

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA

LENNART BERTRAM POEHLS

**AVALIAÇÃO DA LEGISLAÇÃO
BRASILEIRA COMO INFLUÊNCIA SOBRE
O CONFORTO TÉRMICO
DE EDIFÍCIOS PARA ESCRITÓRIOS
EM PORTO ALEGRE**

PORTO ALEGRE
(2012)

LENNART BERTRAM POEHLS

AVALIAÇÃO DA LEGISLAÇÃO
BRASILEIRA COMO INFLUÊNCIA SOBRE
O CONFORTO TÉRMICO
DE EDIFÍCIOS PARA ESCRITÓRIOS
EM PORTO ALEGRE

*Esta dissertação foi julgada adequada
para a obtenção do título de mestre
em arquitetura e aprovada em sua forma
final pelo orientador e
pela banca examinadora.*

Orientador:
Heitor da Costa Silva, Arq. Ph.D., UFRGS
Doutor pela Architectural Association School of Architecture
London, Inglaterra

Banca Examinadora:
Paulo Otto Beyer, Dr., UFRGS
Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre, Brasil

Benamy Turkienicz, Arq. Dr., UFRGS/UNICV
Doutor pela Chalmers University of Technology
Göteborg, Suécia

Antonio Cesar Silveira Baptista da Silva, Dr., UFPel
Doutor pela Universidade Federal de Santa Catarina
Santa Catarina, Brasil

PORTO ALEGRE
(2012)

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Heitor da Costa Silva, Arq. Ph.D., pela paciência e dedicação. Ao Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura, PROPAR, seus professores, funcionários e colaboradores. À equipe do Laboratório de Conforto Ambiental (LabCon) pelo constante auxílio durante o curso e ao longo deste trabalho. À CAPES pelo apoio financeiro para a realização deste trabalho.

Agradeço especialmente à minha esposa Leticia por ser um exemplo de pesquisadora e por seu constante apoio emocional e profissional, por sua paciência e tranquilidade nestes anos de pesquisa.

Agradeço a minha família que, mesmo distante, contribuiu com o seu apoio compassivo. (*Ich danke meiner Familie, die trotz der Distanz immer ein verständnisvoller Rückhalt für mich gewesen ist.*)

RESUMO

POEHLS, Lennart Bertram. **Avaliação da Legislação Brasileira como Influência sobre o Conforto Térmico no Interior de Edifícios para Escritórios em Porto Alegre.** Dissertação de Mestrado em Arquitetura – Programa de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura (PROPAR) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre 2011.

A presente dissertação propõe avaliar a influência da legislação atual brasileira no conforto térmico no interior de edificações utilizadas como escritório em Porto Alegre no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Para isso, foram avaliadas as horas de conforto para um modelo simplificado através de simulações térmicas. Este trabalho analisa se as prescrições dos textos legislativos resultam em conforto térmico no interior dos ambientes utilizados como escritório através do uso de elementos arquitetônicos abstraídos a partir da legislação brasileira. Para cada uma das 12 séries, que representam os elementos arquitetônicos abstraídos dos textos legislativos, foram simuladas 5 variações que, por sua vez, consideram 4 orientações solares. A metodologia desenvolve-se a partir das informações obtidas a partir da revisão bibliográfica que se concentra nos fundamentos relacionados ao clima, à legislação brasileira e ao conforto térmico. Os resultados demonstram que a legislação brasileira resulta em conforto térmico em apenas algumas das séries consideradas neste trabalho. Note que cada série representa um elemento arquitetônico mencionado na legislação brasileira. Assim, baseado nos resultados obtidos, entre outras conclusões, foi identificada a falta de detalhamento em relação à orientação solar nos textos legislativos em vigor para Porto Alegre.

Palavras-chaves: Conforto Térmico, Legislação Brasileira, Simulação Térmica, Escritórios.

ABSTRACT

POEHLS, Lennart Bertram. **Evaluation of the Brazilian Legislation regarding its Influence on the Indoor Thermal Comfort of Office Buildings in Porto Alegre.** Masters degree thesis in Architecture – Program of Research and Post-Graduation in Architecture (PROPAR) – Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre 2011.

The present Master thesis proposes a revision of the present Brazilian legislation regarding its influence on the thermal comfort of the internal environments of office buildings in Porto Alegre, situated in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. Using computational thermal simulation, the hours of comfort of a simplified model are evaluated to analyse if the values defined in the Brazilian legislation result in comfortable interior environments. Inside this case study, a total of 12 series are created and 5 variations are defined for each. All variations are simulated using 4 solar orientations. The methodology is derived from the information obtained during the review of the literature regarding climate, legislation and thermal comfort. The obtained results demonstrate that the Brazilian legislation partially results in offices with thermal comfort. Based on the results and among other conclusions, the work identifies the general lack of details regarding the solar orientation in the legislative texts for Porto Alegre.

Keywords: Thermal Comfort, Brazilian Legislation, Thermal Simulation, Office Buildings.

LISTA DE FIGURAS

1 INTRODUÇÃO

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Figura 2.1: Temperatura efetiva corrigida [DA COSTA SILVA,1994].....	14
Figura 2.2: Trocas de calor e índices de ganho e perda do corpo humano	37
Figura 2.3: Carta de conforto de Olgyay. fonte: OLGYAY [1963].....	46
Figura 2.4: Relação entre a temperatura externa na média mensal e a temperatura de conforto interno	52
Figura 2.5: Relação entre a temperatura externa na média mensal e a temperatura ótima.....	55

3 METODOLOGIA

Figura 3.1: Temperaturas de conforto segundo De Dear	62
Figura 3.2: Temperaturas de conforto segundo a DIN EN 15251	62
Figura 3.3: Temperaturas ideais de conforto em comparação	63
Figura 3.4: Temperaturas ideais e limites de conforto segundo o modelo adotado	65

4 CONFIGURAÇÕES DAS SIMULAÇÕES

Figura 4.1: Estudo de caso composto de 9 células.....	71
Figura 4.2: <i>Screenshot</i> da ferramenta para o cálculo da transmitância térmica...	82
Figura 4.3: <i>Screenshot</i> da ferramenta para o cálculo do atraso térmico	84
Figura 4.4: Ângulos Verticais de Sombreamento	92
Figura 4.5: Ângulos Horizontais de Sombreamento.....	94
Figura 4.6: <i>Screenshot:</i> SketchUp.....	99
Figura 4.7: <i>Screenshot:</i> SketchUp com OpenStudio.....	100
Figura 4.8: <i>Screenshot:</i> EnergyPlus Launch Lite.....	101
Figura 4.9: <i>Screenshot:</i> IDF-Editor.....	102
Figura 4.10: Esquemático: Eixos em SU e orientações solares em EP.....	104
Figura 4.11: Planilha de resumo da serie <i>Área Fachada / Área Piso</i>	121
Figura 4.12: Gráfico para comparação das horas de conforto da série <i>Área Fachada / Área Piso</i>	122
Figura 4.13: Gráfico das horas de conforto e desconforto para a primeira variação da série <i>Área Fachada / Área Piso</i>	123

5 DISCUSSÃO

Figura 5.1: Resumo dos resultados da série <i>transmitância térmica parede externa</i>	126
Figura 5.2: Detalhes das horas de desconforto para a primeira e quinta variação	127
Figura 5.3: Resumo dos resultados da série <i>transmitância térmica parede interna</i>	128
Figura 5.4: Detalhes das horas de desconforto para a primeira variação com orientação norte e a quinta variação na orientação sul.....	130
Figura 5.5: Resumo dos resultados da série <i>atraso térmico</i>	131
Figura 5.6: Detalhes das horas de desconforto para a primeira e quinta variação, ambos com orientação sul	132
Figura 5.7: Detalhes das horas de desconforto para a terceira e a quarta variação, ambos com orientação norte.....	133
Figura 5.8: Resumo dos resultados da série <i>Fator Solar Elementos Opacos</i>	133
Figura 5.9: Detalhes das horas de desconforto para a terceira e segunda variação, ambos com orientação sul	134
Figura 5.10: Resumo dos resultados da série <i>Área Abertura / Área Piso</i>	135
Figura 5.11: Detalhes das horas de desconforto para a quinta variação da série <i>Área Abertura / Área Piso</i> com a orientação solar norte e oeste	136
Figura 5.12: Resumo dos resultados da série <i>Área Abertura / Área Fachada</i> ..	137
Figura 5.13: Resumo dos resultados da série <i>Altura Verga</i>	138
Figura 5.14: Resumo dos resultados da série <i>Tipo de Vidro (FS)</i>	139
Figura 5.15: Detalhes das horas de desconforto para a quarta e a terceira variação, ambos com orientação solar norte.....	140
Figura 5.16: Resumo dos resultados da série <i>Sombreamento Horizontal</i>	141
Figura 5.17: Detalhes das horas de desconforto para a quinta variação nas orientações solares leste e norte	142
Figura 5.18: Resumo dos resultados da série <i>Sombreamento Vertical</i>	143
Figura 5.19: Detalhes das horas de desconforto para a quinta variação com as orientações solares leste e norte	144
Figura 5.20: Resumo dos resultados da série <i>Área Piso Unidade</i>	145
Figura 5.21: Detalhes das horas de desconforto para a primeira variação com a orientação solar sul e oeste.....	146
Figura 5.22: Detalhes das horas de desconforto para a quinta variação com a orientação norte e oeste	146
Figura 5.23: Resumo dos resultados da série <i>Área Fachada / Área Piso</i>	147

6 CONCLUSÃO

LISTA DE TABELAS

1 INTRODUÇÃO

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Tabela 2.1: Condições térmicas médias de Porto Alegre.....	15
Tabela 2.2: Escala de sensação térmica	50

3 METODOLOGIA

Tabela 3.1: Elementos arquitetônicos para as séries dentro do estudo de caso a serem simuladas. fonte: próprio autor	59
---	----

4 CONFIGURAÇÕES DAS SIMULAÇÕES

Tabela 4.1: Resumo: parâmetros da série <i>transmitância térmica parede externa</i>	80
Tabela 4.2: Resumo: parâmetros da série <i>transmitância térmica parede interno</i>	82
Tabela 4.3: Resumo: parâmetros da serie <i>atraso térmico</i>	85
Tabela 4.4: Resumo: parâmetros da série <i>Fator Solar Elementos Opacos</i>	86
Tabela 4.5: Resumo: parâmetros da série <i>Área Abertura / Área Piso</i>	87
Tabela 4.6: Resumo: parâmetros da série <i>Área Abertura / Área Fachada</i>	89
Tabela 4.7: Resumo: parâmetros da série <i>Altura Verga</i>	90
Tabela 4.8: Resumo: parâmetros da série <i>tipo de vidro</i>	91
Tabela 4.9: Resumo: parâmetros da série <i>sombreamento horizontal</i>	93
Tabela 4.10: Resumo: parâmetros da série <i>sombreamento vertical</i>	94
Tabela 4.11: Resumo: parâmetros da série <i>área do piso da unidade</i>	96
Tabela 4.12: Resumo: parâmetros da série <i>Área Fachada / Área Piso</i>	97

5 DISCUSSÃO

6 CONCLUSÃO

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1. MOTIVAÇÃO	4
1.2. OBJETIVO	4
1.3. ESTRUTURA	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1. CLIMA	7
2.2. LEGISLAÇÃO	17
2.3. CONFORTO TÉRMICO	34
3 METODOLOGIA	57
3.1. ETAPA 1: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	58
3.2. ETAPA 2: DEFINIÇÕES	58
3.3. ETAPA 3: MODELAMENTO E SIMULAÇÕES	65
3.4. ETAPA 4: ANÁLISE	67
4 CONFIGURAÇÕES DAS SIMULAÇÕES.....	69
4.1. SÉRIES E VARIAÇÕES DO ESTUDO DE CASO	69
4.2. SIMULAÇÕES TÉRMICAS	98
5 DISCUSSÃO	125
5.1. RESULTADOS	125
5.2. AVALIAÇÃO	148
6 CONCLUSÃO	155
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	161
8 APÊNDICES	169
8.1. APÊNDICE IMPRESSO	170
8.2. APÊNDICE DIGITAL	199
9 ANEXOS	203
9.1. ANEXO IMPRESSO	204
9.2. ANEXO DIGITAL	244

1

INTRODUÇÃO

A conservação de energia e o uso responsável das fontes energéticas fazem parte do interesse governamental no Brasil desde a crise do petróleo na década de 70. Essa crise gerou o aumento dos custos das fontes disponíveis e como consequência, o uso racional de energia passou a ser uma exigência. A redução no consumo de energia elétrica gera resultados econômicos favoráveis e possibilita a redução imediata da necessidade de instalações de fontes de energia¹. Essas razões são observadas também nas situações ambientais e econômicas atuais e resultam na preocupação com o uso eficaz da energia nas edificações.

Atualmente, observa-se que a maior parte da população se concentra nos centros urbanos e conseqüentemente, essas áreas são responsáveis pela maior parte do consumo de energia como um todo. Os edifícios comerciais, de serviços e residenciais são os principais responsáveis por esse consumo. Esse fato, aumenta sobremaneira a necessidade de projetistas construírem edifícios que visem o menor consumo de energia possível. Em 2001, segundo o Balanço Energético Nacional² de 2011, o consumo total de energia no Brasil era equivalente a 26626 tep ou

¹ BALESTIERE, J. A. P. **Cogeração: geração combinada de eletricidade e calor**. 2002. Editora da UFSC, Florianópolis.

² MINISTERIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Balanço Energético Nacional 2011**. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2011.pdf. Acesso em: 16/9/2011.

309660 GWh³. As edificações comerciais são responsáveis por 14,4 % desse consumo, ou seja 43352 GWh. Para 2010, o mesmo balanço apresenta um consumo total de 39187 tep ou 455744,8 GWh. Além disso, esse balanço indica que a porcentagem de prédios comerciais responsáveis por este consumo subiu para 15 %. Isso resulta em um aumento significativo no consumo, que em 2010 equivale a 68361 GWh ou 157 % em comparação com o ano 2001.

Ao mesmo tempo, arquitetura é espaço criado com a função de abrigar o homem e, portanto, a necessidade de criar ambientes confortáveis deve ser alvo de qualquer tipo de arquitetura. Entre os vários passos no processo de desenvolvimento de um projeto arquitetônico, a definição da envoltória do edifício, caracterizada pelo conjunto de elementos que formam o limite entre o meio exterior e o meio interior, é o mais importante em relação ao consumo energético e ao conforto térmico do ambiente construído⁴. As características da envoltória, tais como o tamanho das aberturas ou o isolamento das paredes, estão diretamente vinculadas ao consumo de energia e caso essas não sejam realizadas de forma adequada, trocas térmicas significativas com o exterior ocorrerão, fazendo necessário o uso de equipamentos para regular a temperatura no interior e assim, garantir o conforto térmico⁵. Além da redução do consumo energético, a realização de uma envoltória que pode garantir um equilíbrio térmico, assim como níveis corretos de iluminação, é de fundamental importância para o bem-estar do usuário⁶. Em outras palavras, os elementos que compõem a envoltória são os principais fatores para o consumo energético e para o conforto, seja térmico ou visual, ao interno dos edifícios. É importante salientar que outros elementos que não fazem parte da envoltória, também influenciam o conforto térmico.

Com a invenção, distribuição e disponibilização de aparelhos e sistemas de ar-condicionado, é possível obter um ambiente interior com condições confortáveis, que permanecem praticamente independente do clima ao exterior e independente da envoltória empregada. Durante várias décadas essa tecnologia foi amplamente aplicada para resolver os problemas climáticos de várias regiões, inclusive do estado do Rio Grande do Sul. Infelizmente, esse conforto térmico é obtido através de um gasto significativo de energia elétrica. Mesmo com a eficiência dos sistemas modernos, o condicionamento de ar representa um dos fatores mais significativos do consumo de energia das construções.

³ Esta dissertação adaptará a seguinte formatação para Gigawatt horas: GWh como encontrado na fonte MINISTERIO DE MINAS E ENERGIA (MME) Balanço Energético Nacional 2011. A dissertação adaptará a formatação de um valor numérico separado da unidade com um espaço (exemplo: 1,23 m); como utilizado nas normas brasileiras.

⁴ OLGYAY, V. *Arquitectura y Clima: Manual de diseñobioclimático para arquitectos y urbanistas*. 1999. Gustavo Gili, Barcelona.

⁵ HIRST, E. *Energy Efficiency in Buildings - Progress e Promise*. 1986. Jr. Editor, Washington.

⁶ FERNANDES, A. E. P. *As Torres Envidraçadas e o Consumo Energético*. 2001. II Encontro Nacional e I Encontro Latino Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, Gramado.

Edificações utilizadas como escritórios representam um bom exemplo do problema anteriormente mencionado. Note que escritórios são responsáveis por 11 %⁷ do consumo total de energia do Brasil e isso se deve ao fato de que os mesmos utilizam amplamente sistemas de ar-condicionado. Convém salientar que essa situação está associada à exigência dos usuários por um ambiente com uma temperatura constante e com uma temperatura relativamente baixa durante as horas de funcionamento do prédio.

Neste sentido, o governo brasileiro, assim como os governos dos países desenvolvidos, está interessado na redução do consumo de energia e na qualidade dos ambientes construídos. Assim, a legislação representa a ferramenta mais eficaz do Estado para controlar e regulamentar a construção civil. Note que o principal alvo da legislação em relação à construção de prédios para uso como escritórios é garantir a segurança e a salubridade, mas somente indiretamente através dessas, um determinado nível de conforto para os usuários do espaço. Na década de 80, vários países europeus começaram a implementar aspectos de consumo de energia nas legislações que, por sua vez, regulamentam vários aspectos da construção civil. Pouco depois, as legislações da Europa começaram a se preocupar com o conforto térmico e visual das pessoas nos espaços criados e chegaram, em grandes partes, a implementar legislações específicas e performativas sobre o conforto térmico no interior das edificações. No Brasil, essa preocupação apareceu somente nos últimos anos e atualmente, nenhuma das legislações prescritivas existentes em vigor trate diretamente do uso de energia ou conforto térmico nas construções. A Etiquetagem PROCEL, publicada nas primeiras versões a partir do ano 2009, representa um primeiro passo nessa direção.

Neste contexto, este trabalho apresenta uma análise sobre a possibilidade de utilizar a legislação vigente como ferramenta para obter uma arquitetura que possa garantir o nível de conforto adequado. Espera-se que a apresentação da análise desenvolvida nesta dissertação de mestrado possa contribuir para a discussão sobre conforto na arquitetura, assim como sobre o desenvolvimento de novas legislações, regulamentos ou certificações no Brasil.

⁷ LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 1997. PW Editores, São Paulo.

1.1. MOTIVAÇÃO

Conforme anteriormente mencionado, a legislação representa uma ferramenta para o melhoramento da qualidade da construção civil. Note que o Brasil não possui nenhum tipo de legislação que diretamente trate o conforto térmico em edificações, diferentemente dos países desenvolvidos. Os textos legislativos brasileiros não visam tratar o conforto térmico no interior de edificações e sim, visam a segurança e a salubridade do usuário. Assim, a principal motivação para a realização deste trabalho de mestrado é a falta de uma legislação diretamente visando o conforto térmico. Avalia-se assim, se os textos atualmente em vigor influenciam positivamente o conforto, mesmo não tendo ele como objetivo primário. Finalmente, essa análise pode servir como base para uma discussão sobre a necessidade de alterações na legislação brasileira.

1.2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é apresentar uma avaliação da influência da atual legislação predial no conforto obtido no interior das construções. Os conceitos de eficiência energética e de conforto são ligados mas não congruentes, pois precisam ser tratados separadamente. A preocupação da legislação brasileira com o consumo de energia elétrica deve incluir a necessidade em projetar e construir ambientes de conforto. Neste contexto, o desenvolvimento de um projeto arquitetônico adequado ao clima reforça o conceito e a necessidade da eficiência energética, assim como o conforto térmico dos usuários dos espaços construídos. Enquanto a legislação atualmente em vigor no Brasil visa diminuir o consumo de energia elétrica e aumentar a salubridade, esta dissertação visa obter uma análise e conseqüentemente uma avaliação da influência concreta da legislação brasileira sobre o conforto térmico. Para isso, um estudo de caso composto por 12 séries que, por sua vez, representam 12 elementos arquitetônicos abstraídos dos textos legislativos foi definido. Neste trabalho, elementos arquitetônicos são definidos como uma específica configuração de partes da construção, como por exemplo paredes ou janelas. Esta configuração pode ser feita através do tamanho, definido em termos absolutos ou relativos, ou ainda a composição do elemento, definido através parâmetros físicos. Além disso, cada série contém 5 variações do elemento arquitetônico em questão que será simulado considerando 4 diferentes orientações solares. Finalmente, todas essas combinações do mesmo estudo de caso serão simuladas a fim de obter os valores de horas de conforto térmico e de horas de desconforto térmico por frio ou por calor. Os resultados obtidos tornarão possível a avaliação da influência da legislação brasileira no conforto térmico de edifícios utilizados como escritórios em Porto Alegre.

1.3. ESTRUTURA

Este trabalho foi organizado através de uma estrutura que delimita vários aspectos relacionados ao clima, à legislação e ao conforto. Esses aspectos são capazes de garantir a obtenção de dados para uma análise dos elementos arquitetônicos das edificações. Assim, esta dissertação de mestrado foi organizada nos seguintes capítulos:

Capítulo 2: Este capítulo apresenta a fundamentação teórica deste trabalho de mestrado. Em mais detalhes, este capítulo apresenta as informações e os critérios que justificam os critérios utilizados para a criação do estudo de caso que será utilizado neste trabalho.

Capítulo 3: Este capítulo descreve a metodologia adotada neste trabalho de mestrado. Assim, este capítulo apresenta as etapas necessários para o cumprimento dos objetivos anteriormente mencionados e define uma série de conceitos que serão utilizados nesta dissertação.

Capítulo 4: Este capítulo descreve a configuração e a modelagem do estudo de caso e a forma como as simulações térmicas computacionais foram realizadas.

Capítulo 5: Este capítulo apresenta os resultados obtidos a partir das simulações térmicas, bem como a análise dos mesmos.

Capítulo 6: Este trabalho será concluído com a avaliação da influência da legislação brasileira sobre o conforto térmico em prédios utilizados como escritório em Porto Alegre. Os problemas da legislação vigente serão identificados e discutidos.

2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentados os resultados associados à pesquisa bibliográfica realizada em relação ao clima, à legislação brasileira e ao conforto térmico. O capítulo visa apresentar as principais informações relacionadas a esses tópicos, necessárias para a definição da metodologia e da discussão. Para cada subcapítulo, serão apresentadas as principais referências salientando a relevância das mesmas para a realização deste trabalho, bem como a metodologia adotada.

2.1. CLIMA

Este subcapítulo apresenta as definições necessárias para a realização da análise que este trabalho propõe considerando os aspectos relacionados ao clima da região metropolitana de Porto Alegre Porto. É importante salientar que esta dissertação visa analisar a legislação brasileira e assim, as informações sobre o clima e os parâmetros deduzidos para os fins das simulações térmicas devem estar no contexto da legislação. Isso resulta em uma seleção de dados que podem ser aplicados universalmente. É oportuno mencionar que a análise da legislação será

relacionada à prédios utilizados como escritórios na região metropolitana de Porto Alegre.

Segundo AYOADE [2011], o tempo pode ser definido como o estado médio da atmosfera em um intervalo de tempo e em um determinado lugar. Entretanto, o clima refere-se às características da atmosfera, inferidas de observações contínuas durante um longo período. Em outras palavras, o termo clima abrange um maior número de dados do que as condições médias do tempo numa determinada área. Clima inclui considerações da variabilidade, condições extremas, e as probabilidades de frequência de ocorrência de determinadas condições de tempo. Assim, o clima apresenta uma visão mais ampla e generalizada, enquanto o tempo trata de eventos mais específicos, ou seja, considerando um período de tempo específico ou um lugar em particular.⁸

A definição de clima depende muito do escopo das informações, de quanto preciso e detalhado a informação deve ser, assim como do contexto no qual está sendo usada. No caso do trabalho aqui apresentado, o clima é utilizado para definir os fatores climáticos que servem como parâmetros de entrada da simulação térmica. Esses fatores devem representar o clima da região metropolitana de Porto Alegre.. A ideia é definir um conjunto pequeno de fatores que cubram todas as características críticas do conforto térmico interno durante o ano todo.

Além disso, o clima pode ser definido como a sucessão dos estados de tempo de uma determinada região, ou seja, um conjunto de acontecimentos meteorológicos que caracterizam o estado médio da atmosfera. Entretanto, é importante salientar que essa definição não ajuda a atingir o alvo deste capítulo. Em mais detalhes, é necessário uma definição que inclua os parâmetros climáticos exatos que precisam ser definidos para iniciar a simulação térmica, bem como para a definição de conforto. Assim, uma definição na qual o clima é caracterizado por elementos como a temperatura e a precipitação, parece mais adequada para este trabalho. A seguir, uma revisão bibliográfica referente ao clima será apresentada. As definições dos fatores escolhidos para caracterizar o clima de Porto Alegre no estado do Rio Grande do Sul serão apresentadas juntamente com as razões que justificam suas escolhas.

DEFINIÇÃO DO TERMO “CLIMA”

O clima é um fenômeno que pode ser definido de várias maneiras. Em termos mais genéricos, a palavra com origem grega (*klíma*) pode ser definida como as condições atmosféricas em um definido local observado durante um longo período de tempo e assim, representa a soma de elementos atmosféricos e das suas variações. Entre esses elementos podemos citar a radiação solar, a temperatura, a umidade, a precipitação, a pressão atmosférica e o vento. As definições mais recentes salientam que clima não somente refere-se a uma média obtida, mas também as faixas

⁸ AYOADE, J.O. *Introdução à Climatologia para os Trópicos*. 2011. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro. 1-14 pp

extremas, a variabilidade e a frequência de várias ocorrências. Neste contexto, clima é um termo que possui uma forte dependência temporal e os seus valores sempre devem ser apresentados através de um conjunto que considera o intervalo de tempo ao qual se referem.⁹

O acesso aos dados climáticos é relativamente fácil. No estado do Rio Grande do Sul, o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Brasil mantém 61 estações. Entretanto, um número pequeno de estações coleta todos os dados para uma análise climática. Basicamente, essas estações medem somente a temperatura, a pressão atmosférica e o vento, e conseqüentemente ficam faltando informações relativas à umidade ou à insolação. Além disso, muitas estações não possuem um período suficiente de medição para serem aceitas pelos *standards* da Organização Mundial de Meteorologia (WMO) que, por sua vez, exige um período mínimo de 30 anos de medição¹⁰. Assim, no território brasileiro identificamos somente 27 estações, posicionadas junto aos aeroportos do país, que fornecem dados climáticos suficientemente consistentes para a utilização em trabalhos científicos. Esses dados, em forma de arquivos climáticos, estão a disposição através do site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina (LABEEE).¹¹

Note que os valores disponíveis podem fornecer uma primeira indicação do consumo de energia necessário para o aquecimento, para o ar condicionado e para a refrigeração de prédios residências, bem como comerciais, e finalmente, podem ser utilizados para a avaliação de projetos arquitetônicos.

KÖPPEN-GEIGER E OUTROS CLASSIFICAÇÕES EFETIVAS

Um outro escopo dos dados climáticos consiste na definição de regiões geográficas, criando uma classificação regional com base nos fatores climáticos utilizados. Os trabalhos desse tipo contém informações muito valiosas, pois selecionam alguns fatores climáticos que servem para resumir os acontecimentos mais típicos e mais representativos para uma determinada região geográfica. Em outras palavras, esses trabalhos buscam definir os fatores climáticos mais importantes para cada região do mundo. Convém salientar, que o escopo desta secção é definir os fatores climáticos para a região metropolitana de Porto Alegre.

O sistema mais citado de classificação efetiva do clima se chama Köppen-Geiger e baseia-se no trabalho do climatologista alemão Wladimir Peter Köppen que,

⁹ BRITANNICA ONLINE ENCYCLOPEDIA. **Climate**. Disponível em: <http://www.britannica.com>. Acesso em: 8/8/2011.

¹⁰ WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Climate Observation Networks and Systems**. Disponível em: http://www.wmo.int/pages/themes/climate/climate_observation_networks_systems.php. Acesso em: 9/8/2011

¹¹ LABEEE. **arquivos-climaticos**. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos>. Acesso em: 9/8/2011

por sua vez, começou seu trabalho no fim do século XIX¹². A primeira publicação do mapeamento, no ano de 1900, representou um progresso para a meteorologia da época, pois pela primeira vez caracterizou todas as regiões geográficas do mundo com base em dados climáticos. Köppen classificou os climas em cinco tipos distintos usando os fatores de precipitação e temperatura, bem como apresentando um sistema matemático de classificação climática que durante mais de cem anos serviu como orientação para a pesquisa meteorológica. O trabalho inicial de Köppen foi revisado e detalhado em 1918, 1927 e 1936 com a publicação de novas versões preparadas em colaboração com Rudolf Geiger. Entretanto, os mapas de Köppen-Geiger são com frequência revisados com base nos sempre mais detalhados dados climáticos disponíveis até hoje¹³. É importante salientar que apesar das revisões, a ideia geral dos mapas permanece inalterada. A classificação é baseada no pressuposto, com origem na fitossociologia e na ecologia, de que a vegetação natural de cada grande região da terra é uma expressão do seu clima dominante.¹⁴ Em geral, as fronteiras entre regiões climáticas foram selecionadas para corresponder as áreas de predominância de cada tipo de vegetação, razão pela qual, a distribuição global dos tipos climáticos e a distribuição dos biomas apresenta elevada correlação. O esquema de determinação dos tipos climáticos segundo Köppen-Geiger considera a sazonalidade, bem como os valores médios anuais e mensais da temperatura do ar e da precipitação e finalmente, categoriza todas as regiões do mundo em cinco principais grupos de clima.^{15 16} A região metropolitana de Porto Alegre encontra-se na categoria de clima temperado úmido com verão quente (*Cfa*). É importante salientar que algumas fontes usam o termo clima subtropical ao invés de temperado úmido.

Além do mapeamento de Köppen, existem outros trabalhos utilizados para categorizar zonas geográficas a partir de dados climáticos. A classificação de Troll/Pfaffen é amplamente utilizada em trabalhos e pesquisas relacionados à agricultura. O sistema nomeado segundo os geógrafos alemães Carl Troll e Karlheinz Paffen, baseiam-se nas mudanças e variações anuais de quatro elementos climáticos. Assim como o trabalho de Köppen, o sistema desses dois autores elabora uma relação entre o clima e a vegetação.¹⁷

¹² KÖPPEN, W. Die Wärmezonen der Erde, nach der Dauer der heissen, gemässigten und kalten Zeit und nach der Wirkung der Wärme auf die organische Welt betrachtet. 1884. Meteorologische Zeitschrift (1).215-226 p.

¹³ CARINTHIAN GOVERNMENT, - Carinthian Institute for Climate Protection, Austria. **World Maps of Köppen-Geiger Climate Classification**. Disponível em: <http://koepen-geiger.vu-wien.ac.at/present.htm>. Acesso em: 9/8/2011

¹⁴ KOEPPEN, W. **Grundriss der Klimakunde**. 1932. Walter De Gruyter & CO., Berlin

¹⁵ PEEL, M. C., FINLAYSON, B. L., McMAHON, T. A. **Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification**. 2007. Hydrol. In: Earth Syst. Sci. Discuss. Disponível em: <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/11/1633/2007/hess-11-1633-2007.pdf>. Acesso em: 9/8/2011

¹⁶ KOTTEK, M. et al. **World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated**. 2006. Meteorologische Zeitschrift (15), 259-263 p.

¹⁷ MÜHR, B. **Die Klimaklassifikation nach Troll / Pfaffen**. Disponível em: <http://www.klimadiagramme.de/Frame/troll.html>. Acesso em: 9/8/2011

Somente para a completude das classificações efetivas, será nominada a classificação segundo o geógrafo alemão Ernst Neef.^{18 19}

As categorizações apresentadas acima mapeiam grandes zonas climáticas e são ferramentas para relacionar um ponto geográfico a um ou mais fatores climáticos. Para esta dissertação de mestrado, serão necessárias informações mais detalhadas do que as acima apresentadas, pois a categoria atribuída à Porto Alegre por Köppen-Geiger é a mesma categoria associada à São Paulo, por exemplo, e ocupa praticamente toda a região sul incluindo os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e parte do estado de São Paulo o que, por sua vez, ocupa uma área equivalente a área do território alemão. Assim, um detalhamento da região metropolitana de Porto Alegre será feito com o objetivo de definir os fatores climáticos que representam melhor os acontecimentos climáticos reais que uma edificação deve enfrentar.

MESOCLIMA DA REGIÃO METROPOLITANA DE PORTO ALEGRE

As categorizações efetivas são relacionadas aos aspectos dos climas de amplas áreas da terra e aos fenômenos atmosféricos em larga escala que afetam o clima. Segundo BARRET [1974], essa escala caracteriza a subdivisão da climatologia intitulada: Macroclimatologia²⁰.

Para analisar com mais detalhes o clima da região metropolitana de Porto Alegre, algumas definições dos fatores já mencionados anteriormente serão novamente apresentadas. Assim, segundo BARRET [1974], a subdivisão de interesse seria a Mesoclimatologia que, por sua vez, se preocupa com o estudo do clima em áreas relativamente pequenas. As áreas com um diâmetro de 10 km a 100 km que permitem o estudo do clima urbano serão definidas. A região metropolitana de Porto Alegre, segundo a Lei Complementar N° 14, de 8 de Junho de 1973²¹, define uma área de 10097 km² que poderia ser circunscrita com um diâmetro de cerca 110 km.

O climatologista e professor de geografia da Universidade de Ibadan na Nigéria J. O. Ayoade apresenta uma introdução dos fatores climáticos, tais como a temperatura, a precipitação e a umidade para as regiões tropicais AYOADE [2011]. Em AYOADE [2011] são relatadas as informações básicas da física e química, assim

¹⁸ NEEF, E. *Ausgewählte Schriften*. 1983. Haack, Gotha

¹⁹ MÜHR, B. *Die Klimaklassifikation nach E. Neef*. Disponível em: <http://www.klimadiagramme.de/Frame/neef.html>. Acesso em: 9/8/2011

²⁰ BARRET, E. C. *Climatology from Satellites*. 1974. Methuen, London

²¹ PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA - SUBCHEFIA PARA ASSUNTOS JURÍDICOS. *Lei Complementar N° 14, de 8 de Junho de 1973*. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/LCP/Lcp14.htm. Acesso em: 11/8/2011

como da tecnologia para a mediação e para o levantamento dos dados climáticos em relação a fatores anteriormente listados.²²

Além da crítica da climatologia tradicional apresentada em vários capítulos do texto, é importante salientar a forte preocupação de Ayoade com a instabilidade ou variabilidade da atmosfera e com os efeitos dessa no clima.

Assim, o principal objetivo é reduzir ao máximo o número de fatores necessários para definir as características do mesoclima de Porto Alegre. É importante salientar, que este trabalho visa analisar o conforto térmico interior e consequentemente, os fatores relevantes associados ao clima são aqueles relacionados especificamente ao clima de Porto Alegre e ao conforto das pessoas.

AYOADE [2011] introduz o conceito de temperatura fisiológica definida como a temperatura experimentada por um organismo vivo, incluindo o homem. A temperatura fisiológica depende da temperatura do ar e da taxa de perda de calor proveniente do organismo²². Salienta-se que essa temperatura varia com os indivíduos, dependendo assim das suas características. Dentre as principais características está a constituição física, o peso, o tipo de vestuário, as atividades físicas ou os trabalhos nos quais estejam engajados, a dieta, o estado de saúde, a idade, o sexo e o estado emocional. O conceito baseia-se no equilíbrio de calor do corpo humano, ou seja, na suposição de que o corpo humano tem uma temperatura interna de aproximadamente 37 °C, mais precisamente de 36,6 °C.

²² Neste trabalho a temperatura fisiológica limita-se a essa observação com base no trabalho de: AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. 2011. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro.

Assim, a temperatura fisiológica pode ser expressa pela Equação 2.1 abaixo.

$$M \pm R \pm C + E = 0 \quad (2.1)$$

onde: M - calor metabólico
 R - calor ganho ou perdido pela radiação
 C - convecção
 E - calor perdido pela evaporação

Além disso, sem entrar em demais detalhes sobre a parte relacionada à biologia e ao conforto, o corpo possui várias estratégias para regular a sua temperatura corporal e adaptar-se a um ambiente mais frio ou mais quente. Para evitar o aquecimento exagerado, o corpo usualmente recorre ao suor. Assim, a temperatura fisiológica é uma função do meio ambiente térmico circundante e da eficiência e velocidade da evaporação.

O meio ambiente térmico circundante determina o equilíbrio entre o ganho e a perda de radiação.

A eficiência e a velocidade da evaporação são controladas por três fatores:

- Umidade do ar;
- Velocidade do ar;
- Grau de exposição à luz solar (fator indireto).

Esses três fatores são difíceis de serem controlados e medidos em experimentos de laboratório ou mesmo calculados. Basicamente, os fatores anteriormente listados podem ser modificados através da ventilação mecanicamente forçada ou através de elementos de sombreamento. Essa simplificação coincide com as necessidades e requisitos deste trabalho, que trata somente de ambientes internos. Esse conceito está sendo ilustrado através da Figura 2.1.

A linha na Figura 2.1 representa um exemplo para uma temperatura de bulbo seco de 29 °C e uma temperatura de bulbo úmido de aproximadamente 22,5 °C. Com essas temperaturas e assumindo uma velocidade do ar de 0,5 m/s, é possível identificar uma temperatura efetiva de 25 °C.

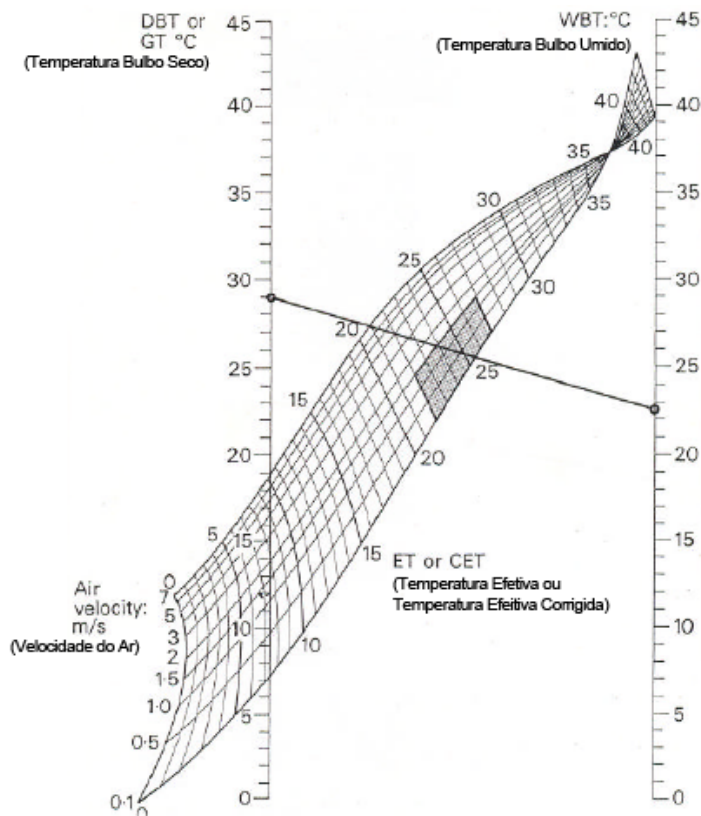


Figura 2.1: Temperatura efetiva corrigida [DA COSTA SILVA,1994].
elaboração: próprio autor

Para concluir, é importante salientar que a temperatura efetiva com somente dois fatores caracteriza a sensação térmica dentro de um ambiente com ventilação constante ou controlada. O autor está consciente de que utilizar somente a temperatura de bulbo seco representa uma simplificação tanto do ponto de vista do sistema climático quanto para fins de conforto térmico. Porém, trata-se da escolha de um fator considerado relativamente fácil de ser medido ou calculado através de ferramentas para a simulação térmica.

FATORES CLIMÁTICOS DA REGIÃO METROPOLITANA DE PORTO ALEGRE

Assim, este subcapítulo apresenta uma análise detalhada do clima de Porto Alegre. A cidade de Porto Alegre está situada nas coordenadas de 30° 01' 58" sul e 51° 13' 48" oeste. Consequentemente, Köppen caracterizou a cidade como subtropical úmida com verão quente.

Ainda hoje, a literatura destaca sobretudo duas características do clima de Porto Alegre:

- A alta umidade;
- A presença tanto de temperaturas altas como baixas.

A umidade justifica-se a partir da posição geográfica de Porto Alegre, visto que a mesma está situada às margens do rio Guaíba²³. A média anual da umidade relativa em Porto Alegre é de 73,4 %²⁴ ou superior à 76 %²⁵.

As temperaturas altas observadas durante os meses de verão do hemisfério sul e as temperatura baixas durante os meses de inverno, criam quatro estações relativamente distintas. As temperaturas médias mensais podem ser encontradas na Tabela 2.1²⁴.

Tabela 2.1: Condições térmicas médias de Porto Alegre. fonte: MARQUARDT [1969]

Condições térmicas médias de Porto Alegre								
mês []	temperatura [°C]				Umidade relativa [%]		Precipitação média [mm]	dias úmidas (+0,25 mm) []
	media		extremos		a.m.	p.m.		
	minimas	maximas	minimas	maximas				
janeiro	19	31	11	39	79	55	89	8
fevereiro	20	31	11	41	84	56	81	9
março	18	28	9	39	87	57	99	8
abril	16	26	5	36	91	61	104	9
maio	12	22	-1	33	92	64	114	9
junho	9	19	-2	32	92	66	130	10
julio	9	19	-4	32	92	66	114	9
agosto	10	20	-1	33	92	65	127	11
setembro	12	21	0	36	89	63	132	10
outubro	14	23	4	38	84	60	86	10
novembro	16	27	6	38	79	55	79	8
dezembro	18	29	8	39	77	54	89	7

Observando a Tabela 2.1 é possível identificar que a média anual de temperatura em Porto Alegre é de 19,3 °C segundo MARQUARDT [1969] e de 19,23 °C segundo o arquivo climático²⁶ disponível no site do LABEEE. Segundo MARQUARDT [1969], existe uma diferença de 21,2 °C entre as médias mensais normais das temperaturas máximas e mínimas do mês mais quente (janeiro) e do mês mais frio (julho).

Na região metropolitana podem ser observadas grandes oscilações de temperatura durante um intervalo de 24 horas. Em Porto Alegre, a máxima oscilação observada foi de 23,8 °C e a temperatura pode cair rapidamente em breves intervalos de tempo. Os maiores declínios observados segundo MARQUARDT [1969] são de 15,3 °C em 1 hora e de 11,1 °C em 10 minutos. Essas instabilidades são consequências da entrada de grandes massas de ar frio e trovoadas locais.²⁵

²³ MARQUARDT, H.E. **Determinantes Climatológicas para a Arquitetura em Porto Alegre e R. G. do Sul.** 1969. Gráfica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre

²⁴ BBC WEATHER. **Brazil > Porto Alegre.** Disponível em: <http://news.bbc.co.uk/weather/forecast/4042?>. Acesso em: 11/8/2011

²⁵ PENTER, C. et al. **Inventário Rápido da Fauna de Mamíferos do Morro Santana, Porto Alegre, RS.** 2008. In: Revista Brasileira de Biociências no.1, Porto Alegre. 119 p

²⁶ LABEEE. **PortoAlegreTRY1954_05CSV.epw.** Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos>. Acesso em: 18/7/2011

Em relação à precipitação, consta que Porto Alegre é caracterizada por uma média mensal de 103,7 mm/m², sendo novembro o mês com menos precipitação (79 mm/m²) e setembro o mês com mais precipitação (132 mm/m²), segundo a BBC WEATHER.

Assim, conclui-se que as precipitações estão distribuídas praticamente igualmente sobre as estações do ano. Note que os dados relacionados às médias dos meses não revelam uma estação ou um período que poderia ser nomeado mais seco ou mais úmido.

Em relação ao vento, MARQUARDT [1969] relata que não existe nem uma direção predominante nem mesmo um período de ventos mais fortes. Neste cenário, a única afirmação que pode ser deduzida a partir dos dados é o fato de que os ventos da direção norte são menos comuns.

Assim, a partir das informações apresentadas nos subcapítulos anteriores, conclui-se que a temperatura a bulbo seco consegue representar os fatores de temperatura, enquanto a temperatura a bulbo úmido consegue representar o fator relativo a umidade. O fator de precipitação não é considerado importante, pois o alvo dessa análise é o conforto térmico interno e conseqüentemente a sua influência seria através da mudança das características físicas dos materiais de construção enquanto os mesmos estão molhados. Neste sentido, esse efeito é considerado de mínimo impacto para este trabalho.

DADOS CLIMÁTICOS PARA SIMULAÇÕES

O conhecimento das condições climáticas externas é de grande importância, pois essas condições representam os requisitos básicos para a análise do desempenho térmico de uma edificação. Os dados meteorológicos, se disponíveis, não são direcionados para a solução dos problemas associados ao projeto de edificações, uma vez que a climatologia se desenvolveu mais em função da aviação e da agricultura. Este trabalho visa integrar os diferentes elementos climatológicos na simulação térmica. Isto exige que esses elementos recebam um tratamento específico voltado para o uso no âmbito do conforto ambiental. Para isso, torna-se necessário um prévio tratamento estatístico ou métodos que transformem uma grande quantidade de registros em ferramentas práticas de trabalho.

Conforme anteriormente mencionado, os dados climáticos são obtidos a partir várias estações meteorológicas que diariamente registram um grande número de variáveis. No Brasil, esses dados são coletados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Os modernos programas computacionais de simulação de desempenho térmico das edificações, como também o Energy Plus utilizado neste trabalho, utilizam os dados climáticos de um ano típico para o cálculo da avaliação bioclimática da edificação e de sua eficiência energética. O ano de projeto é conhecido como *Test Reference Year* (TRY) e consiste em um ano fictício com dados climáticos horários apresentados em um formato padronizado conforme necessário para simulação de

desempenho térmico de edificações. O TRY contém informações climáticas para as 8.760 horas do ano. Por tratar-se de arquivos de grande dimensão, os TRYs das localidades trabalhadas encontram-se disponíveis na forma digital.²⁷

2.2. LEGISLAÇÃO

Este subcapítulo apresenta os resultados da pesquisa bibliográfica relativa ao tema da legislação brasileira enfatizando os elementos arquitetônicos mencionados nos textos da legislação sob análise. Assim, os textos a serem analisados através das simulações térmicas são apresentados e os elementos arquitetônicos regulamentados ou prescritos são indicados. Salienta-se que os textos são exclusivamente relativos à construção do prédio. Legislações urbanas ou de planejamento urbano não são considerados neste trabalho. O sombreamento de prédios ou outros obstáculos podem influenciar o comportamento térmico da edificação, seja porque projetam sombra sobre a fachada e / ou as aberturas do prédio sob análise ou porque a dissipação de calor e a passagem de ar são alterados pelos mesmos. Assim, este trabalho analisa um prédio isolado, sem as influências de construções vizinhas.

A legislação, em suas várias formas, é uma ferramenta importante para controlar e direcionar vários aspectos dos edifícios através de restrições, limites e condições para elementos arquitetônicos, tais como paredes, janelas e telhados, mas também parâmetros como profundidade em relação à janela, ao pé direito ou à distâncias até as escadas de incêndio. Nos próximos parágrafos, será apresentado brevemente o conteúdo dos textos da legislação brasileira. Convém salientar que somente alguns dos textos legislativos apresentados tratam diretamente de aspectos relacionados ao conforto.

²⁷ GOULART, S.V.G., LAMBERTS, R; FIRMINO, S. **Dados Climáticos para avaliação energética em 14 cidades brasileiras**. 1997. Florianópolis, Núcleo de Pesquisa em Construção, UFSC.

Em mais detalhes, serão apresentados os seguintes textos legislativos:

- Lei No 10.295 de 17 de outubro de 2001 – DOU de 18/10/2001²⁸;
- Decreto No 4.059 de 19 de dezembro de 2001 – DOU de 20/12/2001²⁹;
- NBR 15220; Desempenho térmico de edificações de setembro 2003³⁰;
- NBR 16401-2; Parâmetros de conforto térmico³¹;
- Código de Edificações de Porto Alegre; LC No 284 de 27 outubro de 1992 – DOE de 03/11/1992³²;
- Etiquetagem PROCEL; Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações na versão de abril de 2010³³.

Assim, a partir da análise dos textos legislativos serão abstraídos os elementos arquitetônicos e os parâmetros que formarão as séries e suas variações dentro do estudo de caso que, por sua vez, será detalhadamente descrito no subcapítulo 4.1. Como resultado, este subcapítulo fornece todos os dados necessários para a criação do estudo de caso a partir dos valores de base dos 12 elementos arquitetônicos a serem investigados através da simulação. A seguir essa configuração do estudo de caso será chamada *modelo* e servirá como referência para os resultados da simulação. Seguem assim, as descrições mais detalhadas dos textos da legislação brasileira considerados neste trabalho.

LEI No 10.295 DE 17 DE OUTUBRO DE 2001

Esta legislação nacional³⁴ do ano de 2001 dispõe sobre a política nacional de conservação e uso racional de energia. A Lei No 10.295 de 17 de Outubro de 2001 será referenciada no texto somente como Lei No 10.295.

Os seis artigos do texto definem em termos muito gerais o alvo do governo brasileiro de controlar o uso de energia. O Art. 2º define que o poder executivo estabelecerá níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética. É importante salientar que não existem referências diretas ao conforto ou à aplicação desse texto no setor de construções, mas que o texto

²⁸ Diário Oficial da União (DOU) de 18/10/2001. **Lei No 10.295 de 17 de outubro de 2001**. Disponível em: <http://www81.dataprev.gov.br/sislex/paginas/42/2001/10295.htm>. Acesso em: 22/8/2011.

²⁹ Diário Oficial da União (DOU) de 20/12/2001. **Decreto No 4.059 de 19 de dezembro de 2001**. Disponível em: <http://www81.dataprev.gov.br/sislex/paginas/23/2001/4059.htm>. Acesso em: 22/8/2011.

³⁰ Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações**. 2003. ABNT, Rio de Janeiro.

³¹ Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 16401-2: Desempenho térmico de edificações**. 2008. ABNT, Rio de Janeiro.

³² Diário Oficial do Estado (DOE). **Código de Edificações de Porto Alegre LC No 284 de 27 de outubro de 1992**. Disponível em: http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/smov/usu_doc/codigo.pdf. Acesso em: 23/8/2011.

³³ Ministério de Minas e Energia (MME). **Conjunto de publicações: Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações, RTQ-C, RAC-C, Manual para aplicação do RTQ-C e RAC-C**. 2010.

³⁴ Diário Oficial da União (DOU) de 18/10/2001. **Lei No 10.295 de 17 de outubro de 2001**. Disponível em: <http://www81.dataprev.gov.br/sislex/paginas/42/2001/10295.htm>. Acesso em: 22/8/2011.

representa a base da legislação e propostas de legislação que tratam concretamente o consumo de energia de edificações (como a Etiquetagem PROCEL³⁵). Note que o consumo de energia em edificações possuem uma estreita correlação com o conforto térmico através dos sistemas de condicionamento de ar. Na ausência de uma legislação nacional diretamente voltada ao conforto térmico e que prescreva os elementos arquitetônicos, utiliza-se os textos referentes à preocupação com o consumo de energia dos ambientes construídos. Convém salientar que a NBR 16401 define parâmetros para o conforto térmico mas não define elementos arquitetônicos.

A Lei 10.295 não define ou menciona elementos arquitetônicos concretos que possam ser utilizados no estudo de caso deste trabalho.

DECRETO NO 4.059 DE 19 DE DEZEMBRO DE 2001

Este decreto nacional³⁶ do ano de 2001 regulamenta a Lei No 10.295 que dispõe sobre a política nacional de conservação e uso racional de energia. Este texto será referenciado como Decreto No 4.059.

Os 15 artigos da legislação incluem algumas referências à construção de edificações com maior eficiência energética. O Art. 1º define que os níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética, de edificações construídas serão estabelecidos com base em indicadores técnicos e regulamentação específica.

Um passo importante na direção de uma legislação no âmbito do consumo de energia nas edificações construídas encontra-se no Art. 13º. Consta que o Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética (CGIEE) deve formar o Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no País. Esse Grupo foi formado em 2001 e participou indiretamente da elaboração da Etiquetagem PROCEL.

O Art. 15 define que o Grupo Técnico deve propor os seguintes itens ao CGIEE:

- A adoção de procedimentos para a avaliação da eficiência energética das edificações;
- Indicadores técnicos referenciais do consumo de energia das edificações para a certificação;
- Requisitos técnicos para que os projetos de edificações a serem construídos no país atendam os indicadores mencionados.

³⁵ Ministério de Minas e Energia (MME). **Conjunto de publicações: Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações, RTQ-C, RAC-C, Manual para aplicação do RTQ-C e RAC-C.** 2010.

³⁶ Diário Oficial da União (DOU) de 20/12/2001. **Decreto No 4.059 de 19 de dezembro de 2001.** Disponível em: <http://www81.dataprev.gov.br/sislex/paginas/23/2001/4059.htm>. Acesso em: 22/8/2011.

Em outras palavras, o Grupo Técnico é responsável pela elaboração dos parâmetros que constituem futuras legislações e regulamentos sobre a eficiência energética de edificações no país. O Decreto 4.059 não define ou menciona elementos arquitetônicos concretos que poderiam ser utilizados no estudo de caso deste trabalho.

NBR 15220; DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES

A norma nacional do ano de 2003³⁷ estabelece as definições e os correspondentes símbolos e unidades de termos relacionados ao desempenho térmico de edificações. A norma apresenta diretrizes construtivas para zonas bioclimáticas definidas. Porto Alegre faz parte da zona 3 e conseqüentemente, a norma indica as seguintes estratégias construtivas para aberturas da ventilação, vedações externas e condicionamento térmico passivo.

A NBR 15220 recomenda na sua terceira parte que as aberturas para ventilação sejam de tamanho médio e sombreadas de modo que permitam a entrada do sol durante os meses de inverno. O tamanho médio é definido como sendo de 15 % a 25 % da área do piso do ambiente. Além disso, a norma aconselha o uso de paredes do tipo leve refletora e coberturas do tipo leve isoladas, as quais são definidos através dos seguintes parâmetros: $U \leq 2,0$, $\phi \leq 3,3$ e $FS_O \leq 6,5$; onde U representa a transmitância térmica em W/m^2K , ϕ o atraso térmico em horas e FS_O o fator solar em porcentagem. As vedações são definidas através da transmitância térmica, do atraso térmico e do fator solar do componente.

O tipo de parede leve refletora possui as seguintes características:

- transmitância térmica: $U \leq 3,6 W/m^2K$;
- atraso térmico: $\phi \leq 4,3 h$;
- fator solar: $FS \leq 4 \%$;

O tipo de cobertura leve isolada possui as seguintes características:

- transmitância térmica: $U \leq 2 W/m^2K$;
- atraso térmico: $\phi \leq 3,3 h$;
- fator solar: $FS \leq 6,5 \%$;

Em mais detalhes, a transmitância térmica representa o inverso da resistência térmica que, por sua vez, é o somatório do conjunto de resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento ou componente, incluindo as resistências superficiais internas e externas.

³⁷ Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações**. 2003. ABNT, Rio de Janeiro.

A transmitância térmica pode ser expressa através da Equação 2.2 ³⁸.

$$U = \frac{1}{R_{se} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + R_{si}} \quad (2.2)$$

onde: U - transmitância térmica, em W/m²K
 R_{se} - resistência superficial externa, em m²K/W
 R_{si} - resistência superficial interna, em m²K/W
 d_i - espessura da componente i , em m
 λ_i - condutividade térmica da componente i ,
em mK/W

O atraso térmico descreve o tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor. O atraso térmico pode ser calculado através da Equação 2.3 ³⁹.

³⁸ Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN). **DIN EN 6946 Bauteile – Wärmedurchlaßwiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient - Berechnungsverfahren** (*DIN EN 6946 Componentes de construção – resistência térmica e transmitância térmica – Métodos de cálculo*). 2008. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

³⁹ Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações**. 2003. ABNT, Rio de Janeiro.

$$\varphi = 1,382 * R_t * \sqrt{B_1 + B_2} \quad (2.3)$$

sendo:

$$B_1 = 0,226 * \frac{B_0}{R_t} \quad (2.4)$$

e sendo:

$$B_2 = 0,205 * \left(\frac{(\lambda * \rho * c)_{ext}}{R_t} \right) * \left(R_{ext} - \frac{R_t - R_{ext}}{10} \right) \quad (2.5)$$

e sendo:

$$B_0 = C_T - C_{T_{ext}} \quad (2.6)$$

onde: ϕ - atraso térmico, em h

λ - condutividade térmica do material, em mK/W

ρ - densidade de massa aparente do material, em kg/m³

c - calor específico do material, em J/kgK

R_t - resistência térmica de superfície à superfície,
em m²K/W

C_T - capacidade térmica total da componente, em J/K

$C_{T_{ext}}$ - capacidade térmica da camada externa
da componente, em J/K

o índice *ext* se refere à última camada do componente junto à face externa e B_2 é considerado nulo caso seja negativo

O fator solar de elementos opacos (FS_0) representa o ganho de calor solar dos elementos opacos. O FS_0 pode ser expresso através da Equação 2.7.

$$FS_0 = 100 * U * \alpha * R_{se} \quad (2.7)$$

onde: FS_0 - fator solar em elementos opacos, em porcentagem

U - transmitância térmica da componente, em W/m²K

α - absorptância à radiação solar, valor numérico absoluto

R_{se} - resistência superficial externa, em m²K/W

Além dos elementos mencionados, a norma descreve estratégias de condicionamento térmico passivo para as estações de verão e inverno. Aconselha-se a ventilação cruzada no verão assim como o aquecimento solar e o uso de vedações internas pesadas para aproveitamento da inércia térmica para a estação do inverno.

Resumindo, a norma técnica NBR 15220 descreve e define quatro parâmetros para elementos arquitetônicos relevantes para o conforto térmico do ambiente interno:

- Parede;
- Parede (atraso térmico em h);
- Parede (fator solar de elementos opacos, valor numérico absoluto);
- Cobertura.

NBR 16401; PARÂMETROS DE CONFORTO TÉRMICO

A norma nacional do ano de 2008⁴⁰ especifica os parâmetros do ambiente interno que proporcionam conforto térmico aos ocupantes de recintos providos de ar-condicionado. Ela estabelece as definições, os correspondentes símbolos e unidades de termos relacionados.

A NBR 16401 define os seguintes parâmetros ambientais que afetam o conforto térmico:

- Temperatura operativa;
- Velocidade do ar;
- Umidade relativa do ar.

Segundo a norma, os valores desses parâmetros que definem condições de conforto térmico dependem dos seguintes fatores pessoais:

- Tipo de roupa usado pelas pessoas;
- Nível de atividade física das pessoas.

Para mais detalhes sobre esses fatores, a norma brasileira refere-se a ASHRAE [2005]⁴¹

A avaliação das condições de conforto térmico segundo essa norma são efetuadas como definido em ASHRAE [2005], onde 0 indica uma sensação neutra, +1, +2 e +3 sensações que vão desde um calor leve a muito calor e -1, -2 e -3 representam sensações de frio leve a muito frio. A norma brasileira considera valores entre -0,5 e +0,5 como aceitáveis para o conforto térmico.

A seguir, a norma estipula os parâmetros ambientais suscetíveis que produzem uma sensação de conforto térmico em 80 % ou mais das pessoas que realizam atividades sedentárias ou leves (de 1 met a 1,2 met). A NBR 16401-2 define os parâmetros para garantirem esse conforto para pessoas com roupa típica de verão (0,5 clo) e roupa típica de inverno (0,9 clo). Para vestimenta com 0,5 clo é delimitada uma zona de 22,5 °C a 25,5 °C para a temperatura operativa considerando uma umidade relativa de 65 % e uma zona de 23 °C a 26 °C para uma umidade relativa de

⁴⁰ Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 16401-2: Desempenho térmico de edificações**. 2008. ABNT, Rio de Janeiro.

⁴¹ American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). **ASHRAE Handbook Fundamentals**. 2001., Atlanta.

35 %. A velocidade média do ar nesta zona não deve ultrapassar 0,20 m/s para distribuição de ar convencional com um grau de turbulência de 30 % a 50 % e não superar 0,25 m/s para uma distribuição por sistemas de fluxo de deslocamento com turbulências inferior a 10 %.

Já com a vestimenta com 0,9 clo, a normativa delimita uma zona de 21 °C a 23,5 °C para a temperatura operativa para uma umidade relativa de 60 % e uma zona de 21,5 °C a 24 °C para uma umidade relativa de 30 %. A velocidade média do ar nesta zona não deve ultrapassar 0,15 m/s para distribuição de ar convencional e não superar 0,20 m/s para uma distribuição por sistemas de fluxo de deslocamento.

Na continuação do texto legislativo são definidos as limitações, outras condições operacionais, assim como o procedimento e o regulamento para a medição e a avaliação relativa aos parâmetros relacionados ao conforto térmico.

CÓDIGO DE EDIFICAÇÕES DE PORTO ALEGRE; LC NO 284 DE 27 E OUTUBRO DE 1992

Esta lei complementar regional⁴² do ano de 1992 disciplina as regras gerais e específicas a serem obedecidas no projeto, construção, uso e manutenção de edificações. As regras estabelecidas aplicam-se às edificações existentes, reformas e ampliações de prédios existentes, assim como reformas e mudanças de uso. O Código de Edificações de Porto Alegre; LC No 284 de 27 de Outubro de 1992 será referenciado no texto como Código de Edificações de Porto Alegre.

O texto aplica-se à todos os tipos de uso e define a tipologia do escritório no título XI na categoria das edificações não residenciais. Sendo categorizado assim, o escritório deve atender, além de outros, os seguintes requisitos:

- Pé-direito mínimo de 2,6 m;
- Materiais e elementos de construção de acordo com o título VIII (ver abaixo);
- Ter, no mínimo, um compartimento principal com área de 9 m² por unidade autônoma.

Os elementos arquitetônicos mencionados no texto são definidos no seu título VIII como elementos de construção. É importante salientar que janelas não são listados nesta parte do Código de Edificações, mas o mesmo as trata somente no título X sobre os aspectos da iluminação e da ventilação e refere-se à janelas como vãos.

Seguem abaixo os subcapítulos que tratam de cada elemento arquitetônico, da definição segundo o Código de Edificações, das regras que esses elementos devem respeitar em edifícios para escritórios e a relevância dos mesmos para esta dissertação.

⁴² Diário Oficial do Estado (DOE). **Código de Edificações de Porto Alegre LC No 284 de 27 de outubro de 1992**. Disponível em: http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/smov/usu_doc/codigo.pdf. Acesso em: 23/8/2011.

a. PAREDES

O capítulo no Código de Edificações sobre o elemento arquitetônico *paredes* das edificações define que quando executadas em alvenaria, as mesmas devem ter as espessuras mínimas de 25 cm em blocos cerâmicos ou 23 cm em tijolos maciços para paredes externas e divisórias entre unidades autônomas. Uma parede de tijolos de oito furos circulares, assentados na maior dimensão, com uma dimensão do tijolo de 10 x 20 x 20 cm, uma espessura da argamassa de assentamento de 1 cm e espessura da argamassa de emboço de 2,5 cm, resultando em uma espessura total da parede de 25 cm, equivale a uma transmitância térmica de 1,61 W/m²K⁴³. Para as demais paredes, exceto paredes de corta fogo, definem-se as espessuras mínimas de 15 cm em blocos cerâmicos ou 13 cm em tijolos maciços. Uma parede de tijolos maciços, assentados na menor dimensão, com uma dimensão do tijolo de 10 x 6 x 22 cm, uma espessura da argamassa de assentamento de 1 cm e espessura da argamassa de emboço de 2,5 cm, resultando em uma espessura total da parede de 15 cm, equivale a uma transmitância térmica de 3,13 W/m²K. Paredes executadas em outros materiais devem utilizar materiais que comprovadamente possuem os mesmos índices de resistência mecânica e ao fogo, impermeabilidade, isolamento térmico e acústico.

O termo de isolamento térmico neste caso pode ser definido através da transmitância térmica da componente na horizontal, ou seja, ao inverso da resistência ao fluxo de calor entre o ambiente externo e interno.

Assim, são definidos dois elementos arquitetônicos com os seus critérios relevantes para o conforto térmico do ambiente interno:

- Parede Externa;
- Parede Interna.

b. FACHADAS

Este capítulo relacionado ao Código de Edificações apresenta as regras sobre saliências e distâncias mínimas entre as fachadas do edifício e as dos edifícios em torno.

Assim, um elemento arquitetônico é definido. Note que especificamente para esse elemento arquitetônico, não existe uma definição de critérios que influenciam o comportamento térmico do interior e conseqüentemente o conforto térmico e portanto, *fachadas* não são representadas em uma séria nas simulações.

c. BALANÇOS

O Código de Edificações apresenta regras sobre as construções em balanço nas fachadas construídas de recuo e nas galerias.

Assim, nenhum elemento arquitetônico é definido e conseqüentemente os balanços tornam-se irrelevantes para o comportamento térmico do interior e conseqüentemente para o conforto térmico.

⁴³ Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações**. 2003. ABNT, Rio de Janeiro.

d. JIRAUS E MEZANINOS

O subcapítulo sobre jiraus e mezaninos apresenta regras sobre as alturas e extensões permitidas para os mesmos.

Os ambientes de prédios para escritórios normalmente não utilizam esses elementos de construção nas unidades de trabalho. Assim, um elemento arquitetônico é definido, porém os jiraus e mezaninos são desconsiderados devido ao escasso uso dos mesmos na tipologia sob investigação nesta dissertação.

e. MARQUISES

No subcapítulo do Código de Edificações sobre marquises, são identificadas as tipologias de prédios que devem obrigatoriamente possuir esse elemento e são definidas as condições que as mesmas devem atender.

Assim, as marquises são definidas como um elemento arquitetônico. Entretanto, os escritórios não estão incluídos na lista que exige o uso de marquises e conseqüentemente, esse elemento é desconsiderado neste trabalho. É importante salientar que marquises como elementos de sombreamento serão consideradas através das definições e regras definidas na Etiquetagem PROCEL.

f. CHAMINÉS

O subcapítulo do Código de Edificações sobre chaminés apresenta regras para a construção em edificações não residenciais.

Esta dissertação está focada em edificações utilizadas como escritórios, ou seja, em ambientes de trabalho leve ou com ausência de produção leve ou industrial. Assim, o capítulo do Código de Edificações define as *chaminés* como sendo um elemento arquitetônico que, por sua vez, serão desconsideradas neste trabalho.

g. TOLDOS E ACESSOS COBERTOS

Apresentando regras sobre toldos e acessos cobertos o Código de Edificações define as posições e dimensões permitidas por lei.

Assim, toldos e acessos cobertos são definidos como elementos arquitetônicos externos. Entretanto, esses elementos não influenciam diretamente o comportamento térmico do interior e conseqüentemente, o conforto térmico.

h. PORTAS

Neste subcapítulo do Código de Edificações são definidas as posições e dimensões permitidas por lei para as portas.

As *portas* são definidas como um elemento arquitetônico. Entretanto, o Código de Edificações não define nenhum critério que influencia o comportamento térmico do interior e conseqüentemente, o conforto térmico.

i. JANELAS

É oportuno salientar que o elemento arquitetônico *janela* é tratado no título X que, por sua vez, está relacionado à iluminação e à ventilação. Além disso, o texto legislativo usa o termo *vão*, que neste trabalho é substituído pelo termo *janela*. O termo *vão* inclui algumas aberturas que não são incluídas quando o termo *janela* é utilizado. Note que neste trabalho o único *vão* nas fachadas da edificação são as janelas e assim nenhum elemento de construção será desconsiderado por causa disso.

O texto define que as janelas devem permitir a renovação do ar em pelo menos 50 % da área mínima exigida. Para o caso de escritórios, esta área é igual a 1/6 da área do piso do ambiente, ou seja, metade da superfície das janelas deve abrir, o que seria o caso onde janelas a correr bipartidas são utilizadas. A área da abertura destinada à ventilação não poderá ser inferior a 0,4 m². O total da área das janelas para o exterior de cada compartimento não pode ser menor a 1/6 da área do piso do mesmo.

O Código de Edificações também define regras para a posição das janelas. Uma das vergas de cada compartimento deve pelo menos distanciar 1/7 do pé-direito do teto e ser posicionada não inferior a 2,2 m a contar do piso desse compartimento.

No caso em que as janelas ocupem mais de 40 % da parede, a instalação de proteção térmica e luminosa é obrigatório. Contam, segundo o texto, como tais proteções, gelosias, venezianas, sacadas, quebra-sóis, toldos, marquises, beiras e assemelhados.

Assim, o Código de Edificações define um elemento arquitetônico com dois critérios diferenciados:

- Janelas (tamanho em m²);
- Janelas (altura da verga em metros acima do piso).

ETIQUETAGEM PROCEL

Neste trabalho o conjunto de publicações sobre a Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações publicado em 2010⁴⁴ será referenciado como Etiquetagem PROCEL. O conjunto consiste em quatro volumes:

- Volume 1: Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações;
- Volume 2: Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C);
- Volume 3: Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RAC-C);
- Volume 4: Manual para Aplicação dos Regulamentos RTQ-C e RAC-C.

⁴⁴ Ministério de Minas e Energia (MME). **Conjunto de publicações: Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações, RTQ-C, RAC-C, Manual para aplicação do RTQ-C e RAC-C.** 2010.

Os volumes 1-4, tratam dos diferentes aspectos da Etiquetagem PROCEL, sendo o primeiro livro uma introdução do processo e do fluxo. O RTQ-C, o segundo volume, contém os quesitos necessários para a classificação do nível de eficiência energética do edifício, enquanto o RAC-C, o terceiro volume, apresenta o processo de avaliação das características do edifício para a etiquetagem. O último volume contém um detalhamento para as interpretações do RTQ-C e esclarece algumas questões referentes ao RAC-C. Além disso, o manual apresenta cálculos exemplares para todas as etapas da etiquetagem.

Em 2003 a Eletrobrás lançou o Programa PROCEL Edifica e a Secretaria Técnica de Edificações (ST Edificações) foi constituída em 2005. O programa organizou a estrutura necessária para viabilizar as exigências do Decreto 4.059. Mais tarde, o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro) veio participar da etiquetagem através da discussão do processo e definição da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). Assim, o PROCEL Edifica e a Etiquetagem PROCEL visam construir as bases necessárias para racionalizar o consumo de energia nas edificações no Brasil e dessa forma a Etiquetagem PROCEL determina os parâmetros referenciais de qualidade para a verificação do nível de eficiência energética das edificações. A Etiquetagem PROCEL ainda tem um caráter eletivo para a avaliação de qualidade das edificações. O objetivo da etiquetagem é tornar-se obrigatório para todas as edificações, nestas condições com caráter de lei.⁴⁵

A Etiquetagem PROCEL avalia a edificação sob três enfoques do consumo energético⁴⁶:

- Envoltória;
- Ar-Condicionado;
- Iluminação.

É possível obter uma Etiquetagem que engloba todos os enfoques, mas também uma Etiquetagem para cada um dos enfoques em separado. Além disso, a Etiquetagem PROCEL permite a avaliação de partes de um edifício. Esta capítulo da dissertação trata de elementos arquitetônicos e por isso concentra-se na parte da avaliação da envoltória, que na equação da Etiquetagem PROCEL é ponderada com 30 %, enquanto o condicionamento do ar pesa 40 % e a iluminação 30 %.

⁴⁵ Ministério de Minas e Energia (MME). **Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações**. 2010.

⁴⁶ Ministério de Minas e Energia (MME). **RTQ-C**. 2010.

A equação completa da Etiquetagem PROCEL é apresentada na Equação 2.8.

$$\begin{aligned}
 PT = & 0,30 * \left\{ \left(EqNumEnv * \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} * 5 + \frac{ANC}{AU} * EqNumV \right) \right\} \\
 & + 0,30 * (EqNumDPI) \\
 & + 0,40 * \left\{ \left(EqNumCA * \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} * 5 + \frac{ANC}{AU} * EqNumV \right) \right\} \\
 & + b_0^1
 \end{aligned} \tag{2.8}$$

onde: *PT* - pontuação total do edifício, valor numérico absoluto
EqNumEnv - equivalente numérico da envoltória, valor numérico absoluto
EqNumDPI - equivalente numérico do sistema de iluminação, valor numérico absoluto
EqNumCA - equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar, valor numérico absoluto
EqNumV - equivalente numérico de ambientes não condicionados e/ou ventiladas naturalmente, valor numérico absoluto
APT - área de piso dos ambientes de permanência transitória desde que não são condicionados, em m²
ANC - área de piso dos ambientes não condicionados de permanência prolongada, em m²
AC - área de piso dos ambientes condicionados, em m²
AU - área útil, em m²
b - pontuação obtida pelas bonificações, valor numérico absoluto e varia de 0 a 1

Este trabalho analisa a equação da Etiquetagem na porção relacionada aos 30 % da Equação correspondente a envoltória e dessa forma, aos elementos arquitetônicos relacionados à composição e especificação dos elementos opacos e transparentes das edificações tomados pela face externa. Consequentemente, as partes sobre a iluminação e o condicionamento do ar não são considerados na análise. A parte do cálculo para envoltória na Etiquetagem PROCEL está baseada no zoneamento bioclimático brasileiro conforme definido na NBR15220⁴⁷. Além disso, as equações distinguem edifícios menores e maiores de 500 m², resultando em um conjunto de 10 equações. Os edifícios da área metropolitana de Porto Alegre são edifícios que são calculado segunda a zona bioclimática 3. Dessa forma duas são as

⁴⁷ Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações**. 2003. ABNT, Rio de Janeiro.

equações utilizadas, para $A_{pe} \leq 500 \text{ m}^2$ e $A_{pe} > 500 \text{ m}^2$, sendo A_{pe} a área de projeção conforme a definição adiante. As duas equações são apresentados nas Equações 2.9 e 2.10 a seguir.

$$\begin{aligned}
 IC_{env} = & -175,30 * FA - 212,79 * FF + 21,86 * PAF_T + 5,59 * FS \\
 & -0,19 * AVS + 0,15 * AHS + 275,19 * \frac{FA}{FF} + 213,35 * F * FF \\
 & - 0,04 * PAF_T * FS * AVS - 0,45 * PAF_T * AHS \\
 & +190,42
 \end{aligned} \tag{2.9}$$

$$\begin{aligned}
 IC_{env} = & -14,14 * FA - 113,94 * FF + 50,82 * PAF_T + 4,86 * FS \\
 & -0,32 * AVS + 0,26 * AHS - \frac{35,75}{FF} - 0,54 * PAF_T \\
 & * AHS + 277,98
 \end{aligned} \tag{2.10}$$

onde na Equação 2.9 e na Equação 2.10:

IC_{env} - indicador de consumo da envoltória,
valor numérico absoluto

A_{pe} - área de projeção do edifício, em m^2

A_{tot} - área total de piso, em m^2

A_{env} - área da envoltória, em m^2

A_{pcob} - área de projeção da cobertura, em m^2

AVS - ângulo vertical de sombreamento, em grau

AHS - ângulo horizontal de sombreamento, em grau

FF - fator de forma (A_{env} / V_{tot}),

valor numérico absoluto

FA - fator altura (A_{pcob} / A_{tot}), valor numérico absoluto

FS - fator solar, valor numérico absoluto

PAF_T - percentual de abertura na fachada total,

valor numérico absoluto

V_{tot} - volume total da edificação, em m^3

Pode-se observar que entre as duas equações as variáveis utilizadas são as mesmas e o que muda é a composição e os valores numéricos. É importante salientar que um resultado numericamente baixo é considerado bom, enquanto resultados altos, sejam para a equação como um todo ou para as variáveis individuais, representam edificações menos eficientes.

Seguem assim as definições dadas no RTQ-C para os elementos matemáticos das Equações 2.9 e 2.10, assim como para as variáveis que fazem parte do cálculo da análise segundo a Etiquetagem PROCEL. Antes de apresentar esses elementos em mais detalhes, é importante salientar que alguns dos elementos acima mencionados são calculados utilizando dois dos outros fatores e que somente alguns dos elementos referem-se à elementos arquitetônicos. Além disso, outros elementos considerados representam fatores que definem parâmetros para o prédio como um todo utilizando dois ou mais fatores e elementos, e conseqüentemente não são considerados neste trabalho. Note que o trabalho visa analisar a influência de elementos arquitetônicos mencionados e regulamentados nas legislações. Neste contexto, é importante salientar que o resultado da equação acima apresentada é um valor numérico absoluto que não permite uma comparação entre dois ou mais prédios. Com base no resultado numérico, a etiquetagem calcula os intervalos que se traduzem em etiquetas das categorias A, B, C, D ou E, sendo A o melhor e E o menos eficiente. Em geral, é somente possível dizer que um resultado baixo corresponda à uma mais alta eficiência, isto tanto para o resultado final do equivalente numérico quanto para os parâmetros detalhados a seguir.

a. ÁREA DE PROJEÇÃO DO EDIFÍCIO

A área de projeção do edifício é definido como a projeção horizontal do edifício no caso em que o edifício é de formato uniforme ou como área de projeção média dos pavimentos, excluindo os subsolos no caso de edifícios com formato irregular.⁴⁸

Essa variável é utilizada na escolha entre as duas equações disponíveis para a zona bioclimática de Porto Alegre, mas não é utilizada diretamente nas equações. A área de projeção do edifício não é considerado elemento arquitetônico e conseqüentemente, não é contemplada no estudo de caso.

b. ÁREA TOTAL DE PISO

A área total de piso (A_{tot}) é definida como a soma das áreas de piso considerando a face externa da parede.¹⁴

Essa variável é utilizada para o cálculo do fator altura (FA) diretamente utilizado nas equações. A A_{tot} trata do edifício como um todo e portanto, não é considerada elemento arquitetônico. Conseqüentemente, a A_{tot} não é contemplada no estudo de caso deste trabalho.

É importante salientar que a área do piso da unidade considerada será analisada através da simulação das variações deste elemento do estudo de caso.

c. ÁREA DA ENVOLTÓRIA

A área da envoltória (A_{env}) é definida como a soma das áreas das fachadas e empenas e da área de cobertura, incluindo as áreas das aberturas.¹⁴

⁴⁸ Ministério de Minas e Energia (MME). RTQ-C. 2010.

Essa variável é utilizada para o cálculo do fator de forma (FF) diretamente utilizado nas equações. A A_{env} trata do edifício como um todo e assim não é considerada elemento arquitetônico e conseqüentemente, não é utilizada no estudo de caso deste trabalho.

É importante salientar que a área da envoltória, ou seja, a área da fachada da unidade considerada será analisada através da simulação de variações do elemento.

d. ÁREA DE PROJEÇÃO DA COBERTURA

A área de projeção da cobertura (A_{pcob}) é definida como a área da projeção horizontal da cobertura incluindo, terraços cobertos ou descobertos e excluindo beirais, marquises e coberturas sobre varandas fora do alinhamento do edifício.⁴⁹

Essa variável é utilizada para o cálculo do fator altura (FA) diretamente utilizado nas equações. A A_{pcob} trata do edifício como um todo e por isso não é considerada elemento arquitetônico. Conseqüentemente, a A_{pcob} não é utilizada no estudo de caso.

e. ÂNGULO VERTICAL DE SOMBREAMENTO

O ângulo vertical de sombreamento (AVS) é definido como o ângulo formado entre dois planos que contêm a base da abertura, sendo o primeiro o plano vertical na base da folha de vidro, sendo o segundo o plano formado pela extremidade mais distante da proteção solar horizontal até a base da folha de vidro¹⁶. É importante salientar que o valor final do AVS é a média ponderada em relação ao tamanho da abertura dos ângulos calculados para cada janela.

Essa variável é utilizada diretamente nas equações. O AVS trata dos elementos de sombreamento horizontais que são considerados elementos arquitetônicos e conseqüentemente, é utilizado no estudo de caso. A série de simulações é denominada:

- Elemento horizontal de sombreamento (AVS em grau).

f. ÂNGULO HORIZONTAL DE SOMBREAMENTO

O ângulo horizontal de sombreamento (AHS) é definido como o ângulo formado entre dois planos verticais que contêm a base da abertura, sendo o primeiro o plano que contêm a base da folha de vidro e o segundo o plano formado pela extremidade mais distante da proteção solar vertical e a extremidade oposta da base da folha de vidro⁴⁹. É importante salientar que o valor final do AHS é a média ponderada em relação ao tamanho da abertura dos ângulos calculados para cada janela.

⁴⁹ Ministério de Minas e Energia (MME). RTQ-C. 2010.

Essa variável é utilizada diretamente nas equações. O AHS trata dos elementos de sombreamento verticais que são considerados elementos arquitetônicos e consequentemente, gera uma série dentro do estudo de caso denominada:

- Elemento vertical de sombreamento (AHS em grau).

g. FATOR DE FORMA

O fator de forma (FF) é definido como a razão entre a área da envoltória (A_{env}) e o volume do edifício (V_{tot})⁵⁰.

Essa variável trata do edifício como um todo e assim não é considerado elemento arquitetônico e consequentemente, não é contemplada no estudo de caso.

h. FATOR ALTURA

O fator altura (FA) é definido como a razão entre a área de projeção da cobertura (A_{pcob}) e a área do piso (A_{tot})⁵⁰.

Essa variável trata do edifício como um todo e assim não é considerado elemento arquitetônico e portanto, não é utilizada no estudo de caso deste trabalho.

i. FATOR SOLAR

O fator solar é definido como a razão entre o ganho de calor que entra em um ambiente através de uma abertura e a radiação solar incidente nesta mesma abertura. Inclui o calor radiante transmitido pelo vidro e a radiação solar absorvida, que é re-irradiada ou transmitida, por condução ou convecção, ao ambiente interno.⁵⁰ A NBR 15220-2⁵¹ descreve o cálculo do fator solar através a Equação 2.11.

$$FS_T = U * \alpha * R_{se} + \tau \quad (2.11)$$

onde: FS_T - fator solar de elementos transparentes ou translúcidos, em J/m^2K

U - transmitância térmica do componente, em W/m^2K

α - absorptância à radiação solar,
valor numérico absoluto

R_{se} - resistência superficial externa, em m^2K/W

τ - transmitância à radiação solar,
valor numérico absoluto

Essa variável muda com o tipo de vidro utilizado que, por sua vez, pode ser considerado elemento arquitetônico e portanto, gera uma série dentro do estudo de caso, denominado:

- Vidro (fator solar em J/m^2K).

⁵⁰ Ministério de Minas e Energia (MME). RTQ-C. 2010.

⁵¹ Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 15220: Desempenho térmico de edificações. 2003. ABNT, Rio de Janeiro.

j. PERCENTUAL DE ABERTURA NA FACHADA TOTAL (PAF_T), ADIMENSIONAL

O percentual de abertura na fachada total (PAF_T) é definido como a razão entre a soma das áreas de abertura envidraçada, ou com fechamento transparente ou translúcido, de cada fachada e a área total de fachada da edificação. É importante salientar que se refere exclusivamente à aberturas em paredes verticais com inclinação superior a 60 graus em relação ao plano horizontal.

Essa variável é utilizada diretamente nas equações. O PAF_T trata do edifício como um todo e assim, não constitui um elemento arquitetônico que possa ser utilizado no estudo de caso.

É importante salientar que a razão entre aberturas e fachada da unidade será analisada através da variação do tamanho das janelas da unidade.

k. VOLUME TOTAL DA EDIFICAÇÃO (V_{tot})

O volume total (V_{tot}) é definido como o volume delimitado pelos fechamentos externos do edifício.⁵²

Essa variável é utilizada para o cálculo do fator de forma (FF), diretamente utilizado nas equações. O V_{tot} trata do edifício como um todo e assim não é considerado elemento arquitetônico e conseqüentemente, não contempla no estudo de caso.

É importante salientar que o volume da unidade é indiretamente analisado através do caso de estudo que trata da área do piso da unidade.

2.3. CONFORTO TÉRMICO

O subcapítulo 2.3 apresenta os resultados da pesquisa bibliográfica relacionados ao conforto térmico. Apresenta-se uma revisão dos critérios utilizados para quantificar o conforto térmico em três modelos de conforto encontrados na literatura. É oportuno salientar que esta dissertação não tem como objetivo estabelecer um novo modelo para a utilização fora do contexto da análise da influência da legislação brasileira sobre o conforto térmico, ou seja, fora do contexto deste trabalho. Assim, o conforto térmico é abordado para que o mesmo possa ser aplicado no âmbito da regulamentação e legislação, ou seja, com uma definição que possa cobrir as possíveis situações em prédios climatizados utilizados como escritório na região metropolitana de Porto Alegre. Note também que as simulações neste trabalho utilizarão um arquivo climático tipo TRY.

O conforto térmico é reconhecido como não sendo um conceito exato o que, por sua vez, não implica em uma temperatura exata. O conforto térmico depende de fatores quantificáveis, ou seja, temperatura do ar, velocidade do ar, umidade, entre

⁵² Ministério de Minas e Energia (MME). RTQ-C. 2010.

outros, e de fatores não quantificáveis, estado mental, hábitos, educação, e outros. Assim, as preferências de conforto das pessoas variam bastante conforme a sua aclimatização particular ao ambiente local⁵³.

Com o intuito de obter um ambiente interior termicamente confortável para os ocupantes dos edifícios, a pesquisa sobre conforto térmico conseguiu identificar vários modelos para as condições de conforto térmico. As duas linhas principais na literatura são os modelos estáticos e os modelos adaptativos. Esta dissertação apresenta essas linhas através de três modelos exemplares.

Assim, baseado nesses exemplos, o modelo adotado para esta dissertação é definido. O modelo é utilizado para a análise de cada elemento arquitetônico do estudo de caso e forma assim, o critério e a ferramenta fundamental para a crítica da legislação atual. Em mais detalhes, torna-se necessária a adaptação de um modelo que funcione corretamente no ambiente específico escolhido para este trabalho. Finalmente, somente um modelo adotado ao clima da região da grande Porto Alegre e ao uso como escritório poderá levar a resultados adequados na análise final.

DEFINIÇÃO DO TERMO “CONFORTO TÉRMICO”

Para estabelecer um modelo para o conforto que sirva para analisar os resultados da simulação térmica precisa-se definir melhor o que se entende por conforto térmico. Assim, neste subcapítulo são apresentados os elementos e fatores que influenciam a sensação térmica do ser humano e formam a base teórica para todos os índices apresentados na literatura assim como o modelo de conforto utilizado neste trabalho.

O ser humano é um animal homeotérmico, ou seja, o seu organismo trabalha para manter a temperatura corporal constante. Essa temperatura é da ordem de 37 °C, mas pode variar entre 36,1 °C e 37,2 °C. Define-se 32 °C como limite inferior e 42 °C como limite superior para a sobrevivência^{54 55}. Salienta-se que existe literatura que indique 28 °C como limite inferior⁵⁶.

FROTA [2003] compara o organismo dos seres homeotérmicos com uma máquina térmica, pois sua energia é obtida através de fenômenos térmicos. Essa energia térmica produzida pelo organismo advém de reações químicas no interior do corpo humano. Os elementos mais importantes nesse processo são o carbono, introduzido no organismo sob a forma de alimentos e o oxigênio, extraído do ar durante o processo de respiração. Esse processo de produção de energia interna a partir de elementos combustíveis orgânicos é denominado metabolismo.

⁵³ KHEDARI, J., YAMTRAIPAT, N., PRATINTONG, N., HIRUNLABH, J. **Thailand ventilation comfort chart**. 2000. *Energy and Buildings* 32: 245-249 pp.

⁵⁴ FROTA, A. B., SCHIFFER, S. R. **Manual do Conforto Térmico**. 2003. Studio Nobel, São Paulo.

⁵⁵ LAMBERTS, R., GHISI, E., ABREU, A., CARLO, J. **Apostila de Desempenho Térmico de Edificações**. 2005. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

⁵⁶ American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). **Thermal Comfort**. 2001. ASHRAE Handbook Fundamentals, Atlanta.

Esse processo químico produz calor e essa produção através do metabolismo pode ser dividida em⁵⁷:

- Metabolismo basal: Refere-se aos processos automáticos para manutenção das atividades vitais;
- Metabolismo muscular: Refere-se à produção de calor pelos músculos quando desenvolvem trabalho mecânico para a realização de determinada tarefa.

O metabolismo varia de acordo com a área corporal, em geral, esta área é definida como a área superficial aproximada de uma pessoa de estatura média com 170 cm de altura e 70 kg de massa. O cálculo desta medida é possível através da equação proposta por DuBois⁵⁸ na Equação 2.12.

$$Ac = 0,202 * m_c^{0,425} * h^{0,725} \quad (2.12)$$

onde: Ac - área corporal em m²
 mc a massa corporal em kg
 h a altura em m

Como resultado, uma pessoa mediana tem uma área corporal de 1,8 m².

Da energia obtida pelo metabolismo, até 24 % podem ser utilizadas como trabalho externo, todos os restantes 80 % são liberados em forma de calor. Assim, é possível dizer que o mecanismo humano tem um rendimento energético reduzido ou pouco eficaz. Essa constatação salienta a importância de se proporcionar ao corpo humano as mais favoráveis formas dele dispersar enorme quantidade de energia sem lhe causar desconforto. Os textos de FROTA [2003] e LAMBERTS [2005] indicam que a solução desse problema é mais facilmente obtida em climas ou ambientes frios, pois calor torna-se sinônimo de desconforto. Entretanto, em climas de ambientes quentes ou úmidos a tarefa é mais complexa. Os parágrafos a seguir descrevem o funcionamento da dissipação de calor do corpo humano.

A necessidade de dissipação de calor produzido pelo metabolismo depende da atividade que o ser humano executa a cada momento. Esse calor é dissipado através de vários mecanismos de trocas térmicas entre o corpo e o ambiente. Segundo BALTAR [2006] os mecanismos podem ser agrupados em dois grupos:

- Trocas térmicas sensíveis: envolvendo variações de temperatura através de convecção, radiação e condução;
- Trocas térmicas latentes: envolvendo variações de estados através de evaporação.

⁵⁷ SATTLER, M. A. **Apostila de Conforto Ambiental**. 2005. Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

⁵⁸ BEYER, P. O. **Apostila do Curso de Climatização**. 2005. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

O calor perdido para o ambiente através das trocas secas é denominado calor sensível e é função das diferenças de temperatura entre o corpo humano e o ambiente. O calor perdido através das trocas úmidas é denominado calor latente e envolve mudanças de fase. O corpo humano recorre a esse mecanismo quando o suor passa do seu estado líquido para o estado gasoso através da evaporação na superfície da pele ou da difusão de vapor de água pela pele. Como o corpo sempre gera calor, esse calor necessita ser dissipado continuamente para garantir que a temperatura corporal não suba ou desça e assim, o equilíbrio térmico do corpo seja mantido. O corpo dissipa calor através da pele e da respiração

Em SATTLEER [2005] são definidos os índices para as várias formas de ganho ou perda de calor de um ser humano através dos mecanismos descritos acima. Esses mecanismos são apresentados na Figura 2.2.

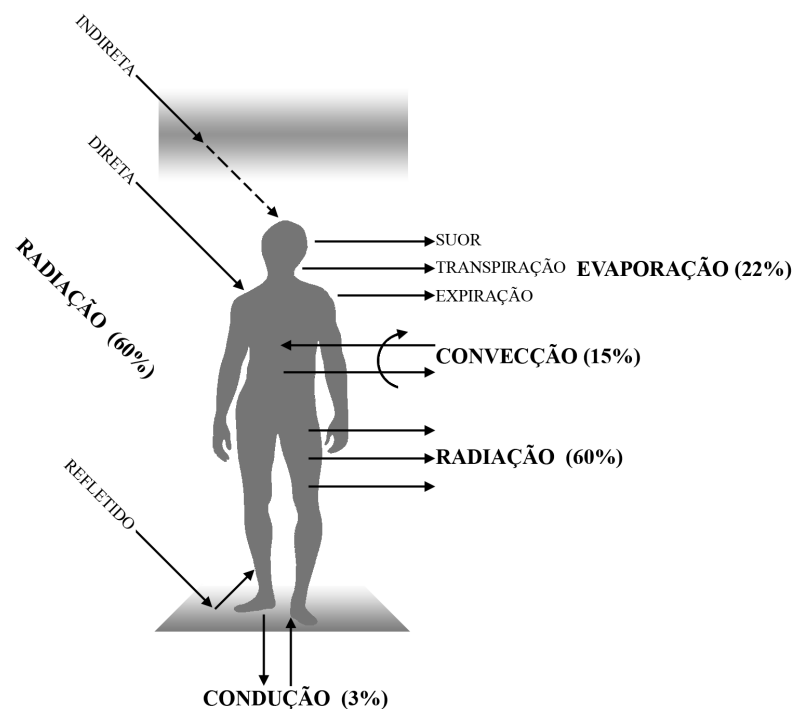


Figura 2.2: Trocas de calor e índices de ganho e perda do corpo humano. [SATTLEER,2005]. elaboração: próprio autor

fonte:

O conceito de balanço térmico pode definir a base no modelo de trocas térmicas e o conforto térmico. Assim, conforto térmico significaria dissipar sem esforço a quantidade de calor que está sendo produzida pelo corpo e assim, manter a temperatura interna do tórax em torno de 37 °C. Na prática, o conceito é dificilmente atingido, pois o ser humano está constantemente realizando movimentos, alterando a taxa de dissipação de calor e conseqüentemente, o equilíbrio com o meio ambiente⁵⁹.

⁵⁹ PEREIRA, F. L. **Determinação Computacional da Influência de Parâmetros Físicos no Comportamento Termoenergético de uma Edificação.** 2005. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Assumindo que o corpo humano encontra-se em um estado térmico constante no tempo o que, por sua vez, representa uma forte simplificação, os fatores do ambiente também são muito variados e dificilmente todos os fatores envolvidos são constantes e conhecidos.

Mesmo assim, a definição dada pela *International Organization for Standardization* (ISO) diz que o conforto térmico é o estado que expressa a satisfação com o ambiente térmico que envolve uma pessoa⁶⁰. A não satisfação pode ser causada pela sensação de frio ou de calor, ou seja quando o balanço térmico esta instável. Essa troca pode acontecer através dos fatores apresentados na Figura 2.2, que segundo SATTLER [2005] formam a Equação 2.13. Na mesma, os ganhos de calor do corpo humano são representados como o sinal positivo enquanto as perdas são indicados utilizando o sinal negativo.

$$Met - E_{vp} \pm C_{nd} \pm C_{nv} \pm Rad = 0 \quad (2.13)$$

onde: *Met* - metabolismo, em W/m²
E_{vp} - evaporação acima da pele, em W/m²
C_{nd} - condução por contato com corpos
mais quentes ou frios do que a pele, em W/m²
C_{nv} - convecção caso o ar esteja mais quente ou frio
do que a pele, em W/m²
Rad - radiação trocada com corpos frios ou quentes,
em W/m²

Conforme anteriormente mencionado existem muitos fatores que influenciam na avaliação do conforto térmico. A seguir os fatores denominados variáveis pessoais e variáveis ambientais serão listadas. No primeiro grupo são unidos os fatores que não dependem do ambiente, mas como o próprio nome diz, da pessoa em si.

⁶⁰ International Organization for Standardization (ISO). **ISO 7730 - Moderate Thermal Environments - Determination of the PMV and PPD indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort.** 1994.

No segundo grupo encontram-se os fatores que dependem somente do ambiente.

- Variáveis pessoais:
 - Taxa metabólica;
 - Resistência térmica das vestimentas;
 - Outras variáveis como: Idade, Sexo, Raça, Hábitos alimentares, Peso, Altura, etc.⁶¹.
- Variáveis ambientais:
 - Temperatura do ar;
 - Temperatura média radiante;
 - Umidade relativa do ar;
 - Velocidade do ar.

As variáveis listadas como outras variáveis são consideradas de baixa influência e também possuem uma variedade muito grande para serem consideradas em trabalhos associados a um grupo amplo de pessoas. Assim, este trabalho não considera esses fatores nos seguintes passos e definições. Essa simplificação baseia-se no pressuposto de que existe uma pessoa média que apresenta a média estatística para os fatores como peso, altura, e idade.

Seguem no próximo subcapítulo as definições para os fatores restantes e as relativas considerações sobre a importância dos mesmos neste trabalho.

DEFINIÇÕES DE FATORES PARA O CONFORTO TÉRMICO

Este subcapítulo apresenta as definições encontradas na literatura para os fatores que definem o conforto térmico, sejam eles variáveis pessoais ou variáveis ambientais.

a. TAXA METABÓLICA

A taxa metabólica é a taxa de energia gasta durante a realização de atividades físicas, variando conforme a atividade, a pessoa e as condições na qual o trabalho é realizado. É importante salientar, que o metabolismo humano nunca para e que o pressuposto de que o seu valor fica constante para um período de tempo representa uma simplificação necessária para este trabalho. Os valores associados a várias atividades podem ser extraídos de tabelas da ISO⁶² ou do material da *American*

⁶¹ LAMBERTS, R., GHISI, E., ABREU, A., CARLO, J. **Apostila de Desempenho Térmico de Edificações**. 2005. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

⁶² International Organization for Standardization (ISO). **ISO 7243 - Hot environments: Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature)**. 1989.

*Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)*⁶³. A energia gasta pelo metabolismo é calculada a partir da Equação 2.14.

$$M = \frac{21 * (0,23 * RQ + 0,77) * Q_{O2}}{A_c} \quad (2.14)$$

onde: M - taxa metabólica em W/m^2
 RQ - quociente de valor absoluto de respiração
 Q_{O2} - taxa volumétrica de consumo de oxigênio a $0\text{ }^\circ\text{C}$
com: $P=101325\text{kPa}$ (L/s)

Neste subcapítulo, uma breve análise de um modelo de conforto específico de cada linha, estática e adaptativa, é apresentada e um modelo baseado nas necessidades deste trabalho é criado. Esse modelo é utilizado para a análise dos resultados da simulação térmica das variações do estudo de caso. Além disso, esse modelo é elaborado para ser adaptado ao clima da região investigada, à tipologia de uso, ao estudo de caso e para facilitar e garantir uma análise adequada e precisa.

A taxa metabólica representa a base para o entendimento do conforto térmico de uma pessoa. A taxa define um sistema muito complexo a partir de poucos fatores. Existem estudos, experimentos assim como dados estatísticos relacionados à esse fator e a sua adaptação nas normas mais importantes como ISO e ASHRAE o que, por sua vez, demonstra a sua aceitação na literatura.

b. RESISTÊNCIA TÉRMICA DAS VESTIMENTAS

Dado o fato de que todas as transferências de calor entre o corpo humano e o ambiente, com exceção da respiração, acontecem na superfície da pele, a vestimenta representa um fator com impacto considerável. A resistência térmica das vestimentas às trocas de calor sensível entre a pele e o ambiente ao seu redor criam um isolamento térmico da pele. Quanto maior a quantidade e resistência da roupa, maior o isolamento em torno do corpo e menor será a perda de calor para o ambiente.

Existem três métodos para encontrar a propriedade isolante de uma vestimenta⁶⁴. Entretanto, o método mais utilizado é a medição em manequins⁶⁵.

A resistência térmica das vestimentas é expressa em m^2K/W ou em clo o que, por sua vez, significa que o produto m^2 vezes k é necessário para passar um W pela vestimenta. Convém mencionar que 1clo equivale a $0,155\text{ }m^2K/W$. Neste trabalho, a

⁶³ American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). **Thermal Comfort**. 2001. ASHRAE Handbook Fundamentals, Atlanta.

⁶⁴ SATTler, M. A. **Apostila de Conforto Ambiental**. 2005. Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

⁶⁵ FANGER P. O. **Thermal Comfort: analysis and applications in environmental engineering**. 1972. McGraw-Hill, New York.

resistência será expressa sempre na unidade clo. Para determinar a resistência térmica das vestimentas existe a relação apresentada na Equação 2.15⁶⁶.

$$I_{clo} = 0,835 * \Sigma I_{clu} + 0,161 \quad (2.15)$$

onde: I_{clo} - resistência térmica em clo
 I_{clu} - resistência térmica parcial dos componentes das vestimentas em clo

Para calcular a resistência de uma vestimenta são necessários todos os valores I_{clu} de todas as suas componentes. Esses valores podem ser extraídos de tabelas da ISO⁶⁷ ou da ASHRAE⁶⁸.

Caso uma componente não se encontre nessas tabelas, o valor pode ser calculado segundo WALLAUER [2005] a partir da Equação 2.16.

$$I_{clu} = (0,534 + 0,135 * L_f) * \frac{A_g}{A_d} - 0,0549 \quad (2.16)$$

onde: I_{clu} - resistência térmica parcial da componente de vestimenta em clo
 L_f - espessura da componente em mm
 A_g - superfície do corpo coberto pela componente em m²
 A_d - superfície do corpo segundo DuBois segundo BEYER [2005] em m²

Finalmente, é importante salientar que a resistência térmica anteriormente descrita refere-se a uma pessoa em pé. Assim, nos horários em que as pessoas estão deitadas, a equação da resistência térmica das vestimentas é incrementada do valor da resistência térmica de uma pessoa deitada.

O cálculo para essa diferença segundo WALLAUER [2005] é apresentado na Equação 2.17.

⁶⁶ WALLAUER, M. **Utilização do Programa EnergyPlus para a Simulação do Conforto Térmico em Edificações Populares em Quatro Capitais Brasileiras**. 2003. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

⁶⁷ International Organization for Standardization (ISO). **ISO 7243 - Hot environments: Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature)**. 1989.

⁶⁸ American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). **Thermal Comfort**. 2001. ASHRAE Handbook Fundamentals, Atlanta.

$$\Delta I_{clo} = (0,748 * A_{ch}) \quad (2.17)$$

onde: A_{ch} - área de contato entre corpo e a cama em m²

No caso do presente trabalho, conclui-se que as pessoas que estão presentes nos ambientes internos a serem avaliadas no que diz respeito ao conforto térmico, vestem-se de modo apropriado para as atividades de trabalho sentadas em escritórios, ou seja, com calça, camisa e sapato fechado. Em mais detalhes, prevê-se que as pessoas vistam calça, camisa com manga comprida e paletó ou vestimentas similares. Na tabela encontrada em ISO [1989], essa combinação equivale a uma resistência de 0,96 clo.

c. TEMPERATURA DO AR A BULBO SECO

Conforme anteriormente descrito, a temperatura do ar a bulbo seco é expressa em °C e representa aqui a temperatura do ar em contato com a superfície do corpo humano ou da vestimenta. Precisa-se conhecer a temperatura do ar para o cálculo da transferência de calor por convecção entre o indivíduo e o ambiente.

A importância da temperatura do ar para este trabalho em relação ao clima já foi apresentada no subcapítulo 2.1, mas é importante salientar que a temperatura do ar a bulbo seco também representa um dos mais importantes fatores para todos os modelos de conforto térmico.

d. TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE

A temperatura média radiante é a média ponderada das temperaturas de todas as superfícies do ambiente. Em outras palavras, pode ser definida como a temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual a transferência de calor por radiação do corpo de um indivíduo é igual à transferência de calor radiante em um ambiente real não uniforme⁶⁹. Como todas as temperaturas, a temperatura média radiante é expressa em °C.

⁶⁹ WALLAUER, M. *Utilização do Programa EnergyPlus para a Simulação do Conforto Térmico em Edificações Populares em Quatro Capitais Brasileiras*. 2003. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Um valor aproximado da temperatura média radiante pode ser determinado através da Equação 2.18, usando os valores da temperatura do ar, temperatura do globo negro e da velocidade do ar ao redor do globo ⁷⁰.

$$trm = \left[(t_g + 273)^4 + \frac{1,1 \cdot 10^8 \cdot V^{0,6} \cdot (t_g - t)}{\varepsilon \cdot d^{0,4}} \cdot (t_g - t) \right]^{\frac{1}{4}} - 273 \quad (2.18)$$

onde: trm - temperatura média radiante em °C
 t_g - temperatura de globo negro em °C
 t - temperatura do ar em °C
 V - velocidade do ar ao redor do globo negro em m/s
 ε representa a emissividade infravermelha
 (0,95 para o globo negro), valor numérico absoluto
 d - diâmetro do globo em m

O fator da temperatura média radiante não será citado diretamente em nenhum dos modelos de conforto abaixo apresentados. Assim, o trabalho não utilizará esse fator e portanto, o mesmo será apresentado somente para demonstrar que a temperatura média não foi desconsiderada.

e. UMIDADE RELATIVA

A umidade relativa descreve a quantidade de vapor d'água contida no ar em relação à máxima quantidade possível que o ar pode conter. O vapor é formado pela evaporação da água, processo originado da mudança do estado líquido ao gasoso, sem modificação da temperatura. Na literatura encontra-se uma nomenclatura alternativa para a umidade relativa denominada porcentagem de saturação do ar.

⁷⁰ GARCIA BALTAR, M. **Redução da Demanda de Energia Elétrica utilizando Parâmetros Construtivos visando ao Conforto Térmico**. 2006. Dissertação de Mestrado - Programa De Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica Do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre.

Essa porcentagem pode ser obtida segundo ASHRAE [2005] através da Equação 2.19.

$$UR = \frac{p_v(T)}{p_{vs}(T)} * 100 \quad (2.19)$$

sendo:

$$p_{vs} = 1000^{16,6536} * \frac{4030,183}{(T + 235)} \quad (2.20)$$

onde: UR - umidade relativa expressa
em valor numérico absoluto entre 0 e 1
 p_v - pressão de vapor da água no ar em uma determinada
temperatura (T) em Pa
 p_{vs} - pressão de vapor da água no ar saturado na
mesma temperatura (T) em Pa
 T - temperatura do ar em °C

A umidade relativa é um fator muito importante para a sensação térmica. Equivalente à umidade relativa no clima descrito no subcapítulo 2.1, esse valor pode prejudicar substancialmente a percepção do contexto térmico. Uma umidade relativa alta como encontrada na região metropolitana de Porto Alegre dificulta os mecanismos de dissipação de calor do corpo através da evaporação. Assim, a umidade relativa deve ser considerado para a definição do critério para o conforto térmico. No caso deste trabalho, é considerado um valor constante.

f. VELOCIDADE DO AR

A velocidade do ar é definida por sua magnitude e direção. Se considera a velocidade efetiva do ar, ou seja, a magnitude do vetor velocidade do fluxo no ponto de mediação considerado⁷¹. Esse valor é necessário para a determinação da transferência de calor por convecção e por evaporação. Para o estudo de caso e a análise dos resultados das simulações térmicas, assume-se uma velocidade constante.

MODELOS DE CONFORTO TÉRMICO

O conforto térmico de uma pessoa em um ambiente interno depende de muitos fatores, alguns deles derivam do clima externo, outros do ambiente construído, ainda outros do corpo humano. Na literatura existem inúmeros modelos para o conforto térmico. Todos eles propõem uma definição para um clima interior confortável que

⁷¹ LAMBERTS, R., XAVIER, A. A. P. *Apostila de Conforto Térmico e Stress Térmico*. 2002. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

finalmente, resultará nos *set-points* (pontos de controle) para o sistema de condicionamento do ar. Os modelos de conforto visam determinar valores que delimitem um intervalo de conforto para um fator do ambiente, ou ainda para a combinação de vários fatores. Todos esses fatores agem em conjunto e combinam-se para a sensação térmica que sentimos.

Para os modelos de conforto existe ainda mais um problema: não existe medida para o conforto, ou seja, cada pessoa tem uma interpretação diferente do clima que a envolve. A denominada zona de conforto, intervalo entre os *set-points* para valores como a temperatura, a umidade relativa, a velocidade do ar ou outros fatores, define um conjunto de valores que resultam em uma sensação aceitável de conforto para a maioria das pessoas que permanece dentro deste ambiente.

Nos próximos subcapítulos serão descritos brevemente três modelos de conforto. É importante salientar que os diferentes modelos recorrem a distintas metodologias para abstrair uma indicação sobre a zona de conforto dos dados climáticos ou dos resultados de experimentos em forma de dados estatísticos.

a. MODELO DE OLGYAY

O modelo de conforto desenvolvido pelo Professor Victor Olgyay representa uma das primeiras tentativas de combinar vários fatores climáticos para definir uma zona de conforto pela permanência humana em ambientes. As cartas bioclimáticas produzidas por esse modelo são, ainda hoje, de grande valor para a avaliação da sensação térmica e do conforto quando se trata dos efeitos combinados de temperatura, velocidade do vento e umidade relativa.

O modelo de Olgyay baseia-se no estudo das relações entre os fatores climáticos e funciona através da leitura de dois fatores em um diagrama chamado de carta bioclimática de Olgyay. A Figura 2.3 apresenta a carta que reúne os dois fatores climáticos⁷²:

- Umidade relativa (eixo X);
- Temperatura a bulbo seco (eixo Y).

Combinando valores de temperatura a bulbo seco com umidade relativa, define-se um ponto no gráfico. Assim, é possível verificar se esse ponto encontra-se dentro ou fora da zona de conforto demarcada em cinza. Em geral, observa-se que essa zona se encontra no intervalo entre 20 % e 80 % para a umidade relativa e entre 21,1 °C e 27,8 °C para temperatura a bulbo seco.

⁷² OLGYAY, V. *Design with Climate – Bioclimatic approach to architectural regionalism*. 1963. Princeton University Press

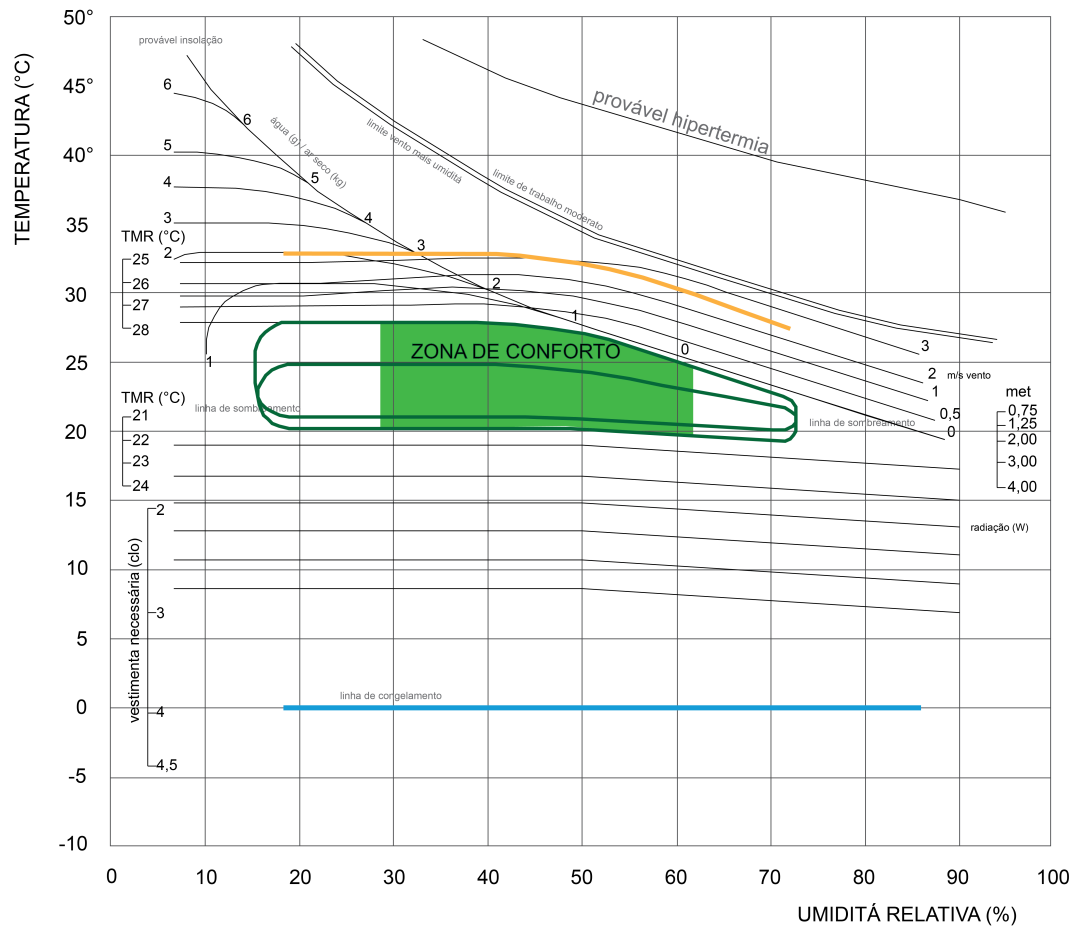


Figura 2.3: Carta de conforto de Olgay. fonte: OLGAY [1963] elaboração: próprio autor

Além de definir se a combinação dos mesmos resulta em um ambiente confortável ou não para todas as combinações dos fatores acima mencionados, a carta de Olgay também indica as medidas para eventualmente corrigir um resultado não confortável. Em OLGAY [1963] são apresentadas três estratégias arquitetônicas a serem aplicadas dependendo do resultado obtido:

- Vento;
- Radiação;
- Resfriamento através de evaporação de água.

Todas as medidas acima mencionadas são representadas graficamente como linhas na carta apresentada na Figura 2.3. Olgay salienta que algumas vezes existem duas diferentes estratégias que corrigem o resultado, mas que também existem casos quando se precisa da combinação de duas medidas para garantir um ambiente confortável.

Convém mencionar que o modelo e as cartas apresentadas em OLGAY [1963] referem-se ao clima de latitude de 40 graus, ou seja, a cidades norte americanas como, por exemplo, Washington. Entretanto, Olgay apresenta uma metodologia para adaptar ou criar cartas bioclimáticas para todos as latitudes.

O modelo de Olgay representa e explica em detalhes a relação entre os fatores climáticos. Mesmo definindo uma zona de conforto a base de somente dois fatores, Olgay sempre parte do pressuposto de que um ou mais fatores podem ser envolvidos para correção, se necessário. Analisando agora esses três fatores do ponto de vista deste trabalho, observa-se uma incompatibilidade. Vento, radiação e resfriamento através da evaporação são medidas que não podem ser aplicadas no ambiente interior de um escritório. As três interferem no funcionamento correto do espaço. Vento e radiação direta muito elevados não são aceitáveis, pois eles causam desconforto funcional e visual. A evaporação de água diretamente no ar dos ambientes para fins de resfriamento precisa de uma instalação que não está sendo comercializada atualmente e além disso, de controle e automação do processo.

Um outro ponto de crítica encontrado na literatura a respeito do modelo de Olgay é que o uso dos gráficos é considerado pouco preciso em relação a sua zona de conforto⁷³.

Dado os problemas acima mencionados, as cartas de Olgay e o seu modelo de conforto não podem ser utilizados neste trabalho. O conceito, as ideias fundamentais e os estudos sobre as correlações dos fatores climáticos são muito úteis como referencial teórico, mas sobretudo a metodologia para uma arquitetura mais sustentável e confortável é absolutamente congruente com as intenções deste trabalho de mestrado.

b. MODELO DE FANGER

O modelo de conforto desenvolvido pelo Professor Povl Ole Fanger visa expressar a satisfação ou não de um grupo de pessoas em um ambiente térmico. O índice resultante é denominado *Predicted Mean Vote* (PMV) e é considerado o índice mais completo para conforto interno. O PMV é amplamente utilizado em normativas e legislações tais como, a normativa norte americano ASHRAE.

O modelo foi desenvolvido a partir de estudos e experimentos realizados em laboratório e câmara climática nos anos setenta. Para os estudos, os participantes usavam vestimentas standardizadas, como por exemplo uniformes militares, e estavam realizando atividades controladas enquanto expostos a ambientes térmicos com diferentes condições. Assim, dois tipos de experimentos foram executados. No primeiro o participante foi exposto a um ambiente escolhido pelo pesquisador e através de uma escala de 7 pontos o participante indicou a sua sensação térmica, 0 sendo neutro ou confortável, -3 sendo muito gelado e 3 sendo quente. Na segunda série o participante controlava a temperatura e tinha a possibilidade de regulá-la até atingir uma sensação térmica confortável⁷⁴.

O modelo de Fanger baseia-se no balanço térmico e no pressuposto de que o corpo humano está em um ambiente confortável se as perdas e ganhos de calor

⁷³ Saberi, O., Saneei, P., Javanbakht, A. **Thermal Comfort in Architecture**. Disponível em: <http://nceub.commoncense.info/uploads/Saberi.pdf>. Acesso em: 18/7/2011

⁷⁴ CHARLES, K. E. **Fanger's Thermal Comfort and Draught Models**. 2003. IRC-RR-162, Nacional Research Concil Canada.

tendem a serem iguais. Em CHARLES [2003] é relatado que o modelo de Fanger descreve o PMV usando quatro fatores físicos e dois fatores pessoais.

Em mais detalhes, precisam-se os seguintes fatores para o cálculo do PMV:

- Temperatura de bulbo seco do ar;
- Velocidade do ar;
- Temperatura média radiante;
- Umidade relativa;
- Resistência térmica da vestimenta;
- Nível de atividade.

Em BEYER [2005] o cálculo do PMV é definida através da Equação 2.21.

$$PMV = [(0,303^{(0,036*M)} + 0,028) * Qt] \quad (2.21)$$

onde: *PMV* - *Predicted Mean Vote* ou voto médio previsto,
um índice adimensional entre -3 e 3.

M - taxa metabólica em W/m²

Qt - carga térmica atuante sobre o corpo humano em
W/m²

A carga térmica representa a diferença entre o calor gerado pelo corpo humano e o calor trocado com o meio ambiente. Segundo BEYER [2005], a carga é calculada através da Equação 2.22.

$$\begin{aligned}
 Qt = M - 3,05 * (5,73 - 0,007 * M - P_a) - 0,42 * (M - 58,15) - 0,0173 * M \\
 * (5,87 - P_a) - 0,0014 * M * (34 - t) - 3,96 * 10 - 8 * f_{cl} \\
 * [(t_{cl} + 273) * 4 - (trm + 273) * 4] - f_{cl} * h_c \\
 * (t_{cl}t)
 \end{aligned} \tag{2.22}$$

sendo:

$$f_{cl} = 1,05 + 0,1 * I_{clo} \tag{2.23}$$

sendo:

$$h_c = 2,38 * (t_{cl} - t) \tag{2.24}$$

onde: Qt - carga térmica atuante sobre o corpo humano em W/m²
 M - taxa metabólica em W/m²
 F_{cl} - fator adimensional de vestimenta
 T_{cl} - temperatura exterior da vestimenta em °C
 h_c - coeficiente de convecção em W/m² °C

É importante salientar que o valor adimensional do PMV representa as respostas pessoais de sensação de desconforto por frio ou calor de um grupo de pessoas. Por causa da diferença na sensação térmica individual o resultado para uma certa temperatura pode variar em até 1 ponto na escala de Fanger⁷⁵. Em outras palavras, mesmo com um resultado neutro para o grupo, existem sempre pessoas com uma sensação térmica não confortável.

Conforme anteriormente mencionado, 7 pontos para categorizar a sensação térmica segundo Fanger são utilizados. A Tabela 2.2 apresenta a escala utilizada pelo PMV, pela normativa ASHRAE e a respectiva sensação térmica^{76 77}.

⁷⁵ NICOLE, J. F., HUMPHREYS, M. A. **Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings**. 2002. Energy and Buildings 34 (6).563 – 572 pp.

⁷⁶ American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). **Thermal Comfort**. 2001. ASHRAE Handbook Fundamentals, Atlanta.

⁷⁷ BEYER, P. O. **Apostila do Curso de Climatização**. 2005. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Tabela 2.2: Escala de sensação térmica. fonte: ASHRAE [2005]

Escala de sensação térmica		
PMV	ASHRAE	sensação térmica
-3	1	gelado
-2	2	frio
-1	3	levemente frio
0	4	confortável
1	5	levemente morno
2	6	morno
3	7	quente

As normativas ISO avaliam um ambiente a base de um índice baseado no PMV de Fanger, ou seja, no *Percentage of People Dissatisfied* (PPD) que representa a porcentagem de pessoas insatisfeitas com o conforto térmico do ambiente.

O modelo de Fanger, seja na sua forma do índice PMV ou PPD, consegue uma previsão relativamente precisa para o conforto térmico das pessoas em um ambiente térmico. Porém, do ponto de vista deste trabalho o modelo de Fanger tem dois pontos problemáticos.

Primeiro, o voto na escala representa a medição do quanto quente ou frio o participante se sente. Do ponto de vista conceitual, a sensação térmica não é idêntica a medidas como a satisfação térmica, que permite apenas a escolha entre estar satisfeito ou não, a preferência térmica, que define se o ambiente deveria ser mais quente ou mais frio, ou ainda ao conforto térmico, que permite indicar se o ambiente está ou não confortável. Estudos comprovam que de 27 % a 39 % das pessoas em escritórios que votarem nas categorias extremas, gelado e frio ou quente e morno, também declaravam que estavam com moderado ou muito conforto, usando uma escala de 6 pontos⁷⁸. Assim, não pode ser garantido que o voto previsto pelo modelo de Fanger coincida com o conforto térmico da pessoa no interior do ambiente avaliado.

Segundo, para obter o resultado do voto previsto através o modelo de Fanger precisa-se de 6 fatores. Sem esses dados o PMV não pode ser calculado. Esses dados devem ser muito precisos e confiáveis, pois a equação reage muito sensivelmente a pequenas variações nesses fatores de entrada. Como o ambiente avaliado neste trabalho é um modelo, os fatores para o cálculo do PMV seriam derivados dos resultados de uma simulação térmica a base de um modelo simplificado e conseqüentemente, não seria possível garantir que o modelo de Fanger produziria resultados confiáveis.⁷⁹

⁷⁸ SCHILLER, G. E. **A comparison of measured and predicted comfort in office buildings**. 1990. ASHRAE Transaction, 96 (1). 609 – 622 pp.

⁷⁹ CHARLES, K. E. **Fanger's Thermal Comfort and Draught Models**. 2003. IRC-RR-162, Nacional Research Concl Canada.

c. **MODELO ADAPTATIVO**

Os modelos adaptativos para o conforto térmico interno criticam que os modelos estáticos, como os dois acima apresentados, não consideram a tendência do ser humano de adaptar-se as mudanças do ambiente térmico. Os professores de arquitetura J. Fergus Nicol e Micael A. Humphreys desenvolveram um modelo de conforto térmico baseado nos resultados de pesquisas em situações reais ao invés de utilizarem um estudo de caso com ambientes rigidamente controlados⁸⁰. Os modelos estáticos derivam as conclusões da física e fisiologia de transferência de calor do corpo humano em ambientes de temperatura constantes e controlados e conseqüentemente, os resultados desses modelos não são congruentes com as indicações sobre o conforto térmico dado pelas pessoas nos estudos reais.⁸⁰

A partir dessa dúvida sobre a confiabilidade das previsões baseadas em modelos como o PMV, em HUMPHREY [2002]⁸¹, os autores apontam outras deficiências dos modelos convencionais:

- Modelos estáticos são dependentes de dados detalhados sobre a vestimenta, um fator dificilmente previsível e altamente individual;
- Modelos estáticos são dependentes de dados sobre a atividade metabólica, um fator difícil de monitorar ou medir, assim como com muita variação durante curtos períodos de tempo.

Os mesmos autores alegam em HUMPHREY [2002]⁸¹ que mesmo com os dados disponíveis, o PMV não consegue prever melhor do que índices mais simples se a pessoa vai estar confortável ou não. Em NICOL [1973], a variação entre a previsão e o resultado na realidade é explicado pelo fato de que existe um *feedback* entre o conforto do individuo, o comportamento do mesmo e as condições climáticas sob análise. Em outras palavras, o modelo adaptativo de Nicol e Humphreys parte do pressuposto que diante de mudanças que causam desconforto, o ser humano reage em um modo que visa reestabelecer o seu conforto.

Existem trabalhos relacionados à esse tipo de modelo a partir de 1936, feitos por Bedford⁸².

⁸⁰ NICOL, J. F., HUMPHREYS, M. A. **Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings**. 2002. *Energy and Buildings* (34/6). 563-572 pp

⁸¹ HUMPHREYS, M. A., NICOL, J. F. The validity of ISO-PMV for predicting confort votes in every-day thermal environments. 2002. *Energy and Building* (34/6). 667-684 pp

⁸² BEDFORD, T. **The warmth factor in confort at work**. 1936. MRC Industrial Health Board Report no. 76

Existem os seguintes problemas básicos com trabalhos baseados nesse tipo de dados:

- Medição acurada dos fatores ambientais;
- Definição de regras generalizadas a partir de dados não homogêneos.

Em HUMPHREYS [1973], os dados da temperatura de conforto são confrontados com a temperatura externa média dos meses de vários estudos conduzidos no mundo todo⁸³. Os dados apresentados na Figura 2.4 são separados em resultados de prédios com aquecimento ou resfriamento (círculos brancos) e de prédios sem condicionamento forçado (círculos pretos). A partir do gráfico, é possível observar que a relação entre os dados para prédios não condicionados tem uma relação tendencialmente linear entre a temperatura externa e a temperatura interna de conforto. Para as edificações condicionadas, a relação segue uma curva, ou seja, a relação entre temperatura externa e temperatura interna de conforto está seguindo uma tendência mais complexa.

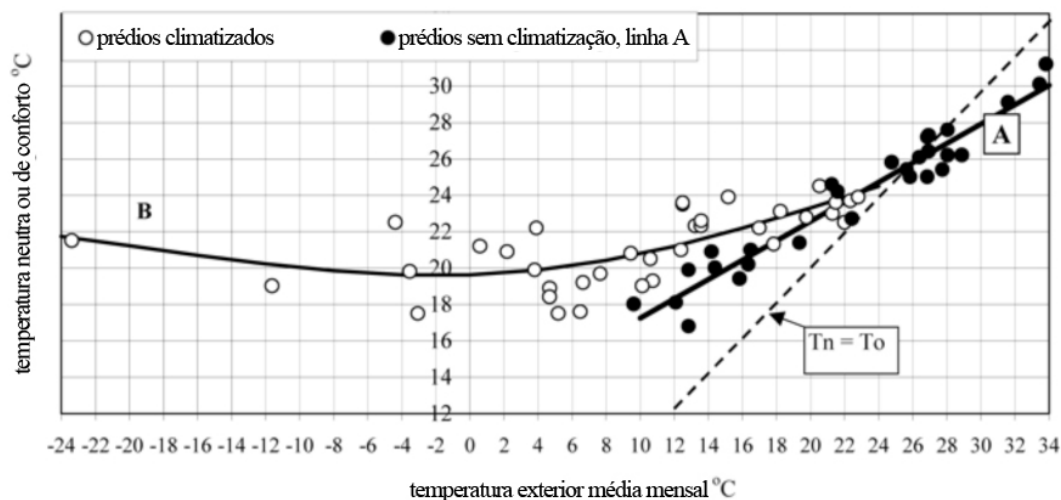


Figura 2.4: Relação entre a temperatura externa na média mensal e a temperatura de conforto interno. fonte: BAKER [1995] elaboração: próprio autor

Além disso, a Figura 2.4 demonstra que as pessoas em prédios não condicionados estão dispostas a aceitar como confortável temperaturas mais altas quando a temperatura externa está alta e temperaturas mais baixas quando o clima externo é mais frio.

Inúmeros trabalhos tentam estabelecer a influência da interação das pessoas com o prédio ou ambiente que as envolve^{84 85 86}. Todos esses trabalhos concluem

⁸³ NICOL, J. F., HUMPHREYS, M. A. **Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings**. 2002. Energy and Buildings (34/6). 563-572 pp

⁸⁴ HUMPHREYS, M.A. **Outdoor temperatures and comfort indoors**. 1978. Building Research and Practice (J CIB) (6). 92-105 pp.

⁸⁵ BUSCH, J. **A tale of two populations: thermal comfort in air-conditioned and naturally ventilated offices in Thailand**. 1992. Energy and Buildings Vol. 18. 235-249 pp.

que devem ser tratados diferentemente os prédios climatizados daqueles não-climatizados.

Além da influência das possibilidades de adaptar o ambiente à disposição, NICOL [2002] identifica como importante o fator do tempo. O texto descreve que as ações para se adaptar a uma temperatura não-confortável acontece em um intervalo de tempo mais curto do que as mudanças climáticas externas, mas que o microclima pode mudar mais rápido⁸⁷. Tenta-se estabelecer a relação entre a temperatura instantânea, ou seja, a temperatura em qualquer momento no tempo e a temperatura média sobre um certo intervalo de tempo.

Um novo algoritmo para prever a temperatura interna confortável é apresentado em Humphreys [1995]⁸⁸. O trabalho baseia-se no algoritmo primeiramente proposto em Humphreys [1978], mas utiliza uma mistura entre temperatura instantânea e temperatura média corrida ao invés da temperatura média do mês. A definição da temperatura média corrida está descrita na Equação 2.25.

$$T_{rm} = (1 - \alpha)\{T_{t-1} + \alpha * T_{t-2} + \alpha^2 T_{t-3} + \dots\} \quad (2.25)$$

onde: T_{rm} - temperatura média corrida em °C
no momento de tempo t
 T_x - temperatura média do tempo x
para uma série de intervalos iguais (horas, dias, etc.) em °C
 T_{t-n} - temperatura instantânea n intervalos antes.

Essa equação foi apresentada sem definir um valor a ser adotado para α . Essa constante define o número de intervalos necessários para que a influência das temperaturas de um intervalo anterior seja igual a 0. Em outras palavras, indica o intervalo máximo a ser considerado. Por falta de dados suficientemente coerentes para analisar estatisticamente a variação da temperatura de conforto utilizando os resultados dos estudos durante um intervalo de tempo,⁸⁷ o valor de α em NICOL [2002] é definido através da análise de gráficos. A correlação está aumentando levemente até um valor de α de 0,8 e depois a mesma começa a cair. Apesar dessa tentativa para introduzir mais detalhes na equação para a previsão da temperatura confortável, a literatura mais recente sugere que isso não aumenta a precisão da previsão da temperatura confortável. Porém, em McCARTNY [2001]⁸⁹ consta que incluir um controle baseado na temperatura variável não incrementa o desconforto ao

⁸⁶ BAKER, N. V., STANDEVEN, M. A. **A behavioural approach to thermal comfort assessment in naturally ventilated buildings**. 1995. Proceedings CIBSE National Conference, Eastbourne. 76-84 pp.

⁸⁷ NICOL, J. F., HUMPHREYS, M. A. **Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings**. 2002. Energy and Buildings (34/6). 563-572 pp

⁸⁸ HUMPHREYS, M. A., NICOL, J. F. **An adaptive guideline for UK office temperatures**. 1995. Standards for thermal comfort: indoor air temperature standards for the 21st century. EFN Spon, London.

⁸⁹ McCARTNY, K. J., NICOL, J. F. **Developing an adaptive control algorithm for Europe: results of the SCATS project**. 2001. Energy and Buildings 2002

interior, enquanto contribui para uma redução do consumo de energia para o sistema de condicionamento de ar.

Em DE DEAR [2001]⁹⁰, é apresentada uma tentativa para obter uma equação matemática mais simples capaz de indicar a correlação entre a temperatura externa e a temperatura prevista pela equação que corresponda ao maior número de votos indicando o nível de conforto equivalente à pontuação 0 do PMV. Essa temperatura é denominada temperatura ótima para diferenciar-se das temperaturas de conforto térmico que representam um intervalo em torno da temperatura ótima. Utiliza-se a base de dados chamada RP-884 da ASHRAE⁹¹. Esse banco de dados inclui resultados relacionados ao voto de conforto de 22346 pessoas no mundo todo. Além dos votos segundo a escala do PMV, os resultados baseiam-se nas medições da temperatura com um instrumento desenvolvido pela CENA [1999]⁹² que visa garantir a integridade e comparabilidade dos dados de estudos efetuados separadamente. A partir da análise desses dados, assim como a da comparação dos mesmos com os dados de outros estudos relativos aos modelos adaptativos, foi elaborada uma equação para o cálculo da temperatura ótima derivado da temperatura média externa. A Equação 2.26 demonstra essa relação linear.

$$t_{op} = 17,8 + 0,31 * t_{cla(out)} \quad (2.26)$$

onde: t_{op} - temperatura ótima para conforto térmico em °C
 $t_{cla(out)}$ - temperatura média mensal do ar externo em °C

Em outras palavras, a temperatura para qual é previsto o maior número de votos de conforto para uma temperatura externa de 0 °C é de 17,8 °C. Para cada três graus, que a temperatura externa aumenta a temperatura denominada ótima aumentará de aproximadamente 1 grau. O trabalho apresentado em DE DEAR [2001] também apresenta as equações para os limites superiores e inferiores que correspondem aos votos segundo o PMV de 90 % e 80 % para ambientes não climatizados. As linhas dos respectivos gráficos, são lineares e paralelas aquelas definidas na Equação 2.26. Todos esses dados são mostrados na Figura 2.5.

⁹⁰ DE DEAR, R., SCHILLER BRAGER, G. **The adaptive model of thermal comfort and energy conservation in the built environment**. 2001. International Journal of Biometeorology (45). 100 – 108 pp.

⁹¹ American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). **Standard 55 - Thermal environment conditions for human occupancy**. 1992. ASHRAE, Atlanta.

⁹² CENA, K., DE DEAR, R. J. **Field study of occupant thermal comfort and office thermal environments in a hot, arid climate**. 1999. ASHRAE Transaction (105). 204 – 217 pp.

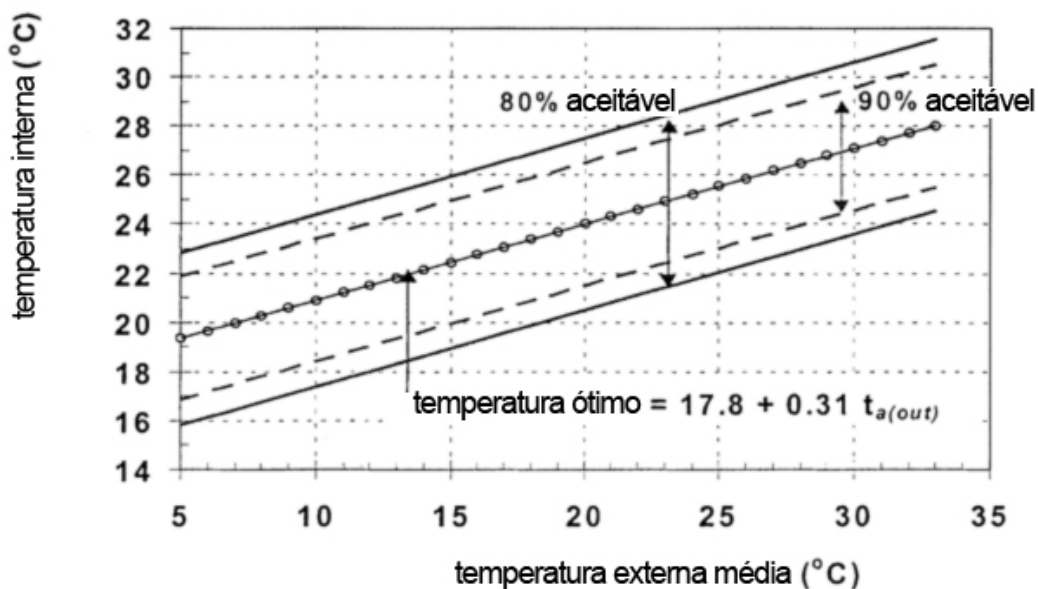


Figura 2.5: Relação entre a temperatura externa na média mensal e a temperatura ótima. fonte DE DEAR [2001] elaboração: próprio autor

Em NICOL [2002]⁹³ é apresentada uma relação similar que está descrita através da Equação 2.27. É importante salientar, que essa equação pode ser aplicada somente à prédios livres de condicionamento de ar.

$$T_c = 13,5 + 0,54 * T_o \quad (2.27)$$

onde: T_c - temperatura de conforto térmico em °C
 T_o - temperatura média mensal do ar externo em °C

As duas equações, 2.26 e 2.27, definem uma temperatura que é prevista resultar na maior porcentagem de votos neutros segundo a escala do PMV. Assim, é necessário definir um intervalo em torno desse valor absoluto que define uma zona de conforto aceitável. Isso torna-se complicado dentro do modelo adaptativo, pois a temperatura interna pode sofrer variações causadas por ações para reduzir o desconforto ou variar sem controle do usuário o ambiente, o que mais provavelmente causará desconforto. O conforto térmico adaptativo assim, torna-se uma função tanto das possibilidades das variações tanto das temperaturas realmente obtidas. O intervalo que define a zona de conforto térmico é medido em termos físicos e conseqüentemente, depende do balanço entre os dois tipos de ações descritas acima. Em situações quando uma troca da vestimenta ou do nível da atividade é impossível e onde a velocidade do ar não pode ser ajustada, o intervalo pode ser de somente

⁹³ NICOL, J. F., HUMPHREYS, M. A. **Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings**. 2002. Energy and Buildings (34/6). 563-572 pp

±2 °C. A medida que as oportunidades para a adaptação do ambiente são disponíveis, esse intervalo torna-se substancialmente mais amplo. Vários trabalhos tentam estabelecer a influência da interação das pessoas com o prédio ou ambiente que as envolve^{94 95 96}.

⁹⁴ HUMPHREYS, M.A. **Outdoor temperatures and comfort indoors**. 1978. Building Research and Practice (J CIB) (6). 92-105 pp.

⁹⁵ BUSCH, J. **A tale of two populations: thermal comfort in air-conditioned and naturally ventilated offices in Thailand**. 1992. Energy and Buildings Vol. 18. 235-249 pp.

⁹⁶ BAKER, N. V., STANDEVEN, M. A. **A behavioural approach to thermal comfort assessment in naturally ventilated buildings**. 1995. Proceedings CIBSE National Conference, Eastbourne. 76-84 pp.

3

METODOLOGIA

Com a metodologia apresentada a seguir, a dissertação visa estabelecer o referencial, identificar os fatores e elementos necessários para montar o modelo, executar as simulações e analisar através dos resultados obtidos a influência da legislação para o conforto em escritórios em Porto Alegre. Espera-se que os resultados indiquem as deficiências dos textos legislativos em relação ao conforto térmico, ou seja, as definições legislativas dos elementos arquitetônicos que não resultam em ambientes de conforto térmico.

Assim, nos próximos subcapítulos serão apresentadas as 4 principais etapas da metodologia empregada nesta dissertação.

3.1. ETAPA 1: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Como primeira etapa, uma completa revisão bibliográfica foi realizada. Essa revisão dos fundamentos teóricos desta dissertação foi dividida em três partes distintas separadas nos seguintes subcapítulos:

- Clima;
- Legislação;
- Conforto térmico;

3.2. ETAPA 2: DEFINIÇÕES

Em uma segunda etapa, as informações coletadas durante a Etapa 1 foram utilizadas como base para a criação de uma metodologia para a avaliação da influência da legislação brasileira sobre o conforto térmico no recorte funcional e local definido para esta dissertação. Seguem assim, as definições abstraídas para cada uma das três partes revisadas no capítulo 2.

DEFINIÇÕES DOS FATORES CLIMÁTICOS

Como resultado da revisão bibliográfica apresentada no subcapítulo 2.1, este subcapítulo define os parâmetros relativos ao clima que são necessários para criar a metodologia a ser seguida durante as simulações e análise dos resultados obtidos.

No capítulo anterior foram mencionadas várias definições para clima. Além disso, os principais fatores que caracterizam o clima na região metropolitana de Porto Alegre e que, por sua vez, serão utilizados como referência durante a etapa de análise dos resultados, foram descritos.

O clima utilizado nas simulações térmicas descritas no subcapítulo 4.2 é baseado em um arquivo climático tipo TRY, utilizado como arquivo de entrada da ferramenta EnergyPlus.

Além disso, a temperatura do ar a bulbo seco será utilizada para calcular os limites inferior e superior de conforto térmico segundo a definição apresentada neste subcapítulo. Assim, é possível verificar se a temperatura no interior do espaço está ou não dentro desses limites.

a. DEFINIÇÃO TEMPERATURA DO AR A BULBO SECO

A temperatura do ar a bulbo seco, algumas vezes denominada apenas temperatura do ar, é a medida mais utilizada para descrever a propriedade térmica do ar. Basicamente, a temperatura do ar a bulbo seco refere-se à temperatura do ar no ambiente quando o termômetro de medição não é afetado pela umidade ou radiação solar⁹⁷.

⁹⁷ VANWYLEN, G. J., SONNTAG, R. E. *Fundamentals of Classical Thermodynamics*. 1973. John Wiley and Sons., London.

A temperatura do ar a bulbo seco, denominada T_{db} , pode ser medida através de um termômetro comum e neste trabalho, a unidade de medida utilizada é graus Celsius (°C).

DEFINIÇÕES SOBRE A LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

Este subcapítulo define os parâmetros relativos aos elementos arquitetônicos que são necessários para definir a metodologia a ser seguida durante a análise. O subcapítulo sobre a legislação apresentou todos os elementos arquitetônicos descritos nos textos legislativos relevantes para escritórios em Porto Alegre. Assim, a influência da legislação brasileira é realizada através da análise da influência dos elementos arquitetônicos definidos nos textos legislativos. Os elementos utilizados como base para as séries e variações do estudo de caso, foram definidos e incluídos no modelo. Note que a influência de cada um deles foi identificada no subcapítulo 2.2. O modelo e as séries do estudo de caso para cada um dos elementos são apresentados detalhadamente no capítulo 4.1.

Segue abaixo a tabela dos elementos arquitetônicos escolhidos ordenados em quatro grupos. Além disso, a Tabela 3.1 indica a unidade e o texto legislativo que menciona cada elemento.

É importante salientar que existem elementos indiretamente influenciados pelas definições e regras da Etiquetagem PROCEL. A série denominada *Área Abertura / Área Piso* analisará a influência da razão entre a área das aberturas em m^2 e a área do piso em m^2 . A etiquetagem utiliza uma razão similar para o prédio como um todo. A série denominada *área do piso da unidade* trata da área de piso em m^2 e assim, indiretamente também do volume da unidade. Com A_{tot} a etiquetagem estabelece um fator parecido ao utilizado no fator altura.

Tabela 3.1: Elementos arquitetônicos para as séries dentro do estudo de caso a serem simuladas.
fonte: próprio autor

Elementos Arquitetônicos				
grupo	série	unidade	texto legislativo	arquivo
parede	Transmitância Térmica Parede Externa	W/m ² K	Código de Obras de Porto Alegre	EC1.1. ...
	Transmitância Térmica Parede Interna	W/m ² K	Código de Obras de Porto Alegre	EC1.2. ...
	Atraso Térmico	h	NBR 15220	EC1.3. ...
	Fator Solar Elementos Opacos	valor absoluto	NBR 15220	EC1.4. ...
janela	Área Abertura / Área Piso	%	Código de Obras de Porto Alegre	EC2.1. ...
	Área Abertura / Área Fachada	%	Etiquetagem PROCEL (indireto)	EC2.2. ...
	Altura Verga	m	Código de Obras de Porto Alegre	EC2.3. ...
	Tipo de Vidro (FS)	valor absoluto	Etiquetagem PROCEL	EC3.1. ...
sombreamento	Sombreamento Horizontal	grau	Etiquetagem PROCEL	EC3.2. ...
	Sombreamento Vertical	grau	Etiquetagem PROCEL	EC4.1. ...
tamanho	Área Piso Unidade	m ²	Etiquetagem PROCEL (indireto)	EC4.2. ...
	Área Fachada / Área Unidade	%	Etiquetagem PROCEL (indireto)	EC4.2. ...

DEFINIÇÕES SOBRE O CONFORTO TÉRMICO

Este subcapítulo apresenta as escolhas relacionadas aos critérios utilizados para a classificação das temperaturas que são os resultados da simulação térmica. Assim, os parâmetros relativos ao conforto térmico necessários para a metodologia a ser seguida durante a análise são definidos.

Para escolher o modelo mais adequado para analisar os resultados da simulação térmica das variações do estudo de caso apresentadas nesta dissertação, precisa-se lembrar as condições climáticas, funcionais e construtivas que formam a base deste trabalho. Basicamente, assume-se que as variações são referentes a interiores climatizados de escritórios na grande Porto Alegre com usuários com vestimenta inalterada durante o ano todo.

Assume-se que os escritórios não utilizam ventilação natural para adaptar a temperatura interna. Isso faz com que os modelos de conforto adaptativos não possam ser aplicados diretamente, pois eles foram desenvolvidos para ambientes com ventilação natural ou mistas.

A legislação alemã, por exemplo, utiliza um limite inferior de temperatura para a estação fria e um limite superior para a estação de calor a fim de garantir o conforto térmico em ambientes climatizados. Entretanto, essa legislação permite a adaptação da vestimenta. Nesta dissertação, foi implicitamente assumido que usuários de ambientes de escritórios irão executar atividades leves enquanto sentados com vestimenta que não pode ser adaptada à temperatura o que, por sua vez, equivale a 0,96 clo.

A partir dos fatos relatados anteriormente, é possível concluir que a utilização de um modelo adaptativo como o de DE DEAR [2001] não representaria corretamente a rigidez da vestimenta e a falta de possibilidades para as pessoas adaptarem-se à temperaturas mais altas ou baixas no interior do ambiente. Além disso, a dissertação assume um ambiente climatizado como mais provável para edifícios de uso para escritórios em Porto Alegre. Isso por um lado permite assumir uma umidade relativa de 50 %, o que é considerado bom para a sensação térmica em ambientes de longa permanência e por outro lado exige um modelo mais rígido para a zona de conforto térmico.

Já o uso de um modelo como o utilizado na DIN [2007] tem um defeito central, pois a sua definição de somente um limite inferior e um limite superior fixo não seria adequada para as condições climáticas indicadas anteriormente como críticas, ou seja, o modelo baseia-se em um clima exterior com temperaturas mais estáveis do que aquelas esperadas para Porto Alegre⁹⁹.

Assim, baseado nos fatos anteriormente mencionados, um modelo modificado a base do modelo de DE DEAR [2001]⁹⁸ e da legislação alemã segundo a

⁹⁸ DE DEAR, R., SCHILLER BRAGER, G. **The adaptive model of thermal comfort and energy conservation in the built environment**. 2001. *International Journal of Biometeorology* (45). 100 – 108 pp.

DIN EN 15251⁹⁹ será adotado. Em mais detalhes, a mudança na aceitação de temperaturas dependente das temperaturas externas, como implementado na equação segundo DE DEAR [2001] e a rigidez dos valores fixos para os limites inferiores e superiores da zona de conforto para ambientes climatizadas segundo DIN [2007] são combinados através Equação 3.1.

$$T_c = \frac{[(17,8 + 0,31 * T_{ext}) + 23]}{2} \quad (3.1)$$

onde: T_c - temperatura ideal de conforto térmico em °C
 T_{ext} - temperatura externa horária em °C.

O modelo é composto da capacidade do ser humano de adaptar-se como previsto em DE DEAR [2001]. Adaptando um intervalo de 4 °C entorno da temperatura ideal segundo DE DEAR [2001], definem-se as três linhas do gráfico apresentados na Figura 3.1. O gráfico mostra que a temperatura considerada ideal para este modelo aumenta aproximadamente um grau a cada três graus que a temperatura externa aumenta. Como trata-se de ambientes climatizados, as linhas na Figura 3.2 demonstram o limite inferior e superior da zona de conforto segundo DIN [2007]. As linhas horizontais significam que o modelo desenvolvido para ambientes climatizadas não é tolerante à mudanças ou prevê a possibilidade de adaptações dependente de fatores externos como por exemplo, a temperatura. Resta salientar que o limite inferior refere-se à pessoas com uma vestimenta mais isolante de 1 clo, enquanto o limite superior é estabelecido para pessoas com uma vestimenta de somente 0,5 clo. A linha da temperatura média representa a média aritmética dos valores dos limites.

⁹⁹ Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN). **DIN EN 15251 Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik; Deutsche Fassung EN 15251:2007** (DIN EN 15251 Parâmetros de entrada para o clima de ambientes para a interpretação e análise da eficiência energética de edificações – qualidade do ar do ambiente, temperatura, iluminação e acústica; versão alemã da EN 15251:2007). 2007. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

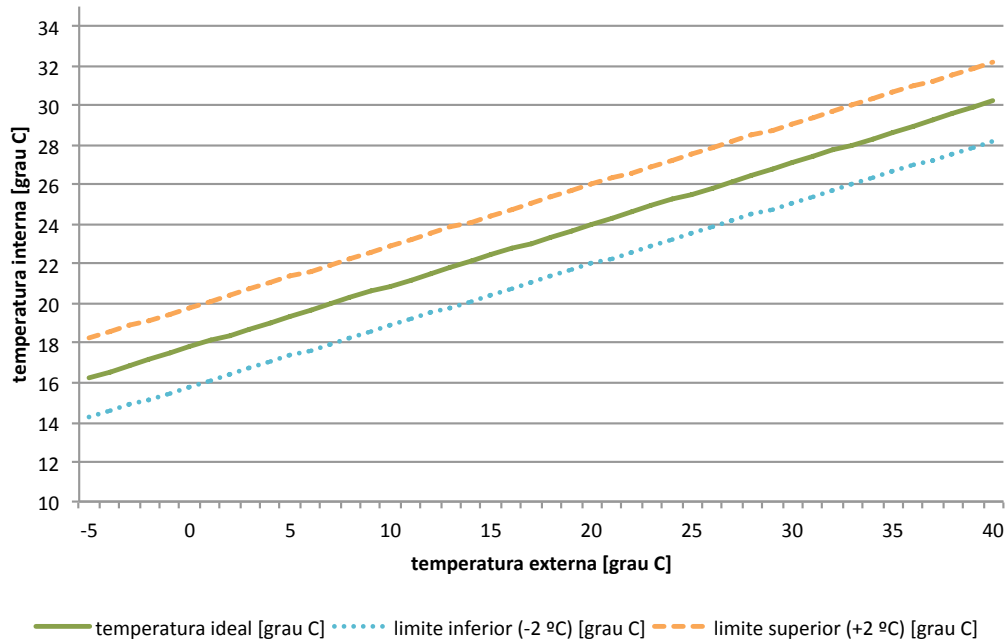


Figura 3.1: Temperaturas de conforto segundo De Dear.
 fonte: DE DEAR [2001]. elaboração: próprio autor

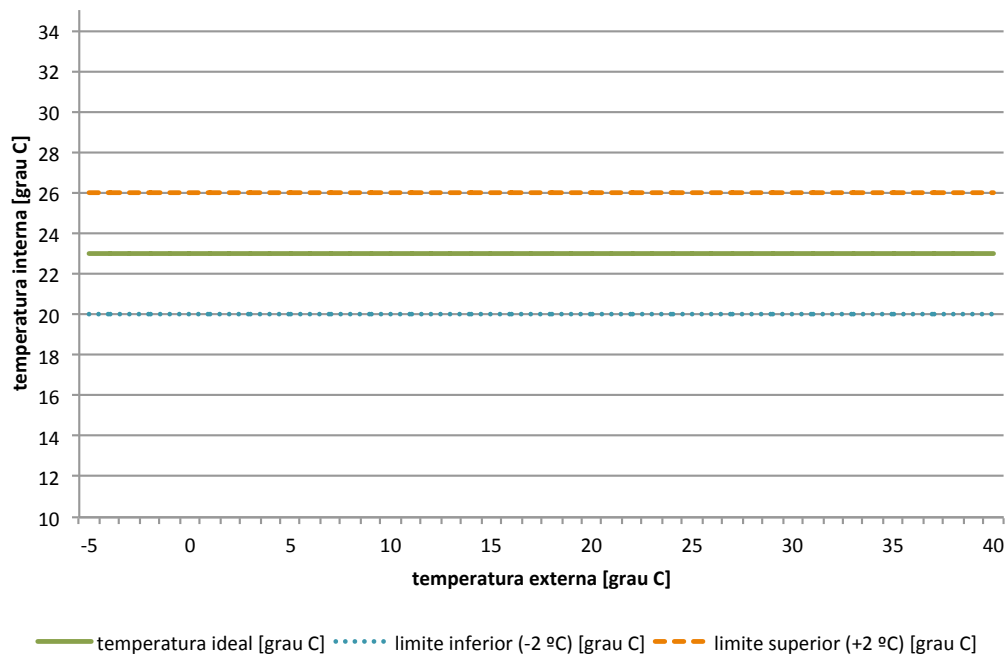


Figura 3.2: Temperaturas de conforto segundo a DIN EN 15251. fonte: DIN [2007]. elaboração: próprio autor

Para facilitar essa comparação, a Figura 3.3 apresenta as linhas para as três temperaturas ideais ou médias, seja do modelo adaptativo segundo DE DEAR [2001] ou do segundo DIN [2007], assim como para o modelo representado pela

Equação 3.1, utilizado nesta dissertação. As três linhas se cruzam quando a temperatura externa é de 17 °C. Está claramente visível que o gráfico do modelo a ser utilizado cresce com uma razão intermediária em relação aos dois modelos restantes. A temperatura considerada ideal segundo esta dissertação aumenta de 1 grau quando a temperatura externa aumenta de mais ou menos 7 °C. As temperaturas aceitáveis para as temperaturas extremas consideradas são de 19,63 °C para uma temperatura externa de -5 °C e de 26,6 °C para uma temperatura externa de 40 °C. Assim, a zona de conforto definida encontra-se em grande parte dentro da zona de conforto definida pela DIN EN 15251. Em relação ao modelo definido em DE DEAR [2001], é possível observar que os limites extremos coincidem com os limites do modelo adaptativo para as temperaturas externas de 7 °C e 26 °C. Esse intervalo representa 88 % das horas no arquivo climático¹⁰⁰ que representa Porto Alegre.

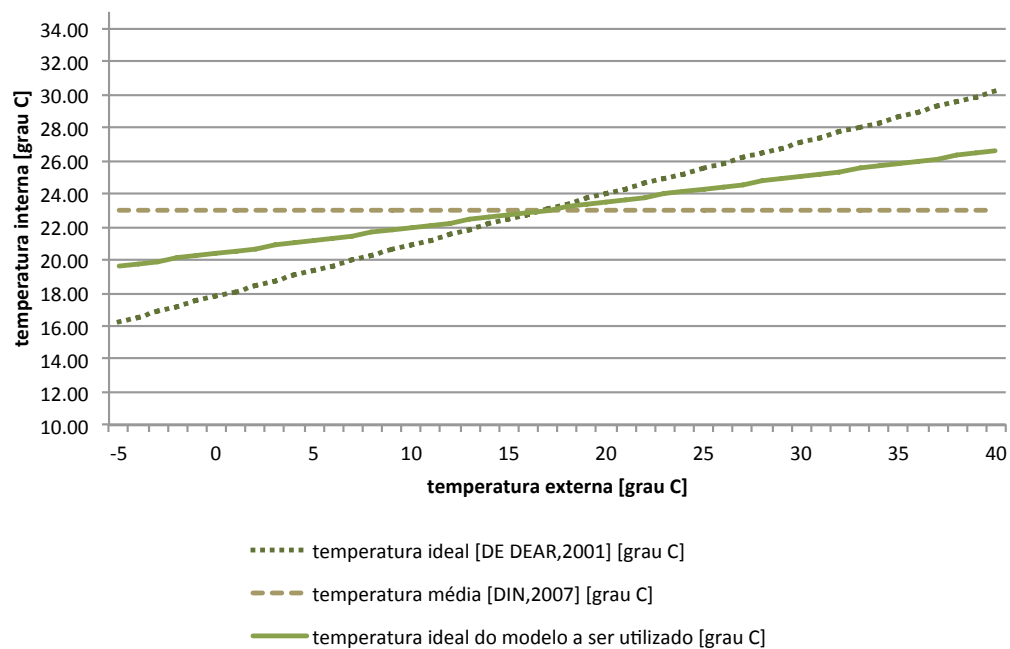


Figura 3.3: Temperaturas ideais de conforto em comparação.
fontes: DE DEAR [2001], DIN [2007], próprio autor. elaboração: próprio autor

Além da mudança da inclinação do gráfico acima apresentado, o modelo utilizado também altera o intervalo da medição da temperatura de referência. A Equação 2.26, que representa o modelo segundo DE DEAR [2001], calcula a temperatura de conforto com base na temperatura externa média de cada mês que, por sua vez, não consegue capturar as variações diárias da temperatura. Conseqüentemente, na Equação 3.1, que representa o modelo de conforto utilizado

¹⁰⁰ LABEEE. PortoAlegreTRY1954_05.epw. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos>. Acesso em: 28/8/2011.

nesta dissertação, será adotada a temperatura externa para calcular uma temperatura de conforto para cada hora do ano.

A partir das linhas das temperaturas ideais ou médias resta a questão do intervalo que define a zona de conforto a partir desse valor único calculado. O intervalo de 6 °C da legislação alemã é resultado de duas suposições que não são congruentes com o estudo de caso desta dissertação. Primeiro, o tempo durante as estações não é estável, ou seja, precisamos de ambos os limites durante o ano todo para reagir aos mudanças rápidas da temperatura na região metropolitana de Porto Alegre. Segundo, a legislação permite uma adaptação significativa da vestimenta. Esta dissertação assume que os usuários se vestirão de modo único durante o ano todo. Assim, o intervalo para definir a zona de conforto resultando nas Equações 2.29 e 2.30 é de $\pm 2,5$ °C. Esse valor é perto do mais rígido intervalo encontrado na literatura de ± 2 °C¹⁰¹. Além disso, considera-se que o valor relativamente rígido é correto pois, esta dissertação presume que a vestimenta, a temperatura ou a umidade, assim como a atividade são não adaptáveis durante as horas de trabalho em escritórios.

Como resultado de todos os fatos acima relatados apresentam-se a Equação 3.2 e a Equação 3.3 que definem a relação entre temperatura externa e o limite inferior assim como, o limite superior que definem a zona de conforto térmico para o interior dos escritórios sob avaliação neste trabalho. A Figura 3.4 reúne os dados relacionados à temperatura ideal assim como, os limites da zona de conforto. A partir desse ponto, a dissertação refere-se a conforto térmico, zona de conforto, temperatura ideal de conforto térmico, limite inferior e superior da zona de conforto segundo do modelo apresentado na Equação 3.1. Salienta-se que este modelo de conforto térmico não visa ser um modelo para ambientes reais, mas representa uma simplificação para analisar os resultados deste trabalho.

$$T_{lic} = \frac{[(15,8 + 0,31 * T_e) + 20]}{2} \quad (3.2)$$

onde: T_{lic} - limite inferior de conforto térmico, em °C
 T_e - temperatura externa horária, em °C.

¹⁰¹ NICOL, J. F., HUMPHREYS, M. A. **Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings**. 2002. Energy and Buildings (34/6). 563-572 pp

$$T_{lsc} = \frac{[(19,8 + 0,31 * T_e) + 26]}{2} \quad (3.3)$$

onde: T_{lsc} - limite superior de conforto térmico, em °C
 T_e - temperatura externa horária, em °C.

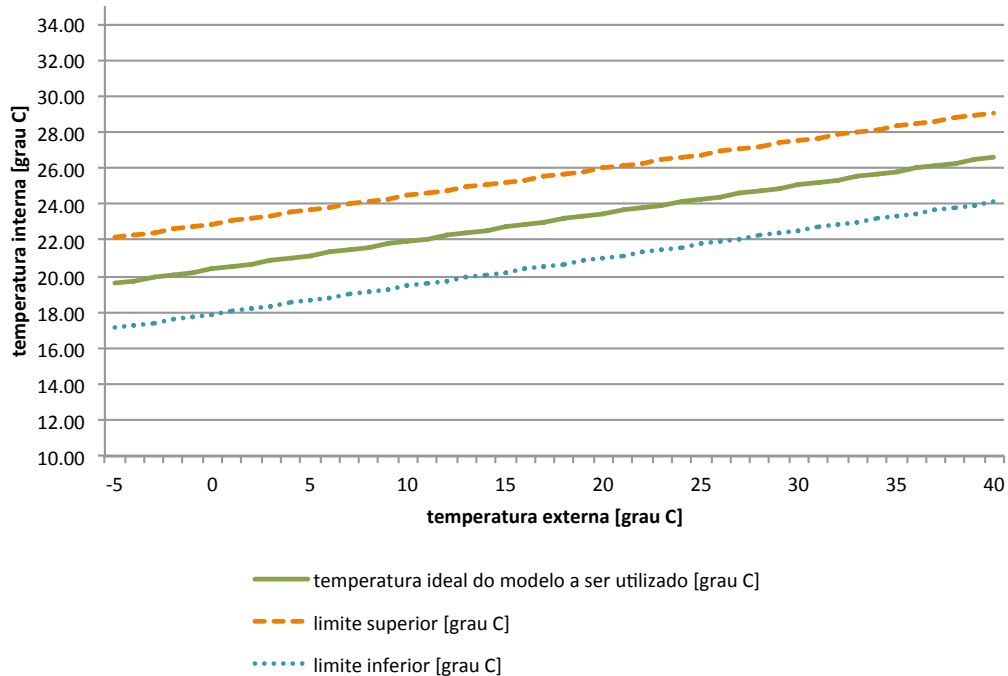


Figura 3.4: Temperaturas ideais e limites de conforto segundo o modelo adotado. fonte: próprio autor

3.3. ETAPA 3: MODELAMENTO E SIMULAÇÕES

Em um terceiro passo, é possível construir as séries e variações do estudo de caso, com base nas definições do subcapítulo 3.2, para executar as simulações térmicas e finalmente avaliar a legislação brasileira.

Os fatores climáticos selecionados no subcapítulo sobre o clima são empregados como dados de entrada para o programa de simulação e servem como referência na elaboração dos parâmetros para a análise do clima no interior dos ambientes simulados.

As informações relacionadas ao estudo da legislação brasileira, apresentadas no subcapítulo sobre o conforto térmico, são utilizadas para nortear a definição do estudo de caso e suas variações. Cada elemento arquitetônico é representado em uma das séries dentro do estudo de caso e simulado em 5 variações, possibilitando assim, a análise da mesma em relação ao conforto no ambiente interior.

Os parâmetros para a zona de conforto térmico estabelecidos no subcapítulo são empregados para fornecer os dados de base necessários para analisar os resultados das simulações térmicas realizadas no EnergyPlus (EP). A forma como esses dados são selecionados e usados será explicada em detalhes no subcapítulo 4.2 relacionado às simulações.

Assim, simulações computacionais serão executadas para cada variação do estudo de caso, visando demonstrar a influência de cada um dos elementos sobre o conforto. Cada elemento arquitetônico sob avaliação será simulado em 5 variações, sendo que um desses valores representa o valor prescrito na legislação. Dos restantes 4 valores, 2 são menores e os outros 2 representam os valores maiores do que o valor definido no regulamento. Os valores exatos para cada variação são definidos no subcapítulo 4.1. É importante salientar que em cada destas séries, são simuladas variações de somente um elemento. Os elementos restantes são representados com o valor prescrito na legislação, ou seja, com o valor intermediário. Existe assim um *setup* no qual todos os elementos são simulados com o valor intermediário, esta variação do estudo de caso será chamado *modelo* e é utilizado para fins de comparação. Salienta-se que cada série começará com a simulação do *modelo*.

Dado o objetivo desta dissertação, é importante salientar que a legislação deve ser aplicável ao maior número possível de casos o que, por sua vez, exige que os resultados obtidos sejam o mais abrangentes possíveis. Para obter resultados que representam um maior número de casos possíveis na realidade, cada uma das 5 variações será simulada para 4 orientações solares. Serão executadas simulações para as orientações sul, leste, norte e oeste da fachada.

A dissertação se refere à orientação solar da seguinte maneira:

- Uma rotação do modelo de 0 grau refere-se à orientação sul da fachada;
- Uma rotação do modelo de 90 graus refere-se à orientação leste da fachada;
- Uma rotação do modelo de 180 graus refere-se à orientação norte da fachada;
- Uma rotação do modelo de 270 graus refere-se à orientação oeste da fachada;

Como resultado serão executadas 20 simulações para cada série dentro do estudo de caso. Cada uma dessas simulações resulta em um arquivo com 8760 temperaturas de bulbo seco, ou seja, com uma temperatura para cada hora do ano ao interno do ambiente simulado. A partir desses dados e da definição da zona de conforto apresentada no subcapítulo 3.2 sobre o conforto térmico, são apresentados as horas de conforto. Esse período representa o número de horas que a temperatura a bulbo seco no interior do ambiente estava dentro do intervalo definido com conforto. Além das horas dentro do intervalo de temperaturas considerado confortável, a dissertação apresentará também as horas de desconforto devido à temperaturas acima bem como devido à temperaturas abaixo da zona de conforto. Maiores detalhes sobre as simulações serão apresentados no subcapítulo 4.2.

3.4. ETAPA 4: ANÁLISE

Como último passo, a dissertação visa avaliar a legislação em vigor no Brasil. Através da análise das horas de conforto, a influência de cada componente para o conforto térmico é estabelecida. Caso os valores das variantes prescritas na legislação brasileira sejam os melhores para o conforto, a influência da legislação para o conforto é avaliada positivamente. Se uma variante com um valor não permitido pela legislação resulta em mais horas de conforto, a influência da legislação é avaliada como negativa. O subcapítulo 5.1 reporta os resultados. Finalmente, as conclusões serão apresentados no capítulo 6.

4

CONFIGURAÇÕES DAS SIMULAÇÕES

Neste capítulo, a dissertação descreve a composição do modelo e das variações específicas, assim como detalhes sobre a execução das simulações térmicas. Convém mencionar que esta dissertação visa avaliar a influência da legislação brasileira sobre o conforto térmico no interior de escritórios em Porto Alegre.

4.1. SÉRIES E VARIAÇÕES DO ESTUDO DE CASO

Neste subcapítulo, os diferentes modelos criados para a simulação térmica são descritos. Assim, duas classificações são definidas: o modelo e os modelos de cada variação.

O modelo deve ser o mais abrangente possível para garantir a sua aplicabilidade ao maior número de casos dentro do recorte desta dissertação. O modelo representa e contém todos os elementos arquitetônicos sob análise. Cada elemento é integrado na sua variação média prescrita pela legislação. Em mais detalhes, se a legislação prevê um intervalo de valores como aceitável, o modelo considera a média aritmética deste valor. Nos casos dos valores para os quais a legislação não define um valor ou intervalo, a escolha do valor para a variação a ser adotada no modelo é descrita no capítulo do estudo específico. Isso é o caso para os

elementos abstraídos da Etiquetagem PROCEL que, por sua vez tem como objetivo avaliar os prédios e assim, não define valores máximos ou mínimos gerais para os parâmetros da sua equação.

Já as séries do estudo de caso derivam de elementos muito específicos abstraídos dos textos da legislação e regulamentos brasileiros. Consequentemente, os modelos das séries de cada variação irão sofrer modificações somente no elemento sob avaliação, enquanto todos os outros elementos ficam com o valor da variação do modelo.

Lembre que para cada uma das 12 séries serão executadas simulações com 5 valores e para cada um desses valores, 4 simulações com as orientações solares da fachada da unidade sul, leste, norte e oeste.

Seguem os subcapítulos sobre o modelo, que detalha a escolha dos valores para cada parâmetro representando um elemento arquitetônico, e as doze séries, definindo as 4 variações restantes, uma para cada elemento arquitetônico regulamentado nos textos da legislação brasileira. Assim, este capítulo define todas as variações do modelo a serem utilizadas na simulação térmica.

MODELO

O modelo é composto por 9 unidades iguais, ou seja, para as simulações, cada unidade é modificada da mesma forma. O volume adotado para a unidade é de 3 m de altura com uma base de 5 x 4 m, sendo o lado mais comprido na fachada. A Figura 4.1 apresenta a volumetria básica do modelo. As medidas da temperatura serão feitas na unidade 5 que se encontra no centro das unidades. Essa disposição simula os efeitos de transmitância térmica entre unidades de escritórios em um edifício com várias unidades. Como resultado a unidade sob avaliação possui somente uma fachada externa que abriga as aberturas e elementos de sombreamento. As paredes laterais da unidade permitem a transmitância térmica com a unidade 4 e a unidade 6, respectivamente. O teto e o piso são configurados para permitir a transmitância térmica com as unidades 2 e 8, respectivamente. Para simplificar o modelo, a parede de fundos, que na realidade estaria em contato com a circulação é adiabática. Maiores detalhes sobre as impostações das paredes, do piso e do teto encontram-se no subcapítulo 4.2 sobre as simulações. Salienta-se que o piso e o teto da unidade 5 são compostos igualmente, sendo cada um piso e teto no conjunto das unidades acima e abaixo. Além disso, a componente piso-teto não é variável e será definido igual para todos as variações do estudo de caso deste trabalho.

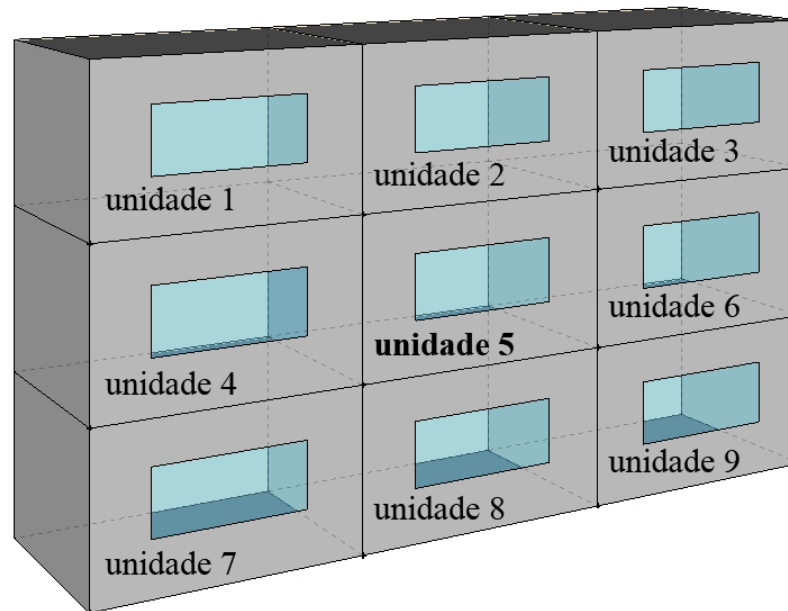


Figura 4.1: Estudo de caso composto de 9 células. fonte: próprio autor

Seguem assim as definições dos valores para cada elemento arquitetônico do modelo básico. Note que esses valores, a medida do possível, são deduzidos dos valores prescritos pela legislação brasileira em vigor.

a. TRANSMITÂNCIA PAREDE EXTERNA

A transmitância térmica da parede externa é a resistência ao fluxo térmico entre o ambiente exterior e interior da unidade medido em W/m^2K . Em vários textos de referência e outras legislações, a transmitância térmica é referida como valor U ou simplesmente como a letra U .

O valor para o modelo da transmitância da parede externa está prescrito no Código de Edificações de Porto Alegre¹⁰² no título VIII capítulo II Art. 43. O código prescreve uma parede externa de 25,0cm em blocos cerâmicos ou 23 cm em tijolos maciços. Para obter o valor da transmitância com materiais típicos e com uma composição típica, são utilizados os valores U da Tabela D.3 do Anexo D da NBR 15220¹⁰³. Será utilizado o valor da parede de tijolos de 8 furos circulares, assentados na maior dimensão, com dimensões de 10 x 15 x 20 cm, uma espessura da argamassa de assentamento de 1 cm e da argamassa de emboço de 2,5 cm. Isso resulta em uma espessura total de 25 cm. A NBR 15220 indica um valor U de 1,61 W/m^2K . A dissertação adaptará essa composição de parede e esse valor para o modelo. Salienta-se que este valor também satisfaz a indicação da NBR 15220 de um valor de $U < 3,6 W/m^2K$.

¹⁰² Diário Oficial do Estado (DOE). **Código de Edificações de Porto Alegre LC No 284 de 27 de outubro de 1992**. Disponível em: http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/smov/usu_doc/codigo.pdf. Acesso em: 23/8/2011.

¹⁰³ Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações**. 2003. ABNT, Rio de Janeiro.

b. TRANSMITÂNCIA TÉRMICA PAREDE INTERNA

A transmitância térmica das paredes internas é a resistência ao fluxo térmico entre o interior da unidade e um outro ambiente interna medido em W/m^2K . Em vários textos de referência e outras legislações, a transmitância térmica é referida como valor U ou simplesmente como a letra U.

O valor para o modelo da transmitância das paredes internas está prescrito no Código de Edificações de Porto Alegre¹⁰⁴ no título VIII capítulo II Art. 43. O código prescreve uma parede interna de 15 cm em blocos cerâmicos ou 13 cm em tijolos maciços. Para obter o valor da transmitância com materiais típicos e com uma composição típica são utilizados os valores U da Tabela D.3 do Anexo D da NBR 15220¹⁰⁵. Será utilizado o valor da parede de tijolos de 6 furos circulares, assentados na menor dimensão, com dimensões de 10 x 15 x 20 cm, uma espessura da argamassa de assentamento de 1 cm e da argamassa de emboço de 2,5 cm. Isto resulta em uma espessura total de 15 cm. A NBR 15220, na sua Tabela D.3 do Anexo D, indica um valor U de $2,28W/m^2K$ para esta parede. A dissertação adaptará esta composição de parede e este valor para o modelo.

c. ATRASO TÉRMICO

O atraso térmico das paredes refere-se à capacidade da parede de atrasar a transferência de uma variação na temperatura de um lado para outro do elemento. O atraso é descrito na NBR 15220¹⁰⁵ e é medido em horas.

O valor do atraso térmico adoptado para o modelo deriva do valor indicado pela Tabela D.3 do Anexo D da NBR 15220. Adapta-se o valor de 5,9 h indicado para a parede de tijolos de 8 furos circulares assentados na maior dimensão, com dimensões do tijolo de 10 x 6 x 22 cm, espessura da argamassa de assentamento de 1 cm e espessura da argamassa de emboço de 2,5 cm, resultando em uma espessura total de 25 cm. Utiliza-se o valor desta parede pois o mesmo representa a composição adotada pelo modelo para a parede externa. Consequentemente, a transferência de uma variação na temperatura do ambiente externo passa através dessa componente e o atraso térmico acontece baseado na composição e nos materiais da parede. Note que o valor que consta nas diretrizes da Tabela C.2 do Anexo C com um atraso térmico igual ou inferior à 4,3 h é diferente. A escolha da composição da parede para obedecer o Código de Edificações de Porto Alegre¹⁰⁶ resulta em uma composição da parede com um valor acima do valor definido pela NBR 15220 pelo atraso térmico. A dissertação adotará o valor de 5,9 h para o seu modelo.

¹⁰⁴ Diário Oficial do Estado (DOE). **Código de Edificações de Porto Alegre LC No 284 de 27 de outubro de 1992**. Disponível em: http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/smov/usu_doc/codigo.pdf. Acesso em: 23/8/2011.

¹⁰⁵ Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações**. 2003. ABNT, Rio de Janeiro.

¹⁰⁶ Diário Oficial do Estado (DOE). **Código de Edificações de Porto Alegre LC No 284 de 27 de outubro de 1992**. Disponível em: http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/smov/usu_doc/codigo.pdf. Acesso em: 23/8/2011.

d. FATOR SOLAR ELEMENTOS OPACOS

O fator solar de elementos opacos representa o quociente da taxa de radiação solar transmitida através de um componente opaco pela taxa da radiação solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo. Em mais detalhes, o fator solar é calculado seguindo a Equação 4.1.

$$FS_o = 100 * U * \alpha * R_{se} \quad (4.1)$$

onde: FS_o - fator solar de elementos opacos, em porcentagem
 U - transmitância térmica do componente
 α - absorvância à radiação solar, adimensional
 R_{se} - resistência superficial externa

O valor do fator solar adoptado para o modelo deriva do valor indicado pela Tabela D.3 do Anexo D da NBR 15220. Adota-se o valor de 2 %. O modelo utiliza esse valor que é resultado de uma parede com uma camada externa de reboco claro, como é o caso na parede escolhida. O seu valor é mais baixo do que o valor indicado para paredes leves e refletoras na Tabela C.2 do Anexo C da NBR 15220, que indica a utilização de paredes com um valor igual ou inferior à 4 %. É importante salientar que a mesma normativa indicou a utilização de paredes leves e refletoras para a zona bioclimática 3 que inclui Porto Alegre.

e. ÁREA ABERTURA / ÁREA PISO

A área da abertura em relação ao piso, refere-se à relação entre a soma das áreas de todas as janelas em m² e a área do piso da unidade em m², dada pela Equação 4.2.

$$P_{jp} = \frac{A_{janelas}}{A_{piso}} * 100 \quad (4.2)$$

onde: P_{jp} - porcentagem de janelas em relação ao piso
 $A_{janelas}$ - área das janelas, em m²
 A_{piso} - área do piso da unidade, em m²

Assume-se uma área de piso de 20 m² para cada unidade do modelo. Mais detalhes sobre a área encontram-se no subcapítulo sobre a área de piso da unidade (k). No Código de Edificações de Porto Alegre¹⁰⁷, na tabela sobre os padrões para vãos de ventilação e iluminação natural do Anexo 4, consta que a abertura mínima permitida para escritórios é igual a 1/6 da área do piso da unidade para a iluminação e de 1/12 da área do piso da unidade para a ventilação. Nesta dissertação o valor mais severo é adotado, ou seja, a fração de 1/6 ou 16,67 % da área do piso

¹⁰⁷ Diário Oficial do Estado (DOE). Código de Edificações de Porto Alegre LC No 284 de 27 de outubro de 1992. Disponível em: http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/smov/usu_doc/codigo.pdf. Acesso em: 23/8/2011.

para dimensionar a superfície da janela. Isso resulta em uma área de 3,4 m² da janela. Para obter a área de aberturas acima mencionada, a dissertação define uma janela de formato retangular com 1,2 m de altura e largura de 2,85 m. A posição da janela é centralizada horizontalmente e com um parapeito de 1 m de altura a janela do modelo expande-se entre 1 m e 2,2 m acima do piso. É importante salientar que essa janela possui uma área de 3,42 m² que, por sua vez, resulta em uma porcentagem de 17,1 % adotada para o modelo.

f. ÁREA DAS ABERTURAS EM RELAÇÃO COM A FACHADA

A relação percentual entre aberturas e elementos opacos na fachada é definida pela razão entre a soma de todas as áreas das aberturas da fachada e da fachada da unidade. Esta dissertação segue a definição do Percentual de Área de Abertura na Fachada total (PAF_T) segundo a Etiquetação PROCEL¹⁰⁸ para definir este parâmetro. A relação é expressa em porcentagem e calculada segundo da Equação 4.3.

$$P_{jf} = \frac{A_{janelas}}{A_{fachada}} * 100 \quad (4.3)$$

onde: P_{jf} - porcentagem de janelas em relação ao piso
 $A_{janelas}$ - área das janelas, em m²
 $A_{fachada}$ - área da fachada da unidade, em m²

Como no subcapítulo anterior, assume-se uma área de piso de 20 m² (5 x 4 m) para cada unidade do modelo. Mais detalhes sobre a área do piso encontram-se no subcapítulo sobre a área de piso da unidade. O Código de Edificações de Porto Alegre¹⁰⁹ define uma área mínima de janelas de 3,4 m². Mais detalhes sobre esse valor encontram-se no subcapítulo (e). Para obter a área de aberturas acima definida, a dissertação define uma janela de formato retangular com 1,20 m de altura e largura de 2,85 m. A posição da janela é centralizada horizontalmente e com um parapeito de 1 m de altura a janela do modelo expande-se entre 1 m e 2,2 m acima do piso. É importante salientar que essa janela possui uma área de 3,42 m². Assim, o valor adotado para o modelo para a porcentagem da área das janelas em relação à fachada é de 22,8 %.

¹⁰⁸ Ministério de Minas e Energia (MME). **Conjunto de publicações: Etiquetação de Eficiência Energética de Edificações, RTQ-C, RAC-C, Manual para aplicação do RTQ-C e RAC-C.** 2010.

¹⁰⁹ Diário Oficial do Estado (DOE). **Código de Edificações de Porto Alegre LC No 284 de 27 de outubro de 1992.** Disponível em: http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/smov/usu_doc/codigo.pdf. Acesso em: 23/8/2011.

g. ALTURA DA VERGA ACIMA DO PISO

A altura da verga refere-se a distância em metros do ponto mais baixo da verga da laje, da cobertura ou do forro até o piso. O Código de Edificações de Porto Alegre¹¹⁰ define essa altura através de duas condições:

- A verga dista no máximo 1/7 do pé-direito da unidade;
- A verga fica a uma altura não inferior a 2,2 m.

É importante salientar que uma das duas condições deve ser cumprida para representar um valor aceitável para o código. O modelo é definido com uma altura de 3 m de altura para a unidade. Como o texto interpreta uma verga alta positivamente e esta dissertação adaptará o pior caso aceitável, o valor a ser utilizado pela altura da verga acima do piso no modelo é de 2,2 m.

h. TIPO DE VIDRO (FS)

O tipo de vidro é indicado através do fator solar para elementos translúcidos. Esse fator é definido na normativa NBR 15220⁵ mas também, na Etiquetagem PROCEL¹¹¹. Para esta dissertação é adotada a versão segundo a etiquetagem, pois o fator solar (FS) para elementos translúcidos não é prescrito com um valor na normativa.

O FS é a razão entre o ganho de calor que entra em um ambiente através de uma abertura e a radiação solar incidente nesta mesma abertura. FS inclui o calor radiante transmitido pelo vidro e a radiação solar absorvida, que é re-irradiada ou transmitida, por condução ou convecção, ao ambiente. Note que o FS aqui considerado é relativo à uma incidência de radiação solar ortogonal à abertura.

É importante salientar que o FS é utilizado na equação para calcular o equivalente numérico para a envoltória segundo a Etiquetagem PROCEL entretanto, o documento não prescreve um valor ou intervalo para o FS. Como a equação não resulta em valores comparáveis, esta dissertação utiliza o valor sugerido na Etiquetagem no caso em que uma ou mais das variáveis necessárias para o cálculo não estejam disponíveis. O valor de 0,87 encontra-se na definição do FS na parte do RTQ-C. Assume-se que o valor escolhido represente ou o pior caso aceitável ou o pior caso para garantir um resultado realisticamente neutro quando o tipo de vidro não é definido. Consequentemente, o valor de 0,87 será adotado pelo modelo desta dissertação.

i. SOMBREAMENTO HORIZONTAL

Os elementos de sombreamento horizontal são avaliados na equação da Etiquetagem PROCEL¹¹¹ através do Ângulo Vertical de Sombreamento definido no

¹¹⁰ Diário Oficial do Estado (DOE). Código de Edificações de Porto Alegre LC No 284 de 27 de outubro de 1992. Disponível em: http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/smov/usu_doc/codigo.pdf. Acesso em: 23/8/2011.

¹¹¹ Ministério de Minas e Energia (MME). Conjunto de publicações: Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações, RTQ-C, RAC-C, Manual para aplicação do RTQ-C e RAC-C. 2010.

mesmo texto como o ângulo formado entre dois planos que contêm a base da abertura: o primeiro é o plano vertical na base da folha do material translúcido, o segundo plano é formado pela extremidade mais distante da proteção solar horizontal até a base da folha do material translúcido. Tratando-se de um ângulo geométrico, os elementos de sombreamento horizontal são avaliados através de um valor numérico em grau.

É importante salientar que o Ângulo Vertical de Sombreamento é utilizado na equação para calcular o equivalente numérico para a envoltória segundo a Etiquetagem PROCEL. Entretanto, o documento não prescreve um valor ou intervalo para o ângulo. Como a equação não resulta em valores comparáveis, esta dissertação utiliza o valor de 0 grau. Este valor é utilizado pelo texto durante o cálculo para estabelecer o limite inferior da categoria D. Assim, este valor representa o pior caso estabelecido pela etiquetagem, representando a falta de elementos arquitetônicos horizontais para a proteção solar das janelas e será adotado pelo modelo desta dissertação.

j. SOMBREAMENTO VERTICAL

Os elementos de sombreamento verticais são considerados na equação da Etiquetagem PROCEL¹¹² através do Ângulo Horizontal de Sombreamento. O texto define o mesmo como o ângulo formado entre dois planos verticais. O primeiro plano é o que contém a base da folha do material translúcido, o segundo plano é formado pela extremidade mais distante da proteção solar vertical e a extremidade oposta da base da folha do material translúcido.

É importante salientar que o Ângulo Horizontal de Sombreamento é utilizado na equação para calcular o equivalente numérico para a envoltória segundo a Etiquetagem PROCEL. Note que o documento não prescreve um valor ou intervalo para esse ângulo. Como a equação não resulta em valores comparáveis, esta dissertação utiliza o valor de 0 grau. Esse valor é utilizado pelo texto durante o cálculo para estabelecer o limite inferior da categoria D. Assim, esse valor representa o pior caso estabelecido pela etiquetagem, representando a falta de elementos arquitetônicos verticais para a proteção solar das janelas e será adotado pelo modelo desta dissertação.

k. ÁREA PISO UNIDADE

A área do piso da unidade é expressa em m². A área é um elemento arquitetônico extraído indiretamente do texto da Etiquetagem PROCEL¹¹². A etiquetagem refere-se à área do piso através do fator altura (FA), mas utiliza o prédio como um todo e não se refere às unidades ou comportamentos. A Etiquetagem define o FA como a razão entre a área de projeção do edifício e a área de piso.

A dissertação adotará um valor de 20 m² para cada unidade. Cada unidade do modelo tem 5 m de largura e 4 m de profundidade.

¹¹² Ministério de Minas e Energia (MME). **Conjunto de publicações: Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações, RTQ-C, RAC-C, Manual para aplicação do RTQ-C e RAC-C.** 2010.

I. ÁREA FACHADA / ÁREA PISO

A área da fachada em relação ao piso é expressa em porcentagem. Esta relação inclui dois elementos arquitetônicos. Assim, esta dissertação altera a fração descrita na Equação 4.4 mudando somente a profundidade da unidade, aumentando assim, a área do piso. Consequentemente, o elemento arquitetônico extraído indiretamente do texto da Etiquetagem PROCEL¹¹³ é somente a área do piso. A etiquetagem refere-se à área do piso através do fator de forma (FF), mas utiliza o prédio como um todo e não se refere às unidades ou comportamentos.

$$P_{fp} = \frac{A_{fachada}}{A_{piso}} * 100 \quad (4.4)$$

onde: P_{fp} - porcentagem de fachada em relação ao piso
 $A_{fachada}$ - área da fachada da unidade, em m²
 A_{piso} - área do piso, em m²

Com a área do piso definida de 20 m² (5 m x 4 m) e do pé direito de 3 m no subcapítulo (g), o valor adotado para a área da fachada em relação com o piso para o modelo é calculado segundo a Equação 4.4. Isso resulta em um valor de 75 %.

m. DEFINIÇÃO DOS RESTANTES COMPONENTES

Com o alvo de definir o modelo e consequentemente, todas as variações, falta a definição do elemento que forma a borda superior e inferior do modulo. Trata-se de um elemento arquitetônico que não é definido ou tratado de forma alguma na legislação. Neste contexto, é importante salientar que as 9 unidades consideradas não possuem contato lateral, superior ou inferior com o ambiente externo. Em outras palavras, a dissertação presume que todas as paredes laterais, assim como todos os pisos e tetos das unidades estão em contato com outras unidades, sendo esses parte do modelo ou não. Assim, as definições na legislação para o isolamento de tetos não entram como elemento arquitetônico, mas como elemento piso-teto. Esse elemento é visto tanto como piso quanto como teto dependendo da posição relativa onde se encontra, assumindo que abaixo das unidades 7, 8 e 9 existem outras unidades e seus tetos, bem como assumindo que acima das unidades 1, 2 e 3, existem outras unidades com os respectivos pisos. Mais detalhes sobre a simulação das unidades externas (1, 2, 3, 4, 6, 7, 8 e 9) seguem no subcapítulo 4.2.

Dado que não existe nenhuma orientação nos textos da legislação brasileira, a dissertação assume uma composição simples para o elemento piso-teto.

¹¹³ Ministério de Minas e Energia (MME). **Conjunto de publicações: Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações, RTQ-C, RAC-C, Manual para aplicação do RTQ-C e RAC-C.** 2010.

Descreve-se abaixo a composição desse elemento, começando pelo estrato superior.

- Contrapiso de argamassa, espessura 2 cm;
- Laje de concreto armado, espessura 20 cm;
- Estrato de ar, espessura 20 cm;
- Placa de gesso acartonado (forro), espessura 1 cm.

n. VARIAÇÕES NAS SÉRIES

Neste subcapítulo as variações das 12 séries que representam os elementos arquitetônicos são detalhadas. Para cada elemento arquitetônico representado nas séries são definidas 5 variações que serão simuladas utilizando EnergyPlus. Neste ponto, salienta-se que cada uma das 60 variações será simulada para as 4 orientações solares, gerando assim o total de 240 simulações com 8760 temperaturas cada.

Além disso, é importante mencionar que para garantir uma análise eficiente da legislação brasileira, os valores das variações devem ser escolhidos com muito cuidado.

A dissertação tentará indicar as variações segundo as seguintes orientações.

- A terceira variação é o valor escolhido no modelo;
- Duas variações representam os valores superiores ao valor do modelo;
- Duas variações representam os valores inferiores ao valor do modelo;
- Quando o valor do modelo representa o limite superior definido na legislação brasileira, 3 das 5 variações são consideradas adequadas e 2 inadequadas para a legislação. O mesmo observa-se para o caso em que o valor do modelo representa o limite inferior;
- O intervalo entre os valores das variações será igual.

Não será possível aplicar todas as orientações acima listadas para todas as variações do estudo de caso. As razões e justificativas são detalhadas nos próximos subcapítulos.

MODELOS DAS SÉRIES E VARIAÇÕES

Nos próximos subcapítulos serão apresentados os modelos que constituem as variações utilizadas no estudo de caso. As 5 variações de cada elemento arquitetônico são descritas em detalhes. É importante salientar que 1 das variações é igual ao valor apresentado no modelo, que, quando possível, é derivado do valor prescrito na legislação sob análise. Esses modelos são utilizados na simulação térmica com EnergyPlus.

a. TRANSMITÂNCIA TÉRMICA PAREDE EXTERNA

Na série sobre o elemento denominado *transmitância térmica parede externa* é alterada somente a composição da parede externa, deixando os restantes elementos arquitetônicos conforme o modelo. A composição da parede é alterada para obter

5 valores diferentes para a transmitância térmica da parede que separa o ambiente externo do ambiente interno.

O valor adotado no modelo é de $1,61 \text{ W/m}^2\text{K}$, enquanto o limite superior definido para a NBR 15220¹¹⁴ é de $3,6 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Para definir os outros valores para as variações desse elemento, a dissertação utiliza a Tabela D.3 do Anexo D do Código de Edificações de Porto Alegre¹¹⁵. A tabela lista 24 tipos de paredes.

Para a primeira variação foi escolhida uma parede com um valor U mais próximo ao limite superior da legislação, mas ainda de acordo com esse limite. A parede que corresponde à esse requisito é de tijolos maciços assentados na menor dimensão, sendo o tijolo com dimensões de $10 \times 6 \times 22 \text{ cm}$. A espessura da argamassa desta composição é de $1,0 \text{ cm}$ e a espessura da argamassa de emboço é $2,5 \text{ cm}$, o que resulta em uma espessura total de 15 cm e uma transmitância térmica de $3,13 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Para escolher o valor da variação superior ao limite definido pela legislação tenta-se encontrar uma parede com uma transmitância térmica que resulte em um intervalo similar ao intervalo entre o valor do modelo ($1,61 \text{ W/m}^2\text{K}$) e a primeira variação ($3,13 \text{ W/m}^2\text{K}$). Isso resultaria em um valor de $4,65 \text{ W/m}^2\text{K}$, onde a parede da tabela com um valor mais próximo é uma parede de concreto maciço com uma espessura de 15 cm que tem uma transmitância térmica de $4,4 \text{ W/m}^2\text{K}$. Assim, essa composição é adotada para a segunda variação.

Utilizando a diferença entre o valor do modelo e o valor da primeira variação como intervalo para esta variação, o próximo valor resulta em $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$, o que seria equivalente à uma parede composta por uma parede interna de tijolos maciços de 10 cm de espessura, placas de lã de vidro de 50 cm , uma camada de ar e uma parede externa de concreto armado de espessura de 10 cm . Na tabela do código não existe parede com um valor tão baixo. A parede dessa composição é adotada como quarta variação.

Para a escolha da quinta variação, seguindo as orientações, o valor para a transmitância térmica seria negativo. Como transmitâncias negativas não existem, esta dissertação, ao invés de adotar uma variação com um valor mais baixo ainda, adota um valor superior ao adotado para a última variação descrita. Somando a diferença entre os valores das variações já definidos ao valor da variação mais alta até agora ($4,4 \text{ W/m}^2\text{K}$), a transmitância térmica resultante é de $5,52 \text{ W/m}^2\text{K}$. A composição para uma parede com o valor mais próximo ao definido na tabela do código é uma parede de concreto maciço de 5 cm de espessura. Essa parede tem uma transmitância de $5,04 \text{ W/m}^2\text{K}$. Não será adotada uma parede diferente com um valor eventualmente mais próximo do valor com o intervalo equidistante, pois isso

¹¹⁴ Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações**. 2003. ABNT, Rio de Janeiro.

¹¹⁵ Diário Oficial do Estado (DOE). **Código de Edificações de Porto Alegre LC No 284 de 27 de outubro de 1992**. Disponível em: http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/smov/usu_doc/codigo.pdf. Acesso em: 23/8/2011.

representaria uma janela de vidro comum com uma espessura de 8 mm, por exemplo. Assume-se que composições com esse valor não são utilizadas para paredes externas de escritórios. Note que neste trabalho, uma parede é definida como as partes opacas da fachada externa.

Assim, a série consiste das variações acima descritas. A Tabela 4.1 resume esses valores. Convém mencionar novamente que os valores para os elementos arquitetônicos restantes, incluindo o elemento piso-teto, são adotados a partir do modelo. Nota-se que as variações são listadas e nominadas em ordem crescente de valores.

Tabela 4.1: Resumo: parâmetros da série *transmitância térmica parede externa*. fonte: próprio autor

Transmitância Térmica Parede Externa							
série	unidade	variação 1	variação 2	variação 3	variação 4	variação 5	texto legislativo
Transmitância Térmica Parede Externa	W/m ² K	0,09	1,61	3,13	4,40	5,04	Código de Edificações de Porto Alegre
Transmitância Térmica Parede Interna	W/m ² K	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	Código de Edificações de Porto Alegre
Atraso Térmico	h	5,90	5,90	5,90	5,90	5,90	NBR 15220
Fator Solar Elementos Opacos	valor absoluto	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	NBR 15220
Área Abertura / Área Piso	%	17,10	17,10	17,10	17,10	17,10	Código de Edificações de Porto Alegre
Área Abertura / Área Fachada	%	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	Etiquetagem PROCEL (indireto)
Altura Verga	m	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	Código de Edificações de Porto Alegre
Tipo de Vidro (FS)	valor absoluto	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	Etiquetagem PROCEL
Sombreamento Horizontal	grau	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Etiquetagem PROCEL
Sombreamento Vertical	grau	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Etiquetagem PROCEL
Área Piso Unidade	m ²	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	Etiquetagem PROCEL (indireto)
Área Fachada / Área Unidade	%	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	Etiquetagem PROCEL (indireto)

b. TRANSMITÂNCIA TÉRMICA PAREDE INTERNA

Na série sobre o elemento denominado *transmitância térmica parede interna* é alterado somente a composição da parede interna, deixando os restantes elementos arquitetônicos conforme o modelo. A composição da parede é alterada para obter 5 valores diferentes para a transmitância térmica das três paredes que separam o ambiente interno dos outros ambientes internos.

O valor adotado no modelo é de 2,28 W/m²K. A legislação brasileira não define um valor para a transmitância térmica de paredes internas, mas define somente uma parede de 15 cm em blocos cerâmicos ou 13 cm em tijolos maciços.

Para definir os outros valores para as variações deste elemento, a dissertação utiliza a Tabela D.3 do Anexo D do Código de Edificações de Porto Alegre¹¹⁶. A tabela lista 24 tipos de paredes.

Como não existem limites definidos para a legislação brasileira, a escolha dos 4 restantes parâmetros acontece através das composições listados na NBR 15220¹¹⁷, referente a composições de paredes internas com o valor U calculado e as orientações estabelecidas para esta dissertação.

A primeira variação escolhida representa o valor mais baixo para a resistência térmica das paredes internas. Foi escolhida uma construção a seco composta de 2 placas de gesso acartonado de 9,5 mm de espessura entre as quais é colocada uma

¹¹⁶ Diário Oficial do Estado (DOE). Código de Edificações de Porto Alegre LC No 284 de 27 de outubro de 1992. Disponível em: http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/smov/usu_doc/codigo.pdf. Acesso em: 23/8/2011.

¹¹⁷ Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 15220: Desempenho térmico de edificações. 2003. ABNT, Rio de Janeiro.

camada de lã de vidro de 50 mm de espessura. O valor U resultante dessa composição é de $0,66 \text{ W/m}^2\text{K}$ ¹¹⁸.

Para respeitar um intervalo equidistante, o segundo valor abaixo do valor da variação escolhida no modelo deveria ser de $1,47 \text{ W/m}^2\text{K}$. A composição da parede com o valor mais próximo ao encontrado na Tabela D.3 do anexo D da NBR 15220¹¹⁷ é uma parede dupla de tijolos de 6 furos circulares, assentados na menor dimensão. A tabela contém um valor de $1,52 \text{ W/m}^2\text{K}$ para essa parede de 26 cm de espessura. A utilização de uma parede com essa composição e espessura não é considerada comum para edificações de escritórios em Porto Alegre e conseqüentemente, uma parede simples de tijolos de 8 furos retangulares, assentados na maior dimensão com as dimensões do tijolo sendo 10 x 15 x 20 cm, uma espessura da argamassa do assentamento de 1 cm e uma espessura da argamassa de emboço de 2,5 cm, somando assim uma espessura total de 25 cm foi adotada. Essa composição da parede representa a segunda variação com o valor numérico de $1,61 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Utilizando o intervalo anteriormente calculado de 0,81, os valores das variações acima do valor do modelo deveriam ser de $3,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ e de $3,90 \text{ W/m}^2\text{K}$, respectivamente.

Na primeira variação existe uma composição de tijolos maciços assentados na menor dimensão com dimensões do tijolo de 10 x 6 x 22 cm, uma espessura da argamassa de assentamento de 1 cm e uma espessura da argamassa de emboço de 2,5 cm, somando uma espessura total da parede de 15 cm. Essa composição apresenta uma transmitância térmica de $3,13 \text{ W/m}^2\text{K}$. Esse valor é adotado para a quarta variação deste elemento.

Já para a quinta variação, assume-se um valor de aproximadamente $3,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ e portanto, não existe composição com um valor similar para a transmitância térmica na tabela da NBR 15220. Assim, esta dissertação adota uma composição não listada para obter uma transmitância térmica de acordo com o intervalo. Assim, a quinta variação representa uma parede de concreto armado de 22 cm de espessura. Essa parede, segundo os cálculos¹¹⁸, possui uma transmitância térmica de $3,88 \text{ W/m}^2\text{K}$, valor adotado para a quinta variação deste elemento. A Figura 4.2 apresenta um *screenshot* da ferramenta online utilizada para calcular a transmitância térmica.

¹¹⁸ U-WERT.NET. U-Wert Rechner (Calculadora para o valor U). Disponível em: <http://www.u-wert.net/berechnung/u-wert-rechner/>. Acesso em: 19/8/2011.

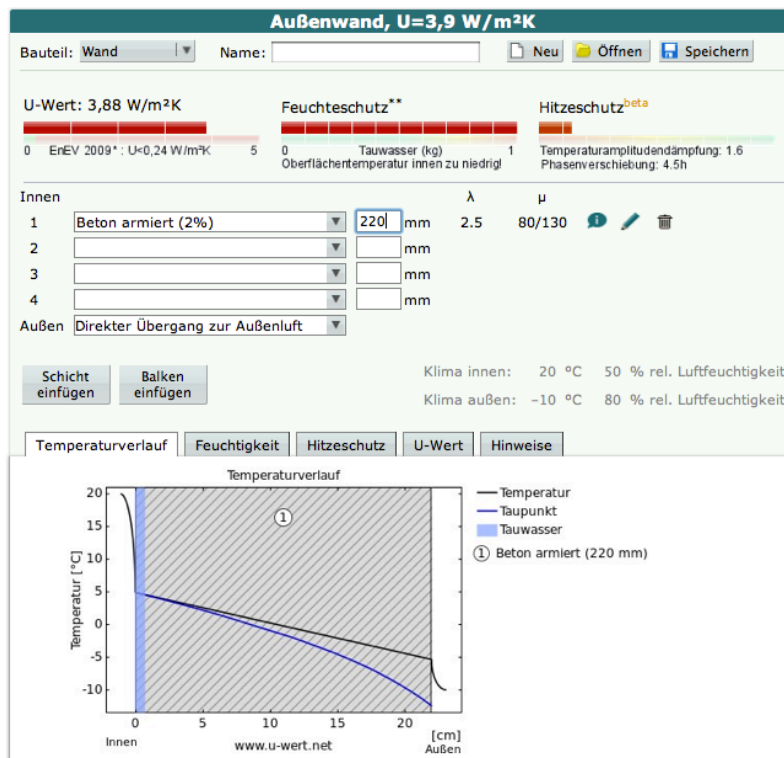


Figura 4.2: Screenshot da ferramenta para o cálculo da transmitância térmica.
 fonte: U-WERT.NET

Assim, a série consiste das variações acima descritas. A Tabela 4.2 resume esses valores. Salienta-se novamente, que os valores para os restantes elementos arquitetônicos, incluindo o elemento piso-teto, são adotados a partir do modelo. Note que as variações são listadas e nominadas em ordem crescente de valores.

Tabela 4.2: Resumo: parâmetros da série *transmitância térmica parede interno*.
 fonte: próprio autor

Transmitância Térmica Parede Interna							
série	unidade	variação 1	variação 2	variação 3	variação 4	variação 5	texto legislativo
Transmitância Térmica Parede Externa	W/m²K	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	Código de Edificações de Porto Alegre
Transmitância Térmica Parede Interna	W/m²K	0,66	1,61	2,28	3,13	3,88	Código de Edificações de Porto Alegre
Atraso Térmico	h	5,90	5,90	5,90	5,90	5,90	NBR 15220
Fator Solar Elementos Opacos	valor absoluto	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	NBR 15220
Área Abertura / Área Piso	%	17,10	17,10	17,10	17,10	17,10	Código de Edificações de Porto Alegre
Área Abertura / Área Fachada	%	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	Etiquetagem PROCEL (indireto)
Altura Verga	m	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	Código de Edificações de Porto Alegre
Tipo de Vidro (FS)	valor absoluto	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	Etiquetagem PROCEL
Sombreamento Horizontal	grau	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Etiquetagem PROCEL
Sombreamento Vertical	grau	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Etiquetagem PROCEL
Área Piso Unidade	m²	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	Etiquetagem PROCEL (indireto)
Área Fachada / Área Unidade	%	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	Etiquetagem PROCEL (indireto)

c. ATRASO TÉRMICO

O atraso térmico da parede externa da unidade é modificado através da composição da parede. A composição da parede é alterada para obter 5 valores diferentes para o atraso térmico da parede que separa o ambiente externo do ambiente interno. É importante salientar que o atraso térmico baseia-se em características físicas similares ao da inércia térmica, mas não trata do calor na

mesma maneira. Para o atraso térmico importa a diferença na temperatura entre os lados, enquanto para a inércia o calor é recebido e devolvido para o mesmo lado, normalmente ao interior. A legislação brasileira somente menciona a inércia como possível estratégia.

O modelo adota um atraso de 5,9 h, enquanto a legislação brasileira na NBR 15220¹¹⁹ define um valor igual ou menor do que 4,3 h para vedações externas. Esse valor norteia o critério utilizado para a escolha de uma parede composta de tijolos de 8 furos assentados na maior dimensão, com dimensões do tijolo de 10 x 10 x 20 cm, uma espessura da argamassa de assentamento de 1 cm e uma espessura da argamassa de embolo de 2,5 cm, resultando assim, em uma espessura total da parede de 25 cm.

Como a legislação brasileira define um valor numérico igual ou inferior à 4,3 h, esse valor é escolhido para a segunda variação. Neste momento, é oportuno mencionar que o valor mais severo adotado no modelo é consequência da escolha de uma parede externa a partir dos critérios definidos para a transferência térmica da mesma. Uma parede com a composição que resulta em um valor numérico similar é composto de tijolos de 6 furos quadrados, assentados na maior dimensão, sendo os tijolos de dimensões de 9 x 14 x 19 cm, a espessura da argamassa e assentamento de 1 cm e a espessura da argamassa de emboço de 2,5 cm, resultando assim, em uma espessura total de 19 cm para a parede externa. A Tabela C.3 do Anexo D da NBR 15220¹¹⁹ define o valor de 4,5 h para o atraso térmico dessa composição, adotado para a segunda variação.

Como o valor do modelo está acima do valor máximo permitido pela legislação, falta somente um valor que supera o limite da NBR 15220¹¹⁹. Essa terceira variação obedecerá o intervalo entre os primeiros dois valores de 1,4 h, e conseqüentemente, procura-se uma parede com um atraso de 7,3 h. A Tabela C.3 do anexo da legislação brasileira não fornece uma parede com um valor suficientemente próximo e assim, a composição adotada para essa variação é escolhida sem levar em consideração a tabela. Além disso, o valor do atraso térmico é calculado utilizando a ferramenta online desenvolvida pela Universidade de Campinas em 2004¹²⁰. A parede resultante é composta por tijolos de cerâmica com 21 furos, com as dimensões de 12 x 11 x 25 cm, com uma espessura da argamassa de assentamento e de emboço de 1,0cm resultando assim, em uma espessura total de 27 cm. A ferramenta calcula um atraso de 7,33 h para essa parede. A Figura 4.3 mostra um *screenshot* da ferramenta com detalhes sobre a parede e os resultados.

¹¹⁹ Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações**. 2003. ABNT, Rio de Janeiro.

¹²⁰ APLICATIVO PARA CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DE ALVENARIAS. **Propriedades Térmicas dos Materiais**. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~damore/cptp.htm>. Acesso em: 17/8/2011.

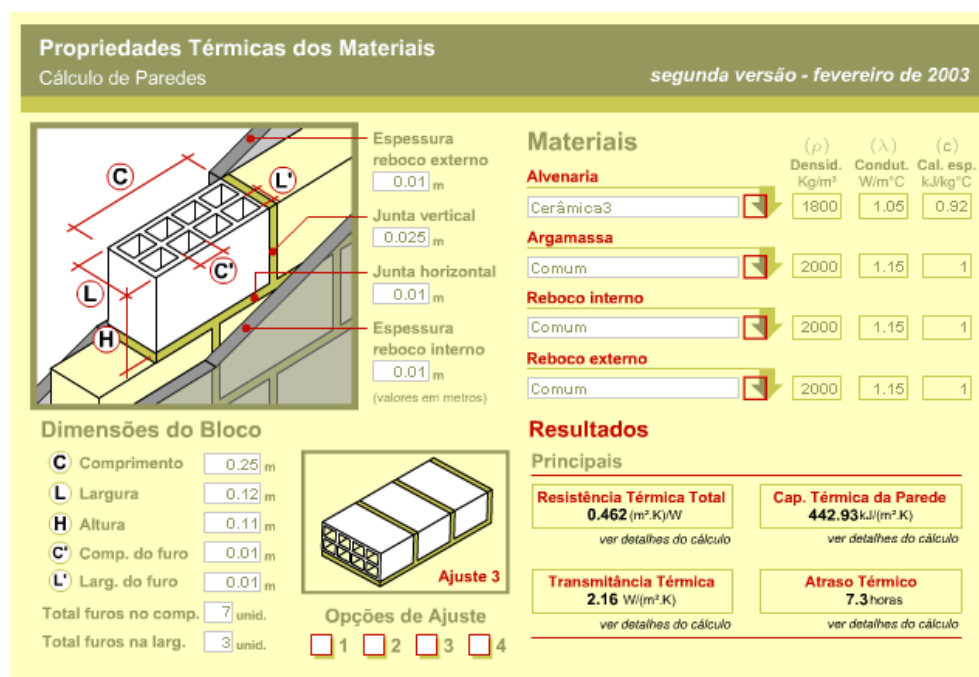


Figura 4.3: Screenshot da ferramenta para o cálculo do atraso térmico. fonte: APLICATIVO PARA CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DE ALVENARIAS

As últimas 2 variações devem representar valores numéricos que obedeçam ao limite da legislação brasileira, ou seja, esses valores devem apresentar um atraso térmico igual ou inferior a 4,3 h. Para seguir as orientações desta dissertação em relação ao intervalo equidistante entre todos os valores, a quarta e a quinta variação deveriam representar paredes com composições que causam atrasos térmicos de 2,9 h e 1,5 h, respectivamente.

Assim, a quarta variação utiliza uma composição de uma parede derivada da Tabela D.3 do Anexo D da NBR 15220¹²¹, ou seja, uma parede de concreto maciço com 10 cm. O atraso térmico dessa composição é de 2,7 h, valor adotado para a quarta variação.

A quinta variação utiliza a parede mais fina da tabela, ou seja, uma parede de concreto maciço de 5 cm de espessura. Essa parede causa um atraso térmico de 1,3 h, valor adotado para a última variação.

Consequentemente, esta série consiste das variações descritas acima. Os seus valores são apresentados na Tabela 4.3. É importante salientar que os valores para os elementos arquitetônicos restantes, incluindo o elemento piso-teto são adotados ao modelo. Nota-se que as variações são listadas e nominadas em ordem crescente de valores.

¹²¹ Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 15220: Desempenho térmico de edificações. 2003. ABNT, Rio de Janeiro.

Tabela 4.3: Resumo: parâmetros da serie *atraso térmico*. fonte: próprio autor

Atraso Térmico							
série	unidade	variação 1	variação 2	variação 3	variação 4	variação 5	texto legislativo
Transmitância Térmica Parede Externa	W/m ² K	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	Código de Edificações de Porto Alegre
Transmitância Térmica Parede Interna	W/m ² K	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	Código de Edificações de Porto Alegre
Atraso Térmico	h	1,30	2,70	4,50	5,90	7,33	NBR 15220
Fator Solar Elementos Opacos	valor absoluto	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	NBR 15220
Área Abertura / Área Piso	%	17,10	17,10	17,10	17,10	17,10	Código de Edificações de Porto Alegre
Área Abertura / Área Fachada	%	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	Etiquetagem PROCEL (indireto)
Altura Verga	m	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	Código de Edificações de Porto Alegre
Tipo de Vidro (FS)	valor absoluto	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	Etiquetagem PROCEL
Sombreamento Horizontal	grau	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Etiquetagem PROCEL
Sombreamento Vertical	grau	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Etiquetagem PROCEL
Área Piso Unidade	m ²	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	Etiquetagem PROCEL (indireto)
Área Fachada / Área Unidade	%	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	Etiquetagem PROCEL (indireto)

d. FATOR SOLAR ELEMENTOS OPACOS

O fator de ganho de calor solar de elementos opacos é calculado como a multiplicação da transmitância térmica da componente, da absorvância da radiação solar e da transmitância superficial externa. Para minimizar as mudanças entre as variações, esta dissertação adota a modificação do fator solar somente através da mudança do valor da absorvância. Com a transmitância fixa, utilizando o valor resultante da composição da parede adotado no modelo, e com um valor para a resistência superficial externa de 0,04 m²K/W, o fator solar (FS) é linearmente dependente de α . Convém salientar, que o valor para a resistência de 0,04 m²K/W utilizado nesta dissertação deriva da Tabela A.1 do Anexo A da NBR 15220¹²². Com os outros dois fatores inalterados, a absorvância representada por α , muda em função da refletividade da superfície externa da parede. Uma superfície de alumínio nova e brilhante absorve somente 0,05 % da radiação solar e representa o menor valor adotado para α . A Tabela B.2 do Anexo B da NBR 15220¹²² lista os valores de α para vários materiais utilizados na superfície externa de paredes.

Assim, uma parede com o fator U de 1,61 W/m²K, como a parede do modelo, e com a transmitância superficial externa de 0,04 m²K/W, deve contar com um valor de α de 0,62 para resultar no valor de 4 para o fator solar de elementos opacos. Sendo isso o valor máximo estabelecido pela legislação brasileira na NBR 15220¹²², adota-se para a parede acima descrita o valor de α de 0,62 o que, por sua vez, consiste na primeira variação. Isso, segundo a Tabela B.2 da NBR 15220¹²², representa uma superfície cinza, sendo 0,2 uma superfície de pintura branca e 0,97 uma superfície pintada de preto.

Todas as variações desta série baseiam-se na composição da parede do modelo, alterando somente a cor da pintura na superfície externa. Foram adotados os valores de 2 e 3 para representarem as condições dentro do limite da legislação e 5 e 6 para os fatores solares que não obedecem a legislação brasileira. A seguir, serão apresentados os valores para α que resultam nesses fatores.

A segunda variação de um fator solar de 2 resulta em um valor α de 0,31 que, por sua vez, representa uma superfície de pintura amarela.

¹²² Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações**. 2003. ABNT, Rio de Janeiro.

A terceira variação, representando um valor do fator solar de 3,0, resulta em um valor para α de 0,47, o que poderia ser associada a uma pintura cinza ou a um reboco claro.

Para um fator solar de 5,0, a quarta variação adota um valor para α de 0,78 o que, por sua vez, representa um uma pintura em cor escura. A Tabela B.2 lista as pinturas verde escuras com valores de 0,7 e as vermelho escuro com 0,74.

Para a última variação que representa um fator solar de 6,0, esta dissertação adotou um valor de 0,93 para α . Isso representa uma pintura em uma cor próxima ao preto. A Tabela B.2 lista um valor de 0,97 para pinturas pretas.

Conseqüentemente, esta série consiste das variações de α e os valores resultantes para o fator solar para elementos opacos. Os valores descritos acima são apresentados na Tabela 4.4. Salienta-se novamente, que os valores para os restantes elementos arquitetônicos, incluindo o elemento piso-teto, são adotados a partir do modelo. Note que as variações são listadas e nominadas em ordem crescente de valores.

Tabela 4.4: Resumo: parâmetros da série *Fator Solar Elementos Opacos*. fonte: próprio autor

Fator Solar Elementos Opacos							
série	unidade	variação 1	variação 2	variação 3	variação 4	variação 5	texto legislativo
Transmitância Térmica Parede Externa	W/m ² K	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	Código de Edificações de Porto Alegre
Transmitância Térmica Parede Interna	W/m ² K	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	Código de Edificações de Porto Alegre
Atraso Térmico	h	5,90	5,90	5,90	5,90	5,90	NBR 15220
Fator Solar Elementos Opacos	valor absoluto	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	NBR 15220
Área Abertura / Área Piso	%	17,10	17,10	17,10	17,10	17,10	Código de Edificações de Porto Alegre
Área Abertura/ Área Fachada	%	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	Etiquetagem PROCEL (indireto)
Altura Verga	m	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	Código de Edificações de Porto Alegre
Tipo de Vidro (FS)	valor absoluto	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	Etiquetagem PROCEL
Sombreamento Horizontal	grau	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Etiquetagem PROCEL
Sombreamento Vertical	grau	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Etiquetagem PROCEL
Área Piso Unidade	m ²	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	Etiquetagem PROCEL (indireto)
Área Fachada / Área Unidade	%	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	Etiquetagem PROCEL (indireto)

e. **ÁREA ABERTURA / ÁREA PISO**

O Código de Edificações de Porto Alegre¹²³ define o tamanho da janela através da relação entre a área da soma de todas as janelas e a área do piso. A série muda essa relação deixando a área do piso igual a área adotada no modelo. A área do piso é de 20 m². Além da área do piso, a posição da janela definida no modelo é mantida. A série muda a largura da janela, mantendo a altura da verga de 2 m e a altura da janela de 1,2 m.

A primeira variação utiliza a largura de 2,85m, resultando em uma área da janela retangular de 3,42 m² e conseqüentemente, em uma fração de 3,42/20, ou 1/5,9 ou ainda de 17 %. Essa porcentagem representa a primeira variação.

Como a série modifica somente a largura, o valor máximo definido pela área da janela é limitado pela largura da parede externa da unidade. Com a largura de 5 m da unidade, a área máxima da janela é de 5 x 1,2 m, ou seja, de 6 m². Essa área resulta em uma porcentagem de 30 %.

¹²³ Diário Oficial do Estado (DOE). Código de Edificações de Porto Alegre LC No 284 de 27 de outubro de 1992. Disponível em: http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/smov/usu_doc/codigo.pdf. Acesso em: 23/8/2011.

Para garantir passos equivalentes entre as variações, a próxima variação representa a porcentagem da média aritmética das variações anteriores, ou seja 23,5 %. Isso representa uma largura de 3,92 m para a janela.

As duas variações que representam áreas abaixo do limite mínimo estabelecido pela legislação brasileira utilizam valores de 10,5 % e de 4 % para a fração entre piso e janelas.

Assim, a quarta variação com uma área de janela de 10,5 % da área do piso é representada com uma janela de 2,1 m² e 1,75 m de largura.

A última variação, que tem uma área da janela de 4 % em relação à área do piso, resulta em uma janela de 0,67 m de largura.

As variações dos valores para a fração entre área do piso e área da janela são definidas acima. Os valores descritos são apresentados na Tabela 4.5. É importante salientar que os valores para os restantes elementos arquitetônicos, incluindo o elemento piso-teto, são adotados a partir do modelo. Note que as variações são listadas e nominadas em ordem crescente de valores.

É importante evidenciar que as variações resultam em modelos praticamente idênticos aos da série *Área Abertura / Área Fachada*. Mesmo assim, a dissertação apresenta as duas séries a fim de possibilitar uma análise dos elementos arquitetônicos derivados a partir dos textos legislativos diferentes.

Tabela 4.5: Resumo: parâmetros da série *Área Abertura / Área Piso*. fonte: próprio autor

Área Abertura / Área Piso							
série	unidade	variação 1	variação 2	variação 3	variação 4	variação 5	texto legislativo
Transmitância Térmica Parede Externa	W/m ² K	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	Código de Edificações de Porto Alegre
Transmitância Térmica Parede Interna	W/m ² K	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	Código de Edificações de Porto Alegre
Atraso Térmico	h	5,90	5,90	5,90	5,90	5,90	NBR 15220
Fator Solar Elementos Opacos	valor absoluto	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	NBR 15220
Área Abertura / Área Piso	%	4,00	10,50	17,10	23,50	30,00	Código de Edificações de Porto Alegre
Área Abertura/ Área Fachada	%	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	Etiquetagem PROCEL (indireto)
Altura Verga	m	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	Código de Edificações de Porto Alegre
Tipo de Vidro (FS)	valor absoluto	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	Etiquetagem PROCEL
Sombreamento Horizontal	grau	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Etiquetagem PROCEL
Sombreamento Vertical	grau	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Etiquetagem PROCEL
Área Piso Unidade	m ²	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	Etiquetagem PROCEL (indireto)
Área Fachada / Área Unidade	%	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	Etiquetagem PROCEL (indireto)

f. ÁREA DA ABERTURA EM RELAÇÃO COM FACHADA

A Etiquetagem PROCEL¹²⁴ utiliza a porcentagem de área de abertura na fachada total (PAF_T) na sua equação para o cálculo do equivalente numérico da envoltória. Assim, esse texto relaciona a área total das fachadas de todo o prédio com a soma de todas as janelas do edifício. É importante salientar que nesta dissertação existe somente uma fachada externa e consequentemente, a série utiliza a fração associada a uma só fachada. Convém salientar que existe a porcentagem de área de abertura na fachada oeste (PAF_O), mas a mesma é somente utilizada no caso em que o valor excede 120,00 % do PAF_T. Além disso, a Etiquetagem não estabelece limites

¹²⁴ Ministério de Minas e Energia (MME). **Conjunto de publicações: Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações, RTQ-C, RAC-C, Manual para aplicação do RTQ-C e RAC-C.** 2010.

ou intervalos para as fatores e por isso, a primeira variação dessa série adota a porcentagem de abertura na fachada da unidade utilizando o tamanho da janela do modelo. A série muda exclusivamente a largura da janela, mantendo a altura da verga de 2,2 m e a altura da janela de 1,2 m.

A primeira variação utiliza a largura de 2,85 m, resultando em uma área da janela retangular de 3,42 m² e da fachada de 15 m². Consequentemente, o valor de 22,8 % foi adotado para a primeira variação.

Como a série modifica somente a largura, o valor máximo para a área da janela é limitado pela largura da parede externa da unidade. Com a largura de 5 m da unidade, a área máxima da janela é de 5 x 1,2 m, ou seja, de 6 m². Essa área resulta em uma porcentagem de 40 %. Esse valor é adotado na segunda variação.

Afim de garantir passos equivalentes entre as variações, a próxima variação representa a porcentagem da média aritmética das variações anteriores, ou seja, 31,4 %. Isso representa uma largura da janela de 3,92 m.

As duas últimas variações utilizam valores de 14,2 % e de 5,6 % para a porcentagem entre fachada e janelas, utilizando o mesmo intervalo estabelecido com 8,6 % entre todas as variações.

Consequentemente, a quarta variação corresponde à uma largura da janela de 1,78 m, o que resulta no valor de 14,2 % para a relação entre fachada e abertura. Finalmente, a quinta variação é representada através de um modelo com uma janela de 0,23 m de largura, sendo essa a medida que corresponde a 5,6 % da área da fachada.

As variações dos valores para a porcentagem da área da janela e relação à área da fachada são definidas acima e consequentemente, a série consiste das variações acima descritas. A Tabela 4.6 resume esses valores. Convém mencionar novamente, que os valores para os restantes elementos arquitetônicos, incluindo o elemento piso-teto, são adotados a partir do modelo. As variações são listadas e nominadas em ordem crescente de valores.

Finalmente, as variações resultam em modelos praticamente idênticos aos definidos na série denominada *Área Abertura / Área Piso*. Entretanto, mesmo assim esta dissertação simula os 2 modelos a fim de possibilitar uma análise dos elementos arquitetônicos derivados a partir dos diferentes textos legislativos.

A Etiquetagem PROCEL sempre considera como ideal os valores inferiores o que, por sua vez, resulta em um equivalente numérico mais baixo. Consequentemente, esses valores classificam o edifício sob avaliação em uma categoria considerada mais eficiente.

Tabela 4.6: Resumo: parâmetros da série *Área Abertura / Área Fachada*. fonte: próprio autor

Área Abertura/ Área Fachada							
série	unidade	variação 1	variação 2	variação 3	variação 4	variação 5	texto legislativo
Transmitância Térmica Parede Externa	W/m²K	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	Código de Edificações de Porto Alegre
Transmitância Térmica Parede Interna	W/m²K	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	Código de Edificações de Porto Alegre
Atraso Térmico	h	5,90	5,90	5,90	5,90	5,90	NBR 15220
Fator Solar Elementos Opacos	valor absoluto	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	NBR 15220
Área Abertura / Área Piso	%	17,10	17,10	17,10	17,10	17,10	Código de Edificações de Porto Alegre
Área Abertura/ Área Fachada	%	5,60	14,20	22,80	31,40	40,00	Etiquetagem PROCEL (indireto)
Altura Verga	m	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	Código de Edificações de Porto Alegre
Tipo de Vidro (FS)	valor absoluto	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	Etiquetagem PROCEL
Sombreamento Horizontal	grau	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Etiquetagem PROCEL
Sombreamento Vertical	grau	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Etiquetagem PROCEL
Área Piso Unidade	m²	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	Etiquetagem PROCEL (indireto)
Área Fachada / Área Unidade	%	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	Etiquetagem PROCEL (indireto)

g. ALTURA DA VERGA ACIMA DO PISO

A altura mínima da verga acima do piso é definida no Código de Edificações de Porto Alegre¹²⁵ através de uma distância mínima calculada do pé direito ou de uma altura não inferior a 2,2 m acima do piso. Como a fração de 1/7 do pé direito resulta em uma distância mínima do teto de 0,42 m, ou seja, em uma altura da verga de 2,58 m, o modelo adota a verga mais baixa, ou seja, a verga com 2,2 m de altura acima do piso.

A série adota a altura de 2,2 m para a primeira variação.

Como a altura máxima da verga é limitada pela altura do pé direito de 3 m, a série adota essa altura como segunda variação. Note que a verga com essa altura não deixa espaço para uma viga.

Assim, para garantir a obtenção de variações com intervalos iguais entre si, a terceira variação adota uma altura intermediária de 2,6 m o que, por sua vez, deixa um intervalo de 0,4 m das as variações anteriores. Note que essas duas últimas variações obedecem as 2 regras estabelecidas pela legislação.

A quarta e a quinta variação assumem valores inferiores à 2,2 m o que, por sua vez, representa valores não permitidos pelo Código de Edificações de Porto Alegre¹²⁵. Essas variações utilizam o mesmo intervalo de 0,4 m e assim, resultam em valores de 1,8 m e 1,4 m de altura da verga acima do piso, respectivamente. Assim, a quinta variação deixa ainda 0,2 m abaixo da janela com uma altura de 1,2 m.

Esta dissertação não leva em consideração as consequências no conforto visual ou no consumo de energia agregado a fim de garantir a iluminação adequada exigida a partir das mudanças anteriormente mencionadas. Esta dissertação trata somente da influência desses elementos arquitetônicos sobre o conforto térmico no interior dos ambientes simulados.

As variações dos valores para altura da verga acima do piso são apresentados na Tabela 4.7. Convém mencionar, que os valores para os elementos arquitetônicos restantes, incluindo o elemento piso-teto, são adotados a partir do modelo. As variações são listadas e nominadas na Tabela 4.7 em ordem crescente de valores.

¹²⁵ Diário Oficial do Estado (DOE). Código de Edificações de Porto Alegre LC No 284 de 27 de outubro de 1992. Disponível em: http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/smov/usu_doc/codigo.pdf. Acesso em: 23/8/2011.

Tabela 4.7: Resumo: parâmetros da série *Altura Verga*. fonte: próprio autor

Altura Verga							
série	unidade	variação 1	variação 2	variação 3	variação 4	variação 5	texto legislativo
Transmitância Térmica Parede Externa	W/m ² K	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	Código de Edificações de Porto Alegre
Transmitância Térmica Parede Interna	W/m ² K	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	Código de Edificações de Porto Alegre
Atraso Térmico	h	5,90	5,90	5,90	5,90	5,90	NBR 15220
Fator Solar Elementos Opacos	valor absoluto	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	NBR 15220
Área Abertura / Área Piso	%	17,10	17,10	17,10	17,10	17,10	Código de Edificações de Porto Alegre
Área Abertura/ Área Fachada	%	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	Etiquetagem PROCEL (indireto)
Altura Verga	m	1,40	1,80	2,20	2,60	3,00	Código de Edificações de Porto Alegre
Tipo de Vidro (FS)	valor absoluto	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	Etiquetagem PROCEL
Sombreamento Horizontal	grau	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Etiquetagem PROCEL
Sombreamento Vertical	grau	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Etiquetagem PROCEL
Área Piso Unidade	m ²	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	Etiquetagem PROCEL (indireto)
Área Fachada / Área Unidade	%	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	Etiquetagem PROCEL (indireto)

h. TIPO DE VIDRO (FS)

O tipo de vidro é definido pelo fator solar (FS) e refere-se somente aos elementos translúcidos da fachada. Esse fator é calculado com base na transmitância térmica do componente, na absorvância à radiação solar, na transmitância superficial externa e na transmitância à radiação solar. Caso um desses fatores não seja conhecido, o correto valor não pode ser definido. Nesse caso, a Etiquetagem PROCEL, que define e utiliza o FS na equação para o cálculo do equivalente numérico da envoltória, prescreve a utilização do valor de 0,87.

Esse valor adotado no modelo também serve como a primeira variação desta série. O vidro utilizado no modelo baseia-se no vidro *SGG PLANILUX 3mm* da Saint Gobain¹²⁶, sendo um vidro simples tipo *float* incolor.

A segunda variação representa um vidro simples tipo *low-iron* (de conteúdo baixo de ferro) extra transparente, utilizando um vidro baseado no *SGG DIAMANT 3mm* da Saint Gobain¹²⁷ no modelo. Esse vidro possui um FS de 0,91, valor esse adotado pela segunda variação.

É importante salientar que no mercado não existem vidros com valores de FS ainda mais altos. Assim, todas as seguintes variações representam valores abaixo de 0,87, valor esse escolhido para o modelo.

Consequentemente, a terceira variação representa um valor FS de 0,75. Para obter esse valor o vidro adotado no modelo baseia-se no vidro duplo *SGG CLIMALIT 4(6)4* da Saint Gobain¹²⁸. Esse vidro é composto por dois vidros simples tipo *SGG PLANILUX 4mm* da Saint Gobain¹²⁹ com uma camada de ar de 6 mm entre eles.

Mantendo o mesmo intervalo de 0,12, a quarta variação representa um valor de 0,63 para o FS do vidro duplo tipo *low-e* (com baixa emissividade) comparável com

¹²⁶ SAINT GOBAIN GLASS. *SGG PLANILUX*. Disponível em: <http://www.saint-gobain-glass.com/>. Acesso em: 12/7/2011.

¹²⁷ SAINT GOBAIN GLASS. *SGG DIAMANT*. Disponível em: <http://www.saint-gobain-glass.com/>. Acesso em: 12/7/2011.

¹²⁸ SAINT GOBAIN GLASS. *SGG CLIMALIT*. Disponível em: <http://www.saint-gobain-glass.com/>. Acesso em: 12/7/2011.

¹²⁹ SAINT GOBAIN GLASS. *SGG PLANILUX*. Disponível em: <http://www.saint-gobain-glass.com/>. Acesso em: 12/7/2011.

o vidro *SGG CLIMAPLUS 4(12)4* da Saint Gobain¹³⁰. Esse vidro é composto por um vidro simples tipo *SGG PLANILUX 4mm* da Saint Gobain¹²⁹ no exterior, uma camada de ar de 12 mm e um vidro de baixa emissividade do tipo *SGG PLANITHERM 4mm* da Saint Gobain¹³¹ no interior.

Para a última variação desta série foi adotado um FS de 0,55 que representa um vidro laminado colorido, tal como o *SGG STAPID COLOR 9mm* da Saint Gobain¹³². Esse vidro é composto por um vidro tipo *SGG PLANILUX 9mm* com uma lâmina colorida aplicada no lado exterior.

Os valores das variações do FS são apresentados na Tabela 4.8. Note que os valores para os elementos arquitetônicos restantes, incluindo o elemento piso-teto, são adotados a partir do modelo. As variações listadas e nominadas na Tabela 4.8 são apresentadas em ordem crescente de valores.

Tabela 4.8: Resumo: parâmetros da série *tipo de vidro*. fonte: próprio autor

série	unidade	Tipo de Vidro (FS)					texto legislativo
		variação 1	variação 2	variação 3	variação 4	variação 5	
Transmitância Térmica Parede Externa	W/m ² K	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	Código de Edificações de Porto Alegre
Transmitância Térmica Parede Interna	W/m ² K	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	Código de Edificações de Porto Alegre
Atraso Térmico	h	5,90	5,90	5,90	5,90	5,90	NBR 15220
Fator Solar Elementos Opacos	valor absoluto	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	NBR 15220
Área Abertura / Área Piso	%	17,10	17,10	17,10	17,10	17,10	Código de Edificações de Porto Alegre
Área Abertura/ Área Fachada	%	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	Etiquetagem PROCEL (indireto)
Altura Verga	m	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	Código de Edificações de Porto Alegre
Tipo de Vidro (FS)	valor absoluto	0,55	0,63	0,75	0,87	0,91	Etiquetagem PROCEL
Sombreamento Horizontal	grau	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Etiquetagem PROCEL
Sombreamento Vertical	grau	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Etiquetagem PROCEL
Área Piso Unidade	m ²	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	Etiquetagem PROCEL (indireto)
Área Fachada / Área Unidade	%	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	Etiquetagem PROCEL (indireto)

i. SOMBREAMENTO HORIZONTAL

Os elementos de sombreamento horizontais são avaliados na Etiquetagem PROCEL¹³³ através do Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS). Para simplificar as variações e facilitar a comparação entre os resultados da simulação desta série, todos os elementos são posicionados seguindo as seguintes regras:

- O plano é horizontal e retangular;
- O plano é cheio e 100 % opaco;
- O plano encosta na parede exatamente em cima da janela;
- O plano tem a mesma extensão da largura da janela de 2,38 m;
- O plano não é móvel.

¹³⁰ SAINT GOBAIN GLASS. **SGG CLIMAPLUS**. Disponível em: <http://www.saint-gobain-glass.com/>. Acesso em: 12/7/2011.

¹³¹ SAINT GOBAIN GLASS. **SGG PLANITHERM**. Disponível em: <http://www.saint-gobain-glass.com/>. Acesso em: 12/7/2011.

¹³² SAINT GOBAIN GLASS. **SGG STAPID COLOR**. Disponível em: <http://www.saint-gobain-glass.com/>. Acesso em: 12/7/2011.

¹³³ Ministério de Minas e Energia (MME). Conjunto de publicações: **Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações, RTQ-C, RAC-C, Manual para aplicação do RTQ-C e RAC-C**. 2010.

Assim, as variações mudam somente o tamanho que altera o ângulo vertical como definido segundo a etiquetagem. A Figura 4.4 apresenta cortes esquemáticos para a medição do AVS e exemplos de vários ângulos.

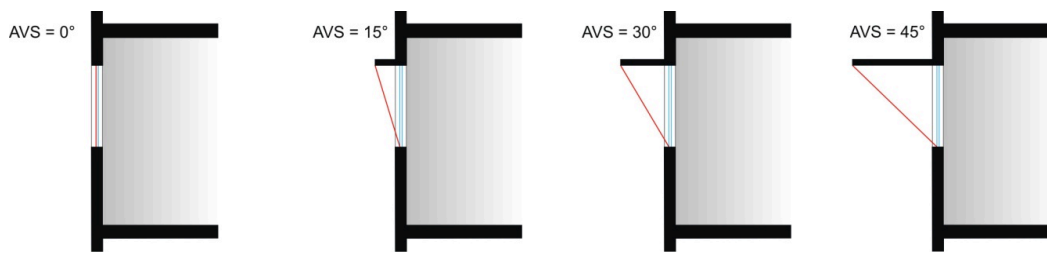


Figura 4.4: Ângulos Verticais de Sombreamento. fonte: MME

O modelo não utiliza nenhuma proteção solar, ou seja, o ângulo vertical de sombreamento é igual a 0 grau. Esse modelo sem elemento de sombreamento é adotado pela primeira variação.

O texto da Etiquetagem PROCEL¹³³ prescreve que o ângulo máximo para ser adotado é de 45 graus, mesmo que o elemento físico resulte em um ângulo maior. Isso corresponde à uma proteção solar cuja distância equivale a distância da altura do plano translúcido, ou seja, no caso do estudo de caso utilizado nesta dissertação, de 1,20 m. Essa extensão máxima é adotada na segunda variação.

As três restantes variações são distribuídas em intervalos iguais entre o valor máximo permitido (45 graus) e o valor mínimo (0 grau). Assim, resultam valores de AVS de 33,75 graus, de 22,50 graus e de 11,25 graus para as três variações restantes.

A terceira variação com um AVS de 33,75 graus corresponde a uma distância do ponto mais longe dos sombreamentos da parede de 0,9 m.

O AVS de 22,5 graus, valor adotado na quarta variação, representa um elemento horizontal de sombreamento que obedece as regras acima mencionadas e que tem uma extensão de 0,6 m.

A última variação consiste é dada por um sombreamento horizontal de 0,3 m de extensão e conseqüentemente, em um AVS de 11,25 graus, valor adotado na quinta variação desta série.

As variações para o AVS são apresentados na Tabela 4.9. Os valores adotados para os elementos arquitetônicos restantes, incluindo o elemento piso-teto, são adotados a partir do modelo. A Tabela 4.9 lista os valores das variações ordenados de forma crescente.

Tabela 4.9: Resumo: parâmetros da série *sombreamento horizontal*. fonte: próprio autor

Sombreamento Horizontal							
série	unidade	variação 1	variação 2	variação 3	variação 4	variação 5	texto legislativo
Transmitância Térmica Parede Externa	W/m²K	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	Código de Edificações de Porto Alegre
Transmitância Térmica Parede Interna	W/m²K	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	Código de Edificações de Porto Alegre
Atraso Térmico	h	5,90	5,90	5,90	5,90	5,90	NBR 15220
Fator Solar Elementos Opacos	valor absoluto	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	NBR 15220
Área Abertura / Área Piso	%	17,10	17,10	17,10	17,10	17,10	Código de Edificações de Porto Alegre
Área Abertura / Área Fachada	%	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	Etiquetagem PROCEL (indireto)
Altura Verga	m	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	Código de Edificações de Porto Alegre
Tipo de Vidro (FS)	valor absoluto	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	Etiquetagem PROCEL
Sombreamento Horizontal	grau	0,00	11,25	22,50	33,75	45,00	Etiquetagem PROCEL
Sombreamento Vertical	grau	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Etiquetagem PROCEL
Área Piso Unidade	m²	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	Etiquetagem PROCEL (indireto)
Área Fachada / Área Unidade	%	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	Etiquetagem PROCEL (indireto)

j. SOMBREAMENTO VERTICAL

Os elementos de sombreamento verticais influenciam a Etiquetagem PROCEL¹³⁴ através do Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS). Com a intenção de simplificar as variações e facilitar a comparação entre os resultados da simulação, todos os elementos são modelados de acordo com as regras abaixo:

- Os dois planos são verticais e retangulares;
- Os planos são cheios e 100 % opacos;
- Os planos encostam na parede exatamente dos dois lados da janela;
- Os planos tem a mesma altura do que a janela, sendo 1,20 m;
- Os planos não são móveis;
- Os planos são posicionados simétricos.

Consequentemente, as variações alteram somente o tamanho que influencia o ângulo horizontal, conforme definido na etiquetagem.

O modelo não utiliza proteções solares, ou seja, o ângulo horizontal de sombreamento é igual a 0 grau. Esse modelo sem elementos de sombreamento é adotado pela primeira variação.

A Etiquetagem PROCEL¹³⁵ prescreve que o ângulo máximo a ser adotado seja de 45 graus. Isso corresponde a uma proteção solar vertical que se estende dos 2 lados da janela e corresponde à distância da largura do plano translúcido. Em outras palavras, no caso do estudo de caso adotado nesta dissertação, um valor de 2,85 m. A Figura 4.5 apresenta plantas baixas esquemáticas utilizadas para a medição do AHS e exemplos de ângulos que seguem os parâmetros apresentados na Etiquetagem PROCEL. Nesta dissertação são adotadas somente proteções que possuem o mesmo tamanho nos dois lados. O AHS da Etiquetagem PROCEL³¹ refere-se à média aritmética dos ângulos medidos para cada um dos 2 elementos de sombreamento.

¹³⁴ Ministério de Minas e Energia (MME). **Conjunto de publicações: Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações, RTQ-C, RAC-C, Manual para aplicação do RTQ-C e RAC-C.** 2010.

¹³⁵ Ministério de Minas e Energia (MME). **Conjunto de publicações: Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações, RTQ-C, RAC-C, Manual para aplicação do RTQ-C e RAC-C.** 2010.

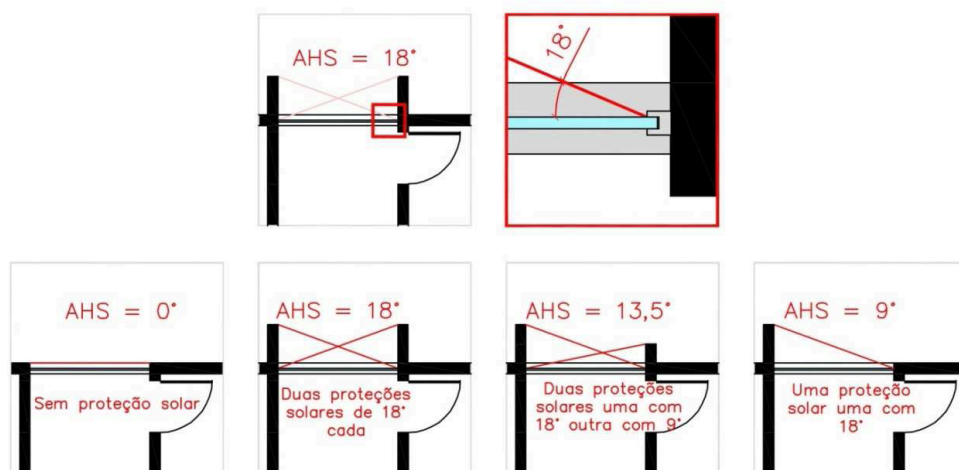


Figura 4.5: Ângulos Horizontais de Sombreamento.

fonte:

MME

As 4 restantes variações são distribuídas em intervalos equidistantes entre o valor máximo permitido (45 graus), representado por dois elementos de 2,38m de profundidade, e o valor mínimo (0 grau). Assim, resultam valores de AHS de 33,75 graus, de 22,5 graus e de 11,25 graus para três variações da série.

A terceira variação com um AHS de 33,75 graus corresponde a uma distância do ponto mais longe do sombreamento da parede de 1,79 m.

O AHS de 22,5 graus, valor adotado na quarta variação, representa um elemento horizontal de sombreamento que obedece as regras acima mencionadas e que tem uma extensão de 1,19 m.

A última variação consiste em um sombreamento horizontal de 0,6 m de extensão e conseqüentemente, representa um AHS de 11,25 graus, valor adotado na quinta variação desta série.

As variações para os valores de AHS são apresentadas na Tabela 4.10. Os valores para os elementos arquitetônicos restantes, incluindo o elemento piso-teto, são adotados a partir do modelo. Note que as variações são listadas e nominadas em ordem crescente de valores.

Tabela 4.10: Resumo: parâmetros da série *sombreamento vertical*. fonte: próprio autor

série	unidade	variação 1	variação 2	variação 3	variação 4	variação 5	texto legislativo
Transmitância Térmica Parede Externa	W/m ² K	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	Código de Edificações de Porto Alegre
Transmitância Térmica Parede Interna	W/m ² K	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	Código de Edificações de Porto Alegre
Atraso Térmico	h	5,90	5,90	5,90	5,90	5,90	NBR 15220
Fator Solar Elementos Opacos	valor absoluto	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	NBR 15220
Área Abertura / Área Piso	%	17,10	17,10	17,10	17,10	17,10	Código de Edificações de Porto Alegre
Área Abertura / Área Fachada	%	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	Etiquetagem PROCEL (indireto)
Altura Verga	m	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	Código de Edificações de Porto Alegre
Tipo de Vidro (FS)	valor absoluto	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	Etiquetagem PROCEL
Sombreamento Horizontal	grau	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Etiquetagem PROCEL
Sombreamento Vertical	grau	0,00	11,25	22,50	33,75	45,00	Etiquetagem PROCEL
Área Piso Unidade	m ²	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	Etiquetagem PROCEL (indireto)
Área Fachada / Área Unidade	%	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	Etiquetagem PROCEL (indireto)

k. ÁREA PISO UNIDADE

A área de piso da unidade é indiretamente utilizada na Etiquetagem PROCEL¹³⁶ através do fator de altura (FA) que, por sua vez, envolve a área da envoltória do prédio e área total da edificação. A Etiquetagem define o FA como a razão entre a área de projeção do edifício e a área de piso. Enquanto a etiquetagem utiliza o volume, esta dissertação abstrai somente o elemento arquitetônico do piso da unidade. O modelo adota um volume da unidade de 3 m de altura e uma base de 5 x 4 m, sendo a fachada o lado mais comprido. A primeira variação adota esse volume da unidade, o que resulta em um valor de 20 m².

Para não repetir os modelos definidos na série *Área Fachada / Área Piso* que, por sua vez, trata a fração entre área do piso e área da fachada, esta série adota valores para as 3 dimensões da unidade que deixam essa fração com o mesmo valor que resulta do modelo, ou seja, com 75 %.

Visando obedecer as orientações desta dissertação, onde os passos entre as variações devem ser equidistantes, o valor do modelo foi adotado como valor médio. Neste ponto, salienta-se mais uma vez, que a etiquetagem não define valores limites ou intervalos para os elementos arquitetônicos, mas que valores baixos para os fatores considerados na equação tem efeito positivo sobre o resultado do equivalente numérico da envoltória. No caso específico do fator de forma (FA), a área do piso é o denominador e conseqüentemente, uma área do piso maior resultaria em valores favoráveis na equação.

Assim, a segunda variação representa um efeito positivo segundo a legislação. Essa variação consiste em aumentar a profundidade da unidade para 5 m o que resulta em uma área do piso de 25 m². Para não modificar a relação entre área do piso e área da fachada aumenta-se a altura da fachada, neste caso para 3,75 m.

A terceira variação aumenta a profundidade para 6 m. Assim, a área do piso da unidade é de 30 m² e a fachada deve ser adotada através do pé direito, que passa a ser de 4,5 m.

As últimas 2 variações representam valores que representam os piores resultados na equação do PROCEL, quando comparados aos resultados associados ao modelo. Diminuindo a profundidade de 0,5 m em 0,5 m isso resulta em áreas de piso da unidade de 17,5 m² e 15 m², respectivamente. Essa redução do fator de decremento é necessária para deixar os escritórios com um pé direito alto o suficiente.

Resta salientar que na quarta variação com 17,5 m², a fachada deve ser diminuída a fim de obter a altura da unidade para 2,63 m. Finalmente, a quinta variação com 15 m² adota uma altura de 2,25 m.

Como consequência precisa-se alterar também a altura da unidade, deixando a relação entre a área do piso e da fachada constante. Os valores adotados para o piso de cada variação são apresentados na Tabela 4.11. Os valores para os restantes

¹³⁶ Ministério de Minas e Energia (MME). **Conjunto de publicações: Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações, RTQ-C, RAC-C, Manual para aplicação do RTQ-C e RAC-C.** 2010.

elementos arquitetônicos, incluindo o elemento piso-teto, são adotados a partir do modelo. As variações são listadas e nominadas em ordem crescente de valores na Tabela 4.11.

Tabela 4.11: Resumo: parâmetros da série *área do piso da unidade*. fonte: próprio autor

Área Piso Unidade							
série	unidade	variação 1	variação 2	variação 3	variação 4	variação 5	texto legislativo
Transmitância Térmica Parede Externa	W/m ² K	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	Código de Edificações de Porto Alegre
Transmitância Térmica Parede Interna	W/m ² K	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	Código de Edificações de Porto Alegre
Atraso Térmico	h	5,90	5,90	5,90	5,90	5,90	NBR 15220
Fator Solar Elementos Opacos	valor absoluto	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	NBR 15220
Área Abertura / Área Piso	%	17,10	17,10	17,10	17,10	17,10	Código de Edificações de Porto Alegre
Área Abertura/ Área Fachada	%	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	Etiquetagem PROCEL (indireto)
Altura Verga	m	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	Código de Edificações de Porto Alegre
Tipo de Vidro (FS)	valor absoluto	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	Etiquetagem PROCEL
Sombreamento Horizontal	grau	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Etiquetagem PROCEL
Sombreamento Vertical	grau	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Etiquetagem PROCEL
Área Piso Unidade	m ²	15,00	17,50	20,00	25,00	30,00	Etiquetagem PROCEL (indireto)
Área Fachada / Área Unidade	%	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	Etiquetagem PROCEL (indireto)

I. ÁREA FACHADA / ÁREA PISO

A relação entre a área da fachada e a área do piso é estabelecida baseada na definição do FA da Etiquetagem PROCEL¹³⁷. A etiquetagem utiliza a área total da fachada do edifício e o volume total do prédio, enquanto esta dissertação utiliza as áreas da fachada e do piso da unidade. Os valores definidos no modelo para esses componentes são adotados na primeira variação desta série. A fachada do modelo tem as dimensões de 3 x 5,0 m, resultando em uma área de 15 m². O piso do modelo tem 20 m², sendo que o modelo possui uma largura de 5,0 m e uma profundidade de 4,00 m. Assim, a primeira variação adota um valor de 75 % para a relação entre fachada e piso.

Para não repetir os modelos da série *área do piso da unidade* que, por sua vez, trata da área do piso, esta série adota valores para as 3 dimensões da unidade deixando as 2 medidas do piso inalteradas. As variações alteram somente a altura da unidade, modificando assim a área da fachada e conseqüentemente, a relação dessa área com a área da fachada.

Obedecendo as orientações desta dissertação, as variações são equidistantes alterando assim a relação de 9,38 % o que, por sua vez, resulta em um valor de 0,38 m de altura da fachada. Adaptando assim 75% ou 3,0 m de altura para as unidades. Neste ponto, salienta-se mais uma vez, que a etiquetagem não define valores limites ou intervalos para os elementos arquitetônicos. É importante salientar que valores baixos para os fatores considerados na equação tem efeito positivo sobre o resultado do equivalente numérico da envoltória. No caso específico do FA, a área da fachada é o numerador. Assim, uma área da fachada menor resulta em valores menores de porcentagem entre fachada e piso e conseqüentemente, favoráveis na equação.

¹³⁷ Ministério de Minas e Energia (MME). **Conjunto de publicações: Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações, RTQ-C, RAC-C, Manual para aplicação do RTQ-C e RAC-C.** 2010.

Note que a diminuição da área da fachada provoca o aumento do valor do FA o que, por sua vez, gera valores favoráveis segundo a etiquetagem. Assim, a segunda variação corresponde ao valor mínimo da fração, ou seja, representa módulos de menor altura. Para garantir um pé direito aceitável, a altura mínima é de 2,25 m o que, por sua vez, resulta em uma relação entre fachada e piso de 56,25 %.

Na terceira variação, seguindo um incremento de 9,38 %, a altura é alterada para 2,63 m resultando em uma área da fachada de 13,13 m² e uma relação entre fachada e piso de 65,63 %.

Os valores da quarta e quinta variação representam áreas da fachada maiores em relação ao modelo e conseqüentemente, resultam em um equivalente numérico da equação da Etiquetagem PROCEL mais alto, representando uma perda de eficiência.

A quarta variação adota um valor de 84,38 %. Esse valor é modelado através de um aumento da altura da unidade para 3,38 m resultando assim, em uma área da fachada de 16,88 m².

A quinta variação utiliza um valor de 93,75 %, ou seja, uma área igual para fachada e piso. Para obter esse valor a altura da unidade é aumentada para 3,75 m resultando assim, em uma área da fachada de 18,75 m².

A altura da unidade, que representa esse valor no modelo, é apresentada neste subcapítulo e os valores numéricos adotados são listados na Tabela 4.12. É importante salientar, que os valores para os elementos arquitetônicos restantes, incluindo o elemento piso-teto, são adotados segundo o modelo.

Na tabela abaixo, as variações são listados e nominados em ordem crescente.

Tabela 4.12: Resumo: parâmetros da série *Área Fachada / Área Piso*. fonte: próprio autor

série	unidade	Área Fachada / Área Unidade					texto legislativo
		variação 1	variação 2	variação 3	variação 4	variação 5	
Transmitância Térmica Parede Externa	W/m ² K	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	Código de Edificações de Porto Alegre
Transmitância Térmica Parede Interna	W/m ² K	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	Código de Edificações de Porto Alegre
Atraso Térmico	h	5,90	5,90	5,90	5,90	5,90	NBR 15220
Fator Solar Elementos Opacos	valor absoluto	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	NBR 15220
Área Abertura / Área Piso	%	17,10	17,10	17,10	17,10	17,10	Código de Edificações de Porto Alegre
Área Abertura/ Área Fachada	%	22,80	22,80	22,80	22,80	22,80	Etiquetagem PROCEL (indireto)
Altura Verga	m	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	Código de Edificações de Porto Alegre
Tipo de Vidro (FS)	valor absoluto	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	Etiquetagem PROCEL
Sombreamento Horizontal	grau	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Etiquetagem PROCEL
Sombreamento Vertical	grau	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Etiquetagem PROCEL
Área Piso Unidade	m ²	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	Etiquetagem PROCEL (indireto)
Área Fachada / Área Unidade	%	56,25	65,625	75,00	84,375	93,75	Etiquetagem PROCEL (indireto)

4.2. SIMULAÇÕES TÉRMICAS

Após a definição das 12 séries e suas variações no subcapítulo anterior, este subcapítulo detalha as simulações térmicas realizadas. Em um primeiro momento, as ferramentas utilizadas neste trabalho são brevemente descritas. Em mais detalhes, os seguintes *softwares* foram utilizados para gerarem os resultados necessários para a avaliação proposta nesta dissertação:

- Google SketchUp 8 (Macintosh)¹³⁸;
- OpenStudio 1.0.6 para SketchUp 8 (Macintosh)¹³⁹;
- EnergyPlus (EP) 6.0.0 LaunchLite (Macintosh)¹⁴⁰;
- EnergyPlus (EP) 6.0.0 IDF-Editor (Windows)¹⁴⁰.

Depois da descrição das ferramentas, este subcapítulo apresenta detalhadamente a construção do modelo e das variações definidas anteriormente. Essa descrição inclui todos os passos para a geração do modelo e as impostações realizadas para adotar o modelo para compor as séries e as suas variações.

Além disso, o arquivo climático necessário como entrada para a simulação, bem como algumas observações sobre os seus dados e suas origens são descritos.

O último subcapítulo descreve o processo utilizado para formatar os resultados contidos nos arquivos de saída do EP obtidos durante as simulações.

As simulações térmicas tem com principal objetivo gerarem um banco de dados que possibilite a comparação dos resultados obtidos em cada uma delas. Os resultados não são representativos para edifícios reais e não podem ser utilizados fora do contexto deste trabalho. Além disso, é importante salientar que este trabalho utiliza modelos simplificados e que os elementos arquitetônicos são analisados separadamente. O capítulo 5 detalha a análise realizada neste trabalho.

FERRAMENTAS

Este subcapítulo descreve as ferramentas utilizadas para a criação e simulação dos modelos, bem como para a formatação dos resultados gerados durante as simulações térmicas. Foram utilizados 4 *softwares* distintos para as etapas de modelagem, importação, modificação e simulação. Todos esses *softwares* são disponíveis gratuitamente na internet para o uso não comercial. Além dessas ferramentas, esta dissertação utilizou para a organização e visualização dos resultados numéricos o Microsoft Excel 2011 (Macintosh). Todos os passos da

¹³⁸ Google. **Download Google SketchUp 8**. Disponível em: <http://sketchup.google.com/download/gsu.html>. Acesso em: 02/08/2011

¹³⁹ U.S. Department of Energy. **OpenStudio Plug-in for Google SketchUp**. Disponível em: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/openstudio.cfm>. Acesso em: 02/08/2011

¹⁴⁰ U.S. Department of Energy. **EnergyPlus Energy Simulation Software**, Disponível em: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>. Acesso em: 02/08/2011

simulação foram executados em um MacBook Pro (2.52 GHz Intel Core 2 Duo, 4 GB 1067 MHz DDR3).

a. GOOGLE SKETCHUP 8 (MACINTOSH)

A ferramenta Google SketchUp (SU) na sua versão 8 para Macintosh está sendo utilizado para criação do modelo e, em alguns casos, para as alterações necessárias para gerar as variações dentro de algumas das 12 séries.

SU é um *software* capaz de modelar facilmente elementos em três dimensões. Neste modo, todos os dados geométricos para a simulação podem ser criados em um ambiente com uma interface gráfica e visualização em três dimensões. A Figura 4.6 apresenta um *screenshot* de SU com o arquivo da série *sombreamento horizontal* na sua terceira variação com a fachada sendo posicionada na orientação solar sul.

Os subcapítulos sobre a criação do modelo e a modelagem das variações descrevem como a ferramenta é utilizada nesta dissertação.

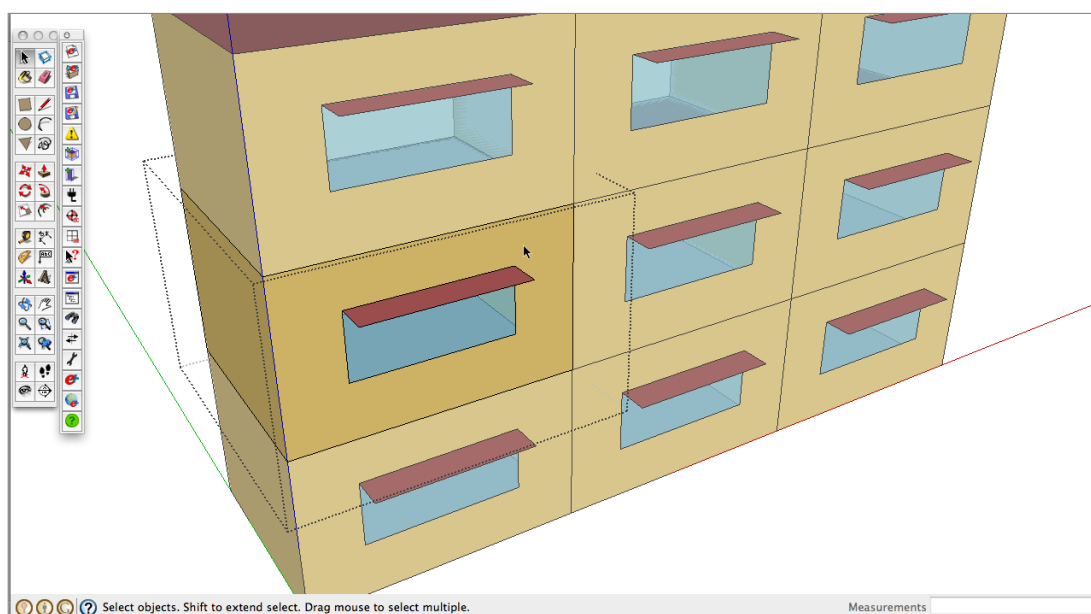


Figura 4.6: *Screenshot:* SketchUp. fonte: próprio autor

b. OPENSTUDIO 1.0.6 PARA SKETCHUP 8 (MACINTOSH)

OpenStudio na sua versão 1.0.6 é um *plug-in* para SU que possibilita a leitura e a escrita de arquivos no formato *.idf* (*input data file*) utilizado pelo EnergyPlus. Além dessa função, o OpenStudio implementa algumas funções específicas relacionadas à descrição de modelos térmicos para o EnergyPlus. Para a criação do modelo e para a geração de algumas variações, esta dissertação utilizou, entre outros, as seguintes funções:

- Open EP Input File (abrir arquivos no formato *.idf* de EP);
- Save As EP Input File (salvar arquivos no formato *.idf* de EP);
- New EP Zone (criação de uma zona térmica nova);
- Show Object Info Window (abertura de uma janela com as informações sobre um objeto selecionado).

A Figura 4.7 mostra um *screenshot* de SU com OpenStudio do arquivo da série *sombreamento horizontal* na sua terceira variação orientada verso sul e com a janela de informações aberta. Note que a zona térmica selecionada é denominada “módulo 3” e a componente selecionada é a janela do mesmo módulo denominada “window 3”.

Os subcapítulos relacionados à criação do modelo e das variações do estudo de caso descrevem como essa ferramenta foi utilizada.

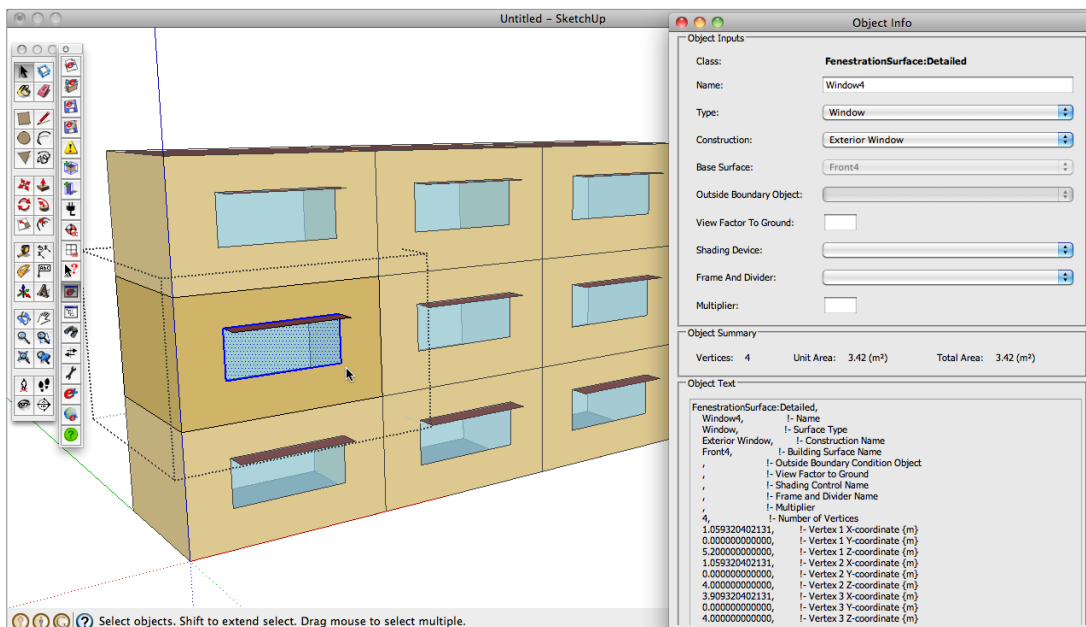


Figura 4.7: Screenshot: SketchUp com OpenStudio. fonte: próprio autor

c. ENERGYPLUS 6.0.0 LAUNCHLITE (MACINTOSH)

EP na sua versão 6.0.0 é um *software* utilizado para a simulação térmica. Em mais detalhes, EP é uma ferramenta utilizada para realizar análise do uso de energia e simulação da carga térmica em ambientes internos. Baseado na descrição física de um edifício, a partir dos seus sistemas mecânicos, entre outros, EP calcula as cargas de aquecimento e de refrigeração necessárias para a manutenção de uma determinada temperatura ou calcula a temperatura dentro dos ambientes definidos. A integração simultânea desses e muitos outros detalhes, possibilita simulações que se aproximam da realidade¹⁴¹.

A interface chamada *LaunchLite* requer um arquivo de entrada com os dados relativos ao edifício e as condições na qual esse modelo deve ser simulado. Além das definições meramente geométricas, o arquivo *.idf* inclui informações sobre os materiais utilizados, as construções das paredes, pisos, tetos e janelas, assim como os dados a serem salvos no arquivo de saída. É oportuno salientar que este trabalho utiliza somente uma parte mínima dos opções da ferramenta que, por sua vez, possibilita um detalhamento muito mais realista do que o desejado no escopo desta dissertação. Além disso, o simulador precisa de um arquivo com os dados climáticos como entrada. Durante este trabalho foi utilizado o arquivo *PortoAlegreTRY1954_05.csv*¹⁴² disponibilizado pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal do Santa Catarina (LABEEE).

Os subcapítulos sobre a criação do modelo e das variações descrevem como essa ferramenta foi utilizada.

A Figura 4.8 apresenta a *interface* do simulador do EP com o arquivo *.idf* da série *área do piso da unidade* na sua terceira variação com a fachada orientada para o sul e com o arquivo climático de Porto Alegre.

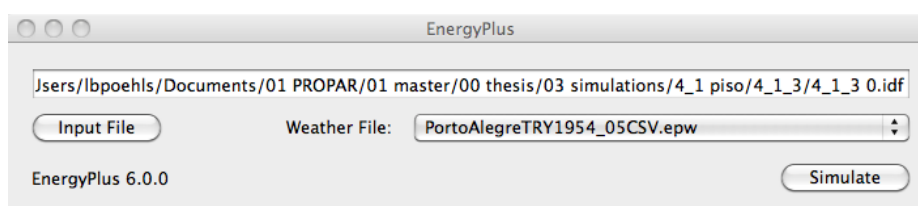


Figura 4.8: Screenshot: EnergyPlus Launch Lite. fonte: próprio autor

¹⁴¹ U.S. Department of Energy. **About EnergyPlus**. Disponível em: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_about.cfm. Acesso em: 02/08/2011

¹⁴² LABEEE. **Arquivos Climáticos**. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos>. Acesso em: 05/06/2011

d. ENERGYPLUS 6.0.0 (WINDOWS)

EP na sua versão 6.0.0 não disponibiliza algumas ferramentas secundárias para a plataforma do Macintosh. O programa chamado IDF-Editor, necessário para editar os arquivos do formato *.idf* através de uma interface gráfica está disponível somente para Windows. Para facilitar as modificações das variações do estudo de caso neste trabalho, uma versão do EP foi instalada no Windows XP¹⁴³ e executada através da ferramenta VMWare Fusion na versão 3.1.1¹⁴⁴.

As mesmas observações sobre o detalhamento do modelo que constam no subcapítulo sobre a versão para a plataforma do Macintosh podem ser aplicadas neste caso. Os subcapítulos sobre a criação do modelo e das variações descrevem como esse *software* foi utilizado.

A Figura 4.9 apresenta a interface do IDF-Editor do EP. Trata-se da secção sobre as composições das paredes externas da série *transmitância térmica parede externa* na sua quarta variação com a fachada virada para o sul.

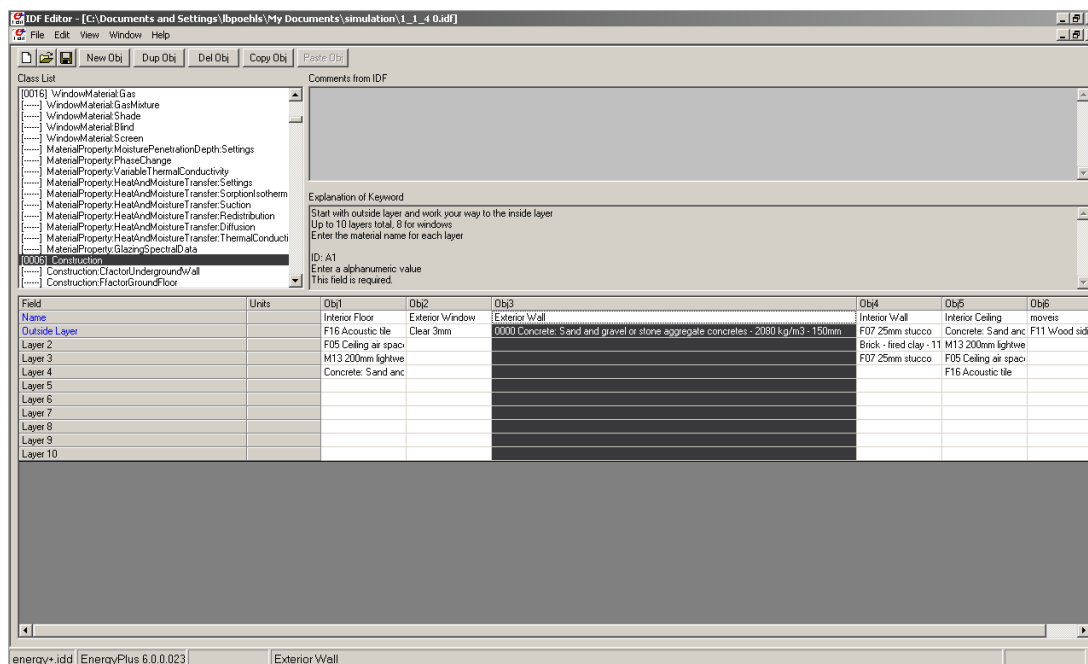


Figura 4.9: Screenshot: IDF-Editor. fonte: próprio autor

CONSTRUÇÃO DO MODELO

A construção do modelo segundo os parâmetros anteriormente estabelecidos representa um passo importante para as simulações térmicas, pois todas as variações e assim, todos os resultados das simulações foram gerados com base nesse arquivo

¹⁴³ Microsoft, Inc., **Windows XP**, Disponível em: <http://windows.microsoft.com/en-US/windows/products/windows-xp>. Acesso em: 17/08/2011

¹⁴⁴ vmware, Inc., **vmware Fusion Overview**, Disponível em: <http://www.vmware.com/products/fusion/overview.html>. Acesso em: 17/08/2011

de entrada. É importante salientar que essa construção visa definir um modelo simplificado que contenha os 12 elementos arquitetônicos derivados a partir dos textos da legislação brasileira. É oportuno salientar que os resultados obtidos nesta dissertação não podem ser comparados com modelos mais realistas ou com resultados de medições em prédios reais. Além disso, é importante salientar que o modelo simplificado não possui nenhum tipo de refrigeração ou calefação artificial, bem como nenhum tipo de ventilação natural. Ou seja, mesmo assumindo que é provável que o ambiente real de um escritório possua climatização forçada, o modelo inserido nas simulações não define maquinário de ar condicionado ou mecanismos de ventilação natural. Isso, mais uma vez, deve-se ao fato de que o alvo do modelo é possibilitar a realização de uma análise da influência da legislação em relação aos elementos arquitetônicos sobre o conforto térmico no interior de edifícios para o uso como escritório e não a reprodução de uma arquitetura real.

Nos seguintes subcapítulos, a modelagem da geometria e a associação dos atributos na ferramenta de Google SketchUp (SU) com OpenStudio, assim como a modificação do arquivo obtido através da ferramenta gráfica com a ferramenta do IDF-Editor de EP são descritos. Isso resulta na descrição das principais características do arquivo de entrada para as simulações com EP. Salienta-se que devido à complexidade do EP a descrição não será apresentada exaustivamente. Para possibilitar uma consulta mais detalhada sobre as impostações do modelo ou qualquer variação, todos os arquivos *.idf* encontram-se no apêndice digital.

MODELAGEM

Basicamente, o modelo é subdividido em 9 unidades, organizadas em 3 filas de 3 unidades cada. Salienta-se que no modelo e em todas as variações, as 9 unidades possuem características idênticas para os elementos arquitetônicos. Em outras palavras, todas as unidades são sempre compostas por paredes externas, paredes internas, piso, teto e janelas com propriedades idênticas. Além dessas impostações, que podem mudar entre uma variação e outra mas que são uniformes para as unidades de uma variação, a modelagem das unidades em SU define algumas variações causadas pela posição da unidade.

Partindo de um arquivo novo de SU, foi criada uma unidade base, que posteriormente será multiplicada através do comando “copy” de SU para criar as 9 unidades. Abrindo a ferramenta SU com OpenStudio como *plug-in*, é criado um novo arquivo de entrada *.idf*. Essa unidade de base é associada a uma zona climática que, por sua vez, é criada através da função disponibilizada pelo *plug-in*. Todas as operações descritas para definirem essa unidade, devem ser executados dentro da zona climática ativa. Define-se o tamanho da base da unidade, ou seja, um retângulo de 4 x 5 m. Neste ponto, é oportuno mencionar que o eixo verde do SU é interpretado como a linha norte-sul no EP. Assim, os lados com a dimensão de 5 m representam as fachadas sul e norte na planta, enquanto os lados com dimensão de 4 m representam as fachadas leste e oeste, respectivamente. A Figura 4.10 mostra um

esquemático sobre os eixos de SU e as orientações solares segundo a interpretação de EP.

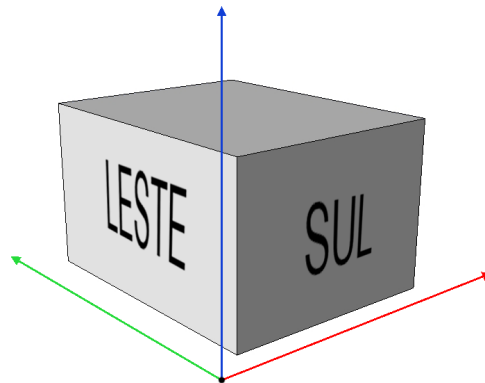


Figura 4.10: Esquemático: Eixos em SU e orientações solares em EP. fonte: próprio autor

Em um segundo passo, utiliza-se o comando “*push/pull*” do SU para criar uma caixa com altura de 3 m. Utilizando OpenStudio, as superfícies laterais automaticamente são definidas como paredes. A superfície de base é identificada como piso e a superfície superior como teto. Essa informação faz parte da descrição do arquivo de entrada e pode ser identificada graficamente através da visualização a partir de cores diferentes. Para facilitar a identificação desses elementos durante a modificação, os mesmos são nominados identificando a estrutura (*interior wall* (parede interior), *exterior wall* (parede exterior ou fachada), *ceiling* (teto) ou *floor* (piso)) e o número que identifica a unidade (de 1 a 9). A parede externa é definida como o contato com o ambiente exterior, sendo em contato com vento e insolação.

Em seguida, um retângulo é desenhado para representar a geometria da janela. Uma forma com a altura de 1,2 m e a largura de 2,85 m é posicionada horizontalmente centralizada e com uma altura que deixa 1 m entre a borda inferior e o piso. Desenhando uma segunda geometria no limite de uma parede, o OpenStudio automaticamente atribui a ela as características de uma janela. Para identificá-la mais facilmente durante a modificação, o elemento é renomeado (*window* (janela)) e um número representando a unidade (de 1 a 9) é adicionado. A janela é definida como o contato com o ambiente exterior, sendo a mesma em contato com vento e insolação.

Isso define todas as características comuns de todas as unidades que são definidas nesta etapa. A partir deste momento, as alterações são particulares para as diferentes unidades. Assim, saindo do grupo da zona climática, a unidade base é duplicada 8 vezes criando assim, 9 unidades que são organizadas em 3 filas com 3 unidades cada. Para garantir nomes distintos, as zonas são renomeadas para módulo e um número de 1 a 9 é adicionado. Depois, todos os elementos dentro dessas zonas são editados para fazer como que o número esteja de acordo com a unidade em que os mesmos se encontram.

Uma propriedade das paredes internas que define a modalidade de contato com o exterior da zona é modificada. É importante salientar que isso não se refere ao exterior, mas somente ao elemento que se encosta nessa parede interna. Existem dois casos distintos de paredes internas no modelo deste trabalho:

- Paredes laterais em contato com outra zona térmica. Esse tipo de parede é imposto com a propriedade de contato com outra zona térmica, indicando a zona em contato;
- Paredes laterais sem contato com outra zona térmica. Esse tipo de parede interna é definido com a propriedade de ser adiabático¹⁴⁵;
- Paredes do fundo das unidades. Esse tipo de parede é definido com a propriedade de ser adiabático.

Seguindo essa lógica, as propriedades de contato com outra zona ou adiabática para os pisos e tetos das 9 unidades são atribuídas.

Salienta-se neste ponto que a unidade 5 utilizada para as medições durante as simulações, possui 1 parede externa, 1 parede interna do fundo adiabático, 2 paredes internas laterais com contato com as zonas 4 e 6, respectivamente, assim como 1 teto em contato com a zona 2 e 1 piso em contato com a zona 7. É importante salientar que existem fluxos de calor somente nos casos de contato com outra zona ou com o exterior.

O arquivo criado representa a organização geométrica do modelo. O arquivo é salvo no formato *.idf* a fim de garantir que o mesmo seja aberto no IDF-Editor do EP para o detalhamento com das demais informações necessárias. Esse processo é descrito no próximo subcapítulo.

MODIFICAÇÃO

Para criar o arquivo que será utilizado como arquivo de entrada para as simulações com o EP, é necessário adicionar e editar vários atributos dentro do arquivo *.idf* utilizando o IDF-Editor. Convém mencionar que esse tipo de arquivo pode ser editado com um editor de texto, mas a interface gráfica do IDF-Editor facilita a organização e modificação dos dados.

Abrindo o arquivo salvo através do OpenStudio, todas as opções do EP podem ser visualizadas. Em geral, cada opção permite a criação de vários elementos que podem ser definidos separadamente. Além disso, é possível deixar opções sem elementos, o que significa que o EP não vai tratá-las.

Nos próximos parágrafos, as mais importantes modificações no arquivo do modelo deste trabalho são apresentadas. A enorme complexidade do EP não permite uma descrição exaustiva, mas para mais detalhes os arquivos completos podem ser

¹⁴⁵ **adiabático**, palavra derivada do grego *adiabatos* (impenetrável), que descreve que um elemento ou sistema esteja isolado de trocas de calor ou matéria com um meio externo

consultados no apêndice digital deste trabalho. Salienta-se também que o modelo empregado utiliza somente uma fração das opções oferecidas.

Note que a ordem na qual as modificações são apresentadas não necessariamente representa a ordem em que se encontram na lista da ferramenta IDF-Editor.

Em geral, o modelo adotado não inclui luzes externas, equipamento para o resfriamento ou calefação. Todos os elementos que se referem à esses pontos não foram utilizadas e assim, não existem elementos para serem lidos durante a simulação térmica com o EP. Para a adaptação das construções e, especialmente para as séries que requerem variações nas composições das paredes ou janelas foram incluídos 205 materiais sólidos, 64 materiais sem massa, 2 definições para estratos de ar, 67 materiais de vidro e finalmente, 1 material de vidro termo-cromático e 16 materiais gasosos. Esses elementos foram copiados de um arquivo proveniente do curso do Professor Paulo Otto Beyer nominado “Comportamento Térmico de Edificações” oferecido pela pós-graduação em engenharia mecânica da UFRGS (PROMEC).

Timestep (passo de tempo): utiliza-se o valor 4 para esta dissertação. Isso representa quatro cálculos por hora, ou seja, um cálculo a cada 15 minutos. É importante salientar que a medição da temperatura acontece em passos maiores. A medição da temperatura é feita a cada hora resultando assim, em um arquivo de saída com 8760 temperaturas para cada simulação.

Site:Location (localização da construção): utilizam-se os valores referentes à posição do aeroporto internacional de Porto Alegre, onde os dados climáticos foram coletados. Isso resulta em uma latitude de -30 graus, uma altitude de -51,18 graus, assim como uma altura sobre o nível do mar de 4 m e uma referência temporal de -3 horas em relação ao *Greenwich Mean Time* (GMT).

Sizingperiod:Designday (período de dimensionamento: *Designday*): foram utilizados 3 dias para o dimensionamento. O modelo utiliza *Porto Alegre Aero Ann Htg 99.6% Condns DB*, *Porto Alegre Aero Ann Clg .4% Condns DB=>MWB* e *Porto Alegre Aero Ann Clg .4% Condns WB=>MDB*. Esses dias representam três casos extremos. Esses casos incluem 1 dia para o dimensionamento durante dias frios com 4,1 °C, assim como 2 dias de calor, sendo um baseado na medida de bulbo seco com 34,9 °C e bulbo úmido com 24,6 °C para representar um dia quente e úmido. O segundo dia, sendo menos quente mas ainda úmido, é representado por uma temperatura de bulbo seco com 31,6 °C e de bulbo úmido de 26,3 °C.

Runperiod (período de simulação): para simular um ano inteiro com suas 8760 horas foi escolhido o dia 01 de janeiro para o começo e o dia 31 de dezembro para o fim da simulação.

Schedule: Compact (itinerário compacto): Os quinze elementos definidos nessa categoria representam entre outros os horários de funcionamento para os seguintes itens:

- *Light* (luzes): representando as luzes dentro das 9 unidades;
- *Equipment* (equipamento): representando os computadores utilizados pelos usuários das 9 unidades;
- *Occupancy* (ocupação): definindo os horários nos quais o prédio está em uso, ou seja, quando pessoas se encontram no interior do mesmo. Basicamente, é definida uma ocupação reduzida entre 6:00 h e 8:00 h assim como entre 18:00 h e 24:00 h. Enquanto é previsto uma ocupação de 95 % para as horas de trabalho, sendo das 8:00 h as 12:00 h e das 13:00 h as 18:00 h, com uma redução para 50 % durante a hora do almoço.

SetpointManager (gerenciador de *setpoint*): como o modelo desta dissertação não utiliza nenhum tipo de resfriamento ou de calefação, todos os *setpoints* foram eliminados.

Na categoria denominada *Internal Gains* (ganhos internos) três categorias foram adaptadas. Cada uma das categorias abaixo listadas foi preenchida com um elemento para cada unidade do modelo:

- *People* (pessoas): representando o ganho de calor emitido por cada pessoa no interior do prédio. Este trabalho utiliza a definição através da fração entre área de piso por pessoa e adapta um valor de 8 m² por pessoa. Este valor representa 100 % e a redução durante as horas do dia é efetuada segundo o itinerário para a ocupação;
- *Lights* (luzes): representando o ganho de calor causado por luzes internas. O trabalho adota um valor de 12 W/m² como 100% e a redução durante as horas do dia é efetuada baseada no itinerário das luzes;
- *ElectricEquipment* (equipamento eletrônico): representando o ganho de calor emitido por equipamentos como computadores nas unidades. Este trabalho adota um valor de 16,1 W/m² como 100 % e a redução durante as diferentes horas do dia é efetuada de acordo com o itinerário para equipamento.

Completando essas informações, 2 trocas de ar por hora são definidas. Para obter todas as informações e detalhes sobre a configuração do arquivo, consulte o anexo digital.

O modelo possui definições para as construções das paredes internas, paredes externas, assim como para os pisos e tetos das unidades. Abaixo a composição dessas construções é descrita em detalhe.

Construction: Interior Floor (construção do piso interno): este elemento arquitetônico é definido do modelo e será inalterado para as variações.

Listando os elementos dessa construção a partir do elemento externo, o piso é composto por:

- *F16 accustic tile* (elemento acústico): painel acústico de 1,91 cm de espessura e com $\lambda = 0,06$ W/mK;
- *F05 ceiling air space* (estrato de ar): espaço de ar considerado não ventilado de 0,18 m e com $\lambda = -1$ W/mK;
- *M13 200mm lightweight concrete* (concreto leve de 200 mm): sendo a laje construída de concreto com uma espessura de 0,2 m e com $\lambda = 0,53$ W/mK;
- *Concrete: Sand and gravel or stone aggregate concretes - 2080 kg/m³ - 51mm* (concreto a base de areia e areia grossa): representando um piso flutuante de 5,1 cm e com $\lambda = 1,45$ W/mK.

Isto resulta em um valor da transmitância de $U = 1,31$ W/m²K.

Construction: Interior Ceiling (construção do teto interno): essa construção consiste dos mesmos elementos que a construção do piso, sendo listada a seguir:

- *Concrete: Sand and gravel or stone aggregate concretes - 2080 kg/m³ - 51mm* (concreto a base de areia e areia grossa): representando um piso flutuante de 5,1 cm e com $\lambda = 1,45$ W/mK;
- *M13 200mm lightweight concrete* (concreto leve de 200 mm): sendo a laje construída de concreto com uma espessura de 0,2 m e com $\lambda = 0,53$ W/mK;
- *F05 ceiling air space* (estrato de ar): espaço de ar considerado não ventilado de 0,18 m e com $\lambda = -1$ W/mK;
- *F16 accustic tile* (elemento acústico): painel acústico de 1,91 cm de espessura e com $\lambda = 0,06$ W/mK.

Isto resulta em um valor da transmitância da componente composta de $U = 1,31$ W/m²K.

Construction: Exterior Wall (construção da parede externa): como para todas as construções, o EP define a composição a partir do elemento externo. Assim, a parede externa é definida como segue:

- *F07 25mm stucco* (reboco): representa um reboco de cor cinza claro com uma espessura de 2,5 cm e com $\lambda = 0,72$ W/mK;
- *Brick - fired clay - 1920 kg/m³ - 102mm* (tijolo): consistem em um tijolo a base de argila de baixa densidade para representar um tijolo com 8 furos e com uma espessura de 10,2 cm e com $\lambda = 0,895$ W/mK;
- *Brick - fired clay - 1920 kg/m³ - 102mm* (tijolo): representa um tijolo a base de argila de baixa densidade para representar um tijolo com 8 furos e com uma espessura de 10,2 cm e com $\lambda = 0,895$ W/mK;

- *F07 25mm stucco* (reboco): representa nesse caso o reboco interno de cor cinza claro com uma espessura de 2,5 cm e com $\lambda = 0,72$ W/mK.

Isto resulta em um valor da transmitância da componente composta de $U = 1,61$ W/m²K.

Observe que para simular um tijolo assentado na maior dimensão, de 20,0 cm, foram colocados 2 elementos somando 20,4 cm de espessura.

Construction: Interior Wall (parede interna): As paredes internas do modelo são compostas pelos seguintes elementos:

- *F07 25mm stucco* (reboco): sendo nesse caso um reboco de cor cinza claro com uma espessura de 2,5 cm e com $\lambda = 0,72$ W/mK;
- *Brick - fired clay - 1920 kg/m³ - 102mm* (tijolo): sendo um tijolo a base de argila de baixa densidade para representar um tijolo com 8 furos e com uma espessura de 10,2 cm e com $\lambda = 0,895$ W/mK;
- *F07 25mm stucco* (reboco): sendo nesse caso o reboco interno de cor cinza claro com uma espessura de 2,5 cm e com $\lambda = 0,72$ W/mK.

Isto resulta em um valor da transmitância da componente composta de $U = 2,28$ W/m²K.

Construction: Exterior Window (janela externa): A janela externa adotada pelo modelo é um vidro simples. A construção no EP é descrita abaixo:

- *Clear 3mm* (vidro claro): representando um vidro simples incolor com 0,3 cm de espessura e com $\lambda = 0,9$ W/mK.

Isto resulta em um valor da transmitância da componente composta de $U = 4,92$ W/m²K.

Além dessas construções foram também definidos os móveis, simulados por uma superfície de 10 m² de madeira com uma espessura de 12,7 cm em cada unidade, representado pelo material *F11 Wood siding*.

A partir dessas impositações foram criados 4 arquivos que representam as 4 orientações solares. O arquivo que tem o valor de 0 para *Building: North Axis* (eixo norte do prédio), representando uma rotação de 0 grau, é simulado com a fachada externa orientada para sul. Os arquivos com 90, 180 e 270 representam as orientações solares de leste, norte e oeste, respectivamente. A rotação do eixo é indicada no nome do arquivo através da inserção do valor da rotação em graus no final do mesmo.

Para gerar os dados necessários para a análise proposta neste trabalho, é necessário impositar os dados de saída a serem salvos no arquivo. No caso desta dissertação foi necessário incluir as temperaturas de bulbo seco da unidade 5 para cada hora durante o ano todo. Isso é realizado através da opção *Output:Variable* (dados de saída variáveis) criando o elemento *Zone Mean Air Temperature* (temperatura do ar média da zona) e pedindo a medição *hourly* (cada hora). Isso resulta no arquivo contendo as medições das 8760 horas para as 9 unidades.

O nome dos arquivos que representam os prédios do modelo e os demais detalhes necessários para a simulação térmica segue a orientação abaixo:

- *0_0 90.idf* representando o modelo rotacionado de 90 graus que, por sua vez, representa uma orientação da fachada para o leste.
- *0_0 180.idf* representando o modelo rotacionado de 180 graus que, por sua vez, representa uma orientação da fachada para o norte.
- *0_0 270.idf* representando o modelo rotacionado de 270 graus que, por sua vez, representa uma orientação da fachada para o oeste.

CONSTRUÇÃO DAS VARIAÇÕES DO ESTUDO DE CASO

Todas as variações do estudo de caso foram construídas baseadas na descrição do edifício e dos demais detalhes para a simulação a partir do modelo. As modificações necessárias para analisar os elementos arquitetônicos definidos no capítulo sobre *Metodologia* e sobre os valores e definições apresentados no capítulo *Séries e Variações do Estudo de Caso* foram realizados ou através de modificações na ferramenta SketchUp ou através do IDF-Editor.

Isso resulta em arquivos denominados conforme exemplos abaixo:

- *1_3_2 90.idf*: representando o estudo de caso no grupo 1 (paredes), sendo o terceiro caso deste grupo sobre o atraso térmico. O arquivo define a segunda variação e além disso o prédio deste arquivo é rotacionado de 90 graus, resultando em uma fachada orientado para leste;
- *2_2_5 180.idf*: representando o estudo de caso no grupo 2 (janelas), sendo o segundo caso deste grupo sobre área da abertura em relação à fachada. O arquivo define a quinta variação e além disso o prédio deste arquivo é rotacionado de 180 graus, resultando em uma fachada orientado para norte.

As mudanças realizados para impostar as definições de todas as variações são brevemente descritas nos próximos parágrafos.

a. Transmitância térmica parede externa

Esta série trata da transmitância térmica da parede externa e modifica a composição da mesma. Essa modificação é realizada utilizando a ferramenta do IDF-Editor. Em mais detalhes, é modificado o elemento *Construction:External Wall* (construção da parede externa).

A primeira variação descreve uma parede externa com a transmitância térmica de $U = 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ composta de:

- *Brick - fired clay - 1920 kg/m³ - 102mm* (tijolo): sendo um tijolo a base de argila de baixa densidade utilizado para representar um tijolo com 8 furos e com uma espessura de 10,2 cm;

- *AIR 13MM* (camada de ar): representando uma estrato de ar não ventilado com espessura de 1,27 cm;
- *Concrete: Sand and gravel or stone aggregate concretes - 2240 kg/m³ - 102mm* (concreto a base de areia e areia grossa): representando uma parede de concreto de média densidade com 10,2 cm de espessura;

A segunda variação representa a parede externa conforme definida no modelo, ou seja, com uma transmitância $U = 1,61 \text{ W/m}^2\text{K}$.

A parede externa da terceira variação foi modificada para obter uma transmitância de $U = 3,13 \text{ W/m}^2\text{K}$, com a composição de:

- *F07 25mm stucco* (reboco): sendo nesse caso um reboco de cor cinza claro com uma espessura de 2,50 cm;
- *Brick - fired clay - 1920 kg/m³ - 102mm* (tijolo): sendo um tijolo a base de argila de baixa densidade utilizado para representar um tijolo com 8 furos e com uma espessura de 10,2 cm;
- *F07 25mm stucco* (reboco): sendo nesse caso o reboco interno de cor cinza claro com uma espessura de 2,5 cm.

A quarta variação representa uma parede externa com um valor $U = 4,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ composta por:

- *Concrete: Sand and gravel or stone aggregate concretes - 2240 kg/m³ - 102mm* (concreto a base de areia e areia grossa): representando uma parede de concreto de média densidade com 10,2 cm de espessura.

A quinta variação define uma parede externa com uma transmitância térmica de $U = 5,04 \text{ W/m}^2\text{K}$ e com as seguintes características:

- *Concrete: Sand and gravel or stone aggregate concretes - 2240 kg/m³ - 51mm* (concreto a base de areia e areia grossa): representando uma parede de concreto de média densidade com uma espessura de 5,10 cm.

b. Transmitância térmica parede interna

Esta série trata de paredes internas com transmitâncias térmicas diferentes. As modificações abaixo descritas são realizadas utilizando o IDF-Editor. Trata-se de modificações no elemento *Construction: Interna Wall* (construção da parede interna).

A primeira variação descreve uma parede interna com uma transmitância térmica de $U = 0,66 \text{ W/m}^2\text{K}$ composta de:

- *Gypsum or plaster board - 9.5mm* (placa de gesso cartonado): sendo uma placa simples de gesso cartonado com uma espessura de 0,95 cm;
- *000 Insulation: Glass fiber - organic bonded - 500mm* (isolamento térmico de lã de vidro): representando placas de lã de vidro com uma espessura de 50 cm. Salienta-se que esse material foi criado para esta dissertação baseando-se em um material existente com uma espessura menor;
- *Gypsum or plaster board - 9.5mm* (placa de gesso cartonado): sendo uma placa simples de gesso cartonado com uma espessura de 0,95 cm.

A segunda variação representa a parede interna modificada para representar um valor $U = 1,61 \text{ W/m}^2\text{K}$ e possui a seguinte composição:

- *F07 25mm stucco* (reboco): sendo nesse caso um reboco de cor cinza claro com uma espessura de 2,5 cm;
- *Brick - fired clay - 1920 kg/m³ - 102mm* (tijolo): sendo um tijolo a base de argila de baixa densidade utilizado para representar um tijolo com 8 furos e com uma espessura de 10,2 cm;
- *Brick - fired clay - 1920 kg/m³ - 102mm* (tijolo): sendo um tijolo a base de argila de baixa densidade utilizado para representar um tijolo com 8 furos e com uma espessura de 10,2 cm;
- *F07 25mm stucco* (reboco): sendo nesse caso o reboco interno de cor cinza claro com uma espessura de 2,5 cm.

A parede interna da terceira variação representa a parede interna conforme definida no modelo, ou seja, de $2,28 \text{ W/m}^2\text{K}$.

A quarta variação representa uma parede interna com um valor $U = 3,13 \text{ W/m}^2\text{K}$ composta como segue:

- *F07 25mm stucco* (reboco): sendo nesse caso um reboco de cor cinza claro com uma espessura de 2,5 cm;
- *Brick - fired clay - 2400 kg/m³ - 102mm* (tijolo): sendo um tijolo a base de argila de média densidade utilizado para representar um tijolo maciço com uma espessura de 10,2 cm;
- *F07 25mm stucco* (reboco): sendo nesse caso o reboco interno de cor cinza claro com uma espessura de 2,5 cm.

A quinta variação define uma parede externa com uma transmitância térmica de $U = 3,88 \text{ W/m}^2\text{K}$ e com as seguintes características:

- *000 M15 220mm heavyweight concrete* (concreto a base de areia e areia grossa): representando uma parede de concreto de alta densidade com uma espessura de 0,22 m.

c. Atraso térmico

Esta série trata do atraso térmico da parede externa e conseqüentemente, modifica a composição da mesma nas suas variações. As modificações realizadas no IDF-Editor resultam em mudanças no elemento *Construction: External Wall* (construção da parede externa). A primeira variação descreve uma parede externa com um atraso térmico de 1,3 h que é composta de:

- *Concrete: Sand and gravel or stone aggregate concretes - 2400 kg/m³ - 51mm* (concreto a base de areia e areia grossa): representando uma parede de concreto de média-alta densidade com 5,1 cm de espessura.

A segunda variação representa a parede externa modificada para representar um atraso térmico de 2,7 h composto de:

- *Concrete: Sand and gravel or stone aggregate concretes - 2400 kg/m³ - 102mm* (concreto a base de areia e areia grossa): representando uma parede de concreto de média-alta densidade com 10,2 cm de espessura.

A parede interna da terceira variação representa a parede interna como definida no modelo, ou seja, com um atraso térmico de 4,5 h.

A quarta variação representa uma parede interna com um valor de atraso térmico de 5,9 h composta como segue:

- *F07 25mm stucco* (reboco): sendo nesse caso um reboco de cor cinza claro com uma espessura de 2,5 cm;
- *Brick - fired clay - 1920 kg/m³ - 140mm* (tijolo): sendo um tijolo a base de argila de baixa densidade para representar um tijolo de 6 furos com uma espessura de 14 cm. Salienta-se que esse material foi criado para esta dissertação baseando-se em um material existente com uma espessura menor;
- *F07 25mm stucco* (reboco): sendo nesse caso o reboco interno de cor cinza claro com uma espessura de 2,5 cm.

A quinta variação representa uma parede interna com um atraso térmico de 7,33 h composta como segue:

- *F07 25mm stucco* (reboco): sendo nesse caso um reboco de cor cinza claro com uma espessura de 2,5 cm;
- *Brick - fired clay - 1920 kg/m³ - 200mm* (tijolo): sendo um tijolo a base de argila de baixa densidade utilizado para representar um tijolo de 6 furos com uma espessura de 20 cm. Salienta-se que esse material foi criado para esta dissertação baseando-se em um material existente com uma espessura menor;
- *F07 25mm stucco* (reboco): sendo nesse caso o reboco interno de cor cinza claro com uma espessura de 2,5 cm.

d. Fator Solar Elementos Opacos

Esta série trata do fator solar dos elementos opacos, ou seja, da absorptância solar e visível da superfície externa da parede em contato com o exterior. Assim, as modificações para a geração das variações são realizadas no IDF-Editor alterando as características do material externo da parede externa do modelo. Os valores para *Solar Absorptance* (absorptância solar) e *Visible Absorptance* (absorptância visível) do material descrito em *F07 25mm stucco* foram alterados. Note que em todas as variações a absorptância térmica não é modificada.

A primeira variação descreve uma parede externa com uma absorptância solar de 0,31 e um valor de também 0,31 para a absorptância visível. Isso representa uma superfície na cor amarela.

A segunda variação representa a parede externa modificada a fim de garantir uma absorptância solar e um valor para a absorptância visível de 0,47, representando assim uma cor cinza claro.

A parede externa da terceira variação representa a parede interna como definida no modelo, sendo com um valor de 0,62 definido para a absorptância solar e visível.

A quarta variação representa uma parede externa com um valor de 0,78 para as duas absorvâncias, representando assim uma cor externa de um vermelho escuro.

A quinta variação representa uma parede externa que representa uma cor próxima do preto. Assim, um valor de 0,97 para as absorvâncias solar e visível é adotado.

e. Área Abertura / Área Piso

Esta série modifica a largura da janela para criar diferentes relações entre o tamanho da janela e o piso. A largura das janelas de todas as unidades é modificada em SU. Convém salientar que a posição horizontal da janela é sempre centralizada e que a posição vertical não é modificada.

As variações adotam larguras de 4,99 m, 3,92 m, 2,85 m, 1,75 m e 0,67 m, respectivamente.

É importante salientar que a terceira variação com uma largura de 2,85 m representa a largura adotada no modelo e que a largura da primeira variação é diminuída de 5 m para 4,99 m porque uma janela com a largura da parede externa criaria duas superfícies separadas, uma parte acima e uma outra abaixo da janela. Essa situação causa problemas na interpretação das superfícies através da ferramenta OpenStudio. Assim, foi incluído um espaço de 0,5 cm de cada lado da janela a fim solucionar esse problema a partir de uma alteração mínima da superfície total de somente 0,02 m².

f. Área Abertura / Área Fachada

Esta série modifica a largura da janela para criar diferentes relações entre o tamanho da janela e a fachada. A largura das janelas de todas as unidades foi modificada em SU. Salienta-se que a posição horizontal da janela é sempre centralizada e que a posição vertical não é modificada.

As variações adotam larguras de 4,99 m, 3,92 m, 2,85 m, 1,75 m e 0,67 m, respectivamente.

Convém mencionar que a terceira variação com uma largura de 2,85 m representa a largura adotada no modelo e que a largura da primeira variação foi diminuída de 5 m para 4,99 m. Esta modificação foi realizada porque uma janela com a largura da parede externa criaria duas superfícies separadas, uma parte acima e uma outra abaixo da janela causando assim, problemas durante a importação do arquivo para EP. Isso causa uma alteração mínima da superfície total de 0,02 m².

g. Altura Verga

Nesta série a posição da janela no sentido vertical, ou seja, a altura da verga medida a partir do piso foi alterada. A modificação é realizada em SU, utilizando a ferramenta de *move* (mover).

As variações representam alturas da verga de 1,4 m, 1,8 m, 2,2 m, 2,6 m e 2,99 m, respectivamente. Isso requer que nas 2 primeiras variações a janela seja deslocada de 0,8 m para 0,4 m, enquanto nas 2 últimas de 0,4 m para 0,8 m mais alto do que no modelo representado a terceira variação.

Salienta-se que a quinta variação deixa um espaço de 0,5 cm do limite superior da parede externa para evitar problemas na interpretação da geometria durante a exportação pelo OpenStudio.

h. Tipo de vidro

A série *tipo de vidro* modifica o fator solar (FS) das janelas com o tamanho definido no modelo. Essas modificações foram realizadas utilizando o IDF-Editor. Para garantir os valores exatos definidos anteriormente para esta série, foi utilizada a categoria *WindowMaterial: SimpleGlazingSystem* (material da janela: sistema de vidro simplificado). Através dessa categoria o EP permite a definição do material do vidro utilizando o fator U assim como o *Solar Heat Gain Coefficient* (coeficiente do ganho térmico solar ou FS) ao invés de uma definição através de uma composição de materiais. Esses valores são derivados da especificação dos vidros mencionados anteriormente.

A primeira variação representa um vidro com um fator U de 5,7 W/m²K e um FS de 0,55.

A segunda variação define um valor de 1,7 W/m²K para o fator U e 0,63 para o FS.

Um valor de 0,75 para o FS e um de 3,3 para o fator U foram adotados na terceira variação.

A quarta variação adota 0,87 para o FS e 5,8 W/m²K para o fator U. Essa definição é congruente com uma composição de vidro simples incolor de 3 mm, conforme o modelo.

O mesmo valor de 5,8 W/m²K é considerado na quinta variação. Entretanto, essa variação adota o valor de 0,91 para o FS

i. Sombreamento horizontal

Esta série trata das variações de elementos horizontais de sombreamento. As modificações necessárias são realizadas em SU, desenhando uma nova geometria que, por sua vez, representa os elementos de sombreamento. Em mais detalhes, foi definido um retângulo de somente 2 dimensões com a largura da janela e uma profundidade que varia. SU com o *plug-in* de OpenStudio automaticamente identifica esse elemento como sombreamento. Note que o elemento é desenhado dentro da zona térmica de cada unidade e posicionado no limite superior da janela.

A primeira variação representa a ausência de sombreamento conforme o modelo. Entretanto, as 4 variações restantes definem elementos de sombreamento de 0,3 m, 0,6 m, 0,9 m e 1,2 m de profundidade, respectivamente, sendo que a maior proteção foi definida na primeira variação.

j. Sombreamento vertical

Esta série trata das variações de elementos verticais de sombreamento. As modificações para adotar o modelo são realizadas em SU, desenhando duas novas geometrias representando os elementos de sombreamento de cada lado da janela. Um retângulo de somente duas dimensões com a altura da janela e uma profundidade que

varia foi criado. SU com o *plug-in* de OpenStudio automaticamente identifica esses elementos como sombreamentos. Note que os elementos são desenhados dentro da zona térmica de cada unidade e posicionados nos limites laterais da janela.

A primeira variação representa o modelo, ou seja, não possui nenhum sombreamento. Entretanto, as 4 variações restantes definem elementos de sombreamento de 0,6 m, 1,19 m, 1,79 m e 2,38 m de profundidade, respectivamente, sendo que a maior proteção foi definida na primeira variação.

k. Área do piso da unidade

Esta série modifica a área do piso através da modificação da profundidade das 9 unidades. Para obter os valores definidos anteriormente, cada unidade foi modificada em SU. Convém mencionar que a largura da unidade não foi modificada.

As variações aumentam e diminuem a área de piso do modelo. As unidades da primeira variação foram modificadas para uma profundidade de 3,00 m, diminuindo a unidade do modelo de 1 m. A segunda variação contém unidades de 3,5 m de profundidade. Com unidades de 5 m x 4 m, a variação 3 representa o modelo, enquanto as variações 4 e 5 aumentam a profundidade das unidades para 5 m e 6 m, respectivamente.

l. Área Fachada / Área Piso

Para alterar a fração entre a área do piso e a área da fachada, esta série modifica a altura das 9 unidades, deixando as dimensões do piso inalteradas. Para obter os valores definidos anteriormente, cada uma das unidades foi modificada em SU.

As variações aumentam e diminuem a altura definida no modelo. As unidades da primeira variação foram modificadas para uma altura de 2,25 m, diminuindo a unidade do modelo de 0,75 m. A variação 2 contém unidades de 2,63 m de altura. Com unidades de 3 m de altura, a terceira variação representa o modelo. Entretanto, a quarta e quinta variação aumentam a altura das unidades para 3,38 m e 3,75 m, respectivamente.

EXECUÇÃO DAS SIMULAÇÕES

Com as 12 séries contendo cada uma delas 5 variações, a metodologia aplicada resulta em 60 variações. Para cada uma dessas variações foram criados 4 arquivos com diferentes rotações representando assim, as orientações solares da fachada para sul, leste, norte e oeste, respectivamente. Assim, existem 240 arquivos *.idf* contendo as descrições do prédio, da posição, e dos demais detalhes descritos anteriormente. Salienta-se que somente 196 variações foram simuladas, visto que a variação que contém as impostações do modelo repetem-se para todas as séries.

Este subcapítulo explica os passos realizados durante a realização da simulação térmica com EP. Além disso, uma breve explicação da composição do segundo arquivo de entrada necessário para a simulação, ou seja, o arquivo climático, é realizada. Finalmente, o procedimento da simulação, a nomenclatura assim como algumas informações sobre o formato do arquivo de saída são descritos.

a. ARQUIVO CLIMÁTICO

O arquivo climático de Porto Alegre utilizado nesta dissertação foi disponibilizado pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal do Santa Catarina (LABEEE)¹⁴⁶. Esse arquivo contém dados horários das condições climáticas com o objetivo de simular o desempenho térmico de edificações. Devido as poucas estações com medição automática, existem somente escassos dados coletados no território brasileiro.

Para Porto Alegre existem dados obtidos da INFRAERO no local do Aeroporto Internacional de Porto Alegre. A partir desses arquivos, foi realizada uma revisão e correção de dados, preparando-os para novas compilações. Os arquivos climáticos existentes foram comparados e foram realizados os ajustes necessários a fim de corrigir eventuais incompatibilidades dos dados no que diz respeito a realidade climática do local ao qual o arquivo se refere. Como não havia medições horárias de radiação solar, esses valores foram estimados.

Este trabalho utiliza um arquivo climático tipo TRY elaborado no LABEEE da Universidade Federal de Santa Catarina. Esse laboratório disponibiliza dados para várias cidades brasileiras, entre elas encontra-se também os dados referentes à Porto Alegre. No total estão disponíveis arquivos de 411 locais no território brasileiro. Por fim, três tipos de arquivos climáticos foram produzidos. Os arquivos do tipo *.bin*, os arquivos tipo *.epw* para simulação do desempenho térmico de edificações no programa EP, e também arquivos climáticos no formato texto, *.csv*, de forma que o usuário possa não somente consultar mas também manipular os dados dos horário caso seja de seu interesse.

¹⁴⁶ LABEEE. **Arquivos Climáticos**. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos>. Acesso em: 05/06/2011

Os arquivos no formato *.epw* apresentam uma série de dados, entre os quais:

- Data;
- Hora;
- Temperatura a bulbo seco;
- Temperatura de ponto de orvalho;
- Umidade relativa;
- Pressão atmosférica;
- Radiação global extraterrestre horizontal;
- Radiação global horizontal;
- Radiação direta normal;
- Radiação difusa horizontal;
- Direção do vento;
- Velocidade do vento;
- Cobertura total de nuvens.

É importante salientar que para completar um arquivo do tipo *.epw* existem ainda mais possibilidades de dados, entretanto especificamente para este trabalho, não foi possível obter dados suficientes para preenche-los. Note que o programa EP não necessita que todos os dados sejam preenchidos para que sejam realizadas as simulações.

b. EXECUÇÃO E ARQUIVOS DE SAÍDA

Para executar a simulação, esta dissertação utiliza a ferramenta EP Launch Lite¹⁴⁷ que faz parte do pacote disponibilizado para a plataforma Macintosh. A interface gráfica necessita dois arquivos de entrada, sendo um o arquivo climático e o outro o arquivo *.idf* com a descrição do prédio e os comandos para a criação do arquivo de saída.

Assim, para cada um dos 196 arquivos criados anteriormente, o arquivo climático de Porto Alegre no formato *.epw* é escolhido e assim, a simulação inicia. Depois de aproximadamente 45 segundos, o EP gera uma série de arquivos de saída, entre os quais o arquivo no formato *.csv* (*comma seperated values* (valores separados por vírgula)). Esse arquivo contém as temperaturas de 8760 horas para cada unidade.

Com a simulação dos 196 arquivos *.idf*, a duplicação e a etapa de renomear esses arquivos, são realizadas ao final do processo. Assim, os 210 arquivos de saída são denominados conforme os seguintes exemplos:

- *I_3_2_90.csv*: contendo as medições para uma série do grupo 1 (paredes). Em mais detalhes, a terceira série desse grupo sobre o atraso térmico. O arquivo contém os resultados da segunda variação para o prédio rotacionado em 90 graus, resultando em uma fachada orientado para leste;

¹⁴⁷ U.S. Department of Energy. **EnergyPlus Energy Simulation Software**, Disponível em: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>. Acesso em: 02/08/2011

- *2_2_5 180.csv*: contendo as medições para uma série do grupo 2 (janelas), sendo assim a segunda série desse grupo sobre área da abertura em relação à fachada. O arquivo contém os resultados da quinta variação para o prédio rotacionado de 180 graus, resultando em uma fachada orientado para norte.

Todos os arquivos do tipo *.csv* estão disponíveis no apêndice digital. A formatação dos dados a serem analisados é descrita no próximo subcapítulo.

FORMATAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS

A formatação dos dados obtidos a partir dos arquivos *.csv* é realizada em Microsoft Excel 2011 para Macintosh, única ferramenta utilizada que não está disponível gratuitamente.

Os seguintes subcapítulos descrevem como os dados são importados e elaborados com a ferramenta para obter os dados para a análise proposta nesta dissertação. O processo de importação, os cálculos intermediários aplicados para a geração da planilha contendo os valores para a temperatura na unidade 5 e o cálculo das horas que essa temperatura encontra-se dentro da zona de conforto ou desconforto térmico definido nesta dissertação, se esse é causado por temperaturas muito baixas ou muito altas, são descritos brevemente. Para finalizar, este subcapítulo apresenta como os dois tipos de gráficos são obtidos e descreve brevemente as informações que os mesmos contém.

c. FORMATAÇÃO DO ARQUIVO .CSV

Em um primeiro passo, os dados do arquivo *.csv* são importados e salvos no formato *.xlsx* do Microsoft Excel. Assim, uma planilha com 9 colunas, cada uma delas contendo 8760 linhas com temperaturas e com a primeira linha descrevendo a origem desses valores é criada. Convém salientar que a temperatura é representada com 8 dígitos decimais nos arquivos de saída.

Em um segundo passo, cria-se uma segunda página no mesmo arquivo e as 8760 temperaturas simuladas por unidade, assim como as temperaturas provenientes do arquivo climático de Porto Alegre são copiadas para essa página. Assim, com base nesses dados e na definição para o conforto térmico anteriormente apresentada, executam-se os cálculos que geram a planilha final, contendo as horas de desconforto devido à temperaturas baixas ou altas e horas de conforto.

d. FORMATAÇÃO NUMÉRICA

Como primeiro passo, todas as células da planilha são impostadas para serem números com somente de 2 dígitos decimais, sendo isso suficientemente preciso para um modelo simplificado como o adotado.

Em um segundo momento, as colunas adotadas para gerarem os dados são apresentadas. Convém salientar que a ordem das colunas denominadas por letras não coincide com a ordem do procedimento.

Os dados de base, sendo as temperaturas simulados e as temperaturas externas do arquivo climático, encontram-se nas colunas F e G, respetivamente. A coluna E contém a data e hora de referência da medição e da simulação.

A coluna H é auxiliar e não influencia o resultado final, pois apresenta a diferença entre a temperatura simulada e a externa. Valores positivos representam que a temperatura no interior é superior à externa.

A coluna I contém o cálculo para obter o limite inferior de conforto como definido nesta dissertação. O campo da primeira linha contém o seguinte cálculo:

- $=((15.8+0.31*G1)+20)/2$

A coluna J contém o cálculo para o limite superior de conforto segundo a definição deste trabalho. A sua célula da primeira linha contém o seguinte conteúdo:

- $=((19.8+0.31*G1)+26)/2$

Para verificar se a temperatura no interior da quinta unidade encontra-se no intervalo entre os dois limites de conforto para essa hora do dia, a coluna A verifica a seguinte operação lógica:

- $=AND(F1>I1,F1<J1)$

Os campos da coluna A serão *FALSE* (falso) se o valor não se encontra na zona de conforto, enquanto serão preenchidos com *TRUE* (verdadeiro) no caso em que a temperatura interna encontra-se dentro desse intervalo.

Para obter o número de horas de conforto precisa-se uma segunda coluna. Assim, na coluna B o valor booleano é transformado em valores numéricos. No caso em que o valor da célula na coluna A seja *FALSE*, o valor da coluna B da mesma linha assume o valor 0, caso contrário o valor da célula na coluna B será de 1.

Isso é realizado através do seguinte comando:

- $=IF(A2=TRUE,1,0)$

Resta salientar que conseqüentemente, a soma das 8760 valores da coluna B na linha 8763 representa as horas de conforto durante um ano de simulação.

Para obter as especificações sobre a natureza do desconforto, sendo ele causado por temperaturas baixas ou altas, são utilizadas as colunas C e D. Na coluna C é verificado se a temperatura simulada é inferior ao limite inferior. Caso isso seja verdadeiro, a célula assume um valor de 1. Conseqüentemente, a soma realizada na linha 8763 representa as horas de desconforto devido à temperaturas baixas durante um ano de simulação. As células da coluna D verificam se a temperatura simulada é superior ao limite superior de conforto e assim, a soma encontrada na linha 8763 da coluna representa as horas de desconforto devido à temperaturas altas durante um ano de simulação.

Finalmente, na linha 8763 da coluna E encontra-se uma célula de controle, que soma o valor para horas de conforto e os dois valores de horas de desconforto. Esse valor deve sempre resultar em 8760, representando as horas do ano todo. A linha

8764 apresenta o valor em porcentagem para as horas de conforto ou desconforto, sendo que 100 % equivalem a 8760 horas por ano. Todas as planilhas, contendo os resultados em formato original e na segunda página em forma já elaborada, são disponíveis no apêndice digital.

A partir desse momento, somente os 3 valores em horas e as respectivas porcentagens serão utilizadas para gerar um arquivo de resumo para cada variação, incluindo também os 21 gráficos gerados.

A planilha de resumo apresenta esses 6 valores para todas as variações e orientações solares da série. Encontram-se na horizontal as 5 variações devidamente denominadas e nas colunas as 4 orientações, indicando a rotação em graus e a orientação solar da fachada. Para facilitar a leitura, as horas de conforto são apresentadas em verde, as horas de desconforto devido à temperaturas baixas em azul e as de desconforto devido à temperaturas altas em laranja. As porcentagens são apresentadas em cinza. A Figura 4.11 apresenta um exemplo desta planilha de resumo, neste caso para a série *Área Fachada / Área Piso*. Todas as planilhas de resumo são disponíveis no apêndice digital.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1		UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL																	
2		FACULDADE DE ARQUITETURA																	
3		PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA																	
4		Avaliação da Legislação Brasileira como Influência sobre o Conforto Térmico no Interior de Edifícios para Escritórios em Porto Alegre																	
5		LENNART BERTRAM PÖHLS, DIPL. ING. (ARCH.)																	
6																			
7		Simulações Térmicas do Estudo de Caso																	
8		SÉRIE: ÁREA FACHADA / ÁREA PISO																	
9																			
10			SUL (0 grau)			LESTE (90 graus)			NORTE (180 graus)			OESTE (270 graus)							
11																			
12		56.25 %	2639	221	5900	1693	79	6988	972	4	7784	1714	81	6965					
13			30.13	2.52	67.35	19.33	0.90	79.77	11.10	0.05	68.86	19.57	0.92	79.51					
14																			
15		65.625 %	3098	492	5170	2302	224	6234	1652	37	7071	2205	272	6283					
16			35.37	5.62	59.02	26.26	2.56	71.16	18.85	0.42	60.72	25.17	3.11	71.72					
17																			
18		75 %	3346	779	4635	2687	451	6622	2365	251	6144	2552	500	5708					
19			38.20	8.89	52.91	30.67	5.15	64.16	27.00	2.87	70.14	29.13	5.71	65.16					
20																			
21		84.375 %	3440	1086	4234	2929	711	5120	2935	256	5589	2718	752	5290					
22			39.27	12.40	48.33	33.44	8.12	58.45	33.50	2.92	63.57	31.03	8.58	60.39					
23																			
24		93.75 %	3448	1377	3935	3082	965	4713	3256	475	5029	2847	1023	4890					
25			39.36	15.72	44.92	35.18	11.02	53.80	37.17	5.42	57.41	32.50	11.68	55.82					
26																			

Figura 4.11: Planilha de resumo da serie *Área Fachada / Área Piso*. fonte: próprio autor

A partir dessa planilha são gerados os 21 gráficos descritos em mais detalhes no próximo subcapítulo.

FORMATAÇÃO GRÁFICA

Para facilitar a comparação dos dados de cada variação, os valores acima apresentados são utilizados para gerar 2 tipos de gráficos.

O primeiro gráfico apresenta a comparação das horas de conforto levando-se em consideração a simulação térmica com EP e o procedimento anteriormente apresentado. Cada variação é representada com uma linha de uma cor diferente conforme listado a seguir:

- Variação 1: azul escuro;
- Variação 2: vermelho;
- Variação 3: verde;
- Variação 4: lilás;
- Variação 5: ciano .

Cada uma dessas linhas é definida por 4 pontos representando as rotações. O eixo X representa as rotações enquanto, o eixo Y representa as horas de conforto segundo simulação e cálculo. Figura 4.12 apresenta um exemplo desse tipo de gráfico, neste caso para a série *Área Fachada / Área Piso*.

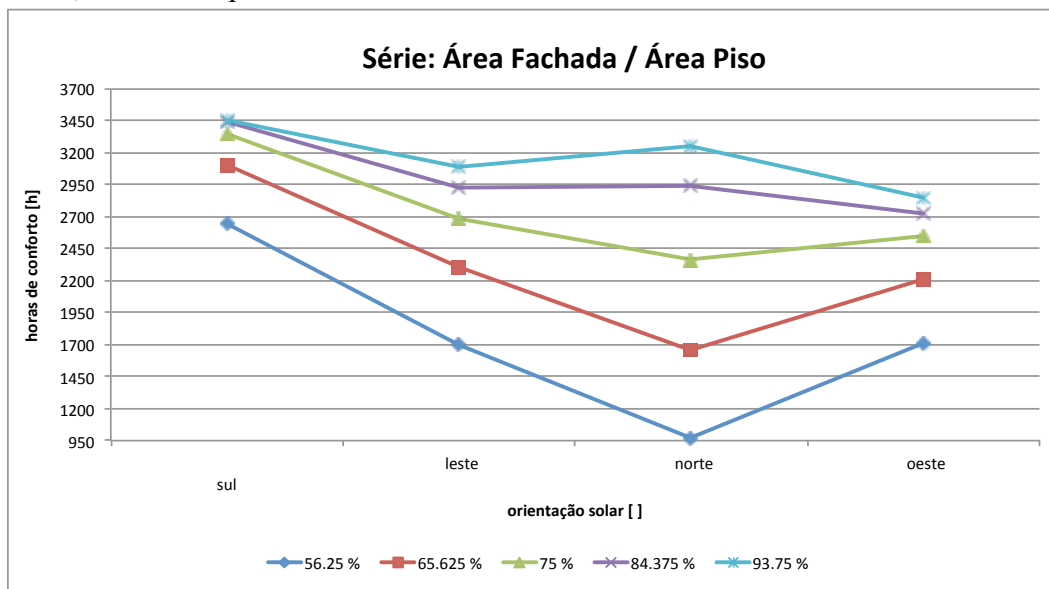


Figura 4.12: Gráfico para comparação das horas de conforto da série *Área Fachada / Área Piso*. fonte: próprio autor

Assim, podemos ver que a primeira variação com a orientação solar sul resulta em 2639 horas de conforto segundo a simulação térmica com EP. Entretanto, a quarta simulação, com orientação oeste obtém 2718 horas de conforto. É importante salientar, que esses valores não se referem a uma edificação real ou realística e serão utilizados somente para a análise comparativa entre os dados das simulações realizadas nesta dissertação.

O segundo tipo de gráfico apresenta os resultados de cada variação em combinação com cada rotação. O gráfico apresenta as horas e as porcentagens para

conforto, desconforto devido à temperaturas baixas e devido a temperaturas altas. Como na planilha, a área representando o conforto é representada em verde, o desconforto por temperaturas baixas é representado em ciano, enquanto que o desconforto devido à temperaturas altas utiliza a cor laranja. Assim, existe um gráfico para cada variação o que, por sua vez, resulta em 20 gráficos para cada série. A Figura 4.13 apresenta um exemplo desse segundo gráfico, representando as horas para a primeira variação da série *Área Fachada / Área Piso* com 0 grau de rotação, ou seja, com uma orientação solar verso sul. Salienta-se que nem todos os gráficos do segundo tipo são apresentados nos resultados e conclusões, mas todos eles estão disponíveis no apêndice digital e impresso.

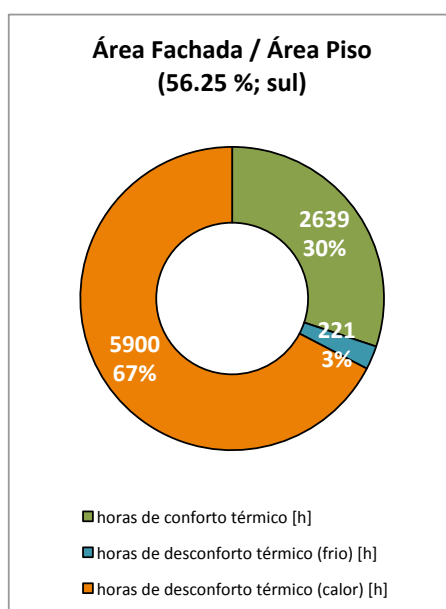


Figura 4.13: Gráfico das horas de conforto e desconforto para a primeira variação da série *Área Fachada / Área Piso*.

Pode ser visto, que a primeira variação da série *Área Fachada / Área Piso* com a orientação sul, resulta em 5900 horas de desconforto devido à temperaturas altas o que, por sua vez, equivale a 67 % das horas do ano simulado. É importante salientar, que os resultados não se referem a uma edificação real que possui ventilação ou condicionamento do ar e portanto, serão utilizados somente para a análise proposta.

5

DISCUSSÃO

Esta dissertação analisa a influência dos textos legislativos brasileiros sobre o conforto térmico no interior de ambientes destinados para o uso como escritório na cidade de Porto Alegre. Assim, a partir da metodologia anteriormente descrita, foram realizadas as simulações térmicas propostas neste trabalho.

5.1. RESULTADOS

Neste subcapítulo, os resultados obtidos através da simulação térmica são apresentados. Assim, os resultados obtidos são analisados separadamente para cada elemento arquitetônico, ou seja, para cada série. Além disso, a relação entre a descrição do elemento no texto legislativo e o conforto térmico obtido a partir das simulações é apresentada. É importante salientar que a avaliação dos textos legislativos será feita em um segundo passo no subcapítulo 5.2

a. Transmitância térmica parede externa

Esta série representa a transmitância térmica da parede externa. Os resultados obtidos estão representados no gráfico apresentado na Figura 5.1. Note que os menores valores para a transmitância representam paredes com alto isolamento.

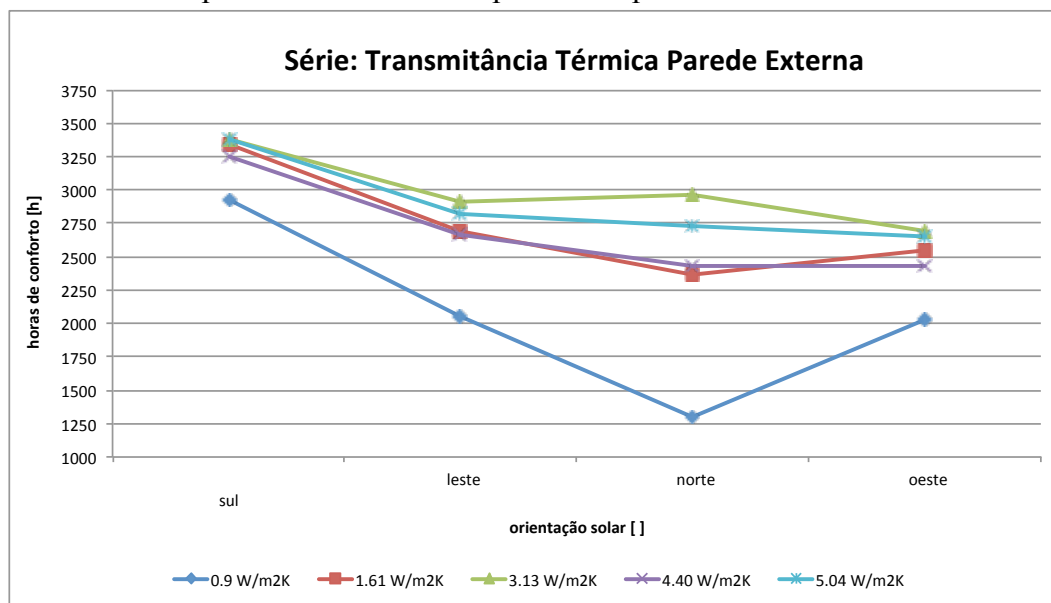


Figura 5.1: Resumo dos resultados da série *transmitância térmica parede externa*. fonte: próprio autor

A linha de azul escura representa a primeira variação com o menor valor para a transmitância térmica da parede externa, ou seja, para uma parede com uma transmitância de $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$. Da esquerda para direita são apresentadas as 4 orientações solares da primeira variação. É importante salientar que a mesma estrutura também foi adotada para as outras séries e variações.

Observando as horas de conforto para as orientações, com exceção do valor para 180° de rotação, representando o prédio com a fachada orientada para norte da segunda variação, todas as variações apresentam mais horas de conforto se o valor da transmitância térmica da parede externa é maior.

Observa-se também que os melhores resultados de conforto para cada orientação solar são obtidos na terceira variação que, por sua vez, representa um valor de $3,13 \text{ W/m}^2\text{K}$. Esse valor está ainda aceitável segundo a NBR15220, que define um valor máximo de $3,60 \text{ W/m}^2\text{K}$. Salienta-se que o Código de Obras de Porto Alegre prescreve uma parede com somente $1,61 \text{ W/m}^2\text{K}$, representado na segunda variação desta série.

A transmitância da terceira variação com o valor de $3,13 \text{ W/m}^2\text{K}$, apresenta uma diferença em horas de conforto entre o seu maior valor (3386 h para sul) e seu menor valor (2694 h para oeste) de 692h. Em comparação, a variação com o valor de $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$, apresenta uma diferença em horas de conforto entre o maior valor (2926h para sul) e o menor valor (1294h para norte) de 1632h. Em comparação, a

primeira variação ($0,09\text{W/m}^2\text{K}$) apresenta uma diferença de 35% mais alta do que a terceira variação ($3,13\text{ W/m}^2$).

Para todas as variações desta série, o melhor valor de horas de conforto é encontrado com a orientação de 0 grau, ou seja, para uma orientação da fachada para o sul.

A partir da análise isolada do elemento arquitetônico da parede externa em relação à sua transmitância é possível concluir que:

- Um valor de transmitância térmica intermediária resulta em mais horas de conforto térmico do que as transmitâncias maiores ou menores;
- A transmitância intermediária possui a menor sensibilidade para a orientação solar;
- As fachadas orientadas para sul garantem os melhores resultados.

Os resultados obtidos demonstram a problemática principal de um clima que varia entre frio e quente. As variações com alta transmitância mantêm o calor dentro do ambiente, o que causa resultados positivos durante as horas com temperaturas exteriores baixas, mas resulta em temperaturas acima do limite superior de conforto térmico para as horas com temperaturas exteriores altas. A Figura 5.2 demonstra a comparação entre a primeira e a quinta variação desta série para a orientação de 0 grau, ou seja, com a orientação solar da fachada para o sul.

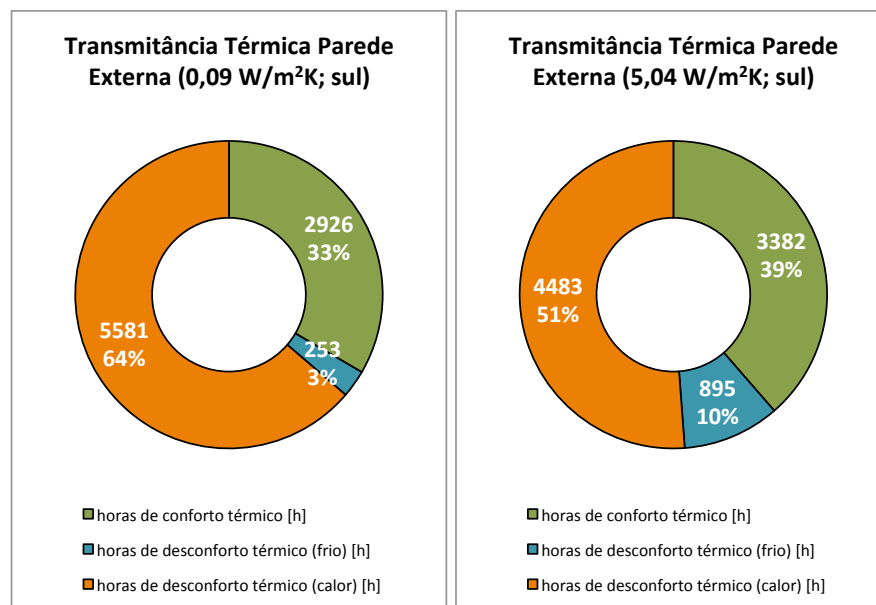


Figura 5.2: Detalhes das horas de desconforto para a primeira e quinta variação
fonte: próprio autor

Comparando as duas variações fica claro que a parede pouco isolada da quinta variação resulta em 3 vezes mais horas de desconforto por temperaturas baixas do que a primeira variação com paredes altamente isoladas. O contrário é observado para o desconforto por causa de temperaturas altas. As paredes da primeira variação

da série resultam no fato de que os ganhos de calor através das janelas são mantidos no interior do ambiente, causando assim desconforto em 64 % das horas do ano. Em comparação, paredes menos isoladas como na quinta variação reduzem as horas deste desconforto para 51 % das horas do ano. O valor mais elevado de horas de conforto no caso de paredes menos isoladas indica que as temperaturas externas altas são mais críticas para este elemento arquitetônico.

É muito importante salientar, que as mudanças realizadas durante esta série influenciam o comportamento térmico do ambiente não somente através do fenômeno aqui analisado. Os resultados completos e todos os gráficos podem ser consultados no apêndice digital.

b. Transmitância térmica parede interna

Esta série trata da transmitância térmica das paredes internas. Os resultados obtidos são apresentados no gráfico da Figura 5.3. Lembra-se que valores baixos para a transmitância representam paredes com alto isolamento.

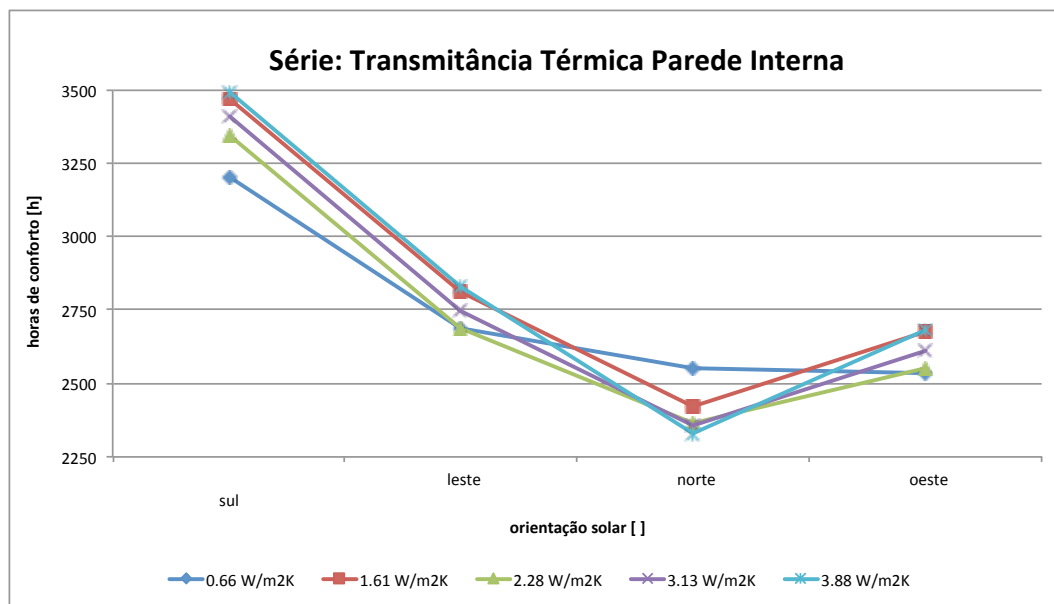


Figura 5.3: Resumo dos resultados da série *transmitância térmica parede interna*. fonte: próprio autor

Pode-se observar que a parede com o maior valor para a transmitância térmica, representando uma parede interna entre duas unidades simuladas com o valor de 3,88 W/m²K e orientação da fachada para o sul, resulta no maior número de horas de conforto. Entretanto, para a orientação solar norte o melhor valor é obtido para a parede da primeira variação que, por sua vez, representa uma parede interna com um valor de 0,66 W/m²K. Observa-se que a terceira variação que representa o valor sugerido pela legislação resulta em um dos três piores valores para cada orientação.

No caso exemplar da orientação solar sul, a ordem crescente das horas de conforto não corresponde nem ordem crescente nem a ordem decrescente dos valores

para a transmitância. Em geral, a observação do gráfico da Figura 5.3 relewa que não existe uma ordem das variações aplicáveis à todas as orientações.

Analisando os resultados de cada variação, fica evidente que as mesmas possuem o número mais alto de horas de conforto para a orientação sul. Com exceção da primeira variação, os valores mais baixos de horas de conforto são aqueles relacionados à rotação de 180 graus, que representa uma orientação solar da fachada para o norte. A segunda variação apresenta o seu pior resultado de horas de conforto na orientação solar oeste.

Além disso, observa-se que a primeira variação resulta em valores com a menor diferença (668) entre o seu maior número de horas de conforto, 3203 h para a orientação sul. Com o aumento do isolamento da parede interna, o modelo reage mais sensivelmente à rotação, resultando na maior diferença (1162 h) entre os valores extremos na quinta variação que, por sua vez, representa 174 % da diferença da primeira variação.

A partir da análise do elemento arquitetônico relacionado à parede interna no que diz respeito à sua transmitância, é possível concluir que:

- Para a orientação solar sul, um valor maior da transmitância resulta em mais horas de conforto térmico;
- Para a orientação solar norte, um valor mais baixo da transmitância resulta em mais horas de conforto;
- Todas as variações apresentam os melhores valores para horas de conforto na orientação da fachada para o sul;
- Maior é a transmitância térmica, menor é a sensibilidade em relação à orientação solar.

Os resultados desta série demonstram a problemática de um clima que apresenta temperaturas externas altas e baixas. As variações com alta transmitância mantêm o calor dentro do ambiente o que, por sua vez, causa resultados positivos durante as horas com temperaturas exteriores baixas, mas resulta em temperaturas acima do limite superior de conforto térmico para as horas com temperaturas exteriores altas. A Figura 5.4 apresenta a comparação entre a primeira e a quinta variação da série para as orientações solares norte e sul, respectivamente.

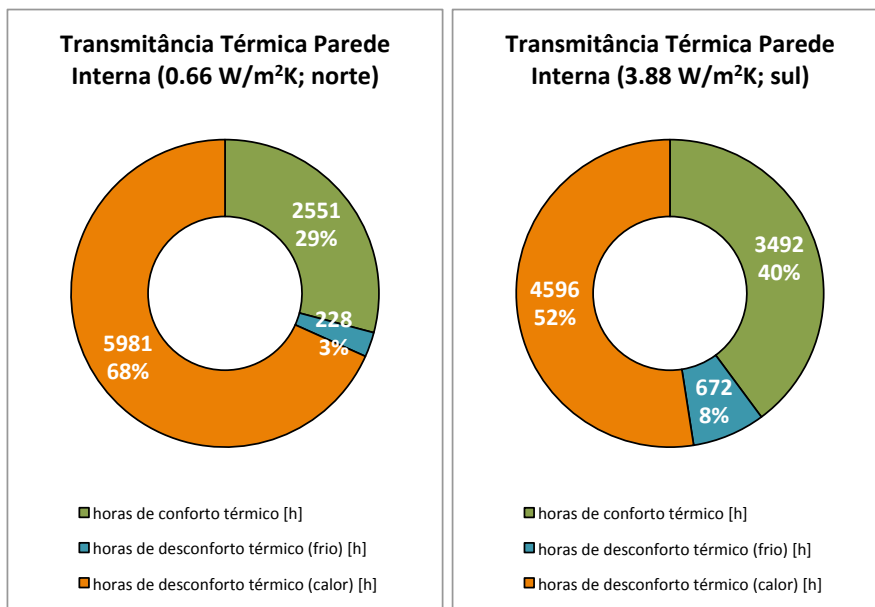


Figura 5.4: Detalhes das horas de desconforto para a primeira variação com orientação norte e a quinta variação na orientação sul. fonte: próprio autor

Comparando essas duas variações, observa-se que a parede pouco isolada da quinta variação resulta em quase 3 vezes mais horas de desconforto por temperaturas baixas do que a primeira variação com paredes altamente isoladas. O contrário é observado para o desconforto devido à temperaturas altas no interior do ambiente. As paredes da primeira variação causam desconforto em 68 % das horas do ano. Em comparação, paredes menos isolados como na quinta variação, reduzem as horas de desconforto para 52 % das horas do ano. Como o valor mais elevado de horas de conforto pode ser observado no caso de paredes menos isoladas deduz-se que as temperaturas externas altas são mais críticas para este elemento arquitetônico do que as temperaturas externas baixas.

É muito importante salientar, que as mudanças realizadas durante esta série influenciam o comportamento térmico do ambiente não somente através do fenômeno aqui analisado. A mudança na massa da construção é somente um exemplo para outros fatores que são interligados. Os resultados completos e todos os gráficos podem ser consultados no apêndice digital.

c. Atraso térmico

Esta série está associada ao atraso térmico das paredes. Os resultados obtidos são resumidos no gráfico apresentado na Figura 5.5.

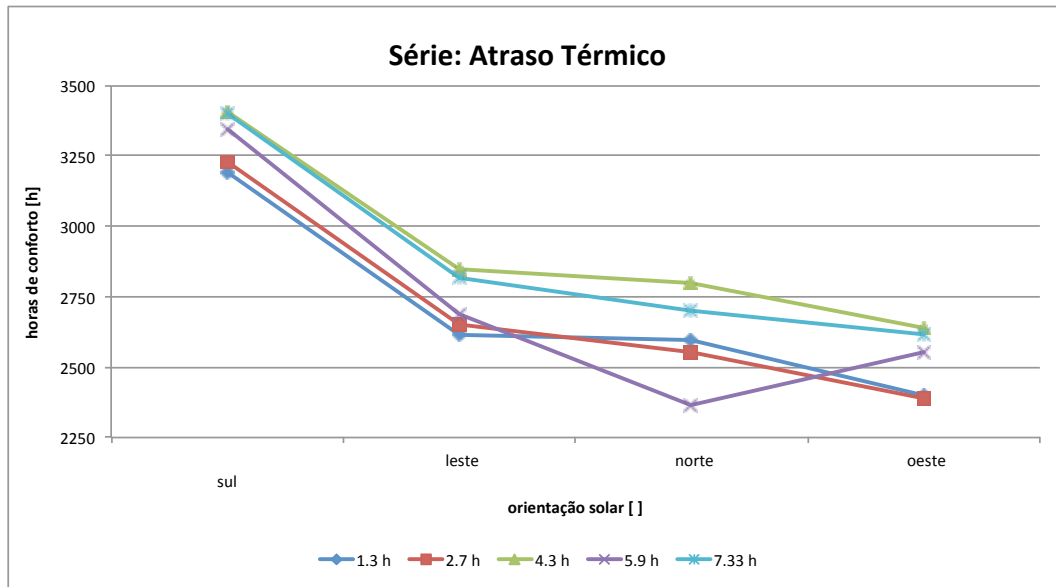


Figura 5.5: Resumo dos resultados da série atraso térmico. fonte: próprio autor

A Figura 5.5 demonstra que os melhores resultados para todas as orientações solares são obtidos com o valor de 4,3 h de atraso da terceira variação desta série. Convém salientar que esse valor representa a indicação do Código de Edificações de Porto Alegre¹⁴⁸. O valor prescrito pela legislação brasileira na NBR 15220¹⁴⁹ e adotado no modelo desta dissertação de 5,9 h, simulado na quarta variação, resulta em valores que dependem muito da orientação solar. As orientações sul e leste apresentam valores relativamente próximos aos melhores resultados. A orientação oeste demonstra uma diferença maior, enquanto que a variação orientada para o norte resulta no pior resultado de toda a série com somente 2365 h de conforto. Isso representa somente 84,59 % do valor máximo na mesma orientação e 69,4 % do melhor resultado para todas as rotações.

Com exceção da quarta variação representando o modelo, todas as variações demonstram resultados com tendência monotonamente decrescente em relação às orientações, obtendo o melhor resultado para a fachada no sul e os valores mais baixos para as fachadas orientadas para o norte.

¹⁴⁸ Diário Oficial do Estado (DOE). **Código de Edificações de Porto Alegre LC No 284 de 27 de outubro de 1992**. Disponível em: http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/smov/usu_doc/codigo.pdf. Acesso em: 23/8/2011.

¹⁴⁹ Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações**. 2003. ABNT, Rio de Janeiro.

A partir da análise do elemento arquitetônico da parede externa em relação à seu atraso térmico é possível concluir que:

- Fachadas orientadas para o sul obtêm mais horas de conforto térmico;
- Um valor intermediário para o atraso térmico resulta nos melhores resultados para todas as rotações.

Os resultados desta série demonstram que as variações com altos valores de atraso térmico resultam em horas excessivas de desconforto para calor, enquanto as paredes com alto valor de atraso térmico resultam em poucas horas de desconforto por temperaturas baixas. A Figura 5.6 apresenta a comparação entre a primeira e a quinta variação para a orientação solar sul.

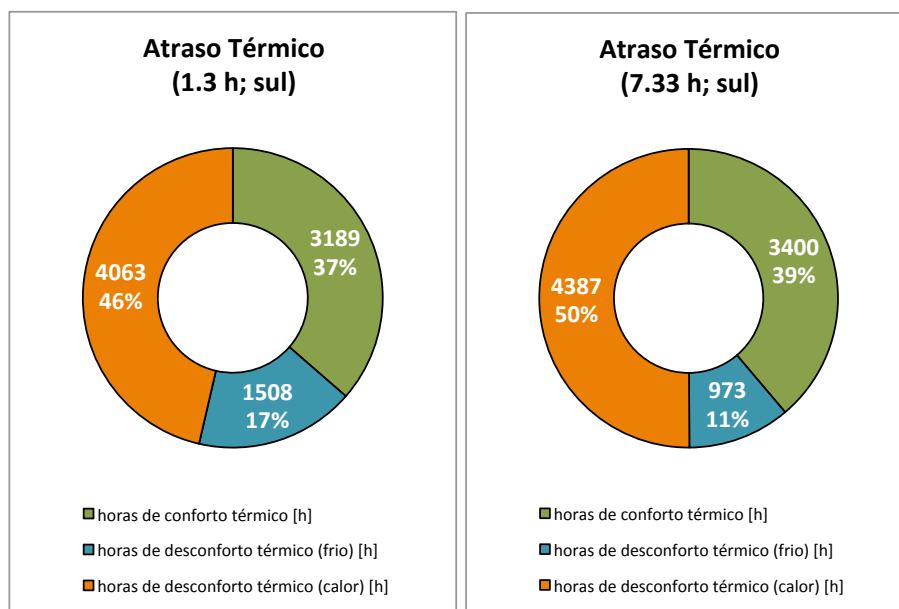


Figura 5.6: Detalhes das horas de desconforto para a primeira e quinta variação, ambos com orientação sul. fonte: próprio autor

Além disso, resultados detalhados para a orientação solar norte demonstram que a diferença de horas de conforto entre o melhor e pior resultado dessa orientação é causado somente em 6,96 % para o aumento de horas de desconforto para temperaturas baixas. A Figura 5.7 apresenta esses resultados detalhados.

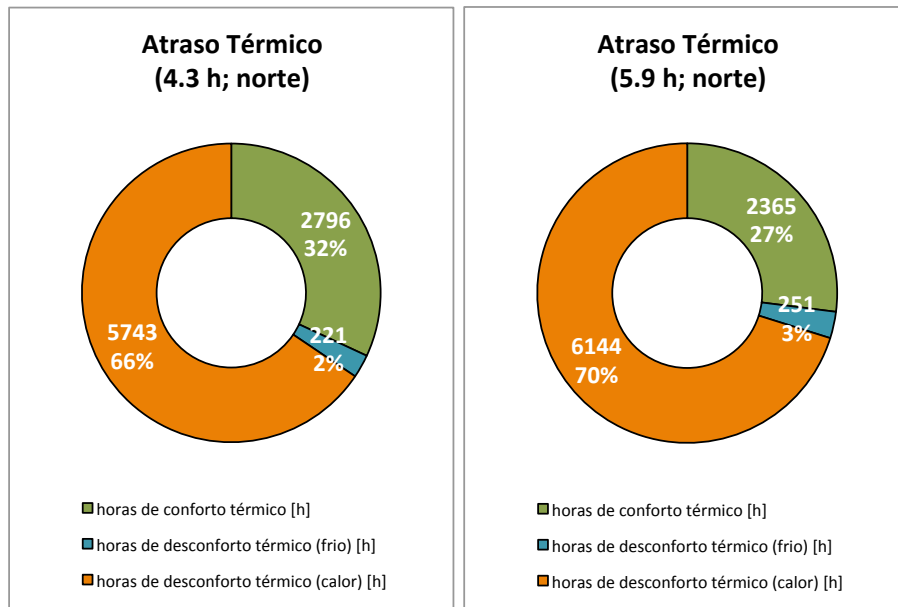


Figura 5.7: Detalhes das horas de desconforto para a terceira e a quarta variação, ambos com orientação norte. fonte: próprio autor

É importante salientar, que as mudanças realizadas nesta série influenciam o comportamento térmico do ambiente não somente através do fenômeno aqui analisado. Os resultados completos e todos os gráficos podem ser consultados no apêndice digital.

d. Fator Solar Elementos Opacos

Esta série trata do fator solar dos elementos opacos. Os resultados são resumidos no gráfico apresentado na Figura 5.8.

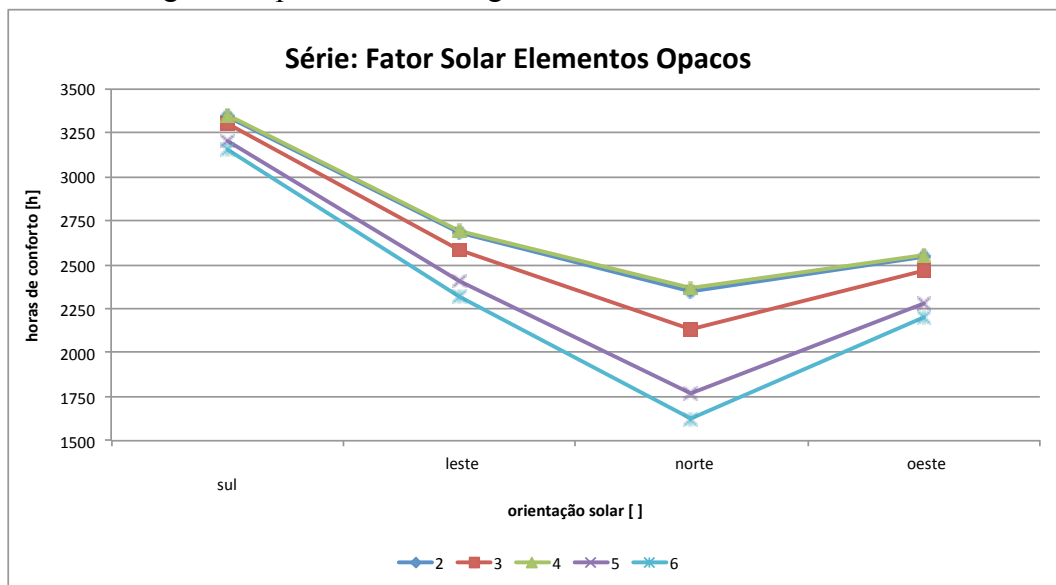


Figura 5.8: Resumo dos resultados da série *Fator Solar Elementos Opacos*. fonte: próprio autor

Os resultados da série demonstram a influência da cor da superfície externa da parede externa para as horas de conforto segundo a definição desta dissertação. Observe-se que independente dos valores escolhidos para as variações, os melhores resultados são obtidos para fachadas orientados para sul e os piores resultados para rotações que colocam a fachada na direção norte.

Comparando os valores de horas de confort para as 5 variações apresentadas na Figura 5.8 para cada orientação, observa-se que as mesmas apresentam sempre o mesmo padrão de comportamento. A terceira variação com um valor de 0,62, representando o modelo, sempre obtém os melhores valores, enquanto a parede mais escura, simulando um valor de 0,93, resulta nos piores resultados para todas as rotações.

Analisando os resultados das simulações com alterações na cor externa, pode-se concluir que:

- Fachadas orientadas para o sul obtém mais horas de conforto térmico;
- Um valor intermediário para o fator solar dos elementos opacos resulta nos melhores resultados para todas as rotações.

É importante salientar que os resultados apresentados na Figura 5.8 não representam o comportamento esperado para a simulação realizada. Em mais detalhes, esperava-se que a parede com a cor mais clara resultaria em menos horas de desconforto devido às temperaturas elevadas. Entretanto, nas simulações a terceira variação apresenta o menor valor para esse tipo de desconforto térmico. A Figura 5.9 compara a terceira e a segunda variação para uma orientação solar sul.

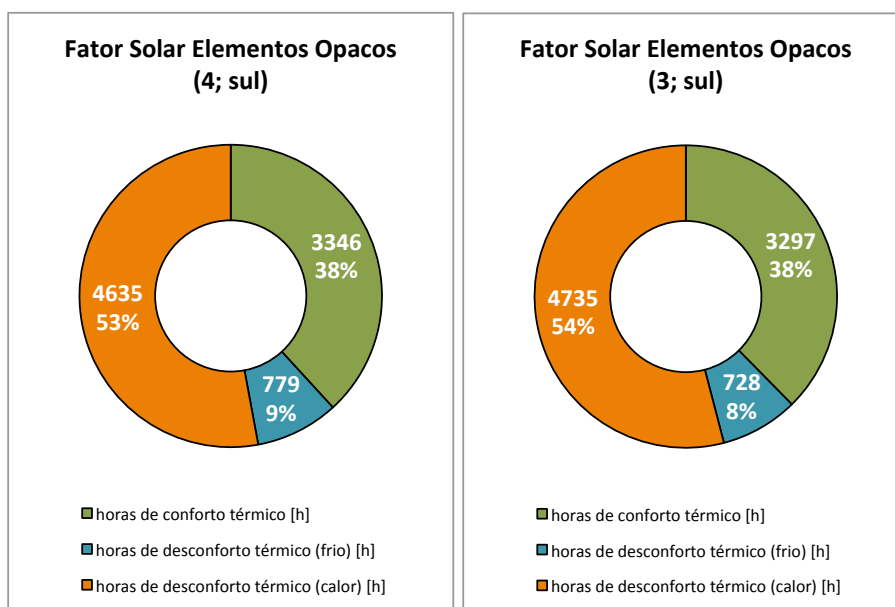


Figura 5.9: Detalhes das horas de desconforto para a terceira e segunda variação, ambos com orientação sul. fonte: próprio autor

O fator solar mais alto da terceira variação apresenta mais 49 h de conforto quando comparado com a segunda variação. As horas de desconforto devido ao calor aumentam por exatamente 100 h, enquanto que as horas de desconforto por causa de temperaturas baixas diminuem de 779 h para 728 h.

Os resultados completos e todos os gráficos podem ser consultados no apêndice digital.

e. Área Abertura / Área Piso

Esta série representa a área da abertura em relação com o piso. Os resultados são resumidos no gráfico da Figura 5.10.

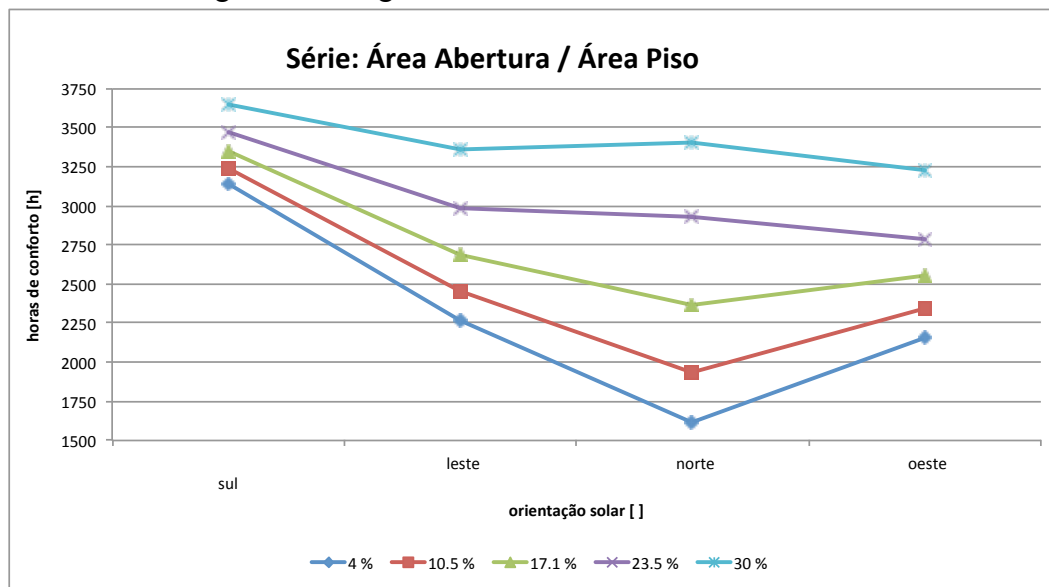


Figura 5.10: Resumo dos resultados da série *Área Abertura / Área Piso*. fonte: próprio autor

O gráfico da Figura 5.10 mostra uma relação linear entre a área da janela em relação com o piso. Esse gráfico demonstra que a menor janela, sendo simulada na quinta variação com uma largura de $0,74 \text{ m}^2$, resulta na maximização das horas de conforto para todas as orientações. Obviamente, o ganho de temperatura através do elemento não-opaco diminui as horas de conforto no ambiente interno.

Todas as variações apresentam o seu melhor valor quando a janela é orientada na direção sul. Com exceção da quinta variação, todas as variações resultam no número mais baixo de horas de conforto com uma orientação solar norte. Para completar, o pior resultado da quinta variação é obtido na orientação solar oeste. A Figura 5.11 detalha os resultados da mesma variação para as orientações norte e oeste.

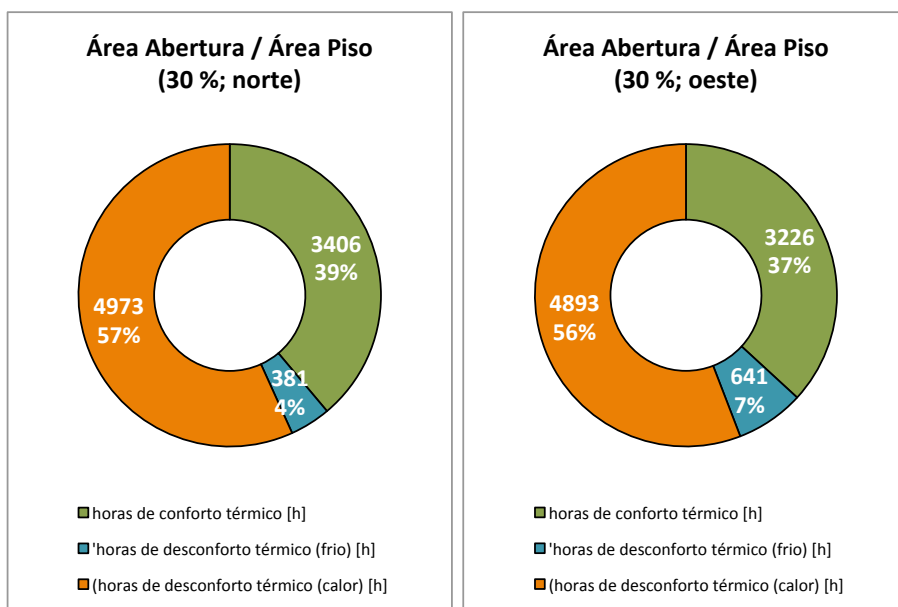


Figura 5.11: Detalhes das horas de desconforto para a quinta variação da série *Área Abertura / Área Piso* com a orientação solar norte e oeste. fonte: próprio autor

Com uma janela de dimensões reduzidas como no caso da quinta variação desta série, as desvantagens causadas pela perda de calor através da superfície da janela aumentam 68,24 % e resultam em menos 180 h de conforto, mesmo com uma ligeira diminuição das horas de desconforto devido à temperaturas altas no interior.

Os resultados demonstram que as maiores diferenças entre as variações são observados para a orientação solar norte. Comparando as variações entre si, observa-se que a quinta variação é a menos sensível para mudanças na orientação, a sensibilidade aumenta com o aumento da área da janela.

Analisando os resultados das simulações com alterações da largura da janela, pode-se concluir que:

- Janelas orientadas para o sul obtém mais horas de conforto térmico;
- Janelas de menor largura resultam em resultados melhores para todas as rotações;
- Janelas maiores possuem uma maior sensibilidade para a orientação solar.

Salienta-se que este trabalho não considera as condições de conforto por iluminação natural. Em outras palavras, espera-se que as janelas simuladas com 0,67 m e 1,75 m de largura não sejam suficientes para garantir uma iluminação natural do ambiente. Note que as duas larguras não são permitidas pelo Código de Edificações de Porto Alegre. Assim, é oportuno repetir que esta dissertação trata exclusivamente e em modo isolado da influência da legislação sobre o conforto térmico.

Os resultados completos e todos os gráficos podem ser consultados no apêndice digital.

f. Área Abertura / Área Fachada

A série *Área Abertura / Área Fachada* representa a área da abertura em relação com a fachada. Os resultados são resumidos pelo gráfico apresentado na Figura 5.12.

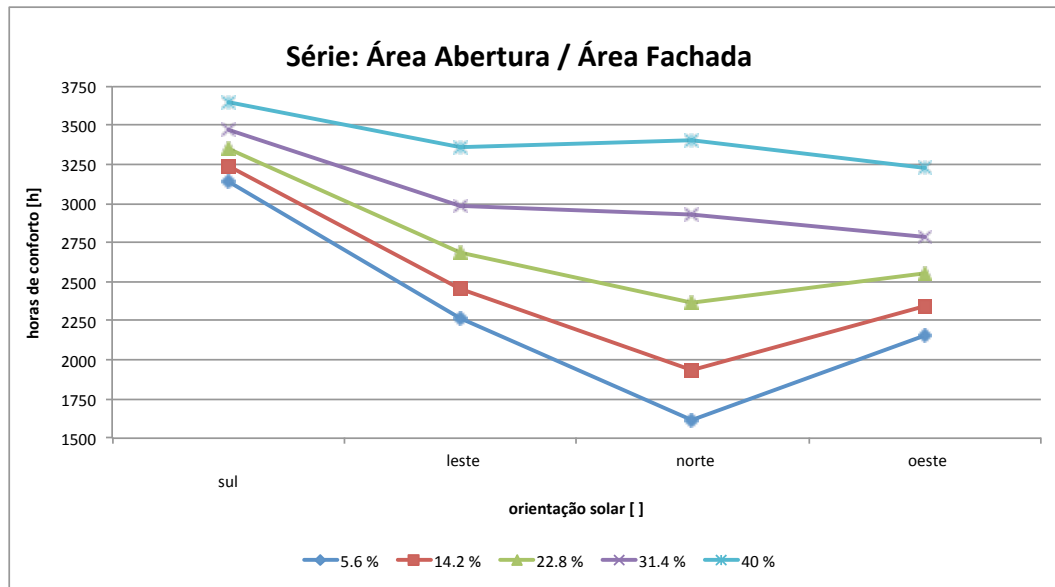


Figura 5.12: Resumo dos resultados da série *Área Abertura / Área Fachada*. fonte: próprio autor

O gráfico da Figura 5.12 mostra uma relação linear entre a área da janela e a fachada. Como as modificações resultam em simulações idênticas às da série *Área Abertura / Área Piso*, a descrição mais detalhada dos resultados torna-se desnecessária. A série e os seus resultados são incluídos para garantir uma descrição completa dos elementos arquitetônicos identificados nas legislações brasileiras.

Os resultados completos e todos os gráficos podem ser consultados no apêndice digital.

g. *Altura Verga*

Esta série representa a área da altura da verga acima do piso da unidade. Os resultados desta série são resumidos pelo gráfico da Figura 5.13.

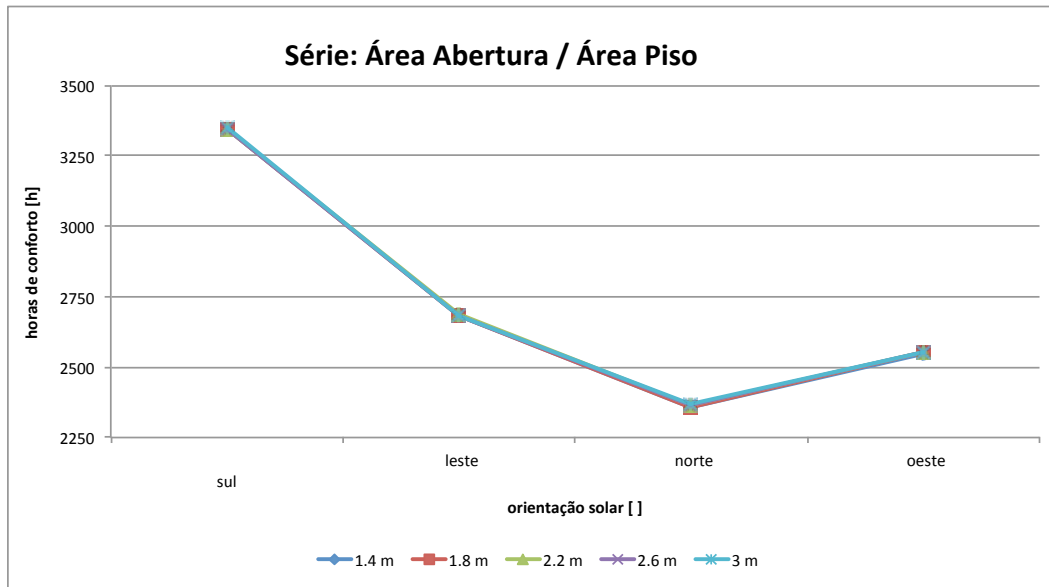


Figura 5.13: Resumo dos resultados da série *Altura Verga*. fonte: próprio autor

O gráfico da Figura 5.13 mostra que os resultados para as 5 variações são idênticos. A maior diferença observada é de 11 h entre a primeira e a quinta variação na orientação solar norte. Isso representa somente 0,13 % das horas do ano. Todas as variações apresentam os melhores resultados na orientação da fachada para o sul e os piores resultados quando as janelas são posicionadas com uma orientação em direção norte.

Analisando os resultados das simulações com alterações na altura da verga, é possível concluir que:

- Janelas orientadas para o sul obtêm mais horas de conforto térmico;
- A altura da verga acima do piso não influencia o conforto térmico.

Salienta-se que a altura da verga tem uma influência sobre a posição da sombra durante o ano. Com janelas mais altas, as áreas mais afastadas da janela podem receber uma iluminação natural direta. Convém repetir que esta dissertação não considera as vantagens ou as desvantagens relacionadas à iluminação.

Os resultados completos e todos os gráficos podem ser consultados no apêndice digital.

h. Tipo de Vidro (FS)

Esta série está associada à área do fator solar dos elementos translúcidas. Os seus resultados são apresentados no gráfico da Figura 5.14.

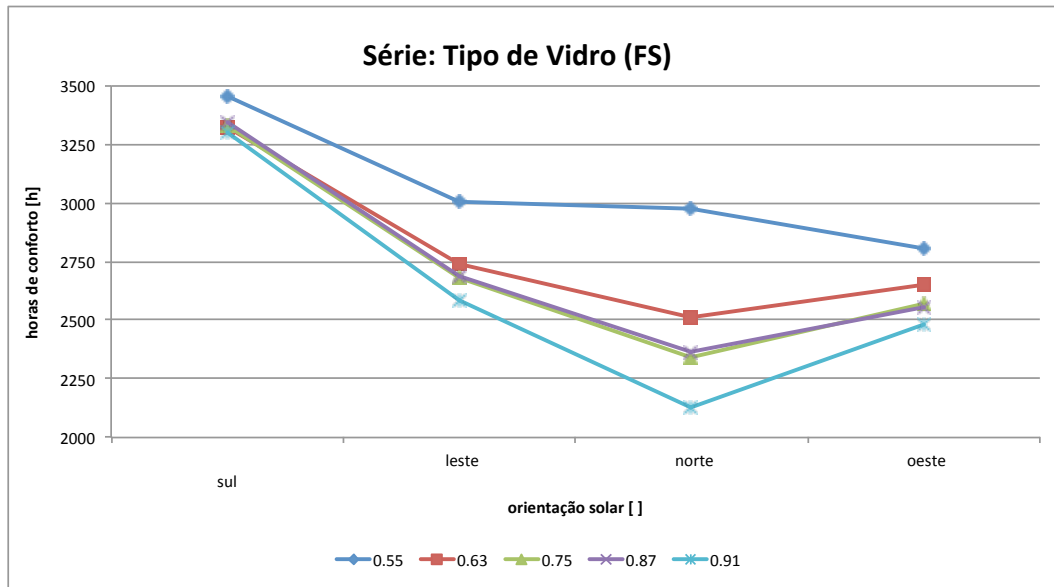


Figura 5.14: Resumo dos resultados da série *Tipo de Vidro (FS)*. fonte: próprio autor

A Figura 5.14 mostra que a primeira variação com o valor de 0,55 resulta nos melhores resultados de horas de conforto para todas as rotações. Os resultados com o menor número de horas de conforto são obtidos com a quinta variação, ou seja, com um fator solar de 0,91. Claramente, os resultados para as 5 variações são praticamente idênticos.

Todas as variações apresentam os melhores resultados na orientação da fachada para o sul e os piores resultados quando as janelas são posicionadas com uma orientação em direção norte. Além disso, os resultados demonstram que as maiores diferenças entre as variações são observados para a orientação para o norte. Comparando as variações entre si, observa-se que a quinta variação é a mais sensível à mudanças na orientação. A sensibilidade tendencialmente diminui com fatores menores, ou seja, com a redução do calor que passa para o interior do ambiente através da radiação solar.

Analisando os resultados das simulações desta série, pode-se concluir que:

- Janelas orientadas para o sul obtém mais horas de conforto térmico;
- Janelas com o menor fator solar resultam em mais horas de conforto térmico;
- A sensibilidade para a orientação solar aumenta com o aumento do fator solar.

Os resultados para as horas de desconforto para a terceira e quarta variação com a orientação solar norte são apresentados na Figura 5.15.

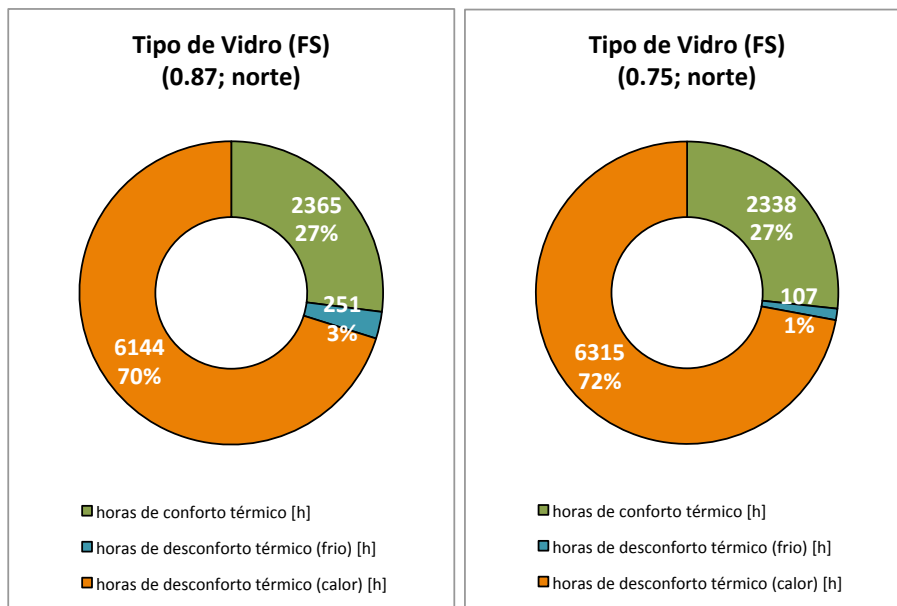


Figura 5.15: Detalhes das horas de desconforto para a quarta e a terceira variação, ambos com orientação solar norte. fonte: próprio autor

Observa-se que o número de horas de desconforto devido à temperaturas baixas diminui de 251 h para 107 h, enquanto as horas abaixo do nível inferior de conforto aumentam de 6144 h para 6315 h, resultando em uma ligeira diminuição das horas de conforto.

Os resultados completos e todos os gráficos podem ser consultados no apêndice digital.

i. Sombreamento Horizontal

A série *Sombreamento Horizontal* está relacionada aos elementos horizontais de sombreamento. Os seus resultados das variações do ângulo vertical de sombreamento são resumidos no gráfico apresentado na Figura 5.16.

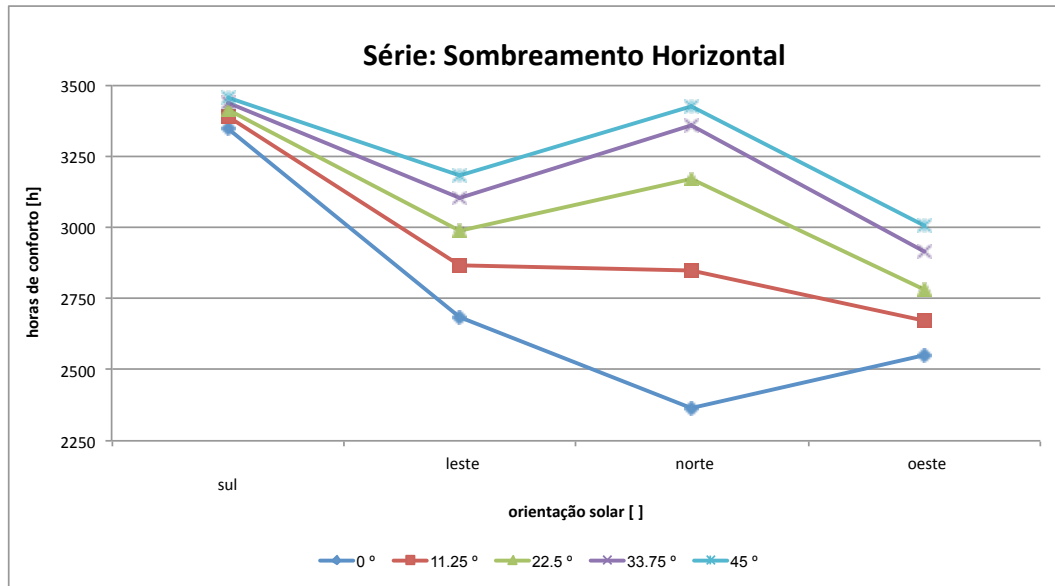


Figura 5.16: Resumo dos resultados da série *Sombreamento Horizontal*.
próprio autor

fonte:

A Figura 5.16 mostra claramente que os melhores resultados para as horas de conforto de todas as rotações são obtidos com o sombreamento horizontal de 1,2 m de profundidade, sendo esse o maior sombreamento simulado. O modelo, neste caso simulado na primeira variação, não possui sombreamento e resulta no pior resultado para qualquer orientação solar.

Observa-se também que os resultados para a orientação da janela para o sul não apresentam grandes variações. Duas observações podem ser feitas quando considera-se a orientação das janelas para o norte:

Primeiro, ao contrário da primeira variação sem elementos de sombreamento, a quinta variação, com o maior elemento de sombreamento, somente resulta em um valor com 30 h de conforto a menos do que o seu resultado máximo na orientação solar sul. Acrescenta-se que a terceira e quarta variação também apresentam o segundo melhor desempenho na rotação para o norte, enquanto a segunda variação, com a mesma orientação solar apresenta um resultado ligeiramente inferior ao resultado associado à rotação para o leste.

Segundo, que a maior diferença entre as variações pode ser observada entre a primeira variação com 2365 h de conforto e o quinta variação com 3427 h de conforto, representado um aumento de 69,01 %.

Em geral, o gráfico apresentado na Figura 5.15 mostra que a sensibilidade para a orientação solar diminui com a profundidade do elemento de sombreamento horizontal.

Analisando os resultados das simulações desta série é possível concluir que:

- Elementos mais profundos de sombreamento horizontal resultam em mais horas de conforto térmico;
- O efeito mais importante do sombreamento horizontal pode ser observado para janelas da orientação solar norte;
- A sensibilidade para a orientação solar diminui com o aumento da profundidade do elemento de sombreamento horizontal.

Abaixo, seguem resultados mais detalhados para as horas de desconforto para a quinta variação considerando as rotações de leste e norte. A Figura 5.17 compara esses resultados.

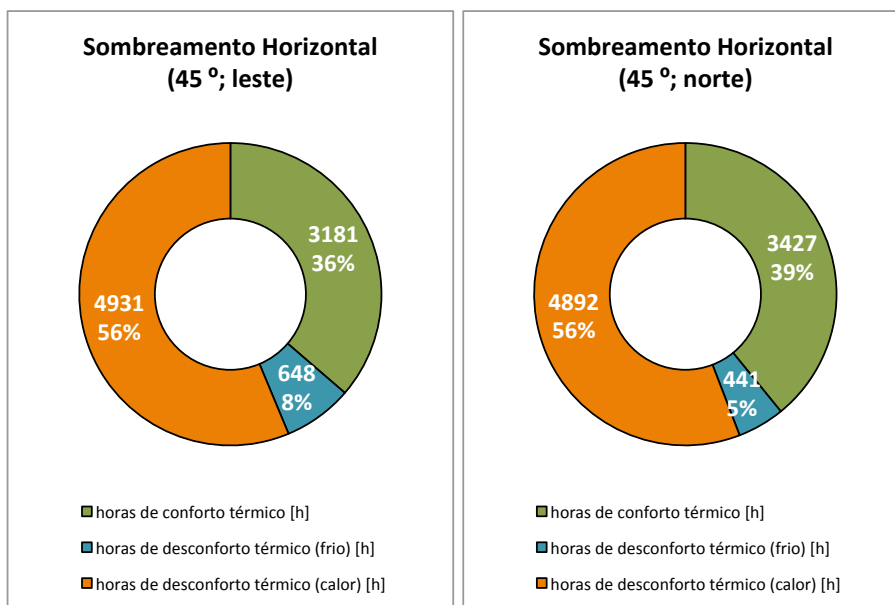


Figura 5.17: Detalhes das horas de desconforto para a quinta variação nas orientações solares leste e norte. fonte: próprio autor

Na Figura 5.17 observa-se que para as duas variações acima representadas, os valores para as horas de desconforto são melhores considerando a orientação solar norte. A diminuição do desconforto por temperaturas superiores ao limite superior de conforto explica-se devido à diminuição da insolação direta obtida através de um elemento mais profundo. Salienta-se que a menor insolação, e a consequente diminuição de ganhos de calor por radiação através dos elementos translúcidas, não influenciam negativamente as horas de desconforto por temperaturas baixas.

Os resultados completos e todos os gráficos podem ser consultados no apêndice digital.

j. Sombreamento Vertical

A série *Sombreamento Vertical* representa os elementos verticais de sombreamento. Os resultados das variações do ângulo horizontal de sombreamento são resumidos pelo gráfico da Figura 5.18.

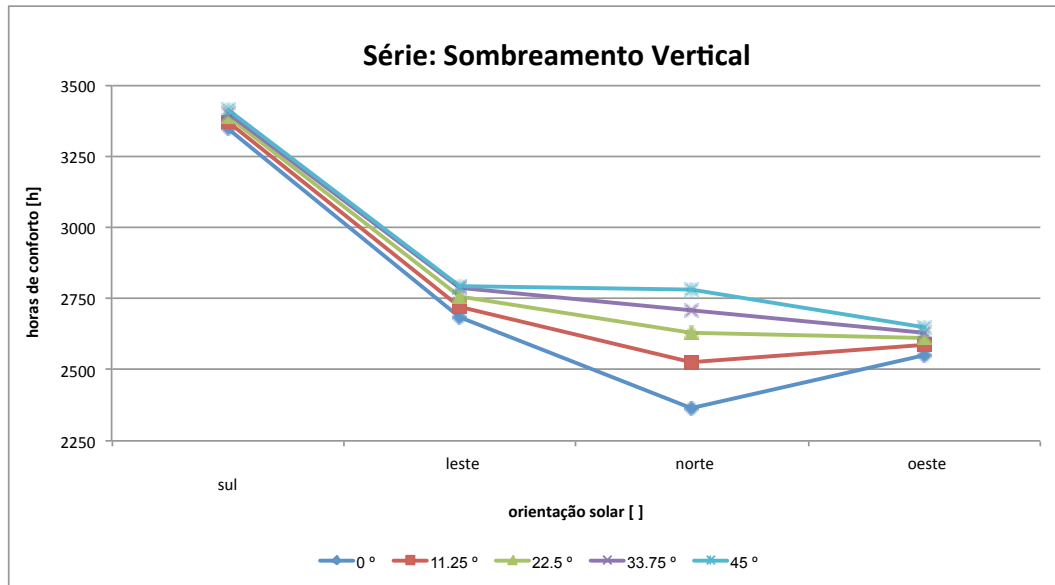


Figura 5.18: Resumo dos resultados da série *Sombreamento Vertical*. fonte: próprio autor

Observa-se que os melhores resultados para todas as orientações são obtidos para a quinta variação que representa elementos de 2,38 m de profundidade. A primeira variação, representando o modelo sem elementos de sombreamento, resulta nos números mais baixos de horas de conforto para todas as orientações solares.

As 5 variações obtêm o seu melhor resultado com janelas orientadas para o sul. Entretanto, somente a primeira e segunda variação apresentam o pior caso na orientação norte, enquanto que as restantes variações mostram o seu valor mais baixo na rotação oeste.

Comparando os resultados das 5 variações em relação às orientações solares, pode-se observar uma maior diferença entre os valores para a fachada orientada para o norte do que para as outras orientações.

O gráfico apresentado na Figura 5.18 mostra que a sensibilidade para a orientação solar diminui com a profundidade do elemento de sombreamento vertical.

Analisando os resultados das simulações desta série conclui-se que:

- Elementos mais profundos de sombreamento verticais resultam em mais horas de conforto térmico;
- O efeito mais importante do sombreamento vertical pode ser observado para janelas da orientação solar norte;
- A sensibilidade para a orientação solar diminui com o aumento da profundidade do elemento de sombreamento vertical.

A Figura 5.10 apresenta os resultados para as horas de desconforto para a quinta variação considerando as orientações solares leste e norte.

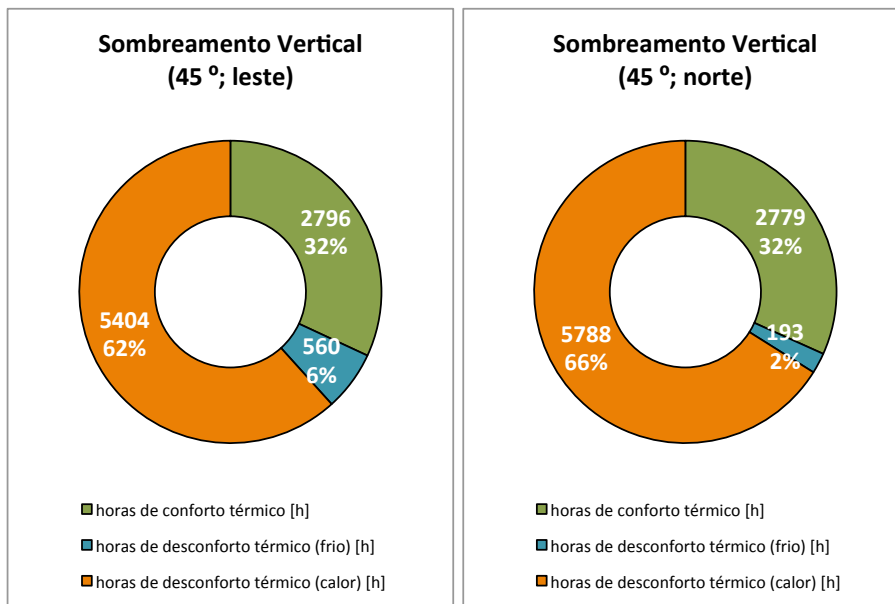


Figura 5.19: Detalhes das horas de desconforto para a quinta variação com as orientações solares leste e norte. fonte: próprio autor

Na Figura 5.19 observa-se que os valores de horas de desconforto devido à temperaturas baixas diminui fortemente de 560 h (leste) para 193 h (norte). Entretanto, o valor das horas de desconforto por temperaturas superiores ao limite superior de conforto é 384 h mais alto na quinta variação, resultando assim na ligeira diminuição das horas de conforto nesta rotação. Conclui-se que a maior insolação direta devido à orientação solar da fachada não é corrigida pelos elementos de sombreamento vertical durante as horas da maior incidência. Mesmo assim, o número de horas de conforto não diminui drasticamente por causa dos efeitos positivos de ganho de calor durante dias com temperaturas externas baixas o que, por sua vez, causa um número menor de horas de desconforto por temperaturas baixas.

Os resultados completos e todos os gráficos podem ser consultados no apêndice digital.

k. Área Piso Unidade

Esta série representa a área do piso da unidade. Os seus resultados são resumidos no gráfico da Figura 5.20.

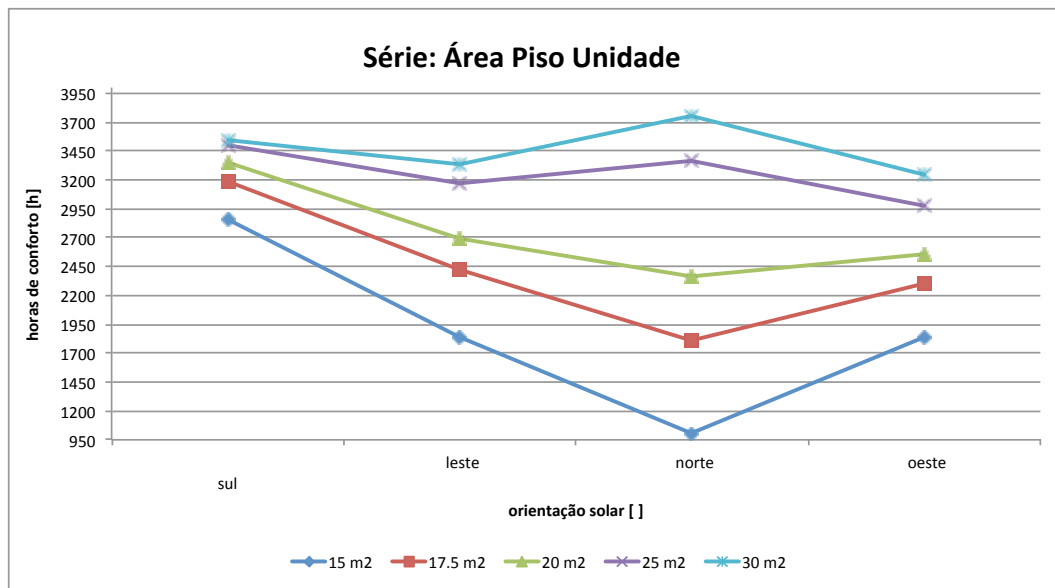


Figura 5.20: Resumo dos resultados da série *Área Piso Unidade*. fonte: próprio autor

A Figura 5.20 apresenta valores que permitem a sistematização das 5 variações em dois grupos. As variações com a maior área de piso, sendo representadas pela quarta e quinta variação, demonstram um comportamento distinto das restantes variações com áreas de piso menores.

Enquanto os pisos com área igual ou menor aos 20 m² do modelo, simulado na terceira variação, apresentam o melhor resultado na orientação solar sul e o pior resultado na orientação norte, as restantes variações desta série obtêm o pior resultado na orientação para o oeste. De fato, a quarta variação obtém o seu número mais alto de horas de conforto na orientação para sul, enquanto a quinta variação resulta no maior número de horas de conforto quando orientado para o norte.

O gráfico apresentado na Figura 5.20 mostra que a sensibilidade para a orientação solar diminui com o aumento da área de piso.

Analisando os resultados das simulações desta série, é possível concluir que:

- Uma área maior de piso resulta em mais horas de conforto térmico;
- A sensibilidade para a orientação solar diminui com o aumento da área do piso da unidade.

A Figura 5.21 compara as horas de desconforto para a primeira variação considerando a orientação solar sul, bem como a orientação oeste.

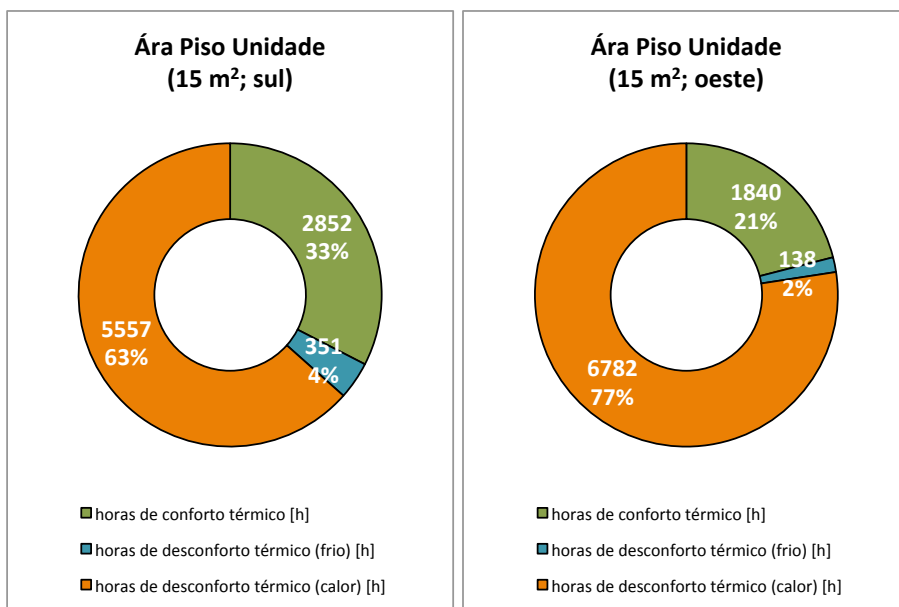


Figura 5.21: Detalhes das horas de desconforto para a primeira variação com a orientação solar sul e oeste. fonte: próprio autor

A Figura 5.21 mostra o melhor e o pior resultado para a primeira variação. Pode-se observar que o melhor resultado foi obtido devido à diminuição das horas de desconforto por temperaturas altas de 77 % para somente 63 % das horas do ano. Salienta-se que as horas de desconforto devido à temperaturas baixas também foram reduzidas em 2 %.

A Figura 5.22 mostra a comparação das horas de desconforto para a quinta variação considerando a orientação norte, bem como a orientação oeste.

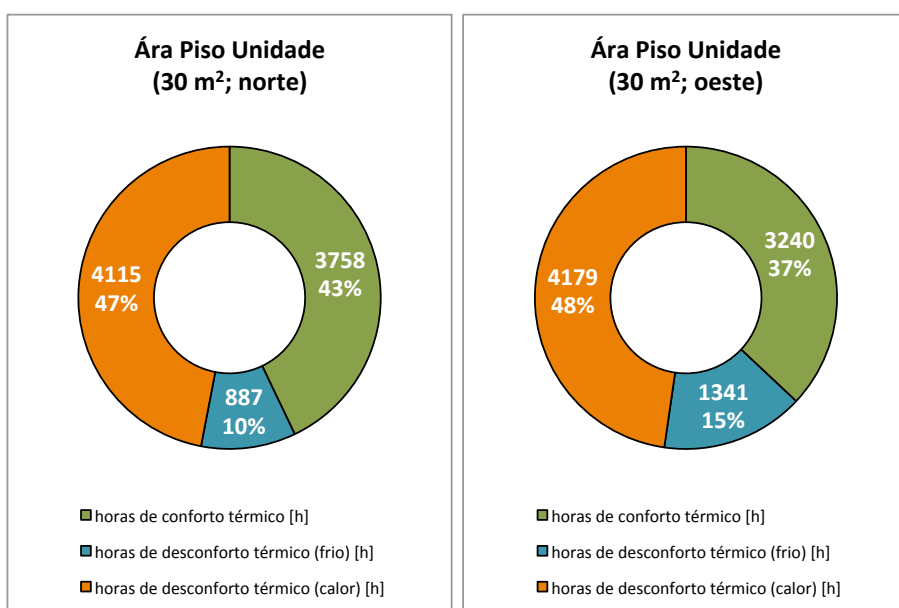


Figura 5.22: Detalhes das horas de desconforto para a quinta variação com a orientação norte e oeste. fonte: próprio autor

A Figura 5.22 apresenta os casos dos resultados extremos para horas de conforto da quinta variação. A partir da Figura 5.22 é possível observar que o melhor resultado foi obtido devido a uma significativa diminuição das horas de desconforto por temperaturas baixas, de 15 % para somente 10 % das horas do ano. Salienta-se que as horas de desconforto devido à temperaturas altas também foram reduzidas, mas somente de 1 %.

É importante salientar que as mudanças realizadas nesta série influenciam o comportamento térmico do ambiente não somente através do fenômeno aqui analisado. A mudança do tamanho da área translúcida da fachada em relação à área do piso ou a área da fachada, são somente exemplos de outros fatores que são interligados. Resumindo, é possível concluir que devido à seu maior volume e à outros fatores, as unidades com uma área de piso mais alta (na quarta e quinta variação) conseguem aproveitar positivamente o fato de que a fachada está orientada para o norte. Para as variações restantes, que representam unidades com áreas menores, observa-se efeitos negativos para o conforto térmico.

Os resultados completos e todos os gráficos podem ser consultados no apêndice digital.

I. Área Fachada / Área Piso

Esta série representa a área da fachada em relação com o piso. Os resultados obtidos através das alterações da altura das unidades são resumidos no gráfico da Figura 5.23.

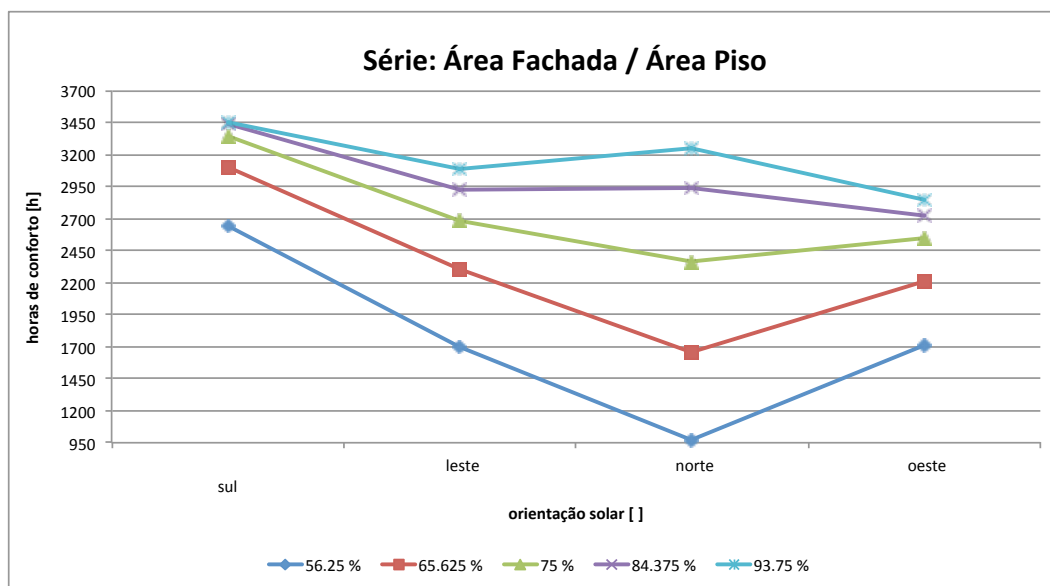


Figura 5.23: Resumo dos resultados da série *Área Fachada / Área Piso*.

fonte:

próprio autor

A Figura 5.23 apresenta os valores que permitem uma sistematização das 5 variações em dois grupos similares aqueles realizados para a série de simulações denominada *Área Piso Unidade*. A quarta e quinta variação, representando a maior

área da fachada, demonstram um comportamento distinto das restantes variações com áreas de piso menores.

Todas as variações obtêm o seu melhor resultado para a orientação sul. Mas, enquanto as unidades com fachadas igual ou menor aos 15 m² apresentam o pior resultado na orientação solar norte, as restantes variações obtêm o pior resultado para a orientação leste.

O gráfico apresentado na Figura 5.23 mostra que a sensibilidade para a orientação solar diminui com o aumento da área de piso.

Analisando os resultados das simulações desta série é possível concluir que:

- Uma fachada maior resulta em mais horas de conforto térmico;
- A sensibilidade para a orientação solar diminui com o aumento da área da fachada.

É importante salientar que as mudanças realizadas nesta série influenciam o comportamento térmico do ambiente não somente através da área da fachada. A mudança do volume e outros fatores, causam os efeitos positivos durante uma maior insolação na orientação para o norte, para a maior fachada simulada na quinta variação. Acredita-se que os efeitos negativos observados nas unidades com fachadas menores também devem-se não somente a uma alteração da relação entre a área da fachada e do piso, mas também à outros fatores como a alteração do volume ou da relação entre volume de ar e superfície construída.

Os resultados completos e todos os gráficos podem ser consultados no apêndice digital.

5.2. AVALIAÇÃO

A análise da influência da legislação brasileira em vigor no conforto térmico de edificações utilizadas como escritório na cidade de Porto Alegre baseia-se nos resultados obtidos a partir das simulações apresentadas no subcapítulo anterior. Assim, este subcapítulo apresenta as conclusões derivadas a partir da análise desses resultados.

ANÁLISE DOS ELEMENTOS ARQUITETÔNICOS

A avaliação dos resultados obtidos para cada série ou para grupos de séries é apresentada nos próximos parágrafos. É importante salientar que as próximos secções tratam de modo separado os elementos arquitetônicos considerados neste trabalho. Assim, os valores prescritos pelos textos legislativos são analisados e a partir dos mesmos são derivadas as conclusões para cada elemento arquitetônico presente na legislação brasileira.

a. TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DAS PAREDES EXTERNAS

Neste subcapítulo as observações relativas à série associada à transmitância térmica das paredes externas são apresentadas.

Em primeiro lugar, observa-se que o valor prescrito pelo código de edificações de Porto Alegre¹⁵⁰ resulta nos melhores valores de todas as variações consideradas. O valor utilizado no modelo, obtido na NBR 15220¹⁵¹, resulta em menos horas de conforto. Assim, conclui-se que o valor da transmitância de 3,13 W/m²K representa um valor que resulta em um equilíbrio satisfatório para temperaturas externas baixas e altas o que conseqüentemente, aumenta as horas de conforto térmico durante o ano. Além de mais horas de conforto, as simulações do modelo com paredes externas nessa configuração apresentam a menor sensibilidade em relação as mudanças na orientação solar, ou seja, paredes externas com esse valor para a transmitância térmica obtém valores relativamente iguais para todas as orientações simuladas. Assim, para uma legislação como a atual que define o limite desse valor sem especificações a respeito da orientação solar, espera-se que os resultados sejam satisfatórios para o conforto térmico.

Com variações de até 128,75 % entre os valores para paredes de composições diferentes, a legislação deve regular esse elemento arquitetônico para obter um nível aceitável de conforto térmico.

Finalmente, as simulações mostram que o valor da legislação atualmente em vigor em Porto Alegre resulta em um conforto térmico elevado. Neste contexto, é possível concluir que uma diferenciação dos limites para as diversas orientações solares possibilitaria um aumento ainda maior de horas de conforto térmico nos ambientes interiores de escritórios.

b. TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DAS PAREDES INTERNAS

Neste subcapítulo as observações sobre a série relativo à transmitância térmica das paredes internas foram resumidas.

Inicialmente, observa-se que o valor prescrito pelo Código de Edificações de Porto Alegre¹⁵² resulta em poucas horas de conforto quando comparado às quatro restantes variações. Somente no caso da orientação sul, o valor de 2,28 W/m²K consegue superar decisivamente uma das outras composições das paredes internas. Assim, conclui-se que o valor da transmitância prescrita na legislação representa um valor que influencia negativamente o conforto térmico durante o ano. Ao contrário da transmitância das paredes externas não existe uma variação, ou seja, uma composição para a parede interna que satisfaça todas as orientações. Enquanto uma

¹⁵⁰ Diário Oficial do Estado (DOE). **Código de Edificações de Porto Alegre LC No 284 de 27 de outubro de 1992**. Disponível em: http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/smov/usu_doc/codigo.pdf. Acesso em: 23/8/2011.

¹⁵¹ Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações**. 2003. ABNT, Rio de Janeiro.

¹⁵² Diário Oficial do Estado (DOE). **Código de Edificações de Porto Alegre LC No 284 de 27 de outubro de 1992**. Disponível em: http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/smov/usu_doc/codigo.pdf. Acesso em: 23/8/2011.

transmitância baixa garante a obtenção dos melhores resultados para uma orientação da fachada para o norte, os melhores resultados das restantes orientações foram obtidos com paredes de alta transmitância. Conclui-se assim que um ambiente interno com elevada insolação direta é mais confortável se as suas paredes internas são mais leves. Consequentemente, para uma legislação como a atual, que define o limite desse valor sem especificações em relação à orientação solar, espera-se que os resultados não sejam satisfatórios para o conforto térmico.

Com variações de até 109,02 % entre os valores para paredes de composições diferentes, a legislação que regula esse elemento arquitetônico não é considerada relevante para garantir um nível de conforto térmico aceitável.

As simulações comprovam que o valor da legislação em vigor para Porto Alegre não resulta em um conforto térmico elevado. Dependendo da orientação solar, paredes mais leves ou mais pesadas do que aquelas prescritas na legislação, resultam em mais horas de conforto térmico. Para garantir o melhor resultado possível, uma legislação deveria incluir especificações diferenciadas para as orientações solares.

c. ATRASO TÉRMICO DAS PAREDES EXTERNAS

Quando consideramos a série associada ao atraso térmico das paredes externas, é possível observar que o valor de 4,5 h, prescrito pela NBR 15220¹⁵³, resulta nos melhores valores para todas as variações. Conclui-se assim que o valor do atraso prescrito na legislação influencia positivamente o conforto térmico durante o ano.

Os resultados da simulação para as 4 orientações apresentam valores com até 118,22 % de diferença, comparando todas as diferentes variações. Consequentemente, a legislação que regula esse elemento arquitetônico é considerada importante para garantir um nível de conforto térmico aceitável.

As simulações comprovam que o valor da legislação em vigor para Porto Alegre resulta em um conforto térmico elevado. Com uma diferença máxima de 129,14 % entre as diferentes orientações da variação do valor prescrito pela legislação, conclui-se que é aconselhável a diferenciação dos limites para o atraso térmico vinculado à orientação solar das paredes externas.

d. FATOR SOLAR ELEMENTOS OPACOS

Os resultados obtidos a partir da série associada ao fator solar das paredes externas demonstram que o valor de 4,0, prescrito pela NBR 15220¹⁵³, resulta nos melhores valores para todas as variações. Assim, conclui-se que o valor do atraso prescrito na legislação influencia positivamente o conforto térmico durante o ano.

Os resultados da simulação apresentam valores com até 145,45 % de diferença comparando todas as variações. Consequentemente a legislação que deve prescrever um limite para esse elemento arquitetônico é considerada importante para garantir um nível de conforto térmico aceitável.

¹⁵³ Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações**. 2003. ABNT, Rio de Janeiro.

As simulações comprovam que o valor da legislação em vigor para Porto Alegre resulta em um conforto térmico elevado. Entretanto, com uma diferença máxima de 141,48 % entre as orientações sul e norte na variação com o valor prescrito pela legislação, seria aconselhável a inclusão de uma diferenciação dos valores relacionados ao fator solar vinculando o seu valor à orientação solar das paredes externas.

e. ÁREA DE ABERTURAS

Neste subcapítulo, as observações sobre o grupo que inclui as séries *Área Abertura / Área Piso* e *Área Abertura / Área Fachada*, ambos relativas à área de aberturas são apresentadas. No primeiro caso, o Código de Edificações de Porto Alegre¹⁵⁴ define a área em relação à área do piso da unidade. A série *Área Abertura / Área Fachada* refere-se à área das aberturas através da fração entre a área da fachada e a área da abertura. Salienta-se que as duas séries resultaram em modelos congruentes, mas o Código de Edificações prescreve somente um valor de limite. Assim, as seguintes observações fazem referência à série *Área Abertura / Área Piso*.

Os resultados obtidos demonstram que o valor de 17,1 % prescrito pela legislação porto-alegrense resulta em um valor intermediário de horas de conforto para todas as variações. Os valores obtidos para as janelas de área menor superam os valores relacionados às janelas segundo o texto legislativo. Entretanto, para uma área maior o número de horas de conforto diminui. Conclui-se que o valor prescrito na legislação não influencia positivamente o conforto térmico durante o ano.

Os resultados da simulação apresentam valores com até 110,77 % de diferença entre as variações. Consequentemente, a legislação que prescreve um limite para esse elemento arquitetônico é considerada importante a fim de garantir um nível de conforto térmico aceitável.

As simulações comprovam que o valor da legislação em vigor para Porto Alegre não resulta em um conforto térmico elevado. É oportuno mencionar que essa observação somente leva em consideração a influência da área da janela sobre o conforto térmico. Salienta-se que com uma diferença de até 194,03% entre as orientações sul e norte da série com a maior sensibilidade, seria aconselhável incluir uma diferenciação dos valores para o fator solar, vinculando o limite definido à orientação solar das paredes externas.

¹⁵⁴ Diário Oficial do Estado (DOE). **Código de Edificações de Porto Alegre LC No 284 de 27 de outubro de 1992**. Disponível em: http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/smov/usu_doc/codigo.pdf. Acesso em: 23/8/2011.

f. ALTURA DA VERGA ACIMA DO PISO

As observações sobre a série relacionada à altura da verga acima do piso da unidade são apresentadas nos próximos parágrafos.

A partir dos resultados obtidos, observa-se que o valor de 2,2 m, prescrito pelo Código de Edificações de Porto Alegre¹⁵⁴, resulta em horas de conforto praticamente iguais as obtidas para as outras variações. Conclui-se então, que o valor prescrito na legislação não influencia o conforto térmico durante o ano e conseqüentemente, a legislação que deve prescrever um limite para esse elemento arquitetônico não é considerada importante para obter um nível de conforto térmico aceitável.

Mesmo assim, é oportuno mencionar que com uma diferença de até 141,92 % entre as orientações sul e norte dos resultados da série com a maior sensibilidade, seria aconselhável incluir uma diferenciação dos valores para o fator solar vinculando o limite definido na legislação à orientação solar das paredes externas.

g. TIPO DE VIDRO (FS)

Neste subcapítulo, as observações sobre a serie relativa ao tipo de vidro, ou seja, ao fator solar dos elementos translúcidos da fachada são apresentadas.

O valor de 0,87 para esse elemento arquitetônico é obtido a partir do valor prescrito pela Etiquetagem PROCEL¹⁵⁵ que, por sua vez, não define um limite, mas somente obriga a utilização desse valor caso não seja informado o valor real. Note que esse valor é considerado o pior caso.

Assim, os resultados obtidos para a variação com o valor de 0,87 resultam em poucas horas de conforto. As simulações demonstram que um valor mais baixo resulta em mais horas de conforto e em uma redução significativa da sensibilidade para a orientação solar. Mesmo com um vidro de alto desempenho como o da primeira variação, as diversas orientações causam uma diferença de 123,16 % entre a orientação sul e leste. Assim, para uma legislação que define um limite desse valor sem especificações a respeito da orientação solar, espera-se que os resultados não sejam satisfatórios para o conforto térmico.

Com variações de até 139,77 % entre os valores para paredes de composições diferentes, uma legislação deveria regular esse elemento arquitetônico para obter um nível de conforto térmico aceitável.

As simulações comprovam que o valor da Etiquetagem PROCEL serve somente como pior caso e não pode ser considerado como um limite legislativo. Além disso, conclui-se que uma diferenciação dos limites para as diversas orientações solares aumentaria o conforto térmico nos ambientes interiores.

¹⁵⁵ Ministério de Minas e Energia (MME). **Conjunto de publicações: Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações, RTQ-C, RAC-C, Manual para aplicação do RTQ-C e RAC-C.** 2010.

h. SOMBREAMENTO

Neste subcapítulo as observações sobre os sombreamentos horizontais e verticais simulados através das séries de *Sombreamento Horizontal* e *Sombreamento Vertical* são apresentadas. Salienta-se que os modelos para a simulação térmica desses elementos não são idênticos, mas os resultados apresentam as mesmas tendências. Também é importante salientar que atualmente não existe uma legislação em vigor que descreva os limites para elementos de sombreamento em Porto Alegre. Assim os valores apresentados referem-se as definições obtidas da Etiquetagem PROCEL¹⁵⁵.

Para os dois casos anteriormente mencionados, é possível concluir que um maior ângulo de sombreamento resulta em mais horas de conforto térmico e conseqüentemente, resulta em uma redução da sensibilidade para a orientação solar do modelo. Convém salientar, que as diferenças entre as variações são menores no caso dos elementos verticais, seja na comparação entre as variações, seja para as orientações da mesma variação. Com os melhores resultados obtidos para a série com os maiores elementos de sombreamento, uma legislação que definisse um limite inferior para esses valores, o ângulo vertical e o ângulo horizontal de sombreamento, poderia garantir resultados mais satisfatórios para o conforto térmico. É importante salientar que está sendo analisada somente a influência da legislação sobre o conforto térmico.

Com variações de 117,51 % na série *Sombreamentos Verticais* e com até 144,91 % entre os valores para profundidades diferentes de sombreamentos na série *Sombreamento Horizontal*, uma legislação deveria regular esse elemento arquitetônico para obter um nível aceitável de conforto térmico.

Como a Etiquetagem PROCEL não prescreve um valor ou limites, o texto serve somente para definir um valor numérico para a utilização como limite. Também pode ser concluído que uma diferenciação dos limites para as diversas orientações solares aumentaria o conforto térmico nos ambientes interiores. Assim, é possível concluir que os sombreamentos são mais importantes para a orientação da fachada para o norte, enquanto a etiquetagem somente inclui uma condição restritiva para o valor da fachada oeste do prédio a ser calculado.

i. ÁREA DE PISO

Neste subcapítulo as observações sobre as séries *Área Piso Unidade* e *Área Fachada / Área Piso*, ambas relacionadas à área de piso são apresentadas. A primeira série utiliza o valor da área do piso e a segunda define a área através da fração entre a área da fachada e a área do piso. Salienta-se que as 2 séries resultam em modelos diferenciados, mas as observações da análise são congruentes. Além disso, é importante lembrar que a Etiquetagem PROCEL não define valores ou limites para os elementos arquitetônicos em questão.

A partir dos resultados obtidos, observa-se que o número de horas de conforto mais elevado é obtido para as maiores áreas de piso simuladas. Em ambas as séries os modelos com os maiores módulos apresentam a menor sensibilidade para a

orientação solar. Em relação a sensibilidade, conclui-se que o valores acima de 20m² para a série *Área Piso Unidade* e acima de 75 % para a série *Área Fachada / Área Piso* resultam em valores com uma sensibilidade baixa, o que permitiria uma legislação que não diferencia valores para as orientações solares.

Os resultados da simulação apresentam valores com até 234,98 % de diferença, se comparadas todas as variações relacionadas à série *Área Fachada / Área Piso* e até 273,19 % à série *Área Piso Unidade*. Consequentemente, seria aconselhável que a legislação prescrevesse um limite para esse elemento arquitetônico, dada a importância do mesmo diante do conforto térmico.

6

CONCLUSÃO

As conclusões sobre a legislação brasileira a partir de uma perspectiva mais ampla com base na crítica separada por elementos arquitetônicos ou grupos de elementos são apresentadas a seguir. Salienta-se que esta dissertação refere-se à legislação brasileira através dos textos descritos no subcapítulo denominado Legislação. A avaliação que será realizada nos próximos parágrafos visa apontar os problemas encontrados durante a definição da metodologia, a simulação e a análise dos resultados.

No subcapítulo denominado *Sobre Trabalhos Futuros* são sugeridos diferentes temas para trabalhos que visam dar continuidade, refinar ou melhorar os resultados e a análise desta dissertação.

SOBRE A LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

Analisando-se a influência das definições, restrições e limites prescritos dentro dos textos legislativos brasileiros em relação ao conforto térmico no interior de prédios para o uso como escritórios em Porto Alegre, as seguintes observações podem ser feitas.

A primeira observação, diz respeito à falta da diferenciação dos valores prescritos para as orientações solares. Em outras palavras, o valor mais adaptado de um elemento arquitetônico para o conforto térmico depende da orientação solar. Todas as variações apresentam os melhores resultados para a orientação da fachada na direção sul, enquanto na maioria dos casos a orientação solar norte resulta no menor número de horas de conforto. Observa-se então, que os ganhos através da insolação direta são decisivos para o desconforto causado por temperaturas acima do limite superior de conforto. As horas de desconforto por calor, observadas em todas as variações simuladas, superam claramente as de desconforto por baixas temperaturas. De um ponto de vista diferente, os resultados obtidos através da simulação térmica revelam que alguns elementos arquitetônicos apresentam efeitos negativos ou positivos somente para orientações específicas. Como resultado da análise, a falta da integração da orientação solar representa o principal ponto negativo da legislação em vigor. Claramente, a legislação tem como objetivo criar regras o mais abrangentes possíveis, mas as simulações realizadas apresentam fortes indícios indicando que uma elevação do detalhamento poderia beneficiar o conforto térmico. As diferenças observadas, especialmente entre as orientações sul e norte, sugerem que para a maioria dos elementos acima analisados, a prescrição de dois ou mais valores ou limites, traz efeitos positivos para o número de horas de conforto.

A segunda crítica refere-se à falta de prescrições para elementos de sombreamento. Atualmente, não existe nenhuma legislação em vigor que defina obrigações ou limites para a utilização de sombreamentos. Os resultados obtidos nas séries relacionados ao sombreamento demonstram que esta ferramenta pode ser efetivamente empregada para reduzir os efeitos negativos dos ganhos através da radiação direta. Isso, acima de tudo, é observado para a orientação norte. Como a orientação norte resulta no maior impacto negativo, a introdução dos elementos de sombreamento horizontal teria um efeito positivo maior do que a definição de limites inferiores para elementos verticais sobre o conforto térmico.

A terceira observação geral sobre a influência da legislação sobre o conforto térmico é relacionada à composição das paredes externas. Os textos legislativos em vigor definem corretamente valores intermediários para a cor, a massa e o isolamento. As prescrições para o fator solar, a transmitância e o atraso térmico são escolhidos a fim de garantir um equilíbrio entre os efeitos negativos gerados para valores extremos durante o período de temperaturas altas ou durante o período com baixas temperaturas externas. É importante salientar, que a transmitância térmica das paredes internas deveria ser definida diferentemente a partir da orientação solar.

O quarto, e último, reparo refere-se ao tipo de legislação existente no Brasil. Todos os textos legislativos, incluindo as legislações urbanas e outros textos não diretamente analisados neste trabalho, são prescritivos. Isso significa que os textos contêm uma inscrição ou recomendação, ou ainda que explicam ou sugerem como se deve construir. Em comparação com, por exemplo, a legislação alemã, não são definidos alvos para os resultados diretamente experimentados para o usuário. No caso deste trabalho, uma legislação performativa como a alemã apresentaria uma definição para o conforto, uma metodologia para a simulação ou medição e os valores necessários a serem alcançados. O trabalho apresentado demonstra, que as prescrições da legislação existente no Brasil nem sempre resultam em conforto térmico. Uma legislação que define níveis performativos deixaria em aberto o modo de resolver o conforto, mas obrigaria os arquitetos e engenheiros responsáveis a garantirem um nível desejável de conforto térmico.

Resumindo, observa-se a falta de valores ou limites que variam de acordo com a orientação solar do elemento arquitetônico. Essa crítica é feita para todos os textos legislativos brasileiros em vigor. As simulações demonstraram que as orientações solares geram um grande impacto, várias vezes muito maior do que a variação do elemento arquitetônico.

Assim, sugere-se que futuros textos legislativos levem em consideração o fato de que o clima e a posição geográfica de Porto Alegre exigem uma diferenciação para a orientação solar. A diferenciação dos elementos arquitetônicos já prescritos na legislação será capaz de garantir melhores resultados para o conforto. Além disso, conclui-se que a inclusão do elemento de sombreamento e, em específico dos elementos horizontais, pode trazer um melhoramento da legislação em relação à sua influência sobre o conforto térmico.

Finalmente, constata-se que, mesmo não sendo performativa, a legislação brasileira, com os seus textos anteriormente descritos, possui uma influência significativa sobre o conforto térmico nas edificações para o uso como escritório em Porto Alegre. Através da definição, limitação e prescrição de valores para 12 elementos arquitetônicos, esses textos apresentam seus efeitos sobre os resultados obtidos através das simulações térmicas executadas. Alguns dos valores obtidos a partir das legislações possuem influências positivas sobre as horas de conforto. Isso significa que em alguns casos, o valor prescrito pelos textos legislativos resulta no melhor valor para o conforto térmico. Entretanto, para outros casos, o maior número de horas de conforto é obtido a partir de variações diferentes, mas permitidas, ou diferentes e não permitidas pela legislação em vigor. Neste ponto, salienta-se que esta dissertação não avalia efeitos combinados de variações de elementos arquitetônicos, mas somente considera o conforto térmico no ambiente.

SOBRE ESTE TRABALHO

Em relação à este trabalho de mestrado, três limitações associadas à metodologia, simulação e análise podem ser salientadas.

Em primeiro lugar, salienta-se que o recorte do trabalho possibilitou a realização de simulações térmicas a base de modelos muito simplificados. Isso resulta em duas limitações. A primeira é causada pelo próprio recorte que, por sua vez, exclui outras tipologias e localizações, assim como outros critérios, tais como a eficiência energética ou o conforto visual. A segunda limitação é relativa ao modelo simplificado utilizado nas simulações. A simulação desse modelo acaba produzindo resultados que dependendo da situação podem não corresponder à realidade. Note que os resultados obtidos nesta dissertação poderiam ser comparados com medições obtidas a partir de prédios reais ou de simulações de modelos mais detalhados a fim de avaliar se as conclusões deste trabalho representam ou não a realidade.

A segunda limitação está associada à definição das 12 séries utilizadas durante as simulações. Em mais detalhes, a separação dos elementos arquitetônicos funciona no nível teórico, mas as mudanças realizadas no modelo de quase todos as variações causam um efeito também sobre outros elementos. Mudando a área do piso, aumenta ou diminui também o volume de ar contido no interior, bem como as áreas de contato com as paredes internas. Assim, a composição dessas paredes tem mais influência nas variações que simulam áreas de piso maiores. Em outro exemplo, as mudanças nas composições das paredes internas para criar as variações na transmitância, obviamente resultam também em variações do atraso térmico ou da massa dessas paredes. É impossível identificar a importância dessas impurezas sobre os resultados e conseqüentemente, sobre a análise das variações.

A terceira observação está relacionada à um aspecto similar ao anterior. A dissertação simplifica a sua análise separando os efeitos dos elementos arquitetônicos um do outro, quando na realidade todos os elementos agem e reagem como um conjunto aos parâmetros estabelecidos como externos. Os efeitos combinados de janelas maiores com uma área do piso reduzido, por exemplo, não são avaliados neste trabalho. Salienta-se que a identificação da importância desses efeitos combinados é muito difícil. Muitos fatores são interligados um com outro e nem a medição ou a simulação podem garantir resultados somente para um dos elementos.

Resumindo, é importante lembrar mais uma vez que esta dissertação avalia a influência dos elementos arquitetônicos definidos nos textos legislativos em vigor sobre o conforto térmico de modo separado. Os resultados das simulações são obtidos através de modelos simplificados e servem somente para a comparação entre os mesmos. As horas de conforto não se referem a horas reais de conforto, mas definem um valor numérico para a análise dos elementos obtidos nas legislações brasileiras.

RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Espera-se que este trabalho possa servir como base e inspiração para discussões e futuros trabalhos na linha do conforto térmico tanto na legislação assim como em campos relacionados.

Em mais detalhes, este trabalho poderia ser estendido para outros textos legislativos ou poderia ainda ser realizada uma análise mais detalhada de um dos textos utilizados neste trabalho.

Além disso, também poderia ser feita uma análise mais aprofundada da influência de um ou de alguns elementos arquitetônicos, realizando uma série de simulações com mais de 5 variações. Neste sentido, poderia também ser refinada a análise das orientações solares, que neste trabalho é realizada através de 4 rotações.

A definição de conforto representa um tema extremamente dinâmico, onde novas observações, ideias e abordagens podem sempre surgir. Futuramente seria muito interessante realizar uma melhor adaptação das descobertas internacionais às condições climáticas e sociais, assim como técnico-construtivas do Brasil.

Além da abordagem sobre o conforto térmico, a metodologia poderia ser aplicado à outros alvos da construção e do projeto arquitetônico, tais como a eficiência energética ou a iluminação natural.

As simulações térmicas deste trabalho representam, por escolha, uma aproximação à realidade. Seria interessante consolidar os resultados através de simulações com modelos mais detalhados ou eventualmente com a utilização de um estudo de caso real. Neste caso medições obtidas a partir de edificações reais poderiam substituir as simulações com EnergyPlus.

7

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT [2003]: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações**. 2003. ABNT, Rio de Janeiro.

ABNT [2008]: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 16401-2: Desempenho térmico de edificações**. 2008. ABNT, Rio de Janeiro.

APLICATIVO [2011]: APLICATIVO PARA CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DE ALVENARIAS. **Propriedades Térmicas dos Materiais**. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~damore/cptp.htm>. Acesso em: 17/8/2011.

ASHRAE [1992]: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). **Standard 55 - Thermal environment conditions for human occupancy**. 1992. ASHRAE, Atlanta.

ASHRAE [2005]: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). **Thermal Comfort**. 2005. ASHRAE Handbook Fundamentals, Atlanta.

AYOADE [2011]: AYOADE, J.O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. 2011. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro. 1-14 pp

BAHIA [1997]: BAHIA, S. R., et al., **Modelo para Elaboração de Código de Obras e Edificações**. 1997. IBAM/DUMA, Rio de Janeiro.

- BAKER [1995]: BAKER, N. V., STANDEVEN, M. A. **A behavioural approach to thermal comfort assessment in naturally ventilated buildings**. 1995. Proceedings CIBSE National Conference, Eastbourne. 76-84 pp.
- BALESTIERE [2002]: BALESTIERE, J. A. P. **Cogeração: geração combinada de eletricidade e calor**. 2002. Editora da UFSC, Florianópolis.
- BARRET [1974]: BARRET, E. C. **Climatology from Satellites**. 1974. Methuen, London.
- BARROS [1987]: BARROS FROTA, A., RAMOS SCHIFFER, S., **Manual de Conforto Térmico**. 1987. Nobel, São Paulo.
- BBC [2011]: BBC WEATHER. **Brazil > Porto Alegre**. Disponível em: <http://news.bbc.co.uk/weather/forecast/4042?>. Acesso em: 11/8/2011
- BEDFORD [1936]: BEDFORD, T. **The warmth factor in confort at work**. 1936. MRC Industrial Health Board Report no. 76
- BEYER [2005]: BEYER, P. O. **Apostila do Curso de Climatização**. 2005. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- BRITANNICA [2011]: BRITANNICA ONLINE ENCYCLOPEDIA. **Climate**. Disponível em: <http://www.britannica.com>. Acesso em: 8/8/2011.
- BUSCH [1992]: BUSCH, J. **A tale of two populations: thermal comfort in air-conditioned and naturally ventilated offices in Thailand**. 1992. Energy and Buildings Vol. 18. 235-249 pp.
- CARINTHIAN [2011]: Carinthian Government, - Carinthian Institute for Climate Protection, Austria. **World Maps of Köppen-Geiger Climate Classification**. Disponível em: <http://koepen-geiger.vu-wien.ac.at/present.htm>. Acesso em: 9/8/2011
- CENA [1999]: CENA, K., DE DEAR, R. J. **Field study of occupant thermal comfort and office thermal environments in a hot, arid climate**. 1999. ASHRAE Transaction (105). 204-217 pp.
- CHARLES [2003]: CHARLES, K. E. **Fanger's Thermal Comfort and Draught Models**. 2003. IRC-RR-162, Nacional Research Concil Canada.
- COFAIGH [1996]: COFAIGH, E. O., OLLEY J. A., LEWIS, J. O., **The Climate Dwelling – An introduction to climate-responsive residential architecture**. 1996. James & James (Science Publishers) Ltd. London.
- DE DEAR [2001]: DE DEAR, R., SCHILLER BRAGER, G. **The adaptive model of thermal comfort and energy conservation in the built environment**. 2001. International Journal of Biometeorology (45). 100-108 pp.
- DE DEAR [2004]: DE DEAR, R. **Thermal comfort in practice**. 2004. in: Indoor Air 2004; 14 (Suppl 7) 32-39 pp.

DIN [2007]: Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN). **DIN EN 15251 Eingangsparemetros für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik; Deutsche Fassung EN 15251:2007** (*DIN EN 15251 Parâmetros de entrada para o clima de ambientes para a interpretação e análise da eficiência energética de edificações – qualidade do ar do ambiente, temperatura, iluminação e acústica; versão alemã da EN 15251:2007*). 2007. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN [2008]: Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN). **DIN EN 6946 Bauteile – Wärmedurchlaßwiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient - Berechnungsverfahren** (*DIN EN 6946 Componentes de construção – resistência térmica e transmitância térmica – Métodos de cálculo*). 2008. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DOE [1992]: Diário Oficial do Estado. **Código de Edificações de Porto Alegre LC No 284 de 27 de outubro de 1992**. Disponível em: http://proweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/smov/usu_doc/codigo.pdf. Acesso em: 23/8/2011.

DOU [2011-1]: Diário Oficial da União de 18/10/2001. **Lei No 10.295 de 17 de outubro de 2001**. Disponível em: <http://www81.dataprev.gov.br/sislex/paginas/42/2001/10295.htm>. Acesso em: 22/8/2011.

DOU [2011-2]: Diário Oficial da União de 20/12/2001. **Decreto No 4.059 de 19 de dezembro de 2001**. Disponível em: <http://www81.dataprev.gov.br/sislex/paginas/23/2001/4059.htm>. Acesso em: 22/8/2011.

ELECTROBRÁS [2006]: Eletrobrás / PROCEL EDUCAÇÃO, **Conservação de Energia – Eficiência Energética de Equipamento e Instalações**. 2006. Universidade Federal de Itajubá (FUPAI), Itajubá.

EVANS [2007]: EVANS, J. M., **The Comfort Triangles: A New Tool for Bioclimatic Design**. 2007. Tese de doutorado, Universidade Tecnica de Delft, Delft.

FANGER [1972]: FANGER P. O. **Thermal Comfort: analysis and applications in environmental engineering**. 1972. McGraw-Hill, New York.

FERNANDES [2001]: FERNANDES, A. E. P. **As Torres Envidraçadas e o Consumo Energético**. 2001. II Encontro Nacional e I Encontro Latino Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, Gramado.

GALLO [1988]: GALLO, C., SALA, M., SAYIGH, A.A.M., **Architecture: Comfort and Energy**. 1988. Elsevier Science Ltd., Kidlington.

GARCIA [2006]: GARCIA BALTAR, M. **Redução da Demanda de Energia Elétrica utilizando Parâmetros Construtivos visando ao Conforto Térmico**. 2006. Dissertação de Mestrado - Programa De Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica Do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre.

GOOGLE [2011]: Google. **Download Google SketchUp 8**. Disponível em: <http://sketchup.google.com/download/gsu.html>. Acesso em: 02/08/2011

GOULART [1997]: GOULART, S.V.G., LAMBERTS, R; FIRMINO, S. **Dados Climáticos para avaliação energética em 14 cidades brasileiras**. 1997. Florianópolis, Núcleo de Pesquisa em Construção, UFSC.

HIRST [1986]: HIRST, E. **Energy Efficiency in Buildings - Progress e Promise**. 1986. Jr. Editor, Washington.

HOBBS [1980]: HOBBS, J. E., **Applied Climatology – A Study of Atmospheric Resources**. 1980. W & J Mackay Limited, Chatham.

HUMPHREYS [1978]: HUMPHREYS, M.A. **Outdoor temperatures and comfort indoors**. 1978. Building Research and Practice (J CIB) (6). 92-105 pp.

HUMPHREYS [1995]: HUMPHREYS, M. A., NICOL, J. F. **An adaptive guideline for UK office temperatures**. 1995. Standards for thermal comfort: indoor air temperature standards for the 21st century. EFN Spon, London.

HUMPHREYS [2002]: HUMPHREYS, M. A., NICOL, J. F. The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments. 2002. Energy and Building (34/6). 667-684pp

INDRAGANTI [2011]: INDRAGANTI, M., **Adaptive Model of Thermal comfort**. 2010. Disponível em: http://www.scitopics.com/Adaptive_Model_of_Thermal_comfort.html. Acesso em: 23/7/2011.

ISO [1989]: International Organization for Standardization (ISO). **ISO 7243 - Hot environments: Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature)**. 1989.

ISO [1994]: International Organization for Standardization (ISO). **ISO 7730 - Moderate Thermal Environments - Determination of the PMV and PPD indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort**. 1994.

KHEDARI [2000]: KHEDARI, J., YAMTRAIPAT, N., PRATINTONG, N., HIRUNLABH, J. **Thailand ventilation comfort chart**. 2000. Energy and Buildings 32: 245-249 pp.

KOEPPEN [1884]: KÖPPEN, W. **Die Wärmezonen der Erde, nach der Dauer der heissen, gemässigten und kalten Zeit und nach der Wirkung der Wärme auf die organische Welt betrachtet**. 1884. Meteorologische Zeitschrift (1).215-226 p.

KOEPPEN [1932]: KOEPPEN, W. **Grundriss der Klimakunde**. 1932. Walter De Gruyter & CO., Berlin

KOTTEK [2006]: KOTTEK, M. et.al. **World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated**. 2006. Meteorologische Zeitschrift (15), 259-263 p.

LABEEE [2011-1]: LABEEE. **PortoAlegreTRY1954_05CSV.epw**. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos>. Acesso em: 18/7/2011

LABEEE [2011-2]: LABEEE. **arquivos-climaticos**. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos>. Acesso em: 9/8/2011

LAMBERTS [1997]: LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 1997. PW Editores, São Paulo.

LAMBERTS [2005]: LAMBERTS, R., GHISI, E., ABREU, A., CARLO, J. **Apostila de Desempenho Térmico de Edificações**. 2005. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

LIBERAKU [2010]: LIBERALI, R. **Simulação para Estudo do Envoltório de um Prédio**. 2010. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MARQUARDT [1969]: MARQUARDT, H.E. **Determinantes Climatológicas para a Arquitetura em Porto Alegre e R. G. do Sul**. 1969. Gráfica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre

MASCARÓ [1992]: MASCARÓ, J. L., MASCARÓ, L., **Incidência das Variáveis Projetivas e de Construção no Consumo Energético dos Edifícios**. 1992. Sagra-DC Luzzatto, Porto Alegre.

MELO [2008]: MELO, A. P., **Análise da Influência da Transmitância Térmica no Consumo de Energia de Edificações Comerciais**. 2008. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

McCARTNY [2001]: McCARTNY, K. J., NICOL, J. F. **Developing an adaptive control algorithm for Europe: results of the SCATS project**. 2001. Energy and Buildings 2002

MICROSOFT [2011]: Microsoft, Inc., **Windows XP**, Disponível em: <http://windows.microsoft.com/en-US/windows/products/windows-xp>. Acesso em: 17/08/2011

MME [2010]: Ministério de Minas E Energia (MME). **Conjunto de publicações: Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações, RTQ-C, RAC-C, Manual para aplicação do RTQ-C e RAC-C**. 2010.

MME [2011]: Ministério de Minas E Energia (MME). **Balanco Energético Nacional 2011**. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2011.pdf. Acesso em: 16/9/2011.

MÜHR [2011-1]: MÜHR, B. **Die Klimaklassifikation nach E. Neef**. Disponível em: <http://www.klimadiagramme.de/Frame/neef.html>. Acesso em: 9/8/2011

MÜHR [2011-2]: MÜHR, B. **Die Klimaklassifikation nach Troll / Pfaffen**. Disponível em: <http://www.klimadiagramme.de/Frame/troll.html>. Acesso em: 9/8/2011

NEEF [1983]: NEEF, E. **Ausgewählte Schriften**. 1983. Haack, Gotha

NICOL [2002]: NICOL, J. F., HUMPHREYS, M. A. **Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings**. 2002. Energy and Buildings (34/6). 563-572 pp

OLGYAY [1963]: OLGAYAY, V. **Design with Climate – Bioclimatic approach to architectural regionalism**. 1963. Princeton University Press

OLGYAY [1999]: OLGAYAY, V. **Arquitectura y Clima: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas**. 1999. Gustavo Gili, Barcelona.

PEEL [2007]: PEEL, M. C., FINLAYSON, B. L., McMAHON, T. A. **Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification**. 2007. Hydrol. In: Earth Syst. Sci. Discuss. Disponível em: <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/11/1633/2007/hess-11-1633-2007.pdf>. Acesso em: 9/8/2011

PENTER [2008]: PENTER, C. et al. **Inventário Rápido da Fauna de Mamíferos do Morro Santana, Porto Alegre, RS**. 2008. In: Revista Brasileira de Biociências no.1, Porto Alegre. 119p

PEREIRA [2005]: PEREIRA, F. L. **Determinação Computacional da Influência de Parâmetros Físicos no Comportamento Termoenergético de uma Edificação**. 2005. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PRESIDÊNCIA [2011]: PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA - SUBCHEFIA PARA ASSUNTOS JURÍDICOS. **Lei Complementar Nº 14, de 8 de Junho de 1973**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/LCP/Lcp14.htm. Acesso em: 11/8/2011

SABERI [2011]: SABERI, O., SANEELI, P., JAVANBAKHT, A. **Thermal Comfort in Architecture**. Disponível em: <http://nceub.commoncense.info/uploads/Saberi.pdf>. Acesso em: 18/7/2011

SAINT GOBAIN [2011-1]: SAINT GOBAIN GLASS. **SGG CLIMAPLUS**. Disponível em: <http://www.saint-gobain-glass.com/>. Acesso em: 12/7/2011.

SAINT GOBAIN [2011-2]: SAINT GOBAIN GLASS. **SGG CLIMATLIT**. Disponível em: <http://www.saint-gobain-glass.com/>. Acesso em: 12/7/2011.

SAINT GOBAIN [2011-3]: SAINT GOBAIN GLASS. **SGG DIAMANT**. Disponível em: <http://www.saint-gobain-glass.com/>. Acesso em: 12/7/2011.

SAINT GOBAIN,2011-4]: SAINT GOBAIN GLASS. **SGG PLANILUX**. Disponível em: <http://www.saint-gobain-glass.com/>. Acesso em: 12/7/2011.

SAINT GOBAIN [2011-5]: SAINT GOBAIN GLASS. **SGG PLANITHERM**. Disponível em: <http://www.saint-gobain-glass.com/>. Acesso em: 12/7/2011.

SAINT GOBAIN [2011-6]: SAINT GOBAIN GLASS. **SGG STAPID COLOR**. Disponível em: <http://www.saint-gobain-glass.com/>. Acesso em: 12/7/2011.

SATTLER [2005]: SATTLER, M. A. **Apostila de Conforto Ambiental**. 2005. Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SCHILLER [1990]: SCHILLER, G. E. **A comparison of measured and predicted comfort in office buildings**. 1990. ASHRAE Transaction, 96 (1). 609 – 622 pp.

SOURBRON [2010]: SOURBRON, M., HELSEN, L., **Evaluation of adaptive thermal comfort models in moderate climates and their impact on energy use in office buildings**. 2010. in: Energy and Buildings. Disponível em: <http://www.elsevier.com/locate/enbuild>. Acesso em: 20/7/2011.

THOM [1959]: THOM, E.C. **The discomfort index**. In: Weatherwise, 12. 1959. 57-60 pp

USDE [2011-1]: U.S. Department of Energy. **About EnergPlus**, Disponível em: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_about.cfm. Acesso em: 02/08/2011

USDE [2011-2]: U.S. Department of Energy. **EnergyPlus Energy Simulation Software**, Disponível em: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>. Acesso em: 02/08/2011

USDE [2011-3]: U.S. Department of Energy. **OpenStudio Plug-in for Google SketchUp**. Disponível em: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/openstudio.cfm>. Acesso em: 02/08/2011

VANWYLEN [1973]: VANWYLEN, G. J., SONNTAG, R. E. **Fundamentals of Classical Thermodynamics**. 1973. John Wiley and Sons., London.

VMWARE [2011]: vmware, Inc., **vmware Fusion Overview**, Disponível em: <http://www.vmware.com/products/fusion/overview.html>. Acesso em: 17/08/2011

WALLAUER [2003]: WALLAUER, M. **Utilização do Programa EnergyPlus para a Simulação do Conforto Térmico em Edificações Populares em Quatro Capitais Brasileiras**. 2003. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

WMO [2011]: WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Climate Observation Networks and Systems**. Disponível em: http://www.wmo.int/pages/themes/climate/climate_observation_networks_systems.php. Acesso em: 9/8/2011

YANNAS [1994-1]: YANNAS, S., **Solar Energy and Housing Design – Volume 1: Principles, Objectives, Guidelines**. 1994. E. G. Bond, London.

YANNAS [1994-2]: YANNAS, S., **Solar Energy and Housing Design – Volume 2: Examples**. 1994. E. G. Bond, London.

8

APÊNDICES

O apêndice apresenta de forma impressa os principais dados e resultados, enquanto que os dados completos e a totalidade dos resultados são apresentados digitalmente.

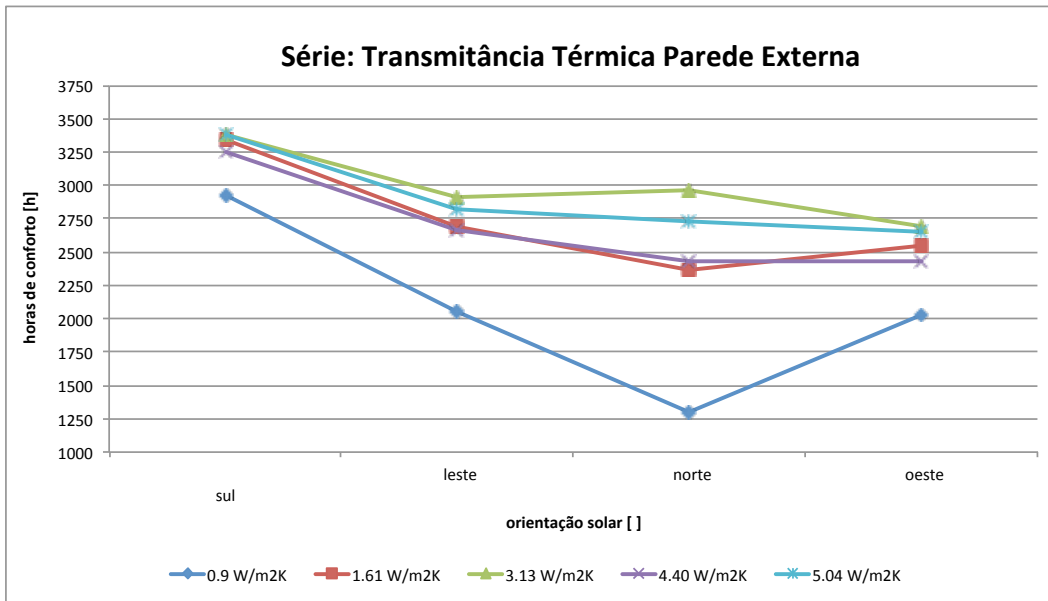
8.1. APÊNDICE IMPRESSO

RESUMO DOS RESULTADOS

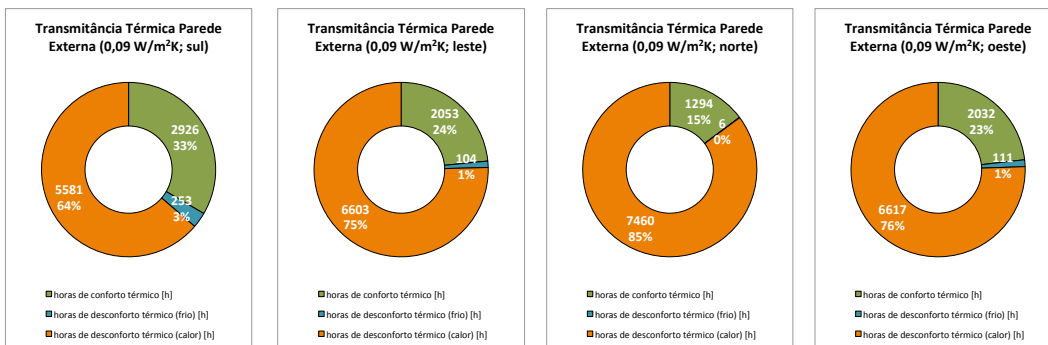
a. Transmitância Térmica Parede Externa

	SUL (0 grau)			LESTE (90 graus)			NORTE (180 graus)			OESTE (270 graus)		
0.9 W/m²K	2926	253	5581	2053	104	6603	1294	6	7460	2032	111	6617
	33.40	2.89	63.71	23.44	1.19	75.38	14.77	0.07	85.16	23.20	1.27	75.54
1.61 W/m²K	3346	779	4635	2687	451	5622	2365	251	6144	2552	500	5708
	38.20	8.89	52.91	30.67	5.15	64.18	27.00	2.87	70.14	29.13	5.71	65.16
3.13 W/m²K	3386	1261	4113	2915	819	5028	2960	344	5456	2694	880	5188
	38.65	14.39	46.95	33.28	9.35	57.37	33.79	3.93	62.28	30.75	10.05	59.20
4.40 W/m²K	3248	1248	4264	2668	709	5383	2431	214	6115	2426	774	5560
	37.08	14.25	48.88	30.46	8.09	61.45	27.75	2.44	69.81	27.69	8.84	63.47
5.04 W/m²K	3382	895	4483	2816	591	5353	2729	207	5824	2649	625	5486
	38.61	10.22	51.18	32.15	6.75	61.11	31.15	2.36	66.48	30.24	7.13	62.63

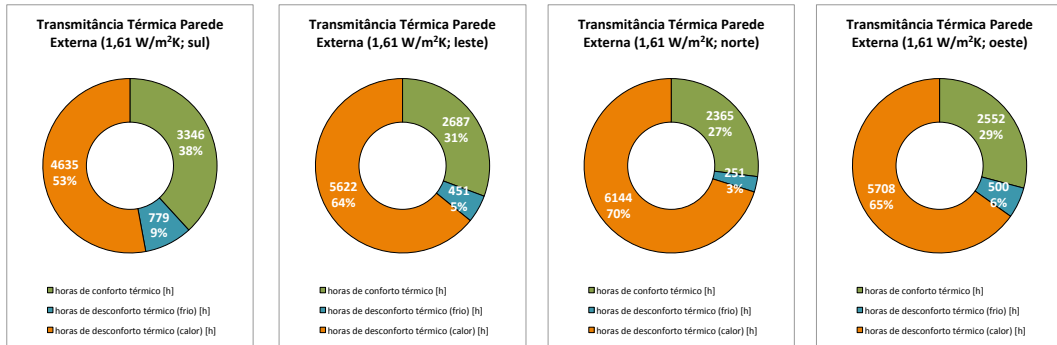
Resultados das variações: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor) em horas e em porcentagem



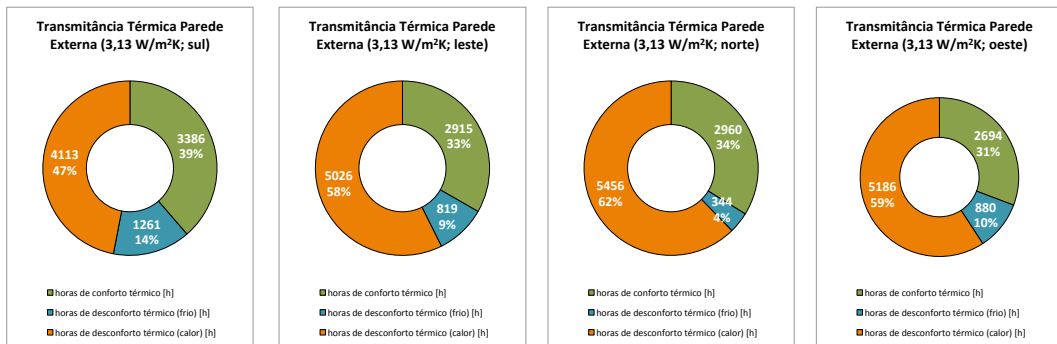
Resultados gráficos das variações: indicando as horas de conforto



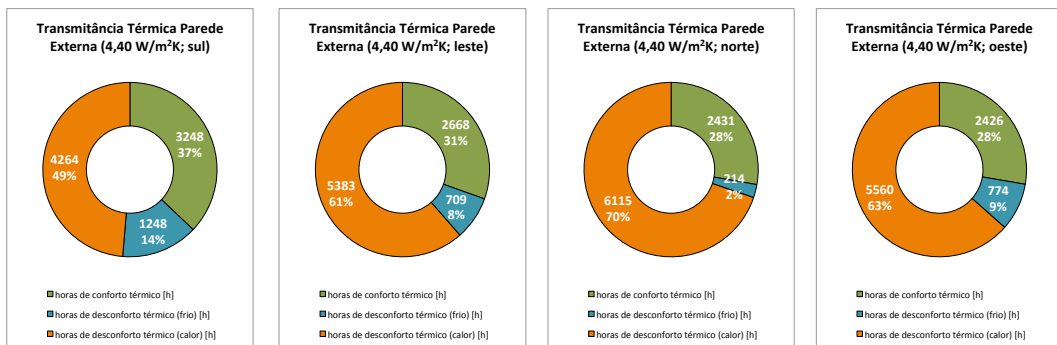
Resultados da primeira variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)



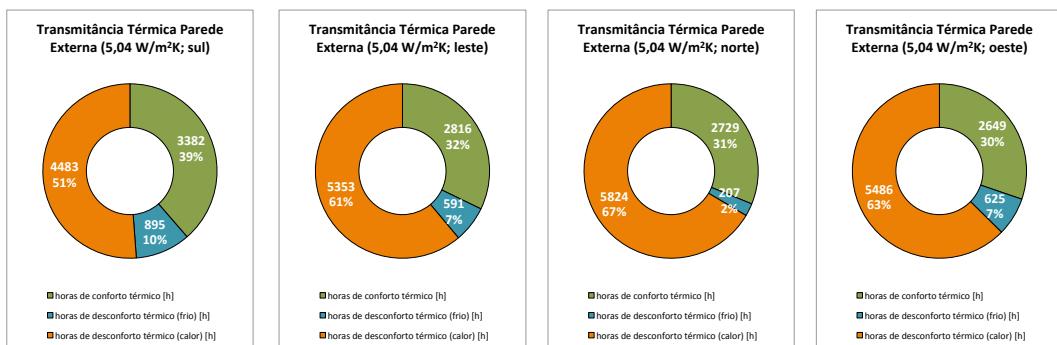
Resultados da segunda variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)



Resultados da terceira variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)



Resultados da quarta variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)

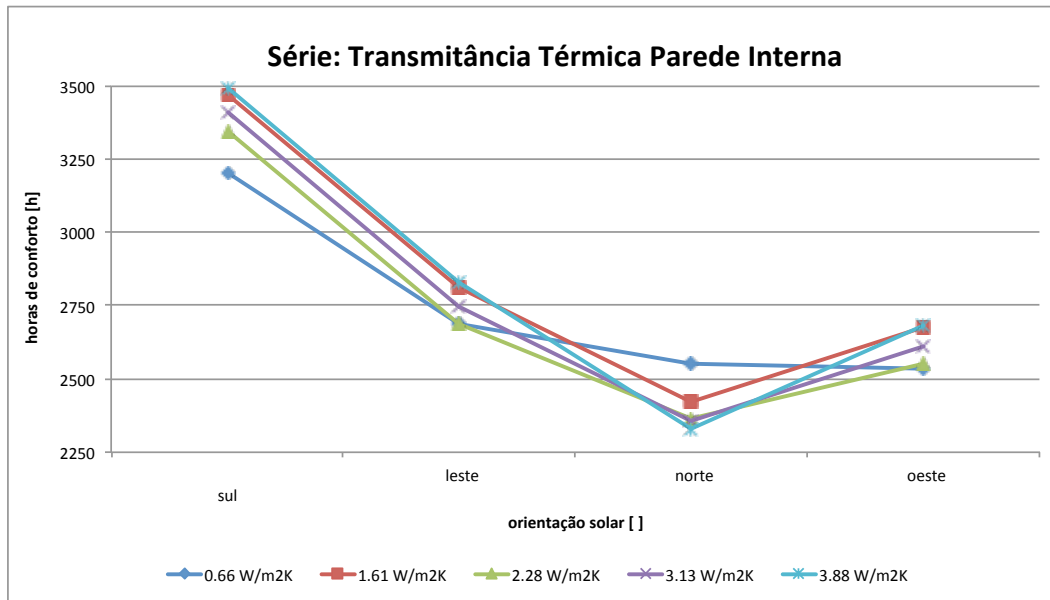


Resultados da quinta variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)

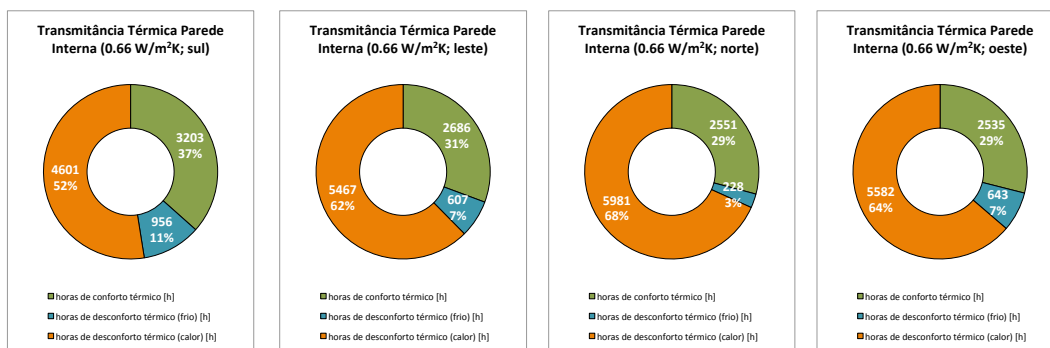
b. Transmitância Térmica Parede Interna

	SUL (0 grau)			LESTE (90 graus)			NORTE (180 graus)			OESTE (270 graus)		
0.66 W/m²K	3203	956	4601	2686	607	5467	2551	228	5981	2535	643	5582
	36.56	10.91	52.52	30.66	6.93	62.41	29.12	2.60	68.28	28.94	7.34	63.72
1.61 W/m²K	3468	723	4569	2812	360	5588	2420	71	6269	2676	415	5669
	39.59	8.25	52.16	32.10	4.11	63.79	27.63	0.81	71.56	30.55	4.74	64.71
2.28 W/m²K	3346	779	4635	2687	451	5622	2365	251	6144	2552	500	5708
	38.20	8.89	52.91	30.67	5.15	64.18	27.00	2.87	70.14	29.13	5.71	65.16
3.13 W/m²K	3410	724	4626	2746	387	5627	2355	89	6316	2613	432	5715
	38.93	8.26	52.81	31.35	4.42	64.24	26.88	1.02	72.10	29.83	4.93	65.24
3.88 W/m²K	3492	672	4595	2827	317	5618	2330	53	6377	2679	368	5713
	39.86	7.67	52.47	32.27	3.62	64.11	26.60	0.61	72.80	30.58	4.20	65.22

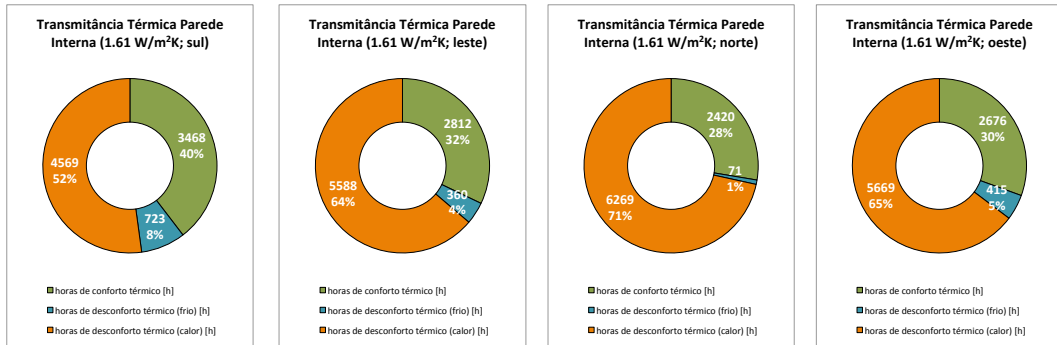
Resultados das variações: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor) em horas e em porcentagem



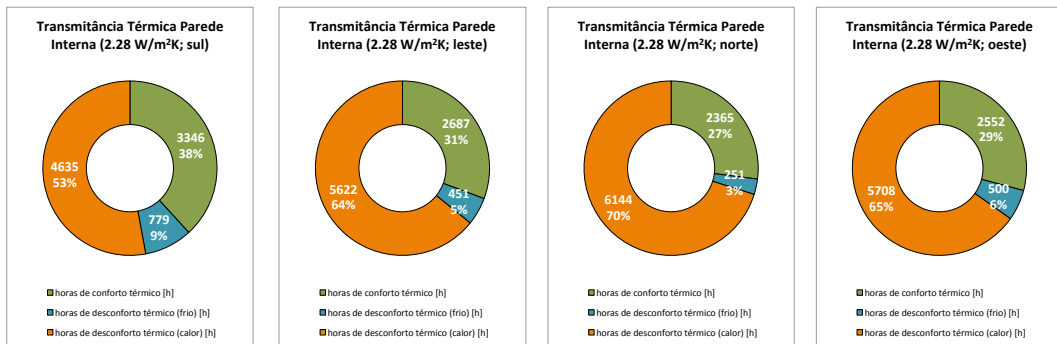
Resultados gráficos das variações: indicando as horas de conforto



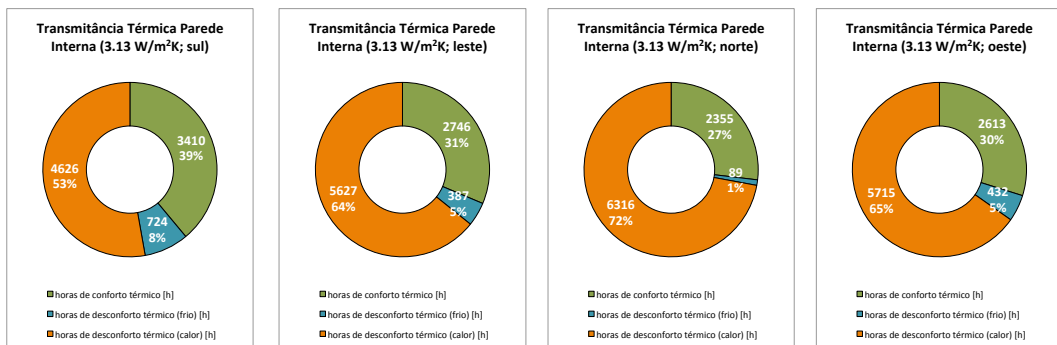
Resultados da primeira variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)



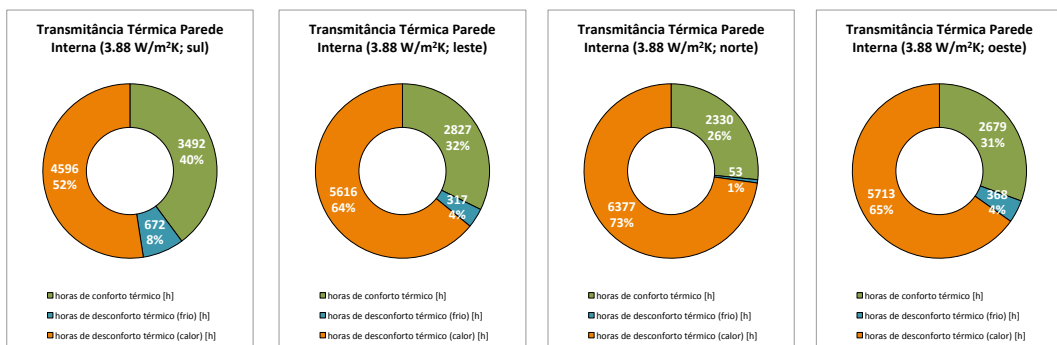
Resultados da segunda variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)



Resultados da terceira variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)



Resultados da quarta variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)

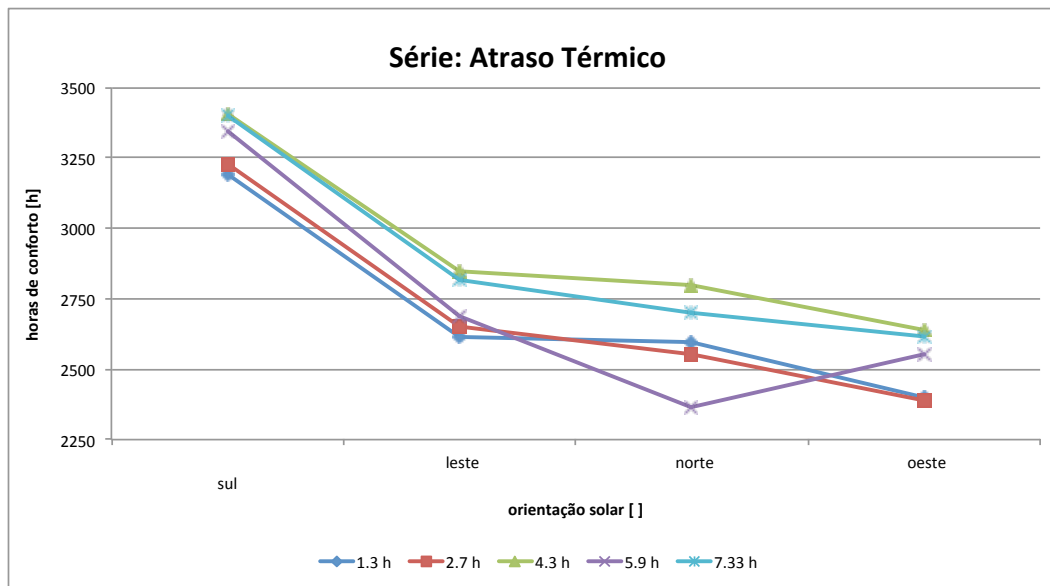


Resultados da quinta variação : indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)

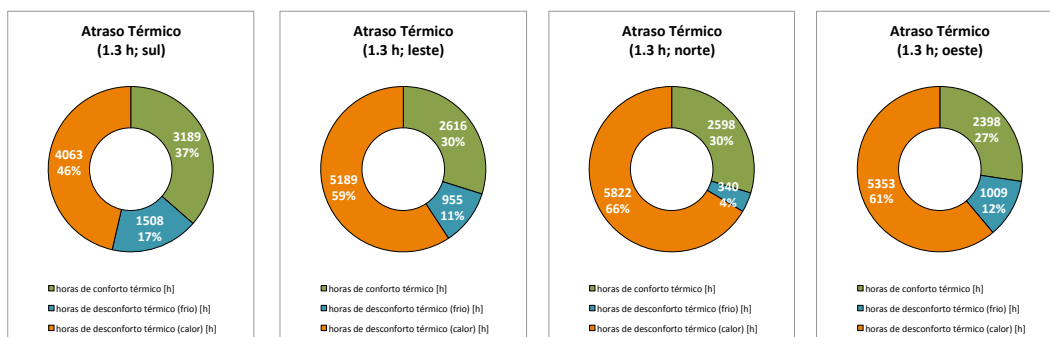
c. Atraso Térmico

	SUL (0 grau)			LESTE (90 graus)			NORTE (180 graus)			OESTE (270 graus)		
1.3 h	3189	1508	4063	2616	955	5189	2598	340	5822	2398	1009	5353
	36.40	17.21	46.38	29.86	10.90	59.24	29.66	3.88	66.46	27.37	11.52	61.11
2.7 h	3229	1399	4132	2650	848	5262	2554	275	5931	2389	931	5440
	36.86	15.97	47.17	30.25	9.68	60.07	29.16	3.14	67.71	27.27	10.63	62.10
4.3 h	3408	1042	4310	2848	667	5245	2796	221	5743	2639	718	5403
	38.90	11.89	49.20	32.51	7.61	59.87	31.92	2.52	65.56	30.13	8.20	61.68
5.9 h	3346	779	4635	2687	451	5622	2365	251	6144	2552	500	5708
	38.20	8.89	52.91	30.67	5.15	64.18	27.00	2.87	70.14	29.13	5.71	65.16
7.33 h	3400	973	4387	2814	612	5334	2700	183	5877	2616	663	5481
	38.81	11.11	60.08	32.12	6.99	60.89	30.82	2.09	67.09	29.86	7.57	62.57

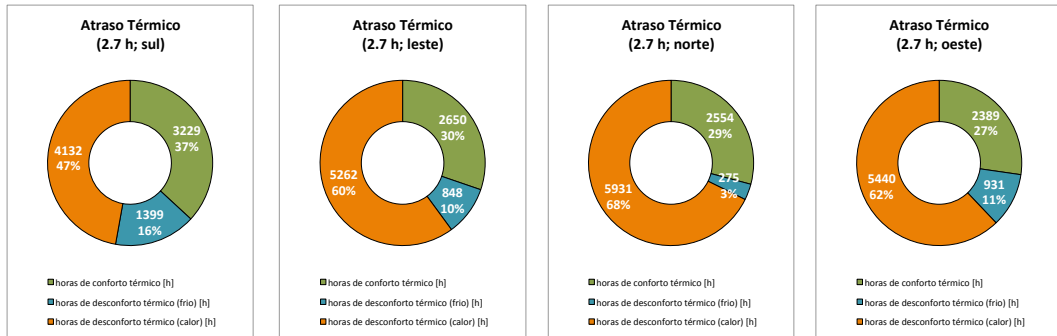
Resultados das variações: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor) em horas e em porcentagem



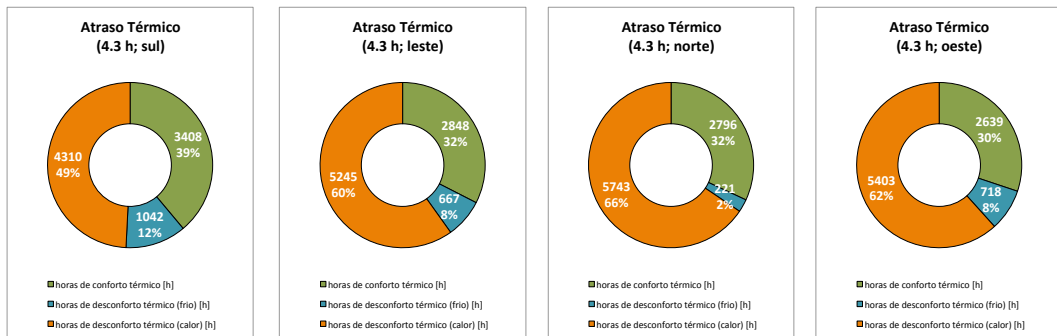
Resultados gráficos das variações: indicando as horas de conforto



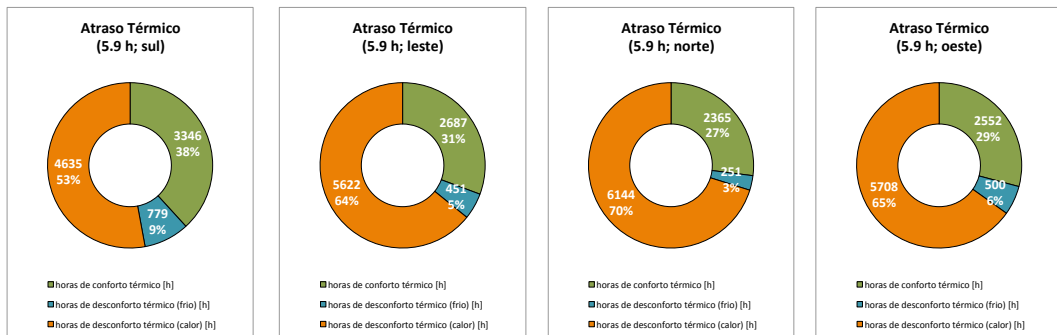
Resultados da primeira variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)



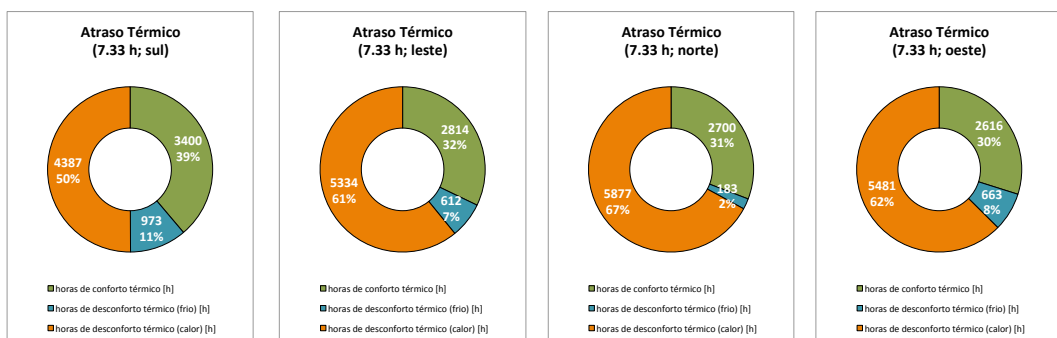
Resultados da segunda variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)



Resultados da terceira variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)



Resultados da quarta variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)

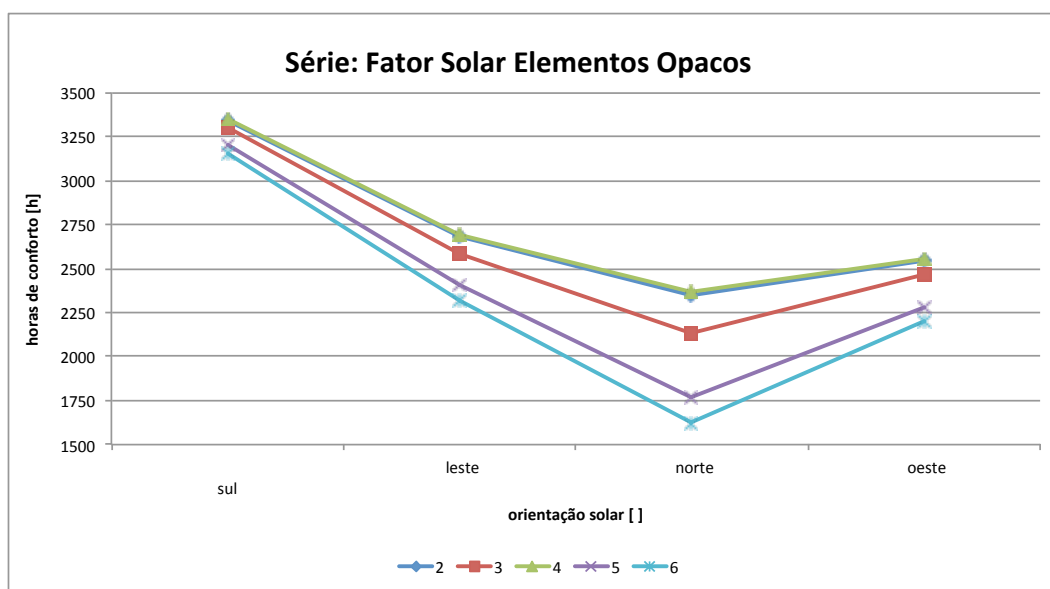


Resultados da quinta variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)

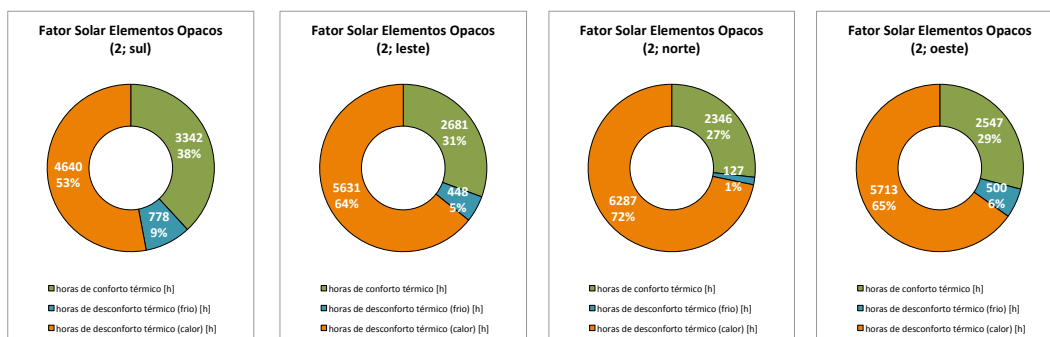
d. Fator Solar Elementos Opacos

	SUL (0 grau)			LESTE (90 graus)			NORTE (180 graus)			OESTE (270 graus)		
2	3342	778	4640	2681	448	5631	2346	127	6287	2547	500	5713
	38.15	8.88	52.97	30.61	5.11	64.28	26.78	1.45	71.77	29.08	5.71	65.22
3	3297	728	4735	2583	400	5777	2133	97	6530	2466	447	5847
	37.64	8.31	54.05	29.49	4.57	65.95	24.35	1.11	74.54	28.15	5.10	66.75
4	3346	779	4635	2687	451	5622	2365	251	6144	2552	500	5708
	38.20	8.89	52.91	30.67	5.15	64.18	27.00	2.87	70.14	29.13	5.71	65.16
5	3202	653	4905	2403	309	6048	1766	57	6937	2276	363	6121
	36.55	7.45	55.99	27.43	3.53	69.04	20.16	0.65	79.19	25.98	4.14	69.87
6	3155	622	4983	2320	275	6165	1626	47	7087	2197	331	6232
	36.02	7.10	56.88	26.48	3.14	70.38	18.56	0.54	80.90	25.08	3.78	71.14

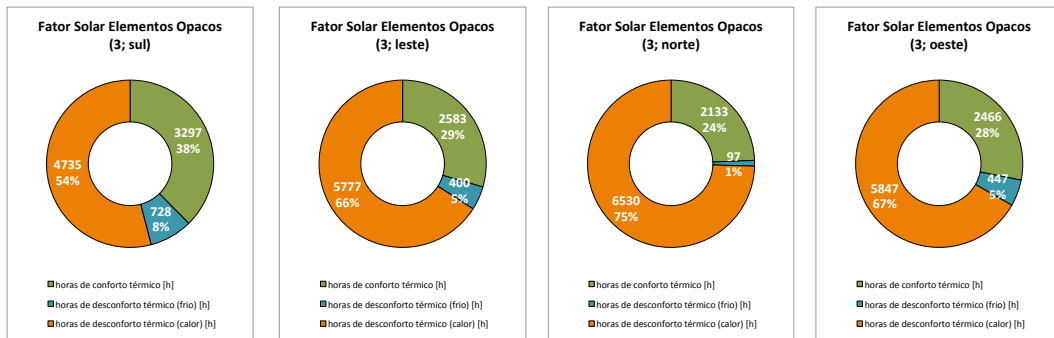
Resultados das variações: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor) em horas e em porcentagem



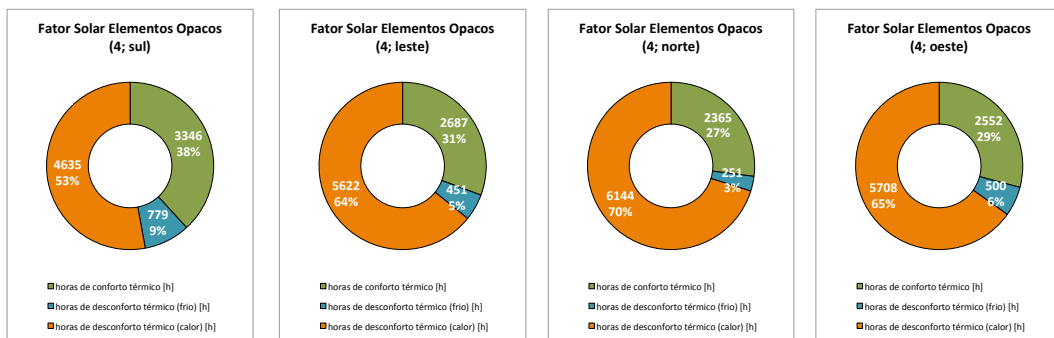
Resultados gráficos das variações: indicando as horas de conforto



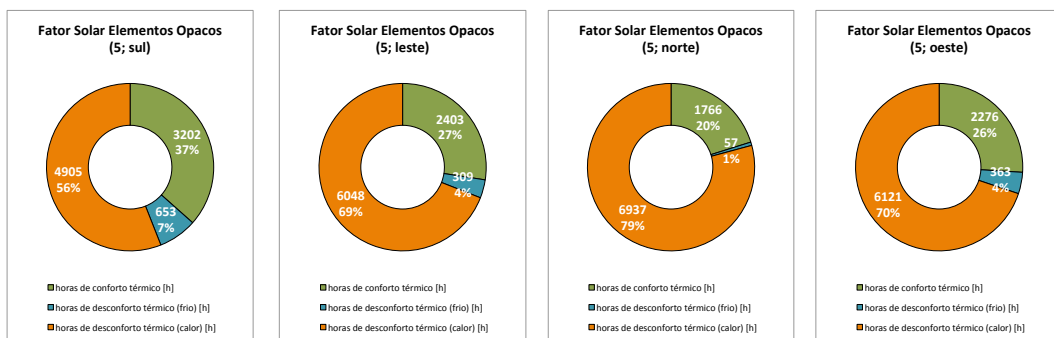
Resultados da primeira variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)



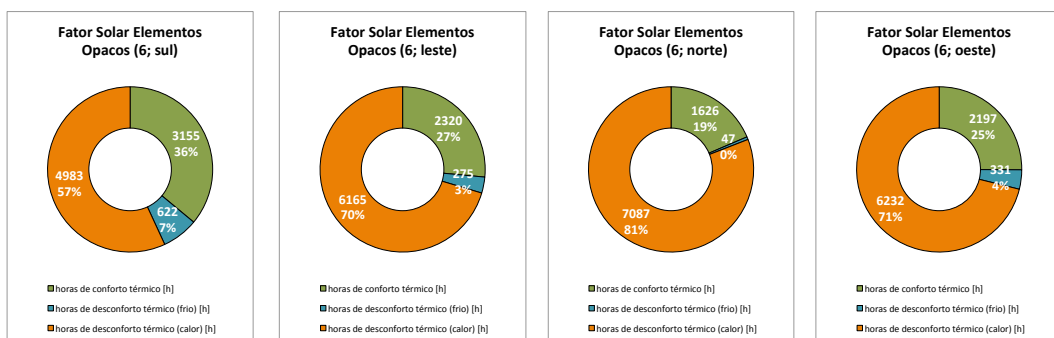
Resultados da segunda variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)



Resultados da terceira variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)



Resultados da quarta variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)

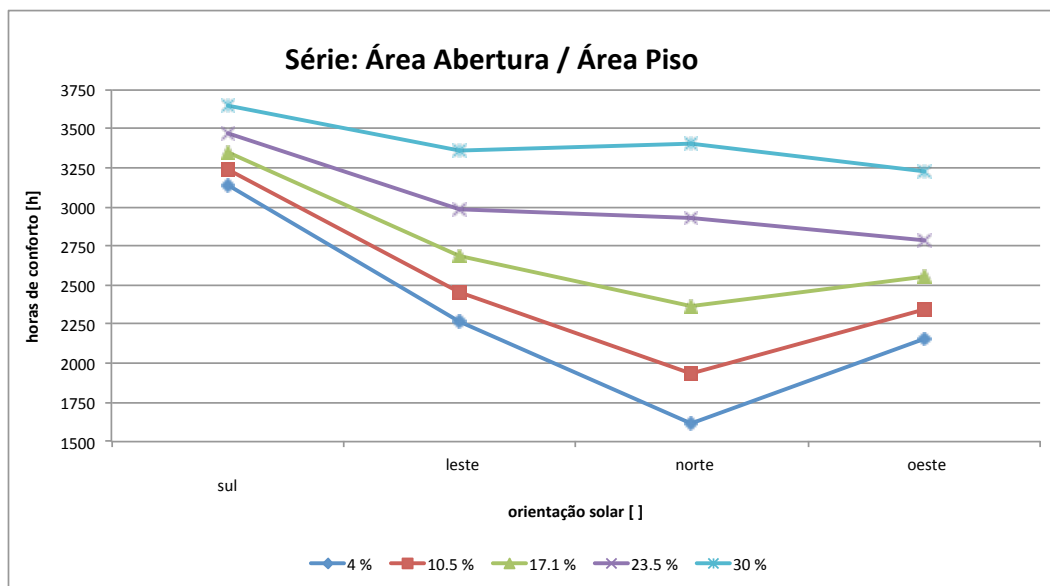


Resultados da quinta variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)

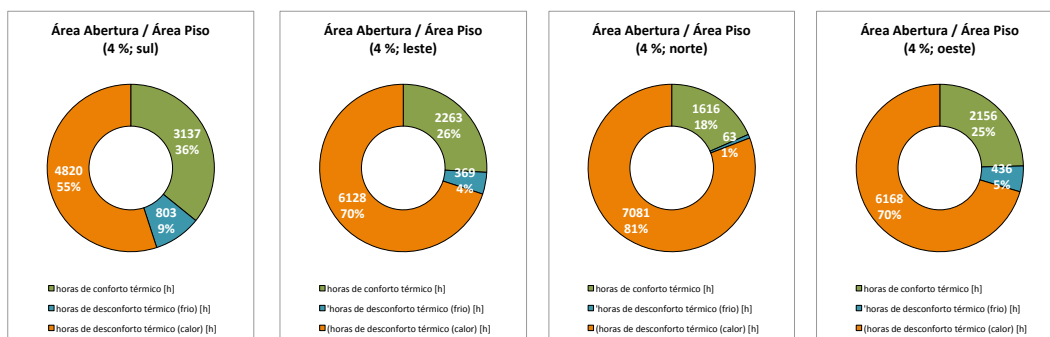
e. Área Abertura / Área Piso

	SUL (0 grau)			LESTE (90 graus)			NORTE (180 graus)			OESTE (270 graus)		
4 %	3137	803	4820	2263	369	6128	1616	63	7081	2156	436	6168
	35.81	9.17	55.02	25.83	4.21	69.95	18.45	0.72	80.83	24.61	4.98	70.41
10.5 %	3235	790	4735	2449	404	5907	1931	79	6750	2339	457	5964
	36.93	9.02	54.05	27.96	4.61	67.43	22.04	0.90	77.05	26.70	5.22	68.08
17.1 %	3346	779	4635	2687	451	5622	2365	251	6144	2552	500	5708
	38.20	8.89	52.91	30.67	5.15	64.18	27.00	2.87	70.14	29.13	5.71	65.16
23.5 %	3468	771	4521	2987	526	5247	2925	209	5626	2786	570	5404
	39.59	8.80	51.61	34.10	6.00	59.90	33.39	2.39	64.22	31.80	6.51	61.69
30 %	3650	772	4338	3360	623	4777	3406	381	4973	3226	641	4893
	41.67	8.81	49.52	38.36	7.11	54.53	38.88	4.35	56.77	36.83	7.32	55.86

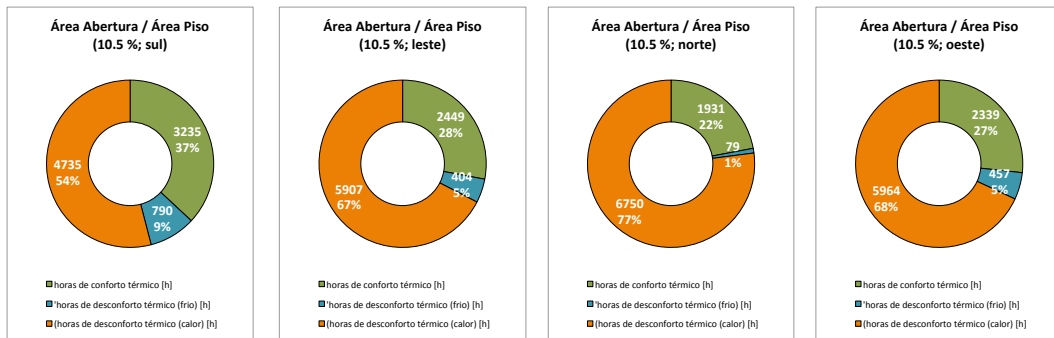
Resultados das variações: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor) em horas e em percentagem



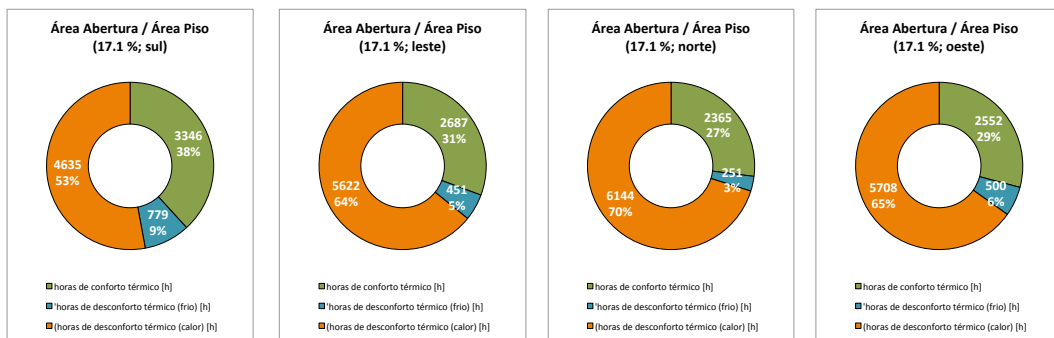
Resultados gráficos das variações: indicando as horas de conforto



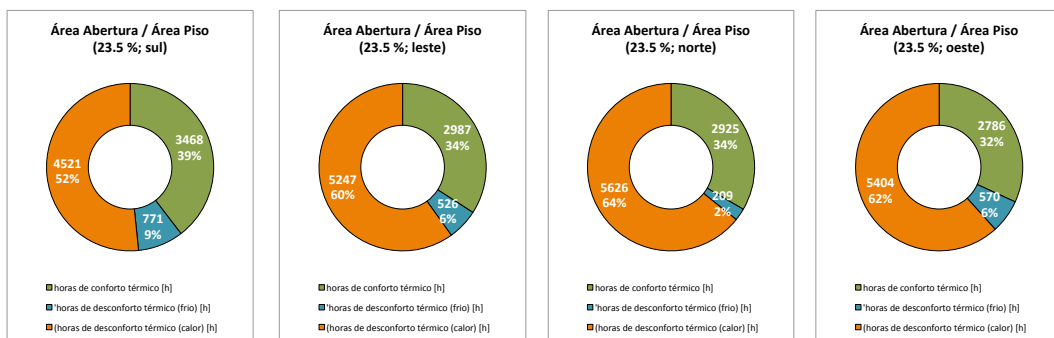
Resultados da primeira variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)



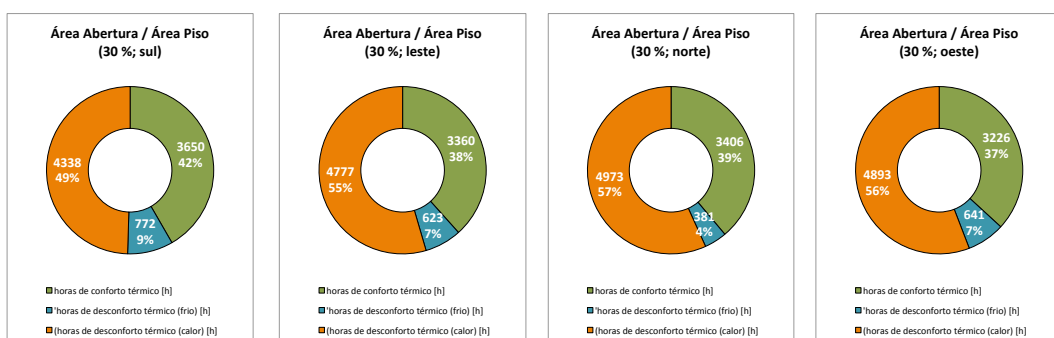
Resultados da segunda variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)



Resultados da terceira variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)



Resultados da quarta variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)

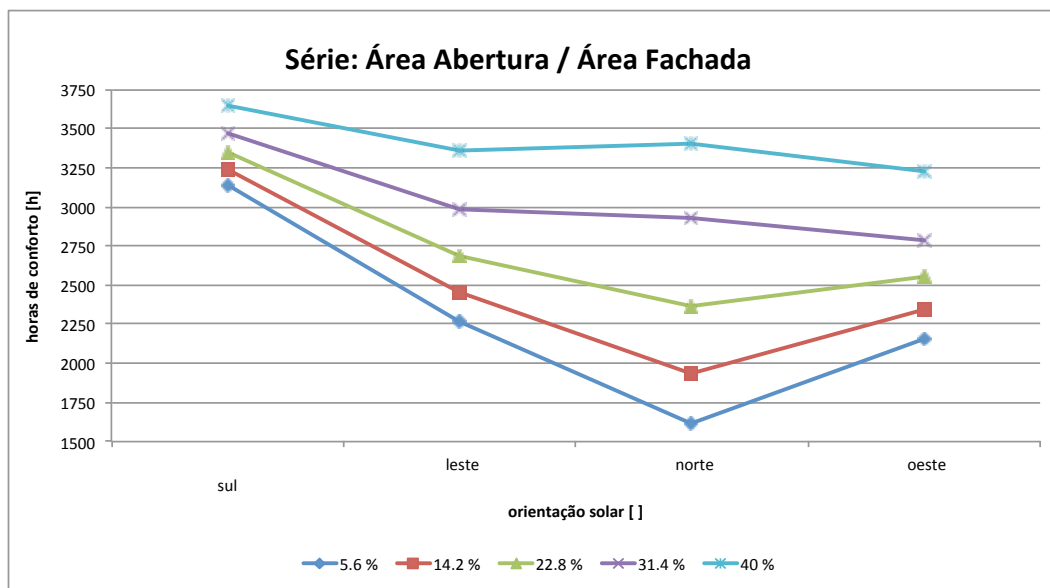


Resultados da quinta variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)

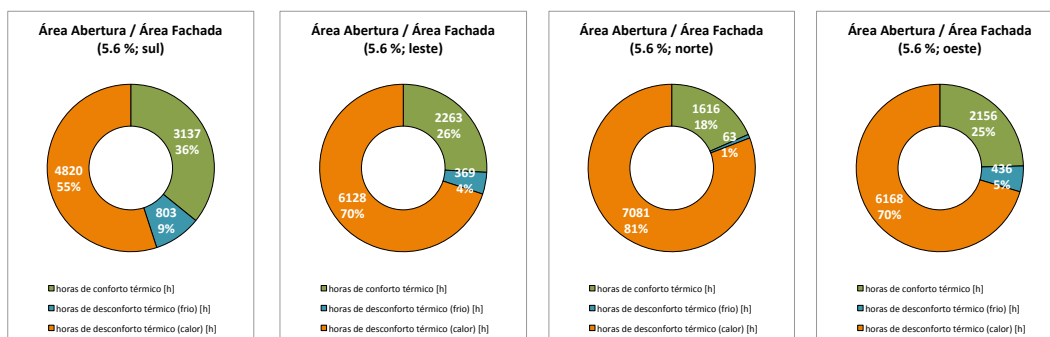
f. Área Abertura / Área Fachada

	SUL (0 grau)			LESTE (90 graus)			NORTE (180 graus)			OESTE (270 graus)		
5.6 %	3137	803	4820	2263	369	6128	1616	63	7081	2156	436	6168
	35.81	9.17	55.02	25.83	4.21	69.95	18.45	0.72	80.83	24.61	4.98	70.41
14.2 %	3235	790	4735	2449	404	5907	1931	79	6750	2339	457	5964
	36.93	9.02	54.05	27.96	4.61	67.43	22.04	0.90	77.05	26.70	5.22	68.08
22.8 %	3346	779	4635	2687	451	5622	2365	251	6144	2552	500	5708
	38.20	8.89	52.91	30.67	5.15	64.18	27.00	2.87	70.14	29.13	5.71	65.16
31.4 %	3468	771	4521	2987	526	5247	2925	209	5626	2786	570	5404
	39.59	8.80	51.61	34.10	6.00	59.90	33.39	2.39	64.22	31.80	6.51	61.69
40 %	3650	772	4338	3360	623	4777	3406	381	4973	3226	641	4893
	41.67	8.81	49.52	38.36	7.11	54.53	38.88	4.35	56.77	36.83	7.32	55.88

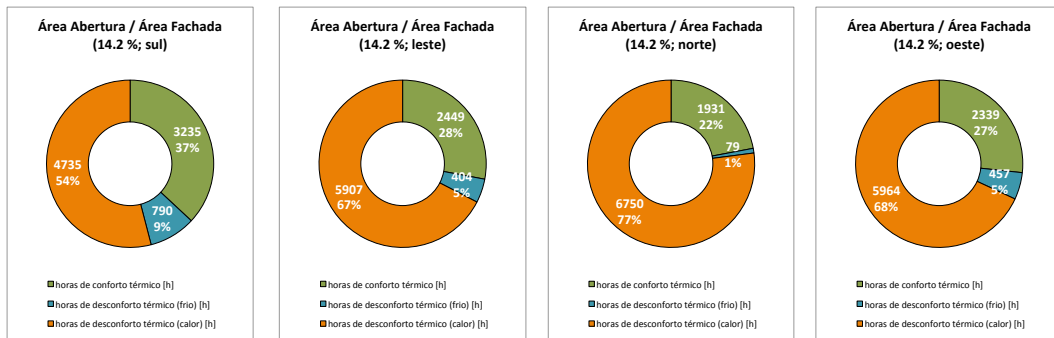
Resultados das variações: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor) em horas e em porcentagem



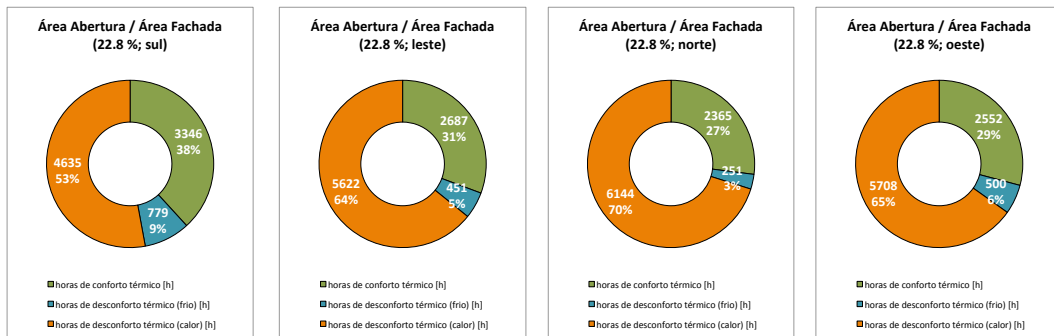
Resultados gráficos das variações: indicando as horas de conforto



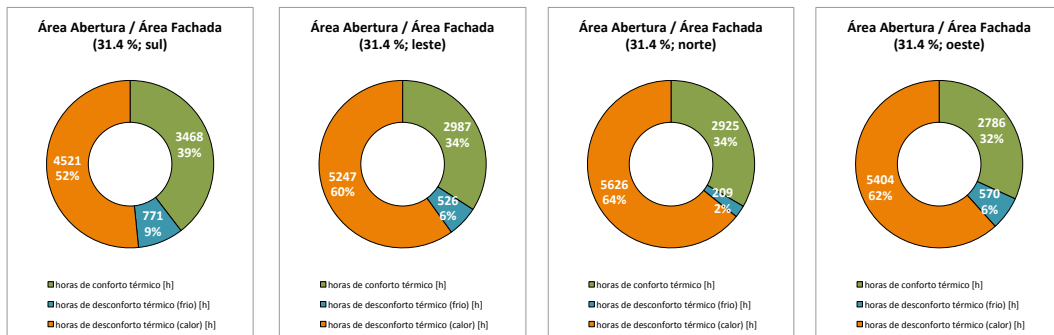
Resultados da primeira variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)



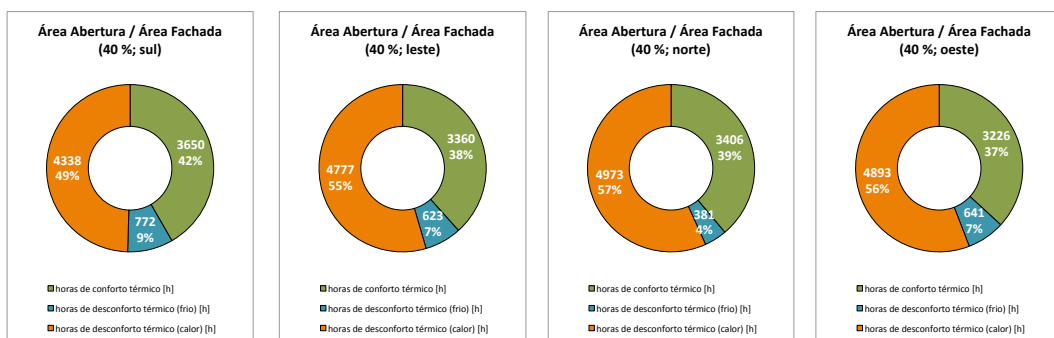
Resultados da segunda variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)



Resultados da terceira variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)



Resultados da quarta variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)

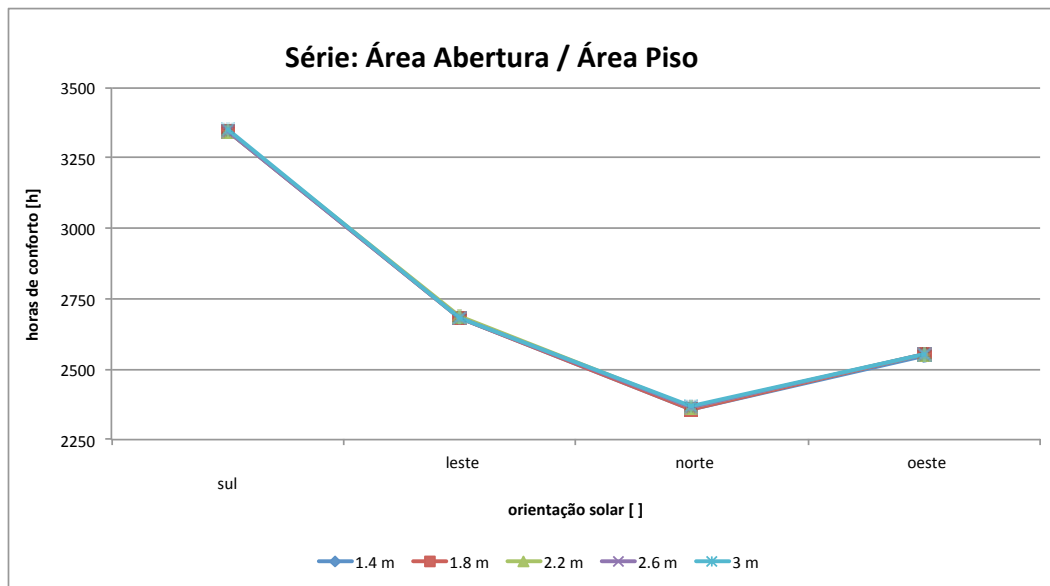


Resultados da quinta variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)

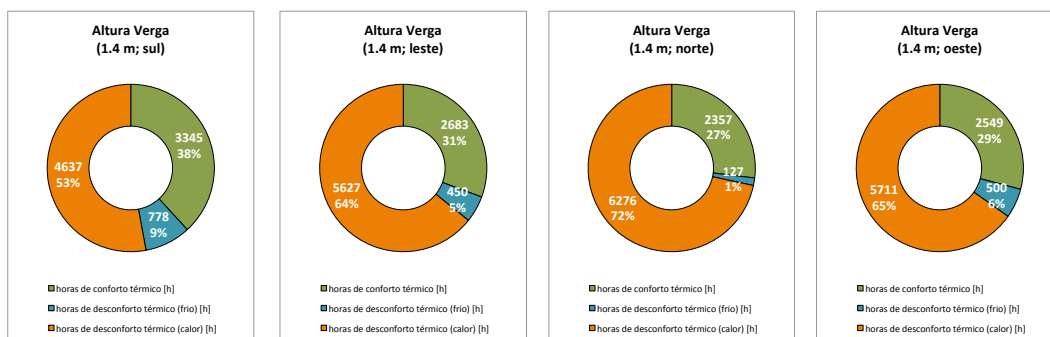
g. Altura Verga

	SUL (0 grau)			LESTE (90 graus)			NORTE (180 graus)			OESTE (270 graus)		
	horas de conforto	horas de desconforto (frio)	horas de desconforto (calor)	horas de conforto	horas de desconforto (frio)	horas de desconforto (calor)	horas de conforto	horas de desconforto (frio)	horas de desconforto (calor)	horas de conforto	horas de desconforto (frio)	horas de desconforto (calor)
1.4 m	3345	778	4637	2683	450	5627	2357	127	6276	2549	500	5711
	38.18	8.88	52.93	30.63	5.14	64.24	26.91	1.45	71.64	29.10	5.71	65.19
1.8 m	3346	779	4635	2684	450	5626	2357	129	6274	2552	500	5708
	38.20	8.89	52.91	30.64	5.14	64.22	26.91	1.47	71.62	29.13	5.71	65.16
2.2 m	3346	779	4635	2687	451	5622	2365	251	6144	2552	500	5708
	38.20	8.89	52.91	30.67	5.15	64.18	27.00	2.87	70.14	29.13	5.71	65.16
2.6 m	3347	780	4633	2684	456	5620	2365	129	6266	2555	501	5704
	38.21	8.90	52.89	30.64	5.21	64.16	27.00	1.47	71.53	29.17	5.72	65.11
3 m	3348	780	4632	2683	459	5618	2368	129	6263	2554	502	5704
	38.22	8.90	52.88	30.63	5.24	64.13	27.03	1.47	71.50	29.16	5.73	65.11

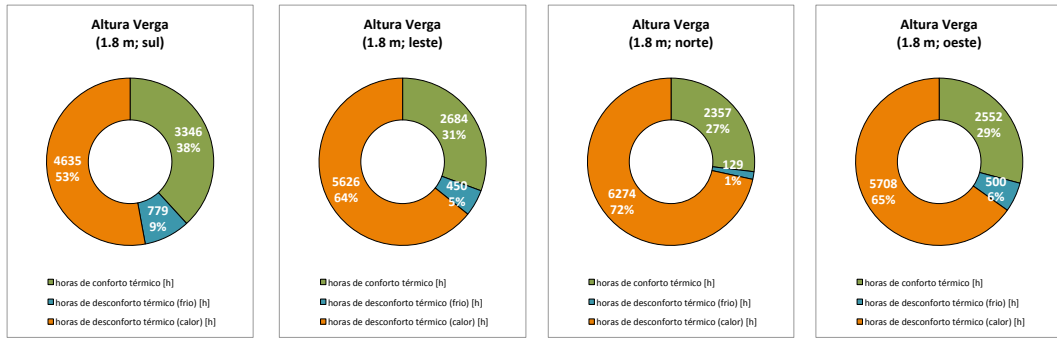
Resultados das variações: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor) em horas e em porcentagem



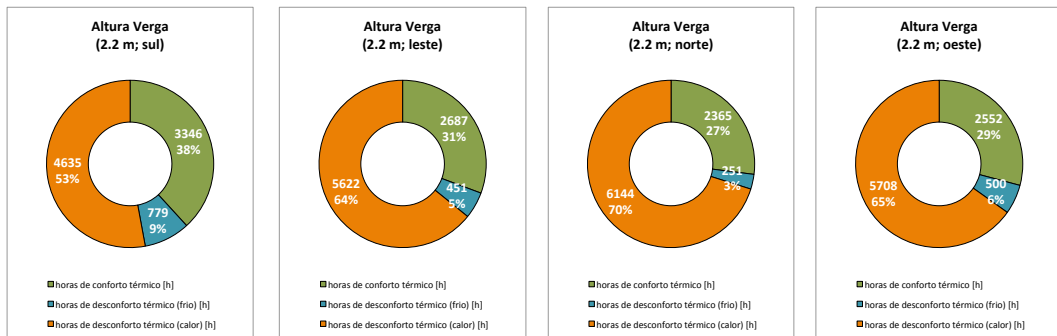
Resultados gráficos das variações: indicando as horas de conforto



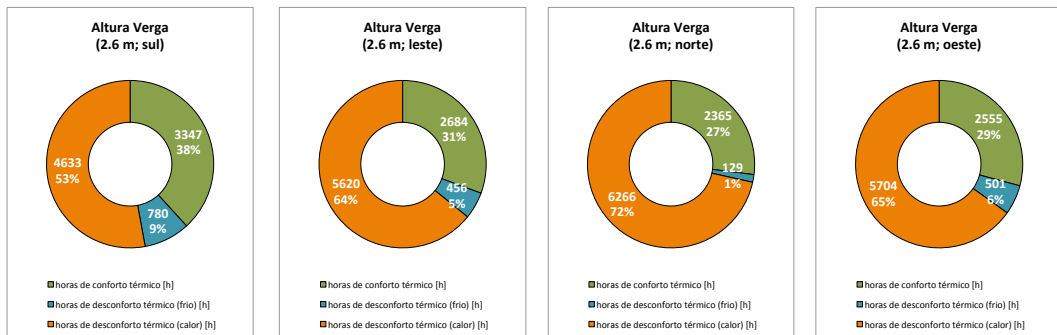
Resultados da primeira variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)



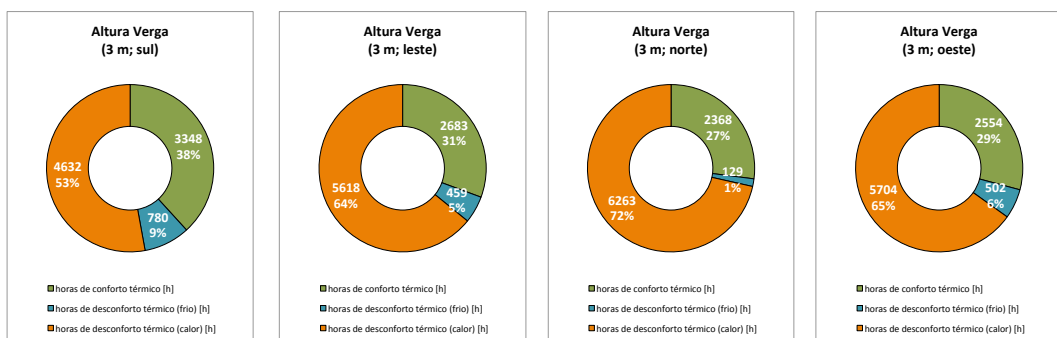
Resultados da segunda variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)



Resultados da terceira variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)



Resultados da quarta variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)

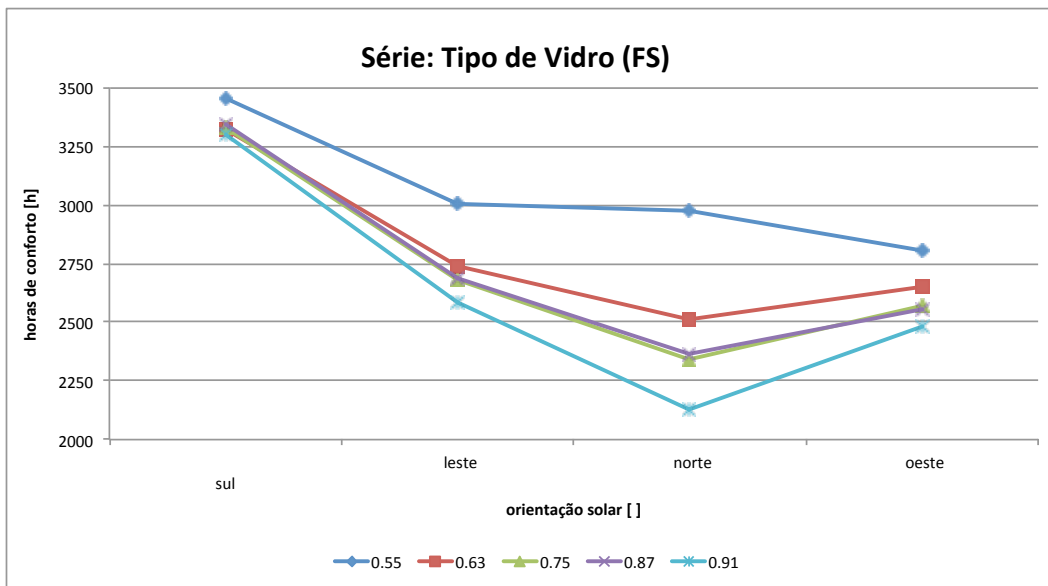


Resultados da quinta variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)

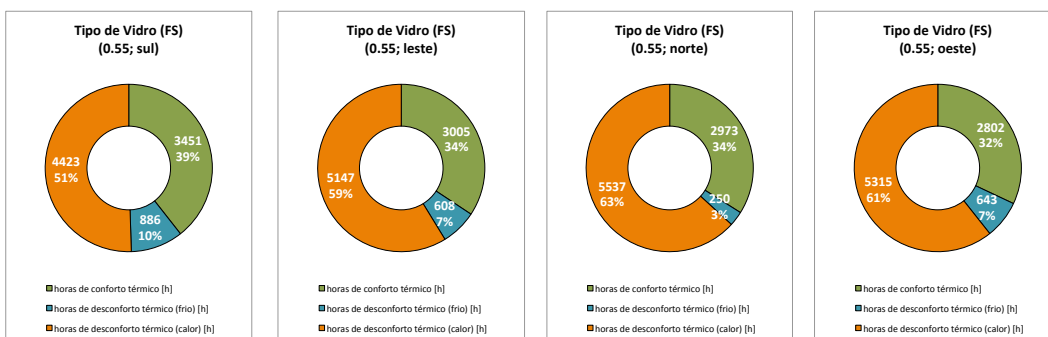
h. Tipo de Vidro (FS)

	SUL (0 grau)			LESTE (90 graus)			NORTE (180 graus)			OESTE (270 graus)		
0.55	3451	886	4423	3005	608	5147	2973	250	5537	2802	643	5315
	39.39	10.11	50.49	34.30	6.94	58.76	33.94	2.85	63.21	31.99	7.34	60.67
0.63	3324	575	4861	2740	329	5691	2512	101	6147	2652	363	5745
	37.95	6.56	55.45	31.23	3.76	64.97	28.66	1.15	70.17	30.27	4.14	65.58
0.75	3327	653	4780	2682	370	5708	2338	107	6315	2570	411	5779
	37.98	7.45	54.57	30.62	4.22	65.18	26.69	1.22	72.09	29.34	4.69	65.97
0.87	3346	779	4635	2687	451	5622	2365	251	6144	2552	500	5708
	38.20	8.89	52.91	30.67	5.15	64.18	27.00	2.87	70.14	29.13	5.71	65.16
0.91	3295	738	4727	2587	404	5769	2127	105	6528	2481	451	5828
	37.61	8.42	53.96	29.53	4.61	65.86	24.28	1.20	74.52	28.32	5.15	66.53

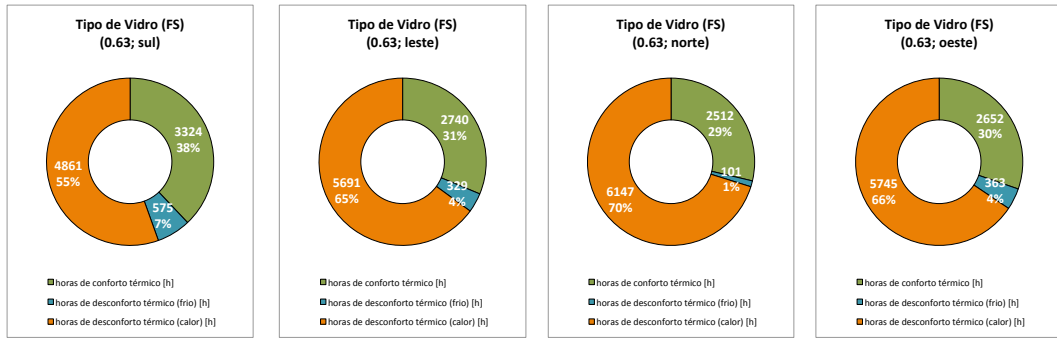
Resultados das variações: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor) em horas e em percentagem



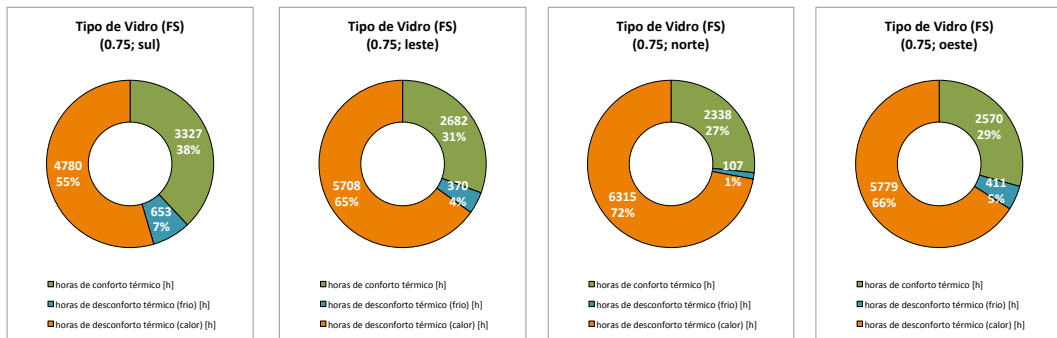
Resultados gráficos das variações: indicando as horas de conforto



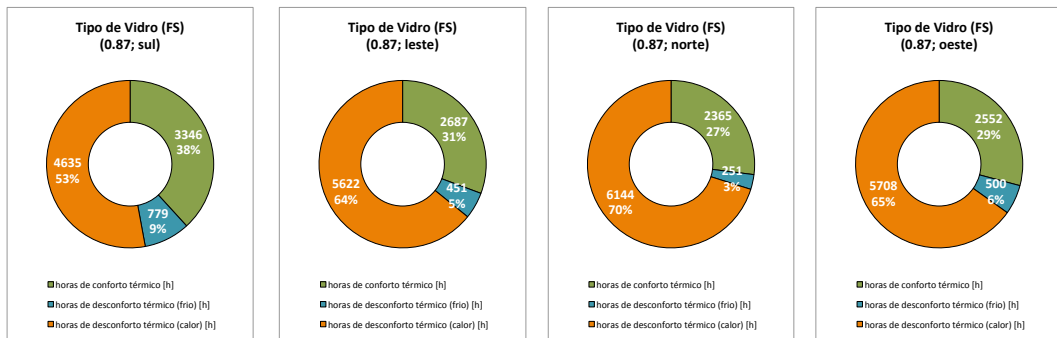
Resultados da primeira variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)



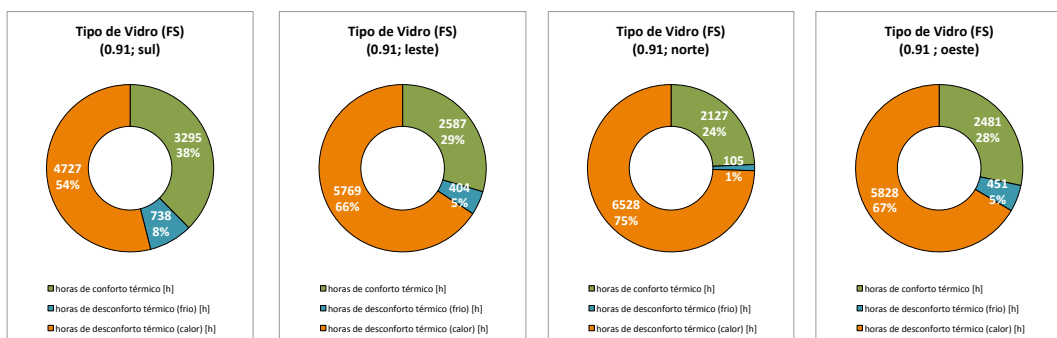
Resultados da segunda variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)



Resultados da terceira variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)



Resultados da quarta variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)

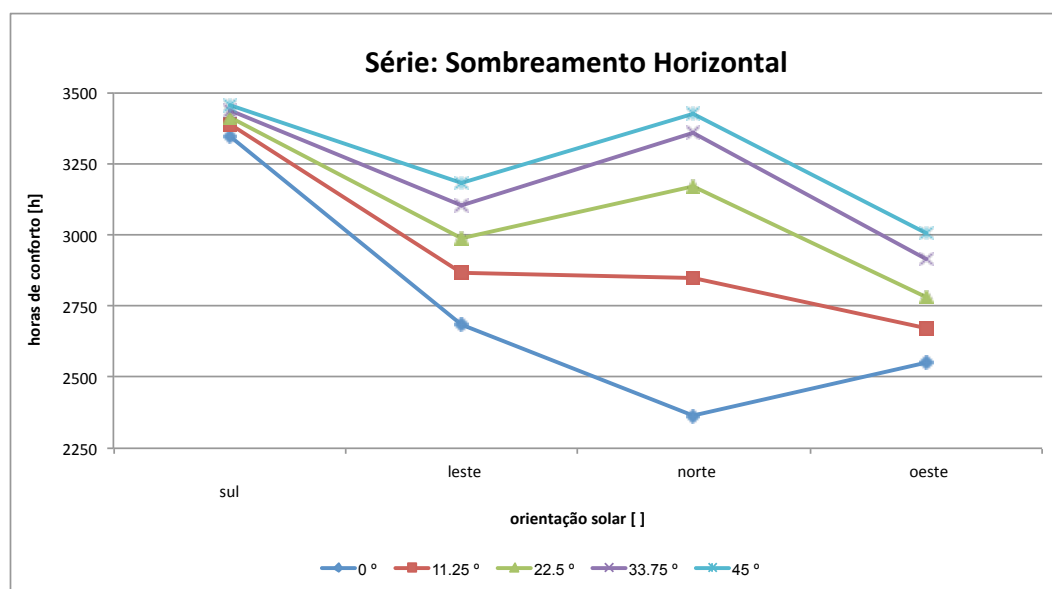


Resultados da quinta variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)

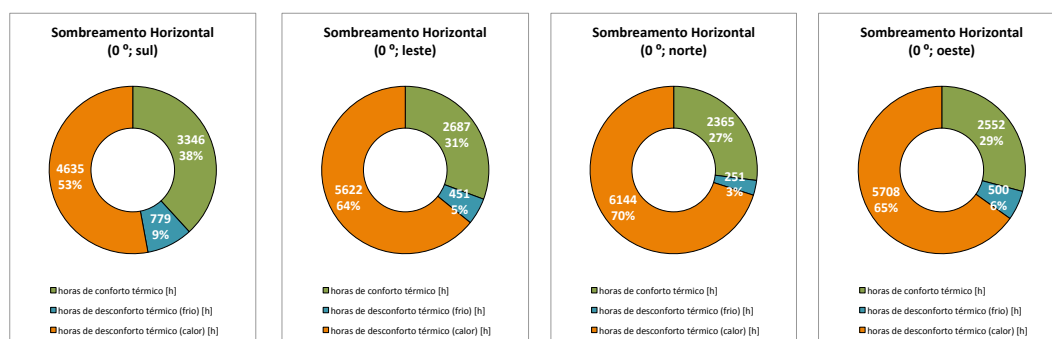
i. Sombreamento Horizontal

	SUL (0 grau)			LESTE (90 graus)			NORTE (180 graus)			OESTE (270 graus)		
0 °	3346	779	4635	2687	451	5622	2365	251	6144	2552	500	5708
	38.20	8.89	52.91	30.67	5.15	64.18	27.00	2.87	70.14	29.13	5.71	65.16
11.25 °	3388	814	4558	2864	526	5370	2851	185	5724	2672	574	5514
	38.66	9.23	52.03	32.63	6.00	61.30	32.55	2.11	65.34	30.50	6.55	62.95
22.5 °	3411	833	4516	2987	585	5188	3171	247	5342	2781	614	5365
	38.94	9.51	51.55	34.10	6.68	59.22	36.20	2.82	60.98	31.75	7.01	61.24
33.75 °	3438	844	4478	3100	619	5041	3356	343	5061	2912	638	5210
	39.25	9.63	51.12	35.39	7.07	57.55	38.31	3.92	57.77	33.24	7.28	59.47
45 °	3457	854	4445	3181	648	4931	3427	441	4892	3003	662	5095
	39.46	9.75	50.79	36.31	7.40	56.29	39.12	5.03	55.84	34.28	7.56	58.16

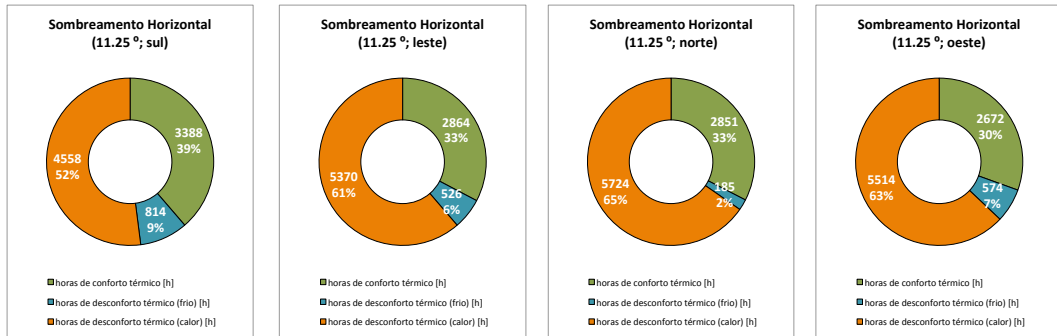
Resultados das variações: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor) em horas e em porcentagem



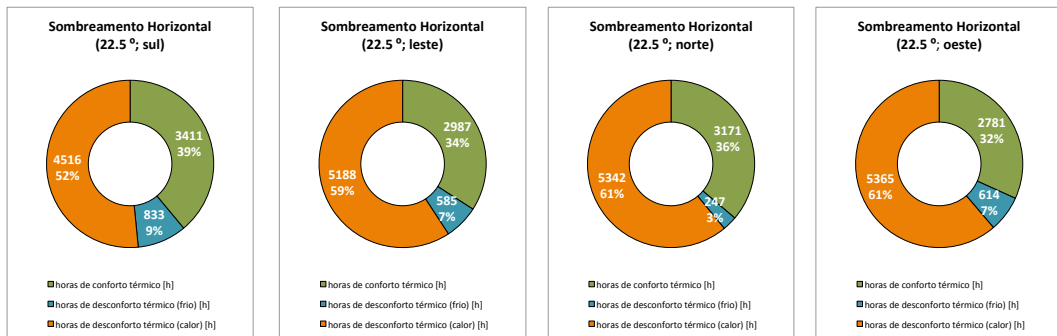
Resultados gráficos das variações: indicando as horas de conforto



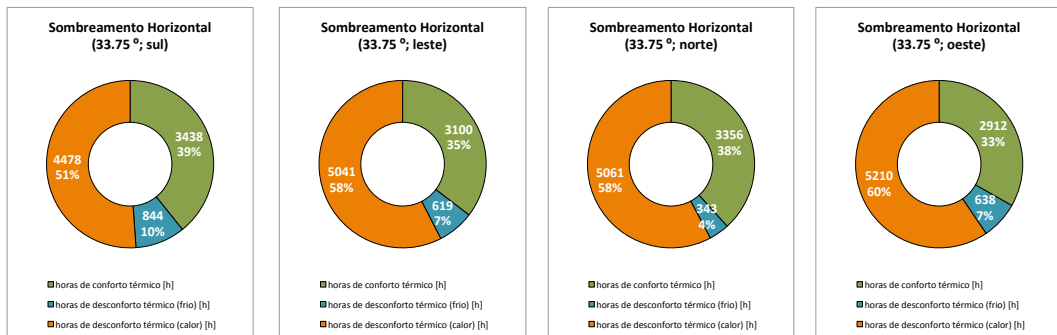
Resultados da primeira variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)



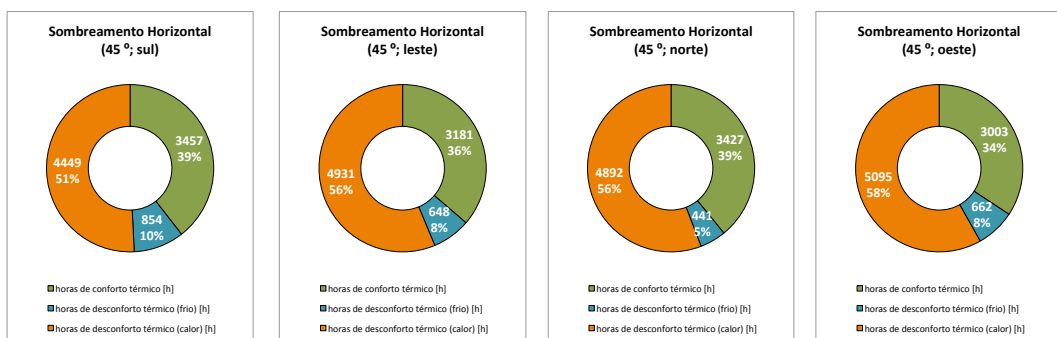
Resultados da segunda variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)



Resultados da terceira variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)



Resultados da quarta variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)

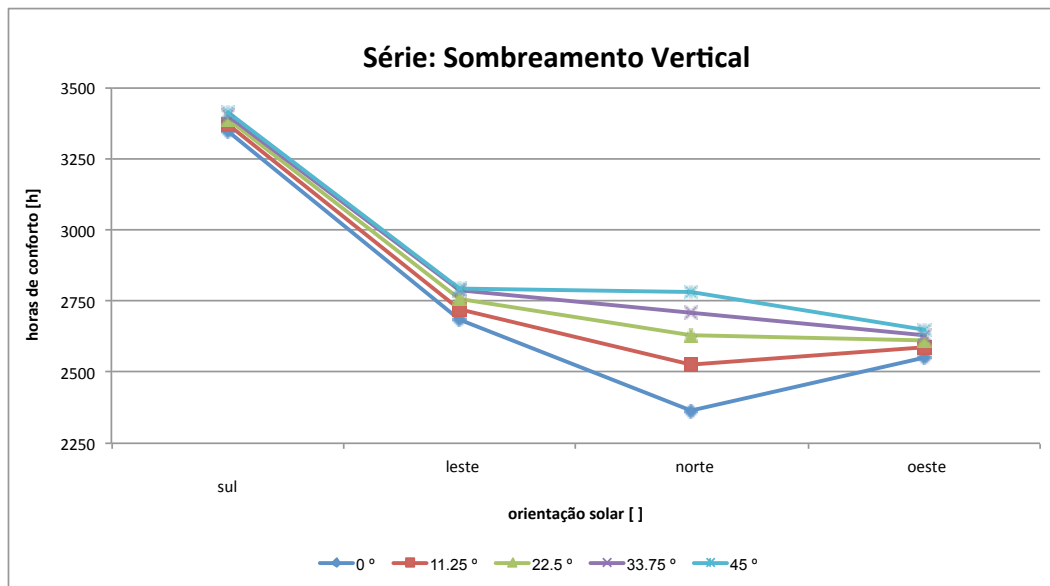


Resultados da quinta variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)

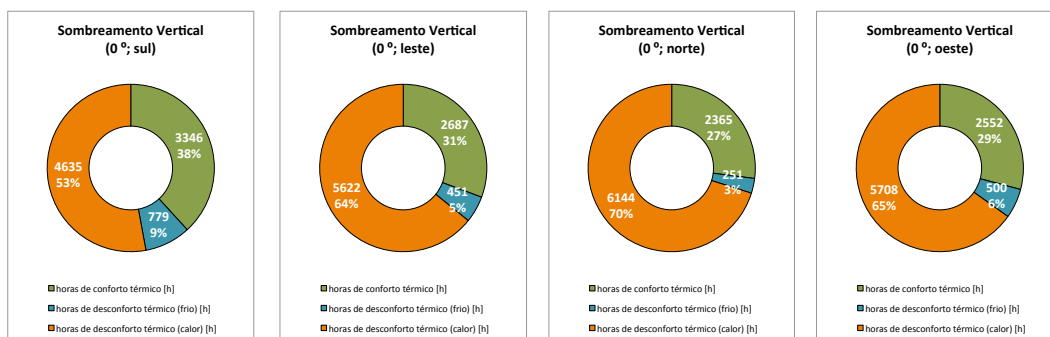
j. Sombreamento Vertical

	SUL (0 grau)			LESTE (90 graus)			NORTE (180 graus)			OESTE (270 graus)		
0 °	3346	779	4635	2687	451	5622	2365	251	6144	2552	500	5708
	38.20	8.89	52.91	30.67	5.15	64.18	27.00	2.87	70.14	29.13	5.71	65.16
11.25 °	3371	794	4595	2722	492	5546	2526	153	6081	2585	540	5635
	38.48	9.06	52.46	31.07	5.62	63.31	28.84	1.75	69.42	29.51	6.16	64.33
22.5 °	3389	800	4571	2757	523	5480	2631	169	5960	2609	561	5590
	38.69	9.13	52.18	31.47	5.97	62.58	30.03	1.93	68.04	29.78	6.40	63.81
33.75 °	3400	805	4555	2788	539	5433	2711	182	5867	2627	581	5552
	38.81	9.19	52.00	31.83	6.15	62.02	30.95	2.08	66.97	29.99	6.63	63.38
45 °	3411	806	4543	2796	560	5404	2779	193	5788	2649	592	5519
	38.94	9.20	51.86	31.92	6.39	61.69	31.72	2.20	66.07	30.24	6.76	63.00

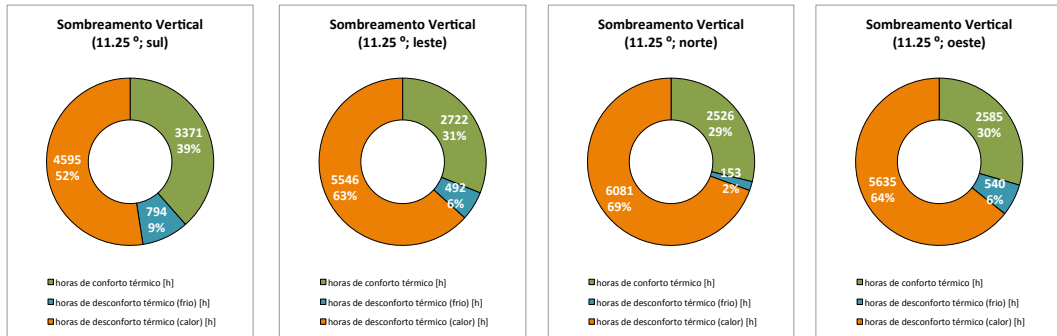
Resultados das variações: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor) em horas e em porcentagem



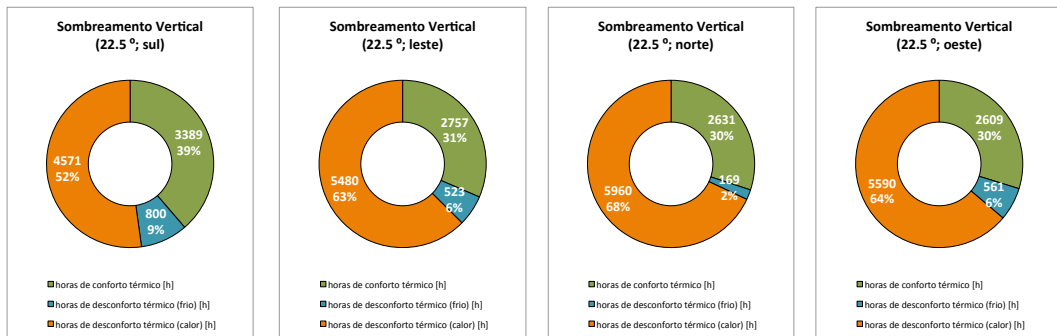
Resultados gráficos das variações: indicando as horas de conforto



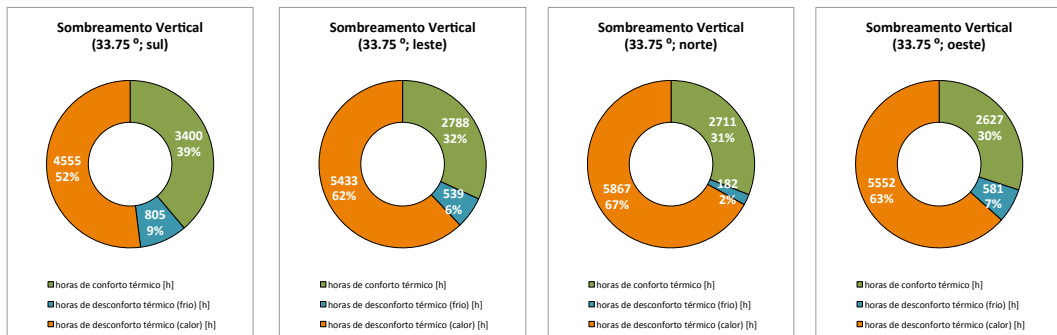
Resultados da primeira variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)



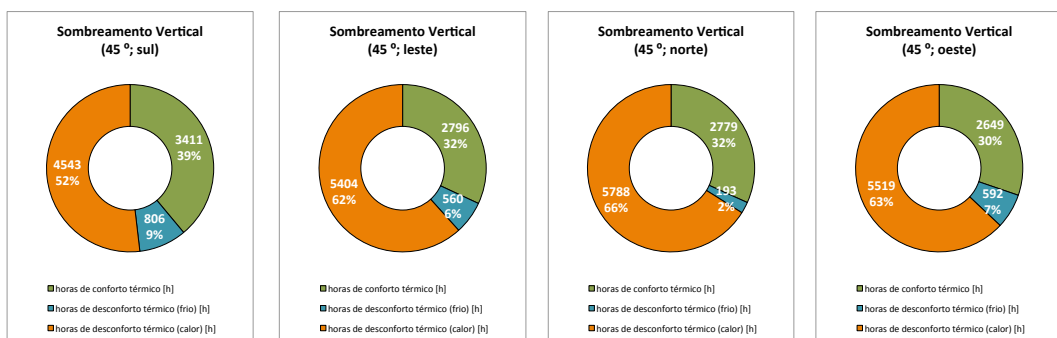
Resultados da segunda variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)



Resultados da terceira variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)



Resultados da quarta variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)

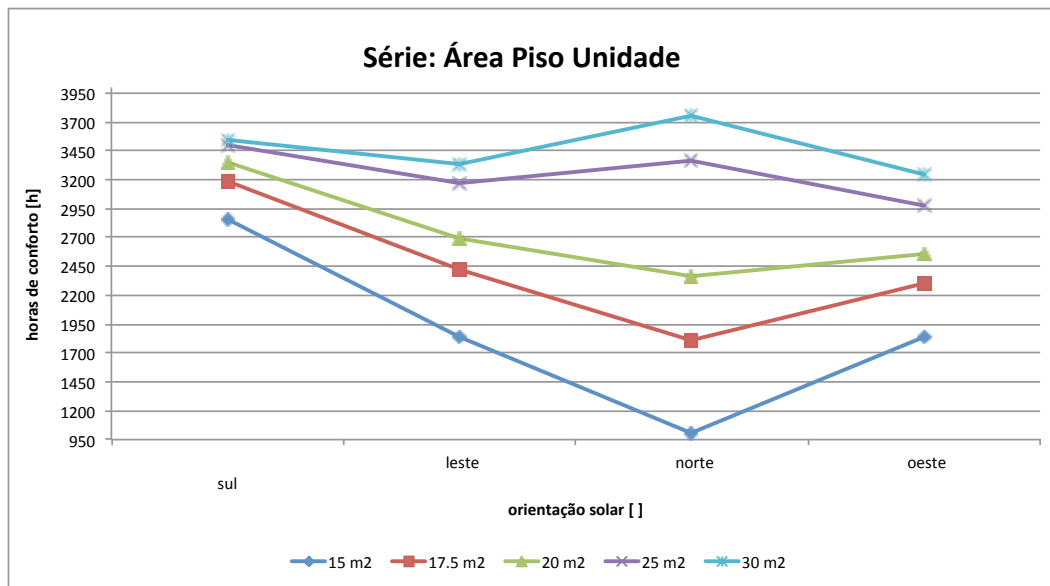


Resultados da quinta variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)

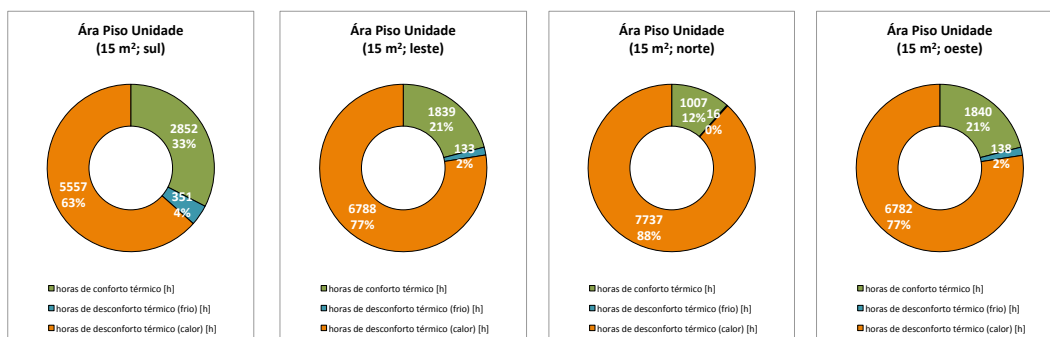
k. Área Piso Unidade

	SUL (0 grau)			LESTE (90 graus)			NORTE (180 graus)			OESTE (270 graus)		
15 m ²	2852	351	5557	1839	133	6788	1007	16	7737	1840	138	6782
	32.56	4.01	63.44	20.99	1.52	77.49	11.50	0.18	88.32	21.00	1.58	77.42
17.5 m ²	3192	639	4929	2419	308	6033	1810	58	6892	2308	364	6088
	36.44	7.23	56.27	27.61	3.52	68.87	20.66	0.66	78.68	26.35	4.16	69.50
20 m ²	3346	779	4635	2687	451	5622	2365	251	6144	2552	500	5708
	38.20	8.89	52.91	30.67	5.15	64.18	27.00	2.87	70.14	29.13	5.71	65.16
25 m ²	3495	1332	3933	3175	962	4623	3362	526	4872	2972	1016	4772
	39.90	15.21	44.90	36.24	10.98	52.77	38.38	6.00	55.62	33.93	11.60	54.47
30 m ²	3552	1691	3517	3336	1325	4099	3758	887	4115	3240	1341	4179
	40.55	19.30	40.15	38.08	15.13	46.79	42.90	10.13	46.97	36.99	15.31	47.71

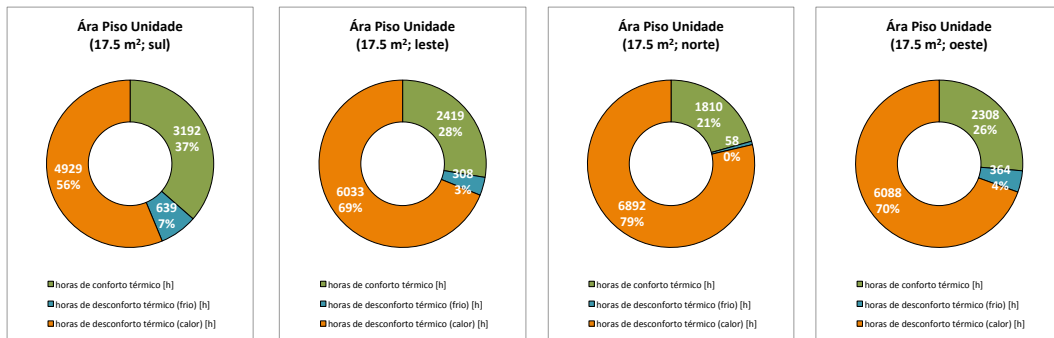
Resultados das variações: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor) em horas e em percentagem



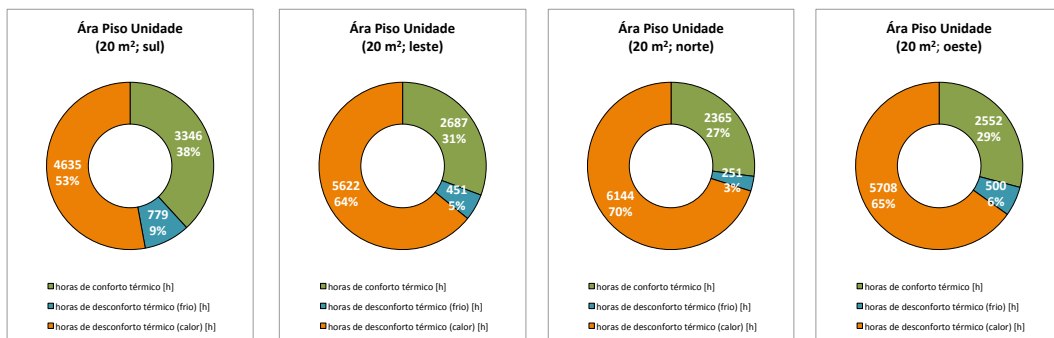
Resultados gráficos das variações: indicando as horas de conforto



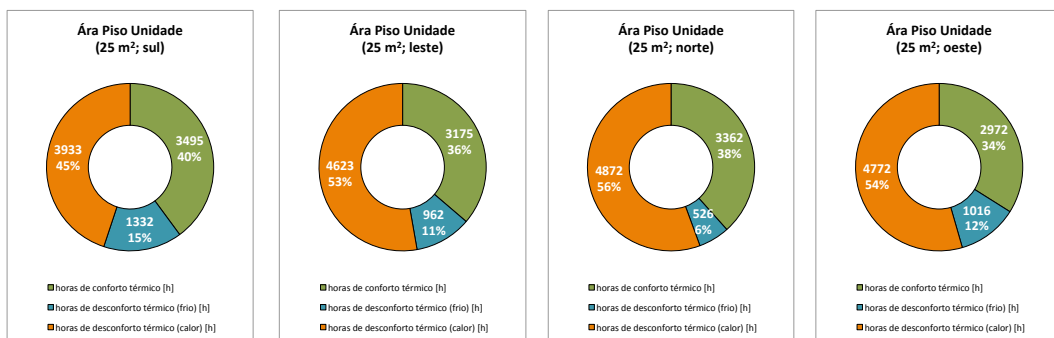
Resultados da primeira variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)



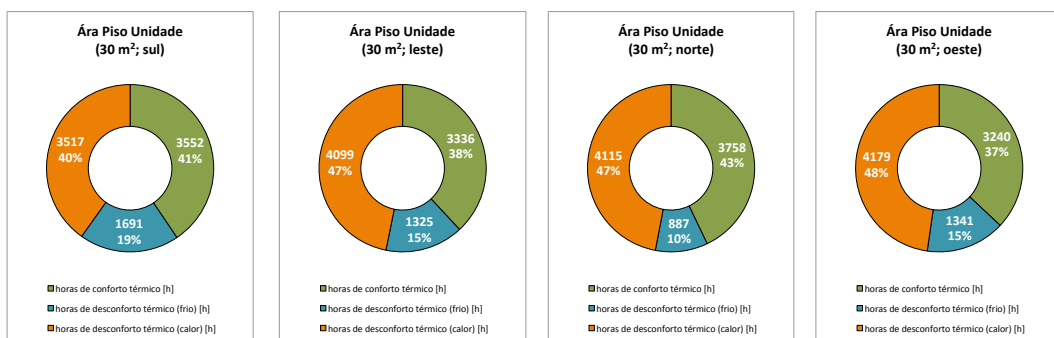
Resultados da segunda variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)



Resultados da terceira variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)



Resultados da quarta variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)

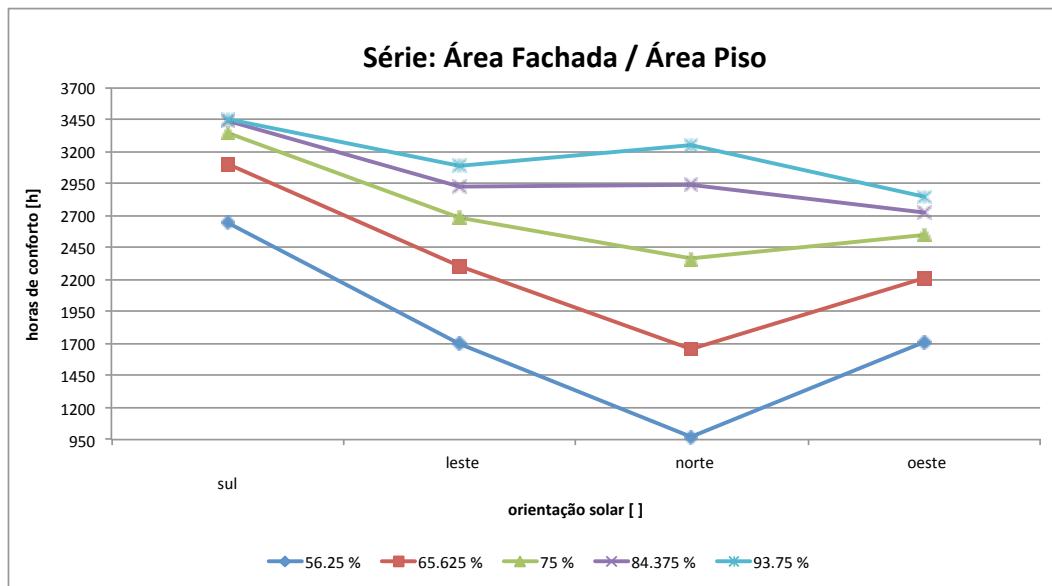


Resultados da quinta variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)

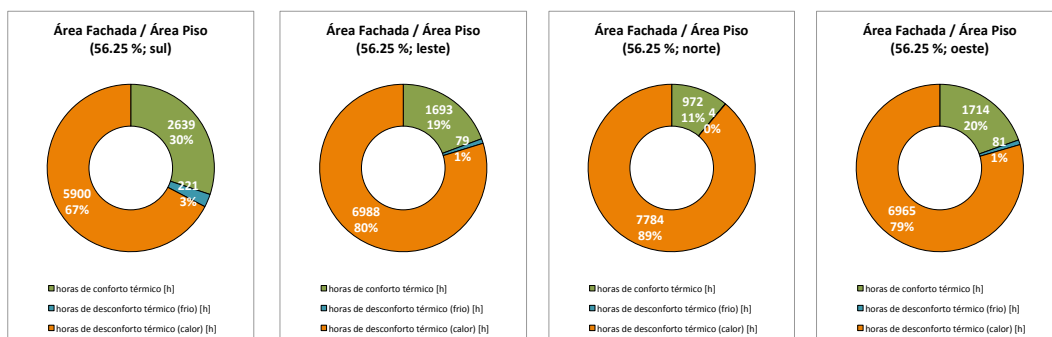
I. Área Fachada / Área Piso

	SUL (0 grau)			LESTE (90 graus)			NORTE (180 graus)			OESTE (270 graus)		
56.25 %	2639	221	5900	1693	79	6988	972	4	7784	1714	81	6965
	30.13	2.52	67.35	19.33	0.90	79.77	11.10	0.05	88.86	19.57	0.92	79.51
65.625 %	3098	492	5170	2302	224	6234	1652	37	7071	2205	272	6283
	35.37	5.62	59.02	26.28	2.56	71.16	18.86	0.42	80.72	25.17	3.11	71.72
75 %	3346	779	4635	2687	451	5622	2365	251	6144	2552	500	5708
	38.20	8.89	52.91	30.67	5.15	64.18	27.00	2.87	70.14	29.13	5.71	65.16
84.375 %	3440	1086	4234	2929	711	5120	2935	256	5569	2718	752	5290
	39.27	12.40	48.33	33.44	8.12	58.45	33.50	2.92	63.57	31.03	8.58	60.39
93.75 %	3448	1377	3935	3082	965	4713	3256	475	5029	2847	1023	4890
	39.36	15.72	44.92	35.18	11.02	53.80	37.17	5.42	57.41	32.50	11.68	55.82

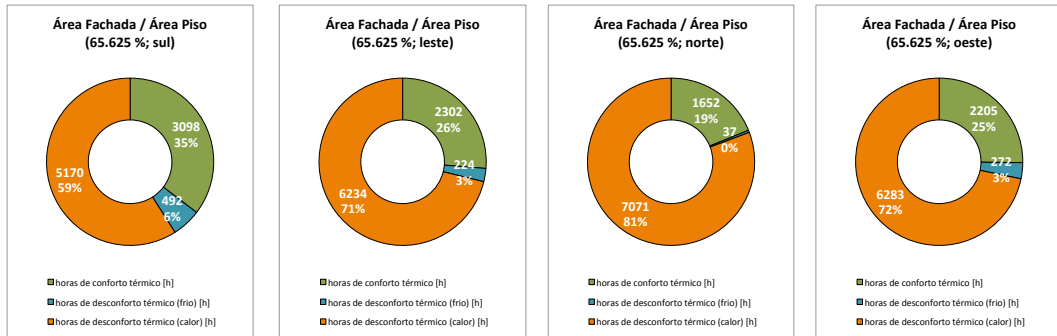
Resultados das variações: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor) em horas e em percentagem



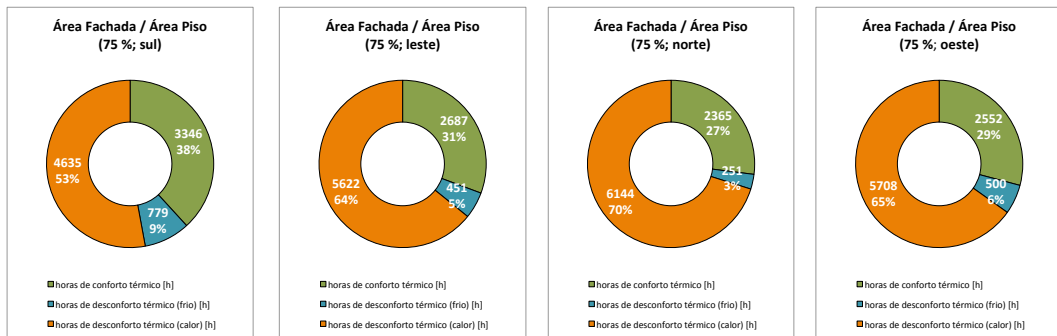
Resultados gráficos das variações: indicando as horas de conforto



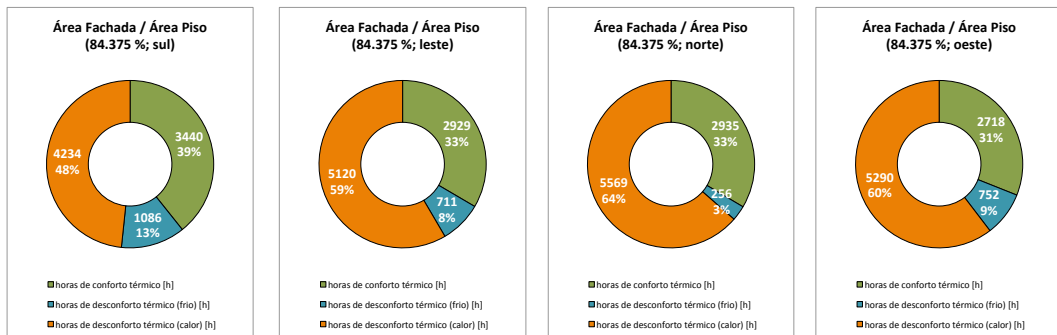
Resultados da primeira variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)



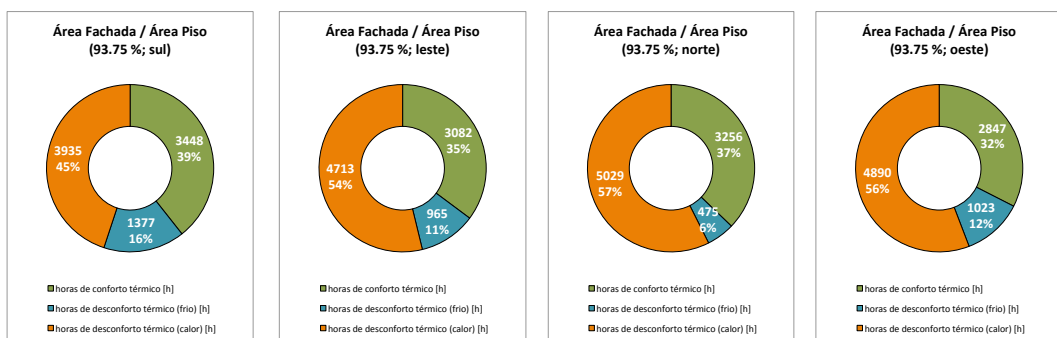
Resultados da segunda variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)



Resultados da terceira variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)



Resultados da quarta variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)



Resultados da quinta variação: indicando as horas de conforto, horas de desconforto (frio) e horas de desconforto (calor)

ARQUIVOS DE DADOS DE ENTRADA (.idf)

a. Modelo (parcial)

0_0 0.idf

```
!-Generator IDFEditor 1.37c
!-Option SortedOrder

!-NOTE: All comments with '!-' are ignored by the IDFEditor and are generated
automatically.
!-      Use '!' comments if they need to be retained when using the IDFEditor.

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: VERSION =====
Version,
    6.0;                !- Version Identifier

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: SIMULATIONCONTROL =====
SimulationControl,
    Yes,                !- Do Zone Sizing Calculation
    Yes,                !- Do System Sizing Calculation
    No,                 !- Do Plant Sizing Calculation
    No,                 !- Run Simulation for Sizing Periods
    Yes;                !- Run Simulation for Weather File Run Periods

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: BUILDING =====
Building,
    modelo base,       !- Name
    0.0,               !- North Axis {deg}
    City,              !- Terrain
    0.04,              !- Loads Convergence Tolerance Value
    0.4,               !- Temperature Convergence Tolerance Value
{deltaC}
    FullExterior,      !- Solar Distribution
    25;                !- Maximum Number of Warmup Days

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: SHADOWCALCULATION =====
ShadowCalculation,
    20,                !- Calculation Frequency
    15000;             !- Maximum Figures in Shadow Overlap Calculations

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: SURFACECONVECTIONALGORITHM:INSIDE
=====
SurfaceConvectionAlgorithm:Inside,
    TARP;              !- Algorithm

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: SURFACECONVECTIONALGORITHM:OUTSIDE
=====
SurfaceConvectionAlgorithm:Outside,
    DOE-2;            !- Algorithm

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: HEATBALANCEALGORITHM =====
HeatBalanceAlgorithm,
    ConductionTransferFunction, !- Algorithm
    200;              !- Surface Temperature Upper Limit
```

```

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: ZONEAIRHEATBALANCEALGORITHM =====

ZoneAirHeatBalanceAlgorithm,
  ThirdOrderBackwardDifference;  !- Algorithm

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: TIMESTEP =====

Timestep,
  4;                               !- Number of Timesteps per Hour

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: CONVERGENCELIMITS =====

ConvergenceLimits,
  ,                               !- Minimum System Timestep {minutes}
  20;                             !- Maximum HVAC Iterations

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: SITE:LOCATION =====

Site:Location,
  Porto Alegre Aero BRA WMO=839710, !- Name
  -30.0,                            !- Latitude {deg}
  -51.18,                           !- Longitude {deg}
  -3.0,                             !- Time Zone {hr}
  4;                                 !- Elevation {m}

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: SIZINGPERIOD:DESIGNDAY =====

SizingPeriod:DesignDay,
  Porto Alegre Aero Ann Htg 99.6% Condns DB, !- Name
  4.1,                                  !- Maximum Dry-Bulb Temperature {C}
  0.0,                                  !- Daily Temperature Range {deltaC}
  4.1,                                  !- Humidity Indicating Conditions at Maximum Dry-
Bulb
  101289.,                             !- Barometric Pressure {Pa}
  1,                                    !- Wind Speed {m/s}
  300,                                  !- Wind Direction {deg}
  0.00,                                 !- Sky Clearness
  0,                                    !- Rain Indicator
  0,                                    !- Snow Indicator
  21,                                   !- Day of Month
  7,                                    !- Month
  WinterDesignDay,                    !- Day Type
  0,                                    !- Daylight Saving Time Indicator
  Wetbulb;                             !- Humidity Indicating Type

SizingPeriod:DesignDay,
  Porto Alegre Aero Ann Clg .4% Condns DB=>MWB, !- Name
  34.9,                                 !- Maximum Dry-Bulb Temperature {C}
  9.8,                                  !- Daily Temperature Range {deltaC}
  24.6,                                 !- Humidity Indicating Conditions at Maximum Dry-
Bulb
  101289.,                             !- Barometric Pressure {Pa}
  3.4,                                  !- Wind Speed {m/s}
  300,                                  !- Wind Direction {deg}
  1.00,                                 !- Sky Clearness
  0,                                    !- Rain Indicator
  0,                                    !- Snow Indicator
  21,                                   !- Day of Month
  1,                                    !- Month
  SummerDesignDay,                   !- Day Type
  0,                                    !- Daylight Saving Time Indicator
  Wetbulb;                             !- Humidity Indicating Type

```

```

SizingPeriod:DesignDay,
  Porto Alegre Aero Ann Clg .4% Condns WB=>MDB, !- Name
  31.6, !- Maximum Dry-Bulb Temperature {C}
  9.8, !- Daily Temperature Range {deltaC}
26.3, !- Humidity Indicating Conditions at Maximum Dry-Bulb
  101289., !- Barometric Pressure {Pa}
  3.4, !- Wind Speed {m/s}
  300, !- Wind Direction {deg}
  1.00, !- Sky Clearness
  0, !- Rain Indicator
  0, !- Snow Indicator
  21, !- Day of Month
  1, !- Month
  SummerDesignDay, !- Day Type
  0, !- Daylight Saving Time Indicator
  Wetbulb; !- Humidity Indicating Type

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: RUNPERIOD =====

RunPeriod,
  rp, !- Name
  1, !- Begin Month
  1, !- Begin Day of Month
  12, !- End Month
  31, !- End Day of Month
  Saturday, !- Day of Week for Start Day
  No, !- Use Weather File Holidays and Special Days
  No, !- Use Weather File Daylight Saving Period
  No, !- Apply Weekend Holiday Rule
  No, !- Use Weather File Rain Indicators
  No, !- Use Weather File Snow Indicators
  1; !- Number of Times Runperiod to be Repeated

[...]

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: OUTPUTCONTROL:TABLE:STYLE =====

OutputControl:Table:Style,
  CommaAndHTML, !- Column Separator
  JtoKWH; !- Unit Conversion

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: OUTPUTCONTROL:REPORTINGTOLERANCES
=====

OutputControl:ReportingTolerances,
  1.5, !- Tolerance for Time Heating Setpoint Not Met
{deltaC}
  1.5; !- Tolerance for Time Cooling Setpoint Not Met
{deltaC}

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: OUTPUT:VARIABLE =====

Output:Variable,
  *, !- Key Value
  Zone Mean Air Temperature, !- Variable Name
  Hourly; !- Reporting Frequency

```


ARQUIVOS DE DADOS DE SAIDA (.xlsx)

a. Modelo (parcial)

out 0_0 0.xlsx

FALSE	0	0	1 01/01 01:00:00	28.11	22.50	5.61	21.39	26.39
FALSE	0	0	1 01/01 02:00:00	28.06	21.80	6.26	21.28	26.28
FALSE	0	0	1 01/01 03:00:00	27.78	20.50	7.28	21.08	26.08
FALSE	0	0	1 01/01 04:00:00	27.54	20.20	7.34	21.03	26.03
FALSE	0	0	1 01/01 05:00:00	27.38	19.70	7.68	20.95	25.95
FALSE	0	0	1 01/01 06:00:00	27.42	21.00	6.42	21.16	26.16
FALSE	0	0	1 01/01 07:00:00	27.63	21.00	6.63	21.16	26.16
FALSE	0	0	1 01/01 08:00:00	28.15	24.80	3.35	21.74	26.74
FALSE	0	0	1 01/01 09:00:00	28.84	26.60	2.24	22.02	27.02
FALSE	0	0	1 01/01 10:00:00	29.44	28.50	0.94	22.32	27.32
FALSE	0	0	1 01/01 11:00:00	30.14	30.20	-0.06	22.58	27.58
FALSE	0	0	1 01/01 12:00:00	30.55	30.50	0.05	22.63	27.63
FALSE	0	0	1 01/01 13:00:00	30.91	31.70	-0.79	22.81	27.81
FALSE	0	0	1 01/01 14:00:00	31.33	33.00	-1.67	23.02	28.02
FALSE	0	0	1 01/01 15:00:00	31.09	28.80	2.29	22.36	27.36
FALSE	0	0	1 01/01 16:00:00	30.25	26.70	3.55	22.04	27.04
FALSE	0	0	1 01/01 17:00:00	29.61	24.30	5.31	21.67	26.67
FALSE	0	0	1 01/01 18:00:00	29.34	24.30	5.04	21.67	26.67
FALSE	0	0	1 01/01 19:00:00	29.11	22.80	6.31	21.43	26.43
FALSE	0	0	1 01/01 20:00:00	28.67	21.00	7.67	21.16	26.16
FALSE	0	0	1 01/01 21:00:00	28.41	21.00	7.41	21.16	26.16
FALSE	0	0	1 01/01 22:00:00	28.30	20.80	7.50	21.12	26.12
FALSE	0	0	1 01/01 23:00:00	28.16	20.50	7.66	21.08	26.08
FALSE	0	0	1 01/01 24:00:00	28.16	21.50	6.66	21.23	26.23
FALSE	0	0	1 01/02 01:00:00	28.03	20.20	7.83	21.03	26.03

[...]

FALSE	0	0	1 12/30 24:00:00	30.73	20.00	10.73	21.00	26.00
FALSE	0	0	1 12/31 01:00:00	30.37	19.50	10.87	20.92	25.92
FALSE	0	0	1 12/31 02:00:00	30.13	19.10	11.03	20.86	25.86
FALSE	0	0	1 12/31 03:00:00	29.90	18.70	11.20	20.80	25.80
FALSE	0	0	1 12/31 04:00:00	29.59	17.50	12.09	20.61	25.61
FALSE	0	0	1 12/31 05:00:00	29.28	17.10	12.18	20.55	25.55
FALSE	0	0	1 12/31 06:00:00	29.29	17.00	12.29	20.54	25.54
FALSE	0	0	1 12/31 07:00:00	29.28	17.00	12.28	20.54	25.54
FALSE	0	0	1 12/31 08:00:00	29.68	18.10	11.58	20.71	25.71
FALSE	0	0	1 12/31 09:00:00	30.16	21.30	8.86	21.20	26.20
FALSE	0	0	1 12/31 10:00:00	30.81	24.00	6.81	21.62	26.62
FALSE	0	0	1 12/31 11:00:00	31.33	25.20	6.13	21.81	26.81
FALSE	0	0	1 12/31 12:00:00	31.52	27.70	3.82	22.19	27.19
FALSE	0	0	1 12/31 13:00:00	32.19	30.00	2.19	22.55	27.55
FALSE	0	0	1 12/31 14:00:00	32.98	32.00	0.98	22.86	27.86
FALSE	0	0	1 12/31 15:00:00	33.55	33.00	0.55	23.02	28.02
FALSE	0	0	1 12/31 16:00:00	33.83	33.20	0.63	23.05	28.05
FALSE	0	0	1 12/31 17:00:00	33.87	33.80	0.07	23.14	28.14
FALSE	0	0	1 12/31 18:00:00	33.86	33.00	0.86	23.02	28.02
FALSE	0	0	1 12/31 19:00:00	33.78	33.00	0.78	23.02	28.02
FALSE	0	0	1 12/31 20:00:00	33.29	29.80	3.49	22.52	27.52
FALSE	0	0	1 12/31 21:00:00	32.45	27.80	4.65	22.21	27.21
FALSE	0	0	1 12/31 22:00:00	31.97	26.00	5.97	21.93	26.93
FALSE	0	0	1 12/31 23:00:00	31.61	25.00	6.61	21.78	26.78
FALSE	0	0	1 12/31 24:00:00	31.31	23.80	7.51	21.59	26.59

	horas de con	horas desconforto frio	horas desconforto calor	horas total (8760/100)
percentagem	3253	691	4816	8760
	37.13	7.89	54.98	100

Date/Time MODULOS:Zone Mean Air Temperature [C](Hourly) Text quanto mais quente dentro lim_conf_inf lim_conf_sup

DADOS DOS CALCULOS (MODULO 5) (.xlsx)

a. Modelo (parcial)

out 0_0 0.xlsx

Date/Time	MODULO1:Zone Mean Air Temperature [C](Hourly)	MODULO2:Zone Mean Air Temperature [C](Hourly)	MODULO3:Zone Mean Air Temperature [C](Hourly)	MODULO4:Zone Mean Air Temperature [C](Hourly)
01/01 01:00:00	29.92827107	29.77835777	27.71820073	27.94222572
01/01 02:00:00	29.85758506	29.70611222	27.67702877	27.89498922
01/01 03:00:00	29.63469777	29.48998529	27.34566472	27.5970502
01/01 04:00:00	29.45575243	29.31720045	27.06388179	27.34759173
01/01 05:00:00	29.31864216	29.18319072	26.86947356	27.17067328
01/01 06:00:00	29.36954284	29.22734792	26.92059452	27.22163601
01/01 07:00:00	29.57420721	29.40947972	27.15415019	27.44472341
01/01 08:00:00	30.00107775	29.81396023	27.74552377	27.99061414
01/01 09:00:00	30.48538336	30.27395382	28.58512887	28.73043665
01/01 10:00:00	30.94727782	30.69044024	29.25989388	29.36645598
01/01 11:00:00	31.3799763	31.087745	30.09116022	30.08964764
01/01 12:00:00	31.69326697	31.38014447	30.61232611	30.5279273
01/01 13:00:00	31.99137607	31.66368688	31.02713305	30.89956857
01/01 14:00:00	32.30571601	31.96358696	31.55300013	31.34331045
01/01 15:00:00	32.15370703	31.83609183	31.25349595	31.08743598
01/01 16:00:00	31.70701989	31.4461855	30.16261202	30.20191487
01/01 17:00:00	31.22221061	31.00788326	29.43614989	29.51039832
01/01 18:00:00	31.03176959	30.82748974	29.10117422	29.21735601
01/01 19:00:00	30.84134017	30.65169528	28.83551381	28.97060574
01/01 20:00:00	30.5102974	30.34157975	28.31572979	28.50509565
01/01 21:00:00	30.31705089	30.16154806	27.99578222	28.22593766
01/01 22:00:00	30.22600954	30.0746053	27.86881597	28.1100637
01/01 23:00:00	30.120635	29.97192637	27.71405495	27.97130411
01/01 24:00:00	30.10639499	29.95560877	27.71408049	27.96991158
01/02 01:00:00	29.97860216	29.8289452	27.57171418	27.83236394

[...]

12/30 24:00:00	33.89738719	33.58688085	30.24365771	30.38122789
12/31 01:00:00	33.51466865	33.2219259	29.8460734	30.00452637
12/31 02:00:00	33.29820076	33.0142886	29.56704469	29.74961262
12/31 03:00:00	33.09584263	32.81789819	29.31014467	29.51397043
12/31 04:00:00	32.83190555	32.5617889	28.95351523	29.18902525
12/31 05:00:00	32.57996513	32.31718364	28.60176825	28.87241607
12/31 06:00:00	32.68917764	32.41428805	28.58831748	28.88868112
12/31 07:00:00	32.7122972	32.42354274	28.57198971	28.88985048
12/31 08:00:00	33.22460214	32.90347537	28.99234304	29.32016747
12/31 09:00:00	33.57233109	33.2289838	29.55672178	29.8304518
12/31 10:00:00	34.02010511	33.6655688	30.33471451	30.52823756
12/31 11:00:00	34.41715024	34.03690829	30.96116616	31.09170511
12/31 12:00:00	34.27988163	33.90059944	31.24189181	31.28672723
12/31 13:00:00	34.78226604	34.36888193	32.00915253	32.00468737
12/31 14:00:00	35.33973918	34.8707083	32.88057903	32.83906592
12/31 15:00:00	35.69566815	35.20381725	33.61168282	33.42254645
12/31 16:00:00	35.88820216	35.39000271	33.95708409	33.70979453
12/31 17:00:00	35.80048662	35.3207277	34.03154341	33.74851573
12/31 18:00:00	35.7662538	35.30232879	34.03906477	33.74180033
12/31 19:00:00	35.68458868	35.24144461	33.9228633	33.64987149
12/31 20:00:00	35.30574666	34.90907256	33.34400103	33.15310975
12/31 21:00:00	34.69982751	34.36700034	32.39002585	32.24694381
12/31 22:00:00	34.33305057	34.00637621	31.83273286	31.73208909
12/31 23:00:00	34.07125629	33.76175421	31.41029821	31.35784674
12/31 24:00:00	33.84383262	33.54873558	31.0554494	31.04272549

8.2. APÊNDICE DIGITAL

RESUMO DOS RESULTADOS

- a. Transmitância Térmica Parede Externa*
- b. Transmitância Térmica Parede Interna*
- c. Atraso Térmico*
- d. Fator Solar Elementos Opacos*
- e. Área Abertura / Área Piso*
- f. Área Abertura / Área Fachada*
- g. Altura Verga*
- h. Tipo de Vidro (FS)*
- i. Sombreamento Horizontal*
- j. Sombreamento Vertical*
- k. Área Piso Unidade*
- l. Área Fachada / Área Piso*

ARQUIVOS DE DADOS DE TEMPO PARA PORTO ALEGRE (.epw)

ARQUIVOS DA SIMULAÇÃO

- a. Modelo*
 - Arquivos de entrada (.idf)
 - Arquivos de dados de saída (.xlsx)
 - Arquivos de dados de saída
 - Arquivos de dados de cálculo (.xlsx)
- b. Transmitância Térmica Parede Externa*
 - Arquivos de entrada (.idf)
 - Arquivos de dados de saída (.xlsx)
 - Arquivos de dados de saída
 - Arquivos de dados de cálculo (.xlsx)

c. Transmitância Térmica Parede Interna

Arquivos de entrada (.idf)
Arquivos de dados de saída (.xlsx)
Arquivos de dados de saída
Arquivos de dados de cálculo (.xlsx)

d. Atraso Térmico

Arquivos de entrada (.idf)
Arquivos de dados de saída (.xlsx)
Arquivos de dados de saída
Arquivos de dados de cálculo (.xlsx)

e. Fator Solar Elementos Opacos

Arquivos de entrada (.idf)
Arquivos de dados de saída (.xlsx)
Arquivos de dados de saída
Arquivos de dados de cálculo (.xlsx)

f. Área Abertura / Área Piso

Arquivos de entrada (.idf)
Arquivos de dados de saída (.xlsx)
Arquivos de dados de saída
Arquivos de dados de cálculo (.xlsx)

g. Área Abertura / Área Fachada

Arquivos de entrada (.idf)
Arquivos de dados de saída (.xlsx)
Arquivos de dados de saída
Arquivos de dados de cálculo (.xlsx)

h. Altura Verga

Arquivos de entrada (.idf)
Arquivos de dados de saída (.xlsx)
Arquivos de dados de saída
Arquivos de dados de cálculo (.xlsx)

i. Tipo de Vidro (FS)

Arquivos de entrada (.idf)
Arquivos de dados de saída (.xlsx)
Arquivos de dados de saída
Arquivos de dados de cálculo (.xlsx)

j. Sombreamento Horizontal

Arquivos de entrada (.idf)
Arquivos de dados de saída (.xlsx)
Arquivos de dados de saída
Arquivos de dados de cálculo (.xlsx)

k. Sombreamento Vertical

Arquivos de entrada (.idf)
Arquivos de dados de saída (.xlsx)
Arquivos de dados de saída
Arquivos de dados de cálculo (.xlsx)

l. Área Piso Unidade

Arquivos de entrada (.idf)
Arquivos de dados de saída (.xlsx)
Arquivos de dados de saída
Arquivos de dados de cálculo (.xlsx)

m. Área Fachada / Área Piso

Arquivos de entrada (.idf)
Arquivos de dados de saída (.xlsx)
Arquivos de dados de saída
Arquivos de dados de cálculo (.xlsx)

9

ANEXOS

O anexo apresenta os textos legislativos utilizados neste trabalho (na íntegra ou em partes). Os textos completos foram incluídos digitalmente. Além disso, o anexo digital inclui as ferramentas utilizadas que estão gratuitamente disponíveis, assim como alguns materiais de documentação.

9.1. ANEXO IMPRESSO

TEXTOS LEGISLATIVOS

a. Lei No 10.295 de 17 de outubro de 2001 – DOU de 18/10/2001

LEI Nº 10.295 - DE 17 DE OUTUBRO DE 2001 - DOU DE 18/10/2001

6/22/11 15:04

LEI Nº 10.295 - DE 17 DE OUTUBRO DE 2001 - DOU DE 18/10/2001

Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências.

O PRESIDENTE DA REPÚBLICA Faço saber que o Congresso Nacional decreta e eu sanciono a seguinte Lei:

Art. 1º A Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia visa a alocação eficiente de recursos energéticos e a preservação do meio ambiente.

Art. 2º O Poder Executivo estabelecerá níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País, com base em indicadores técnicos pertinentes.

§ 1º Os níveis a que se refere o caput serão estabelecidos com base em valores técnica e economicamente viáveis, considerando a vida útil das máquinas e aparelhos consumidores de energia.

§ 2º Em até 1 (um) ano a partir da publicação destes níveis, será estabelecido um Programa de Metas para sua progressiva evolução.

Art. 3º Os fabricantes e os importadores de máquinas e aparelhos consumidores de energia são obrigados a adotar as medidas necessárias para que sejam obedecidos os níveis máximos de consumo de energia e mínimos de eficiência energética, constantes da regulamentação específica estabelecida para cada tipo de máquina e aparelho.

§ 1º Os importadores devem comprovar o atendimento aos níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, durante o processo de importação.

§ 2º As máquinas e aparelhos consumidores de energia encontrados no mercado sem as especificações legais, quando da vigência da regulamentação específica, deverão ser recolhidos, no prazo máximo de 30 (trinta) dias, pelos respectivos fabricantes e importadores.

§ 3º Findo o prazo fixado no § 2º, os fabricantes e importadores estarão sujeitos às multas por unidade, a serem estabelecidas em regulamento, de até 100% (cem por cento) do preço de venda por eles praticados.

Art. 4º O Poder Executivo desenvolverá mecanismos que promovam a eficiência energética nas edificações construídas no País.

Art. 5º Previamente ao estabelecimento dos indicadores de consumo específico de energia, ou de eficiência energética, de que trata esta Lei, deverão ser ouvidas em audiência pública, com divulgação antecipada das propostas, entidades representativas de fabricantes e importadores de máquinas e aparelhos consumidores de energia, projetistas e construtores de edificações, consumidores, instituições de ensino e pesquisa e demais entidades interessadas.

Art. 6º Esta Lei entra em vigor na data de sua publicação.

Brasília, 17 de outubro de 2001; 180º da Independência e 113º da República.

FERNANDO HENRIQUE CARDOSO
José Jorge
Pedro Parente

Este texto não substitui o publicado no DOU DE 18/10/2001

**b. Decreto No 4.059 de 19 de dezembro de 2001
– DOU de 20/12/2001**

DECRETO Nº 4.059 – DE 19 DE DEZEMBRO DE 2001 – DOU DE 20/12/2001

6/22/11 15:09

DECRETO Nº 4.059 - DE 19 DE DEZEMBRO DE 2001 - DOU DE 20/12/2001

Regulamenta a [Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001](#), que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências.

O PRESIDENTE DA REPÚBLICA, no uso das atribuições que lhe confere o art. 84, incisos IV e VI, alínea "a", da [Constituição](#),

DECRETA:

Art. 1º Os níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País, bem como as edificações construídas, serão estabelecidos com base em indicadores técnicos e regulamentação específica a ser fixada nos termos deste Decreto, sob a coordenação do Ministério de Minas e Energia.

Art. 2º Fica instituído Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética - CGIEE, composto por representantes dos seguintes órgãos e entidades:

- I - Ministério de Minas e Energia, que o presidirá;
- II - Ministério da Ciência e Tecnologia;
- III - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior;
- IV - Agência Nacional de Energia Elétrica;
- V - Agência Nacional do Petróleo; e
- VI - um representante de universidade brasileira e um cidadão brasileiro, ambos especialistas em matéria de energia, a serem designados pelo Ministro de Estado de Minas e Energia, para mandatos de dois anos, podendo ser renovados por mais um período.

Parágrafo único. Os membros do CGIEE referidos nos incisos I, II, III, IV e V serão indicados pelos titulares dos respectivos órgãos e designados pelo Ministro de Estado de Minas e Energia.

Art. 3º Compete ao CGIEE:

- I - elaborar plano de trabalho e cronograma, visando implementar a aplicação da [Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001](#);
- II - elaborar regulamentação específica para cada tipo de aparelho e máquina consumidora de energia;
- III - estabelecer Programa de Metas com indicação da evolução dos níveis a serem alcançados para cada equipamento regulamentado;
- IV - constituir Comitês Técnicos para analisar e opinar sobre matérias específicas sob apreciação do CGIEE, inclusive com a participação de representantes da sociedade civil;
- V - acompanhar e avaliar sistematicamente o processo de regulamentação e propor plano de fiscalização; e
- VI - deliberar sobre as proposições do Grupo Técnico para Eficientização de Energia em Edificações.

Parágrafo único. A Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, a Agência Nacional do Petróleo - ANP, o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO e as Secretarias Executivas do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL e do Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e do Gás Natural - CONPET, fornecerão apoio técnico ao CGIEE e aos Comitês Técnicos que vierem a ser constituídos.

Art. 4º São atribuições do Presidente do CGIEE:

- I - convocar e presidir as reuniões do Comitê Gestor;
- II - manifestar voto próprio e de qualidade, em caso de empate, nas deliberações do Comitê Gestor;
- III - organizar e presidir audiências públicas, divulgando antecipadamente as propostas; e
- IV - encaminhar periodicamente ao Conselho Nacional de Política Energética - CNPE relatórios de acompanhamento.

Art. 5º A regulamentação específica para adoção dos níveis máximo de consumo de energia ou mínimos de eficiência energética de cada tipo de aparelho e máquina consumidora de energia, elaborada pelo respectivo Comitê Técnico, será aprovada pelo Comitê Gestor após processo de audiência pública.

§ 1º A audiência pública deverá ser convocada com antecedência mínima de trinta dias, com divulgação antecipada das propostas por meio eletrônico, imprensa escrita de circulação nacional e facultativamente comunicada aos órgãos representativos dos consumidores, fabricantes e importadores de máquinas e aparelhos consumidores de energia, projetistas e construtores de edificações, instituições de ensino e pesquisa e demais entidades interessadas.

§ 2º O edital de convocação da audiência pública deverá conter o objetivo, a data, a hora, o local, prazos para recebimento das contribuições e regras para as manifestações verbais e escritas.

Art. 6º A regulamentação de que trata o artigo anterior, deverá conter, no mínimo, as seguintes especificações:

- I - normas com procedimentos e indicadores utilizados nos ensaios para comprovação do atendimento dos níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética;
- II - indicação dos laboratórios responsáveis pelos ensaios mencionados no inciso anterior;
- III - o mecanismo de avaliação da conformidade a ser implantado;
- IV - os procedimentos para comprovação dos níveis máximos de consumo de energia ou mínimos de eficiência energética a serem observados durante o processo de importação; e
- V - o prazo para entrada em vigor.

Art. 7º Deverão ser credenciados pelo INMETRO os laboratórios responsáveis pelos ensaios que comprovarão o atendimento dos níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País.

§ 1º No caso de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados no exterior e comercializados no País, os ensaios e procedimentos definidos na regulamentação específica, poderão ser realizados por laboratórios internacionais, desde que reconhecidos pelo INMETRO, por meio de acordos de reconhecimento mútuo.

§ 2º Caso os laboratórios não possam atender às solicitações, o Comitê Gestor, ouvido o INMETRO, poderá indicar outros laboratórios, previamente auditados, para realizar os ensaios pertinentes.

Art. 8º Durante o processo de importação, os importadores de máquinas e aparelhos consumidores de energia deverão comprovar o atendimento dos níveis máximos de consumo de energia ou mínimos de eficiência energética estabelecidos em regulamentação específica.

Parágrafo único. Para a concessão da Licença de Importação, deverá ser obtida a anuência do INMETRO, previamente ao embarque no exterior.

Art. 9º O INMETRO será responsável pela fiscalização e pelo acompanhamento dos programas de avaliação da conformidade das máquinas e aparelhos consumidores de energia a serem regulamentados.

Art.10. As despesas relativas ao funcionamento do CGIEE, inclusive de seus comitês técnicos, correrão à conta de dotações orçamentárias dos órgãos envolvidos.

Art.11. A participação no CGIEE e nos Comitês Técnicos, será considerada prestação de serviço público relevante e não será remunerada.

Art.12. Os recursos financeiros necessários à fiscalização, pelo INMETRO, correrão à conta de dotações orçamentárias dos Ministérios de Minas e Energia e do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior.

Parágrafo único. Cabe ao Ministério da Ciência e Tecnologia a disponibilização de recursos financeiros para a capacitação dos laboratórios, quando recomendado pelo CGIEE.

Art.13. O CGIEE deverá constituir, no prazo de até trinta dias, contado da designação de seus integrantes,

Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no País.

Art.14. O Grupo Técnico será composto por um representante dos seguintes órgãos e entidades:

- I - Ministério de Minas e Energia, que o coordenará;
- II - Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão;
- III - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior;
- IV - Ministério da Integração Nacional;
- V - Ministério da Ciência e Tecnologia;
- VI - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL;
- VII - Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e do Gás Natural - CONPET;

Parágrafo único. Integram, ainda, o Grupo Técnico um representante de universidade brasileira especialista em matéria de edificação e energia; um representante do Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia - CONFEA; um representante do Instituto dos Arquitetos do Brasil - IAB; e um representante da Câmara Brasileira da Indústria da Construção.

Art.15. Compete ao Grupo Técnico propor ao CGIEE:

- I - a adoção procedimentos para avaliação da eficiência energética das edificações;
- II - indicadores técnicos referenciais do consumo de energia das edificações para certificação de sua conformidade em relação à eficiência energética; e
- III - requisitos técnicos para que os projetos de edificações a serem construídas no país atendam os indicadores mencionados no item anterior.

Art.16. Este Decreto entra em vigor na data de sua publicação.

Brasília, 19 de dezembro de 2001; 180º da Independência e 11º da República.

FERNANDO HENRIQUE CARDOSO
Sérgio Silva do Amaral
José Jorge
Ronaldo Mota Sardenberg

DOU DE 20/12/2001

**c. NBR 15220; Desempenho térmico de edificações
de setembro 2003 (parcial)**



**ABNT – Associação
Brasileira de
Normas Técnicas**

Sede:
Rio de Janeiro
Av. Treze de Maio, 13 28º andar
CEP 20003-900 – Caixa Postal 1680
Rio de Janeiro – RJ
Tel.: PABX (21) 3974-2300
Fax: (21) 2240-9249/2220-6436
Endereço eletrônico:
www.abnt.org.br

Copyright © 2003.
ABNT–Associação Brasileira
de Normas Técnicas
Printed in Brazil/
Impresso no Brasil
Todos os direitos reservados

SET 2003

Projeto 02:135.07-001

**Desempenho térmico de edificações
Parte 1: Definições, símbolos e
unidades**

Origem: Projeto 02:135.07-001:2003

ABNT/CB-02- Comitê Brasileiro de Construção Civil

CE-02:135.07 - Comissão de Estudo de Desempenho Térmico de Edificações

Thermal performance in buildings - Terminology, symbols and units

Descriptors: Thermal performance. Buildings.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Edificações.

7 páginas

Sumário

Prefácio

- 1 Objetivo
- 2 Definições

ANEXO

- A Referências bibliográficas

Prefácio

A ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - é o Fórum Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB) e dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

Os projetos de Norma Brasileira, elaborados no âmbito dos ABNT/CB e ABNT/ONS, circulam para Consulta Pública entre os associados da ABNT e demais interessados.

Esta norma, sob o título geral "Desempenho térmico de edificações", tem previsão de conter as seguintes partes:

- Parte 1: Definições, símbolos e unidades;
- Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações;
- Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;
- Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;
- Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

Esta parte da NBR contém o anexo A, de caráter informativo.

1 Objetivo

Esta parte da NBR estabelece as definições e os correspondentes símbolos e unidades de termos relacionados com o desempenho térmico de edificações.

NOTA - O anexo A apresenta a fonte de algumas definições abordadas nesta Norma.

2 Definições

Para os efeitos desta parte da NBR aplicam-se as definições, os símbolos e as unidades indicadas nas tabelas 1, 2 e 3, conforme o campo de estudo.

Tabela 1 - Características térmicas de materiais, elementos e componentes construtivos.

Nº	Grandeza	Definição	Símbolo	Unidade
1	Fluxo de calor ou Taxa de fluxo de calor	Quociente da quantidade de calor que atravessa uma superfície durante um intervalo de tempo pela duração desse intervalo.	Q	W
2	Densidade de fluxo de calor ou Densidade de taxa de fluxo de calor	Quociente do fluxo de calor que atravessa uma superfície pela área dessa superfície (1).	q	W/m ²
3	Condutividade térmica	Propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de 1 W/m ² , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro (2).	λ	W/(m.K)
4	Resistência térmica de elementos e componentes	Quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento ou componente construtivo pela densidade de fluxo de calor, em regime estacionário.	R	(m ² .K)/W
5	Resistência superficial interna	Resistência térmica da camada de ar adjacente à superfície interna de um componente que transfere calor por radiação e/ou convecção.	R _{si}	(m ² .K)/W
6	Resistência superficial externa	Resistência térmica da camada de ar adjacente à superfície externa de um componente que transfere calor por radiação e/ou convecção.	R _{se}	(m ² .K)/W
7	Resistência térmica total	Somatório do conjunto de resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento ou componente, incluindo as resistências superficiais interna e externa.	R _T	(m ² .K)/W
8	Transmitância térmica ou Coeficiente global de transferência de calor	Inverso da resistência térmica total.	U	W/(m ² .K)
9	Capacidade térmica	Quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema (3).	C	J/K
10	Calor específico ou Capacidade térmica específica	Quociente da capacidade térmica pela massa.	c	J/(kg.K)
11	Capacidade térmica de componentes	Quociente da capacidade térmica de um componente pela sua área.	C _T	J/(m ² .K)
12	Densidade de massa aparente	Quociente da massa pelo volume aparente de um corpo.	ρ	kg/m ³
13	Difusividade térmica	Quociente da condutividade térmica de um material (λ) pela sua capacidade de armazenar energia térmica (ρc).	α	m ² /s
14	Atraso térmico	Tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor (4).	φ	h

[...]



ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

Sede:
Rio de Janeiro
Av. Treze de Maio, 13 28º andar
CEP 20003-900 – Caixa Postal 1680
Rio de Janeiro – RJ
Tel.: PABX (21) 3974-2300
Fax: (21) 2240-8249/2220-6436
Endereço eletrônico:
www.abnt.org.br

Copyright © 2003,
ABNT–Associação Brasileira de Normas Técnicas
Printed in Brazil/
Impresso no Brasil
Todos os direitos reservados

SET 2003

Projeto 02:135.07-001/2

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

Origem: Projeto 02:135.07-001/2:2003

ABNT/CB-02 - Comitê Brasileiro de Construção Civil

CE-02:135.07 - Comissão de Estudo de Desempenho Térmico de Edificações

Thermal performance in buildings - Calculation methods of thermal transmittance, thermal capacity, thermal delay and solar heat factor of elements and components of buildings.

Descriptors: Thermal performance. Buildings.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Edificações.

21 páginas

SUMÁRIO

Prefácio

1 Objetivo

2 Referências normativas

3 Definições, símbolos e subscritos

4 Fórmulas básicas

5 Resistência térmica de um componente

6 Capacidade térmica de um componente

7 Atraso térmico de um componente

8 Fator de calor solar

ANEXOS

A Resistências térmicas superficiais

B Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, absorvância e emissividade de superfícies e cores, e propriedades térmicas de materiais

C Exemplos de cálculo

Prefácio

A ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - é o Fórum Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB) e dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

Os Projetos de Norma Brasileira, elaborados no âmbito dos ABNT/CB e ABNT/ONS, circulam para Consulta Pública entre os associados da ABNT e demais interessados.

Esta norma, sob o título geral "Desempenho térmico de edificações", tem previsão de conter as seguintes partes:

Parte 1: Definições, símbolos e unidades;

Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações;

Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;

Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;

Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

Esta norma contém o anexo A, de caráter normativo, e os anexos B e C, de caráter informativo.

1 Objetivo

Esta parte da NBR estabelece procedimentos para o cálculo das propriedades térmicas - resistência, transmitância e capacidade térmica, atraso térmico e fator de calor solar - de elementos e componentes de edificações.

Notas:

- 1 O anexo A apresenta as resistências térmicas superficiais a serem consideradas na aplicação desta Norma.
 2 O anexo B apresenta a resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, a absorvância e a emissividade de superfícies e cores e as propriedades térmicas (condutividade térmica, calor específico e densidade de massa aparente) de materiais.
 3 O anexo C apresenta exemplos de cálculo das grandezas tratadas nesta Norma. No anexo D do projeto 02:135.07-001/3 apresentam-se a transmitância térmica, a capacidade térmica e o atraso térmico de vários exemplos de paredes e coberturas.

2 Referências normativas

As normas relacionadas a seguir contêm disposições que, ao serem citadas neste texto, constituem prescrições para esta parte da NBR. As edições indicadas estavam em vigor no momento desta publicação. Como toda norma está sujeita a revisão, recomenda-se àqueles que realizam acordos com base nesta que verifiquem a conveniência de se usarem as edições mais recentes das normas citadas a seguir. A ABNT possui a informação das normas em vigor em um dado momento.

Projeto 02:135.07-001/1:2003 - Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades.

Projeto 02:135.07-001/3:2003 - Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Procedimentos para avaliação de habitações de interesse social.

ISO 6946:1996: Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation methods.

3 Definições, símbolos e subscritos

Para os efeitos desta parte da NBR, aplicam-se as definições, símbolos e abreviaturas do projeto 02:135.07-001/1 e os seguintes símbolos, unidades, subscritos e definições:

3.1 Símbolos

Símbolo	Variável	Unidade
A	Área	m ²
R	Resistência térmica de um componente	(m ² .K)/W
U	Transmitância térmica de um componente	W/(m ² .K)
C _T	Capacidade térmica de um componente	kJ/(m ² .K)
φ	Atraso térmico de um componente	horas
FS _o	Fator solar de elementos opacos	-
FS _t	Fator solar de elementos transparentes ou translúcidos	-
CS	Coefficiente de sombreamento	-
c	Calor específico	kJ/(kg.K)
e	Espessura de uma camada	m
λ	Condutividade térmica do material	W/(m.K)
ρ	Densidade de massa aparente do material	kg/m ³
ε	Emissividade hemisférica total	-

3.2 Subscritos

Subscrito	Descrição
ar	Referente a uma câmara de ar
n	Número total de seções ou camadas (a, b, c, ..., n-1, n.) de um elemento ou componente
s	Superfície
e	Exterior da edificação
i	Interior da edificação
t	Total, superfície a superfície
T	Total, ambiente a ambiente

3.3 Definição de seções e camadas

Denomina-se seção à uma parte de um componente tomada em toda a sua espessura (de uma face à outra) e que contenha apenas resistências térmicas em série.

Denomina-se camada à uma parte de um componente tomada paralelamente às suas faces e com espessura constante.

Nota: Desta forma, conforme 5.2.1, a figura 1 possui quatro seções (S_a, S_b, S_c e S_d). A seção S_a é composta por uma única camada, a seção S_b é composta por duas camadas, a seção S_c também é composta por uma única camada (diferente daquela da seção S_d) e a seção S_d é composta por duas camadas.

4 Fórmulas básicas**4.1 Resistência térmica****4.1.1 Camadas homogêneas**

Valores da resistência térmica, R, obtidos através de medições baseadas em ensaios normalizados, devem ser usados sempre que possível. Na ausência de valores medidos, conforme ISO 6946, recomenda-se que a resistência térmica, R, de uma camada homogênea de material sólido seja determinada pela expressão 1.

[...]



**ABNT – Associação
Brasileira de
Normas Técnicas**

Sede:
Rio de Janeiro
Av. Treze de Maio, 13 28º andar
CEP 20003-900 – Caixa Postal 1680
Rio de Janeiro – RJ
Tel.: PABX (21) 3974-2300
Fax: (21) 2220-8249/2220-6436
Endereço eletrônico:
www.abnt.org.br

Copyright © 2003,
ABNT–Associação Brasileira
de Normas Técnicas
Printed in Brazil/
Impresso no Brasil
Todos os direitos reservados

SET 2003

Projeto 02:135.07-001/3

Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social

Origem: Projeto 02:135.07-001/3:2003

ABNT/CB-02- Comitê Brasileiro de Construção Civil

CE-02:135.07 – Comissão de Estudo de Desempenho Térmico de Edificações

Thermal performance in buildings – Brazilian Bioclimatic Zones and Building Guidelines for Low-Cost Houses.

Descriptors: Thermal performance. Buildings.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Edificações

23 páginas

Sumário

Prefácio

Introdução

1 Objetivos e campo de aplicação

2 Referências normativas

3 Definições

4 Zoneamento bioclimático brasileiro

5 Parâmetros e condições de contorno

6 Diretrizes construtivas para cada Zona Bioclimática Brasileira

7 Estratégias de condicionamento térmico

ANEXOS

A Relação das 330 cidades cujos climas foram classificados

B Zoneamento Bioclimático do Brasil

C Recomendações e diretrizes construtivas para adequação da edificação ao clima local

D Transmissância térmica, capacidade térmica e atraso térmico de algumas paredes e coberturas

Prefácio

A ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - é o Fórum Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT /CB) e dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

Os projetos de Norma Brasileira, elaborados no âmbito dos ABNT/CB e ABNT/ONS, circulam para Consulta Pública entre os associados da ABNT e demais interessados.

Esta norma, sob o título geral "Desempenho térmico de edificações", tem previsão de conter as seguintes partes:

Parte 1: Definições, símbolos e unidades;

Parte 2: Métodos de cálculo da transmissância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações;

Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;

Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;

Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

Esta parte da NBR contém os anexos A e B, de caráter normativo, e os anexos C e D, de caráter informativo.

Introdução

A avaliação de desempenho térmico de uma edificação pode ser feita tanto na fase de projeto, quanto após a construção. Em relação à edificação construída, a avaliação pode ser feita através de medições *in-loco* de variáveis representativas do desempenho, enquanto que na fase de projeto esta avaliação pode ser feita por meio de simulação computacional ou através da verificação do cumprimento de diretrizes construtivas.

Esta parte da NBR apresenta recomendações quanto ao desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social aplicáveis na fase de projeto. Ao mesmo tempo em que estabelece um Zoneamento Bioclimático Brasileiro, são feitas recomendações de diretrizes construtivas e detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo, com base em parâmetros e condições de contorno fixados.

Propôs-se, então, a divisão do território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima e, para cada uma destas zonas, formulou-se um conjunto de recomendações técnico-construtivas que otimizam o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática.

Adaptou-se uma Carta Bioclimática a partir da sugerida por Givoni ("Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines". Energy and Building, 18 (1), 11-23, 1992), detalhada no anexo B.

Esta Norma não trata dos procedimentos para avaliação do desempenho térmico de edificações, os quais podem ser elaborados através de cálculos, de medições *in loco* ou de simulações computacionais.

1 Objetivos e campo de aplicação

1.1 Esta parte da NBR estabelece um Zoneamento Bioclimático Brasileiro abrangendo um conjunto de recomendações e estratégias construtivas destinadas às habitações unifamiliares de interesse social.

1.2 Esta parte da NBR estabelece recomendações e diretrizes construtivas, sem caráter normativo, para adequação climática de habitações unifamiliares de interesse social, com até três pavimentos.

2 Referências normativas

As normas relacionadas a seguir contêm disposições que, ao serem citadas neste texto, constituem prescrições para esta parte da NBR. As edições indicadas estavam em vigor no momento desta publicação. Como toda norma está sujeita a revisão, recomenda-se àqueles que realizam acordos com base nesta que verifiquem a conveniência de se usarem as edições mais recentes das mesmas. A ABNT possui a informação das normas em vigor em um dado momento.

Projeto 02:135.07-001/1:2003 - Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades.
Projeto 02:135.07-001/2:2003 - 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.
Projeto 02:135.07-001/4:2003 - Desempenho térmico de edificações - Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida.
Projeto 02:135.07-001/5:2003 - Desempenho térmico de edificações - Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade pelo método fluximétrico.
ASHRAE: 1996 - Algorithms for Building Heat Transfer Subroutines.

3 Definições

Para os efeitos desta parte da NBR, aplicam-se as definições, símbolos e unidades dos projetos 02:135.07-001/1, 02:135.07-001/2, 02:135.07-001/4 e 02:135.07-001/5.

4 Zoneamento bioclimático brasileiro

O zoneamento bioclimático brasileiro compreende oito diferentes zonas, conforme indica a figura 1.

O anexo A apresenta a relação de 330 cidades cujos climas foram classificados e o anexo B apresenta a metodologia adotada na determinação do zoneamento.

[...]



**ABNT – Associação
Brasileira de
Normas Técnicas**

Sede:
Rio de Janeiro
Av. Treze de Maio, 13 28º andar
CEP 20003-900 – Caixa Postal 1680
Rio de Janeiro – RJ
Tel.: PABX (21) 3974-2300
Fax: (21) 2220-8249/2220-6436
Endereço eletrônico:
www.abnt.org.br

Copyright © 2003,
ABNT-Associação Brasileira
de Normas Técnicas
Printed in Brazil/
Impresso no Brasil
Todos os direitos reservados

SET 2003

Projeto 02:135.07-001/4

Desempenho térmico de edificações Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida

Origem: Projeto 02:135.07-001/4:2003

ABNT/CB-02 - Comitê Brasileiro de Construção Civil

CE-02:135.07 - Comissão de Estudo do Desempenho Térmico nas Edificações

Thermal performance in buildings - Measurements of the thermal resistance and thermal conductivity by the guarded hot plate apparatus

Descriptors: Thermal performance. Buildings.

Esta Norma é baseada nas ISO 8302:1991 e ASTM C-177 e BS 874:1986

Palavras-chave: Desempenho térmico. Edificações.

8 páginas

Sumário

- Prefácio
- Introdução
- 1 Objetivo, campo de aplicação e restrições
- 2 Referências normativas
- 3 Definições
- 4 Princípios gerais de medição
- 5 Aparelhagem experimental
- 6 Preparação dos corpos-de-prova
- 7 Procedimentos de ensaio
- 8 Resultados
- 9 Relatório

Prefácio

A ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - é o Fórum Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB) e dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

Os Projetos de Norma Brasileira, elaborados no âmbito dos ABNT/CB e ABNT/ONS, circulam para Consulta Pública entre os associados da ABNT e demais interessados.

Esta norma, sob o título geral "Desempenho térmico de edificações", tem previsão de conter as seguintes partes:

- Parte 1: Definições, símbolos e unidades;
- Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações;
- Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;
- Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;
- Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

Introdução

O conteúdo desta Norma é a descrição do método da placa quente protegida para a determinação da resistência e da condutividade térmicas de materiais sólidos ou granulares.

São apresentados os critérios essenciais de projeto, dimensões e tolerâncias para o conjunto de equipamentos, sendo também especificadas as exigências mínimas em termos de instrumentação.

São também apresentados em detalhes os procedimentos de medida, as condições de ensaio e o modo de preparação dos corpos-de-prova, para os diferentes materiais, especialmente os de baixa densidade e os materiais de construção civil.

São também especificadas as informações a serem fornecidas nos relatórios de ensaio.

Esta norma está de acordo com o método correspondente das ISO 8302, ASTM C-177 e BS 874.

1 Objetivo, campo de aplicação e restrições

1.1 Objetivo

Esta Norma estabelece o método absoluto para determinação, em regime permanente, da resistência térmica e da condutividade térmica de materiais sólidos, usando-se a aparelhagem denominada placa quente protegida, tendo a placa uma largura total ou diâmetro acima de 200 mm e uma largura do anel de guarda entre 1/4 e 1/6 do diâmetro ou da largura total.

1.2 Campo de aplicação

O método se aplica para a medição, em regime permanente, da resistência térmica e da condutividade térmica de materiais sólidos ou granulares, compactados ou não, nas seguintes faixas:

- a) resistência térmica (R) acima de 0,02 m²K/W;
- b) condutividade térmica (λ) abaixo de 2 W/(m.K).

1.3 Restrições na determinação da condutividade térmica

Os materiais para os quais este método é aplicado podem ser divididos em três categorias, como segue:

- a) materiais homogêneos e isotrópicos, através dos quais o calor é transmitido somente pelo sólido, tais como plásticos densos, borrachas e vidros;
- b) materiais porosos termicamente homogêneos, através dos quais o calor pode ser transmitido por uma combinação dos processos de condução, convecção e radiação, como no caso de materiais fibrosos, celulares e granulares;
- c) materiais termicamente não homogêneos, através dos quais o calor pode ser transmitido por condução ou uma combinação de modos como na alínea b), formando estruturas compostas, de modo que o transporte de calor não seja uniforme através dos mesmos.

NOTA: Materiais termicamente homogêneos no contexto desta seção são materiais cuja condutividade térmica em qualquer temperatura não seja afetada por uma mudança no gradiente de temperatura, na espessura ou na área dos corpos-de-prova. Materiais que contêm uma distribuição aleatória de inclusões ou cavidades de pequenas dimensões em relação à espessura dos corpos-de-prova são considerados como homogêneos. Este, porém, não é o caso de corpos-de-prova compostos que distorcem a distribuição do fluxo de calor.

A condutividade térmica pode ser considerada como propriedade intrínseca dos materiais classificados na categoria (a) e nenhuma restrição se aplica à sua determinação por este método.

Por outro lado a condutividade térmica não pode ser considerada como propriedade intrínseca dos materiais classificados na categoria (b). Porém, considerando que estes materiais são termicamente homogêneos, o conceito de uma condutividade térmica pode ser empregado para descrever o seu comportamento em aplicações práticas diversas.

O comportamento de materiais termicamente não homogêneos, categoria (c), não pode em nenhuma circunstância ser descrito em termos de condutividade térmica. Somente se pode fazer referência a uma resistência térmica dos corpos-de-prova sob as condições de ensaio, ou seja, a uma espessura, a um gradiente de temperatura e emissividades particulares das superfícies envolvidas.

Para materiais isolantes de baixa densidade, nos quais a radiação é um modo importante de transferência de calor, a espessura dos corpos-de-prova pode influenciar no valor da propriedade medida. A metodologia de ensaio destes materiais é detalhada nas ASTM C-177 e BS 874.

2 Referências normativas

As normas relacionadas a seguir contêm disposições que, ao serem citadas neste texto, constituem prescrições para esta Norma. As edições indicadas estavam em vigor no momento desta publicação. Como toda norma está sujeita a revisão, recomenda-se àqueles que realizam acordos com base nesta que verifiquem a conveniência de se usarem as edições mais recentes das normas citadas a seguir. A ABNT possui a informação das normas em vigor em um dado momento.

Projeto 02:135.17-001/1:2003 - Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades.

ISO 8302:1991 - Thermal insulation - Determination of steady-state thermal resistance and related properties - Guarded hot-plate apparatus.

BS 874:1986 - Methods for determining thermal insulating properties - Part 2: Tests for thermal conductivity and related properties - Section 2.1: Guarded Hot-Plate Method.

ASTM C-177:1997 - Standard test method for steady-state thermal transmission properties by means of the guarded hot plate apparatus.

3 Definições

Para os efeitos desta Norma, aplicam-se as definições, símbolos e abreviaturas constantes na NBR 02:135.07-001/1 e as seguintes:

3.1 condutividade térmica: Quociente do fluxo de calor pelo gradiente de temperatura nos corpos-de-prova, conforme a seguinte expressão:

$$\lambda = \frac{q/A}{\Delta T/e} \quad \dots 1)$$

Onde:

q é o fluxo de calor por condução através de um corpo-de-prova de espessura e e área A , em regime permanente, sujeita a uma diferença de temperatura ΔT entre as faces, calculada pela expressão:

$$q = \frac{\lambda \cdot A}{e} \Delta T \quad \dots 2)$$

3.2 resistência térmica: Valor obtido pela expressão:

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad \dots 3)$$

4 Princípios gerais da medição

A determinação da condutividade térmica por este método envolve a medição do gradiente de temperatura médio estabelecido sobre o corpo-de-prova, a partir de um certo fluxo de calor e em condições de regime permanente.

A condução unidimensional é conseguida a partir do uso de um anel de guarda (figura 1), de modo a restringir as perdas laterais de calor e tendo-se o comportamento térmico de uma placa infinita.

A placa quente é formada por duas seções de aquecimento independentes, sendo a central denominada de seção de medição e a externa de anel de guarda. Este é separado da seção de medição por um espaço de 1,5 mm a 2,0 mm. Pode ser assumido um fluxo de calor unidimensional na seção de medição quando sensores de temperatura instalados nesta e no anel de guarda indicarem o mesmo valor.

Um anel de guarda lateral pode ainda ser usado de forma a reduzir as perdas de calor laterais. Este anel de guarda deve ser controlado de forma a se manter a uma temperatura igual à temperatura média dos corpos-de-prova.

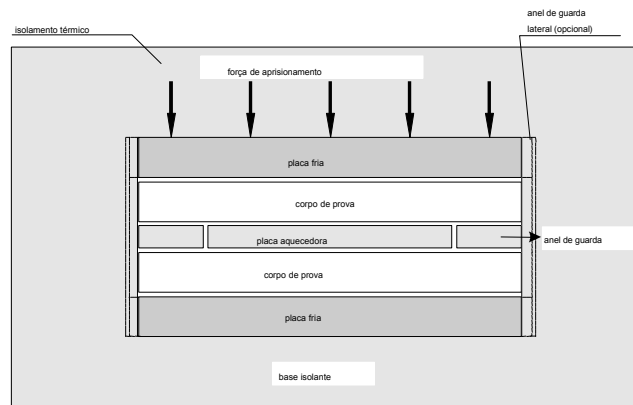


Figura 1 - Montagem do conjunto.

Conforme mostrado na figura 1, dois corpos-de-prova idênticos, com superfícies planas e paralelas, são dispostos horizontalmente em cada lado da placa quente central e colocados entre as duas placas frias isotérmicas.

Placas de borracha deformável são introduzidas entre as superfícies dos corpos-de-prova e as placas do equipamento, sempre que necessário, de modo a melhorar o contato térmico entre estas superfícies.

Para minimizar as perdas de calor, o conjunto é envolvido por isolante e colocado em uma caixa, que pode ser selada quando se fizerem medições com as temperaturas das placas frias próximas ou abaixo da temperatura de ponto de orvalho do ar ambiente.

[...]



ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

Sede:
Rio de Janeiro
Av. Treze de Maio, 13 28º andar
CEP 20003-900 – Caixa Postal 1680
Rio de Janeiro – RJ
Tel.: PABX (21) 3974-2300
Fax: (21) 2220-8249/2220-6436
Endereço eletrônico:
www.abnt.org.br

Copyright © 2003,
ABNT–Associação Brasileira
de Normas Técnicas
Printed in Brazil/
Impresso no Brasil
Todos os direitos reservados

SET 2003

Projeto 02:135.07-001/5

Desempenho térmico de edificações

Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico

Origem: Projeto 02:135.07-001/5:2003

ABNT/CB-02- Comitê Brasileiro de Construção Civil

CE-02:135.07 - Comissão de Estudo de Desempenho Térmico nas Edificações

Thermal performance in buildings - Measurement of the thermal resistance and thermal conductivity in steady state by the fluximetric method

Descriptors: Thermal performance. Buildings.

Esta Norma é baseada nas ISO 8301:1991 e NFX10-025:1991

Palavras-chave: Desempenho térmico. Edificações.

7 páginas

Sumário

- Prefácio
- Introdução
- 1 Objetivo e campo de aplicação
- 2 Referências normativas
- 3 Símbolos e unidades
- 4 Princípio
- 5 Dispositivos de medição
- 6 Calibração
- 7 Amostragem
- 8 Procedimento
- 9 Expressão dos resultados
- 10 Relatório

Prefácio

A ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - é o Fórum Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB) e dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

Os projetos de Norma Brasileira, elaborados no âmbito dos ABNT/CB e ABNT/ONS, circulam para Consulta Pública entre os associados da ABNT e demais interessados.

Esta norma, sob o título geral "Desempenho térmico de edificações", tem previsão de conter as seguintes partes:

- Parte 1: Definições, símbolos e unidades;
- Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações;
- Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;
- Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;
- Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

Introdução

Esta Norma descreve um método de medição da condutividade térmica com o auxílio de fluxímetro(s), tendo sido elaborada em conformidade com a ISO 8301, constituindo uma versão condensada.

Em particular, o usuário poderá se reportar à ISO 8301 para explicações mais completas para certos itens desta Norma.

O processo de medição descrito nesta Norma é um método relativo que necessita de uma pré-calibração em relação ao método absoluto da placa quente protegida definido pela NBR 02:135.07-001/4.

1 Objetivo e campo de aplicação

1.1 Objetivo

Esta Norma estabelece o método de utilização de técnicas fluximétricas para medir a resistência térmica em regime estacionário através de corpos-de-prova na forma de placas planas, podendo-se deduzir por cálculo a condutividade térmica.

O resultado da medição é a resistência térmica individual do(s) corpo(s)-de-prova submetido(s) ao ensaio, sendo possível então calcular sua condutividade térmica, caso os corpos-de-prova sejam constituídos de material homogêneo.

NOTA: Trata-se de um método relativo que necessita de uma pré-calibração periódica da aparelhagem com o auxílio de corpos-de-prova cujas resistências térmicas (ou a condutividade térmica) foram determinadas segundo o método absoluto da placa quente protegida, descrito na NBR 02:135.07-001/4.

1.2 Campo de aplicação

O campo de aplicação desta Norma é definido pelos critérios de 1.2.1 a 1.2.3.

1.2.1 Temperatura

Para materiais isolantes de edificações, a faixa de temperatura está limitada entre -30°C e $+80^{\circ}\text{C}$.

Para aplicações específicas, esta faixa pode ser estendida a outras temperaturas, desde que os materiais constituintes da aparelhagem o permitam e desde que a pré-calibração seja possível.

1.2.2 Corpos-de-prova

Eles devem atender às seguintes exigências:

- ter dimensões e espessura como indicado em 7.3 a 7.5;
- possuir planeza e paralelismo das faces como indicado em 7.2; e
- possuir resistência térmica, estimada maior ou igual a $0,1 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$, com a condição de não ultrapassar os limites de espessura e de resistência térmica específica resultante das características do dispositivo, das condições, dos resultados da calibração e das características térmicas dos corpos-de-prova.

1.2.3 Umidade

O método é aplicável somente se, durante toda a duração da medição, as transferências de umidade (redistribuição e absorção) forem desprezíveis.

NOTAS

1 Normalmente essa condição implica em pré-condicionar os corpos-de-prova ao estado seco convencional e eventualmente protegê-los contra toda absorção de umidade posterior (antes e/ou durante a medição).

2 O estado seco convencional é definido como o estado de equilíbrio do material colocado em estufa ventilada a 70°C , sendo a tomada de ar feita a uma atmosfera a 20°C e 65% de umidade relativa ou 23°C e 50% de umidade relativa.

2 Referências normativas

As normas relacionadas a seguir contêm disposições que, ao serem citadas neste texto, constituem prescrições para esta Norma. As edições indicadas estavam em vigor no momento desta publicação. Como toda norma está sujeita a revisão, recomenda-se àqueles que realizam acordos com base nesta que verifiquem a conveniência de se usarem as edições mais recentes das normas citadas a seguir. A ABNT possui a informação das normas em vigor em um dado momento.

Projeto 02:135.07-001/1:2003 - Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições símbolos e unidades.

Projeto 02:135.07-001/4:2003 - Desempenho térmico de edificações - Parte 4: Medição da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida.

3 Símbolos e unidades

Para os efeitos desta Norma, aplicam-se as definições, símbolos e abreviaturas da NBR 02:135.07-001/1 e os símbolos e unidades indicados na tabela 1.

4 Princípio

Medição da resistência térmica em regime permanente, conforme a seguinte seqüência:

- aplicação de uma densidade de fluxo de calor constante e através da zona central de medição de um (ou dois) fluxímetro(s) e da zona central de um (ou dois) corpo(s)-de-prova em forma de placa(s);
- determinação da densidade de fluxo de calor atravessando o(s) corpo-de-prova(s) a partir do sinal (f.e.m.) fornecido pelo(s) fluxímetro(s) e da(s) constante(s) de calibração do(s) fluxímetro(s), após validação das condições de regime permanente; e
- cálculo da resistência térmica do(s) corpo-de-prova(s) pelo quociente da diferença de temperatura entre as faces do(s) corpo-de-prova(s) e da densidade de fluxo de calor.

[...]

satisfeitas:

- a) não é notada variação contínua crescente ou decrescente no valor da resistência térmica calculada; e
- b) nenhuma medição individual do fluxo de calor difere mais que $\pm 2\%$ da média do conjunto de medições consecutivas.

9 Expressão dos resultados

9.1 A partir de pelo menos cinco seqüências sucessivas de medições, obtidas conforme 8.4 e 8.5, calcular para cada corpo-de-prova:

- a) a densidade de fluxo de calor médio q ;
- b) as temperaturas médias T_q e T_f das placas quente e fria;
- c) a temperatura média T ; e
- d) a diferença média de temperatura ΔT_m entre as faces do(s) corpo(s)-de-prova.

9.2 Calcular a resistência térmica $R = \Delta T/q$.

9.3 No caso de uma montagem em configuração do tipo c (simétrica com dois corpos-de-prova e um só fluxímetro), e quando as temperaturas das faces em contato com o fluxímetro não são medidas, a resistência térmica R é a resistência térmica total dos corpos-de-prova e do fluxímetro. Neste caso a resistência térmica R_f do fluxímetro deve ser deduzida da resistência térmica R medida.

9.4 No caso de um corpo-de-prova de espessura "e" ser constituído de um material homogêneo, pode ser calculada diretamente a sua condutividade térmica $\lambda = e/R$.

10 Relatório

As seguintes informações devem constar no relatório de ensaio:

- a) identificação do produto (marca comercial, se for o caso) e breve descrição das suas características;
 - b) identificação e modo de obtenção dos corpos-de-prova representativos do lote;
 - c) características dos corpos-de-prova (espessura, dimensões laterais, massa antes e após condicionamento, massa por unidade de superfície e/ou densidade de massa aparente);
 - d) procedimento de condicionamento dos corpos-de-prova antes e após o ensaio;
 - e) breve descrição do equipamento (configuração, modo de calibração, características particulares);
 - f) resultado das medições do fluxo de calor e das temperaturas das faces quente e fria de cada corpo-de-prova;
 - g) temperatura média e resistência térmica de cada corpo-de-prova, bem como, eventualmente, a condutividade térmica;
 - h) descrição de todo elemento suscetível de ter influenciado os resultados da medição;
 - i) data do ensaio e data da elaboração do relatório;
 - j) identificação do responsável pelo ensaio (eventualmente da pessoa diretamente encarregada do ensaio); e
 - k) referência a esta Norma.
-

d. NBR 16401-2; Parâmetros de conforto térmico

**NORMA
BRASILEIRA**

**ABNT NBR
16401-2**

Primeira edição
04.08.2008

Válida a partir de
04.09.2008

**Instalações de ar-condicionado – Sistemas
centrais e unitários
Parte 2: Parâmetros de conforto térmico**

*Central and unitary air conditioning systems
Part 2: Thermal comfort*

Palavras-chave: Ar-condicionado. Conforto térmico. Temperatura operativa.
Descriptors: Air conditioning. Thermal comfort. Operative temperature.

ICS 91.140.30

ISBN 978-85-07-00890-3



Número de referência
ABNT NBR 16401-2:2008
7 páginas

© ABNT 2008

NORMA
BRASILEIRA

**ABNT NBR
16401-2**

Primeira edição
04.08.2008

Válida a partir de
04.09.2008

**Instalações de ar-condicionado – Sistemas
centrais e unitários
Parte 2: Parâmetros de conforto térmico**

*Central and unitary air conditioning systems
Part 2: Thermal comfort*

Palavras-chave: Ar-condicionado. Conforto térmico. Temperatura operativa.
Descriptors: *Air conditioning. Thermal comfort. Operative temperature.*

ICS 91.140.30

ISBN 978-85-07-00890-3



Número de referência
ABNT NBR 16401-2:2008
7 páginas

© ABNT 2008

Sumário

Página

Prefácio.....	iv
1 Escopo.....	1
2 Termos e definições.....	1
3 Fatores que afetam o conforto térmico.....	2
4 Avaliação das condições de conforto térmico.....	3
5 Parâmetros de conforto.....	3
5.1 Verão (roupa típica 0,5 clo).....	3
5.2 Inverno (roupa típica 0,9 clo).....	3
5.3 Limitações.....	4
5.4 Outras condições operacionais.....	4
5.4.1 Maior velocidade do ar.....	4
5.4.2 Maior nível de atividade e outros tipos de roupa.....	4
6 Avaliação e controle.....	4
6.1 Avaliação.....	4
6.2 Localização dos pontos de medição.....	5
6.3 Instrumentação.....	5
Bibliografia.....	7

ABNT NBR 16401-2:2008

Prefácio

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Foro Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB), dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e das Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidade, laboratório e outros).

Os Documentos Técnicos ABNT são elaborados conforme as regras das Diretivas ABNT, Parte 2.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) chama atenção para a possibilidade de que alguns dos elementos deste documento podem ser objeto de direito de patente. A ABNT não deve ser considerada responsável pela identificação de quaisquer direitos de patentes.

A ABNT NBR 16401-2 foi elaborada no Comitê Brasileiro de Refrigeração, Ar-condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABNT/CB-55), pela Comissão de Estudo de Sistemas Centrais, Condicionamento de Ar e Ventilação Comercial (CE-55:002.03). O Projeto circulou em Consulta Nacional conforme Edital nº 03, de 21.02.2008 a 22.04.2008, com o número de Projeto 55:002.03-001-2.

Esta Norma cancela e substitui a ABNT NBR 6401:1980.

A ABNT NBR 16401, sob o título geral "Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários", tem previsão de conter as seguintes partes:

- Parte 1: Projeto das instalações;
- Parte 2: Parâmetros de conforto térmico;
- Parte 3: Qualidade do ar interior.

O Escopo desta Norma Brasileira em inglês é o seguinte:

Scope

This part of ABNT NBR 16401 specifies the conditions of the internal environment for thermal comfort in air conditioned spaces.

NOTE The feeling of thermal comfort is essentially subjective. Due to the large individual variations, physiological and psychological, it is not possible to establish thermal environmental conditions to provide comfort for 100 % of persons.

The conditions specified in this part of ABNT NBR 16401 define the thermal environment in which a majority of 80%, from a group of people homogeneous as to physical activity and type of clothing, are likely to express satisfaction about thermal comfort.

This part of ABNT NBR 16401 applies to healthy adults, in the conditioned space for more than 15 min.

**e. Código de Edificações de Porto Alegre; LC No 284 de
27 de outubro de 1992 – DOE de 03/11/1992 (parcial)**

CÓDIGO DE EDIFICAÇÕES DE PORTO ALEGRE

LC Nº 284

**DE 27 DE OUTUBRO DE 1992.
(DOE de 03.11.92)**

5ª Edição
CORAG
Assessoria de Publicações Técnicas
Porto Alegre, 2001

CORAG-COMPANHIA RIO-GRANDENSE DE ARTES GRÁFICAS

Presidente: LUIZ HERON DA SILVA

Pesquisa e organização: MARIA HELENA BUENO GARGIONI

Revisão: SILVIA MARIA BOTTON DA SILVA

Capa: SID MONZA

Editoração Gráfica: CARLOS ROBERTO RODRIGUES

Impressão: CORAG

Lei Complementar nº 284/92 – 5ª Ed. do Código de Edificações de Porto Alegre – CORAG.
Assessoria de Publicações Técnicas.
1. Legislação – Município de Porto Alegre – Rio Grande do Sul.
2001

Colaboração Especial:

- PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE
- Secretaria Municipal de Obras e Viação
- Supervisão de Edificações e Controle
- Secretaria Planejamento Municipal
- Conselho Municipal do Plano Diretor

Legislação Complementar:

- Biblioteca da Câmara Municipal de Vereadores

LEI COMPLEMENTAR Nº 284

Institui o Código de Edificações de Porto Alegre e dá outras providências.

SUMÁRIO

TÍTULO I – OBJETIVOS	7
TÍTULO II – DEFINIÇÕES, SIGLAS E ABREVIATURAS	7
TÍTULO III – CLASSIFICAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES	18
TÍTULO IV – RESPONSABILIDADES	19
TÍTULO V – NORMAS ADMINISTRATIVAS	20
TÍTULO VI – OBRIGAÇÕES A SEREM CUMPRIDAS DURANTE A EXECUÇÃO DAS OBRAS	21
Capítulo I – Andaimos	21
Capítulo II – Tapumes e Passeios Públicos	21
Capítulo III – Conservação e Limpeza dos Logradouros e Proteção às Pro- priedades	22
TÍTULO VII – CONDIÇÕES GERAIS RELATIVAS A TERRENOS	23
Capítulo I – Terrenos Não Edificados	23
Capítulo II – Terrenos Edificados	23
Capítulo III – Proteção e Fixação de Terras	24
TÍTULO VIII – MATERIAIS E ELEMENTOS DA CONSTRUÇÃO	24
Capítulo I – Materiais de Construção	24
Capítulo II – Paredes	25
Capítulo III – Fachadas	27
Capítulo IV – Balanços	28
Capítulo V – Jiraus e Mezaninos	28
Capítulo VI – Marquises	29
Capítulo VII – Chaminés	30
Capítulo VIII – Toldos e Acessos Cobertos	30
Capítulo IX – Portas	31
TÍTULO IX – CIRCULAÇÕES	32
Capítulo I – Escadas	32
Capítulo II – Rampas	34
Capítulo III – Corredores	35

Capítulo IV – Passagens	36
Capítulo V – Saguões de Elevadores	36
TÍTULO X – ILUMINAÇÃO E VENTILAÇÃO	36
Capítulo I – Vãos	36
Capítulo II – Dutos	37
Capítulo III – Pátios	38
TÍTULO XI – TIPOS EDIFÍCIOS E ATIVIDADES	39
Capítulo I – Edificações Residenciais	39
Seção I – Casas	39
Seção II – Edifícios Residenciais	40
Seção III – Habitações Coletivas	43
Capítulo II – Edificações Não Residenciais	43
Seção I – Condições Gerais	43
Seção II – Edifícios de Escritórios	45
Seção III – Lojas	45
Seção IV – Galerias e Centros Comerciais	46
Seção V – Hotéis	46
Seção VI – Escolas	47
Seção VII – Creches, Maternais e Jardins de Infância	48
Seção VIII – Cinemas, Teatros, Auditórios e Assemelhados	48
Seção IX – Templos	48
Seção X – Ginásios	49
Seção XI – Hospitais e Congêneres	49
Seção XII – Pavilhões	50
Seção XIII – Edifícios-Garagem	50
Seção XIV – Garagens Não Comerciais	51
Seção XV – Telheiros	52
Seção XVI – Abastecimento de Veículos	52
Seção XVII – Postos de Abastecimento e Serviço	52
Seção XVIII – Abastecimento e Serviços em Garagens Comerciais	53
Seção XIX – Abastecimento em Edificações Não Residenciais	53
Seção XX – Locais para Refeições	54
Seção XXI – Clubes e Locais de Diversões	54
Seção XXII – Tipos Edifícios Específicos	55
TÍTULO XII – INSTALAÇÕES EM GERAL	55
Capítulo I – Instalações Hidrossanitárias	55
Capítulo II – Instalações para escoamento de Águas Pluviais e de Infiltração ..	56
Capítulo III – Instalações para Armazenagem de Lixo	57
Capítulo IV – Instalações Elétricas	58
Capítulo V – Instalações de Pára-raios	58
Capítulo VI – Instalações para Antenas	59
Capítulo VII – Instalações Telefônicas	59
Capítulo VIII – Instalações de Central de Ar-Condicionado	59
Capítulo IX – Instalações de Aparelhos Radiológicos	59

Capítulo X – Instalações de Gás	59
Capítulo XI – Instalações e Equipamentos de Proteção Contra Incêndio	60
Capítulo XII – Instalações de Elevadores	60
Capítulo XIII – Instalações de Equipamentos Geradores de Calor	61
Capítulo XIV – Instalações de Caldeiras	62
Capítulo XV – Instalações de Equipamentos em Geral	63
TÍTULO XIII – INFRAÇÕES E PENALIDADES	63
Capítulo I – Disposições Gerais	63
Capítulo II – Auto de Infração e Multas	63
Capítulo III – Embargo	64
Capítulo IV – Interdição	65
Capítulo V – Demolição	65
TÍTULO XIV – DISPOSIÇÕES FINAIS E TRANSITÓRIAS	65

[...]

LEI COMPLEMENTAR Nº 284

Institui o Código de Edificações de Porto Alegre e dá outras providências

O PREFEITO MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE

Faço saber que a Câmara Municipal aprovou e eu sanciono a seguinte Lei Complementar:

TÍTULO I

Objetivos

Art. 1º – Este Código disciplina as regras gerais e específicas a serem obedecidas no projeto, construção, uso e manutenção de edificações, sem prejuízo do disposto nas legislações estadual e federal pertinentes.

Parágrafo único – Este Código aplica-se às edificações existentes, inclusive, quando o proprietário pretender reformá-la, mudar seu uso ou aumentá-las.

Art. 2º – O objetivo básico deste Código é garantir níveis mínimos de qualidade nas edificações, traduzido através de exigências de:

- I – habitabilidade, compreendendo adequação ao uso, higiene, conforto higrométrico, térmico, acústico e lumínico;
- II – durabilidade;
- III – segurança.

TÍTULO II

Definições, Siglas e Abreviaturas

Art. 3º – Para efeitos deste Código são adotadas as definições de números 3.1 a 3.127.

3.1 *Acesso sem obstáculos*

Caminho destinado ao uso de enfermos e/ou deficientes físicos, inclusive usuários de cadeiras de rodas, possuindo ao longo dele, rampas, elevadores, ou outros dispositivos onde houver diferenças de nível entre pavimentos.

7

[...]

f. Etiquetação PROCEL; Etiquetação de Eficiência Energética de Edificações na versão de abril de 2010 (parcial)

1 Etiquetação de Eficiência Energética de Edificações



MME – Ministério de Minas e Energia

Edison Lobão
Ministro de Minas e Energia

CGIEE – Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética

Paulo Augusto Leonelli
Presidente – Ministério das Minas e Energia

Adriano Duarte Filho
Ministério da Ciência e Tecnologia

Elizabeth Marques Duarte Pereira
Representante da sociedade brasileira

Gilberto de Martino Jannuzzi
Representante da Universidade Brasileira

Jacqueline Barboza Mariano
Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

Paulo Malamud
Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior

Sheyla Maria das Neves Damasceno
Agência Nacional de Energia Elétrica

Grupo Técnico Edificações do MME

Maria de Fátima Passos
Coordenadora – Ministério das Minas e Energia

Almir Fernandes
Instituto dos Arquitetos do Brasil

Ana Karine Batista
Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia

Élbio Gonçalves Maich
Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia

Fernando Pinto Dias Perrone
Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL

Francisco A. de Vasconcellos Neto
Câmara Brasileira da Indústria da Construção

Jean Benevides
Caixa Econômica Federal

Marcos Parainello
Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão

Maria Salette Weber
Ministério das Cidades

Mozart Schimdt
Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e do Gás Natural - CONPET

Nelson da Silva
Ministério da Ciência e Tecnologia

[...]

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	5
2. O PROCESSO DE ETIQUETAGEM	7
3. PRÓXIMOS PASSOS.....	11
4. CONCLUSÃO.....	12

[...]

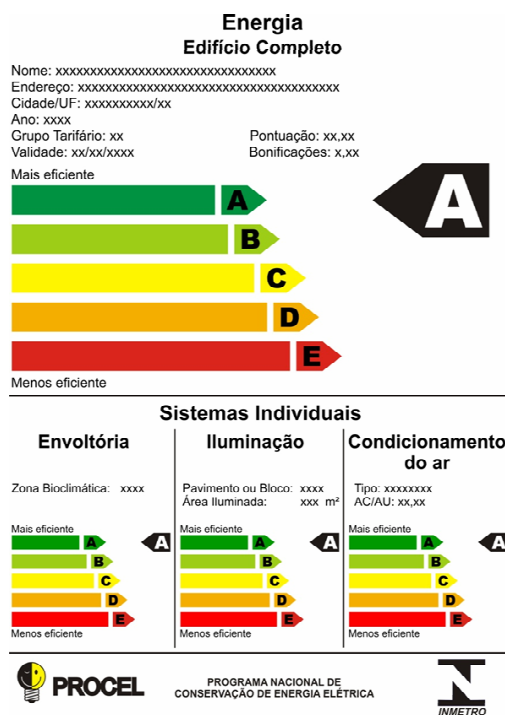


Figura 4 – Modelo da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE, neste caso, apresentando níveis de eficiência A.

Iniciando o processo de etiquetagem, o proprietário deverá encaminhar ao laboratório de inspeção o pedido de avaliação, juntamente com os documentos exigidos, como projetos e memoriais. Esta etapa é obrigatória mesmo para edifícios já construídos, pois é na etapa de avaliação de projeto que é identificado o nível de eficiência energética através dos métodos prescritivo ou de simulação. Cumpridos estes requisitos, o proprietário obtém uma autorização para uso da ENCE relacionada a este projeto. Após construído e fornecido o alvará de ocupação, é solicitada a inspeção no edifício onde é verificado se as características que constaram no projeto foram corretamente atendidas. Uma atualização do projeto de acordo com o que foi construído pode ser realizada antes da inspeção, durante a entrega dos documentos. A inspeção é realizada através de amostragem dos ambientes e componentes, inclui medições in situ de dimensões (como janelas e os próprios ambientes) e de propriedades (como absorvância das fachadas quando amostras não tiverem sido

[...]

2

Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos

RTQ-C



MME – Ministério de Minas e Energia

Edison Lobão
Ministro de Minas e Energia

CGIEE – Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética

Paulo Augusto Leonelli
Presidente – Ministério das Minas e Energia

Adriano Duarte Filho
Ministério da Ciência e Tecnologia

Elizabeth Marques Duarte Pereira
Representante da sociedade brasileira

Gilberto de Martino Jannuzzi
Representante da Universidade Brasileira

Jacqueline Barboza Mariano
Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

Paulo Malamud
Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior

Sheyla Maria das Neves Damasceno
Agência Nacional de Energia Elétrica

Grupo Técnico Edificações do MME

Maria de Fátima Passos
Coordenadora – Ministério das Minas e Energia

Almir Fernandes
Instituto dos Arquitetos do Brasil

Ana Karine Batista
Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia

Élbio Gonçalves Maich
Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia

Fernando Pinto Dias Perrone
Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL

Francisco A. de Vasconcellos Neto
Câmara Brasileira da Indústria da Construção

Jean Benevides
Caixa Econômica Federal

Marcos Parainello
Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão

Maria Salette Weber
Ministério das Cidades

Mozart Schimdt
Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e do Gás Natural - CONPET

Nelson da Silva
Ministério da Ciência e Tecnologia

Roberto Lamberts
Representante Universidade Brasileira

[...]



REGULAMENTO TÉCNICO DA QUALIDADE DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICOS

Índice

1. Definições, símbolos e unidades	8
2. Introdução	14
2.1. Objetivo deste regulamento:	14
2.2. Procedimento de determinação da eficiência	14
2.3. Bonificações	17
2.4. Pré-requisitos Gerais	18
2.5. Pré-requisitos Específicos	19
3. Envolória	21
3.1. Pré-requisitos específicos	21
3.1.1. Nível A	21
3.1.1.1 Transmitância térmica	21
3.1.1.2 Cores e absorvância de superfícies	22
3.1.1.3 Iluminação zenital	22
3.1.2. Nível B	22
3.1.2.1 Transmitância térmica	22
3.1.2.2 Cores e absorvância de superfícies	23
3.1.3. Níveis C e D: Transmitâncias térmicas	24
3.2. Procedimento de determinação da eficiência	24
4. Sistema de Iluminação	30
4.1. Pré-requisitos específicos	30
4.1.1. Divisão dos circuitos	30
4.1.2. Contribuição da luz natural	30
4.1.3. Desligamento automático do sistema de iluminação	31
4.2. Procedimento de determinação da eficiência	31
4.3. Método de cálculo da densidade de potência de iluminação	31
4.4. Determinação do nível de iluminância de projeto	33
5. Sistema de Condicionamento de Ar	35
5.1. Pré-requisito específico	35
5.2. Procedimento de determinação da eficiência	35
5.3. Condicionadores de ar do tipo janela e do tipo <i>Split</i> (para instalação em paredes e/ou teto)	36
5.3.1. Cálculo de carga térmica	36
5.3.2. Sistema de condicionamento de ar central	36
5.4. Sistemas de condicionamento de ar não regulamentados pelo Inmetro	36

5.4.1.	Cálculo de carga térmica	43
5.4.2.	Controle de temperatura por zona	43
5.4.2.1	Geral.....	43
5.4.2.2	Faixa de temperatura de controle	43
5.4.2.3	Aquecimento suplementar	43
5.4.2.4	Aquecimento e resfriamento simultâneo	44
5.4.3.	Automação	44
5.4.4.	Isolamento de zonas.....	45
5.4.5.	Controles e dimensionamento do sistema de ventilação.....	46
5.4.5.1	Controles de sistemas de ventilação para áreas com altas taxas de ocupação	47
5.4.5.2	Ciclo economizador	47
5.4.5.3	Sistemas de exaustão.....	47
5.4.5.4	Acionamento otimizado.....	48
5.4.6.	Recuperação de calor.....	48
5.4.7.	Controles e dimensionamento dos sistemas hidráulicos.....	48
5.4.7.1	Sistemas de vazão de líquido variável	49
5.4.7.2	Isolamento de bombas.....	49
5.4.7.3	Controles de reajuste da temperatura de água gelada e quente	50
5.4.8.	Equipamentos de rejeição de calor.....	50
5.4.8.1	Geral.....	50
5.4.8.2	Controle de velocidade do ventilador	50
6.	Simulação:.....	52
6.1.	Pré-requisitos específicos	52
6.1.1.	Programa de simulação	52
6.1.2.	Arquivo climático.....	52
6.2.	Procedimentos para simulação	53
6.2.1.	Edifícios condicionados artificialmente.....	53
6.2.1.1	Características em comum para o Modelo do Edifício Real e de Referência.....	54
6.2.1.2	Modelo do Edifício Real	54
6.2.1.3	Modelo do Edifício de Referência	55
6.2.2.	Edifícios naturalmente ventilados ou não condicionados	56

[...]

3

Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos.

RAC-C



[...]



SUMÁRIO

1. Objetivo
2. Documentos complementares
3. Siglas
4. Definições
5. Mecanismo de avaliação da conformidade
6. Etapas do processo de etiquetagem e de inspeção
7. Tratamentos e reclamações
8. Identificação da conformidade
9. Autorização para o uso da ENCE ao construtor ou proprietário do edifício
10. Responsabilidades e obrigações do proprietário do edifício
11. Penalidades
12. Uso de laboratório de inspeção
13. Anexos
 - Anexo I – Formato da ENCE
 - Anexo II – Documentação para classificação do nível de eficiência energética de projeto
 - Anexo III – Metodologia de inspeção do edifício
 - Anexo IV – Atribuições do Inspetor e do Laboratório de Inspeção
 - Anexo V – Termo de compromisso
 - Anexo VI – Termo de Ciência sobre o Entorno
 - Anexo VII – Formulário de solicitação de etiquetagem
 - Anexo VIII – Fluxograma do processo de avaliação da conformidade

1 OBJETIVO

Estabelecer critérios para o Programa de Avaliação da Conformidade de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, com foco na eficiência energética, isto é o desempenho energético ou consumo de energia elétrica de uma edificação, para concessão da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE - atendendo ao Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE. Os mecanismos de avaliação da conformidade aplicáveis serão a etiquetagem e a inspeção. Visa atender à Lei nº. 10.295/2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Além disso, visa ainda, informar ao consumidor e estimular o uso eficiente da energia elétrica nos edifícios comerciais, de serviços e públicos.

[...]

4

Manual para aplicação dos Regulamentos: RTQ-C e RAC-C

MANUAL



[...]

ÍNDICE

APRESENTAÇÃO	7
OBJETIVOS DO MANUAL	7
ESTRUTURA DO REGULAMENTO TÉCNICO DA QUALIDADE	8
MÉTODO E ESTRUTURA DO MANUAL	10
SIGLAS E ABREVIACÕES	11
1 CONCEITOS E DEFINIÇÕES	12
1.1 ABERTURA	12
1.1.1 DETALHAMENTO	12
1.1.2 EXEMPLOS	12
1.1.3 EXERCÍCIOS	13
1.2 ABSORTÂNCIA TÉRMICA	14
1.2.1 DETALHAMENTO	14
1.3 AMBIENTE	15
1.3.1 DETALHAMENTO	15
1.3.2 EXEMPLO	15
1.3.3 EXERCÍCIOS	16
1.4 ÂNGULOS DE SOMBREAMENTO: AHS E AVS	17
1.4.1 DETALHAMENTO	17
1.4.2 EXEMPLOS	20
1.5 ÁREA DE PROJEÇÃO DA COBERTURA E ÁREA DE PROJEÇÃO DO EDIFÍCIO	23
1.5.1 DETALHAMENTO	23
1.6 ÁREA ÚTIL E ÁREA TOTAL	25
1.6.1 DETALHAMENTO	25
1.6.2 EXEMPLO	25
1.7 CAPACIDADE TÉRMICA	27
1.7.1 DETALHAMENTO	27
1.7.2 EXERCÍCIOS	27
1.8 CICLO ECONOMIZADOR	30
1.9 COBERTURAS NÃO APARENTES	31
1.9.1 EXEMPLO	31
1.10 DENSIDADES DE POTÊNCIA DE ILUMINAÇÃO	32
1.10.1 DETALHAMENTO	32
1.10.2 EXEMPLO	33
1.11 EDIFÍCIOS COMERCIAIS OU DE SERVIÇOS	34
1.11.1 DETALHAMENTO	34
1.11.2 EXERCÍCIOS	34
1.12 ENVOLTÓRIA	36
1.12.1 DETALHAMENTO	36
1.12.2 EXEMPLOS	36
1.13 FACHADA E ORIENTAÇÃO	38
1.13.1 DETALHAMENTO	38
1.13.2 EXEMPLO	39
1.14 FATOR ALTURA E FATOR DE FORMA	41
1.14.1 DETALHAMENTO	41
1.15 FATOR SOLAR	42
1.15.1 DETALHAMENTO	42

1.16	INDICADOR DE CONSUMO	44
1.16.1	DETALHAMENTO	44
1.17	PAF_T E PAZ	45
1.17.1	DETALHAMENTO	45
1.17.2	CÁLCULO DE PAF _T E PAZ	47
1.17.3	EXEMPLOS	50
1.18	PAREDES EXTERNAS	52
1.18.1	DETALHAMENTO	52
1.19	RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO	53
1.20	TRANSMITÂNCIA TÉRMICA	54
1.20.1	DETALHAMENTO	54
1.20.2	EXERCÍCIOS	54
1.21	ZONA BIOCLIMÁTICA	55
1.21.1	DETALHAMENTO	55
1.22	ZONA DE CONFORTO	57
1.22.1	DETALHAMENTO	57
1.23	ZONA DE ILUMINAÇÃO	61
1.24	ZONA TÉRMICA	62
1.24.1	DETALHAMENTO	62
1.24.2	EXEMPLOS	62
1.24.3	EXERCÍCIO	63
2	INTRODUÇÃO	64
2.1	OBJETIVO	64
2.2	PROCEDIMENTOS PARA DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA	64
2.2.1	REQUISITOS PRESENTES NA EQUAÇÃO DE CLASSIFICAÇÃO	65
2.2.2	EQUAÇÃO GERAL DE CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA DO EDIFÍCIO	67
2.3	BONIFICAÇÕES	71
2.3.1	RACIONALIZAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA	73
2.4	PRÉ-REQUISITOS GERAIS	74
2.5	PRÉ-REQUISITOS ESPECÍFICOS	75
3	ENVOLTÓRIA	77
3.1	PRÉ-REQUISITOS	77
3.1.1	NÍVEL A	77
3.1.2	NÍVEL B	82
3.1.3	NÍVEIS C E D	84
3.2	DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA	85
3.2.1	INTRODUÇÃO	85
3.2.2	MÉTODO DE CÁLCULO DO INDICADOR DE CONSUMO	91
4	SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	99
4.1	PRÉ-REQUISITOS ESPECÍFICOS	99
4.1.1	DIVISÃO DE CIRCUITOS	100
4.1.2	CONTRIBUIÇÃO DA LUZ NATURAL	101
4.1.3	DESLIGAMENTO AUTOMÁTICO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	102
4.2	PROCEDIMENTO DE DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA	103
4.2.1	DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE AMBIENTE (K)	103

4.2.2	DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE POTÊNCIA DE ILUMINAÇÃO RELATIVA LIMITE (DPI_{RL})	108
4.2.3	ROTEIRO PARA AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA DE ILUMINAÇÃO	115
5	SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR	116
5.1	INTRODUÇÃO	116
5.2	PRÉ-REQUISITOS	116
5.3	CONDICIONADORES DE AR DO TIPO JANELA OU DO TIPO <i>SPLIT</i>	117
5.3.1	CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA	117
5.3.2	EFICIÊNCIA DE UMA ZONA COM DIFERENTES UNIDADES	117
5.3.3	EFICIÊNCIA DE VÁRIOS AMBIENTES	119
5.3.4	EFICIÊNCIA DE DOIS OU MAIS SISTEMAS INDEPENDENTES	121
5.4	SISTEMAS DE CONDICIONAMENTO DE AR NÃO REGULAMENTADOS PELO INMETRO	123
5.4.1	SISTEMAS COMPOSTOS POR CONDICIONADORES DE AR DE JANELA E <i>SPLIT</i>	123
5.4.2	SISTEMAS CENTRAIS DE CONDICIONAMENTO DE AR	124
5.4.3	CONTROLE DE TEMPERATURA POR ZONA	124
5.4.4	AUTOMAÇÃO	126
5.4.5	ISOLAMENTO DE ZONAS	126
5.4.6	CONTROLES E DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO	127
5.4.7	RECUPERAÇÃO DE CALOR	128
5.4.8	CONTROLES E DIMENSIONAMENTO DOS SISTEMAS HIDRÁULICOS	129
5.4.9	CONTROLES E DIMENSIONAMENTO DOS SISTEMAS HIDRÁULICOS	130
6	SIMULAÇÃO	131
6.1	PRÉ-REQUISITOS ESPECÍFICOS	131
6.2	PROCEDIMENTOS PARA SIMULAÇÃO	131
6.2.1	EDIFÍCIOS CONDICIONADOS ARTIFICIALMENTE	131
6.2.2	EDIFÍCIO NATURALMENTE VENTILADOS OU NÃO CONDICIONADOS	138
7	REGULAMENTO DE AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE – RAC-C	140
7.1	INTRODUÇÃO	140
7.2	ENCE GERAL E PARCIAL	140
7.3	PROCESSO DE ETIQUETAGEM	143
7.3.1	AVALIAÇÃO DE PROJETO	145
7.3.2	INSPEÇÃO POR AMOSTRAGEM DO EDIFÍCIO	146
7.3.3	CASOS DE NÃO CONFORMIDADE NO PROCESSO	148
7.4	DOCUMENTAÇÃO NECESSÁRIA PARA CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	148
	ANEXOS	151

[...]

9.2. ANEXO DIGITAL

TEXTOS LEGISLATIVOS

- a. Lei No 10.295 de 17 de outubro de 2001 –
DOU de 18/10/2001**
- b. Decreto No 4.059 de 19 de dezembro de 2001 –
DOU de 20/12/2001**
- c. NBR 15220; Desempenho térmico de edificações
de setembro 2003**
- d. NBR 16401-2; Instalações de ar-condicionado – Sistemas
centrais e unitários; Parte 2: Parâmetros de conforto térmico
de agosto 2008**
- e. Código de Edificações de Porto Alegre;
LC No 284 de 27 e outubro de 1992 – DOE de 03/11/1992**
- f. Etiquetagem PROCEL; Etiquetagem de Eficiência Energética
de Edificações na versão de abril de 2010**

FERRAMENTAS

- a. Google SketchUp 8 (english) para Macintosh**
- b. OpenStudio Plug-In para Google SketchUp (english)
para Macintosh**
- c. EnergyPlus 6.0.0 para Macintosh**
- d. Google SketchUp 8 (english) para Windows**
- e. OpenStudio Plug-In para Google SketchUp (english)
para Windows**
- f. EnergyPlus 6.0.0 para Windows**

DOCUMENTAÇÕES

- a. *Getting Started (EnergyPlus)***
- b. *Auxiliary Programs (EnergyPlus)***
- c. *Engineering Reference (EnergyPlus)***
- d. *Input-Output Reference (EnergyPlus)***