica dessa atividade, sendo a taxa metabólica basal (TMB) o gasto mínimo necessário para a manutenção do corpo durante o repouso que, segundo Coutinho (2005), é de 44 W/m² para os homens e 41 W/m² para as mulheres.

As inúmeras atividades realizadas pelo homem implicam em taxas metabólicas diferentes, ou seja, demandam quantidades distintas de energia.

Em geral esta taxa pode ser obtida em laboratórios de fisiologia por meio da equação 9:

$$M = 5,88(0,23RQ + 0,77) \frac{V_{O_2}}{A_{Du}} \quad (9)$$

Onde:

RQ= quociente respiratório, correspondente à relação entre o volume de CO₂ produzido e O₂ consumido;

V_{O₂} = oxigênio consumido.

A_{Du} =Área Dubois representada pela equação 10:

$$A_{Du} = 0,202p^{0,425}z^{0,725} \quad (10)$$

p=peso (kg)

z=altura (m)

A área superficial do corpo de uma pessoa média, com altura de 1,70m e pesando 70kg, é de 1,80 m². E os valores referentes ao metabolismo exigido para cada tipo de atividade podem ser extraídos de tabelas elaboradas

pelos fisiologistas. A tabela 3 mostra a taxa metabólica necessária para algumas atividades.

Tabela 1 - Taxa Metabólica para diferentes atividades segundo ISO 7730/2005

Atividade	Taxa Metabólica (W/m²)
Reclinada	46
Sentado, relaxado	58
Atividade sedentária (escritório, escola, laboratório)	70
Atividade leve (compras, atividades laborais)	93
Atividade moderada (trabalho doméstico, etc)	116
Caminhar em local plano:	
2 km/h	110
3 km/h	140
4 km/h	165
5 km/h	200

Segundo Xavier (2000), entretanto, a utilização de tabelas padronizadas pode levar a erros de precisão por levar em consideração apenas o tipo de atividade desempenhada, desconsiderando fatores como sexo, tipo físico, nível de stress e esforço, e outras especificidades que podem levar ao aumento dos batimentos cardíacos durante a realização da mesma. O autor analisou características que pudessem influenciar a diferenciação da taxa metabólica para pessoas efetuando a mesma atividade, no caso, estudantes no desempenho de atividades escolares, com isso, através de métodos de regressão múltipla, o mesmo observou que a idade e a massa corporal influenciam significativamente na taxa metabólica. Estes métodos permitiram a construção da seguinte expressão de predição (equação 11):

$$\text{Taxa metabólica} = 0,476 \cdot \text{Idade} + 0,324 \cdot \text{massa corporal} + 29,953 \quad (11)$$

O que indica que pessoas com mais idade e maior massa corporal tendem a possuir uma maior taxa metabólica que outros indivíduos realizando as mesmas atividades. No entanto, essa expressão é limitada a faixas de

população com idade entre 18 e 50 anos e massa corporal com limites entre 50 e 90 Kg.

2.3.1.2. Vestimentas

As vestimentas exercem um papel importante em se tratando do controle da temperatura interna da pessoa, tendo em vista que são capazes de aprisionar ar próximo à pele nas fibras dos tecidos, diminuindo o fluxo das correntes de ar, e conseqüentemente a perda de calor por condução e convecção. Dessa forma, aliadas à possibilidade de acionamento de equipamentos como ventiladores, etc., podem se tornar uma ferramenta mais potente que os próprios mecanismos inconscientes para o controle de temperatura corporal.

De acordo com Coutinho (2005), para facilitar o cálculo das taxas de transferência de calor, considerando o uso de roupas, aplica-se um fator de redução de calor sensível (F_s), para os processos de convecção e radiação, assim como um fator de redução de calor latente (F_l), nos processos de evaporação na pele. Ambos são calculados de acordo com a resistência térmica das vestes (I_{cl}), que por sua vez depende do número de peças de roupas que estão sendo usadas, assim como do material das mesmas.

O isolamento térmico das vestes (I_{cl}) é expresso em $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ou em “clo”, sendo que 1 clo equivale a $0,155m^2 \cdot ^\circ C/W$. Os valores dos isolamentos térmicos das roupas encontram-se tabelados nas normas ISO 7730(2005), ISO 9920(2007) e ASHRAE (2004), parcialmente demonstrados na tabela 4.

Tabela 2 - Índice de resistência Térmica para vestimentas

Vestimenta	Isolamento Térmico	
	clo	$m^2 \cdot ^\circ C/W$
Calcinhas	0,03	0,005
Cueca com pernas longas	0,1	0,016
Camiseta	0,09	0,014
Camisa com mangas compridas	0,12	0,019
Calcinha e sutiã	0,03	0,005
Mangas curtas	0,15	0,023
Bermudas	0,06	0,009

Calça normal	0,25	0,039
Saias leves (Verão)	0,15	0,023
Vestido leve, mangas curtas	0,2	0,031
Macacão	0,55	0,085
Suéter grosso	0,35	0,054
Jaqueta leve de verão,	0,25	0,039
Jaqueta	0,35	0,054
Bata	0,3	0,047
Meias	0,02	0,003
Calçados com sola fina	0,02	0,003
Calçados com sola grossa	0,04	0,006
Botas	0,1	0,016
Luvas	0,05	0,008

Fonte: ISO 7730/2005

2.3.2. Variáveis Ambientais

2.3.2.1. Temperatura do ar (°C)

É a temperatura do ar ao redor do corpo humano, estando diretamente ligada às trocas de calor realizadas entre o corpo humano e o ambiente ao redor. No caso da psicrometria é denominada temperatura de bulbo seco. Pode ser medida por vários métodos, dependendo do sensor a ser utilizado, como termômetro de coluna de mercúrio, resistência de platina, termopar, etc. Entretanto, segundo Monteiro (2008), a temperatura do sensor pode diferir do meio devido a efeitos radiantes, devendo-se, dessa forma, proteger o sensor da radiação sem comprometer a circulação de ar ao seu redor.

2.3.2.2. Temperatura radiante média – t_{rm} (°C)

Consiste na temperatura uniforme de um ambiente imaginário, no qual a transferência de calor radiante do corpo humano é igual à transferência de calor radiante no ambiente real não uniforme.

A temperatura radiante média pode ser calculada por meio de valores obtidos através de instrumentais como termômetro de globo negro, radiômetro de duas esferas, sensor esférico ou elipsoidal à temperatura do ar constante, através das temperaturas das superfícies ao redor do corpo

humano, ou ainda através das temperaturas radiantes planas determinadas nas seis direções ao redor do indivíduo.

2.3.2.3. Velocidade do ar, V (m/s)

Consiste na média da velocidade do ar instantânea sobre um intervalo de tempo, tendo papel importante na transferência de calor por convecção e evaporação. Pode ser aferida através de anemômetros de copo, de hélice, de fio quente, esfera quente, ultrassônico e laser doppler.

2.3.2.3.1. Velocidade relativa do ar, V_{ar} (m/s)

Consiste na resultante da velocidade do ar e da velocidade do corpo ou de seus membros em relação ao solo, sendo expressa pela equação (12)

$$V_{ar} = V + 0,0052(M - 58)(12)$$

2.3.2.4. Umidade relativa do ar (%)

A umidade relativa é definida como a relação entre a massa de vapor de água nas condições reais e a massa de vapor de água no estado de saturação, à mesma temperatura, podendo ser expressa como a relação entre a pressão de vapor de água nas condições reais (P_v) e a pressão de vapor de água nas condições de saturação (P_{vs}), na mesma temperatura. A umidade relativa está relacionada às perdas de calor por evaporação. Pode ser medida através do psicrômetro, equipamento que mede simultaneamente a temperatura de bulbo seco, ou do ar e a temperatura do bulbo úmido. Com essas duas leituras, o valor da umidade do ar é obtido pela utilização das relações psicrométricas constantes da norma ISO 7726/1996.

Em casos em que a temperatura do ar e/ou das superfícies envolventes está acima da temperatura da pele, o corpo passa a receber calor através da convecção e radiação, sendo a evaporação o único mecanismo responsável pela eliminação do calor excedente. Tendo em vista que quanto maior a umidade relativa, menor a eficiência da evaporação na remoção do calor, em

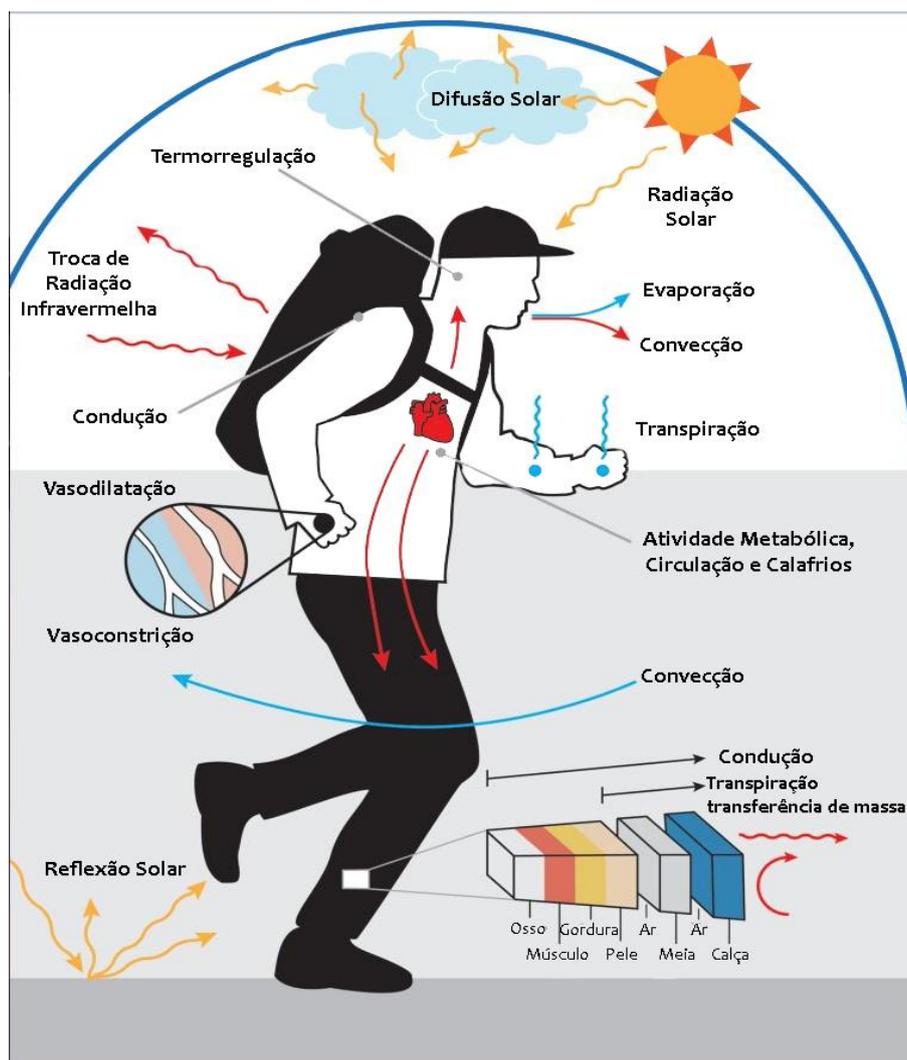
situações de alta umidade relativa à ventilação passa a ser um fator determinante para a manutenção do conforto.

2.4. Conforto Térmico

Como já foi dito, o corpo humano está constantemente submetido a um balanço térmico assegurado, dentro de certos limites, pelo sistema de termorregulação.

A figura 4 mostra as ações do sistema termorregulatório diante das interações térmicas às quais está submetido o ser humano em determinado ambiente, levando em consideração o fluxo de sangue, as taxas metabólicas, as formas de transmissão de calor entre a pele e a vizinhança, os mecanismos de manutenção da temperatura, as vestimentas, e os objetos suscetíveis à condução direta de calor.

Figura 3 - Atuação do sistema de termorregulação



Fonte: Thermoanalytics (2012)

A energia proveniente dos alimentos permite a realização de todas as funções biológicas do corpo humano, e é em sua grande maioria despendida em forma de calor nas reações celulares, e por diversos órgãos, sendo transferido para pele onde é eliminado para o ambiente. Entende-se que, para a manutenção do equilíbrio térmico, é exigido um dispêndio extra de energia por parte do corpo humano, sendo, as variáveis térmicas ambientais, vestimentas e a natureza da atividade fatores determinantes para o estabelecimento do mesmo. Dessa forma, quanto mais desfavorável se encontrar um ambiente, em relação às condições térmicas oferecidas, maior o esforço do sistema de termorregulação para manter o balanço térmico do corpo humano. Enquanto o esforço fisiológico (sem o acionamento dos controles

comportamentais) for suficiente para a manutenção do equilíbrio, existirá uma condição favorável ao conforto térmico.

A norma ASHRAE (2005) define o conforto térmico como “um estado da mente que reflete satisfação com o ambiente térmico”. Com isso, o conforto térmico pode ser considerado um estado de espírito, estando sujeito a diferenças fisiológicas, de humor, culturais, fatores organizacionais e sociais de cada indivíduo.

O estudo do Conforto Térmico tem como objetivo diagnosticar e analisar as condições de um ambiente e diagnosticá-lo termicamente, podendo-se obter subsídios para a obtenção de condições térmicas adequadas à ocupação humana e às atividades desempenhadas.

Atendendo a solicitação da ASHRAE, em 1923 foi criado o índice de temperatura efetiva por Houghten e Yaglow, que considerava apenas a temperatura de bulbo seco, a umidade e a velocidade do ar como variáveis envolvidas. A fim de corrigir essa deficiência, estudos realizados na década de 70 passaram a considerar também a radiação. Com isso, passou-se a se definir a temperatura efetiva TE como “*a temperatura operativa de um ambiente com umidade relativa igual a 50%, que proporcionaria a uma pessoa, a mesma sensação que essa pessoa teria no ambiente real*”. (COUTINHO, 2005)

Segundo Lin (2008), em 1962, Macpherson definiu seis fatores como aqueles que afetam a sensação térmica: quatro variáveis físicas (temperatura, velocidade e umidade relativa do ar, e temperatura média radiante); e duas variáveis pessoais (resistência térmica das vestes e nível de atividade, ou seja, a taxa metabólica).

Para Roriz (1987), a sensação de conforto térmico é obtida a partir do efeito simultâneo de um complexo conjunto de fatores objetivos, como os elementos do clima (temperatura do ar, umidade relativa, movimento do ar e radiação), atividade física e vestimenta, e outros de caráter subjetivo como aclimação, humor, etc. Segundo o autor, somente o efeito conjugado destes parâmetros, quando produzem sensações térmicas agradáveis, constituem a denominado zona de conforto.

Para Lamberts e Xavier (2002), a importância do estudo do conforto térmico está baseada em três fatores: a satisfação do homem sentindo-se termicamente confortável; desempenho humano durante a realização de suas

atividades; e conservação da energia, evitando desperdícios com calefação ou refrigeração, muitas vezes desnecessários.

2.4.1. Balanço térmico

A determinação de uma temperatura de conforto apresentada pelas Normas ISO 7730 (2005) e ASHRAE (2004) está baseada no balanço térmico entre o corpo humano e o ambiente, através de mecanismos de trocas de calor ocorridas na pele e no aparelho respiratório, conforme figura (4). O balanço térmico é obtido quando a diferença entre o calor produzido pelo corpo através do metabolismo e o trabalho realizado é dissipado no ambiente. Quando isto é alcançado sem reações fisiológicas significativas, é dito que o corpo está em neutralidade térmica, uma exigência para o conforto térmico.

Para a análise térmica da pessoa a Norma ISO 7730/2005 utiliza uma equação de balanço térmico que leva em consideração, o metabolismo, a atividade física e as perdas de calor através da pele e da respiração. As perdas através da pele levam em conta a resistência térmica e permeabilidade das vestimentas utilizadas, a temperatura do ar, a temperatura média radiante, a umidade, a velocidade do ar e a atividade exercida (equação 13).

$$M - T = C_{res} + E_{res} + (E_s + E_{dif} + C + R)_{pele} \quad (13)$$

Onde:

M= Taxa metabólica de produção de calor (W/m²);

T = Trabalho externo (W/m²);

C_{res}= Perda de calor sensível na respiração, por convecção (W/m²);

E_{res}= Perda de calor latente pela respiração, por evaporação (W/m²);

E_{dif} = Perda de calor por evaporação por difusão, nas partes enxutas do corpo (W/m²);

E_s=Perda de calor por evaporação, nas partes molhadas do corpo (W/m²);

C = Perda de calor por convecção pela pele (W/m²);

R = perda de calor por radiação (W/m²).

As perdas parciais de calor pela pele, respiração e por condução através das roupas, podem ser expressas pelas equações de (14) à (19) (COUTINHO, 2005):

$$C_{res} = 0,0014M(35 - t) \quad (14)$$

$$E_{res} = 0,0173M(5,628 - p_v) \quad (15)$$

$$E_{dif} = 3,05 \times 10^{-3}(256t_p - 3373 - p_v) \quad (16)$$

$$E_s = w_s 16,7 h_c F_l (P_{vsp} - P_v) \quad (17)$$

$$C = h_c F_s (t_p - t) \quad (18)$$

$$R = h_r F_s (t_p - t_{rm}) \quad (19)$$

Em que:

t = temperatura do ar inspirado (°C)

p_v = pressão parcial de vapor de água (kPa)

t_p = temperatura da pele (°C)

F_s = fator de redução de calor sensível, adimensional

F_l = fator de redução de calor latente, adimensional

h_c = coeficiente de convecção (W/m².°C)

P_{vsp} = pressão de vapor saturado à temperatura da pele (kPa)

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

2.4.2. Modelo de Fanger – Equação de conforto

Segundo Lamberts e Xavier (2002), a verificação do balanço térmico é condição necessária, mas não suficiente para o estado de conforto térmico, tendo em vista que uma pessoa pode estar em neutralidade térmica, massujeita a algum tipo de desconforto localizado. A norma ASHRAE (2004), aponta quatro fatores como sendo os principais geradores de desconforto localizado: assimetria de radiação térmica, correntes de ar indesejáveis, diferenças na temperatura do ar no sentido vertical e contato com pisos

aquecidos ou resfriados. Estes, dessa forma, são fatores que devem ser eliminados para que seja restabelecido o conforto térmico em um ambiente.

Além disso, segundo estudo realizado por Fanger (1970), o balanço térmico é uma condição necessária, porém não suficiente para garantir a sensação de conforto térmico. Para que o conforto seja obtido, é necessário que a temperatura da pele e a evaporação sudoral estejam dentro de pequenos intervalos cujos valores médios são (equações 20 e 21):

$$t_p = 35,7 - 0,0275 M \quad (20)$$

$$E_s = 0,42(M - 58,15) \quad (21)$$

Essas equações garantem que a taxa metabólica correspondente a atividade desenvolvida seja suficiente para garantir a diminuição da temperatura superficial da pele (equação 20), facilitando a condução de calor através do corpo, assim como aumentando as perdas de calor por evaporação (equação 21).

Com isso, qualquer mudança nas condições de conforto implica em um saldo ou carga térmica L a ser imediatamente eliminado pelo sistema de termorregulação para que o balanço seja refeito, agora com uma nova sensação térmica Y , função da atividade física (M) e da carga referida (L) (equação 22).

$$L = [(M - T)] - [C_{res} + E_{res} + (E_{dif} + E_s + C + R)_{conf}] \quad (22)$$

2.4.3. Os índices PMV e PPD

A fim de identificar a relação entre a sensação de conforto térmico, de caráter subjetivo, e as variáveis de balanço térmico, Fanger realizou um experimento, no qual pessoas ficavam em câmaras climáticas, onde as variáveis de conforto eram mudadas a cada teste. Ao final de cada ensaio as pessoas expressavam sua opinião em relação a Y (tabela 3).

Tabela 3 - Escala de sete pontos da sensação térmica

SENSAÇÃO	PMV
Muito Frio	-3
Frio	-2
Levemente Frio	-1
Confortável	0
Levemente Quente	1
Quente	2
Muito Quente	3

Fonte: ISO 7730/2005

Ao final do experimento, obteve-se a seguinte relação:

$$Y = (0,303e^{-0,036M} + 0,028)L \quad (23)$$

Em vista disso, a sensação térmica Y passou a ser representada pelo voto médio estimado PMV (*Predicted Mean Vote*), conforme a tabela 3.

Substituindo a equação (22) na (23), obteve a equação (24):

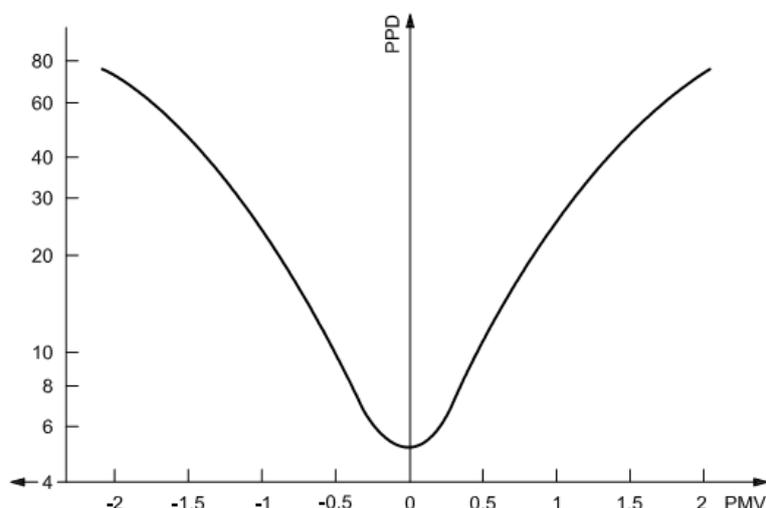
$$PMV = (0,303e^{-0,036M} + 0,028)\{(M - T) - [C_{res} + E_{res} + (E_{dif} + E_s + C + R)_{conf}]\} \quad (24)$$

Em seu estudo, Fanger também constatou que cada sensação térmica (PMV) correspondia a um percentual de pessoas insatisfeitas PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*), que pode ser calculada de acordo com a equação (25).

$$PPD = 100 - 95exp^{-(0,03353PMV^4 + 0,2179PMV^2)} \quad (25)$$

Essa relação pode ser representada pela curva de probabilidade da figura (1).

Figura 4 - Relação entre os índices PMV e PPD



Fonte: Norma ISO 7730/2005

Considerando o caráter subjetivo relativo às condições de conforto, a Norma ISO-7730/2005 admite serem aceitáveis ambientes térmicos em que $-0,5 \leq PMV \leq 0,5$, ou seja, em que no máximo 10% dos ocupantes se mostrem descontentes, isto é, $PPD \leq 10\%$.

2.4.4. Caráter Subjetivo da Percepção Térmica

Segundo Bandler e Madaras (1975), a percepção de dor ou desconforto por um indivíduo não é função apenas do estímulo “causador” do mesmo. Devido à divergência na classificação da intensidade do dano por parte dos indivíduos, considera-se que existem circunstâncias que podem influenciar no julgamento dos mesmos. A submissão voluntária ou não do indivíduo à situação de desconforto, o conhecimento sobre a ativação psicológica que será experimentada simultaneamente ao estímulo fisiológico, assim como, a observação do seu próprio comportamento em determinada situação, são inferências que podem influenciar na percepção do mesmo sobre as condições às quais está sendo submetido.

Em seu estudo, Lan *et. al.* (2009) observou que pessoas motivadas conseguem manter um nível de produtividade mais elevado por certo período tempo, quando submetidos a condições ambientais adversas (calor ou frio).

Quatro funções neurocomportamentais foram avaliadas: percepção, aprendizado e memória, raciocínio e funções de execução. O estudo mostra que a temperatura do ambiente influencia de forma diferente o desempenho da tarefa, variando de acordo com o seu tipo.

A emoção, também está diretamente relacionada à capacidade de percepção da dor ou desconforto dos indivíduos. Kut *et. al.* (2007), submeteu jogadores experientes de *role-playing games* (RPG) a estímulos de dor durante sessões em que eram simulados dois cenários: um voluntário interpretando um herói e, depois, o mesmo voluntário interpretando um covarde. O estudo observou que a tolerância à dor aumentou significativamente com a indução do papel de herói em relação ao personagem covarde. O que sugere que um estado emocional positivo pode atenuar componentes afetivos da percepção da dor, enquanto uma situação inversa pode amplificar componentes afetivos e sensoriais acerca percepção da dor.

Parson (2002) destaca outro fator que pode influenciar na percepção térmica dos indivíduos. É o caso em que quando os seres humanos são sistematicamente expostos a ambientes quentes, ao longo de um determinado período de tempo, suas respostas fisiológicas ao calor mudam, passando a suar mais e mais cedo em resposta a um estímulo de calor. Esse fenômeno, denominado aclimação, é responsável pelo fato de que pessoas que vivem em regiões quentes, ou que são expostas ao calor por várias horas durante o dia, passam a ter diferentes exigências de conforto comparadas às demais, apresentando maior tolerância a temperaturas e umidade mais altas. Dessa forma, a aclimação também consiste em um fator que pode influenciar na percepção térmica dos indivíduos. Han *et al.*(2007) atribuiu à adaptação humana a temperaturas mais altas o fato de que a temperatura operativa neutra, declarada por habitantes de uma região quente e úmida da China, ser mais elevada que a calculada pelo modelo de Fanger.

Entende-se, dessa forma, que a percepção térmica do ambiente pode ser alterada de acordo com a observação comportamental do indivíduo para com ele e os que o cercam, assim como pelas emoções ou atividades a que o mesmo está sendo submetido dentro do ambiente térmico. A reação de abanar-se, por exemplo, pode induzir uma pessoa a julgar o ambiente mais quente do que se a mesma não houvesse reparado no gesto por ela realizado.

Analogamente, ao se concentrar na realização de determinada atividade é possível que o indivíduo não “perceba” as condições térmicas da mesma maneira que o faria se estivesse realizando uma atividade de natureza diferente.

2.5. Produtividade e Conforto térmico

A produtividade, dentre outros fatores, é considerada um componente determinante para garantir a competitividade das organizações. Segundo Contador (2004), a produtividade consiste na capacidade de produzir ou o estado em que se dá a produção, tendo como medida a relação entre os resultados da produção efetivada e os recursos produtivos aplicados a ela (produção/recursos).

De acordo com Slack *et al.* (2009), a medida do fator produtividade (output/input) permite que diferentes operações possam ser comparadas individualmente. Dessa forma é possível identificar o desempenho de cada uma delas e seu respectivo impacto sobre a organização como um todo.

Contador (2004) afirma que o aumento da produtividade pode ser alcançado via capital e/ou via trabalho. Pela via capital o aumento se dá através da aquisição de máquinas e equipamentos mais produtivos, enquanto, pela via trabalho, o aumento é alcançado por meio de técnicas de estudo de métodos de trabalho que conseguem aumentar a eficiência dos trabalhadores, de forma a os fatigar menos.

Nesse contexto, as medidas de produtividade devem ser vistas como instrumentos auxiliares na detecção de problemas e no acompanhamento no desempenho dos seus respectivos sistemas de produção (MOREIRA, 1991). Dessa forma, o monitoramento da produtividade se mostra uma ferramenta gerencial de grande importância nos mais diversos setores.

Estudos vêm sendo realizados nos mais diversos tipos de organizações produtivas, de bens ou serviços: indústria em geral, Ramstetter (2004), Lee *et al.* (2007), Nataraj (2011); indústria automobilística Kadefors *et al.* (1996), Dawal *et al.* (2009), Thun *et al.* (2011); indústria calçadista, Bertolini *et al.* (2007); *call centers*, Niemela *et al.* (2002); setor farmacêutico, Färe *et al.* (1995); setor elétrico, Ebrahimipour *et al.* (2007); setor de serviços, Calabrese

(2012); ambiente hospitalar, Lillbank *et al.* (2002); sistema bancário, Nakane e Weintraub (2005), Silva (2001); estudando os mais diversos fatores que interferem na produtividade dos trabalhadores e das organizações em geral.

Muitos estudos, por sua vez, foram realizados no âmbito quantificar como os fatores ambientais interferem na produtividade dos trabalhadores.

Silva (2001) verificou a relação entre a produtividade e as variáveis de conforto térmico dos digitadores do Centro de Processamento de Dados de uma agência bancária no estado da Pernambuco, em que dois ambientes foram analisados, um termicamente confortável e outro termicamente desconfortável. A produtividade dos digitadores foi calculada através da quantidade de toques por hora, constatando-se que 66% da variação da mesma estava relacionada à temperatura operativa do ambiente.

Niemela *et. al.* (2002), investigou o efeito de temperaturas elevadas no verão sobre a produtividade do trabalho em duas *Call centers*. Uma delas teve sua temperatura reduzida através da instalação de sistema de arrefecimento adicional. A produtividade foi monitorizada antes e após a intervenção. O sistema de monitoramento informatizado registrou o número de chamadas, o tempo total de trabalho e o tempo de trabalho ativo de cada empregado em cada turno. Com isso, o número de comunicações telefônicas, dividido pelo tempo de trabalho ativo, foi escolhido como melhor indicador da produtividade. O estudo observou uma queda na produtividade a partir de 25°C, a uma taxa de 2,4%/°C para baixo.

Segundo Seppänen *et al.* (2005) existe uma diminuição consistente no desempenho humano em tarefas típicas de trabalho em escritório a partir do aumento da temperatura acima de 24 a 26°C.

Lan, Wargocki e Lian (2011) analisaram as conseqüências do desconforto térmico na performance de pessoas através da simulação de atividades do trabalho em escritório como digitação de textos, problemas de adição e multiplicação, assim como em testes neurocomportamentais, enquanto eram submetidas a duas sensações térmicas, neutra (22°C) e quente (30°C). O estudo demonstrou um decréscimo no desempenho quando aquelas pessoas eram submetidas ao ambiente quente. As reduções chegaram a 10% do tempo de reação à tarefa (*Stroop effect*), 11% em problemas de adição e a 25% de raciocínio gramatical.

Um estudo realizado por Lee et. al. (2012), mediu a relação entre a qualidade do ambiente interno (conforto térmico, qualidade do ar, iluminação e ruído) de algumas salas de aula universitárias em relação ao desempenho na aprendizagem de estudantes de engenharia. Cada sessão do experimento tinha duração de 3 horas com uma pausa de 20 minutos. As variáveis ambientais eram aferidas a cada 30 minutos, enquanto os alunos respondiam um questionário para avaliação subjetiva das quatro variáveis ambientais estudadas, assim como faziam comentários sobre o seu desempenho na aprendizagem. Além disso, os alunos classificaram subjetivamente seu desempenho em quatro atividades relacionadas à aprendizagem, sendo elas cálculo, leitura, compreensão e digitação, numa escala em porcentagem (0%, 15%, 30%, 50%, 70%, 85% e 100%). O estudo concluiu que as variáveis ambientais tinham correlação com as queixas relacionadas ao desempenho na aprendizagem. As médias no desempenho para o cálculo, leitura, compreensão e escrita foram de 58% (DP = 20%), 58% (DP = 18%), 60% (DP = 18%) e 52% (DP = 22%), respectivamente, havendo diferença significativa no desempenho em digitação. Em relação ao conforto térmico, o ambiente apresentou temperatura operativa média de 22,1°C (DP=1,5). De 312 entrevistados, 261 demonstraram aceitação ao ambiente térmico, ficando 88% dos votos entre -1 e 1 (de levemente frio a levemente quente).

O estudo realizado por Tham et. al.(2010) teve como objetivo identificar a relação entre parâmetros térmicos e o estado de alerta mental das pessoas, através da percepção e dos efeitos fisiológicos. O experimento foi realizado em 3 faixas de temperatura: 20°C (moderadamente frio), 23°C (neutro) e 26°C (moderadamente quente); cada sessão tendo duração de 4 horas, em que os participantes eram submetidos a uma série de testes de desempenho mental (excitação/estado de alerta, concentração, criatividade e raciocínio). Apenas os resultados referentes à excitação e estado de alerta foram considerados na análise, sendo avaliados através de um teste originalmente conhecido como Testes de Trilhas, capaz de analisar a capacidade de sequenciamento, flexibilidade mental, procura visual e função motora. Os maiores índices de conforto térmico foram observados no ambiente com temperatura de 23°C. Entretanto, observou-se que sob condições moderadamente quentes (26°C), os participantes apresentaram menor nível de excitação, obtendo melhor

desempenho em velocidade e precisão. A relação derivada dos votos subjetivos de percepção dos participantes indicou maior satisfação sob temperatura de 24,2°C.

A pesquisa realizada por Bakó-Biro (2007) teve como principal objetivo investigar a relação entre a saúde, o bem-estar e o desempenho dos alunos, e a qualidade do ar em várias escolas primárias no sul da Inglaterra. Os experimentos foram realizados em duas salas de aula por escola, sob condições normais e após a instalação de um sistema para controlar a taxa de ventilação e manter a temperatura dentro de certos limites. A concentração de CO₂ (0-5000 ppm), temperatura do ar, temperatura de globo, umidade relativa (UR), velocidade do ar e nível de luz foram monitorados continuamente em cada sala de aula, simultaneamente à aplicação de questionários de auto-avaliação, percepção ambiental, conforto e saúde. Dois testes de desempenho diferentes foram administrados aos alunos em cada escola: testes tradicionais de adição, subtração e de leitura (em papel), assim como um teste para estudar as mudanças no desempenho cognitivo dos alunos em diferentes condições de qualidade do ar. O estudo observou um impacto significativo da taxa de ventilação sobre o desempenho no trabalho escolar dos alunos, proporcionando um aumento sob ventilação melhorada de 5,1% e 5,8% para os testes de adição e subtração respectivamente, chegando a 7% para os alunos com melhores competências em matemática.

Observa-se que os seres humanos, estando susceptíveis aos fatores ambientais, sofrem influência dos mesmos, o que é refletido em suas ações, e conseqüentemente em sua produtividade no trabalho.

Com isso, é notória a importância do projeto adequado dos ambientes de trabalho, o que segundo Kroemer e Kroemer (2001), consiste no sucesso do esforço ergonômico, medido pela melhoria da produtividade, eficiência, e segurança, permitindo que os indivíduos realizem suas atividades de forma eficiente.

2.6. Ergonomia e desempenho cognitivo

Derivada do grego *ergon* (trabalho) e *nomos* (leis) para denotar a ciência do trabalho, a ergonomia consiste em uma disciplina de orientação sistêmica que se aplica a todos os aspectos de atividade humana, levando em consideração fatores físicos, cognitivos, sociais, organizacionais e ambientais.

De acordo com a Internacional Ergonomics Association – IEA (2000), a ergonomia, ou fatores humanos, é a disciplina científica relacionada à compreensão das interações entre os seres humanos e outros elementos de um sistema, sendo o campo profissional que aplica os princípios teóricos, dados e métodos para projetar, a fim de otimizar o bem-estar humano e o desempenho geral do sistema. Os ergonomistas, com isso, contribuem para o planejamento, concepção e avaliação de tarefas, trabalhos, produtos, organizações e ambientes, a fim de torná-los compatíveis com as necessidades e limitações das pessoas.

Dessa forma, a ergonomia estuda os diversos fatores que influem no desempenho do sistema produtivo, procurando reduzir as suas consequências nocivas sobre o trabalhador, como a fadiga, estresse, erros e acidentes, proporcionando segurança, satisfação e saúde aos trabalhadores, durante o seu relacionamento com esse sistema produtivo (IIDA, 2005).

Guérin (2001) ressalta a importância de se compreender o trabalho para que se possa transformá-lo. Para o autor, as atividades de um indivíduo são resultado de numerosos fatores externos e internos aos mesmos e trazem consequências múltiplas tanto para ele mesmo, como para a produção e o meio de trabalho. Dessa forma, os resultados da atividade de trabalho devem ser relacionados com a produção tanto de um ponto de vista qualitativo quanto quantitativo, assim como às consequências acarretadas aos trabalhadores, que podem ser positivas ou negativas. O autor ainda afirma que entre os determinantes de uma atividade encontram-se fatores internos (sexo, idade, tempo de serviço, estado de saúde, etc.), assim como fatores externos (objetivos a alcançar, meios técnicos, organização do trabalho, regras e normas, espaço de trabalho, etc.).

Segundo Karwowski (2006), os ergonomistas contribuem para a concepção e avaliação de tarefas, trabalhos, produtos, ambientes e sistemas para torná-los compatíveis com as necessidades, habilidades e limitações das pessoas. Com isso, a disciplina de Ergonomia promove uma abordagem holística do trabalho centrada na concepção no ser humano, que considera os sistemas físicos, cognitivos, sociais, organizacionais, ambientais e outros fatores relevantes, tendo como domínios de especialização dentro dos fatores humanos a Ergonomia *Física, Cognitiva e Organizacional*:

- Ergonomia Física: ligada principalmente com características da anatomia humana, antropometria, fisiologia, biomecânica e como eles se relacionam à atividade física.
- Ergonomia Cognitiva: se concentra em processos mentais, tais como percepção, memória, processamento de informação, raciocínio e resposta motora como eles afetam as interações entre os seres humanos e outros elementos de um sistema.
- Ergonomia Organizacional: está preocupada com a otimização dos sistemas sócio-técnicos, incluindo suas estruturas organizacionais, políticas e processos.

A Ergonomia Cognitiva busca compreender como o indivíduo gerencia a situação de trabalho e as informações que recebe. É relevante destacar que qualquer tentativa neste sentido deve levar em conta a limitação fisiológica do sistema cognitivo humano; assim, os processos de aquisição, processamento e recuperação de informações devem primar pela economia, eliminando ao máximo informações repetidas ou desnecessárias (STERNBERG, 2000).

Segundo Gazzaniga *et al.* (2002) a neuropsicologia cognitiva estuda fundamentalmente o processamento da informação, isto é, das diferentes operações mentais que são necessárias para a execução de determinadas tarefas, dando ênfase para o estudo das operações mentais. Estas, por sua vez, tomam uma representação como um *input*, executam algum tipo de processamento sobre esse *input*, e então produzem uma nova representação, o *output*.

A neuropsicologia cognitiva visa compreender como um indivíduo processa a informação, em termos funcionais, sendo de menor interesse, para essa abordagem, o mapeamento das relações cérebro-comportamento

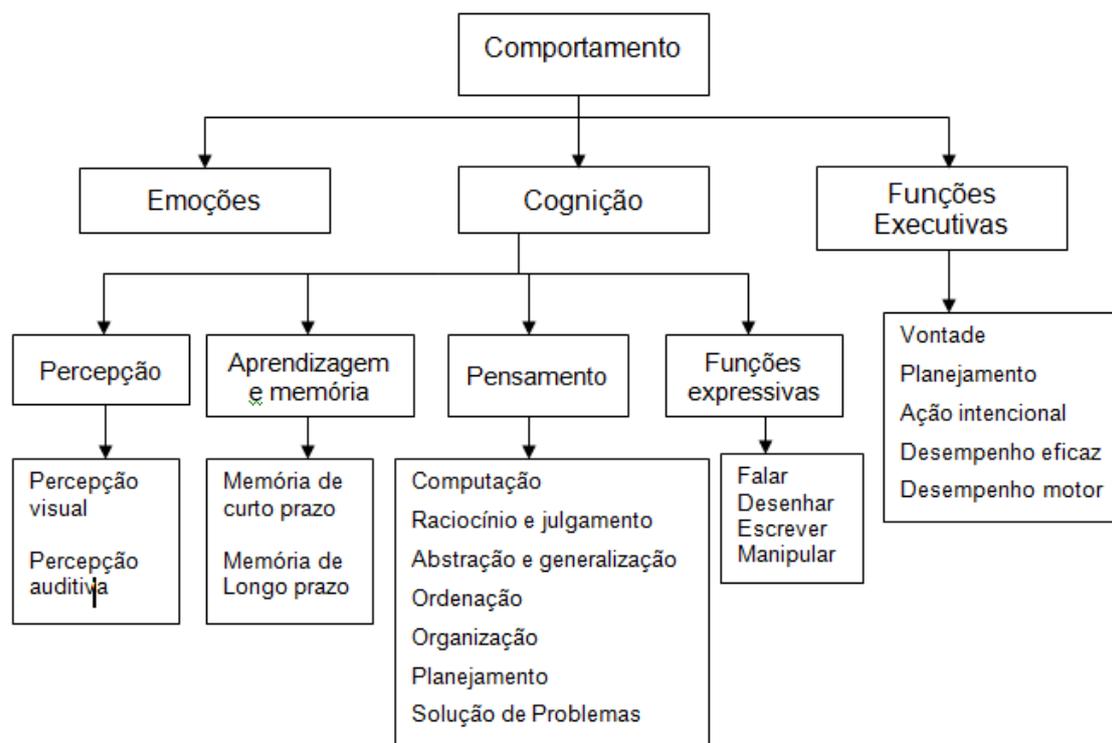
(FERNANDES, 2003 *apud* CAPOVILLA, 2007). Duas implicações fundamentais derivam deste modelo, o direcionamento de modelos de reabilitação de pacientes com lesões ou disfunções cerebrais, e o teste de modelos do funcionamento cognitivo normal.

Segundo Lezak (1995), o comportamento pode ser dividido em três grandes sistemas funcionais. O primeiro refere-se às (1) *funções cognitivas*, que envolvem os aspectos do comportamento relacionados ao processamento de informação. Dividem-se em quatro classes, por analogia às operações computacionais de *input*, estocagem, processamento e *output*, que são: *funções receptivas (percepção)*, *memória*, *pensamento* e *funções expressivas*, além das “variáveis de atividade mental” (nível de alerta, atenção e taxa de atividade ou velocidade). O segundo sistema funcional refere-se aos (2) *aspectos emocionais*, e incluem as variáveis de personalidade e emoção. O terceiro sistema funcional refere-se às (3) *funções executivas*, que refletem a capacidade do sujeito de engajar-se em comportamento independente, proposital e auto-regulado. As funções executivas referem-se a como uma pessoa faz algo, enquanto as funções cognitivas se referem ao que e quanto uma pessoa consegue fazer.

Para Capovilla (2007), a avaliação psicológica baseada na neuropsicologia cognitiva objetiva explicar os processos subjacentes às atividades mentais superiores do ser humano, correlacionando-os com o funcionamento neurológico. Para tanto, diferentes testes foram desenvolvidos com este fim, abordando algumas das áreas avaliadas pela neuropsicologia, especificamente atenção, processamento visoespacial, linguagem oral, linguagem escrita, funções executivas e habilidades aritméticas. Vários desses testes são informatizados, o que facilita o registro de parâmetros temporais como tempo de reação e duração da resposta.

Devido à importância da cognição e do processamento de informações nos ambientes de trabalho em escritórios, Lan *et. al.* (2011) associou as funções cognitivas solicitadas em cada processo a variáveis mensuráveis (Figura 5).

Figura 5 - Um quadro neurocomportamental para avaliação da produtividade de trabalho de escritório.



Fonte: Lan et. al. (2011)

Com isso, Lan et. al. (2011) pode avaliar sistematicamente o efeito do ambiente sobre o desempenho dos indivíduos através de testes psicométricos sobre as funções neurocomportamentais. No estudo foram utilizados nove testes informatizados que representam cada função neurocomportamental utilizada durante a realização das atividades em escritório (Quadro 1).

Quadro 1 - Principais funções testadas e seus correspondentes testes

Nº	Nome do teste	Descrição	Função Neurocomportamental testada
1	Procura de cartas	Detectar a presença ou ausência de uma carta marcada, em uma cadeia de 10 cartas, o mais rápido possível.	Percepção – Busca visual
2	Sobreposição	Numerar a ordem em que 6 figuras geométricas aleatórias se encontram em uma pilha.	Percepção – Orientação espacial
3	Extensão da memória	Reproduzir uma determinada sequência de números no teclado, com aumento de dificuldade.	Aprendizagem e memória – recuperação de memória, memória verbal, atenção
4	Reconhecimento de figuras	Reconhecer entre vinte imagens àquelas que eram estímulos alvo	Aprendizagem e memória – memória de reconhecimento,

		pressionando dois teclados diferentes.	memória espacial, atenção e exatidão de respostas
5	Teste de modalidades Digitação de símbolos	Reproduzir pares de símbolos-dígitos pressionando teclas numéricas correspondentes para outro conjunto reordenado dos dez símbolos.	Aprendizagem e memória – recuperação de memória, memória verbal
6	Cálculo	Digitar o valor resultante da soma de dois números de três dígitos tão rapidamente quanto possível.	Pensamento - procedimentos matemáticos, velocidade de resposta
7	Raciocínio Condicional	Escolher uma entre quatro possíveis conclusões referentes a uma premissa o mais rápido possível, sendo apenas uma correta.	Pensamento - raciocínio verbal
8	Imagem espacial	Escolher, entre quatro cubóides, qual corresponde a uma quinta imagem de um cubóide dobrado.	Pensamento - raciocínio espacial, imaginação
9	Tempo de reação visual e escolha	Indicar através das teclas de esquerda e direita, qual a direção de setas e a posição de triângulos, previamente exibidos.	Funções executivas - velocidade de resposta e precisão

Fonte: Lan et. al. (2011)

Bakó-Biró (2007), da mesma forma, em estudo realizado em escolas primárias no sul da Inglaterra, utilizou testes de desempenho cognitivo para avaliar o desempenho de alunos, em diferentes condições de qualidade do ar na sala de aula.

Dessa forma, entende-se que é possível avaliar a produtividade de trabalhos não repetitivos, através das funções cognitivas solicitadas para a realização do trabalho, com o auxílio de testes psicométricos associados às funções cognitivas.

2.6.1. Aprendizagem, inteligência e a Baterias de Prova de Raciocínio (BPR-5)

A aprendizagem consiste em uma alteração relativamente duradoura de comportamento e conhecimento envolvendo processos mentais, que ocorre como resultado da experiência externa ou interna dos indivíduos (TINOCO, 2007). Segundo a autora, a aprendizagem tem sido estudada em várias abordagens psicológicas: O *behaviorismo* a estuda através dos condicionamentos que ocorrem através do reforço, punição e extinção de comportamento e seus efeitos positivos ou nocivos como a ansiedade, assim como as generalizações e discriminações de eventos, situações e objetos; O

cognitivismo estuda como o sujeito adquire conhecimento, importando-se com suas expectativas, preferências, escolhas e decisões, enfatizando os estágios de desenvolvimento como fator importante para a aquisição de conhecimento e a forma que a maioria dos comportamentos humanos é adquirida por meio da observação e imitação em vez de tentativa e erro ou pela experiência direta das consequências dos nossos atos; A *psicanálise*, por sua vez, estuda a aprendizagem através da relação sujeito-objeto, do desejo e necessidades que estão presentes nesta relação e de como se forma o aparelho psíquico e das forças atuantes entre o princípio do prazer e princípio da realidade. Por fim, o *humanismo* a estuda através das experiências significativas que fazem emergir o que já existe em potencial.

Todas essas abordagens se utilizam de técnicas de observação, escuta e/ou de técnicas de mensuração e manipulação sistemática, assim como intuição a fim de compreenderem o fenômeno da aprendizagem.

Segundo Inácio (2007), existem fatores internos ao indivíduo que fazem parte integrante da sua personalidade e da sua vivência, enquanto seres sociais, e que condicionam a aprendizagem. Estes podem ser de natureza cognitiva como a atenção, concentração, memória, associação, compreensão, abstração, intuição, criatividade; como de natureza psicossocial como a responsabilidade, conhecimentos prévios e referências, pragmatismo, resistência à mudança, medo de errar e preocupação com a imagem, relação com o poder/autoridade.

Um dos processos mentais relacionados que nos permitem adquirir, reter e recuperar informações é a memória. Este, de acordo com Tinoco (2007), compreende três processos fundamentais: *codificação*, processo de transformar a informação de forma que possa ser introduzida e retida pelo sistema da memória; *armazenamento*, retenção de informação na memória podendo ser utilizado posteriormente; e *recuperação*, consiste em resgatar informação armazenada tornando-a consciente.

De acordo com a autora, há três estágios distintos da memória, que se diferem na quantidade de informação que pode ser armazenada, no tempo que pode ser armazenada e no que é feito com a informação armazenada. A (1) *memória sensorial registra* grande quantidade de informações do meio, guarda-as por segundos e em seguida estas desaparecem gradualmente. A

informação que é selecionada da memória sensorial é transferida para o segundo estágio chamado de (2) *memória de curto prazo*, que se refere ao sistema de trabalho ativo da memória. Este guarda informações por até 30 segundos, podendo ser estendido através de repetições. Sua capacidade é limitada. Entretanto, é considerada uma memória de trabalho, pois imaginar, lembrar (informações antigas são recuperadas da memória à longo prazo) e solucionar problemas são processos que ocorrem na memória de curto prazo. As informações transferidas da memória sensorial e recuperadas da memória de longo prazo tornam-se conscientes, o que permite o entendimento de sentenças, textos, cálculos, etc. Na (3) *memória de longo prazo*, as informações que foram codificadas na memória de curto prazo são armazenadas. A mesma apresenta capacidade ilimitada de informações e é potencialmente permanente. A codificação acontece por repetição (números, datas, nomes) ou pelo significado das informações. A elaboração de informação acontece através de associações e relações entre informações. O sistema límbico ajuda a relacionar a informação com as emoções e as imagens visuais de forma a aumentar a codificação.

Os tipos de informação encontradas na memória de longo prazo são: *procedural*, como desempenhar diferentes habilidades, operações e ações; *episódica*: quando e como ocorreram determinados eventos ou episódios da vida; *semântica*, conhecimento geral que inclui fatos, nomes, definições, conceitos e idéias. Por fim, a memorização ocorre através de associações entre conceitos que podem ativar outras associações na rede semântica, o que é importante para o processo de aprendizagem.

Tinoco (2007) ainda trata dos conceitos relacionados ao pensamento, linguagem e inteligência:

Pensamento - compreende a manipulação de imagens mentais e conceitos. Estes são formados a partir das representações mentais que surgem da associação das imagens com a palavra podendo estar associado também aos sentimentos, emoções e sensações.

Cognição - é o termo que se refere às atividades mentais envolvidas na aquisição, retenção e no uso de conhecimento.

Conceito - é uma categoria mental que formamos para agrupar objetos, eventos ou situações que compartilham características semelhantes.

Linguagem - consiste um sistema de combinação de símbolos arbitrários a fim de produzir um número infinito de enunciados que tenham significados, podendo ser feita através de símbolos, sons, palavra escrita, gestos, sinais, etc.

Dessa forma, solucionar problemas refere-se ao pensamento e ao comportamento direcionados a atingir um objetivo que ainda não está disponível. Enquanto todas as habilidades cognitivas estão envolvidas na compreensão e na produção da linguagem. Ao utilizar a aprendizagem e memória, o indivíduo adquire e lembra o significado das palavras, interpretando as palavras e frases de acordo com a percepção que é subjetiva. A linguagem é usada para raciocinar, representar e solucionar problemas, tomar decisões, podendo influenciar no pensamento de várias formas.

Para Tinoco (2007), a inteligência, consiste em habilidades mentais diferentes que operam independentemente, sendo estudados, atualmente, nove tipos de inteligência: linguística, lógico-matemática, musical, espacial, cinestésico-corporal, interpessoal, subjetiva ou intrapessoal, naturalística, existencial. A inteligência bem sucedida compreende três tipos distintos de habilidades mentais: analítica, processos mentais utilizados na aprendizagem de como solucionar problemas, como escolher uma estratégia de solução de problema e aplicá-la; criativa, habilidade de lidar com situações novas usando habilidades e conhecimentos existentes; e prática, envolve habilidade de adaptar-se ao meio e em geral.

Segundo McGrew & Flanagan (1998) *apud* Almeida e Primi (2004), de acordo com os modelos mais recentes sobre a estrutura da inteligência, as capacidades humanas se organizam hierarquicamente em pelo menos dez áreas amplas de raciocínio além do fator g, sendo estas:

- a) **Inteligência Fluida (Gf)** - ligada às operações mentais de raciocínio em situações novas minimamente dependentes de conhecimentos adquiridos;
- b) **Conhecimento Quantitativo (Gq)** - ligada ao estoque de conhecimentos declarativos e de procedimentos quantitativos e à habilidade de uso da informação quantitativa e manipular símbolos numéricos;

- c) **Inteligência Cristalizada (Gc)** - ligada à extensão e profundidade dos conhecimentos adquiridos de uma determinada cultura;
- d) **Leitura e Escrita (Grw)** – ligada ao conhecimento adquirido em habilidades básicas requeridas na compreensão de textos e expressão escrita;
- e) **Memória de Curto Prazo (Gsm)** - ligada à habilidade associada à manutenção de informações na consciência por um curto espaço de tempo;
- f) **Processamento Visual (Gv)** - ligado à habilidade de gerar, perceber, armazenar, analisar, manipular e transformar imagens visuais;
- g) **Processamento Auditivo (Ga)** - ligada à habilidade associada à percepção, análise e síntese de padrões sonoros;
- h) **Armazenamento e Recuperação da Memória de Longo Prazo (Glr)** - definido como a extensão e fluência que itens de informação ou conceitos são recuperados por associação da memória de longo prazo;
- i) **Velocidade de Processamento (Gs)** - relacionado à habilidade de manter a atenção e realizar rapidamente tarefas simples automatizadas em situações que pressionam o foco da atenção; e
- j) **Rapidez de Decisão (Gt)** - ligada à rapidez em reagir ou tomar decisões envolvendo processamentos mais complexos.

Neste contexto encontra-se a Bateria de Prova de Raciocínio (BPR-5) que consiste em um instrumento de avaliação das habilidades cognitivas que oferece estimativas do funcionamento cognitivo geral e das forças e fraquezas em cinco áreas específicas, analisadas por meio de cinco subtestes, detalhados no Quadro 2.

Quadro 2 - Baterias de Prova de Raciocínio (BPR-5) e seus cinco subtestes: Raciocínio verbal, abstrato, mecânico, espacial e numérico

Prova	Descrição	Capacidade específica
Raciocínio verbal (RV)	Prova composta por 25 itens envolvendo analogia entre palavras. (Duração: 10 minutos)	<ul style="list-style-type: none"> • Extensão do vocabulário; • Capacidade de estabelecer relações abstratas entre conceitos verbais
Raciocínio Abstrato (RA)	Prova composta por 25 itens de conteúdo abstrato, envolvendo analogia com figuras geométricas. (Duração: 12 minutos)	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidade de estabelecer relações abstratas em situações novas para as quais se possui pouco conhecimento previamente

		aprendido;
Raciocínio Mecânico (RM)	Prova composta por 25 itens constituídos por gravuras que retratam um problema físico-mecânico e opção de resposta. (Duração: 15 minutos)	<ul style="list-style-type: none"> • Conhecimento prático de mecânica e física; • Capacidade de integrar as informações em textos com a figura descritiva da situação-problema
Raciocínio Espacial (RE)	Prova composta por 20 itens envolvendo os movimentos tridimensionais de uma série de cubos. (Duração: 18 minutos)	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidade de visualização, isto é, em formar representações mentais visuais e manipulá-las, transformando-as em novas representações;
Raciocínio Numérico (RN)	Prova comporta por 20 itens envolvendo a relação aritmética de uma série linear ou alternada de números. (Duração: 18 minutos)	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidade de raciocínio com símbolos numéricos em problemas quantitativos • Conhecimento de operações aritméticas básicas.

Fonte: Almeida e Primi (2000)

A BPR-5 fundamenta-se nas concepções fatoriais mais recentes da inteligência. Em termos de fatores específicos adotando-se a terminologia do modelo CHC, o subteste RA associa-se principalmente à inteligência fluida (Gf), definida como capacidade de raciocinar em situações novas, criar conceitos e compreender implicações. O subteste RV associa-se à inteligência fluida e à inteligência cristalizada (Gc), definida como extensão e profundidade do conhecimento verbal vocabular, e à capacidade de raciocinar utilizando conceitos previamente aprendidos. O subteste RN associa-se à inteligência fluida e em parte à habilidade quantitativa (Gq) definida como a compreensão de conceitos quantitativos básicos como soma, subtração, multiplicação, divisão e manipulação de símbolos numéricos. O subteste RE associa-se em parte à inteligência fluida, mas, principalmente, à capacidade de processamento visual (Gv), definida como a habilidade de representar e manipular imagens mentais. O subteste RM associa-se em parte à inteligência fluida e aos conhecimentos práticos mecânicos (ALMEIDA & PRIMI, 2004).

Para pontuação dos raciocínios, os escores brutos, constituídos pela soma dos acertos em cada subteste, são convertidos em EPNs (Escore-Padrão Normalizados), com média 100 e desvio padrão 15. Também é convertido em EPN o total de acertos em todos os subtestes da bateria.

Além da pontuação em EPN, o manual do teste também fornece os valores em percentuais para que seja possível a comparação de acertos dos

sujeitos em relação ao grupo original de padronização da bateria, tanto para os cinco subtestes, quanto para o escore do total de acertos.

Portanto, o BPR-5, através da configuração das cinco notas, indica as capacidades mais e menos desenvolvidas da pessoa para cada uma das habilidades avaliadas.

2.7. Modelos Lineares Generalizados

Estudos de natureza experimental, entre os quais se insere este trabalho, normalmente se deparam com problemas em que o objetivo principal é estudar a relação entre variáveis. Ou seja, que influência uma ou mais variáveis explicativas (x_i), obtidas em indivíduos ou objetos, tem sobre uma variável de interesse (variável resposta - y_i). O problema é abordado é geralmente através do estudo de um modelo de regressão que relacione essa variável de interesse com variáveis ditas explicativas (TURKMAN, 2000).

Entretanto, as relações entre as diversas variáveis podem não apresentar o mesmo comportamento ao longo de todos os valores do seu domínio e, mesmo se o apresentarem, a intensidade da associação pode não ser constante.

Segundo Conceição et. al. (2001), dada a complexidade das relações de interesse, a escolha de modelos apropriados para a análise é de grande importância. Por exemplo, modelos de regressão linear servem para investigar se uma variável resposta Y está associada com variáveis explicativas X_1, X_2, \dots, X_n , mas este tipo de modelo avalia esta associação apenas sob a ótica linear, que nem sempre é aquela que rege os fenômenos considerados. Dessa forma, uma metodologia bastante empregada na tentativa de contornar essas limitações é o uso de Modelos Lineares Generalizados (MLG).

Segundo Dobson (1990) *apud* Conceição et. al. (2001), é possível utilizar métodos análogos àqueles desenvolvidos para o modelo de regressão linear gaussiana, em situações em que a variável resposta obedece a outras distribuições que não a Normal, ou em que a relação entre a variável resposta e as variáveis explicativas não é linear. Isto se deve, em parte, ao conhecimento de que muitas das boas propriedades da distribuição Normal são compartilhadas por uma larga classe de distribuições chamada de *família exponencial de distribuições*.

De acordo com Vieira (2004), os MLG foram propostos para aplicações onde a variável de resposta pode ser representada por alguma distribuição da família de exponenciais, cujas funções densidade de probabilidades podem ser expressas de acordo com a equação (26).

$$f(\mathbf{y}; \boldsymbol{\theta}, \phi) = \exp\left\{\frac{y\boldsymbol{\theta} - b(\boldsymbol{\theta})}{a(\phi)} + c(\mathbf{y}, \phi)\right\} \quad (26)$$

Onde $a(\phi)$, $b(\boldsymbol{\theta})$ e $c(\mathbf{y}, \phi)$ são funções específicas. O parâmetro $\boldsymbol{\theta}$ é o parâmetro de localização e ϕ é o parâmetro de dispersão, muitas vezes denominado σ^2 . A média e a variância da resposta y são dadas pela equação (27), que representa a parte da variância de y que depende da sua média μ . A função $V(\mu)$ é denominada função de variância. Dessa forma, a variância de y é um produto de dois fatores, um que depende da média e outro, $a(\phi)$, que não depende.

$$V(\mu) = \frac{\text{var}(y)}{a(\phi)} = \frac{d^2 b(\boldsymbol{\theta})}{d\boldsymbol{\theta}^2} = \frac{d\mu}{d\boldsymbol{\theta}} \quad 27$$

As principais distribuições pertencentes à família exponencial são: normal, gama, Poisson, binomial, e normal inversa.

Considerando um experimento com dados de acordo com a tabela 4, tendo n respostas independentes y_i , tem-se: y_1, y_2, \dots, y_n como variáveis resposta e médias $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$, e x_1, x_2, \dots, x_k como porção sistemática do modelo.

Tabela 4 - Dados para modelo

x_1	x_2	...	x_k	y
x_{11}	x_{12}	...	x_{1k}	y_1
x_{21}	x_{22}	...	x_{2k}	y_2
.
.
.
x_{n1}	x_{n2}	...	x_{nk}	y_n

Fonte: Viera (2004)

Para Fox (2008), um modelo linear generalizado (ou MLG) consiste em três componentes:

- a) Um componente aleatório, especificando a distribuição condicional da variável resposta, y_i (de i a n observações independentes da amostra), dados os valores das variáveis explicativas do modelo, sendo a distribuição de y_i membro de uma família exponencial.
- b) Um preditor linear (equação 29):

$$n = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k \quad (28)$$

- c) E outro, suave e invertível, função de ligação linearizável $g(\mu_i)$, que transforma a expectativa do variável resposta, $\mu_i = E(y_i)$, para o preditor linear (equação 29):

$$n_i = g(\mu_i) = (\beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik}) \quad (29)$$

No caso da distribuição normal inversa, usada nesse trabalho, as funções de ligações (*links*) que podem ser utilizadas são: $1/\mu^2$, inversa, identidade, e log.

Tabela 5 - Funções de ligação usadas na distribuição normal inversa

Link	$n_i = g(\mu_i)$
Canônica	$1/\mu_i^2$
Identidade	μ_i
Log	$\log_e \mu_i$
Inversa	μ_i^{-1}

Fonte: Fox (2008)

Em que, visto que $g(\mu) = \eta$, implica, $\mu = g^{-1}(\eta)$.

Segundo Turkman (2000), existem três etapas essenciais para modelagem de dados através de uma MLG:

1. Formulação dos modelos
2. Ajustamento dos modelos
3. Seleção e validação dos modelos

Na **formulação do modelo** deve-se levar em consideração a *distribuição da variável resposta*, sendo necessária uma análise preliminar dos dados para que se possa fazer uma escolha adequada da família de distribuições a se considerar; a *escolha das covariáveis* para formulação apropriada da matriz de especificações, ou seja, a codificação apropriada das variáveis; *escolha da função de ligação* compatível com a distribuição de erro proposto para os dados, de forma a facilitar a interpretação do modelo.

A fase do **ajustamento do modelo** (ou modelos) passa pela estimação dos parâmetros, ou seja, os coeficientes β 's associados às covariáveis e do parâmetro de dispersão φ caso ele esteja presente, ao estabelecimento de intervalos de confiança e testes de ajustamento.

Em problemas de regressão, existe normalmente um número considerável de possíveis variáveis explicativas. Dessa forma, a fase de **seleção e validação do modelo** tem como objetivo encontrar submodelos com um número moderado de parâmetros que ainda sejam adequados aos dados, detectar discrepâncias entre os dados e valores preditos, avaliar a presença de *outliers* ou observações influentes, etc.

CAPÍTULO 3: PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo, são apresentados os procedimentos metodológicos adotados para o desenvolvimento do presente trabalho, apresentando o tipo de pesquisa, população e amostra, bem como os procedimentos e instrumentos utilizados para a coleta e análise dos dados.

3.1. Natureza e Classificação da Pesquisa

De acordo com Gil (2002), o estudo se caracteriza, quanto à sua natureza, como uma pesquisa básica, tendo em vista que objetiva gerar conhecimentos novos úteis para o avanço da ciência sem aplicação prática prevista.

Quanto à abordagem, o mesmo se classifica como quantitativa, pois tenta traduzir em números opiniões e informações para classificá-las e analisá-las, usando de técnicas estatísticas e recursos computacionais.

De acordo com os objetivos, classifica-se como explicativa e experimental já que busca identificar os fatores responsáveis pelos efeitos dos fenômenos observados.

Ainda quanto aos objetivos, se caracteriza como exploratória, porque visa proporcionar maior entendimento sobre o conforto térmico e o desempenho dos estudantes; descritiva, porque descreve o conforto térmico e a relação com suas principais variáveis; assim como, explicativa, porque procura verificar se o conforto térmico pode ser considerado um fator condicionante para o desempenho dos estudantes.

Quanto aos meios, classifica-se como: bibliográfica, porque utiliza material já publicado como livros, teses, dissertações, artigos de periódicos, etc.; levantamento, pois os participantes serão interrogados de forma direta quanto a sua percepção térmica, de modo que mediante análise quantitativa, se possa chegar a conclusões referentes à relação entre a sensação térmica analiticamente calculada pelas diversas normas e o realmente observado; e como experimental, porque ao se desejar identificar a relação entre o conforto térmico e o desempenho, será necessário definir formas de controle dos parâmetros envolvidos.

3.2. População e amostra

Segundo Vergara (2000), a delimitação da população consiste em explicar que elementos serão pesquisados durante a pesquisa.

O estudo aconteceu no Centro de Academia da Polícia Militar do Cabo Branco, a fim de garantir a homogeneidade de algumas variáveis que podem interferir na sensação de conforto dos indivíduos, tais quais faixas etárias, peso, estatura, alimentação, taxa metabólica tipo de vestimenta, etc. O experimento foi realizado na sala de aula da turma do terceiro ano do Curso de Formação de oficiais. A turma era composta por 40 alunos, dos quais 34 homens e 6 mulheres.



Figura 6 - Sala de aula da turma do terceiro ano do Curso de Formação de Oficiais

A sala de aula possuía dois aparelhos de ar-condicionado e duas janelas, que permaneceram fechadas durante o experimento.

3.3. Variáveis e Indicadores

De acordo com Gil (2002), devem-se escolher cuidadosamente os indicadores de uma variável tendo em vista que é através deles que será possível mensurá-la, podendo, dessa forma, conhecer-se de forma racional como determinado fenômeno acontece.

Nesse sentido o quadro 3 apresenta as variáveis analisadas no presente estudo bem como seus respectivos indicadores.

Quadro 3 - Variáveis e indicadores da pesquisa

	VARIÁVEIS	INDICADORES
Parâmetros de Conforto	Pessoais	Atividade desempenhada, M , (W/m^2); Isolamento térmico das vestes, I_{cl} , (clo);
	Ambientais	Temperatura do ar ($^{\circ}C$); Temperatura radiante média, t_{rm} , ($^{\circ}C$); Velocidade do ar, v_a , (m/s); Pressão parcial do vapor de água no ar ambiente, p_a , (kPa);
Parâmetros Subjetivos	Sensação Térmica Avaliação térmica	Escala de sete pontos de percepção e preferências da ISO 10551/1995
Desempenho	Raciocínio	Raciocínio verbal (RV); Raciocínio Abstrato (RA); Raciocínio Mecânico (RM); Raciocínio Espacial (RE); Raciocínio Numérico (RN);

3.4. Coleta de dados

Os dados foram obtidos durante a realização de experimentos realizados em sala de aula, sendo uma sessão por dia, em três dias consecutivos (18, 19 e 20 de Julho de 2012), sob temperaturas de bulbo seco de $24^{\circ}C$, $20^{\circ}C$ e $30^{\circ}C$ respectivamente.

Em uma sessão prévia, os cadetes foram orientados sobre a finalidade da pesquisa e quais os tipos de questionários que seriam utilizados. Além disso, foi feita uma explanação sobre a natureza das questões dos testes de raciocínio. Os cadetes haviam sido orientados a trazerem seus notebooks, tendo sido instalado em cada um o software contendo a bateria de testes. A senha para cada dia de testes só era disponibilizada no momento de sua realização, evitando assim que os participantes tomassem conhecimento das questões que iriam resolver.

A uma dada temperatura do ar, dava-se início à sessão. Ao chegarem à sala de aula, os alunos eram orientados a permanecer no ambiente até o início das atividades normais. Após 40 minutos de permanência no local eram iniciados os testes de raciocínio. Estes testes tinham 40 minutos de duração máxima e logo ao final dos mesmos eram aplicados os questionários de percepção e avaliação térmica.

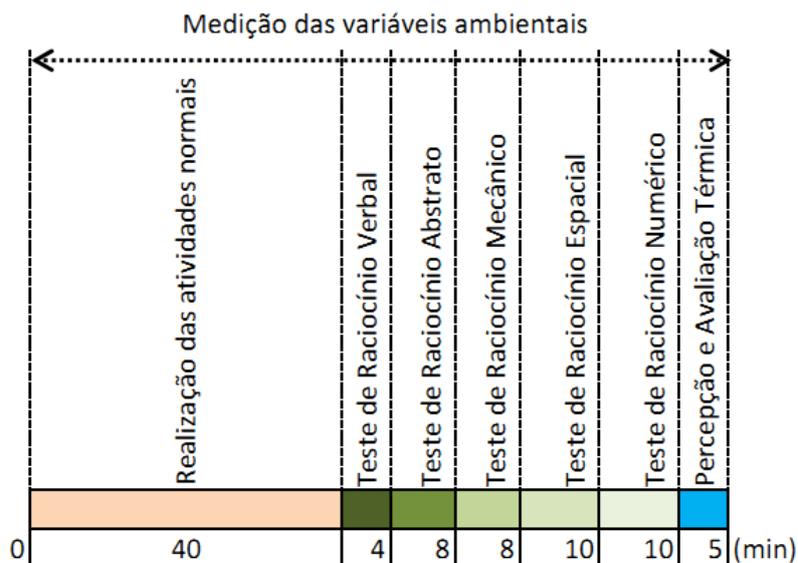
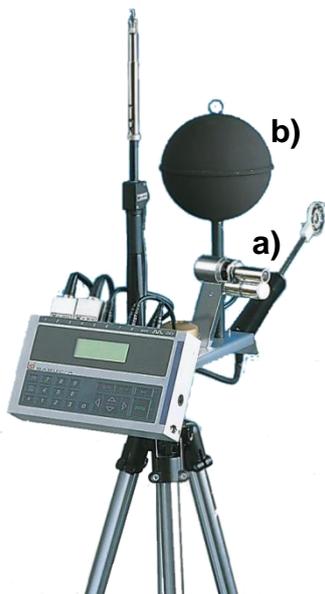


Figura 7 - Procedimento experimental

Após a realização do experimento, as atividades dos cadetes seguiam normalmente, e a temperatura era novamente ajustada, agora, de acordo com o desejo dos indivíduos.

3.4.1. Variáveis Ambientais

As medições das variáveis ambientais, temperatura de bulbo seco (t_{bs}), temperatura de bulbo úmido (t_{bu}) e temperatura de globo (t_g), foram realizadas por meio de uma estação microclimática de marca BABUC/A/M, que permite a gravação dos dados mediante a criação de um arquivo local, assim como transferência dos mesmos para uma PC, onde podem ser processados através de aplicativos especializados ou com o auxílio de planilhas eletrônicas. O equipamento atende às exigências da Norma ISO-DIS 7726/1998.



**Figura 8 - Estação microclimática BABUC-A.
a)psicrômetro; b)termômetro de globo**

Os transdutores conectados ao equipamento (figura 8) efetuam a medição das variáveis ambientais e possuem as seguintes características:

- a) Psicrômetro de aspiração:**o psicrômetro efetua a medição da temperatura do ar ou temperatura de bulbo seco, T_{bs} , bem como a medição da temperatura de bulbo úmido, T_{bu} , com resolução de 0,03 K, precisão de $\pm 0,13$ K, tempo de resposta de 90 s, campo de medição de -20°C a 60°C , fornece o valor da umidade relativa do ar com resolução de 0,1%, precisão de $\pm 0,5\%$ de 70 a 98%, $\pm 1\%$ de 40 a 70% e $\pm 2\%$ de 15 a 40%, campo de medição de 0 a 100%.
- b) Termômetro de Globo:** a temperatura de globo, juntamente com a temperatura de bulbo seco e velocidade do ar, é necessária para a obtenção da temperatura média radiante. O termômetro de globo possui um globo pintado de negro, com emissividade ϵ igual a 0,95, e diâmetro externo de 0,15 m,tendo resolução de $0,03^{\circ}\text{C}$, precisão de $\pm 0,15^{\circ}\text{C}$, tempo de resposta de 20 min, campo de medição de 10°C a 100°C .



Figura 9 - Layout da sala de aula

Seguindo o que estabelece a norma ISO 7726(1998), e tendo em vista que o ambiente apresentava uniformidade na distribuição de temperatura, a estação microclimática foi instalada no centro da sala (figura 9), a 0,60m de altura em relação ao solo, tendo em vista que os indivíduos se encontravam sentados. Esta estação foi programada para medir as variáveis a cada 5 minutos, desde a entrada dos cadetes na sala de aula.

3.4.2. Variáveis pessoais

O metabolismo dos usuários estabelecido foi de 70 W/m^2 que condiz com o calculado através da equação (11) proposta por Xavier (2000), cujo valor foi de $66,33 \pm 3,64 \text{ W/m}^2$.

A resistência térmica das vestes adotada foi de 0,56 clo, de acordo com a Norma ISO 9920/95, correspondendo ao uso de cueca, calça normal, camisa de manga curta, meia grossa longa e bota, de acordo com a Norma ISO

9920/95, que compõem o fardamento oficial para oficiais e praças em escolas de formação em atividades de sala de aula. Entretanto, seis usuários, por estarem realizando outras atividades paralelas à sala de aula, encontravam-se com 3º uniforme “A”, utilizado na atividade instrução, tendo resistência térmica equivalente a 0,91 clo. Ambos os fardamentos se encontram na figura 9.

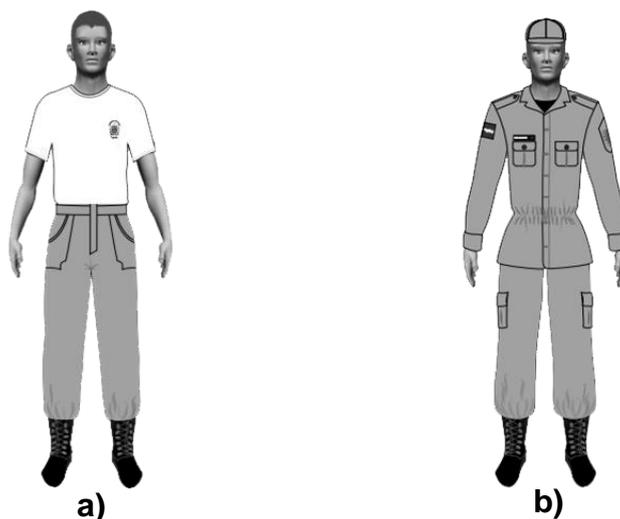


Figura 10 – Vestimentas observadas: a) fardamento para aulas nas escolas de formação; b) Uniforme 3º A para –Instrução
Fonte: RUPMPB (2012)

3.4.3. Parâmetros Subjetivos

Os parâmetros subjetivos, como sensação térmica e preferência térmica dos estudantes pesquisados, foram obtidos a partir da aplicação de questionário sobre a percepção, avaliação e preferência térmica dos estudantes, baseados nas escalas de 7 pontos de percepção e preferências da norma ISO 10551/1995 (APÊNDICE I).

Nele era perguntado como o indivíduo se sentia (sensação térmica) no momento em relação ao ambiente térmico, como o mesmo classificava o ambiente em relação ao conforto proporcionado e, por fim, como ele gostaria de estar se sentindo (preferência térmica). Logo após, era declarada a vestimenta utilizada pelos mesmos no momento.

3.4.4. Desempenho dos estudantes

Baseando-se no estudo realizado por Lan *et. al.*(2011), devido à importância da cognição e do processamento de informações para a realização de determinadas atividades, o efeito do ambiente sobre o desempenho dos estudantes pode ser sistematicamente avaliado através de testes psicométricos sobre as funções neurocomportamentais.

Segundo Almeida e Primi (2000), a BPR-5 é um instrumento para auxiliar os profissionais no psicodiagnóstico, seleção profissional, orientação profissional, avaliação escolar, entre outras áreas, para verificar o funcionamento cognitivo geral.

As aptidões que podem ser avaliadas pelas cinco provas que compõem o instrumento são: Raciocínio Abstrato (RA), Raciocínio Verbal (RV), Raciocínio Espacial (RE), Raciocínio Numérico (RN) e Raciocínio Mecânico (RM).

A fim de que ao final do experimento se pudesse comparar o desempenho dos cadetes em todas as faixas de temperatura optou-se por decompor o BPR-5 e reorganizá-lo em 3 testes resumidos de mesmo nível de dificuldade, a serem aplicados a cada dia. Foi estabelecido um peso para cada nível de questão, de forma que cada teste tivesse como nota máxima 10.

Foi desenvolvido um software, o *BPR-5 Info*, que possibilitou a aplicação e medição do tempo de resposta de cada questão. Dessa forma, a medida de desempenho passou a ser a nota obtida em cada teste dividido pelo tempo levado para respondê-la. O software foi utilizado apenas durante a pesquisa com o objetivo de obter o tempo de resposta de cada cadete, o que não seria possível com a metodologia utilizada originalmente.

Dessa forma cada bateria foi composta de 4 questões referentes a cada teste de raciocínio, como mostra o quadro 4.

Quadro 4 - Subtestes de Raciocínio baseados na BPR-5

Teste	Descrição
Raciocínio verbal (RV)	Consiste em 4 itens em que a relação analógica existente entre um primeiro par de palavras deverá ser descoberta e aplicada de forma que identifique a quarta palavra entre as cinco alternativas de resposta que mantenha a mesma relação com uma terceira apresentada. (Duração: 4 minutos)
Raciocínio Abstrato (RA)	Prova composta por 4 itens em que é necessário que se descubra a relação existente entre os dois primeiros termos e aplicá-la ao terceiro, para se identificar a quarta figura entre as cinco alternativas de resposta. (Duração: 8 minutos)
Raciocínio Mecânico (RM)	Prova composta por 4 itens constituídos por gravuras que retratam um problema e opção de resposta. As questões são compostas por problemas práticos que envolvem conteúdos físico-mecânicos. A resposta é dada escolhendo-se entre as alternativas de resposta aquela que melhor responde à questão proposta pelo problema. (Duração: 8 minutos)
Raciocínio Espacial (RE)	Prova composta por 4 itens nos quais existem séries de cubos tridimensionais em movimento. Os movimentos podem ser constantes, por exemplo, sempre para a direita, ou alternados, por exemplo, para esquerda e para cima. Descobrir-se o movimento, por meio da análise das diferentes faces, deve escolher-se entre as alternativas de resposta a representação do cubo que se seguiria se o movimento descoberto fosse aplicado ao último cubo da série. (Duração: 10 minutos)
Raciocínio Numérico (RN)	Prova composta por 4 itens na forma de séries de números lineares ou alternadas, em que o sujeito deve descobrir qual a relação aritmética que rege as progressões nas séries e aplicá-la respondendo quais seriam os dois últimos números que completariam a série. (Duração: 10 minutos)

Quanto à dificuldade dos testes, Campos (2005) apresenta uma classificação de cada item em categorias: classe gramatical e tipo de relação entre as palavras para Raciocínio verbal (RV); tamanho da sequência numérica, operações matemáticas utilizadas, número de sequências lógicas utilizadas e complexidade das sequências lógicas para prova de Raciocínio numérico (RN); tipos de regras de modificação e número de tipos de regras de modificação para prova de Raciocínio abstrato(RA); número de eixos de rotação, sentidos de rotação, faces visíveis dos cubos e presença de estímulos visuais nas bordas das faces dos cubos para Raciocínio espacial (RE); e tipo de conhecimento em Física referente a prova de Raciocínio mecânico (RM).

A partir dessa categorização foram selecionadas as questões a serem aplicadas em cada sessão do experimento. A classificação das questões escolhidas, de acordo com a categorização de Campos (2005), se encontra no Apêndice III.

Após a realização dos mesmos foi utilizada uma metodologia baseada no princípio do Processo Analítico Hierárquico (AHP) para a determinação dos

pesos de cada uma delas. O princípio do Processo Analítico Hierárquico (AHP), segundo Taha (2008), consiste em uma ferramenta de destaque no tratamento de decisões sob certeza, ou seja, nas quais o julgamento subjetivo é quantificado de maneira lógica e depois usado como base de decisão. A partir da porcentagem de acerto de cada uma das questões, foram determinados pesos relativos de acordo com a escala direta de 1 a 9, para comparação dos critérios, em que:

- $a_{ij} = 1$ significa que i e j tem *igual importância*;
- $a_{ij} = 5$ significa que i é *muito mais importante* que j ;
- $a_{ij} = 9$ significa que i é *muííssimo mais importante* que j ;

De forma que se $a_{ij} = k$, $a_{ji} = 1/k$.

Os pesos relativos foram obtidos através da normalização em uma nova matriz, em que foi verificado o nível de consistência da matriz de comparação. Dado w como o vetor coluna nos pesos relativos w_i , $i = 1, 2, \dots, n$, A é considerada consistente se $Aw = n_{max}w$, $n_{max} \geq n$.

A razão de consistência é calculada a partir das equações (30), (31) e (32).

$$CR = \frac{CI(\text{índice de consistência de } A)}{RI(\text{consistênci aleatória de } A)} \quad (30)$$

Em que:

$$CI = \frac{n_{max} - n}{n - 1} \quad (31)$$

$$RI = \frac{1,98(n-2)}{n} \quad (32)$$

De forma, que se $CR \leq 0,1$, o nível é considerado aceitável. O cálculo utilizado para determinação dos pesos encontra-se no Apêndice III.

A tabela 6 apresenta as questões selecionadas para aplicação em cada sessão assim como seus respectivos pesos.

Tabela 6 - Questões utilizadas em cada sessão e seus respectivos pesos

	n° da questão			Pesos		
	20°C	24°C	30°C	20°C	24°C	30°C
RV1	4	1	3	0,23	0,17	0,14
RV2	8	6	7	0,39	0,33	0,20
RV3	12	9	10	0,23	0,33	0,43
RV4	16	14	15	0,14	0,17	0,23
RA1	4	2	3	0,43	0,17	0,33
RA2	11	6	10	0,16	0,15	0,20
RA3	14	9	13	0,21	0,09	0,33
RA4	19	15	16	0,20	0,60	0,14
RM1	2	5	7	0,10	0,10	0,43
RM2	8	6	14	0,23	0,27	0,21
RM3	9	10	16	0,30	0,20	0,21
RM4	20	17	19	0,37	0,44	0,14
RE1	5	1	2	0,10	0,11	0,11
RE2	9	3	13	0,23	0,30	0,25
RE3	11	7	14	0,30	0,22	0,34
RE4	18	15	16	0,37	0,37	0,30
RN1	3	1	2	0,10	0,07	0,10
RN2	7	4	6	0,23	0,20	0,24
RN3	18	11	14	0,30	0,47	0,40
RN4	20	12	19	0,37	0,26	0,26

Fonte: Elaboração própria (2013)

Através da razão entre as notas obtidas em cada teste e o tempo de respostas das mesmas, obteve-se o desempenho dos estudantes para cada teste nas três faixas de temperatura.

O Desempenho em raciocínio total (Drt), portanto, levou em consideração a nota obtida em cada teste, com o respectivo tempo de resposta, distribuídos de acordo com as matrizes a e b.

$$Notas(x) = \begin{matrix} Rv & Ra & Rm & Re & Rn \\ \begin{bmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & x_{1,3} & x_{1,4} & x_{1,5} \\ x_{2,1} & x_{2,2} & x_{2,3} & x_{2,4} & x_{2,5} \\ x_{3,1} & x_{3,2} & x_{3,3} & x_{3,4} & x_{3,5} \\ x_{4,1} & x_{4,2} & x_{4,3} & x_{4,4} & x_{4,5} \end{bmatrix} & \end{matrix} \quad (\mathbf{a})$$

$$Tempo(t) = \begin{matrix} Rv & Ra & Rm & Re & Rn \\ \begin{bmatrix} t_{1,1} & t_{1,2} & t_{1,3} & t_{1,4} & t_{1,5} \\ t_{2,1} & t_{2,2} & t_{2,3} & t_{2,4} & t_{2,5} \\ t_{3,1} & t_{3,2} & t_{3,3} & t_{3,4} & t_{3,5} \\ t_{4,1} & t_{4,2} & t_{4,3} & t_{4,4} & t_{4,5} \end{bmatrix} & \mathbf{(b)} \end{matrix}$$

Com isso pode-se calcular o D_{rt} de cada estudante para cada temperatura, de acordo com a equação (33).

$$D_{rt} = \frac{\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 x_{i,j}}{\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 j_{i,j}} \quad (33)$$

3.5. Tratamento dos dados

Com o tratamento dos dados buscou-se, descrever, analisar e prever relações entre as variáveis. Foi realizado um estudo comparativo, a fim de identificar a relação entre os níveis de conforto estimados a partir das normas internacionais, e a percepção térmica declarada pelos cadetes. Isso se deu a partir do uso de Regressão linear simples.

Da mesma forma, com o uso de regressão polinomial, foi possível obter a curva que correlaciona o desconforto térmico dos indivíduos à temperatura do ambiente.

Por fim, a fim de estabelecer a relação entre os parâmetros de conforto térmico e o desempenho dos estudantes, como variável resposta, identificando sua relação de influência, fez-se uso de Modelos Lineares Generalizados, sendo o tratamento dos dados realizado com o auxílio do *software* R.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados encontrados na pesquisa a partir dos procedimentos metodológicos traçados. São demonstrados valores observados das variáveis ambientais, o desempenho alcançado pelos cadetes nos testes de raciocínio, assim como a comparação entre percepção térmica dos indivíduos e o calculado pelas normas internacionais.

4.1. Análise dos questionários

Após o tratamento das informações e a retirada de dados espúrios a amostra do estudo passou a ser de 20 cadetes dos quais 17 são homens e 3 mulheres. Garantiu-se, dessa forma, que todos da amostra responderam ao questionário de avaliação térmica assim como ao teste de desempenho.

A média de idade observada foi de 26 ± 4 anos. O peso médio declarado foi de $59,3 \pm 4,72$ kg para mulheres e $76,6 \pm 5,54$ kg para os homens. A altura média encontrada foi de $1,63 \pm 0,01$ m para mulheres e $1,72 \pm 0,05$ m para homens.

Para a coleta da percepção dos mesmos, os ocupantes preencheram um questionário, baseado na norma ISO 10551/1995. As tabelas 7, 8 e 9, apresentam a síntese do que foi declarado pelos participantes para cada faixa de temperatura estudada.

Tabela 7–Porcentagem de votos para percepção térmica para cada faixa de temperatura

Percepção Térmica		20°C	24°C	30°C
Muito Frio	-3	0%	0%	0%
Frio	-2	33,3%	0%	0%
Levemente Frio	-1	50%	17%	0%
Confortável	0	8,3%	25%	0%
Levemente Quente	1	0%	50%	8%
Quente	2	8,3%	8%	42%
Muito Quente	3	0%	0%	50%

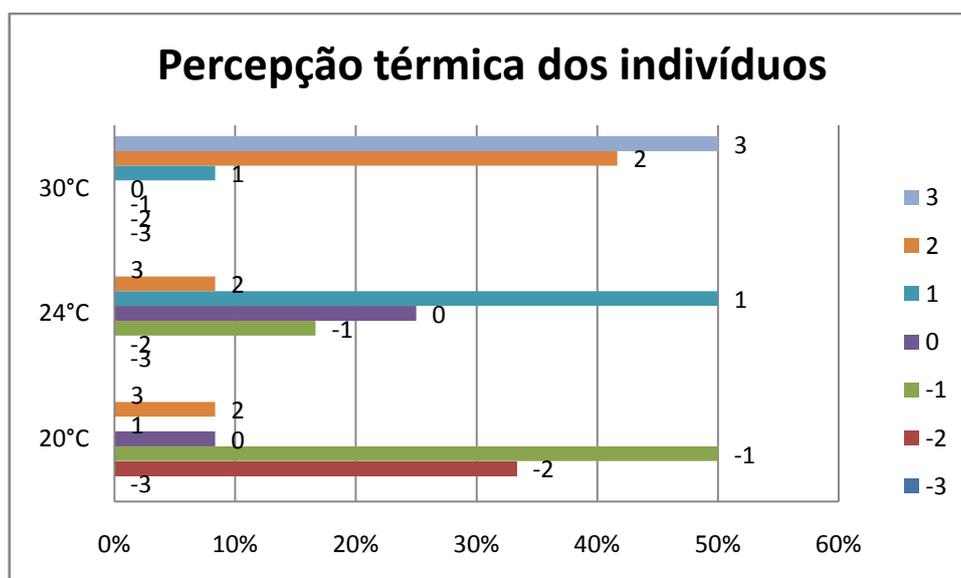
Fonte: ISO 10551/1995

O gráfico 1 facilita a visualização dos votos dos participantes, por faixa de temperatura. Observa-se que a 20°C 83,3% dos participantes declaram sentir-se “levemente frio” ou “frio” (-1 e -2). O PMV calculado a partir das variáveis coletadas é de aproximadamente -1, ou seja, 50% dos estudantes declaram uma sensação térmica diferente da estimada pela norma ISO 7730/2005.

Para 24°C o PMV estabelecido está entre -0,35 e -0,1, ou seja, na zona de conforto, entretanto apenas 25% dos indivíduos declaram estar confortáveis, tendo 50% declarado sentir-se “levemente quente”.

Em relação à sessão de 30°C, o PMV encontrado está entre 1,75 e 1,94, enquanto 50% dos estudantes declaram se sentir o ambiente como “muito quente”.

Gráfico 1 - Percepção térmica dos estudantes



Fonte: Pesquisa direta (2013)

Apesar de no questionário de sensação térmica a maioria dos cadetes declaram estar sentindo-se “levemente frio” ou com “frio”, quando avaliado o ambiente térmico (tabela 8), 83,3% declaram estar se sentindo “confortável”. Ou seja, a sensação de frio não foi associada ao desconforto declarado por parte dos mesmos. Já aos 24°C, mesmo 42% dos estudantes tendo declarado sentirem-se levemente com frio ou confortável, 67% declaram estar “levemente desconfortável” com o ambiente. Na sessão de 30°C 92% dos cadetes

declararam estar se sentindo “inconfortável” ou “muito inconfortável”, confirmando o declarado previamente na sensação térmica.

Tabela 8–Porcentagem de votos para Avaliação térmica para cada faixa de temperatura

Avaliação Térmica		20°C	24°C	30°C
Confortável	0	83,3%	25%	0%
Levemente inconfortável	1	8,3%	67%	8%
Inconfortável	2	8,3%	8%	67%
Muito inconfortável	3	0%	0%	25%

Fonte: ISO 10551/1995

Quanto à preferência térmica, a 20°C, apesar de haverem declarado se sentirem com sensação confortável, 59% dos cadetes desejaram estar “um pouco mais refrescado” ou “mais refrescado”. Aos 24°C, 66,6% desejaram estar um “pouco mais refrescado” ou “mais refrescado”. Sob 30°C todos os estudantes demonstraram desejo de mudança quanto ao ambiente, chegando a 41,7% os que desejaram estar “bem mais refrescado”.

Tabela 9–Porcentagem de votos para preferência térmica para cada faixa de temperatura

Preferência Térmica		20°C	24°C	30°C
Bem mais aquecido	3	0%	0%	0%
Mais aquecido	2	16,7%	0%	0%
Um pouco mais aquecido	1	41,7%	0%	0%
Como está	0	41,7%	33,3%	0%
Um pouco mais refrescado	-1	0%	58,3%	8,3%
Mais refrescado	-2	0%	8,3%	50%
Bem mais refrescado	-3	0%	0%	41,7%

Fonte: ISO 10551/1995

4.2. Conforto e Sensação térmica

As médias relativas a cada variável ambiental medida nas três sessões do experimento se encontram na tabela 10, assim como seu respectivo desvio padrão.

Tabela 10 - Média das variáveis ambientais alcançadas em cada sessão, com nível de significância $\alpha = 95\%$

Variáveis	20°C			24°C			30°C		
	média	DP	$\alpha = 95\%$	média	DP	$\alpha = 95\%$	média	DP	α
ta (°C)	20,28	0,30	0,15	22,99	0,22	0,11	29,50	0,49	0,27
tw (°C)	13,43	0,32	0,16	16,42	0,51	0,25	23,99	1,14	0,63
tg (°C)	22,13	0,09	0,04	25,24	0,31	0,15	29,59	0,59	0,33
RH (%)	43,59	1,64	0,79	49,27	2,53	1,22	62,87	9,31	5,16
tr (°C)	23,26	0,15	0,07	26,56	0,38	0,18	29,64	1,16	0,64
va (m/s)	0,10	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00
PMV	-1,03	0,04	0,02	-0,11	0,10	0,05	1,56	0,17	0,09
PPD	27,60	1,87	0,90	5,44	0,48	0,23	54,40	8,85	4,90

Fonte: Pesquisa direta (2013)

A partir desses valores e dos votos declarados pelos cadetes (tabela 7) foi possível estimar a relação entre a temperatura e a sensação térmica das pessoas, assim como o conforto das mesmas, considerando o intervalo de temperatura de bulbo seco entre 20 e 20°C.

Em relação à sensação térmica, observou-se que a mesma sofre maior influência da temperatura de globo, como mostra o quadro 5. Isso pode ser justificado pelo fato dos mesmos estarem usando notebooks durante o experimento, corroborando para o aumento da radiação não ionizante na sala de aula.

Quadro 5 - Estimativa dos coeficientes do modelo de sensação térmica (ST) x T_g

Coeficiente	Estimativa	Desvio padrão	Valor t	Pr(> t)
Intercept	-11,8075	0,7404	-15,95	<2e-16
tg	0,4842	0,0290	16,70	<2e-16

Fonte: Pesquisa direta (2013)

A partir dos coeficientes do quadro 5 foi possível obter a equação (34) de predição, com $R^2_{ajustado}=0,8424$ e $p\text{-valor}=2,2e-16 < 0,0001$.

$$ST = -11,8075 + 0,4842t_g \quad (34)$$

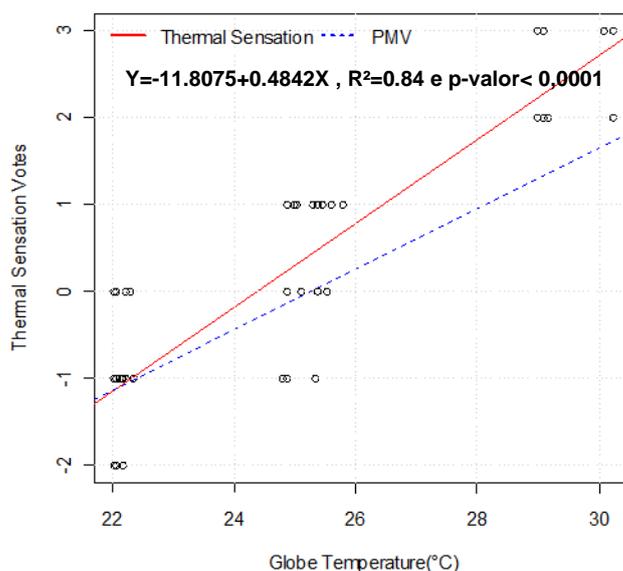
Onde:

ST = Sensação térmica

tg = temperatura de globo

O gráfico 2 apresenta o modelo ajustado versus o PMV calculado pela norma ISO 7730/2005. Observa-se que neste estudo os indivíduos demonstraram preferir o ambiente cuja faixa de temperatura se encontra mais baixa do que o previsto analiticamente. Neste caso, considerando como situação de conforto $ST=0$, temos como temperatura ideal $t_g=24,38^{\circ}\text{C}$.

Gráfico 2 - Correlação entre a sensação térmica e a temperatura de globo versus o PMV calculado



Fonte: Pesquisa direta (2013)

A fim de identificar a temperatura do ar ideal de acordo com o declarado pelos estudantes, identificou-se inicialmente a relação existente entre a temperatura de bulbo seco e a temperatura de globo (equação 35), com $R^2_{ajustado}=0,9495$ e $p\text{-valor}=2,2e-16 < 0,0001$.

$$t_a = -7,0679 + 1,2197t_g \quad (35)$$

Portanto, substituindo $t_g=24,38^{\circ}\text{C}$ na equação (35) obtemos a temperatura do ar ideal de acordo com a sensação térmica das pessoas, que é $t_a=22,66^{\circ}\text{C}$. Observa-se que temperatura de melhor aceitação pelos estudantes é menor que 25°C , temperatura em que a maioria das pessoas se

encontravam em neutralidade ou conforto térmico, no estudo realizado por Lan *et al.* (2009).

Por sua vez, a partir dos votos quanto à avaliação do conforto térmico do ambiente (tabela 8), foi possível estabelecer com o auxílio de modelagem matemática polinomial, uma relação entre a mesma e o ambiente térmico. A estimativa dos coeficientes assim como seus respectivos desvio-padrão, valor t e $\Pr(>|t|)$, se encontram no quadro 6.

Quadro 6 - Estimativa dos coeficientes do modelo de avaliação térmica (AT)

Coeficiente	Estimativa	Desvio padrão	Valor t	Pr(> t)
Intercept	22,7212	8,5296	2,664	0,01037
tg	-1,9758	0,6646	-2,973	0,00453
tg ²	0,0435	0,0128	3,400	0,00133

Fonte: Pesquisa direta (2013)

Logo, com $R^2_{ajustado}=0,6599$ e $p\text{-valor}=7,34e-13 < 0,0001$, a relação encontrada entre a avaliação do conforto térmico do ambiente, percebido pelos indivíduos, e a temperatura do ar formulada na equação (36).

$$AT = 22,7212 - 1,9758.tg + 0,0435.tg^2 \quad (36)$$

Onde:

AT= Avaliação térmica dos indivíduos

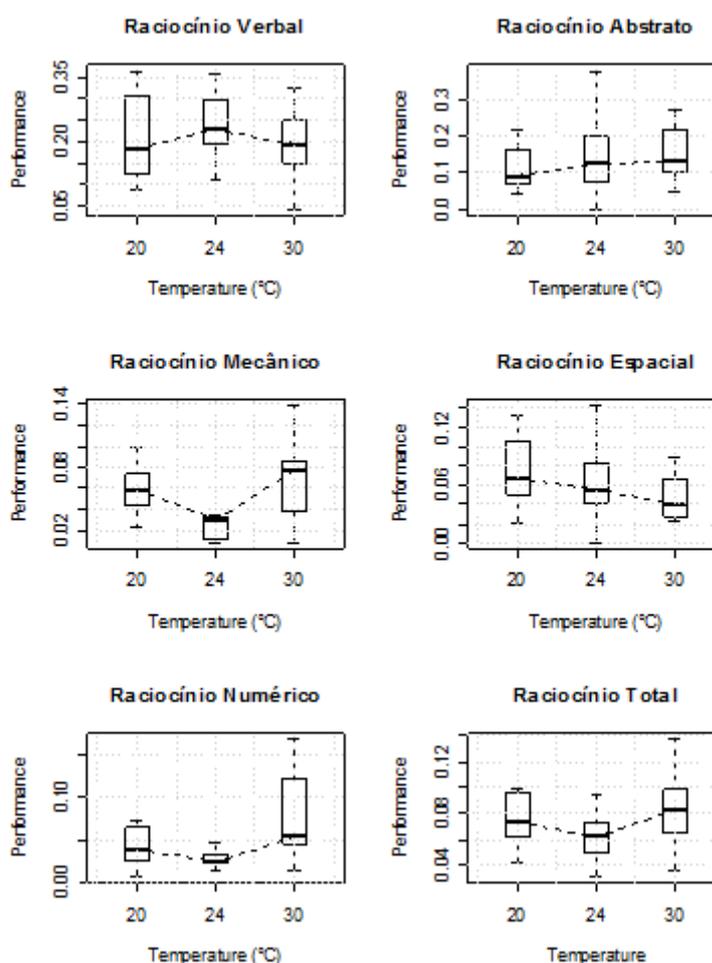
tg=temperatura de globo

O gráfico 3 ilustra a relação entre os votos de avaliação térmica do ambiente (tabela 8) e a temperatura de globo, cuja curva polinomial apresenta ponto de inflexão em torno de 22,71°C. A partir da relação estabelecida na equação 35, podemos estimar como temperatura ideal $t_a=20,63^\circ\text{C}$.

Percebe-se que a temperatura estimada de conforto térmico, de acordo com a avaliação térmica do ambiente por parte dos indivíduos, é de aproximadamente 21°C, apesar da sensação térmica de neutralidade direcioná-la para aproximadamente 23°C.

verbal (Rv) e Raciocínio abstrato (Ra), por sua vez, os resultados permaneceram praticamente constantes. O único teste que demonstrou considerável queda de rendimento com o aumento de temperatura foi o de Raciocínio Espacial (Re). É interessante observar que nos testes de raciocínio mecânico (Rm) e Raciocínio numérico (Rn) os estudantes obtiveram melhores resultados na sessão de 30°C, se comparado com a temperatura mais amena de 24°C.

Figura 11 - O efeito da temperatura no desempenho dos estudantes



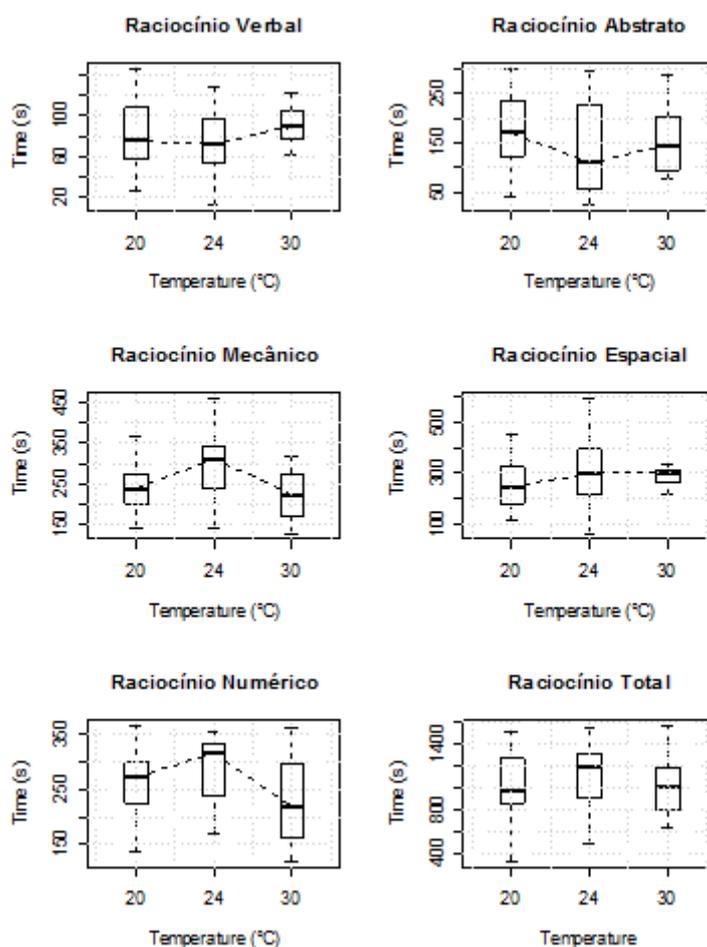
Fonte: Pesquisa direta (2013)

A figura 12, por sua vez, mostra como as variáveis ambientais influenciaram no tempo de resposta dos indivíduos. Observa-se que em geral os estudantes levaram mais tempo ao responder os testes na temperatura de 24°C, o que pode ter acontecido por se tratar da primeira sessão, e os mesmos

haverem desenvolvido uma forma mais rápida de resolver as questões durante as demais sessões, o que, por sua vez, explica a queda no desempenho durante as mesmas, tendo em vista que o desempenho é inversamente proporcional ao tempo de resposta.

Quanto à sessão de 30°C, observou-se que os indivíduos demonstraram estar motivados a finalizar os testes com maior velocidade, a fim de que a temperatura do ambiente fosse melhorada, o que pode explicar a redução no tempo de resposta.

Figura 12 - Efeito da temperatura no tempo de resposta



Fonte: Pesquisa direta (2013)

A disposição gráfica do desempenho dos estudantes, assim como o tempo de resposta para cada uma das provas, não é suficiente para assegurar que houve variações de desempenho a partir das mudanças de temperatura. Com isso, para a avaliação da distribuição estatística dos dados foi utilizado o teste Kruskal-Wallis, que deve ser adotado nas situações em que a ANOVA

paramétrica não possa ser utilizada, ou seja, quando as k amostras não provêm de populações normais ou quando as variâncias são muito heterogêneas.

Os valores médios do tempo de resposta em segundos e do desempenho nos testes raciocínio, assim como, seus respectivos desvios-padrão, para cada faixa de temperatura do ar encontram-se nas tabelas 11 e 12.

Tabela 11 - Média e desvio padrão do tempo de resposta

Item	Tempo de resposta (s)						Kruskal-Wallis	
	20°C		24°C		30°C		chi-squared	p
Rv	85,68	35,19	77,63	39,72	93,87	38,70	1,785	0,4096
Ra	178,42	73,12	137,37	91,81	156,53	73,86	2,8451	0,2411
Rm	231,84	80,26	284,84	102,44	225,53	64,14	6,7255	0,03464
Re	257,37	105,43	313,89	135,83	306,73	77,62	2,7939	0,2473
Rn	262,89	80,42	282,89	63,11	227,33	83,79	4,1796	0,1237
Rt	1016,21	303,00	1096,63	300,27	1010,00	260,56	1,4281	0,4896

Fonte: Pesquisa direta (2013)

Observa-se na tabela 11, com 5% de significância, que quanto ao tempo de resposta, apenas os relativos às provas de raciocínio mecânico (Rm) apresentaram variação significativa, com p valor igual a $0,03464 < 0,05$, levando menor tempo para a realização do teste nas temperaturas mais críticas (20 e 30°C). Ou seja, não houve variação significativa no tempo necessário para a realização dos demais testes, independente da temperatura do ambiente.

Tabela 12 - Média e desvio padrão das provas de raciocínio

Item	Desempenho						Kruskal-Wallis	
	20°C		24°C		30°C		chi-squared	p
Rv	0,2297	0,1627	0,3824	0,4234	0,2153	0,1274	3,9862	0,1363
Ra	0,1321	0,1051	0,1792	0,1931	0,1513	0,0725	1,5229	0,4670
Rm	0,0971	0,1592	0,0593	0,1131	0,0656	0,0371	9,4355	0,0089
Re	0,0747	0,0329	0,0607	0,0371	0,0472	0,0227	5,0312	0,0808
Rn	0,0503	0,0374	0,0290	0,0124	0,0781	0,0512	11,2789	0,0036
Rt	0,0836	0,0388	0,0649	0,0274	0,0824	0,0279	5,937	0,0514

Fonte: Pesquisa direta (2013)

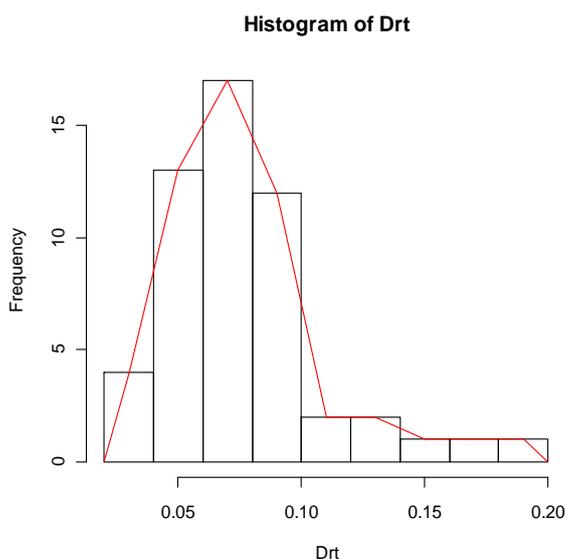
Quanto ao desempenho nas provas de raciocínio (tabela 12), levando em consideração as notas obtidas nos testes e o tempo de realização dos mesmos, houve variação significativa apenas no desempenho em Raciocínio mecânico (Rm) ($p=0,0089$) e no Raciocínio numérico (Rn) ($p= 0,0036$) entre as faixas de temperatura em que os estudantes obtiveram melhor desempenho na sessão a 30°C.

Não houve redução significativa do desempenho dos estudantes quanto à variação de temperatura do ar, considerando os testes individualmente. Por outro lado, é de suma importância identificar qual foi a influência da temperatura do ar sobre o desempenho total dos participantes.

4.3.1. Modelagem Matemática

Para a estimação da influência das variáveis ambientais sobre o desempenho total dos participantes durante o experimento, optou-se por utilizar o índice Drt, relativo ao desempenho total dos estudantes em função do tempo, obtido a partir da equação 30. Inicialmente, construiu-se um histograma (gráfico 4) a fim de visualizar a distribuição dos dados referentes ao Drt.

Gráfico 4 - Distribuição de frequência Drt



Fonte: Pesquisa direta (2013)

Observa-se que a mesma se aproxima de uma distribuição da família exponencial, o que permitiu uma abordagem a partir de Modelos Lineares Generalizados.

As variáveis pessoais como sexo, peso e altura foram rejeitadas dos modelos, restando apenas variáveis de natureza ambiental. Com isso, foram gerados modelos cujas variáveis dependentes partiam da temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, temperatura de globo, umidade relativa do ar, velocidade do ar e temperatura radiante média, sendo estas retiradas do modelo de acordo com a significância dos coeficientes obtidos para cada um dos modelos testados. Cada modelo foi sumarizado de forma a elencar as variáveis, seus coeficientes e p-valores, de forma que àquela com maior p-valor, contanto que acima de 0,05, era retirada e realizada uma nova sumarização. Esse procedimento foi repetido para todos os modelos gerados.

Foram gerados modelos para as distribuições gaussiana inversa, gamma e gaussiana, combinados para suas possíveis famílias de ligação, totalizando 10 (dez). Os modelos obtidos foram comparados a partir da estatística de razão de verossimilhanças, através da comparação dos valores observados com os valores preditos.

Segundo Fox (2008), o desvio residual para um GLM é dados pela equação (37):

$$D_m \equiv 2(\log_e L_s - \log_e L_m) \quad (37)$$

L_m é a probabilidade maximizada sob o modelo em questão e L_s é a probabilidade maximizada sob um modelo saturado. O desvio escalar, por sua vez, é obtido dividindo-se o desvio residual pela dispersão estimada (equação 38).

$$D^* = \frac{D_m}{\hat{\phi}} \quad (38)$$

Tabela 13–Distribuições e links testados, e seus respectivos desvios residuais

Distribuição	Link	D/ $\hat{\phi}$
	$1/\mu^2$	46,88031
Inverse.gaussian	identity	44,62929
	log	46,04985

	Inverse	48,31998
	Inverse	41,41291
Gamma	Identity	40,86737
	log	44,39374
Gaussian	Identity	49,00000
	Log	49,99896
	Inverse	48,99966

Encontrado a menor razão entre o desvio e a dispersão, o mesmo deve atender a seguinte restrição, $\frac{D}{\sigma} < X_{n-p;\alpha}^2$, para que o mesmo seja aceito. Caso contrário, rejeita-o ao nível de significância α .

Como mostra a tabela 13, a menor razão entre o desvio e a dispersão foi obtida pela família gamma, com link *identity*. Entretanto, o mesmo não atendeu ao teste de normalidade, exigência para validação.

Após a realização dos testes de verificação para os demais modelos, àquele que se mostrou mais adequado foi o da família gaussiana inversa, com link log e $X_{0,95;50}^2 = 67,5048$.

O quadro 7 apresenta a estimativa dos coeficientes do modelo e seus respectivos erros padrões, valores de t e probabilidades.

Quadro 7 - Estimativa dos coeficientes do modelo

Coeficiente	Estimativa	Desvio padrão	Valor t	Pr(> t)
ta	0,19483	0,04788	4,069	0,000168
tg	-0,37523	0,05263	-7,130	3,76e-09
RH	0,04511	0,01244	3,627	0,000673

Fonte: Pesquisa direta (2013)

Em que:

ta = temperatura de bulbo seco

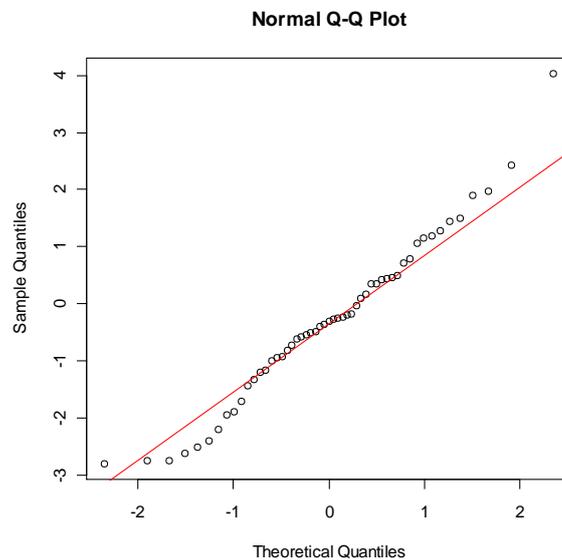
tg = temperatura de globo

RH = umidade relativa

Observa-se que os p-valores < 0,05 validam a estimativa dos coeficientes de ta, tg e RH, sendo necessários outros testes que validem a consistência do modelo.

Quanto ao pressuposto da normalidade dos resíduos, pôde-se observar que no gráfico 5 que os pontos referentes ao desvio residual se encontram próximos da reta da normalidade.

Gráfico 5 - Normalidade dos resíduos

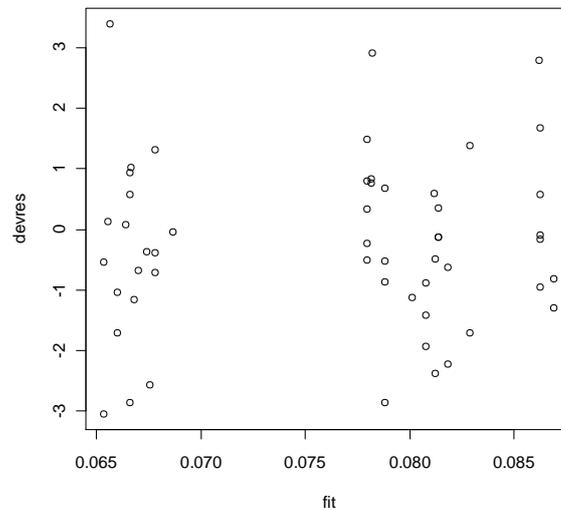


Fonte: Pesquisa direta (2013)

A fim de comprovar o observado graficamente, tendo em vista o tamanho reduzido da amostra, foi utilizado o teste Shapiro-Wilk de normalidade, obtendo-se $W = 0,9797$, $p\text{-value} = 0,3514$. Logo, com nível de significância de 0,05 não se pode rejeitar a hipótese H_0 que presume que o desvio vem de uma população com distribuição normal.

O gráfico 6, por sua vez, mostra que os resíduos padronizados apresentam-se de forma aleatória.

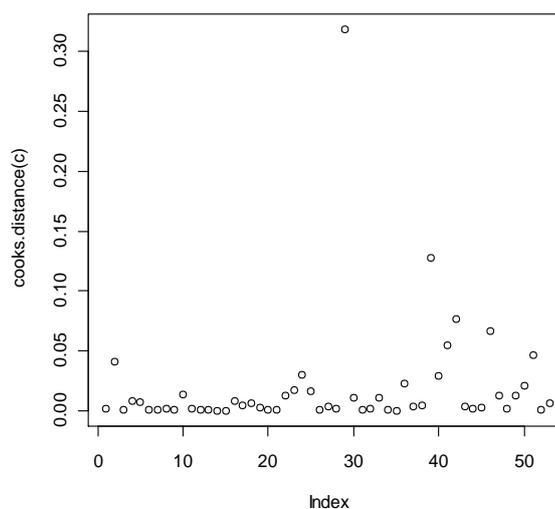
Gráfico 6 - Resíduos x Preditor linear



Fonte: Pesquisa direta (2013)

A distância de Cook (D_i) é usada para avaliar a influência de modelos de regressão, ou seja, se há pontos que possam exercer um peso desproporcional nas estimativas dos parâmetros do modelo. Conforme Cook & Weisberg (1982) a distância de Cook desejável deve ser inferior a 1. Para McDonald (2002), por sua vez, o critério para identificar se um ponto é um ponto de influência é que D_i exceda a média de distribuição $F_{p, n-p}$, em que p é o número de parâmetros do modelo regressivo, de forma que $D_i > 0,7$ para $p=2$, $D_i > 0,8$ para $p=3$, $D_i > 0,85$ para $p > 3$. O gráfico 7 mostra que o modelo atende a ambas as abordagens.

Gráfico 7 – Distância de Cook



Fonte: Pesquisa direta (2013)

Com isso, ratifica-se a consistência do modelo. Dessa forma, com base nas informações das estimativas apresentadas no quadro 7, substituindo os respectivos coeficientes β_1, β_2 e β_3 tem-se:

$$\beta_1 = 0,19483;$$

$$\beta_2 = -0,37523;$$

$$\beta_3 = 0,04511;$$

Dessa forma, temos:

$$\eta = 0,19483t_a - 0,37523t_g + 0,04511RH.$$

Entretanto, tendo em vista que a função de ligação utilizada no modelo, em que $g(\mu) = \log \mu = \eta$, ou seja, $\mu = \exp(\eta)$, logo,

$$\mu = \exp(0,19483t_a - 0,37523t_g + 0,04511RH)$$

Ou seja:

$$\mu = \frac{\exp(0,19483t_a + 0,04511RH)}{\exp(0,37523t_g)}$$

Portanto, o modelo matemático que estima o desempenho relacionado à capacidade de raciocínio em função da temperatura de bulbo seco, temperatura de globo e umidade relativa do ar pode ser representado de acordo com a equação (39).

$$Drt = \frac{[\exp(t_a)]^{0,19483} [\exp(RH)]^{0,04511}}{[\exp(t_g)]^{0,37523}} \quad (39)$$

O modelo permite identificar que o desempenho dos estudantes, durante o experimento, teve um comportamento inversamente proporcional à temperatura de globo, ou seja, dentre as variáveis encontradas na equação 39, a única cujo aumento demonstrou causar redução no desempenho dos estudantes foi a temperatura de globo, que reflete o balanço entre o calor recebido ou perdido pela radiação e pela convecção.

Observa-se que a temperatura de globo foi a variável de maior influência sobre a sensação de conforto térmico individual (equação 34) e avaliação do ambiente térmico por parte dos estudantes (equação 36).

De acordo com Faraway (2006) sabendo-se que a proporção da variância explicada (R^2) é uma importante medida de ajuste de um modelo linear padrão, é possível usar a aplicação do mesmo conceito para verificar a proporção da estatística *Deviance* (medida de desvio do modelo) explicada por um MLG. Segundo Fox (2008), pode-se basear um MLG análogo ao quadrado da correlação múltipla do desvio residual, em que D_0 é o desvio residual para o modelo de regressão incluindo apenas a constante α , denominado o desvio nulo, e D_1 o desvio residual para o modelo em questão. Dessa forma, a equação (40) representa a percentagem do desvio nulo contabilizadas pelo modelo.

$$R^2 = 1 - \frac{D_1}{D_0} \quad (40)$$

Com isso foi possível obter $R^2 = 0,8497$ o que significa que aproximadamente 85% da variação do desempenho, de acordo com o modelo MLG (equação 39), pode ser explicada através da temperatura de bulbo seco, temperatura de globo e umidade relativa do ar.

CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES

A sensação de conforto térmico resulta do efeito conjugado de diversas variáveis, sendo estas de natureza ambiental e pessoal, o que dificulta a sua caracterização por parte dos indivíduos. Isso é observado em estudos realizados ao redor do mundo, em que usuários de determinados ambientes consideravam aceitáveis níveis de temperatura estipulados como desconfortáveis pelas normas internacionais.

Os efeitos da temperatura sobre a produtividade dos trabalhadores, nas mais diversas atividades, vem sendo foco de diversos trabalhos, entretanto, poucos são voltados para o âmbito educacional. Com isso, esse trabalho teve como objetivo identificar os efeitos causados pelo desconforto térmico sobre o desempenho dos estudantes, sendo realizado no Centro de Academia da Polícia Militar do Cabo Branco, durante três dias consecutivos, com temperatura ajustada para 20°C, 24°C e 30°C para cada sessão.

Em se tratando da sensação térmica, pode-se observar que a 20°C 83,3% dos participantes declaram sentir-se “levemente frio” ou “frio” (-1 e 1), em que o PMV calculado indicava sensação de aproximadamente -1, ou seja, 50% dos cadetes declararam uma sensação térmica diferente da estimada pela norma ISO 7730/2005. Analogamente, para a temperatura de 24°C, o PMV estabelecido esteve entre -0,35 e -0,1, ou seja, na zona de conforto, entretanto apenas 25% dos indivíduos declararam estar com a sensação confortável, tendo 50% declarado sentir-se “levemente quente”. Já na sessão de 30°C, o PMV encontrado estava entre 1,75 e 1,94, enquanto 50% dos estudantes declaram se sentir o ambiente como “muito quente”.

Os votos declarados pelos estudantes, na maioria dos casos, não estiveram de acordo com os valores calculados analiticamente pela norma ISO 7730/2005. Através da criação do modelo que relaciona a temperatura do ambiente com a sensação térmica dos cadetes foi possível observar que as temperaturas de globo têm maior influência sobre os mesmos. Neste caso, os indivíduos demonstraram preferir o ambiente cuja faixa de temperatura se encontra mais baixa do que o previsto analiticamente, mais precisamente,

auma temperatura de globo igual a 24,38°C, o que implica em uma temperatura de bulbo seco de aproximadamente 22,66°C.

Quanto à avaliação do conforto térmico do ambiente por parte dos cadetes, foi possível estabelecer uma relação entre a temperatura e o ambiente térmico, com o auxílio de modelagem matemática polinomial. Com $R^2_{\text{ajustado}}=0,6599$ e $p\text{-valor}=7,34e-13 < 0,0001$ a temperatura ideal obtida foi aproximadamente 20,63°C.

Com isso, as temperaturas ideais para as sensações de neutralidade térmica e conforto térmico estabelecidas foram de aproximadamente 23°C e 21°C, respectivamente, que reflete numa preferência térmica relativamente baixa, se comparado ao previsto pela norma ISO 7730/2005, o que pode estar relacionado à natureza das vestes dos cadetes, à radiação emitida pelos *notebooks* durante o experimento e a fatores psicológicos relacionados à sala de aula.

Quanto ao desempenho nas provas de raciocínio, observou-se que a temperatura do ambiente interferiu de formas diferentes de acordo com a natureza dos testes. Nas provas de Raciocínio espacial (Re) e numérico (Rn) os melhores resultados foram obtidos na sessão de 20°C. Com exceção da prova de Raciocínio mecânico, não houve variação significativa no tempo necessário para a realização dos testes, independente da temperatura do ambiente. Levando em consideração as notas obtidas nos testes e o tempo de realização dos mesmos, houve variação significativa apenas nos testes de Raciocínio mecânico ($p=0,0089$) e numérico ($p= 0,0036$), em que os cadetes obtiveram melhor desempenho na sessão a 30°C.

Para a estimação da influência das variáveis ambientais sobre o desempenho total dos participantes (Drt) durante o experimento, optou-se por utilizar Modelos Lineares Generalizados, em que o modelo mais adequado obtido foi o da família gaussiana inversa e log como função de ligação.

Verificou-se que as variações no desempenho dos cadetes estivera relacionadas as alterações na temperatura de bulbo seco, temperatura de globo e umidade relativa do ar. O modelo permitiu identificar, com $R^2 = 0,8497$, que o desempenho dos cadetes, durante o experimento, teve um comportamento inversamente proporcional à temperatura de globo.

Estudos realizados por Bandler e Madaras (1975), Lan et. al. (2009), Kut et. al. (2007) demonstraram que fatores emocionais e motivacionais são capazes de interferir na forma como os indivíduos se comportam diante de uma situação de dor ou desconforto. Os estudantes, durante o experimento, demonstraram se sentir motivados para obter bons resultados nos testes, mesmo na situação de maior desconforto (30°C), o que pode estar relacionado à redução no nível de excitação e aumento no desempenho em velocidade e precisão em condições moderadamente quentes, observado por Tham et al. (2010).

Dessa forma, ao contrário do observado por Lan, Wargocki e Lian (2011), os estudantes não tiveram redução significativa no desempenho quanto aos testes psicométricos, individualmente. Pelo contrário, houve sim um aumento do desempenho quanto ao raciocínio numérico (Rn) e mecânico (Rm) na sessão de 30°C, quando comparada a sessão de 24°C.

Por outro lado, é importante ressaltar que os fatores motivacionais que levaram ao bom desempenho dos estudantes durante o experimento nem sempre estão presentes no ambiente escolar em geral, não se podendo generalizar os resultados para tanto.

5.1. Sugestões para estudos futuros

Como propostas para estudos a serem realizados futuramente se encontram:

- Realização de estudos com outras amostras de estudantes em outras regiões para análises comparativas;
- Selecionar academias por regiões que tenham temperaturas mais elevadas e outras mais baixas.
- Estudar os efeitos causados especificamente pela incidência de radiação sobre os indivíduos;

5.2. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKIMOTO, T.; TANABE, S.; YANAI, T, SASAKI, M, Thermal comfort and productivity – Evaluation of workplace environment in a task conditioned Office, Building and Environment, vol 45 (2010), 45-50,

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, Atlanta: ASHRAE, 2004, 28 p,

BAERHR, H, D.; STEPHAN, K, Heat and Massa Transfer, 3^o ed, Springer, 2011,

BAKÓ-BIRO, Z.; KOCHHAR, N.; CLEMENTS-CROOME,; AWBI, H.; WILLIAMS, M, Ventilation Rates in Schools and Learning Performance, In: Proceedings of Clima, , WellBeing Indoors, Helsinki, 2007,

BANDLER JR, R, J.; MADARAS, G, R.; BEM, D, J, Auto-observação com uma fonte de percepção de dor, IN: JOHNSON, H, H.; SOLSO, R, L, Uma Introdução ao planejamento experimental em psicologia: Estudos de caso, São Paulo, EPU, 1975,

BECKER, S.; POTCHTER, O.; YAAKOV, Y. Calculated and observed human thermal sensation in an extremely hot and dry climate. Energy and Buildings, 35: 747–756, Elsevier, 2003.

BERTOLINI, M.; BOTTANI, E. RIZZI, A.; BEVILACQUA, M. Lead time reduction through ICT application in the footwear industry: A case study. International Journal of Production Economics, 110: 198-212, 2007.

CALABRESE, Armando. Service productivity and service quality: A necessary trade-off? Int. J. Production Economics, 135: 800–812, 2012.

CAPOVILLA, A, G, S, (2007), Contribuições da neuropsicologia cognitiva e da avaliação neuropsicológica à compreensão do funcionamento cognitivo humano, Disponível em: <<http://pepsic.bvs-psi.org.br/pdf/cap/v6n11/v6n11a05.pdf>> Acesso em: 14 de março de 2012 às 22:28h,

CAREY, Gregory. Quantitative Methods in Neuroscience. University of Colorado, 2012. Disponível em: <http://psych.colorado.edu/~carey/qmin/qmin.php>. Acesso em: novembro de 2012.

CHENG, Yuanda; NIU, Jianlei; GAO, Naiping. Thermal comfort models: A review and numerical investigation. Building and Environment, 47:13-22, 2012.

CONCEIÇÃO, G, M, S.; SALDIVA, P, H, N.; SINGER, J, M, Modelos MLG e MAG para análise da associação entre poluição atmosférica e marcadores de morbimortalidade: uma introdução baseada em dados da cidade de São Paulo, Rev, bras, epidemiol, vol,4 no,3 São Paulo Nov, 2001

CONTADOR, José Celso. Gestão de operações: a engenharia de produção a serviço da modernização da empresa. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

CORGNATI,S,P.; FILIPPI,M.; VIAZZO, S, Perception of the thermal environment in high school and university classrooms: Subjective preferences and thermal comfort, Science Direct, Buildings and Environment 42 (2007)

DAWAL, S. Z.; TAHA, Z.; ISMAIL, Z. Effect of job organization on job satisfaction among shop floor employees in automotive industries in Malaysia. International Journal of Industrial Ergonomics, 39: 1-6, 2009.

DJONGYANG, N.; TCHINDA, R.; NJOMO, D, *Thermal comfort: A review paper*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 14, Elsevier, 2010,

EBRAHIMIPOUR, V.; AZADEH, A.; REZAIE, K.; SUZUKI, K. A GA-PCA approach for power sector performance ranking based on machine productivity. *Applied Mathematics and Computation*, 186: 1205-1215, 2007.

FANGER, P.O, *Thermal Comfort: Analysis Engineering*, Kingsport: McGraw – Hill, 1970,

FARAWAY, Julian J. *Extending the Linear Model with R: Generalized Linear, Mixed Effects and Nonparametric Regression Models*. London: Chapman&Hall/CRC, 2006

FOX, John. *Applied Regression Analysis and Generalized Linear Models*. 2ª ed., 2008.

FROTA, A.; SCHIFFER, S, *Manual de Conforto Térmico: arquitetura, urbanismo*, — 5, ed, — São Paulo : Studio Nobel, 2001,

GAZZANIGA, M. S.; IVRY, R. B.; MANGUN, G. R. *Cognitive neuroscience: The biology of the mind*, New York: W. W. Norton & Company, 2002.

GIL, Antonio Carlos, *Como elaborar projetos de pesquisa*, 4, Ed, São Paulo: Atlas, 2002,

GUÉRIN, F, *et all*, *Compreender o trabalho para transformá-lo*, Ed, ABDR, São Paulo, 2001,

GUYTON, Arthur C., HALL, John E, *Textbook of Medical Physiology*, Philadelphia, PA: WB Saunders; 2006, pp, 899–900, 11th ed,

HAN, J, ZHANG, G., ZHANG, Q., ZHANG, JIANLONG, L., TIAN, L, ZHENG, C., HAO, J., LIN, J., LIU, Y., MOSCHANDREAS, D.J, *Field study on occupants' thermal comfort and residential thermal environment in a hot-humid climate of China*, *Building and Environment* 2007, 42: 4043-4050,

IEA - Internacional Ergonomics Association, *Definition of Ergonomics*, 2000, Disponível em: <http://www.iea.cc/01_what/What%20is%20Ergonomics.html>, Acesso em: Março de 2012 às 00:37h,

Incropera, F.P, and DeWitt, D.P., *Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa*, 4ª Edição”, LCT Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., São Paulo, Brasil, 1996,

ISO 10551, *Ergonomics of the thermal environment - Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales*, Genebra, 1995,

ISO 7726, *Ergonomics: instruments for measuring physical quantities*, Genève: ISO, 1998,

ISO 7730: *Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*, Geneva, 2005,

ISO 9920, *Ergonomics of the thermal environment -- Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble*, Geneve, ISO: 2007,

KADEFORS, Roland; ENGSTRÖM, Tomas; PETZÄLL, Jan; SUNDSTRÖM, Lars. *Ergonomics in parallelized car assembly: a case study, with reference also to productivity aspects*. *Applied Ergonomics*, 27: 101-110, 1996.

KARWOWSKI, Waldemar *The discipline of ergonomics and human factors*, Capítulo 1, In *Handbook of Human Factors and Ergonomics*, 3ª ed, John Wiley & Sons, USA, 2006,

KROEMER, Karl; KROEMER, Anne. *Office Ergonomics*. Taylor & Francis, New York, 2001. Caps: 1, 2 e 3.

- KUT, Elvan; SCHAFFNER, Nils; WITTEWER, Amrei; CANDIA, Victor; BROCKMANN, Meike; STORK, Claudio; FOLKERS, Gerd, Changes in self-perceived role identity modulate pain perception, *Pain*, 131, Elsevier, 2007,
- KWOK, A,G.; CHUN, C, Thermal Comfort in Japanese Schools, Elsevier, *Solar Energy*; vol 74, p 245-252 ; 2003,
- LAMBERTS,R; XAVIER, A, A, P, Conforto térmico e stress térmico, Apostila, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002,
- LAN, Li; LIAN, Zhiwei; PAN, Li; YE, Qian, Neurobehavioral approach for evaluation of office workers' productivity: The effects of room temperature, *Building and Environment*, 2009, 44: 1578-1588,
- LAN, Li; WARGOCKI, Pawel; LIAN, Zhiwei, Quantitative measurement of productivity loss due to thermal discomfort, *Energy and Buildings*, 2011, Vol 43: 1057-1062,
- LEE, B. L.; RAO, D. S. P.; SHEPHERD, W. Comparisons of real output and productivity of Chinese and Indian manufacturing, 1980–2002. *Journal of Development Economics*, 84: 378-416, 2007.
- LEE, M, C.; MUI, K, W.; WONG, L, T.; CHAN, W, Y.; LEE, E, W, M.; CHEUNG, C, T, Student learning performance and indoor environmental quality (IEQ) in air-conditioned university teaching rooms, *Building and Environment* 49 (2012) 238 – 244,
- Lezak, M, D, (1994), Domains of behavior from a neuropsychological perspective: The whole story, In: W, Spaulding (Ed.), *Nebraska Symposium on Motivation* (pp, 1992-1993), Lincoln: University of Nebraska Press,
- LIN, Z.; DENG, S, *A study on the thermal comfort in sleeping environments in the subtropics—developing a thermal comfort model for sleeping environments*, *Building and Environment*, 43:70–80, 2008,
- LINS, F, G, A, A, Predição De Conforto Térmico Em Climas Tropicais Com Regionalização Dos Parâmetros De Normas Internacionais, 2005, Disponível em: www.higieneocupacional.com.br/download/conforto-lins.pdf, Acesso em: Novembro de 2010,
- MÁSCULO, F, S, *Ergonomia, higiene e segurança do trabalho*, In: Capítulo 6, BATALHA, MO, organizador, *Introdução à Engenharia de Produção*, Elsevier, Rio de Janeiro, 2008,
- MONTEIRO, L, M, Modelos preditivos de conforto térmico: quantificação de relações entre variáveis microclimáticas e de sensação térmica para avaliação e projeto de espaços abertos, Tese (Doutorado – Tecnologia da Arquitetura) – FAUUSP, São Paulo, 2008,
- MORAN, Michael J.; SHAPIRO, Howard N, *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, 5º ed, Wiley, 2006,
- MORS,S.;HENSEN, J,L,M.;LOOMANS, M,G,L,C.; BOERSTRA,A,C, Adaptive thermal comfort in primary school classrooms: Creating and validating PMV-based comfort charts, ELSEVIER- *Building and Environment* (2011)
- NATARAJ, Shanthi. The impact of trade liberalization on productivity: Evidence from India's formal and informal manufacturing sectors. *Journal of International Economics*, 85: 292-301, 2011.
- NIEMELÄ, R.; HANNULA, M.; RAUTIO, S.; REIJULA, K.; RAILIO, J, The effect of air temperature on labour productivity in call centres - a case study, *Energy and Buildings*, vol 34 (2002), 759-764,

Olesen, B, 2005, Indoor environment – health-comfort and productivity, Proceedings of Clima 2005, Lausanne

PARSONS, K, C, The effect of gender, acclimation state, the opportunity to adjust clothing and physical disability on requirements for thermal comfort, Energy and Buildings, Elsevier, 2002,

RAMSTETTER, Eric D. Labor productivity, wages, nationality, and foreign ownership shares in Thai manufacturing, 1996–2000. Journal of Asian Economics, 14: 861-884, 2004.

RUPMPB - REGULAMENTO DE UNIFORMES DA POLÍCIA MILITAR DA PARAÍBA. Disponível em: http://www.pm.pb.gov.br/pagina.php?conteudo=informacoes&sub=inf_rupm. Acesso em: Setembro de 2012.

ROELOFSEN, P, The impact of office environments on employee performance: The design of the workplace as a strategy for productivity enhancement, Journal of Facilities Management, Vol, 1 Iss: 3, pp,247 – 264,

RORIZ, Mauricio, Zona de conforto térmico - um estudo comparativo de diferentes abordagens, São Carlos, EESC/SAP, 1987

SHELLEN, L.; LOOMANS, M. G. L. C.; KINGMA, B. R. M.; WIT, M. H.; FRIJNS, A. J. H.; VAN MARKEN LICHTENBELT, W. D. The use of a thermophysiological model in the built environment to predict: Coupling with the indoor environment and thermal sensation. Building and Environment, 59: 10-22, 2013.

SCHNEIDER, Mark, Do School Facilities Affect Academic Outcomes? Washington, DL: National Clearinghouse for Educational Facilities, 2002,

Seppänen, O.; FISK, W,J.; LEI, Q,H, Effect of temperature on task performance in office environment, IN: 5th International Conference on Cold Climate Heating, Ventilating, and Air Conditioning, 2005: Moscow,

SIEMENSLAB, Temperature Detection and Thermoregulation, <http://www.siemenslab.de/research_detection.html>, Acesso em: Fevereiro de 2012 às 09:00h,

SILVA, J, R, S, ; IDALINO, R, C, L, ; LUCIO, P, S, , Caracterização Climática das Capitais Nordestinas Através do DFA e SampEn, 2010

SILVA, L. B. Análise da relação entre Produtividade e conforto térmico: o caso dos digitadores do centro de processamento de dados da Caixa Econômica Federal de Pernambuco. Florianópolis, 2001. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. Administração da Produção. 3. Ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SONNTAG, R, E,; BORGNAKKE, C,; WYLEN, G, J, V, Fundamentos da Termodinâmica, Tradução da 6ª Edição Americana, São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2003,

STERNBERG, R,J, Psicologia Cognitiva, Porto Alegre: Ed, ArtMed, 2000,

STESKENS P.; LOOMANS, M. G. L. C. Performance indicators for health, comfort and safety of the indoor environment. Clima, 2010 e X REHVA World Congress. Antalya, Turkey, 2010.

THAM, K, W,; Tham*, WILLEM, Henry Cahyadi, Room air temperature affects occupants' physiology, perceptions and mental alertness, Building and Environment 45 (2010) 40–44

THERMOANALYTICS, Human Technology Overview, Disponível em:
<http://www.thermoanalytics.com/human_simulation_technology>, Acesso em:
Fevereiro de 2012 às 11:21h

THUN Jörn-Henrik; LEHR, Christian B.; BIERWIRTH, Max. Feel free to feel comfortable—An empirical analysis of ergonomics in the German automotive industry. *Int. J. Production Economics*, 133: 551–561, 2011.

TURKMAN, Maria A. Amaral, SILVA, Giovani Loiola. Modelos Lineares Generalizados – da teoria à prática, Universidade de Lisboa, 151p, 2000.

VERGARA, S, C, Projetos e relatórios de pesquisa em administração, 3, ed, São Paulo: Atlas, 2000,

VIEIRA, Antonio Fernando de Castro. Análise da Média e Dispersão em Experimentos Fatoriais não Replicados para Otimização de Processos Industriais. Tese (doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, 2004.

WARGOCKI, P; WYON, D, P, Effects of HVAC on student performance, *ASHRAE Journal*, 10 (2006) 22-28,

WONG, N, H,; KHOO, S, S, Thermal comfort in classrooms in the tropics, *Energy and Buildings*, vol 35 (2003) 337–351,

WYON, David, *The mental performance of subjects clothed for comfort o two different air temperatures*, *Ergonomics*, 1975, v, 18, p, 4,

XAVIER, A, A, P, Predição de conforto térmico em ambientes internos com atividades sedentárias, teoria física aliada a estudos de campo, Florianópolis, Tese, Doutorado em Engenharia de Produção, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 2000,

XAVIER, A, A, P,; Condições de Conforto Térmico para estudantes de 2º grau na região de Florianópolis, 1999, Dissertação, mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999,

YAU, Y, H; CHEW, B, T, *Thermal comfort study of hospital workers in Malaysia*, *Indoor Air*, 19: 500–510, 2009.

PRIMI, Ricardo; ALMEIDA, Leandro S. Estudo de Validação da Bateria de Provas de Raciocínio (BPR-5). *Psicologia: Teoria e Pesquisa*. Vol. 16: 165-173, 2000.

ALMEIDA, Leandro S.; PRIMI, Ricardo. Perfis de capacidades cognitivas na Bateria de Provas de Raciocínio (BPR-5). *Psicologia Escolar e Educacional*, 8:135-144, 2004.

TINOCO, Denise Hernandez. *Psicologia da aprendizagem*. Apostila, Pós-graduação em Psicopedagogia, Centro Universitário Católica Salesiano Auxilium, Lins–SP, 2007. Disponível em:

http://www.salesianolins.br/~notas/apostilas/Pos_Graduacao/Metodologia%20do%20Ensino%20Superior/Psicologia%20da%20Aprendizagem/PsicologiaAprendizagem.pdf. Acesso em: Janeiro de 2013.

INÁCIO, Magda. Manual do Formando - O Processo de Aprendizagem. Manual de formação em contexto de trabalho, Formação de Tutores. Lisboa, 2007

COOK, R. Dennis; WEISBERG, Sanford. Residuals and influence in regression, New York, NY: Chapman & Hall, 1982. Disponível em:
http://conservancy.umn.edu/bitstream/37076/1/Cook_Weisberg_Residuals_and_Influence.pdf

McDONALD, Barry. A Teaching Note on Cook's Distance - A Guideline. *Res. Lett. Inf. Math. Sci.* (2002), 3, 127-128

FIELD, Andy; MILES, Jeremy; FIELD, Zoë. Discovering statistics using R.LA, USA: Sage, 2012.

Campos, H. R. Análise de Conteúdo e sua Relação com a Dificuldade dos Itens da Bateria de Provas de Raciocínio (BPR-5). Dissertação de Mestrado, Universidade São Francisco, Itatiba, São Paulo, 2005.

NAKANE, Marcio I. WEINTRAUB, Daniela B. Bank Privatization and Productivity: Evidence for Brazil. World Bank Policy Research Working Paper No. 3666, 2005.

TAHA, H. A. Pesquisa Operacional. 8. ed. São Paulo: Pearson, 2008.

FÄRE, Rolf; GROSSKOPF, Shawna; ROOS, Pontus. Productivity and quality changes in Swedish pharmacies. International Journal of Production Economics, v. 39, n. 1, p. 137-144, 1995.

APÊNDICE I - Questionário das variáveis perceptivas

Obrigada por sua participação neste estudo, Preencha com atenção para garantir a fidelidade da pesquisa,

Nome: _____

1, Sexo () Fem, () Masc,

2, Idade _____ 3, Peso _____ 4, Altura _____

Data: / / 2012

Hora: _____

5, Tabela de percepção (ISO 10551/95) **“Com relação à sua sensação térmica, como você está se sentindo neste momento?”**

Com muito calor	<input type="checkbox"/>
Com calor	<input type="checkbox"/>
Com um pouquinho de calor	<input type="checkbox"/>
Bem, nem com calor nem com frio	<input type="checkbox"/>
Com um pouquinho de frio	<input type="checkbox"/>
Com frio	<input type="checkbox"/>
Com muito frio	<input type="checkbox"/>

6, Tabela de avaliação (ISO 10551/95) **“De que maneira você se encontra neste momento?”**

Confortável	<input type="checkbox"/>
Levemente inconfortável	<input type="checkbox"/>
Inconfortável	<input type="checkbox"/>
Muito inconfortável	<input type="checkbox"/>

7, Tabela de preferências térmicas (ISO 10551/95) “Como você preferia estar se sentindo agora?”

Bem mais aquecido	<input type="checkbox"/>
Mais aquecido	<input type="checkbox"/>
Um pouco mais aquecido	<input type="checkbox"/>
Como está	<input type="checkbox"/>
Um pouco mais refrescado	<input type="checkbox"/>
Mais refrescado	<input type="checkbox"/>
Bem mais refrescado	<input type="checkbox"/>

6, Que vestimenta você está usando, neste momento? Assinale cada peça,

Meias:	
compridas finas (femininas)	<input type="checkbox"/>
curtas, finas	<input type="checkbox"/>
grossa, tipo soquete	<input type="checkbox"/>
Camisa ou blusa:	
sem manga	<input type="checkbox"/>
manga curta, fina	<input type="checkbox"/>
manga curta, grossa	<input type="checkbox"/>
manga longa, fina	<input type="checkbox"/>
manga longa, grossa	<input type="checkbox"/>
Vestido:	
curto, fino	<input type="checkbox"/>
curto, grosso	<input type="checkbox"/>
longo, fino	<input type="checkbox"/>
longo, grosso	<input type="checkbox"/>
Saia:	
até joelho, jeans ou espessura grossa	<input type="checkbox"/>
longa, jeans ou espessura grossa	<input type="checkbox"/>
até o joelho, mais fina que jeans	<input type="checkbox"/>
longa, mais fina que jeans	<input type="checkbox"/>

Jardineira:	
Bermuda	<input type="checkbox"/>
Casaco:	
curto, fino	<input type="checkbox"/>
curto, jeans	<input type="checkbox"/>
comprido, fino	<input type="checkbox"/>
comprido, jeans	<input type="checkbox"/>
de lã	<input type="checkbox"/>
Paletó ou blaiser:	
fino	<input type="checkbox"/>
grosso	<input type="checkbox"/>
Calça:	
de espessura fina	<input type="checkbox"/>
de espessura média	<input type="checkbox"/>
jeans	<input type="checkbox"/>
Calçado:	
tênis	<input type="checkbox"/>
sapato	<input type="checkbox"/>
sandália	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>

APÊNDICE II – Nível de dificuldade e determinação dos Pesos das questões

RV		RA		RM		RE		RN		
Q	classe de palavra	Q	tipos de relação	Q	Tipo de conhecimento	Q	número de eixos de rotação	Q	Operações matemáticas	Número de sequências lógicas
1	substantivo	2	Mudança de posição	5	Alavanca - ponto de apoio	1	1	1	Somente adição Divisão ou	1 simples
6	substantivo	6	Subtração de partes	6	Engrenagem, correias	3	1	4	Divisão/Subtração	1 simples
9	substantivo	9	Alteração de cor e alteração de tamanho	10	Alavanca - ponto de apoio	7	1	11	Somente adição Subtração ou	2 complexas
14	substantivo	15	Rotação e alteração de cor	17	Movimentos possíveis	15	2	12	Subtração/Adição	2 complexas
3	substantivo	3	Adição de partes e subtração de partes	7	Engrenagem, correias	2	2	2	Somente adição Subtração ou	2 simples
7	advérbio	10	Adição de partes	14	Alavanca - ponto de apoio	13	1	6	Subtração/Adição	1 simples
10	substantivo	13	Substituição de figura (transformação)	16	Resistência de materiais	14	2	14	Subtração/Adição Divisão ou	3 complexas
15	adjetivo	16	Rotação	19	Alavanca - ponto de apoio	16	2	19	Divisão/Subtração	2 simples
4	substantivo	4	Adição de partes e subtração de partes	2	Vetores	5	1	3	Somente adição Multiplicação ou Multiplicação/Adição/Sub	2 simples
8	substantivo	11	Subtração de partes	8	Outras	9	1	7	tração Subtração ou	2 simples
12	substantivo	14	Adição de partes e subtração de partes	9	Engrenagem, correias	11	1	18	Subtração/Adição	2 simples
16	advérbio	19	Rotação	20	Alavanca - ponto de apoio	18	2	20	Fatorial	1 complexa

Fonte: Adaptação de Campos (2005)

Pesos relativos					Normatização					Nível de consistência				Pesos				
	RV1	RV2	RV3	RV4	RV1	RV2	RV3	RV4	Média	RV1	RV2	RV3	RV4					
RV1	1	1/2	1	2	0,222	0,200	0,222	0,286	0,2325	1	1/2	1	2	0,23254	0,944444	n	4	
RV2	2	1	2	2	0,444	0,400	0,444	0,286	0,3937	2	1	2	2 *	0,393651	= 1,606349	CI	0,021958	
RV3	1	1/2	1	2	0,222	0,200	0,222	0,286	0,2325	1	1/2	1	2	0,23254	0,944444	RI	0,99	
RV4	1/2	1/2	1/2	1	0,111	0,200	0,111	0,143	0,1413	1/2	1/2	1/2	1	0,14127	0,570635	NI	0,022179 <0,1	
	4,5	2,5	4,5	7											nmax	4,065873	incons. aceitável	
20°C																		
	RA1	RA2	RA3	RA4	RV1	RV2	RV3	RV4	Média	RV1	RV2	RV3	RV4					
RA1	1	3	2	2	0,429	0,462	0,429	0,400	0,4297	1	3	2	2	0,42967	1,73022	n	4	
RA2	1/3	1	2/3	1	0,143	0,154	0,143	0,200	0,1599	1/3	1	2/3	1 *	0,15989	= 0,641941	CI	0,007479	
RA3	1/2	1 1/2	1	1	0,214	0,231	0,214	0,200	0,2148	1/2	1 1/2	1	1	0,214835	0,86511	RI	0,99	
RA4	1/2	1	1	1	0,214	0,154	0,214	0,200	0,1956	1/2	1	1	1	0,195604	0,785165	NI	0,007554 <0,1	
soma	2,33	6,5	4,67	5											nmax	4,022436	incons. aceitável	
20°C																		
	RM1	RM2	RM3	RM4	RV1	RV2	RV3	RV4	Média	RV1	RV2	RV3	RV4					
RM1	1	1/2	1/3	1/4	0,100	0,115	0,100	0,091	0,1016	1	1/2	1/3	1/4	0,101573	0,408042	n	4	
RM2	2	1	2/3	3/4	0,200	0,231	0,200	0,273	0,2259	2	1	2/3	3/4 *	0,225874	= 0,908042	CI	0,007265	
RM3	3	1 1/2	1	3/4	0,300	0,346	0,300	0,273	0,3047	3	1 1/2	1	3/4	0,30472	1,224126	RI	0,99	
RM4	4	1 1/3	1 1/3	1	0,400	0,308	0,400	0,364	0,3678	4	1 1/3	1 1/3	1	0,367832	1,481585	NI	0,007338 <0,1	
soma	10	4,33	3,33	2,75											nmax	4,021795	incons. aceitável	
20°C																		
	RE1	RE2	RE3	RE4	RV1	RV2	RV3	RV4	Média	RV1	RV2	RV3	RV4					
RE1	1	1/2	1/3	1/4	0,100	0,115	0,100	0,091	0,1016	1	1/2	1/3	1/4	0,101573	0,408042	n	4	
RE2	2	1	2/3	3/4	0,200	0,231	0,200	0,273	0,2259	2	1	2/3	3/4 *	0,225874	= 0,908042	CI	0,007265	
RE3	3	1 1/2	1	3/4	0,300	0,346	0,300	0,273	0,3047	3	1 1/2	1	3/4	0,30472	1,224126	RI	0,99	
RE4	4	1 1/3	1 1/3	1	0,400	0,308	0,400	0,364	0,3678	4	1 1/3	1 1/3	1	0,367832	1,481585	NI	0,007338 <0,1	
soma	10	4,33	3,33	2,75											nmax	4,021795	incons. aceitável	
20°C																		
	RN1	RN2	RN3	RN4	RV1	RV2	RV3	RV4	Média	RV1	RV2	RV3	RV4					
RN1	1	1/2	1/3	1/4	0,1	0,115	0,1	0,0909	0,1016	1	1/2	1/3	1/4	0,101573	0,408042	n	4	
RN2	2	1	2/3	3/4	0,2	0,231	0,2	0,2727	0,2259	2	1	2/3	3/4 *	0,225874	= 0,908042	CI	0,007265	
RN3	3	1 1/2	1	3/4	0,3	0,346	0,3	0,2727	0,3047	3	1 1/2	1	3/4	0,30472	1,224126	RI	0,99	
RN4	4	1 1/3	1 1/3	1	0,4	0,308	0,4	0,3636	0,3678	4	1 1/3	1 1/3	1	0,367832	1,481585	NI	0,007338 <0,1	
soma	10	4,33	3,33	2,75											nmax	4,021795	incons. aceitável	

	Pesos relativos			
	RV1	RV2	RV3	RV4
RV1	1	1/2	1/2	1
RV2	2	1	1	2
RV3	2	1	1	2
RV4	1	1/2	1/2	1
soma	6	3	3	6

Normalização				24°C
RV1	RV2	RV3	RV4	Média
0,167	0,167	0,167	0,167	0,166667
0,333	0,333	0,333	0,333	0,333333
0,333	0,333	0,333	0,333	0,333333
0,167	0,167	0,167	0,167	0,166667

Nível de consistência			
RV1	RV2	RV3	RV4
1	1/2	1/2	1
2	1	1	2 *
2	1	1	2
1	1/2	1/2	1

Pesos			
0,166667	0,666667	n	4
0,333333	= 1,333333	CI	-1,5E-16
0,333333	1,333333	RI	0,99
0,166667	0,666667	NI	-1,5E-16 <0,1
nmax	4	incons. aceitável	

	RA1	RA2	RA3	RA4
	RA1	1	1	2
RA2	1	1	2	1/6
RA3	1/2	1/2	1	1/6
RA4	3	6	6	1
soma	5,5	8,5	11	1,7

Normalização				24°C
RV1	RV2	RV3	RV4	Média
0,182	0,118	0,182	0,200	0,170321
0,182	0,118	0,182	0,100	0,145321
0,091	0,059	0,091	0,100	0,08516
0,545	0,706	0,545	0,600	0,599198

RV1	RV2	RV3	RV4
1	1	2	1/3
1	1	2	1/6 *
1/2	1/2	1	1/6
3	6	6	1

Pesos			
0,170321	0,685695	n	4
0,145321	= 0,585829	CI	0,035807
0,08516	0,342848	RI	0,99
0,599198	2,493048	NI	0,036168 <0,1
nmax	4,10742	incons. aceitável	

	RM1	RM2	RM3	RM4
	RM1	1	1/3	1/2
RM2	3	1	1 1/2	1/2
RM3	2	2/3	1	1/2
RM4	4	2	2	1
soma	10	4	5	2,25

Normalização				24°C
RV1	RV2	RV3	RV4	Média
0,100	0,083	0,100	0,111	0,098611
0,300	0,250	0,300	0,222	0,268056
0,200	0,167	0,200	0,222	0,197222
0,400	0,500	0,400	0,444	0,436111

RV1	RV2	RV3	RV4
1	1/3	1/2	1/4
3	1	1 1/2	1/2 *
2	2/3	1	1/2
4	2	2	1

Pesos			
0,098611	0,395602	n	4
0,268056	= 1,077778	CI	0,008565
0,197222	0,791204	RI	0,99
0,436111	1,761111	NI	0,008651 <0,1
nmax	4,025694	incons. aceitável	

	RE1	RE2	RE3	RE4
	RE1	1	1/3	1/2
RE2	3	1	1 1/2	2/3
RE3	2	2/3	1	2/3
RE4	3	1 1/2	1 1/2	1
soma	9	3,5	4,5	2,7

Normalização				24°C
RV1	RV2	RV3	RV4	Média
0,111	0,095	0,111	0,125	0,110615
0,333	0,286	0,333	0,250	0,300595
0,222	0,190	0,222	0,250	0,22123
0,333	0,429	0,333	0,375	0,36756

RV1	RV2	RV3	RV4
1	1/3	1/2	1/3
3	1	1 1/2	2/3 *
2	2/3	1	2/3
3	1 1/2	1 1/2	1

Pesos			
0,110615	0,443948	n	4
0,300595	= 1,209325	CI	0,007771
0,22123	0,887897	RI	0,99
0,36756	1,482143	NI	0,00785 <0,1
nmax	4,023313	incons. aceitável	

	RN1	RN2	RN3	RN4
	RN1	1	1/2	1/7
RN2	2	1	2/7	1 2/5
RN3	7	3 1/2	1	1 2/5
RN4	5	5/7	5/7	1
soma	15	5,7	2,1	4

Normalização				24°C
RV1	RV2	RV3	RV4	Média
0,067	0,0875	0,067	0,05	0,067708
0,133	0,175	0,133	0,35	0,197917
0,467	0,6125	0,467	0,35	0,473958
0,333	0,125	0,333	0,25	0,260417

RV1	RV2	RV3	RV4
1	1/2	1/7	1/5
2	1	2/7	1 2/5 *
7	3 1/2	1	1 2/5
5	5/7	5/7	1

Pesos			
0,067708	0,286458	n	4
0,197917	= 0,833333	CI	0,067956
0,473958	2,005208	RI	0,99
0,260417	1,078869	NI	0,068643 <0,1
nmax	4,203869	incons. aceitável	

Pesos relativos					Normatização				30°C
	RV1	RV2	RV3	RV4	RV1	RV2	RV3	RV4	Média
RV1	1	1	1/3	1/2	0,143	0,176	0,143	0,111	0,143324
RV2	1	1	1/3	1 1/2	0,143	0,176	0,143	0,333	0,19888
RV3	3	3	1	1 1/2	0,429	0,529	0,429	0,333	0,429972
RV4	2	2/3	2/3	1	0,286	0,118	0,286	0,222	0,227824
soma	7	5,67	2,33	4,5					1

Nível de consistência				Pesos				
RV1	RV2	RV3	RV4					
RV1	1	1	1/3	1/2	0,143324	0,59944	n	4
RV2	1	1	1/3	1 1/2 *	0,19888	= 0,827264	CI	0,05291
RV3	3	3	1	1 1/2	0,429972	1,798319	RI	0,99
RV4	2	2/3	2/3	1	0,227824	0,933707	NI	0,053444 <0,1
					nmax	4,15873		

				Normatização				30°C	
	RA1	RA2	RA3	RA4	RV1	RV2	RV3	RV4	Média
RA1	1	2	1	2	0,333	0,364	0,333	0,286	0,329004
RA2	1/2	1	1/2	2	0,167	0,182	0,167	0,286	0,200216
RA3	1	2	1	2	0,333	0,364	0,333	0,286	0,329004
RA4	1/2	1/2	1/2	1	0,167	0,091	0,167	0,143	0,141775
soma	3	5,5	3	7					1

Nível de consistência				Pesos				
RV1	RV2	RV3	RV4					
RV1	1	2	1	2	0,329004	1,341991	n	4
RV2	1/2	1	1/2	2 *	0,200216	= 0,812771	CI	0,022547
RV3	1	2	1	2	0,329004	1,341991	RI	0,99
RV4	1/2	1/2	1/2	1	0,141775	0,570887	NI	0,022775 <0,1
					nmax	4,067641		

				Normatização				30°C	
	RM1	RM2	RM3	RM4	RV1	RV2	RV3	RV4	Média
RM1	1	2	2	3	0,429	0,429	0,429	0,429	0,428571
RM2	1/2	1	1	1 1/2	0,214	0,214	0,214	0,214	0,214286
RM3	1/2	1	1	1 1/2	0,214	0,214	0,214	0,214	0,214286
RM4	1/3	2/3	2/3	1	0,143	0,143	0,143	0,143	0,142857
soma	2,33	4,67	4,67	7					1

Nível de consistência				Pesos				
RV1	RV2	RV3	RV4					
RV1	1	2	2	3	0,428571	1,714286	n	4
RV2	1/2	1	1	1 1/2 *	0,214286	= 0,857143	CI	0
RV3	1/2	1	1	1 1/2	0,214286	0,857143	RI	0,99
RV4	1/3	2/3	2/3	1	0,142857	0,571429	NI	0 <0,1
					nmax	4		

				Normatização				30°C	
	RE1	RE2	RE3	RE4	RV1	RV2	RV3	RV4	Média
RE1	1	1/2	1/3	1/3	0,111	0,125	0,111	0,100	0,111806
RE2	2	1	2/3	1	0,222	0,250	0,222	0,300	0,248611
RE3	3	1 1/2	1	1	0,333	0,375	0,333	0,300	0,335417
RE4	3	1	1	1	0,333	0,250	0,333	0,300	0,304167
soma	9	4	3	3,33					1

Nível de consistência				Pesos				
RV1	RV2	RV3	RV4					
RV1	1	1/2	1/3	1/3	0,111806	0,449306	n	4
RV2	2	1	2/3	1 *	0,248611	= 1	CI	0,006944
RV3	3	1 1/2	1	1	0,335417	1,347917	RI	0,99
RV4	3	1	1	1	0,304167	1,223611	NI	0,007015 <0,1
					nmax	4,020833		

				Normatização				30°C	
	RN1	RN2	RN3	RN4	RV1	RV2	RV3	RV4	Média
RN1	1	1/2	1/4	1/3	0,1	0,1176	0,1	0,083	0,100245
RN2	2	1	1/2	1 1/3	0,2	0,2353	0,2	0,333	0,242157
RN3	4	2	1	1 1/3	0,4	0,4706	0,4	0,333	0,40098
RN4	3	3/4	3/4	1	0,3	0,1765	0,3	0,25	0,256618
soma	10	4,25	2,5	4					1

Nível de consistência				Pesos				
RV1	RV2	RV3	RV4					
RV1	1	1/2	1/4	1/3	0,100245	0,407108	n	4
RV2	2	1	1/2	1 1/3 *	0,242157	= 0,985294	CI	0,02018
RV3	4	2	1	1 1/3	0,40098	1,628431	RI	0,99
RV4	3	3/4	3/4	1	0,256618	1,039706	NI	0,020384 <0,1
					nmax	4,060539		

APÊNDICE III – Layout do *BPR-5 Info*

Figura 13- Tela com instruções para o teste a ser iniciado

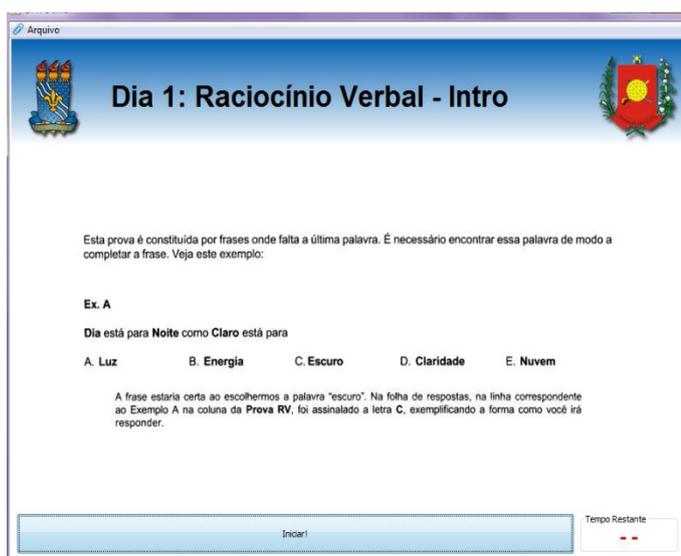


Figura 14- Layout da tela para resposta com cronômetro

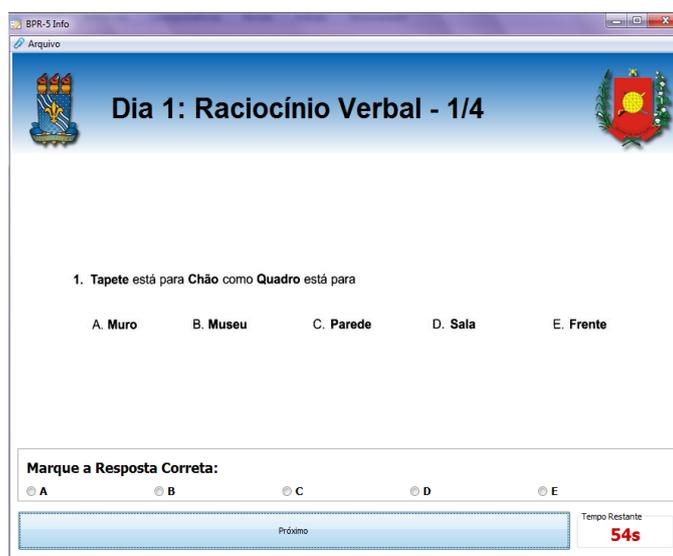
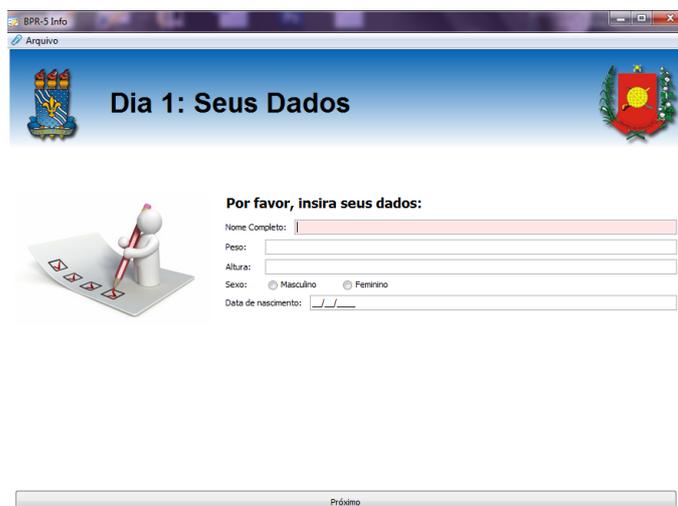


Figura 16 - Resultado final do teste



Figura 15 - Tela para inserção dos dados pessoais



APÊNDICE IV – Variáveis

Tabela 14 - Variáveis pessoais e votos declarados

Cadetes	Sexo	Idade	Peso(Kg)	Altura(m)	Sensação	Conforto	Desejo
C1	M	27	77	1,76	0	0	-2
C2	M	22	77	1,79	-2	0	1
C3	M	22	78	1,73	-2	0	0
C4	M	21	64,5	1,69	-1	0	1
C5	M	29	75	1,71	0	0	0
C6	F	20	61	1,62	-1	0	1
C7	M	21	66	1,7	-2	0	1
C8	M	27	83	1,74	-1	0	1
C9	M	23	76	1,72	-1	0	0
C10	M	30	75	1,66	-1	0	0
C11	M	27	77	1,79	-1	0	0
C12	F	23	63	1,64	0	0	0
C13	M	31	78	1,72	-1	3	0
C14	M	24	68	1,69	-1	0	1
C15	M	29	62	1,68	0	0	-1
C16	M	29	87	1,7	-1	1	1
C17	M	25	73	1,68	-1	0	0
C18	M	30	81	1,71	-1	0	0
C19	M	29	83	1,7	-2	2	2
C1	M	27	77	1,76	0	0	0
C2	M	22	77	1,79	-1	0	0
C3	M	22	78	1,73	1	1	-1
C4	M	21	64,5	1,69	1	1	-1
C5	M	29	75	1,71	0	0	0
C6	F	20	61	1,62	0	1	0
C7	M	21	66	1,7	-1	0	0
C8	M	27	83	1,74	1	1	-1
C9	M	23	76	1,72	0	1	-1
C10	M	30	75	1,66	-1	1	-1
C11	M	27	77	1,79	0	0	0
C12	M	29	80	1,72	0	1	1
C13	F	23	63	1,64	1	1	-1
C14	M	31	78	1,72	0	0	0
C15	M	24	68	1,69	1	1	-2
C16	M	29	62	1,68	1	0	-1
C18	M	25	73	1,68	0	0	0
C19	M	30	81	1,71	1	0	0
C20	M	29	83	1,7	1	1	-1
C2	M	22	77	1,79	2	2	-2

C3	M	22	78	1,73	3	3	-3
C4	M	21	64,5	1,69	3	3	-3
C5	M	29	75	1,71	3	3	-3
C6	F	20	61	1,62	3	2	-2
C8	M	27	83	1,74	2	2	-2
C9	M	23	76	1,72	3	2	-2
C10	M	30	75	1,66	3	3	-3
C11	M	27	77	1,79	2	2	-2
C12	M	29	80	1,72	2	2	-2
C13	F	23	63	1,64	2	2	-3
C17	M	29	87	1,7	3	3	-3
C18	M	25	73	1,68	3	3	-3
C19	M	30	81	1,71	3	2	-2
C20	M	29	83	1,7	2	2	-2

Tabela 15 - variáveis ambientais

ta	tw	tg	RH	tr	va	TU	pa	to	PMV	PPD	PD
20,83	14,13	22,29	45,5	23,17	0,1	40	1,12	22	-0,94	23,69	7,8
20,02	13,21	22,17	43,5	23,47	0,1	40	1,02	21,75	-1,05	28,31	8,94
19,9	13,05	22,06	43	23,37	0,1	40	1	21,63	-1,09	29,91	9,14
20,52	13,44	22,14	42,3	23,12	0,1	40	1,02	21,82	-1,02	26,85	8,2
20,52	13,59	22,21	43,4	23,23	0,1	40	1,05	21,88	-1	26	8,2
19,82	13,09	22,1	43,7	23,48	0,1	40	1,01	21,65	-1,08	29,72	9,28
20,32	13,28	22,02	42,3	23,05	0,1	40	1,01	21,69	-1,06	28,7	8,48
20,52	13,59	22,21	43,4	23,23	0,1	40	1,05	21,88	-1	26	8,2
19,82	13,09	22,1	43,7	23,48	0,1	40	1,01	21,65	-1,08	29,72	9,28
20,63	14,13	22,33	46,6	23,36	0,1	40	1,13	21,99	-0,95	23,88	8,06
20,52	13,44	22,14	42,3	23,12	0,1	40	1,02	21,82	-1,02	26,85	8,2
20,32	13,28	22,02	42,3	23,05	0,1	40	1,01	21,69	-1,06	28,7	8,48
19,79	13,05	22,06	43,7	23,44	0,1	40	1,01	21,61	-1,09	30,21	9,33
20,32	13,28	22,02	42,3	23,05	0,1	40	1,01	21,69	-1,06	28,7	8,48
20,25	13,32	22,06	43	23,16	0,1	40	1,02	21,7	-1,05	28,47	8,59
19,98	13,86	22,1	48,6	23,38	0,1	40	1,14	21,68	-1,04	27,93	9,01
20,4	13,44	22,17	42,9	23,24	0,1	40	1,03	21,82	-1,02	26,92	8,37
20,4	13,44	22,17	42,9	23,24	0,1	40	1,03	21,82	-1,02	26,92	8,37
20,4	13,44	22,17	42,9	23,24	0,1	40	1,03	21,82	-1,02	26,92	8,37
23,1	16,25	25,1	47,5	26,28	0,1	40	1,34	24,69	-0,14	5,41	5,74
23,1	16,51	25,33	49,3	26,64	0,1	40	1,39	24,87	-0,08	5,14	5,74
23,02	16,71	25,45	51,1	26,87	0,1	40	1,44	24,95	-0,05	5,06	5,8
23,02	16,21	25,03	47,7	26,21	0,1	40	1,34	24,62	-0,16	5,55	5,8
22,67	15,75	24,87	46,4	26,17	0,1	40	1,28	24,42	-0,24	6,16	6,05
23,21	16,94	25,53	51,6	26,89	0,1	40	1,47	25,05	-0,02	5,01	5,67
22,67	15,75	24,87	46,4	26,17	0,1	40	1,28	24,42	-0,24	6,16	6,05
22,83	15,82	24,87	46,1	26,07	0,1	40	1,28	24,45	-0,22	6,03	5,93
23,21	16,94	25,53	51,6	26,89	0,1	40	1,47	25,05	-0,02	5,01	5,67

22,75	15,67	24,79	45,5	25,99	0,1	40	1,26	24,37	-0,25	6,31	5,99
22,83	15,82	24,87	46,1	26,07	0,1	40	1,28	24,45	-0,22	6,03	5,93
23,21	16,94	25,53	51,6	26,89	0,1	40	1,47	25,05	-0,02	5,01	5,67
22,71	15,94	24,99	47,5	26,33	0,1	40	1,31	24,52	-0,2	5,84	6,02
22,91	16,59	25,37	51	26,81	0,1	40	1,43	24,86	-0,08	5,14	5,87
23,21	17,28	25,8	54	27,31	0,1	40	1,54	25,26	0,05	5,06	5,67
23,48	17,13	25,6	51,4	26,84	0,1	40	1,49	25,16	0,02	5,01	5,5
22,91	16,59	25,37	51	26,81	0,1	40	1,43	24,86	-0,08	5,14	5,87
23,1	16,51	25,3	49,3	26,59	0,1	40	1,39	24,85	-0,09	5,16	5,74
22,91	16,59	25,37	51	26,81	0,1	40	1,43	24,86	-0,08	5,14	5,87
29,81	22,83	29	54	28,54	0,1	40	2,27	29,17	1,39	45,24	3,22
29,93	23,02	29,08	54,5	28,6	0,1	40	2,3	29,26	1,43	47,07	3,2
28,58	24,79	30,08	72,9	30,92	0,1	40	2,85	29,75	1,66	59,37	3,51
29,93	23,02	29,08	54,5	28,6	0,1	40	2,3	29,26	1,43	47,07	3,2
29,23	25,3	30,24	72,3	30,81	0,1	40	2,94	30,02	1,76	64,88	3,35
29,93	23,02	29,08	54,5	28,6	0,1	40	2,3	29,26	1,43	47,07	3,2
29,23	25,3	30,24	72,3	30,81	0,1	40	2,94	30,02	1,76	64,88	3,35
29,23	25,3	30,24	72,3	30,81	0,1	40	2,94	30,02	1,76	64,88	3,35
29,97	23,25	29,16	55,7	28,7	0,1	40	2,36	29,33	1,46	48,81	3,19
29,23	25,3	30,24	72,3	30,81	0,1	40	2,94	30,02	1,76	64,88	3,35
29,81	22,83	29	54	28,54	0,1	40	2,27	29,17	1,39	45,24	3,22
29,23	25,3	30,24	72,3	30,81	0,1	40	2,94	30,02	1,76	64,88	3,35
28,58	24,79	30,08	72,9	30,92	0,1	40	2,85	29,75	1,66	59,37	3,51
29,81	22,83	29	54	28,54	0,1	40	2,27	29,17	1,39	45,24	3,22
29,93	23,02	29,08	54,5	28,6	0,1	40	2,3	29,26	1,43	47,07	3,2

Tabela 16 - Desempenho e tempo de resposta por tipo de prova

Drt	Drv	Dra	Drm	Dre	Drn	Trv	Tra	Trm	Ter	Trn	Trt
0,0685	0,1535	0,0667	0,0755	0,0444	0,0725	100	300	265	450	276	1391
0,1711	0,3636	0,1985	0,1399	0,1328	0,1460	55	79	143	126	137	540
0,0964	0,3636	0,1183	0,0599	0,1042	0,0458	55	169	222	192	233	871
0,0422	0,1053	0,0620	0,0462	0,0488	0,0059	71	219	156	343	323	1112
0,0440	0,0872	0,0757	0,0228	0,0525	0,0192	139	207	316	381	367	1410
0,0973	0,7692	0,2174	0,0626	0,1081	0,0234	26	92	240	185	301	844
0,0783	0,0935	0,1639	0,0791	0,0845	0,0274	80	122	253	198	257	910
0,0686	0,1361	0,0837	0,0719	0,0538	0,0356	147	239	278	311	300	1275
0,0730	0,2475	0,1626	0,0417	0,0667	0,0220	49	123	173	212	251	808
0,1908	0,3509	0,5000	0,7454	0,0548	0,0678	57	40	12	113	104	326
0,0709	0,2632	0,0554	0,0487	0,0722	0,0612	76	235	365	277	327	1280
0,0786	0,1810	0,0746	0,0647	0,1252	0,0447	67	268	215	113	239	902
0,0981	0,1418	0,2151	0,0570	0,1183	0,0497	141	93	244	169	215	862
0,0901	0,3571	0,0424	0,1000	0,1156	0,0391	56	156	200	173	273	858
0,0961	0,1835	0,0897	0,0696	0,0662	0,1399	109	223	200	302	143	977
0,0598	0,1810	0,1190	0,0267	0,0488	0,0322	67	168	270	283	219	1007

0,0543	0,0986	0,0813	0,0438	0,0209	0,0676	127	246	204	420	296	1293
0,0472	0,1735	0,0529	0,0461	0,0432	0,0200	99	257	326	395	440	1517
0,0630	0,1133	0,1299	0,0431	0,0573	0,0363	107	154	323	247	294	1125
0,0565	0,1835	0,1251	0,0295	0,0552	0,0219	109	109	345	362	335	1260
0,0676	0,2778	0,1449	0,0167	0,0922	0,0224	72	138	320	217	328	1075
0,0867	0,2740	0,3774	0,0347	0,1429	0,0219	73	53	293	140	335	894
0,0353	0,1905	0,0432	0,0096	0,0190	0,0308	105	231	370	463	238	1407
0,0309	0,1498	0,0738	0,0097	0,0126	0,0116	89	222	367	492	170	1340
0,0948	0,5556	0,4348	0,1250	0,0565	0,0226	36	46	160	354	325	921
0,0570	0,1117	0,1099	0,0304	0,0475	0,0301	179	182	335	421	244	1361
0,0508	0,2247	0,0725	0,0343	0,0403	0,0207	89	276	338	496	355	1554
0,0563	0,1980	0,0755	0,0343	0,0499	0,0231	101	265	338	218	317	1239
0,1509	1,4286	0,8333	0,5088	0,0990	0,0277	14	24	20	169	265	492
0,0429	0,1538	0,0338	0,0326	0,0400	0,0210	130	295	312	301	349	1387
0,0615	0,2837	0,0831	0,0092	0,0971	0,0274	47	69	194	206	268	784
0,0678	0,2273	0,2151	0,0140	0,0690	0,0460	88	93	381	290	349	1201
0,0845	0,3077	0,1274	0,0310	0,0749	0,0672	65	157	271	267	239	999
0,0614	0,3571	0,1814	0,0170	0,0224	0,0407	56	55	209	261	180	761
0,0680	0,2151	0,0855	0,0719	0,0588	0,0216	93	234	278	340	339	1284
0,0327	1,6667	0,2268	0,0116	0,0000	0,0384	12	44	462	597	191	1306
0,0497	0,2516	0,1609	0,0128	0,0551	0,0222	53	62	277	304	330	1026
0,0771	0,2083	0,0000	0,0942	0,1205	0,0336	64	55	142	66	218	545
0,1166	0,2376	0,2439	0,0868	0,0405	0,1449	65	82	181	221	138	687
0,0949	0,2632	0,1389	0,0268	0,0769	0,1504	76	144	320	260	133	933
0,0518	0,2247	0,1307	0,0150	0,0290	0,0265	89	153	285	459	258	1244
0,0368	0,1724	0,0498	0,0090	0,0284	0,0189	116	286	319	490	363	1574
0,1013	0,5908	0,2597	0,0455	0,0261	0,1198	29	77	157	276	167	706
0,0683	0,1942	0,1626	0,0381	0,0241	0,0468	103	123	225	299	214	964
0,0825	0,1942	0,0952	0,0990	0,0678	0,0437	103	210	202	295	340	1150
0,1374	0,3279	0,2000	0,0554	0,0889	0,1681	61	100	129	225	119	634
0,0589	0,1056	0,0784	0,0847	0,0235	0,0438	108	255	236	307	346	1252
0,0839	0,1661	0,1036	0,0776	0,0722	0,0535	93	193	221	277	224	1008
0,0855	0,0927	0,1172	0,1113	0,0656	0,0713	123	113	154	305	168	863
0,0660	0,1357	0,2667	0,0373	0,0390	0,0530	84	75	306	341	226	1032
0,1215	0,2225	0,2353	0,1389	0,0607	0,0913	77	85	144	219	219	744
0,0680	0,2597	0,1170	0,0775	0,0426	0,0145	77	171	258	300	335	1141
0,0622	0,0418	0,0712	0,0813	0,0220	0,1250	204	281	246	327	160	1218

APÊNDICE V – Rotina utilizada no software R

```

dados=read.table(file="F:\\desempenhof.txt",header=TRUE,dec=".")
attach(dados)
library(boot)
library(nortest)
library(fmsb)

#histograma
hist(Drt)
lines(c(min(h$breaks), h$mids, max(h$breaks)), c(0,+ h$counts,
0), type = "l", col="red")

#SENSAÇÃO TÉRMICA
S1 <- lm(Sens~ta)
#Gráfico Sensação térmica versus PMV
pmv<-lm(PMV~tg)
plot(tg,PMV,xlab="Globe Temperature(°C)",ylab="PMV")
abline(pmv, col="red")
plot(tg,Sens,xlab="Globe Temperature(°C)",ylab="Thermal
Sensation Votes")
abline(S1, col="red")
abline(pmv, col="blue", lty=2)
grid(nx = NULL, col = "lightgray", lty = "dotted", lwd =
par("lwd"), equilogs = TRUE)
#legenda
legend("topleft", legend="Thermal Sensation", lty=1, col="red",
lwd=2, bty="n")
legend("top", legend="PMV", lty="dotted", col="blue", lwd=2,
bty="n")

# relação entre temperatura de bulbo seco e de globo
Ta<-lm(ta~tg)

#REGRESSÃO POLINOMIAL
Y2<- lm(Conf ~ poly(ta, 2, raw=TRUE))

```

```

#plot da curva
curve(22.72117-1.97578*x+0.04350*x^2, 20, 30, xlab="Globe
Temperature (°C)",ylab="Thermal Comfort Votes", lty=1, col=2,
lwd=2)
grid(nx = NULL, col = "lightgray", lty = "dotted",      lwd =
par("lwd"), equilogs = TRUE)
legend("topleft", legend=c("valores observados", "modelo
ajustado"),lty=c(NA,1), col=c(1,2), lwd=1:2, bty="n",
pch=c(1,NA))
points(tg,Conf)

#BOX-PLOT DESEMPENHO
desemp=read.table(file="J:\\desempenho_blox.txt",header=TRUE,dec
=".")
attach(desemp)
par(mfrow=c(3,2))

bp1<-boxplot(desemp$Drv~desemp$ta, main="Raciocínio
Verbal",xlab="Temperature
(°C)",ylab="Performance",boxwex=0.3,outline=FALSE)
grid(nx = NULL, col = "lightgray", lty = "dotted",      lwd =
par("lwd"), equilogs = TRUE)
lines(bp1$stats[c(3),], lty=2 )

bp2<-boxplot(desemp$Dra~desemp$ta, main="Raciocínio
Abstrato",xlab="Temperature
(°C)",ylab="Performance",boxwex=0.3,outline=FALSE)
grid(nx = NULL, col = "lightgray", lty = "dotted",      lwd =
par("lwd"), equilogs = TRUE)
lines(bp2$stats[c(3),], lty=2 )

bp3<-boxplot(desemp$Drm~desemp$ta,main="Raciocínio
Mecânico",xlab="Temperature
(°C)",ylab="Performance",boxwex=0.3,outline=FALSE)
grid(nx = NULL, col = "lightgray", lty = "dotted",      lwd =
par("lwd"), equilogs = TRUE)
lines(bp3$stats[c(3),], lty=2 )

```

```

bp4<-boxplot(desemp$Dre~desemp$ta,main="Raciocínio
Espacial",xlab="Temperature
(°C)",ylab="Performance",boxwex=0.3,outline=FALSE)
grid(nx = NULL, col = "lightgray", lty = "dotted",      lwd =
par("lwd"), equilog = TRUE)
lines(bp4$stats[c(3),], lty=2 )

bp5<-boxplot(desemp$Drn~desemp$ta,main="Raciocínio
Numérico",xlab="Temperature
(°C)",ylab="Performance",boxwex=0.3,outline=FALSE)
grid(nx = NULL, col = "lightgray", lty = "dotted",      lwd =
par("lwd"), equilog = TRUE)
lines(bp5$stats[c(3),], lty=2 )

bp6<-boxplot(desemp$Drt~desemp$ta,main="Raciocínio
Total",xlab="Temperature",ylab="Performance",boxwex=0.3,outline=
FALSE)
grid(nx = NULL, col = "lightgray", lty = "dotted",      lwd =
par("lwd"), equilog = TRUE)
lines(bp6$stats[c(3),], lty=2 )

# BOX-PLOT TEMPO
tp1<-boxplot(desemp$Trv~desemp$ta, main="Raciocínio
Verbal",xlab="Temperature (°C)",ylab="Time
(s)",boxwex=0.3,outline=FALSE)
grid(nx = NULL, col = "lightgray", lty = "dotted",      lwd =
par("lwd"), equilog = TRUE)
lines(tp1$stats[c(3),], lty=2 )

tp2<-boxplot(desemp$Tra~desemp$ta, main="Raciocínio
Abstrato",xlab="Temperature (°C)",ylab="Time
(s)",boxwex=0.3,outline=FALSE)
grid(nx = NULL, col = "lightgray", lty = "dotted",      lwd =
par("lwd"), equilog = TRUE)
lines(tp2$stats[c(3),], lty=2 )

```

```

tp3<-boxplot(desemp$Trm~desemp$ta,main="Raciocínio
Mecânico",xlab="Temperature (°C)",ylab="Time
(s)",boxwex=0.3,outline=FALSE)
grid(nx = NULL, col = "lightgray", lty = "dotted", lwd =
par("lwd"), equilogs = TRUE)
lines(tp3$stats[c(3),], lty=2 )

```

```

tp4<-boxplot(desemp$Ter~desemp$ta,main="Raciocínio
Espacial",xlab="Temperature (°C)",ylab="Time
(s)",boxwex=0.3,outline=FALSE)
grid(nx = NULL, col = "lightgray", lty = "dotted", lwd =
par("lwd"), equilogs = TRUE)
lines(tp4$stats[c(3),], lty=2 )

```

```

tp5<-boxplot(desemp$Trn~desemp$ta,main="Raciocínio
Numérico",xlab="Temperature (°C)",ylab="Time
(s)",boxwex=0.3,outline=FALSE)
grid(nx = NULL, col = "lightgray", lty = "dotted", lwd =
par("lwd"), equilogs = TRUE)
lines(tp5$stats[c(3),], lty=2 )

```

```

tp6<-boxplot(desemp$Trt~desemp$ta,main="Raciocínio
Total",xlab="Temperature",ylab="Time
(s)",boxwex=0.3,outline=FALSE)
grid(nx = NULL, col = "lightgray", lty = "dotted", lwd =
par("lwd"), equilogs = TRUE)

```

```
#KRUSKAL-WALLIS TEST
```

```
#desempenho
```

```
drv.kruskal.test<-kruskal.test(desemp$Drv~desemp$ta)
```

```
dra.kruskal.test<-kruskal.test(desemp$Dra~desemp$ta)
```

```
drm.kruskal.test<-kruskal.test(desemp$Drm~desemp$ta)
```

```
dre.kruskal.test<-kruskal.test(desemp$Dre~desemp$ta)
```

```
drn.kruskal.test<-kruskal.test(desemp$Drn~desemp$ta)
```

```
drt.kruskal.test<-kruskal.test(desemp$Drt~desemp$ta)
```

```
drv.kruskal.test
```

```
dra.kruskal.test
```

```
drm.kruskal.test
dre.kruskal.test
drn.kruskal.test
drt.kruskal.test
#tempo
trv.kruskal.test<-kruskal.test (desemp$Trv~desemp$ta)
tra.kruskal.test<-kruskal.test (desemp$Tra~desemp$ta)
trm.kruskal.test<-kruskal.test (desemp$Trm~desemp$ta)
tre.kruskal.test<-kruskal.test (desemp$Tre~desemp$ta)
trn.kruskal.test<-kruskal.test (desemp$Trn~desemp$ta)
trt.kruskal.test<-kruskal.test (desemp$Trt~desemp$ta)
trv.kruskal.test
tra.kruskal.test
trm.kruskal.test
tre.kruskal.test
trn.kruskal.test
trt.kruskal.test

#MODELAGEM MATEMÁTICA

#Após a retirada das demais variáveis nos modelos

#modelo a
a=glm(formula=Drt~0 + tg + RH,family=inverse.gaussian(link =
"1/mu^2"), data = dados)
s.a=summary(a)
s.a
s.a$deviance/s.a$dispersion
46.88031
fit=fitted(a)
devres = glm.diag(a)$rd
qqnorm(devres)
qqline(devres, col=2)
shapiro.test(devres)
Shapiro-Wilk normality test
data: devres
W = 0.9804, p-value = 0.5315
```

```
#modelo b
```

```
b= glm(formula= Drt~0 + tr,family=inverse.gaussian(link=
"identity"), data = dados)
s.b$deviance/s.b$dispersion
44.62929
fit=fitted(b)
devres = glm.diag(b)$rd
qqnorm(devres)
qqline(devres, col=2)
shapiro.test(devres)
Shapiro-Wilk normality test
data:  devres
W = 0.9728, p-value = 0.2658
NagelkerkeR2(b)
```

```
#modelo c
```

```
c= glm(formula=Drt~ 0+ta+tg+RH,family=inverse.gaussian(link =
"log"), data = dados)
s.c=summary(c)
s.c
s.c$deviance/s.c$dispersion
46.04985
fit=fitted(c)
devres = glm.diag(c)$rd
qqnorm(devres)
qqline(devres, col=2)
shapiro.test(devres)
Shapiro-Wilk normality test
data:  devres
W = 0.9757, p-value = 0.3514
par(mfrow = c(2, 2))
```

```
#modelo d
```

```

d= glm(formula=Drt~0 + tg + tw,family= Gamma(link = "inverse"),
data = dados)
s.d=summary(d)
s.d
s.d$deviance/s.d$dispersion
43.95417
fit=fitted(d)
devres = glm.diag(d)$rd
qqnorm(devres)
qqline(devres, col=2)
shapiro.test(devres)
Shapiro-Wilk normality test
data:  devres
W = 0.9572, p-value = 0.05537

#modelo e

e= glm(formula=Drt~ ta+tg+tw+tr+RH,family= Gamma(link =
"identity"), data = dados)
s.e=summary(e)
s.e
s.e$deviance/s.e$dispersion
s.e$deviance/s.e$dispersion
[1] 40.86737
fit=fitted(e)
devres = glm.diag(e)$rd
qqnorm(devres)
qqline(devres, col=2)
shapiro.test(devres)
Shapiro-Wilk normality test
data:  devres
W = 0.9469, p-value = 0.01985

#modelo f

f= glm(formula=Drt~ 0 + ta + tg + RH,family= Gamma(link =
"log"), data = dados)

```

```
s.f=summary(f)
s.f
s.f$deviance/s.f$dispersion
44.39374
fit=fitted(f)
devres = glm.diag(f)$rd
qqnorm(devres)
qqline(devres, col=2)
shapiro.test(devres)
fit=fitted(f)
devres = glm.diag(f)$rd
qqnorm(devres)
qqline(devres, col=2)
shapiro.test(devres)
Shapiro-Wilk normality test
data: devres
W = 0.9645, p-value = 0.1157

#modelo g

g= glm(formula=Drt~ 0 + ta + tg + tr + RH,family= gaussian(link
= "identity"), data = dados)
s.g=summary(g)
s.g
s.g$deviance/s.g$dispersion

#modelo h

h= glm(formula=Drt~ ta+tg+tw+tr+RH,family= gaussian(link =
"log"), data = dados)
s.h=summary(h)
s.h
s.h$deviance/s.h$dispersion
49.99896

#modelo i
```

```
i= glm(formula=Drt~ ta+tg+tw+tr+RH,family= gaussian(link =
"log"), data = dados)
s.i=summary(i)
s.i
s.i$deviance/s.i$dispersion
49.99896

#modelo j

j= glm(formula=Drt~ 0+ tg,family=inverse.gaussian(link =
"inverse"), data = dados)
s.j=summary(j)
s.j
s.j$deviance/s.j$dispersion
51.54003

#Adequação Global e Validação do modelo
s.c$deviance/s.c$dispersion
qchisq(0.95, 50)
s.c$deviance/s.c$dispersion
46.04985
fit=fitted(c)
devres = glm.diag(c)$rd
qqnorm(devres)
qqline(devres, col=2)
shapiro.test(devres)
Shapiro-Wilk normality test
data:  devres
W = 0.9757, p-value = 0.3514
par(mfrow = c(2, 2))
plot(c)
glm.diag.plots(c)
plot(cooks.distance(c))
```