ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO EM EVENTOS REALIZADOS NA ESPLANADA DO ESTÁDIO GOVERNADOR MAGALHÃES PINTO (MINEIRÃO)

Aline Costa Vilela (1); Natalia de Oliveira Azevedo (2); Anna Christina Miana (3)
(1) Graduanda em Arquitetura e Urbanismo, acvilela@sga.pucminas.br , Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
(2) Graduanda em Arquitetura e Urbanismo, natalia.azevedo@sga.pucminas.br , Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
(3) Arquiteta, Pós Doutora em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo pela Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, Professora do curso de Arquitetura e Urbanismo, annamiana@pucminas.br , Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais , Rua Cláudio Manoel, 1.149 - Funcionários, Belo Horizonte, MG - CEP: 30140-100, 31 998281836

RESUMO
O estádio Governador Magalhães Pinto (Mineirão), localizado em Belo Horizonte, capital de Minas Gerais, é sede de diversos eventos de importância mundial, como por exemplo a Copa do Mundo FIFA 2014. A partir de sua reforma em 2012, incentivado em decorrência da Copa, o estádio Mineirão passou a contar com uma esplanada destinada a eventos. Desse modo, é objetivo desta pesquisa avaliar o conforto térmico nessa esplanada. Levando em consideração a realidade atual da pandemia do COVID-19, espaços confinados com aglomeração de pessoas apresentam grande risco de contaminação, valorizando, portanto, os espaços abertos e amplos para a realização de eventos. Para isso, adotou-se uma metodologia, que por meio de simulações com ferramentas computacionais e medições in loco de algumas variáveis ambientais (temperatura, umidade e vento), serão avaliadas as condições de conforto térmico no local. Após análise dos dados, serão realizadas simulações de diferentes intervenções projetuais, buscando melhorias do conforto térmico no local. Esta pesquisa se encontra em desenvolvimento, não possuindo resultados analisados até o momento.

Palavras-chave: conforto urbano, conforto térmico, eventos em áreas abertas, simulação computacional.

ABSTRACT
The stadium Governador Magalhães Pinto (Mineirão), located in Belo Horizonte, capital of Minas Gerais, hosts several events of worldwide importance, such as 2014 FIFA World Cup. From its renovation in 2012, encouraged by the World Cup, Mineirão stadium now has a terrace for events. Thus, it is the objective of this research to evaluate thermal comfort in this terrace. Considering the current reality of the COVID-19 pandemic, confined spaces with crowding present great risk of contamination, valuing, therefore, the open and wide spaces for events. For this, this research adopted a methodology, which through simulations with computational tools and on site measurements of environmental variables (temperature, humidity and wind) will be evaluated the thermal comfort conditions in the place. After analyzing the data, some simulations of different interventions and project proposals will be carried out, always seeking improvements in the thermal comfort on site. This research is in development, with no results analyzed so far.

Keywords: urban comfort, thermal comfort, events in open areas, computer simulation.

1. INTRODUÇÃO
Belo Horizonte é um município localizado na região sudeste do Brasil, sendo a capital de Minas Gerais. Suas coordenadas geográficas são: 19° 55' S 43° 56' O, possuindo população estimada de 2.521.564 pessoas (IBGE, 2020), com densidade demográfica de 7.167,00 hab/km² (IBGE, 2010) e área territorial de 331,354 km² .

O verão na cidade de Belo Horizonte, pode chegar a temperaturas de 29 graus Celsius, tendo o clima intertropical com estação seca, portanto, a adoção de estratégias passivas de projeto que amenizem condições climáticas em determinadas épocas do ano, são essenciais para o conforto em espaços abertos.

A mudança climática percebida no município de Belo Horizonte, decorrente de mudanças antropogênicas como a ampliação da área urbana, redução das áreas verdes, aumento da população, da frota de veículos, do parque industrial, do comércio e prestação de serviços afetaram a qualidade ambiental urbana com temperaturas cada vez mais altas, somadas à alta densidade das edificações. (JARDIM & SILVA, 2016, p. 84)

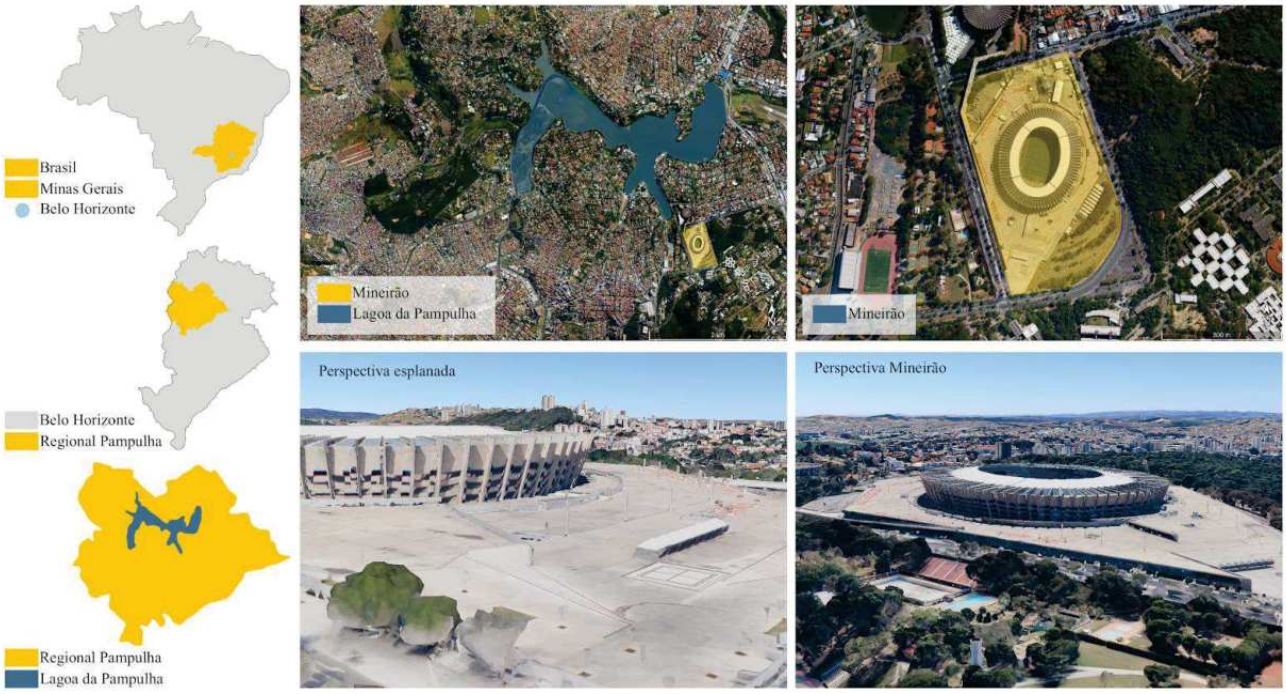
De acordo com Oliveira et al. (2017, p. 817) a partir da década de 60, Belo Horizonte:

> "… passa por uma fase intensa de crescimento, onde casas eram demolidas para dar lugar aos arranha-céus, o que resultou na derrubada de árvores e na pavimentação do solo. Nas décadas seguintes, a degradação ambiental passou a se intensificar ainda mais, como resultado direto do processo da urbanização … o que fez com que a ilha de calor de Belo Horizonte gerasse uma pluma de contaminação térmica ao longo da região metropolitana…"

O Mineirão integra o complexo da Lagoa da Pampulha, sendo uma referência arquitetônica e em construção sustentável, considerado o único estádio do país a possuir o selo Platinum do Leadership in Energy and Environmental Design (LEED). Por outro lado, a construção da esplanada foi realizada com o piso em concreto e poucas áreas de sombra. Tais características não contribuem para o conforto térmico do usuário, aumentando consideravelmente a temperatura do ar.

A esplanada foi pensada para ser uma continuação da calçada da cidade, sendo escalonada em desníveis de acordo com o relevo local, o projeto foi construído pensando em diferentes eventos que poderiam acontecer ali. De acordo com o diretor do estádio Samuel Lloyd *"O Mineirão tem o diferencial de ser o único grande estádio no país com uma Esplanada de 80 mil m² e vários estacionamentos com toda infraestrutura para receber eventos".* Com uma programação heterogênea, em 2019, contou com eventos como o Festival Sarará e o Festival Internacional de Cultura e Cerveja, com público estimado de mais de 20 mil pessoas. Sendo assim, o conforto térmico se torna um tema de relevância, pois influencia no aproveitamento do usuário.

Figura 1 - Local de análise



A partir de um estudo de caso, pode-se analisar propostas de estruturas fixas ou móveis para a melhoria do conforto térmico do local. De acordo com Siqueira (2013) *"O Estádio do Mineirão aponta caminhos sobre como megaeventos podem deixar um legado para as cidades ... assim, o solo da cidade se expande pela arquitetura."* Mostrando, portanto, a importância dessa análise, que estimulará o uso cotidiano, além de propiciar uma melhora na qualidade dos eventos diurnos no estádio.

No Brasil há uma diversidade de estudos a respeito do conforto térmico em espaços abertos, assim como estudos específicos para a cidade de Belo Horizonte. No entanto, nas pesquisas realizadas sobre o tema, verifica-se que poucos analisam o conforto térmico em espaços de eventos abertos. Considerando-se a

realidade atual da pandemia do COVID-19, espaços confinados com aglomeração de pessoas apresentam grande risco de contaminação, valorizando, desse modo, espaços abertos e amplos para a realização de eventos, como o objeto de análise desta pesquisa.

Por fim, pesquisas na área de conforto térmico urbano são fundamentais para a construção de cidades melhores, mais sustentáveis e habitáveis, nas quais os usuários possam exercer suas atividades da melhor forma possível.

2. OBJETIVO

O objetivo da pesquisa é analisar o conforto térmico em locais de eventos descobertos. Desse modo, serão estudados métodos de avaliação de conforto urbano e quais são as principais variáveis climáticas relacionadas a ele e softwares de simulação do conforto térmico urbano. Também são objetivos de pesquisa simular diferentes cenários com ferramentas computacionais, visando melhorar o conforto térmico na esplanada do Mineirão, e realizar medidas de variáveis climáticas in loco.

3. MÉTODO

Através de revisão bibliográfica sobre o que já foi produzido com relação ao tema proposto, será adotada uma metodologia de pesquisa de estudo de caso, incluindo a seleção de ferramentas computacionais para auxiliar as avaliações do conforto térmico, tais como Rayman[1], Envi Met[2] e Tênsil[3].

A partir disso, a pesquisa será dividida em duas fases: uma primeira na qual serão realizadas medições da temperatura, umidade e ventilação in loco, de acordo com as normas vigentes e métodos já experimentados e, em uma segunda fase, serão realizadas simulações das condições de conforto térmico na situação atual. Após avaliação dos resultados, serão propostas diferentes cenários possíveis e assim simuladas essas situações, visando, sempre, a melhoria das condições de conforto térmico do usuário.

Como resultado da pesquisa pretende-se ter uma análise de algumas soluções de projetos que interferem no conforto térmico em locais de eventos descobertos ou com coberturas fixas e móveis, assim como uma análise da metodologia aplicada para avaliação do conforto térmico, nesses espaços.

4. RESULTADOS PRELIMINARES

Esta pesquisa se encontra em desenvolvimento, teve início em 01/03/2021 e apresenta duração de 1 ano. Até o presente momento foi realizada parte da revisão bibliográfica, análise bioclimática de Belo Horizonte e parte da análise dos softwares computacionais.

4.1 Revisão bibliográfica

A partir da revisão bibliográfica em andamento, foram encontrados diversos pesquisadores que avaliam o conforto térmico urbano. Como, por exemplo, os autores Monteiro (2018); Silveira, Assis e Ferreira (2011); Assis, et. al. (2016); Ribeiro, Justi, Santos, Nogueira e Musis (2020); Rossi, Minella, Tamura, Dumke, Krüger (2009); Shinzato, Duarte, Barros e Moreira (2013); Souza, et. al. (2016), que realizaram pesquisas empíricas in loco, com o objetivo de entender as variáveis dos cálculos (metabolismo, atividade que estão exercendo, vestimenta, gênero e idade) e verificar se condiz com a sensação do usuário, analisando assim o balanço termofisiológico.

Como também os autores Monteiro, Duarte, Gonçalves e Alluci (2008); Nascimento e Silva (2019) que a partir de dados coletados in loco propuseram soluções projetuais a partir da análise de dados em softwares computacionais como o Rayman, Envi Met e EnergyPlus, visando a melhoria do conforto térmico nos locais estudados.

Diversos índices de conforto foram criados para avaliar a sensação térmica dos seres humanos em diferentes espaços. Estes, em sua maioria, foram criados para avaliar o conforto térmico no interior das edificações. Em espaços abertos, é necessária a análise de mais variáveis para medir a sensação do usuário, sendo, portanto, utilizados índices específicos para a avaliação do conforto térmico urbano. Nas bibliografias estudadas os mais comuns foram os índices: Temperatura Equivalente Fisiológica PET desenvolvido por Mayer e Höppe (1987), Voto médio previsto PMV desenvolvido por Gagge et all. (1986), Temperatura Efetiva Padrão SET* Gagge et all.(1986), Temperatura Neutra Exterior Tne criado por Aroztegui (1995) e

[1] "RayMan - Urban Climate." https://www.urbanclimate.net/rayman/. Acessado em 26 set.. 2020.
[2] Envi Met Brasil - https://www.envi-met.com/pt-pt/recursos/ Acessado em 26 set.. 2020.
[3] "Softwares de Conforto - FAU - USP." https://www.fau.usp.br/pesquisa/laboratorios/labaut/conforto/index.html. Acessado em 26 set.. 2020.

Nova temperatura efetiva ET, criado por Gagge et all.(1971). Na tabela a seguir, são apresentados as metodologias de trabalho na avaliação do conforto térmico e o índice adotado em cada bibliografia analisada.

Tabela 1 - Índices e metodologias utilizadas em pesquisas de análise do conforto térmico urbano

Autor	**Índice**	**Metodologia**
Silveira, Assis e Ferreira (2011)	PET	Calibração do índice PET para espaços abertos por meio do método indutivo experimental.
Assis, et. al. (2016)	PMV e PET	Percepção de variáveis climáticas urbanas através da metodologia qualitativa descritiva em caráter exploratório.
Ribeiro, Justi, Santos, Nogueira e Musis (2020)	PMV e PET	Análise dos índices de conforto PMV e PET em diferentes tipos de coberturas em ambientes abertos.
Rossi, Minella, Tamura, Dumke, Krüger (2009)	PMV, PET e SET (Rayman)	Análise da resposta humana em relação ao conforto térmico em Curitiba, através de medidas das variáveis e de questionários aplicados aos usuários no espaço.
Shinzato, Duarte, Barros e Moreira (2013)	PMV (Envi MET)	Medição do Índice de área foliar (IAF) para calcular o impacto de vegetação nos microclimas urbanos.
Souza, et. al. (2016)	PMV (Envi MET)	Metodologia aplicada, baseada no método dedutivo. Levantamento de dados do local in loco, simulação computacional.
Monteiro, Duarte, Gonçalves e Alluci (2008)	Tne e ET (Energy PLUS)	Análise do conforto térmico em espaços abertos para aplicação de um modelo adaptativo
Nascimento e Silva (2019)	PMV (Envi MET)	Simulação tridimensional virtual comparando diferentes cenários, com ou sem vegetação.

4.1 Análise Bioclimática de Belo Horizonte

Belo Horizonte apresenta altitude mínima de 673 m e máxima de 1.506 m. De acordo com o PROJETEEE – Projetando Edificações Energeticamente Eficientes, plataforma nacional do Ministério do Meio Ambiente, o clima de Belo Horizonte pode ser classificado como tropical de altitude sendo úmido/quente no verão e seco/frio no inverno. Devido a sua altitude, o inverno é relativamente seco, mas muito agradável, e o verão é um pouco quente e chuvoso. A Serra do Curral, localizada a leste, bloqueia os ventos mais fortes que podem chegar à cidade, apresentando aproximadamente 45% dos ventos vindo a leste, com 29,55% na velocidade 2-4 m/s e 11,3% de 0-2 m/s.

A cidade apresenta temperaturas médias de bulbo úmido entre 14,92 graus Celsius no inverno (Junho) a 25,92 graus Celsius no verão (Janeiro), precipitações com máximas de 705 mm em dezembro e mínimas de 0 mm em junho e médias anuais de 1600 mm, com umidade relativa do ar média de 67 %, apontando mínimas de aproximadamente 57 % em agosto e máximas de 77 % em dezembro. Apresentando radiação solar média anual igual a 6,0 - 6,5 KWh/m², tendo mínima de 179,57 Wh/m² em maio e máximas de 268.089 Wh/m² em janeiro. (PROJETEEE) Na figura 2, podemos verificar a carta solar de Belo Horizonte considerando as temperaturas ao longo do ano.

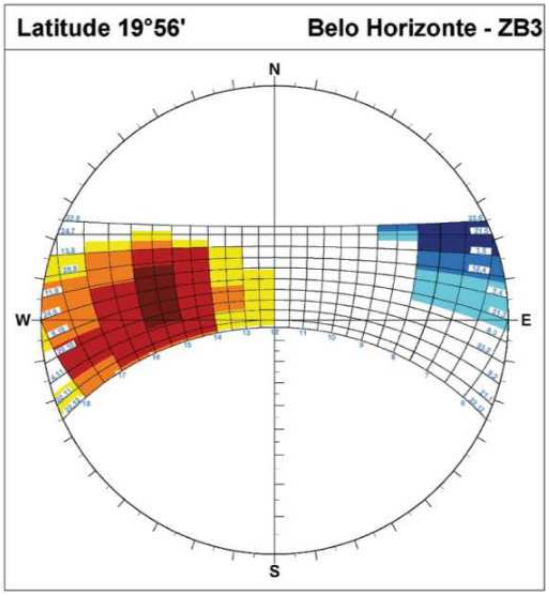


Figura 2 - Carta Solar de Belo Horizonte com Temperaturas -Labcon UFMG

A partir de análise de Carta de Givoni, no software Analysis Bio, para Belo Horizonte, a cidade apresenta taxa de aproximadamente 66,56% de conforto anual. Sendo assim, encontra-se grande parte do ano em zona de conforto ambiental, necessitando se atentar para a utilização de estratégias de sombreamento e ventilação natural durante o verão e de aquecimento solar no inverno. Outra recomendação é inércia térmica tanto para aquecimento quanto para resfriamento.

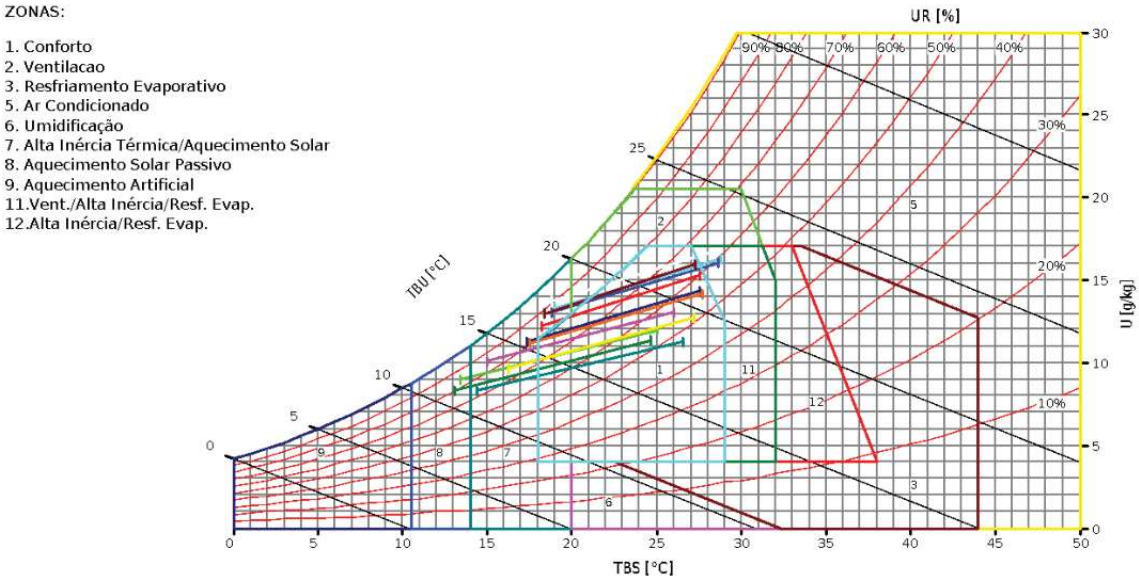


Figura 3 - Carta de Givoni - Análise cidade de Belo Horizonte - Analysis Bio (2009)

4.2. Índices selecionados para avaliação do conforto térmico

Após o estudos dos softwares para análise de conforto térmico, foram selecionados os índices Temperatura Equivalente Fisiológica (PET) (Mayer e Höppe 1987) e o Voto médio previsto (PMV) (Gagge et all. 1986) para análise do local. Ambos os índices são utilizados pelo software RayMan (MATZARAKIS, 2015).

O PET utiliza da temperatura equivalente fisiológica, e é baseado no balanço termofisiológico. Nesse índice é definida uma temperatura fisiológica comparável a uma percepção térmica do indivíduo, na qual uma pessoa em atividade física leve manteria o mesmo balanço térmico. Levando em consideração a temperatura, umidade, vento e temperatura radiante média, baseando-se na equação de equilíbrio térmico humano em estado de uniformidade. (ROSSI et al., 2009) Já o índice PMV é realizado a partir de uma percepção térmica de um grupo de pessoas, sendo específico para espaços externos. É baseado na termorregulação do corpo dos entrevistados. Os votos são registrados em uma tabela de no máximo 7 pontos, sendo considerados a radiação solar, velocidade do vento e taxas de suor. (MONTEIRO,2018)

5. ETAPAS FUTURAS

Finalizadas as etapas de revisão bibliográfica e estudo das ferramentas computacionais (Tênsil, Rayman e Envi Met) para a avaliação do conforto térmico na Esplanada do Mineirão, serão realizadas as medições de temperatura in loco, durante dois dias, nos meses de Julho, Setembro e Dezembro, além de complementação com os dados obtidos pela estação meteorológica do aeroporto de Pampulha. Para tal, será utilizado o termo higrometro para medição de temperatura e umidade do ar, o anemômetro para vento e o termômetro de superfícies para os materiais. Em seguida, será realizada a modelagem do local no software Rayman para simular o conforto térmico na Esplanada do Mineirão nos mesmo dias em que foram realizadas as medidas in loco. Serão consideradas variáveis como: temperatura do ar, temperatura superficial, umidade e velocidade e direção dos ventos. A partir dos resultados das simulações das avaliações de conforto térmico no local serão analisadas também propostas de intervenções no local com coberturas fixas e móveis, utilizando o software Tênsil ou outro com maior complexidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANALYSIS Bio: software para auxílio no processo de adequação de edificações ao clima local. Versão 2.1.5. Florianópolis: LABEEE, 2009. Acesso em 05 abr. 2021.

ASSIS, Eleonora; et al.. ANÁLISE DA PERCEPÇÃO DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS URBANAS PELOS RESIDENTES DA CIDADE DE BELO HORIZONTE, BRASIL. **7º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável: Contrastes, Contradições e Complexidades**, [s. l.], Outubro 2016.

DENARDIN, Matheus D'Ávila. Aquecimento global e a pesquisa em conforto ambiental. **Revista de Arquitetura da Imed**, Passo Fundo, v. 3, n. 1, p. 32-40, 2014.

GIVONI, Baruch. **CARTA BIOCLIMÁTICA**. (1992).

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **População Estimada [2020]**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020.

LABCON – Cartas Solares. Disponível em: https://sites.arq.ufmg.br/tau/labcon/cs/ . Acesso em: 12 mar. 2021.

LLOYD, Samuel. MINEIRÃO. **Mineirão terá agenda repleta de eventos até o final do ano**. Disponível em: http://estadiomineirao.com.br/o-mineirao/imprensa/noticias/mineirao-tera-agenda-repleta-de-eventos-ate-o-final-do-ano/. Acesso em: 13 mar. 2021.

MONTEIRO, Leonardo Marques. **Conforto térmico em espaços urbanos abertos:** verificações modulares como aportes à exploração de abordagens. Tese de Livre Docência - Departamentos de Tecnologia da Arquitetura - FAUUSP, São Paulo, 2018.

MONTEIRO, Leonardo Marques; DUARTE, Denise; GONÇALVES, Joana Soares; ALUCCI, Marcia Peinado. Conforto térmico como condicionante do projeto arquitetônico-paisagístico: o caso dos espaços abertos do novo centro de pesquisas da Petrobras no Rio de Janeiro, CENPES II. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 4, p. 61-86, out. / dez. 2008.

NASCIMENTO, Luna; SILVA, Caio Frederico e. O Conforto térmico de áreas escolares: análise da vegetação por meio do ENVI-met. **IBPSA**, [S. l.], p. 66 - 79, 30 ago. 2019.

OLIVEIRA, Marceli Terra de; GANEM, Khalil Ali; BAPTISTA, Gustavo Macedo de Mello. Análise sazonal de relação entre sequestro de carbono e ilhas de calor urbanas nas metrópoles de São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte e Brasília. **Revista Brasileira de Cartografia**: Edição Desastres Naturais e Impactos Ambientais, Brasília, v. 4, n. 69, p. 807-825, 7 abr. 2017.

PROJETEE – **Projetando Edificações Energeticamente Eficientes.** Disponível em: http://projeteee.mma.gov.br/ . Acesso em: 12 mar. 2021.

RIBEIRO, Karyn Ferreira Antunes; JUSTI, Ana Clara Alves; SANTOS, Flavia Maria de Moura; NOGUEIRA, Marta Cristina de Jesus Albuquerque; MUSIS, Carlo Ralph de. **Análise dos índices de conforto Térmico PMV e PET em diferentes tipos de coberturas em ambientes abertos na cidade de Cuiabá - MT**. **Revista Brasileira de Climatologia,** [s. l.], ano ISSN 2237-8642, v. 26, ed. 16, p. 561 - 578, JAN; JUN 2020. DOI http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v26i0.69343. Disponível em: https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/69343. Acesso em: 20 abr. 2021.

ROSSI, Francine A.; MINELLA, Flavia O. TAMURA, Cíntia A.; DUMKE, Eliane; KRÜGER, Eduardo L. Conforto térmico em espaços abertos: resultados de um estudo piloto em Curitiba. **X Encontro Nacional E VII Encontro Latino Americano De Conforto No Ambiente Construído**, Curitiba, v. ano 10, p. 1-11, 2009.

SHINZATO, Paula; DUARTE, Denise Helena Silva. O impacto da vegetação nos microclimas urbanos: estimativa do índice de área foliar em diferentes grupos arbóreos. **ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, ELACAC - Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, Setembro 2013.** Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/343820631. Acesso em: 1 mar. 2021.

SIQUEIRA, Marina. Mineirão / BCMF Arquitetos. 03 Jun 2013. **ArchDaily Brasil**. disponível em: https://www.archdaily.com.br/br/01-117752/mineirao-slash-bcmf-arquitetos ISSN *0719-8906.* Acesso em 15 Mar 2021.

SILVEIRA, Simone Queiroz da; ASSIS, Eleonora Sad de; FERREIRA, Deniele Gomes. Calibração do índice de conforto térmico temperatura equivalente fisiológica (pet) para espaços abertos do município de Belo Horizonte - mg. **Encontro nacional de conforto no ambiente construído**, Búzios, v. ano 11, p. 1-9, 2011.

SOUZA, Camila Araújo de Siqueira; et al.. ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE VEGETAÇÃO NA DENSIDADE URBANA NO CENTRO DE BELO HORIZONTE, BRASIL, ATRAVÉS DE MODELAGEM MICROMETEOROLÓGICA. **7º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável: Contrastes, Contradições e Complexidades**, [s. l.], Outubro 2016.