XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

# ESTUDO DA TEMPERATURA DE GLOBO EM RELAÇÃO À TEMPERATURA DO AR DURANTE ATIVIDADES COGNITIVAS EM AMBIENTES DE ENSINO COM ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS EM ÁREAS DAS REGIÕES BRASILEIRAS

**Flávia Brandão Ramalho de Brito (1); Luiz Bueno da Silva (2).**
(1) Mestre, Engenheira de Produção Mecânica e Engenheira de Segurança do Trabalho, flavia_britoo@hotmail.com, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, Recife - PE, 50670-901, (81) 2126-8645.
(2) Doutor, Professor titular-UFPB, bueno@ct.ufpb.br, Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Laboratório de Análise do Trabalho, CT, Bl K, n° 199, 2° andar, João Pessoa, PB

## RESUMO
Ambientes com inovações tecnológicas de comunicação e informação (*Information and Communications Technology - News ICT*), incluindo instituições de ensino, proporcionam maior interação entre indivíduos em qualquer parte do mundo e contribuem para maior flexibilidade de aprendizagem. Sendo assim é importante uma atenção extra à radiação dissipada por equipamentos tecnológicos presentes nestes ambientes. Objetivo: Investigar se o comportamento da temperatura de globo ($T_g$) em relação à temperatura do ar ($T_a$) poderia afetar o desempenho de estudantes em laboratórios de informática (LI). Métodos: Os procedimentos metodológicos adotados consistiram das seguintes análises em sete laboratórios de informática (LI-A; LI-B; LI-C; LI-D; LI-E; LI-F; LI-G): variáveis térmicas - temperatura radiante média ($T_{rm}$) e ($T_g$-$T_a$) e desempenho dos alunos ($D_t$). Resultados: LI- G foi o LI com maior incidência de radiação térmica, assim, um modelo matemático foi proposto para esta amostra para determinar se ($T_g$-$T_a$) e $T_{rm}$ estão relacionados ao desempenho geral do estudante ($D_t$). Para cada aumento de um grau na diferença entre a temperatura do globo e a temperatura do ar ($T_g$-$T_a$), o desempenho dos estudantes na instituição G diminuiu em aproximadamente 29%. Conclusão: Assim como a produtividade pode ser alterada devido a mudanças na temperatura do ar em ambientes de ensino com ar condicionado, neste caso específico, se $T_g > T_a$, possivelmente a radiação térmica pode interferir no desempenho das pessoas presentes no ambiente com *News ICT*. Contribuição da pesquisa: Quanto maior a temperatura radiante média, maior será a radiação térmica nesse laboratório, e esse aumento poderá comprometer o desempenho dos estudantes.
Palavras-chave: radiação térmica, temperatura de globo, temperatura radiante média, desempenho.

## ABSTRACT
Environments with information and communication technology innovations, including educational institutions, provide more interaction among individuals anywhere in the world and contributing to higher learning flexibility. Therefore, it is important to pay extra attention to the radiation dissipated by technological equipment in these environments. Objective: Investigate whether the behavior of the globe temperature ($t_g$) in relation to the air temperature ($t_a$) could affect the performance of students in information technology laboratories (ITLs). Methods: The methodological procedures adopted consisted of the following analyses in seven technology laboratories (ITL-A; ITL-B; ITL-C; ITL-D; ITL-E; ITL-F; ITL-G): thermal variables - mean radiant temperature ($t_{rm}$) and ($t_g$-$t_a$); and students' performance ($D_t$). Results: ITL G was the ITL with the highest incidence of thermal radiation, thus a mathematical model was proposed for this sample to determine whether ($T_g$ - $T_a$) and $t_{rm}$ are related to overall student performance ($D_t$). For each increase of one degree in the difference between the globe temperature and the air temperature ($T_g$-$T_a$), the students' performance in the institution G decreased by approximately 29%. Conclusion: As well as productivity can be altered due to changes in air temperature in air-conditioned teaching environments, in this specific case, if $T_g > T_a$, possibly the thermal radiation may interfere with the performance of the people present in the News ICT. Research Contribution: The higher the average radiant temperature, the higher the thermal radiation in this laboratory, and this increase may compromise student performance.
Keywords: Thermal radiation; Globe temperature; Mean radiant temperature; Student performance

## 1. INTRODUÇÃO

O conforto térmico está intimamente relacionado com o consumo de energia das instalações, com a produtividade dos ocupantes e, no caso das instalações escolares, com o desempenho e aprendizagem de estudantes (WONG *et al*., 2014). Nesse sentido, conforme Silva (2013), o conforto térmico propiciado pelo ambiente interno das salas de aula, dos laboratórios e dos demais ambientes de aprendizagem ganha especial relevo, apresentando-se, segundo recentes estudos já realizados, como um parâmetro capaz de influenciar significativamente no desempenho escolar dos estudantes. Ele representa o efeito combinado de seis parâmetros: temperatura, umidade do ar, radiação térmica, velocidade relativa do ar, atividades pessoais e nível de vestimenta tal como formulado por Fanger (1970) através de sua equação de conservação de calor.

O campo de pesquisa nesta área nos últimos anos tem atraído à atenção de muitos pesquisadores devido ao aumento da discussão pública sobre as alterações climáticas do planeta (RUPP *et al*., 2015). Desta forma, levando-se em consideração que os ambientes providos de *news ICT*, incluindo os de ensino, estão proporcionando maior interação entre as pessoas em qualquer parte do mundo, contribuindo para uma maior flexibilidade na obtenção do conhecimento, torna-se necessária uma atenção especial para as radiações dissipadas pelas tecnologias presentes nestes ambientes. Conforme Silva (2013), estas radiações são de baixa frequência e são transformadas em radiação térmica, que somada às do homem, do ambiente e das variáveis climáticas e pessoais, resultam na elevação total desta radiação no recinto.

Nas revisões da literatura sobre pesquisas e práticas de conforto térmico por Rupp *et al*., (2015), De Dear *et al*., (2013) e Van Hoof (2008), as pesquisas no entorno da radiação térmica têm recebido pouca atenção, o que, em grande parte, tem limitado o desenvolvimento de estudos nessa área. Na equação formulada por Fanger (1970), o fator de radiação térmica é representado pela temperatura radiante média ($T_{rm}$), mas seu impacto sobre o conforto térmico é muitas vezes ignorado. A temperatura de globo é uma das variáveis das equações para o cálculo da temperatura radiante média e a mesma corresponde à temperatura que permite avaliar o nível de radiação térmica das superfícies existentes em um ambiente (COUTINHO, 2011), donde uma diferença significativa entre a temperatura de globo e a temperatura do ar pode demonstrar certo aumento da radiação térmica no ambiente de trabalho. Vários estudos foram realizados sobre conforto térmico, mas, em grande parte desses estudos, a temperatura radiante média era assumida como sendo igual à temperatura do ar do ambiente (LANGNER *et al*., 2013; HALAWA *et al*., 2014; WALIKEWITZ et *al*., 2015).

De acordo com Alfano *et al*. (2013) a temperatura radiante média é uma das variáveis mais importantes na avaliação do conforto térmico, especialmente durante condições climáticas quentes e ensolaradas. Para Akimoto *et al*. (2010), a elevação da temperatura radiante média de um ambiente interno pode causar redução da produtividade dos que ali se encontram, visto que, o conforto térmico tem uma significativa influência sobre a produtividade e satisfação dos ocupantes em um ambiente. O estudo realizado por Halawa *et al*. (2014) proporcionou uma visão crítica dos impactos da presença do campo da radiação térmica no conforto térmico, no controle e no consumo de energia dos edifícios. Esta visão crítica mostrou que o campo da radiação térmica é um parâmetro essencial do conforto térmico.

Desta forma, considerando as condições adversas ambientais externas, as quais podem estar vinculadas às mudanças climáticas com implicações na elevação da temperatura do ar, emerge assim mais um fator a contribuir para o aumento dessa carga térmica. Portanto, torna-se importante investigar o comportamento da temperatura de globo em relação à temperatura do ar, com possível efeito na elevação da temperatura radiante média, quando da realização de atividades cognitivas por estudantes em ambientes de ensino providos de *news ICT* submetidos à variação da temperatura do ar.

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é investigar o comportamento da temperatura de globo em relação à temperatura do ar, com possível efeito na elevação da temperatura radiante média, quando da realização de atividades cognitivas por estudantes em ambientes de ensino providos de *news ICT* submetidos à variação da temperatura do ar.

## 3. MÉTODO

Os procedimentos metodológicos adotados neste trabalho consistem no desenvolvimento das seguintes etapas: análise das variáveis térmicas, desempenho dos estudantes, tratamento dos dados e modelagem matemática.

O estudo foi realizado no Brasil em laboratórios de informática (LIs) climatizados com *News ICT* (sistemas multimídia, *wireless*, climatização e de iluminação; *personal computers*, *laptops*, impressoras *on-line*) nas seguintes instituições: Universidade Federal do Piauí (UFPI), Teresina-Piauí (A); Universidade

Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis – Santa Catarina (B); Universidade de Brasília (UnB)-Campus Gama, Brasília- Distrito Federal (C); Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Petrolina-Pernambuco (D); Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC) da Universidade de São Paulo (USP), São Carlos- SP (E); Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Manaus – Amazonas (F); Centro de Educação da Academia de Polícia Militar da Paraíba, João Pessoa, Paraíba (G). O quadro 1 apresenta detalhes das amostras por instituição. Os alunos que mostraram interesse em participar da pesquisa assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

Quadro 1– Detalhes das amostras por instituição

| Instituição | Localidade | Tamanho da amostra | Faixa etária | Peso médio | Altura média | Período |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A - UFPI | Teresina- PI | 21 homens (H)<br>7 mulheres (M) | 22 ± 2 anos | 64,8 ± 7,8 Kg (H)<br>64,5 ± 8,1 Kg (M) | 1,74 ± 0,06 m (H)<br>1,67 ± 0,02 m (M) | 15 a 17/09/2015 |
| B- UFSC | Florianópolis- SC | 13 homens (H)<br>6 mulheres (M) | 26 ± 6 anos | 79,4 ± 19,61 Kg (H)<br>63,93 ± 13 Kg (M) | 1,79 ± 0,04 m (H) e<br>1,62 ± 0,03m (M) | 21a 23/03/2016 |
| C- UnB | Brasília -DF | 18 homens | 19 ± 2 anos | 73,2 ± 10,2kg | 1,80 ± 0,1 m | 26 a 28/04/2016 |
| D- UNIVASF | Petrolina- PE | 10 homens (H)<br>5 mulheres (M) | 22 ± 2 anos | 78,5 ± 9,80kg (H)<br>68,1 ±18,35kg (M) | 1,82 ± 0,02 m (H)<br>1,69 ± 0,05 m (M) | 23 a 25/05/2016 |
| E- ICMC | São Carlos- SP | 11 homens (H)<br>4 mulheres (M) | 23 ± 2 anos | 78,75 ± 13 Kg (H)<br>57,73 ± 7,5 Kg (M) | 1,82 ± 0,08 m (H)<br>1,65 ± 0,02 m (M) | 17 a 19/11/2014 |
| F - UFAM | Manaus -AM | 16 homens (H)<br>12 mulheres (M) | 19 ± 1 ano | 75,1 ± 9,5 Kg (H)<br>60,1 ± 8,1 Kg (M) | 1,72 ± 0,07 m (H)<br>1,61 ± 0,04 m (M) | 01 a 03/08/2016 |
| G – CE da PM | João Pessoa -PB | 34 homens (H)<br>6 mulheres (M) | 22 ± 2 anos | 76,6± 5,54 kg (H)<br>59,3 ±4,72 kg (M) | 1,72±0,05 m (H)<br>1,63±0,01m (M) | 18 a 20/07/2012 |
| **Total** | | **163 estudantes** | | | | |

Os dados foram obtidos durante a realização das medições nos LIs, sendo uma sessão por dia. Em cada LI as medições foram efetuadas a três níveis de temperatura de bulbo seco do ar (Ta), 20°C, 24°C e 30°C, conforme os preceitos das normas ASHRAE 55-2010, ISO 7726/2002 e ISO 7730/2005. Todos os dados foram medidos em períodos contínuos ao longo de toda a coleta, com intervalo de 1 minuto, no sentido de verificar a constância das condições do ambiente térmico. As atividades realizadas pelos estudantes durante as medições ocorreram por meio de *Personal Computers* (PCs) e/ou *laptops* (Instituição G) para acessar o endereço eletrônico (*link*) contendo uma bateria de testes de raciocínios. Os estudantes foram orientados a utilizar roupas similares nos três dias de coleta. Ressalta-se que antes dos alunos realizarem suas atividades nos laboratórios, os mesmos foram conduzidos a uma sala com condições climáticas favoráveis, proporcionando um período de descanso para estabilização de seus organismos, a qual foi constatada através de suas pressões arteriais, avaliadas pelo monitor de pressão arterial automático modelo HEM-7220 e tensiômetro Polar FT7.

## 3.1. Variáveis térmicas

As medições das variáveis térmicas: temperatura de bulbo seco ($T_a$), temperatura radiante média ($T_{rm}$), temperatura de globo ($T_g$) e umidade relativa (UR) foram coletadas por meio da estação microclimática BABUC- A e do medidor de estresse térmico TGD300 (figura 1). Os equipamentos atendem às exigências da Norma ISO 7726 (2002). A velocidade do ar foi considerada constante, V= 0,1 m/s, estimativa para ambientes fechados (COUTINHO, 2011; ASHRAE 55-2010).




Figura 1 - Estação microclimática BABUC-A e TGD-300

Seguindo o que estabelece a norma ISO 7726 (2002), e tendo em vista que os ambientes apresentavam uniformidade na distribuição das temperaturas, a estação microclimática foi instalada nos centros dos laboratórios, a 0,6m de altura em relação ao solo, tendo em vista que os estudantes se encontravam sentados. Os equipamentos foram programados para registrar as medidas a cada minuto, a partir da entrada dos

estudantes na sala de aula. Para estabilização, os equipamentos foram instalados nos laboratórios 30 minutos antes de iniciar a coleta.

Ainda, no sentido de verificar se havia ou não troca de calor por radiação entre o aluno e seu ambiente, hipóteses foram testadas à luz da equação da temperatura radiante média (equação 1), de acordo com a ISO 7726 (2002), a saber:

- Se $T_g = T_a$, então $T_{rm} = T_g$, donde não há troca de calor por radiação
- Se $T_g > T_a$, então $T_{rm}$ aumenta proporcionalmente à elevação da $T_g$, caracterizando assim troca de calor por radiação
- Se $T_g < T_a$, então $T_{rm}$ decresce proporcionalmente à diminuição da $T_g$, constatando assim não haver troca de calor por radiação

$$Trm = \sqrt[4]{Tg^4 + \frac{h_{cg}}{\varepsilon_g \sigma}.\left(T_g - T_a\right)} \qquad \text{equação 1}$$

Onde: $T_{rm}$ = Temperatura radiante média; Tg = Temperatura de globo; $h_{cg}$= 6,3 v $^{0,6}$/ D $^{0,4}$ onde v é a velocidade do ar, D= Diâmetro do globo; $\varepsilon_g$ = Emissividade do globo negro (adimensional); $\sigma$ = Constante de Stefan-Boltzman = 5,67x10$^{-8}$ W/m$^2$.K$^4$.

## 3.2. Desempenho dos estudantes

Concomitantemente à realização das medições térmicas nos LIs, avaliando principalmente o comportamento da temperatura de globo em relação temperatura do ar ($T_g$-$T_a$), os estudantes realizaram atividades vinculadas à Bateria de Provas de Raciocínio (BPR-5) com o propósito de determinar o desempenho cognitivo geral ao longo das variações climáticas nos LIs. Segundo Primi e Almeida (2004), a BPR-5 é constituída por 5 subtestes que medem a capacidade cognitiva dos indivíduos. 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, a saber: Prova de Raciocínio abstrato (RA), Prova de Raciocínio Verbal (RV), Prova de Raciocínio numérico (RN), Prova de Raciocínio espacial (RE) e Prova de Raciocínio mecânico (RM). Conforme os autores, a BPR-5 é um instrumento para auxiliar os profissionais no psicodiagnóstico, na seleção profissional, orientação profissional, avaliação escolar, entre outras áreas, isto é, para verificar o funcionamento cognitivo geral.

Neste estudo optou-se por decompor a BPR-5 e reorganizá-lo em 3 testes resumidos de mesmo nível de dificuldade, a serem aplicados a cada dia. Para este fim, Siqueira (2015) elaborou um survey na plataforma qualtrics, que possibilitou a aplicação e medição do tempo de resposta de cada questão. O valor do número de acertos pôde variar de 0 a 20, visto que o teste de raciocínio total consistia no somatório das notas nos 5 subtestes, dos quais cada subteste era composto de 4 questões, sendo 1 o valor de cada questão.

## 3.3. Tratamento dos dados

Após as coletas de dados, estes foram tabulados no *software* Microsoft Excel® e preparados para serem utilizados nos *softwares* R, SPSS®, STATISTICA, com a finalidade de realizar análise descritiva dos dados, elaboração de gráficos, correlações entre as variáveis e a modelagem matemática. Foram utilizados os testes não paramétricos de Kruskal-Wallis para testar a hipótese de que as distribuições dos parâmetros avaliados eram similares em todos os dias do experimento. Para verificar as correlações entre as variáveis de interesse foi utilizada a correlação de Spearman.

## 3.4. Modelagem matemática

Foi construído um modelo matemático por intermédio das classes de Modelo Linear Generalizado (MLG) para investigar o comportamento de ($T_g$-$T_a$) e da $T_{rm}$ no desempenho cognitivo (índice $D_t$ - desempenho total em relação ao tempo) de estudantes, pois ($T_g$-$T_a$) >0 poderá caracterizar aumento da $t_{rm}$ com reflexos na elevação da carga térmica interna, e tais características precisam ser analisadas sob o ponto de vista de seus efeitos na variabilidade do desempenho cognitivo dos estudantes.

Os MLGs correspondem a uma grande classe de modelos estatísticos definidos em termos de um conjunto de variáveis aleatórias independentes, onde cada uma delas possui alguma distribuição da família exponencial (DOBSON e BARNETT, 2008). Este modelo será composto por duas partes:

1. Distribuição de probabilidade de Y(Dt), Y ~ N($\mu$, $\sigma^2$)
2. Função de ligação para o valor esperado Y(Dt), com combinação linear das variáveis explicativas Trm e ($T_g$-$T_a$), conforme equação (2).

$$E(Dt) = \beta_0 + \beta_1 t_{trm} + \beta_2 (t_g - t_a)$$ equação 2

# 4. RESULTADOS

## 4.1. Análise das variáveis térmicas

A tabela 1 apresenta as médias relativas a cada variável térmica mensurada nas três sessões das coletas de dados por laboratório de informática (LI).

Tabela 1– Condições térmicas médias das coletas de dados por Laboratório de Informática

| Variável | | LI - A | LI - B | LI - C | LI - D | LI - E | LI - F | LI - G |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $T_a$(°C) | Sessão 20°C | 20,07 ± 0,01 | 22,64 ± 0,01 | 24,53 ± 0,01 | 22,43 ± 0,00 | 23,09 ± 0,07 | 23,58 ± 0,12 | 20,28 ± 0,30 |
| | Sessão 24°C | 22,95 ± 0,01 | 24,21 ± 0,03 | 24,58 ± 0,01 | 23,04 ± 0,01 | 23,30 ± 0,03 | 25,93 ± 0,12 | 23,00 ± 0,20 |
| | Sessão 30°C | 33,74 ± 0,01 | 29,08 ± 0,04 | 24,79 ± 0,01 | 28,52 ± 0,04 | 28,80 ± 0,01 | 30,85 ± 0,12 | 29,50 ± 0,44 |
| $T_g$(°C) | Sessão 20°C | 21,03 ± 0,01 | 23,28 ± 0,01 | 24,37 ± 0,01 | 23,27 ± 0,00 | 23,72 ± 0,03 | 22,94 ± 0,03 | 22,13 ± 0,08 |
| | Sessão 24°C | 24,12 ± 0,01 | 24,72 ± 0,02 | 24,47 ± 0,01 | 24,04 ± 0,02 | 23,94 ± 0,01 | 25,33 ± 0,01 | 25,24 ± 0,31 |
| | Sessão 30°C | 33,55 ± 0,17 | 28,72 ± 0,04 | 24,48 ± 0,05 | 28,64 ± 0,05 | 27,78 ± 0,05 | 29,92 ± 0,00 | 29,59 ± 0,59 |
| $T_{rm}$(°C) | Sessão 20°C | 21,66 ± 0,01 | 23,66 ± 0,01 | 24,27 ± 0,01 | 23,71 ± 0,01 | 24,10 ± 0,06 | 22,55 ± 0,07 | 23,26 ± 0,15 |
| | Sessão 24°C | 24,82 ± 0,01 | 25,02 ± 0,02 | 24,41 ± 0,00 | 24,64 ± 0,03 | 24,33 ± 0,02 | 24,98 ± 0,06 | 26,56 ± 0,38 |
| | Sessão 30°C | 33,46 ± 0,17 | 28,51 ± 0,04 | 24,50 ± 0,01 | 28,70 ± 0,05 | 27,19 ± 0,08 | 29,39 ± 0,06 | 29,64 ± 1,16 |
| $t_g - t_a$ (°C) | Sessão 20°C | 0,97 ± 0,00 | 0,64 ± 0,01 | -0,11 ± 0,01 | 0,83 ± 0,00 | 0,63 ± 0,07 | -0,64 ± 0,11 | 1,86 ± 0,26 |
| | Sessão 24°C | 1,17 ± 0,00 | 0,51 ± 0,02 | -0,16 ± 0,01 | 1,00 ± 0,02 | 0,65 ± 0,03 | -0,60 ± 0,11 | 2,25 ± 0,17 |
| | Sessão 30°C | -0,17 ± 0,01 | -0,36 ± 0,00 | -0,32 ± 0,00 | 0,12 ± 0,01 | -1,01 ± 0,04 | -0,93 ± 0,11 | 0,09 ± 1,03 |
| UR(%) | Sessão 20°C | 69,20 ± 0,16 | 65,51 ± 0,05 | 66,12 ± 0,07 | 64,95 ± 0,16 | 48,16 ± 0,73 | 51,33 ± 1,04 | 43,59 ± 1,64 |
| | Sessão 24°C | 67,57 ± 0,24 | 66,67 ± 0,15 | 58,04 ± 0,21 | 64,53 ± 0,03 | 53,90 ± 0,59 | 55,36 ± 1,16 | 49,27 ± 2,53 |
| | Sessão 30°C | 64,63 ± 0,86 | 82,67 ± 0,33 | 71,70 ± 0,18 | 71,83 ± 0,16 | 45,37 ± 0,33 | 69,30 ± 0,47 | 62,87 ± 9,31 |

A partir da tabela 1 e da equação 1 foram realizadas a análise da troca de calor por radiação entre o ambiente e o indivíduo em cada sessão por laboratório de informática apresentada no quadro 2.

Quadro 2– Quadro síntese da troca de calor por radiação por sessão e por Laboratório de Informática (LI)

| LI | SESSÃO 20°C | SESSÃO 24°C | SESSÃO 30°C |
|---|---|---|---|
| A | **$T_g > T_a$**<br>0,97 °C ± 0,0<br>**Houve troca de calor por radiação** | **$T_g > T_a$**<br>1,17 °C ± 0,0<br>**Houve troca de calor por radiação** | **$T_g < T_a$**<br>-0,17 °C± 0,0<br>**Não houve troca de calor por radiação** |
| B | **$T_g > T_a$**<br>0,64 °C ± 0,0<br>**Houve troca de calor por radiação** | **$T_g > T_a$**<br>0,51 °C ± 0,0<br>**Houve troca de calor por radiação** | **$T_g < T_a$**<br>-0,36 °C ± 0,0<br>**Não houve troca de calor por radiação** |
| C | **$T_g < T_a$**<br>-0,11 °C ± 0,0<br>**Não houve troca de calor por radiação** | **$T_g < T_a$**<br>-0,16 °C ± 0,0<br>**Não houve troca de calor por radiação** | **$T_g < T_a$**<br>-0,32 °C ± 0,0<br>**Não houve troca de calor por radiação** |
| D | **$T_g > T_a$**<br>0,83 °C ± 0,0<br>**Houve troca de calor** | **$T_g > T_a$**<br>1,00 °C ± 0,0<br>**Houve troca de calor por** | **$T_g > T_a$**<br>0,12 °C ± 0,0<br>**Houve troca de calor por radiação** |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | **por radiação** | **radiação** | |
| **E** | **$T_g > T_a$** | **$T_g > T_a$** | **$T_g < T_a$** |
| | 0,63 °C ± 0,0 | 0,65 °C ± 0,0 | -1,00 °C ± 0,0 |
| | **Houve troca de calor por radiação** | **Houve troca de calor por radiação** | **Não houve troca de calor por radiação** |
| **F** | **$T_g < T_a$** | **$T_g < T_a$** | **$T_g < T_a$** |
| | -0,64 °C ± 0,0 | -0,60 °C ± 0,0 | -0,93 °C ± 0,0 |
| | **Não houve troca de calor por radiação** | **Não houve troca de calor por radiação** | **Não houve troca de calor por radiação** |
| **G** | **$T_g > T_a$** | **$T_g > T_a$** | **$T_g > T_a$** |
| | 1,86 °C ± 0,2 | 2,25 °C ± 0,0 | 0,09 °C ± 1,0 |
| | **Houve troca de calor por radiação** | **Houve troca de calor por radiação** | **Houve troca de calor por radiação** |

Observa-se que a maior troca de calor por radiação térmica ocorreu no laboratório de informática G, referente à cidade de João Pessoa. Este resultado pode ter ocorrido devido à quantidade de laptops presentes no ambiente (40 *laptops*), pois estes emitem mais radiação do que os *personal computers*, e/ou devido às características arquitetônicas da sala que podem ter ocasionado uma maior incidência de radiação térmica no recinto. Não houve troca de calor por radiação nos laboratórios de informática C (Brasília) e F (Manaus). Estes resultados ocorreram possivelmente devido a temperatura externa ter sido baixa ou aos elementos arquitetônicos e envelopes constituintes da sala favorecendo a não incidência de radiação térmica no ambiente.

Para melhor visualizar esses achados, de acordo com a figura 2, observa-se que a elevação da temperatura de globo em relação à temperatura do ar foi mais acentuada no laboratório de informática G, nas sessões à 20 e 24°C e à 30°C, a elevação da $T_g$ foi alternada ao longo do tempo. Dessa forma é provável que em um ambiente climatizado provido de diversas fontes de calor interna como *news ICT*, estudantes, revestimentos de paredes e superfícies, onde $T_g > T_a$, esses fatores podem influenciar em termos de troca de calor por radiação entre o aluno e seu ambiente.

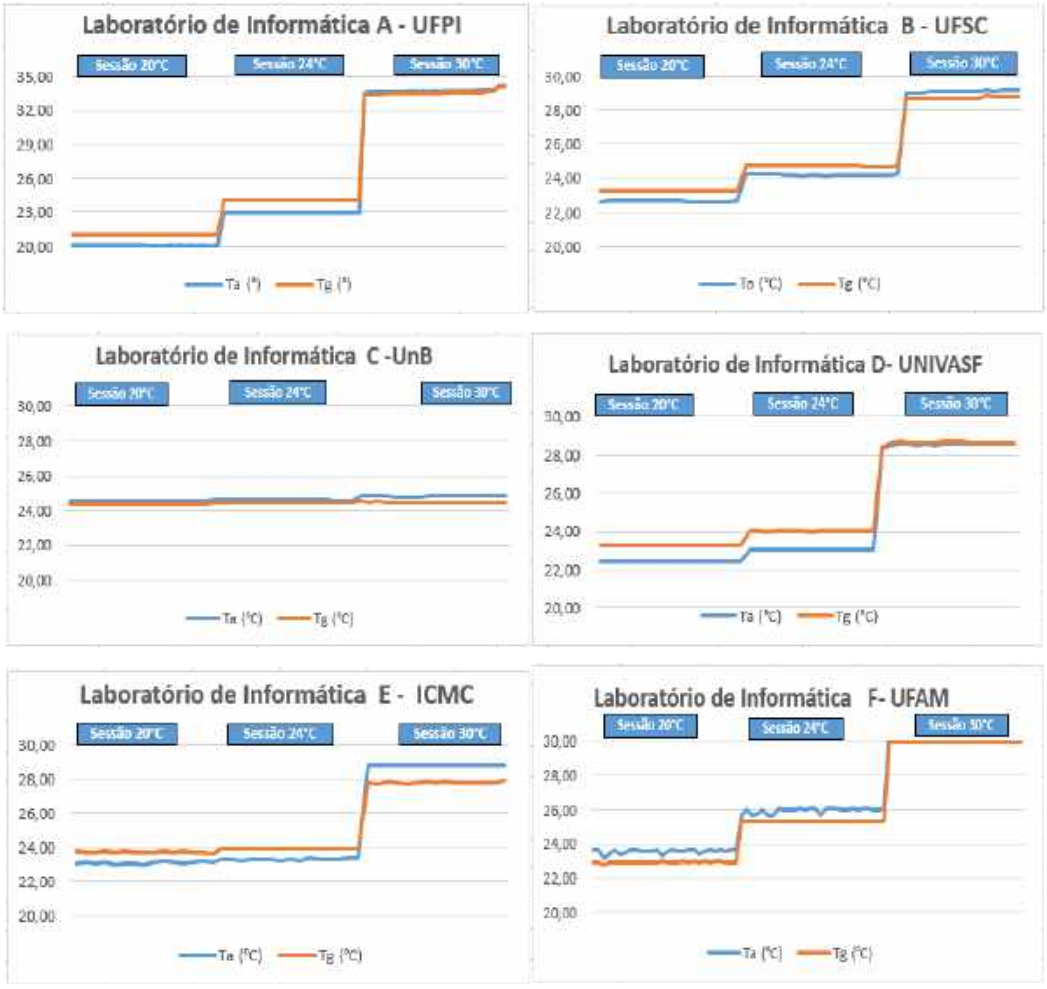





Figura 2 – Representação da temperatura de globo ($T_g$) e da temperatura do ar ($T_a$) por laboratório de informática

## 4.2. Análise do desempenho dos estudantes

O quadro 3 apresenta o resultado da análise do desempenho cognitivo dos estudantes por LI de acordo com a classificação de Almeida e Primi (2004) apresentada na metodologia.

Quadro 3- Resultado da análise do desempenho dos estudantes por Laboratório de Informática (LI)

| **Capacidade cognitiva:** | **LI- A** | | | **LI- B** | | | **LI- C** | | | **LI-D** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **20°C** | **24°C** | **30°C** | **20°C** | **24°C** | **30°C** | **20°C** | **24°C** | **30°C** | **20°C** | **24°C** | **30°C** |
| **Abaixo da média** | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| **Na média** | 85,2% | 69,2% | 77,8% | 58,8% | 73,7% | 60% | 38,9% | 52,9% | 66,7% | 73,3% | 35,3% | 50% |
| **Acima da média** | 14,8% | 30,8% | 22,2% | 41,2% | 26,3% | 40% | 61,1% | 47,1% | 33,3% | 26,7% | 64,7% | 50% |
| **Capacidade cognitiva:** | **LI- E** | | | **LI- F** | | | **LI- G** | | | | | |
| | **20°C** | **24°C** | **30°C** | **20°C** | **24°C** | **30°C** | **20°C** | **24°C** | **30°C** | | | |
| **Abaixo da média** | 0% | 0% | 0% | 3,6% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | | | |
| **Na média** | 60% | 53,3% | 27% | 85,7% | 85,7% | 92% | 50% | 33,3% | 26,6% | | | |
| **Acima da média** | 40% | 46,7% | 73% | 10,7% | 14,3% | 8% | 50% | 66,7% | 73,4% | | | |

LI - A=UFPI; LI - B= UFSC; LI - C =UnB; LI - D =UNIVASF; LI - E=USP; LI - F= UFAM; LI - G= Centro de Educação da PM da PB

Quanto ao desempenho nas provas de raciocínio, observou-se que em nenhum laboratório de informática os estudantes apresentaram desempenho cognitivo abaixo da média, com exceção do laboratório F, na sessão à 20°C, onde aproximadamente 4% dos estudantes apresentaram desempenho insatisfatório. Nota-se que os laboratórios de informática E e G apresentaram um resultado em média mais satisfatório do que as demais. Já o laboratório F apresentou em média um resultado menos satisfatório se comparada com as outras instituições.

## 4.3. Modelagem matemática

À luz dos resultados das trocas de calor por radiação foi constatada que a maior incidência de radiação térmica ocorreu no laboratório de informática da instituição G no Centro de Educação da Academia de polícia militar da Paraíba, em João Pessoa. Assim, foi proposto um modelo matemático a fim de avaliar se a ($T_g$-$T_a$) e $T_{rm}$ poderiam ter relação com o desempenho total dos estudantes ($D_t$).

Foi observado que a distribuição dos dados referentes ao Dt se aproximava de uma distribuição da família exponencial (figura 3), o que permitiu a utilização de um modelo da classe do Modelo Linear Generalizado (MLG). Aplicando o teste de normalidade de Shapiro-Wilk para a variável dependente verificou-se que (para um nível de significância igual a 0,05) a distribuição é significativamente diferente de uma distribuição normal. Assim, o modelo adequado de regressão ajustado foi o da família gaussiana inversa com função de ligação log na forma da equação (2).

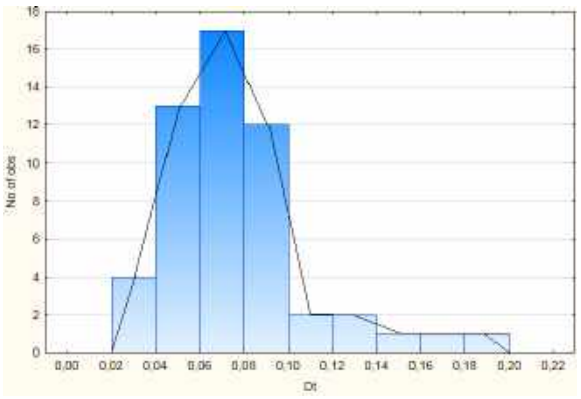



Figura 3 – Distribuição de frequência de Dt – Amostra G

$$\mu = \exp(\beta_1.trm + \beta_2.(tg - ta)) \qquad \text{equação 3}$$

Em complemento foi verificado no modelo a presença de desvios sistemáticos mediante análise de adequação da distribuição, da função de variância e da presença de pontos influentes inconsistentes. Este procedimento de análise de desvios sistemáticos foi repetido até que não houvesse mais pontos influentes inconsistentes. Todas as vezes que era retirado o ponto de influência inconsistente um novo modelo era gerado e analisado novamente cada desvio sistemático. Desta forma, ajustando-se o modelo final sem esses pontos obteve-se as seguintes estimativas as quais estão apresentadas no quadro 4.

Quadro 4- Estimativa dos coeficientes do modelo final

| Coeficiente | Estimativa | Desvio Padrão | Valor t | Pr(>\|t\|) |
|---|---|---|---|---|
| $T_{rm}$ | -0,0726 | 0,0063 | -11,421 | 5,04e-15 |
| $(T_g\text{-}T_a)$ | -0,341 | 0,0850 | -4,017 | 0,0002 |

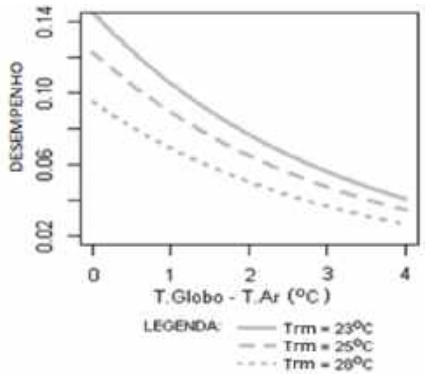
Com estas análises ratifica-se a consistência do modelo. Desta forma, com base nas informações das estimativas apresentadas no quadro 4, substituindo os respectivos coeficientes β1, β2 na equação tem-se:

$$Dt = e^{-0,073Trm - 0,341(tg - ta)} \qquad \text{equação 4}$$

Salienta-se que no quadro 4 os p-valores<0,05, mas o pseudo $R^2$ (0,1548) é baixo. No entanto, sobre o ajuste de modelos lineares generalizados, Cordeiro e Demétrio (2008, p.107) ressaltam que, na prática, um resultado favorável do teste da razão de verossimilhança (para um dado nível de significância) pode ser considerado uma evidência de que um modelo se ajusta razoavelmente bem aos dados. Assim, como o p-valor do teste da razão de verossimilhança foi <0,001, então a equação 3 é bem ajustada.

A partir do modelo 4 observa-se que mantendo constante a temperatura radiante média ($T_{rm}$) a cada aumento de um grau na diferença da temperatura de globo em relação à temperatura do ar ($T_g$-$T_a$) o desempenho diminui em torno de 29%. Esta afirmação pode-se ser constatada no gráfico 1, pois ao fixar três valores para temperatura radiante média (23°C, 25°C e 28°C), variando ($T_g$-$T_a$) entre 1 e 4°C, observa-se, de acordo com o gráfico 1, que o desempenho tende a diminuir com o aumento de ($T_g$-$T_a$).

Gráfico 1 - Comportamento do desempenho em função de (tg-ta)




Os resultados apontaram que o laboratório de informática da Instituição G, em João Pessoa, com os alunos portando *laptops*, apresentou a maior incidência de radiação térmica no ambiente de coleta, visto que, Tg> Ta. Dessa forma, assim como a produtividade pode sofrer alterações devido às mudanças de temperatura do ar em ambientes de ensino climatizados, conforme já comprovado por publicações internacionais, neste

caso específico, se Tg>Ta, possivelmente a radiação térmica poderá interferir no desempenho das pessoas presentes em ambiente providos de inovações tecnológicas de comunicação e informação (*News ICT*).

## 5. CONCLUSÕES

Diversos fatores podem contribuir para o aumento da radiação térmica num ambiente de trabalho. Dentre eles pode-se considerar as condições térmicas externas - mudanças climáticas; o projeto arquitetônico; os materiais que revestem a edificação; as tecnologias de comunicação e informação do ambiente; e o homem, que segundo Fanger (1972) o fator de área de radiação efetiva para os ambos os sexos na posição sentada está no entorno de 0,696±0,017, o qual independe do sexo, peso, da altura, da área de superfície e da característica do corpo humano, além de se levar em consideração que o fator de área da roupa utilizada pelo homem é próximo de 1,11±0,03 para pessoas sentadas, como as deste estudo, pois o aluno realizava suas atividades na posição sentada.

Assim todos esses parâmetros podem contribuir para o aumento da radiação térmica em um ambiente climatizado, que neste artigo o ambiente referido foi laboratórios de informática das instituições de ensino brasileira, pelo qual se investigou a radiação térmica através do comportamento da temperatura de globo em relação à temperatura do ar, observando a variação da temperatura radiante média, quando estudantes exerciam atividades cognitivas. Nesse sentido constatou-se que nos três dias consecutivos quando a temperatura do ar era 20, 24 e 30°C, respectivamente, só não houve troca de calor por radiação entre o aluno e seu ambiente nos laboratórios das instituições C e F, demonstrando que nos outros laboratórios das instituições A, B, D, E e G houve troca de calor por radiação. Mas ressaltando que no laboratório da instituição G essa troca de calor foi mais acentuada, tal que a temperatura radiante média em dado instante superou a temperatura de globo em 2,25 °C$\frac{h_{cg}}{\varepsilon g \sigma}$.

A partir desta informação percebe-se que provavelmente as fontes de calor no interior do laboratório devem ter proporcionado aumento da radiação térmica, haja vista que o número de estudantes e laptops eram representativos. Assim, no sentido de confirmar esses achados, constatou-se conforme modelagem matemática que a cada aumento de um grau na diferença entre a temperatura de globo e a temperatura do ar (Tg-Ta), o desempenho dos estudantes no laboratório de informática da instituição G diminui em torno de 29%, constatando que, quanto maior a temperatura radiante média, maior será a radiação térmica nesse laboratório, e esse aumento poderá comprometer o desempenho dos estudantes.

## REFERÊNCIAS 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. 45: 45-50, 2010.

ALFANO, F.R.A.; ISOLA, M.; PALELLA, B.I. **On the measurement of the mean radiant temperature and its influence on the indoor thermal environment assessment.** Building and Environment. 63: 79-88, 2013.

ALMEIDA, L. S.; PRIMI, R. **Perfis de capacidades cognitivas na bateria de provas de raciocínio (BPR-5): Capacidades cognitivas e BPR-5.** Psicologia Escolar e Educacional, v. 8, n. 2, p. 135–144, 2004.

ASHRAE. ANSI/ASHRAE Standard 55-2010. **Thermal environmental conditions Refrigerating and Air-Conditioning Engineers**, Inc.; 2010.

CORDEIRO, G. M.; DEMÉTRIO, C. G. B. **Modelos Lineares Generalizados e Extensões**. Piracicaba-SP, 2008.

COUTINHO, A. S. **Proteção contra o calor.** In: U. A. de O. Mattos; F. S. Másculo (Eds.); Higiene e segurança do trabalho. p.209–231, 2011. Rio de Janeiro: Elsevier.

DE DEAR, R.J.; AKIMOTO, T.; AREANSN,E.A.; BRAGER,G.; CANDIDO, C.; CHEONG, K.W.D; et al. **Progress in thermal comfort research over the last twenty years**. Indoor Air; 23(6):442–61, 2013.

DOBSON, A.J.; BARNETT, A.G. **An introduction to generalized linear** Models. 3ª Edição. CRC Press. Taylor & Francis Group. 2008.

FANGER, P. O. **Thermal comfort – analysis and applications in environmental engineering**. United States: McGraw-Hill, 1972. 244p.

HALAWA, E.; HOOF, J.V.; SOEBARTO, V. **The impacts of the thermal radiation field on thermal comfort, energy consumption and control—A critical overview.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 37, p. 907-918, 2014.

ISO 7726: **Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities**. Genebra, 2002.RUPP, R. F.; VÁSQUEZ, N.G.; LAMBERTS,R. **A review of human thermal comfort in the built environment**. Energy and Buildings. 105: 178-205, 2015.

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

LANGNER,M.; SCHERBER, K.; ENDLICHER,W. **Indoor heat stress: an assessment of human bioclimate using the UTCI in different buildings in Berlin.** Die Erd; 144:260-73, 2013.

RUPP, R. F.; VÁSQUEZ, N.G.; LAMBERTS,R. **A review of human thermal comfort in the built environment**. Energy and Buildings. 105: 178-205, 2015.

SILVA, L.B. **Análise sobre conforto térmico e desempenho nos ambientes de ensino com video display terminals (VDT): Estudos de multicasos no Nordeste do Brasil e Norte de Portugal**. Projeto de pesquisa submetido ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), vinculado ao MCTI/CNPq, 2013.

SIQUEIRA, J. C. F. **Avaliação de parâmetros cardiovasculares e desempenho cognitivo de estudantes de ambientes inteligentes de ensino submetidos à variação de temperatura do ar**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, 2015.

VAN HOOF, J. **Forty years of Fanger's model of thermal comfort: comfort for all?** Indoor Air. V.18, p. 182-201, 2008.

WALIKEWITZ, N.; JANICKE, B.; LANGNER, M.; MEIER, F.; ENDLICHER,W. **The difference between the mean radiant temperature and the air temperature within indoors environments: A case study during summer conditions**. Building and Environment, v. 84, p. 151-161, 2015.

WONG, L.T.; MUI, K.W.; CHEUNG, **C.T. Bayesian thermal comfort model**. Building and Environment, vol. 82, p. 171-179, 2014.