

**ANDERSON ANTONIO UBICES DE MORAES**

**ESTUDOS DO CONFORTO TÉRMICO DO AT 7 DO CAMPUS  
DA UFSCAR DE SÃO CARLOS (SP)**

**SÃO CARLOS  
2021**

**ANDERSON ANTONIO UBICES DE MORAES**

**ESTUDOS DO CONFORTO TÉRMICO DO AT 7 DO CAMPUS DA UFSCAR DE  
SÃO CARLOS (SP)**

**Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado  
ao Curso de Graduação de Engenharia Civil do  
Centro Universitário Central Paulista, como  
requisito para a obtenção do título de bacharel  
em Engenharia Civil.**

**Orientador: Prof. Dr. Érico Masiero**

**SÃO CARLOS**

**2021**

Dedico este trabalho a Deus, a quem sou eternamente grato, e a toda minha família que sempre me apoiou em todos os momentos. Em especial, ao meu irmão Emerson (*in memoriam*) e a pequena Helena, minha amada filha.

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Érico Masiero, por ter aceitado a orientação e pela atenção e estímulo para realização deste trabalho. Meu sincero agradecimento pela credibilidade depositada em mim.

Aos professores do curso de Engenharia Civil da UNICEP, pelos ensinamentos, correções e paciência que me guiaram durante esta nova fase de aprendizado. Em especial ao Prof. Simar Amorim pela paciência e excelentes sugestões na fase de escrita deste trabalho.

As Professoras Sandra R. M. Silva da UFSCar e Lorena S. B. Couto da UNICEP pelas excelentes sugestões, revisões e aconselhamento, que elevaram o padrão e qualidade do trabalho.

Aos colegas de curso, com quem convivi durante estes últimos anos, pelas trocas de experiência, incentivo e por permitir ter uma nova visão do papel aluno e professor, que muito me enriqueceu como pessoa.

Aos amigos e familiares, que sempre estiveram ao meu lado e me motivaram em diversos momentos de fraqueza e desânimo. Para minha amada esposa Simone e as pequenas Luana e Alice pelos bons momentos e aprendizado em como viver em família.

Para minha filha Helena Sena de Moraes por toda sua alegria e felicidade, que me fortalece e edifica para enfrentar os percalços do dia a dia.

E a todos que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

“Se não sabes, aprende; se já sabes, ensina.”  
Confúcio.

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1	OBJETIVOS	4
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO	4
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>6</b>
2.1	CONFORTO TÉRMICO	6
2.2	BALANÇO DE ENERGIA NA ZONA TÉRMICA	10
2.3	CARGAS TÉRMICAS INTERNAS	11
2.3.1	Ganho de calor devido a iluminação	11
2.3.2	Ganhos de calor devido a equipamentos	13
2.3.3	Ganhos de calor devido às pessoas	14
2.4	TRANSFERÊNCIA DE CALOR PELA ENVOLTÓRIA	15
2.4.1	Transmitância térmica	17
2.4.2	Atraso e coeficiente de amortecimento térmico	21
2.4.3	Absortância	24
2.4.4	Fator solar	26
2.5	VENTILAÇÃO NATURAL	27
2.6	PROGRAMAS DE SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS	34
2.7	LEGISLAÇÃO E NORMAS	36
2.8	ESTUDOS DE SIMULAÇÃO ENVOLVENDO POC	39
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>43</b>
3.1	OBJETO DE ESTUDO	43
3.1.1	Caracterização da edificação	43
3.1.2	Caracterização do clima	49
3.2	MODELAGEM DO EDIFÍCIO	51
3.2.1	Definição das zonas térmicas e da envoltória	51
3.2.2	Propriedades termofísicas da envoltória	55
3.2.3	Modelagem da ventilação natural	58
3.2.4	Definição das cargas térmicas internas	61
3.3	ZONA DE CONFORTO TÉRMICO ADAPTATIVO	63
3.4	FORMAS DE ANÁLISE DOS RESULTADOS	65
3.5	CASOS SIMULADOS	67
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>69</b>

4.1	<b>CORRELAÇÃO DE CONFORTO ADAPTATIVO .....</b>	<b>69</b>
4.2	<b>COMPARAÇÃO DO EDIFÍCIO ANTIGO, NOVO E MUDANÇAS PARCIAIS ..</b>	<b>72</b>
4.3	<b>AVALIAÇÃO DO POC EM DISTINTAS CONFIGURAÇÕES DE OCUPAÇÃO .....</b>	<b>77</b>
5	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>82</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>85</b>
	<b>APÊNDICE 1 - ABSORTÂNCIA DAS SUPERFÍCIES .....</b>	<b>93</b>

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>FIGURA 2-1</b> - RELAÇÃO ENTRE TEMPERATURA NEUTRA INTERNA E TEMPERATURA MÉDIA MENSAL EXTERNA, MODELO ASHRAE 55 .....	9
<b>FIGURA 2-2</b> - FLUXOS DE ENERGIA TÉRMICA RELACIONADOS AO GANHO DE CALOR EM SUPERFÍCIES OPACAS.....	18
<b>FIGURA 2-3</b> - COMPOSIÇÃO E TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DE TRÊS DIFERENTES PAREDES.....	20
<b>FIGURA 2-4</b> - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS TEMPERATURAS SUPERFICIAIS EXTERNA E INTERNA DE UMA EDIFICAÇÃO. ....	22
<b>FIGURA 2-5</b> - DADOS DE CALCULADORA ONLINE PARA CÁLCULOS DE PROPRIEDADES TÉRMICAS (TRANSMITÂNCIA, ATRASO E CAPACIDADE TÉRMICA). CASO A) PAREDE COM BLOCO CERÂMICO DE 12CM E REVESTIMENTO INTERNO E EXTERNO DE 2,5CM DE ARGAMASSA. CASO B) PAREDE MACIÇA DE CONCRETO DE 55CM.....	23
<b>FIGURA 2-6</b> - ESQUEMA DO MECANISMO DA VENTILAÇÃO POR AÇÃO DOS VENTOS COM ZONAS DE SOBREPRESSÃO, SUÇÃO E FLUXO DO AR NO INTERIOR. ....	28
<b>FIGURA 2-7</b> - ILUSTRAÇÃO DA REDE DE NÓS DE PRESSÃO DE UM MODELO DE DUAS ZONAS.....	29
<b>FIGURA 2-8</b> - FATORES GEOMÉTRICOS ASSOCIADOS A UMA ABERTURA.....	30
<b>FIGURA 2-9</b> - VISTA DO INTERIOR (À ESQUERDA) E SUPERIOR (À DIREITA) DA ESTAÇÃO RODOVIÁRIA INTERMUNICIPAL DE CAMPINAS-SP.....	34
<b>FIGURA 2-10</b> - AVALIAÇÃO DO POC PARA PROJETO INICIAL (AZUL) E COM MODIFICAÇÕES PASSIVAS DE CLIMATIZAÇÃO (LARANJA).....	42
<b>FIGURA 3-1</b> - MAPA GERAL DA ÁREA URBANIZADA DO CAMPUS DA UFSCAR - SÃO CARLOS E LOCALIZAÇÃO DO AT7. ....	44
<b>FIGURA 3-2</b> – VISTA DAS FACHADAS SUL (A) E NORTE (B) DO BLOCO AT-7 OBTIDAS EM 2011.....	44
<b>FIGURA 3-3</b> - VISTA PANORÂMICA DO ANDAR TÉRREO (A) E SEGUNDO PAVIMENTO (B). ....	45
<b>FIGURA 3-4</b> – VISTA DA PAREDE DIVISÓRIA ENTRE CORREDOR E SALAS DE AULA COM DESTAQUE AS JANELAS FIXAS DE VENTILAÇÃO PERMANENTE. ....	46
<b>FIGURA 3-5</b> – VISTA PANORÂMICA DA SALA 01. NO CENTRO DA FOTO ESTÃO DISPOSTAS AS JANELAS NA FACHADA SUL E, NAS SUAS LATERAIS, AS JANELAS FIXAS DE VENTILAÇÃO PERMANENTE.....	47
<b>FIGURA 3-6</b> - VISTA DAS FACHADAS SUL (A) E NORTE (B) DO BLOCO AT-7 OBTIDAS EM 2020.....	47
<b>FIGURA 3-7</b> - PAREDE DE CONCRETO DE ELEMENTOS VAZADOS COM ABERTURA E LÂMINA DE VIDRO.....	48
<b>FIGURA 3-8</b> - MAPA DE CALOR DA TEMPERATURA DE BULBO SECO EXTERNA AO LONGO DAS HORAS DO DIA E MESES DO ANO DE SÃO CARLOS-SP.....	49
<b>FIGURA 3-9</b> - ROSA DOS VENTOS COM VELOCIDADES PREDOMINANTES E FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA AO LONGO DAS ESTAÇÕES DO ANO PARA CIDADE DE SÃO CARLOS -SP.....	50
<b>FIGURA 3-10</b> – VISTA DE CORTES TRANSVERSAIS E LONGITUDINAIS DO AT-7.....	52
<b>FIGURA 3-11</b> – PLANTA BAIXA DOS TRÊS PAVIMENTOS DO AT-7.....	52
<b>FIGURA 3-12</b> – VISTAS EM PERSPECTIVAS DAS FACHADAS SUL (À ESQUERDA) E NORTE (À DIREITA) COM ELEMENTOS OPACOS DA ENVOLTÓRIA E SUPERFÍCIES DE SOMBREAMENTO.....	53
<b>FIGURA 3-13</b> - VISTAS EM PERSPECTIVAS DAS FACHADAS SUL (À ESQUERDA) E NORTE (À DIREITA) COM ELEMENTOS OPACOS, TRANSLÚCIDOS E SOMBREAMENTO.....	53

<b>FIGURA 3-14</b> - VISTA DA FACHADA LESTE DO EDIFÍCIO 161 E DA FACHADA NORTE DO AT-7 OBTIDAS EM 2018.....	58
<b>FIGURA 3-15</b> – VISTA DA SALA DE AULA DO LABORATÓRIO COMPUTACIONAL.....	62
<b>FIGURA 3-16</b> - VARIAÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA MENSAL (TM,EXT) E DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS E MÍNIMAS DE CONFORTO TÉRMICO ADAPTATIVO PARA MODELO ASHRAE 55.....	64
<b>FIGURA 3-17</b> - VARIAÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA MENSAL (TM,EXT) E DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS E MÍNIMAS DE CONFORTO TÉRMICO ADAPTATIVO POR CORRELAÇÕES PROPOSTAS POR BRASIL (2015).....	64
<b>FIGURA 3-18</b> –TEMPERATURA MÉDIA DOS 30 DIAS ANTERIORES E DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS E MÍNIMAS DE CONFORTO ADAPTATIVO PARA O MODELO ASHRAE 55. ....	65
<b>FIGURA 3-19</b> –ESQUEMA DA NOMENCLATURA DAS SIMULAÇÕES.....	68
<b>FIGURA 4-1</b> - AVALIAÇÃO DO POC CONFORME MODELO ADAPTATIVO DAS SALAS DO ANDAR TÉRREO ANTES DAS REFORMAS. ....	70
<b>FIGURA 4-2</b> - AVALIAÇÃO DO POC CONFORME MODELO ADAPTATIVO DAS SALAS DO PRIMEIRO PAVIMENTO ANTES DAS REFORMAS.....	71
<b>FIGURA 4-3</b> - AVALIAÇÃO DO POC CONFORME MODELO ADAPTATIVO DAS SALAS DO SEGUNDO PAVIMENTO ANTES DAS REFORMAS. ....	72
<b>FIGURA 4-4</b> - AVALIAÇÃO POC - ASHRAE 55 30 DIAS ANTERIORES, PARA SALAS DE AULA ANDAR TÉRREO NAS CONDIÇÕES ANTIGAS E NOVAS.....	73
<b>FIGURA 4-5</b> - AVALIAÇÃO POC - ASHRAE 55 30 DIAS ANTERIORES, PARA SALAS DO PRIMEIRO PAVIMENTO NAS CONDIÇÕES ANTIGAS E NOVAS. ....	74
<b>FIGURA 4-6</b> - AVALIAÇÃO POC - ASHRAE 55 30 DIAS ANTERIORES, PARA SALAS DE AULA DO SEGUNDO PAVIMENTO NAS CONDIÇÕES ANTIGAS E NOVAS. ....	75
<b>FIGURA 4-7</b> - TROCAS DE AR DE RENOVAÇÃO DAS SALAS 01, 05 E 11 POR HORAS IGUAL OU EXCEDENTE. EM VERMELHO INDICA OS VALORES ANTES DAS MODIFICAÇÕES E, EM AZUL, APÓS AS MODIFICAÇÕES. ....	76
<b>FIGURA 4-8</b> - AVALIAÇÃO POC - ASHRAE 55 30 DIAS ANTERIORES, PARA SALAS DO PAVIMENTO TÉRREO COM DIFERENTES PORCENTAGENS DE CARGAS TÉRMICAS INTERNAS. ....	77
<b>FIGURA 4-9</b> - AVALIAÇÃO POC - ASHRAE 55 30 DIAS ANTERIORES, PARA SALAS DO PRIMEIRO PAVIMENTO COM DIFERENTES PORCENTAGENS DE CARGAS TÉRMICAS INTERNAS. ....	78
<b>FIGURA 4-10</b> - AVALIAÇÃO POC - ASHRAE 55 30 DIAS ANTERIORES, PARA SALAS DO SEGUNDO PAVIMENTO COM DIFERENTES PORCENTAGENS DE CARGAS TÉRMICAS INTERNAS.....	79

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 2.1</b> – ESCALA SENSORIAL DE SETE PONTOS. ....	7
<b>TABELA 2.2</b> – VALORES RECOMENDADOS PARA CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA ILUMINAÇÃO NA DÉCADA DE 90. ....	12
<b>TABELA 2.3</b> – VALORES RECOMENDADOS PARA CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA ILUMINAÇÃO NA DÉCADA DE 2000. ....	12
<b>TABELA 2.4</b> – VALORES RECOMENDADOS PARA CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA ILUMINAÇÃO NA DÉCADA DE 2010. ....	12
<b>TABELA 2.5</b> – GANHO TÉRMICO DE CALOR DE EQUIPAMENTOS TÍPICOS DE ESCRITÓRIO. .	13
<b>TABELA 2.6</b> – DENSIDADE MÉDIA DE CARGA DEVIDO A EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS PARA ESCRITÓRIO. ....	14
<b>TABELA 2.7</b> – CALOR LIBERADO PELAS PESSOAS EM FUNÇÃO DE ATIVIDADE E TEMPERATURA DO AMBIENTE. ....	15
<b>TABELA 2.8</b> – TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DE ELEMENTOS TRANSLÚCIDOS. ....	21
<b>TABELA 2.9</b> – ABSORTÂNCIA DE ALGUNS MATERIAIS E CORES. ....	25
<b>TABELA 2.10</b> – EXPOENTE DE FLUXO DE AR ATRAVÉS DAS FRESTAS. ....	31
<b>TABELA 2.11</b> – COEFICIENTES DE FLUXO DE AR PARA JANELAS E PORTAS. ....	31
<b>TABELA 2.12</b> – VALORES DE EXPOENTE E CAMADA LIMITE PARA DIFERENTES CATEGORIAS DE TERRENO. ....	33
<b>TABELA 2.13</b> – RESUMO DE TRABALHOS DE CONFORTO TÉRMICO POR SIMULAÇÃO DA VENTILAÇÃO NATURAL. ....	41
<b>TABELA 3.1</b> – ÁREA DE ABERTURA POR TIPO DAS SALAS DE AULAS. ....	54
<b>TABELA 3.2</b> – ÁREA DE ABERTURA DOS ELEMENTOS VAZADOS DE CONCRETO POR SUA ORIENTAÇÃO NA EDIFICAÇÃO. ....	54
<b>TABELA 3.3</b> – TRANSMITÂNCIAS E CAPACIDADES TÉRMICAS E, ABSORTÂNCIA DOS ELEMENTOS DAS ZONAS TÉRMICAS. ....	57
<b>TABELA 3.4</b> – PARÂMETROS DE TRANSPORTE PARA VENTILAÇÃO NATURAL NAS SALAS DE AULA. ....	59
<b>TABELA 3.5</b> – PARÂMETROS DE TRANSPORTE PARA VENTILAÇÃO NATURAL PARA OS CORREDORES HORIZONTAIS E AS ZONAS TÉRMICAS DO <i>HALL</i> . ....	60
<b>TABELA 3.6</b> – CARGAS TÉRMICAS INTERNAS POR TIPO PARA CADA AMBIENTE. ....	61
<b>TABELA 3.7</b> – EQUIVALENTE NUMÉRICO PARA VENTILAÇÃO NATURAL SEGUNDO RTQ-C. .	66
<b>TABELA 3.8</b> – CLASSIFICAÇÃO FINAL DO EQUIVALENTE NUMÉRICO DA EDIFICAÇÃO. ....	67
<b>TABELA 4.1</b> – PONDERAÇÃO DAS ÁREAS E NÍVEL DA ETIQUETA PARA OBTENÇÃO DO EQNUM DA VENTILAÇÃO FINAL PARA O EDIFÍCIO ANTES E APÓS AS REFORMAS. ....	76
<b>TABELA 4.2</b> – EQUIVALENTES NUMÉRICOS FINAIS DA VENTILAÇÃO NATURAL PARA DIFERENTES NÍVEIS DE OCUPAÇÃO APÓS AS REFORMAS. ....	80
<b>TABELA 4.3</b> – DENSIDADES DE OCUPAÇÃO PROPOSTAS EM PROJETO DO AT-7 EM PESSOAS EM 100 M <sup>2</sup> POR AMBIENTE. ....	81

## LISTA DE ABREVIações

ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i> (Sociedade Americana de Engenheiro de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado).
AVAC	Aquecimento, ventilação e ar condicionado.
BEST	Building Energy Software Tools (Ferramentas computacionais de energia em construções).
DPI	Densidade de Potência de Iluminação.
E+	<i>EnergyPlus</i> .
EDF	Escritório de Desenvolvimento Físico.
FS	Fator solar.
LED	<i>Light emitting diode</i> (Diodo emissor de luz).
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem.
PMV	<i>Predicted Mean Vote</i> (Voto Médio Estimado – VME).
POC	Percentual de Horas Ocupadas em Conforto.
RTQ-C	Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos.
SHGH	<i>Solar Heat Gain Coefficient</i> (coeficiente de ganho de calor solar CGCS).
TBS	Temperatura de bulbo seco.
TMY	<i>Typical Meteorological Year</i> (Ano meteorológico típico).

## RESUMO

### ESTUDOS DO CONFORTO TÉRMICO DO AT 7 DO CAMPUS DA UFSCAR

Análise do conforto térmico são desejáveis para avaliar as condições climáticas no interior de edifícios que sejam propícios às atividades humanas. Em condições inadequadas de temperatura, umidade relativa e qualidade do ar, o corpo humano sofre uma sobrecarga metabólica que impacta na sua perda de produtividade, no afastamento frequente dos seus usuários devido aos problemas de saúde e outros. Nesta situação, é desejável o uso de técnicas passivas de climatização, tais como o uso da ventilação natural e na escolha adequada dos materiais e cores dos fechamentos. Porém pouca ênfase é dada a estes temas na fase conceitual de projeto ou durante as reformas da construção, sendo necessário posteriormente, o emprego de sistemas de climatização artificiais, que se traduzem num elevado gasto energético destes edifícios. Como exemplo, têm-se o bloco de aulas AT-7 localizado no *campus* da UFSCar de São Carlos. Verifica-se que em seu projeto inicial, foram utilizadas diversas técnicas bioclimáticas como paredes externas com maior espessura, maiores fachadas voltadas para norte e sul, no emprego de tonalidades claras e uso da ventilação cruzada. Posteriormente, após a última reforma, as cores foram modificadas e houve uma diminuição das áreas disponíveis para a ventilação natural. Este trabalho teve como objetivo analisar as condições de conforto térmico das salas de aulas do edifício AT-7 antes e após as reformas, através de simulação computacional com o programa EnergyPlus. Os resultados mostram que ocorreu uma queda na qualidade do conforto térmico dos ambientes, principalmente, das salas presentes no primeiro e segundo pavimento pelo decréscimo da ventilação natural. Entretanto, ressalta-se que a edificação ainda teria um mesmo nível de etiqueta nível “B” segundo metodologia proposta pelo RTQ-C em ambos os casos sendo o Equivalente numérico final devido à ventilação natural de 3,97 e 3,61 para a situação anterior e posterior à reforma, respectivamente. Dentre as modificações realizadas, quando analisadas de forma separadas, a mudança da pintura externa ocasionou uma piora do conforto térmico maior do que as obstruções dos cobogós para as salas do térreo. Contudo, para o primeiro e segundo pavimento, o efeito da redução da ventilação natural teve maior impacto no conforto devido a um aumento das horas devido ao calor.

**Palavras-chave:** Ventilação Natural; EnergyPlus; Conforto térmico.

## **1 INTRODUÇÃO**

A revolução industrial foi um grande marco para a humanidade e permitiu grandes avanços tecnológicos com um aumento expressivo na exploração dos recursos naturais, nos meios de produção e no controle de diversas formas de energia nunca antes imagináveis. Percebe-se que a vida moderna nos padrões atuais não seria possível sem os consumos energéticos praticados a partir do século dezenove.

Espera-se que a rápida urbanização praticada nas últimas décadas ainda continue por todo o século XXI exigindo uma maior e crescente demanda por energia conforme ocorram crescimento da população mundial e melhorias constantes no padrão de vida, principalmente nos países em desenvolvimento, como o caso do Brasil.

Dentre estes fatos, Rosa (2014) estimou que em 2011, as edificações consumiram aproximadamente 40% de toda energia elétrica no planeta; enquanto dados do Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 2016) para o ano base de 2015, indicou que mais de 50% de toda a energia elétrica produzida no Brasil foi utilizada em edificações comerciais, residenciais e públicas.

Ceotto (2008), após um extenso levantamento do uso de energia nas edificações, concluiu que os maiores gastos energéticos num edifício comercial com vida útil de aproximadamente 50 anos ocorrem na sua fase de uso e operação, na fase de construção e durante as adaptações para reuso, cujos índices, respectivamente são de 80%, 14 % e 5% do total.

Segundo Moraes, Guidetti e Alves (2018) as formas de consumos finais durante a fase de uso são complexas, mas podem ser subdivididas em iluminação, no uso de equipamentos elétricos gerais e no condicionamento do ar do ambiente. A porcentagem de cada componente depende da finalidade de uso dos equipamentos, das condições climáticas, da eficiência de cada equipamento elétrico, do posicionamento e das propriedades termofísicas da envoltória. Como exemplo, o relatório brasileiro energético de 2005 (BRASIL, 2007) forneceu um uso de aproximadamente 45% da energia elétrica de uso em edifícios públicos e comerciais para o sistema de climatização (ar condicionado do tipo tradicional, isto é, refrigeração por compressão à vapor, por ventiladores mecânicos e outros).

## **Introdução**

---

Nota-se claramente, que técnicas passivas de climatização são desejáveis, tanto por ocasionar uma diminuição dos impactos ambientais atrelados à produção e distribuição de energia, quanto pelos custos de operação de tais equipamentos (LEITE *et al.*, 2019). Castaño (2017) argumenta que, no Brasil, o uso da ventilação natural é uma excelente estratégia passiva para garantir níveis de conforto térmico adequados no interior dos edifícios e devem ser estudados desde o início do projeto arquitetônico para garantir sua melhor eficácia.

Guidetti (2016) ilustra que após as crises do petróleo da década de 1970 várias políticas internacionais e nacionais foram desenvolvidas para melhorar o consumo de energia elétrica em edifícios. Entre elas pode-se destacar a *Passivhaus* na Alemanha, BREEAM no Reino Unido, LEED nos Estados Unidos e ADENE-SCE em Portugal. No Brasil, a partir de diversas leis e decretos, foram definidos em 2010 os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), a partir do âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE)<sup>1</sup>.

No RTQ-C, o selo de conformidade ou etiqueta nacional de conservação de energia que varia de “A” (mais eficiente) a “E” menos eficiente, pode ser obtido parcialmente para o sistema de envoltória, de iluminação ou do condicionamento de ar (artificial e/ou pela ventilação natural) ou através de uma etiqueta total dada pela média ponderada, respectivamente, de 30%, 30% e 40% das etiquetas parciais da envoltória, de iluminação e do condicionamento de ar. As formas de cálculo desses níveis de eficiência podem ser calculadas a partir de dois métodos sendo o prescritivo e o de simulação computacional.

No método prescritivo são avaliados diversos parâmetros da construção, dos equipamentos de iluminação e dos sistemas artificiais de climatização e, através de cálculos padronizados, fornecem um índice de eficiência. No método de simulação computacional, a edificação e seus equipamentos devem ser modelados e simulados num programa que seja capaz de simular o consumo de energia e seja validado pela *ASHRAE Standard 140* (BRASIL, 2013).

Embora este último método exija uma mão de obra qualificada, ele é o indicado para avaliar edifícios com configurações complexas e, principalmente, a

---

<sup>1</sup> <http://www.pbeedifica.com.br>, acessado em 30/03/2020

## **Introdução**

---

eficácia da ventilação natural através do cálculo do percentual de horas de conforto térmico (POC). Atualmente, o RTQ-C, por se tratar de um regulamento não obrigatório para edifícios comerciais, é ainda pouco utilizado por construtoras e proprietários de edifícios, sendo que até março de 2020 foram solicitadas apenas 217 etiquetas<sup>2</sup>.

Entretanto, espera-se que nos próximos anos ocorra a obrigatoriedade do programa para todos os tipos de edifícios (comerciais, públicos e residenciais), enquanto, nota-se claramente uma lacuna no mercado de mão de obra especializada no ramo da construção civil para tais tipos de serviços técnicos.

Outro ponto a destacar é o estudo de conforto térmico em salas de aula, principalmente nos blocos de aulas de universidades públicas e privadas. Como observado por Lucas e Da Silva (2017), os estudantes passam boa parte do seu dia em salas de aula e, em função disso, as condições desses ambientes podem trazer diversos danos psicológicos e fisiológicos aos seus ocupantes e é necessário proporcionar condições ambientais adequadas para pleno desenvolvimento de suas capacidades cognitivas.

Segundo Cunha (2011), o Bloco AT-7 da UFSCar do campus de São Carlos é considerado o edifício padrão para novas construções de blocos de aulas dessa universidade e é composto por 17 salas de aulas distribuídas em três pavimentos e com capacidade de atender até 1022 usuários. No edifício AT-7 foram utilizadas diversas técnicas passivas de climatização tais como emprego de cobogós e janelas dispostos para melhor aproveitamento da ventilação cruzada e natural, das maiores fachadas voltadas para menores taxas de irradiação solar (norte e sul) e do uso de cores claras para diminuição da carga térmica devido a insolação.

Entretanto, após sua última reforma, as cores claras foram substituídas por tonalidades neutras, enquanto parte das aberturas dos elementos vazados foram fechados com lâminas de vidros para que ocorresse uma diminuição dos ventos e chuvas.

Neste sentido, este trabalho de conclusão de curso pretende avaliar as condições de conforto térmico do AT-7 antes e após sua última reforma através da porcentagem de horas de conforto pelo método de simulação proposto pelo RTQ-C.

---

<sup>2</sup> <http://pbeedifica.com.br/edificacoes-etiquetadas/comercial>, acessado em 30/03/2020.

## **Introdução**

---

### **1.1 OBJETIVOS**

#### **1.1.1 GERAL**

Avaliar o desempenho térmico e o conforto ambiental do Edifício AT-7 do campus da UFSCar, situado na cidade de São Carlos, estado de São Paulo.

#### **1.1.2 ESPECÍFICOS**

- Realizar um *as built* da construção e levantamento das cargas térmicas internas, tais como sistemas de iluminação, número de usuários e uso de equipamentos elétricos;
- Caracterizar as composições e propriedades termofísicas da envoltória de maior relevância e de transporte de massa das aberturas (cobogós, janelas e outros) antes e após as últimas reformas;
- Avaliar diferentes metodologias de zonas de conforto térmico adaptativo sobre as porcentagens de horas em ocupação.
- Desenvolver um modelo do edifício no programa *EnergyPlus (E+)* para simulação;
- Avaliar os índices de porcentagem de horas de conforto térmico das salas de aulas durante um ano típico climático de São Carlos nas condições anterior e após as reformas;
- Estudar variação da porcentagem de conforto térmico em função das taxas de ocupação.

### **1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO**

Este trabalho é dividido em cinco capítulos. O primeiro apresenta um panorama geral do tema, da motivação e dos objetivos deste estudo.

O segundo capítulo proporciona o estado da arte relacionado às correlações do térmico adaptativo devido à ventilação natural, dos balanços de massa e energia envolvendo as zonas térmicas, das principais referências das cargas térmicas internas, das principais propriedades termofísicas da transferência de energia pelo envelope da construção, das metodologias de cálculo da ventilação natural, dos

## **Introdução**

---

programas de simulação termoenergética, das legislações e normas envolvendo conforto térmico em edificações e, por fim, de estudos de simulação envolvendo os cálculos da porcentagem de horas em ocupação em conforto.

O terceiro capítulo expõe as metodologias utilizadas e são apresentados o objeto de estudo, a modelagem do edifício envolvendo os principais dados da envoltória, as cargas térmicas internas e da ventilação natural, os cálculos da zona de conforto térmico adaptativo empregado e as formas de análises dos resultados.

No quarto capítulo são fornecidos os resultados das simulações e discussões envolvendo o POC em diversas configurações estruturais e de ocupação.

O último capítulo expõe as principais conclusões deste trabalho e as sugestões para futuras pesquisas.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 CONFORTO TÉRMICO

O ser humano é um animal homeotérmico e seu organismo é mantido a uma temperatura interna quase constante de 36,5°C, sendo o limite inferior de 32°C e superior de 42°C para sobrevivência em estado de enfermidade (FROTA; SCHIFFER, 2001). De acordo com Xavier (2000), o calor gerado durante o seu processo metabólico tem como principal função manter a temperatura corpórea estável e ele é afetado por diversos fatores fisiológicos tais como a idade, estado de saúde, sexo, nível de atividade e capacidade física de cada indivíduo.

A eliminação, ou até o acúmulo, dessa energia é realizada por diversos mecanismos tais como condução, convecção, radiação e evapotranspiração (FROTA; SCHIFFER, 2001; GUIDETTI, 2016) e, de acordo com Dumke (2007), o conforto é uma sensação de bem estar subjetivo que depende da percepção de cada indivíduo, das suas expectativas e preferências, sendo que num mesmo ambiente, pode ser mais quente ou frio para outros indivíduos.

Como discutido por Frota e Schiffer (2001, p. 38), “as variáveis de conforto térmico são diversas e, variando diferentemente algumas delas ou até todas, as condições finais podem proporcionar sensação ou respostas semelhantes ou até iguais”. A forma e as hipóteses para modelar as condições de conforto levaram ao longo das últimas décadas ao desenvolvimento de duas correntes de pensamento. Numa delas é estabelecido um índice de conforto universal (escola analítica) , enquanto na outra, são consideradas as adaptações do homem às situações climáticas do local (escola do conforto adaptativo) (DUMKE, 2007).

Dentre um dos expoentes da escola analítica, tem-se Fanger e seus estudos do Voto Médio Estimado – VME ( *Predicted Mean Vote* PMV) (DE VECCHI, 2011; DUMKE, 2007). Neste método, as sensações térmicas das pessoas com o ambiente são representadas numa escala de +3 a -3, sendo, respectivamente, os extremos devido aos desconfortos por calor e frio. A Tabela 2.1 apresenta escala sensorial da

## **Revisão da Literatura**

---

sensação térmica dos usuários para um determinado ambiente e variam de muito frio até muito quente.

**Tabela 2.1** – Escala sensorial de sete pontos.

Escala - Pontos	Sensação Térmica
-3	Muito frio
-2	Frio
-1	Levemente frio
0	Confortável
1	Levemente quente
2	Quente
3	Muito quente

**Fonte:** Adaptado de De Vecchi (2011)

Na segunda corrente de pensamento, denominada de conforto térmico adaptativo ou conforto adaptativo, as considerações do conforto não partem exclusivamente das trocas de calor entre o homem e o meio, mas também de adaptações internas e externas que o indivíduo realiza com intuito de encontrar uma nova condição de conforto, tais como mudanças metabólicas do organismo e adaptativas do corpo humano, nas taxas de perda de calor, no uso de dispositivos para controlar as condições externas (vento, radiação solar e outros) e internas (posição do corpo humano, uso de vestimentas e outros) e etc (DE VECCHI, 2011).

Humphreys (1976), em meados da década de 1970, estudou a variável climatização das pessoas em determinado clima e conclui que a temperatura que as pessoas se encontravam confortáveis era independente do sexo e idade e, era correlacionado com a temperatura média do local de estudo. O autor percebeu que a temperatura de conforto, ou temperatura neutra, é correlacionada com temperatura média externa através de uma equação de primeiro grau conforme apresentado pela equação 1.

$$T_n = 2,6 + 0,831.T_m \quad (1)$$

## **Revisão da Literatura**

---

Sendo  $T_n$  a temperatura neutra, em °C, e  $T_m$  a temperatura média do ar do local de estudo, em °C.

Com intuito de estimular o uso dos dados meteorológicos pelos profissionais e pesquisadores, a temperatura média mensal ao ar livre foi utilizada para correlacionar a temperatura neutra, pois o mês é a unidade típica de análise para registros climatológicos (DUMKE, 2007). Nesse intuito, a Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado -ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*<sup>3</sup>) incluiu o trabalho de Brager e De Dear (2001) como base do modelo de conforto térmico adaptativo para edificações naturalmente ventiladas (SILVEIRA, 2014).

Segundo Brager e De Dear (2001), a temperatura neutra é proposta ser diretamente dependente da temperatura média mensal ( $T_{m,mensal}$ , °C), ver equação 2, e apresenta similaridade com a equação proposta por Humphreys (1976).

$$T_n = 17,8 + 0,31.T_{m,mensal} \quad (2)$$

A partir da temperatura neutra, pode-se estabelecer limites de temperaturas máximas e mínimas para zonas de conforto térmico de uma determinada localidade. Considerando uma aceitabilidade superior a 90% dos ocupantes é adicionado e subtraído 2,5°C, respectivamente, da temperatura neutra para obtenção da temperatura limite máximo e mínimo da zona de conforto. Enquanto, para uma aceitabilidade de 80% é utilizado um acréscimo e subtração da temperatura neutra de 3,5°C (BRAGER; DE DEAR, 2001).

As equações (3) e (4) apresentam os cálculos para definição dos limites das temperaturas da zona de conforto desenvolvido por Brager e De Dear (2001) com uma aceitabilidade de 90%. Sendo  $T_{l,máx}$  a temperatura de limite máximo e  $T_{l,min.}$  a temperatura de limite mínimo, ambas em °C.

$$T_{l,máx} = 20,3 + 0,31.T_{m,mensal} \quad (3)$$

---

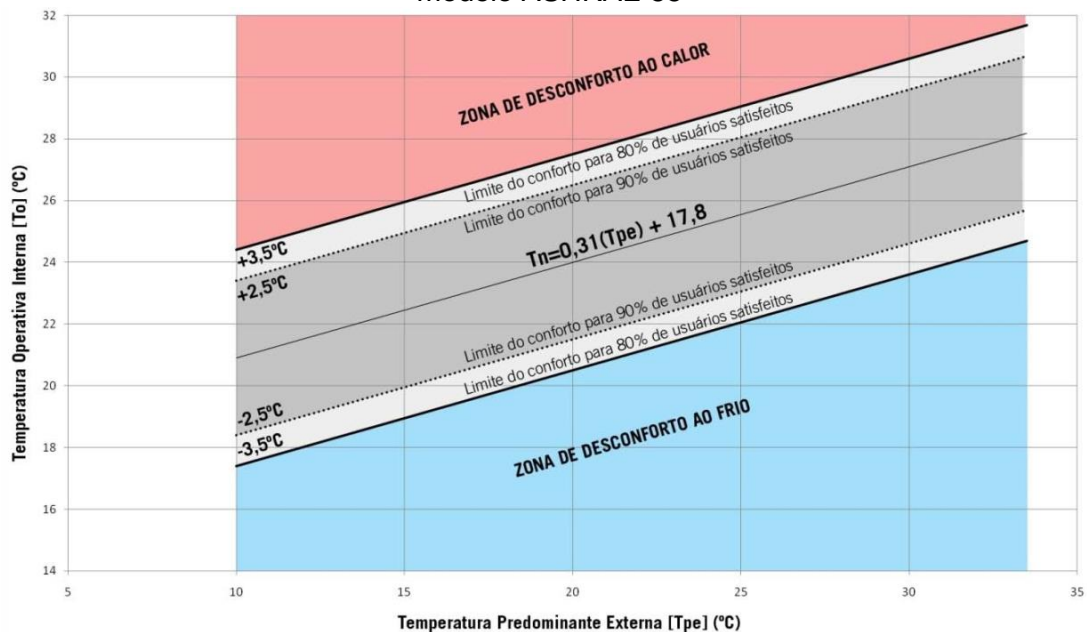
<sup>3</sup> <https://www.ashrae.org/>, acessado em 17/05/2020.

## Revisão da Literatura

$$T_{lim,min} = 15,3 + 0,31.T_{m,mensal} \quad (4)$$

A figura 2.1 apresenta a relação entre as temperaturas neutras e as temperaturas externas para modelo adaptativo ASHRAE 55. Nota-se as zonas de desconforto devido ao calor, frio e as zonas de conforto para uma aceitabilidade de 80 e 90% dos usuários.

**Figura 2-1** - Relação entre temperatura neutra interna e temperatura média mensal externa, modelo ASHRAE 55



Fonte: Silveira (2014).

No memorial descritivo da simulação da etiquetagem do nível de eficiência energética do edifício sede do Ministério do Meio Ambiente e do Ministério da Cultura brasileiros (BRASIL, 2015) é apresentado equacionamento de cálculo similar, porém com coeficientes e variações dos limites levemente diferentes das propostas por Brager e De Dear (2001) para uma aceitabilidade de 90%, ver equações (5) e (6).

$$T_{l,máx} = 21,4 + 0,255.T_{m,mensal} \quad (5)$$

$$T_{lim,min} = 16,7 + 0,255.T_{m,mensal} \quad (6)$$

## 2.2 BALANÇO DE ENERGIA NA ZONA TÉRMICA

Zona térmica, ou volume de controle, é uma região no espaço ou de espaços que apresentam fronteiras físicas definidas ou imaginárias e, no qual, a massa pode atravessá-lo. Ela serve para representar um ambiente, ou ambientes, no interior de uma edificação que apresenta temperatura interna do ar uniformemente ou com pouca variação (MATOS, 2007).

A equação (7) apresenta a equação genérica da 1ª lei da termodinâmica em regime transiente aplicada para um volume de controle (ÇENGEL; BOLES, 2013).

$$\dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} = \frac{\partial E_{vc}}{\partial t} + \sum_{i=0}^n \dot{m}_i \cdot e_i \quad (7)$$

Sendo,  $\dot{Q}_{vc}$  e  $\dot{W}_{vc}$  as taxas de variação de energia devido ao calor e trabalho, respectivamente, que atravessam as fronteiras do volume de controle, ambos em watts.  $\partial E_{vc}/\partial t$  é a variação de energia no interior do volume de controle e  $\sum_{i=0}^n \dot{m}_i \cdot e_i$  é a taxa de transporte de energia na fronteira do volume de controle devido ao fluxo mássico, em watts.

Para a zona térmica, convém rearranjar a taxa de variação da energia interna em função da temperatura da zona e das suas respectivas fontes de calor conforme a equação (8) (ENERGYPLUS, 2016).

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \overset{\text{[I]}}{\sum_{i=1}^{N_{fontes}} \dot{Q}_i} + \overset{\text{[II]}}{\sum_{i=1}^{N_{superficies}} h_i A_i (T_{si} - T_z)} + \overset{\text{[III]}}{\sum_{i=1}^{N_{zonas}} \dot{m}_i c_p (T_{zi} - T_z)} + \overset{\text{[IV]}}{\dot{m}_{inf} c_p (T_{amb,ext} - T_z)} + \overset{\text{[V]}}{\dot{Q}_{cond}} + \overset{\text{[VI]}}{\dot{Q}_{cond}} \quad (8)$$

Onde a parcela [I] representa a taxa de energia no ar na zona térmica; a parcela [II] as fontes de calor, ou cargas térmicas internas, dadas como de iluminação, equipamentos e pessoas; [III] são as transferência de calor que ocorrem entre a zona térmica e sua envoltória; [IV] é a parcela de energia advindo da mistura do ar com o fluxo mássico do ar de outras zonas térmicas adjacentes; [V] representa a energia da mistura do ar interno com o ar do ambiente externo também definido como calor de

## **Revisão da Literatura**

---

infiltração ou ventilação; e [VI] é a taxa de energia retirada ou inserida na zona térmica devido a equipamentos de condicionamento do ar.

Nota-se pela equação (8), quando a soma das parcelas de [II] a [VI] é positiva, a temperatura da zona térmica aumenta. Inversamente, quando essa soma é negativa, a temperatura do ambiente diminui. Por fim, quando a somatória é nula, a temperatura é constante.

Por se tratar de uma equação diferencial é aconselhado discutir cada um dos seus termos fontes e mecanismos de transferência de calor separadamente.

### **2.3 CARGAS TÉRMICAS INTERNAS**

As cargas térmicas internas representam as fontes de calor gerados ou dissipadas no interior da zona térmica e podem advir das luzes artificiais, de equipamentos (elétricos, mecânicos e de combustão) e emitidos pelo corpo humano dentro de um recinto. Cada uma dessas cargas pode ser separada em suas parcelas de calor sensível e latente<sup>4</sup>.

#### **2.3.1 Ganho de calor devido a iluminação.**

A luz natural sempre foi a principal fonte de iluminação nos interiores, entretanto, após a descoberta da eletricidade, o uso da iluminação artificial tornou-se cada vez mais presente e inseparável nas edificações (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013), principalmente no período noturno.

Segundo Mitchell e Braun (2018), os sistemas de iluminação constituíam e, em alguns casos ainda constituem, a principal fonte de calor no interior das edificações. No princípio, as lâmpadas incandescentes relativamente ineficientes na conversão de energia elétrica em iluminação eram utilizadas sendo atualmente substituídas por

---

<sup>4</sup> **Energia sensível** :é a energia fornecida para um sistema e que provoca apenas mudança de temperatura do sistema; **Energia latente**: é a energia fornecida para um sistema e que ocasiona mudança de fase num dos seus componentes. No caso do ar atmosférico, ela representa o aumento ou diminuição da sua umidade absoluta.

## ***Revisão da Literatura***

---

novas tecnologias, tais como as lâmpadas fluorescentes e reatores e, atualmente, pelas lâmpadas de diodos emissores de luz (LED).

Quando não há uma descrição detalhada do equipamento, é aconselhado o uso de valores genéricos da densidade de potência de iluminação (DPI) fornecidos para cada tipo de ambiente. As tabelas 2.2 a 2.4 apresentam a densidade de potência de iluminação de referências das décadas de 1990, 2000 e 2010, respectivamente.

**Tabela 2.2** –. Valores recomendados para consumo de energia elétrica para iluminação na década de 1990.

Ambiente	Tipo de iluminação	Nível de iluminação (lux)	DPI (W/m <sup>2</sup> )
Bancos	Fluorescente	1000	35
Bibliotecas	Incandescente	500	70
	Fluorescente	150	15
Escritórios	Fluorescente	1000	40
Lojas	Fluorescente	1000	50
Residências	Incandescente	300	30
Supermercados	Fluorescente	1000	35

**Fonte:** Adaptado de Creder (2012).

**Tabela 2.3** –. Valores recomendados para consumo de energia elétrica para iluminação na década de 2000.

Ambiente	Tipo de iluminação	Nível de iluminação (lux)	DPI (W/m <sup>2</sup> )
Bibliotecas	Fluorescente	200	16
Escritórios	Fluorescente	500	16
Lojas	Fluorescente	750	17
Residências	Incandescente	300	30
Supermercados	Fluorescente	1000	21

**Fonte:** Adaptado de ABNT(2008).

**Tabela 2.4** –. Valores recomendados para consumo de energia elétrica para iluminação na década de 2010.

Ambiente	DPI (W/m <sup>2</sup> ) máximo para nível A
Bibliotecas	12,7
Comércio	15,1
Escola/Universidade	10,7
Escritórios	9,7
Teatro	15,0

**Fonte:** Adaptado de ABNT(2008).

Percebe-se, analisando as Tabelas 2.2 a 2.4, que o ambiente do tipo biblioteca na década de 1990 apresentavam taxas de uso de energia de iluminação de bibliotecas com valores de até 70W/m<sup>2</sup> devido ao uso de lâmpadas incandescentes,

## ***Revisão da Literatura***

---

enquanto na década de 2000 e 2010 esse valor é reduzido em até  $12,7 \text{ W/m}^2$  devido a inserção de lâmpadas fluorescentes e mais tarde a do tipo LED. No caso de escritórios, os valores da DPI variam de 40, 16 e  $9,7 \text{ W/m}^2$  para as décadas de 1990, 2000 e 2010, respectivamente.

### 2.3.2 Ganhos de calor devido a equipamentos

Aparelhos e equipamentos elétricos contribuem para o aquecimento interno nos ambientes. Entretanto, estimar a taxa exata de energia liberada nem sempre é possível devido a diversidade de tipos de aparelhos, suas eficiências e tempo real de uso.

Em diversos trabalhos para dimensionamento dos sistemas de condicionamento artificial do ar (GUIDETTI, 2016; LEITE, 2019; MORAES; GUIDETTI; ALVES, 2018), os valores de ganho térmico devido a equipamentos são utilizados na sua máxima potência. Embora esse valor subestime a potência do ar condicionado necessário na maior parte da época do ano, ele garante o atendimento da climatização nas condições críticas de projeto.

**Tabela 2.5** –. Ganho térmico de calor de equipamentos típicos de escritório.

Tipo de equipamento	Valor presente na placa de identificação (W)	Ganho térmico de calor recomendado (W)
Computador de mesa	500-1200	50-100
Computador portátil	50-130	10-35
Monitor	250-400	20-40
Impressora	400-1400	75-130
Caixa registradora	60	48
Geladeira	1000-2000	120

**Fonte:** Adaptado de ABNT (2008) e Mitchell e Braun (2018).

Entretanto, esta prática vem caindo em desuso, pois a potência constante na placa de identificação é o valor máximo que o aparelho pode consumir, sendo

## **Revisão da Literatura**

aconselhado, o uso baseado nas medições da potência média consumida pelos aparelhos durante um período de tempo (MITCHELL; BRAUN, 2018).

A tabela 2.5 proporciona valores constantes nas placas de identificação de alguns aparelhos e os ganhos térmicos sugeridos. Na indisponibilidade de uma descrição detalhada, é aconselhado o uso de valores genéricos da densidade por tipo de ambiente e uso. A tabela 2.6 apresenta valores recomendados para escritórios em função da atividade do ambiente.

**Tabela 2.6** – Densidade média de carga devido a equipamentos elétricos para escritório.

Tipo	Densidade (W/m <sup>2</sup> )	Ganho térmico de calor recomendado (W)
Leve	5,4	15,5 m <sup>2</sup> (3,9 mx3,9 m).por posto de trabalho com computador e monitor para cada um (3,9x3,9).
Média	10,7	11,6 m <sup>2</sup> (3,4 mx3,4 m).por posto de trabalho com computador e monitor para cada um.
Média/Alta	16,2	9,3 m <sup>2</sup> (3,0 mx3,0 m).por posto de trabalho com computador e monitor para cada um.
Alta	21,5	7,7 m <sup>2</sup> (2,8 mx2,8 m).por posto de trabalho com computador e monitor para cada um.

**Fonte:** ABNT(2008).

### 2.3.3 Ganhos de calor devido às pessoas

O corpo humano pode ser comparado a uma máquina térmica que produz calor segundo a sua atividade física e precisa liberar calor suficiente para manter sua temperatura interna próximo de 37°C (FROTA; SCHIFFER, 2001). A taxa de calor dissipado e a forma como ele é dissipado depende do tipo de atividade e temperatura do ambiente (ABNT, 2008; FROTA; SCHIFFER, 2001).

A tabela 2.7 apresenta valores do calor médio liberado por cada pessoa em função da sua atividade física e da temperatura do ambiente. Nota-se dessa tabela, que o calor total liberado é apenas em função do nível de atividade física. Entretanto, as parcelas de calores sensível e latente são dependentes da temperatura ambiente.

Isso pode ser explicado pelos mecanismos envolvidos na transferência de calor do corpo humano para o ambiente. Em baixas temperaturas, o mecanismo de

## **Revisão da Literatura**

transferência ocorre principalmente pela convecção do ar no entorno do corpo humano. Entretanto, com o aumento da temperatura ambiente, a transferência de calor por convecção é prejudicada por uma menor variação de temperatura e o organismo humano tende a transpirar favorecendo as trocas térmicas de calor e massa devido a evaporação contida no suor, adicionando assim, maior parcela ao calor latente (CREDER, 2012).

**Tabela 2.7** –. Calor liberado pelas pessoas em função de atividade e temperatura do ambiente.

Temperatura Ambiente °C	Pessoa sentada ou em movimento lento			Pessoa em exercício físico moderado		
	Calor Sensível (W)	Calor Latente (W)	Calor Total (W)	Calor Sensível (W)	Calor Latente (W)	Calor Total (W)
22	83,6	32,4	116	95,1	91,3	192,4
23	80,1	35,9	116	89,2	103,2	192,4
24	76,6	39,4	116	83,4	109,0	192,4
25	71,6	44,1	116	74,2	118,2	192,4
26	67,3	48,7	116	67,2	125,2	192,4
27	63,8	52,2	116	60,3	132,2	192,4
28	58,0	58,0	116	52,2	140,2	192,4
29	52,2	63,8	116	44	148,4	192,4

**Fonte:** Creder (2012).

Deve-se ressaltar, que o gênero físico e idade da pessoa também são fatores que influenciam no calor liberado por cada pessoa. Dados apresentados pela ASHRAE (2005 apud ABNT, 2008) indicam que mulheres adultas liberam aproximadamente 85% de calor daquele liberado por um homem adulto, e o calor liberado por uma criança é de aproximadamente 75% desse valor.

### **2.4 TRANSFERÊNCIA DE CALOR PELA ENVOLTÓRIA**

Os fluxos de energia que ocorrem entre as paredes, teto e o chão de uma zona térmica e o seu ambiente circundante são denominadas de transferência de calor pela envoltória; essas transferência ocorrem na direção do ambiente de maior para o de menor temperatura (FROTA; SCHIFFER, 2001; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013; MITCHELL; BRAUN, 2018).

## Revisão da Literatura

As trocas térmicas podem ocorrer por três mecanismos distintos que são a condução, a convecção e a radiação ou pela presença de duas ou mais dessas formas agindo simultaneamente (RIVERO, 1985).

A transferência de calor por condução ocorre pelo fluxo de energia entre moléculas ou átomos em contato físico e que apresentem um gradiente de temperatura entre si. A equação (9), denominada de Lei de Fourier da condução térmica, apresenta o fluxo de calor por condução  $\dot{Q}_{cond}$ , em  $W$ , que ocorre de forma unidimensional, com área da seção de fluxo constante e em regime permanente (INCROPERA *et al.*, 2008).

$$\dot{Q}_{cond} = -A \cdot \frac{\lambda}{e} \cdot (T_{maior} - T_{menor}) \quad (9)$$

Sendo  $A$  a área da seção transversal da condução ( $m^2$ ),  $\lambda$  é a condutividade térmica do material ( $W/m.K$ ),  $e$  é a espessura do material ( $m$ ) e  $(T_{maior} - T_{menor})$  é o gradiente de temperatura, em  $^{\circ}C$  ou  $K$ .

A forma de transferência de calor por convecção acontece entre dois corpos em contato e, pelo menos um deles, está na forma líquida ou gasosa (RIVERO, 1985). O processo de transferência ocorre em duas etapas, na primeira, o calor é transferido de um dos corpos para o outro através da condução e, posteriormente a convecção poderá ocorrer devido a diferença de densidade induzida no meio fluídico, denominado de convecção natural, ou através do fluido já em movimento induzido por gradientes de pressão externo, chamada de convecção forçada (INCROPERA *et al.*, 2008; RIVERO, 1985). O fluxo de calor devido a convecção  $\dot{Q}_{conv}$ , em  $W$ , é dada conforme a Lei de resfriamento de Newton proposto pela equação (10) (ÇENGEL; GHAJAR, 2012).

$$\dot{Q}_{conv} = \bar{h} \cdot A_{sup} \cdot (T_{sup} - T_{meio}) \quad (10)$$

Onde  $\bar{h}$  é o coeficiente médio da transferência de calor devido a convecção ( $W/m^2K$ ),  $A_{sup}$  ( $m^2$ ) é área onde ocorre a troca de calor e  $(T_{sup} - T_{meio})$  é diferença de temperatura da superfície e a temperatura do fluido

## ***Revisão da Literatura***

---

A radiação é a transferência de energia emitida pela matéria sob forma de ondas eletromagnéticas como resultado das mudanças de configurações dos seus elétrons; Diferentemente da condução e convecção, essa transferência de energia não necessita da presença da matéria entre os corpos (ÇENGEL; GHAJAR, 2012). Todos os corpos emitem radiação, porém o balanço líquido total de calor absorvido depende das propriedades superficiais dos corpos, das suas temperaturas e orientação. Segundo Frota e Schiffer (2001), o sol é a principal fonte de calor devido a radiação sobre os edifícios e a forma que esta energia chega ao interior da zona térmica depende dos elementos da edificação, que podem ser classificados como fechamentos opacos e transparentes.

Devido à complexidade do tema, convém detalhar os principais parâmetros-chaves que influenciam nos mecanismos de transferência de calor na envoltória. Entre eles, têm-se o coeficiente global de transferência de calor ou transmitância térmica, atraso e coeficiente de amortecimento térmico em superfícies opacas, absorptância e o fator solar (FS) ou coeficiente de ganho de calor solar (CGCS – em inglês *Solar Heat Gain Coefficient SHGH*).

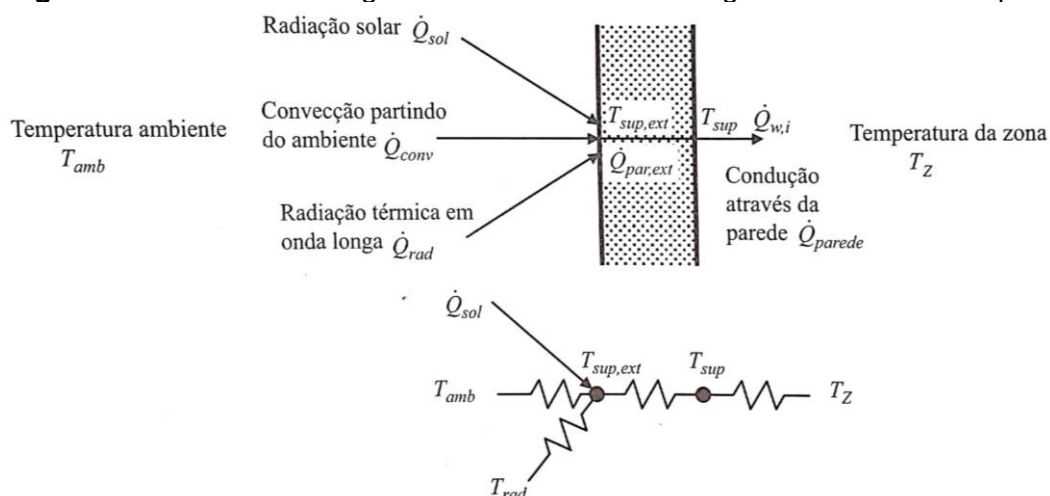
### 2.4.1 Transmitância térmica

Numa edificação, as transferências de calor entre os meios externo e o interior da zona térmica ocorrem através do envelope construído. Os fluxos de calor acontecem devido a diferença de temperatura entre os meios e pela radiação emitida pelos corpos na vizinhança e pelo sol. Cada uma das camadas do fechamento, ou envoltória, apresenta uma resistência térmica a esse fluxo térmico (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013).

A Figura 2.2 apresenta um esquema dos fluxos de calor através de um envelope opaco com diferença de temperatura entre o ambiente e a zona e, das radiações solares do ambiente externo. Nessa figura estão presentes todos os mecanismos de transferência de calor (condução, convecção e radiação) que ocorrem ao longo do fluxo externo, ao longo da parede e o fluxo interno para a zona térmica (MITCHELL; BRAUN, 2018).

## Revisão da Literatura

**Figura 2-2** - Fluxos de energia térmica relacionados ao ganho de calor em superfícies opacas.



**Fonte:** (MITCHELL; BRAUN, 2018)

Seguindo uma comparação lógica do circuito térmico como um circuito elétrico, o fluxo de calor através da parede, ver Figura 2.2, é escrita conforme equação (11). Onde  $\dot{Q}_{par}$  é o fluxo de calor através da superfície opaca (W),  $A_{par}$  é a área da parede ( $m^2$ ),  $T_{sa}$  é a temperatura sol-ar ou temperatura equivalente da superfície externa da parede levando-se em conta a temperatura externa e fluxos de radiação ( $^{\circ}C$ ) e  $U$  é a transmitância térmica ( $W/m^2.K$ ), também denominado em outras literaturas de coeficiente global de transferência de calor (ÇENGEL; GHAJAR, 2012; INCROPERA *et al.*, 2008), de condutância térmica (MITCHELL; BRAUN, 2018) e de coeficiente global de transmissão térmica (FROTA; SCHIFFER, 2001).

$$\dot{Q}_{par} = U \cdot A_{par} \cdot (T_{sa} - T_z) \quad (11)$$

Na equação (11), a temperatura sol-ar é calculada conforme equação (12).

$$T_{sa} = T_{amb} + \frac{\alpha I_{inc,total}}{h_{ext}} - \frac{\varepsilon \Delta R}{h_{ext}} \quad (12)$$

Sendo  $T_{amb}$  a temperatura do ambiente externo ( $^{\circ}C$ ),  $\alpha$  a absorptância da superfície externa (adimensional),  $I_{inc,total}$  é a radiação solar incidente total sobre a

## **Revisão da Literatura**

---

superfície externa ( $W/m^2$ ),  $h_{ext}$  é o coeficiente convectivo do ar na parede externa ( $W/m^2.K$ ) e o produto  $\varepsilon \cdot \Delta R$  é a intensidade da radiação entre a superfície externa e o meio externo ( $W/m^2$ ).

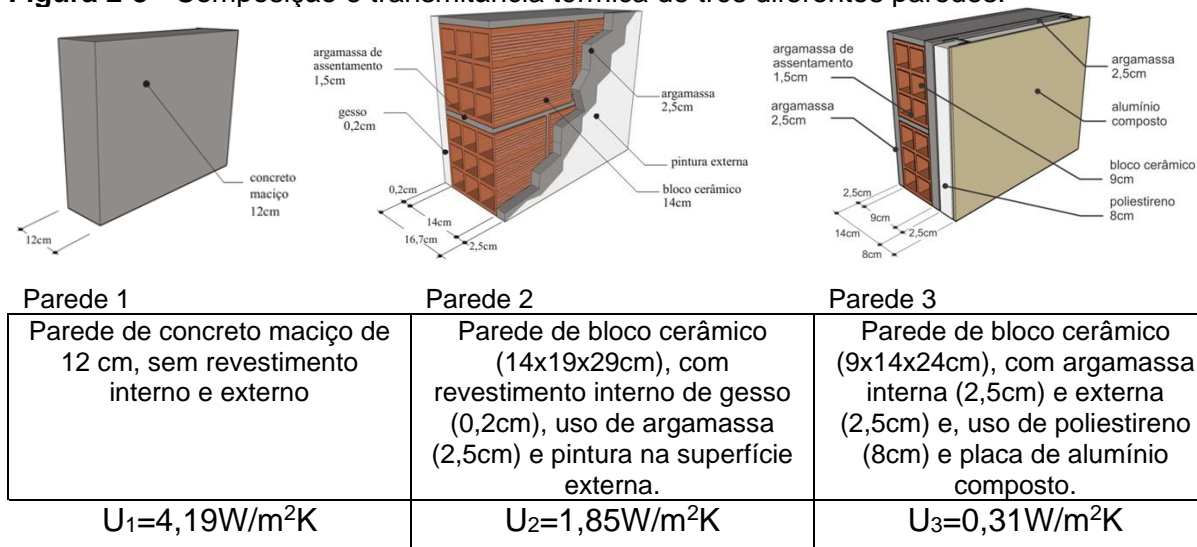
Conforme apresentado por Frota e Schiffer (2001, p. 38), a transmitância térmica “quantifica a capacidade do material de ser atravessado por um fluxo de calor induzido por uma diferença de temperatura entre dois ambientes que o elemento constituído por tal material separa”. Amaral (2015) argumenta que esta metodologia permite agilizar os procedimentos de cálculos do fluxo de calor pela envoltória sem a necessidade de avaliar cada um dos mecanismos separadamente. No geral são necessários dados geométricos da superfície, tais como espessura e disposição dos materiais presentes, da disposição da envoltória (horizontal ou na vertical), do fluxo do vento na superfície interna e externa do elemento e, principalmente, da condutividade térmica dos materiais de composição da envoltória.

A descrição dos processos desses cálculos são fornecidos pela ABNT 15220 (ABNT, 2003a), em livros técnicos de transferência de calor e massa (ÇENGEL; GHAJAR, 2012; INCROPERA *et al.*, 2008), em Frota e Schiffer (2001) e outros. Enquanto, existem na literatura catálogo da transmitância previamente calculadas para elementos nacionais (BRASIL, 2013b), de calculadoras online para avaliação da transmitância térmica de paredes e coberturas compostos por camadas de materiais de forma homogênea (PROJETO 3E, 2020) e de manuais de bibliotecas de elementos construtivos brasileiros para uso em programas de simulação (ORDENES *et al.*, 2003; WEBER *et al.*, 2017).

A Figura 2.3 ilustra um esquema de três diferentes paredes de diferentes composições, espessura e disposição dos materiais que definem valores de transmitância térmica distintos. Utilizando-se dos elementos dessa figura, para um mesmo diferencial de temperatura interno e externo, a parede 3 terá uma menor taxa de transferência de calor das três, enquanto a parede 1 apresentará a maior taxa de transferência de calor por apresentarem, respectivamente, o menor e a maior transmitância térmica.

## Revisão da Literatura

Figura 2-3 - Composição e transmitância térmica de três diferentes paredes.



Fonte: (BRASIL, 2013b)

Para elementos da envoltória translúcidos e transparentes, tais como janelas e portas de vidro, o conceito de transmitância térmica também é utilizado. Porém, ela é aplicada somente para avaliar a transferência de calor devido a diferença de temperaturas interna e externa, conforme apresentado pela equação (13).

$$\dot{Q}_{\text{vidro},\Delta T} = U_{\text{vidro}} A_{\text{vidro}} \cdot (T_{\text{amb}} - T_z) \quad (13)$$

Onde  $\dot{Q}_{\text{vidro},\Delta T}$  é o fluxo de calor através do elemento translúcido devido a diferença de temperaturas interna e externa (W),  $U_{\text{vidro}}$  é a transmitância térmica do elemento translúcido,  $A_{\text{vidro}}$  é a área da superfície translúcida ( $\text{m}^2$ ) e  $T_{\text{amb}}$  é a temperatura do ambiente externo ou temperatura da zona térmica adjacente ( $^{\circ}\text{C}$ ). A Tabela 2.8 proporciona a transmitância térmica de diferentes janelas utilizadas na construção civil.

Percebe-se da tabela 2.8, quando se compara com às paredes da Figura 2.4, que as transmitâncias térmicas desses elementos são maiores do que os elementos opacos. Isso é explicado por uma menor espessura do vidro, normalmente entre 3 a 10 mm, e pela sua alta condutividade térmica quando comparado aos elementos de alvenaria tais como concreto e reboco. Para contornar este efeito indesejável, principalmente em ambientes com grande variação térmica, é comum a utilização de janelas de vidros compostos com material gasoso entre suas lâminas. Como exemplo,

## ***Revisão da Literatura***

---

pode-se comparar a janela de vidro simples com transmitância de 6,01 W/m<sup>2</sup>K com uma janela de vidro triplo de 1,93 W/m<sup>2</sup>K.

**Tabela 2.8** – Transmitância térmica de elementos translúcidos.

Tipo de elemento translúcido	U (W/m <sup>2</sup> K)
Janelas de vidro simples	6,01
Janelas de vidro duplos	3,63
Janelas de vidros triplos	1,93
Blocos de vidro	3,17

**Fonte:** (CREDER, 2012)

### 2.4.2 Atraso e coeficiente de amortecimento térmico

O emprego do conceito de transmitância térmica é uma excelente ferramenta para qualificar e quantificar a taxa de transmissão de calor pelos elementos da envoltória. Entretanto, a natureza dessa transmissão ocorre de forma transiente e os fluxos de calor que acontecem na entrada de cada elemento de contorno nem sempre é igual aos fluxos dos elementos para o ambiente. O atraso, ou defasagem, desse fluxo é denominado de atraso térmico (retardamento), enquanto parte da energia é acumulada nos elementos de alvenaria ocasionando um amortecimento.

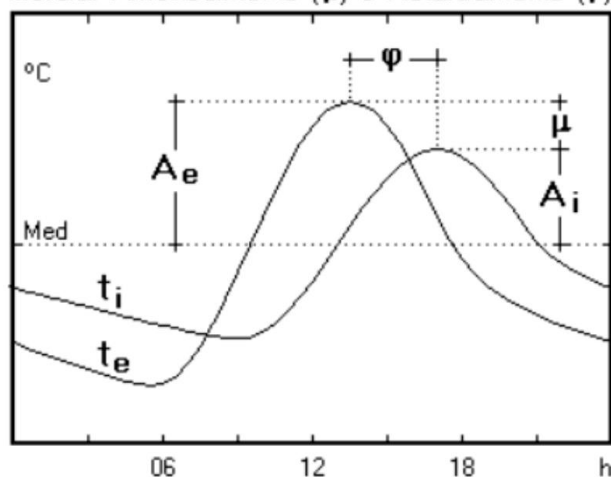
A Figura 2.4 apresenta uma representação gráfica das temperaturas superficiais externa ( $t_e$ ) e interna ( $t_i$ ) de uma edificação, onde a temperatura superficial externa varia de forma periódica ao longo de um dia. Nota-se que o sentido do fluxo de energia durante as primeiras horas do dia é da edificação para o meio externo, a partir das 7h o sentido do fluxo se inverte, pois a temperatura externa é maior que a interna, até aproximadamente às 16h onde ocorre novamente uma inversão do fluxo que segue até as primeiras horas do amanhecer.

Relacionado a essa figura, percebe-se que o pico da temperatura superficial externa ocorre aproximadamente às 15h, enquanto a da temperatura interna acontece próximo das 18h e nem todo este calor é repassado para o ambiente interno devido ao aquecimento do material da parede (RORIZ, 2008).

## Revisão da Literatura

**Figura 2-4** - Representação gráfica das temperaturas superficiais externa e interna de uma edificação.

Inércia: Amortecimento ( $\mu$ ) e Retardamento ( $\varphi$ )



**Fonte:** (RORIZ, 2008)

A relação entre as amplitudes térmicas interna e externa é denominado de amortecimento  $\mu$ , ver equação 14. Onde  $A_i$  e  $A_e$  são respectivamente as amplitudes térmicas interna e externa. Enquanto a diferença de tempo entre as amplitudes térmicas interna e externa é definido como retardamento ou atraso térmico  $\varphi$ .

$$\mu = 1 - \frac{A_i}{A_e} \quad (14)$$

A importância do uso desses dois conceitos é extremamente útil na escolha da composição dos materiais da alvenaria. Por exemplo, em climas de temperaturas muito variáveis, como em São Carlos durante o período de inverno, materiais que possuam um alto grau de amortecimento tendem a reduzir no interior da edificação os efeitos das variações das temperaturas que ocorrem no ambiente externo (RIVEIRO, 1985).

Segundo Frota e Schiffer (2001), o atraso e amortecimento térmico representa a inércia térmica de uma estrutura de superfície e são funções do calor específico do material ( $J/kg.K$ ), da sua massa específica ( $kg/m^3$ ), da condutividade térmica ( $W/mK$ ) e da sua capacidade térmica ( $J/m^2K$ ).

## Revisão da Literatura

A NBR 15220-2 (ABTN, 2003a) apresenta metodologia para o cálculo da capacidade térmica de estruturas com camadas homogêneas e não homogêneas e, a partir desses resultados e de dimensionais propostos, define o atraso térmico do fluxo de calor. Entretanto, na própria norma não é apresentado estimativas do grau de amortecimento. Esses cálculos também podem ser realizados através de calculadora online disponibilizado na plataforma edificações energeticamente eficientes (PROJETO 3E, 2020).

A Figura 2.5 proporciona dados da capacidade e atraso térmico de duas paredes com mesmo valor de transmitância térmica, no **caso A**), a parede é composta por 5,0 cm de argamassa (interno e externo) e por bloco cerâmico de 12x18x19 cm e, no **caso B**), parede maciça de concreto de 55 cm de espessura. Nota-se que a transmitância térmica de ambas as paredes são de 2,1 W/m<sup>2</sup>K, porém com atrasos térmicos diferentes sendo o do caso B) (29,8 horas) maior que do caso A) (3,4 horas) devido as diferentes capacidades térmicas.

**Figura 2-5** - Dados de calculadora online do site PROJETO 3E. **Caso A)** Bloco cerâmico de 12 cm e revestimentos interno e externo de argamassa. **Caso B)** parede maciça de concreto de 55cm de espessura.

**EXTERIOR**

	CAMADA	MATERIAL	RESISTÊNCIA TÉRMICA
⊗	1	Argamassa   2,5	0.025
⊗	2	Bloco cerâmico 12x19x19 cm   12	0.256
⊗	3	Argamassa   2,5	0.025

[ADICIONAR CAMADA NA BASE](#)

---

**INTERIOR**

	CAMADA	MATERIAL	RESISTÊNCIA TÉRMICA
⊗	1	Concreto maciço   55	0,3135

[ADICIONAR CAMADA NA BASE](#)

---

**INTERIOR**

SEU MATERIAL

Resistência Térmica Total: **0,48**

Atraso Térmico  $\phi$  (horas): **3,4**

Capacidade Térmica (kJ/m<sup>2</sup>K): **138,4**

Transmitância Térmica (W/m<sup>2</sup>K): **2,1**

Caso A)

---

SEU MATERIAL

Resistência Térmica Total: **0,48**

Atraso Térmico  $\phi$  (horas): **29,8**

Capacidade Térmica (kJ/m<sup>2</sup>K): **1320,0**

Transmitância Térmica (W/m<sup>2</sup>K): **2,1**

Caso B)

Fonte: (PROJETO 3E, 2020).

## ***Revisão da Literatura***

---

Para avaliação do grau de amortecimento, Croiset (1972 apud FROTA; SCHIFFER, 2001) apresenta um método simplificado a partir da inércia térmica da construção. Roriz (2008) proporciona diversas figuras e tabelas de paredes homogêneas do grau de amortecimento em função do material e sua espessura.

Mitchell e Braun (2018) apresenta uma abordagem por circuito térmico equivalente empregando capacitâncias concentradas, onde cada elemento da envoltória é dividida em camadas incrementais, dependendo das suas propriedades físicas. No geral, camadas com baixa capacidade térmica, como isolantes, câmaras de ar ou elementos com baixa densidade, são tratados apenas como uma resistência térmica. A partir de equações de equilíbrio de energia e transporte de calor é apresentado uma equação diferencial que pode ser resolvida numericamente para produção das respostas transitórias (amortecimento e retardamento térmico).

### 2.4.3 Absortância

Os elementos construtivos podem ter desempenho diferentes em relação à radiação térmica incidente do ambiente, do entorno e do sol, absorvendo, refletindo e emitindo parte da energia absorvida (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013). Para elementos opacos e desprezando a parcela emitida, a propriedade que avalia esse desempenho é a absortância, que é definida como a razão entre a radiação solar absorvida por uma superfície,  $\dot{Q}_{irrad,opaco}$  (W/m<sup>2</sup>), e radiação solar incidente total, equação 15, e é dependente das propriedades ópticas do elemento e acabamento superficial (DORNELLES, 2008; FROTA; SCHIFFER, 2001).

$$\alpha = \frac{\dot{Q}_{irrad,opaco}}{I_{inc,total}} \quad (15)$$

A NBR 15220-2 (ABNT, 2003a) e a portaria Nº 50/2013 do INMETRO (BRASIL, 2013b) fornecem dados de absortância para diversos tipos de materiais e de revestimentos de paredes e coberturas. A tabela 2.9 apresenta absortância de alguns materiais e cores.

**Tabela 2.9** – Absortância de alguns materiais e cores.

Tipo de superfície		$\alpha$ (adim.)
Chapa de alumínio nova e brilhante		0,05
Chapa de alumínio oxidada		0,15
Chapa de aço galvanizada nova e brilhante		0,25
Caiçãõ nova		0,12-0,15
Concreto aparente		0,65-0,80
Telha de barro		0,75-0,80
Tijolo aparente		0,65-0,80
Reboco claro		0,30-0,50
Revestimento asfáltico		0,85-0,98
PINTURA	Branca	0,20
	Amarela	0,30
	Verde Clara	0,40
	“Alumínio”	0,40
	Verde escura	0,70
	Vermelha	0,74
	Preta	0,97

**Fonte:** (ABNT, 2003)

Entretanto, deve-se ressaltar que embora pareça existir uma relação direta entre as cores e os valores de absortância, esta simplificação é equivocada e não pode ser um indicador confiável das propriedades físicas da superfície (DORNELLES, 2008). Isso advém do fato que a irradiação solar na atmosfera terrestre é composta por uma ampla faixa de ondas eletromagnéticas que variam na faixa das ondas ultravioletas, da luz visível aos seres humanos e da infravermelho (INCROPERA *et al.*, 2008).

Assim, utilizar a comparação de cores do espectro da luz visível para análise da absortância, embora seja uma prática normalmente empregada, não é aconselhada pois poderá provocar erros no valor da absortância real. Outro inconveniente é que poucos fabricantes de tintas oferecem dados da absortância dos seus produtos devido ao desconhecimento e, principalmente, devido à falta de exigência do mercado consumidor e dos projetistas desses valores (PEREIRA *et al.*, 2015; SANTOS, 2013).

Dornelles (2008), Santos *et al.* (2009), Santos (2013) e Pereira *et al.*, (2015) apresentam diversas técnicas para medição direta ou indireta da absortância de superfícies. Entre os métodos normatizados, têm-se o uso do espectrofotômetro de

## **Revisão da Literatura**

refletância, do refletômetro solar e do piranômetro, enquanto, entre as técnicas alternativas, destacam-se a utilização de *Scanner*, medição de temperaturas superficiais e ALTA II.

As medições normalizadas apresentam como vantagem a alta precisão dos seus resultados, mas, como desvantagem, há dificuldades de se obterem extração das amostras do envelope para serem analisadas em laboratórios. Em contrapartida, as técnicas alternativas podem ser realizadas com instrumentos portáteis no local e sem danos à estrutura, porém, são imprecisas quando comparadas aos métodos normatizados (PEREIRA *et al.*, 2015; SANTOS, 2013). Dos alternativos, somente o ALTA II é passível de ser utilizado para medição válida no RTQ-C e, mesmo assim, sobre determinadas restrições técnicas (PEREIRA *et al.*, 2015).

### 2.4.4 Fator solar

Janelas, portas de vidros e outros materiais translúcidos permitem que a energia solar adentre a zona térmica por duas formas. Na primeira, parte da radiação solar incidente atravessa o material translúcido até ser absorvido por alguma superfície interna da zona térmica e se transforma em calor. No segundo caminho, parte da radiação solar é absorvido pelo material translúcido e aumenta sua temperatura; posteriormente, o calor flui, através do material, para o exterior e para o ambiente interno pelos mecanismos de condução, de convecção e radiação em ondas longas (MITCHELL; BRAUN, 2018). A porcentagem da energia solar incidente no material translúcido e que é transferido para o lado interno de forma direta (primeira via) e indiretamente (segunda via) é definido como Fator Solar (FS) ou coeficiente de ganho de calor solar (CGCS), ver equação 16.

$$FS = \frac{\dot{Q}_{irrad,transl}}{I_{inc,total}} \quad (16)$$

Onde  $\dot{Q}_{irrad,transl}$  é o ganho de energia pelo ambiente devido a radiação solar através de elementos translúcidos por unidade de área ( $W/m^2$ ).

## ***Revisão da Literatura***

---

No mercado existem diversos tipos de vidros que são classificados, conforme seu tipo, em (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013):

- vidro simples, comum ou transparente;
- vidro verde;
- películas e vidros absorventes (fumê);
- películas e vidros reflexivos;
- vidros serigrafados;
- policarbonatos;
- aberturas com múltiplas camadas de vidro;
- e outros.

Em Lamberts, Dutra e Pereira (2013) e Frota e Schiffer (2001) são fornecidos valores do fator solar para diversos tipos de superfícies translúcidas com ou sem proteções solares. No Brasil, valores do FS são encontrados para produtos nacionais das empresas CEBRACE<sup>5</sup> e GUARDIAN<sup>6</sup> (BRASIL, 2013b).

Na falta de dados de fabricantes do FS, o RTQ-C sugere que o fator solar das aberturas translúcidas da construção sejam de 0,87 (BRASIL, 2013a) que é igual do vidro transparente simples com 3,0 mm de espessura (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013).

## **2.5 VENTILAÇÃO NATURAL**

O termo ventilação natural refere-se ao fluxo de ar do ambiente exterior para o interior dos edifícios que é induzido pela ação do vento (dinâmica) e/ou pela diferença de temperaturas entre os dois ambientes (térmica) (RIVERO, 1985), também denominada de efeito chaminé. “Estes fluxos de ar alteram a perda ou ganho de energia nas edificações porque o ar externo entra na edificação nas condições do ambiente...” externo “...e sai nas condições encontradas na zona” (MITCHELL; BRAUN, 2018). Diversos autores (ABNT, 2003; CÂNDIDO, 2006; CASTAÑO, 2017; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013) argumentam que a ventilação natural é, após

---

<sup>5</sup> <https://www.cebrace.com.br/>, acessado em 26/08/2020;

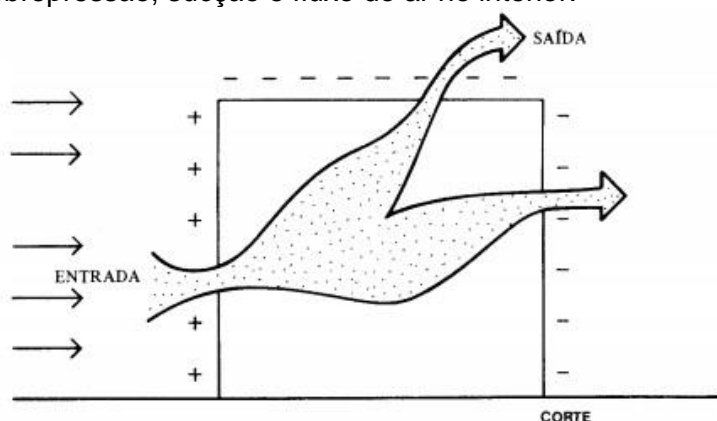
<sup>6</sup> <https://www.guardianglass.com/la/pt>, acessado em 26/08/2020.

## ***Revisão da Literatura***

o sombreamento, a melhor estratégia de climatização passiva para o território brasileiro.

A ventilação natural pela ação do vento ocorre devido ao campo de pressões geradas pelo fluxo de ar ao passar nas faces externas de uma edificação gerando zonas de pressões positivas (sobrepessão) e negativas (sucção) nestas superfícies (CASTAÑO, 2017; MATOS, 2007). Posteriormente, o ar externo poderá entrar e sair dos ambientes internos através das aberturas de portas, janelas e/ou por suas frestas. A Figura 2.6 exibe um esquema simplificado do mecanismo da ventilação natural por ação dos ventos.

**Figura 2-6** - Esquema do mecanismo da ventilação por ação dos ventos com zonas de sobrepressão, sucção e fluxo do ar no interior.



**Fonte:**(FROTA; SCHIFFER, 2001)

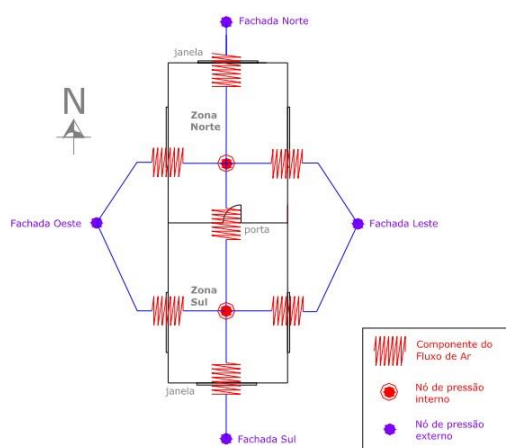
Matos (2007) afirma que existem três métodos diferentes para simular a ventilação natural pela ação dos ventos, sendo a dinâmica dos fluidos computacional, zonal e multizona. Cada uma delas apresenta suas particularidades, porém somente o método multizona permite uma análise do fluxo de ar em passos de tempo horário.

Nesse método, a ventilação é modelada na forma de uma rede de nós de pressões interligadas por resistências criadas pelas aberturas e fenestrações e, a partir de balanços de massa e conservação de energia, os fluxos mássicos de ar entre as zonas térmicas e o ambiente externo são estimadas. A Figura 2.7 ilustra uma rede de nós de pressão para duas zonas térmicas, que possui similaridade com um circuito

## Revisão da Literatura

elétrico, onde as pressões, resistências dinâmicas e fluxo de ar são similares, respectivamente, as tensões, as resistências e correntes elétricas.

**Figura 2-7** - Ilustração da rede de nós de pressão de um modelo de duas zonas.



**Fonte:** (MATOS, 2007)<sup>1</sup>

As variáveis utilizadas no modelo de rede são divididas em três grupos que são as relacionadas às aberturas, os seus coeficientes de transporte e dados do ambiente externo (MATOS, 2007).

Dentre as variáveis relacionado às aberturas, têm-se sua posição geométrica na edificação e zona térmica, sua altura e comprimento, e os parâmetros definido como fatores de altura (FA), largura (FL) e altura inicial (FAI)<sup>7</sup> apresentados, respectivamente, pelas equações 17, 18 e 19. A Figura 2.8 ilustra esses fatores geométricos associados às suas aberturas.

$$\text{Fator de Altura (FA)} = \frac{\text{Altura da abertura}}{\text{Altura da porta ou janela}} \quad (17)$$

$$\text{Fator de Largura (FL)} = \frac{\text{Largura da abertura}}{\text{Largura da porta ou janela}} \quad (18)$$

<sup>7</sup> Nota do autor: A altura inicial da abertura de janelas é denominada de peitoril. Entretanto, como o termo altura inicia ou Fator de Altura Inicial (FAI) se aplica para janelas, portas e outras seções vazadas, é utilizado do termo FAI ao longo do texto.

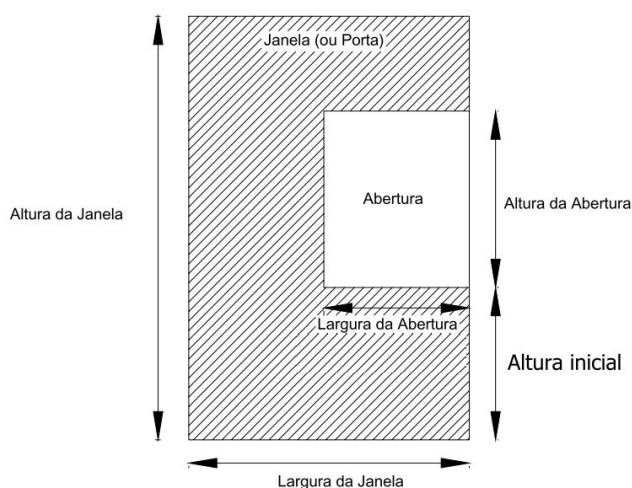
## **Revisão da Literatura**

$$\text{Fator de Altura Inicial (FAI)} = \frac{\text{Altura inicial da abertura}}{\text{Altura da porta ou janela}} \quad (19)$$

Para o modelo multimodal é necessário definir no mínimo duas configurações que representam a abertura fechada (0%) ou totalmente aberta (100%) (MATOS, 2007; PEREIRA *et al.*, 2013).

No caso de as aberturas estarem fechadas, a ventilação natural ocorrerá por suas frestas e são necessários definir três parâmetros de transporte sendo os coeficientes de fluxo de ar (kg/s.m) e de descarga (adimensional) e, o expoente de fluxo de ar (adimensional). A Tabela 2.10 e 2.11 fornecem valores, respectivamente, recomendados para o coeficiente e expoente do fluxo de ar para o escoamento através das frestas.

**Figura 2-8** - Fatores geométricos associados a uma abertura.



**Fonte:** Adaptado de Matos (2007).

Na situação que as aberturas estejam parcialmente ou totalmente abertas, o fluxo de ar ocorrerá através da abertura útil sendo necessário apenas a definição de seu coeficiente de descarga (adimensional).

Na falta de dados precisos dos coeficientes de descarga são aconselhados o uso dos valores 0,60 e 0,001, respectivamente, para o caso de aberto e fechado (MATOS, 2007).

**Tabela 2.10** – Exponente de fluxo de ar através das frestas.

Tipo de Abertura	n (adim.)
Aberturas grandes	0,50
Frestas – cracks (portas e janelas)	0,66
Materiais porosos com juntas	0,75
Materiais porosos	1,00

**Fonte:** (PEREIRA *et al.*, 2013)

**Tabela 2.11** – Coeficientes de fluxo de ar para janelas e portas.

Tipo			Coeficiente de fluxo de ar (C) (kg/s.m)		
			Máximo	Médio	Mínimo
Janela – Eixo vertical	Com vedação	Madeira	0,00013	0,00004	0,00001
		Metal	0,00037	0,00035	0,00018
	Sem vedação	Madeira	0,01540	0,00030	0,00005
Janela – eixo horizontal	Com vedação	Madeira	0,00158	0,00054	0,00014
		Metal	0,00071	0,00041	0,00023
	Sem vedação	Madeira	0,00178	0,00140	0,00114
Porta de madeira 1 -folha	Com vedação	Interna	0,00332	0,00187	0,00105
		Externa	0,00160	0,00124	0,00090
	Sem vedação	Interna	0,00437	0,00240	0,00063
		Externa	0,00455	0,00171	0,00102
Porta de madeira 2 folhas	Sem vedação	Interna	--	0,00539	--
		Externa	--	0,00252	--

**Fonte:** Adaptado de Matos (2007)

Os coeficientes de pressão devido a ação do vento na edificação são dependentes de um grande número de variáveis tais como da topografia do local, da rugosidade do terreno, do perfil da edificação, de estruturas artificiais (edifícios, pontes e outros) ou naturais do entorno (vegetação, árvores, cercas vivas e etc) e, da velocidade e direção do vento (GONÇALVES *et al.*, 2007). O uso de programas de simulação computacional de fluidos ou de ensaios de maquetes reduzidas em túnel de vento são altamente desejáveis para avaliar esses coeficientes, porém os custos computacionais e/ou financeiros são relativamente altos de serem aplicados para cada projeto em análise (CASTAÑO, 2017; SILVA, 2015).

## ***Revisão da Literatura***

---

Nesse sentido, é aconselhável que os coeficientes de pressão possam ser obtidos a partir de tipologias específicas, enquanto a direção e intensidade dos ventos em função dos arquivos climáticos e rugosidade do terreno (CASTAÑO, 2017; MATOS, 2007; PEREIRA *et al.*, 2013).

Entre a correlação mais empregada para avaliação dos coeficientes de pressão tem-se a proposta por Swami e Chandra (1988, apud PEREIRA *et al.*, 2013) para edifícios retangulares, ver equação (20), onde  $\alpha$  é a direção do vento e a normal da parede (graus) e  $G$  é o logaritmo natural da razão entre a largura da parede em análise e a largura da parede adjacente (adimensional). Segundo Castaño (2017), outros modelos podem ser empregados tais como “CP generator”, CPCAL+ e “Pressure Database1”.

$$c_{p,n} = 0,6 * \ln \left[ \begin{array}{l} 1,248 - 0,703 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) - 1,175 \sin^2(\alpha) \\ +0,131 \sin^3(2\alpha G) + 0,769 \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \\ +0,07 G^2 \sin^2\left(\frac{\alpha}{2}\right) + 0,717 \cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right) \end{array} \right] \quad (20)$$

A equação 21 proporciona o perfil da velocidade do vento corrigido a partir das medições realizadas numa estação meteorológica sendo  $V$  a velocidade do vento (m/s) numa altura  $z$  (m),  $V_m$  é a velocidade obtido em estação e  $k$  e  $a$  são coeficientes do tipo de terreno (adimensionais) (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013).

$$\frac{V}{V_m} = k \cdot z^a \quad (21)$$

Os valores de  $k$  podem variar de 0,21 (centro urbano) até 0,68 (campo aberto), enquanto valores do coeficiente “ $a$ ” e valor da camada limite são fornecidos na Tabela 2.12.

Outros métodos para estimativa do perfil da velocidade do vento e dos coeficientes de pressão devido à ação dos ventos são descritos na norma brasileira “Forças devidas ao vento em edificações” (ABNT, 2013).

## Revisão da Literatura

**Tabela 2.12** –. Valores de expoente e camada limite para diferentes categorias de terreno.

Classe	Tipologia terreno	Expoente A (adim.)	Camada Limite (m)
1	Grandes centros urbanos nos quais pelo menos 50% das edificações são maiores do que 21m	0,33	460
2	Terreno urbano, subúrbio, áreas com árvores, áreas com espaçamento entre obstruções do tamanho ou maiores do que casas unifamiliares	0,22	370
3	Terreno aberto com poucas obstruções, geralmente menores do que 10m de altura	0,14	270
4	Áreas desobstruídas próximas a grandes corpos de água, não mais do que 500 m terra adentro	0,10	210

**Fonte:** (ASHRAE,1988, apud PEREIRA et al., 2013)

Por fim, a última forma de ventilação natural ocorre devido ao gradiente de temperaturas entre o interior e o ambiente exterior de uma edificação, mais especificamente devido às forças de empuxo ocasionado pela diferença de densidade entre o ar denominado de efeito chaminé (MITCHELL; BRAUN, 2018). A equação 22 fornece as diferenças de pressão encontradas devido ao efeito chaminé  $\Delta_{p,ch}$  (Pa), onde  $\rho_{ar}$  é densidade do ar nas condições normais de temperatura e pressão ( $\text{kg/m}^3$ ),  $T$  é a temperatura dada em escala absoluta (Kelvin),  $g$  é a gravidade ( $\text{m/s}^2$ ) e  $h$  é a altura neutra normalmente dada pela metade da diferença de altura entre os pontos analisados (m).

$$\Delta_{p,ch} = \rho_{ar} \left( \frac{T_{amb} - T_z}{T_z} \right) g(h - z) \quad (21)$$

Exemplo de aplicação de ambas as ventilações naturais podem ser encontradas na estação rodoviária intermunicipal na cidade de Campinas-SP, ver Figura 2.9. À esquerda é apresentada uma vista no interior da estrutura com abertura (*Shed*) no centro da edificação, enquanto à direita, uma vista superior da estrutura e saída do *shed*. Deve-se notar, quando o vento segue na direção da superfície convexa do *shed* é criado um gradiente de pressão negativa na sua parte inferior gerando um fluxo de ar do interior para fora da abertura; caso a direção do vento seja no sentido da abertura, o fluxo de ar segue da abertura para o interior do edifício. Na última

## ***Revisão da Literatura***

---

situação, na ausência de ventos, é provocado uma ventilação natural devido a diferença de temperaturas entre as superfícies no *shed* e próximo ao solo.

**Figura 2-9** - Vista do interior (à esquerda) e superior (à direita) da estação rodoviária intermunicipal de Campinas-SP.



Fonte: Sites de internet<sup>8</sup>

## **2.6 PROGRAMAS DE SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS**

Após as grandes crises do petróleo ocorridas no século passado, diversos países, entre eles os Estados Unidos, direcionaram seus esforços e recursos para o desenvolvimento de fontes alternativas de energia e na melhoria da eficiência energética de seus produtos (MENDES, 2008). Como definido por De Vecchi (2011), a eficiência energética é definida pela prestação de um mesmo serviço com um menor consumo energético com redução direta dos impactos ambientais e sociais.

Sabe-se que o uso de programas computacionais tem contribuindo enormemente na busca de soluções energéticas em edifícios, especialmente na fase de projeto, devido a possibilidade de avaliar livremente diferentes estratégias e compará-las (MENDONÇA, 2012).

---

<sup>8</sup> Figura a esquerda: <https://rodoviaria.site/terminal-rodoviario-de-campinas/>, acessado em 31/08/2020;

Figura à direita: <http://www.emdec.com.br/>, acessado em 31/08/2020.

## ***Revisão da Literatura***

---

Na página eletrônica do *BEST Directory*<sup>9</sup>( *Building Energy Software Tools*) mais de 203 programas para análise de cargas térmicas, automação predial, simulação de luz natural e artificial, análise de ciclo de vida, solar e fotovoltaica e outros. Entretanto, somente 2 possibilitam análises de carga térmica, simulação de fluxo de ar e energética de todo edifício, sendo os programas *EnergyPlus* e *Design Builder*.

O *Energy plus* (E+) é um programa de simulação originado a partir dos softwares *BLAST* e *DOE-2* e financiado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos. O programa tem a capacidade de simulações em diferentes passos de tempo menores que uma hora para simulação que podem ocorrer durante um período de um ano típico meteorológico ou um dia padrão de projeto. Ele também possui capacidade de dimensionar sistemas de climatização AVAC (Aquecimento, ventilação e ar condicionado), avaliar taxas de ventilação natural dinâmica e térmica, diferenciar diferentes zonas térmicas, cálculos de índices de conforto e etc (VERSAGE, 2015). A programação dos dados de entrada é realizada por um editor de texto ou da interface *IDF-Editor*, para versão *Windows* e *Macbook*, que não são interfaces amigáveis para programadores iniciantes.

O *Design Builder* é um programa com interface amigável para os usuários e utiliza o programa *EnergyPlus* como motor de suas simulações. Ele possui uma vasta biblioteca de dados de tipos de envoltória, taxas de cargas térmicas e outros, e de esquemas pré-elaborados para análise dos dados de saídas<sup>10</sup>. Entretanto, embora seja extensamente utilizado no exterior, principalmente em programas de certificação internacionais como *LEED (Leadership in Energy and Environmental Design - Liderança em Energia e Design Ambiental.)*, ele apresenta pontos que não atendem satisfatoriamente ao público brasileiro (BREMENKAMP *et al.*, 2016).Esses pontos podem ser explicados pelo valor da licença comercial, falta de treinamento no uso das ferramentas do programa, não apresentar versão em língua portuguesa e divulgação restrita ao ambiente acadêmico.

---

<sup>9</sup> <https://www.buildingenergysoftwaretools.com/>, acessado em 02/09/2020.

<sup>10</sup> <https://designbuilder.co.uk/simulation>, acessado em 02/09/2020.

## ***Revisão da Literatura***

---

Similar ao *Design Builder*, porém *opensource*, tem-se o programa *OpenStudio*<sup>11</sup> composto por um conjunto de interfaces de auxílio ao programador, entre elas o *plugin* com o *software SketchUp*, o aplicador *OpenStudio*, o analisador de dados *ResultsViewer* e ferramenta de análises paramétricas (*Parametric Analysis Tool*). Infelizmente, o programa apresenta instabilidade durante sua modelagem ocasionando diversos erros sendo necessário o uso contínuo de cópias de segurança. Outro ponto negativo advém do tamanho dos seus arquivos de entrada quando comparados ao do E+.

Entre outras ferramentas similares tem-se os programas Autodesk Ecotect *Analysis*<sup>12</sup>, descontinuado em 2016, *Cypecad Mep*<sup>13</sup>, que possui versões em português, inglês e espanhol, TRACE 700<sup>14</sup> desenvolvido pela empresa Trane e que é uma das grandes fabricantes de sistemas AVAC e, diversos outros.

No Brasil, através do pesquisador Nathan Mendes e colaboradores destaca-se o programa DOMUS<sup>15</sup> para auxílio de modelagem segundo as normas PBE-Edifica. Dentre um dos potenciais no uso desse *software*, destaca-se uma boa interface gráfica para o usuário, terminologia em português e facilidade de realizar as simulações energéticas segundo as metodologias propostas no RTQ-C e seu equivalente residencial.

## **2.7 LEGISLAÇÃO E NORMAS**

Desde a década de 1970, após a percepção da sociedade para os impactos ambientais causados pela atividade humana e as crises do petróleo, houve uma mudança mundial para um desenvolvimento sustentável, principalmente, as medidas voltadas para eficiência energética. Nessa busca, as abordagens possuem duas

---

<sup>11</sup> <https://www.openstudio.net/>, acessado em 02/09/2020.

<sup>12</sup> <https://www.autodesk.com.br/>, acessado em 02/09/2020.

<sup>13</sup> <http://www.cype.com/en/cype/>, acessado em 02/09/2020.

<sup>14</sup> <https://www.trane.com/>, acessado em 02/09/2020.

<sup>15</sup> <http://domus.pucpr.br/>, acessado em 02/09/2020.

## ***Revisão da Literatura***

---

frentes de trabalho que são a política e a técnica. A abordagem política envolve a utilização de medidas de lei e instruções normativas que são consideradas eficazes para redução do consumo de energia. No campo técnico, são criados regulamentos e normas que orientam projetistas, engenheiros, arquitetos e outros profissionais da área para utilização de técnicas mais eficientes e eficazes no uso da energia (AGUILAR, 2018).

O protocolo de Kyoto realizado em 1997 foi um grande marco mundial por estabelecer metas a serem alcançadas por diversas nações em busca de um futuro sustentável. No Brasil, a **lei 10.295 de 2001** (PODER LEGISLATIVO, 2001) estabeleceu um conjunto de medidas políticas de conservação e uso racional de energia (BAVARESCO; GHISI, 2016). Relacionado às edificações, foi instruído em 2003 o programa Procel Edifica a partir do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica e Eletrobrás em conjunto com o Ministério de Minas e Energia, das Cidades, centros de pesquisas, universidades e diversas entidades governamentais das áreas tecnológicas, econômicas e desenvolvimento, além de vários setores da construção civil (AGUILAR, 2018; BAVARESCO; GHISI, 2016).

A partir das pesquisas relacionadas ao Procel Edifica, foram desenvolvidos os regulamentos técnicos para etiquetagem de edificações residenciais (RTQ-R) e edificações públicas, comerciais e de serviço (RTQ-C) e regulamentadas por diversas portarias do INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade industrial).

Em 2009 ocorreu o lançamento do RTQ-C para serem inicialmente aplicadas de forma voluntária e, com o passar dos anos, fossem transformados num programa de etiquetagem compulsório (RAMOS; LAMBERTS, 2010; TAVARES, 2011).

No método RTQ-C, as edificações podem ser classificadas em cinco classes de eficiências, que são de A (mais eficiente) a E (menos eficiente), e estão relacionadas a um indicador adimensional de consumo. O procedimento de avaliação poderá ocorrer pelo método prescritivo e/ou de simulação, sendo avaliados anteriormente pré-requisitos e limites técnicos, e a etiqueta geral é obtida analisando as etiquetas parciais para envoltória, iluminação artificial, condicionamento de ar e ventilação natural (MORAES *et al.*, 2018; TAVARES, 2011).

A partir do **Decreto Federal nº. 7.746 de 5 de Julho de 2012** (EXECUTIVO, 2012), que estabeleceram um conjunto de medidas que visavam auxiliar no

## ***Revisão da Literatura***

---

desenvolvimento, implementação e monitoramento de práticas de sustentabilidade e racionalização dos gastos públicos e das **Instruções Normativas nº10 de 2012 e nº4 de 2014** (BRASIL, 2012; BRASIL,2014), o uso do RTQ-C tornou-se obrigatório para construção ou *retrofit* das edificações públicas federativas (MORAES *et al.*, 2018).

Porém, a falta de conhecimento, treinamento e fiscalização destas legislações e normas, para seus gestores e corpo técnico, são facilmente perceptíveis quando se analisa o número de edifícios públicos construídos desde 2014 que não foram etiquetados. Isso é evidente quando se avalia a maior universidade do interior do estado de São Paulo (UFSCar) e das duas outras instituições federais localizadas no sudoeste de Minas Gerais, entre elas a Universidades Federais de Uberlândia (UFU) e do Triângulo Mineiro (UFTM)<sup>16</sup>, que não possuem nenhum edifício etiquetado desde 2014.

Como apontado por Aguilar (2018), os grandes problemas na utilização de uma etiquetagem voluntária para, posteriormente, a utilização de uma obrigatória são o fraco compromisso do governo, mecanismos insuficientes de avaliação, falta de financiamento e a necessidade de estabelecer mais centros de pesquisas e avaliação das etiquetas. Outro ponto a destacar, advém que a obrigatoriedade do RTQ-C em edificações públicas federativas não é punitiva, apenas inviabiliza a sua construção ou reforma até que seja atendido o regulamento.

Nesse sentido, espera-se que nos próximos anos, a partir da compilação das sugestões públicas para mudanças nos regulamentos técnico da qualidade para a classe de eficiência energética em edificações, lançada em 2018<sup>17</sup>, e das novas reestruturações das normas ABNT's relacionadas a qualidade do ar no interior de edifícios (ABNT, 2008) e desempenho térmico dos materiais construtivos (ABNT, 2003), elas se completem e possuam analogia de seus requisitos, tornando assim, a obrigatoriedade do RTQ-C também amparada pelas normas técnicas brasileiras.

---

<sup>16</sup> <http://pbeedifica.com.br/edificacoes-etiquetadas/comercial> ,acessado em 30/03/2020.

<sup>17</sup> <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002520.pdf>, acessado em 04/09/2020.

## 2.8 ESTUDOS DE SIMULAÇÃO ENVOLVENDO POC

O quadro 2.1 apresenta uma classificação dos principais trabalhos encontrados na literatura brasileira e portuguesa. Os trabalhos são analisados em função do programa de simulação, das características dos ambientes, do modelo de conforto térmico, da (s) localidade (s), do modelo da ventilação natural e da inserção das cargas térmicas internas.

Nota-se desse quadro, que a maioria dos trabalhos utilizam do *software Energy Plus* com auxílio de interface gráfica para modelagem das zonas térmicas e inserção dos elementos da envoltória sendo normalmente o programa *openstudio* ou *Sketchup* com *plugin* Euclid/Legacy (ALBUQUERQUE, 2014; FREITAS; LIMA; OLIVEIRA, 2019; NAKAMURA; MACIEL; CARLO, 2013; VIEIRA, 2019).

Em sua maioria, os trabalhos utilizam da norma ASHRAE 55 com 90 ou 80% de usuários satisfeitos, Tavares (2011) e Brasil (2015) propõem o uso do modelo de Dear e Brager modificado e Albuquerque (2014) da norma europeia NEN 8100.

Relacionado ao modelo de ventilação natural, os autores utilizam a modelagem com taxas de renovação do ar constante (BRASIL, 2015; TAVARES, 2011) ou com uso do modelo *Airflow NetWork* (modelo de nós) (ALBUQUERQUE, 2014; LOPES, 2020; NAKAMURA; MACIEL; CARLO, 2013; SILVEIRA, 2014). Neste último, somente os trabalhos de Albuquerque (2014) e Nakamura, Maciel e Carlo (2013) avaliam os coeficientes de pressão nas fachadas.

Para estudos na cidade de Viçosa-MG (zona bioclimática 3), Nakamura; Maciel e Carlo (2013) avaliaram que o uso da edificação sem elementos de proteção solares e vidros simples apresentou o melhor nível de conforto térmico, principalmente por diminuir as horas de desconforto devido ao frio. Resultado similar ocorreu em pesquisa realizada por Tavares (2011) na cidade de Uberlândia-MG (zona bioclimática 4), onde a taxa média de conforto térmico das salas de aula era de 63,2%, sendo que em 18,6% das horas ocupadas ocorria a sensação de frio.

Como demonstrado por Paulse (2016) e Freitas, Lima e Oliveira (2019), o uso de técnicas passivas de climatização, principalmente na fase de projeto, tendem a produzir projetos arquitetônicos com melhores condições de conforto térmico para seus usuários. A Figura 2.10 apresenta comparações ilustrativas do POC de um

***Revisão da Literatura***

---

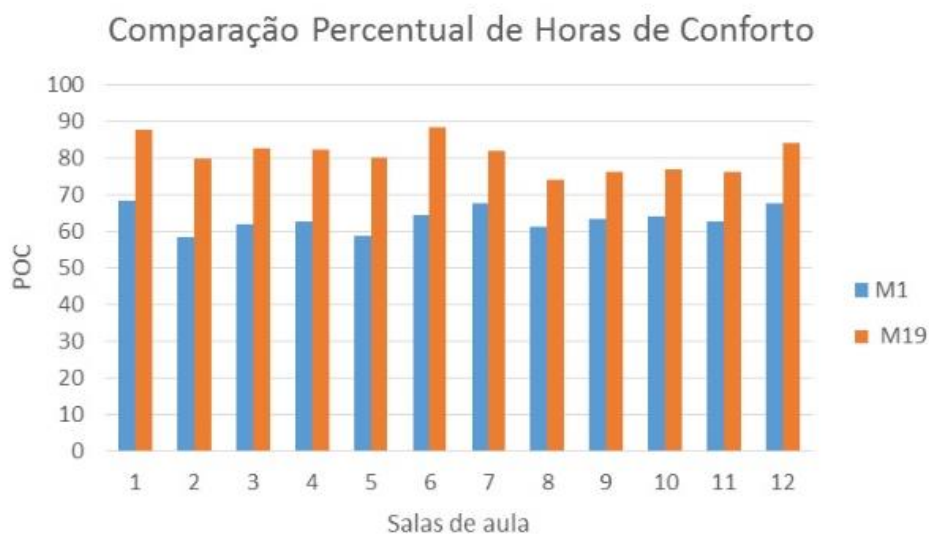
projeto inicial (azul) e com uso de técnicas passivas de climatização (laranja) de um edifício escolar na cidade de Goiânia-GO (zona bioclimática 6).

**Quadro 2.1** – Resumo de trabalhos de conforto térmico por simulação da ventilação natural.

Ref.	Programa	Tipo Edifício	Modelo de conforto	Local	Modelo de Ventilação	Cargas térmicas internas
Tavares (2011)	<i>Design Builder</i>	Salas de Aula	Dear e Brager modificado	Uberlândia-MG	Taxas constantes	Inseridas
Nakamura; Maciel; Carlo (2013)	<i>EnergyPlus</i>	Laboratórios de Engenharia	ASHRAE Standard 55	Viçosa-MG	<i>Airflow Network</i> com uso TNO CP Generator	Inseridas
Silveira (2014)	<i>EnergyPlus</i>	Residência Unifamiliar	ASHRAE 55 e NBR 15575	Natal -RN, Curitiba -PR e Campinas-SP	Coefficientes propostos por SWAMI e CHANDRA e taxas constantes	Inseridas no modelo ASHRAE 55
Albuquerque (2014)	<i>EnergyPlus</i>	Escritórios	NEN 8100	Lisboa	Coefficientes obtidos por técnicas CFD	Inseridas
Brasil (2015)	<i>EnergyPlus</i>	Escritórios	Dear e Brager modificado	Brasília-DF	Taxas constantes	Inseridas
Paulse (2016)	<i>Design Builder</i>	Salas de aula	ASHRAE 55 com 80% de aceitabilidade	Goiânia -Go	Não informado	Inseridas
Peglow <i>et al.</i> (2016)	<i>Design Builder</i>	Salas de Aula	ASHRAE 55	Pelotas-RS	Não Informado	Inseridas
Freitas; Lima; Oliveira (2019)	<i>EnergyPlus</i>	Salas de Aula, auditório, laboratórios e escritórios	ASHRAE 55 com 80% de aceitabilidade	Belo Horizonte -MG	Não informado	Inseridas
Vieira, (2019)	<i>EnergyPlus</i>	Salas de Aula	ASHRAE 55 com 80% de aceitabilidade	São Paulo-SP	Não Informado	Inseridas
Lopes (2020)	<i>Design Builder</i>	Salas de Aula	ASHRAE 55 modificado	Brasilia-DF, Curitiba-Pr, Cuiabá-MT, Natal-RN, Porto Alegre-RS, Rio de Janeiro-RJ	<i>Airflow Network</i> , porém sem descrição dos CP	Inseridas

**Fonte:** Autor

**Figura 2-10** - Avaliação do POC para projeto inicial (azul) e com modificações passivas de climatização (laranja).



**Fonte:** (PAULSE, 2016)

Percebe-se na Figura 2.10 a melhoria do POC dos 12 ambientes analisados com modificações nas estruturas da envoltória e técnicas passivas de climatização. Entretanto, como salientado por Lopes (2020), o uso de edifícios padronizados para diferentes zonas bioclimáticas devem ser evitados, principalmente por envolverem diferentes técnicas passivas para cada local.

Neste sentido, todos os trabalhos apresentados no Quadro 2.1 enfatizam que o uso de programas de simulação para avaliação do conforto térmico é altamente desejável para adequação da edificação, principalmente durante a fase de projeto, onde os custos de implementação são reduzidos quando comparados às etapas posteriores.

### **3 METODOLOGIA**

Neste capítulo são descritos o objeto de estudo do trabalho, as principais etapas necessárias para modelagem do edifício, as zonas de conforto térmico adaptativo utilizadas e a forma de análise dos resultados.

#### **3.1 OBJETO DE ESTUDO**

##### **3.1.1 Caracterização da edificação**

Esta pesquisa baseia-se no estudo de salas de aulas presentes no bloco AT-7 da UFSCar localizado na área norte do campus de São Carlos. A Figura 3.1 apresenta um mapa geral da área urbanizada do campus da UFSCar de São Carlos e a localização do edifício AT-7.

Construído em 2009, a partir de sistema estrutural pré-fabricado, a edificação apresenta formato aproximado de um prisma retangular com 72,9 m de comprimento, 13,3 m de largura e altura máxima de 15,1 m, com suas maiores fachadas voltadas para norte e sul. O edifício é composto por 17 salas de aulas distribuídas em três pavimentos de áreas semelhantes, sendo 4, 6 e 7 salas respectivamente no andar térreo, primeiro e segundo pavimento. A Figura 3.2 proporciona vistas da fachada sul e norte do AT-7.

As entradas ocorrem por quatro portas de acesso, sendo uma localizada na face leste, outra na face oeste e, por duas entradas principais dispostas na face sul para o *hall* de entrada. Neste *hall* está localizado o conjunto de escadas e elevador, que permitem o acesso aos demais andares da edificação que ocorrem por corredores de circulação horizontal. Ainda próximo ao *hall*, na sua fachada norte e nos três andares, encontram-se, num volume curvo, as áreas de sanitários, as salas de apoio e técnicas, as áreas de serviços e do elevador.

A Figura 3.3 fornece vistas panorâmicas a partir dos corredores horizontais do andar térreo e do segundo pavimento.

## Metodologia

**Figura 3-1** - Mapa geral da área urbanizada do campus da UFSCar - São Carlos e localização do AT7.



Fonte: (CUNHA, 2011).

**Figura 3-2** – Vista das fachadas sul (A) e norte (B) do bloco AT-7 obtidas em 2011.



Fonte: (CUNHA, 2011).

## ***Metodologia***

---

**Figura 3-3** - Vista panorâmica do andar térreo (A) e segundo pavimento (B).



**Fonte:** Autor.

Os corredores, dispostos ao norte, apresentam fechamento em bloco de concreto vazado na sua fachada (ver Figura 3.2-B) e dão acessos às salas de aulas. Esses últimos ambientes, todos localizados ao sul do edifício, apresentam janelas do tipo MAXIM AR no fechamento sul (ver Figura 3.2-A) e de janelas fixas de ventilação permanente localizadas na parte mais alta das paredes que fazem divisa com o corredor e as salas, ver Figura 3.4.

No caso das janelas de ventilação permanente, a ventilação ocorre por dois pequenos painéis de vidro defasados em aproximadamente 8 cm entre eles. A Figura 3.5 proporciona um corte da parede entre corredor e sala de aula, com destaque na janela de ventilação permanente.

Conforme apontado por Patrícia Gaion, arquiteta do projeto:

“As soluções empregadas para o conforto térmico incluem a orientação das salas de aula para a face sul, deixando a circulação principal do edifício voltada para a face norte, o que funciona como um anteparo de insolação para as salas de aula. A ventilação cruzada e permanente nas salas foi projetada para garantir uma boa circulação de ar dentro das mesmas, minimizando o uso de ventiladores ou ar condicionado”. (CUNHA, 2011).

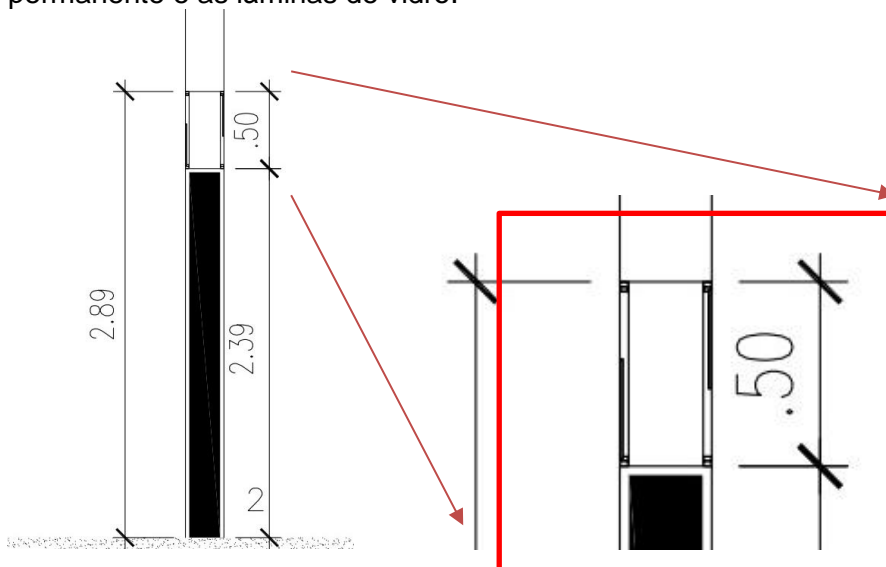
## Metodologia

**Figura 3-4** – Vista da parede entre corredor e salas de aula com destaque as janelas fixas de ventilação permanente.



Fonte: Autor.

**Figura 3-5** – Vista em corte entre corredor e sala de aula com destaque a janela de ventilação permanente e as lâminas de vidro.



Fonte: Adaptado de UFSCar et al. (2007)

## **Metodologia**

---

Na Figura 3.6 é apresentado uma visão panorâmica de 360° do interior da sala 01. É possível ver, no centro da figura, as janelas fixas na fileira superior e das janelas MAXIM AR nas duas fileiras inferiores que estão dispostas na fachada sul, ver Figura 3.2-A. Nas laterais da Figura 3.6 estão dispostas as janelas fixas de ventilação permanente na parede interna, ver Figura 3.4 e 3.5.

**Figura 3-6** – Vista panorâmica da sala 01. No centro da foto estão dispostas as janelas na fachada sul e, nas suas laterais, as janelas fixas de ventilação permanente.



**Fonte:** Autor.

**Figura 3-7** - Vista das fachadas sul (A) e norte (B) do bloco AT-7 obtidas em 2020.



**Fonte:** Autor.

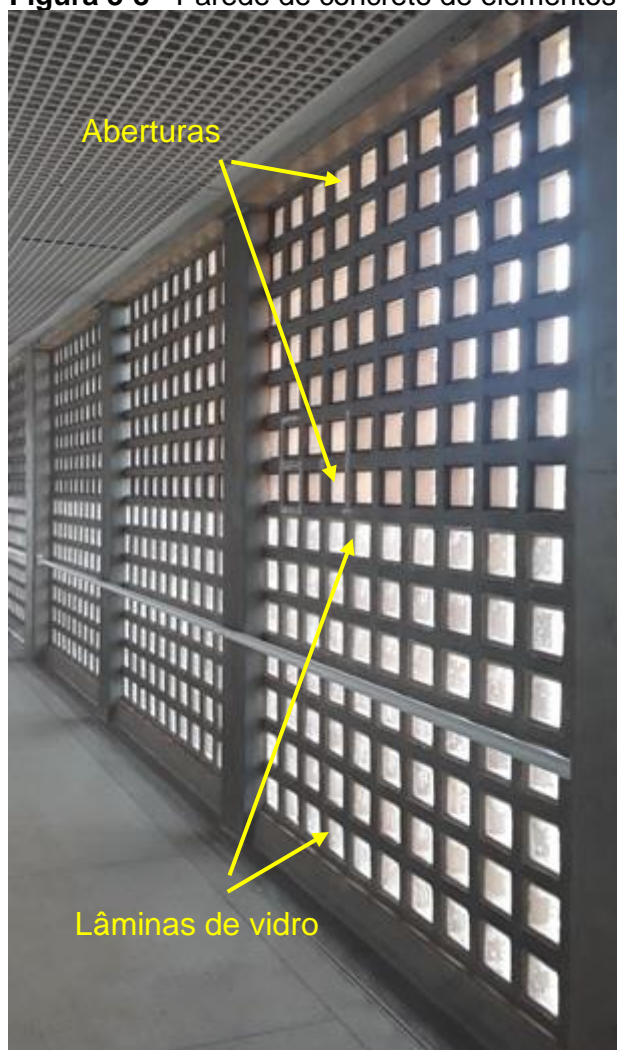
## **Metodologia**

---

Notou-se nos últimos anos, que o uso da parede de concreto com elemento vazado é uma excelente alternativa para intensificar a ventilação natural, porém ela também permitiu constantes alagamentos nos corredores horizontais nos períodos de chuva forte inutilizando frequentemente o acesso às salas de aula. Outro ponto a destacar, advém da degradação natural da pintura bege das fachadas.

A partir destes fatos, na última reforma do edifício ocorrida em 2019, as cores bejes claro foram substituídas por um vermelho barro, ver figura 3.2 e 3.7, enquanto parte dos elementos vazados foram fechados totalmente ou parcialmente com lâminas de vidro, ver Figura 3.8.

**Figura 3-8** - Parede de concreto de elementos vazados com abertura e lâmina de vidro.



**Fonte:** Autor.

## ***Metodologia***

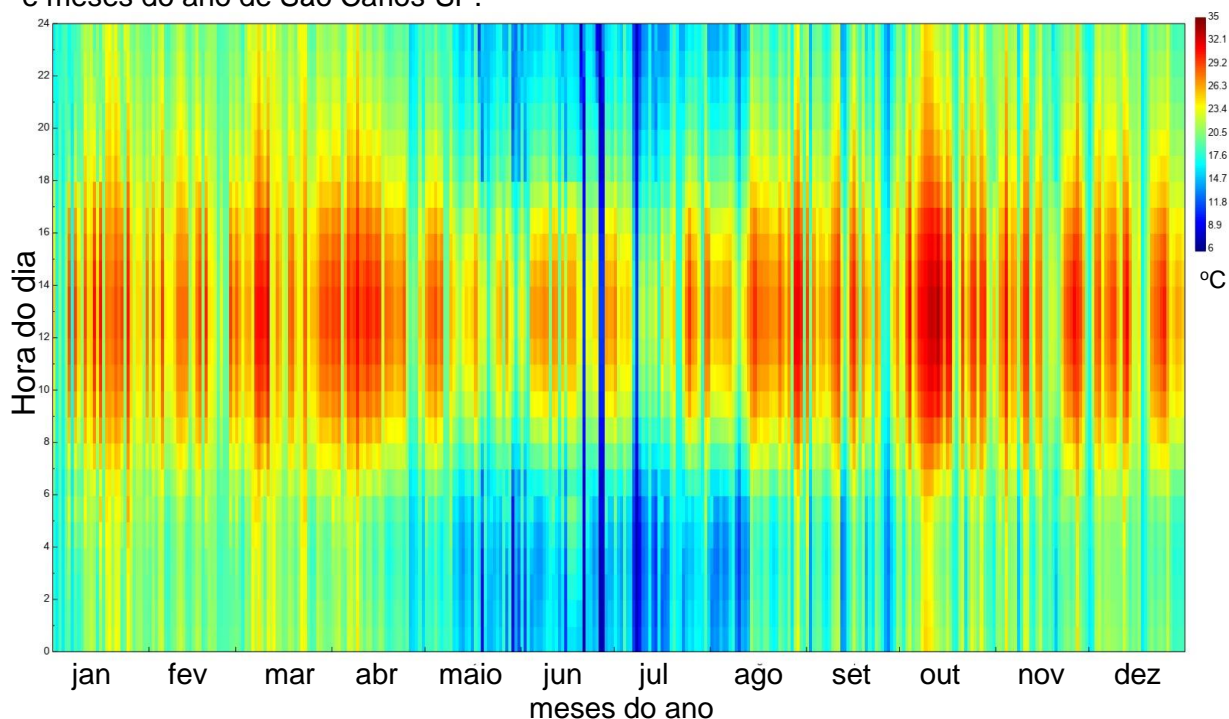
---

### 3.1.2 Caracterização do clima

O bloco AT-7 está localizado no município de São Carlos, interior do estado de São Paulo, a uma distância de 856 m acima do nível do mar, na latitude de 22°10'12" Sul e 47°52'58" Oeste. A cidade apresenta clima tropical de altitude com invernos secos e grandes amplitudes térmicas e verões chuvosos (ÁLVARES, 2018).

Segundo classificação bioclimática da NBR 15220-3 (ABNT, 2003b), São Carlos pertence a zona bioclimática 4 sendo recomendado durante o verão o uso de inércia térmica, de ventilação natural seletiva e sombreamento, enquanto para o inverno são indicados inércia térmica para aquecimento, aquecimento solar passivo e resfriamento evaporativo.

**Figura 3-9** - Mapa de calor da temperatura de bulbo seco externa ao longo das horas do dia e meses do ano de São Carlos-SP.



**Fonte:** Adaptado pelo autor.

As Figuras 3.9 e 3.10 apresentam, respectivamente, o mapa de calor da TBS (temperatura de bulbo seco) externa (*Dview* 3.1) e, as rosas dos ventos com

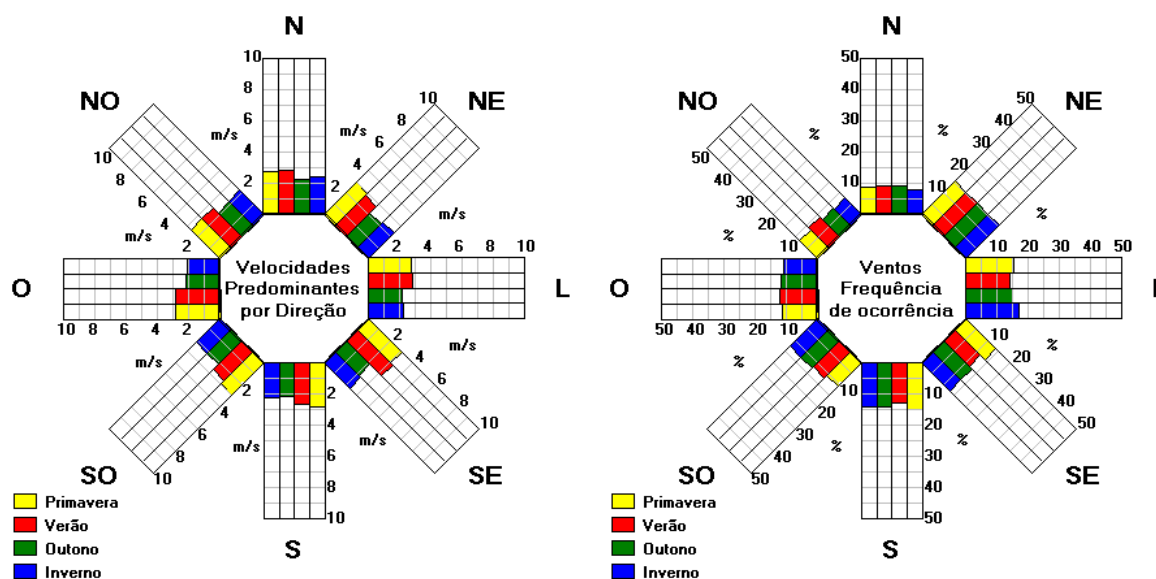
## Metodologia

velocidades e frequência de ocorrência (SOL-AR) obtidos a partir de dados climáticos TMY (Ano meteorológico típico)<sup>18</sup>.

Nota-se na Figura 3.9 a presença de manhãs frias durante os meses de maio a agosto com tardes levemente quentes e com grandes amplitudes térmicas, principalmente no mês de junho. Isso pode ser explicado pela baixa nebulosidade do céu que favorece um rápido aquecimento do ar no período da tarde e, posteriormente, no seu resfriamento através de perda de calor para o céu noturno. Na primavera, durante o mês de outubro, percebe-se a ocorrência das maiores temperaturas externas.

Relacionado a intensidade e direção dos ventos, ver Figura 3.10, as velocidades médias estão entre 2 a 3 m/s com maior incidência dos ventos nas direções nordeste, leste e sudeste nas quatro estações do ano.

**Figura 3-10** - Rosa dos ventos com velocidades predominantes e frequência de ocorrência ao longo das estações do ano para cidade de São Carlos -SP.



**Fonte:** Adaptado pelo autor de Leite *et al.* (2019).

<sup>18</sup> <https://labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos>, acessado em 15/06/2020.

## 3.2 MODELAGEM DO EDIFÍCIO

Para simulação do edifício utilizou-se do programa computacional *EnergyPlus* versão 8.7 com uso do arquivo climático de São Carlos TMY disponibilizado pelo Laboratório de Eficiência Energética da Universidade Federal de Santa Catarina-SC (LABEEE-UFSC). Para modelagem tridimensional da edificação empregou-se do *software SketchUP* versão 2017 com uso do *plugin Euclid*, enquanto, para a ventilação natural, seguiu a metodologia proposta por Pereira *et al.* (2013).

O procedimento metodológico da modelagem é subdividido em:

- 1) Definição das zonas térmicas e da envoltória;
- 2) Propriedades termofísicas da envoltória;
- 3) Modelagem da ventilação natural;
- 4) Definição das cargas térmicas internas;

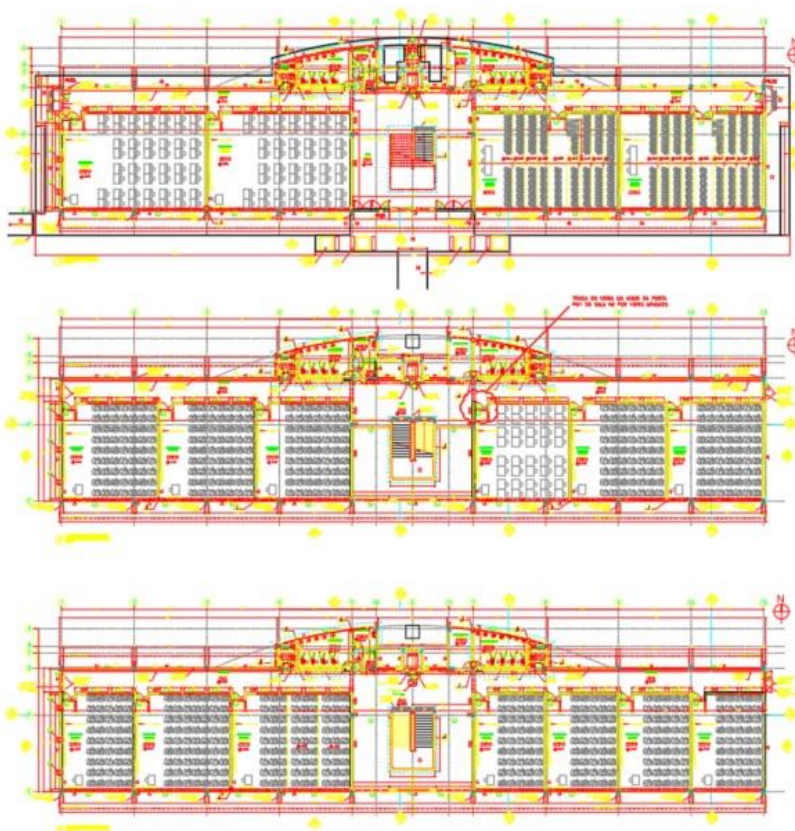
### 3.2.1 Definição das zonas térmicas e da envoltória

Dados geométricos da edificação foram obtidos a partir de arquivos eletrônicos do projeto executivo fornecidos pelo Escritório de Desenvolvimento Físico da (EDF) da UFSCar (UFSCAR *et al.*, 2007) e, quando necessário, foram realizadas medições na edificação para comparação dos valores reais e presentes nestes arquivos. As Figuras 3.11 e 12 proporcionam vistas da planta baixa dos três pavimentos e dos cortes (Cortes transversais e longitudinais), respectivamente.

Foram modeladas no total 28 zonas térmicas, sendo 17 salas de aulas, 6 corredores (dois para cada pavimento), 3 pavimentos entre o encontro dos corredores e o *hall* principal, 1 para o *hall* principal e o último para o forro. Os espaços de banheiros, salas técnicas e de apoio e de elevador foram desconsiderados e modelados como elementos de sombreamento. A área de divisa entre esses volumes e as demais zonas térmicas foram consideradas adiabáticas.

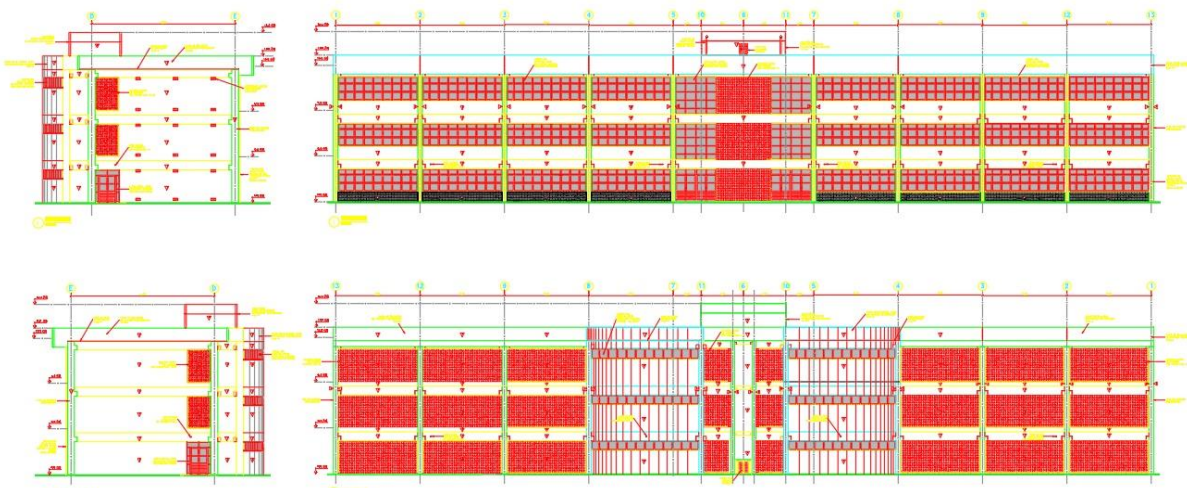
## Metodologia

Figura 3-11 – Planta baixa dos três pavimentos do AT-7.



Fonte: (UFSCAR et al., 2007).

Figura 3-12 – Cortes transversais e longitudinais do AT-7.



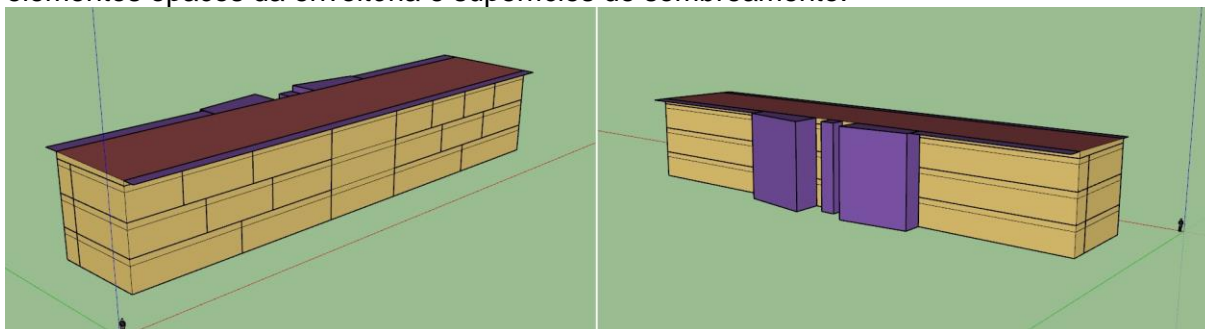
Fonte: (UFSCAR et al., 2007).

## **Metodologia**

---

A Figura 3.13 apresenta vistas em perspectivas das fachadas da edificação após a modelagem das superfícies opacas das zonas térmicas. Deve-se ressaltar que foram realizadas diferenciação nas fachadas para cada tipo de acabamento devido às suas diferentes absorções.

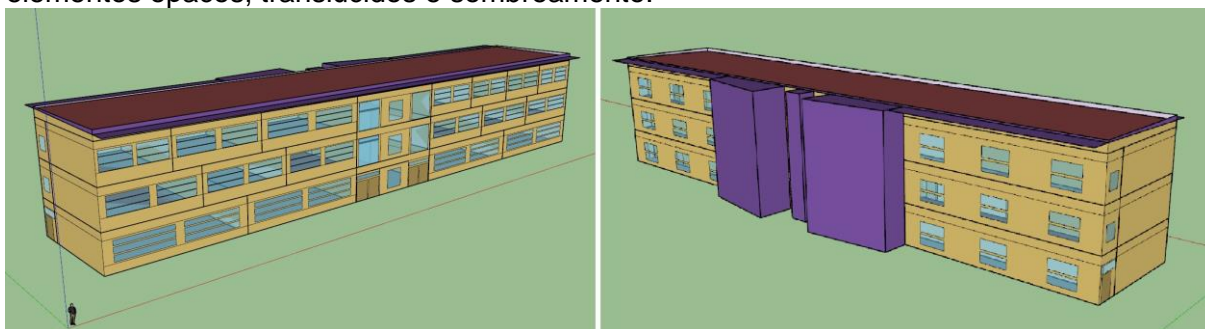
**Figura 3-13** – Vistas em perspectivas das fachadas sul (à esquerda) e norte (à direita) com elementos opacos da envoltória e superfícies de sombreamento.



**Fonte:** Autor.

Numa segunda etapa, foram inseridos as aberturas e os elementos da envoltória translúcidos e/ou transparente. Entre eles têm-se portas, janelas, vão entre os corredores e o *hall* e, as aberturas dos elementos vazados. A Figura 3.14 proporciona visualização do modelo geométrico do AT-7 com as superfícies opacas (amarelo escuro para as fachadas e vermelho para o teto), translúcidas (azul claro) e de sombreamento (roxo).

**Figura 3-14** - Vistas em perspectivas das fachadas sul (à esquerda) e norte (à direita) com elementos opacos, translúcidos e sombreamento.



**Fonte:** Autor.

Observar que as medidas das janelas da fachada sul e dos vãos abertos no concreto são diferentes no presente no arquivo eletrônico e obtidas na edificação, sendo utilizados os valores deste último.

## **Metodologia**

As janelas MAXIM AR possuem dimensões 0,63 m x 0,69 m (0,435 m<sup>2</sup>) cada, as janelas fixas tamanho de 0,5 m x 0,69 m (0,449m<sup>2</sup>) e cada elemento vazado na parede de concreto de 0,12 m x 0,12 m.

Por simplificação na modelagem geométrica e tempo de simulação, as janelas fixas e MAXIM AR da fachada sul foram modeladas em duas e quatro áreas, respectivamente, para cada sala de aula, ver Figura 3.14 à esquerda e Figura 3.2 A). Da mesma forma, as janelas fixas de ventilação permanente foram modeladas como sendo uma única abertura.

**Tabela 3.1** –. Área de abertura por tipo das salas de aulas.

Ambiente	Janelas			Abertura portas (m <sup>2</sup> )
	MAXIM AR (m <sup>2</sup> )	Fixas (sul) (m <sup>2</sup> )	Fixas Ventilação permanente. (m <sup>2</sup> )	
Sala 1	15,65	8.07	5.12	2,66
Sala 2	15,65	8.07	5.12	2,66
Sala 3	15,65	8.07	5.12	3,15
Sala 4	15,65	8.07	5.12	3,15
Sala 5	10,43	5.38	3.29	2,66
Sala 6	10,43	5.38	3.29	2,66
Sala 7	10,43	5.38	3.29	2,66
Sala 8	10,43	5.38	3.29	2,66
Sala 9	10,43	5.38	3.29	2,66
Sala 10	10,43	5.38	3.29	2,66
Sala 11	7,83	4.04	2.38	2,66
Sala 12	10,43	5.38	3.29	2,66
Sala 13	13,04	6.73	4.21	2,66
Sala 14	7,83	4.04	2.38	2,66
Sala 15	7,83	4.04	2.38	2,66
Sala 16	7,83	4.04	2.38	2,66
Sala 17	6,96	3.59	2.38	2,66

**Fonte:** Autor.

**Tabela 3.2** –. Área de abertura dos elementos vazados de concreto por sua orientação na edificação.

Posição	Área (m <sup>2</sup> )	Observação
Fachada norte -bordas	2X3,08	A cada três seções de concreto vazado
Fachada norte - central	2x1,13	Cada seção de concreto vazado
Fachada leste - Oeste	2,02	Cada seção de concreto vazado
Fachada sul	4,93	Cada seção de concreto vazado

**Fonte:** Autor.

## **Metodologia**

---

As áreas de interstícios nas paredes de concreto na fachada norte foram divididas em duas áreas a cada três paredes de concreto vazado, ver Figuras 3.14 à direita e Figura 3.2 B. Exceção ocorreu com as áreas de interstícios na área central da fachada norte que foi modelada em duas aberturas contínuas a cada parede de concreto. Isso facilitou a modelagem da ventilação natural desses elementos após as mudanças ocorridas na reforma.

Os interstícios existentes no concreto vazado nas faces leste, oeste e sul foram modelados como uma única abertura para cada parede de concreto.

A Tabela 3.1 fornece as principais áreas de aberturas para as zonas térmicas das salas de aula, enquanto a Tabela 3.2 as áreas de cada seção do elemento vazado das paredes de concreto conforme sua orientação.

### 3.2.2 Propriedades termofísicas da envoltória

Durante a análise dos arquivos eletrônicos foram identificados 14 tipos de envoltórias sendo 13 elementos opacos e 1 translúcido.

Para os elementos translúcidos, em sua maioria, foi suposto o uso de vidro simples na composição das aberturas das janelas fixas, das janelas fixas de ventilação permanente, das aberturas MAXIM AR, dos elementos vazados de concreto e entre as ligações do *hall* e os corredores horizontais. Na falta de especificações técnicas do vidro, adotou-se que sua transmitância seja de 5,68 (W/m<sup>2</sup>K) (ROSSITI; SOUZA, 2012) e fator solar de 0,86 (BRASIL, 2013a).

Entre os elementos opacos têm-se as vigas de concreto de 30cm (1), parede de concreto vazada (2), paredes externas no leste-oeste pintadas (3a e 3b) , parede externa sul de 25 cm pintada (4a e 4b) ou com revestimento cerâmico (5), esquadria de alumínio (6), parede interna de 30 cm com dupla camada de tijolos (7), parede interna de 25 cm (8), piso térreo de concreto (9), laje alveolar de 25 cm (10), parede de 15 cm de concreto (11) , telha de aço e ático(12) e porta de madeira (13).

As vigas de concreto de 30 cm de espessura estão dispostas entre os andares térreo e primeiro pavimento, primeiro e segundo pavimento e, entre segundo pavimento e forro com alturas, respectivamente, de 0,80 m, 0,80 m e 0,70 m. Elas

## **Metodologia**

---

também se encontram como elementos de separação do hall principal e as salas de aulas adjacentes.

As paredes externas leste-oeste pintadas estão dispostas nas fachadas externas leste e oeste. Elas possuem uma camada externa de argamassa (2 cm) com pintura bege claro ou vermelho barro, dupla camada de tijolo cerâmico maciço com 9 cm cada fileira, 8,0 cm de câmara de ar, sendo bem ventilada na fachada oeste, e camada de argamassa interna (2 cm).

As paredes de concreto vazado apresentam 10 cm de concreto cavernoso e estão presentes em toda fachada norte do edifício e, nos finais dos corredores nas fachadas leste e oeste. Eles também se encontram no centro da fachada sul na zona térmica do *hall* principal.

As paredes ao sul apresentam tijolo cerâmico maciço de 20 cm, argamassa interna de 2,5 cm, argamassa externa de 2,5 cm pintada ou com revestimento cerâmico. As paredes sul do segundo e terceiro andar são pintadas, enquanto do andar térreo é revestida com cerâmica e todas estão presentes abaixo das áreas das janelas.

As esquadrias metálicas das portas de acesso e janelas são compostas de alumínio com 30 mm de espessura pintadas na cor branca.

A parede interna de 30 cm com dupla camada de tijolos apresenta composição similar às paredes leste-oeste, porém sua câmara de ar é pouco ventilada, pois seu maior objetivo é de isolamento acústico. Elas estão localizadas entre as salas de aula do andar térreo e nas laterais entre o *hall* principal e as salas de aula adjacentes.

As paredes internas de 25 cm apresentam 5,0 cm de argamassa distribuídas igualmente de ambos os lados da parede e 20 cm de espessura de tijolo cerâmico maciço. Elas estão presentes entre as salas de aulas e os corredores horizontais e, entre as divisas das salas de aula do primeiro e do segundo andar.

Na falta de dados precisos do piso térreo, supôs que sua composição seja de 17,0 cm de espessura de concreto normal que é a medida informada como base total do piso (UFSCAR et al., 2007). No projeto eletrônico é especificado laje alveolar de 28 cm entre o térreo e primeiro andar e, primeiro e segundo andar. Entre o segundo andar e o forro é apontado laje alveolar de 20 cm. Porém, em nenhuma delas é dado um corte detalhado da sua geometria interna. Assim, supôs que todas elas fossem iguais com duas camadas de concreto com 11,7 cm cada, com um total de 23,4 cm

## **Metodologia**

de espessura, e câmara de ar de 5 cm na horizontal, que perfaz uma espessura de 28,4 cm.

Os beirais do forro apresentam parede de concreto com 15 cm de espessura, enquanto o telhado metálico foi modelado com placa de aço de 0,5 mm de espessura com revestimento externo branco e com uma câmara de ar exposta a superfícies com baixa emissividade, que representaria um forro bem ventilado.

As portas de madeira possuem 25 mm de espessura e foram consideradas de madeira maciça e estão na entrada de todas as salas de aula.

A Tabela 3.3 proporciona dados das transmitâncias, capacidades térmicas e absorptância por tipo de elemento opaco.

**Tabela 3.3** – Transmitâncias e capacidades térmicas e, absorptância dos elementos das zonas térmicas.

Número	Nome elemento	U (W/m <sup>2</sup> .K)	CT (kJ/m <sup>2</sup> .K)	Absortância (Adimensional)
1	Viga concreto 30 cm	2,93	690	0,698
2	Parede de concreto vazado	4,14	190	0,698
3	Paredes externas leste-oeste	1,74	312	Vermelho Barro 0,436
				Bege Claro 0,083
4	Parede Sul - pintada	2,30	358	Vermelho Barro 0,436
				Bege Claro 0,083
5	Parede Sul – Revestimento cerâmico	2,30	358	0,519
6	Esquadria de alumínio	5,88	71	0,065
7	Parede interna 30 cm	1,74	312	--
8	Parede interna 25 cm	2,30	358	--
9	Piso térreo	3,26	391	--
10	Laje Alveolar	1,81	538	--
11	Parede de concreto 15 cm	3,91	345	0,698
12	Telha aço e ático	1,22	2	0,200
13	Porta madeira	2,87	24	--

**Fonte:** Autor.

Para cálculo da transmitância e capacidade térmica, utilizou-se metodologia proposta pela NBR 15220-2 (ABNT, 2003a) sendo empregado as propriedades

## **Metodologia**

---

médias da densidade, da condutividade térmica e do calor específico para os seguintes materiais: concreto normal e cavernoso, argamassa, tijolo cerâmico e aço.

As absorções das pinturas externas foram obtidas com uso do equipamento ALTA-II conforme método proposto por Dornelles (2008), com exceção da pintura branca da telha de aço que foi suposta ser de 0,2, ver tabela 2.9. Adotou-se que a pintura da edificação antes da reforma seja similar do edifício 161 localizado ao norte do AT-7 e, que possuía coloração similar como apresentado pela figura 3.15. No apêndice A encontram-se as análises da absorção.

**Figura 3-15** - Vista da fachada oeste do edifício 161 e da fachada norte do AT-7 obtidas em 2018.



**Fonte:** Autor.

### 3.2.3 Modelagem da ventilação natural

Para modelagem da ventilação natural empregou-se da classe “*AirflowNetWork*” do programa E+ seguindo metodologia elaborada por Pereira *et al.* (2013). Enquanto, empregou-se de correlação proposta por Swami e Chandra (1988, apud PEREIRA *et al.*, 2013) para estimar os coeficientes de pressão do vento nas

## **Metodologia**

fachadas da edificação através da classe “*AirflowNetWork: SimulationControl*”. Nestes cálculos, supôs que as superfícies no entorno e da área comum ao norte não interfiram nesses coeficientes, enquanto a razão de aspecto utilizada foi de 0,175 (razão entre comprimento e largura do edifício).

São propostas no mínimo duas situações para as resistências dinâmicas ao fluxo do ar através do edifício nas possíveis aberturas.

Na primeira, as portas e janelas podem ser abertas durante a ocupação das salas e quando a temperatura interna do ambiente é maior que a temperatura de ajuste, que é a maior temperatura do nível inferior do conforto térmico adaptativo. Nesse esquema, a ventilação natural ocorrerá pela área útil da abertura sendo necessário definir o coeficiente de descarga, dados geométricos da abertura e porcentagem da área útil.

No segundo caso, as portas e janelas estão fechadas. Isso pode ocorrer durante o período em que as salas não estejam ocupadas ou quando a temperatura interna do ambiente for menor que da temperatura de ajuste. Nessa situação, o fluxo do ar ocorre pelas frestas das portas e janelas sendo necessário definir o coeficiente de descarga e, o expoente e coeficiente de fluxo.

**Tabela 3.4 –** Parâmetros de transporte para ventilação natural nas salas de aula.

Condição	Parâmetro	Abertura		
		Porta	Janelas	
		Madeira	MAXIM AR	Ventilação permanente
Fechada	Coeficiente de fluxo (kg/s.m)	0,002	0.0014	0,001
	Expoente de fluxo	0,60	0,65	0,65
	Coeficiente de descarga	0,001	0,001	0,001
Aberta 100%	Coeficiente de descarga	0,6	0,6	0,4
	% Área útil de ventilação	100	100	0,38
Aberta 45%	Coeficiente de descarga	x	0,5	x
	% Área útil de ventilação	x	30	x

**Fonte:** Autor.

## ***Metodologia***

**Tabela 3.5** –. Parâmetros de transporte para ventilação natural para os corredores horizontais e as zonas térmicas do *hall*.

Condição	Parâmetro	Abertura	
		Porta	Concreto vazado
		Acesso	Antes e após a reforma
Fechada	Coeficiente de fluxo (kg/s.m)	0,038	0.001
	Expoente de fluxo	0,66	0,66
	Coeficiente de descarga	0,001	0,001
Aberta 100%	Coeficiente de descarga	0,66	0,6
	% Área útil de ventilação	100	100

**Fonte:** Autor.

As janelas fixas de ventilação permanente e as aberturas do concreto vazado sempre estarão abertas, com exceções das aberturas fechadas após a reforma. As portas de acesso central e nas laterais do edifício foram modeladas abertas todos os dias das 8 da manhã até às 6 da tarde e, posteriormente, estarão fechadas.

As Tabelas 3.4 e 3.5 proporcionam os parâmetros de transporte para ventilação natural nas salas de aulas e dos corredores e espaços do *hall*, respectivamente. Esses parâmetros foram obtidos a partir de compilação sugerida por Pereira *et al.* (2013).

Na Tabela 3.4 foi adotado duas possibilidades de aberturas das janelas MAXIM AR que são abertas totalmente ou com inclinação de 45°. Deve-se notar, que nas janelas fixas de ventilação permanente, foram inseridos no programa os coeficientes padrão na condição fechadas, entretanto elas foram modeladas sempre abertas. Adotou-se um coeficiente de descarga de 0,4 quando aberto para simular a presença de uma dupla camada de vidro.

Na Tabela 3.5 são fornecidos os parâmetros para as portas de acessos e os interstícios do concreto vazado. Nota-se que os coeficientes antes e após a reforma são os mesmos, variando apenas a área disponível para abertura. Nesta situação, a área inferior ao sul de cada corredor foi considerada bloqueada, enquanto na área superior a ventilação é permanente. As aberturas no leste, oeste e na face sul do andar térreo foram fechadas totalmente após a reforma.

## ***Metodologia***

### 3.2.4 Definição das cargas térmicas internas

A partir de levantamento de dados realizado na edificação e disponíveis em Cunha (2011) foram estimadas as cargas térmicas internas de pessoas, iluminação e equipamentos elétricos. A Tabela 3.6 fornece as cargas térmicas internas por tipo na sua capacidade máxima em cada ambiente. Supõe-se que essas cargas sejam relevantes somente nos ambientes ocupados de permanência prolongada, sendo desprezados as parcelas devido a iluminação e pessoas nos corredores e no *hall*.

As salas 01 a 04 encontram-se no térreo sendo que a Sala 01 na direção mais a oeste, enquanto a sala 04 ao leste. As Salas 05 a 10 estão no primeiro pavimento e dispostas em contagem do oeste para o leste. O mesmo ocorre para as salas 12 a 17, que estão no segundo pavimento.

**Tabela 3.6** –Cargas térmicas internas por tipo para cada ambiente.

Ambiente-pavimento	Número de pessoas	Cargas térmicas internas por tipo		
		Pessoas (W)	Iluminação (W)	Equipamentos Elétricos (W)
Sala 01 – T	52	6760	864	
Sala 02 – T	52	6760	864	
Sala 03 – T	97	12610	720	
Sala 04 – T	97	12610	720	
Sala 05 – 1ª	63	8190	576	
Sala 06 – 1ª	63	8190	576	
Sala 07 – 1ª	63	8190	576	
Sala 08 – 1ª	30	3900	576	2100
Sala 09 – 1ª	30	3900	576	2100
Sala 10 – 1ª	30	3900	576	2100
Sala 11 – 2ª	45	5850	432	
Sala 12 – 2ª	63	8190	576	
Sala 13 – 2ª	81	10530	720	
Sala 14 – 2ª	45	5850	432	
Sala 15 – 2ª	45	5850	432	
Sala 16 – 2ª	45	5850	432	
Sala 17 – 2ª	45	5850	432	

**Fonte:** Autor.

Dados do número de pessoas em cada ambiente foram obtidos de Cunha (2011), com exceção das salas 08 a 10 que apresentaram número de assentos menor

## **Metodologia**

---

do que proposto inicialmente. Adota-se que a taxa de calor dissipado por pessoa seja de 130W por indivíduo, que representa uma atividade leve de escritório (ABNT, 2008).

Supôs que o sistema de iluminação artificial das salas de aula é composto por lâmpadas LEDs tubular de 18W arranjadas em luminárias com duas lâmpadas cada, ver Figura 3.15.

Para carga térmica de equipamentos, considerou-se apenas os computadores de mesa presentes nos laboratórios computacionais (salas 09 a 10). No total foram contabilizados 30 microcomputadores para cada ambiente e estimou-se uma taxa de dissipação de 70W/cada, ver Tabela 2.5.

**Figura 3-16** – Vista da sala de aula do laboratório computacional.



**Fonte:** Autor.

Estimou-se que o padrão de ocupação das salas ocorra das 8:00 às 12:00 e das 14:00 às 18:00 em todos os dias do ano. O mesmo padrão de uso foi suposto para as cargas térmicas de iluminação e equipamentos.

### 3.3 ZONA DE CONFORTO TÉRMICO ADAPTATIVO

Foram utilizados duas correlações para o conforto térmico adaptativo, uma proposta por Brager e De Dear (2001), equações (3) e (4) e Brasil (2015), equações (5) e (6), ambas com 90% de aceitabilidade com intuito de avaliar as diferenças ocasionadas por cada uma delas no POC. Nesse estudo, empregou-se o arquivo climático TMY da cidade de São Carlos-SP.

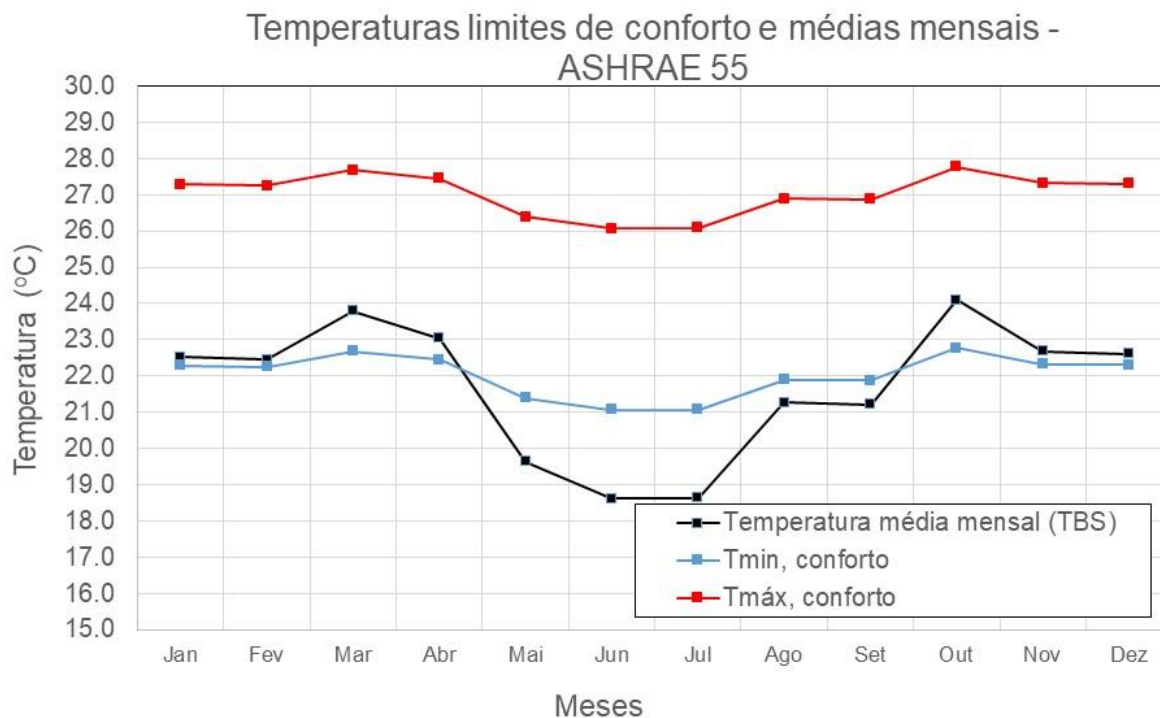
As temperaturas neutras mensais foram obtidas a partir da média da temperatura mensal de cada mês, perfazendo um total de 12 valores. As Figuras 3.16 e 3.17 apresentam as zonas de conforto térmico adaptativo para a cidade de São Carlos-SP a partir dos modelos ASHRAE 55 e proposto por Brasil (2015).

Comparando os gráficos destas duas figuras, percebe-se que os limites de temperaturas inferiores de conforto são menores, na ordem de até 0,4°C, para o modelo ASHRAE 55 quando comparado com o utilizado por Brasil (2015). Da mesma forma, os limites superiores de temperatura do modelo ASHRAE são maiores que os empregados por Brasil (2015), com exceção dos meses junho e junho. Isso indica que a faixa de temperaturas de conforto adaptativo do modelo ASHRAE 55 é levemente maior.

Outro comparativo realizado na zona de conforto ocorreu no uso das temperaturas médias mensais do mês e das médias diárias dos últimos 30 dias antecedentes conforme apresentado por Silveira (2014). Nesta análise utilizou-se a correlação de Brager e De Dear (2001) com 90% de aceitabilidade.

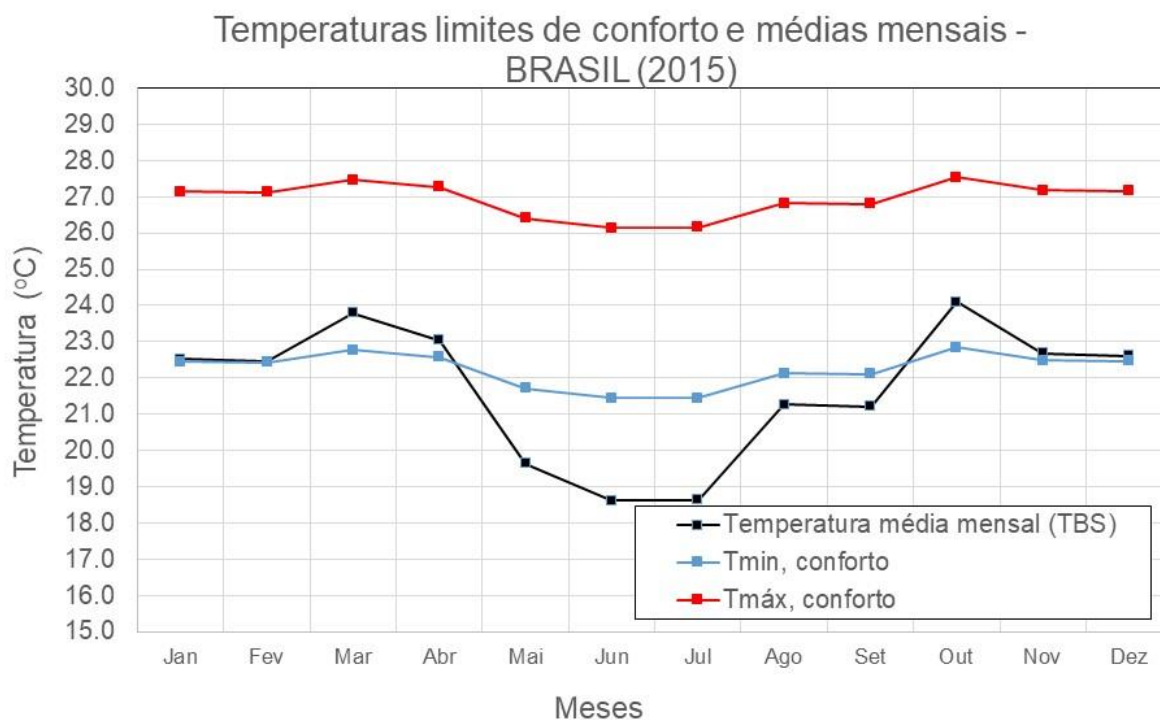
## Metodologia

**Figura 3-17** - Variação da temperatura média mensal ( $T_{m,ext}$ ) e das temperaturas máximas e mínimas de conforto térmico adaptativo para modelo ASHRAE 55.



Fonte: Autor.

**Figura 3-18** - Variação da temperatura média mensal ( $T_{m,ext}$ ) e das temperaturas máximas e mínimas de conforto térmico adaptativo por correlações propostas por Brasil (2015).



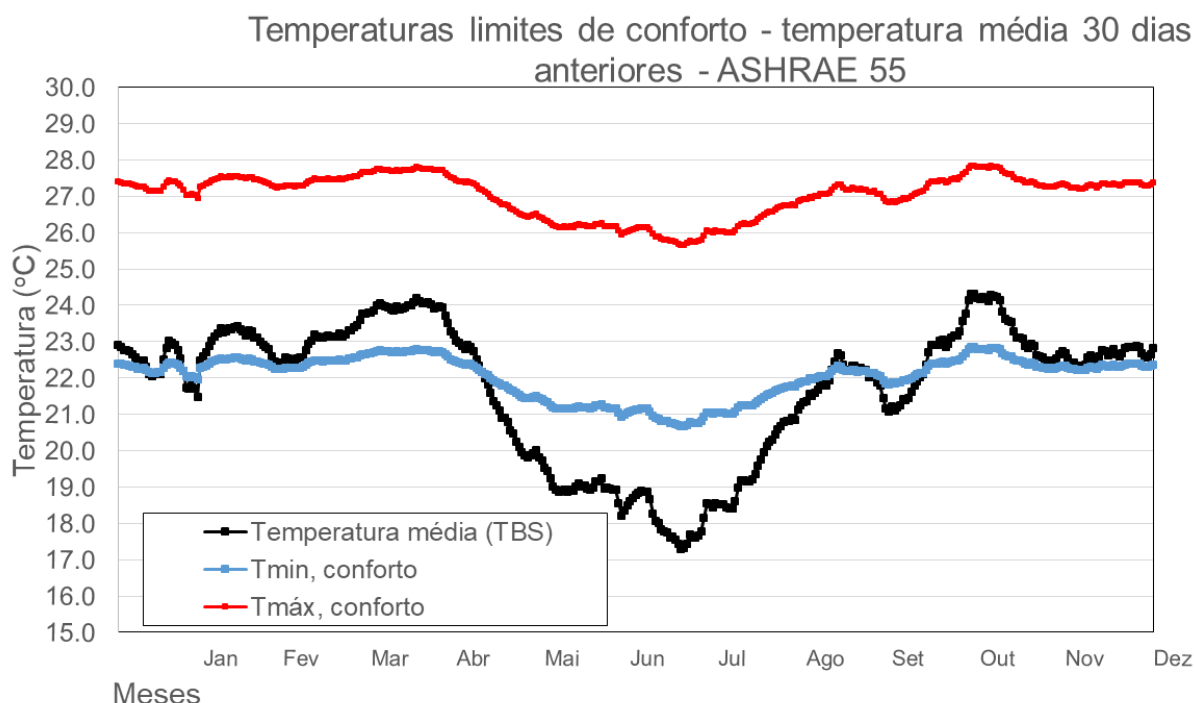
Fonte: Autor.

## **Metodologia**

A Figura 3.18 fornece as temperaturas médias diárias a partir dos últimos 30 dias (preto), do limite superior (vermelho) e inferior (azul) das temperaturas de zona de conforto dadas pelo modelo adaptativo da ASHRAE 55.

Avaliando as maiores temperaturas do limite inferior da zona de conforto das figuras 3.16 a 3.18 tem-se que a maior temperatura é de 22,8°C. Isso ocorreu no mês de outubro na Figura 3.17 e, nos dias 28 e 29 do mês de setembro na Figura 3.18. A partir dessa análise, adota-se o valor de 22,8°C para temperatura de ajuste para abertura ou não das janelas das salas de aula.

**Figura 3-19** – Temperatura média dos 30 dias anteriores e das temperaturas máximas e mínimas de conforto adaptativo para o modelo ASHRAE 55.



**Fonte:** Autor.

### **3.4 FORMAS DE ANÁLISE DOS RESULTADOS**

O percentual de horas ocupada em conforto (POC) é definido como a razão de horas ocupadas com a comprovação desses através de simulação sobre as horas totais de ocupação (BRASIL, 2013a) para cada ambiente de interesse. Cada

## **Metodologia**

simulação ocorreu nas 8760 horas do ano em passos de uma hora cada. Entretanto, as análises do POC somente aconteceram em 2920 horas do ano.

Quando a temperatura operativa do ambiente interno for maior que o limite superior da zona de conforto, ele é considerado desconfortável devido ao calor (graus hora de desconforto por calor – G<sub>hc</sub>). Se a temperatura operativa do ambiente for menor que o limite inferior da zona de conforto, o local está desconfortável devido ao frio (graus horas de desconforto por frio – G<sub>hf</sub>). Caso contrário, a sala ocupada estará dentro dos parâmetros do conforto adaptativo. Ressalta-se que o POC dos ambientes transitórios tais como corredores e o *hall* não foram utilizados nestas análises.

Os valores de temperatura operativa para cada zona térmica foram obtidos nos dados de saída do programa *Energy Plus* através da variável “*Zone Operative Temperature*”.

Empregou-se a metodologia proposta pelo RTQ-C para definir o equivalente numérico da eficiência da ventilação natural para cada ambiente com ocupação prolongada (EqNumV), que é apresentado na Tabela 3.7. Assim, um ambiente que possui POC igual ou superior a 80% obterá um índice “A” para ventilação natural e um EqNumV igual a 5, enquanto, se seu POC for menor que 50%, o ambiente obtém uma etiqueta nível “E” e um EqNumV igual a 1.

**Tabela 3.7** –. Equivalente numérico para ventilação natural segundo RTQ-C.

<b>Percentual de Horas Ocupadas em Conforto</b>	<b>Nível de eficiência</b>	<b>Equivalente Numérico da Ventilação - EqNumV</b>
POC ≥ 80%	A	5
70% ≤ POC < 80%	B	4
60% ≤ POC < 70%	C	3
50% ≤ POC < 60%	D	2
POC < 50%	E	1

**Fonte:**(PBEEDIFICA, 2012).

Definido o EqNumV de cada ambiente, o valor final da efetividade da ventilação natural é obtido pela ponderação das áreas vezes o EqNumV de cada ambiente. A partir do valor obtido desta ponderação e, com auxílio da Tabela 3.8, é dada uma classificação final para o edifício devido à ventilação.

**Tabela 3.8** – Classificação final do Equivalente Numérico da edificação.

Nível de eficiência	EqNumVen Final
A	$\leq 4,5$
B	$\geq 3,5$ a $< 4,5$
C	$\geq 2,5$ a $< 3,5$
D	$\geq 1,5$ a $< 2,5$
E	$< 1,5$

Fonte: (PBEEDIFICA, 2012).

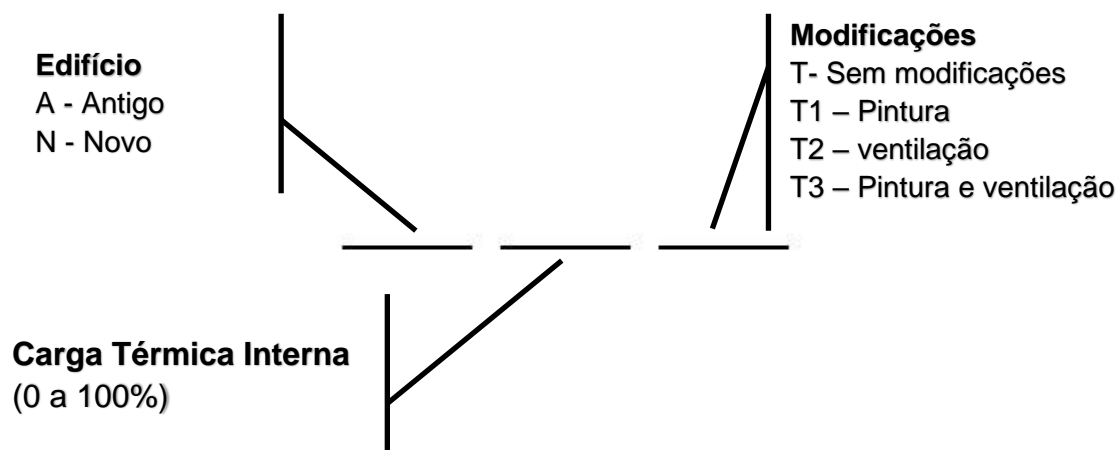
Outra variável utilizada para comparação foi “*AFN Zone Infiltration Air Change Rate*” que fornece o número de volumes de ar na zona térmica trocados a cada hora. Devido a sua variação horária e diária, foram utilizadas de perfis de horas iguais ou excedente de cada valor da troca de ar do ambiente por hora.

### 3.5 CASOS SIMULADOS

No total foram simuladas 7 configurações do edifício envolvendo dados antes e após as reformas, com modificações parciais compreendendo as mudanças de pintura e da ventilação natural e diferentes cargas térmicas internas de pessoas e equipamentos.

A Figura 3.19 proporciona esquema da nomenclatura destas simulações que é dividida em 3 partes.

Na primeira é indicado a situação do edifício antes ou após as reformas, sendo A para antigo e N para novo. A segunda fornece a porcentagem das cargas térmicas de pessoas e equipamentos e varia de 0 a 100%. Por fim, a última parte disponibiliza o tipo de modificação existente sendo T a configuração sem nenhuma modificação, T1 – modificação parcial apenas da pintura, T2 – somente bloqueio da ventilação natural e T3 a presença das últimas duas modificações.

**Figura 3-20** –Esquema da nomenclatura das simulações.

**Fonte:** Autor.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados das simulações. Inicialmente foi realizada uma comparação dos efeitos das correlações de conforto adaptativo através da medição do POC na fase inicial do edifício. Posteriormente, analisou-se os efeitos das modificações após reforma de formas separada e em conjunto sobre o conforto dos ambientes. Na etapa final, foi estudado a influência da taxa de ocupação dos ambientes na atual configuração da construção.

### **4.1 CORRELAÇÃO DE CONFORTO ADAPTATIVO**

Nesta seção é avaliado a influência da metodologia de cálculo da zona de conforto térmico adaptativo sobre o POC final de cada ambiente. Utilizou-se dados da edificação na sua antiga forma. As Figuras 4.1 a 4.3 proporcionam o POC dessas três análises por salas no andar térreo, primeiro e segundo pavimento, respectivamente.

Observa-se na Figura 4.1, que o modelo adaptativo proposto por Brasil (2015) apresenta os menores valores do POC dos três métodos para todos os ambientes do andar térreo. Esta mesma tendência é observada nas salas do primeiro e segundo pavimento, ver Figuras 4.2 e 4.3. Isto pode ser justificado pela menor amplitude de temperaturas máxima e mínima do modelo proposto por Brasil (2015) quando comparados com os modelos da ASHRAE 55.

Das três formas de análise, nota-se que o modelo adaptativo da ASHRAE 55 com utilização da média dos últimos 30 dias para cálculo da temperatura neutra apresentou os melhores valores de POC quando comparado aos outros dois métodos com médias superiores a 0,5% e 3,6%, respectivamente, do modelo ASHRAE 55 e Brasil (2015) que utilizam da temperatura média mensal. Ressalta-se, que a única exceção ocorreu na sala 9, no qual, o uso do modelo da ASHRAE 55 com média mensal foi superior, ver Figura 4.2.

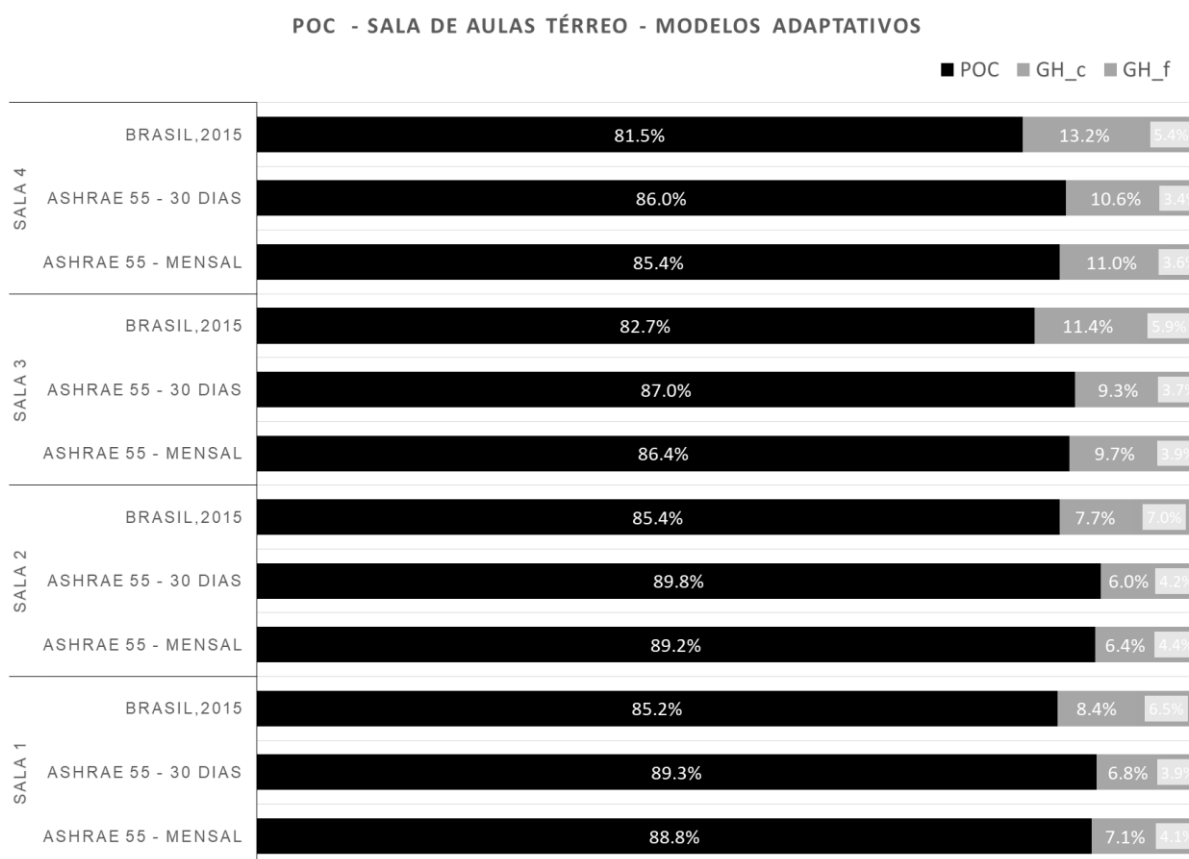
Observando os valores de POC dos três andares, o andar térreo é o que apresentou as maiores porcentagens de horas em conforto térmico e com média de 88%. Esta tendência pode ser causada devido às trocas térmicas dos ambientes

## **Resultados e Discussões**

térreos com o solo, que normalmente está a uma temperatura menor que o ar do ambiente, e no qual favorece a redução das suas temperaturas internas.

Em sequência, o primeiro e segundo pavimento apresentam POC médios dos ambientes de 70 % e 69,8 %, respectivamente. No segundo pavimento, embora possua uma carga térmica adicional devido a irradiância solar advinda pelo teto, quando comparado ao primeiro pavimento, as suas taxas de ventilação natural possivelmente foram maiores devido às maiores velocidades do vento em suas fachadas.

**Figura 4-1** - Avaliação do POC conforme modelo adaptativo das salas do andar térreo antes das reformas.



**Fonte:** Autor.

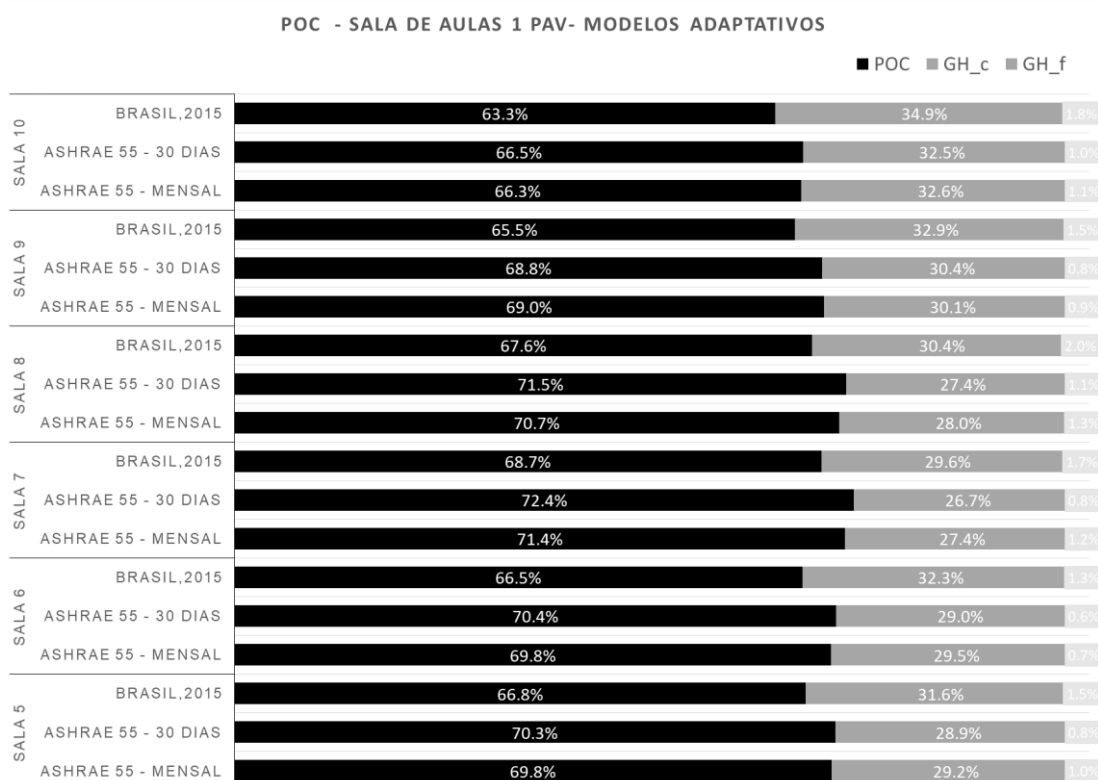
Outro fator a considerar nestas análises, está relacionado a zona de desconforto térmico, que em sua maioria, advém da sensação térmica de calor com um valor médio no edifício de 24,3%. No caso da sensação térmica devido ao frio, este valor é de 1,5% das horas ocupadas quando se analisa pelo modelo ASHRAE

## **Resultados e Discussões**

55 com média das temperaturas dos últimos dias. Para o mesmo período, das 8 às 12 e das 14 às 18h, os dados climáticos externos fornecem sensações térmicas de calor e frio, respectivamente, de 22,6% e 26,6%. Isto indica, que para a arquitetura inicial, houve melhorias significativas para redução da sensação térmica de frio, com um ligeiro aumento da sensação de calor.

Referentes aos métodos empregados para avaliar a zona de conforto térmico adaptativo na análise do POC, este trabalho demonstra que o modelo da ASHRAE 55 com ajuste de temperaturas neutras dos últimos 30 dias seja recomendado nas análises e estes resultados colaboram com os dados propostos por Silveira (2014). Entretanto, ressalta-se que o único contraponto ao utilizar esse método advém da maior complexidade nos cálculos.

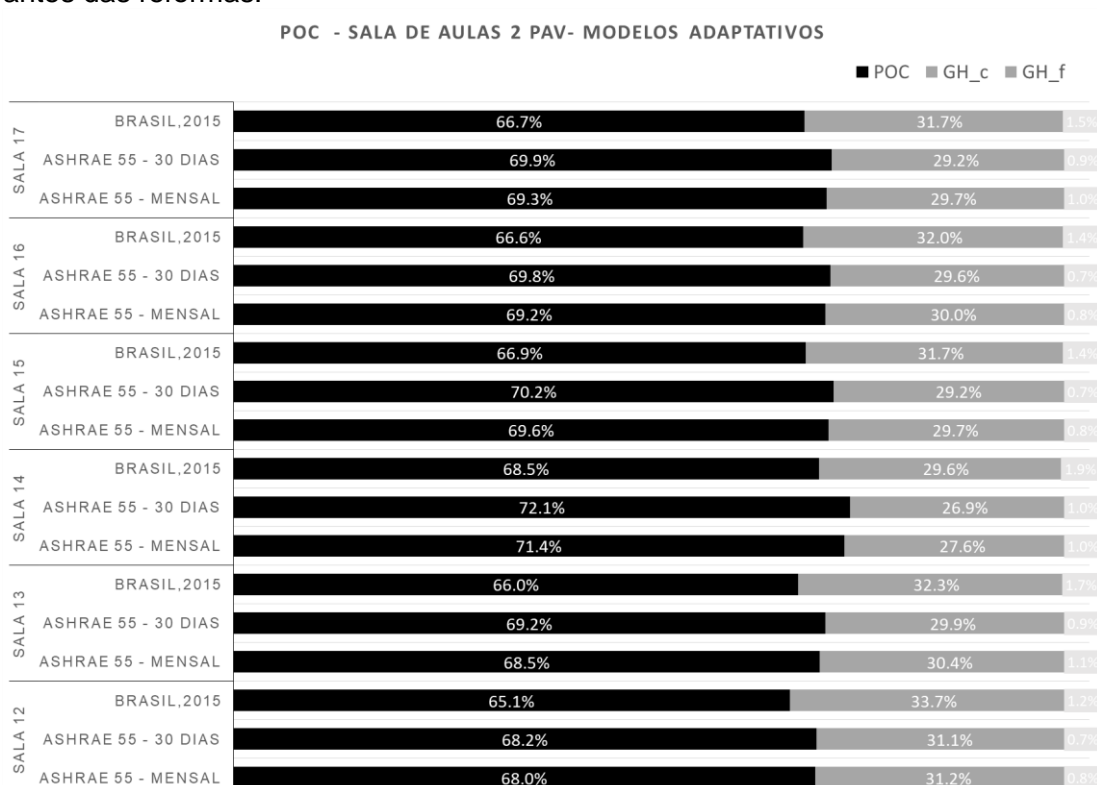
**Figura 4-2** - Avaliação do POC conforme modelo adaptativo das salas do primeiro pavimento antes das reformas.



Fonte: Autor.

## Resultados e Discussões

**Figura 4-3** - Avaliação do POC conforme modelo adaptativo das salas do segundo pavimento antes das reformas.



Fonte: Autor.

## 4.2 COMPARAÇÃO DO EDIFÍCIO ANTIGO, NOVO E MUDANÇAS PARCIAIS

Nesta seção é discutida a influência da reforma nas condições de conforto térmico da edificação. Os casos são comparados para a edificação antiga (A\_100\_T\_1), após as reformas (N\_100\_T\_3) e com apenas uma das duas modificações, isto é, mudança da pintura (N\_100\_T\_2) ou no bloqueio parcial das áreas vazadas dos cobogós de concreto (N\_100\_T\_3). Utiliza-se o modelo de conforto térmico da ASHRAE com temperaturas neutras de cada dia obtidas dos últimos 30 dias devido ao seu melhor desempenho.

## Resultados e Discussões

**Figura 4-4 - Avaliação POC - ASHRAE 55 30 dias anteriores, para salas de aula andar térreo nas condições antigas e novas.**



**Fonte:** Autor.

As Figuras 4.4 a 4.6 fornecem o POC dos ambientes para as 4 situações propostas do piso térreo, do primeiro e segundo pavimento, respectivamente.

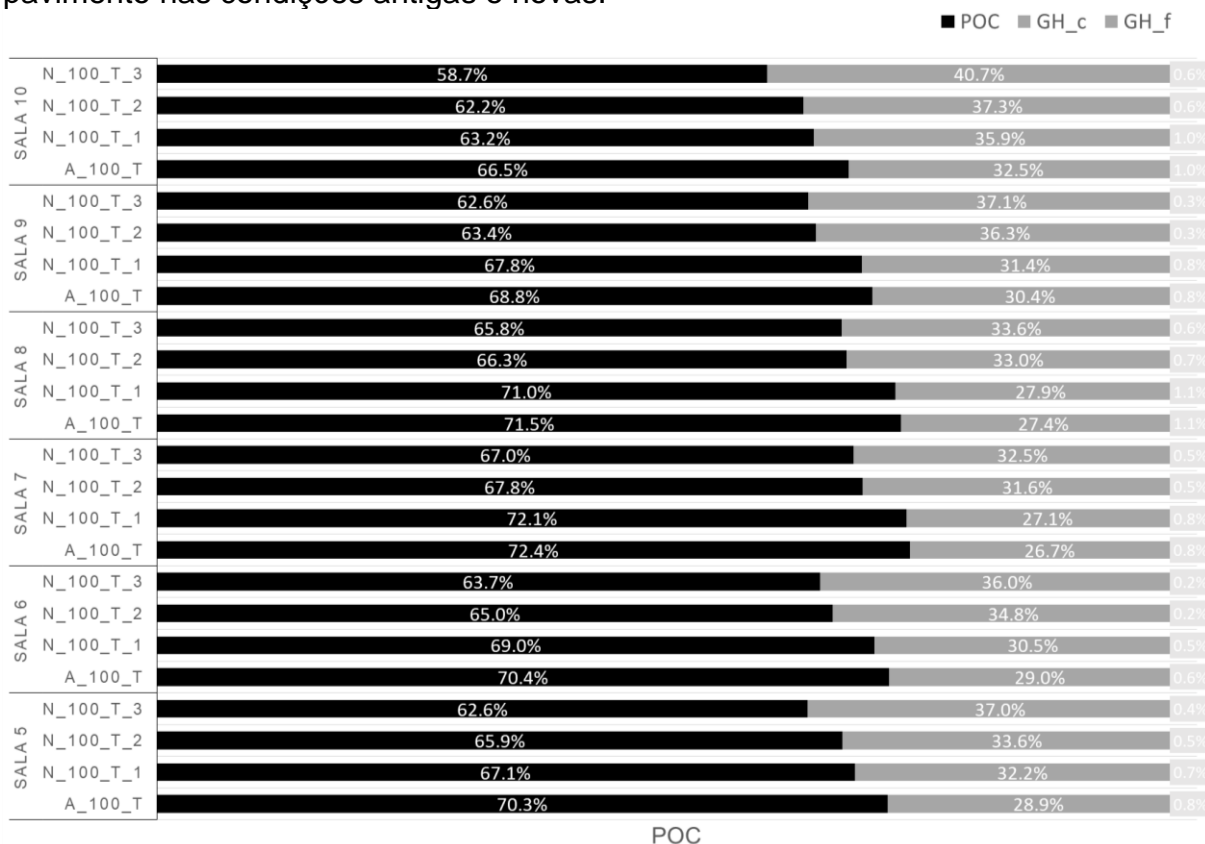
Nota-se em todas estas figuras, que as modificações realizadas durante as reformas prejudicaram o índice de conforto em todos os ambientes com variações de 0,3% (salas 2 e 3) até uma redução de 7,9% (sala 09).

No andar térreo, Figura 4.4, quando se compara o efeito da modificação devido a pintura com a obstrução dos elementos vazados dos cobogós, verifica-se que esse teve um maior impacto na degradação do POC do que aquele.

Já para os ambientes do primeiro e segundo pavimento, Figuras 4.5 e 4.6, observa-se que a modificação que teve maior influência sobre o POC foi a obstrução dos cobogós. Isso pode ser explicado pela redução da ventilação natural destes ambientes.

## Resultados e Discussões

**Figura 4-5 - Avaliação POC - ASHRAE 55 30 dias anteriores, para salas do primeiro pavimento nas condições antigas e novas.**



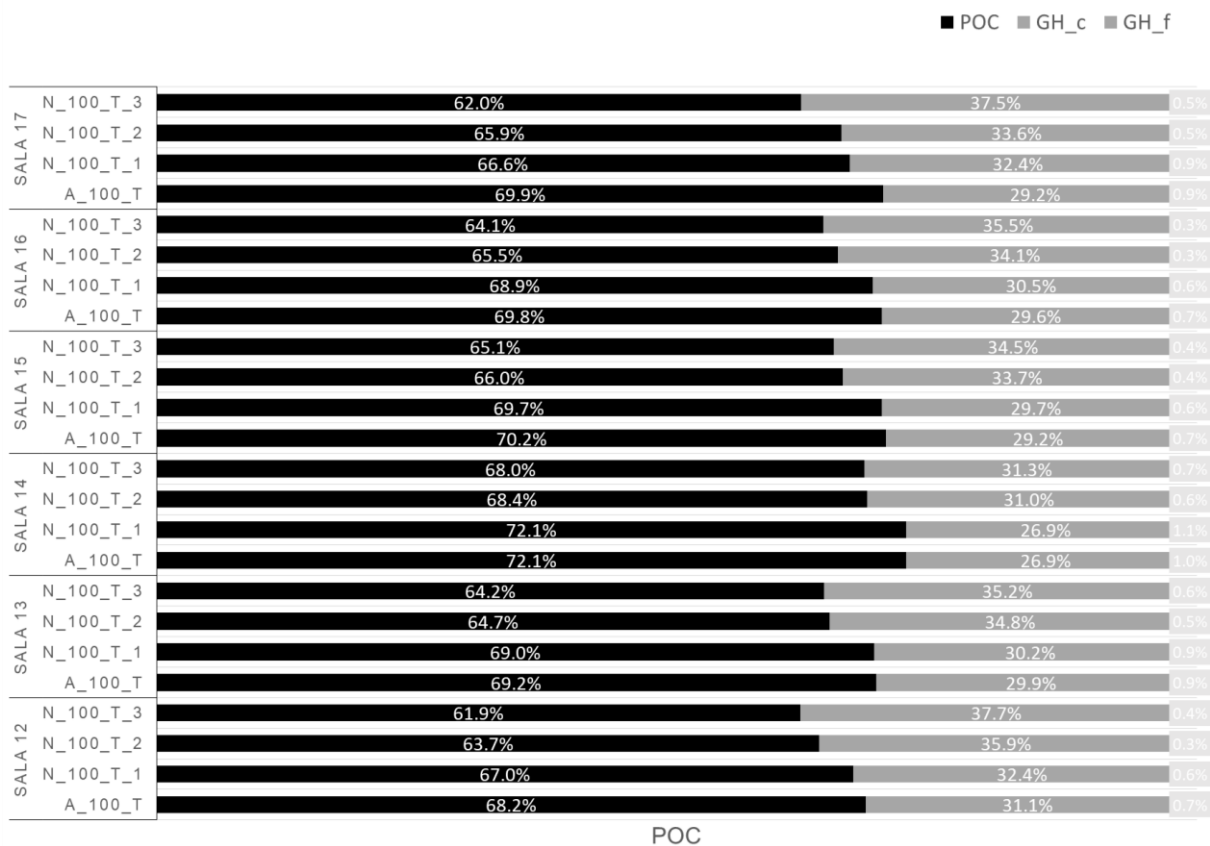
**Fonte:** Autor.

A Figura 4.7 proporciona as trocas de ar por hora igual ou excedentes das salas presentes próximas da parede oeste (Sala 01, 05 e 11) em cada andar nas condições anteriores à reforma, em vermelho, e após a reforma, preto. Observa-se nesta figura, para a sala 5 e 11, que após a reforma ocorreu uma diminuição do número de horas igual ou excedente. No caso da sala 01 houve um pequeno aumento da taxa de renovação até aproximadamente 250 horas e, após, houve um decréscimo e as curvas foram quase similares.

A Tabela 4.1 fornece os cálculos de ponderação das áreas e nível de etiqueta para obtenção do EqNum da Ventilação final do edifício para antes e após as reformas do AT-7. Observa-se, que para o caso A\_100\_T o valor final é de 3,97 e superior ao do caso N\_100\_T\_3 que obteve 3,61. Isso indica que as reformas pioraram as condições de conforto térmico da edificação, entretanto, deve-se ressaltar que a edificação ainda manteria o mesmo nível de etiqueta para a ventilação natural na classe “B”, ver Tabela 3.8.

## Resultados e Discussões

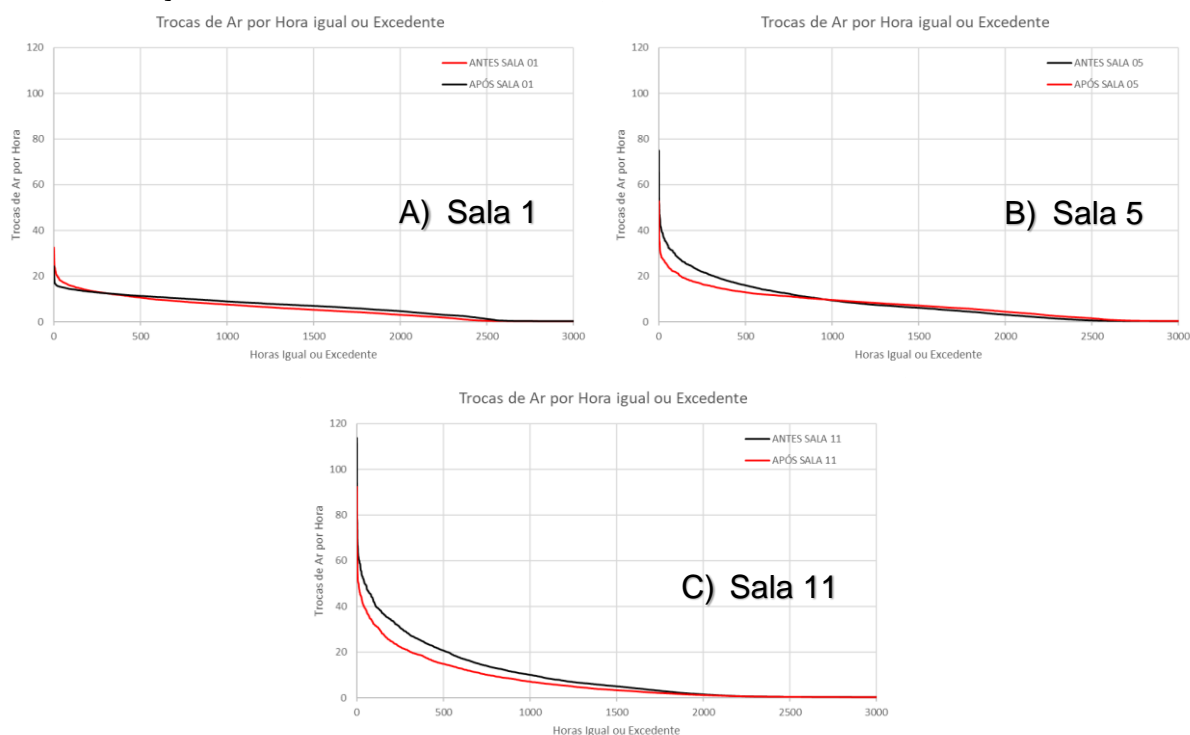
**Figura 4-6 - Avaliação POC - ASHRAE 55 30 dias anteriores, para salas de aula do segundo pavimento nas condições antigas e novas.**



Fonte: Autor.

## Resultados e Discussões

**Figura 4-7** - Trocas de ar de renovação das salas 01, 05 e 11 por horas igual ou excedente. Em vermelho indica os valores antes das modificações e, em azul, após as modificações.



Fonte: Autor.

**Tabela 4.1** –. Ponderação das áreas e nível da etiqueta para obtenção do EqNum da Ventilação final para o edifício antes e após as reformas.

Ambiente	Área (m <sup>2</sup> )	A_100_T EqNumV	N_100_T_3 EqNumV	A_100_T Ponderado	N_100_T_3 Ponderado
SALA 1	155.40	5	5	0.42	0.42
SALA 2	151.40	5	5	0.41	0.41
SALA 3	155.34	5	5	0.42	0.42
SALA 4	152.10	5	5	0.41	0.41
SALA 5	104.49	4	3	0.23	0.17
SALA 6	101.20	4	3	0.22	0.16
SALA 7	101.25	4	3	0.22	0.16
SALA 8	103.53	4	3	0.22	0.17
SALA 9	101.20	3	3	0.16	0.16
SALA 10	102.72	3	2	0.17	0.11
SALA 11	73.88	3	3	0.12	0.12
SALA 12	101.20	3	3	0.16	0.16
SALA 13	131.86	3	3	0.21	0.21
SALA 14	78.23	4	3	0.17	0.13
SALA 15	75.90	4	3	0.16	0.12
SALA 16	75.90	3	3	0.12	0.12
SALA 17	77.42	3	3	0.13	0.13
Área total (m <sup>2</sup> )=	1843.02		EqNumF=	3.97	3.61

Fonte: Autor.

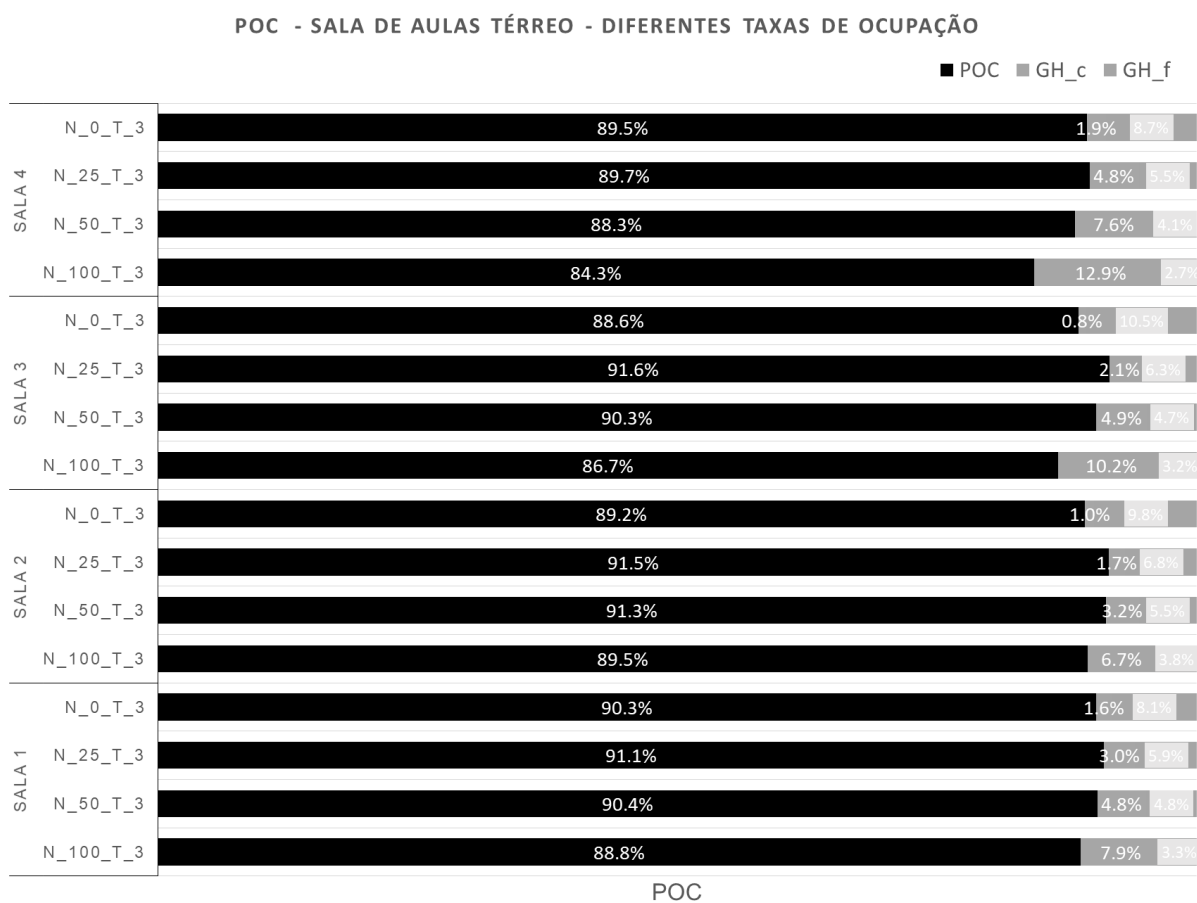
## Resultados e Discussões

### 4.3 AVALIAÇÃO DO POC EM DISTINTAS CONFIGURAÇÕES DE OCUPAÇÃO

Avaliou-se o POC de distintas configurações de ocupação do edifício AT-7 através da modificação das cargas térmicas de ocupação e de equipamentos. Foram adotadas configurações do AT-7 após as reformas com taxas de ocupação de 0%, 25%, 50% e 100%, que representam, respectivamente, os casos N\_0\_T\_3, N\_25\_T\_3, N\_50\_T\_3 e N\_100\_T\_3. Ressalta-se que a carga térmica devido a iluminação esteve sempre em 100% durante sua ocupação.

As Figuras 4.8 a 4.10 apresentam o POC para as salas dos três pavimentos do AT-7 para as quatro configurações propostas.

**Figura 4-8** - Avaliação POC - ASHRAE 55 30 dias anteriores, para salas do pavimento térreo com diferentes porcentagens de cargas térmicas internas.



Fonte: Autor.

## Resultados e Discussões

Para o andar térreo, ver Figura 4.8, observa-se que ocorre um ligeiro aumento do POC quando se compara o ambiente sem ocupação e com 25% de pessoas nos recintos. Isso tende a ocorrer pela diminuição dos graus horas de frio e um pequeno aumento dos graus horas de calor. Isso também tende a ocorrer na maioria das salas ao se comparar o edifício vazio e com 50% da capacidade máxima, com exceção da sala da sala 4 que ocorre um decréscimo do POC.

Ainda analisando essa figura, percebe-se que na capacidade máxima de pessoas ocorre uma degradação do POC de até 5,10%, quando comparado com o edifício vazio, com exceção da sala 2 onde a condição de conforto é levemente superior às condições iniciais.

**Figura 4-9 - Avaliação POC - ASHRAE 55 30 dias anteriores, para salas do primeiro pavimento com diferentes porcentagens de cargas térmicas internas.**



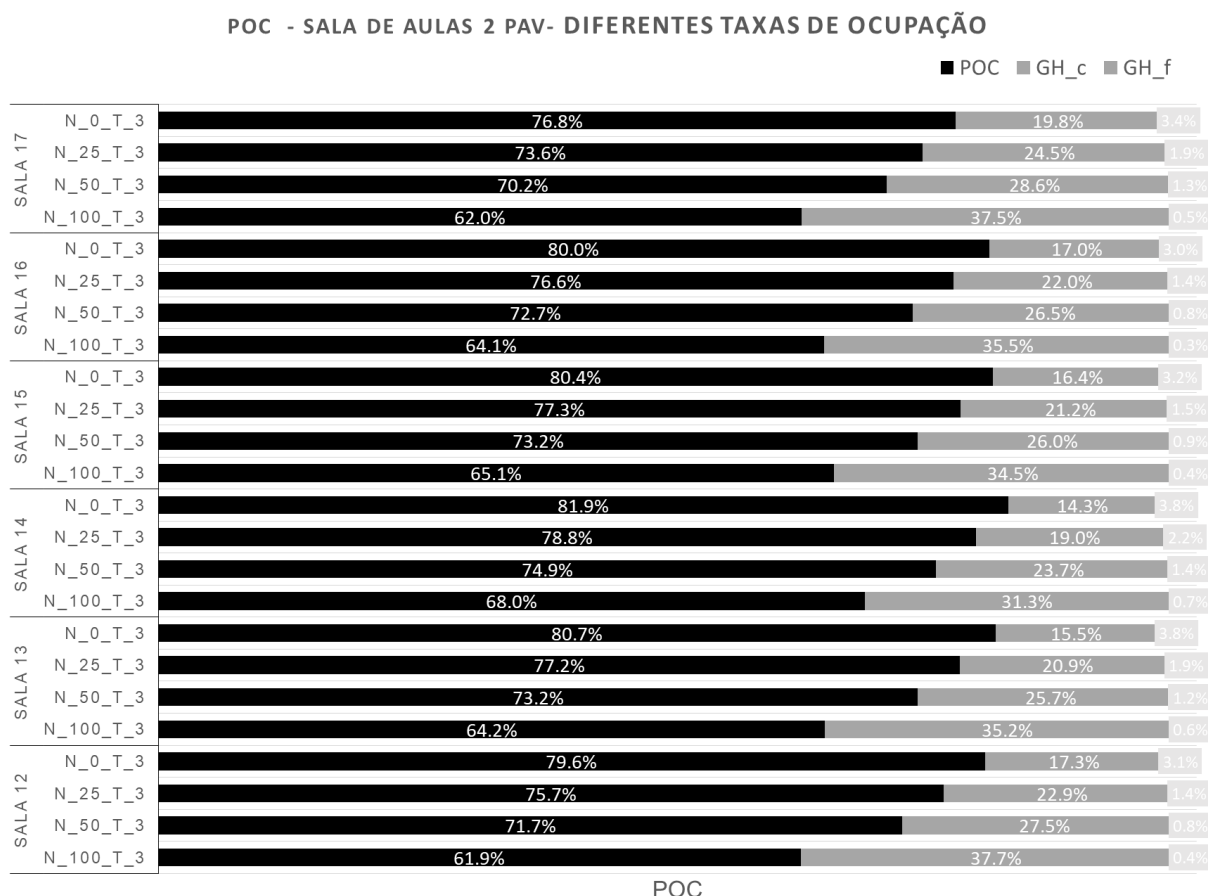
Fonte: Autor.

## Resultados e Discussões

Para todos os ambientes no primeiro e segundo pavimento, ver Figuras 4.9 e 4.10, observa-se uma degradação progressiva do POC com o aumento da porcentagem de ocupação com as maiores deterioração de conforto térmico nas salas do primeiro andar (salas 6, 8, 9 e 10). Esta tendência é justificada pelo aumento progressivo de “calor” dissipado para os ambientes ocasionado pelo aumento da taxa de ocupação e, que não é passível de ser totalmente eliminado devido a vazão mássica de ar externo.

Quando se compara o POC do primeiro e segundo pavimento, nota-se que a degradação média do primeiro pavimento é a maior. Isto pode ser explicado pelas taxas de renovação de ar serem maiores no último andar, os quais são provocados pelos maiores gradientes da velocidade do ar, ver Figura 4.7.

**Figura 4-10 - Avaliação POC - ASHRAE 55 30 dias anteriores, para salas do segundo pavimento com diferentes porcentagens de cargas térmicas internas.**



Fonte: Autor.

## **Resultados e Discussões**

A Tabela 4.2 proporciona os equivalentes numéricos finais da ventilação natural para as quatro configurações de ocupação após as reformas. Verifica-se, que ao analisar a edificação sem ocupação e apenas o uso das luzes, o EqNumV é de 4.81 e forneceria uma etiqueta máxima de “A” devido a ventilação natural. Infelizmente, com uma ocupação superior a 25% e até a capacidade máxima proposta em projeto, esta etiqueta decairia para o nível “B”.

**Tabela 4.2** –. Equivalentes numéricos finais da ventilação natural para diferentes níveis de ocupação após as reformas.

<b>Ambiente</b>	<b>N_0_T_3 Ponderado</b>	<b>N_25_T_3 Ponderado</b>	<b>A_50_T Ponderado</b>	<b>N_100_T_3 Ponderado</b>
SALA 1	0.42	0.42	0.42	0.42
SALA 2	0.41	0.41	0.41	0.41
SALA 3	0.42	0.42	0.42	0.42
SALA 4	0.41	0.41	0.41	0.41
SALA 5	0.28	0.23	0.23	0.17
SALA 6	0.27	0.22	0.22	0.16
SALA 7	0.27	0.27	0.22	0.16
SALA 8	0.28	0.28	0.22	0.17
SALA 9	0.27	0.22	0.22	0.16
SALA 10	0.22	0.22	0.17	0.11
SALA 11	0.16	0.16	0.16	0.12
SALA 12	0.22	0.22	0.22	0.16
SALA 13	0.36	0.29	0.29	0.21
SALA 14	0.21	0.17	0.17	0.13
SALA 15	0.21	0.16	0.16	0.12
SALA 16	0.21	0.16	0.16	0.12
SALA 17	0.17	0.17	0.17	0.13
EqNumF=	4,81	4,44	4,28	3,61
Nível=	“A”	“B”	“B”	“B”

**Fonte:** Autor.

Estes resultados colaboram na necessidade da correta especificação das cargas térmicas internas, de projeto e pós-ocupação, durante as análises do POC, principalmente quando utilizado a metodologia do RTQ-C. Isto ocorre, pois como exemplificado na Tabela 4.2, o uso de taxas de ocupações menores do que a realmente utilizada podem disfarçar os valores de conforto e classificar a edificação num nível de eficiência da ventilação natural superior ao proposto em projeto.

A Tabela 4.3 proporciona as densidades de ocupação propostas no projeto do AT-7 por ambiente. Entretanto, ressalta-se que a norma ABNT 16.401 (ABNT, 2008), em sua terceira parte, recomenda que sejam utilizadas taxas de ocupação de pessoas

## **Resultados e Discussões**

de 35 e 25 pessoas por 100 m<sup>2</sup> para ambientes dos tipos salas de aula e informática, respectivamente, para cálculos da carga térmica e taxas de renovação de ar.

Assim, conclui-se que a maioria dos ambientes do AT-7 têm altas taxas de ocupação, quando comparadas às propostas pela NBR 16.401, com exceção das salas 8 a 10. Nas salas 1 e 2, os valores são de 5 e 7% maiores do que os sugeridos. Já nos demais ambientes, os valores apresentam taxas com o dobro das recomendadas. Como consequência, mesmo que sejam adotadas uma excelente concepção de construção bioclimática, o emprego de sistemas de climatização artificiais possivelmente será exigido em determinadas horas do dia e que refletirá num maior gasto energético do edifício.

**Tabela 4.3** – Densidades de ocupação propostas em projeto do AT-7 em pessoas em 100 m<sup>2</sup> por ambiente.

<b>Ambiente</b>	<b>Tipo do Ambiente</b>	<b>Densidade de projeto (pessoas/100m<sup>2</sup>)</b>
SALA 1	Sala de aula	33,5
SALA 2	Sala de aula	34,3
SALA 3	Sala de aula	62,4
SALA 4	Sala de aula	63,8
SALA 5	Sala de aula	60,3
SALA 6	Sala de aula	62,3
SALA 7	Sala de aula	62,2
SALA 8	Sala de informática	29
SALA 9	Sala de informática	29,6
SALA 10	Sala de informática	29,2
SALA 11	Sala de aula	60,9
SALA 12	Sala de aula	62,3
SALA 13	Sala de aula	61,4
SALA 14	Sala de aula	54,5
SALA 15	Sala de aula	59,3
SALA 16	Sala de aula	59,3
SALA 17	Sala de aula	58,1

**Fonte:** Autor.

## 5 CONCLUSÕES

Neste trabalho estudou-se as condições de conforto térmico das salas de aulas do edifício AT-7 localizado no campus da UFSCar de São Carlos. Assim foi possível concluir:

Em relação às correlações de conforto térmico adaptativo:

- As propostas pela ASHRAE 55 se mostraram com maior variação das temperaturas limites de conforto térmico em comparação às sugeridas por Brasil (2015). Isto permitiu melhorias significativas no POC dos ambientes.
- Recomenda-se nos cálculos que sejam utilizadas temperaturas neutras obtidas dos últimos 30 dias ao invés do valor mensal para cálculo do conforto térmico adaptativo proposto pela ASHRAE-55.

Ao projeto inicial da construção:

- O uso de elementos vazados na face norte e, parcialmente, nas paredes leste e oeste e, de uma grande área de contato das salas do térreo com o solo foram excelentes medidas, quando se analisa a edificação da perspectiva de conforto térmico. Entretanto, deve-se ressaltar que a edificação ainda teria um nível de etiqueta nível “B” devido a ventilação natural para a metodologia de etiquetagem brasileira.

Em comparação à edificação antes e após as reformas:

- Quando se compara a edificação após e antes da reforma, observa-se que houve uma queda de qualidade do conforto térmico dos ambientes. Porém, este decréscimo não é suficiente para rebaixar o nível de etiqueta devido à ventilação natural. Ressalta-se que os maiores impactos no nível de conforto ocorreram nos ambientes do primeiro e segundo pavimento.
- Dentre as modificações realizadas, quando analisadas de forma separadas, a mudança da pintura externa ocasionou uma piora do conforto térmico maior do que as obstruções dos cobogós para as salas do térreo. Contudo, para o

## **Conclusões**

---

primeiro e segundo pavimento, o efeito da redução da ventilação natural teve maior impacto no conforto devido a um aumento das horas devido ao calor.

- Ressalta-se, que embora as modificações prejudicaram o conforto térmico dos ambientes numa avaliação global, este prejuízo não foi suficiente para promover uma queda no nível de etiqueta da ventilação natural, o qual manteve com etiqueta nível “B”.

Em relação à influência da taxa de ocupação no POC:

- Observa-se claramente um decaimento do POC com o aumento da taxa de ocupação das salas do primeiro e segundo pavimento. Em relação às salas de aula do piso térreo, nota-se que ocorre uma melhoria do POC pela diminuição dos graus horas devido ao frio serem maiores que os graus horas em calor, porém, em taxas de ocupação superiores a 50%, o POC tende a decair quando comparados ao ambiente vazio.
- A única situação que a edificação obteria etiqueta nível “A” devido a ventilação natural seria com ocupação nula e até 25% da taxa de ocupação prevista em projeto.
- Nas análises da densidade de ocupação de projeto e das propostas pela NBR 16.401, verifica-se que a maioria das salas apresenta uma superlotação de pessoas no caso crítico, que favorece drasticamente o aumento no número de horas de calor e, conseqüentemente, no nível de conforto térmico.

Entre as dificuldades encontradas no desenvolvimento deste trabalho advém da carência de dados sobre a composição da envoltória e de suas propriedades termofísicas reais. No geral, os desenhos arquitetônicos da edificação focaram principalmente nas medidas finais dos elementos de fechamento e nas esquadrias metálicas. Porém, dados da transmitância térmica utilizadas no balanço de energia dos ambientes são influenciadas na forma, tipo e dimensões destes materiais utilizados.

Outro problema provém das suposições dos parâmetros de transporte para a ventilação natural através das janelas de ventilação permanente devido a carência destes dados na literatura aberta.

## Conclusões

---

Como sugestão para trabalhos futuros, têm-se:

- Analisar através de métodos de elementos finitos os coeficientes de pressão devido ao vento do AT-7. A presença das salas de apoio, almoxarifados e banheiros na face norte podem causar mudanças significativas no padrão do vento nas paredes ao norte e a correlação proposta por Swami e Chandra não ser válida.
- Realizar estudos por simulação de mecânica dos fluidos computacionais e experimentais para levantamento de um banco de dados de parâmetros de transporte de aberturas do tipo ventilação permanente.
- Levantar o nível de eficiência energética geral do AT-7 segundo nova metodologia proposta pelo RTQ-C.
- Avaliar o impacto no uso de painéis solares na microgeração fotovoltaica de energia para o AT-7 e seu impacto nas condições de conforto térmico.
- Utilização de inteligência artificial aplicada ao *EnergyPlus* para escolha das transmitâncias térmicas e absortâncias da envoltória para melhor desempenho de conforto térmico para o AT-7.
- Avaliar o impacto do microclima do entorno no nível de conforto dos ambientes internos realizando duas sequências de simulações. Numa primeira é avaliado o microclima do entorno com a ferramenta Envi-Met numa escala urbana e na criação de um novo arquivo climático do local a ser utilizado numa segunda etapa com o programa EnergyPlus.

## REFERÊNCIAS

AGUILAR, H. M. C. **Desempenho térmico e energético de uma edificação na região amazônica brasileira**. 2018. - Dissertação de Mestrado (Engenharia Elétrica em Sistemas de Energia ) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará, Belém, [s. l.], 2018.

ALBUQUERQUE, P. D. **Simulação Computacional de um Sistema de Ventilação Natural para uma Torre de Escritórios em Lisboa**. 2014. - Dissertação de Mestrado (Engenharia da Energia e do Ambiente) Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa, [s. l.], 2014.

ÁLVARES, S. M. **Desempenho térmico de habitações do PMCMV em paredes de concreto: estudo de caso em São Carlos-SP e diretrizes de projeto para a Zona Bioclimática 4**. 2018. - Dissertação de Mestrado (Arquitetura e Urbanismo) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, [s. l.], 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1053/j.gastro.2014.05.023><https://doi.org/10.1016/j.gie.2018.04.013><http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29451164><http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC5838726><http://dx.doi.org/10.1016/j.gie.2013.07.022>

AMARAL, L. B. do. **Avaliação e propostas de melhorias para o sistema de climatização da biblioteca do ICTE**. 2015. - Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, [s. l.], 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220 Desempenho Térmico de Edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações** . Rio de Janeiro: [s. n.], 2003a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220 Desempenho Térmico de Edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social** . Rio de Janeiro: [s. n.], 2003b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401 Instalações de ar condicionado - Sistemas Centrais e Unitários. Parte 1 Projeto das instalações** . Rio de Janeiro: [s. n.], 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Forças devidas ao vento em**

**edificações.** Rio de Janeiro: [s. n.], 2013.

BAVARESCO, V. M.; GHISI, E. **Métodos de avaliação de eficiência energética por consumo global e energia primária.** Florianópolis: [s. n.], 2016. Disponível em: [http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/downloads/201602\\_Bavaresco\\_Ghisi.pdf](http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/downloads/201602_Bavaresco_Ghisi.pdf).

BRAGER, G. S.; DE DEAR, R. Climate, comfort and natural ventilation: a new adaptive comfort standard for ASHRAE Standard 55. *In*: 2001, Windsor. **Anais [...].** Windsor: Moving thermal comfort standards into the 21st century, 2001. p. 1–17.

BRASIL. ELETROBRÁS. **Avaliação do mercado de eficiência energética do Brasil - sumário executivo - ano base 2005.** Avaliação do mercado de eficiência energética do Brasil, Brasília: 2007. p. 77.

BRASIL. SECRETARIA DE LOGÍSTICA E TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO (SLTI) (BRASIL). **INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 10, DE 12 DE NOVEMBRO DE 2012.** [S. l.], 2012.

BRASIL. ELETROBRÁS /PROCEL. **Manual para Aplicação do RTQ-C 4.1.** Brasília: 2013. p. 213.

BRASIL. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, Q. E. T. (INMETRO). **ANEXO DA PORTARIA INMETRO nº 50/2013.** Brasília: 2013. p. 28.

BRASIL. MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO (MP). SECRETARIA DE LOGÍSTICA E TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO (SLTI) (BRASIL). **Instrução Normativa n. 4, de 11 de setembro de 2014.** [S. l.], 12 set. 2014.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Balanco Energético nacional 2016: Ano base 2015.** Brasília: 2016. p. 61.

BRASIL .MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Memorial de simulação e relatório das propriedades térmicas - Parte 2 .** Brasília: 2015. p. 76. Disponível em: [http://www.mma.gov.br/images/arquivos/clima/energia/edificios/retrofit/Parte\\_2\\_simulacao.pdf](http://www.mma.gov.br/images/arquivos/clima/energia/edificios/retrofit/Parte_2_simulacao.pdf)

BREMENKAMP, Á. J. *et al.* Dificuldades na implementação do Design builder no mercado brasileiro. *In*: 2016, **Sustainable Urban Communities towards a Nearly Zero Impact Built Environment.** [S. l.: s. n.] p. 361–370. Disponível em: [https://sbe16.civil.uminho.pt/app/wp-content/uploads/2016/09/SBE16-Brazil-Portugal-Vol\\_1-Pag\\_361.pdf](https://sbe16.civil.uminho.pt/app/wp-content/uploads/2016/09/SBE16-Brazil-Portugal-Vol_1-Pag_361.pdf)

CÂNDIDO, C. **Ventilação natural e conforto térmico em climas quentes.** Florianópolis: [s. n.], 2006.

CASTAÑO, H. F. M. **Impacto de dispositivos de sombreamento externos e muro na ventilação natural e no desempenho térmico de uma habitação de interesse social térrea**. 2017. - Dissertação de Mestrado (Arquitetura e Urbanismo) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, [s. l.], 2017.

ÇENGEL, Y. A.; BOLES, M. A. **Termodinâmica**. 7ed. ed. Porto Alegre: [s. n.], 2013. *E-book*.

ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. **Transferência de Calor e Massa: Uma abordagem prática**. 4a. ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, 2012. *E-book*.

CEOTTO, L. H. **Avaliação de sustentabilidade: balanço e perspectiva no Brasil**. I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL (Org.). São Paulo: [s.n.], 2008.

CREDER, H. **Instalações de ar condicionado**. 6. ed. Rio de Janeiro: [s. n.], 2012. *E-book*.

CUNHA, R. J. **Avaliação pós-ocupação do AT7: Satisfação dos usuários e diretrizes para a melhoria da qualidade dos futuros projetos**. 2011. - Monografia (Curso Pós-graduação Lato sensu Gestão Pública) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, [s. l.], 2011.

DE VECCHI, R. **Condições De Conforto Térmico E Aceitabilidade Da Velocidade Do Ar Em Salas De Aula Com Ventiladores De Teto Para O Clima De Florianópolis/Sc**. 2011. - Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil) –Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, [s. l.], 2011.

DORNELLES, K. A. **Absortância solar de superfícies opacas: Métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA**. 2008. - Tese de Doutorado (Engenharia e Arquitetura) - Programa de Pós Graduação de Arquitetura, Tecnologia e Cidade, na área de Arquitetura, Tecnologia e Cidade, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, [s. l.], 2008.

DUMKE, E. M. S. **Clima Urbano/Conforto Térmico e Condições de Vida Na Cidade - Uma Perspectiva a Partir do Aglomerado Urbano da Região Metropolitana de Curitiba**. 2007. - Tese de Doutorado (Geografia) - Programa de Pós Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento , Universidade Federal do Paraná, Curitiba, [s. l.], 2007.

ENERGYPLUS. **Engineering Reference**. [s. l.], 2016. Disponível em: <https://bigladdersoftware.com/epx/docs/8-7/>. Acesso em: 12 fev. 2020.

EXECUTIVO. **Decreto nº 7.746, de 5 de junho de 2012**. REGULAMENTA O ART. 3º DA LEI Nº 8.666, DE 21 DE JUNHO DE 1993, PARA ESTABELECE CRITÉRIOS E PRÁTICAS PARA A PROMOÇÃO DO DESENVOLVIMENTO NACIONAL

SUSTENTÁVEL NAS CONTRATAÇÕES REALIZADAS PELA ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA FEDERAL DIRETA, AUTÁRQUICA E FUNDACIONAL E PELAS EMPRESAS ESTATAIS DEPENDENTES, E INSTITUI A COMISSÃO INTERMINISTERIAL DE SUSTENTABILIDADE NA ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA – CISAP. [S. l.], 6 jun. 2012.

FREITAS, L. F. de; LIMA, F. R.; OLIVEIRA, R. D. Análise Das Condições De Conforto Térmico Dos Usuários Em Ambientes Naturalmente Ventilados : Simulação Aplicada À Edificação Escolar Pública. *In*: 2019, João Pessoa. **XV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**. João Pessoa: [s. n.], 2019.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto Térmico**. 5. ed. São Paulo: Nobel, Studio, 2001. *E-book*.

GONÇALVES, R. M. *et al.* **Ação do vento nas edificações: Teoria e exemplos**. SET/EESC/U ed. São Carlos: [s. n.], 2007. *E-book*.

GUIDETTI, G. E. C. B. **Estudo de climatização por compressão à vapor e resfriamento evaporativo no restaurante universitário do ICTE-UFTM**. 2016. - Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, [s. l.], 2016.

HUMPHREYS, M. . Field studies of thermal comfort compared and applied. **Journal of the Institution of Heating and Ventilating Engineers**, [S. l.], v. 44, p. 176–180, 1976.

INCROPERA, F. P. *et al.* **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 6a. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. *E-book*.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3a. ed. Rio de Janeiro: [s. n.], 2013. *E-book*.

LEITE, L. M. *et al.* Desenvolvimento de banco de dados para o programa SOL-AR a partir de dados climáticos INMET 2016. *In*: (: IV WIPEX, Org.) 2019, São Carlos. **Anais [...]**. São Carlos: IFSC, 2019. p. 8–11.

LEITE, L. M. **AVALIAÇÃO DO RETROFIT DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO São Carlos - SP**. 2019. - Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, [s. l.], 2019.

LOPES, A. F. O. **Da simulação ao Projeto: Avaliação de conforto térmico em ambientes escolar padronizado**. 2020. - Dissertação de Mestrado (Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, [s. l.], 2020.

LUCAS, R. E. C.; DA SILVA, L. B. Conforto ambiental em sala de aula: análise da percepção térmica dos estudantes de duas regiões e estimação de zonas de conforto. **Revista Produção Online**, [S. l.], v. 17, n. 3, p. 804, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v17i3.2547>

MATOS, M. **Simulação computacional do desempenho térmico de residências em Florianópolis utilizando a ventilação natural**. 2007. - Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, [s. l.], 2007.

MENDES, N. Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. **Ambiente Construído**, [S. l.], v. 5, n. 4, p. 47–68, 2008.

MENDONÇA, A. M. de. **CARACTERIZAÇÃO DO ESTOQUE DE EDIFICAÇÕES HISTÓRICAS DE USO INSTITUCIONAL OU PÚBLICO LOCALIZADAS EM FLORIANÓPOLIS COM RELAÇÃO AO CONSUMO DE ELETRICIDADE**. 2012. - Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil) –Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, [s. l.], 2012.

MITCHELL, J. W.; BRAUN, J. E. **Princípios de aquecimento, ventilação e condicionamento de ar em edificações**. 1a. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018. *E-book*.

MORAES, A. A. U. de *et al.* **Análise do nível de Eficiência Energética do Projeto 161/UFSCar via RTQ-C visando a obtenção de Etiqueta Nível A** *Journal of Linguistics*. São Carlos: [s. n.], 2018. Disponível em: [https://mega.nz/#F!qLw0mlZT!tyZR\\_TKmq9NE3TkZ\\_k4ZIA](https://mega.nz/#F!qLw0mlZT!tyZR_TKmq9NE3TkZ_k4ZIA).

MORAES, A. A. U. de; GUIDETTI, G. E. C. B.; ALVES, A. B. C. G. Avaliação do consumo energético de dois sistemas distintos de climatização em um restaurante na cidade de Uberaba-MG via Energy Plus. **Revista Brasileira de Ciência Tecnologia e Inovação**, Uberaba, v. 3, n. 1, p. 17–31, 2018.

NAKAMURA, N. K.; MACIEL, L. F.; CARLO, J. C. Impactos de medidas de conservação de energia propostas no PBE Edifica para o nível de eficiência energética de envoltórias de um edifício naturalmente condicionado TT - Impacts of energy conservation measures proposed at the PBE Edifica for the energy e. **Ambiente Construído**, [S. l.], v. 13, n. 4, p. 105–119, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-86212013000400008>

ORDENES, M. *et al.* **Metodologia utilizada na elaboração da biblioteca de materiais e componentes construtivos brasileiros para simulações no VisualDOE-3.1**. Florianópolis: [s. n.], 2003. Disponível em: [http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios\\_pesquisa/RP\\_Biblioteca\\_Materiais\\_VisualDOE.pdf%5CnAcesso em 20 ago.2015](http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/RP_Biblioteca_Materiais_VisualDOE.pdf%5CnAcesso em 20 ago.2015)

PAULSE, P. de C. **Análise do desempenho termoenergético de escolas públicas segundo aplicação do RTQ-C para a envoltória**. 2016. - Dissertação de Mestrado (Projeto e Cidade) - Universidade Federal de Goiás , Goiânia, [s. l.], 2016.

PBEEDIFICA. **Manual para Aplicação do RTQ-R**. brasil: [s. n.], 2012. *E-book*. Disponível em: [http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/Manual\\_de\\_aplicação\\_do\\_RTQ-R-v01.pdf](http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/Manual_de_aplicação_do_RTQ-R-v01.pdf)

PEGLOW, J. *et al.* Avaliação do Conforto Térmico de Escola Municipal de Educação Infantil em Pelotas/RS -ZB2. **XVI Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído**, [S. l.], n. September, p. 1354–1369, 2016.

PEREIRA, C. D. *et al.* **Guia de medição e cálculo para refletância e absortância solar em superfícies opacas (v.1)**. Florianópolis: [s. n.], 2015. Disponível em: [http://www.cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Guia\\_medicao\\_refletancia\\_CB3E\\_v1.pdf](http://www.cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Guia_medicao_refletancia_CB3E_v1.pdf).

PEREIRA, H. A. da C. *et al.* Manual de simulação computacional de edifícios naturalmente ventilados no programa EnergyPlus. *In*: Florianópolis: [s. n.], 2013. p. 56. *E-book*.

PODER LEGISLATIVO. **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. [S. l.], 18 out. 2001.

PROJETO 3E. **Projeteee – Projetando Edificações Energeticamente Eficientes**. [s. l.], 2020. Disponível em: <http://projeteee.mma.gov.br/componentes-construtivos/>.

RAMOS, G.; LAMBERTS, R. **Relatório Técnico do Método de Avaliação do Sistema de Iluminação do RTQ-C**Ramos, Greice Lamberts, Roberto. Florianópolis: [s. n.], 2010.

RIVERO, R. **Arquitetura e Clima: condicionamento térmico natural**. 1a. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1985. *E-book*.

RORIZ, M. Conforto térmico em edificações. *In*: 2008, Novo Hamburgo. **II Fórum Pró-Sustentabilidade**. Novo Hamburgo: [s. n.], 2008. p. 63.

ROSA, A. S. da. **Determinação de modelos de referência de habitações populares unifamiliares para Florianópolis através de análise de agrupamento**. 2014. - Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil ) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, [s. l.], 2014.

ROSSITI, I. S. M.; SOUZA, L. C. L. de. Avaliação Do Conforto Térmico Das Salas De Aula Da Universidade Federal De São Carlos. **XIV Encontro Nacional De Tecnologia**

**Do Ambiente Construído**, Juiz de Fora, n. Outubro, p. 862–867, 2012.

SANTOS, E. I. dos *et al.* **Métodos para verificação de absortâncias em superfícies opacas (parte 1): Testes com o espectrômetro ALTA II.** [S. l.: s. n.]. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/>.

SANTOS, E. I. dos. **Comparação de Métodos Para Medição de Absortância Solar em Elementos Opacos.** 2013. - Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil) –Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, [s. l.], 2013.

SILVA, L. D. T. DA. **Investigação Do Uso E Da Aplicação Das Técnicas Cfd Para Estudo E Análise De Ventilação Natural Por Ação Dos Ventos Em Espaços Urbanos.** 2015. - Universidade Federal de Viçosa, [s. l.], 2015.

SILVEIRA, F. M. **Análise Do Desempenho Térmico De Edificações Residenciais Ventiladas Naturalmente: NBR15575 E ASHRAE 55.** 2014. - Dissertação de Mestrado (Engenharia e Arquitetura) - Programa de Pós Graduação de Arquitetura, Tecnologia e Cidade, na área de Arquitetura, Tecnologia e Cidade, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, [s. l.], 2014.

TAVARES, L. R. **Eficiência Energética em Edificações: aplicação do RTQ-C – Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos - na cidade de Uberlândia-MG.** 2011. - Dissertação de Mestrado (Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Brasília, [s. l.], 2011.

UFSCAR (São Carlos). Escritório de Desenvolvimento Físico *et al.* **Projeto Edifício de aulas teóricas - 7: Projeto Executivo.** 2007. DWG.

VERSAGE, R. de S. **Metamodelo para Estimar a Carga Térmica de Edificações Condicionadas Artificialmente.** 2015. - Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil) –Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, [s. l.], 2015.

VIEIRA, A. C. de M. **Eficiência Energética em Escolas - Estudo de Caso Escola Estadual Padre Antão de São Paulo.** 2019. - Dissertação de Mestrado (Administração - Gestão Ambiental e Sustentabilidade) - Universidade Nove de Julho, São Paulo, [s. l.], 2019.

VIEIRA, M. J. de F. A. **Técnicas construtivas ambientalmente adequadas.** 2008. - Universidade do Porto, [s. l.], 2008.

WEBER, F. *et al.* **Elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus.** Florianópolis: [s. n.], 2017. Disponível em: <http://labeee.ufsc.br/node/714>

XAVIER, A. A. D. P. **Predição de Conforto Térmico em Ambientes Internos com Atividades Sedentárias – Teoria Física Aliada a Estudos de Campo.** 2000. - Tese de Doutorado (Engenharia de Produção e Sistemas) - Programa de Pós Graduação e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, [s. l.], 2000.

## APÊNDICE 1 - ABSORTÂNCIA DAS SUPERFÍCIES

Utilizou-se a metodologia proposta por Dornelles (2008) com auxílio de equipamento ALTA II. A refletância da amostra é obtida para cada um dos 11 comprimentos de onda do equipamento empregando papel branco comum como referência. A refletância de cada faixa é obtida conforme equação A.1.

$$\rho_{amostra} = \left( \frac{V_{amostra} - V_{fundo}}{V_{referência} - V_{fundo}} \right) \times \rho_{referência} \quad (A.1)$$

Onde,

$\rho_{amostra}$  é a refletância da amostra para cada comprimento de onda, em %;

$V_{amostra}$  é a voltagem da amostra (mV) para cada comprimento de onda;

$V_{fundo}$  é a voltagem de fundo (mV);

$V_{referência}$  é a voltagem da amostra de referência (mV);

$\rho_{referência}$  é a refletância da amostra de referência por comprimento de onda, em %;

A refletância total é obtida pela média ponderada das refletância de cada comprimento de onda. Enquanto, a absorptância total é fornecida subtraindo 100% menos a refletância total. Foi utilizado de três amostras para cada superfície, enquanto dados da cor bege se obteve do edifício 161 ao norte do AT-7. As figuras A.1 a A.3 fornecem dados obtidos para cada amostra<sup>19</sup>.

---

<sup>19</sup> Nota do autor: Aconselha-se que seja realizado ajuste dos valores em relação ao espectro solar padrão. Nestes cálculos, devido a simplificação, esse ajuste não foi realizado.

Tabela A.1 – Absortância média para cada tipo de superfície.

Superfície	Absortância média (%)
Revestimento cerâmico	51,9
Pintura Vermelho barro	43,6
Bege Claro	8,3
Concreto	69,8
Pintura Clara	6,5

Fonte: Autor.

Figura A.1- Dados da refletância das superfícies cerâmica e vermelho barro.

Amostra >	Referência		CERÂMICA 1		CERÂMICA 2		CERÂMICA 3		VERM. BARRO 1		VERM. BARRO 2		VERM. BARRO 3	
nm	Refletância	mV	mV	Refletância	mV	Refletância	mV	Refletância	mV	Refletância	mV	Refletância	mV	Refletância
470	90.1	1088	397	32.47	356	29.05	385	31.47	183.0	14.61	187	14.94	168	13.36
525	85.8	864	360	35.27	335	32.77	359	35.17	280.0	27.25	266	25.85	246	23.85
560	82.5	1074	520	39.63	490	37.30	527	40.17	517.0	39.39	506	38.54	481	36.61
585	81.5	1147	605	42.74	575	40.59	610	43.09	817.0	57.91	765	54.19	733	51.90
600	81.7	1250	677	44.01	653	42.43	690	44.86	970.0	63.28	934	60.92	902	58.81
645	89.5	998	529	47.08	508	45.18	535	47.62	733.0	65.52	715	63.89	710	63.44
700	93.4	1010	579	53.22	572	52.57	602	55.36	820.0	75.68	797	73.54	775	71.49
735	95.6	950	511	51.03	504	50.32	527	52.65	745.0	74.77	728	73.04	708	71.01
810	96.2	1065	610	54.79	621	55.79	647	58.16	798.0	71.90	781	70.35	766	68.99
880	95.8	958	631	62.82	644	64.14	664	66.15	750.0	74.82	721	71.90	698	69.58
940	95.2	920	633	65.24	638	65.76	653	67.33	727.0	75.05	711	73.38	695	71.71
Tot	89.8			48.0		46.9		49.3		58.2		56.4		54.6
ABS				52.0		53.1		50.7		41.8		43.6		45.4

Fonte: Autor.

Figura A.2- Dados da refletância das superfícies bege claro e concreto aparente.

Amostra >	Referência		BEGE 1		BEGE 2		BEGE 3		CONCRETO 1		CONCRETO 2		CONCRETO 3	
nm	Refletância	mV	mV	Refletância	mV	Refletância	mV	Refletância	mV	Refletância	mV	Refletância	mV	Refletância
470	90.1	1088	955	79.05	1067	88.40	1007.0	83.39	270	21.87	980	81.13	287.0	23.29
525	85.8	864	797	79.06	845	83.87	818.0	81.16	243	23.55	262	25.45	260.0	25.25
560	82.5	1074	1063	81.65	1110	85.29	1100.0	84.52	334	25.23	368	27.86	378.0	28.64
585	81.5	1147	1223	86.97	1270	90.34	1230.0	87.48	381	26.70	415	29.13	433.0	30.42
600	81.7	1250	1330	86.97	1360	88.94	1333.0	87.16	409	26.38	452	29.21	464.0	30.00
645	89.5	998	1041	93.35	1058	94.89	1026.0	92.00	294	25.85	327	28.83	331.0	29.19
700	93.4	1010	1054	97.49	1058	97.86	1059.0	97.95	313	28.43	343	31.22	355.0	32.34
735	95.6	950	1040	104.69	1045	105.20	997.0	100.33	280	27.59	305	30.13	322.0	31.85
810	96.2	1065	1053	95.11	1067	96.38	1028.0	92.83	295	26.12	330	29.31	350.0	31.13
880	95.8	958	966	96.61	985	98.52	953.0	95.30	297	29.14	331	32.57	343.0	33.78
940	95.2	920	940	97.29	958	99.17	933.0	96.56	285	28.91	319	32.46	335.0	34.13
Tot	89.8			90.7		93.5		90.8		26.3		34.3		30.0
ABS				9.3		6.5		9.2		73.7		65.7		70.0

Fonte: Autor.

**Figura A.3-** Dados da refletância das superfícies de revestimento branco.

Amostra >	Referência		REVEST. BRANCO 1		REVEST. BRANCO2		REVEST. BRANCO 3	
	Refletância	mV	mV	Refletância	mV	Refletância	mV	Refletância
<b>470</b>	90.1	1088	1410	117.03	1390	115.36	1406.0	116.69
<b>525</b>	85.8	864	937	93.09	923	91.68	933.0	92.69
<b>560</b>	82.5	1074	1190	91.48	1188	91.33	1190.0	91.48
<b>585</b>	81.5	1147	1250	88.91	1245	88.55	1251.0	88.98
<b>600</b>	81.7	1250	1320	86.31	1309	85.58	1321.0	86.37
<b>645</b>	89.5	998	953	85.40	946	84.77	969.0	86.84
<b>700</b>	93.4	1010	1018	94.13	1014	93.76	1019.0	94.23
<b>735</b>	95.6	950	910	91.51	907	91.20	915.0	92.01
<b>810</b>	96.2	1065	1006	90.83	1005	90.74	989.0	89.28
<b>880</b>	95.8	958	948	94.79	945	94.49	986.0	98.62
<b>940</b>	95.2	920	920	95.20	920	95.20	924.0	95.62
<b>Tot</b>	89.8			93.5		93.0		93.9
ABS				6.5		7.0		6.1

Fonte: Autor.