



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
LABORATÓRIO DE ANÁLISE DO TRABALHO

# 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

**Dia 9 de agosto de 2022**  
Auditório do CE II - UFERSA



**CESET**  
GRUPO DE PESQUISA EM  
CONFORTO, EFICIÊNCIA E  
SEGURANÇA NO TRABALHO

Professor Titular **Luiz Bueno da Silva**, Dr.  
Bolsista de Produtividade e Pesquisa do CNPq

**Flavia Brandão Ramalho de Brito**, Ma.  
Doutoranda do PPGECAM - UFPB

Laboratório de Análise do Trabalho  
[www.ct.ufpb.br/lat](http://www.ct.ufpb.br/lat)

# INTRODUÇÃO

- O conforto térmico está intimamente relacionado com o consumo de energia das instalações, com a produtividade dos ocupantes e, no caso das instalações de ensino, com o **desempenho e aprendizagem de estudantes** (WONG et al., 2014)
- O campo de pesquisa nesta área tem atraído a atenção de muitos pesquisadores devido ao aumento da discussão pública sobre as alterações climáticas do planeta (RUPP et al., 2015)
- Há uma crescente inserção de inovações tecnológicas de comunicação e informação (*News ICT*) em ambientes de ensino colaborando para o aumento da radiação térmica
- Atenção especial para as radiações dissipadas pelas tecnologias presentes nestes ambientes

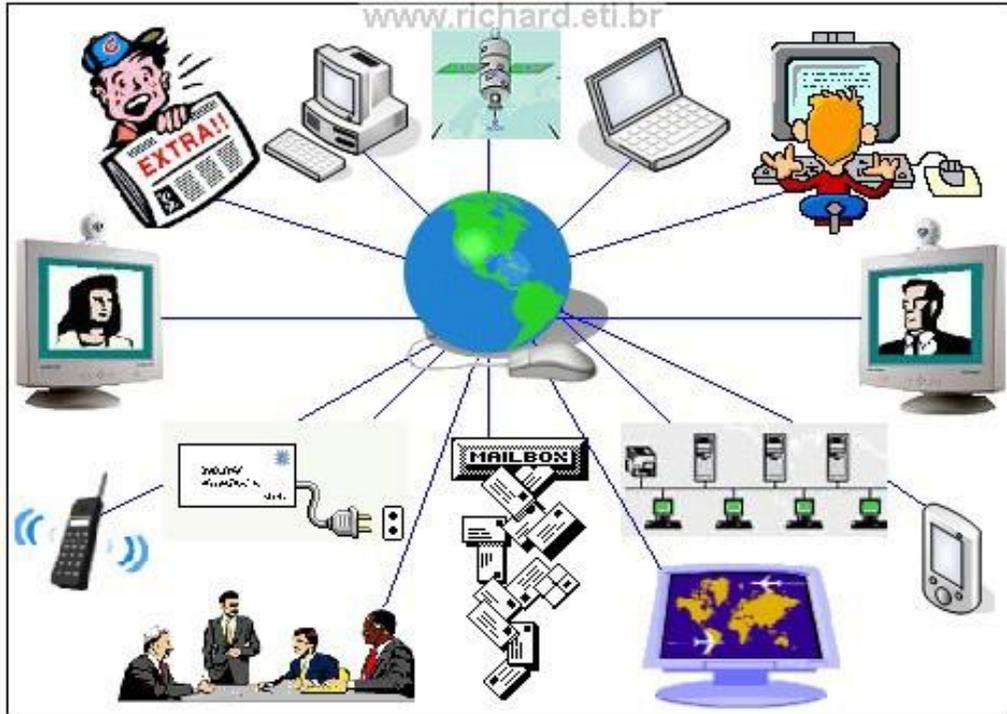


# INTRODUÇÃO

---

- As pesquisas no entorno da radiação térmica têm recebido pouca atenção, o que, em grande parte, tem limitado o desenvolvimento de estudos nessa área (RUPP et al, 2015; De Dear et al.,2013)
- 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 ( $T_g$ ) é uma das variáveis das equações para o cálculo da  $T_{rm}$ . É a temperatura que permite avaliar o nível de radiação térmica das superfícies existentes em um ambiente (COUTINHO, 2011)
- Diferença significativa entre a temperatura de globo e a temperatura do ar ( $T_g - T_a$ ) pode demonstrar certo aumento da radiação térmica no ambiente de trabalho
- Características do ambiente construído podem também desempenhar um papel fundamental na determinação do clima interno e na incidência de radiação térmica em um ambiente (WALIKWITZ et al., 2015)

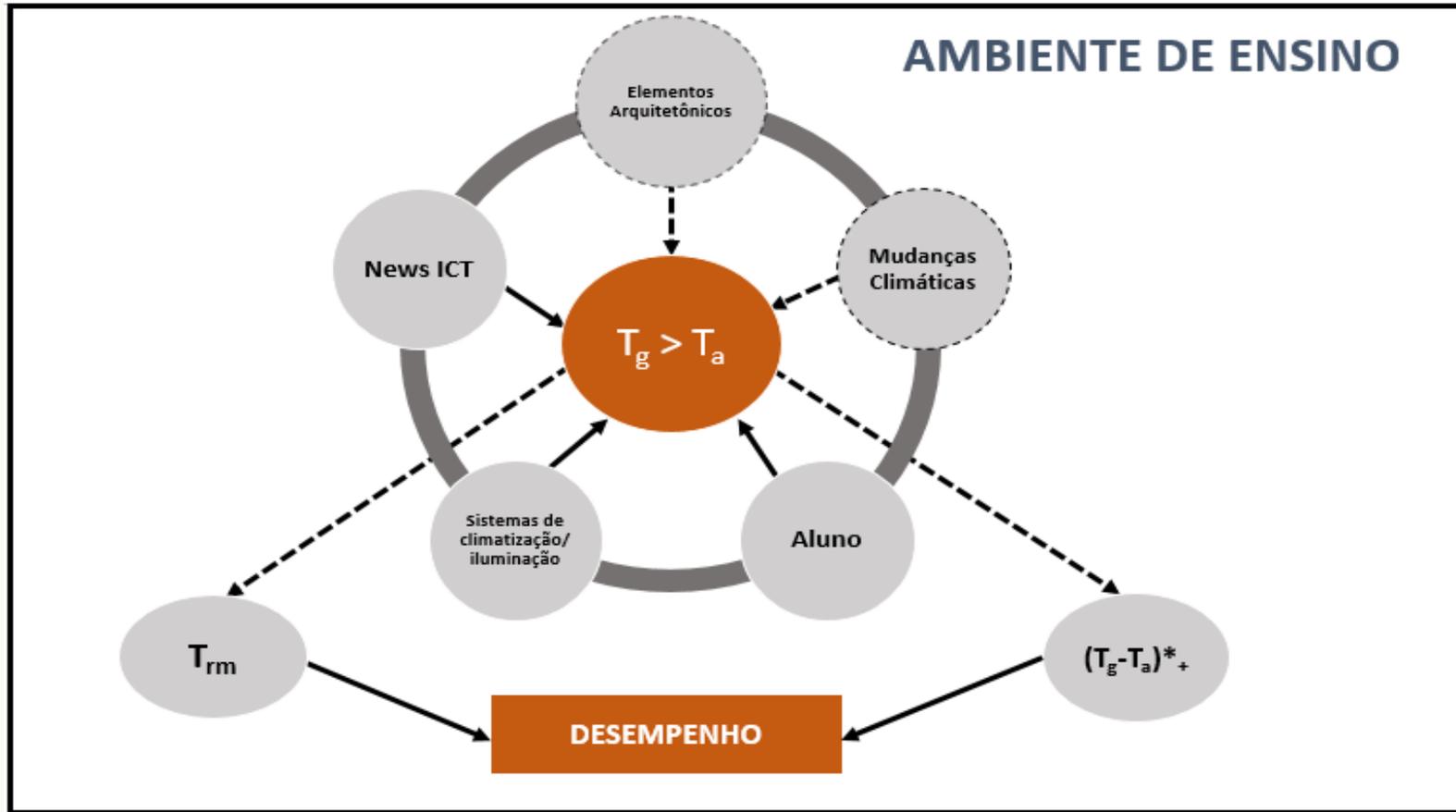
# OBJETIVO



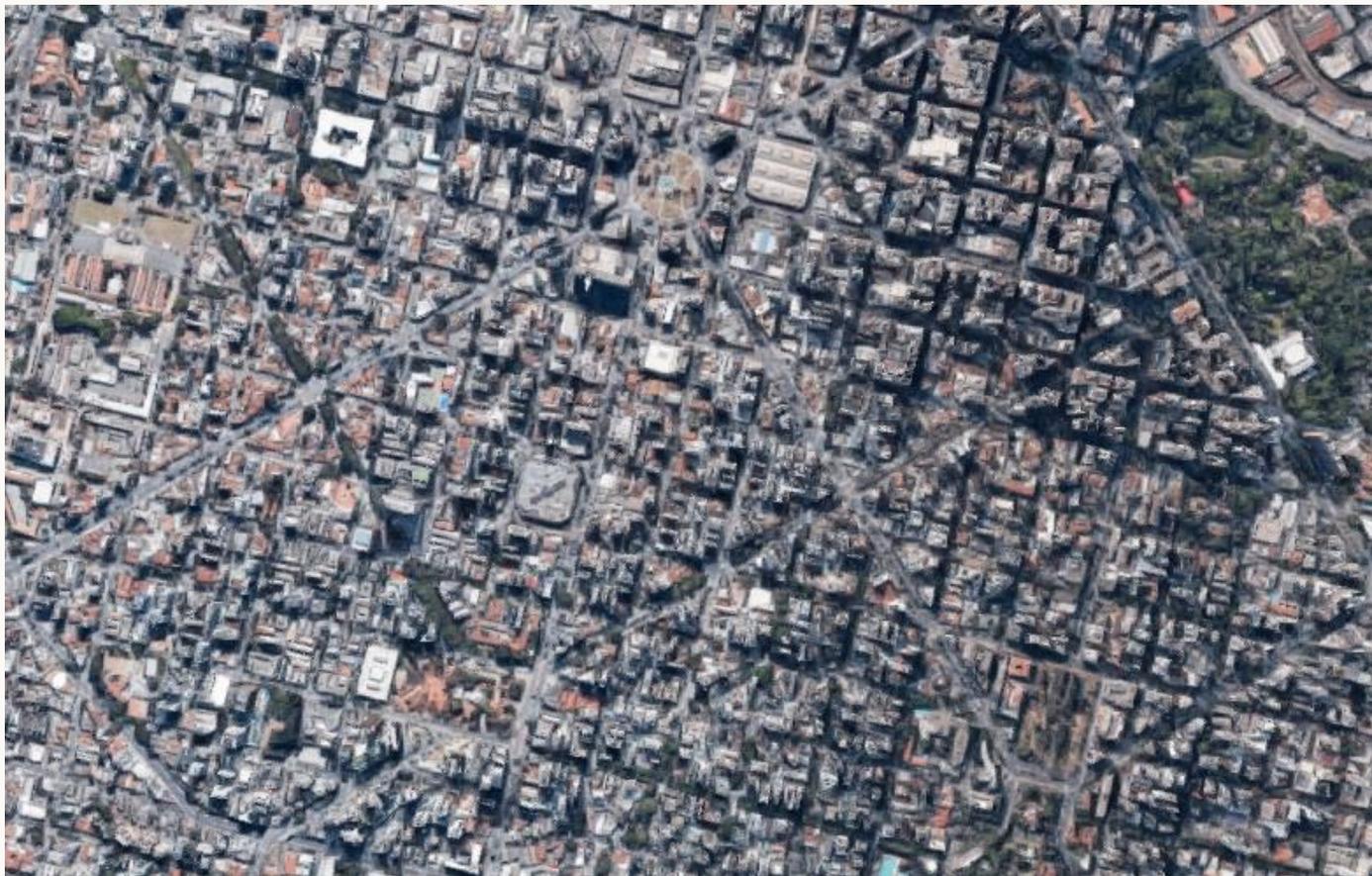
Investigar se o comportamento da temperatura de globo em relação à temperatura do ar ( $T_g - T_a$ ), com possível efeito na elevação da  $T_{rm}$ , poderá ter repercussão no desempenho cognitivo de estudantes em ambientes de ensino climatizados providos de inovações tecnológicas de comunicação e informação (*News ICT*)?

# MÉTODOS

Fatores que podem contribuir para o aumento da radiação térmica em ambientes de ensino providos de *News ICT*:



Quando houver registro que a  $T_g$  for significativamente superior à  $T_a$ , esta ocorrência implicará no aumento da temperatura radiante média, a qual será superior à temperatura de globo.



**Os efeitos da ilha de calor urbana dependem do layout de uma cidade. A maneira como as ruas e os prédios são organizados faz uma grande diferença na forma como o calor se acumula.**

**David L. Chandler | MIT News Office, February 22, 2018**





Os prédios impedem a circulação do ar – acúmulo de calor no ambiente e na rua



# MÉTODOS

Os procedimentos metodológicos adotados na pesquisa consistiram no desenvolvimento das seguintes etapas:

- Análise das variáveis térmicas ( $T_a$ ;  $T_g$ ;  $T_{rm}$ ; UR)
- Análise do desempenho dos estudantes
- Análise sucinta dos elementos arquitetônicos
- Tratamento dos dados
- Modelagem matemática (MLG)



→ O estudo foi realizado no Brasil em laboratórios de informática (LIs)

→ Em cada LI as medições foram efetuadas a três níveis de temperatura de bulbo seco do ar ( $t_a$ ): 20°C, 24°C e 30°C

# MÉTODOS

Instituição	Localidade	Tamanho da amostra	Período
A - UFPI	Teresina- PI	28 estudantes	15 a 17/09/2015
B- UFSC	Florianópolis- SC	19 estudantes	21a 23/03/2016
C- UnB	Brasília -DF	18 estudantes	26 a 28/04/2016
D- UNIVASF	Petrolina- PE	15 estudantes	23 a 25/05/2016
E- ICMC	São Carlos- SP	15 estudantes	17 a 19/11/2014
F - UFAM	Manaus -AM	28 estudantes	01 a 03/08/2016
G – CE da PM	João Pessoa -PB	40 estudantes	18 a 20/07/2012
<b>Total</b>		163 estudantes	

- 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 alunos 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.
- 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

# MÉTODOS – VARIÁVEIS TÉRMICAS

Estação microclimática-  
BABUC-A Medidor de estresse térmico  
-TGD 300



A velocidade do ar foi considerada constante,  $V = 0,1$  m/s, estimativa para ambientes fechados (COUTINHO, 2011; ASHRAE 55-2010)



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 (1) da temperatura radiante média 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

$$T_{rm} = \sqrt[4]{T_g^4 + \frac{h_{cg}}{\varepsilon_g \sigma} \cdot (T_g - T_a)} \quad (1)$$

Onde:  $T_{rm}$  = temperatura radiante média;  $T_g$  = temperatura de globo;  $h_{cg} = 6,3 \frac{v^{0,6}}{D^{0,4}}$  onde  $v$  é a velocidade do ar,  $D$  = diâmetro do globo;  $\varepsilon_g$  = emissividade do globo negro (adimensional);  $\sigma$  = constante de Stefan-Boltzman =  $5,67 \times 10^{-8}$  W/m<sup>2</sup>.K<sup>4</sup>

# MÉTODOS - DESEMPENHO DOS ESTUDANTES

---

- 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
- 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 os alunos realizaram atividades vinculadas à Bateria de Provas de Raciocínio (BPR-5)
- 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).
- 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
- O desempenho pode ser classificado em 3 faixas: **capacidade abaixo da média** com resultados de **acertos até 25%**; **capacidade média** com resultado total de **acertos acima de 25% e até 75%**; **capacidade acima da média** com resultado de **acertos superior a 75%**

# MÉTODOS - ELEMENTOS ARQUITETÔNICOS

## - Recomendações segundo Roriz (1996):

<b>Implantação</b>	As edificações devem ser alongadas, com as fachadas maiores voltadas para Norte e Sul para reduzir as cargas térmicas devidas à radiação solar. Pode haver um ligeiro desvio nessa orientação para facilitar a captação das brisas dominantes nos meses mais úmidos ou para permitir um aquecimento por ação solar durante o período mais frio.
<b>Espaçamentos entre as edificações</b>	Deverão ser acentuadas as distâncias entre edificações, para permitir a passagem livre das brisas. De modo geral, para serem realmente eficientes, essas distâncias devem ser, no mínimo, cinco vezes maiores que as alturas dos edifícios. Nesse mesmo sentido, edifícios sobre pilotis também podem contribuir.
<b>Ventilação</b>	Os projetos devem otimizar a ventilação cruzada. Para tanto, é preferível que as habitações, ou seus aposentos, sejam dispostos em "filas simples" ao longo dos edifícios.
<b>Tamanho das aberturas</b>	As aberturas devem ser grandes, ocupando entre 40 e 80% das fachadas Norte e Sul e permitindo que a ventilação atravesse os ambientes ao nível dos corpos dos ocupantes.
<b>Posição das aberturas</b>	Nas fachadas Norte e Sul, permitindo que a ventilação atravesse os ambientes ao nível dos corpos dos ocupantes. Para otimizar a velocidade do ar no interior dos ambientes, as aberturas de saída devem ser ligeiramente maiores e mais altas que as de entrada.
<b>Proteção das aberturas</b>	Os ambientes deverão ser protegidos contra a radiação solar direta; proteger cuidadosamente as aberturas contra as chuvas.
<b>Paredes</b>	Paredes leves (pouca inércia térmica) e com superfícies externas de cores claras para refletirem a radiação solar: Transmitância Térmica ( $U$ ) $\leq$ a $2,8 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ; Retardamento ( $\varphi$ ) $\leq$ 3 horas e Fator de Calor Solar ( $F_{so}$ ) $\leq$ a 4%. Considerando: $F_{so}=4.U.\alpha$ , sendo $U$ , transmitância térmica e $\alpha$ , absorvância à radiação solar.
<b>Coberturas</b>	As coberturas devem ser leves, mas deverão apresentar maior resistência térmica. Este maior isolamento será especialmente importante para evitar que a face inferior da cobertura (forro) se aqueça excessivamente. Adotar Transmitância Térmica ( $U$ ) $\leq$ a $0,85 \text{ W/m}^2.\text{°C}$ , Retardamento $\leq$ 3 horas e ( $F_{so}$ ) $\leq$ a 3%.

**Para a obtenção dos dados relativos às vedações laterais (paredes) e à cobertura presentes utilizaram-se dados de referência da NBR 15220 (2003)-Desempenho térmico de edificações**

# MÉTODOS

---

## 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

## Modelagem matemática

- Construção de um modelo matemático através das classes de Modelo Linear Generalizado (MLG)
- Investigar o comportamento de  $(T_g - T_a)$  e da  $T_{rm}$  no desempenho cognitivo (índice  $Dt$  - desempenho total em relação ao tempo) de estudantes
- $(t_g - t_a) > 0$  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.

# RESULTADOS E DISCUSSÕES

## Variáveis térmicas

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



# RESULTADOS E DISCUSSÕES

## Análise da troca de calor por radiação por sessão e LI:

A maior troca de calor por radiação térmica ocorreu no LI- G (João Pessoa)

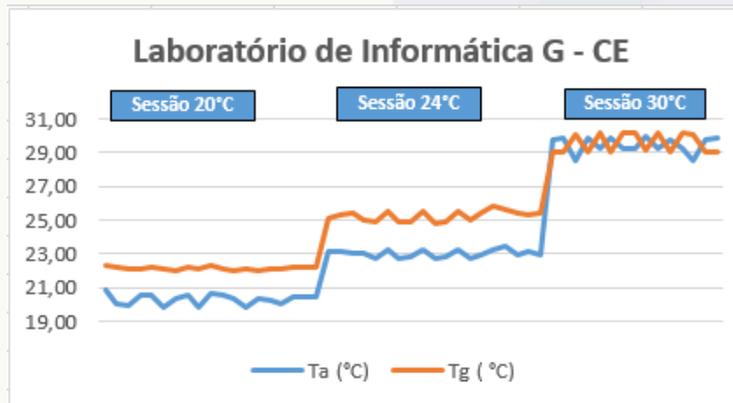
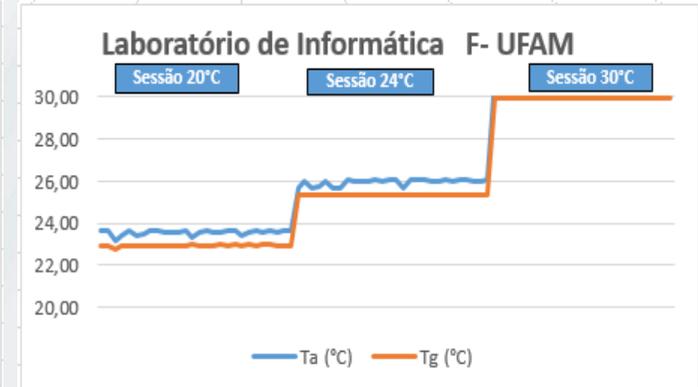
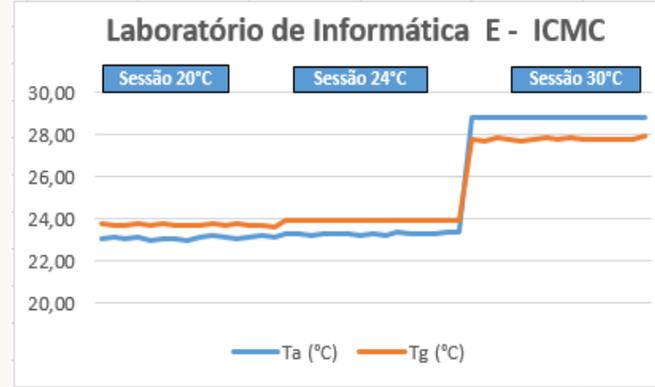
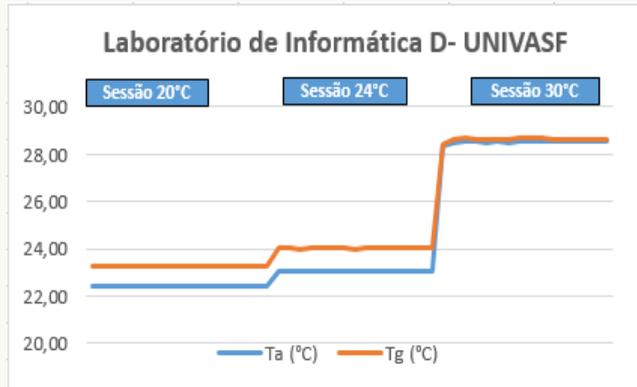
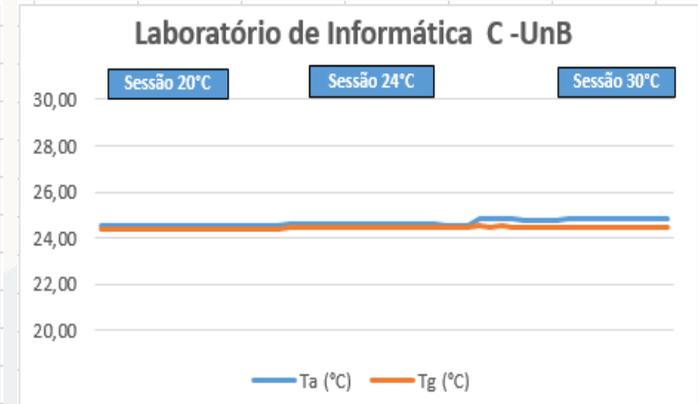
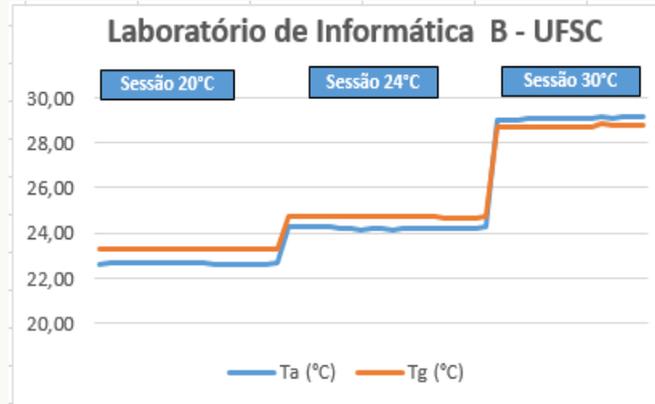
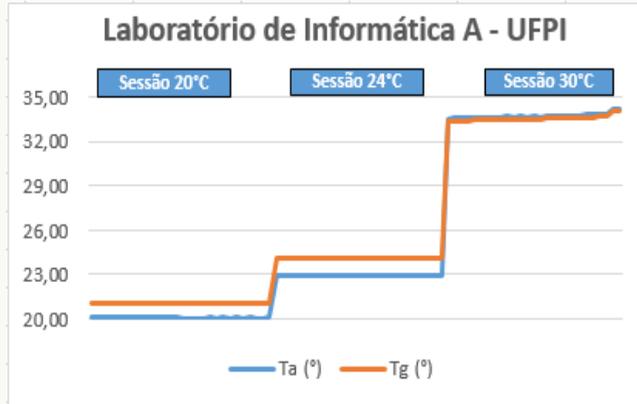
- Quantidade de laptops
- características arquitetônicas da sala

Não houve troca de calor por radiação nos Lis C (Brasília) e F (Manaus)



LI	SESSÃO 20°C	SESSÃO 24°C	SESSÃO 30°C
A	$T_g > T_a$ 0,97 °C ± 0,0 Houve troca de calor por radiação	$T_g > T_a$ 1,17 °C ± 0,0 Houve troca de calor por radiação	$T_g < T_a$ -0,17 °C ± 0,0 Não houve troca de calor por radiação
	$T_g > T_a$ 0,64 °C ± 0,0 Houve troca de calor por radiação	$T_g > T_a$ 0,51 °C ± 0,0 Houve troca de calor por radiação	$T_g < T_a$ -0,36 °C ± 0,0 Não houve troca de calor por radiação
B	$T_g < T_a$ -0,11 °C ± 0,0 Não houve troca de calor por radiação	$T_g < T_a$ -0,16 °C ± 0,0 Não houve troca de calor por radiação	$T_g < T_a$ -0,32 °C ± 0,0 Não houve troca de calor por radiação
	$T_g > T_a$ 0,83 °C ± 0,0 Houve troca de calor por radiação	$T_g > T_a$ 1,00 °C ± 0,0 Houve troca de calor por radiação	$T_g > T_a$ 0,12 °C ± 0,0 Houve troca de calor por radiação
C	$T_g > T_a$ 0,63 °C ± 0,0 Houve troca de calor por radiação	$T_g > T_a$ 0,65 °C ± 0,0 Houve troca de calor por radiação	$T_g < T_a$ -1,00 °C ± 0,0 Não houve troca de calor por radiação
	$T_g < T_a$ -0,64 °C ± 0,0 Não houve troca de calor por radiação	$T_g < T_a$ -0,60 °C ± 0,0 Não houve troca de calor por radiação	$T_g < T_a$ -0,93 °C ± 0,0 Não houve troca de calor por radiação
D	$T_g > T_a$ 1,86 °C ± 0,2 Houve troca de calor por radiação	$T_g > T_a$ 2,25 °C ± 0,0 Houve troca de calor por radiação	$T_g > T_a$ 0,09 °C ± 1,0 Houve troca de calor por radiação
	$T_g > T_a$ 0,97 °C ± 0,0 Houve troca de calor por radiação	$T_g > T_a$ 1,17 °C ± 0,0 Houve troca de calor por radiação	$T_g < T_a$ -0,17 °C ± 0,0 Não houve troca de calor por radiação
E	$T_g > T_a$ 0,64 °C ± 0,0 Houve troca de calor por radiação	$T_g > T_a$ 0,51 °C ± 0,0 Houve troca de calor por radiação	$T_g < T_a$ -0,36 °C ± 0,0 Não houve troca de calor por radiação
	$T_g < T_a$ -0,11 °C ± 0,0 Não houve troca de calor por radiação	$T_g < T_a$ -0,16 °C ± 0,0 Não houve troca de calor por radiação	$T_g < T_a$ -0,32 °C ± 0,0 Não houve troca de calor por radiação
F	$T_g > T_a$ 0,83 °C ± 0,0 Houve troca de calor por radiação	$T_g > T_a$ 1,00 °C ± 0,0 Houve troca de calor por radiação	$T_g > T_a$ 0,12 °C ± 0,0 Houve troca de calor por radiação
	$T_g > T_a$ 0,63 °C ± 0,0 Houve troca de calor por radiação	$T_g > T_a$ 0,65 °C ± 0,0 Houve troca de calor por radiação	$T_g < T_a$ -1,00 °C ± 0,0 Não houve troca de calor por radiação
G	$T_g < T_a$ -0,64 °C ± 0,0 Não houve troca de calor por radiação	$T_g < T_a$ -0,60 °C ± 0,0 Não houve troca de calor por radiação	$T_g < T_a$ -0,93 °C ± 0,0 Não houve troca de calor por radiação
	$T_g > T_a$ 1,86 °C ± 0,2 Houve troca de calor por radiação	$T_g > T_a$ 2,25 °C ± 0,0 Houve troca de calor por radiação	$T_g > T_a$ 0,09 °C ± 1,0 Houve troca de calor por radiação

# RESULTADOS E DISCUSSÕES



# RESULTADOS E DISCUSSÕES

## Análise do desempenho dos estudantes

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

- Em nenhum LI 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 Lis E e G apresentaram um resultado em média mais satisfatório do que as demais
- O laboratório F apresentou em média um resultado menos satisfatório se comparada com as outras instituições.

# RESULTADOS E DISCUSSÕES

## Análise dos elementos arquitetônicos

Edificação	Implantação / Espaçamentos entre as edificações	Ventilação	Posição, tamanho e proteção das aberturas	Paredes	Coberturas
LI - A	<ul style="list-style-type: none"><li>- Maior fachada voltada para Nordeste</li><li>- Edificações alongadas e afastadas, reduzindo a exposição à radiação solar e expondo as fachadas maiores aos ventos dominantes</li><li>- A edificação possui dois pavimentos e o laboratório em estudo está localizado no térreo e na parcela mais Oeste do edifício, desta forma recebe radiação solar na parede Noroeste no período da tarde.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Não há preocupação com a ventilação cruzada dentro do laboratório, as janelas estão localizadas apenas em uma fachada</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Aberturas localizadas na fachada Sudoeste do edifício, ocupando uma área de 10,43m<sup>2</sup>, ou 41,68% do laboratório</li><li>- Não há a preocupação com a proteção das aberturas, porém os pilares são dispostos externamente à edificação auxiliando na proteção das mesmas, porém de forma ineficaz</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Os materiais de vedação laterais são compostos por paredes de tijolos de 6 furos rebocado com transmitância térmica de 2,48W/m<sup>2</sup>.°C</li><li>- Como o revestimento externo é de tijolinho (<math>\alpha=0,5</math>), seu fator de calor solar é de 4,96%</li><li>- O atraso térmico da parede é de 3,3 horas</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Coberta de telha cerâmica com estrutura de madeira, para uma coberta de telhas de barro e laje mista (espessura de 12 cm) a transmitância térmica é de 1,92W/m<sup>2</sup>.°C</li><li>- O fator solar é de 3,84% (<math>\alpha=0,5</math>)</li><li>- O atraso térmico da coberta de telha de barro com forro de laje mista é de 3,6 horas</li></ul>
LI - B	<ul style="list-style-type: none"><li>- A edificação não é alongada</li><li>- As fachadas tem praticamente a mesma dimensão</li><li>- Possui três pavimentos e o laboratório em estudo está localizado no primeiro pavimento</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Não há preocupação com a ventilação cruzada dentro do laboratório, as janelas estão localizadas apenas em uma fachada.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Aberturas localizadas na fachada Sudoeste, ocupando uma área de 10,35m<sup>2</sup>, ou 47% do laboratório</li><li>- Utilização de elemento de proteção solar interno, cortinas</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Os materiais de vedação laterais são compostos por paredes de tijolo maciços aparentes, transmitância térmica de 3,70W/m<sup>2</sup>.°C; e paredes de tijolos de 6 furos rebocado com transmitância térmica de 2,48W/m<sup>2</sup>.°C</li><li>- Como a parede é de tijolo aparente (<math>\alpha=0,5</math>), seu fator de calor solar é de 4,96%</li><li>- O atraso térmico da parede de tijolos maciços é de 2,4 horas, enquanto que da parede de tijolos de 6 furos rebocado é de 3,3 horas</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- O valor da transmitância térmica para uma coberta de fibrocimento é de 1,93W/m<sup>2</sup>.°C</li><li>- Fator de calor solar é de 5,4% (<math>\alpha= 0,7</math>; pois o fibrocimento se encontra enegrecido)</li><li>- O atraso térmico da coberta de fibrocimento com forro de laje mista é de 3,6 horas</li></ul>

# RESULTADOS E DISCUSSÕES

## Análise dos elementos arquitetônicos

Edificação	Implantação / Espaçamentos entre as edificações	Ventilação	Posição, tamanho e proteção das aberturas	Paredes	Coberturas
LI - C	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A maior fachada do edifício está voltada para Nordeste</li> <li>- A implantação do edifício gera um pátio central, o prédio possui dois pavimentos e o laboratório se encontra no térreo e na porção mais leste do edifício, desta forma o mesmo não recebe incidência solar direta no período da tarde</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não há preocupação com a ventilação cruzada dentro do laboratório, as janelas estão localizadas apenas em uma fachada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aberturas localizadas na fachada sudeste do edifício, ocupando uma área de 33,83m<sup>2</sup>, ou 59,22% do laboratório</li> <li>- Utilização de elemento de proteção solar externo, brises</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Os materiais de vedação laterais são compostos por paredes de tijolos de 6 furos rebocado com transmitância térmica de 2,48W/m<sup>2</sup>.°C</li> <li>- Como a cor utilizada é a branca (<math>\alpha=0,2</math>), seu fator de calor solar é de 1,5%</li> <li>- O atraso térmico da parede é de 3,3 horas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O valor da transmitância térmica para uma cobertura de fibrocimento é de 1,93W/m<sup>2</sup>.°C</li> <li>- Fator de calor solar é de 1,5% (<math>\alpha=0,2</math>; pois o fibrocimento se encontra na cor branca)</li> <li>- O atraso térmico da cobertura de fibrocimento com forro de laje mista é de 3,6 horas</li> </ul>
LI - D	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A maior fachada do edifício está voltada para Noroeste</li> <li>- A edificação é alongada e, neste caso, aumenta a radiação solar que incide no edifício, devido a sua orientação</li> <li>- A edificação possui três pavimentos e o laboratório em estudo está localizado no primeiro pavimento e na parcela mais norte do edifício, desta forma recebe radiação solar na parede Noroeste no período da tarde</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não há preocupação com a ventilação cruzada dentro do laboratório, as janelas estão localizadas apenas em uma fachada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aberturas localizadas na fachada Noroeste do laboratório, ocupando uma área de 15,21m<sup>2</sup>, ou 43,89% do laboratório</li> <li>- Não há preocupação com a proteção das aberturas, porém os pilares são dispostos externamente à edificação auxiliando na proteção das mesmas, porém de forma ineficaz</li> <li>- As aberturas recebem radiação solar direta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Os materiais de vedação laterais são compostos por paredes de tijolos de 6 furos rebocado com transmitância térmica de 2,48W/m<sup>2</sup>.°C</li> <li>- Como a cor utilizada é a amarela (<math>\alpha=0,3</math>), seu fator de calor solar é de 3%</li> <li>- O atraso térmico da parede é de 3,3 horas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O valor da transmitância térmica para uma cobertura de fibrocimento é de 1,93W/m<sup>2</sup>.°C</li> <li>- Fator de calor solar é de 5,4% (<math>\alpha=0,7</math>; pois o fibrocimento se encontra enegrecido)</li> <li>- O atraso térmico da cobertura de fibrocimento com forro de laje mista é de 3,6 horas</li> </ul>
LI - E	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A edificação é alongada e sua maior fachada está orientada para norte, diminuindo assim a exposição do edifício à radiação solar</li> <li>- Área do laboratório: 61,68m<sup>2</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não há preocupação com a ventilação cruzada dentro do laboratório, as janelas estão localizadas apenas em uma fachada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aberturas ocupam uma área de 7m<sup>2</sup>, ou 40,79% do laboratório</li> <li>- Utilização de elemento de proteção solar externo, brises</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Os materiais de vedação laterais são compostos por divisórias em PVC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O valor da transmitância térmica para uma cobertura de fibrocimento é de 1,93W/m<sup>2</sup>.°C</li> <li>- Fator de calor solar é de 1,5% (<math>\alpha=0,2</math>; pois o fibrocimento se encontra na cor branca)</li> </ul>

# RESULTADOS E DISCUSSÕES

## Análise dos elementos arquitetônicos

Edificação	Implantação / Espaçamentos entre as edificações	Ventilação	Posição, tamanho e proteção das aberturas	Paredes	Coberturas
LI - F	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maior fachada voltada para Norte-Sul</li> <li>- Edificações alongadas e afastadas, reduzindo a exposição à radiação solar e expondo as fachadas maiores aos ventos dominantes</li> <li>- Edificação térrea</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Preocupação com a ventilação cruzada, possui janelas nas fachadas Norte e Sul</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aberturas estão bem dimensionadas e localizadas na fachada Norte e Sul, ocupando uma área de 17,85m<sup>2</sup>, ou 61,78%, na fachada Norte e uma área de 14,5m<sup>2</sup>, ou 42,37%, na fachada Sul, do laboratório.</li> <li>- O grande beiral da cobertura funciona como proteção para a radiação solar direta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Os materiais de vedação laterais são compostos por paredes de tijolos de 8 furos, sua transmitância térmica é de 2,24W/m<sup>2</sup>.°C</li> <li>- O revestimento exterior é de pastilhas cerâmica na cor bege, que possui <math>\alpha=0,3</math>, desta forma o fator de calor solar é de 2,7%</li> <li>- O atraso térmico das paredes, porém, é de 3,7 horas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O valor da transmitância térmica para uma cobertura de fibrocimento é de 1,93W/m<sup>2</sup>.°C</li> <li>- Fator de calor solar é de 1,5% (<math>\alpha=0,2</math>; pois o fibrocimento se encontra na cor branca)</li> <li>- O atraso térmico da cobertura de fibrocimento com forro de laje mista é de 3,6 horas</li> <li>- Laje possui um isolamento térmico de cortiça, o que reduz sua transmitância térmica e melhora o desempenho térmico da mesma</li> </ul>
LI - G	<ul style="list-style-type: none"> <li>- As maiores fachadas estão voltadas para Norte-Sul, reduzindo assim a exposição à radiação solar, a forma alongada da edificação também contribui nesse aspecto</li> <li>- Edificação em estudo está afastado em relação às outras do seu entorno, permitindo a passagem de brisas</li> <li>- Edificação térrea, laboratório em estudo localizado na parcela mais oeste do edifício, desta forma a parede recebe radiação solar no período da tarde, a presença de vegetação e um muro baixo ajuda a protegê-la da radiação solar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não há preocupação com a ventilação cruzada dentro do laboratório, as janelas estão localizadas apenas em uma fachada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- As aberturas estão localizadas na fachada Sul, ocupando uma área de 3,81m<sup>2</sup>, ou 20,19%, nessa fachada do laboratório</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Os materiais de vedação laterais são compostos por paredes de tijolos de 6 furos rebocado com transmitância térmica de 2,48W/m<sup>2</sup>.°C</li> <li>- Como a cor utilizada é a branca (<math>\alpha=0,2</math>), seu fator de calor solar é de 1,5%</li> <li>- O atraso térmico da parede é de 3,3 horas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O valor da transmitância térmica para uma cobertura de fibrocimento é de 1,93W/m<sup>2</sup>.°C</li> <li>- Fator de calor solar é de 1,5% (<math>\alpha=0,2</math>; pois o fibrocimento se encontra na cor branca)</li> <li>- O atraso térmico da cobertura de fibrocimento com forro de laje mista é de 3,6 horas</li> </ul>

# RESULTADOS E DISCUSSÕES

Laboratório de Informática	Adequação do projeto/elementos arquitetônicos	Calor por radiação	Resultado
A	NÃO ADEQUADO	Houve troca de calor por radiação $T_g > T_a$	Há fatores internos e externos proporcionando aumento de radiação térmica no ambiente
B	NÃO ADEQUADO	Houve troca de calor por radiação $T_g > T_a$	Há fatores internos e externos proporcionando aumento de radiação térmica no ambiente
C	ADEQUADO	Não houve troca de calor por radiação $T_g < T_a$	Não houve troca de calor por radiação
D	NÃO ADEQUADO	Houve troca de calor por radiação $T_g > T_a$	Há fatores internos e externos proporcionando aumento de radiação térmica no ambiente
E	ADEQUADO	Houve troca de calor por radiação $T_g > T_a$	Maior parte desta troca de calor foi provavelmente proveniente de fontes internas de calor
F	ADEQUADO	Não houve troca de calor por radiação $T_g < T_a$	Não houve troca de calor por radiação
G	ADEQUADO	Houve troca de calor por radiação $T_g > T_a$	Maior parte desta troca de calor foi provavelmente proveniente de fontes internas de calor

# RESULTADOS E DISCUSSÕES

## Modelagem matemática

- Avaliar se a  $(T_g - T_a)$  e  $T_{rm}$  poderiam ter relação com o desempenho total dos estudantes ( $D_t$ ) - desempenho total em função do tempo
- Distribuição dos dados referentes ao  $D_t$  se aproximava de uma distribuição da família exponencial o que permitiu a utilização de um modelo da classe do Modelo Linear Generalizado (MLG)
- O modelo adequado de regressão ajustado foi o da família gaussiana inversa com função de ligação log na forma da equação:

$$\mu = \exp(\beta_1 \cdot trm + \beta_2 \cdot (tg - ta))$$

- Foi verificado no modelo a presença de desvios sistemáticos através da análise de adequação da distribuição, da função de variância e da presença de pontos influentes inconsistentes

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
$(t_g - t_a)$	-0,341	0,0850	-4,017	0,0002

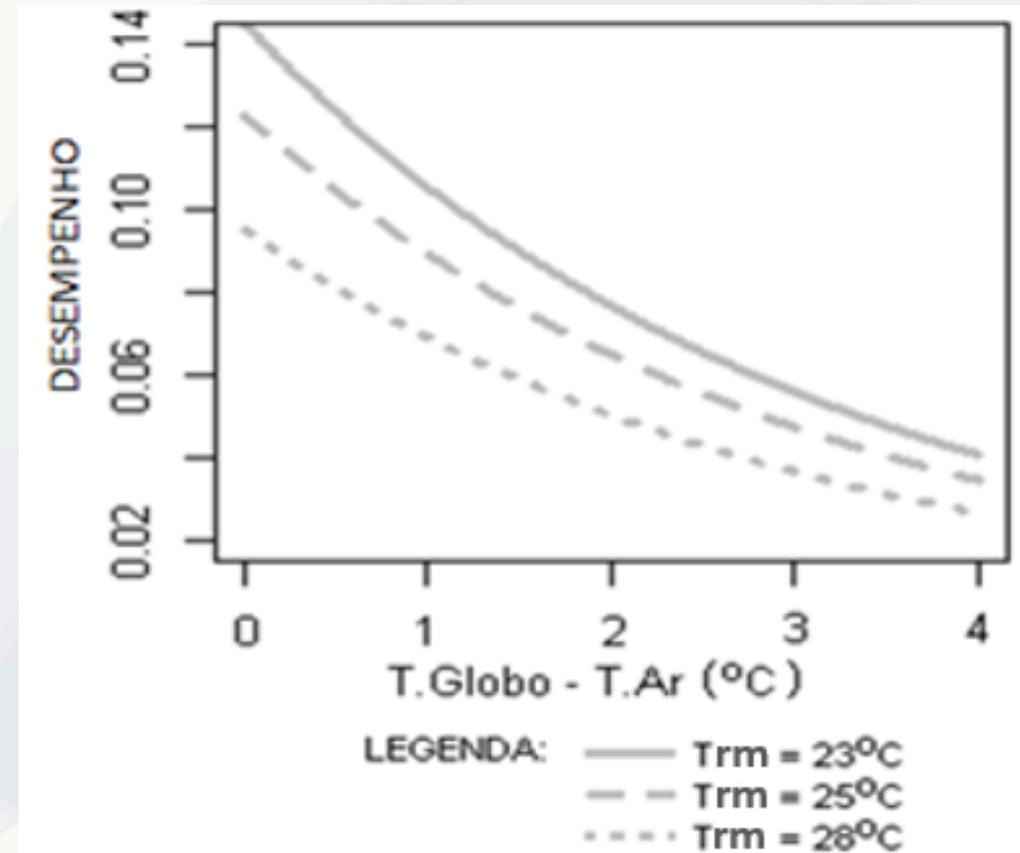


# RESULTADOS E DISCUSSÕES

## Modelagem matemática

$$Dt = e^{-0,073T_{rm} - 0,341(t_g - t_a)}$$

- Observa-se que mantendo constante a ( $T_{rm}$ ) a cada aumento de um grau ( $T_g - T_a$ ) o desempenho diminui em torno de 29%
- Ao fixar três valores para  $T_{rm}$  ( $23^{\circ}\text{C}$ ,  $25^{\circ}\text{C}$  e  $28^{\circ}\text{C}$ ), variando ( $T_g - T_a$ ) entre 1 e  $4^{\circ}\text{C}$ , observa-se, de acordo com o gráfico ao lado, que o desempenho tende a diminuir com o aumento de ( $t_g - t_a$ ).



# CONCLUSÕES

- Os resultados apontaram que o LI da Instituição G, em João Pessoa, com os alunos portando laptops, apresentou a maior incidência de radiação térmica no ambiente de coleta, tal que a temperatura radiante média em dado instante superou a temperatura de globo em  $2,25 \text{ }^{\circ}\text{C} \frac{h_{cg}}{\varepsilon g \sigma}$
- Sob ponto de vista da análise dos elementos arquiteturais, que o projeto da edificação do LI-G estava adequado tanto pela boa orientação como pelo bom desempenho térmico dos seus materiais
- 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 (40)
- Através modelagem matemática pôde-se constatar que a cada aumento de um grau na  $(T_g - T_a)$ , o desempenho dos estudantes no LI da instituição G diminuía em torno de 29%, logo, quanto maior a temperatura radiante média, maior será a radiação térmica nesse laboratório, e esse aumento poderá comprometer o desempenho dos estudantes
- 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  $T_g \gg T_a$  possivelmente poderá interferir no desempenho das pessoas presentes em ambiente providos de

# SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Investigar não apenas como cada fator poderá contribuir para o aumento da radiação térmica no ambiente
- Analisar como o conjunto de variáveis (Projeto Arquitetônico, Mudanças Climáticas, *News ICT*, Sistemas de Climatização e Iluminação e o próprio Homem) poderá contribuir para o aumento da radiação térmica no ambiente utilizando a ferramenta estatística redes bayesianas
- Esta análise do conjunto como um todo deve ser realizada principalmente quando houver registro que a  $T_g \gg T_a$
- Aumento da  $T_{rm}$ , a qual será superior a  $T_g$ , fornecerá subsídios para identificar que fator é mais preponderante na contribuição da elevação da radiação térmica, bem como saber qual é a probabilidade de cada variável e do conjunto de variáveis contribuir para o aumento da radiação térmica com reflexos no desempenho e na saúde do trabalhador
- **Investigar a relação entre aspectos da morfologia urbana e as condições termofísicas e radiação não ionizante em ambientes de trabalho remoto.**



# REFERÊNCIAS

---

- 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.
- ARSLANOGLU, N.; YIGIT, A. Experimental and theoretical investigation of the effect of radiation heat flux on human thermal comfort. *Energy and Buildings*. 113: 23-29, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, set. 2003.
- ASHRAE. ANSI/ASHRAE Standard 55-2010. Thermal environmental conditions Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.; 2010.
- ATMACA, I.; KAYNAKLI, O.; YIGIT, A. Effects of radiant temperature on thermal comfort. *Building and Environment*. 42: 3210-3220, 2007.
- 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.

# REFERÊNCIAS

---

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.; HOOFF, 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 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 7726: Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities. Genebra, 2002.

LAMBERTS, R.; ORDENES, M.; GUTHS, S. Transferência de calor na envolvente da Edificação. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

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.

OLIVEIRA, Etianne Alves Souza de. Análise da Relação entre os Parâmetros Arquitetônicos, o Conforto Térmico e a Produtividade em Escritórios com Ventilação Natural. 2015. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2015

PARK, Sookuk. Human-urban radiation exchange simulation model. A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of DOCTOR OF PHILOSOPHY in the Department of Geography, University of Victoria, 220p.

PIVETTA, M. Extremos do clima. Pesquisa FAPESP, v. 210, p. 16–21, 2013

RORIZ, Maurício. Conforto Térmico em Edificações: Um Modelo Matemático e uma Aplicação 1996. 185 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.