

MAPEAMENTO TÉRMICO PARA ANÁLISE DAS VARIAÇÕES DE TEMPERATURA DO AR E DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES

THERMAL MAPPING FOR AIRTEMPERATURE VARIATION ANALYSIS AND BUILDINGS PERFORMANCE

Luiz Fernando Kowalsk^{1,2}

Odiléia Karina Monteiro da Rocha^{1,3}

Lucas Akimitsu Afus^{1,4}

Ítalo Alberto Gatica Rísoli^{1,5}

Resumo: O desempenho térmico da edificação está diretamente associado às condições de conforto do usuário. Escolher materiais adequados juntamente com o monitoramento térmico de um ambiente, são fatores que auxiliam no conforto, melhorando as condições de uso espaço. Este trabalho tem como objetivo analisar a temperatura do ar interna em um edifício de laboratórios de engenharias e arquitetura. Para aquisição de dados foram distribuídos sensores de temperatura em 10 pontos estratégicos no edifício. A partir dos resultados obtidos, nota-se pontos críticos de temperatura, influenciados pela geometria de insolação, isolamento térmico da cobertura e das paredes, ventilação e vegetação em seu entorno. Os resultados obtidos serviram como auxílio na produção de mapas térmicos do ambiente, possibilitando a identificação da temperatura do ar em toda a edificação em diferentes cenários. Através desses mapas foi possível avaliar as condições do conforto térmico da área de estudo, se mostrando uma ferramenta eficiente.

Palavras-chaves: Conforto térmico, Desempenho térmico, Mapeamento térmico, Temperatura do ar.

Abstract: The thermal performance of the building is directly associated with the user's comfort conditions. Choosing the right materials together with the thermal monitoring of an environment are factors that help in comfort, improving the conditions of use of the space. This work aims to analyze the indoor air temperature in a building of engineering and architecture laboratories. For data acquisition, temperature sensors were distributed at 10 strategic points in the building. From the results obtained, critical temperature points are noted, influenced by the insolation geometry, thermal insulation of the roof and walls, ventilation and vegetation in its surroundings. The results obtained served as an aid in the production of thermal maps of the environment, allowing the identification of air temperature throughout the building in different scenarios. Through these maps it was possible to evaluate the thermal comfort conditions of the study area, showing itself an efficient tool.

Keywords: Thermal comfort, Thermal performance, Thermal mapping, Air temperature.

1 Introdução

O consumo de energia vem aumentando nos últimos anos, decorrente do crescimento drástico da população, o que acarreta queda acelerada da disponibilidade dos recursos energéticos. De acordo Naboni, Lee e Sattler (2017), fazendo-se uma média global, 40% do uso de energia num país corresponde às atividades relacionadas à edificação.

Segundo Lamberts *et al.* (2016) um bom projeto em relação ao seu desempenho térmico, busca considerar o clima do local da edificação e assim, proporcionar uma ventilação

¹ UNASP - Centro Universitário Adventista de São Paulo, Campus Engenheiro Coelho – Brasil.

² fernando.kowalski@unasp.edu.br

³ karina31rocha@gmail.com

⁴ afuso01@gmail.com

⁵ italo.rispoli@unasp.edu.br

e iluminação natural satisfatória, obtendo um potencial de redução na demanda de energia elétrica.

Lamberts e Dutra (2014) também destacam, que os benefícios alcançados numa edificação qualquer, por meio de um projeto que vise o conforto térmico, deva alcançar consequentemente um aumento em sua eficiência energética, promovendo a redução do consumo de energia, elevando a produtividade e diminuição de enfermidades associadas ao estresse térmico.

Sendo assim, analisar o desempenho térmico para o conforto em edificações, consiste em estudar os ambientes, permitindo que esses atendam às recomendações normativas e à satisfação do usuário.

No processo de avaliação dos princípios envolvidos nas condições de conforto térmico do espaço, é de suma importância ter a compreensão dos fundamentos de termodinâmica. De acordo com Halliday, Resnick e Walker (2012), o calor pode ser transmitido por três formas: condução, radiação e convecção. O processo de condução se dá através do contato. A radiação através da emissão de ondas eletromagnéticas. E a convecção é através de um fluido, como o vento por exemplo.

De acordo com Sorgato e Lamberts (2009), a ventilação natural nas edificações tem importante função de assegurar a qualidade do ar, promover o resfriamento na edificação e proporcionar conforto térmico aos usuários, sempre que as condições do clima externo forem favoráveis.

Para uma avaliação de desempenho térmico da edificação, é necessário a análise das cargas térmicas que o ambiente em estudo sofre. Gomes (2012) citou que, se o local sofrer pouca influência dessas cargas, maior as chances de dispensar o uso de condicionamento de ar artificial e melhor será a salubridade interna da edificação.

Vittorino (2013) afirmou que, as condições de conforto térmico em uma edificação, implicam diretamente na produtividade de seus usuários. Deste modo, caso a edificação não proporcione condições suficientes para isso, pode-se considerar o uso de climatização artificial.

No caso de verificação da necessidade de condicionamento térmico artificial, Gomes (2012, p. 70) assegurou que “a avaliação consiste em verificar se as respostas térmicas dos ambientes internos atendem às exigências humanas de conforto térmico”.

Um dos métodos de avaliar as cargas térmicas da região interna de uma edificação, devido às diferentes condições climáticas ou de ocupação do espaço, é por meio de medição in loco das variáveis específicas do funcionamento.

A técnica do mapeamento térmico normalmente é aplicada em escalas urbanas, conforme as pesquisas de Shao et al. (1999), Gustavsson (1999), Anibas et al. (2011). Porém, na escala predial, além dos métodos de simulação utilizando o *EnergyPlus*, o mapeamento poderia ser utilizado na avaliação das variações horizontais de temperatura do ar, desde que haja um posicionamento coerente de sensores, conforme abordado por Barbosa et al. (2007), Vidas et al. (2013) e Matheus et al. (2016)

Sorgato e Lamberts (2015), relataram que, ao se avaliar uma edificação por meio de medições in loco, a intenção é, corrigir erros gerados no projeto ou na construção, a qual possa atingir as necessidades de conforto. Além disso, por meio do mapeamento térmico é possível entender fatores variáveis como o regime dos ventos, umidades e comportamento de temperatura. Em paralelo, os fatores fixos compreendem o entorno natural e edificado, a orientação e tipologia dos edifícios, os tipos de aberturas e esquadrias,

O conhecimento da Temperatura do ar é fundamental em várias áreas de pesquisa, principalmente em meteorologia, oceanografia, climatologia e hidrologia. Dentro da

edificação esse fator influencia na qualidade do ambiente, salubridade, e outros fatores que acarretam benefícios a quem convive ao meio (OCHOA, ARAÚJO, SATTLER, 2012).

Ochoa, Araújo e Sattler (2012) asseguraram que um bom projeto antes de ser executado deve considerar a temperatura que os usuários receberão e o grau de conforto que aquele ambiente proporcionará. O estudo do conforto térmico na edificação também contribui na sustentabilidade e na economia de energia.

Gomes (2012) certificou que, caso o projeto não atenda às necessidades básicas da temperatura do ar e o ambiente cause desconforto para o público, deve ser feita uma análise exploratória para mapear os principais setores da edificação e assim analisar os dados obtidos e futuras soluções para melhorias térmicas a serem alcançadas.

Existem diversos aspectos que ocasionam desconforto direto nos usuários de uma edificação, independente da atividade sendo desenvolvida. Um dos principais fatores que pode ser citado é a diferença da temperatura do ar na direção vertical, ou seja, essa temperatura pode se elevar mediante a relação de distância do piso, para a altura da cabeça.

Lamberts *et al.* (2016) apresentou que, a temperatura do ar normalmente aumenta com a altura em relação ao piso e a permanência térmica decorrente das situações onde, a temperatura do ar no nível da cabeça é superior àquela ao nível dos pés, desta maneira gerando um possível desconforto térmico local.

A ISO 7726:1998 (ABNT, 1998) retrata como executar a medição da temperatura do ar, exigindo competências específicas na utilização de sensores e medidores. A norma propõe que os elementos de aferição da temperatura do ar sejam envoltos por proteções contra os efeitos da radiação, pois estas podem sofrer alterações significativas no resultado.

Outro conceito que esta norma apresenta, é pautada na visão de trabalho otimizado, no qual é necessária uma altura ideal para a implantação dos instrumentos de medição, pois os ocupantes do espaço recebem a carga térmica mais próximo da região da cabeça, do que da região das pernas. Deste modo a norma recomenda que os equipamentos sejam submetidos a uma altura do chão entre 1,10m a 1,70m (BARBOSA, WEILLER, LAMBERTS, 2007).

O estudo do desempenho térmico da edificação está relacionado à sensação de conforto do usuário. Nesta pesquisa, deve-se conhecer a temperatura do ar de cada setor do laboratório, a qual implica diretamente na melhora do desempenho e da produtividade dos alunos e usuários do espaço.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é realizar o mapeamento térmico da variação de temperatura horizontal de um prédio de laboratórios, através da coleta de dados de temperatura do ar a 1,1m da altura do piso, no interior da edificação. A finalidade é fornecer dados para estudos analíticos de conforto e desempenho energético.

2 Materiais e Métodos

Esta pesquisa é de caráter experimental e foi dividida em três etapas principais:

- a. Caracterização do objeto de estudo sob aspectos locais e construtivos e climáticos da região;
- b. Coleta de dados de temperatura do ar interna a 1,1m de altura do piso, no centro de cada laboratório do edifício de análise;
- c. Geração de mapas térmicos e análise dos dados coletados por meio gráficos de variação de temperatura do ar.

A Figura 1 ilustra um fluxograma com as etapas da pesquisa.

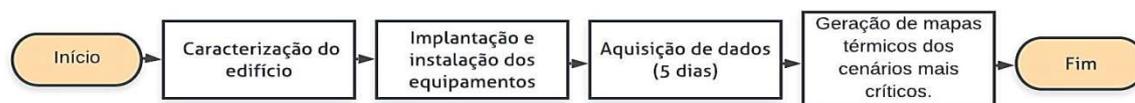


Figura 1. Fluxograma do método adotado na pesquisa

2.1 Caracterização do objeto de estudo

O local de estudo situa-se na cidade de Engenheiro Coelho, região metropolitana de Campinas, nas coordenadas $22^{\circ}30'09.2''S$ e $47^{\circ}10'01.0''W$, a uma altitude de 655m, conforme apresentado na Figura 2. O clima segundo a classificação de Köppen-Geiger é Aw, o qual consiste em um clima subtropical de altitude, com inverno seco e verão ameno (CEPAGRI, 2020).

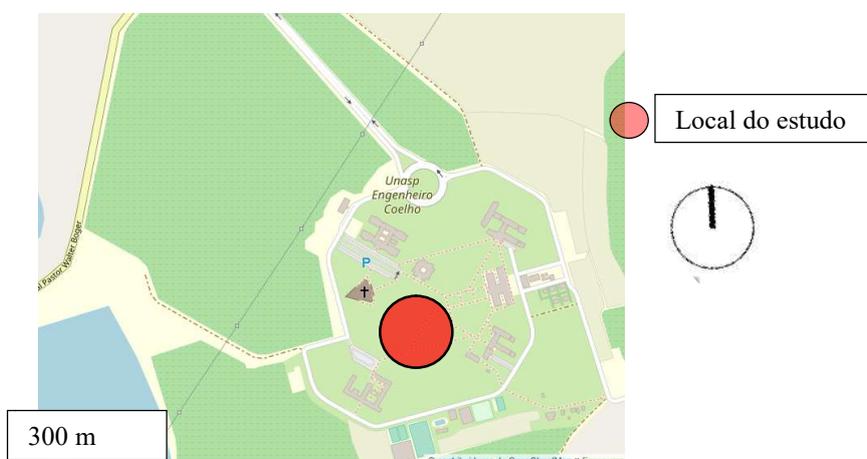


Figura 2. Local do estudo

Para o entendimento dos ventos predominantes foi considerado uma interpolação da cidade de Campinas-SP e Mogi-Mirim-SP que estão adjacentes à cidade onde o estudo foi realizado, recebendo ambas os ventos predominantes oriundos do Sudeste (SE).

Foi levada em consideração a cidade de Itapira-SP para caracterização de fatores climáticos, localizada a 35km sendo a cidade mais próxima de Engenheiro Coelho, que possui informações climáticas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Através do INMET (2020), foram sintetizados os dados de radiação solar e velocidade do vento, sendo 3255 kJ/m^2 e 9 km/h , respectivamente. Estes dados foram obtidos através de uma média geométrica correspondendo ao mesmo período dos dias de coleta.

Ao redor do edifício em estudo, seu perímetro de construção é revestido com uma vegetação popularmente conhecida como grama São Carlos (*Axonopus Compressus SP*), tornando um local de área permeável, juntamente com árvores de grande porte na entrada da edificação, onde está localizada a fachada leste, essas árvores possuem alturas de 5m a 7,5m, a fachada oeste, também tem árvores de menor porte com alturas de 2,5m.

O objeto de estudo, conforme apresentado na Figura 3, consiste em um edifício de laboratórios de engenharia e arquitetura construído, que não exigem o controle de temperatura e umidade através de um sistema de climatização artificial. Ele é em alvenaria estrutural, com revestimento em tinta acrílica na coloração pergaminho, e orientado para noroeste. O edifício possui cobertura metálica, com uma mescla de telhas sanduíches e telhas translúcidas.

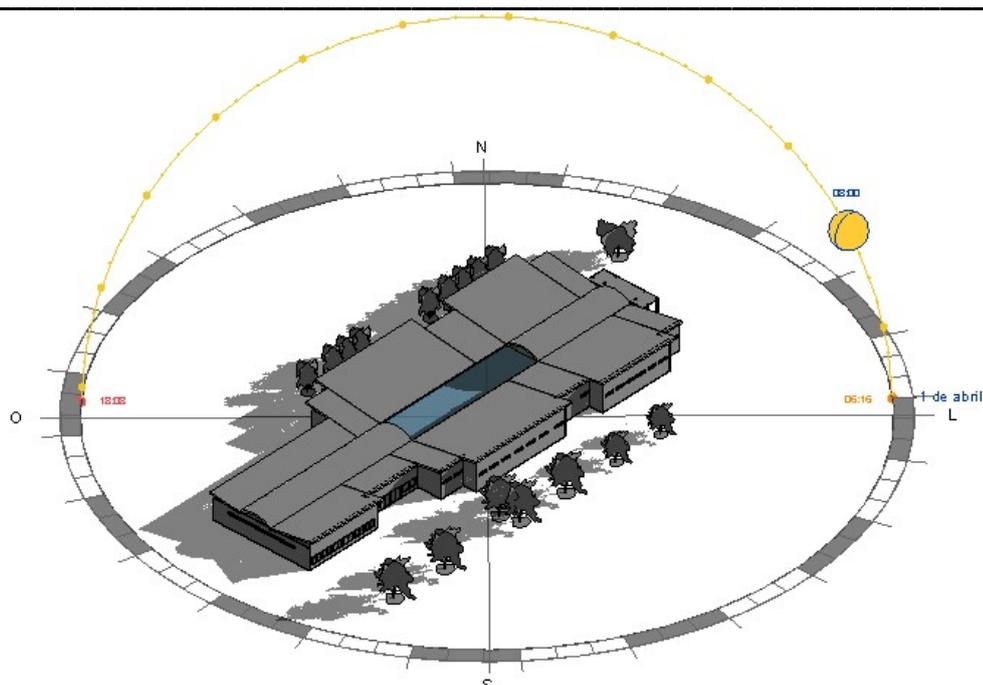


Figura 3. Perspectiva isométrica da edificação

Fonte: Autoria própria com Autodesk Revit®- Versão 2018(2020)

2.2 Coleta de dados

Os equipamentos e *softwares* empregados no estudo experimental foram: 10 termopares DS 18b20 tipo sonda para as coletas da temperatura do ar, 4 *dataloggers* com microcontrolador onde foram armazenados os dados e o Surfer Golden9®*software* para gerar os mapas térmicos.

A aquisição de dados foi realizada na estação do outono, durante 5 dias contínuos, com intervalos de 1 minuto para os registros. Os sensores de temperatura implementados no experimento foram distribuídos em 4 *dataloggers* com 10 sensores Dallas/DS18B20 (TEIXEIRA *et al.*, 2018) no total. Os equipamentos foram posicionados a uma altura de 1,1m do piso em 10 locais distintos, nomeados através do Quadro 1:

Quadro 1 - Siglas dos laboratórios

<i>CPI</i>	Corredor Principal 1	<i>LCONF</i>	Laboratório de Conforto
<i>LSH</i>	Laboratório Saneamento e Hidráulica	<i>LMAR</i>	Laboratório Marcenaria
<i>CTT</i>	Corredor sob Telha Translúcida	<i>LMAQ</i>	Laboratório Maquetaria
<i>LEG</i>	Laboratório Estradas e Geotecnia	<i>LEF</i>	Laboratório Elétrica e Física
<i>CP2</i>	Corredor Principal 2	<i>LEM</i>	Laboratório Estruturas e Materiais

Fonte: Autoria própria (2020)

Serão apresentadas distintas avaliações dos ambientes térmicos, as quais possibilitam a visualização do que acontece nos períodos diurno e noturno, tal como as temperaturas médias, máximas e mínimas registradas e suas variações térmicas.

2.3 Localização dos equipamentos

Os pontos de coleta foram instalados em locais estratégicos do edifício, a uma altura de 1,1m do nível do piso, no centro de cada laboratório. Os critérios para o posicionamento dos equipamentos foram o comprimento do fio, a disponibilidade de espaço e os locais de circulação e uso. A localização dos sensores está apresentada na Figura 4.

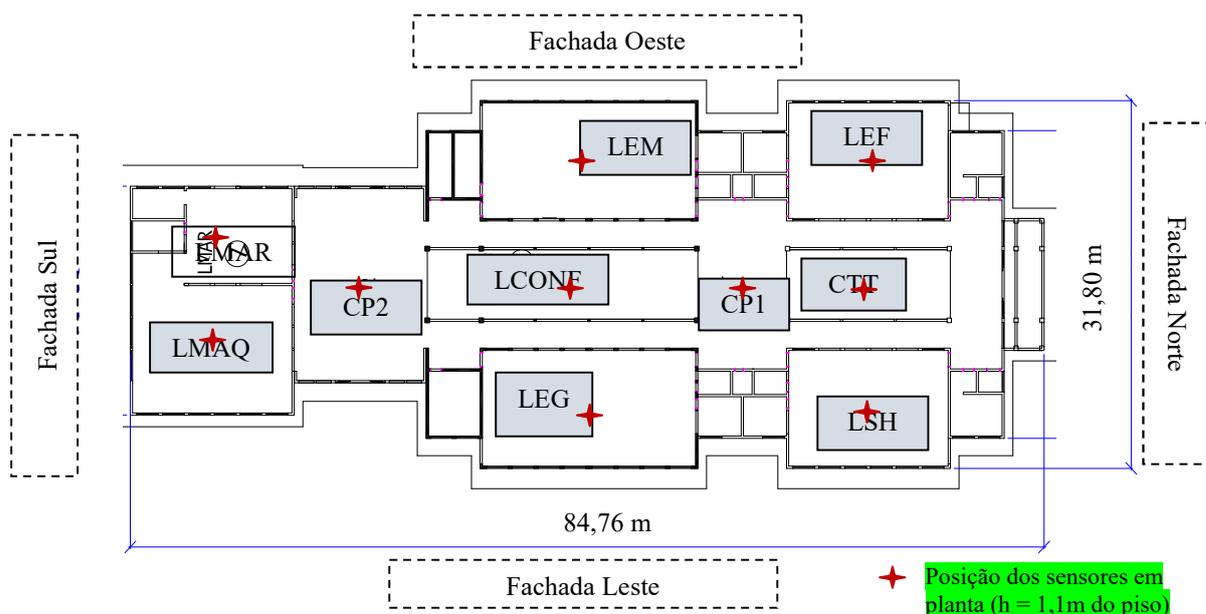
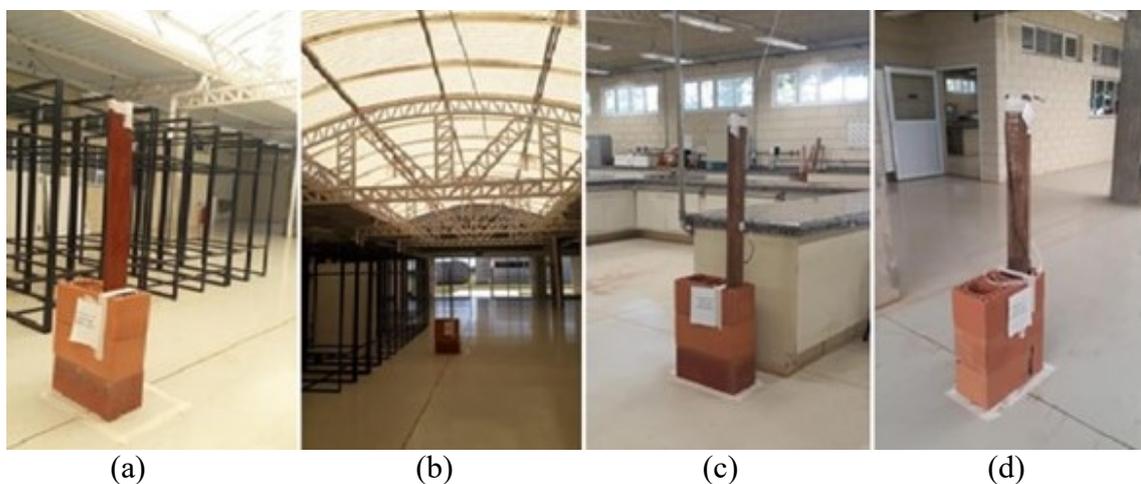


Figura 4. Planta da edificação em estudo com as localizações da instalação dos equipamentos

2.4 Instrumentação

A coleta de dados de temperatura do ar ocorreu no período do dia 28/03/2019 à 01/04/2019. Para a mensuração, foram utilizados os termopares e microcontroladores para seu processamento, ocorrendo leituras de minuto a minuto. As etapas de instalação estão apresentadas na Figura 5.

Figura 5. Etapas de instalação para coleta de dados



A Figura 5 (a) e 5 (b) ilustram o termopar que sofre influência da telha translúcida,

denominado CTT, a Figura 5 (c) é o sensor localizado no Laboratório de Estradas e Geotecnia (LEG) e a Figura 5 (d) ilustra o CP1 coletando os dados.

2.5 Geração dos mapas

A geração dos mapas foi realizada utilizando o *software* Surfer Golden9® a 1,1m do piso. O processo consiste em levantar as coordenadas de instalação dos sensores. Em seguida, a inserção das coordenadas e dos valores correspondentes à temperatura. O programa trabalha pelo processo de interpolação de dados, através do método de Krigagem.

Por fim, as análises dos dados serão feitas a partir do posicionamento das fachadas, dos materiais construtivos de vedações, das aberturas da edificação, da geometria de insolação e das condicionantes externas.

3 Resultados e discussões

Inicialmente, a análise de resultados é feita em função da orientação das fachadas do prédio, considerando os diferentes materiais do telhado da região central, os quais recebem influência direta da cobertura durante o período do dia e da noite.

Os cenários estudados contemplaram as médias e máximas ao longo do dia e durante o período da noite. Pois, possuem mecanismos distintos de troca de calor. Durante o dia, há um predomínio de ondas curtas que incidem nas fachadas e no telhado. Em contrapartida, à noite, há uma maior intensidade de ondas longas, provenientes do calor acumulados durante o dia.

A fachada Leste do prédio, a qual corresponde às paredes do Laboratório de Estradas e Geotecnia (LEG) e ao Laboratório de Saneamento e Hidráulica (LSH) sofre influência da radiação solar de onda curta durante o período da manhã.

Na Figura 6 esta exposta a média horária da fachada, aonde é possível visualizar que, a temperatura do LSH (máx 29,8°C) se sobressai em relação ao LEG (máx 29,5°C). Explica-se esse fato, devido às árvores em torno do LSH não gerarem sombra proveitosamente durante o período de incidência de radiação solar da fachada Leste, conforme observado pelas pesquisas de Ayres (2010). Esse fato pode ser analisado na Figura 3, já o LEG está mais próximo da região Sul e por isso tem menor radiação solar.

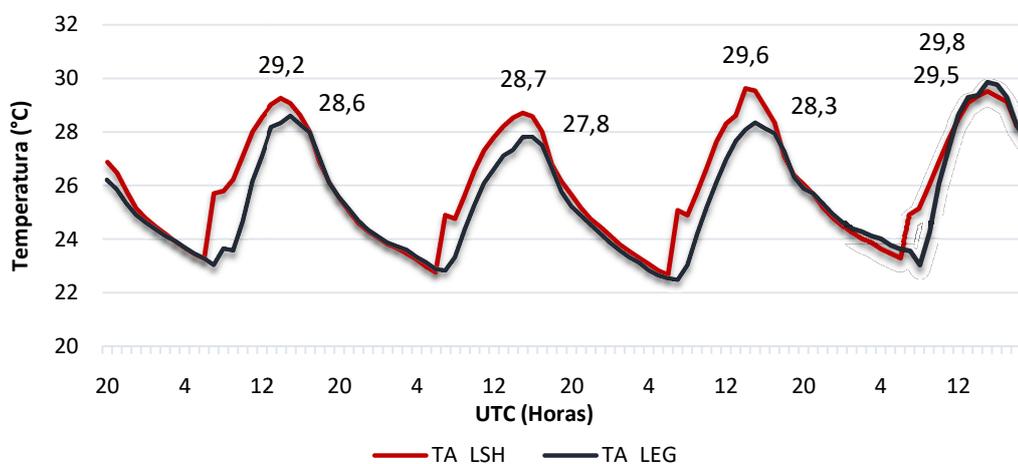


Figura 6. Temperatura do armédia da fachada Leste

A fachada Oeste do prédio, a qual corresponde às paredes do Laboratório de Elétrica e Física (LEF) e ao Laboratório de Estruturas e Materiais (LEM). Estes sofrem influência da

radiação solar de onda curta durante o período da tarde, conforme também observado nas pesquisas de Oke *et al.* (2017).

Na Figura 7 é apresentada a média horária da fachada, onde é possível visualizar que, a temperatura do LEF (máx 32,5°C) se sobressai bruscamente em relação ao LEM (máx 29,6°C). Explica-se esse fato, devido ao LEF está orientado mais próximo da região Norte, onde a radiação solar é intensa nos horários de pico. Vale lembrar que os dois laboratórios recebem sombra das árvores.

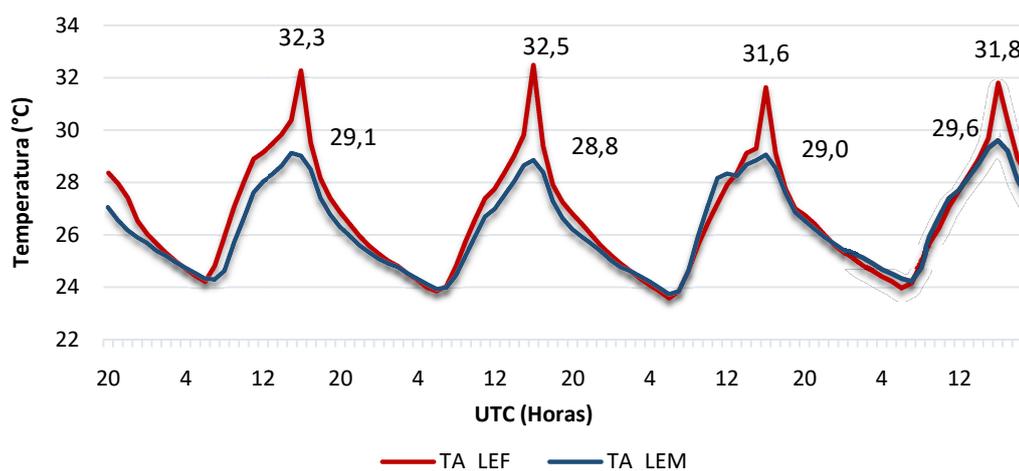


Figura 7. Temperatura do armédia da fachada Oeste

A fachada Sul do prédio, a qual corresponde às paredes da Maquetaria (LMAQ) e a Marcenaria (MAR), sofre influência da radiação solar de onda curta durante pequena parte do dia, pois a região sul não possui elevada radiação solar, conforme também observado por Barbosa, Lamberts, Guths (2008).

Na Figura 8 é exposto o gráfico da média horária da fachada, onde é possível visualizar que, a temperatura do LMAR (máx 31,3°C), que se sobressai bruscamente em relação ao LMAQ (máx 27,2°C). Explica-se esse fato, devido ao LMAR estar orientado mais próximo da região Oeste, onde a radiação solar é intensa no período da tarde. Vale lembrar que os dois laboratórios recebem ventos predominantes do sul.

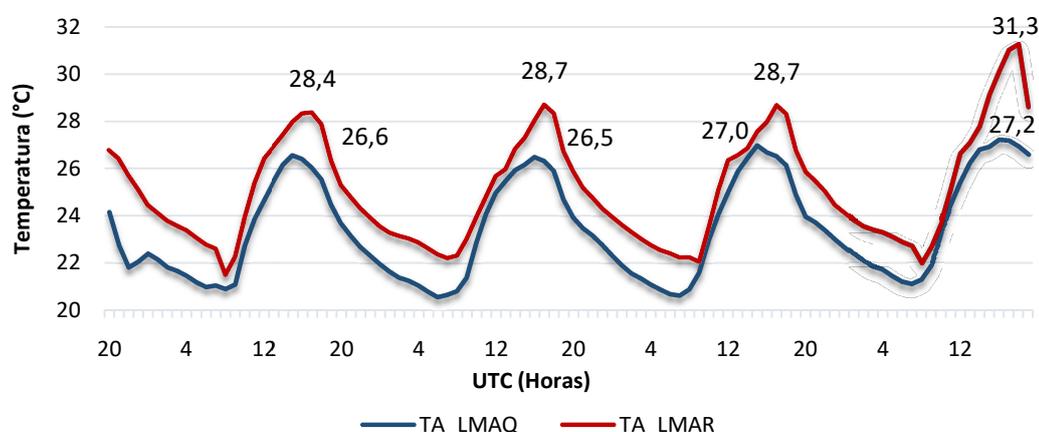


Figura 8. Temperatura do armédia da fachada Sul

A região central da edificação, permite que pela cobertura haja a transferência de calor para os seguintes ambientes: Corredor Principal 1 (CP1), Corredor Translucido (CTT),

Corredor Principal 2 (CP2) e Laboratório de Conforto (LCONF). Estes locais sofrem influência da radiação solar de onda curta durante todo horário de pico do dia.

Na Figura 9 é a média horária da região central, onde é possível visualizar que, a temperatura do CTT (máx 34,6°C) e do LCONF (máx 32,8°C) sofrem com a elevada incidência de radiação solar. Isso ocorre devido à telha dessas regiões serem translúcidas, o que faz o calor seja absorvido para dentro do ambiente.

Além disso, há também uma mudança no comprimento de onda ao passar por uma superfície translúcida, conforme citado por Callister (1997). CP1 e CP2 (máx 31,5°C e 31,8°C respectivamente) possuem baixa variação entre si e seus materiais são equivalentes.

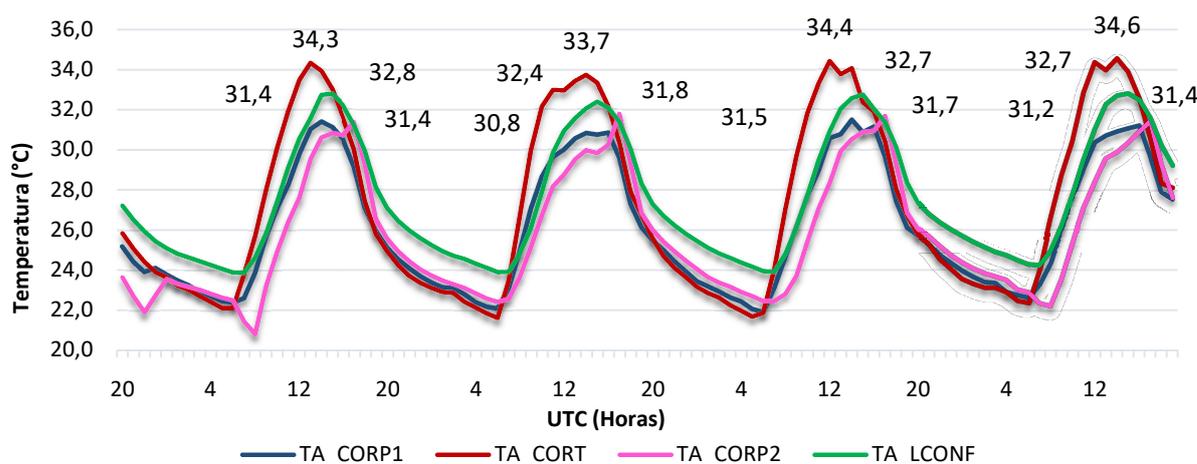


Figura 9. Temperatura do armédia da região central

A seguir contemplam-se figuras referentes a temperatura do ar da edificação, estas apresentam gráficos das médias, variações, e os mapas térmicos de média total, média do dia, média da noite, máxima, e mínima, todas registradas num período de 5 dias. Além disso, na Figura 10 é apresentado um gráfico de referência, neste é apresentado dados da temperatura do ar média horária da cidade de Itapira-SP.

3.1 Temperatura do ar externa

A cidade de Itapira - SP é apontada como temperatura de referência, pois é o município mais próximo de Engenheiro Coelho - SP com estação de dados meteorológicos. Na Figura 10 é exposto o gráfico da média horária de Itapira - SP, onde é possível visualizar que, as temperaturas no período de outono foram máximas no 5º dia, com 31,2°C e mínima no 2º dia, com 16,4°C, conforme dados do INMET (2020).

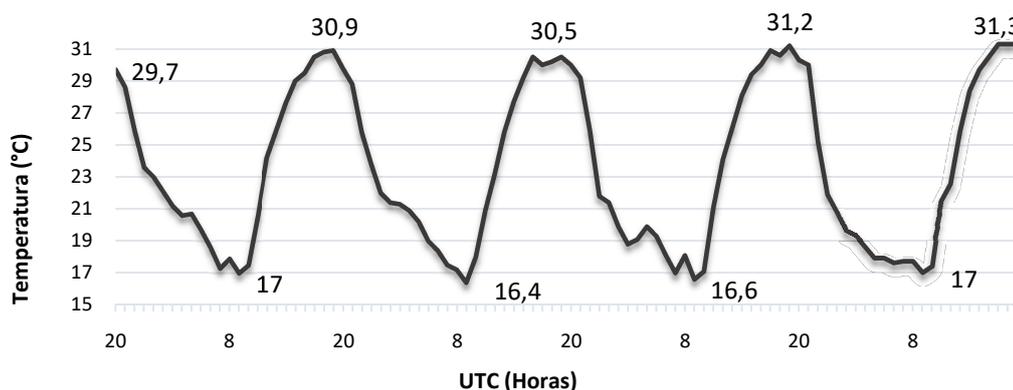


Figura 10. Temperatura do ar média dos dias de coleta na cidade de Itapira-SP

Através dos dados de temperatura coletados, foi expresso o gráfico da Figura 11, representando as temperaturas médias. Este gráfico auxilia nas análises da temperatura do ar média dos 5 dias de coleta, e posteriormente nos mapas das Figuras 11, 12 e 13. Para a média diária, o LEF é o que apresenta maior temperatura do ar, com máxima de 26,2°C. Para a média do período da noite e média do período do dia, o ambiente que apresentou maior temperatura foi o LCONF com máxima de 27,19°C e 27,85°C respectivamente. Isso ocorre devido ao fato deste ambiente possuir telha translúcida e forro de gesso. Além disso, permanecer fechado em sua maioria do tempo, o que não permite que o calor se dissipe.

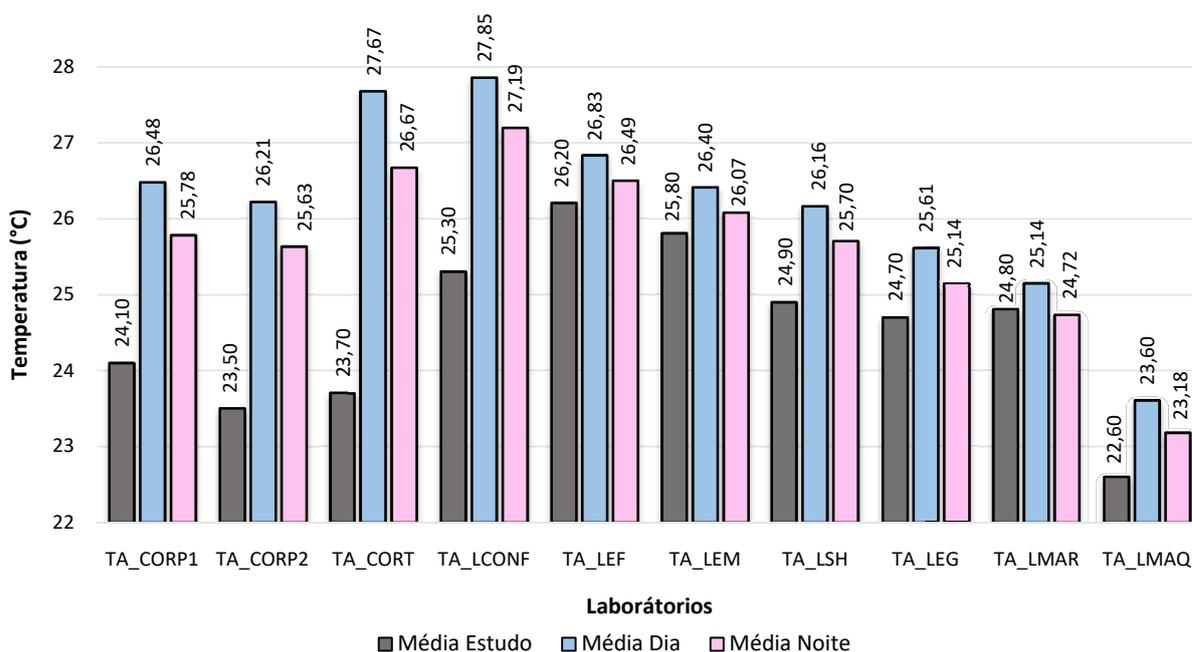


Figura 11. Gráfico de temperatura do ar média de 5 dias

3.2 Temperatura do ar média no interior da edificação a 1,1 m de altura do piso no período de 5 dias

Análise 1: Observa-se que o CTT, apresenta temperaturas inferiores quando comparadas à fachada oeste, sendo esta, uma área que aquece e resfria rapidamente, isso porque há uma rápida dissipação do calor devido à circulação de ar.

Análise 2: Quando se verifica o CP1 e CP2, nota-se que o CP2 tem temperaturas inferiores, devido ao fato de estar situado na parte Sul do edifício. Além disso, está localizado à entrada principal recebendo ventilação direta, provenientes dos ventos que advêm do Sudeste no período do Outono.

Análise 3: O LEG, LSH e LMAQ possuem temperaturas equivalentes a 24.5°C. Ambos recebem influência da radiação solar nas primeiras e últimas horas do dia.

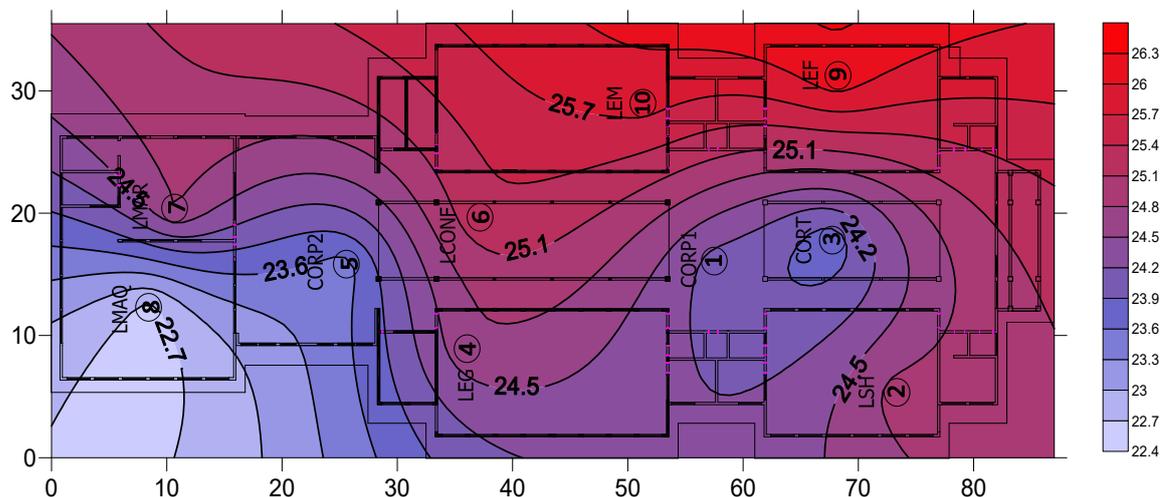


Figura 12. Mapa térmico da temperatura do ar média do período

3.3 Média da temperatura do ar a 1,1 m de altura do piso no período do dia

Na Figura 13 está apresentado o mapa térmico da edificação e sua respectiva temperatura média do ar, do período do dia, correspondente ao horário de 8h às 19h.

Análise 1: O LCONF e CTT são os mais quentes no período da manhã, estes estão sob influência direta da telha translúcida. Porém, o maior pico de temperatura está situado no LCONF (27,9°C), pois este laboratório é fechado durante o dia, retendo e mantendo por mais tempo o calor.

Análise 2: A Fachada Sul, contemplando o LMAQ e LMAR, são os laboratórios com menores médias de temperatura, pois além do vento predominante oriundos do SE, estes recebem o sombreamento das árvores ao redor, refrescando mais estes ambientes.

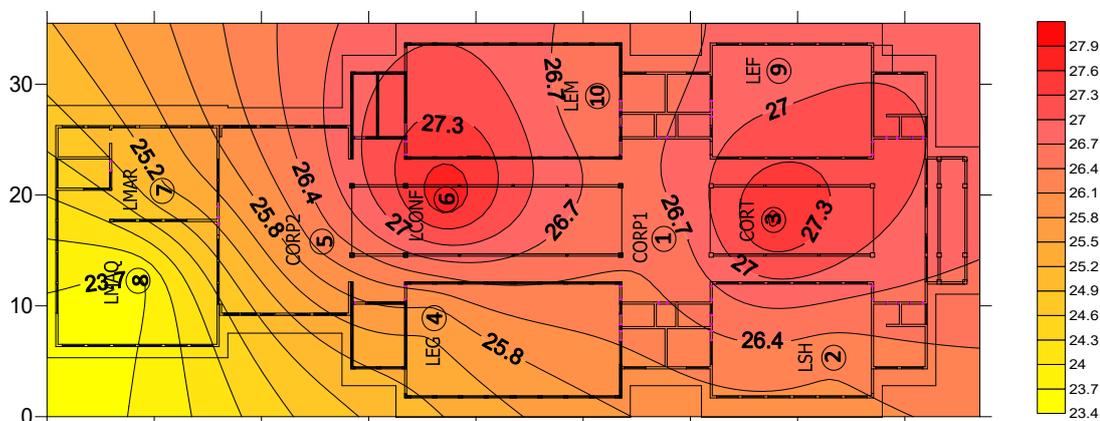


Figura 13. Mapa térmico da temperatura do ar média do período do dia (8H as 19H)

Barbosa *et al.* (2017) realizaram medições da temperatura do ar em uma edificação em madeira e outra de alvenaria, a fim de identificar a variabilidade da temperatura do ar em função do posicionamento dos sensores. Como conclusão, a altura mais representativa para as edificações em alvenaria era de 1,1m, com um dispositivo de proteção, contra a radiação solar direta. Os sensores, que estavam sob na região CTT recebiam no período do dia, a incidência de radiação solar de onda longa. Os sensores nessa região não estavam protegidos, o que poderia ter influenciado os dados, próximos ao meio dia.

3.4 Média na temperatura do ar a 1,1 m de altura do piso período da noite

Abaixo estão apresentadas na Figura 14, as análises da temperatura do ar média do período da noite, correspondente ao horário de 20h às 7h.

Análise 1: É possível notar que o LEF e CTT tem uma grande área com a mesma temperatura no período noturno, porque ambos estão próximos e situam-se a noroeste e norte da edificação, respectivamente.

Análise 2: É notório que o LMAQ e LMAR tem uma grande área com a mesma temperatura no período noturno, porque ambos estão na fachada Sul.

Análise 3: O LCONF apresenta a maior temperatura na parte da noite, pois o ambiente não possui ventilação natural e na maior parte do dia permanece fechado.

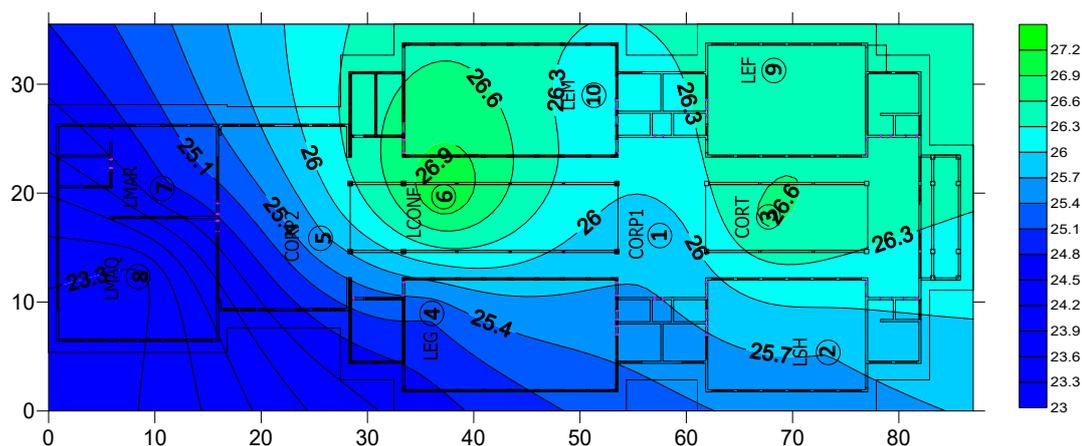


Figura 14. Mapa térmico da temperatura do ar média do período da noite (20H às 07H)

3.5 Temperatura do ar máxima do período coletada a 1,1 m de altura do piso

No gráfico da Figura 15 foram obtidos os valores de temperatura do ar máxima, mínima e suas variações no período da coleta. Entre todos os ambientes estudados, a máxima obtida foi no CTT (máx 35,9°C), seguida do LEF (máx 33,9°C), isto se explica pelo fato do CTT ter telhas translúcidas e pelo LEF se encontrar na fachada oeste, com influência da fachada norte.

A mínima advém do CP1 (mín 20,2°C) e do LMAQ (20,3°C), explicando-se que o CP1 possui uma área próxima da porta principal e uma dissipação elevada da radiação, já o LMAQ está em contato com a fachada sul e o vento predominante incide nela. No caso, das variações, a maior identificada, foi no CTT e no CP2, ocorre também por motivos de dissipação do calor em uma área aberta.

Nota-se também uma amplitude térmica próxima de 14°C na área dos corredores centrais do prédio, e uma amplitude relativamente baixa no laboratório de conforto (LCONF). Por se tratar de um espaço fechado em *drywall* e com baixíssima incidência de radiação e

ventilação.

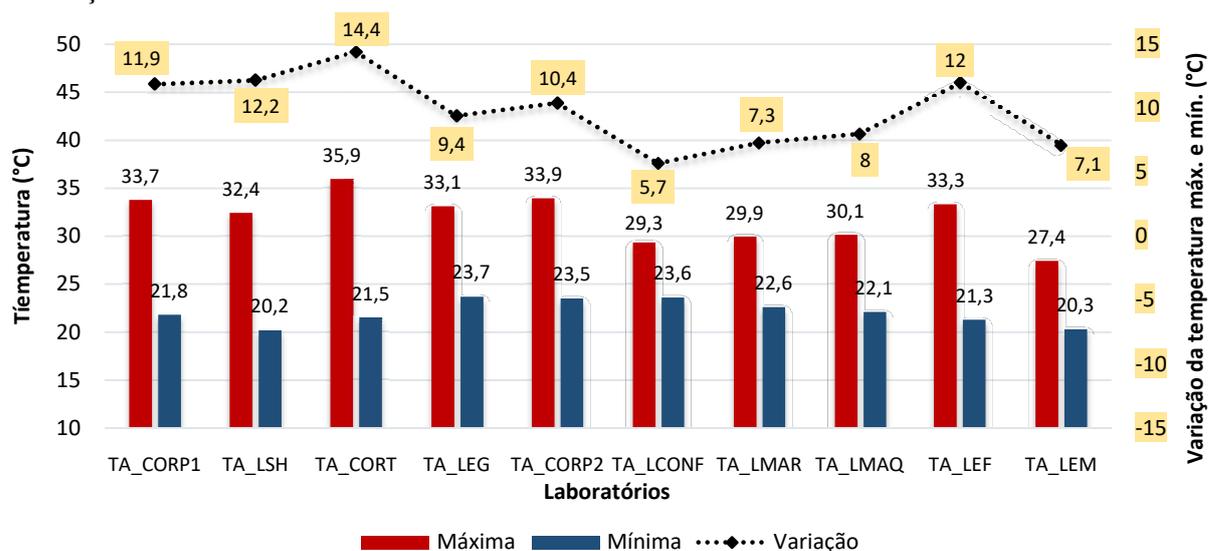


Figura 15. Gráfico de temperatura do ar máxima, mínima e variação no período

Posteriormente, na Figura 16 e 17 estão apresentados os mapas térmicos da edificação e suas respectivas temperaturas (mínimas e máximas).

Análise 1: Nota-se que não há uma equivalência de temperatura na fachada oeste, para os dois ambientes analisados. No LEM foi registrado uma menor temperatura comparada ao LEF, isso porque existem árvores que tornam o ambiente mais ameno. A temperatura da fachada oeste sombreada pelas árvores se assemelha aos laboratórios da fachada leste (LEG e LSH).

Análise 2: A máxima temperatura foi registrada no CTT, isto decorre por apresentar como material da cobertura telhas translúcidas, sofre influência do centro da edificação, da fachada Norte e Oeste. A variação da temperatura do ar a 1,1m, entre o telhado opaco e translúcido foi de aproximadamente 2°C.

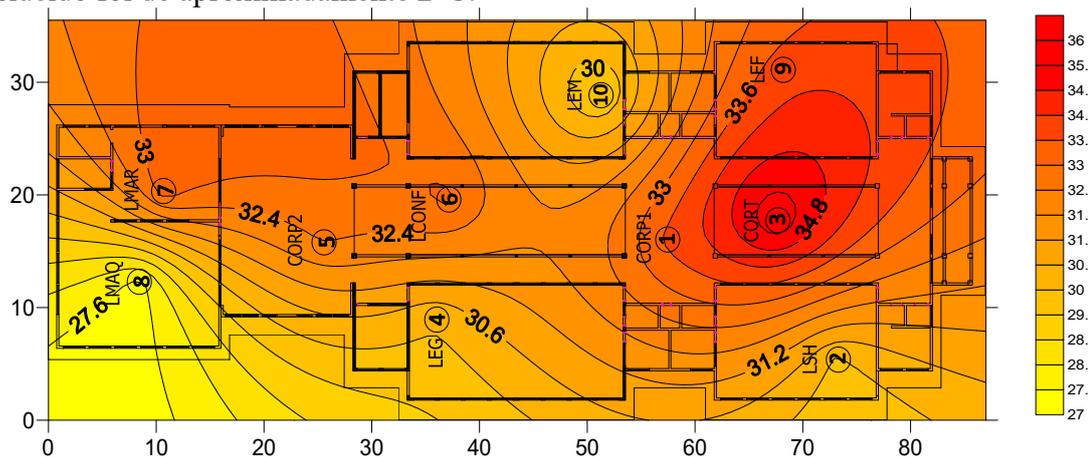


Figura 16. Mapa térmico de temperatura do ar máxima

3.6 Temperatura do ar mínima do período coletada a 1,1 m de altura do piso

Foi sintetizado na Figura 15 o gráfico com as temperaturas mínimas, contribuindo nas análises da Figura 17, o mapa térmico da edificação e suas respectivas temperaturas mínimas.

Análise 1: Nas análises acima o CTT em sua maioria teve as maiores temperaturas, mas oferece um ponto positivo, resfriando com mais rapidez, pois a telha translúcida oferece a

capacidade de se equiparar rapidamente com a temperatura externa por ser um material que não retém calor, temperatura esta equivalente aos laboratórios à sul do edifício.

Análise 2: Dentro as mínimas temperaturas coletas no período, o LEM é o que se encontra com a maior temperatura, isso ocorre porque é o laboratório que mais recebe incidência solar no período diurno, logo é o que mais demora a liberar a massa de ar quente retida.

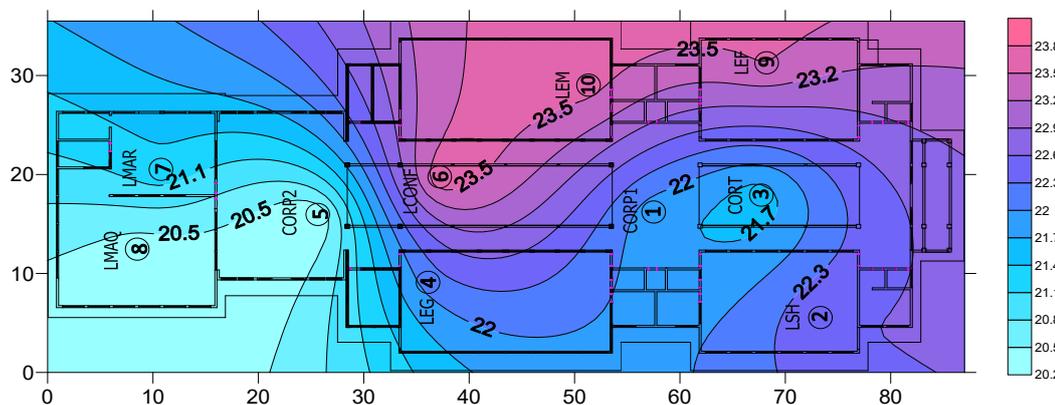


Figura 17. Temperatura do ar mínima do período

Conforme apresentado por Barbosa *et al.* (2017), é importante que sejam respeitadas as recomendações normativas para posicionamento central dos sensores de coleta da temperatura do ar, conforme apresentados na ISO 7726:1998, ASHRAE 55:2004 e PNBR 02:136.01.001:2004.

Além disso, conforme apresentado pelo autor, “quando não for possível posicionar o equipamento de medição de acordo com essas recomendações, é admissível posicionar o sensor a, pelo menos, 1,00 m de distância das paredes expostas à radiação solar e com proteção contra radiação” (BARBOSA *et al.*, 2017, p.107).

4 Conclusões

Este trabalho se propôs a analisar a variação de temperatura horizontalmente em um edifício de laboratórios de engenharia e arquitetura. Para isso, foram coletados dados de temperatura do ar a 1,1m do piso durante 24 horas por dia. Por fim, os dados de temperatura do ar foram interpolados espacialmente no interior do edifício para a geração de mapas.

Através de todas análises e resultados obtidos, nota-se que na fachada Oeste a temperatura do ar é superior em relação às demais fachadas da edificação, principalmente quando comparadas com a fachada Leste e Sul, no período da tarde, devido ao acúmulo de calor e à irradiação de onda curta recebida pela parede ao longo do dia torna esse lado mais desconfortável.

A maquetaria (LMAQ) está posicionada na fachada sul da edificação e apresenta os menores registros de temperatura em todo o período de estudo. Isso pode ser justificado pelo fato dessa região possuir climatização artificial no interior da sala, há também presença de vegetação em seu entorno e a parede que envolve esse laboratório recebe incidência do vento predominante diretamente advindos do Sul, tornando esse ambiente menos quente e ideal para o uso na edificação.

Outra análise relevante está relacionada ao material de cobertura do corredor central. A variação da temperatura do ar a 1,1m, entre o telhado opaco e translúcido foi de aproximadamente 2°C. Além disso, nota-se também uma amplitude térmica próxima de 14°C

na área dos corredores centrais do prédio, pela dificuldade de dissipação.

Apesar dos laboratórios de saneamento de hidráulica (LSH) e estradas e geotecnia (LEG) estarem orientados para a mesma fachada (Leste), ao longo do dia as variações de temperatura entre ambos os ambientes é de aproximadamente 3°C. Este fato se justifica por fatores como sombreamento prejudicado devido à poda e às espécies de árvores, área de ventilação e uso do local.

Por fim, a pesquisa pode ser ampliada com a análise de outros tipos de material de parede, cobertura, vegetação e seguindo as recomendações para essa zona bioclimática. Além disso, esse trabalho pode ser continuado com o levantamento da temperatura radiante média (TRM) e com uma avaliação dos índices de conforto do ambiente construído.

Agradecimentos

Agradecemos ao Centro Universitário Adventista de São Paulo (UNASP) pelo financiamento da pesquisa e à Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) pela parceria na etapa de instrumentação.

Referências

ANIBAS, C.; BUIS, K.; VERHOEVEN, R.; MEIRE, P.; BATELAAN, O. A simple thermal mapping method for seasonal spatial patterns of groundwater–surface water interaction. **Journal of Hydrology**, v. 397, n.1-2, pp.93–104, 2011. Doi:10.1016/j.jhydrol.2010.11.036

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ISO 7726:1998- Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities**. Rio de Janeiro, 1998.

AYRES, M. C.R. Avaliação do sombreamento natural do flamboyant (Delonix regia) na temperatura de um ambiente construído. **Agrarian**. v. 3, n. 9, p. 200-208, 2010.

BARBOSA, M. J.; WEILLER, G. C. B.; LAMBERTS, R. Disposição dos equipamentos para medição da temperatura do ar em edificações. **Ambiente Construído**. v. 7, n. 3, p. 89-108, jul./set. 2007.

BARBOSA, M. J.; LAMBERTS, R.; GUTHS, S. Uso de barreiras de radiação para minimizar o erro no registro das temperaturas do ar em edificações. **Ambiente Construído**. v. 8, n. 4, p. 117-136, 2008.

BARBOSA, M. J.; WEILLER, G. C. B.; LAMBERTS, R. Disposição dos equipamentos para medição da temperatura do ar em edificações. **Ambiente Construído**, v. 7, n. 3, p. 89-108, 2007.

CALLISTER, W. D. Jr. **Materials Science and Engineering: An Introduction**. Michigan: John Wiley & Sons, 1997.

CEPAGRI, Clima dos municípios paulistas. Acessado em 09/05/2020. Web Page: https://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_172.html.

GOMES, A. P. **Método de avaliação do desempenho térmico de edifícios comerciais e residenciais em Light Steel Framing**. 2012. 147 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2012.

GUSTAVSSON, T. Thermal mapping – a technique for road climatological studies. **Meteorological Applications**, v.6, n.4, pp. 385–394, 1999. Doi:10.1017/s1350482799001334

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**. 9 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

INMET, **Estações automáticas**. Acessado em 10/05/20. WebPage: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>.

LAMBERTS, R., DUTRA, L. P. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª Edição. EletrobrasProcel, 2014.

LAMBERTS, R., XAVIER, A. A., GOULART, S. e VECCHI, R. **Conforto e stress térmico**. Santa Catarina: Labeee - UFSC, 2016.

OCHOA, J. H.; ARAÚJO, D. L.; SATTLER, M. A. Análise do conforto ambiental em salas de aula: comparação entre dados técnicos e a percepção do usuário. **Ambiente Construído**. v. 12, n. 1, p. 91- 114, jan./mar. 2012.

MATHEUS, C. *et al.* Desempenho térmico de envoltórias vegetadas em edificações no sudeste brasileiro. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 71-81, Jan.2016.

NABONI, E., LEE, D. S., FABRI, K. Thermal Comfort-CFD maps for Architectural Interior Design. **Procedia engineering**. v. 180, p. 110-117, 2017.

OKE, T. R.; *et al.* **Urban climates**. Cambridge University Press, 2017.

SHAO, J.; SWANSON, J. C.; PATTERSON, R.; LISTER, P. J.; MCDONALD, A. N. Variation of winter road surface temperature due to topography and application of Thermal Mapping. **Meteorological Applications**, v. 4, n.2, pp.131-137, 1999. Doi:10.1017/s135048279700042x

SORGATO, M. J., LAMBERTS, R. **A influência do comportamento do usuário no desempenho térmico e energético de edificações residenciais**. Florianópolis: UFSC, 2015.

SORGATO, M. J., LAMBERTS, R. **Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente**. Florianópolis: UFSC, 2009.

TEIXEIRA, V. P. N.; RÍSPOLI, I. A. G.; CASSUCI, J. L. F. **Manual de instruções: Coletor de dados VJI Versão 3.0**. São Paulo, 2018.

VIDAS, S.; MOGHADAM, P.; BOSSE, M. 3D thermal mapping of building

interiors using an RGB-D and thermal camera. *2013.IEEE International Conference on Robotics and Automation*. Doi:10.1109/icra.2013.6630890

VITTORINO, F. **Requisitos de Conforto Acústico, Desempenho Acústico e as Experiências de ensaios de laboratório e campo**. São Paulo: Instituto de Pesquisa Tecnológica, 2013.

XAVIER, A. A. de P. **Condições de conforto térmico para estudantes de 2º Grau na região de Florianópolis**. 1999. 198 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.