

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E
SUSTENTABILIDADE

TRABALHO DE CONCLUSÃO FINAL DE CURSO DE MESTRADO PROFISSIONAL
EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE

**APLICABILIDADE DA
VENTILAÇÃO NATURAL, NO
CONFORTO TÉRMICO, EM UMA
BIBLIOTECA EM CLIMA
TROPICAL ÚMIDO**

LARISSA PEREIRA MIKURI

**CAMPO GRANDE
2018**

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E
GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E
SUSTENTABILIDADE

APLICABILIDADE DA VENTILAÇÃO
NATURAL, NO CONFORTO TÉRMICO, EM UMA
BIBLIOTECA EM CLIMA TROPICAL ÚMIDO

LARISSA PEREIRA MIKURI

CAMPO GRANDE
2018

**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO
SULFACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO
E GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E
SUSTENTABILIDADE**

**APLICABILIDADE DA VENTILAÇÃO
NATURAL, NO CONFORTO TÉRMICO, EM UMA
BIBLIOTECA EM CLIMA TROPICAL ÚMIDO**

LARISSA PEREIRA MIKURI

Projeto de Conclusão Final de Curso do Mestrado Profissional apresentada na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade, na área de concentração Eficiência Energética.

Orientador: Prof. Dr. Wagner Augusto Andreasi

**CAMPO GRANDE
2018**

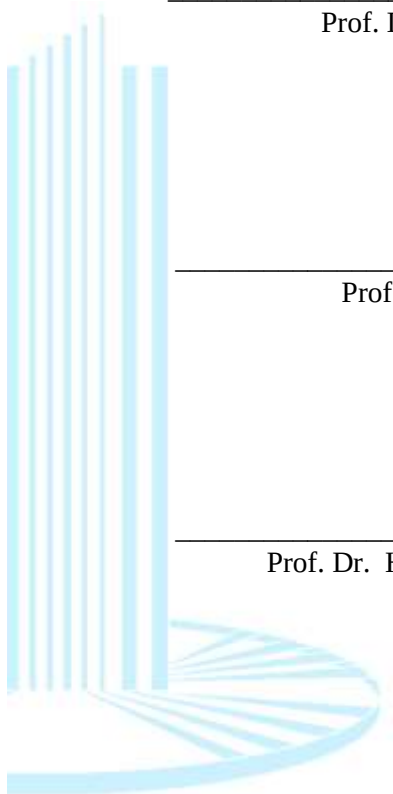
FOLHA DE APROVAÇÃO

Redação final do Trabalho de Conclusão Final de Curso defendida por **LARISSA PEREIRA MIKURI**, aprovada pela Comissão Julgadora em 28 de agosto de 2018, na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade.

Prof. Dr. Wagner Augusto Andreasi – Orientador
FAENG/UFMS

Prof. Dr. Arthur Santos Silva – Membro Titular
FAENG/UFMS

Prof. Dr. Hamilton Germano Pavão – Membro Titular
Instituto de Física/UFMS



AGRADECIMENTOS

O sentimento de gratidão por esse período de pesquisa é imenso e se estende a todas as pessoas maravilhosas que eu convivo em Campo Grande e à distância, que acompanharam essa montanha russa que nossas vidas se transformam ao escolhermos fazer pesquisa.

Agradeço ao meu amado companheiro, Henrique, pelo carinho e companheirismo, sempre. Por me ouvir, me apoiar e me cuidar. A vida fica mais leve, e os desafios mais doces ao teu lado.

A minha família incrível, principalmente, meus pais: Raimi e Toni pela confiança, apoio e compreensão devido a minha ausência e distância muitas vezes além da geográfica.

Ao meu orientador, Wagner Augusto Andreasi, pela confiança depositada em mim e no meu trabalho, pela orientação e significativo aprendizado científico ao longo dessa pesquisa.

Aos grandes colegas de pesquisa do LADE, cada um no seu trajeto, na sua estação de trabalho, mas sempre dispostos a um café gostoso em equipe. As meninas que já se foram, Rejane, Isadora, Julia e especialmente a Natacha pelos valiosos conselhos, caronas, bolos e amizade. Aos meninos, Tássio e Fernando pelas valiosas dicas com tabelas.

Aos professores do Programa, em especial Prof. Arthur e Prof. Ana Paula pela enorme contribuição dada ao meu trabalho no exame de qualificação e também pelos valiosos conselhos em conversas no laboratório.

E por fim, meu sincero agradecimento a todos que participaram da pesquisa, pela disposição em contribuir para o levantamento de dados desse estudo.

RESUMO

MIKURI, L. P. (2018) aplicabilidade da ventilação natural, no conforto térmico, em uma biblioteca em clima tropical úmido. Campo Grande, 2018. 92p. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado Profissional) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.

Nas últimas décadas da construção civil, notou-se uma grande preocupação voltada para a sustentabilidade; um cuidado crescente no mundo por conta da escassez de recursos não renováveis e variações climáticas. Esses fatos trouxeram para as edificações novos parâmetros, classificações e regulamentações que envolvem sustentabilidade e eficiência energética com o intuito de diminuir o consumo de energia e o consequente impacto ambiental. No que se refere ao funcionamento de uma edificação, a eficiência energética é um ponto primordial por estar diretamente ligada ao bem-estar, produtividade e desempenho do ser humano. Este trabalho busca analisar as variáveis representativas de conforto térmico da Biblioteca Central da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS), cujo projeto utiliza de estratégias técnico-construtivas passivas ideais para o clima em que está inserido atendendo a carta bioclimática de Givoni; o intuito é verificar a aceitabilidade térmica nesse ambiente com o uso de ventilação natural e ar-condicionado e quais fatores podem ser mais decisivos na implantação das estratégias. Para tanto, foram aplicados aos usuários questionários relacionados ao conforto térmico ao mesmo tempo em que foram medidas as variáveis climáticas do prédio. A resposta dos ocupantes indicou que as condições térmicas da biblioteca são melhores com o uso de ventilação natural do que com uso de ar-condicionado. Nos dois casos o conforto térmico estava em conformidade com os níveis estabelecidos pela norma ASHRAE Standard 55, porém tanto a temperatura do ar quanto a umidade relativa estavam acima do valor ideal indicado para a conservação do acervo em bibliotecas de 18°C a 22°C e 55±5% respectivamente. As informações fornecidas por este estudo podem ser usadas para projetos

com eficiência energética de ventilação e refrigeração de ambientes de biblioteca em locais quente-úmidos.

Palavras-chave: Ventilação Natural, Conforto Térmico, Eficiência Energética, Estudo de Campo.

ABSTRACT

In the last decades of construction industry, was great the concern for sustainability; increasing care in the world due to scarcity of nonrenewable resources and climatic variations. These facts have brought to the building new parameters, classifications and regulations that involve sustainability and energy efficiency in order to reduce environmental impact and energy consumption. With regard to the operation of a building, energy efficiency is a key point because it is connected to the well-being, productivity and performance of the human being. This work aims to analyze the representative variables of thermal comfort of the Central Library of the Federal University of Mato Grosso do Sul (UFMS), whose project uses passive technical-constructive strategies ideal for the climate in which it is inserted and that also attends the bioclimatic chart of Givoni; the aim is to verify the thermal acceptability in this environment with the use of natural ventilation and air conditioning and what factors are most decisive in the implementation of the strategies. In order to do this, the users were asked questions related to thermal comfort at the same time that the climatic variables of the building were measured. The occupants' response indicated that the thermal conditions of the library are better with the use of natural ventilation than with the use of air conditioning. In both cases the thermal comfort was in accordance with the levels established by the standard ASHRAE Standard 55, but both the air temperature and the relative humidity were above the ideal value indicated for the conservation of the collection in libraries of 18 ° C to 22 ° C and 55 +/- 5% respectively. The information provided by this study can be used for energy efficient ventilation and cooling projects of library environments in hot-humid locations.

Keywords: Natural Ventilation, Thermal Comfort, Energy Efficiency, Field Study.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: PPD em função do PMV.....	28
Figura 2. Temperatura anual de Campo Grande, MS, com máxima, mínima e média mensal.....	43
Figura 3. Umidade relativa anual de Campo Grande, MS, com máxima mínima e média mensal.....	43
Figura 4.Distribuição atualizada dos climas na América do Sul segundo a classificação Koppen-Genger	44
Figura 5. Carta Bioclimática da cidade de Campo Grande MS.....	45
Figura 6. Mudança na localização da biblioteca em Campo Grande, MS. A: Localização atual. B: Localização original. C: Em vermelho a localização atual, em azul a localização original.....	47
Figura 7. Foto da frente biblioteca.	48
Figura 8 . Planta do segundo pavimento da biblioteca.	49
Figura 9. Mapa da divisão da biblioteca utilizado para os cálculos das temperaturas operativas e temperatura radiante média.....	51
Figura 10. Data Logger.....	52
Figura 11. A: Data Logger Hobo. B: Termômetro de Globo. C: Anemômetro de fio quente.	53
Figura 12. Localização dos equipamentos.....	54
Figura 13. Distribuição de Frequência dos votos de sensação térmica com o sistema de ar-condicionado	69
Figura 14. Distribuição de frequência dos votos de sensação térmica com ventilação natural.	69
Figura 15. Votos de preferência térmica por etapa.....	71
Figura 16. Regressão linear para cálculo da temperatura operativa neutra com Ventilação Natural.	72
Figura 17. Regressão linear para determinar a temperatura operativa neutra com ar-condicionado	72
Figura 18. Planta baixa do segundo pavimento da biblioteca, com tubulação de ar condicionado em azul.....	75
Figura 19. Carta Solar de Campo Grande, MS.....	77
Figura 20. Voto de Sensação da velocidade do ar nas 4 etapas.█.....	80

Figura 21. Voto de Preferência da velocidade do ar nas 4 etapas.	83
Figura 22. Gráfico de barras dos votos de preferência térmica de acordo com o voto de sensação térmica.	84
Figura 23. Regressão linear entre os votos de sensação térmica e preferência do vento.	85
Figura 24. Gráfico de frequência com motivo da escolha do local.	86
Figura 25. Gráfico de frequência com motivo da escolha do local com ventilação natural.	87
Figura 26. Gráfico de frequência com motivo da escolha do local com condicionamento artificial.	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Principais normas de conforto térmico nacionais e internacionais.....	35
Tabela 2. Limites de período de exposição de acordo com o IBUTG...	36
Tabela 3. Regime de trabalho de acordo com IBUTG.	36
Tabela 4. Categorias de requisitos segundo PMV.....	38
Tabela 5. Estudos de conforto térmico em Campo Grande, MS.	39
Tabela 6. Estratégias e porcentagem de conforto de acordo com o mês na cidade de Campo Grande, MS.....	46
Tabela 7. Divisão e descrição das zonas da biblioteca	51
Tabela 8. Parâmetros monitorados e configurações de cada sensor	52
Tabela 9. Aplicação dos questionários.	55
Tabela 10. Descrição e horário de início das etapas.....	56
Tabela 11. Valores em clo do isolamento térmico das roupas segundo a ISO 7730 (2005).....	57
Tabela 12. Escala de Sensação Térmica de 7 pontos.	58
Tabela 13. Opções para o voto de Sensação do Vento.....	58
Tabela 14. Número de questionários coletados.	63
Tabela 15. Faixa etária, atividade metabólica e índice de isolamento térmico das roupas.....	64
Tabela 16. Frequência do índice de massa corporal dos respondentes..	64
Tabela 17. Variáveis ambientais obtidas de estação meteorológica (8:00h, 11:00h e 14:00h).....	65
Tabela 18. Variáveis ambientais medidas in loco (parte externa das 9:50h até as 12:05h).....	66
Tabela 19. Resumo estatístico das medições internas	67
Tabela 20. Sensação térmica por área, com ventilação natural e ar-condicionado	74
Tabela 21. Velocidade do vento com ventilação natural.....	75
Tabela 22 Temperatura operativa por zona e etapa.	76
Tabela 23. Votos de sensação da velocidade do ar nas 4 etapas, dividido por zonas.....	79

Tabela 24. Votos de preferência do vento nas 4 etapas, dividido por zonas.	82
Tabela 25. Normas de conforto atendidas segundo a avaliação.	88
Tabela 26 Síntese dos pré-requisitos específicos da envoltória. (Fonte: Manual RTQ-C 2013).....	101
Tabela 27 Síntese das exigências para transmitância térmica máxima de cobertura para nível A (Fonte: Manual RTQ-C 2013)	102
Tabela 28 Síntese das exigências para transmitância térmica máxima de paredes exteriores para nível A (Fonte: Manual RTQ-C 2013).....	102
Tabela 29 Absortância das paredes externas (Fonte: FILHO 2008)....	103
Tabela 30 Limites de Fator Solar de vidros e de Percentual de abertura Zenital para coberturas (Fonte: RTQ-C 2013).....	103
Tabela 31. Características do edifício analisado.....	104
Tabela 32. Parâmetros do $IC_{máxD}$	105
Tabela 33 Parâmetros do $IC_{mín}$ (Fonte: RTQ-C, 2013).....	105
Tabela 34 Limites dos intervalos dos níveis de eficiência. Fonte: RTQ-C, 2013	106
Tabela 35 Limites dos intervalos dos níveis de eficiência. Fonte: elaboração do autor.....	106

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers</i>
CEMTEC	Centro de Monitoramento de Tempo, do Clima, e dos Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMC	Índice de Massa Corporal
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INMERO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
ISB	Sociedade Internacional de Biometeorologia
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LabEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
LADE	Laboratório de Análise e Desenvolvimento de Edificações
LSI	<i>Laboratori di Strumentazione Industriali</i>
MEMI	<i>Munich Energy Balance Model for Individual</i>
MS	Mato Grosso do Sul
NBR	Norma Brasileira
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PET	<i>Physiological Equivalent Temperature</i> (Temperatura Equivalente Fisiológica)
PMV	<i>Predicted Mean Vote</i> (Voto Médio Predito)
PNMC	Plano Nacional sobre Mudança do Clima
PPD	<i>Predicted Percentage Dissatisfied</i> (Percentual de Pessoas Desconfortáveis)
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RTQ-C	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais
RTQ-R	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
SET	Nova Temperatura Efetiva Padrão
Tar	Temperatura do ar
Trm	Temperatura radiante média

UFMS	Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UN	<i>United Nations</i> (Nações Unidas)
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
UNISDR	<i>United Nations International Strategy for Disaster Reduction</i>
UR	Umidade relativa do ar
UTCI	<i>Universal Thermal Climate Index</i> (Índice Termoclimático Universal)
Var	Velocidade do ar
VST	Voto de Sensação Térmica

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
°C	Unidade de medida de temperatura em graus Celsius
°C PET	Unidade de medida de temperatura em graus Celsius PET
clo	Unidade de medida de isolamento da roupa
cm	Unidade de medida de comprimento em centímetros
h	Unidade de medida de tempo em horas
ha	Unidade de medida de área em hectare
kg	Unidade de medida de massa em kilograma
m	Unidade de medida de comprimento em metro
m/s	Unidade de medida de velocidade em metros por segundo
m ²	Unidade de medida de área em metro quadrado
m ² . °C /W	Unidade de medida de isolamento da roupa em metro quadrado graus Celsius por watt
met	Unidade de medida de taxa metabólica
min	Unidade de medida de tempo em minutos
W/m ²	Unidade de medida de taxa metabólica em watts por metro quadrado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
1.1	Justificativa	20
1.2	OBJETIVOS	25
1.2.1	Objetivo Geral	25
1.2.2	Objetivos Específicos	25
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
2.1	Conforto térmico humano	26
2.1.1	Variáveis que influenciam no conforto térmico.....	27
2.1.2	Os dois tipos de estudo: o Modelo Estático e o Modelo Adaptativo	27
2.2	Ventilação Natural em edificações	30
2.3	Eficiência Energética em Edificações.....	33
2.4	Limites de conforto térmico.....	34
2.5	Estudos de conforto térmico em Campo Grande	38
2.6	Diretrizes para preservação dos acervos em bibliotecas	40
3	METODOLOGIA	42
3.1	Ambiente de medição	42
3.1.1	Objeto da pesquisa – Biblioteca Central da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul	47
3.1.2	Etiquetagem da edificação	49
3.2	Levantamento das variáveis ambientais.....	50
3.3	Levantamento das variáveis humanas.....	54
3.3.1	Primeira Avaliação	55
3.3.2	Segunda avaliação	58
3.4	Análise dos dados	59
3.5	Tratamento dos dados	62
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	63
4.1	Variáveis pessoais.....	63

4.2	Variáveis ambientais	64
4.3	Sensação térmica	68
4.4	Preferência térmica	70
4.5	Temperatura Operativa Neutra	71
4.6	Análise da Ventilação Natural	75
4.6.1	Votos de sensação da velocidade do ar	77
4.6.2	Votos de preferência da velocidade do ar.....	80
4.7	Avaliação geral da biblioteca	85
4.8	Comparação com as normas de conforto e desempenho	88
5	CONCLUSÃO	90
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	91
	REFERÊNCIAS.....	93
	PROCEDIMENTOS DE CÁLCULO	103

INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

O conforto térmico dentro das edificações é uma garantia de produtividade, um ambiente mais saudável para os usuários e não é um desafio que deve ser resolvido unicamente através do uso de condicionamento artificial. O estudo do conforto térmico engloba entre outros fatores diretrizes arquitetônicas ideais para que em determinada região e clima um edifício seja eficiente utilizando soluções bioclimáticas energeticamente eficientes. Ou seja, proporcionar as mesmas condições de conforto térmico com baixo dispêndio de energia.

Os estudos desenvolvidos por Pedrini e Szokolay (2005) mostraram que o consumo de energia pode variar em 72% entre as melhores e as piores combinações de estratégias bioclimáticas, enquanto que a diferença de eficiência de aparelhos de ar-condicionado tem um impacto de 42% no consumo de energia; os autores concluíram que as decisões arquitetônicas são mais relevantes que as instalações na eficiência de um edifício. Através de simulações computacionais, foram avaliadas 11 variáveis de projeto: orientação; profundidade da sala; pé-direito; fração de janela na parede; ângulo vertical do sombreamento externo; ângulo horizontal do sombreamento externo; tipo de vidro; características das paredes; uso de iluminação natural com controle de cortinas; tipos de ventilação (ativa ou passiva); e tipos de instalação predial (iluminação e condicionamento artificiais eficientes ou com baixa eficiência).

O clima na maior parte do território brasileiro é quente e úmido, onde a proteção solar juntamente com a ventilação natural são as estratégias bioclimáticas mais indicadas. No entanto, o uso do condicionamento artificial tem cada vez mais aumentado no país. Santamouris (2007) destaca cinco fatores que explicam esse aumento no número de aparelhos de ar-condicionado:

a) Produção arquitetônica massificada, que não considera questões climáticas locais resultando em um aumento na demanda de energia nos períodos quentes;

b) Aumento da temperatura, particularmente em ambientes urbanos, devido ao fenômeno de Ilha de Calor;

c) Mudanças na "cultura do conforto", comportamento de consumo e expectativas;

d) Melhorias nos padrões de vida e aumento do poder aquisitivo;

e) Aumento das cargas internas do edifício.

O aumento no consumo de energia elétrica teve consequências: no ano de 2001 no Brasil, o alto consumo de energia, a escassez de chuvas, a falta de planejamento e investimentos no setor resultou na crise do “apagão”. No mesmo ano, o Governo Federal, em consequência desta crise, instituiu a primeira iniciativa no âmbito legislativo objetivando promover a eficiência energética, a lei Nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, que “dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia” (BRASIL, 2001a). Em relação aos edifícios, o governo brasileiro juntamente com o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), tem buscado soluções para diminuir o consumo de energia elétrica no país por meio do Plano Nacional de Eficiência Energética. O plano resultou no Programa Nacional de Conservação de Energia em Edificações (PROCEL Edifica), visando classificar e etiquetar edifícios públicos, residenciais, comerciais e de serviço em relação a sua eficiência energética.

O PROCEL Edifica junto com o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), atua desde o final do ano de 2009, na aplicação da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), uma etiqueta que classifica as edificações de acordo com sua eficiência energética através de Regulamentos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos e para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-C e RTQ-R, respectivamente). Até a presente data, a etiquetagem é obrigatória apenas para os edifícios públicos federais com mais de 500m², como dispõe a Instrução Normativa SLTI n.º 2/2014, do Ministério de Planejamento Orçamento e Gestão (MPOG) e sem data definida para se tornar compulsório.

Os regulamentos técnicos foram elaborados com base no zoneamento bioclimático brasileiro, presente na NBR 15220-3 (2005), que foi desenvolvido para apontar estratégias e diretrizes construtivas mais eficientes para habitações unifamiliares de interesse social. O zoneamento bioclimático, por sua vez, foi fundamentado na carta bioclimática, desenvolvida por Givoni, para países em desenvolvimento. Os estudos de Givoni, sugerem que em climas quentes, a temperatura interna dos edifícios não condicionados reage mais largamente à variação do clima externo, bem como, à experiência do uso dos ocupantes, pessoas que moram em residências sem condicionamento artificial costumam aceitar uma grande variação de temperatura e velocidade do ar, representando um grande potencial de economia de energia elétrica no condicionamento desses ambientes.

A função da etiquetagem é avaliar uma edificação e divulgar essa informação para orientar o público. Os edifícios etiquetados e com boa classificação prometem melhores resultados térmicos e lumínicos, diminuindo o gasto de energia elétrica com iluminação e condicionamento artificial. Entretanto, a ventilação natural como estratégia de conforto térmico para edifícios ainda é uma categoria pouco explorada e sua regulamentação é totalmente referenciada em normas internacionais como a ASHRAE.

Diante deste cenário alguns estudos voltados para utilização de estratégias passivas, como a ventilação natural, para se obter conforto térmico com baixo dispêndio de energia têm se tornado mais frequentes. Os estudos como de Schiavon e Melikov (2008), mostram que em alguns casos, o simples incremento na velocidade do ar em edifícios é suficiente para obter redução no consumo de energia elétrica. Isso porque em temperaturas elevadas a circulação de ar em contato com a pele ajuda a diminuir a temperatura do corpo, aumentando a sensação de neutralidade térmica e mesmo o uso de velocidades de ar que ultrapassam os limites estabelecidos em normas de conforto (ISO 7730, ASHRAE standard 55) são desejáveis e considerados aceitáveis em regiões de clima quente e úmido.

De acordo com Chow et al. (2010), o aumento na velocidade do ar pode promover, de maneira mais sustentável, os mesmos níveis de conforto que a redução na temperatura e na umidade relativa do ar. Pesquisas como a de Ja'afar e Croxford (2010) ressaltam não só a demanda no consumo energético causada pelos aparelhos de ar-condicionado, mas também as implicações na questão comportamental que o uso do mesmo provoca. Somado a isso, os estudos de Feige et al. (2013), que avaliaram 18 edifícios sustentáveis de escritórios, mostram uma grande diferença de conforto entre eles. Essa diferença foi atribuída principalmente à operabilidade das janelas e equipamentos. O desconforto observado afetou o desempenho e a taxa de rotatividade dos funcionários.

Introduzir a ventilação natural como estratégia passiva para a climatização de ambientes tem sido um dos maiores desafios encontrados por pesquisadores e projetistas. Esta dificuldade se deve em parte à falta de conhecimento sobre o fenômeno físico do escoamento natural do ar e sobre como velocidades mais altas afetam a sensação de conforto de usuários em climas quentes (CHOW et al.,2010).

Os edifícios que abrigam bibliotecas costumam na sua maior parte utilizar o sistema de condicionamento artificial como climatização, devido a necessidade de controlar a flutuação da temperatura e a umidade relativa do ar, em função de uma melhor conservação do seu acervo. A biblioteca da pós-graduação da FAU-USP, localizada no edifício Vila Penteado, é uma das poucas exceções que operam exclusivamente com ventilação natural. Os estudos de Costa et al. (2016) mostraram uma boa aceitação térmica dos usuários.

O edifício deste presente estudo, possui segundo o manual do RTQ-C classificação A para envoltória caracterizando-o como eficiente em termos de eficiência energética (em relação ao seu envelope), apesar disso, ele opera com uso de condicionamento artificial.

Existem estudos indicando que a metodologia de avaliação da eficiência energética do regulamento brasileiro possui falhas em diversos aspectos e afeta tanto a eficiência do edifício, quanto o conforto dos usuários. Santos (2010) por exemplo, alega que o valor da absorvância

solar (variável utilizada no cálculo da eficiência energética do edifício) pode ser erroneamente calculado, pois o regulamento permite utilizar apenas sua cor como parâmetro, podendo trazer discrepâncias de valores, já que a envoltória corresponde a 30% da classificação de um edifício. Roriz (2012) relembra que, o Zoneamento foi proposto especificamente para habitações unifamiliares de interesse social e que as normais climatológicas utilizadas para a elaboração desse zoneamento utilizaram dados de pouco mais de 300 cidades, número muito pequeno e que gera muita incerteza por interpolar todo o resto do território brasileiro.

Este estudo pretende avaliar a aplicabilidade da utilização da ventilação natural como estratégia passiva para o conforto térmico, analisando a relação entre a aplicação dos requisitos, o nível de conforto térmico atingido e a adequação para a preservação do acervo através das variáveis representativas. Com base nos resultados obtidos, diretrizes de projeto são sugeridas para o edifício em questão.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Investigar a aplicabilidade da ventilação natural para o conforto térmico dos usuários e conservação do acervo de uma biblioteca central em Campo Grande (MS).

1.2.2 Objetivos Específicos

- Medir e caracterizar a percepção térmica dos ocupantes, utilizando ventilação natural e condicionamento artificial;
- Verificar a possibilidade de aliar o conforto térmico com a temperatura e umidade ideal para preservação do acervo;
- Comparar a eficiência de diferentes combinações de abertura das janelas, para a ventilação do ambiente;
- Determinar a temperatura neutra e aceitável para o ambiente (usuários e acervo);
- Propor soluções de conforto para o edifício estudado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Conforto térmico humano

O clima nas várias regiões no mundo é bastante distinto, o ser humano é capaz de se adaptar às mais diversas condições climáticas utilizando a arquitetura e a vestimenta como forma de obter conforto. Fisiologicamente, o corpo humano busca manter sua temperatura constante, que em situações de conforto e atividade leve fica entre 33° e 34°C (temperatura da pele). O corpo responde às mudanças de temperatura por meio de mecanismos termorreguladores como a vasoconstrição periférica, o arrepio, o suor e a vasodilatação periférica. Quando esses mecanismos não são suficientes para regular a temperatura, o indivíduo age instintivamente se curvando, trocando o tipo de vestimenta, buscando sombra ou ingerindo algum tipo de bebida. O aumento ou a diminuição da temperatura interna do corpo além do desconforto, pode trazer problemas de saúde e até mesmo a morte (ASHRAE, 2001).

Tradicionalmente, o conceito de conforto térmico envolve os aspectos físicos e os fisiológicos, no entanto, os estudos mais recentes incluem fatores psicológicos e comportamentais no processo cognitivo do julgamento de conforto (LIN et al., 2011, CHEN e NG, 2012). Segundo a ASHRAE Standard 55 (2013), Conforto Térmico é: “A condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico”. Essa definição engloba o campo subjetivo, pois afirma que o conforto térmico depende de fatores fisiológicos, físicos (objetivos) e de fatores psicológicos (subjetivos). A norma ISO 7730 (2005) o define como: “estado que expressa satisfação com o ambiente térmico” e Givoni (1976) considera: “a ausência de irritação e incômodo devido ao calor ou frio”.

Sob o aspecto fisiológico, a sensação de conforto está associada à condição de neutralidade térmica. Segundo Fanger (1970), a neutralidade térmica é alcançada quando o calor produzido no interior do corpo é igual à perda de calor líquido; nestas condições, não há necessidade de ativar mecanismos termorreguladores para manter estável a temperatura do corpo.

2.1.1 Variáveis que influenciam no conforto térmico

O balanço térmico, caracterizado pelo equilíbrio de troca de calor entre o corpo e o ambiente, é uma importante condição para se obter conforto térmico. O conforto térmico humano está relacionado com uma série de variáveis que juntas atuam nessa condição.

As principais normas utilizadas mundialmente consideram seis variáveis que afetam a sensação térmica; sendo quatro variáveis ambientais e duas variáveis pessoais.

As variáveis ambientais estão relacionadas ao clima do ambiente: temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade relativa e velocidade do ar. Elas são essenciais para a compreensão do ambiente térmico no qual o indivíduo encontra-se exposto.

As variáveis humanas estão relacionadas com a atividade física do ocupante (taxa metabólica), a vestimenta (isolamento térmico das roupas), complexidade física individual do ocupante (peso e altura) e também o estado psicológico. As normas consideram apenas a taxa metabólica e a vestimenta para os cálculos.

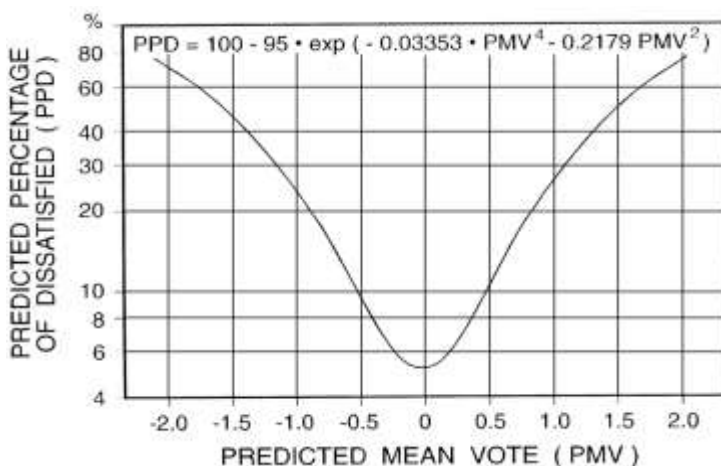
2.1.2 Os dois tipos de estudo: o Modelo Estático e o Modelo Adaptativo

Os estudos relacionados com o conforto térmico humano possuem duas abordagens: o Modelo Estático e o Modelo Adaptativo. O primeiro, Modelo Estático, considera o homem como receptor passivo do ambiente e representa uma linha mais analítica, foi proposto pelo pesquisador dinamarquês Ole Fanger em 1970 por meio de um experimento dentro de câmaras climatizadas, onde as variáveis ambientais (temperatura e umidade) e pessoais (atividade física e vestimenta) eram controladas pelo pesquisador, as equações e os métodos resultantes desse experimento serviram de base para a elaboração das principais normas de conforto térmico atuais, como a ANSI/ASHRAE 55 (2008) e a ISO 7730 (2005).

A partir dos estudos de Fanger, criou-se o método PMV-PPD de avaliação do conforto térmico de ambientes, o PMV - Predicted Mean

Vote, voto médio estimado ou voto de sensação térmica, prevê, segundo determinadas condições ambientais e individuais a sensação térmica das pessoas, o “voto” é representado dentro de uma escala de 7 pontos que vai de muito frio até muito quente (Figura 1). O PPD - Predicted Percentage of Dissatisfied, ou porcentagem de pessoas insatisfeitas, é um índice que prevê qual a porcentagem de pessoas que estarão termicamente insatisfeitas de acordo com o PMV encontrado (Figura 1).

Figura 1: PPD em função do PMV.



Fonte: ASHRAE Std. 55 (2013, p.23)

Em 1979, o método de Fanger foi contestado por Michael Humphreys que encontrou valores diferentes dos obtidos nas câmaras climatizadas e propôs o segundo modelo, o Modelo Adaptativo, que leva em conta a capacidade de adaptação do ser humano a uma situação de desconforto e diferentemente do modelo estático, considera também a aclimação, o contexto, a cognição e também fatores relacionados à demografia (gênero, idade e classe social).

Com base no Modelo Adaptativo, De Dear *et al.* (1997) relacionam-se três mecanismos de adaptação:

- Ajustes comportamentais: caracterizados pelos ajustes pessoais (roupa, atividade, postura), ajustes tecnológicos ou ambientais (abrir ou fechar janelas e portas, ligar ventiladores, climatizadores ou aquecedores) e ajustes culturais (ingestão de bebidas típicas,);
- Ajustes fisiológicos: relacionados ao sistema termoregulador (suor, vasodilatação, vasoconstrição) e também adaptações genéticas;
- Ajustes psicológicos: percepções e reações das informações sensoriais. A percepção térmica pode ser influenciada pela expectativa ao clima ou pela exposição repetida a um determinado clima atenuando ou agravando a sensação térmica.

Por conta desses ajustes, no contexto adaptativo a faixa de conforto térmico encontrada é maior em relação ao modelo estático e considerada uma ferramenta mais precisa e ideal para o conforto térmico humano (NICOL, 2004 ; VAN DER LINDEN et al. 2006). Em razão disso, os edifícios que dispõe de pequenas modificações no ambiente como: abertura e fechamento de janelas e controle da velocidade de ventiladores (ajustes tecnológicos), tendem a ter uma faixa de conforto muito maior, pois oferecem diferentes tipos de combinações térmicas aceitáveis e que não são necessariamente constantes.

Ornstein (1992) afirma que um edifício quando ocupado passa a ter um papel social pleno, com todas as interações sociais que ele abriga. Seu funcionamento e eficiência não dependem unicamente da sua estrutura física, mas também do atendimento da expectativa dos seus funcionários e frequentadores de seu entorno imediato, correta utilização e funcionamento dos seus equipamentos e sistemas.

Os estudos em edifícios sustentáveis pelo mundo conduzidos por Baird (2013), indicam que apesar de edifícios classificados como energeticamente eficientes de uma forma geral e apresentarem melhores resultados em fatores como conforto térmico e qualidade do ar em relação aos edifícios comuns, ainda foram perceptíveis problemas em alguns

deles, como o desconhecimento na utilização no controle dos equipamentos de conforto e a inoperabilidade da abertura das janelas. Portanto, é importante que haja uma avaliação do ponto de vista dos usuários de forma a trazer informações que não são facilmente medidas por aparelhos ou simuladas por programas, para que seja uma importante ferramenta avaliativa no desempenho e performance dos edifícios, por considerar a adaptabilidade do ser humano.

2.2 Ventilação Natural em edificações

A ventilação natural é uma estratégia eficiente em promover a melhoria no conforto térmico com baixo custo energético, além de proporcionar um aumento na qualidade do ambiente por permitir a renovação do ar no interior dos edifícios. Os estudos de Bittencourt e Cândido (2005), apontam a ventilação como a estratégia bioclimática mais eficiente para obtenção de conforto térmico nos espaços urbanos e arquitetônicos, sua abrangência está ligada inclusive ao seu alcance social, deve ser pensada de forma que seja facilmente reconhecida pelo usuário e dessa forma garantir sua apropriação.

A ventilação natural constitui uma importante estratégia bioclimática na busca de conforto térmico para localidades que possuem clima quente e úmido, já que o movimento do ar favorece as trocas de calor entre a pele e o meio, através da convecção e evaporação.

Segundo Cândido et al. (2011), a velocidade do ar é a variável ambiental pela qual as pessoas têm maior sensibilidade, auxilia na troca de calor entre pessoa e ambiente, influenciando na sensação térmica do corpo (perda de calor), o que, para Zhang (2003, apud Cândido et al., 2011, p.384), pode ter relação com sensação de prazer relacionada a movimentação do ar, pois os termorreceptores estão localizados em diferentes profundidades da pele e são responsáveis pela transferência de informação entre o ambiente e a temperatura interna do corpo (controlada em 37 °C). Para De Dear (2010), essa diferença de profundidade entre termorreceptores frios e quentes pode explicar a sensação agradável ou desagradável devido ao movimento do ar.

O termorreceptor possui dois componentes: um em estado estacionário e outro transiente, o aumento na velocidade do ar aciona uma descarga dinâmica nos termorreceptores frios da pele. Desse modo, essas descargas dinâmicas induzidas por turbulência nos termorreceptores provocam a sensação de satisfação quando a temperatura do núcleo do corpo está mais alta que o habitual. São os estímulos nos receptores periféricos que desencadeiam a sensação de satisfação. A estimulação periférica pode ocorrer por meio de qualquer um dos modos de transferência de calor, por radiação, convecção, perda de calor latente ou por condução.

A sensibilidade do homem em relação à movimentação do ar em ambientes internos tem sido amplamente pesquisada, relacionando também à sensação de desconforto localizado como ocorrência de correntes de ar (draught, draft), destacadas nas normas ISO 7730 (2005) e ASHRAE Standard 55 (2013). A primeira norma apresenta um modelo matemático da taxa de pessoas incomodadas pela corrente de ar, aplicável a casos de atividade sedentária, sensação térmica próxima de neutra e com ocorrência de corrente de ar próxima ao pescoço. Já a ASHRAE Standard 55 (2013) determina que em temperaturas operativas abaixo de 22,5 °C a velocidade do ar não pode exceder a 0,15 m/s. por outro lado, em climas quentes é possível utilizar o aumento da velocidade do ar para compensar a sensação de calor provocada pelo aumento da temperatura.

Cândido et al. (2011), por meio de análises estatísticas de mais de dois mil questionários aplicados na cidade de Maceió, encontraram alguns valores de velocidade mínima do ar para 90% de aceitabilidade. Segundo os autores, para temperaturas entre 24°C e 27°C, a velocidade mínima do ar recomendada é de 0,4 m/s; de 27°C a 29°C, a velocidade mínima do ar recomendada é de 0,41 m/s a 0,8 m/s; e entre 29°C e 31°C, a velocidade mínima do ar recomendada é superior a 0,8 m/s, em todos os casos, a velocidade desejada foi muito superior a recomendada pela norma ISO 7730 (2005).

A ventilação natural atua também na remoção da carga térmica do edifício, contribuindo para redução do consumo de energia resultante da utilização de aparelhos de ar condicionado. Ela facilita o resfriamento

estrutural juntamente com a inércia térmica. A influência da inércia térmica e da ventilação natural como processos de condicionamento passivo e suas implicações no conforto térmico dos ocupantes são investigados em Goulart (2004).

A arquitetura bioclimática tem o intuito de tirar proveito ou evitar os efeitos das variáveis climáticas através de estratégias construtivas, está diretamente ligada a eficiência energética de um edifício, pois proporciona conforto com o mínimo dispêndio de energia.

O termo Projeto Bioclimático foi criado pelos irmãos Olgyay na década de sessenta (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014), através de seus estudos propuseram “a carta bioclimática de Olgyay”. A proposta aponta estratégias construtivas a partir dos dados climáticos do local (temperatura e umidade), ela funciona por meio de um gráfico que possui uma zona de conforto e uma zona de desconforto, sendo essa última dividida de acordo com as soluções arquitetônicas mais indicadas para se restaurar a sensação de conforto.

Posteriormente, Givoni aprimorou a carta de Olgyay e elaborou a Carta Bioclimática para o Edifício (BBCC) “Building Bioclimatic Chart” que mostra soluções arquitetônicas para o edifício de forma mais específica, corrigindo as limitações da carta de Olgyay. A BBCC foi adaptada sobre uma carta psicométrica, usa as temperaturas internas como referência e sua zona de conforto foi definida pelo método PMV recomendado pela ISO 7730 (2005).

Também foi desenvolvida uma carta específica para países de clima quente ou “subdesenvolvidos” como intitula Givoni, dado que várias pesquisas mostraram que, nesses países, as pessoas aceitam, termicamente, limites máximos maiores de temperatura e umidade. Os limites da zona de conforto foram então aumentados em 2°C a temperatura e em 2g/kg o valor do conteúdo de vapor por considerar os efeitos de aclimação das pessoas (GIVONI, 1992).

A NBR 15220 de 2005 e o RTQ-C utilizam essa carta como base para definir e classificar estratégias bioclimáticas eficientes para as edificações em cada localidade do país. Ela é dividida em nove zonas com estratégias voltadas para o frio e para o calor. São elas:

- Zona de Conforto;
- Zona de Ventilação Natural;
- Zona de Inércia Térmica para Resfriamento;
- Zona de Resfriamento Evaporativo e Umidificação;
- Zona de Aquecimento Solar;
- Zona de Condicionamento Artificial com Isolamento Térmico;
- Zona de Sombreamento.

As estratégias podem ser utilizadas individualmente ou de forma combinada, por exemplo, nas zonas de intersecção das estratégias nas zonas de ventilação, resfriamento evaporativo e inércia térmica para resfriamento.

2.3 Eficiência Energética em Edificações

A preocupação em relação ao consumo de energia elétrica no país começou nos anos 80, com a visita do especialista em eficiência energética Howard Geller, diretor executivo do American Council of Energy-Efficient Economy (ACEEE), que propôs soluções de eficiência energética para o país. Apesar das análises e recomendações feitas por Howard, durante os anos de 1999, 2000 e 2001, o Brasil experimentou uma crise energética com diversos "apagões" que trouxeram enormes prejuízos para o país. Com o crescimento econômico e populacional, o país se viu em uma situação em que era preciso além de investimentos no setor, um uso mais racional da energia elétrica de forma a reduzir o seu consumo. A primeira iniciativa legal foi instituída no ano de 2001 através da Lei nº 10.295, também conhecida como Lei de Eficiência Energética no Brasil (BRASIL, 2001a), que dispõe sobre a política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, por meio do Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001 (BRASIL, 2001b), determina níveis mínimos de eficiência para máquinas, aparelhos e edificações, além de estimular o desenvolvimento tecnológico, a preservação ambiental e introduzir produtos mais eficientes no mercado.

Como forma de viabilizar a Lei de eficiência energética, o “Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos” (RTQ), foi desenvolvido pelo LABEEE (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações) pertencente a Universidade Federal de Santa Catarina, por meio de convênio formado com a Eletrobrás. O regulamento tem por objetivo criar condições para etiquetagem do nível de eficiência energética de edifícios, comerciais, serviço e públicos (RTQ-C) e residenciais (RTQ-R). O RTQ entrou em vigor no ano de 2009 e é o primeiro instrumento brasileiro em forma de lei para a regulação do consumo de energia no setor de edifícios (BRASIL, 2009).

A criação do regulamento se deve ao grande potencial de conservação de energia que a eficiência energética pode trazer. O Balanço Energético Nacional (BEN, 2015) aponta que, somando os gastos de energia elétrica dos setores residencial, público e comercial temos 42,5% do total de energia elétrica disponibilizada no país. Segundo o relatório da Procel (2015), as edificações novas construídas de acordo com os padrões do PBE edifica, podem obter uma economia de 50% e as que passaram por retrofit, uma economia de 30%.

O RTQ ainda tem caráter voluntário sendo obrigatório, desde julho de 2014, apenas para edifícios públicos federais novos ou em processo de reforma, como dispõe a Instrução Normativa SLTI n.º 2/2014, do Ministério de Planejamento Orçamento e Gestão (MPOG). Não existe uma data limite para que se torne compulsório para as demais edificações.

Os regulamentos trazem uma série de requisitos que colaboram com a eficiência do edifício, por meio da diminuição do uso de iluminação e condicionamento artificial e uso de equipamentos mais eficientes. A envoltória da biblioteca, onde foi realizado o estudo, cumpre vários desses requisitos e é por tanto considerada eficiente.

2.4 Limites de conforto térmico

As normas internacionais, como já foi apresentado, utilizam o PMV e o PPD para estabelecerem limites de temperatura. A Tabela 1,

abaixo, apresenta as principais normas nacionais e internacionais que abordam o conforto térmico, seus respectivos parâmetros e limites.

Tabela 1. Principais normas de conforto térmico nacionais e internacionais.

Norma	Parâmetros	Limite
NR 15	IBUTG	< 30°C (trabalho contínuo leve)
NR 17	V. ar	< 0,75m/s
	Temp. efetiva	20°C a 23°C
	Umidade relativa	>40%
NBR 16401	V. ar	0,2 a 0,25 m/s
	Temp./UR	22,5°C a 25,5°C/ 65%
	Temp./UR	23°C a 26°C / 35%
ASHRAE 55	PMV	-0,5 < PMV > +0,5
	PPD	< 10
ISO 7730*2	PMV	- 0,7 < PMV < + 0,7
	PPD	< 15

Fonte: Elaboração do autor.

A NR 15 e a NR 17 são normas nacionais do Ministério do Trabalho que discorrem a respeito de conforto térmico.

A NR 15, anexo 3 – Limites de tolerância de exposição ao calor, determina limites de tempo que um trabalhador pode ficar exposto a ambientes quentes, ela utiliza o Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo (IBUTG) como base. Além disso ela estabelece períodos de tempo de exposição para cada faixa de valor do IBUTG (Tabela 02) e também situações de descanso.

Tabela 2. Limites de período de exposição de acordo com o IBUTG

Regime de trabalho intermitente com descanso no próprio local de trabalho (por hora)	LEVE	MODERADO	PESADO
Trabalho contínuo	até 30,0°C	até 26,7°C	até 25,0°C
45 minutos trabalho 15 minutos descanso	30,1 a 30,5°C	26,8 a 28,0°C	25,1 a 25,9°C
30 minutos trabalho 30 minutos descanso	30,7 a 31,4°C	28,1 a 29,4°C	26,0 a 27,9°C
15 minutos trabalho 45 minutos descanso	31,5 a 32,2°C	29,5 a 31,1°C	28,0 a 30,0°C
Não é permitido o trabalho sem a adoção de medidas adequadas de controle	Acima de 32,2°C	Acima de 31,1°C	Acima de 30,0°C

Fonte: NR 15 (1978) e NR 17 (1990)

A NR 17 – ergonomia, estabelece de forma simplificada as condições térmicas aceitáveis para ambientes de trabalho internos. Definindo: a temperatura efetiva entre 20 e 23°C; a velocidade do ar não superior a 0,75 m/s e a umidade relativa do ar acima de 40%.

A NBR 16401-2 (2008) trata sobre parâmetros de ambientes internos que proporcionam conforto aos ocupantes de recintos condicionados artificialmente. A norma divide as temperaturas limites em duas partes de acordo com as vestimentas do verão e do inverno e estabelece limites para velocidade do ar (Tabela 3).

Tabela 3. Regime de trabalho de acordo com IBUTG.

	Clo	Temp.	Umid. Relativa	Vel. Média do ar
Verão	0,5	22,5°C a 25,5°C	65%	0,20m/s a 0,25m/s
		23,0 °C a 26°C	35%	
Inverno	0,9	21,0°C a 23,5°C	60%	0,15m/s a 0,20m/s
		21,5 °C a 24,0°C	30%	

Fonte: NBR 16401-2 (2008), elaboração do autor.

As normas brasileiras não abordam especificamente o conforto térmico em ambiente de bibliotecas e foram consideradas as normas de

conforto térmico gerais. Nesse sentido, dentro das normas internacionais a principal norma de conforto térmico existente é a ISO 7730, cuja primeira revisão é de 1994 (título original “Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions of thermal comfort”) e a segunda no ano de 2005 (título original “Ergonomics of the thermal environment Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria”).

Essas normas são produzidas pelo comitê técnico ISO/TC 159 SC5, Subcomitê de Ergonomia (OLESEN e PARSONS, 2002). A ISO (International Standards Organization) foi criada em 1947 com o objetivo de facilitar a concepção e a consolidação de normas em nível mundial, envolvendo mais de 130 países membros.

A ISO 7730/2005 – ambientes térmicos moderados – determinação dos índices PMV e PPD e especificações das condições para conforto térmico, é baseada nos estudos de Fanger, descreve o método de cálculo do PMV e PPD utilizando parâmetros físicos do ambiente como a temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar, umidade do ar e parâmetros pessoais como atividade desempenhada e vestimenta. Ela especifica as condições de aceitabilidade térmica dos ambientes para conforto, prevendo que 85% dos ocupantes estejam satisfeitos, com o PMV entre -0,5 e +0,5 e também especifica três categorias de ambientes de conforto conforme a tabela a baixo (Tabela 4) (ISO 7730, 2005).

A ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) é uma norma americana e estabelece as condições ambientais térmicas necessárias para espaços internos, apresenta três modelos distintos para avaliação: o método gráfico, que é aplicável em espaços onde os ocupantes possuam uma taxa metabólica entre 1,0 e 1,3 met, isolamento da roupa entre 0,5 e 1,0 clo e a velocidade média do ar até 2,0m/s; o método analítico semelhante ao método gráfico, mas com o fornecimento dos índices de PMV e PPD; e o método para avaliação em ambientes ventilados naturalmente e controlados pelo usuário, que é aplicável em espaços onde não há condicionamento

mecânico ou aquecimento artificial e as aberturas sejam controláveis pelos usuários.

Tabela 4. Categorias de requisitos segundo PMV.

Categoria	Estado térmico do corpo como um todo			Desconforto local		
	PPD %	PMV	DR %	PD % Causado por:		
				Diferença vertical de temperatura	Piso frio ou quente	Radiação assimétrica
A	< 6	-0,2 < PMV < +0,2	< 10	< 3	< 10	< 5
B	< 10	-0,5 < PMV < +0,5	< 20	< 5	< 10	< 5
C	< 15	-0,7 < PMV < +0,7	< 30	< 10	< 15	< 10

Fonte: ISO 7730, 2005, tradução do autor.

2.5 Estudos de conforto térmico em Campo Grande

A Tabela 5 apresenta uma lista de estudos relacionados ao conforto térmico que foram realizados em Campo Grande, MS.

Tabela 5. Estudos de conforto térmico em Campo Grande, MS.

Ano	Referência	Ambiente de medição	Tipo de climatização	Estação	Abordagem
2010	Andreasi et al (2010)	Escritório	Ar-condicionado	Primavera	Monitoramento e questionário
2016	Lucchesi et al (2016)	Praça	Ventilação Natural	Inverno e Verão	Monitoramento e questionário
2017	Viegas e Andreasi (2016)	Praça de alimentação	Ar-condicionado	Primavera e Verão	Monitoramento e questionário
2018	De Freitas et al (2018)	Escola	Ventilação mecânica e ar-condicionado	Primavera e Verão	Monitoramento e questionário
2018	Estudo atual	Biblioteca	Ventilação natural e ar-condicionado	Primavera e Verão	Monitoramento e questionário

Fonte: Elaboração do autor.

Os estudos de Andreasi et al. (2010) envolveram dois tipos de edificações, uma naturalmente ventilada, em Coimbra, MS e uma com condicionamento artificial em Campo Grande, MS. A edificação estudada em Campo Grande é um edifício da caixa econômica federal, com atividades típicas de escritório. O estudo consistiu em uma análise comparativa entre os resultados de aceitabilidade obtidos com experimento de campo com os requerimentos especificados nas normas ISO/FDIS 7730 (2005), prEN 15 251 (2005), ANSI/ASHRAE Standard 55 (2004) e ATG. A análise com ventilação natural apresentou divergência entre as respostas dos usuários e o PPD calculado com base na ISO/FDIS 7730:2005, a aceitabilidade obtida com as respostas foi muito maior que a calculada com o PPD. Já com o Condicionamento artificial as respostas foram coerentes com o PPD.

Os estudos de Lucchesi et al. (2016) foram realizados em uma praça na região central de Campo Grande, MS. O estudo consistiu em comparar os votos de sensação térmica reais com os votos de sensação calculados através do PMV (*Predicted Mean Vote*), VST-Andreasi (Voto de Sensação Térmica), PET (*Physiological Equivalent Temperature*),

UTCI (*Universal Thermal Climate Index*), YDS e TEP (Temperatura Equivalente Percebida). Os resultados indicaram que os todos índices tiveram uma precisão abaixo de 50%, sendo o PET o índice com maior assertividade, após a calibração do PET, sua acurácia foi para 56% encontrando um intervalo de conforto térmico entre 21°C e 27°C PET.

Viegas e Andreasi (2017), realizaram um estudo em praças de alimentação, com condicionamento artificial, em Campo Grande, MS. O estudo buscou analisar a influência do gênero na percepção térmica em praças de alimentação. Os resultados apontaram que não há diferenças significativas de sensação térmica entre os gêneros e que, nos dois locais onde foi feito o levantamento, os ocupantes estavam desconfortáveis com a temperatura do local. A temperatura operativa neutra encontrada foi de 21,2 °C a 23,3 °C na primavera e 24,1 °C a 27,4 °C no verão.

De Freitas et al. (2018) investigou a influência do movimento do ar no conforto térmico de estudantes em uma escola em Campo Grande, MS. As salas de aula possuíam uma combinação de ventilação natural e mecânica. Os resultados mostram uma aceitabilidade da velocidade do vento maior que a apontada pela norma ISO 7730 (2005) e que a preferência por maiores velocidades do vento foi diretamente proporcional a sensação térmica.

2.6 Diretrizes para preservação dos acervos em bibliotecas

Além do conforto dos usuários, o ambiente de uma biblioteca precisa de um cuidado com a iluminação, poeira, temperatura e umidade para a preservação e conservação do acervo de livros e arquivos.

O calor pode acelerar a deterioração e a umidade elevada fornece o meio ideal para promover reações químicas que são danosas para os materiais, além da proliferação de insetos e mofo. A luz também é grande inimiga dos papeis, capas e encadernações. Ela pode causar amarelamento, escurecimento ou descoloramento do papel e tintas. (OGDEN, 2001). Tanto a luz natural como a luz artificial emitem raios que prejudicam os livros. Isso acontece quando a luz solar ou de lâmpadas incidem diretamente sobre os papéis e tintas podendo tanto clarear, quanto escurecer. A incidência de luz provoca danos irreversíveis e

acumulativos ao papel, tornando-os frágeis, quebradiços e amarelados. (SPINELLI JUNIOR, 1997, p.30)

A poeira e as demais partículas em suspensão que a compõem, além de afetarem a qualidade do ar para o ser humano, elas se depositam sobre o acervo e aderem ao papel gerando sujidade e alimentos para pragas. A atmosfera pode ser considerada um grande recipiente onde, permanentemente, são lançados sólidos, líquidos e gases capazes de comprometer a integridade dos acervos documentais. Dentre os poluentes mais agressivos às obras, destacam-se a poeira e os gases ácidos devido à queima de combustíveis. A deposição contínua da poeira sobre os documentos prejudica a estética das peças, favorece o desenvolvimento de microrganismos e acelera deterioração do material documental devido aos ácidos contidos. (SPINELLI JUNIOR, 1997, p.30).

Segundo Ogden (2001), é importante que o ambiente esteja em condições estáveis o ano todo para diminuir o processo de deterioração. Em um ambiente ideal de conservação, a temperatura nunca deve estar acima de 21°C e a umidade relativa deve ficar entre 30% e 50%, as flutuações dessas variáveis também são igualmente danosas, uma rápida diminuição da temperatura pode levar a condensação da água nos materiais, portanto a temperatura nunca deve variar mais que 2°C e a umidade relativa mais que 3%.

Já a ASHRAE Handbook of fundamentals (2007), recomenda uma temperatura do ar entre 15°C e 25°C e umidade relativa menor que 60% para bibliotecas.

3 METODOLOGIA

Este capítulo trata dos materiais e métodos utilizados para construir o processo de investigação e foi dividido em quatro seções começando pelo objeto de estudo, em seguida, a etiquetagem da edificação, a aplicação dos questionários e, por último, o levantamento das variáveis ambientais.

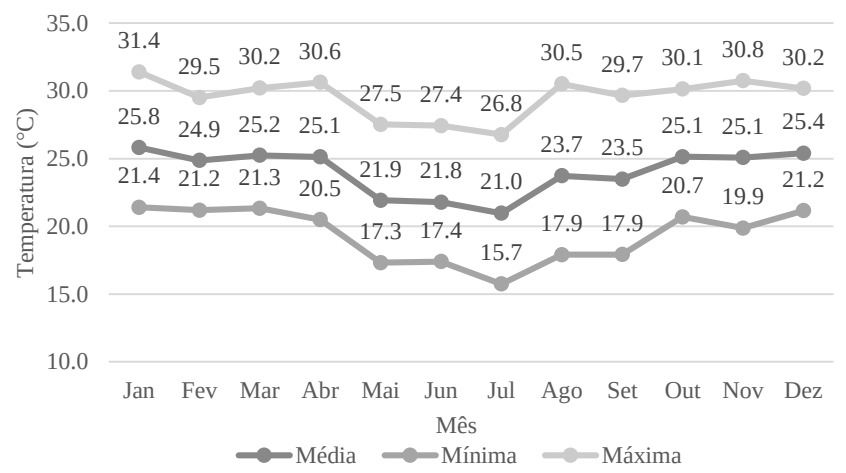
3.1 Ambiente de medição

Campo Grande (20°28'13" S, 54°37'25" W, 600m) é a capital do estado do Mato Grosso do Sul, localizada na zona de clima tropical com estação seca de inverno, segundo a classificação Koppen-Geiger (PEEL et al. 2007). Essa classificação indica que a cidade possui verões úmidos e invernos secos. O clima de Campo Grande é caracterizado como tropical com estação seca de inverno segundo Koppen-Geiger (PEEL et al. 2007) (Figura 4) e quente, úmido com 1 a 2 meses secos segundo o IBGE.

De acordo com o zoneamento bioclimático brasileiro, estabelecido pela NBR 15220 (2005), Campo Grande fica localizada na zona bioclimática 6, correspondente a 12,6% do território nacional. Sua cobertura vegetal predominante é o cerrado e a cidade se encontra entre as imediações de dois rios: o Paraná e o Paraguai (PLANURB, 2013).

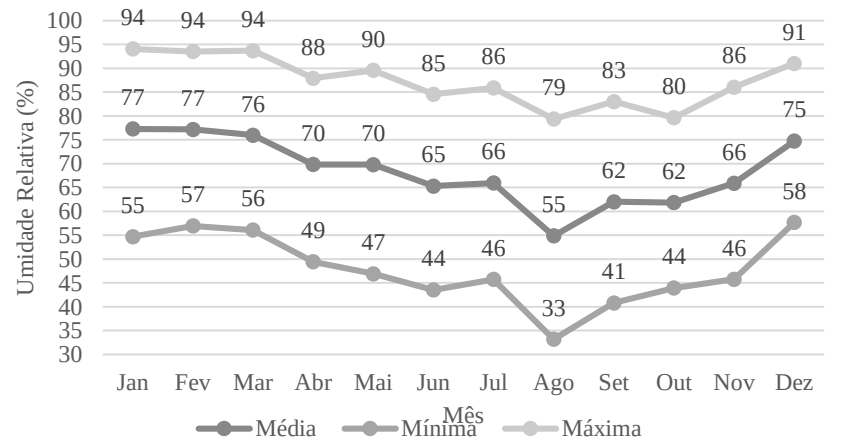
Analizando o arquivo de avaliação de recursos de energia solar e eólica (SWERA – Solar and Wind Energy Resource Assessment) para cidade de Campo Grande/MS, verifica-se que o maior valor de temperatura média mensal corresponde a 25°C, e ocorre durante os meses de novembro, dezembro e janeiro. O valor mais baixo de temperatura média mensal ocorre entre maio e julho e correspondendo a 21°C. O valor médio de umidade relativa mais alta é de 77% no mês de janeiro que também possui o valor máximo mais alto de 94%, o valor mínimo corresponde ao mês de agosto com 33% e a média anual é de 67% (Figura 2 e 3).

Figura 2. Temperatura anual de Campo Grande, MS, com máxima, mínima e média mensal.



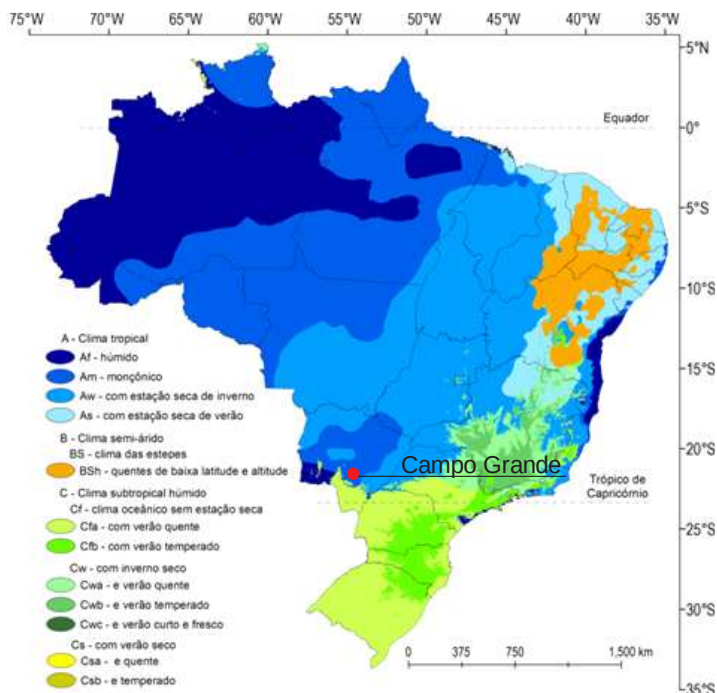
Fonte: SWERA, adaptado pelo autor.

Figura 3. Umidade relativa anual de Campo Grande, MS, com máxima mínima e média mensal.



Fonte: SWERA, adaptado pelo autor.

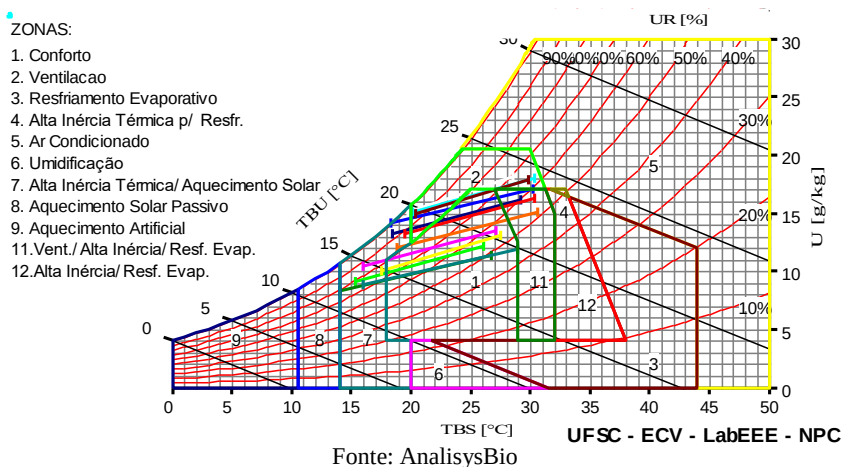
Figura 4. Distribuição atualizada dos climas na América do Sul segundo a classificação Koppen-Genger



Fonte: ALVARES et al. 2013, adaptado pelo autor.

A Figura 5 apresenta os dados climáticos de Campo Grande a partir do SWERA plotados sob a carta bioclimática de Givoni, obtida utilizando-se o software AnalisisBio versão 2.2, desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações Universidade Federal de Santa Catarina (LabEEE, 2016).

Figura 5. Carta Bioclimática da cidade de Campo Grande MS.



Avaliando os dados encontrados no relatório gerado pelo Software AnalysisBio, verifica-se que durante o período de um ano, a cidade está 45,23% do tempo em condições de conforto, 33,25% em desconforto por calor e 21,43% em desconforto por frio. Os meses que apresentam as maiores temperaturas são de outubro a março. A Tabela 6 apresenta detalhadamente os desconfortos durante o mês e as estratégias indicadas na carta.

Tabela 6. Estratégias e porcentagem de conforto de acordo com o mês na cidade de Campo Grande, MS.

Mês	Horas de Conforto (%)	Estratégia
Janeiro	7,12	Ventilação 89,50%, Aquecimento Solar Passivo/Alta Inércia Térmica 3,38%.
Fevereiro	25,4	Ventilação 74,60 %.
Março	33,14	Ventilação 31,38%, Aquecimento Solar Passivo/Alta Inércia Térmica 14,29%, Ventilação/Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo 21,20%.
Abril	51,36	Ventilação 18,78%, Aquecimento Solar Passivo/Alta Inércia Térmica 14,82%, Ventilação/Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo 15,05%.
Mai	81,95	Aquecimento Solar Passivo/Alta Inércia Térmica 18,05%.
Junho	75,01	Aquecimento Solar Passivo/Alta Inércia Térmica 25,00%.
Julho	68,51	Aquecimento Solar Passivo/Alta Inércia Térmica 31,50%
Agosto	84,62	Aquecimento Solar Passivo/Alta Inércia Térmica 15,39%.
Setembro	95,00	Aquecimento Solar Passivo/Alta Inércia Térmica 5,01%.
Outubro	71,80	Aquecimento Solar Passivo/Alta Inércia Térmica 7,21%, Ventilação/Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo 21,00%
Novembro	55,27	Ventilação 15,09%, Aquecimento Solar Passivo/Alta Inércia Térmica 4,59%, Ventilação/Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo 25,04%
Dezembro	31,84	Ventilação 67,51%, Ventilação/Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo 0,66%.

Fonte: AnalsysBio, adaptado pelo autor.

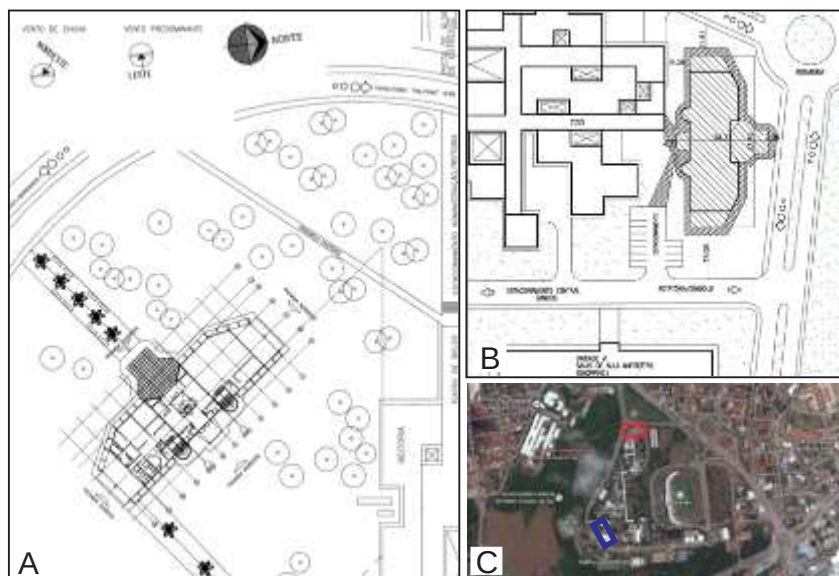
Analisando os dados obtidos através do software, verifica-se que durante os meses mais quentes a estratégia mais adequada para obtenção de conforto térmico é a ventilação, correspondendo a 57,3% das horas, enquanto que a utilização de ar condicionado não é indicada em nenhum momento, mesmo o calor sendo o desconforto predominante.

3.1.1 Objeto da pesquisa – Biblioteca Central da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul

O edifício que abriga atualmente a Biblioteca Central da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul fica localizado dentro da cidade universitária no município de Campo Grande. O prédio foi inaugurado em maio de 2008, projeto do arquiteto Carlos M. L. China.

Inicialmente o prédio foi concebido para ser construído numa área central do campus da universidade, as aberturas, proteções solares, materiais e acessos foram projetadas de acordo com essa localização e orientação. Posteriormente, por decisão da administração da UFMS a localização do edifício foi alterada, mudando inclusive as orientações das fachadas e prejudicando o desempenho das proteções solares (Figura 6).

Figura 6. Mudança na localização da biblioteca em Campo Grande, MS. A: Localização atual. B: Localização original. C: Em vermelho a localização atual, em azul a localização original.



Fonte: **A e B:** CPO UFMS, **C:** Google Maps Brasil, 2015 com edição do autor.

A biblioteca possui uma área de $3.626,63\text{m}^2$ dividida em 3 pavimentos, é aberta ao público de segunda a sexta-feira das 7h30min até as 22h e sábado das 7h30min até 12h, atualmente são 30 funcionários no quadro. Diariamente, a biblioteca recebe uma média de 900 alunos, esse número varia de acordo com o calendário letivo, sendo mais movimentada durante os finais de semestre (Figura 7).

Figura 7. Foto da frente biblioteca.



Fonte: arquivo pessoal.

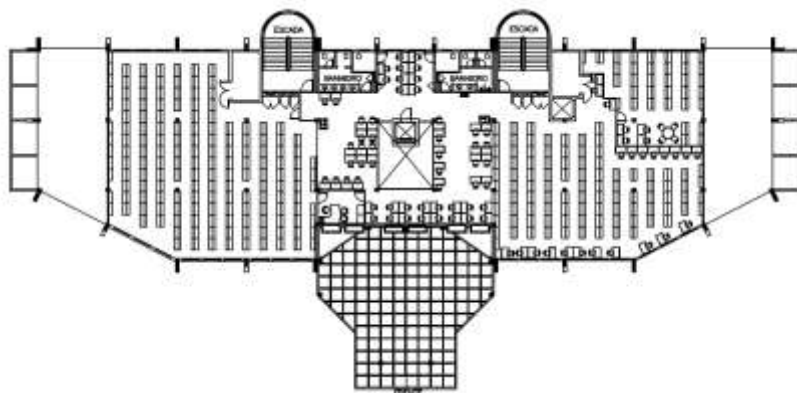
Cada pavimento possui uma altura (pé-direito) de 3,25m. O prédio é de alvenaria cerâmica com janelas de 2m de largura por 1m de altura, todas as aberturas são sombreadas por uma generosa marquise de 1,5m. O edifício possui um sistema de condicionamento artificial central que é ligado conforme a necessidade de refrigeração, geralmente, quando a temperatura interna está acima dos 23° .

O layout dos três pavimentos é bastante homogêneo, possuindo janelas em todas as fachadas igualmente distribuídas nos pavimentos e os dutos de ar também igualmente espalhados.

Pela impossibilidade de se realizar o estudo em todos os pavimentos, uma vez que o funcionamento da biblioteca se manteve normalmente durante os experimentos, a pesquisa concentrou-se no último pavimento (2º andar) por ser o pavimento com maior concentração

de carga térmica e maior número de acomodações para os usuários (Figura 8).

Figura 8 . Planta do segundo pavimento da biblioteca.



Fonte: CPO UFMS, adaptado pelo autor

3.1.2 Etiquetagem da edificação

No ano de 2008, o engenheiro civil Juscelino José de Souza Filho, como trabalho de conclusão de curso, fez uma simulação de etiquetagem para avaliar o nível de desempenho energético da biblioteca seguindo os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), essa simulação foi parcialmente aproveitada para uma nova classificação da envoltória do edifício. A nova classificação foi necessária devido a algumas alterações no regulamento mais atual, de 2013.

A biblioteca possui muitas aberturas, todas com beirais que impedem a incidência solar direta, os revestimentos tanto das paredes quanto do telhado possuem baixa absorvância (menor que 0,2) e a transmitância também é baixa (menor que $3,7 \text{ w/m}^2\text{K}$). Todas essas estratégias atendem o pré-requisito para nível A de eficiência classificando assim a envoltória como eficiente energeticamente para edifícios condicionados.

Os cálculos e metodologia de avaliação da eficiência da envoltória do RTQ-C estão no Apêndice A.

3.2 Levantamento das variáveis ambientais

O monitoramento das variáveis ambientais ajuda na compreensão do ambiente térmico que o indivíduo está inserido. As quatro variáveis medidas são necessárias para o cálculo de índices de conforto térmico e também para a determinação das condições de conforto em cada etapa. São elas:

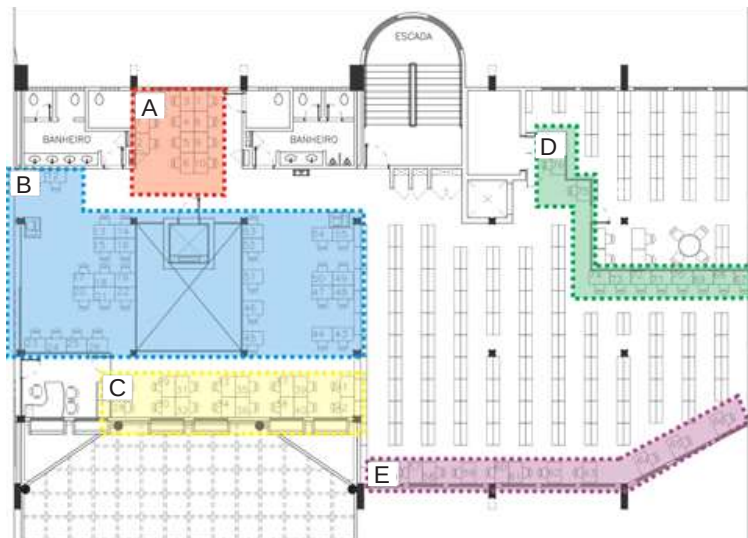
- Temperatura do ar (em °C);
- Umidade relativa do ar (em %);
- Temperatura radiante média (em °C);
- Velocidade do ar (em m/s).

Buscou-se as médias das variáveis monitoradas em estação meteorológica que fica localizada no aeroporto de Campo Grande. Os dados foram obtidos no site rpu5.ru, que disponibiliza arquivos de dados climáticos.

O levantamento das variáveis ambientais in loco foi realizado simultaneamente à aplicação dos questionários e o método utilizado para a caracterização das variáveis ambientais foi o especificado na ISO 7726 (1998).

Com o intuito de facilitar os cálculos de algumas variáveis, como a temperatura radiante média e a temperatura operativa, as mesas da biblioteca foram divididas em 5 grupos de acordo com a proximidade das aberturas e incidência da radiação solar (Figura 9 e Tabela 7).

Figura 9. Mapa da divisão da biblioteca utilizado para os cálculos das temperaturas operativas e temperatura radiante média



Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 7. Divisão e descrição das zonas da biblioteca

Zona	Características	n° de mesas
A	Proximidade com as janelas sul	7
B	Proximidade com a cobertura de policarbonato	27
C	Proximidade com as janelas norte	13
D	Sem proximidade com aberturas ou radiação solar direta	9
E	Proximidade com as janelas norte	9

Fonte: elaboração do autor.

A Tabela 8 descreve os equipamentos e os parâmetros monitorados e a Figura 13 a planta com a localização dos equipamentos.

Tabela 8. Parâmetros monitorados e configurações de cada sensor

Sensor	Parâmetro monitorado	Faixa de Medição	Precisão	Tempo de resposta
Hobo RH/Temp. Modelo: H08-003-02	Umidade relativa (%)	0% até 95%	+/- 3%	20min
Hobo RH/Temp. Modelo: H08-003-02	Temperatura do ar (°C)	-20°C até 70°C	+/- 2%	20 min
Termômetro de Globo	Temperatura Radiante Média (°C)	-50°C até 100°C	0,1%	20 min
Anemômetro de fio Quente	Velocidade do ar (m/s)	0 até 20 m/s	+/- 1%	9s

Fonte: elaboração do autor.

Para medição da temperatura e da umidade relativa foi utilizado sensores HOBO RH/Temp. modelo H08-003-02 (Figura 10) com um intervalo de medição de 5 em 5 minutos, os sensores foram instalados próximos às mesas de estudo, espalhados nos 5 diferentes grupos do 2º pavimento e 2 sensores extras foram instalados na parte externa;

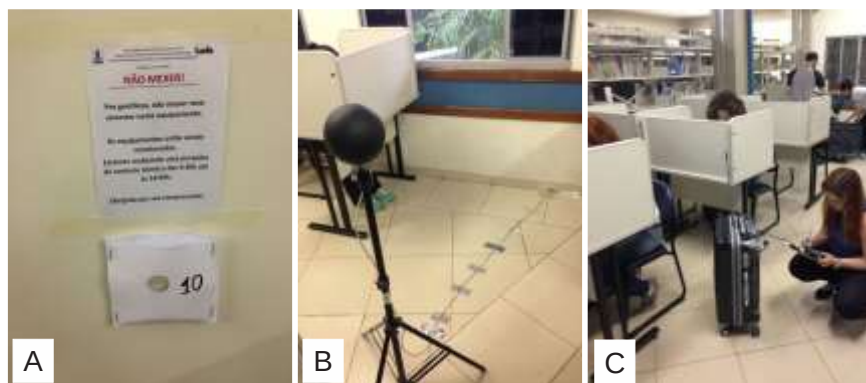
Figura 10. Data Logger.



Fonte: <<http://envcoglobal.com/files/product/image/mo-h08-003-02-10.jpg>> acesso em 10/12/2016.

Foram utilizados 2 termômetros de globo, instalados na parte central da biblioteca e a 2m de distância das aberturas, o termômetro de globo 1 atendeu as zonas A, C e E por conta da proximidade das aberturas e o segundo termômetro de globo atendeu as zonas B e D que estão numa parte mais central e longe das aberturas, o intervalo de medição também foi de 5 em 5 minutos (Figura 11).

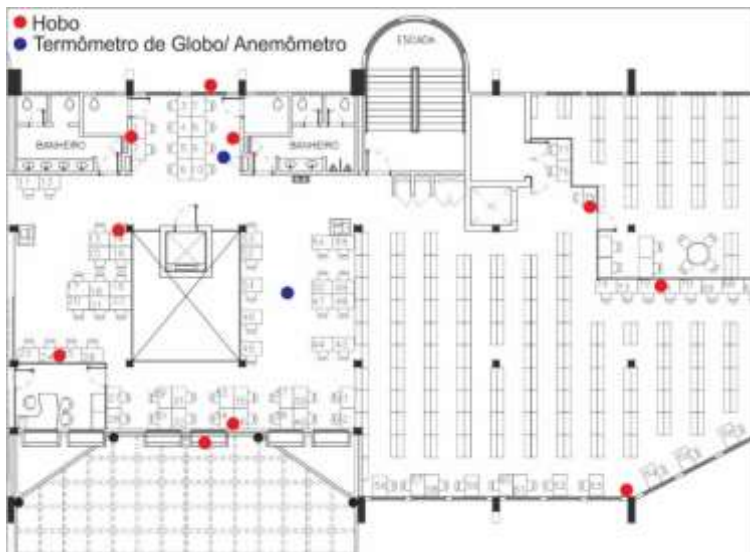
Figura 11. A: Data Logger Hobo. B: Termômetro de Globo. C: Anemômetro de fio quente.



Fonte: arquivo pessoal.

Na primeira avaliação, a velocidade foi medida de mesa em mesa ao mesmo tempo em que se preenchiam os questionários, os voluntários eram solicitados a marcar suas respostas simultaneamente à medição com o anemômetro de fio quente. Na segunda avaliação a velocidade do ar foi medida em dois pontos com o anemômetro de fio quente, o anemômetro 1 registrou a velocidade do ar próximo as aberturas atendendo as zonas A, C e E e o anemômetro 2 as zonas B e D mais distantes das aberturas (Figura 12).

Figura 12. Localização dos equipamentos.



Fonte: Elaboração do autor.

Todos os equipamentos foram cedidos gentilmente pelo Laboratório de Análise e Desenvolvimento de Edificações da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul.

3.3 Levantamento das variáveis humanas

Dois tipos de questionários foram aplicados na biblioteca como forma de pesquisa, primeiro avaliou o conforto ponto a ponto nas mesas de estudo com a utilização de voluntários e o segundo o conforto dos usuários locais que aceitaram participar da pesquisa. Todos os questionários foram desenvolvidos com base na ISO 10551/1995, ASHRAE Fundamentals cap. 8 – 2005, ISO 8996/2004, ISO 9920/2007 e ISO 7730/2005.

O tamanho da amostra foi definido utilizando-se a equação de Barbetta (2006) (Equação 1). Considerou-se um erro amostral de 5% e, para o número da população, considerou-se o número de estudantes do campus, de 13420 alunos segundo informação da pró-reitoria da

universidade. Dessa forma, o tamanho mínimo para amostra é de 374 questionários válidos.

$$n = \frac{N \cdot \frac{1}{E^2}}{N + \frac{1}{E^2}}$$

(Equação 1)

Onde:

n é o tamanho da amostra;

N é o tamanho da população;

E é o erro amostral.

Todos os questionários de conforto foram respondidos no segundo andar da biblioteca. Os questionários foram aplicados entre dezembro de 2016 e março de 2017, conforme a Tabela 9.

Tabela 9. Aplicação dos questionários.

Data	Estratégia	Pavimento	Público	Horário
19/12/2016	Ventilação Natural	2	Voluntários	9:50h as 12:05h
11/03/2017	Ventilação Natural	2	Usuários	10h as 12h
14/03/2017	Ar Condicionado	2	Usuários	10h as 12h
17/03/2017	Ar Condicionado	2	Usuários	10h as 12h

Fonte: elaboração do autor

3.3.1 Primeira Avaliação

Avaliou-se, ponto a ponto, a sensação e a percepção térmica das mesas de estudo dentro da biblioteca, em diferentes etapas onde as janelas eram abertas e fechadas. Foram utilizados 66 voluntários que responderam ao questionário de conforto térmico (Apêndice B), em 4 etapas distintas: com todas as janelas fechadas, com todas as janelas abertas, com apenas as janelas da fachada norte abertas e com apenas as

janelas da fachada sul abertas. O objetivo foi identificar o potencial do uso da ventilação natural no conforto térmico da biblioteca. A Tabela 10, apresenta o cronograma para realização do experimento.

Tabela 10. Descrição e horário de início das etapas.

	Horário	Descrição
01		Acomodação dos voluntários, início do tempo de adaptação
	09:50h	(30min)
	10:20h	Início da primeira etapa do questionário
02	10:25h	Abertura das janelas, início da adaptação térmica (30min)
	10:55h	Início da segunda etapa do questionário
03	11:00h	Abertura das janelas sul
	11:30h	Início da terceira etapa do questionário
04		Abertura das janelas norte, início da adaptação térmica
	11:35h	(30min)
	12:05h	Início da quarta etapa do questionário

Fonte: Elaboração do autor

Os voluntários foram alunos de graduação do segundo semestre que concordaram em participar da pesquisa, a eles foi feita uma breve explicação sobre como deveriam preencher os questionários e orientado que: usassem o mesmo tipo de roupa com o intuito de ter o mesmo índice de isolamento térmico (calça jeans, camiseta manga curta, tênis, meias e roupas íntimas (Tabela 11) e permanecessem sentados nas cadeiras para não alterar o nível de suas atividades metabólicas. Os valores das taxas metabólicas e o índice de isolamento térmico foram calculados com base na ISO 7730 (2005).

Tabela 11. Valores em clo do isolamento térmico das roupas segundo a ISO 7730 (2005).

Peça	(clo)
Roupas íntimas	0,03
Meias	0,02
Calça Jeans	0,20
Camiseta	0,15
Sapato	0,02
Cadeira	0,10
Total	0,47

Fonte: ISO 7730(2005), traduzido e adaptado pelo autor

Conforme a norma ISO 7730(2005), para cada etapa da pesquisa os voluntários permaneceram por 30min em período de adaptação térmica antes de iniciar o questionário.

No questionário, o voluntário, inicialmente, informava os seguintes dados fisiológicos: peso, idade, altura e sexo e depois de 30 minutos começava a responder as questões relacionadas com a sensação de conforto e preferência térmica e a sensação e a preferência do vento: “Termicamente, como você está se sentindo neste instante?”, “Termicamente, como você gostaria de estar se sentindo nesse instante?”, “Em relação a velocidade do ar, como você está se sentindo neste instante?” e “Como você gostaria que estivesse a velocidade do ar neste instante?”.

Com a altura e peso dos participantes foi feito o cálculo do índice de massa corporal (IMC), com a finalidade de uma avaliação geral da saúde dos participantes e posteriormente estabelecer uma relação com as respostas térmicas. O índice é dado pela equação: $\text{peso}/\text{altura}^2$, e sua escala varia conforme o gênero: “abaixo do peso” (masculino até 20,7 e feminino até 19,1), “peso normal” (Masculino de 20,8 até 26,4 e feminino 19,2 até 25,8), “acima do peso” (masculino 26,4 até 31,1 e feminino 25,9 até 32,3) e “obeso” (masculino acima de 31,1 e feminino acima de 32,3).

Os votos de sensação térmica foram marcados dentro de uma escala de sensações térmicas de 7 pontos (Tabela 12) conforme a ISO 7730 (2005).

Tabela 12. Escala de Sensação Térmica de 7 pontos.

Calor	+3	Muito quente
	+2	Quente
	+1	Levemente quente
Neutro	0	Neutro
Frio	-1	Levemente frio
	-2	Frio
	-3	Muito Frio

Fonte: ISO 10551 (1995). Traduzida pelo autor.

Para os votos de preferência térmica, eram dadas 3 opções: mais aquecido, sem alteração e mais resfriado. Os votos de sensação do vento foram divididos entre confortáveis e desconfortáveis, de acordo com a velocidade, (Tabela 13) e a preferência tinha 3 opções: com mais velocidade do ar, sem alteração e com menos velocidade do ar.

Tabela 13. Opções para o voto de Sensação do Vento

Confortável	Com muita velocidade do ar
	Velocidade do ar aceitável
	Com pouca velocidade do ar
Desconfortável	Com muita velocidade do ar
	Com pouca velocidade do ar

Fonte: elaboração do autor.

Os voluntários não foram informados sobre a abertura ou fechamento das janelas em cada etapa e apenas números as identificavam.

O questionário completo está disponível no Apêndice B.

3.3.2 Segunda avaliação

O segundo questionário avaliou o conforto sem qualquer interferência nas variáveis climáticas do local ou nos usuários. O questionário foi aplicado apenas com a ventilação natural e depois com condicionamento artificial, a abertura e fechamento das janelas eram

livres. Este limitou-se às pessoas que estavam há mais de 30 min dentro do edifício e também seguiu as normas ISO 10551/1995, ASHRAE Fundamentals cap. 8 – 2005, ISO 8996/2004 e ISO 9920/2007.

A primeira informação coletada no questionário foi o tempo de permanência do entrevistado: Você está na biblioteca há mais de 30 minutos? Caso a resposta fosse negativa, o questionário era descartado. A segunda questão, assim como na primeira avaliação, pautou-se em informações relacionadas com as características fisiológicas do entrevistado: peso, idade, altura e sexo. Na terceira questão, o entrevistado marcava as roupas conforme estava utilizando no momento e na quarta a atividade metabólica.

A quinta questão era relacionada com o motivo pelo qual o entrevistado escolheu estar naquele local. A sexta e a sétima questões eram relacionadas com a sensação e com a preferência térmica, as respostas também foram marcadas em uma escala de sensações térmicas de 7 pontos (Tabela 3) conforme a ISO 10551 (1995). Por último, o entrevistado avaliava o conforto térmico da biblioteca, de forma geral. O objetivo foi identificar o nível de conforto térmico com a ventilação natural e a utilização do condicionamento artificial. O questionário completo está disponível no Apêndice C.

3.4 Análise dos dados

Após a realização do experimento de campo, os dados ambientais e as respostas dos questionários foram organizados e reunidos em planilhas no programa Microsoft Office Excel, sendo descartados os questionários que apresentaram ilegibilidade ou questões não preenchidas.

Para análise dos dados inicialmente foram aplicados os seguintes tratamentos e cálculos:

a) Determinação da temperatura externa, através da média da temperatura de bulbo seco dos 7 dias que antecederam cada medição, conforme a ASHRAE Standard 55 (2013), utilizando os dados da estação meteorológica;

b) Cálculo da temperatura radiante média a partir da temperatura de globo, segundo a norma ISO 7726 (1998):

Para convecção natural e globo negro padrão:

$$tr = (tg + 273)^4 + 0,4 \times 10^8 (tg - ta)^{\frac{1}{4}} \cdot (tg - ta)^{\frac{1}{4}} - 273$$

(Equação 2)

Onde:

tr = Temperatura radiante média (°C);

tg = Temperatura de globo (°C);

ta = Temperatura do ar (°C);

va = Velocidade do ar (m/s).

c) Determinação da temperatura operativa aceitável para ambientes naturalmente ventilados, conforme ASHRAE Standard 55 (2013), por meio do método do caso 2 por estar limitado a ocupantes com taxa metabólica entre 1,0 e 1,3, sem radiação solar direta: com velocidade do ar inferior a 0,2 m/s e com diferença entre temperatura radiante média e temperatura do ar inferior a 4°C. Este método corresponde à média simples entre a temperatura radiante média e temperatura do ar, conforme a equação a seguir:

$$to = A \times ta + (1 - A) \times tr \text{ (Equação 3)}$$

Onde:

to = Temperatura Operativa (°C);

tr = Temperatura radiante média (°C);

ta = Temperatura média do ar (°C);

A : Constante em função da velocidade do ar.

Adotar: $A = 0,5$ para $va < 0,2$ m/s;

$A = 0,6$ para va entre 0,2 e 0,6 m/s;

$A = 0,7$ para va acima de 0,6 m/s.

d) Cálculo do PMV e PPD através dos dados ambientais (temperatura, umidade relativa, temperatura de globo e velocidade do ar) coletados a cada 5 minutos e os dados subjetivos. Com o auxílio da

ferramenta CBE Thermal Comfort Tool, desenvolvido por Hoyt et al. (2017);

e) Cálculo da resistência e capacidade térmica segunda as equações abaixo:

$$RT = R_{se} + R_{parede} + R_{si} \text{ (Equação 4)}$$

Onde:

RT = Resistência térmica total

R_{se} = Resistência térmica superficial externa

R_{parede} = Resistência térmica da parede

R_{si} = Resistência térmica interna

Sendo que:

$$R = \frac{L}{\lambda} \text{ [m}^2\text{K/W]} \text{ (Equação 5)}$$

Onde:

L = espessura do material (m)

λ = condutividade térmica do material (W/m k)

Capacidade Térmica:

$$C_{ta} = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot p_i \text{ (Equação 6)}$$

Onde:

e = espessura do elemento (no sentido transversal ao fluxo de calor) [m];

c = calor específico do elemento [kJ/kg K];

p = densidade do elemento [kg/m³];

n = número de camadas de elementos.

Foi feita uma síntese das medições realizadas, período, mês e quantidade de votos, assim como as variáveis ambientais e antropométricas observadas. Os dados foram organizados em gráficos e tabelas que representaram a frequência, os valores máximos, médios e mínimos para cada variável.

As respostas obtidas de sensação, aceitabilidade e preferência térmica foram cruzadas com as variáveis ambientais correspondentes através de tabelas dinâmicas no software Microsoft Excel. Uma análise separada foi feita com relação à aceitabilidade e preferência pela velocidade do ar cruzando as respostas correspondentes com os valores encontrados durante as medições.

Os resultados destas análises são apresentados em gráficos de frequência, gráficos comparativos e tabelas.

A última parte da análise e discussão dos dados, compreendeu as respostas relativas à motivação da escolha do lugar e a análise geral em relação ao conforto da biblioteca.

3.5 Tratamento dos dados

Com o objetivo de efetivar as análises de representatividade da amostra e dos dados obtidos e também de realizar comparações entre variáveis quantitativas e qualitativas, foram realizados os tratamentos estatísticos descritos neste capítulo.

Primeiramente foi realizada uma análise de normalidade em todos os dados ambientais e subjetivos, onde foi verificada que a distribuição de frequência de erros amostrais é considerada normal. Já os dados de velocidade do ar não foram analisados por se tratar de dados com comportamento anárquico.

Após esse tratamento estatístico, calculou-se a partir do software da ASHRAE – CBE Thermal Comfort Tool, (TYLER, 2017) o índice SET (Standard Effective Temperature), utilizado nas análises de conforto e aceitabilidade térmica e da velocidade do ar. A temperatura operativa neutra, proposto pela ASHRAE 55-2204.

As respostas de percepção térmica dos questionários (dados qualitativos) foram correlacionadas com as condições ambientais registradas (dados quantitativos), através de análises estatísticas multivariadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos 4 dias de levantamento foram coletados um total de 547 questionários válidos. Dos questionários 314 foram com ventilação natural e 233 com condicionamento artificial, como mostra a Tabela 14.

Tabela 14. Número de questionários coletados.

Data		Quantidade	
19/12/16	Voluntários	264	Ventilação Natural
11/03/17	Usuários	50	Ventilação Natural
14/03/17	Usuários	125	Condicionamento artificial
17/03/17	Usuários	108	Condicionamento artificial
Total		547	

Fonte: elaboração do autor.

Foi aplicado o teste Shapiro de normalidade em todas os dados ambientais e todos os dados subjetivos. Constatou-se que os mesmos estão dentro do padrão de normalidade, com exceção da velocidade do ar, que possui um comportamento anárquico.

4.1 Variáveis pessoais

Em relação ao sexo, dos 544 questionários, 372 respondentes eram do sexo feminino (68%) e 172 respondentes do sexo masculino (32%).

O questionário com voluntários foi feito com estudantes de graduação do 2º semestre e por esse motivo a faixa etária se concentrou entre 17 e 25 anos (92%). Já a faixa etária dos usuários teve uma distribuição um pouco maior, mas com a maior parte ainda entre 17 e 25 anos (69%). Não houve nenhum respondente com idade inferior a 17 anos. O índice de isolamento das roupas e a atividade metabólica foram idênticas para todos os voluntários, pois, como já foi apresentado, foi solicitado que permanecessem sentados e previamente definido as peças de roupas que deveriam usar: calça jeans, meias, sapato fechado, camiseta e roupas íntimas. Para os usuários a taxa metabólica se concentrou em

1,2met e o isolamento médio das roupas foi de 0,50clo, um pouco maior que os voluntários. A Tabela 15 apresenta esses dados.

Tabela 15. Faixa etária, atividade metabólica e índice de isolamento térmico das roupas.

	Idade	Ventilação Natural	Ar- condicionado	Total
Faixa Etária	17 a 25	60	197	157
	26 a 35	4	77	81
	36 a 45	1	5	6
	Acima de 45	0	4	4
Atividade metabólica		1,2met	1,2met	
Isolamento Térmico (clo)			Mín. 0,36	
		0,47	Média 0,50	
			Máx. 1,12	

Fonte: Elaboração do autor.

A Tabela 16 apresenta a frequência do IMC dos respondentes, a maior parte possuía o IMC normal, caracterizando a população como saudável.

Tabela 16. Frequência do índice de massa corporal dos respondentes.

IMC	
Abaixo	97
Normal	333
Acima	72
Obeso	30

Fonte: Elaboração do autor.

Uma análise de correlação feita entre os dados não apontou forte relação entre as respostas de sensação térmica com o IMC dos respondentes.

4.2 Variáveis ambientais

A Tabela 17 apresenta a média das variáveis ambientais monitoradas em campo e a Tabela 18 a média das variáveis monitoradas

em estação meteorológica. Também foram incluídos valores sazonais da primavera e do verão.

As médias das variáveis ambientais apresentaram valores bem próximos dos valores sazonais típicos para região de Campo Grande, 26,8°C na estação e 25,9°C in loco na primavera e 27,3°C na estação e 27,9°C, 24,1°C e 23,6°C in loco no verão.

Já os valores medidos pela estação nos dias de coletas foram ligeiramente diferentes dos medidos in loco, apresentando uma temperatura um pouco abaixo na primavera e mais alta no verão. Esse fato se deve a interferência do microclima local: dentro da universidade há uma reserva ambiental com corpo d'água (Reserva Particular de Patrimônio Ambiental - Cerradinho), além disso, a estação meteorológica se situa a uma altura de 10m em área aberta.

Tabela 17. Variáveis ambientais obtidas de estação meteorológica (8:00h, 11:00h e 14:00h).

Estação	Temp. do ar (°C)			Temp. radiante média (°C)		
	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.	Média
Primavera	24,3	28,7	26,87	Não disponível		
09/12/2016	20,6	25,1	22,5			
Verão	25,2	28,7	27,33			
11/03/2017	26,5	31,7	29,73			
14/03/2017	22,8	29,2	25,7			
17/03/2017	22,1	26,2	23,93			
Estação	Umidade relativa (%)			Velocidade do vento (m/s) a 10m		
	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.	Média
Primavera	52	64	57	4,3	8,1	5,8
09/12/2016	78	95	88	5	7	6
Verão	66,7	74	62	3,9	4,3	4,1
11/03/2017	50	68	56	4	5	4,3
14/03/2017	62	88	74	2	4	3,3
17/03/2017	70	90	81	3	4	3,67

Fonte: rp5.ru, adaptado pelo autor.

Tabela 18. Variáveis ambientais medidas in loco (parte externa das 9:50h até as 12:05h).

Data	Temp. do ar (°C)			Temp. radiante média (°C)		
	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.	Média
09/12/2016	22,48	26,34	25,93	Medido apenas internamente		
11/03/2017	26,73	29,1	27,96			
14/03/2017	20,19	26,34	24,15			
17/03/2017	19,42	25,56	23,62			
Data	Umidade relativa (%)			Velocidade do vento (m/s) a 10m		
	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.	Média
09/12/2016	63,2	96,2	69,56	Medido apenas internamente		
11/03/2017	49,5	62,5	56,82			
14/03/2017	47,8	76,8	59,87			
17/03/2017	48,4	73,5	63,04			

Fonte: elaboração do autor.

A Tabela 19 apresenta um resumo estatístico das variáveis ambientais internas medidas, tanto com o uso do ar-condicionado, como da ventilação natural nas 4 etapas. Os dados incluem a temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar, umidade relativa, temperatura operativa, PMV e PPD.

Tabela 19. Resumo estatístico das medições internas

		Ar- condicionado	Ventilação Natural			
			Etapa 01	Etapa 02	Etapa 03	Etapa 04
Temperatura média do ar (°C)	Média	23,9	25,2	24,4	24,36	24,32
	Máxima	26,3	26,3	25,9	26,34	26,34
	Mínima	19,8	24,0	22,4	22,09	22,09
	Desvio padrão	1,9	0,8	0,9	1,17	1,24
Temperatura radiante média (°C)	Média	24,2	25,9	25,2	25,33	25,28
	Máxima	28,6	30,4	26,3	25,95	26,34
	Mínima	19,8	25,1	24,4	24,40	24,40
	Desvio padrão	1,7	0,8	0,4	0,39	0,57
Temperatura operativa média (°C)	Média	24,	25,8	25,2	25,33	25,24
	Máxima	26,3	26,7	26,3	25,95	26,34
	Mínima	19,8	25,1	24,4	24,40	24,40
	Desvio padrão	1,9	0,4	0,4	0,39	0,57
Umidade relativa média (%)	Média	60,6	74,6	76,1	73,96	76,68
	Máxima	72,5	81,9	85,5	89,90	96,20
	Mínima	49,7	65,7	66,8	63,20	63,20
	Desvio padrão	5,0	4,2	4,6	7,35	8,41
Velocidade do ar média (m/s)	Média	0,05	0,00	0,05	0,00	0,01
	Máxima	0,69	0,00	1,60	0,00	0,20
	Mínima	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Desvio padrão	0,08	0,00	0,27	0,00	0,04
PMV	Média	0,3	0,6	0,3	0,45	0,36
	Máxima	1,3	0,7	0,4	0,52	0,59
	Mínima	-1,1	0,4	-0,8	0,39	-0,49
	Desvio padrão	0,4	0,0	0,2	0,06	0,21
PPD (%)	Média	2,1	13,9	8,7	9,38	8,66
	Máxima	43	17,3	19,9	10,66	12,46
	Mínima	5	10	5,4	8,21	5,30
	Desvio padrão	8,6	1,9	1,9	1,08	1,72

Fonte: Elaboração do autor.

A temperatura média do ar da biblioteca com o sistema de ar-condicionado ligado e com ventilação natural nas 4 etapas foi respectivamente: 23,95°C, 25,2°C, 24,45 °C, 24,36°C e 24,32°C. A

temperatura mínima e a máxima com ar-condicionado foi 19,81°C e 26,34°C respectivamente, a mínima e a máxima com ventilação natural em cada etapa foi: 24,01°C, 26,34°C (etapa 01), 22,48°C, 25,95°C (etapa 02), 22,09°C, 26,34°C (etapa 03) e 22,09°C, 26,34°C (etapa 04).

A menor temperatura radiante média foi 19,81°C com o sistema de ar-condicionado e a mais alta foi 30,44°C com a ventilação natural na etapa 01, quando todas as janelas estavam fechadas. Em nenhum dos casos a umidade relativa atendeu o limite de <60% recomendado pela ASHRAE, com o sistema de ar-condicionado esse limite foi atingindo em alguns momentos, mas não foi suficiente para controlar a flutuação e garantir uma desumidificação apropriada. Segundo Yau et al (2013), ambientes com temperaturas acima 20°C e umidade relativa maior que 65% são perfeitos para o desenvolvimento do ciclo de vida de insetos e fungos

Em nenhum dos casos a temperatura e a umidade relativa estavam satisfatórias para conservação do acervo, evidenciando que o sistema de ar-condicionado da biblioteca não está funcionando propriamente ou não é suficiente para o espaço em questão.

A velocidade média do ar com ar-condicionado foi 0,05m/s e com ventilação natural nas 4 etapas foi 0,00m/s, 0,05m/s, 0,00m/s e 0,01m/s. As médias da velocidade do ar estão dentro do limite estabelecido pela ASHRAE de 0,10 a 0,25m/s, mas por conta de comportamento anárquico da ventilação natural em alguns momentos a velocidade ultrapassou o limite chegando a 1,6m/s.

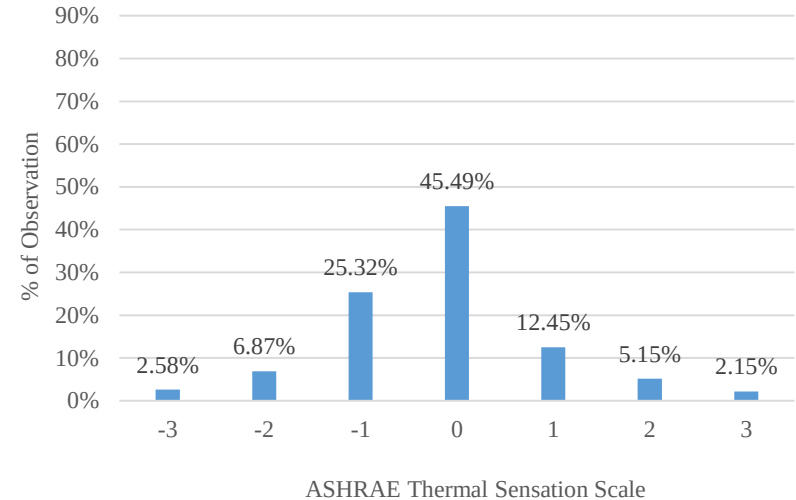
Comparando as velocidades do ar entre as etapas da ventilação natural, as que estavam com as janelas norte abertas (etapa 02 e etapa 04) foram as que tiveram maior velocidade do ar e também as que tiveram menor temperatura do ar, indicando que a abertura das janelas norte tem maior impacto no fluxo de ar da biblioteca.

4.3 Sensação térmica

As Figuras 13 e 14 apresentam a comparação da distribuição de frequência dos votos de sensação térmica, entre as quatro etapas da ventilação natural e com o sistema de ar-condicionado, respectivamente.

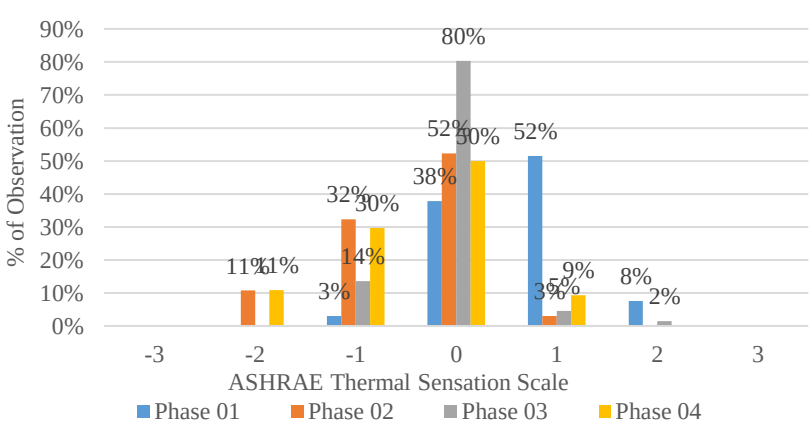
Os votos levemente com frio (-1), neutro (0) e levemente com calor (+1) foram considerados aceitáveis e os demais como desconfortáveis.

Figura 13. Distribuição de Frequência dos votos de sensação térmica com o sistema de ar-condicionado



Fonte: elaboração do autor.

Figura 14. Distribuição de frequência dos votos de sensação térmica com ventilação natural.



Fonte: elaboração do autor.

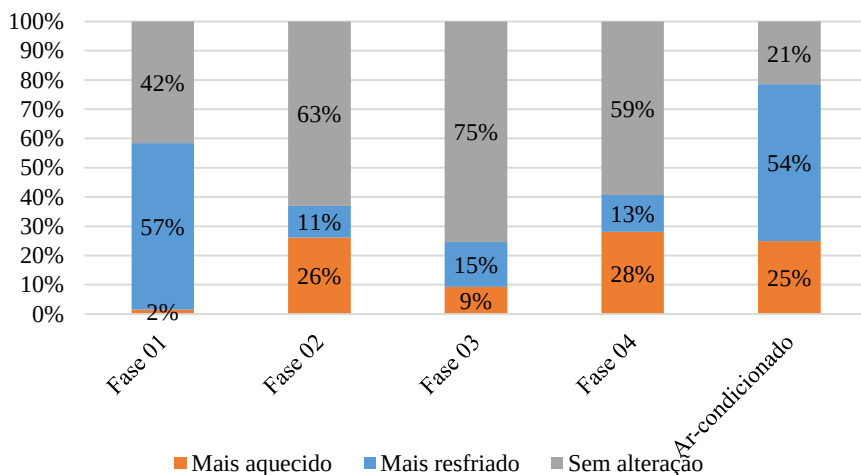
Comparando a distribuição de frequência entre as 4 etapas da ventilação natural é perceptível a diferenças nas respostas. Nas Etapas 02 e 04, 11% dos ocupantes estavam se sentindo com frio, enquanto que na etapa 01 e 03, 8% e 2% respectivamente, estavam se sentindo com calor. Esses resultados indicam que a abertura das janelas norte teve mais impacto na refrigeração dos ocupantes.

O alcance da condição de aceitável das 4 etapas foi: 92% (etapa 01), 88% (etapa 02), 98% (etapa 03) e 89% (etapa 04). Com o sistema de condicionamento ligado 16,75% estavam desconfortáveis devido ao frio e a aceitabilidade foi de 83,26% o menor valor entre todas as etapas. O desconforto com o sistema de condicionamento artificial não foi concentrado, haviam ocupantes se sentindo com frio e ocupantes se sentindo com calor, isso sugere que o sistema de ar-condicionado da biblioteca não possui uma distribuição adequada causando pontos desiguais de temperatura em seu interior.

4.4 Preferência térmica

A avaliação da preferência térmica foi feita através da pergunta “termicamente, como você gostaria de estar se sentindo neste instante?”, os ocupantes responderam sua preferência em uma escala de 3 pontos: mais aquecido (+1), sem alteração (0) ou mais resfriado (-1). A Figura 15 mostra a preferência térmica em cada etapa: com a ventilação natural na etapa 01, a porcentagem de ocupantes preferindo estar mais resfriado foi de 57%, com a abertura das janelas esse número caiu para 11%, 15% e 13%, correspondendo as etapas 02, 03 e 04 respectivamente. Mostrando novamente a influência da abertura das janelas na preferência térmica dos ocupantes. Com o uso do ar-condicionado 45% dos ocupantes preferiam estar se sentindo mais resfriados e 25% mais aquecidos.

Figura 15. Votos de preferência térmica por etapa.

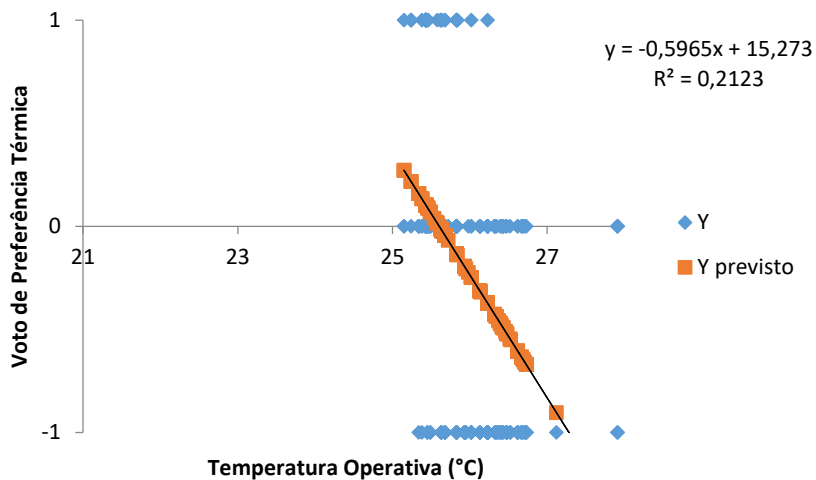


Fonte: elaboração do autor.

4.5 Temperatura Operativa Neutra

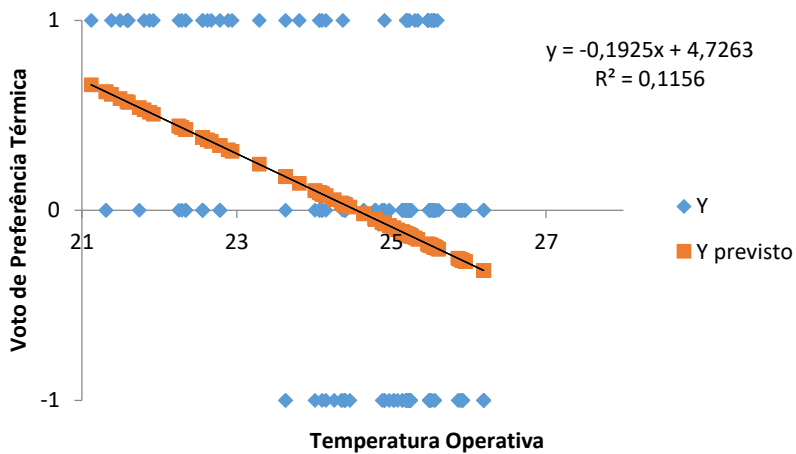
Através de regressão linear simples, utilizando a preferência térmica e a temperatura operativa, foram determinadas as temperaturas operativas neutra para o ambiente ventilado naturalmente e condicionado artificialmente. A Figura 16 e 17 demonstram a equação linear e a temperatura operativa neutra, que corresponde ao encontro da linha com o 0 (neutro). A temperatura operativa neutra com ventilação natural foi 25,6°C e com o ar-condicionado 24,5°C.

Figura 16. Regressão linear para cálculo da temperatura operativa neutra com Ventilação Natural.



Fonte: elaboração do autor.

Figura 17. Regressão linear para determinar a temperatura operativa neutra com ar-condicionado



Fonte: elaboração do autor.

A ASHRAE HANDBOOK of Fundamentals (2007) sugere, para ambientes de bibliotecas, uma faixa de temperatura entre 15 e 25°C e umidade relativa menor que 60%, nos dois casos a temperatura neutra encontrada fica acima do recomendado pela norma, o que poderia acarretar danos no acervo da biblioteca por intensificar o desenvolvimento de colônias de fungos e promover o que seria ideal para o desenvolvimento de insetos.

Analizando a resposta de sensação térmica nos dois casos, (com ar-condicionado e com ventilação natural) o ambiente foi considerado aceitável por mais de 80% dos ocupantes, caracterizando-o como termicamente confortável de acordo com a ASHRAE Standard 55. Apesar disso, quando observada a resposta térmica dos ocupantes de acordo com sua zona, mesmo no melhor cenário, algumas áreas da biblioteca apresentam maior desconforto que outras por conta do distanciamento das janelas, que prejudicou a circulação do ar. A Tabela 20, apresenta as respostas de sensação térmica separadas por zona. A Zona D apresenta maior índice de desconforto por calor e é a área mais prejudicada em relação a ventilação natural ou pela má distribuição do fluxo de ar do sistema de condicionamento artificial.

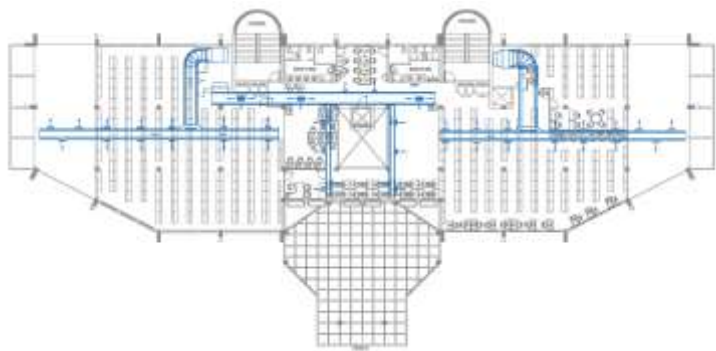
Tabela 20. Sensação térmica por área, com ventilação natural e ar-condicionado

Termicamente, como você está se sentindo neste instante?						
		Ventilação Natural				Ar-condicionado
ETAPA		01	02	03	04	
Zona A	Confortável	100%	100%	100%	100%	100%
	Com frio	-	-	-	-	
	Com calor	-	-	-	-	
Zona B	Confortável	100%	96,3%	100%	92,6%	64,7%
	Com frio	-	3,7%	-	7,4%	
	Com calor	-	-	-	-	35,3%
Zona C	Confortável	92,3%	77%	100%	77%	65,2%
	Com frio	-	23%	-	23%	4,4%
	Com calor	7,7%	-	-	-	30,4%
Zona D	Confortável	56%	100%	89%	100%	92,9%
	Com frio	-	-	-	-	7,1%
	Com calor	44%	-	11%	-	
Zona E	Confortável	100%	67%	100%	78%	95,4%
	Com frio	-	33%	-	22%	4,5%
	Com calor	-	-	-	-	

Fonte: elaboração do autor.

A diferença de respostas entre as zonas com o ar-condicionado se deve pela irregularidade da emissão do ar, mais forte próximo ao motor do ar condicionado e diminui conforme se afasta, dessa forma as zonas B e C possuem mais desconforto por calor. A Figura 18 apresenta a planta com a tubulação do sistema de condicionamento artificial do segundo pavimento da biblioteca.

Figura 18. Planta baixa do segundo pavimento da biblioteca, com tubulação de ar condicionado em azul



Fonte CPO UFMS, adaptado pelo autor.

4.6 Análise da Ventilação Natural

A Tabela 21 apresenta os resultados da velocidade do vento com ventilação natural por etapa. A média durante as etapas foi de 0m/s, 0,05m/s, 0m/s e 0,01ms respectivamente. Os maiores valores de velocidade correspondem as etapas 02 e 04 quando as janelas Norte estavam abertas. A velocidade do vento com ventilação natural tem um comportamento anárquico e a disponibilidade de equipamento só possibilitou a medição em dois locais; portanto, foi analisado apenas o potencial de abertura da janela sem relação direta com a velocidade do ar medida.

Tabela 21. Velocidade do vento com ventilação natural.

m/s	Etapa 01	Etapa 02	Etapa 03	Etapa 04
Mínimo	0	0	0	0
Média	0	0,05	0	0,01
Máximo	0	1,6	0	0,2
Desvio Padrão	0	0.27	0	0.04

Fonte: elaboração do autor.

A abertura das janelas teve influência na variação de temperatura do ar, a Tabela 22 apresenta os resultados medidos. Na primeira etapa,

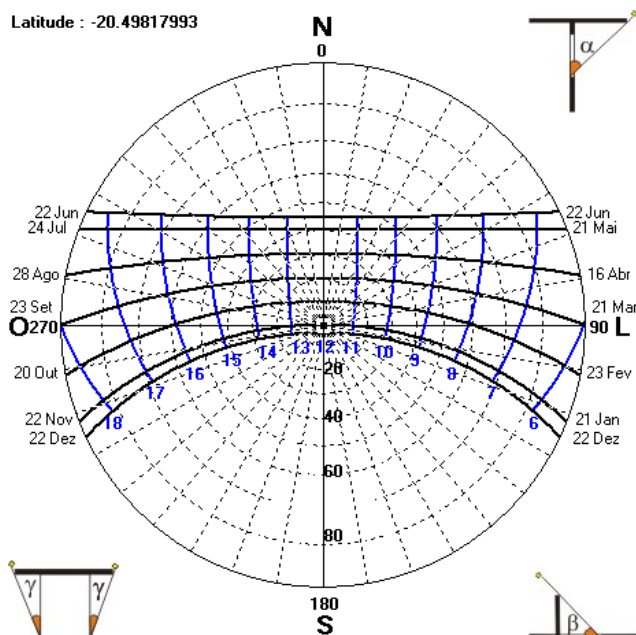
quando todas as janelas estavam fechadas a temperatura interna foi mais homogênea em todas as zonas, que passou a ficar mais variada com a abertura das janelas. As zonas C e E apresentaram as menores temperaturas e são as zonas adjacentes as janelas Norte. A Zona D, que fica mais distante das aberturas teve uma temperatura mais constante durante as etapas e a Zona A, que fica próxima as janelas sul, teve as maiores temperaturas. Pela carta solar de Campo Grande (Figura 19), é possível verificar que a fachada Sul recebe a incidência solar na primavera e verão, ficando às 12h com sol a pino. Já a fachada Norte recebe a incidência solar nos meses de fevereiro a outubro, o que poderia reverter esse quadro de temperaturas durante esse período.

Tabela 22 Temperatura operativa por zona e etapa.

Zona	TO	Etapas 01	Etapas 02	Etapas 03	Etapas 04
A	Máxima	26,34	25,95	26,34	26,34
	Média	26,34	25,62	26,01	26,08
	Mínima	26,34	25,56	25,56	25,95
	Desv. Pad.	0	0,31	0,27	0,21
B	Máxima	25,56	25,17	25,17	26,34
	Média	25,56	25,01	25,17	25,56
	Mínima	25,56	24,79	25,17	25,17
	Desv. Pad.	0	0,26	0,14	0,57
C	Máxima	26,34	25,56	25,56	25,17
	Média	25,90	25,23	25,34	24,98
	Mínima	25,56	24,79	25,17	24,79
	Desv. Pad.	0,23	0,27	0,21	0,20
D	Máxima	25,95	25,56	25,56	25,56
	Média	25,61	25,45	25,56	25,17
	Mínima	25,56	25,17	25,56	24,79
	Desv. Pad.	0,15	0,19	0	0,27
E	Máxima	25,56	24,79	25,17	24,40
	Média	25,27	24,57	24,68	24,40
	Mínima	25,17	24,4	24,4	24,4
	Desv. Pad.	0,59	0,30	0,22	0,18

Fonte: elaboração do autor.

Figura 19. Carta Solar de Campo Grande, MS.



Fonte: Sol-Ar UFSC

4.6.1 Votos de sensação da velocidade do ar

A Tabela 23 apresenta os votos de sensação do vento medidos em cada etapa da pesquisa. Na primeira etapa, tiveram 17 pessoas de um total de 65, se sentindo desconfortáveis com pouca velocidade da velocidade do ar (25,7%), e 49 pessoas confortáveis (74,2%), sendo 15 confortáveis com velocidade do ar aceitável e 33 confortáveis com baixa velocidade do ar. No segundo momento quando todas as janelas foram abertas, o número de pessoas desconfortáveis pela pouca velocidade do ar zerou, e o número de pessoas confortáveis foi para 59 (92,1%), sendo 5 confortáveis com muita velocidade do ar, 41 confortáveis com velocidade do ar aceitável e 11 confortáveis com pouca velocidade do ar. Nesta etapa houveram 5 pessoas (7,8%) desconfortáveis com muita velocidade do ar. Na terceira etapa com as janelas norte fechadas, 63 pessoas estavam confortáveis (93,8%), sendo 1 confortável com muita

velocidade do ar, 34 confortáveis com velocidade do ar normal e 28 confortáveis com pouca velocidade do ar; o desconforto de 4 pessoas foi causado pela pouca velocidade do ar segundo os votos. Na última etapa somente as janelas Norte ficaram abertas, 55 pessoas estavam confortáveis (84,9%), sendo 4 confortáveis com muita velocidade do ar, 22 confortáveis com velocidade do ar normal e 10 confortáveis com pouca velocidade do ar; o desconforto de 8 pessoas foi causado por muita velocidade do ar segundo os votos.

Tabela 23.Votos de sensação da velocidade do ar nas 4 etapas, dividido por zonas.

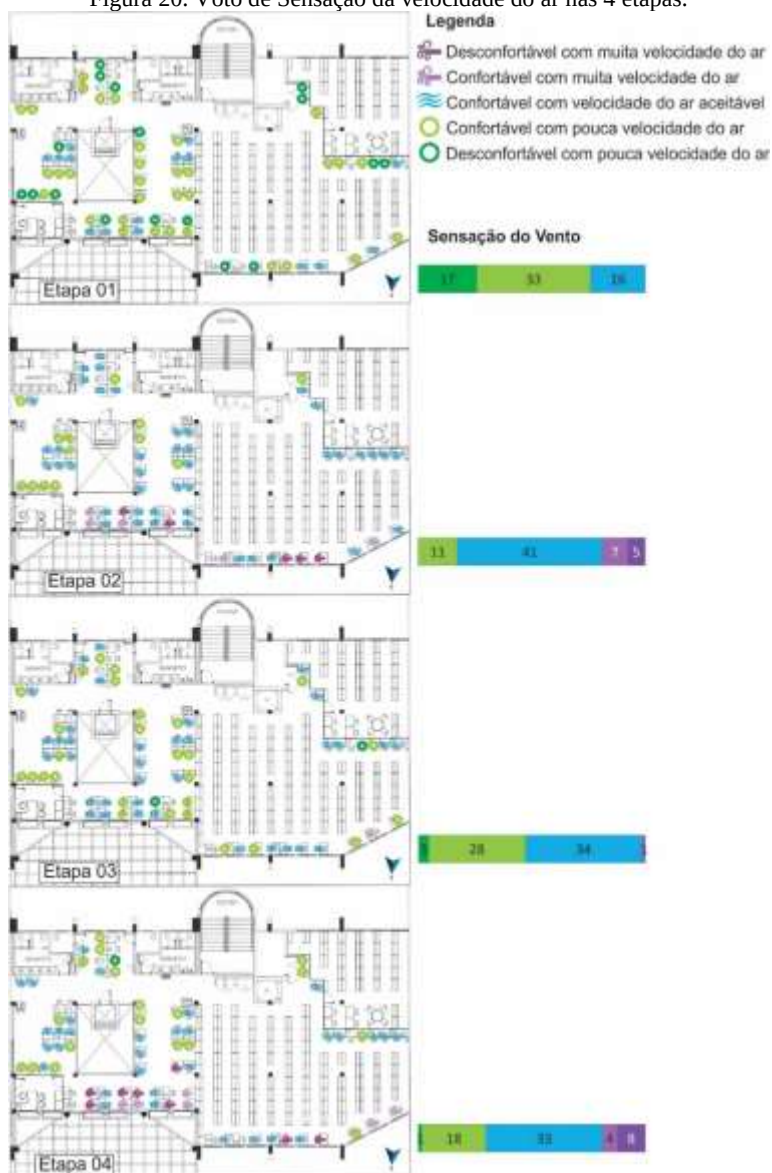
Como você está se sentindo em relação a velocidade do ar neste instante?					
ETAPA		1	2	3	4
Zona A	Confortável	57,14%	100%	100%	85,72%
	Desconfortável muita velocidade do ar	-	-	-	-
	Desconfortável pouca velocidade do ar	42,86%	-	-	14,28%
Zona B	Confortável	81,49%	100%	100%	96,3%
	Desconfortável muita velocidade do ar	-	-	-	3,7%
	Desconfortável pouca velocidade do ar	18,51%	-	-	-
Zona C	Confortável	77%	84,63%	92,31%	61,54%
	Desconfortável muita velocidade do ar	-	15,38%	-	3,7%
	Desconfortável pouca velocidade do ar	23%	-	7,69%	-
Zona D	Confortável	56%	100%	89%	100%
	Desconfortável muita velocidade do ar	-	-	11%	-
	Desconfortável pouca velocidade do ar	44%	-	-	-
Zona E	Confortável	78%	67%	100%	78%
	Desconfortável muita velocidade do ar	-	33%	-	22%
	Desconfortável pouca velocidade do ar	22%	-	-	-

Fonte: elaboração do autor.

A Figura 20 apresenta os votos de sensação da velocidade do ar na biblioteca durante as 4 etapas. Analisando os dados por zona, o maior desconforto foi com pouca velocidade do ar na primeira etapa nas Zonas A e D. Na segunda etapa as zonas C e E (que são mais próximas das janelas norte) apresentaram desconforto pela alta velocidade do ar.

A zona E apresentou maior índice de desconforto com muita velocidade do ar, nas duas etapas em que as janelas Norte estavam abertas.

Figura 20. Voto de Sensação da velocidade do ar nas 4 etapas.



Fonte: elaboração do autor.

4.6.2 Votos de preferência da velocidade do ar

Na primeira etapa, com todas as janelas fechadas, 24 pessoas (36,3%) preferiram que a velocidade do vento não sofresse alteração e 42 (63,6%) gostariam de mais velocidade do ar. Na segunda etapa quando todas as janelas foram abertas, o número de pessoas que preferiram a velocidade do ar sem alteração, foi para 69,3% dos votos (43 pessoas), com mais velocidade caiu para 8% e 22,5% preferiram uma menor velocidade do ar. Na terceira etapa, quando apenas as janelas sul estavam abertas, sem alteração foi para 70,7% dos votos, mais velocidade para 17% e com menos velocidade caiu para 3%. Na quarta etapa, com as janelas norte abertas, o número de pessoas que preferiram a velocidade do ar sem alteração caiu para 42%, com mais velocidade ficou com 12,6% e com menos velocidade 20,6% (Tabela 24).

Tabela 24. Votos de preferência do vento nas 4 etapas, dividido por zonas.

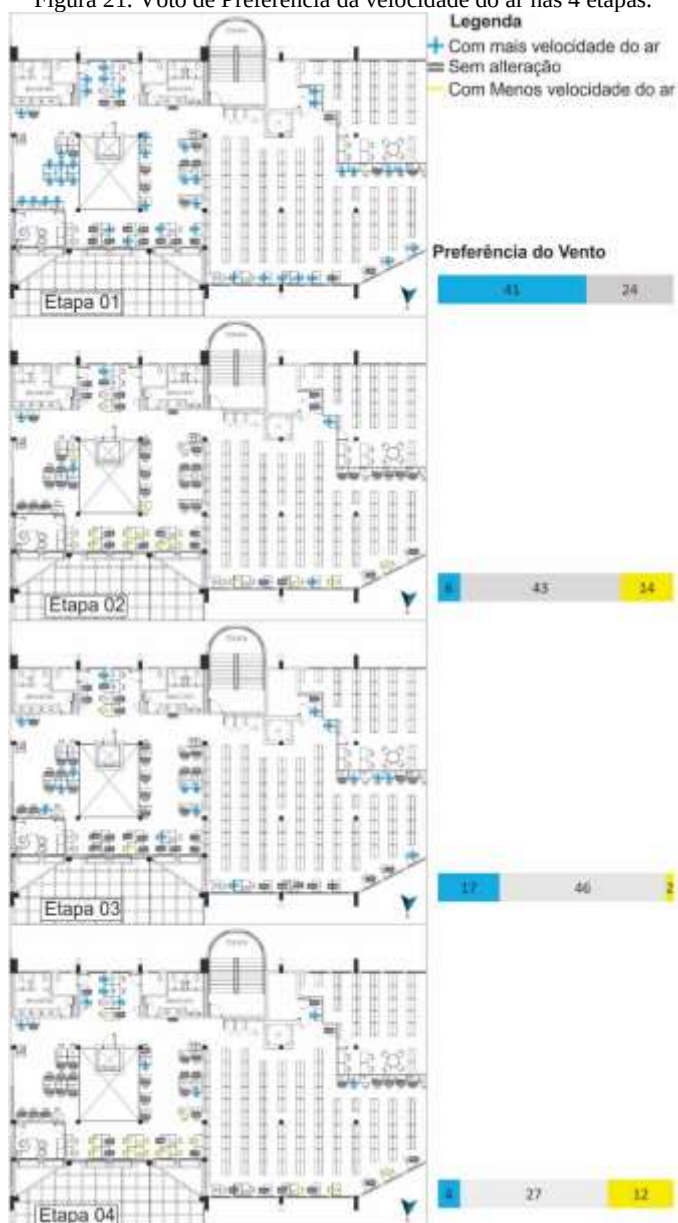
Neste momento, como você gostaria que estivesse a velocidade do ar?					
ETAPA		1	2	3	4
Zona A	Sem alteração	28%	72%	72%	28%
	Com mais velocidade	72%	14%	14%	58%
	Com menos velocidade	-	14%	14%	14%
Zona B	Sem alteração	29,6%	85,2	74%	85,3%
	Com mais velocidade	70,4%	7,4%	26%	11%
	Com menos velocidade	-	7,4%	-	3,7%
Zona C	Sem alteração	69,3%	46,1%	84,6%	30,7%
	Com mais velocidade	30,7%	-	7,7%	-
	Com menos velocidade	-	53,9%	7,7%	69,3%
Zona D	Sem alteração	33%	89%	44%	78%
	Com mais velocidade	67%	11%	56%	22%
	Com menos velocidade	-	-	-	-
Zona E	Sem alteração	22%	45%	78%	67%
	Com mais velocidade	78%	11%	22%	-
	Com menos velocidade	-	44%	-	33%

Fonte: elaboração do autor.

Na primeira etapa todas as zonas tiveram preferência por mais velocidade do ar com exceção da Zona 3, onde a maioria preferiu continuar sem alteração.

As zonas C e E, que são as mais próximas das janelas norte, na segunda e terceira etapa tiveram mais votos por uma diminuição da velocidade do ar e a zona A uma preferência por mais velocidade nas etapas 1 e 4 quando as janelas sul estavam fechadas. A abertura das janelas teve relação com os votos de preferência do vento, principalmente nas zonas C e E.

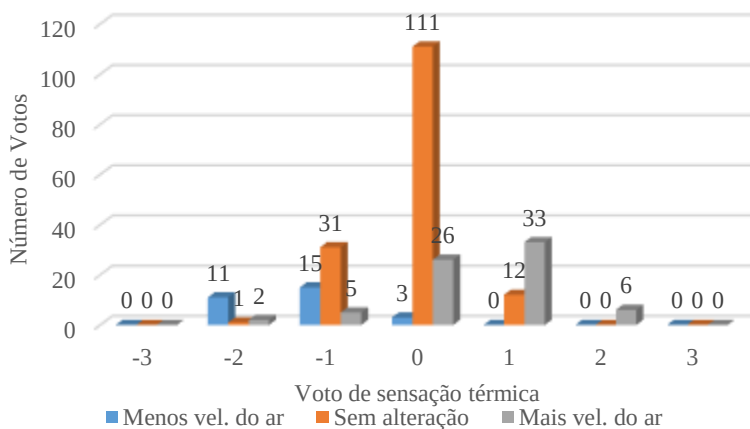
Figura 21. Voto de Preferência da velocidade do ar nas 4 etapas.



Fonte: elaboração do autor

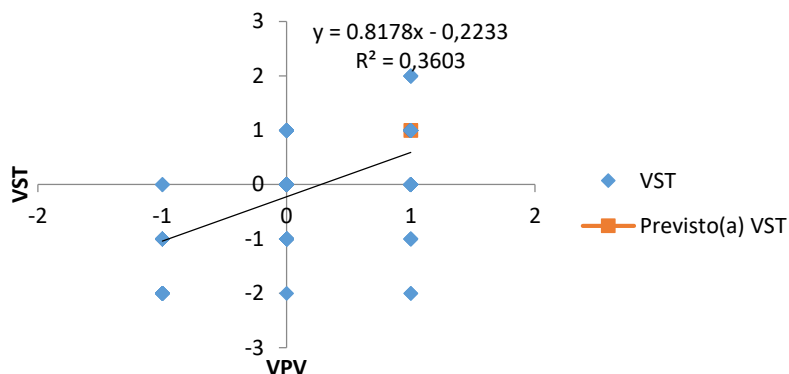
A Figura 22 mostra um gráfico de dispersão que analisa os votos de sensação térmica com os votos de preferência do vento e a Figura 23 a regressão linear entre os votos de sensação térmica e a preferência do vento. Em ambos os casos é possível identificar que os votos de preferência do vento acompanham os votos de sensação térmica de forma que, conforme a sensação térmica tende para o calor a preferência por mais velocidade do ar aumenta e quando a sensação tende para o frio a preferência por menos velocidade do ar aumenta.

Figura 22. Gráfico de barras dos votos de preferência térmica de acordo com o voto de sensação térmica.



Fonte: elaboração do autor.

Figura 23. Regressão linear entre os votos de sensação térmica e preferência do vento.

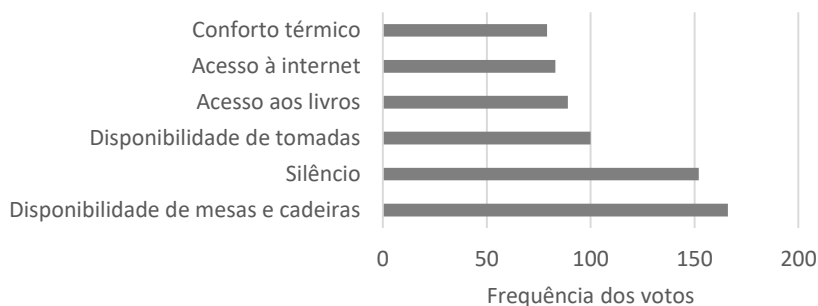


Fonte: elaboração do autor.

4.7 Avaliação geral da biblioteca

Nos estudos realizados com os usuários do local foi perguntado o motivo pelo qual a pessoa escolheu se sentar no lugar em que estava. Numa avaliação geral, unindo a resposta de todos os questionários, a disponibilidade de mesas e cadeiras foi o motivo mais votado (166 votos) e em segundo lugar ficou o silêncio do local (152 votos). O conforto térmico foi o motivo menos votado (79 votos), ficando em último lugar (Figura 24). Já nas pesquisas realizadas por FRONT CZACK (2011), encontra-se um resultado diferente, o conforto térmico foi o fator apontado como o mais importante na qualidade ambiental pelos usuários, a pesquisa foi realizada em 351 escritórios e avaliou 15 parâmetros.

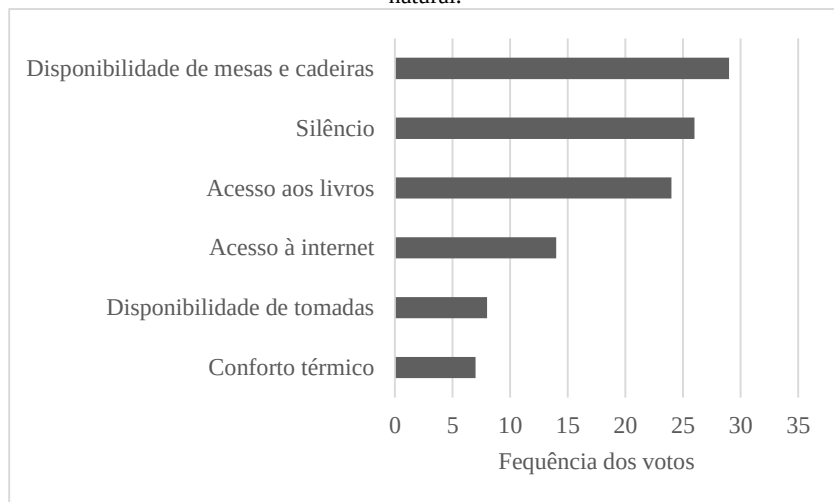
Figura 24. Gráfico de frequência com motivo da escolha do local.



Fonte: elaboração do autor.

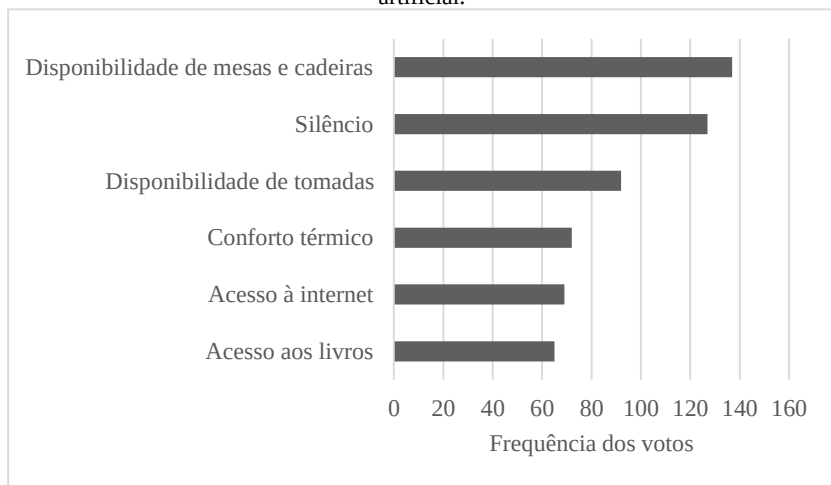
Separando os votos da escolha do local do ambiente condicionado artificialmente e do ventilado naturalmente, Figuras 25 e 26. O motivo principal, apontado pelos respondentes, continuou sendo a disponibilidade de mesas e cadeiras e em segundo lugar o silêncio, nos dois casos. Porém o conforto térmico que foi o item menos votado com ventilação natural, foi para o 4º motivo mais votado com condicionamento artificial, talvez pela grande diferença de temperatura encontrada entre as zonas quando o ar condicionado estava ligado.

Figura 25. Gráfico de frequência com motivo da escolha do local com ventilação natural.



Fonte: elaboração do autor.

Figura 26. Gráfico de frequência com motivo da escolha do local com condicionamento artificial.



Fonte: elaboração do autor.

4.8 Comparação com as normas de conforto e desempenho

Comparando os resultados obtidos com as principais normas de conforto existentes, a Tabela 25 resume os índices e variáveis mínimas para cada norma comparando com os valores médios obtidos in loco.

Tabela 25. Normas de conforto atendidas segundo a avaliação.

		VN		CA
NR 15	IBUTG	< 30°C	Atende*	-
NR 17	V. ar	< 0,75m/s	Não atende	Atende
	Temp. efetiva	20°C a 23°C	Não atende	Não atende
	Umidade relativa	>40%	Atende	Atende
NBR 16401	V. ar	0,2 a 0,25 m/s	Não atende	Não atende
	Temp./UR	22,5°C a 25,5°C/ 65%	Não atende	Atende em alguns pontos
	Temp./UR	23°C a 26°C / 35%	Não atende	Atende em alguns pontos
ASHRAE 55	PMV	-0,5 < PMV > +0,5	Não atende	Atende
	PPD	< 10	Não atende	Não atende
ISO 7730*2	PMV	- 0,7 < PMV < + 0,7	Não atende	Atende
	PPD	< 15	Não atende	Atende

* O IBUTG foi calculado apenas para a primavera, depois desse período o termômetro de bulbo úmido apresentou problemas e não foi possível utiliza-lo.

*2 Categoria C da ISO 7730.

Fonte: elaboração do autor.

A biblioteca pelos dias de medição está de acordo com a NR 15, que exige um IBUTG menor que 30°C para trabalho contínuo leve sem previsão de descanso. Essa norma não trata especificamente da velocidade do ar.

Em relação a NR 17 que define a temperatura efetiva entre 20°C e 23°C nenhuma das duas fases estava de acordo, apesar do nível de conforto ter sido atingido. Em relação a velocidade do ar, que não deve

ser superior a 0,75 m/s, a fase com ventilação natural quando estavam todas as janelas abertas excedeu esse limite. A humidade relativa esteve de acordo em todas as fases.

A NBR 16401-2/2008 para o verão não foi atendida com ventilação natural, no quesito IBUTG nem velocidade média do ar, que foi acima nos dois casos. Com o uso do condicionamento artificial a temperatura média ficou dentro do padrão, mas por conta da irregularidade na distribuição, teve pontos da biblioteca fora da norma. A velocidade do ar teve o mesmo resultado, atendendo parcialmente a norma.

Comparando com a norma internacional ASHRAE Standard 55, nos dois casos (com ventilação natural e condicionamento artificial), atingiu-se um percentual maior que 80% de aceitabilidade térmica entre os usuários, porém, quando dividimos os resultados por áreas dentro da biblioteca há uma grande diferença na porcentagem de aceitabilidade, chegando a 67% na Área E, na etapa 02 da ventilação natural. O PMV e o PPD médio, calculados pelos dados ambientais, não atenderam os limites da norma, exceto com condicionamento artificial que atingiu o PMV ideal.

A ISO estabelece três categorias de conforto e apenas com condicionamento artificial atingiu-se a categoria C.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como foco a análise do conforto térmico e aceitabilidade da ventilação natural em uma biblioteca na cidade de Campo Grande, MS. Ao final do experimento, reuniu-se um total de 2176 dados referentes à sensação de conforto, à aceitabilidade e preferência térmica e da velocidade do ar, bem como dados referentes à preferência dos usuários em relação ao local escolhido e dados ambientais. Os dados resultantes dos experimentos realizados em campo, relativos ao clima de Campo Grande, podem contribuir para a formação do Banco de Dados Brasileiros em Conforto Térmico, e para a formulação de normas referentes a climas semelhantes.

As respostas dos ocupantes indicaram que durante a pesquisa as condições térmicas com ventilação natural foram melhores para o conforto térmico, em relação ao uso do condicionamento artificial.

O sistema de ar-condicionado não foi adequado para a biblioteca, precisando de ajustes na temperatura de set-point e controle de umidade.

A temperatura operativa neutra calculada pela resposta dos usuários foi de 25,2°C (ar-condicionado) e 25,7°C (ventilação natural), em ambos os casos a temperatura é considerada muito alta para a proteção dos materiais, o que pode prejudicar a preservação do acervo.

A umidade relativa medida na biblioteca estava acima de 60%, que segundo as normas de conservação pode causar sérios danos a coleção da biblioteca.

O fluxo de ar do sistema de condicionamento da biblioteca é distribuído de maneira irregular e se mostra insuficiente, em alguns pontos, para garantir a preservação do acervo e o conforto dos usuários.

Uma opção para se obter um melhor desempenho do edifício, tanto energético quanto na conservação e no conforto térmico, seria ter uma separação entre a área de estudos e a armazenagem de livros, com controle de temperatura e umidade. Dessa forma o sistema de condicionamento artificial se limitaria a uma área menor, enquanto que a área de estudos poderia usufruir da ventilação natural.

O uso de ventiladores nas áreas de estudo é ser uma solução com baixo dispêndio de energia e suficiente para garantir o conforto térmico dos usuários, uma vez que o estudo mostrou que uma pequena mudança na velocidade do vento é suficiente para garantir conforto dos usuários. Givoni afirma que a ASHRAE adota um limite de velocidade do ar muito baixo por levar em consideração edifícios de escritórios onde a movimentação de papéis causada pela velocidade do ar poderia ser um problema e não o desconforto do usuário em si (GIVONI, 1992).

A medição da velocidade de ar em ambientes naturalmente ventilados deve seguir outra metodologia com intervalos de medição menores para uma melhor percepção da influência do vento.

O conforto térmico não foi o principal motivo da escolha do local, o que nos leva acreditar que o conforto ergonômico e o acústico causem um impacto maior que o térmico no conforto geral de uma pessoa.

Em relação as normas de conforto, apesar da biblioteca não estar de acordo com a maior parte delas, as respostas dos usuários apontaram grande aceitabilidade térmica. A percepção térmica das pessoas se mostrou compatíveis com o experimento de fechamento e abertura das janelas; porém, no experimento onde não teve interferência do pesquisador, poucos usuários tiveram a prontidão de abrir ou fechar as janelas.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Diante dos resultados obtidos e das limitações deste estudo, sugere-se para trabalhos futuros a serem realizados em bibliotecas:

- Avaliação mais precisa da preferência do vento pelos usuários, uma vez que não foi possível medir com precisão toda área da biblioteca;
- Uma avaliação do edifício da biblioteca durante o inverno;
- Avaliação e comparação em outros edifícios de bibliotecas com diferentes sistemas de condicionamento.

REFERÊNCIAS

ABNT. **Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários - Parte 2: Parâmetros de conforto térmico, NBR 16401-2.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008.

ABNT. **NBR 15220-3 Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.** Rio de Janeiro, 2005.

ASHRAE Standard 55-2005 - **AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC.** - Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta. USA, 2005

ASHRAE Fundamentals Handbook. Chapter 8 - Thermal Comfort. Atlanta. USA, 2001.

ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., DE MORAES, G., LEONARDO, J., SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil.** Meteorologische Zeitschrift, v. 22(6), p. 711-728, 2013

ANDREASI, W. A.; LAMBERTS, R.; CANDIDO, C. **Thermal acceptability assessment in buildings located in hot and humid regions in Brazil.** Building and Environment. v. 45, p. 1225 – 1232, 2010

BAIRD, G.; FIELD, C. **Thermal comfort conditions in sustainable buildings – Results of a worldwide survey of users' perceptions.** Renewable Energy. v.49, p 44-47, 2013.

BATISTA, N.N.; ROVERE, E.L.; AGUIAR, J. **Energy efficiency labeling of buildings: An assessment of the Brazilian case.** Energy and Buildings. v.43, p. 1179-1188, 2011.

BARBETTA, P. A. **Estatística Aplicada às Ciências Sociais.** 5ª edição. Florianópolis: Ed UFSC, 2006.

BITTENCOURT, L. S., CÂNDIDO, C. M. **Introdução à Ventilação Natural.** Ed: UFAL, Maceió, 2005.

BRASIL. Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a

Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2001b. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2001/D4059.htm>.

Acesso em: 09 mai. 2016.

BRASIL. Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2001a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10295.htm>.

Acesso em: 09 mai. 2016.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional 2015** (ano-base 2014): relatório final. [S.l.], 2015. Disponível em:

<https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf>.

Acesso em 15 mar. 2016.

_____. **Regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética de edificações residenciais - RTQ-R**. PROCEL, 2012.

_____. **Regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética de edificios comerciais, de serviços e públicos - RTQ-C**. PROCEL, 2010.

BUGES, N.L.; ANDREASI, W.A.; QUEIROZ, A.A.F.S.L. **Eficiência energética em edificações na atuação dos arquitetos e urbanistas de Mato Grosso do Sul**. In: XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Maceió-AL, 2014.

CANDIDO, C.; DEAR, R.J.; LAMBERTS, R.; BITTENCOURT, L. **Air movement acceptability limits and thermal comfort in Brazil's hot humid climate zone. Building and Environment**. v.45, p. 222-229, 2010.

CÂNDIDO, C. et al. Aplicabilidade dos limites da velocidade do ar para efeito de conforto térmico em climas quentes e úmidos. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 4, p. 59–68, 2011.

CHEN, L.; NG, E. Outdoor thermal comfort and outdoor activities: a review of research. *Cities*; v. 29, p. 118-125, 2012.

CHOW, T. T., FONG, K. F., GIVONI, B. ZHANG, L., CHAN, A. L. S. **Thermal sensation of Hong Kong people with increased air speed, temperature and humidity in air-conditioned environment.** *Building and Environment*. v. 45, p. 2177-2183. 2010.

DE DEAR, R., BRAGER, G., COOPER, D. **Developing an adaptive model of thermal comfort and preference – Final Report on ASHRAE RP 884.** American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, USA, 1997.

DE DEAR, R. **Thermal Comfort in Natural Ventilation: A neurophysiological hypothesis.** In: Windsor Conference: Adapting To Change: New Thinking on Comfort, 6, Windsor, UK, 2010.

DE FREITAS, N. V. S.; MIKURI, L. P.; ANDREASI, W. A. **Influence of Air Movement on Human Thermal Sensation in a Tropical Humid Climate.** *International Journal of Science and Engineering Investigations*, v. 7, i. 73, p. 70-76, 2018.

DE VECCHI, R., CANDIDO, C., LAMBERTS, R., **O efeito da utilização de ventiladores de teto no conforto térmico em salas de aulas com condicionamento híbrido em um local de clima quente e úmido.** *Ambiente Construído*. v.13, n. 4, p.189-202, 2013.

DORNELLES, K. D., RORIZ, M. **Métodos alternativos para identificar a absorvância solar de superfícies opacas.** *Ambiente Construído*. v.7, n.3, p. 109-127, 2007.

FANGER, O. **Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering.** Copenhagen: Danish Technical Press, 1970.

FEIGE, A., WALLBAUM, H., JANSER, M., WINDLINGER, L., **Impact of sustainable office buildings on occupant's comfort and productivity.** *Journal of Corporate Real Estate*. v. 15. n 1, p. 7-34. 2013.

FILHO, J. J. A. **Análise do nível de eficiência energética e desempenho térmico em edifício de serviços - estudo de caso em Campo Grande, capital do estado de Mato Grosso do Sul.** 2001. 99 p.

Trabalho de conclusão de curso. Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

FROTA, A. B., SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 7ª. Edição, Ed. Nobel, São Paulo. 2005.

GELLER, H.S. **Revolução Energética**. Relume Dumará. Rio de Janeiro, 2003.

GIVONI, B. **Comfort, climate analysis and building design guidelines**. Energy and Building. Vol.1, pp 11-23, 1992.

GOULART, S. V. G. **Thermal Inertia and Natural Ventilation: Optimization of thermal storage as a cooling technique for residential buildings in Southern Brazil**. TESE. 2004 Architectural Association School of Architecture.

HOYT, T., SCHIAVON, S., PICCIOLI, A., CHEUNG, T., MOON, D., STEINFELD, K., 2017, **CBE Thermal Comfort Tool**. Center for the Built Environment, University of California Berkeley, <http://comfort.cbe.berkeley.edu/>. Acesso em 15 abr. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (INMETRO). **Tabelas de edificações comerciais, de serviços e públicos**. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/tabelas-comerciais.pdf>>. Acesso em: 04 de junho de 2016.

INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO 7730. **Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort**. Genebra, 1994.

INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO 10551. **Ergonomics of the thermal environment – Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales**. Genebra, 1995.

JA'AFAR, M. F. Z. B., CROXFORD, B. Adapting to technology: the case of air conditioning use in Malaysian homes. **Proceedings of Adapting to Change: New Thinking on Comfort**, Windsor, UK. 2010.

JOUDI, A., SVEDUNG, H., CEHLIN, M., RÖNNELID, M. **Reflective coating for interior and exterior of buildings improving thermal performance**. Applied Energy. v.103, p. 562-570, 2013.

LabEEE – LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **ANALISYS Bio**. Versão 2.1.1 UFSC – ECV – NPC- LabEEE, 2003. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/softwares/analysis-bio>>. Acesso em: 20 de maio de 2016.

LabEEE – LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **ANALISYS Sol-Ar**. Versão 2.1.1 UFSC – ECV – NPC- LabEEE, 2003. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/softwares/analysis-sol-ar>>. Acesso em: 20 de maio de 2016.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A.; GOULART, S.; VECCHI, R.D. **Conforto e stress térmico**. UFSC, LabEEE, Santa Catarina, 2011.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. [III.ed.] Rio de Janeiro, 2014.

LIBBRA, A., MUSCIO, A., SILIGARDI, C. **Energy performance of opaque building elements in summer: Analysis of a simplified calculation method in force in Italy**. Energy and Buildings. v. 64, p. 384-394, 2013.

LIN, T.; DE DEAR, R.; HWANG, R. **Effect of thermal adaptation on seasonal outdoor thermal comfort**. International Journal of Climatology; v. 31, p. 302-3012, 2011.

MA, Y., LI, Y., ZHU, B. **Analysis of the thermal properties of air-conditioning-type building materials**. SciVerse ScienceDirect. v.86, p. 2967-2974, 2012.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Plano Nacional de Eficiência Energética**. Rio de Janeiro, 2011.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional**, 2014.

NICOL, F. Adaptive thermal comfort standards in the hot-humid tropics. **Energy and Buildings**, v.36, p. 628-637. 2004.

NR 15. Anexo 3 – **Limites de tolerância para exposição ao calor**. Brasília/DF, BR: Ministério do trabalho, 1978.

NR 17. **Ergonomia**. Brasília/DF, BR: Ministério do trabalho, 1990.

OLESEN, B. W.; PARSONS, K. C. **Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730**. Energy and Buildings, v. 34 (6), p. 537-548, 2002.

ORNSTEIN, S. **Avaliação Pós-Ocupação (APO) do Ambiente Construído**. EDUSP, 1992.

PAOLINI, R., ZINZI, M. POLI, T., et all. **Effect of ageing on solar spectral reflectance of roofing membranes: Natural exposure in Roma and Milano and the impact on the energy needs of commercial buildings**. Energy and Buildings. v.84, p. 333-343, 2014.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Update world map of the Koppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, p. 1633-1644, 2007.

PEDRINI, A.; SZOKOLAY, S. **Recomendações para o desenvolvimento de uma ferramenta de suporte às primeiras decisões projetuais visando ao desempenho energético de edificações de escritório em clima quente**. Revista do Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p.39-54, 2005.

PEREIRA, C. D.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R.; GÜTHS, S.; GHISI, E. **Guia de medição e cálculo para refletância e absortância solar em superfícies opacas**. UFSC, 2015. 21p. Disponível em :
<http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Guia_medicao_refletancia_CB3E_v1.pdf>. Acesso em 30 jun. 2015.

PREISER, W. F. E.; **Post-occupancy evaluation: how to make buildings work better**. MCB University Press, v. 13, p. 19-28, 1995.

PROJETEEE – **Projetando Edificações Energeticamente Eficientes**. UFSC – ECV – NPC- LabEEE, 2015. <<http://150.162.76.139/graficos/>> Acesso em 27 mar 2016.

ROMERO, M. A.; PHILIPPI, A. **A conservação de energia como instrumento de política e gestão.** In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., 2000, Porto Alegre. Anais...

RORIZ, M. **Uma proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro.** ANTAC. São Carlos, SP, Janeiro 2012.

SANTAMOURIS, M., SYNNEFA, A., KARLESSI, T. **Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions.** ScienceDirect. v.85, p. 3085-3102, 2011.

SANTAMOURIS. **Advances in Passive Cooling.** Londres: EARTHSCAN, 2007.

SANTOS, I. G., DORNELLES, K. A., SOUZA, R. V. **Absortância solar de superfícies e o regulamento brasileiro para eficiência energética de edifícios.** XIII ENTAC, 2010.

SCHIAVON, S., MELIKOV, A. K. Energy saving and improved comfort by increased air movement. *Energy and Buildings*, v. 40, p.1954-1960. 2008.

SONG, Z., ZHANG, W., SHI, Y., SONG, J., QU, J., QIN, J., ZHANG, T., LI, Y., ZHANG, H., ZHANG, R. **Optical properties across the solar spectrum and indoor thermal performance of cool white coatings for building energy efficiency.** *Energy and Buildings*. v.63, p. 49-58, 2013.

SPINELLI, J. J. **A conservação de acervos bibliográficos e documentais.** Rio de Janeiro: Fundação Biblioteca Nacional, 1997.

SYNNEFA, A., SANTAMOURIS, M., LIVADA, I. **A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment.** Science Direct. V.80 p. 968-981, 2006.

Tyler, H., STEFANO, S., ALBERTO, P., TOBY, C., DUSTIN, M., and KYLE, S., 2017, **CBE Thermal Comfort Tool.** Center for the Built Environment, University of California Berkeley. Disponível em: <http://comfort.cbe.berkeley.edu/>. Acesso em 14 de Junho de 2017.

UNITED NATIONS, DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS, POPULATION DIVISION. **World Urbanization**

Prospects: The 2014 revision. Disponível em:
<http://esa.un.org/unpd/wup/Highlights/WUP2014-Highlights.pdf>.
 Acesso em: 10 de abril de 2015.

VAN DER LINDEN, A. C., BOERSTRA, A. C., RAUE, A. K., KURVERS, S. R., DE DEAR, R. J., Adaptive temperature limits: a new guideline in the Netherlands – a new approach for the assessment of building performance with respect to thermal indoor climate. **Energy and Buildings**, v.38, p8-17. 2006.

VIEGAS, R. M., ANDREASI, W. A., **Evaluation of Thermal Comfort of Men and Women in Food Courts**. International Journal of Science and Engineering Investigations. V.6, p. 159-166, 2017.

ZINZI, M., CARNIELO, E., ROSSI, G., **Directional and angular response of construction materials solar properties: Characterisation and assessment**. Science Direct, v.115, p. 52-67, 2015.

APÊNDICE A - Etiquetagem da Biblioteca Central

Para a avaliação e etiquetagem da biblioteca central da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul foi consultado o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). “Os edifícios submetidos ao RTQ devem atender às normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) vigentes e aplicáveis”. (RTQ-C, 2013, p.13)

O RTQ-C aplica-se a edifícios condicionados, parcialmente condicionados e não condicionados. A classificação se divide em três sistemas individuais que recebem níveis de eficiência que variam de A (mais eficiente) a E (menos eficiente), são eles:

Envoltória;

Sistema de Iluminação;

Sistema de Condicionamento de Ar.

Para a obtenção da classificação geral, cada sistema recebe um peso e de acordo com a pontuação final é atribuído uma classificação.

Envoltória = 30%

Sistema de iluminação = 30%

Sistema de Condicionamento de Ar = 40%

ENVOLTÓRIA

Pré-requisitos específicos

A tabela abaixo mostra uma síntese dos pré-requisitos exigidos para a classificação em cada nível de eficiência.

Nível de eficiência	Transmitância térmica da cobertura e paredes exteriores	Cores e absorvância de superfícies	Iluminação zenital
A	X	X	X
B	X	X	X
C e D	X		

Tabela 26 Síntese dos pré-requisitos específicos da envoltória. (Fonte: Manual RTQ-C 2013)

A baixo, estes itens serão detalhados de acordo com os pré-requisitos para o nível A:

Transmitância térmica da cobertura e paredes externas

A Tabela a seguir mostra que, segundo o RTQ-C, para a zona bioclimática onde está inserida a biblioteca (zona 6) a transmitância máxima aceita para ambientes condicionados artificialmente é de 1,0 W/m²K.

Segundo o levantamento realizado por FILHO (2008), a cobertura da biblioteca que é composta por telha galvanizada, camada de ar, isolante térmico (feltro com revestimento em filme plástico) e laje de concreto maciça possuiu uma transmitância térmica (baseada em uma média ponderada) de 0,96 W/m²K. Ou seja, se enquadra dentro do requisito de transmitância exigido para o nível A.

Zonas Bioclimáticas	Transmitância térmica máxima	
	Ambientes Condicionados Artificialmente	Ambientes Não Condicionados
ZB 1 e 2	0,5 W/m ² K	1,0 W/m ² K
ZB 3 a 8	1,0 W/m ² K	2,0 W/m ² K

Tabela 27 Síntese das exigências para transmitância térmica máxima de cobertura para nível A (Fonte: Manual RTQ-C 2013)

Zonas Bioclimáticas	Transmitância térmica máxima	
ZB 1 e 2	1,0 W/m ² K	
ZB 3 a 6	3,7 W/m ² K	
ZB 7 a 8	2,5 W/m ² K para paredes com capacidade térmica máxima de 80 kJ/m ² K	3,7 W/m ² K para paredes com capacidade térmica superior a 80 kJ/m ² K

Tabela 28 Síntese das exigências para transmitância térmica máxima de paredes exteriores para nível A (Fonte: Manual RTQ-C 2013)

Cores e Absortância de superfícies

O RTQ-C exige para as zonas bioclimáticas de 2 a 8, paredes externas e coberturas com revestimentos que tenham a absortância solar baixa, $\alpha \leq 0,5$ do espectro solar, ou no caso da cobertura, telhas cerâmicas não esmaltadas, teto jardim ou reservatórios de água.

A tabela a seguir demonstra os valores da absorvência das paredes externas da biblioteca, que foram levantadas por Filho (2008), a média ponderada desses valores é de $\alpha_m = 0,4$ satisfazendo assim o pré-requisito.

Revestimento / Cor	Área (m ²)	Absorvência (α)
Cerâmico / Bege	262,20	0,38
Cerâmico / Marrom Claro	330,00	0,60
Textura / Amarelo Claro	598,96	0,30
Textura / Verde Claro	100,71	0,40

Tabela 29 Absorvência das paredes externas (Fonte: FILHO 2008)

A cobertura da biblioteca que é composta por telha metálica possui segundo Filho (2008) $\alpha=0,25$, que também satisfaz o pré-requisito. É importante lembrar que este valor foi adotado admitindo-se que a telha é nova e que com o passar do tempo essas telhas vão sujando e se desgastando, podendo ter um aumento no valor de sua absorvência solar.

Iluminação Zenital

O edifício da biblioteca possui aberturas zenitais com fechamento translúcido em policarbonato, a tabela a seguir possui os valores limites, onde a abertura zenital deverá corresponder ao seu respectivo fator solar.

PAZ	0 a 2%	2,1 a 3%	3,1 a 4%	4,1 a 5%
FS	0,87	0,67	0,52	0,30

Tabela 30 Limites de Fator Solar de vidros e de Percentual de abertura Zenital para coberturas (Fonte: RTQ-C 2013)

Segundo FILHO (2008), o PAZ da biblioteca é de 2% e seu FS é de 0,85 o que significa que a biblioteca satisfaz o pré-requisito.

PROCEDIMENTOS DE CÁLCULO

Os dados apresentados na tabela a baixo são de FILHO (2008), um trabalho realizado anteriormente para a etiquetagem da biblioteca, seguindo as normas da ABNT.

Tabela 31. Características do edifício analisado

A_{PCOB}(m²)	938,49
A_{TOT} (m²)	2817,97
A_{ENV} (m²)	2775,17
V_{TOT} (m³)	9854,36
PAF_T	0,14
AVS	45°
AHS	0
FF	0,28
FA	0,33
FS	0,87

Fonte: FILHO, 2008

IC_{env}: Indicador de Consumo da envoltória (adimensional);

A_{pe}: Área de projeção do edifício; (m²);

A_{tot}: Área total construída (m²);

A_{env}: Área da envoltória (m²);

A_{pcob}: Área de projeção da cobertura (m²);

AVS: Ângulo Vertical de Sombreamento;

AHS: Ângulo Horizontal de Sombreamento;

FF: Fator de Forma, (A_{env}/ V_{tot});

FA: Fator Altura, (A_{pcob}/ A_{tot});

FS: Fator Solar;

PAFT: Percentual de Abertura na Fachada total (adimensional, para uso na equação);

V_{tot}: Volume total da edificação (m³).

Procedimento para classificação:

Calcula-se o indicador de consumo por meio da equação IC_{env} com os dados do projeto do edifício.

Zona Bioclimática 6 e 8:

A_{pe} ≤ 500 m²

Limite: Fator de forma máximo (A_{env}/V_{tot}) = 0,48

IC_{env} = -160,36 FA + 1277,29.FF -19,21PAF_T +2,95.FS - 0,36.AVS -0,16.AHS +290,25.FF.PAF_T +0,01.PAF_T.AVS.AHS -120,58

$$IC_{env} = 181,06$$

Calcula-se o limite do indicador de consumo para aquela volumetria, $IC_{máxD}$, por meio da mesma equação, mas com parâmetros de entrada fornecidos pela Tabela 32

Tabela 32. Parâmetros do $IC_{máxD}$

PAF _T	FS	AVS	AHS
0,60	0,61	0	0

Fonte: RTQ-C, 2013

$$IC_{máxD} = -160,36 FA + 1277,29.FF -19,21PAF_T +2,95.FS - 0,36.AVS -0,16.AHS +290,25.FF.PAF_T +0,01.PAF_T.AVS.AHS -120,58$$

$$IC_{máxD} = 223,1779$$

Calcula-se o limite mínimo $IC_{mín}$ por meio da equação, com os parâmetros de entrada fornecidos pela Tabela 3.3; o $IC_{mín}$ representa o indicador de consumo mínimo para aquela volumetria;

PAF _T	FS	AVS	AHS
0,05	0,87	0	0

Tabela 33 Parâmetros do $IC_{mín}$ (Fonte: RTQ-C, 2013)

$$IC_{mín} = -160,36 FA + 1277,29.FF -19,21PAF_T +2,95.FS - 0,36.AVS -0,16.AHS +290,25.FF.PAF_T +0,01.PAF_T.AVS.AHS -120,58$$

$$IC_{mín} = 189,8119$$

Os limites $IC_{máxD}$ e $IC_{mín}$ representam o intervalo dentro do qual a edificação proposta deve se inserir. O intervalo é dividido em 4 partes (i), cada parte se refere a um nível de classificação numa escala de desempenho que varia de A a E. A subdivisão i do intervalo é calculada com a seguinte Equação:

$$i = \frac{(IC_{máxD} - IC_{mín})}{4}$$

$i = 8,3415$

Com o valor de i calculado, preenche-se a tabela abaixo

Eficiência	A	B	C	D	E
Lim Mín	-	$IC_{mínD} - 3i + 0,01$	$IC_{mínD} - 2i + 0,01$	$IC_{mínD} - i + 0,01$	$IC_{mínD} + 0,01$
Lim Máx	$IC_{mínD} - 3i$	$IC_{mínD} - 2i$	$IC_{mínD} - i$	$IC_{mínD}$	-

Tabela 34 Limites dos intervalos dos níveis de eficiência. Fonte: RTQ-C, 2013

Limites dos intervalos dos níveis de eficiência					
Eficiência	A	B	C	D	E
Lim Mín		198,1634	206,5049	214,8464	223,1879
Lim Máx	198,1534	206,4949	214,8364	223,1779	

Tabela 35 Limites dos intervalos dos níveis de eficiência. Fonte: elaboração do autor

Comparando o IC_{env} obtido ($IC_{env} = 181,06$) com a tabela de limites dos intervalos dos níveis de eficiência chegamos a classificação A para a envoltória da biblioteca.

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO PARA PRIMEIRA ETAPA



Universidade Federal do Mato Grosso do Sul
Laboratório de Análise e Desenvolvimento de Edificações
Mestrado Profissional em Eficiência Energética e Sustentabilidade
Questionário de Conforto Térmico - Biblioteca Central UFMS



DATA: ____/____/____

PAVIMENTO: T() 1() 2()

1. Dados pessoais:

Idade: _____ Altura: _____ Peso: _____ Sexo: () Masc. () Fem.

2. Preencha a tabela a seguir, marcando quando for solicitado apenas um x para cada questão.

ETAPA		1	2	3	4	
NÚMERO DA MESA						
HORÁRIO		+	+	+	-	
Termicamente, como você está se sentindo neste instante?	+3 Com muito calor	☐	☐	☐	☐	
	+2 Com calor	☐	☐	☐	☐	
	+1 Levemente com calor	☐	☐	☐	☐	
	0 Neutro	☐	☐	☐	☐	
	-1 Levemente com frio	☐	☐	☐	☐	
	-2 Com frio	☐	☐	☐	☐	
	-3 Com muito frio	☐	☐	☐	☐	
Termicamente, como você gostaria de estar se sentindo neste instante?	Mais aquecido	☐	☐	☐	☐	
	Sem alteração	☐	☐	☐	☐	
	Mais resfriado	☐	☐	☐	☐	
Como você está se sentindo em relação a velocidade do ar neste instante?	Confortável	Com muita velocidade do ar	☐	☐	☐	☐
		Velocidade do ar aceitável	☐	☐	☐	☐
		Com pouca velocidade do ar	☐	☐	☐	☐
	Desconfortável	Com muita velocidade do ar	☐	☐	☐	☐
		Com pouca velocidade do ar	☐	☐	☐	☐
Como você gostaria que estivesse a velocidade do ar neste instante?	Com mais velocidade do ar	☐	☐	☐	☐	
	Sem alteração	☐	☐	☐	☐	
	Com menos velocidade do ar	☐	☐	☐	☐	
Termicamente, como você está neste momento?	Confortável	☐	☐	☐	☐	
	Desconfortável	☐	☐	☐	☐	

APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO PARA SEGUNDA ETAPA



Universidade Federal do Mato Grosso do Sul
Laboratório de Análise e Desenvolvimento de Edificações
Mestrado Profissional em Eficiência Energética e Sustentabilidade
Questionário de Conforto Térmico: Biblioteca Central UFMS



Data: ____/____/____ Horário: ____:____ Pavimento: ☐ 1 ☐ 2 ☐ Mesa: _____

CASO TENHA ALGUMA DIFICULDADE OU DÚVIDA EM RELAÇÃO AO QUESTIONÁRIO, POR GENTILEZA, CONSULTE UM DOS APLICADORES

1. Você está na biblioteca há mais de 20 minutos? () SIM () NÃO

2. Dados pessoais:

Idade: _____ Altura: _____ Peso: _____ Sexo: ☐ Masc. ☐ Fem.

3. Marque as roupas que está utilizando neste momento:

 ☐ Regata	 ☐ Camiseta	 ☐ Blusa manga longa	 ☐ Jaqueta	 ☐ Calçado Fechado	 ☐ Boné/Chapéu
 ☐ Bermuda	 ☐ Sala	 ☐ Calça	 ☐ Meias	 ☐ Calçado aberto	 ☐ Roupas íntimas

4. Que atividade você estava realizando agora há pouco? (Nos últimos 20min)

- ☐ Parado, em pé ☐ Sentado
☐ Andando ☐ Correndo ou alguma atividade intensa

5. Porque motivo você escolheu estar neste lugar? (marque um ou mais itens)

- ☐ Pelo silêncio ☐ Pelo conforto térmico
☐ Pelo acesso aos livros ☐ Pela disponibilidade de mesas e cadeiras
☐ Pela disponibilidade de tomadas ☐ Pelo acesso à internet
Outro: _____

6. Como você está se sentindo neste momento?

☐ Com muito calor	☐ Com calor	☐ Levemente com calor	☐ Neutro	☐ Levemente com frio	☐ Com frio	☐ Com muito frio
--	------------------------------------	--	---------------------------------	---	-----------------------------------	---

7. Como você gostaria de estar se sentindo neste momento?

☐ Mais resfriado	☐ Sem alteração	☐ Mais aquecido
---	--	--

8. Com relação à temperatura, como você avalia o conforto térmico da biblioteca?

☐ Péssimo	☐ Ruim	☐ Regular	☐ Bom	☐ Ótimo
----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	------------------------------	--------------------------------