PAREDES TROMBE NO BRASIL

ANÁLISE DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO PARA
AQUECIMENTO E REFRIGERAÇÃO

AUTOR:

FERNANDO ANTONIO DE MELO SÁ CAVALCANTI

ORIENTADORA:

PROF^a DR^a ROSANA MARIA CARAM

SÃO CARLOS - SP

NOVEMBRO DE 2013

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP
INSTITUTO DE ARQUITETURA E URBANISMO - IAU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

PAREDES TROMBE NO BRASIL

ANÁLISE DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO PARA AQUECIMENTO E REFRIGERAÇÃO

FERNANDO ANTONIO DE MELO SÁ CAVALCANTI

Documento apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo do Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutor em Ciências da Arquitetura e Urbanismo.

Área de concentração:

Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia

ORIENTADORA: PROF^a. DR^a. ROSANA MARIA CARAM

SÃO CARLOS – SP

Novembro de 2013

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

C376p Cavalcanti, Fernando A de Melo Sá
Paredes Trombe no Brasil: Análise do potencial de
utilização para aquecimento e refrigeração / Fernando A
de Melo Sá Cavalcanti; orientadora Rosana Maria Caram.
São Carlos, 2013.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura e Urbanismo e Área de Concentração em
Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia -- Instituto de
Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo,
2013.

1. Título. 2. Autor. 3. Arquitetura Bioclimática.
4. Projeto Arquitetônico. 5. Conforto Ambiental. I.
Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Arquiteto e Urbanista **Fernando Antônio de Melo Sá Cavalcanti**

Título da tese: "Paredes trombe no Brasil: análise do potencial de utilização para aquecimento e refrigeração"

Data da defesa: **13/11/2013**

Comissão Julgadora:

Resultado:

Profa. Assoc. **Rosana Maria Caram (Orientadora)**
(Instituto de Arquitetura e Urbanismo IAU/USP)

aprovado

Profa. Dra. **Karin Maria Soares Chvatal**
(Instituto de Arquitetura e Urbanismo IAU/USP)

APROVADO

Profa. Dra. **Kelen Almeida Dornelles**
(Instituto de Arquitetura e Urbanismo IAU/USP)

Aprovado

Prof. Dr. **Victor Figueiredo Roriz**
(Faculdades Dom Pedro II)

Aprovado

Prof. Dr. **Leonardo Salazar Bittencourt**
(Universidade Federal de Alagoas /UFAL)

APROVADO

Coordenador e Presidente da Comissão de Pós-Graduação: do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo: Prof. Titular **Renato Luiz Sobral Anelli**

Dedico este trabalho à geração dos meus sobrinhos Antonio Massimus e Antonela, que eles encontrem um futuro com edifícios habitáveis e confortáveis, onde se priorize o usuário e o capitalismo não dite as regras na produção arquitetônica.

Agradecimentos

Após dois anos e sete meses, finda mais uma etapa em minha vida acadêmica, que seja o início de uma fase onde se concretize o desejo de ver uma produção arquitetônica mais consciente e responsável. No decorrer deste período, em meio a tribulações, angústias, alegrias e conquistas, muitos foram importantes e segue os meus agradecimentos a eles:

Primeiramente a Deus e à Virgem Maria que sempre me acompanharam tornando-se um alento nas horas difíceis e conforto nos momentos de felicidade, trazendo sempre a humildade necessária para perceber que sou humano, com falhas e preciso de seus anjos aqui na Terra personificado nos meus amigos.

À minha Orientadora Rosana Caram que mais que uma companheira no trabalho, se tornou uma amiga, confidente e consoladora, me mostrando sempre que é possível querer transformar o mundo ao redor com pequenas ações e exemplos de vida, não poderia ter encontrado melhor orientadora para esta pesquisa.

A meus pais e irmãos que mesmo distantes se fizeram presentes e souberam lidar com a minha ausência e esquecimentos em meio às lutas diárias. Meus maiores exemplos de vida, onde aprendi a respeitar para ser respeitado e lidar com as dificuldades de forma que a minha tristeza contagie ninguém, mas a minha felicidade sim.

Aos amigos da Universidade Federal de Alagoas, em especial aos membros do Grupo de Estudos em Conforto Ambiental - GECA (atuais e antigos, pois mesmo distantes sempre faremos parte desta família) e do Laboratório de Construção Civil – LCC da Universidade de São Paulo, onde sempre recarregava minhas forças e tinha discussões produtivas sobre este trabalho.

Aos professores Leonardo Bittencourt e Maurício Roriz. O primeiro que acreditou no meu potencial e me ajudou nos primeiros passos ligados ao conforto ambiental quando ainda era aluno do primeiro ano de arquitetura, despertando o desejo de buscar sempre uma Arquitetura com mais ética e o segundo que me ensinou durante o mestrado com simplicidade e simpatia um novo modo de observar as coisas, sempre buscando entender tudo que nos cerca, toda minha vida profissional devo aos mestres que me ensinaram e deixaram um pouco de si em mim.

Aos professores Victor Roriz e Kelen Dornelles pelas contribuições na fase de qualificação desta pesquisa, base para os novos rumos que tomamos, tornando este trabalho mais aplicável à arquitetura.

Aos amigos que ficaram em Maceió, mesmo na distância foram importantes na construção deste trabalho, pelas conversas ao telefone ou pessoalmente nas férias e ainda em visitas esporádicas que me faziam; a distância permitiu que novas pessoas entrassem na minha vida e em São Paulo e São Carlos pude conhecer e conviver com amigos de verdade que se tornaram irmãos, além dos que vieram comigo e supriram um pouco da saudade.

A Felipe Duarte e Karina Emboaba pela amizade, acolhimento nos últimos meses desta pesquisa e pelo apoio na elaboração do aplicativo disponibilizado nesta tese, essencial para a aplicabilidade dos resultados encontrados.

Aos Professores e Funcionários do Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo do Instituto de Arquitetura e Urbanismo – USP São Carlos e à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pela bolsa e recursos concedidos.

Resumo

CAVALCANTI, Fernando A de M Sá. **Paredes Trombe no Brasil: Análise do potencial de utilização para aquecimento e refrigeração.** Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo e Área de Concentração em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia -- Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

Neste trabalho avaliou-se o desempenho térmico de um ambiente padrão a partir do uso de parede trombe com diferentes configurações e tipologias de uso, por meio de comparação com um ambiente de mesmas dimensões dotado de janelas convencionais, para oito cidades brasileiras, pois o potencial de utilização desta forma de estratégia passiva ainda é pouco estudado no Brasil. A parede trombe consiste em uma “estufa” entre uma parede de alta inércia térmica com aberturas inferiores e superiores e uma superfície envidraçada por onde o ambiente mantém contato com o exterior. Este dispositivo é capaz de absorver energia proveniente da radiação solar aquecendo o ar nesta estufa e este ar aquecido pode ser direcionado para o interior ou exterior da edificação a depender da finalidade. Este ar pode ser usado para aquecer o ambiente ou resfriá-lo por meio da ventilação natural. A análise deste trabalho se deu a partir de uma série de simulações computacionais utilizando o software EnergyPlus, versão 7.0 de modo a quantificar e classificar o desempenho térmico de um ambiente padrão dotado deste componente, sob as diversas configurações construtivas. Tanto para aquecimento quanto para resfriamento dos ambientes. A partir destas simulações, elaborou-se um modelo matemático simplificado capaz de quantificar a temperatura do ar no interior dos ambientes em que sejam utilizadas as paredes trombe de modo a tornar possível a utilização deste dispositivo na composição de edificações na fase de projeto, estimando seu desempenho sem que haja necessidade de novas simulações computacionais. O uso das paredes trombe melhorou o conforto térmico dos usuários em edificações localizadas no Brasil, a depender do clima onde estão inseridas, promovendo ventilação natural e aquecimento solar passivo, mesmo quando comparado com o modelo convencional de aberturas. Por fim foi elaborado um aplicativo para sistema Android em dispositivos móveis, possibilitando aos profissionais de projeto identificar a melhor tipologia para a localidade onde se deseja inserir este sistema e prever seu desempenho, contribuindo para que o potencial deste dispositivo seja investigado nas mais diversas regiões brasileiras.

Palavras Chave:

Parede Trombe, Ventilação Natural, Inércia Térmica, Aquecimento Solar Passivo, Simulação Computacional.

Abstract

CAVALCANTI, Fernando A de M Sá. **Trombe Walls in Brazil: analysis of feasibility of use for heating and cooling**. Thesis (PhD) – Program of Post Graduation in Architecture and Urbanism - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

This research evaluated the thermal performance of a standard environment from the use of Trombe wall with different settings and types of use , by comparison with a setting of the same dimensions equipped with conventional windows for eight Brazilian cities , because the potential the utilization of this passive strategy is still little studied in Brazil . A Trombe wall consists of a "greenhouse" between a wall of high thermal inertia lower and upper vents and a glazed area where the environment keeps contact with the outside. This device is capable of absorbing energy from solar radiation heating the air this greenhouse and this heated air can be directed to the interior or exterior of the building depending on the purpose. This air can be used to heat the room or cool it by means of natural ventilation. The analysis of this work was made from a series of computer simulations using EnergyPlus software, version 7.0 in order to quantify and classify the thermal performance of a standard environment with this component, under the various construction settings. Both for heating and for cooling environments. From these simulations, we elaborated a simplified mathematical model able to measure the air temperature within the environments in which they are used Trombe walls in order to make use of this device in the composition of buildings in the design stage as possible, estimating its performance without the need for new computer simulations. The use of Trombe walls improved thermal comfort of users in buildings located in Brazil, depending on the climate where they are located , providing natural ventilation and passive solar heating , even when compared with the conventional model of openings . Finally an app for Android system for mobile devices was developed, enabling professionals to identify the best design type to the location where you want to enter this system and predict its performance, contributing to the potential of this device is investigated in several Brazilian regions.

Keywords:

Trombe wall, Natural Ventilation, Thermal Inertia, Passive Solar Heating, Computational Simulation.

Résumé

CAVALCANTI, Fernando A de M Sá. **Mur Trombe au Brésil: l'analyse de la faisabilité de l'utilisation pour le chauffage et le refroidissement.** Thèse (PhD) - Programme de Post Graduation en Architecture et Urbanisme - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

Cette recherche a évalué la performance thermique d'un environnement standard de l'utilisation de mur Trombe avec différents réglages et types d'utilisation, par comparaison avec un réglage de mêmes dimensions équipés de fenêtres classiques de huit villes du Brésil, parce que le potentiel l'utilisation de cette stratégie passive est encore peu étudié au Brésil. Un mur Trombe est constitué d'un " effet de serre " entre une paroi de forte inertie thermique plus faible et événements supérieure et une surface vitrée, où l'environnement reste en contact avec l'extérieur. Ce dispositif est capable d'absorber l'énergie du rayonnement solaire chauffage de l'air et de ce serre cet air chauffé peut être dirigé vers l'intérieur ou l'extérieur du bâtiment en fonction du but. Cet air peut être utilisé pour chauffer ou refroidir la pièce par des moyens de ventilation naturelle. L'analyse de ce travail a été fait à partir d'une série de simulations informatiques utilisant des logiciels de EnergyPlus , version 7.0 afin de quantifier et de classer la performance thermique d'un environnement standard avec ce composant , sous les différents paramètres de construction . À la fois pour le chauffage et pour le refroidissement des milieux. Après de ces simulations, nous avons élaboré un modèle mathématique simplifié capable de mesurer la température de l'air dans les environnements dans lesquels ils sont utilisés murs Trombe afin de rendre l'utilisation de ce dispositif dans la composition des bâtiments dans la phase de conception que possible, l'estimation de sa performances sans avoir recours à de nouvelles simulations informatiques. L'utilisation de murs Trombe améliorer le confort thermique des usagers dans les bâtiments situés au Brésil , en fonction du climat où ils se trouvent , en assurant une ventilation naturelle et le chauffage solaire passif , même en comparaison avec le modèle classique d'ouvertures . Enfin une application pour le système Android pour les appareils mobiles a été développé, permettant aux professionnels d'identifier le meilleur type de construction à l'emplacement où vous voulez entrer dans ce système et de prédire ses performances , le renforcement du potentiel de ce dispositif est étudié dans plusieurs régions du Brésil.

Mots-clés:

Mur Trombe, Ventilation naturelle, Inertie thermique, Chauffage solaire passif, Simulation par ordinateur.

Lista de Figuras

Figura 1 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro.....	3
Figura 2 - Exemplos de estratégias passivas em edificações: (a) Cobogós, (b) Pérgulas, (c) Captadores de vento, (d) Peitoril ventilado, (e) Chaminé solar, (f) Vegetação nas edificações, (g) Sheds e (h) Pilotis.	5
Figura 3 - Mapas de radiação solar média anual para o território brasileiro para o ano de 2000: (a) irradiação global para o plano horizontal, (b) irradiação global em plano inclinado igual à latitude local.....	6
Figura 4 - Foto de uma Parede Trombe.....	10
Figura 5 - Corte esquemático de uma Parede Trombe.....	11
Figura 6 - Funcionamento de uma parede trombe: (a) durante o período de inverno para aquecimento e (b) durante o período de verão, para ventilação.	11
Figura 7 - Esquema do funcionamento de uma parede trombe.	13
Figura 8 - Transmissão da radiação solar em alguns vidros com espessura de 6 mm.	15
Figura 9– Ângulo sólido, correspondente a dA_n em um ponto sobre dA_1 no sistema de coordenadas esféricas.	16
Figura 10 - Esquema da transferência de calor ao longo de uma parede com dois materiais diferentes.....	18
Figura 11 - Equivalência das resistências em série e em paralelo	19
Figura 12 - Comparação dos valores obtidos para a velocidade do ar no interior do canal no modelo experimental desenvolvido por Chen et al (1994) e no modelo matemático proposto por Akbari e Borgers (1979).	20
Figura 13 - Velocidade do ar no interior do canal da parede trombe calculada e comparada com equações obtidas na literatura	22
Figura 14 - Padrão simplificado do fluxo de ar (a) em torno das aberturas de entrada, (b) ao longo da seção AA e (c) no interior do canal da parede trombe.....	24
Figura 15 - Rendimento da parede trombe em função da espessura do canal.....	25
Figura 16 - Efeito da largura das aberturas e da espessura da parede no fluxo de ar para uma parede trombe.	26
Figura 17– Análise da temperatura do ambiente estudado por Imessad e Belhamel (1999).....	26
Figura 18 - Foto do experimento de Chen et al (2005).	27
Figura 19 - Foto do modelo utilizado por Jie et al (2007).	28
Figura 20 - Comportamento da temperatura nas superfícies da parede trombe (a) e da geração da energia pelas células fotovoltaicas (b) para os valores medidos (M) e calculados (C).....	29

Figura 21– Esquema dos sistemas trombe utilizados por Shen et al (2007) convencional e composta (dimensões em milímetros)	29
Figura 22 - (a) Foto da Célula teste utilizada por Koyunbaba e Yilmaz (2012) e (b) o comportamento da temperatura interna obtido a partir das três configurações analisadas por medições experimentais.	30
Figura 23 - (a) Corte esquemático e (b) vista da fachada contendo as paredes trombe do edifício investigado por Conradie e Kumirai (2012).	31
Figura 24 - Taxa de Renovação do ar medido e estimado para os 04 pisos do edifício analisado para a direção do vento de 50°	31
Figura 25 - Edifício na Carolina do Norte com paredes trombe em zigue-zague.	32
Figura 26 - (a) - (d) configurações de aberturas investigadas por Liu et al (2013) e (e) esquema da parede ventilada indicando o ventilador para indução da ventilação mecânica.	32
Figura 27 – Modelo físico utilizado para as medições de Figueira et al (2003).....	33
Figura 28 - Parede Trombe do Laboratório de Energia Solar da UFRGS (a) Vista externa e (b) Interna.....	33
Figura 29– Perspectiva do projeto proposto por Vettorazzi et al (2010).....	34
Figura 30 - Célula teste construídas por Kruger (et al 2013)	34
Figura 31 - Esquema da metodologia adotada neste trabalho.....	36
Figura 32 - Exemplo com o algoritmo específico para simulação de uma parede trombe no EnergyPlus	37
Figura 33 - Fórmula de Swami e Chandra (1988).	39
Figura 34 - Planta esquemática de uma edificação com sua rede de fluxo de ar.	39
Figura 35 - Perspectiva do modelo a ser simulado com vista para a (a) fachada com a parede trombe e para a (b) fachada oposta, onde será inserido o dispositivo de proteção solar.....	40
Figura 36 - Planta baixa (a) e Corte (b) do modelo a ser simulado com destaque para a zona analisada.....	41
Figura 37 - Principais Tipologias encontradas para Edifícios de Escritório (a) Edifícios com corredor lateral e (b) Edifícios com corredor central.....	42
Figura 38 - Seção das paredes com diferentes espessuras (a) 15,0 cm (b) 30,0 cm e (c) 45,0 cm.	45
Figura 39 - Esquema das situações consideradas (a) situação 1 (FECH) (b) situação 2 (VENT) e (c) situação 3 (AQEC)	46
Figura 40 - Carta Solar para as cidades de (a) Belém - PA e (b) Cuiabá - MT, com indicação da trajetória solar para o verão.	49
Figura 41 - Exemplo de determinação de Graus-hora (°Ch) para desconforto por calor e frio.	52

Figura 42 – Planta baixa, corte, elevação e propriedades dos materiais aplicados no modelo utilizado por Suzuki (2012).	53
Figura 43 - Comparativo das temperaturas obtidos para validação das simulações neste trabalho.....	54
Figura 44 – Valores obtidos por simulação (x) e por medição por Suzuki (2012) (y).....	55
Figura 45 - Carta Bioclimática de Givoni para a cidade de Curitiba – PR	58
Figura 46 - Carta Bioclimática de Givoni para a cidade de Santa Maria - RS.....	59
Figura 47 - Carta Bioclimática de Givoni para a cidade de Florianópolis, Brasil	59
Figura 48 - Carta Bioclimática de Givoni para a cidade de São Carlos, Brasil.....	60
Figura 49 - Bioclimática de Givoni para a cidade de Garanhuns - PE	61
Figura 50 - Carta Bioclimática de Givoni para a cidade de Campo Grande - MS.....	61
Figura 51 - Carta Bioclimática de Givoni para a cidade de Cuiabá - MT.....	62
Figura 52 - Carta Bioclimática de Givoni para a cidade de Belém – PA.....	62
Figura 53 - Desconforto por calor e frio para a cidade de Curitiba - PR em função da (a) espessura da parede com alta inércia térmica e (b) Tipo do fechamento envidraçado.	66
Figura 54 - Desconforto por calor e frio para a cidade de Curitiba - PR em função da (a) espessura do canal de ar no interior da Parede Trombe e (b) Tipo do fechamento envidraçado.	67
Figura 55 - Exemplo de aletas que podem ser inseridas na superfície absorvedora.....	67
Figura 56 - Desconforto por calor e frio em função da área da superfície envidraçada para a cidade de Campo Grande – MS	68
Figura 57 - Desconforto térmico por calor e frio para as cidades de Curitiba, Santa Maria, Florianópolis e Campo Grande, considerando o melhor modelo para cada cidade.	69
Figura 58 - Radiação solar (W/m^2) para o plano horizontal e superfície coletora da parede trombe nas quatro cidades onde a tipologia de parede trombe fechada melhor se adequou.	70
Figura 59 - Gráficos da temperatura superficial na superfície coletora comparada com a TBS Externa, para as quatro cidades analisadas.	71
Figura 60 - Desconforto total em $^{\circ}C.h$ por frio e calor para as cidades de Cuiabá e Belém	73
Figura 61 - Radiação solar (W/m^2) para o plano horizontal e superfície coletora da parede trombe nas duas cidades onde a tipologia de parede trombe ventilada melhor se adequou.	74
Figura 62 - Gráficos da temperatura superficial na superfície coletora comparada com a TBS Externa, para as duas cidades analisadas com esta tipologia de parede trombe.	74

Figura 63 - Desconforto total em °C.h por frio e calor para as cidades de São Carlos e Garanhuns.	75
Figura 64 - Radiação solar (W/m^2) para o plano horizontal e superfície coletora da parede trombe nas duas cidades onde a tipologia de parede trombe para aquecimento melhor se adequou.	76
Figura 65 - Gráficos da temperatura superficial na superfície coletora comparada com a TBS Externa, para as duas cidades analisadas com a parede trombe para aquecimento.	76
Figura 66- Insolação nas fachadas Norte, Sul e Oeste para a cidade de Garanhuns - PE.	78
Figura 67 - Desconforto total para as oito cidades simuladas em função da orientação da parede trombe.	80
Figura 68 - Perspectiva (a), Planta baixa (b) e Corte (c) do modelo de referência com janelas e desprovidos de paredes trombe.	81
Figura 69 - Comparativo entre o desconforto térmico total para o ambiente com janelas e os melhores modelos com paredes trombe nas cidades simuladas.	82
Figura 70 - Esquema para funcionamento do aplicativo.	86
Figura 71 - Recomendações projetuais em função da latitude e clima.	87
Figura 72 - Relação entre os valores da Temperatura superficial na face envidraçada obtidos por simulação (x) e calculados por meio do modelo simplificado (y) para as oito cidades analisadas no inverno.	91
Figura 73 - Relação entre os valores da Temperatura superficial na face envidraçada obtidos por simulação (x) e calculados por meio do modelo simplificado (y) para as oito cidades analisadas no verão.	92
Figura 74 - Relação entre os valores da Temperatura no interior do canal da parede trombe obtidos por simulação (x) e calculados por meio do modelo simplificado (y) para as oito cidades analisadas no inverno (a) e no verão (b).	93
Figura 75 - Relação entre os valores da Temperatura no interior do canal da parede trombe obtidos por simulação (x) e calculados por meio do modelo simplificado (y) para as oito cidades analisadas no verão (a) e no inverno (b).	94

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Relação dos componentes e suas propriedades	42
Tabela 2 - Resumo das variáveis adotadas para as simulações.....	43
Tabela 3 - Detalhamento das dimensões das aberturas na Parede Trombe.....	44
Tabela 4 - Propriedades dos vidros utilizados nestas simulações (A partir da base de dados do EnergyPlus).	44
Tabela 5 - Relação das cidades utilizadas para simulações.....	46
Tabela 6 - Nomenclatura dos modelos adotados para padronização neste trabalho.	47
Tabela 7 - Dados obtidos para os três modelos considerados melhores e o desconforto total do uso combinado do modelo G8 para a cidade de Campo Grande - MS.	72
Tabela 8 - Resumo dos resultados obtidos para os melhores modelos em diferentes orientações.	79
Tabela 9 - Resultados obtidos para as simulações do modelo de referência.	81
Tabela 10 - Recomendações construtivas para o uso de paredes trombe nas cidades analisadas.	83
Tabela 11 - Desconforto térmico (°C.h) para todas as tipologias de paredes trombe considerando os melhores modelos para cada cidade analisada.	84
Tabela 12 - Desconforto para as oito cidades analisadas, considerando o uso combinado e a intervenção do usuário.	85

Lista de símbolos

$\bar{u}$ - Média da velocidade do ar no sentido do fluxo (m/s);

α - absorptância solar;

β – Ângulo de Inclinação da Superfície em relação à horizontal ($0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$, para ângulos acima de 90° significa que a face está voltada para baixo);

B – constante de geração de calor no fluido;

b – constante definida por: $0.260 + 1.940\sqrt{10 \log Gr - 4}$;

c – Calor específico (kJ/Kg.K);

C – Capacidade Térmica;

ξ - Coeficiente de dilatação térmica;

C_d - Coeficiente de Descarga;

δ - Ângulo de declinação ($-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$);

D – constante definida por: $10^{(1,931 - 0,6444 \log Gr)}$;

d – Distância percorrida pelo fluido (na direção x) (m);

$dA_{(i,j)}$ – Área superficial das superfícies;

Dif - Difusividade;

ΔT – Diferença entre a temp. da superfície externa e a temp. da superfície interna ($^\circ\text{C}$);

ε - emissividade;

E_f - Efusividade;

Φ – Latitude do local;

$F_{i,j}$ - fator de forma;

γ – Ângulo entre as superfícies planas;

g - Força da Gravidade;

Gr – Número de Grashof;

h – Altura do canal;

H - radiação solar global em uma superfície horizontal (W/m^2);

H_b - Radiação Incidente no Plano Inclinado (W/m^2);

h_c - coeficiente de troca de calor por convecção, em $\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$;

H_D - Radiação direta Incidente no Plano Horizontal (W/m^2);
 H_d - radiação solar difusa em uma superfície horizontal (W/m^2);
 H_i – Insolação no nó i ;
 h_l - Coeficiente de convecção líquida;
 h_r - coeficiente de troca de calor por radiação, em $W/m^2 \cdot ^\circ C$;
 h_v - Coeficiente de convecção;
 H_x – Taxa de absorção de calor pelo fluido;
 k - Condutividade do ar;
 $K_{i,j}$ – Condutividade entre os nós i e j ;
 L – Espessura da camada dos materiais em um sistema construtivo (m);
 μ - massa específica aparente (kg/m^3);
 n - Número de camadas em um sistema construtivo;
 N – Número de nós;
 NDA - Número do Dia no Ano ($NDA=1$ em 1/Jan e $NDA=365$ em 31/Dez);
 Nu - Número de Nusselt;
 OTn = Temperatura Operativa Neutra ($^\circ C$);
 Q – Vazão volumétrica do ar (Kg/s);
 $q_{i,j}$ - calor transmitido por radiação da superfície i para a superfície j , em W/m^2 ;
 ρ - albedo;
 R – distância entre as superfícies;
 R^1 – Coeficiente de correlação;
 R^2 – Coeficiente de determinação;
 Ra – Número de Rayleigh;
 R_b – Fator Geométrico;
 Re – Número de Reynolds;
 S – Área da superfície (m^2);
 s - Razão do aspecto da cavidade;
 T – Temperatura (K);

t – Tempo;

T_0 – Temperatura inicial (K);

T_e - Temperatura Externa ($^{\circ}\text{C}$);

T_{Emed} = Média mensal da temperatura do ar exterior ($^{\circ}\text{C}$);

T_i -Temperatura no interior dos espaços dotados de paredes trombe ($^{\circ}\text{C}$);

$T_{i,j}$ – Temperatura nos nós i e j ;

T_{i2} - Temperatura no interior da parede trombe ($^{\circ}\text{C}$);

T_m – Temperatura de referência, definida como a temperatura da superfície mais quente do canal;

T_s - Temperatura das superfícies, em K;

T_{sup} - Temperatura superficial da face envidraçada ($^{\circ}\text{C}$);

U – Transmitância térmica ($\text{W}/\text{m}^2\text{C}$);

u – Velocidade do ar no sentido do fluxo (m/s);

v – Velocidade do ar na direção y (m/s);

ζ - Viscosidade;

V_u – Velocidade do fluido adimensional na direção x ;

ω'_s - Ângulo horário do pôr-do-sol para a superfície inclinada;

W_i – Relação dependente do espaçamento entre as placas ($W_i = w_i / L$);

$w_{i,j}$ – Comprimento da placa (m);

ω_s - Ângulo horário do pôr-do-sol para a superfície horizontal;

$\theta_{(i,j)}$ – Ângulo formado entre a normal de cada superfície e a reta R ;

λ - condutividade térmica ($\text{W}/\text{m.K}$);

σ - constante de Stephan Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4$);

Sumário

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA	2
1.1.1 Arquitetura e Clima.....	3
1.1.2 Estratégias passivas em edificações para o Brasil.....	4
1.2 OBJETIVOS	6
1.2.1 Objetivos específicos.....	7
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	7
2 PAREDES TROMBE	9
2.1 PROCESSO DE FUNCIONAMENTO	11
2.2 TRANSFERÊNCIAS DE CALOR E MASSA NUMA PAREDE TROMBE.....	13
2.2.1 Aquecimento solar passivo.....	14
2.2.2 Inércia térmica	18
2.2.3 Ventilação natural	20
2.2.4 Trocas térmicas na parede trombe.....	22
2.3 ESTADO DA ARTE.....	24
3 MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1 SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS – ENERGYPLUS	36
3.1.1 Parede trombe não ventilada.....	37
3.1.2 Parede trombe ventilada	38
3.2 DESCRIÇÃO DOS MODELOS DIGITAIS.....	40
3.3 DESCRIÇÃO DOS PARÂMETROS VARIÁVEIS	43
3.3.1 Área da superfície envidraçada	43
3.3.2 Área das aberturas.....	43
3.3.3 Tipo de vidro.....	44
3.3.4 Espessura da parede	44
3.3.5 Espessura do canal	45
3.4 CONDIÇÕES DA PAREDE TROMBE.....	45
3.4.1 Nomenclatura dos modelos.....	46
3.4.2 Orientação da parede trombe.....	49
3.4.3 Viabilidade de uso.....	50
3.5 MÉTODO PARA ELABORAÇÃO DO MODELO SIMPLIFICADO	50

3.6 FORMA DE ANÁLISE DOS DADOS.....	51
3.7 VALIDAÇÃO DAS SIMULAÇÕES.....	53
3.8 ELABORAÇÃO DE UM APLICATIVO PARA DISPOSITIVO MÓVEIS.....	55
4 CIDADES SIMULADAS.....	57
4.1 CURITIBA – PR.....	58
4.2 SANTA MARIA – RS.....	58
4.3 FLORIANÓPOLIS – SC.....	59
4.4 SÃO CARLOS – SP.....	60
4.5 GARANHUNS - PE.....	60
4.6 CAMPO GRANDE – MS.....	61
4.7 CUIABÁ - MT.....	61
4.8 BELÉM - PA.....	62
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	63
5.1 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO.....	64
5.1.1 Parede trombe fechada.....	64
5.1.2 Parede trombe para ventilação.....	72
5.1.3 Parede trombe para aquecimento.....	75
5.2 ORIENTAÇÃO DO SISTEMA TROMBE.....	77
5.3 VIABILIDADE DE USO.....	80
5.4 RECOMENDAÇÕES DE PROJETO.....	83
5.4.1 TromBR: Um aplicativo para dispositivos móveis.....	86
6 MODELO SIMPLIFICADO.....	89
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	95
8 REFERÊNCIAS.....	99
9 APÊNDICES.....	107
Apêndice A.....	108
Apêndice B.....	120

Fonte: <http://www.arjuntree.com/tag/goa/>

1 INTRODUÇÃO

Este Capítulo fornece um panorama geral da situação do Projeto Arquitetônico Bioclimático¹ e suas potencialidades na promoção de conforto, além de apresentar a lacuna do conhecimento que originou a necessidade de estudos acerca das Paredes Trombe e seu potencial de utilização no Brasil. São também apresentados os objetivos do trabalho e a estrutura na qual o mesmo foi organizado.

1.1 ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA

Embora o homem tenha buscado, desde os tempos remotos, construir seu abrigo em harmonia com os condicionantes climáticos do lugar ao qual estava inserido e com os recursos materiais disponíveis na natureza, após a segunda metade do século XIX, com a Revolução Industrial e a subsequente evolução tecnológica, diversos sistemas de iluminação e climatização artificial foram criados e passaram a ser largamente utilizados nas edificações, resultando em um crescente consumo energético.

No início do século XX, com a chamada arquitetura moderna em sua corrente principal, muitas vezes também chamada de "Estilo Internacional", produziu-se edificações com uma aparência muito semelhante, a partir de técnicas construtivas igualmente similares em regiões climáticas distintas. Esta arquitetura, cujas características convergiam, seja onde é que fosse construída, muito ignorava os princípios da arquitetura regionalista, fomentando gasto excessivo de energia.

Para Montaner (2001), ao longo dos anos sessenta e setenta ocorreu um fenômeno novo no mundo da arquitetura e do urbanismo, pois houve o entendimento de que nem todas as sociedades podem ser compreendidas com os mesmos padrões culturais e de desenvolvimento, assumindo que a cultura ocidental não é a única existente.

A partir da crise do petróleo na década de 1970 e principalmente da crise energética ocorrida no Brasil em 2001, identificou-se que a economia obtida através da economia de energia nos edifícios é aquela que apresenta a melhor relação de custo/benefício (PROCEL, 2001).

Destacou-se então a importância de incrementar a eficiência energética em muitos setores da economia nacional, entre eles o da construção civil, bem como estimular a discussão sobre eficiência energética a fim de se produzir edifícios que reflitam mais adequadamente as demandas bioclimáticas de cada região. O atendimento a essas demandas reduz, ou mesmo evita o uso de aparelhos de ar condicionado e sistemas de iluminação artificial em situações onde o adequado uso de componentes arquitetônicos, proporcionaria ambientes confortáveis.

Bittencourt (2005) alerta que há atualmente uma leitura equivocada por parte de alguns profissionais, que acreditam no bioclimatismo como uma "corrente" ou "estilo arquitetônico", com uma linguagem peculiar ligada à arquitetura vernacular, porém as preocupações bioclimáticas devem estar presentes em toda corrente arquitetônica, contrariando o "estilo Internacional" adotado por alguns arquitetos. O grau de bioclimatismo que uma edificação alcançará irá depender da filosofia arquitetônica utilizada, bem como de aspectos físicos, sociais, econômicos e culturais envolvidos em cada projeto.

¹ Lê-se arquitetura bioclimática o modo de projetar que integra clima e construção, trazendo para o homem que ocupa o interior da edificação o máximo de conforto, sem que para isto se utilizem equipamentos mecânicos.

1.1.1 Arquitetura e Clima

A inadequação do edifício ao clima local pode proporcionar sensações de desconforto térmico em seus usuários, ocasionando a diminuição do rendimento das atividades executadas em seu interior, além do desperdício de energia (GIVONI, 1991). Projetar e construir visando à obtenção do conforto, através da máxima utilização dos recursos naturais, tem se tornado cada vez mais uma necessidade e um desafio aos arquitetos e profissionais da construção civil, diante do panorama mundial da evolução do consumo em relação à disponibilidade de energia proveniente das fontes convencionais (MASCARÓ, 1991).

É de vital importância para os indivíduos contar com qualidades ambientais nos espaços ocupados, de modo a permitir que sejam realizadas todas as atividades de forma saudável e confortável. Para isto, estes espaços precisam ser projetados em função do meio ambiente, garantindo condições de conforto que satisfaçam às necessidades psicofisiológicas dos usuários (FREIXANET, 2004).

Torna-se responsabilidade dos arquitetos e profissionais da construção civil a adoção de sistemas passivos e estratégias benignas, que proporcionem maior conforto ambiental com maior economia. É uma questão de ética considerar o que a natureza oferece de forma gratuita. Ao invés de usar mais energia contra a energia que é oferecida, basta aproveitá-la. (CORREA; 2001)

A incorporação dos princípios bioclimáticos ao processo de projeto desde sua concepção permite a implantação de sistemas passivos, procurando exaurir todas as possibilidades que esses sistemas oferecem. Os sistemas passivos de resfriamento, segundo Givoni (1994), consistem em técnicas simples para a diminuição da temperatura interna através do uso de fontes de energia naturais.

Buscando aperfeiçoar a relação entre arquitetura e clima, foi aprovada em 2005 a Norma Brasileira de Desempenho Térmico de Edificações, direcionada ao projeto de Habitações de Interesse Social no Brasil. A NBR 15220-3 (ABNT, 2005) define e apresenta o Zoneamento Bioclimático Brasileiro, dividindo o país em oito zonas bioclimáticas distintas e formulando diretrizes construtivas e projetuais para habitações unifamiliares de interesse social em cada uma delas (Figura 1).

A busca por edificações mais adaptadas ao clima do local, passa pela investigação do desempenho ambiental de diversos componentes arquitetônicos, de modo a promover um maior conforto aos usuários destes espaços.

Eles devem estar condicionados e adaptados às características do meio como topografia, revestimento do solo, latitude, clima, objetos tridimensionais, etc. O enfoque bioclimático envolve um tratamento multidisciplinar, que deve ser integrado entre os profissionais das diversas áreas do conhecimento envolvidas, como biólogos, geólogos, engenheiros, arquitetos, etc. (ROMERO, 2001).

Figura 1 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro
Fonte: (ABNT, 2005)

1.1.2 Estratégias passivas em edificações para o Brasil

Diversos estudos vêm sendo desenvolvidos no intuito de investigar o potencial de utilização de componentes arquitetônicos como estratégias passivas para promoção de conforto aos usuários em edificações. A seguir estão apresentados alguns estudos que analisaram o potencial de elementos construtivos para aproveitar os recursos naturais e consequentemente promover maior eficiência energética nos edifícios para os climas brasileiros.

Uma tipologia arquitetônica que promove ventilação natural no interior das edificações são os elementos vazados, ou cobogós (Figura 2a), porém, de acordo com sua geometria, o ar pode ser direcionado de forma indesejada no ambiente. Bittencourt (1993) realizou a comparação entre quatro configurações de elementos vazados quanto à resistência à passagem do ar em função da velocidade e do ângulo de incidência do vento por meio de medições e simulações. Observou-se então que estes elementos apresentam uma resistência seletiva em função da velocidade do vento e da sua geometria, proporcional à porosidade de cada componente, podendo servir como redir;/necionador do fluxo do ar no interior da edificação.

As pérgulas (Figura 2b) foram investigadas de modo a avaliar seu potencial na promoção de ventilação natural por meio de simulações computacionais em CFD (Computational Fluid Dynamics) para um ambiente padrão de salas de aula (CAVALCANTI *et al*, 2005) e iluminação natural a partir de simulações no software Lumen Micro (DIDONÉ *et al*, 2005) estes estudos indicaram um bom desempenho deste componente no incremento tanto da ventilação natural no interior dos espaços, quanto da iluminação interior, proporcionado pelo aporte de luz natural introduzido através do pergulado, sem prejudicar o conforto visual dos usuários.

As torres de vento consistem em dispositivos situados acima do nível da cobertura das edificações, podendo atuar ora como captador de vento ora como extrator do fluxo de ar, variando conforme a sua configuração e a orientação de suas aberturas em relação à direção dos ventos incidentes (CHANDRA, 1989).

Os captadores de vento compõem uma estratégia para o clima quente e seco, porém podem ser utilizados no clima quente e úmido do litoral brasileiro, a partir de algumas alterações de projeto, como o uso da torre de caixas d'água como captador e/ou exaustor do ar (Figura 2c) (LOBO e BITTENCOURT, 2003). O uso deste dispositivo não só aumenta a ventilação natural no interior da edificação, como também melhora a qualidade do ar, visto que acima dos edifícios, o vento possui menor quantidade de poeira e maior velocidade (CÂNDIDO *et al*, 2003).

A partir de um estudo que investigou o potencial do uso de torres de vento em edificações residenciais unifamiliares geminadas de meia-morada, para captação do vento e exaustão do ar confinado nos ambientes interiores destas edificações, foi possível estabelecer que este elemento apresentou bom desempenho para os climas brasileiros, além de ser uma alternativa para edificações localizadas em regiões de alta densidade urbana (MARTINS *et al*, 2009).

O peitoril ventilado (Figura 2d), criado pelos arquitetos Glauco Campelo e Delfim Amorim, e descrito por Holanda (1976) compreende em um dispositivo geralmente executado em concreto, sobreposto a uma abertura localizada no peitoril abaixo das janelas, que tem por finalidade atuar como fonte complementar do movimento de ar proporcionado pelas aberturas. Tal dispositivo pode ser de uso interessante para ambientes de trabalho, pois direciona o fluxo de ar para a altura das pessoas sentadas. Associado às esquadrias móveis, pesquisas desenvolvidas sugerem que o desempenho do peitoril ventilado é afetado significativamente pela dimensão e forma adotadas (LEAL *et al*, 2006) (BITTENCOURT *et al*, 2007).

Cavalcanti (2010) apresentou um estudo que analisou a influência do uso de chaminés solares (Figura 2e) no incremento da ventilação natural para espaços internos em oito cidades brasileiras, localizadas em Zonas bioclimáticas diferentes e para todos os casos, este dispositivo apresentou

resultado satisfatório. Chaminés solares são aquelas que aproveitam a energia do sol para incrementar as diferenças de pressão entre diferentes pontos do percurso de ar e, por consequência, otimizar os fluxos de ventilação natural, convertendo a energia térmica em energia cinética do movimento de ar. As chaminés solares têm inúmeras aplicações, entre as quais se destacam a ventilação, o aquecimento ou o resfriamento solar passivo de edificações, secagem de produtos, ou mesmo geração de eletricidade (CHEN *et al*, 2003).

As coberturas verdes são utilizadas há séculos como solução para regulação térmica das edificações, retardando a transferência de calor para o ambiente interno e, no inverno, retardando as perdas de calor dos ambientes internos para o exterior da edificação (MORAIS, 2004). Apesar dos inúmeros benefícios decorrentes da utilização da cobertura vegetal, tais como contribuição para a redução do efeito estufa e estabilidade térmica, observam-se poucos casos de construções que utilizam cobertura verde no Brasil (ANDRADE, 2007).

A vegetação como estratégia bioclimática (Figura 2f) é bastante conhecida de profissionais, tanto do meio acadêmico quanto da construção. Como elemento de fachada, a vegetação pode minimizar o ganho de calor, proporcionando uma melhor condição no conforto térmico das edificações. O uso da vegetação trepadeira nas fachadas pode produzir resultados satisfatórios para promoção de conforto no ambiente interno (MORELLI, 2009)

A eficiência do shed para ventilação e iluminação zenital veio a ser conseguida com maestria a partir da proposta para o Hospital do Aparelho Locomotor Sarah Kubitshek em Salvador (Figura 2g). Ali o arquiteto João Filgueiras de Lima (Lelé) amplia a tomada de luz (e saída de ar), mantendo totalmente a proteção contra a radiação solar direta, mas admitindo uma excelente quantidade (e qualidade) de luz difusa, através da reflexão pela superfície externa da cobertura de cor branca e difusão pela superfície interna do forro, também branca, como se fosse uma grande luminária (LUKIANCHUKI, 2010).

Os pilotis (Figura 2h) são elementos que apresentam algumas vantagens para o clima quente e úmido. Os índios venezuelanos já faziam uso de construções em palafitas, para assegurar melhor proteção contra animais selvagens e captar ventos mais velozes que os encontrados ao nível do chão (BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2005). Este tipo de construção também reduz o nível de infiltração da umidade nas edificações, oferecendo uma área sombreada e protegida das chuvas com ótima circulação do ar, além de promover a circulação do ar no tecido urbano por baixo dos edifícios.

Figura 2 - Exemplos de estratégias passivas em edificações: (a) Cobogós, (b) Pérgulas, (c) Captadores de vento, (d) Peitoril ventilado, (e) Chaminé solar, (f) Vegetação nas edificações, (g) Sheds e (h) Pilotis.

Estes são apenas alguns exemplos de componentes que podem ser incorporados à arquitetura, de modo a contribuir para a promoção de conforto térmico dos usuários. Pode-se observar na Figura 3 que devido à sua localização predominantemente tropical, o índice de radiação solar do Brasil é um dos mais altos do mundo. Grande parte do território brasileiro está localizado relativamente próximo à linha do Equador, de forma que não se observam grandes variações de radiação solar durante o dia. O Brasil possui um grande potencial para o aproveitamento dos recursos da energia solar em todo o seu território, premissa para o bom funcionamento das paredes trombe.

Figura 3 - Mapas de radiação solar média anual para o território brasileiro para o ano de 2000: (a) irradiação global para o plano horizontal, (b) irradiação global em plano inclinado igual à latitude local.

Fonte: Martins, et al 2005

A média de radiação solar no território brasileiro (5 kW.h /m².dia) (MARTINS et al, 2005), é praticamente igual ao valor máximo de irradiação observado no continente europeu, que é de aproximadamente 5,5 kW.h /m².dia (HELIOCLIM, 2004), onde ocorre um grande investimento tanto governamental como de iniciativa privada no aproveitamento da energia solar.

Diante destes aspectos, pode-se dizer que o arquiteto deve buscar sempre adaptar as edificações ao clima do sítio onde a mesma será implantada e as Paredes de Michel-Trombe, ou “Paredes Trombe”, como são conhecidas, são apresentadas neste trabalho como uma alternativa para o projeto de arquitetura, embora seu potencial de utilização no Brasil ainda seja pouco investigado.

1.2 OBJETIVOS

Esta pesquisa tem como objetivo geral investigar o potencial do uso das paredes trombe sobre o desempenho térmico das edificações, para os diversos climas brasileiros, contribuindo assim, para o

estabelecimento de bases e recomendações projetuais para a concepção de projetos arquitetônicos no Brasil.

1.2.1 Objetivos específicos

Possui os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar o desempenho térmico de um ambiente padrão a partir da implantação de uma parede trombe com diferentes configurações em cada uma das oito zonas bioclimáticas brasileiras;
- A partir de diferentes configurações de paredes trombe, determinar as que apresentam melhor desempenho para obtenção de conforto térmico em edificações localizadas no Brasil;
- Elaborar um modelo matemático simplificado que possibilite a previsão das temperaturas internas e desempenho térmico durante o dia, a fim de auxiliar na identificação de possíveis situações de desconforto de forma simplificada;
- Contribuir para o estabelecimento de bases e recomendações para a concepção de projetos que adotem este sistema nos climas brasileiros.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta primeira parte apresentou uma breve introdução ao trabalho, explicitando sua contextualização, e os seus objetivos. A segunda parte apresentará uma revisão bibliográfica acerca do tema em estudo, com a finalidade de proporcionar um referencial teórico que dê suporte às análises que foram realizadas. Esta revisão discute sinteticamente o conceito das paredes trombe e os fenômenos envolvidos nos processos de ventilação natural, transferência de calor e aquecimento promovidos pelo uso deste elemento arquitetônico.

Foi realizado nesta seção também um levantamento do estado da arte, cuja finalidade foi reconhecer os avanços, limites e tendências na produção do conhecimento a respeito deste tema de estudo. É este conhecimento do estado da arte que permite a identificação de problemáticas significativas para a pesquisa e a ampliação dos conhecimentos em um dado campo.

A terceira parte corresponde a um detalhamento da metodologia utilizada neste trabalho, explicitando todas as etapas e procedimentos metodológicos utilizados para alcançar o objetivo geral e os objetivos específicos propostos nesta pesquisa, bem como apresenta um detalhamento da técnica e dos parâmetros variáveis empregados neste trabalho.

A seção seguinte refere-se à apresentação das cidades (uma para cada Zona Bioclimática Brasileira, segundo a NBR 15220 (ABNT, 2005)) onde foram realizados os estudos teóricos contidos nesta pesquisa, apresentando uma análise bioclimática e as estratégias de projeto para cada caso, de modo a possibilitar entender melhor como cada sistema foi incorporado nas diversas regiões brasileiras.

Na quinta e sexta seções apresentam-se as análises das simulações, agrupando todas as cidades simuladas e considerando todas as configurações de paredes trombe, de modo que fosse possível selecionar os modelos que apresentaram melhor desempenho para cada uma das cidades analisadas e a partir desta configuração, propor um modelo simplificado para calcular a temperatura interna em edificações dotadas de paredes trombe similares às utilizadas neste trabalho para os climas brasileiros sem a necessidade de futuras simulações.

E por fim, são apresentadas as considerações finais, resultado da análise e discussão dos dados decorrentes das simulações computacionais realizadas, além de identificar as limitações encontradas no decorrer da pesquisa, apresentando sugestões para futuras pesquisas.

Fonte: http://www.archi-mag.com/pics/laouiti_8.jpg

2 PAREDES TROMBE

Figura 4 - Foto de uma Parede Trombe

Fonte:

<http://eficienciaenergetica.blogspot.com/2007/09/retrofit.html>

Acesso em Março de 2011.

As Paredes Trombe (Figura 4) possuem um grande potencial na promoção do conforto térmico em uma edificação, já que podem ser utilizadas com a intenção de tomar partido da ventilação natural, aquecimento solar e inércia térmica (ELSADIG, 2004).

A integração da Parede Trombe na Arquitetura é relativamente simples. Vista pelo lado exterior aparenta ser uma janela e, pelo interior, assemelha-se a uma parede comum. As Paredes Trombe são colocadas nas fachadas em que se pretende receber ganhos solares indiretos durante um determinado período do ano, aproveitando, durante a noite, o calor que acumularam durante o dia ou para tomar partido da ventilação natural nos meses quentes ou aquecimento nos períodos frios.

Esta parede é basicamente uma pequena "estufa", constituída por um vidro exterior orientada preferencialmente para o Norte (No caso do hemisfério Sul), porém, para o caso do Brasil, onde o maior desconforto térmico ocorre no verão, principalmente nas regiões com baixa latitude, há que se pensar na possibilidade de orientar este dispositivo para a fachada sul, pois neste período a trajetória do sol está voltada para o sul.

Além desta parede envidraçada, há uma caixa de ar e uma parede de grande densidade e espessura moderada, que lhe garante grande inércia térmica, (normalmente em argila, pedra, ou tijolo maciço). Trata-se então de um sistema capaz

de absorver a energia do sol, armazená-la durante o dia (no interior da parede, devido à inércia térmica da mesma) e irradiar calor para dentro da divisão adjacente durante a noite, ou quando for mais necessário.

O sistema evoluiu de uma parede grossa com vidro na frente, em que a maior parte do calor era perdido e não chegava ao interior do edifício, para a versão moderna que possui ventilações no topo e na base da caixa de ar, que permitem o arrefecimento rápido do coletor e maximiza os ganhos obtidos. Segundo Balcomb (1998) o desempenho de uma parede trombe pode cair cerca de 40% caso ela não esteja aberta para o ambiente interno e a parede trombe deve estar livre de elementos como armários, dry-wall ou elementos que possam impedir a transferência de calor por radiação da parede para a zona interna.

A Figura 5 ilustra a composição deste sistema construtivo de modo a facilitar o entendimento de suas partes e seu processo de funcionamento. Neste esquema é possível observar a superfície envidraçada (a), com espessura geralmente entre 02 e 06 milímetros, que será responsável em promover o efeito estufa na câmara de ar (b) entre o vidro e a parede interna com alta massa térmica (c). Esta parede apresenta-se usualmente com alta absorvência térmica, de modo a otimizar o acúmulo de calor na câmara de ar e conseqüentemente o aquecimento do ar nesta região do componente analisado. Esta parede apresenta duas aberturas para circulação do ar (d), sendo uma inferior para entrada do ar frio que vai ser aquecido na câmara de ar devido ao efeito estufa e outra superior para passagem do ar aquecido para o ambiente interno (e) que será ocupado pelos usuários e se tornará objeto de estudo deste trabalho no que tange o desempenho térmico de edificações. O ambiente interno apresenta uma abertura para entrada do ar (f) na face oposta à face

onde localiza-se a parede trombe, permitindo a renovação de ar neste espaço e remoção do ar aquecido nos momentos em que este procedimento se faz necessário.

A superfície envidraçada também pode apresentar uma abertura em sua região superior (a.1) para exaustão do ar aquecido, possibilitando tomar partido da ventilação natural nos meses mais quentes do ano.

Figura 5 - Corte esquemático de uma Parede Trombe

2.1 PROCESSO DE FUNCIONAMENTO

O funcionamento de uma parede trombe (Figura 6) é essencialmente simples: A radiação solar é absorvida pelo vidro que compõe a face exterior da parede, este material permite que a radiação de onda curta o atravesse e aqueça a face externa da parede com alta inércia térmica que apresenta alta absorptância.

Ao aquecer, a parede com alta inércia térmica reemite calor para a câmara de ar existente neste sistema, produzindo-se o chamado "efeito estufa". Este efeito estufa é maximizado em decorrência da alta absorptância e alta emissividade que a parede com alta massa térmica apresenta, pois a radiação de onda longa emitida pela parede (na forma de calor) não pode voltar a atravessar o vidro.

O efeito estufa fará com que este sistema construtivo acumule calor que, sem alternativa, é liberado para o interior da habitação, quando utilizado para aquecimento ou para o ambiente externo, por meio do efeito chaminé proporcionando ventilação no ambiente interno por convecção, através de aberturas no topo e base da parede com alta massa térmica que potencializam a termocirculação.

Figura 6 - Funcionamento de uma parede trombe: (a) durante o período de inverno para aquecimento e (b) durante o período de verão, para ventilação.

Fonte: Adaptado de (CHEL et al, 2008)

À medida que recebe radiação solar, a parede com alta massa térmica vai acumulando energia que, ao fim de algum tempo, acaba por atravessá-la e aflorar no interior do edifício, aquecendo o ambiente interno por convecção e radiação, além de em decorrência da alta inércia térmica, promove um retardo na transmissão e uma amortização na oscilação das temperaturas (ADAMS et al, 2010).

A configuração das aberturas irá definir a finalidade da utilização de uma parede trombe, se para aquecimento ou refrigeração. Esta variação da configuração pode ocorrer por meio da interferência do usuário que definirá as suas necessidades de conforto ou por meios automatizados, potencializando seu uso nos momentos em que há maior necessidade.

Para tomar partido do aquecimento passivo por meio da parede trombe, a abertura da superfície envidraçada não deverá permitir a passagem do ar aquecido, que por sua vez deverá ser liberado para o espaço interno pela abertura superior da parede com alta inércia térmica, aquecendo-o e retornando à câmara de ar pela abertura inferior, reiniciando o ciclo (GAN, 1998).

Para promover ventilação, a parede com alta massa térmica deve ter apenas a abertura inferior permitindo a circulação do ar e a abertura de saída localizada na superfície envidraçada deve também possibilitar a passagem do ar. O ar exterior entra por outra abertura em uma parede diferente e o ar interior, mais quente, sai pela Parede Trombe (SHEN et al., 2007).

Este dispositivo pode ainda estar integrado à células fotovoltaicas, otimizando sua eficiência e oferecendo mais uma potencialidade para o uso das paredes trombe, pois sabe-se que cerca de 80% da energia absorvida por estas peças não são transformadas em energia elétrica e sim em calor.

Ao utilizar as paredes trombe em conjunto com janelas, beirais e outros componentes arquitetônicos pode haver uma melhor distribuição do calor durante o ano nas edificações, promovendo a ventilação natural no verão e o aquecimento solar no inverno (TORCELLINI e PLESS, 2004).

De acordo com Elsadig (2004) este dispositivo possui vantagens e desvantagens em sua utilização; algumas vantagens são:

- O armazenamento de calor está localizado próximo ao vidro ou a área de coleta, permitindo maior eficiência no aproveitamento da radiação solar;
- O espaço do piso e das paredes pode ter mais flexibilidade, além de não expor o mobiliário à radiação solar direta;
- O atraso térmico obtido a partir da utilização deste sistema permite a liberação de calor para o ambiente interno nos momentos de maior necessidade, além de incrementar a ventilação natural em alguns casos onde esta estratégia é requisitada.

No entanto, algumas desvantagens devem ser observadas pelos profissionais que desejam incorporar tal elemento em seus projetos:

- A vista da face norte (ou a face onde se encontra este dispositivo) é parcialmente perdida, além do aproveitamento da luz natural incidente nesta fachada;
- Este componente pode ocupar uma grande área de fachada em edificações menores;
- Móveis e equipamentos colocados na parede trombe afetam diretamente o seu desempenho;
- Paredes trombe ventiladas devem ser fechadas à noite evitando assim o ciclo inverso do ar;
- Em dias sem sol, o desempenho da parede trombe é afetado de forma significativa.

Para um bom dimensionamento de uma parede trombe, deve-se levar em consideração alguns aspectos:

- O clima, pois as perdas de calor dependem da diferença entre as temperaturas externa e interna. Quanto maior for esta diferença, maior será a perda de calor, podendo ocorrer um superdimensionamento deste dispositivo;
- A latitude e orientação da edificação, pois a energia solar incidente pode mudar de acordo com a latitude, a partir de uma análise da trajetória solar;
- Necessidade de aquecimento e refrigeração do local onde será implantado este sistema.
- A eficiência de uma parede trombe também dependerá de alguns fatores internos, como a parede, seus materiais e espessura; superfície envidraçada e o número e dimensões das aberturas.

Para entender melhor o funcionamento de uma parede trombe, é possível fazer uma analogia com sistemas elétricos indicando os ganhos e as perdas de calor durante este processo (Figura 7).

Nomenclatura:

h_{ceu} — Coeficiente de Transferência de calor entre o céu e o vidro
 h_{parede} — Coeficiente de Transferência de calor por convecção da parede
 h_{vidro} — Coeficiente de Transferência de calor por convecção do vidro
 $h_{vidro+parede}$ — Coeficiente de Transferência de calor por radiação entre o vidro e a parede
 S_1 — Quantidade de Calor absorvida por radiação pelo vidro
 S_2 — Quantidade de Calor absorvida por radiação pela parede
 T_{ceu} — Temperatura do céu
 T_{fluido} — Temperatura do fluido (ar) no interior da câmara de ar
 $T_{interna}$ — Temperatura do ar no ambiente interno
 $T_{externa}$ — Temperatura do ar no ambiente externo
 T_{parede} — Temperatura da parede
 T_{vidro} — Temperatura do vidro

Figura 7 - Esquema do funcionamento de uma parede trombe.

2.2 TRANSFERÊNCIAS DE CALOR E MASSA NUMA PAREDE TROMBE

Para analisar as trocas térmicas em uma parede trombe, devem-se considerar alguns fenômenos físicos que regem seu funcionamento, em geral se tratam de processos complexos de transferência de calor entre componentes, como aquecimento por radiação solar, condução de calor através de paredes sólidas e convecção natural das massas de ar aquecido. No entanto, é possível estudar separadamente estes efeitos conforme apresentado a seguir.

2.2.1 Aquecimento solar passivo

O processo de concepção de um edifício é muito importante para tirar vantagem da energia solar passiva. O aproveitamento do calor para aquecimento de ambientes, denominado aquecimento solar passivo. Assim, um melhor aproveitamento da radiação solar pode ser executado no processo de elaboração do projeto de arquitetura e construção, como uma possibilidade está no uso das paredes trombe que ainda apresentam pouca discussão sobre a viabilidade de utilização no Brasil. Um sistema de aquecimento solar passivo pode promover uma maior economia de eletricidade na edificação.

A transferência de calor por radiação é um processo em que a energia calorífica é transferida entre corpos com diferentes temperaturas, sem que ocorra o contato entre os mesmos, sendo este fenômeno a principal forma de transmissão de calor entre o Sol e a Terra. Todo corpo aquecido emite ondas eletromagnéticas, que viajam através do vácuo. A energia radiante que provém do sol é denominada de radiação solar e é a principal fonte de aquecimento dos edifícios.

Em geral, os materiais opacos absorvem uma fração da radiação solar incidente e refletem o restante. Nos vidros e em alguns materiais transparentes, o comportamento térmico específico é analisado pela transparência seletiva à radiação, pois além de absorver e refletir esta radiação, também a transmitem para o interior dos ambientes.

Para determinar a quantidade de radiação que incide em uma superfície não horizontal, como é o caso de uma parede trombe, de modo a estimar a radiação global² e a radiação difusa³ em um plano inclinado, voltado para o sol são necessárias algumas definições:

Fator geométrico (R_b) é a razão entre a radiação solar direta sobre uma superfície inclinada e a radiação solar direta sobre um plano horizontal. De acordo com o método desenvolvido por Liu e Jordan (1963) e citado por Duffie & Beckman (1980), para o hemisfério sul, deve ser aplicada a seguinte equação:

$$R_b = \frac{\cos(\phi + \beta) \cos \delta \sin \omega'_s + (\pi/180) \omega'_s \sin(\phi + \beta) \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + (\pi/180) \omega_s \sin \phi \sin \delta} \quad [\text{Eq. 01}]$$

Onde:

β – Ângulo de Inclinação da Superfície em relação à horizontal ($0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$, para ângulos acima de 90° significa que a face está voltada para baixo);

Φ – Latitude do local;

δ – Declinação;

ω_s – Ângulo horário do pôr-do-sol para a superfície horizontal;

ω'_s – Ângulo horário do pôr-do-sol para a superfície inclinada.

A declinação pode ser encontrada a partir da equação de Cooper:

$$\delta = 23,45^\circ \cdot \sin \left[\left(\frac{360 \cdot (NDA + 284)}{365} \right) \right] \quad [\text{Eq. 02}]$$

Onde:

δ – Ângulo de declinação ($-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$);

NDA - Número do Dia no Ano (NDA=1 em 1/Jan e NDA=365 em 31/Dez).

O ângulo horário do pôr-do-sol ajustado para a superfície inclinada, segundo Duffie & Beckman (1980), para o hemisfério sul pode ser calculado por:

² A radiação global é a que vem diretamente do sol, sem reflexões ou refrações intermediárias. (DUFFIE e BECKMAN, 1980)

³ A radiação difusa é emitida pelo céu durante o dia, graças aos muitos fenômenos de reflexão e refração da atmosfera solar, nas nuvens, e os restantes elementos do atmosférico e terrestre. (DUFFIE e BECKMAN, 1980)

$$\omega'_s = \min \left[\begin{array}{l} \arccos(-\tan \phi \tan \delta) \\ \arccos(-\tan(\phi + \beta) \tan \delta) \end{array} \right] \quad [\text{Eq. 03}]$$

Há uma variabilidade diária e média mensal da radiação solar global incidente sobre um plano inclinado, com ou sem desvio azimutal durante o ano. Dados locais de radiação solar quando gerados em estações de medição são normalmente medidos sobre um plano horizontal exigindo uma série de cálculos trigonométricos (conforme apresentados neste trabalho) para concluir a quantidade global específica sobre um plano inclinado, além da consideração dos modelos de distribuição temporal e espacial da radiação solar em função da isotropia ou anisotropia da abóbada celeste (céu) com efeito numérico diferenciado na componente difusa e analogamente na global que é a soma das componentes direta, difusa e albedo⁴.

Atualmente, para determinar a radiação solar global incidente em um plano inclinado qualquer, parte-se do princípio que esta é composta por três componentes: radiação direta, radiação difusa e a contribuição do albedo. Este procedimento foi desenvolvido por Liu e Jordan (1963) (apud DUFFIE & BECKMAN, 1980) a fim de encontrar curvas para estimar a radiação solar em qualquer latitude e qualquer ângulo de inclinação de coletores solares voltados para o norte. A base de seu trabalho foram os dados coletados em 80 localidades dos Estados Unidos e do Canadá.

De acordo com o método desenvolvido por Liu e Jordan (1963) e aperfeiçoado por Klein (1977), o cálculo da radiação solar global em um plano inclinado (H_β), apresentado em Duffie & Beckman (1980), para o hemisfério sul é resultante da equação:

$$H_\beta = H \left(1 - \frac{H_d}{H} \right) R_b + H_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + H \rho \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad [\text{Eq. 04}]$$

Onde:

β – Ângulo de Inclinação da Superfície em relação à horizontal;
 H - radiação solar global em uma superfície horizontal (W/m^2);
 H_d - radiação solar difusa em uma superfície horizontal (W/m^2);
 R_b – Fator Geométrico;
 ρ - albedo.

Deste modo, é possível determinar a radiação solar total incidente em uma parede trombe, na superfície envidraçada. A radiação incidente na parede com alta inércia térmica dependerá das propriedades do vidro utilizado, pois cada tipo de vidro permite a passagem de uma quantidade de radiação, conforme os resultados obtidos por Caram et al (1995) e apresentados em parte na Figura 8.

A quantidade de radiação que ultrapassa a superfície envidraçada na parede trombe é fundamental para promover o “efeito estufa” na caixa de ar, pois é de conhecimento geral que os vidros se caracterizam por seu comportamento em relação à radiação solar, de onda curta, transmitida através destes materiais. Ela penetra nos ambientes e é absorvida pelas superfícies internas, provocando elevação de sua temperatura e em seguida a emissão de radiação de ondas longas, para a qual o vidro é opaco.

Figura 8 - Transmissão da radiação solar em alguns vidros com espessura de 6 mm.

Fonte: (CARAM et al, 1995)

⁴ Albedo é a medida da quantidade de radiação solar refletida por um corpo ou uma superfície, sendo calculado como a razão entre a quantidade de radiação refletida e a quantidade de radiação recebida. (DUFFIE e BECKMAN, 1980).

Para as superfícies opacas, deve-se observar a absorptância da superfície que irá definir a quantidade de radiação que será absorvida pelas paredes, sendo posteriormente reemitida na forma de calor para os ambientes interno e externo; Dornelles (2008) propôs métodos de determinação da absorptância solar de superfícies opacas, que podem ser utilizados por projetistas, pesquisadores e especialistas. Além do espectrofotômetro e do espectrômetro ALTA II, apresentou um método que se baseia na digitalização de amostras em scanner comum e posterior classificação de suas cores a partir dos sistemas cromáticos digitais RGB e HSL⁵ e um quarto método baseado em medidas de temperaturas superficiais das amostras, a partir de absorptâncias medidas para amostras de cores branca e preta, adotadas como referência.

No caso da parede trombe, as superfícies (vidro e parede) trocam calor por radiação, esta transferência depende principalmente das geometrias e orientações das superfícies, bem como de suas propriedades radiantes e temperaturas. Para calcular o calor radiante entre duas superfícies quaisquer, primeiramente deve-se entender o conceito de fator de forma.

O Fator de forma F_{ij} é definido como a fração da radiação que deixa a superfície i e é interceptada pela superfície j (INCROPERA *et al*, 2008). É um fator geométrico, determinado pela forma e pela posição das duas superfícies. De um modo geral, o fator de forma pode ser calculado pela resolução de uma integral dupla, tanto o fator de forma da superfície i para a superfície j (Eq. 05) quanto de forma inversa (Eq. 06).

$$F_{ij} = \frac{1}{A_i} \int_{A_i} \int_{A_j} \frac{\cos \theta_i \cos \theta_j}{\pi R^2} dA_i dA_j \quad [\text{Eq. 05}]$$

$$F_{ji} = \frac{1}{A_j} \int_{A_j} \int_{A_i} \frac{\cos \theta_i \cos \theta_j}{\pi R^2} dA_i dA_j \quad [\text{Eq. 06}]$$

Figura 9– Ângulo sólido, correspondente a dA_n em um ponto sobre dA_1 no sistema de coordenadas esféricas.

Fonte: (INCROPERA *et al*, 2008)

Onde:

$A_{(i,j)}$ – Área das superfícies;

$\theta_{(i,j)}$ – Ângulo formado entre a normal de cada superfície e a reta R ;

R – distância entre as superfícies;

$dA_{(i,j)}$ – Área superficial das superfícies.

A área superficial pode ser definida conforme apresentado na figura 9, porém, para muitas configurações a resolução de F_{ij} é apresentada sob a forma de equações, gráficos ou tabela. Para as paredes trombe, que costumam apresentar geometria simples, pode-se considerar os valores apresentados a seguir: No caso de uma análise bidimensional, com as superfícies paralelas, ou com uma das superfícies inclinada, formando um ângulo α entre elas.

Para as superfícies com mesmo comprimento e posicionamento paralelo, tem-se:

$$F_{i,j} = \frac{[(w_i + w_j)^2 + 4]^{1/2} - [(w_j + w_i)^2 + 4]^{1/2}}{2w_i} \quad [\text{Eq. 07}]$$

E para uma parede trombe com uma das placas inclinada formando um ângulo α entre elas, porém ainda com mesmo comprimento, tem-se:

⁵ RGB é a abreviatura do sistema de cores aditivas formado por Vermelho (Red), Verde (Green) e Azul (Blue). O propósito principal do sistema RGB é a reprodução de cores em dispositivos eletrônicos. O modelo HSL (Hue, Saturation, Luminance, ou em português TSL), é um modelo de representação dito “natural”, ou seja, próximo da percepção fisiológica da cor pelo olho humano.

$$F_{i,j} = 1 - \operatorname{sen} \left(\frac{\gamma}{2} \right) \quad [\text{Eq. 08}]$$

Sendo:

- w_{ij} – Comprimento da placa (m);
- W_i – Relação dependente do espaçamento entre as placas ($W_i = w_i / R$);
- γ – Ângulo entre as superfícies;
- R – Espaçamento entre as superfícies (m).

Para uma análise tridimensional, Incropera et al (2008) apresentam uma série de tabelas e gráficos que podem ser utilizados no cálculo do fator de forma entre duas superfícies.

Toda superfície possui um coeficiente de transferência de calor por radiação. O coeficiente h_r é um parâmetro simplificado, que resume todos os fatores que interferem na troca de calor por radiação, tais como, as temperaturas das superfícies, os aspectos geométricos e físicos das superfícies, principalmente as emissividades⁶ (ϵ) e absortividades (α) das superfícies. De um modo geral, o coeficiente de transferência de calor por radiação pode ser encontrado pela equação:

$$h_r = \frac{\propto (T_j^2 + T_i^2)(T_j - T_i)}{\frac{1 - \epsilon_i}{\epsilon_i} + \frac{1}{F_{i,j}} + \frac{(1 - \epsilon_j) A_i}{\epsilon_j A_j}} \quad [\text{Eq. 09}]$$

Porém, de um modo simplificado, para troca de calor entre materiais de construções, sem brilho metálico em que a maioria deles possui emissividade acima de 0,8 (ABNT, 2005) pode-se adotar, de modo aproximado, $h_r = 5 \text{ W/m}^2\text{°C}$.

Dois corpos a diferentes temperaturas ($T_i > T_j$), separados por uma determinada distância, e sem contato físico trocam calor entre eles por meio de ondas eletromagnéticas. O fluxo líquido de calor radiante entre os dois corpos pode ser estimado pelas equações 10 e 11.

$$q_{i,j} = \sigma \cdot F_{i,j} (T_{si}^4 - T_{sj}^4) \cdot \epsilon_{ef} \quad [\text{Eq. 10}]$$

$$q_{i,j} = h_r (T_{si} - T_{sj}) \quad [\text{Eq. 11}]$$

Onde:

- $q_{i,j}$ - calor transmitido por radiação da superfície i para a superfície j, em W/m^2 ;
- σ - constante de Stephan Boltzmann⁷ ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$);
- $F_{i,j}$ - fator de forma;
- h_r - coeficiente de troca de calor por radiação, em $\text{W/m}^2\text{°C}$;
- T_{si} e T_{sj} - temperatura das superfícies, em K.
- ϵ_{ef} - Emissividade Efetiva.

Desta forma, é possível determinar o ganho e o fluxo de calor por radiação dentro de uma parede trombe, e entender o seu funcionamento. Para tal, é necessário conhecer as propriedades

⁶ Emissividade, cujo símbolo é ϵ , consiste na razão entre a potência por unidade de área de uma superfície irradiada e a que é irradiada por um corpo negro à mesma temperatura. Por esta razão, um corpo negro possui uma emissividade de 1, e um refletor perfeito possui uma emissividade de zero.

⁷ A Lei de Stefan-Boltzmann (também conhecida como Lei de Stefan) estabelece que a energia total radiada por unidade de área superficial de um corpo negro na unidade de tempo (radiação do corpo negro), (ou a densidade de fluxo energético (fluxo radiante) ou potencia emissora) é diretamente proporcional à quarta potência da sua temperatura termodinâmica T.

termofísicas dos materiais utilizados e a absorvância da parede, que influencia no ganho solar de forma significativa.

2.2.2 Inércia térmica

Outro fenômeno que ocorre na parede trombe é a inércia térmica, em decorrência da utilização da parede com alta massa térmica. Inércia Térmica pode ser definida como a capacidade que um material tem de reter no seu interior parte do calor que é conduzido através dele, em consequência de sua massa térmica. Quanto maior a massa térmica, maior o calor retido.

A radiação incidente na superfície opaca é reemitida em forma de radiação de ondas longas, porém uma parte é absorvida e percorre a espessura da parede, aquecendo o ambiente interno. Deste modo, a parede trombe promove uma diminuição da amplitude da temperatura interna em relação à amplitude da temperatura externa, a qual oscilará de forma amortecida além de promover um atraso no pico de temperatura interna que acontecerá algumas horas após o fechamento estar submetido ao pico da temperatura externa (retardamento).

Figura 10 - Esquema da transferência de calor ao longo de uma parede com dois materiais diferentes.

A figura 10 apresenta um esquema da transferência de calor em uma parede com dois materiais diferentes, o ar externo, mais quente que o ar interno, transfere calor para a parede que devido a sua resistência térmica transfere calor para o ambiente interno após certo tempo.

Os benefícios do efeito da inércia térmica dependem de vários parâmetros, tais como condições climáticas, propriedades térmicas dos materiais de construção, ventilação, isolamento térmico, ocupação e ganhos internos de calor (GOULART, 2007).

A inércia depende de duas propriedades:

- Difusividade Térmica (*Dif*) – Expressa a capacidade do material para transmitir uma oscilação de temperatura, a difusividade mostra como se difunde o calor, sendo proporcional à velocidade de propagação de uma onda de temperatura dentro de uma parede ou um teto (CORBELLA; YANNAS, 2003). (Eq. 12).
- Efusividade Térmica (*ef*) – Indica a capacidade do material para absorver e armazenar um fluxo de calor ou uma potência térmica. A efusividade térmica é proporcional à quantidade de energia que um material de construção, ou um elemento interno, é capaz de absorver (e depois restituir) (CORBELLA; YANNAS, 2003). (Eq. 13).

$$Dif = \frac{\lambda}{\mu \cdot c} \quad [\text{Eq. 12}]$$

$$ef = \sqrt{\lambda \cdot \mu \cdot c} \quad [\text{Eq. 13}]$$

Sendo:

λ - condutividade térmica (W/m.K);
 μ - massa específica aparente (kg/m³);
 c - calor específico (J/kg.K).

De um modo particular, quando há transferência interna de calor sem geração interna de energia e com propriedades constantes, ocorre uma analogia entre as difusões de calor e de carga elétrica.

Da mesma forma que a resistência elétrica está associada à condução de eletricidade, a resistência térmica poderá ser associada à condução de calor (INCROPERA *et al*, 2008), neste caso a resistência térmica é dada pela relação entre a espessura e a condutividade do material, podendo ser somada em série ou em paralelo, assim como as resistências elétricas (Figura 11).

$$R_i = \frac{L}{\lambda} \quad [\text{Eq. 14}]$$

Figura 11 - Equivalência das resistências em série e em paralelo

Fonte: Adaptado de (ABNT, 2005)

Deve-se também ao calcular a resistência total de um sistema construtivo, considerar a resistência superficial que o ar exerce à passagem de calor, tanto na face externa quanto na face interna da superfície, a NBR-15220/2 (ABNT, 2005) determina valores para estas resistências com o fluxo de calor horizontal (caso das paredes trombe): sendo a resistência superficial externa definida como $0,04(m^2K)/W$ e a resistência superficial interna em $0,13(m^2K)/W$.

O inverso da Resistência Térmica Total (R_T) de um componente construtivo (parede, cobertura, etc) se denomina Transmitância Térmica (U , em W/m^2K), que é definida como o fluxo de calor que, na unidade de tempo e por unidade de área, passa através do componente, para uma diferença unitária entre as temperaturas do ar em contato com cada uma das faces desse mesmo componente (ABNT, 2005).

Para as paredes trombe ventiladas, recomenda-se que a parede maciça esteja isolada, evitando ganhos de calor indesejados. O isolamento térmico pode ser obtido por meio de diversos materiais com alta resistência térmica, porém, o uso de isolantes térmicos tem que ser feito com certo cuidado, pois se este isolamento for inserido na face interna da parede, a sua inércia térmica será anulada, porque o calor produzido dentro da casa ou a radiação solar que entrou pela janela não serão absorvidos pela parede.

Nos processos de transmissão de calor por condução, em regime estacionário, o fluxo térmico entre duas faces de uma placa pode ser determinado pela seguinte equação:

$$q = U \cdot S \cdot \Delta T \quad [\text{Eq. 15}]$$

Onde:

U – Transmitância térmica ($W/m^2^\circ C$);

S – Área da superfície (m^2);

ΔT – Diferença entre a temp. da superfície externa e a temp. da superfície interna ($^\circ C$).

2.2.3 Ventilação natural

Ocorre também na parede trombe a convecção natural em decorrência do efeito chaminé na cavidade da parede. O efeito chaminé é provocado pelas diferenças de temperaturas do ar em dois pontos distintos da edificação e que podem ser provocadas mesmo por baixas fontes internas de calor, como as decorrentes da ocupação e realização de atividades metabólicas pelo ser humano.

Hocevar et al (1979) mostraram a partir de resultados experimentais que o fluxo no interior da parede trombe é extremamente complexo. No caso da parede trombe, esta diferença de temperatura se dá pelo efeito estufa produzido a partir do aquecimento por radiação do ar no interior da caixa de ar, pois o sol emite radiação de ondas curtas, para as quais o vidro é transparente, no entanto ao incidir sobre a parede absorvedora, esta radiação é reemitida em forma de radiação de ondas longas, que não atingem o ambiente externo, aquecendo o ar no interior da parede trombe.

Ao deslocar-se para cima dentro da parede trombe, o ar mantém contato com as superfícies verticais deste sistema e faz-se necessário entender o conceito de camada limite⁸. As observações experimentais mostram que há o escoamento de um fluido paralelamente a uma superfície, as partículas do fluido em contato com a superfície e aderem a esta. É como se a viscosidade do fluido tivesse o efeito de uma cola (PASSOS, 2010).

No caso de uma parede trombe, que apresenta duas placas espaçadas, cada uma das placas oferece uma resistência à passagem do ar ascendente dentro da câmara de ar. Chen et al (1994) realizaram um estudo teórico e experimental para obter o comportamento da velocidade axial (no sentido do fluxo do ar) no canal interno a uma parede trombe e conforme apresentado na figura 12, é possível observar a resistência oferecida pelas placas paralelas ao fluxo de ar.

Figura 12 - Comparação dos valores obtidos para a velocidade do ar no interior do canal no modelo experimental desenvolvido por Chen et al (1994) e no modelo matemático proposto por Akbari e Borgers (1979).
 Fonte: Adaptado de (CHEN, et al, 1994)

⁸ Em mecânica dos fluidos, a camada-limite é que a camada de fluido nas imediações de uma superfície delimitadora, fazendo-se sentir os efeitos difusivos e a dissipação da energia mecânica. O conceito foi introduzido no início dos século 20, por Ludwig Prandtl para descrever a região de contacto entre um fluido incompressível em movimento relativamente a um sólido. Quando um objecto move-se através de um fluido, ou um fluido move-se ao redor de um objecto, o movimento das moléculas do líquido perto do objecto é perturbado, e estas moléculas movem-se ao redor do objecto, gerando forças aerodinâmicas. A magnitude dessas forças depende da forma e velocidade do objecto, assim como da massa, viscosidade e compressibilidade do fluido. Para modelizar correctamente os efeitos, recorre-se a parâmetros adimensionais que relacionam as diferentes componentes envolvidas, como o Coeficiente de Reynolds, (FOX, 2001).

O fluido em contato com as superfícies da parede trombe está em repouso, sua velocidade aumenta com a aproximação ao eixo, onde atinge o valor máximo. A diminuição da velocidade, à medida que nos afastamos do eixo central, é produzida pela força de atrito tangencial entre duas camadas adjacentes do fluido que, por sua vez, é função do coeficiente de viscosidade⁹.

Dentro de uma parede trombe, ocorre tanto o fluxo laminar como turbulento, no fluxo laminar, as partículas descrevem trajetórias paralelas. O fluido flui em camadas ou lâminas. ($Re < 2000$), enquanto no escoamento turbulento, as trajetórias são caóticas, as componentes da velocidade apresentam flutuações ao redor da média ($Re > 4000$). Para análise do fluxo laminar em uma parede trombe, Akbari e Borgers (1979) desenvolveram uma análise por meio do método das diferenças finitas e estimaram equações para esta fase em que o ar percorre o canal de uma parede trombe, com duas placas paralelas. As propriedades do ar foram consideradas independentes da temperatura (com exceção da densidade). Deste modo, foi possível estimar a vazão volumétrica do ar em uma parede trombe com fluxo laminar a partir da seguinte equação:

$$Q = \frac{\bar{u} e}{v Gr} = \int_0^d V_u dY \quad [\text{Eq. 17}]$$

Este mesmo estudo definiu a taxa de absorção de calor pelo ar a partir da equação:

$$H_x = \frac{1}{v Gr (T_m - T_0)} \int_0^R u (T - T_0) dy \quad [\text{Eq. 18}]$$

Onde:

- Q – Vazão volumétrica do ar (Kg/s);
- $\bar{u}$ - Média da velocidade do ar no sentido do fluxo (m/s);
- R – Espessura do canal (m);
- v – Velocidade do ar na direção y (m/s);
- Gr – Número de Grashof;
- d – Distância percorrida pelo fluido (na direção x) (m);
- V_u – Velocidade do fluido adimensional na direção x;
- H_x – Taxa de absorção de calor pelo fluido;
- T_m – Temperatura de referência, definida como a temperatura da superfície mais quente do canal;
- T_0 – Temperatura inicial (K);
- T – Temperatura (K);
- u – Velocidade do ar no sentido do fluxo (m/s).

Algum tempo depois, estes mesmos autores realizaram um estudo para o fluxo turbulento na parede trombe (BORGERS & AKBARI, 1984), este tipo de fluxo necessita de atenção especial e neste estudo consideraram-se os mesmos parâmetros de geometria do trabalho anterior. Para definição da transição do fluxo de laminar para turbulento, foi utilizada a equação 19 e a taxa do fluxo foi definida pela equação 20:

$$Re \sqrt[3]{Ra} = 4 \times 10^6 \quad [\text{Eq. 19}]$$

$$Q = 10^{-(c+D |\log h| b)} \quad [\text{Eq. 20}]$$

Sendo:

- Re – Número de Reynolds;
- Ra – Número de Rayleigh;
- c – Calor específico (kJ/Kg.K);
- D – constante definida por: $10^{(1,931 - 0,6444 \log Gr)}$;
- h – Altura do canal;
- b – constante definida por: $0.260 + 1.940 \sqrt{1 \log Gr - 4}$

⁹ Coeficiente de viscosidade é uma propriedade dos fluidos, dada em (Kg/m.s) que define a resistência ao escoamento do mesmo.

Chen et al (2006) investigaram por meio de experimentos a convecção natural no canal da parede trombe em uma parede trombe na escala real para o clima frio do norte da China, com dimensões de 3,9x3,9x2,8m e a parede com alta inércia térmica de concreto com 30cm de espessura e a distancia entre a parede e o vidro com 0,1m. A razão ideal entre espessura (R) e altura (h) do canal da parede trombe, no entanto deve ser calculada, seguindo as recomendações propostas por estes autores que definiram a equação a seguir:

$$R/h > Ra_f^{1/4} \text{ ou } R/h > Ra_h^{-1} \quad [\text{Eq. 21}]$$

Onde Ra é o número de Rayleigh definido por:

$$Ra = g\xi\Delta T / \varsigma \text{ (Dif)} \quad [\text{Eq. 22}]$$

Sendo ΔT a diferença de temperatura entre as superfícies (parede ou vidro) e o ar no interior do canal, g é a aceleração da gravidade, ξ é o coeficiente de dilatação térmica, ς é a viscosidade e (Dif) é a difusividade térmica.

Dentre as equações elaboradas para estimar a velocidade do ar na parede trombe a que mais se aproximou dos valores obtidos por experimentos, considerado neste trabalho como o modelo que melhor caracteriza o comportamento real do fluxo do ar no interior de uma parede trombe foi, elaborado por Smolec e Thomas (1994), que obtiveram a seguinte equação:

$$v = C_d \sqrt{gh \frac{(T_m - T_i)}{T_m}} \quad [\text{Eq. 23}]$$

Sendo C_d o coeficiente de descarga nas aberturas da parede trombe, g a aceleração da gravidade, h a altura do canal deste componente, T_m a temperatura média no interior do canal e T_i a temperatura média no interior da edificação. A Figura 13 apresenta o comportamento de valores obtidos a partir desta equação, juntamente com valores experimentais e obtidos por uma segunda equação bastante utilizada na época e que não será explicitada neste trabalho por se tratar de uma equação em desuso.

Figura 13 - Velocidade do ar no interior do canal da parede trombe calculada e comparada com equações obtidas na literatura

Fonte: (SMOLEC e THOMAS, 1994)

2.2.4 Trocas térmicas na parede trombe

Durante o processo de funcionamento de uma parede trombe ocorre a transferência de calor por três formas: condução e radiação pela parede e pelo vidro e convecção por meio da circulação do ar induzida pelo efeito chaminé gerado pela diferença de temperatura entre o ar no ambiente interno e no vão entre a parede e o vidro (IMESSAD e BELHAMEL, 1999).

O balanço térmico para um nó específico (i) de uma parede trombe pode ser expresso a partir da equação obtida por Smolec e Thomas (1991):

$$\sum_{i=1}^N k_{i,j}(T_i - T_j) + C_i \left(\frac{dT_i}{dt} \right) = H_i + B_i T_i \quad [\text{Eq. 24}]$$

Onde:

- N – Número de nós;
- $K_{i,j}$ – Condutividade entre os nós i e j;
- $T_{i,j}$ – Temperatura nos nós i e j;
- C_i – Capacidade Térmica do nó i;
- t – Tempo;
- H_i – Insolação no nó i;
- B_i – constante de geração de calor no fluido.

Porém, estes mesmos autores (SMOLEC e THOMAS, 1994) algum tempo depois identificaram graves discrepâncias entre os valores obtidos por meio de alguns modelos matemáticos e quando comparado aos valores experimentais principalmente por não considerarem as transferências de calor por convecção do ar e condução entre as superfícies da parede com alta inércia, pois tanto o coeficiente de calor por convecção quanto o coeficiente de fricção interferem na velocidade do ar no interior do canal deste componente. Diversas formas de calcular o coeficiente de fricção foram apresentadas pelos autores e podem ser utilizadas no cálculo do balanço térmico na parede trombe.

Zamora et al (2002) realizaram um estudo numérico do fluxo de calor numa parede trombe, de forma isolada e em conjunto com a edificação, considerando a temperatura da face externa do vidro igual a temperatura da sua face interna e as temperaturas superficiais uniformes ao longo de toda face e considerando um vidro que transmite 86% da radiação solar para o interior da câmara de ar.

O balanço térmico para a superfície envidraçada, considerando os fluxos de calor por condução, convecção e radiação foi então definido como:

$$\alpha_1 H_\beta = h_{c1}(T_{p1} - T_{amb}) + h_{c2}(T_{p1} - T_\infty) + F_{12} \left(\frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \right) \sigma (T_{p1}^4 - T_{p2}^4) + \varepsilon_1 F_{1c} \sigma (T_{p1}^4 - T_c^4) \quad [\text{Eq.25}]$$

Sendo α_1 o coeficiente global de absorção da parede de vidro, H_β a radiação total incidente nesta superfície (em W/m^2), h_{c1} o coeficiente de transmissão de calor entre a parede de vidro e o ambiente externo, T_{p1} a temperatura superficial da parede de vidro, T_{amb} a temperatura do ambiente externo, h_{c2} o coeficiente de transmissão de calor entre o vidro e o ar no interior da parede, T_∞ a temperatura inicial do ar, F_{12} o fator de forma entre o vidro e a parede interna, ε_1 e ε_2 os o coeficiente de emissividade de ambas paredes (adotado 0,88 e 0,98) T_{p2} a temperatura superficial da parede interna, F_{1c} o fator de forma entre a parede de vidro e o céu, T_c a temperatura do céu e σ a constante de Stefan-Boltzman ($5,6697 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$).

Já para a parede com alta inércia térmica, o balanço térmico foi definido por:

$$\alpha_1 H_t = h_c(T_{p1} - T_\infty) + F_{21} \left(\frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \right) \sigma (T_{p2}^4 - T_{p1}^4) + \frac{h_{c2}}{L} (T_{p2} - T_{p2}) \quad [\text{Eq.26}]$$

Onde α_2 é o coeficiente total de absorção da parede, H_t é a radiação transmitida para a parede pelo vidro, h_c é o coeficiente de transmissão de calor entre a parede e o ar no interior do “sistema

trombe”, F_{21} é o fator de forma entre a parede e a superfície envidraçada, k_2 o coeficiente de transferência de calor por condução da parede e L a espessura do mesmo.

Para determinar a radiação incidente na superfície envidraçada, tomou-se por base a temperatura do céu calculada através da equação proposta por Swinbank (1963 apud Zamora, et al, 2002):

$$T_c = 0,0552 T_{amb}^{1,5} \quad [\text{Eq.27}]$$

Por fim, o coeficiente de transmissão de calor por convecção, adotou-se como referência a equação proposta por McAdams (1954 apud Zamora, et al, 2002), onde v é a velocidade do ar (em m/s).

$$h_c = 5,7 + 3,8 v \quad [\text{Eq.28}]$$

2.3 ESTADO DA ARTE

O primeiro pesquisador a descrever o conceito de uma Parede Trombe foi um americano chamado E. L. Morse em uma patente de 1881 (MORSE, 1881 apud ELLIS, 2003). Também conhecida como Parede solar ou Parede de armazenamento térmico, esta idéia foi repatenteada na década de 70 pelo inventor e engenheiro francês Felix Trombe e pelo arquiteto Jacques Michel (TROMBE, 1974).

A partir de então, diversas pesquisas vêm sendo desenvolvidas em várias partes do mundo no intuito de investigar o desempenho térmico de edificações dotadas deste dispositivo arquitetônico, como é o caso de Bourdeau et al (1980) que modelaram o comportamento de uma parede trombe a partir da variação dos materiais que constituíam este dispositivo através de análises matemáticas pelo método dos elementos finitos.

Ohanessian e Charters (1978) investigaram a potencialidade de aplicação deste sistema para as condições australianas. Por simulação computacional do desempenho térmico da estrutura da parede durante o pior mês de um Inverno em Melbourne a partir de uma adaptação do modelo francês aos métodos convencionais de construção australianos, analisando o efeito do vidro e espessura da parede de concreto sobre o desempenho térmico da edificação conjugada a este sistema.

Sebald et al (1979) analisaram o desempenho de uma parede trombe em três cidades dos Estados Unidos (Albuquerque, Santa Maria e Madison) por meio de simulações computacionais visando o aquecimento passivo e variando parâmetros como azimuth, espessura do canal, espessura da parede com massa térmica, tipo de vidro e capacidade térmica dos materiais, percebendo que nos modelos com parede dupla o atraso térmico chegou a valores entre 9 e 11 horas.

Outro estudo experimental analisou o fluxo do ar no interior da parede trombe, dando um profundo conhecimento sobre os mecanismos fundamentais de fluxo, explorando a transferência de calor por convecção natural envolvidos na ventilação no interior da parede trombe (AKBARZADEH et al, 1982). O comportamento do fluxo do ar obtido nesse trabalho encontra-se apresentado na Figura 14.

Figura 14 - Padrão simplificado do fluxo de ar (a) em torno das aberturas de entrada, (b) ao longo da seção AA e (c) no interior do canal da parede trombe. Fonte: (AKBARZADEH et al, 1982)

Propôs-se também um projeto para estratégias passivas em uma edificação típica para Santiago, no Chile e dentre as soluções propostas para o inverno estão várias configurações de paredes trombe utilizadas para aquecimento. Este estudo levou em consideração simulações computacionais de modo a validar o *software* DEROB, neste caso, sugeriu-se uma parede trombe com vidro duplo cobrindo 33% da área da fachada, que apresentou resultados positivos ao associar-se a janelas. As paredes devem ter alta densidade e condutividade térmica (como barro e pedra) com valores aproximados para densidade de 2200Kg/m^3 e condutividade de $1,4\text{W/mK}$. Para paredes com espessura entre 0,15 e 0,25 m, recomenda-se 3% de área de aberturas em relação a área total da parede, enquanto que para paredes mais espessas, com aproximadamente 40cm, recomenda-se 6% de área de aberturas, devido a alta inércia térmica deste componente (MULLER, 1998).

Mootz e Bezan (1996) elaboraram um estudo numérico avaliando dentre outros aspectos a influência da espessura do canal no desempenho e eficiência da parede trombe, calculada em função das variáveis externas e das propriedades da parede trombe (Figura 15). Os resultados indicaram que espaçamentos maiores favoreciam o aproveitamento da energia solar para o funcionamento da parede trombe, durante os períodos de sol e reduz as perdas de calor no período da noite.

Figura 15 - Rendimento da parede trombe em função da espessura do canal.

Fonte: (MOOTZ and BEZIAN, 1996)

Gan (1998) simulou um modelo de parede trombe para o verão em CFD (*Computational fluid dynamics*) tomando partido da ventilação natural e analisando todas as trocas de calor.

A partir destas simulações, realizou-se um estudo numérico com base nos parâmetros que podem influenciar no desempenho deste dispositivo, como largura e altura do canal, nível de isolamento e os ganhos de calor (Figura 16).

Figura 16 - Efeito da largura das aberturas e da espessura da parede no fluxo de ar para uma parede trombe. Fonte: (GAN, 1998).

Imessad e Belhamel (1999) avaliaram o desempenho de uma parede trombe para aquecimento a partir de medições in loco no Norte da Argélia e verificaram o comportamento da temperatura no interior do canal a partir de dois modelos básicos: com e sem a parede trombe, além de verificar o efeito do uso de dispositivos de proteção solar de forma integrada a este dispositivo. A figura 17 apresenta os resultados obtidos evidenciando o amortecimento e atraso térmico proporcionados pelo uso deste elemento (a) e a partir da implantação do dispositivo de proteção solar (b) que chegou a diminuir a temperatura no interior da parede trombe em aproximadamente 3°C.

Figura 17- Análise da temperatura do ambiente estudado por Imessad e Belhamel (1999) Fonte: (IMESSAD e BELHAMEL, 1999)

Gan (1998) afirmou também a partir de seus estudos que à medida que a área das aberturas de entrada e saída e a espessura do canal são aumentadas, a ventilação natural também é melhorada no interior dos ambientes dotados deste dispositivo. A utilização de vidros duplos ao invés de vidros simples em uma parede trombe além de reduzir as perdas de calor no inverno, também aumenta a refrigeração passiva no verão. Para melhorar o desempenho da parede trombe em relação à ventilação natural, a superfície interna deverá estar isolada termicamente, impedindo também o aquecimento excessivo do ar interno em decorrência da transferência de calor por radiação.

Realizou-se também uma avaliação das paredes trombe construídas no centro de visitantes do Parque Nacional de Zion e no Edifício de entrada do Laboratório Nacional de Energia Renovável (NREL), nos Estados Unidos, por meio de imagens em infravermelho, constatando um aumento no aquecimento para estes ambientes na ordem de 20% (TORCELLINI and PLESS, 2004).

Zalewski et al (2002) analisaram o desempenho de quatro diferentes configurações de paredes solares e duas destas configurações eram de paredes trombe (isolada e para aquecimento) visando proporcionar diretrizes de projetos para arquitetos e projetistas em geral, validando um modelo de simulação térmica, que mostrou-se eficiente para avaliação do desempenho destes sistemas construtivos.

Nowzari e Atikol (2009) investigaram o desempenho de uma parede trombe em um edifício com dois pavimentos, por meio de simulações computacionais utilizando o software TRNSYS. Deste modo, concluíram que aproximadamente 95% da demanda para aquecimento da área onde localiza-se este componente poderia ser atendidos a partir da sua implantação, com 15m² de área, incrementando este dispositivo com um isolamento de 5 cm de espessura, mantendo a temperatura da sala entre 19 e 21,5°C. Comparou-se também neste estudo a viabilidade econômica da construção de uma parede trombe comparando-o com a instalação de um aquecedor a gás de 3kW e esta alternativa apresentou-se viável para promoção de eficiência energética nos edifícios.

Chen et al (2005) realizaram uma análise do efeito de sombreamento no desempenho de uma parede trombe na China, inserindo uma cortina no interior do canal de ar, conforme é possível observar na Figura 18. A utilização de sombreamento no canal da parede trombe é uma forma eficaz de melhorar seu desempenho térmico, pois ao usar o sombreamento pode diminuir a perda de calor por convecção da caixa de ar e impedir a transferência de calor radiante a partir da superfície envidraçada para o exterior.

Figura 18 - Foto do experimento de Chen et al (2005).

Fonte: (CHEN et al, 2005)

Este ambiente padrão foi dimensionado com 41,00 m³ (3,90 x 3,90 x 2,70 m) e a espessura da parede com alta inércia térmica foi 0,30m de concreto. Em uma das paredes trombe, foi inserido um sombreamento no interior da parede trombe. este sombreamento interno diminuiu as perdas de calor do sistema analisado para o ambiente externo entre 20% e 40%, além de aumentar seu desempenho.

Baseado nos estudos de Gan (1998), Ruiz et al (2005) analisaram a utilização de paredes trombe para diversos climas da Espanha, gerando propostas para o projeto deste elemento, para as situações estudadas a partir de três combinações (sempre fechada no verão, com fluxo apenas do ar exterior e fluxo de ar do interior para o exterior promovendo ventilação natural).

Chel et al (2008) investigou o desempenho deste componente por meio de simulação computacional utilizando o software TRNSYS, para um edifício de armazenamento de mel, na Índia, que exige temperatura controlada. A hipótese foi controlar esta temperatura por meios passivos, minimizando assim o uso de radiadores a óleo, que emitem grande quantidade de CO₂. As paredes trombe ventiladas promoveram um controle da temperatura interna, mantendo-a na faixa desejada e proporcionando uma economia de até 3312kWh/ano, além da redução de aproximadamente 33 toneladas/ano da emissão de CO₂ na atmosfera.

Llovera et al (2011) apresentaram o desempenho de uma edificação real, construída em 2003 e ocupada desde 2004 em Andorra. Este projeto foi idealizado a partir de uma série de combinações de sistemas de energia solar passiva e ativa e de eletricidade noturna e uma das estratégias utilizadas foi uma parede trombe na fachada sul. Esta avaliação foi realizada tanto no inverno quanto no verão e a parede trombe apresentou bom desempenho nas duas situações, de modo que os projetistas (autores do estudo) propuseram usar o ar aquecido por este dispositivo para outros ambientes onde foram identificadas falhas de projetos.

Este dispositivo também foi avaliado quando integrado com sistemas de células fotovoltaicas, pois sabe-se que mais de 80% da energia solar irradiada na célula fotovoltaica é convertida em energia térmica e não em energia elétrica. Ao inserir este sistema em uma parede trombe, o calor é dissipado pelo fluxo de ar no interior do canal, aumentando a eficiência destas células, além de promover aquecimento nos espaços internos.

Brinkworth (et al. 1997) afirmaram que com um bom projeto, uma parede trombe incrementada com células fotovoltaicas, pode reduzir em até 15°C a temperatura das células, aumentando a eficiência da geração de energia elétrica em 8,3%.

Jie et al (2007) modelaram e realizaram medições em um sistema de parede trombe (Figura 19) com célula fotovoltaica integrada e concluíram que era uma proposta viável, por proporcionar uma diminuição de até 10,6°C na temperatura das células, além de incrementar em 5,0% a eficiência elétrica devido as trocas térmicas entre as células e o ar no interior do duto para este caso.

Figura 19 - Foto do modelo utilizado por Jie et al (2007).

Fonte: (JIE et al, 2007)

Da mesma forma, Sun et al (2011) realizaram medições e modelagem numérica em um sistema integrado Parede Trombe / Células Fotovoltaicas (PVTW – Photovoltaic Trombe Wall) e encontraram valores calculados próximos aos medidos (Figura 20), para o clima frio no inverno chinês. Observou-se que as células fotovoltaicas adicionadas sobre o vidro reduziram a capacidade de aquecimento da parede trombe, para uma cobertura de 33,4% da superfície envidraçada, esta redução foi de 7% e para uma cobertura de 100% da área de vidro, o aquecimento foi reduzido em

17%, despertando a necessidade de dimensionar a área com cobertura fotovoltaica de acordo com a latitude do lugar e o uso que a edificação se destina, tornando-se uma importante estratégia para elaboração de edifícios mais eficientes do ponto de vista energético.

Figura 20 - Comportamento da temperatura nas superfícies da parede trombe (a) e da geração da energia pelas células fotovoltaicas (b) para os valores medidos (M) e calculados (C)

Fonte: (SUN *et al*, 2011)

Jie et al (2009) inseriram o isolamento térmico no interior da parede com alta inércia térmica, verificando o seu desempenho para o clima rigoroso do inverno chinês e concluíram que a temperatura do ar no interior da edificação eleva-se devido à menor capacidade de acumular calor nesta parede, tornando o ar que circula na edificação e no sistema trombe mais aquecido. Enquanto na parede trombe convencional a eficiência de operação é em torno de 21,69%, para a parede trombe modificada, esta eficiência ficou em 33,85% que corresponde a um aumento de 56% no desempenho deste dispositivo.

Outro estudo analisou uma variação na tipologia e configuração da parede trombe a partir do método das diferenças finitas, e de resultados por simulações computacionais para a parede trombe composta e uma convencional (Figura 21). Encontrou-se então um desempenho mais satisfatório para o sistema composto no que se refere a climas frios e/ou nublados, como é o caso do clima chinês (SHEN et al, 2007).

Figura 21- Esquema dos sistemas trombe utilizados por Shen et al (2007) convencional e composta (dimensões em milímetros)

Fonte: (SHEN *et al*, 2007)

Outra adaptação foi realizada por Adams et al (2010), que modificaram o canal de ar inserindo uma caixa com água em três espessuras diferentes: 3, 6 e 9 polegadas, monitorando o desempenho térmico no interior e exterior do volume dotado de parede trombe. Os modelos com 6 e 9 polegadas de espessura da camada de água apresentaram melhor desempenho por promoverem um maior amortecimento na distribuição da temperatura, permitindo que o ambiente esteja confortável termicamente tanto no verão quanto no inverno.

Younsi et al (2010) realizaram um estudo experimental de modo a caracterizar as propriedades termofísicas de um material que possibilita uma mudança de fase decorrente do aquecimento da superfície, com ponto de fusão em 26.9°C e ponto de solidificação em 23.5°C, permitindo um maior armazenamento de calor na parede trombe.

Sacht et al (2011) investigaram o uso de paredes trombe em fachadas modulares para quatro cidades portuguesas, por meio de simulações computacionais utilizando o software *designbuilder®*, para dois tipos de revestimento (07 Bioclean 4 mm - PLANILUX 4 mm), obtendo valores para o consumo energético abaixo do recomendado pela norma RCCTE para os recomendados em Portugal. Eles identificaram também que para uma fachada modular em Portugal, uma área de 6,25m² (2,50m x 2,50m) para a superfície envidraçada é suficiente, não sendo necessário uma segunda parede trombe.

Koyunbaba e Yilmaz (2012) realizaram um estudo comparativo entre três configurações de paredes trombe, com vidro simples, vidro duplo e painéis fotovoltaicos analisando os resultados obtidos por simulação em CFD (Computational Fluid Dynamics) e por meio de medições in loco (Figura 22).

(a)

(b)

Figura 22 - (a) Foto da Célula teste utilizada por Koyunbaba e Yilmaz (2012) e (b) o comportamento da temperatura interna obtido a partir das três configurações analisadas por medições experimentais.

Fonte: adaptado de (KOYUNBABA E YILMAZ, 2012)

Outro estudo recente realizado na África do Sul por Conradie e Kumirai (2012) avaliou o desempenho ambiental de um complexo de edifícios da University of Fort Hare, uma edificação com multipavimentos que combinou em seu projeto um aerofólio com uma parede trombe (Figura 23), de modo a aproveitar melhor o efeito da ventilação natural e aquecimento solar passivo. Este estudo se deu por meio de 274 simulações em CFD para 5 direções do vento (0°, 50°, 90°, 140° e 180°) e constatou-se que estes dois componentes apresentaram bom desempenho de forma conjunta, porém, embora este sistema melhore o desempenho térmico da edificação, a parede trombe

localizada nos pavimentos inferiores apresentam maior potencial para refrigeração e aquecimento do ambiente que as demais, localizadas nos pavimentos superiores (Figura 24).

Figura 23 - (a) Corte esquemático e (b) vista da fachada contendo as paredes trombe do edifício investigado por Conradie e Kumirai (2012).

Fonte: (CONRADIE e KUMIRAI, 2012).

Figura 24 - Taxa de Renovação do ar medido e estimado para os 04 pisos do edifício analisado para a direção do vento de 50°.

Fonte: (CONRADIE e KUMIRAI, 2012).

As paredes trombe também foram investigadas para o clima do mediterrâneo (JABER e AJIB, 2011) avaliando seu potencial térmico e econômico para a cidade de Amã e identificando benefícios na redução da energia auxiliar quanto no consumo de combustível para aquecimento.

Stazi et al (2012) também realizaram um monitoramento para paredes trombe no verão em climas do mediterrâneo para uma edificação residencial, os resultados indicaram que a ventilação e o

sombreamento permitiram a diminuição de aproximadamente $1,4^{\circ}\text{C}$ e um menor ganho de calor diário na ordem de $0,5\text{MJ/m}^2$.

Outro tipo de parede trombe parte de uma configuração em zigue-zague (Figura 25). Este sistema é projetado para reduzir o ganho de calor excessivo durante os dias de verão. A parede é composta por três seções. Uma seção voltada para o sul e as outras duas seções foram edificadas de modo a produzirem uma forma de V (SAADATIAN et al, 2012). A seção voltada para o sudeste apresenta uma janela que fornece calor por meio do aquecimento solar, diminuindo o frio da manhã, quando necessário. O desenho em zigue-zague também incorpora uma saliência exterior para evitar o superaquecimento durante os dias quentes de verão. Um protótipo deste tipo de parede Trombe com cinco seções em forma de V foi construído no centro de visitantes do National Renewable Energy Laboratory (NREL, 2012). Outro exemplo é um edifício residencial que apresenta 1200 m^2 de paredes trombe em zigue-zague edificado na Carolina do Norte.

Figura 25 - Edifício na Carolina do Norte com paredes trombe em zigue-zague.

FONTE: (SAADATIAN et al, 2012).

O estudo de Liu et al (2013) avaliou o potencial de aplicação de uma fachada ventilada com material que apresenta mudança de fase em quatro configurações de circulação do ar, a ser aplicado no período de aquecimento da região mediterrânea que tanto poderiam ser acionadas por ventilação natural quanto por pequenos ventiladores que promoviam ventilação mecânica (Figura 26) a depender das condições meteorológicas e da demanda energética do edifício.

Figura 26 - (a) - (d) configurações de aberturas investigadas por Liu et al (2013) e (e) esquema da parede ventilada indicando o ventilador para indução da ventilação mecânica.

Fonte: Liu et al (2013)

Concluiu-se com este trabalho que a utilização da fachada ventilada com material que apresente mudança de fase melhora significativamente o comportamento térmico de todo o edifício. No entanto, estas melhorias podem ser potencializadas se o controle térmico for automatizado. Além disso, o consumo de energia elétrica medido das bombas de calor e os ventiladores indicaram que a utilização de uma ventilação mecânica, neste sistema, não se justifica, caso seja necessário um fornecimento rápido de aquecimento no edifício (o que corrobora a tese de uma automação no sistema). No entanto, os resultados experimentais mostraram que o uso de ventilação mecânica durante períodos de baixa demanda de aquecimento pode produzir maior consumo de energia elétrica de todo o sistema, uma vez que a energia economizada pelos sistemas de condicionamento térmico não compensa a energia elétrica consumida pelos ventiladores.

O uso de materiais com mudança de fase, deve ser cuidadosamente analisado, pois neste caso, o material apresentava uma temperatura de fusão muito baixa (20°C) e forneceu quase nenhuma melhoria térmica no sistema, fazendo com que uma parte do calor latente armazenado fosse injetado para o ambiente interno (LIU et al, 2013).

Para o Brasil, poucos estudos foram encontrados na bibliografia referente ao tema, como o trabalho de Figueira et al (2003) onde foram realizadas medições in loco para avaliar o desempenho de uma parede trombe para o clima do Sul do país. Este sistema contou com garrafas cheias de água para auxiliar no armazenamento térmico, conforme apresentado na Figura 27. Foi observado um atraso térmico de 4 a 5 horas entre o pico de radiação e o pico de calor acumulado na parede trombe.

Figura 27 – Modelo físico utilizado para as medições de Figueira et al (2003)

Fonte: (FIGUEIRA et al, 2003)

Esta parede trombe está localizada no Laboratório de Energia Solar da UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul), conforme apresentado na figura 28. Ela está localizada na fachada norte e possui cerca de 26m^2 inclinada a 50° e funciona de modo a promover a convecção natural na câmara de ar deste sistema. Outro fator importante é a superfície isolante no interior da parede com alta massa térmica, impedindo a emissão de calor para o ambiente interno (FIGUEIRA, 2005).

(a)

(b)

Figura 28 - Parede Trombe do Laboratório de Energia Solar da UFRGS (a) Vista externa e (b) Interna.

FORTE: FIGUEIRA, 2005

Figura 29– Perspectiva do projeto proposto por Vettorazzi et al (2010).

Fonte: (VETTORAZZI *et al*, 2010)

Vettorazzi et al (2010) elaboraram um projeto para habitação unifamiliar na cidade de Santa Maria – RS (Figura 29), tomando por base os princípios bioclimáticos propostos na norma europeia Passivhaus, também chamada de Passive-On e incorporaram neste projeto uma parede trombe, porém de forma empírica. Este dispositivo foi implantado na fachada oeste e protegido por uma vegetação evitando o superaquecimento da edificação no verão.

Cavalcanti et al (2011) investigaram o uso de paredes trombe em um projeto de habitação de interesse social (HIS) para a cidade de São Carlos-SP e concluíram que este sistema pode ser utilizado sem restrição tanto para promover refrigeração por meio da ventilação natural no verão quanto para promover o aquecimento solar passivo no inverno, minimizando assim o uso de ventiladores, ar condicionados e aquecedores nas edificações obtendo temperaturas entre os limites da zona de conforto estabelecida pela ASHRAE-55 (ASHRAE, 2004).

Recentemente, Kruger et al (2013) investigaram por meio de experimentos o potencial de uso das paredes trombe para a cidade de Curitiba (Figura 30) e por meio de equações estenderam estes resultados para Porto Alegre e Florianópolis e em todos os casos, observando um potencial de aproximadamente 30% na redução do consumo de energia, sendo Curitiba a localidade onde este sistema apresentou melhores resultados, que seriam catalisados caso houvesse automação no sistema de abertura e fechamento das aberturas.

Figura 30 - Célula teste construídas por Kruger (et al 2013)

Fonte: Kruger (et al 2013)

O estudo de Ruiz-Prado et al (2010) propôs uma correção no método de cálculo para planejamento e avaliação do desempenho térmico e energético em edifícios proposto pela Norma Europeia e Internacional UNE-EN ISO 13790, pois esta norma também propõe um método de cálculo para o ganho térmico em elementos especiais, como é o caso das paredes trombe. Os métodos propostos pelos autores apontaram para uma melhor relação quando comparado aos valores obtidos por simulação, enquanto os valores calculados pelo método proposto na norma distorciam destes valores.

Percebe-se então que para propor um sistema construtivo diferenciado para o clima brasileiro, é necessário entender seu funcionamento e avaliar seu desempenho quanto às necessidades dos usuários da edificação em questão, adequando seu projeto às recomendações das normas locais.

Ilustração de Luciano Dutra (in: WESTPHAL, Fernando S.; Simulação de Desempenho Térmico e Energético de Edificações; Palestra realizada no Encontro sobre sustentabilidade em empreendimentos e empresas da construção, São Paulo, 2007.)

Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/noticentro/2007/10/fernando_westphal.pdf <<Acesso em Setembro de 2012>>

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os objetivos propostos neste trabalho foram cumpridos de acordo com a metodologia descrita neste capítulo, que apresenta desde a modelagem computacional no software de simulação utilizado, detalhamento dos sistemas construtivos até a descrição da elaboração do modelo matemático simplificado, procedimentos base para as recomendações de projeto contidas nesta tese.

Esta metodologia foi baseada em estudos paramétricos obtidos a partir de simulações computacionais, utilizando o software EnergyPlus, considerado internacionalmente como um dos melhores softwares da atualidade, de modo a obter a melhor configuração de uma parede trombe, tornando possível a utilização deste dispositivo arquitetônico em edificações construídas no Brasil. A partir destas simulações também foi possível avaliar o desempenho das edificações analisadas quanto ao conforto térmico, verificando o impacto que o uso deste dispositivo pode proporcionar em edificações localizadas no Brasil.

De posse dos dados obtidos por simulação, foi obtido um modelo simplificado a partir das análises paramétricas realizadas neste trabalho, de modo que seja possível estimar o desempenho térmico para um ambiente padrão que seja projetado e construído utilizando o dispositivo arquitetônico estudado.

Além disto, foram elaboradas recomendações projetuais para que profissionais de projeto possam vir a utilizar este dispositivo de forma consciente no território brasileiro.

Após estas recomendações foi desenvolvido um aplicativo para dispositivos móveis com sistema operacional *Android*, onde estas recomendações foram inseridas com base nos modelos que apresentaram o melhor desempenho térmico nas localidades analisadas neste trabalho.

Para entender melhor o roteiro utilizado nesta tese, é possível visualizar na figura 31 o processo de produção dos resultados aqui contidos, que é apresentado a seguir de forma detalhada, tornando possível adaptar ou reutilizar esta metodologia em trabalhos futuros.

Figura 31 - Esquema da metodologia adotada neste trabalho.

3.1 SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS – ENERGYPLUS

As paredes trombe vem sendo simuladas em computadores desde o seu ressurgimento na década de 70. Nos primeiros modelos, foi utilizada uma rede térmica com vários "nós" para simular uma parede trombe (Balcomb *et al.* 1977). Uma série de programas de simulação térmica são capazes de modelar paredes trombe, incluindo BLAST, DOE-2, TRNSYS, SUNREL e ESP-r (ELLIS, 2003), no entanto, para este trabalho, optou-se em trabalhar com o software Energyplus para simulação do desempenho térmico de edificações dotadas de parede trombe por se tratar de um software difundido no mercado de edifícios eficientes do ponto de vista energético e considerado um dos melhores da atualidade por ser livre, além de conseguir simular com todas as cargas térmicas internas e variáveis climáticas da localidade onde o edifício será inserido. Para este trabalho, foi utilizado o software na versão 7.0.

3.1.1 Parede trombe não ventilada

Embora o algoritmo de simulação do E+ (EnergyPlus) considere a transferência de calor de modo unidimensional, ainda é considerado como um dos melhores da atualidade para este tipo de simulação. Para modelagem deste sistema dentro do software em questão utilizou-se as recomendações de Ellis (2003):

A parede Trombe foi modelada utilizando objetos conhecidos do EnergyPlus. Uma zona especial foi definida na câmara de ar entre a parede com alta inércia térmica e a superfície envidraçada. Estas são superfícies do EnergyPlus. A parede está ligada à zona principal como uma partição interna. O vidro é uma janela muito grande que cobre grande parte da parede exterior da zona. Se uma superfície seletiva for usada, ela deverá ser definida como um material com as propriedades térmicas relevantes na definição da construção do sistema.

Esta abordagem foi escolhida para aproveitar os recursos existentes de transferência de calor no E+ e permitir alguma flexibilidade para projetos de modelagem de parede trombe.

Ellis (2003) também recomenda a utilização de um algoritmo especial de convecção (Figura 32) que foi validado em seu trabalho, para modelos digitais com parede trombe, devido à geometria não convencional das aberturas, enquanto nas aberturas convencionais a relação largura/altura é na ordem de um, na parede trombe este valor pode chegar entre 10 e 100, alterando os fenômenos convectivos de transferência de calor na região.

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		496	503
Direction of Relative North	deg	0	0
X Origin	m	0	0
Y Origin	m	0	0
Z Origin	m	0	0
Type		1	1
Multiplier		1	1
Ceiling Height	m		
Volume	m3	705.341	21.8309
Zone Inside Convection Algorithm		AdaptiveConvectionAlgorithm	TrombeWall
Zone Outside Convection Algorithm			
Part of Total Floor Area			

Figura 32 - Exemplo com o algoritmo específico para simulação de uma parede trombe no EnergyPlus

Para estas simulações, considerou-se o ambiente padrão com um ocupante e uma lâmpada de 40W ligada apenas no período da noite, minimizando as cargas térmicas internas desta edificação.

Este algoritmo utilizado no software Energyplus é baseado na ISO 15099¹⁰, fornece os coeficientes de convecção do ar em uma cavidade vertical estreita. Estes coeficientes são a principal diferença entre uma zona normal e uma zona no interior da parede trombe (ENERGYPLUS, 2012). A correlação com a ISO 15099 é obtida pela determinação destes coeficientes, onde inicialmente, calcula-se o número de Nusselt¹¹:

¹⁰ ISO 15099. Thermal Performance of Windows, Doors and Shading Device—Detailed Calculations. International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland. www.iso.org. 2003.

¹¹ O Número de Nusselt é uma grandeza bastante utilizada para a determinação do coeficiente de transferência de calor por convecção, baseada na análise dimensional, na qual é utilizada para determinar parâmetros através de relações de similaridade.

$$Nu_1 = 0,0673838 (Ra)^{1/3} \quad \text{para } 5 \times 10^4 < Ra < 10^6 \quad [\text{Eq.29}]$$

$$Nu_1 = 0,028154 Ra^{0,4134} \quad \text{para } 10^4 < Ra < 5 \times 10^4 \quad [\text{Eq.30}]$$

$$Nu_1 = 1 + 1,7596678 (10^{-10}) Ra^{2,2984755} \quad \text{para } Ra \leq 10^4 \quad [\text{Eq.31}]$$

$$Nu_2 = 0,242 (Ra/s)^{0,272} \quad [\text{Eq.32}]$$

$$Nu = \text{Max} (Nu_1, Nu_2) \quad [\text{Eq.33}]$$

O coeficiente de convecção líquida entre o vidro e a parede é:

$$h_l = k \left(\frac{Nu}{R} \right) \quad [\text{Eq.34}]$$

O coeficiente de convecção aplicada para cada superfície separadamente e utilizada na zona térmica é:

$$h_v = 2h_l \quad [\text{Eq.35}]$$

Onde:

Nu - Número de Nusselt

Ra - Número de Rayleigh

s - Razão do aspecto da cavidade

k - Condutividade do ar (W/m².K)

R - espaçamento entre as placas (m)

h_l - Coeficiente de convecção líquida (W/m².K)

h_v - Coeficiente de convecção (W/m².K).

3.1.2 Parede trombe ventilada

Já para a parede trombe ventilada optou-se por utilizar o módulo *AirflowNetwork*. No módulo relacionado à ventilação natural são determinados os links (entradas) do fluxo de ar, as características do entorno da edificação, as condições de abertura das janelas e portas e as condições de ventilação. O algoritmo permite que sejam criados *schedules* (agendas) de controle, de disponibilidade de ventilação, entre outras.

Para estas simulações, os coeficientes de pressão foram inseridos diretamente pelo usuário. A obtenção de dados precisos de coeficiente de pressão demanda um esforço considerável. Ao mesmo tempo existe uma grande oferta de valores “aproximados” a partir de medições já realizadas em alguns Institutos de Pesquisa.

O coeficiente de pressão do vento (C_P) indica as relações entre a pressão dinâmica de vento livre e as pressões exercidas pela ventilação natural em diferentes pontos das superfícies externas de um volume. Para edificações, os valores de C_P dependem da forma, da direção do vento e da influência de obstruções como edificações vizinhas, vegetação e características locais do terreno e não dependem do tamanho do corpo que recebe a pressão, mas sim das proporções entre as dimensões de suas faces.

Devido à complexidade para determinação deste coeficiente, uma forma de determiná-lo é a base de dados medidos no Japão (Wind Effects on Buildings and Urban Environment¹²). Nesta base de dados pode-se escolher a geometria da edificação e as proporções desta para analisar os resultados encontrados dos coeficientes de pressão. Para o caso deste trabalho, porém, optou-se

¹² http://www.wind.arch.t-kougei.ac.jp/info_center/windpressure/

por considerar o algoritmo de cálculo do Coeficiente de Pressão contido no Energyplus (*SurfaceAverageCalculation*) devido a geometria retangular do modelo que permite a utilização deste recurso, não sendo necessário utilizar os valores obtidos em outras pesquisas, como a citada anteriormente. Para edificações de pequeno porte, o programa EnergyPlus utiliza a equação de Swami e Chandra (1988), apresentada na Figura 33.

C_p is a function of location on the building envelope and wind direction. When Wind Pressure Coefficient Type = "INPUT", the C_p values are explicitly defined in the input for AirflowNetwork:Multizone:Wind Pressure Coefficient Values. When Wind Pressure Coefficient Type = "AVERAGE-SURFACE CALCULATION" and the building shape is rectangular, the program uses the following equations to calculate wind pressure coefficient (C_p) values for different wind directions. For a low rise building, the normalized surface pressure coefficient may be written as (Swami and Chandra 1988):

$$C_{p,n} = 0.6 \ln \left[\frac{1.248 - 0.703 \sin(\alpha/2) - 1.175 \sin^2(\alpha) + 0.131 \sin^3(2\alpha G)}{+0.769 \cos(\alpha/2) + 0.07 G^2 \sin^2(\alpha/2) + 0.717 \cos^2(\alpha/2)} \right]$$

where

$C_{p,n}$ = C_p value at a given angle between wind direction and the outward normal of the surface under consideration [dimensionless]

α = Angle between wind direction and outward normal of wall under consideration [deg]

G = Natural log of the ratio of the width of the wall under consideration to the width of the adjacent wall [dimensionless]

n = Index of incident angle at 30-degree increments

Figura 33 - Fórmula de Swami e Chandra (1988).

Fonte: (ENERGYPLUS, 2012)

O módulo *AirflowNetwork* do EnergyPlus, apresentado por Gu (2007), permite simular fluxos de ar causado pela ação dos ventos em múltiplas zonas através de um modelo de rede. O modelo calcula a pressão em cada nó e o fluxo de ar em cada componente de acordo com a pressão do vento e as relações entre cada elemento de abertura de forma dinâmica em simulações horárias. Através das taxas de ventilação são calculados os valores de temperatura do ar e umidade relativa.

O módulo *AirflowNetwork* do EnergyPlus considera a edificação como uma trama, onde cada zona da edificação pode ser representada por um nó e o ambiente externo é representado por nós em cada fachada. As interações entre as zonas são representadas por conexões de fluxo ar como janelas, frestas e portas. As interações com o ambiente externo são feitas a partir de conexões de fluxo de ar com os nós do ambiente externo. Para todos os nós, zonais e externos, são atribuídos valores de pressão. A Figura 34 apresenta uma rede de fluxo de ar em uma edificação.

Figura 34 - Planta esquemática de uma edificação com sua rede de fluxo de ar.

O controle das aberturas foi elaborado segundo agendamentos nas configurações iniciais da modelagem computacional dentro do software utilizado para as simulações, estas configurações serão apresentadas a seguir, juntamente com a descrição dos modelos simulados neste trabalho.

3.2 DESCRIÇÃO DOS MODELOS DIGITAIS

O ambiente padrão tem dimensões de 4,00 x 4,00m com pé direito de 3,00m e possui uma parede trombe na fachada sem sombreamento, orientada para o norte, sul ou oeste (conforme descrito posteriormente) com todas as paredes pintadas de branco (absortância $\alpha=0,27$), com exceção da parede com alta inércia térmica que apresenta sua superfície externa (superfície voltada para o interior do canal de ar da parede trombe) pintada de preto (absortância $\alpha=0,97$).

Este ambiente será simulado entre outros dois volumes semelhantes, de modo a verificar as trocas térmicas entre a fachada e o ambiente externo apenas pelas fachadas onde estão localizadas as aberturas, por isto, a única zona simulada foi a sala central.

A fachada que apresenta a parede trombe foi modelada completamente exposta à radiação solar, enquanto a fachada oposta apresenta um protetor solar de 3,00m de largura, criando um espaço de transição entre o interior e o exterior e evitando que a radiação direta influencie de forma demasiada no aquecimento da zona a ser analisada, conforme apresentado por Gomes e Bittencourt (2011) que comprovaram a eficiência de áreas de transição no sombreamento durante os horários de temperaturas mais altas ao longo do ano.

A perspectiva do modelo simulado neste trabalho encontra-se apresentada na figura 35, indicando as fachadas com a parede trombe e a fachada oposta, com sombreamento.

Figura 35 - Perspectiva do modelo a ser simulado com vista para a (a) fachada com a parede trombe e para a (b) fachada oposta, onde será inserido o dispositivo de proteção solar.

A figura 36 apresenta uma planta do conjunto de salas e um corte esquemático da sala simulada neste trabalho, nela é possível identificar as dimensões do ambiente padrão e de seus elementos, como dimensões e peitoril das aberturas, indicação dos parâmetros de projeto que foram

considerados variáveis nesta pesquisa e o dimensionamento de todos os componentes da parede trombe, de modo a perceber como será a análise dos modelos simulados.

Figura 36 - Planta baixa (a) e Corte (b) do modelo a ser simulado com destaque para a zona analisada.

A orientação Norte apresentada na figura 36a é a orientação que a literatura indica para implantação da parede trombe em edificações localizadas no hemisfério sul, porém, no decorrer deste trabalho, surgiu a necessidade de verificar outras orientações, conforme será apresentado e discutido posteriormente.

Esta configuração foi escolhida para adaptar-se à tipologia de edifícios de escritórios, salas de aula e demais edificações que apresentem disposição em fila com circulação linear entre os ambientes conforme apresentado por Cândido (2006) que indicou as duas principais tipologias de edifícios de escritórios apresentadas na figura 37.

Figura 37 - Principais Tipologias encontradas para Edifícios de Escritório (a) Edifícios com corredor lateral e (b) Edifícios com corredor central.

Fonte: (CÂNDIDO, 2006).

Os sistemas construtivos adotados para as simulações deste trabalho estão descritos na Tabela 1, onde é possível observar as propriedades termofísicas dos materiais utilizados como dados de entrada para o software *EnergyPlus*.

Tabela 1 - Relação dos componentes e suas propriedades

Paredes				Piso				Laje			
Parede de tijolo com revestimento em argamassa (espessura variável)				Piso em concreto (10,0 cm) com revestimento cerâmico				Laje em concreto armado (15,0 cm) com mais 5,0cm de isolamento			
Componente	λ (W/m °C)	ρ (Kg/m ³)	c (J/Kg °C)	Componente	λ (W/m °C)	ρ (Kg/m ³)	c (J/Kg °C)	Componente	λ (W/m °C)	ρ (Kg/m ³)	c (J/Kg °C)
Tijolo cerâmico 08 furos 19x19x09cm	0,40	1200	960	Concreto armado	1,75	2400	1005	Concreto armado	1,75	2400	1005
Argamassa de revestimento	0,85	2000	1005	Piso cerâmico	1,10	2000	1005	Isolante térmico	0,04	18	1675

Onde:

λ – Condutividade Térmica;
 ρ – Massa específica (densidade);
 c – Calor específico.

3.3 DESCRIÇÃO DOS PARÂMETROS VARIÁVEIS

As simulações neste trabalho foram realizadas a partir do modelo de edifício padrão apresentado anteriormente e das variações paramétricas para as quais se deseja investigar a influência no desempenho térmico. Os parâmetros variados neste trabalho estão apresentados na Tabela 2, cujo impacto de cada variável será analisado em conjunto com os demais que também influenciam seu desempenho térmico.

Tabela 2 - Resumo das variáveis adotadas para as simulações.

Variáveis				
Área das aberturas	Espessura da parede com alta inércia	Tipo de fechamento da superfície envidraçada	Área da Superfície envidraçada	Distância: Parede - Vidro
(%)	(m)	(-)	(%)	(m)
3	0.15	Vidro simples 3 mm	50	0.05
6	0.30	Vidro duplo	75	0.10
	0.45	Tijolo de vidro	100	0.15

A seguir serão detalhados estes parâmetros de modo a permitir um melhor entendimento das combinações realizadas para as simulações neste trabalho.

3.3.1 Área da superfície envidraçada

A área da superfície envidraçada deve ser analisada de modo a verificar a influência que a variação deste parâmetro pode ter no desempenho térmico do edifício a partir da adoção do uso deste componente com diversas configurações, seja para aquecimento ou para refrigeração. Esta área coletora variou entre 50%, 75% e 100% da área da face norte de cada ambiente.

Deste modo, a largura da parede trombe foi variada neste trabalho, enquanto a altura deste componente permaneceu constante durante as simulações para que a diferença de altura (ΔH) entre as aberturas para circulação do ar não fosse alterada.

A parede trombe apresenta nestas simulações áreas para coleta de radiação solar de 6,0m², 9,0m² e 12,0m², tendo em vista que a área de fachada de um ambiente padrão (sala analisada) é 12,0m², para as larguras de 2,0m, 3,0m e 4,0m respectivamente e altura fixa em 3,0m.

3.3.2 Área das aberturas

A variação deste parâmetro baseou-se nos estudos de Muller (1998) que indicou a área de abertura ideal para que a parede trombe apresentasse melhor desempenho. Esta área é calculada em função da área da parede trombe. As dimensões das aberturas foram calculadas variando apenas a altura do vão, que permanecerá durante todas as simulações com largura constante, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Detalhamento das dimensões das aberturas na Parede Trombe

Parede Trombe (6,0m ²)		Parede Trombe (9,0m ²)		Parede Trombe (12,0m ²)	
3%	6%	3%	6%	3%	6%
1,80 x 0,10 m	1,80 x 0,20 m	2,70 x 0,10 m	2,70 x 0,20 m	3,60 x 0,10 m	3,60 x 0,20 m

Estas aberturas foram construídas (digitalmente) com peitoril de 0,20m para as aberturas inferiores e 2,60m para as aberturas superiores, conforme apresentado anteriormente em corte.

3.3.3 Tipo de vidro

O tipo de fechamento da superfície envidraçada interfere diretamente no desempenho da parede trombe, pois a depender do vidro utilizado uma maior ou menor quantidade de radiação solar irá aquecer o ar no interior do canal e promoverá o seu funcionamento de forma otimizada.

Para esta análise considerou-se três tipos de fechamento que estão apresentados de forma detalhada na Tabela 4.

Tabela 4 - Propriedades dos vidros utilizados nestas simulações (a partir da base de dados do EnergyPlus).

	Vidro simples 3,0mm	Vidro duplo 6,0mm (cada face) com argônio	Tijolo de vidro (19x19x08cm)
Transmitância solar (incidência normal)	0,837	0,480	0,500
Refletância solar para incidência normal	0,075	0,050	0,056
Transmitância Visível (incidência normal)	0,898	0,570	0,540
Refletância visível para incidência normal	0,081	0,060	0,066
Transmitância de Infravermelho (incidência normal)	0	0	0
Emissividade	0,84	0,84	0,84
Condutividade (W/m ² K)	0,9	0,9	0,9

3.3.4 Espessura da parede

A parede onde o dispositivo aqui analisado será inserido deverá apresentar alta inércia térmica e para este trabalho será analisada uma parede com diversas espessuras e o mesmo material (Figura 38) de modo a investigar como esta variável interfere no desempenho da parede trombe para o caso brasileiro.

Figura 38 - Seção das paredes com diferentes espessuras (a) 15,0 cm (b) 30,0 cm e (c) 45,0 cm.

Para estes tipos de parede, foram encontrados os valores para a transmissância térmica (U) de modo a possibilitar que o material possa ser substituído em construções futuras sem comprometer o desempenho deste sistema. Para as paredes com 15 centímetros, a transmitância equivalente é de $2,15\text{W/m}^2\text{K}$. Para a parede com espessura de 30 centímetros, $U=1,12\text{W/m}^2\text{K}$ e para a parede com 45 centímetros de espessura este valor ficou em $0,83\text{W/m}^2\text{K}$.

3.3.5 Espessura do canal

Sabe-se que a espessura do canal da Parede Trombe influencia diretamente no seu desempenho alterando tanto a temperatura do ar por meio das trocas térmicas entre o componente arquitetônico e o fluido que passará por seu interior quanto no seu volume, deste modo, este parâmetro variou com valores de 5,0cm, 10,0cm e 15,0cm.

3.4 CONDIÇÕES DA PAREDE TROMBE

Foi feito o cruzamento entre todas as possibilidades, resultando em 162 casos para simulação. Foram consideradas três situações básicas para as simulações neste trabalho. A primeira situação pretende proporcionar aquecimento nos períodos frios, quando as duas aberturas (superior e inferior) permitem a circulação do ar que está aquecido neste dispositivo para o ambiente padrão, porém, sem renovação do ar interno por meio de ventilação natural (considerado nas simulações como modelo - FECH). A segunda situação promove a ventilação natural, quando a face de vidro da parede trombe possui uma abertura para saída do ar, além de considerar nesta situação a abertura inferior da parede trombe e a abertura de entrada do ambiente permitindo a passagem do ar (Chamado neste trabalho de modelo - VENT). Já na terceira situação, todas as aberturas do ambiente permitirão a circulação do ar, promovendo aquecimento (neste caso, chamou-se de modelo - AQEC), conforme se pode observar na figura 39.

Figura 39 - Esquema das situações consideradas (a) situação 1 (FECH) (b) situação 2 (VENT) e (c) situação 3 (AQEC)

A partir destas considerações e da combinação das possibilidades propostas para este trabalho, foram realizadas 486 simulações para cada condição climática analisada. Sabe-se então que para executar as simulações computacionais no software EnergyPlus (E+) uma das etapas essenciais é a inserção dos dados climáticos do sítio onde a edificação será implantada, recentemente observou-se um estudo que elaborou o arquivo climático nos padrões exigidos pelo EnergyPlus para 411 cidades brasileiras de modo a complementar a base de dados fornecida pelo software em questão (RORIZ, 2012).

Por serem considerados dados mais precisos, pois foram obtidos a partir de coletas em estações meteorológicas, optou-se neste trabalho por utilizar esta base de dados de modo a considerar oito climas brasileiros, um para cada zona bioclimática estabelecida pela NBR-15220/3. As cidades que foram simuladas neste trabalho estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Relação das cidades utilizadas para simulações.

Cidades Simuladas	Estado	Zona Bioclimática	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Curitiba	PR	1	-25.52	-49.18	934
Santa Maria	RS	2	-29.70	-53.70	151
Florianópolis	SC	3	-27.67	-48.55	9
São Carlos	SP	4	-22.02	-47.89	854
Garanhuns	PE	5	-8.89	-36.49	823
Campo Grande	MS	6	-20.47	-54.67	532
Cuiabá	MT	7	-15.65	-56.10	176
Belém	PA	8	-1.38	-48.48	10

3.4.1 Nomenclatura dos modelos

Os modelos foram catalogados em códigos para facilitar a identificação dos mesmos, a seguir, apresenta-se a codificação utilizada para identificar a configuração da parede trombe em cada caso simulado (Tabela 6):

Tabela 6 - Nomenclatura dos modelos adotados para padronização neste trabalho.

Grupo 01								
Parede Trombe com largura de 2,0 m, área das aberturas com 3% e distância entre o vidro e a parede com 0,05m								
Parede com espessura de 0,15m			Parede com espessura de 0,30m			Parede com espessura de 0,45m		
Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro	Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro	Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro
A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9

Grupo 02								
Parede Trombe com largura de 2,0 m, área das aberturas com 3% e distância entre o vidro e a parede com 0,10m								
Parede com espessura de 0,15m			Parede com espessura de 0,30m			Parede com espessura de 0,45m		
Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro	Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro	Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9

Grupo 03								
Parede Trombe com largura de 2,0 m, área das aberturas com 3% e distância entre o vidro e a parede com 0,15m								
Parede com espessura de 0,15m			Parede com espessura de 0,30m			Parede com espessura de 0,45m		
Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro	Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro	Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro
C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9

Grupo 04								
Parede Trombe com largura de 2,0 m, área das aberturas com 6% e distância entre o vidro e a parede com 0,05m								
Parede com espessura de 0,15m			Parede com espessura de 0,30m			Parede com espessura de 0,45m		
Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro	Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro	Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro
D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9

Grupo 05								
Parede Trombe com largura de 2,0 m, área das aberturas com 6% e distância entre o vidro e a parede com 0,10m								
Parede com espessura de 0,15m			Parede com espessura de 0,30m			Parede com espessura de 0,45m		
Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro	Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro	Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro
E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9

Grupo 06								
Parede Trombe com largura de 2,0 m, área das aberturas com 6% e distância entre o vidro e a parede com 0,15m								
Parede com espessura de 0,15m			Parede com espessura de 0,30m			Parede com espessura de 0,45m		
Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro	Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro	Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro
F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9

Grupo 07								
Parede Trombe com largura de 3,0 m, área das aberturas com 3% e distância entre o vidro e a parede com 0,05m								
Parede com espessura de 0,15m			Parede com espessura de 0,30m			Parede com espessura de 0,45m		
Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro	Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro	Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro
G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9

Grupo 08								
Parede Trombe com largura de 3,0 m, área das aberturas com 3% e distância entre o vidro e a parede com 0,10m								
Parede com espessura de 0,15m			Parede com espessura de 0,30m			Parede com espessura de 0,45m		
Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro	Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro	Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro
H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9

Continua...

... Continuação

Grupo 09								
Parede Trombe com largura de 3,0 m, área das aberturas com 3% e distância entre o vidro e a parede com 0,15m								
Parede com espessura de 0,15m			Parede com espessura de 0,30m			Parede com espessura de 0,45m		
Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro	Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro	Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro
I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9

Grupo 10								
Parede Trombe com largura de 3,0 m, área das aberturas com 6% e distância entre o vidro e a parede com 0,05m								
Parede com espessura de 0,15m			Parede com espessura de 0,30m			Parede com espessura de 0,45m		
Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro	Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro	Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro
J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9

Grupo 11								
Parede Trombe com largura de 3,0 m, área das aberturas com 6% e distância entre o vidro e a parede com 0,10m								
Parede com espessura de 0,15m			Parede com espessura de 0,30m			Parede com espessura de 0,45m		
Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro	Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro	Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro
K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9

Grupo 12								
Parede Trombe com largura de 3,0 m, área das aberturas com 6% e distância entre o vidro e a parede com 0,15m								
Parede com espessura de 0,15m			Parede com espessura de 0,30m			Parede com espessura de 0,45m		
Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro	Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro	Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro
L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9

Grupo 13								
Parede Trombe com largura de 4,0 m, área das aberturas com 3% e distância entre o vidro e a parede com 0,05m								
Parede com espessura de 0,15m			Parede com espessura de 0,30m			Parede com espessura de 0,45m		
Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro	Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro	Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro
M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9

Grupo 14								
Parede Trombe com largura de 4,0 m, área das aberturas com 3% e distância entre o vidro e a parede com 0,10m								
Parede com espessura de 0,15m			Parede com espessura de 0,30m			Parede com espessura de 0,45m		
Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro	Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro	Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro
N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9

Grupo 15								
Parede Trombe com largura de 4,0 m, área das aberturas com 3% e distância entre o vidro e a parede com 0,15m								
Parede com espessura de 0,15m			Parede com espessura de 0,30m			Parede com espessura de 0,45m		
Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro	Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro	Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro
O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8	O9

Grupo 16								
Parede Trombe com largura de 4,0 m, área das aberturas com 6% e distância entre o vidro e a parede com 0,05m								
Parede com espessura de 0,15m			Parede com espessura de 0,30m			Parede com espessura de 0,45m		
Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro	Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro	Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro
P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9

Continua...

... Continuação

Grupo 17								
Parede Trombe com largura de 4,0 m, área das aberturas com 6% e distância entre o vidro e a parede com 0,10m								
Parede com espessura de 0,15m			Parede com espessura de 0,30m			Parede com espessura de 0,45m		
Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro	Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro	Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro
Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9

Grupo 18								
Parede Trombe com largura de 4,0 m, área das aberturas com 6% e distância entre o vidro e a parede com 0,15m								
Parede com espessura de 0,15m			Parede com espessura de 0,30m			Parede com espessura de 0,45m		
Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro	Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro	Vidro Simples	Vidro Duplo	Bloco de Vidro
R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9

Esta nomenclatura será adotada durante o decorrer deste trabalho de modo a padronizar e facilitar o entendimento do leitor, para as três configurações de paredes trombe consideradas: parede trombe ventilada (VENT), parede trombe fechada (FECH) e parede trombe para aquecimento (AQEC). Portanto a codificação mencionada acima virá acompanhada de quatro letras indicando a situação da parede trombe adotada, por exemplo: K6-VENT é a nomenclatura para a parede trombe ventilada com largura de 3,0m, área das aberturas com 6%, distância entre o vidro e a parede com 0,10m, espessura da parede com 0,30m e o fechamento da superfície coletora com blocos de vidro.

3.4.2 Orientação da parede trombe

O Brasil está localizado predominantemente no hemisfério Sul, segundo a literatura encontrada, para projetar uma parede trombe nestes casos, deve-se orientá-la para o Norte. Porém, em algumas cidades simuladas neste trabalho, com baixas latitudes, pode-se observar que no verão, quando há maiores períodos de desconforto térmico devido a necessidade de refrigeração, a trajetória solar incide predominantemente na fachada sul (Figura 40) e deste modo, surgiu a necessidade de avaliar a viabilidade de seguir a literatura ou propor para o caso específico brasileiro uma nova configuração.

Figura 40 - Carta Solar para as cidades de (a) Belém - PA e (b) Cuiabá - MT, com indicação da trajetória solar para o verão.

Orientando a parede trombe nas cidades analisadas (principalmente as que apresentam latitude menor que $23,5^\circ$, que se refere ao trópico de capricórnio) para o sul, foi possível identificar o potencial de uso deste dispositivo para promover refrigeração por meio da ventilação natural nos meses mais quentes do ano.

Outra possibilidade identificada foi a necessidade de orientar a parede trombe para o oeste, pois deste modo o dispositivo receberia a radiação direta durante todo o ano no período da tarde, além de promover uma maior proteção em decorrência da parede com alta inércia e das pequenas aberturas. Sabe-se que a fachada oeste requer cuidados especiais quanto à possibilidade de promover superaquecimento no interior dos ambientes.

Deste modo, após as simulações iniciais, com a parede trombe voltada para o norte, foram realizadas simulações com os melhores modelos de modo que o sistema construtivo analisado neste trabalho estivesse orientado para o sul e para o oeste e comparados os resultados, visando uma discussão acerca da variação da orientação deste componente e como esta orientação determina um melhor ou pior desempenho térmico do edifício padrão, principalmente em localidades com baixas latitudes.

3.4.3 Viabilidade de uso

Durante a execução deste trabalho, houve também a necessidade de verificar a viabilidade de utilização deste componente no que se refere a um comparativo entre um modelo convencional de aberturas. Foi então dimensionada uma janela com 1,00m de largura, 1,10m de altura e 1,00 de peitoril (tamanho padrão), com 50% desta área permitindo ventilação natural (o que configura uma janela de correr, tipologia amplamente utilizada em edificações construídas no Brasil) e em seguida o desempenho deste ambiente de referência foi comparado com um ambiente com as mesmas dimensões, porém com a tipologia de aberturas investigada neste trabalho (paredes trombe), verificando o potencial de utilização deste elemento para aquecimento e principalmente promoção da ventilação natural.

3.5 MÉTODO PARA ELABORAÇÃO DO MODELO SIMPLIFICADO

De posse dos resultados de todas as simulações realizadas no *EnergyPlus* para as oito cidades consideradas neste trabalho e escolhido o melhor modelo em cada situação, buscou uma alternativa de geração de modelos matemáticos através de uma forma clássica, largamente utilizada em pesquisas de previsão de dados. Esta metodologia consiste em encontrar a equação de uma função (linear ou não linear) que permita descrever e compreender a relação entre duas ou mais variáveis e projetar ou estimar uma das variáveis em função da outra. A regressão atua de forma a estabelecer que a soma dos quadrados dos desvios seja um valor mínimo.

Um modelo matemático pode ser definido como um conjunto de variáveis consideradas em combinação com o modo como elas se relacionam. Não existem modelos perfeitos, pois não há como identificar e controlar todas as variáveis envolvidas em um fenômeno físico (como é o caso deste estudo), de modo que os resultados gerados pelos modelos são sempre aproximados (MILONE e ANGELINI, 1995).

Em seguida, utilizando-se o procedimento *stepwise*¹³ de regressão estatística, foram identificadas as variáveis que resultaram nas melhores relações estatísticas. Para tanto se utilizou um nível de significância máximo de probabilidade F superior a 0,25.

Para uma análise de regressão linear, nem todos os pares de valores das amostras estão incluídos na reta. Em alguns casos, esse afastamento da linearidade pode sugerir um tipo de curva diferente da linha reta, por exemplo, o gráfico de dispersão dos conjuntos de valores das amostras pode exibir a forma de uma exponencial ou de um polinômio de segundo grau (MANDIM, 2003). Por esse motivo, para cada cruzamento de informações, serão observadas as variações das estimativas, através do coeficiente de determinação (R^2), para avaliar a que possui os menores desvios e selecionar a função que melhor se enquadra no conjunto de valores.

A avaliação dos modelos ajustados considerou principalmente o desempenho dos seguintes parâmetros de regressão: coeficiente de determinação ajustado (R^2); raiz quadrada do erro quadrático médio (REQM); coeficiente de correlação entre valores observados e estimados (R_{xy}); teste “F” de significância; e análise gráfica dos resíduos, para detectar possível tendência das estimativas.

A partir destas análises foram elaborados modelos que representem os dados obtidos nas simulações tornando possível determinar o desempenho de uma parede trombe quando incorporada ao clima brasileiro, sem que haja necessidade de futuras simulações por parte dos profissionais de projeto que optem por utilizar este componente em seu processo de produção conceptiva da arquitetura.

3.6 FORMA DE ANÁLISE DOS DADOS

Os resultados foram analisados de acordo com a definição mais amplamente utilizada, presente na norma ASHRAE 55 (2004), que caracteriza o conforto térmico como “a condição da mente que expressa satisfação com o seu ambiente térmico”. Para definir critérios de conforto, é essencial verificar quais fatores influenciam o bem estar dos usuários. A multidisciplinaridade do assunto leva à necessidade do estudo dos processos fisiológicos do corpo humano em relação ao calor, das suas trocas térmicas com o ambiente, do comportamento dos ocupantes em relação ao espaço e de como se dá a avaliação subjetiva de bem estar. Os critérios de conforto para os ambientes interiores são ferramentas importantes tanto para o projeto de edificações, de instalações, aquecimento e refrigeração, quanto para a avaliação de construções já existentes.

O modelo adaptativo é o método que adequa-se a uma grande parte das edificações brasileiras, os quais são ventilados naturalmente, com variadas possibilidades de adaptação e controle por parte dos usuários. Além disso, o modelo adaptativo, por levar em consideração um maior número de variáveis, torna-se mais realista, e portanto mais adequado para o tipo de análise que se deseja obter com este trabalho.

A norma ASHRAE 55-2004 define os limites confortáveis de temperatura do ar em ambientes ventilados naturalmente e em função das médias mensais da temperatura do ar exterior. A aplicação de tais limites permitirá quantificar os níveis de conforto ou desconforto resultantes das diferentes temperaturas internas e taxas de ventilação provocadas pelo uso de paredes trombe.

¹³ Procedimento *stepwise* de regressão é a técnica mais utilizada de seleção de variáveis. O procedimento constrói iterativamente uma sequência de modelos de regressão pela adição ou remoção de variáveis em cada etapa. A regressão *stepwise* começa formando um modelo com uma variável, usando a variável preditora que tenha a mais alta correlação com a variável de resposta.

Figura 41 - Exemplo de determinação de Graus-hora (°Ch) para desconforto por calor e frio.

Fonte: Roriz et al, 2009

Os níveis de desconforto térmico serão quantificados em graus-hora (°Ch) de calor ou de frio. Cada grau-hora corresponde ao desconforto provocado pela temperatura do ar quando esta é menor que o limite inferior (frio) ou ultrapassa o superior (calor), em 1°C, durante 1 hora. Níveis diários, mensais ou anuais, são a somatória dos ocorridos ao longo das horas desses respectivos períodos de tempo (Figura 41).

ASHRAE 55 (2004) adota um índice para avaliação térmica de ambientes condicionados naturalmente: a Temperatura Operativa Neutra, baseada em De Dear et al (1997).

O conceito do modelo adaptativo, segundo esses autores, é que o corpo humano não apenas mantém seu equilíbrio térmico com o ambiente através de termorregulação fisiológica como também através de um conjunto de respostas adaptativas que permitem às pessoas se adaptarem às condições ambientais internas e externas através de mudanças comportamentais e psicológicas. Um total de 22.000 dados empíricos são encontrados em De Dear et al. (1997). Baseada na temperatura operativa aceitável para espaços condicionados naturalmente (ASHRAE, 2004), a equação 26 é apresentada. Uma faixa de tolerância de $\pm 2,5$ °C representa satisfação de 90% dos usuários, enquanto $\pm 3,5$ °C, 80%. O modelo considera que as pessoas utilizam determinados tipos de vestimentas de acordo com as condições climáticas externas, assim, não é necessário estimar o isolamento da roupa. Não é preciso também levar em conta a umidade do ar ou limites de velocidade do ar, devido aos processos de adaptação mencionados.

$$OTn = 17,8 + 0,32 \cdot T_{Med}$$

[Eq. 36]

Onde:

OTn= Temperatura Operativa Neutra (°C);

TMed = Média mensal da temperatura do ar exterior (°C).

Esta análise tem como objetivo estabelecer uma relação entre o desempenho térmico das diferentes tipologias estudadas, levando em conta as condições de conforto nos períodos simulados.

De posse destes dados estabeleceu-se a melhor configuração de parede trombe para cada zona bioclimática brasileira, visando contribuir para fornecer subsídios teóricos para profissionais de projeto que pretendam fazer uso do potencial deste dispositivo em edificações localizadas no Brasil.

Os dados estão sendo apresentados de forma a facilitar o entendimento dos profissionais da Construção Civil e Arquitetos em geral, propondo, além de diretrizes projetuais para edifícios mais eficientes do ponto de vista energético, contribuir para que o potencial deste dispositivo seja investigado nas mais diversas regiões brasileiras, buscando adaptar sempre as edificações ao clima do sítio onde serão construídas.

3.7 VALIDAÇÃO DAS SIMULAÇÕES

Para validar os modelos simulados, realizou-se uma comparação com os resultados obtidos por meio de medições *in loco* obtidos por Suzuki (2012) que investigou o desempenho de um ambiente dotado de parede trombe localizado na cidade de Curitiba – PR. As dimensões e propriedades deste protótipo estão apresentadas na figura 42, onde foi medido o modelo com tipologia similar ao modelo para ventilação considerado neste trabalho entre os dias 05 e 10 de janeiro de 2012.

Figura 42 – Planta baixa, corte, elevação e propriedades dos materiais aplicados no modelo utilizado por Suzuki (2012).

Fonte: (SUZUKI, 2012).

A partir destas configurações, foi modelado um protótipo digital utilizando o software energyplus, versão 7.0 e comparado os resultados obtidos para o dia 08 de janeiro, que foi apresentado no trabalho citado para a condição de parede trombe ventilada, no verão.

A partir desta constatação, foi possível realizar uma simulação "teste" para comparar os resultados das temperaturas internas obtidas por medição e os valores obtidos com esta simulação e assim definir o futuro desta pesquisa, estabelecendo os parâmetros e variáveis que foram inseridas nas simulações futuras.

Após constatar a similaridade nos dados de radiação incidente no plano horizontal e temperatura externa tanto nos valores medidos quanto nos valores disponíveis no arquivo climático elaborado por Roriz (2012) pode-se analisar os resultados para o desempenho térmico desta edificação.

Deste modo, observam-se na figura 43 os resultados para os valores medidos por Suzuki (2012) e simulados no “teste” para as temperaturas externas, no interior do canal de ar e no interior do ambiente padrão e percebe-se uma coerência nos dados obtidos por simulação quando comparados com os valores medidos em Curitiba.

Figura 43 - Comparativo das temperaturas obtidos para validação das simulações neste trabalho.

Esta similaridade nos dados pode ser melhor constatada por meio da figura 44 que apresenta estes dados em relação à linha do erro zero, num gráfico de dispersão (x,y) onde no eixo das abscissas apresenta-se os valores obtidos por simulação e no eixo das ordenadas os valores obtidos por Suzuki (2012) por medições *In Loco*.

Figura 44 – Valores obtidos por simulação (x) e por medição por Suzuki (2012) (y).

3.8 ELABORAÇÃO DE UM APLICATIVO PARA DISPOSITIVO MÓVEIS

Pensando no usuário final, foi elaborado um aplicativo para dispositivos móveis com sistema operacional Android, com interface amigável e que apresenta as principais recomendações de projeto definidas a partir das análises desenvolvidas neste trabalho.

As tecnologias disponíveis para a computação móvel encontram-se atualmente em constante evolução e parecem destinadas a transformar-se no novo paradigma dominante da computação (MYERS et al., 2003), possibilitando uma maior portabilidade de dados e conectividade.

Utilizando as linguagens HTML5, Javascript e CSS, foi desenvolvido o aplicativo “TROMBR”, que estabelece recomendações de projeto para Paredes Trombe em cidades brasileiras. Para utilização deste aplicativo, levou-se em consideração que o usuário encontra-se em constante movimento e a aplicação deve poder ser usada em qualquer local e a qualquer momento, sempre que for preciso.

Ao longo dos anos a internet passou por inúmeras mudanças. Os primeiros sites que surgiram continham apenas conteúdo estático, ou seja, eram constituídos por páginas HTML expondo somente textos, imagens e links (sem muita interação com o usuário). A necessidade de mais dinamismo nas páginas web culminou na criação do JavaScript, que chegou ao mercado na década de 1990. Com esta tecnologia foi possível mais interação nas páginas, uma vez que o JavaScript possui recursos como manipulação de conteúdos, elementos e eventos HTML.

Nesta mesma época, surgiu a primeira versão do CSS, uma linguagem de estilo utilizada para definir a apresentação de documentos HTML e XML. Seu principal benefício era separar a aparência do conteúdo de um documento. Assim, ao invés da formatação ficar dentro do documento HTML, neste haverá apenas uma ligação para o arquivo CSS, que contém os estilos. Deste modo, várias páginas podem utilizar o mesmo arquivo de formatação, e quando o programador quiser alterar a aparência do site, é necessário modificar apenas um arquivo.

Apesar dos vários recursos e funcionalidades do JavaScript e pelo CSS, ainda havia algumas deficiências. Por exemplo, devido às limitações das primeiras versões do HTML, não existia o suporte à apresentação de vídeos, e criar aplicações visualmente ricas ainda não era possível.

O HTML5 inclui novas tags que fornecem suporte a arquivos de vídeo e áudio, novos tipos de campos de dados, validação de formulários e outros recursos que veremos no decorrer do texto. Também há novidades em sua API JavaScript, dentre elas, a possibilidade de salvar dados no computador do usuário de forma mais segura e rápida do que usando cookies. Já o CSS 3 possui uma série de recursos visuais para incrementar a aparência de suas aplicações.

Estas foram as linguagens utilizadas para elaboração de um aplicativo para dispositivos móveis que possibilita uma maior interação com os usuários, disponível para download gratuito que pode auxiliar nas decisões projetuais em escritórios de arquitetura e profissionais de projeto em geral, sem que haja necessidade de novas simulações e análises. Este aplicativo será apresentado juntamente com os resultados obtidos com esta pesquisa.

4 CIDADES SIMULADAS

Neste Capítulo apresenta-se uma breve análise das cidades consideradas para as simulações desta pesquisa, sendo uma cidade para cada zona bioclimática estabelecida pela NBR-15220 (ABNT, 2005), buscando abranger as cinco regiões geográficas brasileiras, além de identificar as recomendações de projeto para obtenção de conforto segundo a carta bioclimática de Givoni¹⁴ para estas cidades.

4.1 CURITIBA – PR

Curitiba está localizada na região Sul do Brasil na Zona Bioclimática 01, ao Sul do Trópico de Capricórnio, onde os sistemas atmosféricos intertropicais e polares travam confrontos, além de sua localização na borda oriental do Primeiro Planalto Paranaense em altitudes de 900m. Curitiba

Figura 45 - Carta Bioclimática de Givoni para a cidade de Curitiba – PR

Fonte: Software ABC Versão 1.3 (2008)

meses de dezembro e março e um pouco de aquecimento artificial (Figura 45).

caracteriza-se por apresentar temperaturas mais elevadas nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, quando a quantidade de energia solar disponível é maior e predomina a atuação de sistemas atmosféricos intertropicais e temperaturas mais baixas nos meses de junho, julho e agosto, quando a energia solar disponível é reduzida e predomina a atuação dos sistemas atmosféricos polares. Adicionalmente, a sua situação topográfica assegura à cidade um caráter de clima mesotérmico úmido com verão quente (DANNI-OLIVEIRA, 1999).

As principais estratégias bioclimáticas para a cidade de Curitiba segundo as recomendações da Carta bioclimática de Givoni são o aquecimento solar passivo (43,6%) e Inércia Térmica para aquecimento (28,2%), porém ainda requer em 1,5% das horas a ventilação natural principalmente no verão, entre os

4.2 SANTA MARIA – RS

Segundo Sartori (1979), a região de Santa Maria está situada praticamente na zona de transição entre a Depressão Periférica Sul-Rio-Grandense, também conhecida por Depressão Central e a escarpa arenito-basáltica do Planalto Meridional Brasileiro.

O clima da cidade de Santa Maria se enquadra na faixa de clima temperado mesotérmico e úmido. Embora predomine o vento Sudeste, o vento Norte é um fenômeno marcante na cidade por sua alta velocidade e temperatura. A umidade relativa do ar é elevada durante todo o ano, condicionando um clima úmido com chuvas bem distribuídas.

As principais recomendações de projeto para obtenção de conforto térmico na cidade de Santa Maria são a inércia térmica e o aquecimento solar, conforme é possível observar na figura 46.

¹⁴ Em 1992, Givoni desenvolveu uma carta bioclimática para as edificações baseada nas condições internas do edifício e propõe estratégias construtivas para adequação da arquitetura ao clima. A carta é elaborada sobre um diagrama psicrométrico, onde os dados climáticos de uma determinada região podem ser plotados na carta, obtendo as estratégias a serem seguidas.

Figura 46 - Carta Bioclimática de Givoni para a cidade de Santa Maria - RS
 Fonte: Software ABC Versão 1.3, 2008

Observa-se que as estratégias bioclimáticas são similares às recomendações para a cidade de Curitiba, porém com uma necessidade maior de ventilação natural, bem como outras estratégias para resfriamento, como ventilação noturna, inércia térmica para resfriamento e resfriamento evaporativo.

4.3 FLORIANÓPOLIS – SC

Florianópolis está localizada na zona bioclimática brasileira número 03 e apresenta as estratégias de projeto para obtenção de conforto conforme apresentado na figura 47. Observa-se a solicitação tanto de estratégias para aquecimento no inverno quanto para refrigeração no verão. É uma ilha próxima ao continente, localizada entre os paralelos 27°10' e 27°50' de latitude sul e entre os meridianos 48°25' e 48°35' de longitude oeste, e encontra-se a 9 m da altura do mar.

Florianópolis apresenta sete meses com valores médios mensais de temperatura de bulbo seco acima de 20°C, e a umidade relativa média nestes meses oscila de 81 a 85%. O horário de ocorrência das temperaturas máximas diárias é entre 13h e 14 h, e o das temperaturas mínimas diárias é entre 5h e 7h. A média anual de amplitudes diárias é em torno de 7.8°C (GOULART, 1997). A frequência mensal de direção do vento apresenta a direção norte como predominante, a direção sul em segundo lugar, seguida em terceiro lugar pelo vento nordeste. A velocidade média anual do vento é de 3.5 m/s, e a direção sul apresenta a maior frequência por direção para as velocidades do vento maiores que 10 m/s.

Figura 47 - Carta Bioclimática de Givoni para a cidade de Florianópolis, Brasil
 Fonte: Software ABC Versão 1.3, 2008

4.4 SÃO CARLOS – SP

A cidade de São Carlos está situada no estado de São Paulo a 22°01' de latitude Sul, 47°53' de longitude Oeste e 854m de altitude. É a cidade de maior altitude em relação aos municípios circunvizinhos e, por isso, é totalmente exposta à intensa ventilação e insolação. Conforme as Normais Climatológicas observadas entre 1960 e 1990 (BRASIL, 1992), durante oito meses do ano, entre abril e novembro, as médias mensais de umidade relativa em São Carlos permanecem abaixo de 70%. Neste mesmo período, as amplitudes médias mensais de temperaturas (diferenças entre as médias de máximas e as médias de mínimas) variam entre 10 e 11,8 °C.

De acordo com a Norma de Zoneamento Bioclimático Brasileiro (NBR-15220/3) São Carlos localiza-se na zona bioclimática 4 e possui como principais recomendações de projeto o aquecimento solar passivo e por Massa Térmica, necessitando em algumas horas do verão de ventilação natural, conforme a figura 48.

Figura 48 - Carta Bioclimática de Givoni para a cidade de São Carlos, Brasil
Fonte: Software ABC Versão 1.3, 2008

4.5 GARANHUNS - PE

O município de Garanhuns está inserido na Mesorregião da Agreste Meridional do Estado de Pernambuco com clima do tipo Tropical Chuvoso com verão seco. O período chuvoso começa no outono/inverno tendo início em junho/julho e término em setembro. A precipitação média anual é de 1309,9 mm.

As principais estratégias de projeto necessárias para esta localidade são o aquecimento solar (34,2%), inércia térmica para aquecimento (34,2%) e a ventilação natural (11,3%), além de apresentar um período do ano em conforto térmico (Figura 49).

Por conta da privilegiada localização geográfica, em cima de sete colinas (Monte Sinai, Triunfo, Columinho, Ipiranga, Antas, Magano e Quilombo), este município vive em clima de montanha, com temperatura média anual de 21°C, variando entre 9° C no inverno e 25° C em pleno verão. Os meses mais frios vão de maio a agosto. A umidade relativa do ar é elevada, atingindo a média de 80%.

Figura 49 - Bioclimática de Givoni para a cidade de Garanhuns - PE
Fonte: Software ABC Versão 1.3, 2008

4.6 CAMPO GRANDE – MS

Campo Grande é um município da região Centro-Oeste, capital do estado de Mato Grosso do Sul. Está localizado geograficamente na porção central deste estado. Possui uma latitude 20°26'34" Sul e uma longitude 54°38'47" Oeste. O clima predominante de Campo Grande, conforme classificação de Köppen é do tipo tropical chuvoso de Savana, caracterizado por má distribuição anual das chuvas, com ocorrência bem definida de um período seco durante os meses mais frios do ano e um período chuvoso durante os meses de verão. A temperatura média anual é em torno de 23°C; dezembro é o mês mais quente, aproximadamente 25°C, e junho o mais frio, com 18°C em média (OLIVEIRA et al, 2003).

A figura 50 apresenta as estratégias bioclimáticas recomendadas para a cidade de Campo Grande ao longo do ano, segundo a Carta de Givoni, que indica que em 22.9% das horas do ano há a necessidade de ventilação natural, tornando esta uma das principais estratégias para obtenção de conforto, juntamente com o aquecimento solar passivo e a Inércia Térmica para aquecimento que juntas apresentam uma necessidade em 37,8% das horas do ano.

Figura 50 - Carta Bioclimática de Givoni para a cidade de Campo Grande - MS.
Fonte: Software ABC Versão 1.3, 2008

4.7 CUIABÁ - MT

O clima da cidade de Cuiabá é Tropical Semi Úmido, com 4 a 5 meses secos e duas estações bem definidas, uma seca (outono-inverno) e uma chuvosa (primavera-verão), com características de continentalidade.

Nos meses de outubro e novembro, as máximas atingem muitas vezes valores de 40°C com umidade relativa de 18%, nas horas mais quentes do dia. O ritmo sazonal de precipitação é marcado por uma estação seca bem definida no período de inverno.

Na figura 51 observa-se a Carta bioclimática de Givoni para a cidade de Cuiabá e as recomendações projetuais a partir da plotagem dos dados climáticos.

Figura 51 - Carta Bioclimática de Givoni para a cidade de Cuiabá - MT.
 Fonte: Software ABC Versão 1.3, 2008

4.8 BELÉM - PA

Figura 52 - Carta Bioclimática de Givoni para a cidade de Belém - PA.

Fonte: Software ABC Versão 1.3, 2008

Belém é a capital do Pará e localiza-se próximo à linha do Equador, com latitude de 01°27'21" sul e longitude 48°30'14", com clima quente e úmido, tipicamente equatorial, que sofre influência direta da floresta amazônica, onde as chuvas são constantes. O índice pluviométrico é de 2889 mm(ano) (GOULART et al, 1997).

A figura 52 apresenta as estratégias bioclimáticas recomendadas para a cidade de Belém, conforme a Carta Bioclimática de Givoni, na qual pode-se observar a ampla necessidade de ventilação natural (70.7% das horas anuais) ao longo de todo ano, além de resfriamento artificial.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este Capítulo apresenta os principais resultados obtidos por meio das simulações computacionais realizadas nesta pesquisa, além das discussões e interpretações dos dados de modo a entender o comportamento térmico de edificações e produzir estratégias de projeto para os mais variados climas brasileiros, bem como as recomendações projetuais para profissionais de projeto que possam vir a tomar partido desta estratégia em edificações localizadas em climas típicos brasileiros.

5.1 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO

A partir das simulações computacionais foi possível observar o potencial de utilização das paredes trombe para os casos analisados neste trabalho e identificar a possibilidade de utilização deste dispositivo quando submetido a climas típicos do Brasil, a seguir serão detalhados os resultados obtidos para cada tipologia construtiva adotada.

Estas simulações foram essenciais para analisar o comportamento térmico da edificação padrão, pois a partir de diversas configurações de paredes trombe, foram identificadas as necessidades específicas para cada localidade, tendo por base o zoneamento bioclimático brasileiro.

O resultado das simulações desenvolvidas neste trabalho está apresentado de modo a identificar o desconforto térmico para cada uma delas no Apêndice A, ao final deste documento.

Inicialmente serão apresentadas apenas as simulações que foram realizadas com a parede trombe orientada para o norte, conforme recomenda a literatura clássica acerca deste tema, no entanto, este trabalho trata de possibilidades de localizar este componente em outras fachadas, conforme será apresentado em seguida.

5.1.1 Parede trombe fechada

Para esta tipologia (FECH), foi considerada apenas a renovação de ar no interior do ambiente padrão por infiltração, promovendo aquecimento do ambiente interno sem influência da ventilação natural, tomando partido apenas do efeito estufa produzido no interior do canal da parede trombe.

Esta tipologia de parede trombe foi a que apresentou comportamento melhor durante o ano para 04 (quatro) cidades analisadas: Curitiba, Santa Maria, Florianópolis e Campo Grande. Porém para cada localidade um modelo específico apresentou menor quantidade total de desconforto térmico (calor+frio), estas configurações serão detalhadas a seguir:

Para a cidade de Curitiba, o modelo que apresentou melhor desempenho foi o modelo N8, que apresenta 100% da fachada coberta pela parede trombe (parede trombe com 4,0m de largura), área das aberturas com 3% da área envidraçada, espessuras do vão com 0,10m e da parede com 0,45m e a superfície coletora composta por vidro duplo.

Este modelo apresentou um total de 5671 °Ch de desconforto térmico, predominantemente por frio, no inverno, mesmo com o ambiente fechado, o que aponta para a afirmação que no inverno, embora a incidência da radiação solar na superfície coletora tenha um ângulo mais próximo da normal, pois a altura solar nesta cidade para o solstício de inverno ao meio dia é em torno de 41°,

enquanto que no verão, por volta de 85°, a quantidade de radiação que incide a superfície envidraçada é menor, tornando-a menos eficiente neste período.

Pode-se afirmar que edificações localizadas na cidade de Curitiba necessitam de um aquecimento no inverno e que a parede trombe aparentemente não consegue suprir esta necessidade por completo, fez-se necessário então investigar o potencial de outros modelos pensando na possibilidade de uso com tipologias combinadas para assim, promover um melhor conforto térmico dos usuários.

Desconsiderando o melhor modelo que obteve um menor valor para o total de graus - hora, o modelo N1, que apresenta 100% da fachada coberta pela parede trombe (parede trombe com 4,0m de largura), área das aberturas com 3% da área envidraçada, espessuras do vão com 0,10m e da parede com 0,15m e superfície envidraçada com vidro simples apresentou menor desconforto por frio.

Este modelo apresentou 3353°Ch enquanto o modelo N8 apresentou 4102°Ch de desconforto por frio, porém observou-se um maior desconforto por calor, mesmo quando analisado em outras tipologias, pois o vidro simples permite uma maior passagem da radiação solar que o vidro duplo promovendo um superaquecimento do ar no interior do canal desse sistema que não foi alterado entre os modelos.

Outra diferença entre os modelos considerados melhores para esta cidade é a espessura da parede com massa térmica. No modelo N1, esta propriedade é subaproveitada devido à espessura da parede ser de apenas 0,15m, que impossibilitou um amortecimento térmico que poderia melhorar este desconforto térmico por calor que neste modelo chega a 4722°Ch enquanto que no modelo N8 foi de 1568°Ch.

Deste modo, o fechamento da superfície envidraçada e a espessura da parede foram os parâmetros que mais influenciaram o desempenho térmico do ambiente padrão em Curitiba. A partir desta consideração, o modelo N5 também foi considerado para análise, pois apresenta as mesmas características do modelo N8, com exceção da parede com alta inércia térmica que apresenta 0,30m de espessura.

Sabe-se que o vidro duplo permite uma maior absorção e menor transmissão da radiação solar e assim o desconforto por calor, seria minimizado, mas não foi o que ocorreu, pois a parede com 0,30m de espessura não promoveu um amortecimento térmico significativo para que o desconforto térmico por calor fosse diminuído, chegando a valores de 1996°Ch para o calor e 4250°Ch para frio, valores ainda acima dos obtidos para o modelo N8.

A Figura 53 apresenta o comportamento destes e alguns outros modelos digitais para a cidade de Curitiba. A partir destas constatações, foi possível afirmar que o modelo N8 continuou a ser o melhor modelo, por apresentar vidro duplo em seu fechamento envidraçado e 0,45m na espessura da parede com alta inércia. Embora este modelo apresente alto desconforto por frio, é possível afirmar que este desconforto pode ser minimizado com a inserção de células fotovoltaicas no interior do canal que promoveriam um maior aquecimento do ar no interior do sistema trombe, melhorando o seu desempenho. Esta estratégia pode ser investigada posteriormente em pesquisas futuras.

Figura 53 - Desconforto por calor e frio para a cidade de Curitiba - PR em função da (a) espessura da parede com alta inércia térmica e (b) Tipo do fechamento envidraçado.

Para a cidade de Santa Maria - RS, o modelo que apresentou menor desconforto térmico foi similar ao melhor modelo para a cidade de Curitiba - PR, com apenas uma diferença: a espessura do vão entre a superfície envidraçada e a parede com 0,05m (Modelo M8) permitindo o deslocamento de um volume menor de ar e neste caso observou-se um desconforto térmico total de 10737°Ch.

Embora seja possível observar uma necessidade de ventilação natural para 11,2% das horas do ano segundo a carta bioclimática de Givoni, este modelo apresentou melhor desempenho térmico ao longo do ano por promover aquecimento no inverno, compensando o desconforto no verão em decorrência desta necessidade.

Porém, observou-se neste modelo um alto desconforto térmico por frio (8257°Ch), representando 76,9% do desconforto total, que pode ocorrer devido a alta latitude onde localiza-se esta cidade, onde a incidência da radiação solar no inverno apresenta altura solar de aproximadamente 37° e assim como na cidade de Curitiba, não é suficiente para promover um bom desempenho deste sistema.

Ao verificar outras configurações deste sistema, os modelos M7 e N1 apresentaram um menor desconforto por frio, porém nestes casos observou-se um alto desconforto por calor, principalmente no modelo N1 onde se obteve 5914°Ch para o desconforto por calor, enquanto que o modelo M8 apresentou 2480°Ch, apenas 41,8% do desconforto obtido por um modelo que não toma partido da inércia térmica no sistema trombe e utiliza o vidro simples em sua composição (Modelo N1).

O modelo M7 também utiliza o vidro simples para compor a superfície coletora, e deste modo, foi possível identificar a influência deste parâmetro isoladamente no desempenho térmico do ambiente padrão simulado.

Observou-se então que ocorre uma diminuição no desconforto por frio, porém um aumento significativo no desconforto por calor. Esta tipologia de parede trombe não favorece a utilização do vidro simples na composição da superfície coletora, pois a renovação do ar no interior do sistema se dá apenas por infiltração, promovendo um superaquecimento no interior do ambiente padrão,

principalmente no período da tarde, quando ocorre maior necessidade de refrigeração nestes espaços.

A Figura 54 apresenta melhor estes dados descritos acima, onde é possível analisar o desempenho térmico em função da espessura do canal no interior da parede trombe e tipo do fechamento envidraçado, que foram as principais variáveis que influenciaram na escolha do melhor modelo para a cidade de Santa Maria – RS.

Figura 54 - Desconforto por calor e frio para a cidade de Curitiba - PR em função da (a) espessura do canal de ar no interior da Parede Trombe e (b) Tipo do fechamento envidraçado.

Pode-se afirmar então que embora haja um alto desconforto por frio, o modelo M8 apresentou melhor desempenho térmico, tornando-se o mais adequado para esta cidade, embora ocorra a necessidade de uma fonte de calor auxiliar no inverno em alguns períodos que pode ser adotado a estratégia utilizada nos estudos de Chen et al (2005) para melhorar o desempenho térmico ao inserir um sombreamento no interior do canal, no período do inverno, pois promoveria uma nova superfície para emissão de calor por radiação, gerando um maior aquecimento do ar no interior da parede trombe e consequentemente do ambiente analisado ou a criação de “aletas” (Figura 55) na superfície da parede com alta inércia térmica, que aumentaria a área aquecida, potencializando o fluxo ascendente do ar no interior do canal deste sistema.

Figura 55 - Exemplo de aletas que podem ser inseridas na superfície absorvedora.

Quando inserido nas características climáticas da cidade de Florianópolis, o modelo que apresentou melhor desempenho térmico foi a parede trombe com 100% da área da fachada coberta pela parede trombe (parede trombe com 4,0m), 3% desta área da superfície coletora para aberturas de entrada e saída do ar, espessura do vão com 0,15m e da parede com 0,45m e o fechamento da superfície envidraçada com bloco de vidro (Modelo O9).

Neste caso, o desconforto total obtido foi de 2946 °C.h, abaixo dos valores obtidos pelas cidades citadas anteriormente, apontando o alto potencial que esta cidade apresenta para receber edificações dotadas deste sistema. Sabe-se que Florianópolis é uma cidade que apresenta uma exigência de projeto que favoreça a ventilação natural, porém o fato deste modelo ter apresentado melhor desempenho térmico pode ser justificado pelo fato de também necessitar de mais de 50% das horas do ano de estratégias para aquecimento como aquecimento solar passivo e inércia térmica para aquecimento, como é possível verificar a partir de uma análise na carta bioclimática de Givoni.

Este modelo apresentou um desconforto por calor de 1023°C.h e por frio de 1923°C.h e também neste caso o desconforto por frio superou o desconforto por calor, apontando para a necessidade de uma fonte de calor auxiliar no inverno, porém com uma exigência menor que as cidades comentadas anteriormente, principalmente Santa Maria – RS que apresentou o pior resultado quanto ao desconforto por frio.

A cidade de Campo Grande também apresentou o modelo com melhor desempenho térmico com a tipologia de parede trombe fechada, porém com uma configuração diferenciada dos modelos anteriores, pois pela primeira vez um modelo com 50% da fachada coberto pela parede trombe foi indicado como melhor modelo, além disto, 3% da área desta parede trombe para aberturas de entrada e saída do ar, espessura do vão com 0,05m e espessura da parede com 0,45m e fechamento da superfície envidraçada com vidro duplo (Modelo A8).

Ao comparar o modelo acima com os demais modelos e alterando a área da fachada envidraçada apenas (modelos G8 e M8), foi possível observar o motivo desta nova solicitação (50% da área de fachada envidraçada) e nos dois casos houve uma diminuição significativa do desconforto por frio, de 1143,01°C.h para o modelo A8 para 233,67°C.h para o modelo G8 e 144,16°C.h para o modelo M8, porém, o desconforto por calor sofreu um grande aumento, principalmente em decorrência do volume de ar que é aquecido dentro da parede trombe (Figura 56).

Figura 56 - Desconforto por calor e frio em função da área da superfície envidraçada para a cidade de Campo Grande – MS

Ao aumentar sua área envidraçada, mantendo a espessura do canal, este volume também é aumentado e mais ar quente circula no interior do sistema trombe chegando ao interior do ambiente, o calor que permanece no interior do ambiente padrão pode promover um superaquecimento, por se tratar de um modelo que prioriza o aquecimento e não considera a ventilação natural.

Constatou-se um baixo desconforto total, com aproximadamente 2757 °C.h e ao contrário dos modelos anteriores, este desconforto ocorreu predominantemente por calor, pois quase 40% das horas do ano necessitam de estratégias para refrigeração, no entanto há exigências de inércia térmica para aquecimento e aquecimento solar passivo segundo as recomendações da carta bioclimática de Givoni.

O desconforto por calor neste modelo (A8) foi de 1614°C.h, no entanto caso seja alterada a área de fachada envidraçada para 75% (modelo G8) ou 100% (Modelo M8) considerando-se um uso combinado com outras tipologias, seria possível trabalhar com a parede trombe fechada no inverno e no verão verificar a possibilidade de utilização em outra tipologia, sem que haja alteração no sistema construtivo deste componente, pois o desconforto por frio nestes casos ficou bem abaixo do modelo com melhor desconforto térmico total.

A Figura 57 apresenta um comparativo entre o desconforto térmico anual para os melhores modelos considerados nestas 04 cidades, tanto por calor quanto por frio, onde é possível identificar que as cidades de Curitiba e Santa Maria apresentam maior desconforto que as demais cidades observadas.

Figura 57 - Desconforto térmico por calor e frio para as cidades de Curitiba, Santa Maria, Florianópolis e Campo Grande, considerando o melhor modelo para cada cidade.

Para entender o desconforto por frio obtido em algumas cidades (mesmo para um modelo que parte da premissa do aquecimento) faz-se necessário analisar outros parâmetros no tocante ao desempenho térmico como radiação solar incidente na superfície coletora e sua temperatura superficial, para o inverno e o verão, conforme apresentado nas figuras que seguem.

Observa-se então na figura 58 que a radiação solar na superfície coletora é sempre menor que a radiação solar incidente no plano horizontal, o que pode comprometer o funcionamento da parede trombe, principalmente para a cidade de Santa Maria que requer uma eficiência maior no inverno e não obtém, pois a Radiação solar máxima incidente na superfície coletora durante o período de

inverno não ultrapassa os 100W/m^2 na maior parte do dia, similar às cidades de Florianópolis e Campo Grande, porém, para estas cidades a necessidade de aquecimento é menor.

Figura 58 - Radiação solar (W/m^2) para o plano horizontal e superfície coletora da parede trombe nas quatro cidades onde a tipologia de parede trombe fechada melhor se adequou.

As propriedades termofísicas do vidro utilizado em cada modelo também interferem no seu desempenho, para esta tipologia de parede trombe, observou-se então que com exceção da cidade de Campo Grande, que tendeu para o uso de blocos de vidro, todas as outras cidades solicitam vidro duplo, principalmente pela sua alta capacidade de absorção térmica, que embora seja próxima aos valores encontrados para o bloco de vidro, apresenta melhor desempenho quando utilizado em paredes trombe.

Na figura 59 observa-se a temperatura superficial no coletor (bloco de vidro para Campo Grande e vidro duplo para as demais cidades) e entende-se melhor o desconforto principalmente na cidade de Santa Maria, onde a temperatura superficial do coletor não ultrapassa os 20°C no inverno, mas ainda assim a parede trombe apresentou-se como um elemento que pode ser utilizado para esta cidade, principalmente no verão, pois observou-se um pequeno desconforto por calor.

Figura 59 - Gráficos da temperatura superficial na superfície coletora comparada com a TBS Externa, para as quatro cidades analisadas.

A parede trombe fechada pode ser utilizada principalmente em climas frios ou em climas em que o aquecimento seja a principal recomendação de projeto. Como este modelo não toma partido da ventilação natural é utilizável onde as temperaturas externas são mais agressivas e baixas, impedindo que este ar frio penetre na edificação de modo a comprometer o seu desempenho térmico.

Para a cidade de Campo Grande, o desconforto por calor superou o desconforto por frio, o que requer uma maior análise ao verificar a tipologia de paredes trombe que possibilitem esta renovação do ar no interior do ambiente padrão não somente por infiltração, como é o caso da tipologia analisada neste tópico.

5.1.2 Parede trombe para ventilação

Ao analisar as paredes trombe para ventilação, inicialmente foi feito um estudo da possibilidade de uso desta tipologia para a cidade de Campo Grande, como mencionado anteriormente, deste modo, os modelos considerados na tipologia fechada como melhores foram identificados e foi possível analisar o potencial de uso desta tipologia que promove ventilação natural, priorizando a refrigeração dos espaços internos.

Ao verificar os modelos A8, G8 e M8, identificou-se que o modelo que apresentava menor desconforto por calor foi o modelo G8, com 219°C.h e como mencionado anteriormente, este modelo também promove menor desconforto por frio no ambiente padrão, possibilitando sua utilização de forma combinada, tomando partido da tipologia fechada no inverno e a tipologia para ventilação no verão, podendo promover um desconforto total de apenas 453°C.h, enquanto o modelo M8 não superou o modelo G8 nestes aspectos.

A seguir é apresentado na tabela 8 um comparativo entre estes três modelos considerados melhores para a cidade de Campo Grande e o agrupamento dos dados a partir de um uso combinado (automatizado ou manual) que possibilite fechar o sistema no inverno e abrir, promovendo ventilação natural no verão para o modelo G8 que foi considerado mais adequado para esta cidade que os demais.

Tabela 7 - Dados obtidos para os três modelos considerados melhores e o desconforto total do uso combinado do modelo G8 para a cidade de Campo Grande - MS.

	MELHOR MODELO		FACHADA NORTE		
			°Ch FRIO	°Ch CALOR	TOTAL
Campo Grande - MS	A8	FECH	1143,01	1611,74	2754,75
	G8	FECH	233,67	7487,67	7721,34
	G8	VENT	3616,32	219,33	3835,65
	G8	COMBINADO	233,67	219,33	453,00

Esta tipologia ventilada também apresentou resultados favoráveis à sua utilização nas cidades de Cuiabá e Belém, que são as duas cidades mais quentes analisadas neste trabalho. No entanto, houve ainda um pequeno desconforto térmico.

Para as duas cidades aqui citadas o modelo computacional que apresentou melhor desempenho foi o modelo com parede trombe ventilada com 2,0m de largura (50% da área de fachada coberta por este dispositivo), sendo 3% desta área para aberturas de entrada e saída do ar, espessura do vão com 0,10m e da parede com 0,45m, além do fechamento da superfície coletora com vidro duplo (Modelo B8).

Na cidade de Cuiabá, observou-se um desconforto térmico de 4266 °C.h sendo que o principal desconforto se deu pelo calor, assim também na cidade de Belém onde foi encontrado um desconforto térmico por calor de 179 °C.h e nenhum desconforto por frio.

A cidade de Belém não requer estratégia de projeto para aquecimento e sabe-se que as paredes trombe são utilizadas predominantemente para este fim, no entanto ela apresentou um ótimo desempenho quando utilizada para promover ventilação natural, nesta localidade, pois embora a

radiação solar incida nas superfícies com índices elevados, o ângulo em relação à normal devido a altura solar ser maior que 60° é baixo, possibilitando trabalhar com uma superfície coletora vertical para promover a ventilação natural no interior dos ambientes, sem comprometer o inverno, que neste caso não apresenta nenhum desconforto por frio.

A cidade de Cuiabá, localizada na zona bioclimática 07 também quase não requer estratégias para aquecimento e suas condições climáticas justificam o uso de uma parede trombe para ventilação natural, principalmente no que tange o desconforto por calor (embora tenha sido encontrado um maior desconforto por calor que por frio), nenhum modelo superou o mencionado acima.

Pode-se afirmar então que a parede trombe ventilada pode ser uma estratégia interessante nestas cidades, principalmente em cidades com clima quente e úmido, onde a temperatura do ar geralmente é inferior à temperatura da pele, promovendo trocas térmicas por convecção entre o ser humano e o ar por meio da ventilação natural proporcionando um baixo desconforto térmico, conforme é possível observar na figura 60, principalmente para a cidade de Belém, onde não foi possível identificar desconforto por frio.

Figura 60 - Desconforto total em °C.h por frio e calor para as cidades de Cuiabá e Belém .

O fato de ter ocorrido uma solicitação para o uso das paredes com 0,45m se deu principalmente pelo fato de promoverem uma diminuição no desconforto por frio, pois no inverno, o ar no interior do canal continua a ser aquecido, mas o calor não adentra os espaços internos devido esta maior inércia térmica na parede, além do fato deste ar quente ser dissipado rapidamente para o exterior por meio da ventilação natural promovida por esta tipologia de paredes trombe.

No que diz respeito à radiação solar, sabe-se que cidades com baixa latitude recebem a radiação solar no verão predominantemente na fachada sul, porém, mesmo com a parede trombe orientada para o norte, este componente arquitetônico quando submetido às condições climáticas da cidade de Belém apresentou um bom desempenho térmico. Este comportamento da radiação solar total tanto para o plano horizontal quanto para a superfície coletora está apresentado na figura 61.

Figura 61 - Radiação solar (W/m^2) para o plano horizontal e superfície coletora da parede trombe nas duas cidades onde a tipologia de parede trombe ventilada melhor se adequou.

A temperatura superficial do fechamento envidraçado influenciou diretamente no bom desempenho térmico deste dispositivo, pois permitiu que o efeito estufa e a ventilação por efeito chaminé produzidos no interior da parede trombe promovessem uma movimentação do ar e um incremento da ventilação natural nos espaços internos.

A figura 62 apresenta o comportamento para um dia típico de inverno e outro de verão de temperatura superficial no coletor solar e a temperatura externa dos ambientes simulados, evidenciando o acúmulo de calor pela superfície envidraçada que será irradiado em parte para o canal de ar no interior deste dispositivo.

Figura 62 - Gráficos da temperatura superficial na superfície coletora comparada com a TBS Externa, para as duas cidades analisadas com esta tipologia de parede trombe.

Observa-se então que para cidades com temperaturas elevadas e em climas com baixa amplitude térmica, as paredes trombe apresentam desempenho satisfatório quando utilizadas de modo a promover a ventilação natural, que é a principal estratégia de projeto principalmente para a zona bioclimática brasileira 08, onde localiza-se a cidade de Belém.

5.1.3 Parede trombe para aquecimento

A configuração de parede trombe para aquecimento toma partido das duas estratégias mencionadas anteriormente, pois permite o aquecimento dos ambientes e ainda possibilita uma troca do ar interno à edificação com o ar externo.

Nas condições analisadas neste trabalho, esta tipologia adequou-se melhor para as cidades de São Carlos e Garanhuns. Estas cidades apresentam verão quente e inverno frio e solicitação de aquecimento no inverno e refrigeração no verão.

Para a cidade de São Carlos, o melhor modelo para que o desconforto total fosse mínimo, foi o modelo O9, com parede trombe de 4,0 metros (100% da área de fachada), área das aberturas com 3% da área deste dispositivo, espessuras do vão com 0,15m e da parede com 0,45m e fechamento da superfície coletora com blocos de vidro.

Esta configuração toma partido da inércia térmica que é uma estratégia de projeto bastante utilizada em São Carlos devido à alta amplitude térmica desta região e grandes diferenças entre o verão e inverno, pois esta estratégia promove, além de um amortecimento térmico, um atraso no fluxo de calor que migra pelos sistemas construtivos com tal propriedade.

Este modelo apresentou um desconforto de 1646,51°C.h para frio e 1129°C.h, tornando-se o melhor modelo para esta localidade, pois conseguiu por meio da inércia térmica promover melhoramento do desempenho térmico no ambiente padrão durante todo o ano típico simulado.

Já para a cidade de Garanhuns, o modelo que apresentou melhor desempenho térmico foi similar ao recomendado para a cidade de São Carlos, diferenciando-se pelo fechamento da superfície envidraçada que é com vidro duplo (Modelo O8), neste caso o desconforto térmico total foi de 927,26°C.h.

Assim como para a cidade de São Carlos, este modelo na cidade de Garanhuns apresentou maior desconforto por frio (538,97°C.h) que por calor (388,29°C.h), porém valores ainda baixos quando comparados com outras localidades analisadas neste trabalho.

Deste modo, a parede trombe com tipologia para aquecimento, permitindo renovação do ar no interior das edificações apresenta um bom resultado para localidades com climas frios no inverno e quentes no verão e deste modo será possível minimizar o desconforto térmico tanto por frio quanto por calor, conforme apresentado na figura 63.

Figura 63 - Desconforto total em °C.h por frio e calor para as cidades de São Carlos e Garanhuns.

Assim como nas tipologias anteriores, a radiação solar incidente na superfície coletora da parede trombe influencia diretamente no seu desempenho térmico, a figura 64 apresenta o padrão de radiação para o inverno e verão nas duas cidades onde esta tipologia melhor se adequou e a figura 65, a temperatura superficial do elemento envidraçado comparado com a temperatura externa destas cidades.

Figura 64 - Radiação solar (W/m^2) para o plano horizontal e superfície coletora da parede trombe nas duas cidades onde a tipologia de parede trombe para aquecimento melhor se adequou.

Figura 65 - Gráficos da temperatura superficial na superfície coletora comparada com a TBS Externa, para as duas cidades analisadas com a parede trombe para aquecimento.

Este calor incidente na superfície coletora por meio da radiação solar promove um aumento da temperatura superficial do fechamento envidraçado tanto no verão quanto no inverno, potencializando o efeito estufa no canal da parede trombe e consequentemente melhorando o seu desempenho, é possível observar que este aumento da temperatura superficial se deu de forma mais elevada na cidade de Garanhuns devido à baixa latitude e consequentemente maior incidência da radiação solar na superfície coletora (para o caso da parede trombe orientada para o norte).

5.2 ORIENTAÇÃO DO SISTEMA TROMBE

Embora a literatura clássica sobre o tema aqui estudado mencione que para o hemisfério sul, onde se localizam todas as cidades analisadas neste trabalho, a parede trombe deve ser orientada para o norte, algumas cidades brasileiras estão situadas a uma baixa latitude e nestas localidades é possível identificar que em decorrência da proximidade com a linha do equador e alta incidência da radiação solar, as estratégias para refrigeração são as mais solicitadas, principalmente a ventilação natural.

Estas estratégias para resfriamento devem ser aplicadas preferencialmente no verão, quando a temperatura do ar externo é maior. No entanto, sabe-se que neste período, nas cidades localizadas próximas ao equador, a trajetória solar (principal fonte de energia para promover um bom funcionamento das paredes trombe) está voltada para a fachada sul e deste modo, se torna a fachada que mais recebe radiação solar neste período, podendo potencializar o efeito do uso do sistema aqui analisado para promover ventilação natural.

A partir desta constatação, surgiu a necessidade de realizar novas simulações computacionais de modo que outras fachadas fossem investigadas quanto ao seu potencial de receber este componente.

Neste caso, foram simuladas as paredes trombe voltadas para o sul, em decorrência dos motivos expostos acima e para a fachada oeste, já que é uma fachada que recebe alta radiação no período da tarde em todas as localidades analisadas e por ser uma fachada que projetualmente requer cuidados por parte dos profissionais de projeto, por apresentar alto potencial para promover um superaquecimento nos espaços internos.

Com esta análise, foi possível identificar a melhor fachada para inserir este dispositivo em cada localidade, servindo de base para as recomendações de projeto que serão apresentadas a seguir.

A figura 66 apresenta o período de insolação para as três fachadas onde foram inseridas as paredes trombe para as simulações neste trabalho, por meio da carta solar, tendo a cidade de Garanhuns como exemplo, localizada na latitude de $-8,89^\circ$, onde é possível observar a incidência da radiação solar direta nas fachadas norte (maior parte do ano) e verifica-se que no verão esta radiação incide na fachada sul e a fachada oeste recebe radiação durante todo o ano, porém apenas no período da tarde.

Figura 66- Insolação nas fachadas Norte, Sul e Oeste para a cidade de Garanhuns - PE.

Com estas simulações, foi possível identificar que os modelos N8, M8 e O9 que apresentaram melhor desempenho para as cidades de Curitiba, Santa Maria e Florianópolis respectivamente, devem ser orientados para a fachada norte. Esta constatação já era esperada em decorrência da localização (são cidades subtropicais) e da predominância da incidência da radiação solar na fachada norte.

Já as cidades de São Carlos e Garanhuns, que possuem os melhores modelos O9 e O8 respectivamente, a fachada sul apresentou-se como a melhor orientação para inserção das paredes trombe, pois para a cidade de São Carlos, ao orientar este componente para o sul, apesar de apresentar latitude próxima ao trópico de capricórnio ($-22,05^\circ$) houve uma diminuição principalmente do desconforto por frio, pois a radiação incidente na superfície envidraçada se dá predominantemente de forma difusa no inverno e embora tome partido da inércia térmica, foi possível identificar que este modelo permite uma passagem do calor acumulado na parede trombe para o interior do ambiente padrão, promovendo um superaquecimento.

A cidade de Garanhuns apresentou esta característica em decorrência principalmente da sua localização, próxima à linha do equador, que embora houvesse um aumento no desconforto por frio, há uma diminuição significativa do desconforto por calor, o que justifica a escolha por orientar para o sul, pois é sabido que esta fachada recebe radiação no período de verão, permitindo um melhor desempenho térmico neste período.

Na cidade de Campo Grande, observou-se que ao orientar a parede trombe para o sul, houve uma diminuição no desconforto por calor, pois ao receber mais radiação solar no período do verão, melhora a eficiência do sistema para promover ventilação natural, no entanto, como no inverno a incidência solar se dá na fachada norte, observou-se um grande desconforto por frio, pois o movimento de ar no interior do canal da parede não ocorre com intensidade suficiente.

A cidade de Cuiabá, por apresentar clima predominantemente quente, apesar de localizar-se acima do trópico de capricórnio, não apresentou bom desempenho ao orientar este componente para a fachada sul, pois houve um significativo aumento no desconforto por calor, ainda que fosse considerado o modelo para ventilação, o volume de ar deslocado por um canal com 0,10m de espessura não apontou para uma ventilação cruzada e por efeito chaminé significativas para diminuir a temperatura interna, promovendo assim um melhor desempenho térmico do ambiente padrão. Deste modo, optou-se em manter o sistema trombe implantado na fachada norte, que apresentou melhor desempenho.

Já para a cidade de Belém, a diferença entre o desconforto quando este dispositivo está localizado nas fachadas norte e sul, são pequenos, devido a proximidade com a linha do equador podendo ser localizada nas duas fachadas a depender das possibilidades encontradas pelos profissionais de projeto.

A tabela 8 apresenta um resumo dos resultados obtidos para as diferentes orientações simuladas neste trabalho.

Tabela 8 - Resumo dos resultados obtidos para os melhores modelos em diferentes orientações.

			°Ch Frio	°Ch Calor	°Ch Total
Curitiba - PR	N8 - FECH	Fachada Norte	4102,31	1568,25	5670,56
		Fachada Sul	5695,85	198,97	5894,81
		Fachada Oeste	3192,58	2582,45	5775,03
Santa Maria - RS	M8 - FECH	Fachada Norte	8257,23	2479,81	10737,04
		Fachada Sul	7042,57	2547,93	9590,50
		Fachada Oeste	7891,45	2765,57	10657,02
Florianópolis - SC	O9 - FECH	Fachada Norte	1922,89	1022,91	2945,80
		Fachada Sul	1965,94	1447,61	3413,56
		Fachada Oeste	1783,40	1202,70	2986,10
São Carlos - SP	O9 - AQEC	Fachada Norte	1646,51	1129,00	2775,51
		Fachada Sul	1220,37	1393,48	2613,85
		Fachada Oeste	1609,32	1945,47	3554,79
Garanhuns - PE	O8 - AQEC	Fachada Norte	538,97	388,29	927,26
		Fachada Sul	682,61	207,95	890,56
		Fachada Oeste	726,88	310,79	1037,67
Campo Grande - MS	G8 - COMB ¹⁵	Fachada Norte	233,67	219,33	453,00
		Fachada Sul	1688,80	156,19	1844,99
		Fachada Oeste	1929,49	399,56	2329,05
Cuiabá - MT	B8 - VENT	Fachada Norte	1448,79	2816,96	4265,75
		Fachada Sul	1204,93	3774,26	4979,19
		Fachada Oeste	1277,92	4350,33	5628,24
Belém - PA	B8 - VENT	Fachada Norte	0,00	178,97	178,97
		Fachada Sul	0,00	191,38	191,38
		Fachada Oeste	0,00	368,63	368,63

Observa-se também que a fachada oeste não apresentou um bom potencial para implantação de paredes trombe, pois neste caso é uma fachada que recebe radiação solar durante todo o ano no

¹⁵ Modelo COMB indica duas tipologias agrupadas ao longo do ano, neste caso a tipologia FECH para o inverno e VENT para o verão.

período da tarde, porém em menor quantidade que as fachadas que podem receber insolação em alguns períodos do ano durante o dia todo, além do fato de que no Brasil que recebe um alto nível de radiação pode comprometer o desempenho deste componente, porém outras espessuras para o canal da parede trombe podem ser investigados posteriormente, pois esta limitação que a fachada oeste apresenta pode ser em decorrência do pequeno volume de ar que é deslocado, principalmente no que tange a ventilação natural para promover um resfriamento nos ambientes.

A figura 67 apresenta o desconforto total para cada um dos melhores modelos nas oito cidades simuladas considerando as três orientações simuladas nesta pesquisa.

Figura 67 - Desconforto total para as oito cidades simuladas em função da orientação da parede trombe.

5.3 VIABILIDADE DE USO

Tendo em vista este volume de ar deslocado que pode ser primordial para o bom desempenho de uma parede trombe, foram realizadas simulações computacionais com um ambiente padrão nas mesmas dimensões, porém sem paredes trombe. Este modelo foi considerado como modelo de referência para esta pesquisa já que apresenta uma janela com dimensões de 1,00m de largura, 1,10m de altura e 1,00m de peitoril. Este ambiente está apresentado na figura 68 onde é possível verificar suas características básicas.

Figura 68 - Perspectiva (a), Planta baixa (b) e Corte (c) do modelo de referência com janelas e desprovidos de paredes trombe.

A esquadria escolhida foi uma janela de correr (50% da área da abertura para ventilação natural) por ser uma tipologia bastante utilizada nas edificações atualmente. Em relação à parede externa onde as janelas foram inseridas, como em todos os modelos foram solicitadas paredes com alta inércia térmica (0,45m) esta espessura foi mantida (além das demais paredes com 0,15m) de modo a identificar apenas a influência da ausência da parede trombe e presença da esquadria.

As simulações foram realizadas utilizando o módulo airflow network do energyplus, que melhor apresenta os resultados para a temperatura interna levando em consideração as trocas térmicas por meio da ventilação natural.

A tabela 9 apresenta os resultados para as simulações neste modelo de referência para as oito cidades consideradas neste trabalho e a partir destes dados, foi possível identificar a viabilidade de uso do sistema aqui proposto nestas cidades.

Tabela 9 - Resultados obtidos para as simulações do modelo de referência.

	DESCONFORTO		
	FRIO	CALOR	TOTAL
CURITIBA - PR	23242,96	0,00	23242,96
SANTA MARIA - RS	21768,47	62,45048	21830,92
FLORIANÓPOLIS - SC	8991,029	2,060344	8993,089
SÃO CARLOS - SP	8083,909	16,5672	8100,477
GARANHUNS - PE	4619,022	0,00	4619,022
CAMPO GRANDE - MS	4759,624	122,8934	4882,517
CUIABÁ - MT	1795,725	2259,14	4054,864
BELÉM - PA	0,00	80,46026	80,46026

Ao eliminar a parede trombe, houve principalmente um aumento no desconforto por frio quando comparado com os resultados obtidos nos modelos dotados deste dispositivo, com exceção da cidade de Belém, onde também não foi encontrado desconforto por frio.

Quanto ao desconforto por calor, houve uma diminuição em todos os casos analisados. Nestas situações, o volume de ar deslocado no interior do ambiente interno é maior que os casos com paredes trombe e assim, o calor removido será maior por meio da ventilação cruzada promovida entre a porta e a janela.

Pode-se afirmar diante destas análises que a parede trombe é um dispositivo que tem grande potencial de utilização no Brasil principalmente no período de inverno, para promover aquecimento dos espaços internos, porém, neste período, os ambientes que possuem janelas podem ter este elemento fechado, evitando a ventilação natural e melhorando o desempenho térmico do ambiente padrão.

No entanto, ao considerar o desconforto total, as paredes trombe se mostraram um componente que pode ser utilizado em pelo menos seis das oito cidades analisadas, conforme é possível observar na figura 69 que apresenta o comparativo entre estes valores para as duas situações analisadas neste trabalho (com e sem paredes trombe) para os melhores modelos em cada cidade analisada.

Figura 69 - Comparativo entre o desconforto térmico total para o ambiente com janelas e os melhores modelos com paredes trombe nas cidades simuladas.

As cidades de Belém e Cuiabá apresentaram melhor potencial para a utilização de janela quando comparado com as configurações de paredes trombe analisadas neste trabalho, pois ao inserir uma janela há um incremento da ventilação natural e um volume maior de ar é deslocado num mesmo intervalo de tempo no ambiente padrão, porém cabe em estudos futuros analisar uma espessura do canal no interior do sistema trombe maior que os considerados aqui (neste caso, a espessura do canal máxima foi de 0,15m).

As demais cidades localizadas entre as zonas bioclimáticas brasileiras 01 e 06, apresentaram bom potencial para a inserção de edificações com paredes trombe, pois no desempenho térmico total, durante um ano de referência simulado, o ambiente padrão apresentou condições favoráveis que corroboram esta afirmação.

5.4 RECOMENDAÇÕES DE PROJETO

Diante das considerações mencionadas anteriormente, pode-se afirmar que para a utilização de paredes trombe em climas típicos do Brasil, deve-se levar em consideração alguns fatores, primeiramente em relação à espessura da parede com alta inércia térmica.

Em todos os casos analisados neste trabalho, a parede trombe com 0,45m de espessura apresentou-se como o modelo mais adequado para proporcionar maior conforto térmico aos usuários. Este tipo de parede toma partido de uma alta inércia térmica para promover um amortecimento e atraso térmico, possibilitando obter temperaturas mais amenas nos ambientes internos e em alguns casos, impossibilitando ou dificultando que o calor produzido pelo efeito estufa no vão da parede trombe penetre a edificação, evitando desconforto por calor. Outra variável unânime em todas as cidades simuladas foi a área das aberturas de entrada e saída do ar que deve ser 3% da área total da parede trombe.

Para os demais parâmetros, houve uma pequena variação entre os modelos, conforme é possível observar na tabela 10, onde as recomendações construtivas são apresentadas, levando em conta os parâmetros analisados neste trabalho.

Tabela 10 - Recomendações construtivas para o uso de paredes trombe nas cidades analisadas.

	Orientação	(%) da área envidraçada	Aberturas	Espessura do canal de ar (m)	Parede com alta inércia (m)	Fechamento envidraçado
Curitiba - PR	N	100	3%	0,10	0,45	Vidro Duplo
Santa Maria - RS	N	100	3%	0,05	0,45	Vidro Duplo
Florianópolis - SC	N	100	3%	0,15	0,45	Bloco de Vidro
São Carlos - SP	S	100	3%	0,15	0,45	Bloco de Vidro
Garanhuns - PE	S	100	3%	0,15	0,45	Vidro Duplo
Campo Grande - MS	N	75	3%	0,10	0,45	Vidro Duplo
Cuiabá - MT	N	50	3%	0,10	0,45	Vidro Duplo
Belém - PA	N / S	50	3%	0,10	0,45	Vidro Duplo

Ao propor diretrizes projetuais para a utilização de paredes trombe no Brasil, deve-se levar em consideração o padrão de comportamento dos usuários e ao mesmo tempo permitir que este dispositivo seja controlado de forma manual, permitindo maior autonomia dos ocupantes das edificações dotadas deste componente.

Faz-se então necessário comparar os modelos que apresentaram melhor desempenho em cada uma das cidades simuladas para cada uma das tipologias apresentadas neste trabalho, pois para uma tipologia e outra não há diferença de sistemas construtivos, apenas de padrão de utilização, deste modo o usuário poderá optar por uma parede trombe ventilada no verão e uma parede trombe que promova aquecimento no inverno.

A partir desta análise é possível afirmar que nem sempre o modelo que apresenta menor desconforto total é realmente o melhor modelo para cada cidade analisada, pois desconsidera a ação do usuário e mantém um único padrão de ocupação ao longo do ano. A tabela 11 ilustra esta afirmação, onde é possível observar os melhores modelos para cada uma das cidades considerando as três tipologias adotadas neste trabalho, de modo a identificar qual modelo apresenta menor desconforto por frio e por calor.

Tabela 11 - Desconforto térmico (°C.h) para todas as tipologias de paredes trombe considerando os melhores modelos para cada cidade analisada.

MELHOR MODELO	AQEC			FECH			VENT		
	°Ch FRIO	°Ch CALOR	TOTAL	°Ch FRIO	°Ch CALOR	TOTAL	°Ch FRIO	°Ch CALOR	TOTAL
N8 – CURITIBA	6148,77	569,09	6717,86	4102,31	1568,25	5670,56	17826,65	4,5	17831,15
M8 – STA MARIA	10744,95	1290,10	12035,05	8257,23	2479,81	10737,04	12733,62	403,81	13137,43
O9 – FLORIANÓPOLIS	2805,66	406,28	3211,94	1922,89	1022,91	2945,80	7206,57	74,23	7280,80
O9 – S CARLOS	1220,37	1393,48	2613,85	1165,94	1447,61	2613,56	4292,05	76,35	4368,40
O8 – GARANHUNS	682,61	207,95	890,56	195,09	4985,04	5180,12	2387,76	0,00	2387,76
G8 – CAMPO GRANDE	624,71	3965,87	4590,58	233,67	7487,67	7721,34	3616,32	219,33	3835,65
B8 – CUIABÁ	438,29	17266,52	17704,81	235,21	26869,42	27104,63	1448,79	2816,96	4265,75
B8 – BELÉM	-	4092,07	4092,07	-	8150,12	8150,12	-	178,97	178,97

G8 ¹⁶	233,67	219,33	453,00
------------------	--------	--------	--------

Esta tabela considera os modelos orientados segundo as recomendações já mencionadas acima. Ao observar a tabela 11, pode-se afirmar que para uma mesma configuração de parede trombe, para a cidade de Curitiba enquanto o modelo de parede trombe fechada apresentou melhor desempenho ao longo do ano, o modelo ventilado pode promover menor desconforto térmico no verão (por calor) não somente para esta cidade, como todas as outras analisadas, chegando na cidade de Garanhuns a não ser encontrado nenhum desconforto por calor, o que configura neste caso uma grande potencialidade para utilização deste componente.

Considerar uma mesma configuração com diversas tipologias é dar autonomia ao usuário de modo a proporcionar que ele tenha papel ativo na promoção do conforto térmico e propor soluções adaptáveis a cada situação e necessidade dos usuários.

Com esta análise, onde se considera em todos os casos um uso combinado das paredes trombe, confirma-se a viabilidade de utilização deste componente em pelo menos seis das oito cidades analisadas, podendo ainda ser utilizado nas cidades de Cuiabá e Belém sem grandes prejuízos para

¹⁶ Modelo Combinado

o desempenho térmico dos espaços internos quando comparado com estes mesmos espaços dotados de janelas, conforme é possível observar na tabela 12.

Tabela 12 - Desconforto para as oito cidades analisadas, considerando o uso combinado e a intervenção do usuário.

	MELHOR MODELO	VERÃO		INVERNO		TOTAL
		TIPOLOGIA	°Ch Calor	TIPOLOGIA	°Ch Frio	
Curitiba - PR	N8	VENT	4,50	FECH	4102,31	4106,81
Santa Maria - RS	M8	VENT	403,81	FECH	8257,23	8661,04
Florianópolis - SC	O9	VENT	74,23	FECH	1922,89	1997,12
São Carlos - SP	O9	VENT	76,35	AQEC	1220,37	1296,72
Garanhuns - PE	O8	VENT	0,00	FECH	195,09	195,09
Campo Grande - MS	G8	VENT	219,33	FECH	233,67	453,00
Cuiabá - MT	B8	VENT	2816,96	FECH	235,21	3052,17
Belém - PA	B8	VENT	178,97	VENT	0,00	178,97

Diante disto, pode-se afirmar que o clima e a latitude da cidade onde será inserida a parede trombe influencia diretamente na fachada em que este sistema deverá ser inserido e orientado, para baixas latitudes, entre $\pm 23,5^\circ$ (onde localizam-se os trópicos), este componente deve ser orientado para a fachada oposta à recomendada pela literatura clássica sobre o tema, com exceção para climas quentes localizados entre -15° e $-23,5^\circ$, quando o calor excessivo pode ser potencializado no verão para as condições analisadas neste trabalho. Estas condições podem ser melhor analisadas ao investigar outras espessuras do canal no interior da parede trombe, promovendo um deslocamento de maior volume de ar.

Para cidades com climas quentes e úmidos, o modelo que prioriza a ventilação natural deve ser utilizado durante todo o ano, pois esta é a principal recomendação de projeto para estas localidades, já para regiões com verão quente e inverno frio e chuvoso, como é o caso da cidade de Garanhuns, no inverno as aberturas da parede trombe devem estar fechadas, permitindo apenas a renovação do ar por infiltração no período de inverno e abertas no verão priorizando a ventilação natural.

Cidades como São Carlos que apresentam Verão chuvoso e Inverno seco, além do modelo que favorece a ventilação natural no verão, deve-se permitir entrada de ar no inverno, utilizando a tipologia para aquecimento para que deste modo seja possível obter um menor índice de °Ch por frio e calor.

Nas cidades localizadas abaixo do Trópico de Capricórnio (latitude $-23,5^\circ$) a orientação do sistema aqui analisado deve sempre ser na fachada Norte, assim como recomendações gerais segundo as referências aqui citadas.

Para estas localidades, foram analisados três tipos de climas: clima frio, subtropical e temperado. Para estas localidades, as recomendações de projeto diferem-se apenas pelos sistemas construtivos. A partir destas análises foi desenvolvido um aplicativo que estabelece estas recomendações de projeto para o uso de Paredes Trombe em climas brasileiros.

5.4.1 TromBR: Um aplicativo para dispositivos móveis.

Tendo por base o avanço da tecnologia *mobile*, foi elaborado como parte integrante deste trabalho um dispositivo para Sistema Operacional Android em dispositivos móveis, visando proporcionar uma maior usabilidade dos resultados deste trabalho por parte dos escritórios de arquitetura e profissionais de projeto em geral que tenham o desejo de inserir este elemento em projetos para edificações localizadas no Brasil.

Este aplicativo (que pode ser baixado para qualquer dispositivo móvel através do QR-Code apresentado no verso deste trabalho) apresenta o conceito das paredes trombe e as tipologias utilizadas neste trabalho, porém a seção mais importante contempla as recomendações de projeto em função da latitude e do clima da localidade onde será inserido este elemento¹⁷.

Para estas recomendações de projeto, ao iniciar esta seção do aplicativo, será solicitado do usuário a latitude para a qual se deseja inserir uma parede trombe e em seguida um clima que melhor se enquadra a esta região, conforme observado na figura 70.

Figura 70 - Esquema para funcionamento do aplicativo.

Observe que ao escolher uma latitude que indique uma região subtropical, o usuário apenas poderá escolher entre três opções de clima (frio, temperado e subtropical) evitando assim que por um descuido, seja inserido para a região sul um clima similar ao da cidade de Belém, por exemplo. O mesmo ocorre para as regiões tropicais.

Para cada caso considerado (11 climas) foi elaborada uma recomendação de projeto que poderá ser incorporada pelo projetista caso opte por utilizar uma das configurações analisadas neste

¹⁷ As telas deste aplicativo encontram-se apresentadas no Anexo B deste trabalho.

trabalho, permitindo maior produtividade e assertividade na escolha da parede trombe para projetos de arquitetura.

Estas recomendações estão apresentadas na figura 71, que toma por base a numeração dos climas exposta anteriormente na figura 70 sendo:

A – Tipo do Fechamento Envidraçado;

B – Espessura do Canal no interior da Parede Trombe;

C – Espessura da parede com alta inércia;

D – Relação da área das aberturas em função da área da superfície envidraçada.

CLIMA	ORIENTAÇÃO	ÁREA DA SUPERFÍCIE ENVIDRAÇADA	A	B	C	D
1	N	100%	Vidro Duplo	0,10m	0,45m	3%
2	N	100%	Bloco de Vidro	0,15m	0,45m	3%
3	N	100%	Vidro Duplo	0,05m	0,45m	3%
4	S	100%	Bloco de Vidro	0,15m	0,45m	3%
5	N	75%	Vidro Duplo	0,10m	0,45m	3%
6	N	50%	Vidro Duplo	0,10m	0,45m	3%
7	N	50%	Vidro Duplo	0,10m	0,45m	3%
8	S	100%	Vidro Duplo	0,15m	0,45m	3%
9	S	75%	Vidro Duplo	0,10m	0,45m	3%
10	S	50%	Vidro Duplo	0,10m	0,45m	3%
11	S	50%	Vidro Duplo	0,10m	0,45m	3%

Figura 71 - Recomendações projetuais em função da latitude e clima.

6 MODELO SIMPLIFICADO

A partir dos valores obtidos por simulação e tendo posse dos melhores modelos para cada cidade analisada, foram elaborados modelos simplificados para cada situação de modo a tornar possível a previsão deste componente em diversas localidades por profissionais que venham a propor a utilização de paredes trombe em seus projetos a partir de dados climáticos medidos com maior facilidade pelos instrumentos disponíveis no mercado ou mesmo pela base de dados climática disponíveis nos Institutos de Monitoramento Meteorológico.

As equações apresentadas a seguir foram obtidas por meio de regressões estatísticas, tornando possível estimar a temperatura do ar no interior dos ambientes dotados de paredes trombe para as oito cidades analisadas neste trabalho. Encontraram-se então modelos capazes de estimar estas variáveis em função da temperatura do ar externo e da radiação solar incidente nas superfícies horizontais e de fachada coletora.

Entende-se por modelo estatístico a representação de processos físicos, econômicos, biológicos através de um formalismo matemático que permite que se façam previsões ou interpretações em relação ao universo que se pretende modelares. Existem diferentes caminhos nos quais esses modelos podem ser usados e desenvolvidos. Seus objetivos primordiais são descrever, explicar ou prever um fenômeno. São exemplos de sua aplicação: previsão meteorológica, estudos financeiros, detecção de fraude. Os modelos estatísticos podem ser aplicados a quase todas as situações em que são requeridos raciocínios formais para sua resolução.

Estas equações obtidas por meio de regressão encontram-se acompanhadas de seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), que corresponde ao quadrado do coeficiente de correlação (R^1). Assim a partir do valor do coeficiente de determinação foi possível obter o valor do coeficiente de correlação. Para este caso em que as grandezas analisadas são diretamente proporcionais, o coeficiente de correlação será sempre positivo.

Para estas regressões, foram separadas duas condições:

A primeira refere-se aos valores do desempenho térmico para o inverno de modo a proporcionar o mínimo de desconforto por frio e a segunda deve ser utilizada para o verão, no modelo que prioriza a ventilação natural.

Para obter-se a radiação solar incidente no fechamento envidraçado deve-se fazer uso dos modelos apresentados anteriormente nas equações 01 a 04. A partir daí, pode-se então estimar inicialmente a temperatura superficial na face coletora por meio das equações 37 e 38.

As regressões aqui desenvolvidas levaram em conta os valores obtidos por simulação computacional para as oito cidades analisadas neste trabalho, desconsiderando os valores para os horários em que a radiação solar incidente no plano horizontal é nula (período da noite) pois neste período a parede trombe perde sua eficiência já que o ar no interior do canal não é aquecido, minimizando o seu movimento no interior do sistema trombe.

A equação para estimar a temperatura superficial da face envidraçada no período de inverno, de modo a promover o aquecimento dos ambientes, pode ser definida por:

$$T_{\text{sup}} = 5,76088 + 0,04122 (H_b) + 0,8814 (T_e) \quad [\text{Eq. 37}]$$

Onde: T_{sup} = Temperatura superficial da face envidraçada (°C);

T_e = Temperatura Externa (°C);

H_b = Radiação incidente na superfície coletora (W/m²).

Esta equação apresentou um coeficiente de correlação (R^1) de 0,943197, que se refere a uma correlação muito forte, aproximando os valores calculados por meio deste modelo simplificado dos valores obtidos por simulação, conforme apresentado na figura 72.

Figura 72 - Relação entre os valores da Temperatura superficial na face envidraçada obtidos por simulação (x) e calculados por meio do modelo simplificado (y) para as oito cidades analisadas no inverno.

— Linha do erro zero

Para determinar a Temperatura superficial na face coletora da parede trombe que promove ventilação natural no verão pode-se utilizar a equação:

$$T_{\text{sup}} = 3,67176 + 0,03977 (H_b) + 0,91491 (T_e) \quad [\text{Eq. 38}]$$

Onde: T_{sup} = Temperatura superficial da face envidraçada (°C);

T_e = Temperatura Externa (°C);

H_b = Radiação incidente na superfície coletora (W/m²).

Esta equação apresentou um coeficiente de correlação de 0,968643 que confere uma correlação altíssima, conforme pode-se observar na figura 73, que apresenta um comparativo entre os valores obtidos por meio da regressão e os valores obtidos por simulação, apresentando valores similares, já que os pontos distribuem-se ao longo da reta correspondente ao erro igual a zero, indicando que os valores para temperatura superficial calculados tendem a estar sempre próximos aos simulados e que, portanto o modelo simplificado corresponde ao comportamento encontrado por meio de simulação.

Figura 73 - Relação entre os valores da Temperatura superficial na face envidraçada obtidos por simulação (x) e calculados por meio do modelo simplificado (y) para as oito cidades analisadas no verão.

— Linha do erro zero

Observa-se então que é possível determinar a temperatura superficial no coletor da parede trombe apenas com dados medidos em estações climáticas, de modo a obter valores confiáveis, com alta correlação (valores para "R" acima de 0,94 nos dois casos), o que garante uma correlação fortíssima entre as variáveis. Outra variável importante para a determinação da temperatura no interior dos ambientes onde serão inseridos estes dispositivos é a temperatura no interior do vão da parede trombe, que depende diretamente das temperaturas superficiais (calculadas anteriormente) e da temperatura do ar no exterior dos ambientes. As equações obtidas para esta variável estão apresentadas abaixo, com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e correlação (R^1).

$$T_{i2} = 4,25968 + 0,91678 (T_{sup}) - 0,09231 (T_e) - 0,01357 (T_{sup} - T_e)^2 \quad [\text{Eq. 39}]$$

$$T_{i2} = 2,01076 + 0,35837 (T_{sup}) + 0,56661(T_e) \quad [\text{Eq. 40}]$$

Onde: T_{i2} = Temperatura no interior da parede trombe (°C);
 T_{sup} = Temperatura superficial da face envidraçada (°C);
 T_e = Temperatura Externa (°C),

A equação 39 representa os valores obtidos para promover aquecimento no inverno com coeficientes de determinação de 0,8792 e correlação de 0,93766, e a equação 40 que apresenta seus coeficientes de determinação igual a 0,97447 e correlação de 0,98715 deve ser utilizada quando se deseja ventilação natural, no verão. Observa-se que para todos os casos, na estimativa da temperatura no interior da parede trombe, obteve-se uma altíssima correlação (acima de 0,9) principalmente no modelo que promove a ventilação natural no verão (Figura 74), tornando possível calcular esta variável com maior confiabilidade adequando-se aos modelos simulados computacionalmente.

Figura 74 - Relação entre os valores da Temperatura no interior do canal da parede trombe obtidos por simulação (x) e calculados por meio do modelo simplificado (y) para as oito cidades analisadas no inverno (a) e no verão (b).

— Linha do erro zero

A partir destas equações é possível determinar a temperatura interna dos ambientes dotados de paredes trombe e quantificar em seguida a previsão do desconforto térmico dos usuários que venham a ocupar estes espaços caso se deseje esta análise horária.

As equações obtidas por regressão para a temperatura interna dos ambientes dotados de paredes trombe dependem diretamente das duas variáveis calculadas acima, de modo que ao aplicá-las seja possível estimar o desempenho térmico e possíveis potencialidades de desconforto térmico ao longo do ano por meio das análises necessárias por qualquer metodologia já conhecida para definição das zonas de conforto.

Estas equações apresentadas para a Temperatura no interior dos ambientes em alguns casos chegou a apresentar um coeficiente de correlação em torno de 0,88, o que embora represente uma forte correlação, fica abaixo dos valores obtidos para outras equações obtidas neste trabalho.

De posse destas equações, é possível estimar a temperatura interna para o verão por meio da equação 41 e para o inverno por meio da equação 42, nos espaços que venham a possuir uma parede trombe a partir de medições ou estimativas de temperatura e radiação solar em edificações construídas no Brasil.

$$T_i = 4,229195 + 0,26926 (T_{sup}) - 0,01879(H_b) + 0,05918 (T_e) + 0,49783 (T_{i2}) - 0,01357 (T_{sup}-T_e)^2 \quad [\text{Eq. 41}]$$

$$T_i = 4,86515 + 0,26409 (T_{sup}) - 0,01796(H_b) + 0,25295 (T_e) + 0,28464 (T_{i2}) - 0,00116 (H_D) \quad [\text{Eq. 42}]$$

Sendo: T_i = Temperatura no interior dos espaços dotados de paredes trombe (°C);

T_e = Temperatura Externa (°C);

H_D = Radiação direta Incidente no Plano Horizontal (W/m²);

H_b = Radiação Incidente no Plano Inclinado (W/m²);

T_{sup} = Temperatura superficial da face envidraçada (°C);

T_{i2} = Temperatura no interior da parede trombe (°C).

Enquanto a equação 41 apresentou coeficiente de determinação igual a 0,77923 e coeficiente de correlação 0,88274, os mesmos coeficientes obtidos para a equação 42 foram 0,82325 e 0,907331 respectivamente e observa-se na figura 75 que estes valores quando inseridos em um gráfico de dispersão (x,y) apresentam boa correlação entre os valores obtidos por simulação e calculado com o auxílio das equações obtidas neste trabalho.

Figura 75 - Relação entre os valores da Temperatura no interior do canal da parede trombe obtidos por simulação (x) e calculados por meio do modelo simplificado (y) para as oito cidades analisadas no verão (a) e no inverno (b).

— Linha do erro zero

Diante disto, pode-se confirmar a eficiência do modelo aqui proposto que permitirá aos profissionais de projeto encontrar o desempenho deste componente quando inserido em edificações localizadas em climas brasileiros sem que haja a necessidade de futuras simulações, processo que requer alto custo e maiores prazos para elaboração de projeto arquitetônico, além de uma mão de obra especializada e escassa no mercado brasileiro.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho analisou o potencial de utilização de paredes trombe para climas típicos do Brasil, avaliando o desempenho térmico dos ambientes onde este dispositivo foi inserido, considerando três tipologias básicas de funcionamento: paredes trombe fechada, para promoção de ventilação natural e aquecimento por meio de simulações computacionais utilizando o software energyplus.

Estas simulações apontaram para um bom desempenho deste componente arquitetônico quanto à promoção de conforto térmico, promovendo um amortecimento e um atraso térmico na temperatura interna dos espaços dotados deste dispositivo, além de diminuição da necessidade de utilização de sistemas mecânicos para aquecimento e refrigeração.

Ao identificar dentre as 3888 simulações realizadas os melhores modelos para cada cidade analisada, constatou-se o seguinte:

Para a Cidade de Curitiba, o modelo que melhor se adaptou foi o da parede trombe que ocupa 100% da área de fachada, área das aberturas com 3% da área da parede trombe, vão entre a parede e a superfície envidraçada com 0,10m, espessura da parede com 0,45m e fechamento com vidro duplo. Observou-se que a tipologia de parede trombe fechada apresentava melhor desempenho ao longo do ano, porém, se considerar a ação do usuário ao longo deste período pode-se afirmar que para o verão, a parede trombe ventilada proporciona um menor desconforto por calor, enquanto no inverno a tipologia fechada proporciona menor desconforto por frio, ao impedir a entrada do ar com temperaturas muito baixas, comum neste período do ano.

Para a cidade de Santa Maria, o modelo que proporcionou menor desconforto total foi o da parede trombe com 100% da área de fachada, 3% da área da superfície envidraçada para as aberturas de entrada e saída do ar, vão com 0,05m e espessura da parede com 0,45m, além do fechamento da superfície envidraçada com vidro duplo.

Nas cidades de Florianópolis e São Carlos, recomenda-se a parede trombe com 4,0m de largura e 3% da área deste componente como área das aberturas, vão entre a face coletora e a parede com 0,15m, espessura da parede com 0,45m e fechamento com blocos de vidro.

A cidade de Garanhuns também apresentou possibilidade de utilização deste componente, sendo que as características recomendadas para este caso são a parede trombe com 4,0m de largura e 3% da área da superfície envidraçada (vidro duplo) para a área das aberturas e o vão entre a parede que deverá ter 0,45m e a face coletora com 0,15m.

Nas regiões mais quentes (cidades de Campo Grande, Cuiabá e Belém) a largura da parede trombe deve ser reduzida, para 75% da área de fachada em Campo Grande e 50% nas demais cidades analisadas e os mesmos 3% da área da superfície envidraçada para a área das aberturas de entrada e saída do ar, além da espessura da parede com 0,45m e fechamento da superfície coletora com vidro duplo e espessura do canal de ar com 0,10m.

Considerou-se também a latitude do local onde será inserida a parede trombe de modo que em algumas localidades (principalmente as que apresentam latitude maior que -15°) situadas próximas à linha do equador, este componente deve ser implantado na fachada sul, contrariando as recomendações encontradas na literatura clássica sobre o tema, mas justificável pelo fato de que

nestas localidades, no verão (período em que se necessita de ventilação natural) quando o índice de radiação incidente no plano horizontal é maior, sua trajetória está voltada para o sul.

O uso de aberturas convencionais (janelas) também foi investigado neste trabalho e embora em algumas cidades as aberturas apresentem um desempenho melhor, as paredes trombe ainda assim podem proporcionar situações de conforto térmico aos usuários, principalmente quando o usuário controla seu funcionamento.

Diante do exposto anteriormente, pode-se afirmar que seguindo algumas recomendações, as paredes trombe podem ser utilizadas nos diversos climas brasileiros de modo a proporcionar maior conforto térmico dos usuários ao longo do ano.

Foi proposto que o uso destes elementos arquitetônicos possibilitassem a interação do usuário com o seu funcionamento, atuando como agente ativo nos mecanismos de fechamento das aberturas, podendo-se tomar partido das três tipologias consideradas neste trabalho.

Ao considerar a possibilidade de controle pelo usuário, sugere-se que não há um sistema construtivo perfeito, mas que pode ser adaptável às necessidades dos usuários de modo a comportar-se de forma otimizada ao longo de todo o ano.

A utilização de simulações computacionais tem se mostrado uma ferramenta satisfatória na análise do desempenho térmico de edificações, por possibilitar a realização das avaliações desejadas em tempo reduzido e com confiabilidade similar aos modelos experimentais. O software utilizado, além de fornecer dados confiáveis, é capaz de simular a edificação analisada neste trabalho para um ano típico de referência em aproximadamente 6 segundos.

Este trabalho representou o início de uma pesquisa sobre o tema para edificações localizadas no Brasil, no entanto, algumas lacunas ainda não foram preenchidas e a partir desta constatação surgem algumas possibilidades de trabalhos futuros:

- Investigar o desempenho térmico de paredes trombe localizadas no Brasil com maior espaçamento entre a parede com alta inércia térmica e a face envidraçada, permitindo o deslocamento de um maior volume de ar;
- Investigar o desempenho de paredes trombe no Brasil a partir da inserção de sombreamento no interior do canal, que pode diminuir a perda de calor acumulado durante o dia no período da noite pela superfície envidraçada;
- Verificar o desempenho térmico e consumo energético em edificações que apresentem no interior da parede trombe um sistema para captação de radiação solar por meio de células fotovoltaicas;
- Avaliar o uso de paredes trombe por meio de simulações em CFD (Computational Fluid Dynamics) de modo a investigar melhor as trocas térmicas que ocorrem no interior deste sistema;
- Investigar o uso de materiais multifásicos na composição da parede com alta inércia térmica e sua influência no desempenho térmico de edificações;
- A partir da construção de edificações dotadas deste dispositivo arquitetônico, verificar por meio de medições *in loco* o seu desempenho térmico.

As edificações em geral, devem ser cuidadosamente planejadas para minimizar gastos excessivos com dispositivos de iluminação e ventilação por meios mecânicos. Artifícios arquitetônicos tais como as paredes trombe, devem ter seu potencial investigado para auxiliar a construção de edifícios mais adequados ao clima regional, objetivando sempre o maior grau de eficiência energética.

Para permitir uma avaliação prévia do desempenho deste componente arquitetônico aqui estudado, foram elaborados alguns modelos simplificados para que escritórios de arquitetura e profissionais de projeto em geral, ao tomarem partido desta estratégia de projeto, possam estimar seu comportamento por meio de cálculos, sem a necessidade direta de realização de novas simulações, o que demandaria profissionais qualificados e especialistas, além de um maior tempo na elaboração dos modelos computacionais.

Foi também elaborado um aplicativo para dispositivos móveis com os principais resultados aqui obtidos de modo a permitir uma maior interação de arquitetos com as recomendações projetuais contidas neste documento e assim possibilitar decisões assertivas durante o processo de projeto classificando estas recomendações de acordo com o clima de cada localidade.

É importante salientar que os modelos elaborados neste trabalho foram validados para as configurações de paredes trombe estudadas e descritas neste documento, não sendo válidos para modelos com tipologias e sistemas construtivos diferentes dos mencionados anteriormente.

A partir destas observações, pretende-se aprimorar a consciência de que a arquitetura local e a produção de edificações devem ser conduzidas de maneira que os profissionais incorporem uma linguagem adequada e de características próprias, criando uma tipologia regional, dando uma identidade à arquitetura que vem sendo importada ou mal copiada e que perde de vista o mais importante: o conforto dos usuários. Frente à crise energética, necessita-se projetar bem para reduzir o consumo de energia e levar em conta as condições climáticas do meio, aplicando-se as técnicas bioclimáticas.

8 REFERÊNCIAS

ADAMS, Serina, BECKER, Marc. KRAUSS, Drew. GILMAN Caitlin M. **Not A Dry Subject: Optimizing Water Trombe Walls**. in the SOLAR 2010 Conference Proceedings, American Solar Energy Society, 2010.

AKBARI, H e BORGERS, T. R. **Free convective laminar flow within the trombe wall channel**. Solar Energy Vol 22 Num 2. 1979.

AKBARZADEH, A. CHARTERS, W. W. S. and LESSLIE, D. A. **Thermocirculation characteristics of a trombe wall passive test cell**. Solar Energy Vol. 28. 1982.

ANDRADE, Nixon C; RORIZ, Maurício. **Comportamento térmico de cobertura verde utilizando a grama *Brachiara Humidicola* na cidade de São Carlos, SP**. In Anais do ENCAC'2007. IX Encontro Nacional e V Encontro Latino Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. Ouro Preto, MG. ANTAC. 2007.

ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers. **ASHRAE 55 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220-2. Desempenho Térmico de Edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações**. Rio de Janeiro, 2005b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220-3. Desempenho Térmico de Edificações – Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro**. Rio de Janeiro, 2005a.

BALCOMB, J.D., BARKER, G., HANCOCK, C.E. **An Exemplary Building Case Study of the Grand Canyon South Rim Residence**. NREL/TP-550-24767, Golden, CO: National Renewable Energy Laborator. 1998.

BITTENCOURT, L. S. **Clima e repertório arquitetônico**; Anais do II Seminário sobre Ensino e Pesquisa em Projeto de Arquitetura: PROJETAR 2005- Rio de Janeiro, 2005.

BITTENCOURT, L. S. **Ventilation as a Cooling Resource for Warm Humid Climates: An Investigation on the Influence of Geometric Aspects of Perforated Block Walls to Improve Ventilation inside Low-Rise Buildings**. Londres: PhD Thesis, Architectural Association Graduate School, 1993.

BITTENCOURT, Leonardo S. CANDIDO, Christhina. **Introdução à Ventilação Natural**, Maceió, Edufal, 2005.

BITTENCOURT, Leonardo S. SACRAMENTO, Alexandre da S. CÂNDIDO, Christhina; LEAL, Thalianne. **Estudo do desempenho do peitoril ventilado para aumentar a ventilação natural em escolas de Maceió/AL**. Revista Ambiente construído, Porto Alegre, v. 3, n. 2, 2007.

BORGERS, T. R. e AKBARI, H. **Free Convective turbulent flow within the Trombe Wall cannel**. Solar Energy. Vol 33, N 3/4. Pp 253 – 264, 1984.

BOURDEAU, L. JAFFRIN, A and MOISAN, A. **Captage et stockage d'énergie solaire dans l'habitat par le moyen de mur diode à chaleur latente**. Revue de Physique Appliquée. Vol 15, 1980.

BRINKWORTH B. J., CROSS B. M., MARSHALL R. H., HONGXING Yang. **Thermal regulation of photovoltaic cladding**. Solar Energy 1997;61(3):169–78.

CÂNDIDO, C. M. ; BITTENCOURT, L. S. ; BATISTA, J.O. . **A utilização de captadores de vento para aumentar a ventilação natural em espaços de sala de aula.** In: ENCAC 2003 - VII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, 2003, Curitiba. Anais do ENCAC E COTEDI 2003, 2003.

CÂNDIDO, C. M. **Ventilação Natural e Código de Obras: Uma análise das tipologias de aberturas nos edifícios de escritórios de Maceió/AL.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Dinâmicas do Espaço Habitado, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.

CARAM, Rosana M; SICHIERI, Eduvaldo P; LABAKI, Lucila C. **Indicativos para emprego apropriado de vidros planos na construção civil, segundo critérios espectrofotométricos.** In: Anais do III Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Gramado, RS, 1995.

CAVALCANTI, F. S.; LUKIANTCHUKI, M. A.; ANDRADE, N.; PAIVA, R. C.; CARAM, R. Maria. **Parede trombe como estratégia passiva promotora de eficiência energética em São Carlos - SP.** In: IV Congresso Brasileiro de Eficiência Energética. Juiz de Fora, 2011.

CAVALCANTI, Fernando A de M S, **Chaminé solar como alternativa para incrementar a ventilação natural em espaços internos.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, UFSCar. São Carlos, 2010.

CAVALCANTI, Fernando A. de M. S., CÂNDIDO, Christhina M, BITTENCOURT, Leonardo S. **Avaliação da ventilação natural em espaços de sala de aula a partir da implantação de pérgulas.** In Anais do ENCAC'2005. VIII Encontro Nacional e IV Encontro Latino Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. Maceió-AL. ANTAC. 2005.

CHANDRA, S. **Ventilative cooling.** In: COOK, J. (Ed.) Passive cooling. Cambridge: MIT, 1989.

CHEL, A., NAYAK, J.K., KAUSHIL, G., **Energy conservation in honey storage building using Trombe wall,** International Journal of Energy and Building, Vol.40, 2008.

CHEN, B.; CHEN, X.; DING, Y. H.; JIA, X. **Shading effects on the winter thermal performance of the Trombe wall air gap: An experimental study in Dalian.** Renewable Energy. Vol 31, 2005.

CHEN, Bin, ZHAO, Jinling, CHEN, Cuiying, ZHUANG, Zhi. **Experimental Investigation of Natural Convection in Trombe Wall Systems.** Envelope Technologies for Building Energy Efficiency Vol.II-3-1. China, 2006.

CHEN, Z.D.; BANDOPADHAYHAY, P.; HALDORSSON, J.; BYRJALSEN, C.; HEISELBERG, P.; LI, Y.. **An experimental investigation of a solar chimney model with uniform wall heat flux.** In: Building and Environment 38, 2003.

CONRADIE, D. C. KUMIRAI, T. **Predictive performance simulations for a sustainable lecture building complex.** In: SASBE2012 - Smart and Sustainable Built Environments, São Paulo. SP, 2012.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental.** Rio de Janeiro: Revan, 2003.

CORREA, C. B. **Arquitetura bioclimática. Adequação do projeto de arquitetura ao meio ambiente natural.** Portal Vitruvius. 04.07 2001.

DANNI-OLIVEIRA, I.M. **Aspectos Climáticos de Curitiba-PR: uma contribuição para o ensino médio.** RA'E O Espaço Geográfico em Análise, Curitiba, no 03, p. 229-253, 1999.

DE DEAR, R.; BRAGER, G.; COOPER, D. **Developing an adaptative model of thermal comfort and preference**. Sydney: ASHRAE. 1997.

DIDONÉ, Evelise L; BITTENCOURT, Leonardo S; BATISTA, Juliana; FONTAN, Joyce. **Análise do efeito luminoso produzido pelo uso de pérgulas em ambientes escolares**. In Anais do ENCAC'2005. VIII Encontro Nacional e IV Encontro Latino Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. Maceió, AL. ANTAC. 2005.

DORNELLES, Kellen A. **Absortância Solar de Superfícies Opacas: Métodos de determinação e base de dados para Tintas Látex Acrílica e Pva**, Tese de Doutorado apresentado ao Programa de Pos-Graduacao em Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo / UNICAMP, 2008.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar engineering of thermal processes**. New York: John Wiley & Sons, 1980.

ELLIS P G. **Development and validation of the unvented trombe wall model in EnergyPlus**, Master of Science in Mechanical Engineering in the Graduate College of the University of Illinois at Urbana-Champaign, 2003.

ELSADIG, Ayman Khalid, **Energy Efficiency in commercial Buildings**. Dissertation presented to Master Course of Science Sustainable Engineering, University of Strathclyde, 2004.

ENERGYPLUS, **Energy Simulation Software** [WWW Document]. <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>. 2012.

FIGUEIRA, D.F. ; KRENZINGER, A.; VIELMO, Horacio Antonio . **Daily Performance Evaluation of a Trombe-Michel Wall**. In: 17th International Congress of Mechanical Engineering, 2003, São Paulo. Proceedings of COBEM 2003.

FIGUEIRA, Daniel S. **Análise Experimental e Numérica do Comportamento Térmico de um Coletor Solar Acumulador**. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

FOX, R. W. E MCDONALD, A T., **Introdução à Mecânica dos Fluidos**, Tradução da 5ª edição americana, ed., LTC Editora, Rio de Janeiro, 2001.

FREIXANET, Victor A. F. **Clima y Arquitectura**, Primeira Edição, Azcapotzalco, Universidad Autónoma Metropolitana, 2004.

GAN, Guohui. **A parametric study of Trombe walls for passive cooling of buildings**. Energy and buildings Vol 27, 1998.

GIVONI, B. **Passive and low energy cooling of buildings**. Van Nostrand Reinhold publishing company, 1994.

GIVONI, B. **Performance and Applicability of Passive and Low Energy Cooling Systems**. Energy and Buildings, vol. 17, 1991. Lausane: Elsevier Sequoia, 1991.

GOMES, Vivian A ; BITTENCOURT, L. S. . **O papel das galerias no conforto térmico dos espaços de uso público da Avenida Guararapes no Recife**. In: XI Encontro Nacional e VII Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído., Búzios. 2011.

GOULART, S. LAMBERTS, R. FIRMINO, S. Dados climáticos para o projeto e avaliação energética para 14 cidades brasileiras. Eletrobrás, 1997.

GOULART, Solange. **O emprego da Inércia Térmica como técnica de resfriamento para edificações em Florianópolis-SC**, In Anais do ENCAC'2007. IX Encontro Nacional e V Encontro Latino Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. Ouro Preto-MG. ANTAC. 2007.

GU, L. **Airflow network modeling in EnergyPlus**. In: Building Simulation 2007. Proceedings Pequim, China. 2007.

Helioclim – **Providing Information on Solar Radiation**. European Solar Radiation Atlas. Available from www.helioclim.net/esra/index.html, 2004.

HOCEVAR C J. **Thermocirculation data and instantaneous efficiencies for Trombe walls**. Proceedings of 4th National Passive Solar Conference[C]. Kansas City: Missouri, 1979.

HOLANDA, A. **Roteiro para construir no Nordeste: arquitetura como lugar ameno nos trópicos ensolarados**. Recife, MDU / UFPE, 1976.

IMESSAD, K and BELHAMEL, M. **Evaluation des Performances d'un Mur Trombe**. Revue des Énergies Renouvelables, 1999.

INCROPERA, F.P., DE WITT, D. P., BERGMAN, T.L., LAVINE, A.S., **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**, LTC, tradução da 6ª ed., Rio de Janeiro, 2008.

JABER, Samar & AJIB, Salman. **Optimum design of Trombe wall system in mediterranean region**. In: Solar Energy, 2011.

JIE, Ji; CHENGLONG, Luo; SUN, Wei; HANCHENG, Yu; WEI, He; GANG, Pei. **An improved approach for the application of Trombe wall system to building construction with selective thermo-insulation façades**. Chinese Science Bulletin. Vol 54, 2009.

JIE, Ji; HUA, Yi; WEI, He; GANG, Pei; JIANPING, Lu; BIN, Jiang. **Modeling of a novel Trombe wall with PV cells**. Building and Environment, Vol 42, 2007.

KOYUNBABA, B.K. YILMAZ, Z. **The comparison of Trombe wall systems with single glass, double glass and PV panels**. Renewable Energy. Vol 45, 2012.

KRUGER, Eduardo. SUZUKI, Eimi; MATOSKI, Adalberto. **Evaluation of a trombe wall system in a subtropical location**. In: Energy and Building. Volume 66, pp364-372, 2013.

LEAL, T. A.; CÂNDIDO, C. M.; BITTENCOURT, L. S. **A influência na distribuição e velocidade da ventilação natural a partir do uso do peitoril ventilado em escolas**. In: Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, 11. Anais... Florianópolis, 2006.

LIU, Yanfeng, WANG, Dengjia MA, Chao, LIU, Jiaping. **A numerical and experimental analysis of the air vent management and heat storage characteristics of a trombe wall**. In: Solar Energy, Volume 91, May 2013, Pages 1-10.

LLOVERA, Jordi, POTAU, Xavi, MEDRANO, Marc, CABEZA, Luisa F. **Design and performance of energy-efficient solar residential house in Andorra**. Applied Energy vol. 88, 2011.

LOBO, Denise G. F.; BITTENCOURT, Leonardo S. **A influência dos captadores de vento na ventilação natural de habitações populares localizadas em climas quentes e úmidos**. Revista Ambiente construído, Porto Alegre, v. 3, n. 2, 2003.

LUKIANCHUKI, Marieli A. **A evolução das estratégias de conforto térmico e ventilação natural na obra de João Filgueiras Lima, Lelé: Hospitais Sarah de Salvador e do Rio de Janeiro**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2010.

MANDIM, Daniel. **Estatística Descomplicada**. 10. ed. Brasília: Vestcon Editora Ltda., 2003.

MARTINS, Fernando R; PEREIRA, Enio B; ABREU, Samuel L de; COLLE, Sérgio. **Mapas de Irradiação solar para o Brasil – Resultado do projeto SWERA**, In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, abril de 2005.

MARTINS, Tathiane A de L; BASTOS, Leopoldo E G; BARROSO-KRAUSSE, Cláudia; BITTENCOURT, Leonardo S. PASSOS, Isabela C S. **O uso de torres de vento em edificações residenciais geminadas de meia morada**. In Anais do ENCAC'2009. X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. Natal, RN. ANTAC. 2009.

MASCARÓ, L. **Energia na Edificação**. 2. ed. São Paulo: Projeto, 1991.

MILONE, Giuseppe; ANGELINI, Flávio. **Estatística aplicada**. São Paulo, Atlas, 1995.

MONTANER, Josep Maria. **Depois do movimento moderno: arquitetura da segunda metade do século XX**. Barcelona: Gustavo Gili, 2001.

MOOTZ, F. and BEZIAN, J. J. **Numerical study of a ventilated facade panel**. Solar Energy Vol. 56. 1996.

MORAIS, Caroline de S. **Desempenho térmico de coberturas vegetais em edificações na cidade de São Carlos-SP**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, UFSCar. São Carlos, 2004.

MORELLI, Denise D de O; LABAKI, Lucila C. **Paredes verdes: vegetação como qualidade ambiental no espaço construído**. In Anais do ENCAC'2009. X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. Natal, RN. ANTAC. 2009.

MULLER, Ernest. **Mejoramiento Térmico de Viviendas con Climatización Pasiva para la Zona Central de Chile con Programas de Simulación Térmica**. In: CONGRESO INTERNACIONAL DE ENERGÍAS SUSTENTABLES SENESE X, Punta Arenas, Chile, 18 al 20 de Noviembre de 1998.

MYERS, B. A.; BEIGL, M. Handheld Computing. **IEEE Computer Magazine**, 2003.

NOWZARI, R. ATIKOL, U. **Transient performance analysis of a model building integrated with a Trombe-Wall**. In: 7th IASME/WSEAS International Conference on Heat Transfer, Thermal Engineering and Environment (HTE'09), August 20-22, Moscow, Russia, 2009.

OHANESSIAN, P and CHARTERS, W. W. S. **Thermal simulation of a passive solar house using a trombe-michel wall structure**. Solar Energy, Vol 20, 1978.

OLIVEIRA, Alessandra G. ANDRADE FILHO, José D. FALCÃO, Alda L. BRAZIL, Reginaldo P. **Estudo de flebotomíneos (Diptera, Psychodidae, Phlebotominae) na zona urbana da Cidade de Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil, 1999-2000**. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, 19(4), jul-ago, 2003.

PASSOS, Julio C. **O Conceito de Camada Limite: Uma Revisão Crítica de Livros-Texto de Transferência de Calor**. In: Anais do IV Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, João Pessoa, PB, 2010.

PROCEL. **O que você pode fazer**. Informativo Eletrobrás do PROCEL. Rio de Janeiro, n.56, maio 2001.

ROMERO, Marta A. B., **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano**, 2ª Edição, São Paulo, 2001.

RORIZ, M ; CHVATAL, Karin M ; CAVALCANTI, Fernando Sá . **Sistemas construtivos de baixa resistência térmica podem proporcionar mais conforto**. In: ENCONTRO NACIONAL E LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Natal, RN. Encac/Elacac, 2009.

RORIZ, Maurício. **ABC 1.3 - Architectural Bioclimatic Classification - Free software based on bioclimatic charts proposed by Baruch Givoni**. São Carlos, 2008.

RORIZ, Maurício. **Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros**. Texto para o Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações, São Carlos, 2012. disponível em: http://roriz.dominiotemporario.com/doc/Sobre_os_arquivos_EPW.pdf. Acesso em Junho de 2012.

RUIZ, Á. SALMERÓN, J.M. SANCHEZ, F. GONZÁLEZ, R. ÁLVARES, S. **A calculation model for Trombe walls and its use as a passive cooling technique**. In: International Conference "Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment", Santorini, Greece. 2005.

RUIZ-PRADO, Álvaro. DOMINGUEZ, Servando A. FERNANDEZ, Juan Antonio Sanz. **Revision of the Trombe wall calculation method proposed by UNE-EN ISO 13790**. Energy and Buildings, Vol 42, 2010.

SACHT, H. M.; BRAGANÇA, L.; ALMEIDA, M. **Façade Modules for Eco-Efficient Refurbishment of Buildings: Trombe Wall Thermal Performance in different Portuguese Climates: Bragança, Coimbra, Évora and Faro**. In: WORLD SUSTAINABLE BUILDINGS CONFERENCE, 2011, Helsinki. Proceedings... Helsinki: RIL, 2011.

SARTORI, M. da G. B. **O clima de Santa Maria, RS: do regional ao urbano**. 1979. 165 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SEBALD, A. V.; CLINTON, J. R.; LANGENBACHER, F. **Performance effects of trombe wall control strategies**. In: Solar Energy, Vol 23. 1979.

SHEN, Jibao, LASSUE Stéphane, ZALEWSKI Laurent and HUANG Dezhong. **Numerical study on thermal behavior of classical or composite Trombe solar walls**, In: Energy and Buildings, vol 39 issue 8, Science Direct, 2007.

SMOLEC, W e THOMAS, A. **Problems Encountered In Heat Transfer Studies of a Trombe Wall**. Energy Convers. Mgmt Vol. 35, No. 6, pp. 483-491, 1994.

SMOLEC, W e THOMAS, A. **Some aspects of Trombe Wall heat transfer models**. Energy Convers. Mgmt Vol. 32, No. 3, pp. 269-277, 1991.

STAZI, Francesca. VEGLIÒ, Ambra. PERNA, Constanzo di. MUNAFÒ, Placido. **Retrofitting using a dynamic envelope to ensure thermal comfort, energy savings and low environmental impact in Mediterranean climates**. In: Energy and Buildings. Volume 54, November 2012, Pages 350–362.

SUN, Wei; JIE, Ji; CHENGLONG, Luo; WEI, He. **Performance of PV-Trombe wall in winter correlated with south façade design**. Applied Energy, Volume 88, 2011.

SUZUKI, Eimi Veridiane. **Avaliação do potencial de aquecimento/resfriamento de um sistema de climatização passiva**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal Tecnológica do Paraná. Curitiba, 2012.

TORCELLINI, P and PLESS, S. **Trombe Walls in Low-Energy Buildings: Pratical Experiences**, In: World Renewable Energy Congress VIII and Expo, Denver, 2004.

TROMBE, F. **U. S. Patent 3,832,992 Naturally air-conditioned dwelling**. 1974.

VETTORAZZI, Egon; RUSSI, Madalena; SANTOS, Joaquim C. P. **A utilização de estratégias passivas de conforto térmico e eficiência energética para o desenvolvimento de uma habitação unifamiliar**. In: Congresso internacional de Sustentabilidade e Habitação de Interesse Social. Porto Alegre, 2010.

YOUNSI, Z. LASSUE, S. ZALEWSKI, L; ROUSSE, D. R. and JOULIN, A. **A novel technique for the experimental thermophysical characterization of phase change materials**. In: International Journal of Thermophysics, © Springer Science+Business Media, LLC 2010.

ZALEWSKI, L, LASSUE, S, DUTHOIT, B. BUTEZ, M. **Study of solar walls — validating a simulation model**. Building and Environment. VOL 37, 2002.

ZAMORA, Blas. MOLINA-NIÑIROLA, Luis. VIEDMA, Antonio. **Estudio numérico del flujo inducido por convección natural en una pared trombe**. Revista internacional de métodos numéricos para cálculo y diseño en ingeniería, Vol. 18, núm. 2, 2002.

9 APÊNDICES

Apêndice A

Valores obtidos para o desconforto por frio, calor e total em ($^{\circ}\text{C.h}$) para todos os modelos orientados na fachada norte, simulados nas oito cidades consideradas neste trabalho:

	A1-AQEC			A3-AQEC			A4-AQEC			A5-AQEC			A6-AQEC			A7-AQEC			A8-AQEC			A9-AQEC					
	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor
281	11.556,87	11.511,9	44.975,48	9.395,83	9.132,87	262,9497	9.067,88	8736,719	331,1647	8.954,50	8656,837	297,6633	9.353,25	9.117,373	235,8742	9.099,00	8823,888	275,1126	8.875,36	8613,556	261,8066	8.999,20	8756,225	242,9728	8.999,20	8756,225	242,9728
282	13.557,46	12.085,7	1271,767	13.911,20	12.902,89	1008,317	13.681,13	12.509,62	1171,514	13.538,95	12.456,92	1082,026	13.828,76	12.904,46	924,3009	13.641,87	12.615,13	1026,734	13.409,78	12.411,38	998,3963	13.501,10	12.548,41	952,6935	13.501,10	12.548,41	952,6935
283	4.019,56	3560,464	459,094	4.116,10	3813,983	302,1195	4.040,83	3647,001	393,8294	3.938,86	3606,95	331,9071	4.063,95	3796,968	256,9866	3.976,58	3672,253	304,3312	3.864,67	3580,072	284,5986	3.899,21	3635,212	263,9992	3.899,21	3635,212	263,9992
284	3.363,77	2326,054	107,719	3.239,81	2467,852	771,9623	3.310,60	2371,769	938,8335	3.157,15	2290,345	866,8072	3.110,91	2400,03	710,8049	3.140,15	2327,115	813,0384	3.050,61	2249,632	800,3823	3.035,52	2281,312	754,2048	3.035,52	2281,312	754,2048
285	1.347,98	1089,719	258,2648	1.515,22	1419,846	96,37551	1.394,80	1209,7	185,1003	1.356,21	1242,699	113,5072	1.559,37	1494,481	64,88587	1.430,77	1334,559	96,21547	1.396,85	1302,901	93,94424	1.460,24	1379,806	80,43384	1.460,24	1379,806	80,43384
286	5.537,07	861,9393	4675,126	4.773,98	937,7251	3836,26	5.267,89	884,4238	4383,452	4.966,67	837,7061	4138,964	4.514,10	886,7933	3627,315	4.820,72	845,5894	96,21547	4.667,17	768,9973	3988,237	4.541,31	783,9852	3757,322	4.541,31	783,9852	3757,322
287	20.660,81	471,9266	20188,88	18.575,36	499,8684	18075,49	19.983,50	480,325	19503,18	19.519,34	457,1576	19062,18	18.137,69	477,127	17660,57	19.092,71	463,1772	18629,53	19.010,31	421,6439	18588,07	18.639,44	425,8222	18213,61	18.639,44	425,8222	18213,61
288	6.476,17	0	6476,168	4.806,56	0	4806,556	5.878,23	0	5878,226	5.259,87	0	5259,871	4.342,38	0	4342,377	4.964,50	0	4964,505	4.923,94	0	4923,94	4.681,14	0	4681,141	4.681,14	0	4681,141
	B1-AQEC			B2-AQEC			B3-AQEC			B4-AQEC			B5-AQEC			B6-AQEC			B7-AQEC			B8-AQEC			B9-AQEC		
	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor
281	8.939,06	8.581,48	363,2264	9.439,76	9.184,912	254,843	9.121,41	8804,443	316,9683	9.002,75	8714,951	287,8003	9.388,99	9.153,364	230,6287	9.144,10	8877,084	267,0154	8.916,82	8663,172	253,6478	9.252,08	9046,99	205,2829	9.037,95	8801,944	236,007
282	13.595,20	12.662,31	1332,894	13.940,16	12.953,5	986,6606	13.716,01	12.576,69	1139,214	13.572,30	12.519,94	1059,253	13.853,61	12.943,67	909,9408	13.672,96	12.666,31	1006,647	13.438,75	12.459,25	979,5028	13.688,17	12.832,22	855,9528	13.528,60	12.592,55	936,042
283	4.024,30	3591,16	433,1375	4.124,87	3834,098	290,777	4.047,57	3673,738	373,8333	3.949,68	3630,062	319,6209	4.063,14	3813,059	250,0812	3.986,74	3692,825	293,9192	3.874,52	3599,432	275,0871	3.978,81	3755,997	222,8165	3.908,51	3652,626	255,8835
284	3.339,39	2342,383	997,0071	3.229,63	2477,741	751,8861	3.291,87	2385,921	905,948	3.147,15	2303,701	843,4542	3.105,08	2407,626	697,6504	3.130,95	2337,93	793,0223	3.041,62	2260,967	780,6559	3.007,11	2351,119	655,9913	3.027,24	2290,644	736,5925
285	1.347,88	1122,716	225,1599	1.533,39	1446,055	87,33149	1.405,33	1241,93	163,3993	1.374,40	1269,694	104,7065	1.576,08	1515,093	61,08189	1.450,43	1361,389	89,0362	1.413,79	1326,929	86,85612	1.585,61	1532,447	52,96222	1.477,81	1402,933	74,87555
286	5.419,22	870,3639	4548,858	4.710,59	943,1327	3767,653	5.169,09	891,9499	4277,136	4.884,98	834,4012	4060,538	4.469,55	891,2906	3578,315	4.757,24	851,9852	3905,256	4.605,08	774,695	3830,382	4.240,22	822,3328	3417,89	4.485,09	789,1618	3695,928
287	20.363,92	475,1984	19888,72	18.399,65	502,009	17897,64	19.724,30	483,1546	19241,15	19.316,19	459,8612	18856,33	18.008,08	478,7743	17529,31	18.508,98	465,6105	18443,37	18.832,08	423,868	18408,21	17.704,81	438,2845	17266,52	18.478,36	427,7341	18050,628
288	6.229,16	0	6229,159	4.679,09	0	4679,094	5.670,20	0	5670,197	5.117,07	0	5117,072	4.257,37	0	4257,372	4.938,71	0	4938,709	4.801,18	0	4801,177	4.092,07	0	4092,073	4.572,54	0	4572,539
	C1-AQEC			C2-AQEC			C3-AQEC			C4-AQEC			C5-AQEC			C6-AQEC			C7-AQEC			C8-AQEC			C9-AQEC		
	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor
281	8.917,68	8.554,449	363,2264	9.419,56	9.160,041	259,5144	9.098,55	8775,178	323,3685	8.987,46	8697,403	290,061	9.372,95	9.140,009	232,8928	9.125,85	8855,94	269,908	8.904,46	8649,052	255,4054	9.238,41	9031,122	207,2861	9.023,63	8785,18	238,4539
282	13.581,88	12.748,098	13.925,45	12.926,93	998,515	13.701,37	12.546,69	1154,678	13.561,56	12.495,5	1066,057	13.841,63	12.925,01	916,6221	13.660,53	12.645,99	1014,533	13.428,94	12.444,22	984,712	13.677,06	12.815,94	861,1254	13.517,26	12.575,15	942,1299	
283	4.022,67	3581,286	441,3821	4.119,69	3824,128	295,5625	4.044,28	3662,641	381,6338	3.945,46	3622,589	321,8723	3.977,86	3683,763	294,1005	3.905,40	3548,503	356,8958	3.789,87	3441,408	348,467	3.974,03	3749,995	224,0303	3.903,40	3645,774	257,6311
284	3.448,22	2336,952	1011,272	3.234,61	2471,961	762,6521	3.299,92	2379,02	920,8964	3.148,36	2299,253	849,1023	3.106,16	2402,752	703,4059	3.133,21	2332,998	800,211	3.042,21	2257,039	785,1738	3.007,20	2346,377	660,8201	3.027,94	2285,551	742,391
285	1.339,88	1108,67	231,2058	1.532,68	1432,112	90,56566	1.396,75	1226,625	170,1277	1.363,95	1258,647	105,3	1.566,84	1504,416	62,03388	1.439,88	1349,473	90,40607	1.405,19	1318,016	87,17407	1.578,66	1525,05	53,69038	1.469,38	1393,488	75,89388
286	5.448,78	867,7816	4580,995	4.738,97	940,6316	3798,34	5.205,41	888,9926	4316,416	4.904,42	832,3074	4072,111	4.483,96	889,0652	3594,898	4.773,77	849,63	3924,138	4.612,06	773,0807	3839,034	4.232,45	820,9598	3431,49	4.497,76	787,3604	3710,397
287	20.445,25	474,2446	19971,01	18.480,97	501,1871	17979,79	19.826,00	482,1441	19343,85	19.353,78	459,2505	18894,53	18.054,13	478,2388	17575,89	18.965,14	464,9471	18500,2	18.859,17	423,4986	18435,67	17.741,45	437,8687	17303,58	18.520,87	427,3637	18095,51
288	6.291,88	0	6291,884	4.733,87	0	4733,868	5.746,79	0	5746,788	5.136,44	0	5136,44	4.282,95	0	4282,947	4.970,58	0	4970,576	4.814,27	0	4814,268	4.110,63	0	4110,631	4.595,87	0	4595,872
	D1-AQEC			D2-AQEC			D3-AQEC			D4-AQEC			D5-AQEC			D6-AQEC			D7-AQEC			D8-AQEC			D9-AQEC		
	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor
281	8.596,42	8.161,525	434,8911	9.102,46	8802,233	300,2298	8.783,02	8403,61	379,4081	8.623,47	8264,762	358,7041	9.042,47	8767,799	274,7035	8.781,82	8454,866	326,9524	8.526,79	8203,646	323,1486	8.902,36	8654,099	248,2653	8.668,92	8374,783	294,1397
282	13.395,11	12.017,67	1377,436	13.742,16	12.660,39	1081,771	13.519,75	12.257,27	1262,48	13.345,67	12.140,7	1204,974	13.648,91	12.642,2	1006,7657	13.457,41	12326,32	1131,096	13.204,95	12.079,57	1125,382	13.483,95	12532,7	951,2535	13.308,83	12248,47	1060,36
283	3.968,40	3444,954	523,4414	4.042,45	3705,104	337,3438	3.982,02	3537,781	444,236	3.871,77	3474,457	397,3083	3.977,86	3683,763	294,1005	3.905,40	3548,503	356,8958	3.789,87	3441,408	348,467	3.974,03	3749,995	224,0303	3.903,40	3645,774	257,6311
284	3.358,71	2214,546	1144,165	3.198,51	2356,133	842,3778	3.290,09	2261,564	1028,524	3.163,37	2174,146	989,2194															

	F1-AQEC			F2-AQEC			F3-AQEC			F4-AQEC			F5-AQEC			F6-AQEC			F7-AQEC			F8-AQEC			F9-AQEC					
	GERAL	total	frio	total	frio	total	GERAL	total	frio	total	frio	total	GERAL	total	frio	total	frio	total	GERAL	total	frio	total	frio	total	GERAL	total	frio	total	frio	total
281	8.620,07	8196,95	423,2738	9.119,10	8822,61	296,0916	8.803,89	8431,97	137,9186	8.361,54	8294,71	351,444	9.059,31	8785,48	271,7719	8.800,72	8478,96	321,7602	8.547,69	8231,03	316,6511	8.916,13	8670,36	255,7642	8.686,09	8396,81	289,2781	8.962,25	8500,08	105,1087
282	13.410,32	12052,73	1358,188	13.535,25	12680,32	1072,813	13.535,25	12680,32	1072,813	13.535,25	12680,32	1072,813	13.535,25	12680,32	1072,813	13.535,25	12680,32	1072,813	13.535,25	12680,32	1072,813	13.535,25	12680,32	1072,813	13.535,25	12680,32	1072,813	13.535,25	12680,32	1072,813
283	3.968,37	3459,967	508,4071	4.044,16	3712,331	331,8315	3.982,88	3548,864	434,0138	3.874,84	3486,46	388,375	3.979,53	3689,617	289,9101	3.907,82	3557,635	350,1826	3.792,55	3451,635	340,9187	3.893,81	3633,019	260,7955	3.825,93	3516,292	309,6364	3.968,37	3459,967	508,4071
284	3.434,24	2221,961	1121,833	3.193,48	2359,636	833,8446	3.279,82	2266,965	102,885	3.154,07	2180,674	973,9398	3.074,74	2293,312	781,429	3.127,05	2219,224	903,8281	3.060,84	2188,373	912,4702	2.979,51	2240,141	739,3675	3.021,75	2173,277	486,4693	3.434,24	2221,961	1121,833
285	1.304,90	1016,06	288,8381	1.450,08	1340,388	109,6884	1.347,89	1137,953	209,9341	1.282,79	1132,817	149,9717	1.477,16	1396,978	80,18603	1.353,48	1233,935	123,5508	1.304,85	1176,844	128,0055	1.480,38	1409,723	70,65866	1.371,97	1285,378	106,5948	1.304,90	1016,06	288,8381
286	5.790,25	803,7921	4986,462	4.974,28	877,1101	4097,174	5.498,40	826,471	4671,928	5.294,82	477,886	4527,544	4.747,86	827,9163	391,941	5.109,98	787,0165	4322,964	5.019,83	711,2443	1308,585	4.528,65	763,7657	3764,88	4.849,73	728,0499	4121,685	5.790,25	803,7921	4986,462
287	21.378,89	455,8249	20923,06	19,1246,11	483,8397	18742,27	20,667,38	464,5325	20202,84	20,446,63	440,0806	20006,55	18,874,19	461,9192	18412,27	19,937,40	447,1386	19490,26	20,014,40	406,8013	19607,6	18,594,95	423,9023	1817,105	19,546,51	411,9982	19134,51	21.378,89	455,8249	20923,06
288	6.898,41	0	6898,41	5,137,11	0	5137,111	6,261,59	0	6261,594	5,837,70	0	5837,701	4,738,04	0	4738,045	5,468,63	0	5468,63	5,536,53	0	5536,525	4,578,69	0	4578,686	5,213,19	0	5213,185	6.898,41	0	6898,41

	G1-AQEC			G2-AQEC			G3-AQEC			G4-AQEC			G5-AQEC			G6-AQEC			G7-AQEC			G8-AQEC			G9-AQEC					
	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor
281	8.073,20	7490,505	582,6978	8,655,29	8299,224	356,0654	8,262,85	7767,452	495,3051	8,083,90	7667,224	421,6774	8,582,59	8278,366	304,2238	8,354,20	7872,891	381,3901	7,947,63	7592,639	354,9898	8,378,49	8120,942	257,553	8,090,18	7769,093	321,0873	8.073,20	7490,505	582,6978
282	13.012,66	11347,47	1665,386	13,387,78	12167,85	1219,757	13,129,00	11625,26	603,1015	13,669,09	11557,05	1344,985	13,250,01	12169,05	1080,211	13,016,57	11759,12	1257,458	12,692,47	11483,14	1209,528	13,013,03	12018,95	995,0339	12,801,33	11662,74	1138,816	13.012,66	11347,47	1665,386
283	3.881,30	3150,726	760,586	3,887,78	3476,069	411,712	3,855,66	3352,555	603,1015	3,669,09	3200,07	469,0193	3,774,30	3450,045	324,2519	3,696,44	3278,586	417,8521	3,533,10	3154,575	378,5233	3,641,30	3368,708	272,5911	3,563,34	3222,138	341,2024	3.881,30	3150,726	760,586
284	3.531,95	2090,392	1441,554	3,344,76	2268,34	975,8192	3,416,33	2142,05	1273,923	3,177,42	2037,373	1140,045	3,045,88	2179,066	866,8091	3,130,99	2079,983	1051,005	3,001,31	1974,997	1026,135	2,892,83	2099,155	793,6774	2,962,36	2012,941	949,4203	3.531,95	2090,392	1441,554
285	1.316,70	709,6799	607,0194	1,255,27	1076,438	178,8292	1,258,02	828,1939	429,8283	1,086,51	859,5286	226,9847	1,269,58	1166,13	103,4527	1,144,86	961,1942	83,6666	1,099,87	925,3764	174,494	1,274,10	1190,083	84,0169	1,156,31	1013,035	143,2728	1.316,70	709,6799	607,0194
286	6.683,30	695,9679	5987,384	5,360,42	776,6379	4583,777	6,242,92	715,3582	5527,558	5,740,39	647,1613	5083,233	4,941,99	710,8858	1331,099	5,500,52	663,3378	4837,283	5,268,40	572,8721	4695,524	4,590,58	624,7083	3965,874	5,060,82	586,1662	4474,65	6.683,30	695,9679	5987,384
287	23.679,94	407,6958	23272,24	20,545,43	440,0171	20,105,41	22,749,25	415,8334	22333,42	21,964,59	387,3419	21577,25	19,837,53	410,5473	19426,98	21,372,60	393,1577	20979,45	21,197,83	341,6389	20856,19	19,354,27	358,3546	18995,91	20,676,50	345,0216	20331,48	23.679,94	407,6958	23272,24
288	9.075,41	0	9075,412	6,183,237	0	6183,237	8,115,66	0	8115,66	6,972,01	0	6972,007	5,353,23	0	5353,227	6,493,81	0	6493,815	6,368,22	0	6368,221	5,044,53	0	5044,529	5,982,14	0	5982,136	9.075,41	0	9075,412

	H1-AQEC			H2-AQEC			H3-AQEC			H4-AQEC			H5-AQEC			H6-AQEC			H7-AQEC			H8-AQEC			H9-AQEC					
	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor
281	8.071,61	7490,77	580,8371	8,654,79	8298,765	356,0296	8,262,09	7767,366	494,7191	8,088,10	7667,36	420,7377	8,582,15	8277,954	304,193	8,353,80	7872,895	380,9072	7,947,20	7592,863	354,3417	8,378,23	8120,676	257,5544	8,090,35	7769,522	320,828	8.071,61	7490,77	580,8371
282	13.012,66	11347,71	1664,953	13,387,45	12167,69	1219,733	13,128,66	11625,12	603,1015	13,669,08	11557,34	1344,88	13,250,01	12169,05	1080,221	13,016,31	11758,94	1257,375	12,692,21	11482,96	1209,525	13,013,25	12018,24	995,0163	12,801,33	11662,51	1138,811	13.012,66	11347,71	1664,953
283	3.880,23	3150,598	729,6275	3,887,85	3476,15	411,7036	3,855,38	3352,69	602,6876	3,669,04	3200,384	468,6576	3,774,41	3450,18	324,2221	3,696,28	3278,602	417,6797	3,532,93	3154,66	378,5291	3,641,31	3368,722	272,5839	3,563,32	3222,233	341,0933	3.880,23	3150,598	729,6275
284	3.529,81	2090,331	1439,881	3,344,82	2269,07	975,7497	3,415,63	2142,073	1273,154	3,176,14	2037,345	1138,795	3,045,71	2178,917	866,7947	3,130,49	2079,968	1050,525	3,000,35	1974,965	1025,384	2,892,77	2099,136	793,6356	2,961,90	2012,906	948,9974	3.529,81	2090,331	1439,881
285	1.303,91	709,6615	594,2669	1,254,66	1076,388	178,7732	1,253,22	828,1845	425,0403	1,082,86	859,4005	223,4553	1,269,24	1165,98	103,2612	1,143,42	961,2066	82,2136	1,097,44	925,325	172,1118	1,273,94	1190,06	83,88208	1,155,34	1013,021	142,3214	1.303,91	709,6615	594,2669
286	6.668,14	695,9495	5972,193	5,359,48	776,5982	4582,885	6,236,26	715,3861	5520,872	5,730,70	647,1618	5083,541	4,941,13	710,7991	1332,031	5,496,10	663,2575	4832,846	5,260,81	572,8999	4687,447	4,590,13	624,6854	3965,47	5,057,42	586,2428	4471,174	6.668,14	695,9495	5972,193
287	23.654,94	407,6955	23247,24	20,543,89	440,009	20,103,88	22,737,75	415,7743	22321,98	21,947,79	387,3371	21560,45	19,836,75	410,5518	19425,68	21,364,70	393,1537	20971,54	21,184,08	341,6397	20842,44	19,353,22	358,3478	18994,87	20,670,04	345,0184	20325,02	23.654,94	407,6955	23247,24
288	9.028,70	0	9028,697	6,178,659	0	6178,659	8,093,84	0	8093,844	6,937,49	0	6937,491	5,349,55	0	5349,551	6,477,65	0	6477,647	6,338,02	0	6338,017	5,041,36	0	5041,359	5,967,95	0	5967,95	9.028,70	0	9028,697

	I1-AQEC			I2-AQEC			I3-AQEC			I4-AQEC			I5-AQEC			I6-AQEC			I7-AQEC			I8-AQEC			I9-AQEC					
	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor
281	8.092,41	7523,922	568,4898	8,281,67	7795,067	486,6031	8,281,67	7795,067	486,6031	8,108,67	7694,326	414,3412	8,272,49	7896,147	376,3473															

	K1-AQEC			K2-AQEC			K3-AQEC			K4-AQEC			K5-AQEC			K6-AQEC			K7-AQEC			K8-AQEC			K9-AQEC		
	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor
281	7.961,24	7308,567	652,6683	8.155,25	7607,401	547,8539	8.155,25	7607,401	547,8539	7.932,14	7432,969	499,1755	8.155,25	7607,401	547,8539	8.113,32	7673,502	441,8178	7.770,55	7338,762	431,791	8.246,69	7950,625	296,0612	7.937,63	7556,405	381,2231
282	12.962,54	11186	1776,537	13.080,28	11488,87	1591,405	13.080,28	11488,87	1591,405	12.822,64	11334,35	1489,293	13.080,28	11488,87	1591,405	12.948,92	11577,71	1371,205	12.599,24	11242,38	1356,865	12.945,00	11873,71	1071,297	12.723,47	11466,51	1256,959
283	3.903,95	3091,098	812,8551	3.865,16	3202,277	662,8872	3.865,16	3202,277	662,8872	3.684,79	3122,072	562,7225	3.766,17	3400,554	365,6155	3.702,37	3214,585	487,7887	3.541,06	3071,298	469,7576	3.563,98	3318,571	315,4047	3.563,80	3157,773	410,0237
284	3.602,07	2041,786	560,282	3.463,07	2096,722	1366,345	3.463,07	2096,722	1366,345	3.274,97	1985,104	1289,864	3.082,92	2141,305	1431,6115	3.202,71	2034,888	1168,222	3.106,81	1923,261	1263,561	2.964,81	1870,3369	3.039,62	1968,862	1070,762	
285	1.372,81	668,6515	704,1582	1.291,03	792,1423	498,8873	1.291,03	792,1423	498,8873	1.112,10	784,0771	328,0209	1.243,54	1110,128	931,4133	1.152,38	896,807	255,5699	1.097,95	831,1667	266,7786	1.236,87	1124,866	111,9999	1.141,93	933,2382	208,6956
286	7.008,64	674,6385	6333,990	6.511,63	695,6736	5815,953	6.511,63	695,6736	5815,953	6.174,46	625,3193	5549,143	5.190,42	695,3423	4495,08	5.856,64	644,8256	5211,812	5.741,29	554,9392	5186,354	4.857,57	613,2711	424,3	5.448,16	571,3323	4876,836
287	24.358,45	401,2073	33857,24	23.325,10	410,6222	22914,48	23.325,10	410,6222	22914,48	22.911,11	380,4692	22530,64	20.513,34	407,264	20006,12	22.161,02	387,9395	21773,08	22.354,87	337,2437	19197,42	357,3196	19618,1	21.555,22	342,1575	21213,07	
288	9.674,36	0	9674,357	8.599,18	0	8599,183	8.599,18	0	8599,183	7.805,30	0	7805,298	5.802,27	0	5802,267	7.170,82	0	7170,821	7.255,93	0	7255,93	5.518,52	0	5518,523	6.704,40	0	6704,405
	L1-AQEC			L2-AQEC			L3-AQEC			L4-AQEC			L5-AQEC			L6-AQEC			L7-AQEC			L8-AQEC			L9-AQEC		
	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor
281	7.981,88	7343,946	637,9333	8.557,18	8171,435	385,7399	8.174,99	7636,527	538,4666	7.953,16	7462,894	490,2675	8.470,17	8130,623	339,5458	8.133,50	7697,828	435,6701	7.790,97	7366,578	424,3965	8.260,98	7967,546	293,4365	7.955,80	7579,83	375,9713
282	12.975,59	11222,82	1752,772	13.343,98	12071,78	1272,205	13.091,42	11517,99	1573,432	12.837,76	11366,18	1471,577	13.198,43	12408,44	1149,988	12.960,56	11602,7	1357,863	12.612,78	11270,69	1342,091	12.956,25	11891,72	1064,533	12.735,85	11490,07	1245,788
283	3.897,05	3105,208	791,8373	3.880,24	3439,508	440,7295	3.862,40	3213,981	648,415	3.686,02	3135,302	550,7177	3.768,27	3407,647	360,622	3.703,19	3224,414	478,7729	3.542,63	3024,793	309,1429	3.633,94	3324,793	309,1429	3.565,48	3162,872	402,6062
284	3.582,97	2049,414	1533,558	3.256,99	2228,462	1028,528	3.451,29	2102,834	1348,46	3.263,59	1991,585	1272,004	3.078,99	2143,722	935,688	3.195,01	2039,469	1155,544	3.096,43	1929,257	1167,172	2.932,22	2067,759	864,4604	3.033,40	1973,688	1059,514
285	1.343,24	679,504	663,7396	1.249,51	1048,607	200,9068	1.277,76	803,2664	474,939	1.106,19	795,1056	311,0814	1.467,12	1118,634	129,039	1.151,57	907,4283	244,144	1.094,35	841,0883	253,2578	1.241,01	1132,727	108,282	1.142,46	943,0711	199,3875
286	6.932,21	677,8401	6254,372	5.531,15	758,9606	4772,187	6.456,18	698,4896	5757,693	6.119,91	628,3164	5491,598	5.167,12	696,831	4470,285	5.815,61	607,2611	5168,351	5.691,66	557,5307	5134,133	4.836,38	614,8046	4221,577	5.410,98	573,4183	4837,56
287	24.189,52	402,9059	33786,63	20.934,76	436,2716	20498,48	23.196,78	411,8645	22784,91	22.778,12	381,8892	22396,23	20.347,40	407,8649	19939,54	22.052,63	388,9282	21666,71	22.131,32	338,3399	21792,98	19.914,28	357,9769	19556,3	21.456,80	343,1603	21113,64
288	9.497,48	0	9497,484	6.455,15	0	6455,145	8.467,71	0	8467,71	7.678,18	0	7678,184	5.745,25	0	5745,251	7.072,89	0	7072,889	7.141,31	0	7141,311	5.465,43	0	5465,431	6.616,11	0	6616,113
	M1-AQEC			M2-AQEC			M3-AQEC			M4-AQEC			M5-AQEC			M6-AQEC			M7-AQEC			M8-AQEC			M9-AQEC		
	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor
281	7.114,24	6094,491	1019,748	7.517,73	6927,656	590,0726	7.213,37	6354,964	858,4028	6.926,43	6202,439	723,9928	7.348,10	6851,48	496,6186	7.056,46	6407,43	649,0335	6.649,17	6049,313	599,8588	7.033,93	6618,579	415,3542	6.764,90	6227,981	536,9229
282	12.395,14	10088,65	2296,491	12.624,00	11003,98	1620,022	12.449,48	10384,6	2064,881	12.087,18	10253,52	1833,655	12.378,40	10959,01	1419,392	12.177,98	10475,04	1702,399	11.748,77	10120,34	1629,433	12.035,95	10744,95	1290,097	11.840,52	10318,95	1521,665
283	3.863,47	2629,747	1223,718	3.618,25	2964,082	654,1633	3.738,68	2721,696	1016,988	3.417,38	2644,729	772,6548	3.413,24	2915,164	498,0714	3.401,13	2722,079	679,0578	3.185,55	2571,875	611,6708	3.210,54	2801,442	409,1024	3.179,83	2656,883	542,952
284	3.863,47	2629,747	1223,718	3.618,25	2964,082	654,1633	3.738,68	2721,696	1016,988	3.417,38	2644,729	772,6548	3.413,24	2915,164	498,0714	3.401,13	2722,079	679,0578	3.185,55	2571,875	611,6708	3.210,54	2801,442	409,1024	3.179,83	2656,883	542,952
285	1.689,41	393,3712	1296,036	1.089,14	692,5986	396,5444	1.438,29	475,0482	963,2439	1.017,32	487,358	529,9612	9.716,71	469,6215	5687,539	7.088,32	470,8701	4292,455	9.933,43	532,6102	406,8172	942,85	770,4086	1133,05	2.959,60	1655,603	1405,99
286	8.768,54	485,7584	8282,781	6.714,38	543,8567	6170,527	8.139,75	494,405	7645,344	7.456,30	420,9956	5035,302	6.157,16	469,6215	5687,539	7.088,32	470,8701	4292,455	9.933,43	532,6102	406,8172	942,85	770,4086	1133,05	2.959,60	1655,603	1405,99
287	28.218,47	328,332	27890,13	24.146,98	355,9097	23791,07	27.135,12	333,4567	26801,66	26.147,32	302,3481	25844,97	23.272,04	322,3825	22949,66	25.413,19	306,2969	251,069	25.106,9	250,267	254,7545	24.952,12	22,681,88	268,0164	22413,87	24,547,20	256,65
288	13.062,60	0	13062,6	8.734,31	0	8734,308	11.773,92	0	11773,92	10.027,94	0	10027,94	7.453,04	0	7453,039	9.324,16	0	9324,161	9.108,27	0	9108,275	6.982,85	0	6982,851	8.527,13	0	8527,134
	N1-AQEC			N2-AQEC			N3-AQEC			N4-AQEC			N5-AQEC			N6-AQEC			N7-AQEC			N8-AQEC			N9-AQEC		
	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor
281	7.076,63	5218,356	1858,271	7.214,38	6279,696	934,6805	7.062,95	5558,3	1504,648	6.643,22	5506,146	1135,076	7.036,85	6335,186	701,6683	6.756,75	5769,503	987,2443	6.324,81	5419,987	904,8214	6.717,85	6148,765	569,0878	6.438,43	5649,932	788,4936
282	12.417,60	9147,811	3269,79	12.450,06	10331,89	2118,171	12.396,96	9532,637	2864,324	11.927,14	9526,393	2400,742	12.178,20	10432,9	1745,301	12.009,36	9817,017	2162,339	11.571,11	9486,802	2084,31	11.842,50	10286,96	1555,542	11.661,28	9745	1916,282
283	4.261,87	2294,996	1966,875	3.657,41	2701,409	956	3.996,35	2409,781	1586,566	3.502,09	2375,964	1126,128	3.369,44	2709,438	660,0003	3.439,09	2472,814	992,2783	3.198,43	2333,103	865,7654	3.132,22	2622,413	530,8042	3.168,67	2417,337	751,3373
284	5.005,57	1363,268	3642,301	3.699,55	1621,955	207																					

	P1-AQEC				P2-AQEC				P3-AQEC				P4-AQEC				P5-AQEC				P6-AQEC				P7-AQEC				P8-AQEC				P9-AQEC			
	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	
Z81	6.774.63	6242,897	531,796	7.164,35	6049,492	1114,856	7.167,32	6951,256	621,0626	7.268,32	6346,816	921,5037	7.268,32	6346,816	921,5037	6.958,31	6118,528	839,7824	7.404,27	6867,998	536,3689	7.102,27	6372,564	729,7009	6.671,22	5955,088	716,1328	7.094,54	6638,776	716,1328	7.094,54	6638,776	716,1328			
Z82	11.849,53	10337,03	1512,93	12.453,84	10029,3	2424,538	12.572,57	11008,32	1669,254	12.507,99	10353,84	2154,143	12.148,62	10136,24	2013,739	12.442,70	10410,55	1832,153	11.805,61	9985,368	1820,245	12.104,87	10737,71	1367,153	11.805,61	9985,368	1820,245	12.104,87	10737,71	1367,153	11.805,61	9985,368	1820,245			
Z83	3.179,88	2643,453	536,423	3.967,84	2616,808	1351,031	3.670,20	2978,123	692,0817	3.816,17	2722,245	1093,925	3.539,96	2618,317	921,6473	3.476,09	2927,691	548,399	3.905,19	2713,432	781,7585	3.300,40	2540,753	759,6515	3.277,16	2816,658	460,5022	2.890,56	1682,365	1208,193	2.890,56	1682,365	1208,193			
Z84	2.951,83	1556,242	1395,587	4.000,03	1694,904	2305,123	3.363,32	1885,481	1450,842	3.742,71	1746,493	1996,215	3.518,24	1614,346	1903,893	3.093,88	1778,204	1315,674	3.864,68	1662,547	1702,128	3.276,15	1532,33	1743,819	3.276,15	1532,33	1743,819	3.276,15	1532,33	1743,819	3.276,15	1532,33	1743,819			
Z85	931,08	612,2709	318,8122	1.864,48	378,4912	1.485,99	1.146,91	695,1415	451,7675	1.563,76	470,7325	1093,025	1.208,00	452,6929	755,3104	1.032,12	751,9466	280,1711	1.139,36	549,857	589,5044	1.105,64	483,2297	622,415	986,24	754,9092	231,3268	5.913,63	400,7738	5512,859	5.913,63	400,7738	5512,859			
Z86	6.440,67	349,9048	6090,76	9.113,13	493,2401	8619,887	6.850,03	558,7423	6291,288	8.379,24	505,3374	7673,899	7.964,65	430,7832	7533,868	6.358,94	487,9667	5870,978	7.459,22	445,9832	7015,238	7.371,65	353,485	7018,16	5.913,63	400,7738	5512,859	5.913,63	400,7738	5512,859	5.913,63	400,7738	5512,859			
Z87	24.472,21	257,0668	24215,15	28.419,23	330,4301	28418,8	24.317,79	361,7032	23956,09	27.483,25	337,453	27145,8	26.998,30	304,935	26693,36	23.570,17	329,632	23240,54	26.019,57	310,8893	25708,74	26.196,91	259,1667	25937,74	23.033,60	276,4682	22757,13	23.033,60	276,4682	22757,13	23.033,60	276,4682	22757,13			
Z88	8.433,83	0	8433,83	13.801,58	0	13801,58	9.014,44	0	9014,438	12.278,69	0	12278,69	11.140,69	0	11140,69	7.896,44	0	7896,439	10.141,42	0	10141,42	10.323,98	0	10323,98	7.471,39	0	7471,394	7.471,39	0	7471,39	7.471,39	0	7471,39			

	Q1-AQEC				Q2-AQEC				Q3-AQEC				Q4-AQEC				Q5-AQEC				Q6-AQEC				Q7-AQEC				Q8-AQEC				Q9-AQEC			
	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	
Z81	6.805,89	6188,259	617,6316	7.170,02	6076,065	1093,959	7.580,94	6964,339	616,5986	7.277,39	6368,603	908,7888	7.277,39	6368,603	908,7888	6.969,65	6142,349	827,3017	7.412,75	6879,461	533,2895	7.112,96	6391,524	721,4362	6.969,65	6142,349	827,3017	7.412,75	6879,461	533,2895	6.969,65	6142,349	827,3017	7.412,75	6879,461	
Z82	11.905,92	10244,7	1661,212	12.459,21	10062,17	2397,039	12.686,28	11026,07	1659,888	12.514,16	10379,75	2134,403	12.157,19	10164,34	1992,845	12.450,21	10965,78	1484,421	12.251,24	10433,65	1817,593	12.157,19	10164,34	1992,845	12.450,21	10965,78	1484,421	12.157,19	10164,34	1992,845	12.450,21	10965,78	1484,421			
Z83	3.273,65	2627,421	646,2257	3.952,09	2627,656	1324,435	3.667,89	2983,415	684,4795	3.807,30	2731,663	1075,639	3.534,41	2628,467	905,9426	3.476,18	2932,525	543,6534	3.492,47	2721,628	770,841	3.334,41	2628,467	905,9426	3.476,18	2932,525	543,6534	3.334,41	2628,467	905,9426	3.476,18	2932,525	543,6534			
Z84	3.131,75	1577,145	1554,508	3.972,72	1700,642	2272,082	3.329,83	1886,713	1443,116	3.725,16	1750,012	1975,15	3.500,65	1619,783	1880,865	3.090,99	1780,024	1310,069	3.363,36	1665,897	1687,459	3.500,65	1619,783	1880,865	3.090,99	1780,024	1310,069	3.363,36	1665,897	1687,459	3.500,65	1619,783	1880,865			
Z85	1.056,11	573,009	483,1042	1.811,21	385,2968	1425,91	1.142,45	702,2752	440,1753	1.534,19	478,3353	1055,852	1.184,74	460,1766	724,5634	1.032,40	758,4908	273,9102	1.127,68	557,4018	570,2775	1.184,74	460,1766	724,5634	1.032,40	758,4908	273,9102	1.184,74	460,1766	724,5634	1.032,40	758,4908	273,9102			
Z86	6.897,86	364,5482	6533,317	9.027,62	494,7418	8532,88	6.824,79	559,2118	6285,581	8.319,59	506,4654	7813,128	7.901,00	432,4204	7468,58	6.339,91	488,3556	5851,551	7.415,01	445,1275	6969,279	7.901,00	432,4204	7468,58	6.339,91	488,3556	5851,551	7.415,01	445,1275	6969,279	7.901,00	432,4204	7468,58			
Z87	25.265,32	262,9044	25002,42	28.596,54	331,3338	28065,21	24.268,64	361,9273	23906,71	27.373,66	338,1661	27035,5	26.874,58	305,8771	26568,7	23.529,83	329,7966	23200,03	25.902,28	311,5073	25618,77	26.874,58	305,8771	26568,7	23.529,83	329,7966	23200,03	25.902,28	311,5073	25618,77	26.874,58	305,8771	26568,7			
Z88	9.430,39	0	9430,389	13.592,35	0	13592,35	8.942,22	0	8942,217	12.128,81	0	12128,81	10.967,52	0	10967,52	7.840,53	0	7840,526	10.022,53	0	10022,53	10.967,52	0	10967,52	7.840,53	0	7840,526	10.022,53	0	10022,53	10.967,52	7.840,53	0	7840,526		

	R1-AQEC				R2-AQEC				R3-AQEC				R4-AQEC				R5-AQEC				R6-AQEC				R7-AQEC				R8-AQEC				R9-AQEC			
	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	
Z81	7.112,96	6391,524	721,4362	7.167,36	6076,195	1091,166	7.580,86	6964,372	616,4906	7.276,55	6368,808	907,7414	7.276,55	6368,808	907,7414	6.968,09	6142,421	825,6701	7.412,71	6879,497	533,2156	7.112,41	6391,589	720,8193	6.968,09	6142,421	825,6701	7.412,71	6879,497	533,2156	7.112,41	6391,589	720,8193	6.968,09	6142,421	
Z82	12.251,24	10433,65	1817,593	12.458,86	10062,18	2396,681	12.686,28	11026,39	1659,883	12.514,14	10379,85	2134,283	12.157,04	10164,37	1992,667	12.450,28	10965,81	1484,47	12.251,11	10433,6	1817,507	12.157,04	10164,37	1992,667	12.450,28	10965,81	1484,47	12.251,11	10433,6	1817,507	12.157,04	10164,37	1992,667	12.450,28		
Z83	3.492,47	2721,628	770,841	3.950,82	2627,798	1323,02	3.667,65	2983,235	684,4151	3.806,76	2731,689	1075,068	3.533,72	2628,592	905,1256	3.476,16	2932,463	543,7001	3.492,18	2721,587	770,5982	3.396,61	2550,164	746,4492	3.476,16	2932,463	543,7001	3.492,18	2721,587	770,5982	3.396,61	2550,164	746,4492	3.476,16	2932,463	
Z84	3.353,36	1665,897	1687,459	3.970,09	1700,584	2269,501	3.329,67	1886,555	1443,117	3.724,01	1749,937	1974,075	3.498,83	1619,676	1879,15	3.089,96	1779,939	1310,017	3.352,58	1665,769	1686,912	3.258,44	1537,101	1721,335	3.089,96	1779,939	1310,017	3.352,58	1665,769	1686,912	3.258,44	1537,101	1721,335	3.089,96	1779,939	
Z85	1.127,68	557,4018	570,2775	1.789,98	385,3076	1404,677	1.141,34	702,2789	439,0653	1.525,09	478,3723	1065,716	1.175,88	460,2228	715,655	1.031,92	758,5287	273,9952	1.129,94	557,3897	566,5482	1.175,88	460,2228	715,655	1.031,92	758,5287	273,9952	1.129,94	557,3897	566,5482	1.175,88	460,2228	715,655	1.031,92	758,5287	
Z86	7.415,01	445,1275	6969,279	9.010,73	494,842	8515,891	6.823,81	559,1985	6264,609	8.312,04	506,4607	7805,579	7.888,29	432,3675	7455,92	6.339,02	488,3493	5850,673	7.409,28	445,1256	6964,154	7.903,06	432,3675	7455,92	6.339,02	488,3493	5850,673	7.409,28	445,1256	6964,154	7.903,06	432,3675	7455,92	6.339,02	488,3493	
Z87	25.930,28	25618,77	28.595,85	331,329	28238,52	24.268,83	361,9106	23904,92	27.373,66	338,1598	27023,21	26.854,31	305,8918	26548,42	23.528,36	329,7973	23198,57	25.920,61	311,56	25609,05	26.061,59	311,56	25609,05	26.061,59	311,56	25609,05	26.061,59	311,56	25609,05	26.061,59	311,56	25609,05	26.061,59	311,56	25609,05	
Z88	10.022,53	0	10022,53	13.535,27	0	13535,27	8.936,21	0	8936,209	12.101,50	0	12101,50	1																							

	A1-FECH	A2-FECH	A3-FECH	A4-FECH	A5-FECH	A6-FECH	A7-FECH	A8-FECH	A9-FECH
	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor
Z81	9942,26	9854,49	87,77	10747,09	10701,72	45,37	10177,12	10103,86	73,26
Z82	12477,91	11583,63	894,29	12856,57	12233,11	623,47	12579,82	11761,30	818,52
Z83	3895,18	3675,58	219,60	4093,25	3968,23	125,02	3933,33	3747,58	185,75
Z84	3177,24	2521,18	656,07	3096,31	2674,68	421,63	3143,19	2550,10	589,09
Z85	1218,04	979,89	238,15	1429,31	1362,11	67,20	1266,33	1088,96	177,37
Z86	3726,81	1150,51	2576,30	3116,15	1262,52	1853,64	3562,53	1170,64	2391,89
Z87	15449,84	528,37	14821,47	13006,02	560,92	12445,10	14842,38	533,33	14309,05
Z88	5117,36	0,00	5117,36	3320,41	0,00	4676,47	4676,47	0,00	4676,47
	B1-FECH	B2-FECH	B3-FECH	B4-FECH	B5-FECH	B6-FECH	B7-FECH	B8-FECH	B9-FECH
	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor
Z81	7058,21	5919,94	1138,27	7187,48	6333,79	853,68	7084,90	6027,79	1057,11
Z82	11918,57	9438,66	2479,89	11961,20	9882,26	2078,94	11929,64	9554,00	2375,65
Z83	3695,38	2479,56	1215,82	3500,91	2632,25	868,66	3621,05	2509,60	1111,45
Z84	4265,09	1165,90	3099,19	3746,74	1216,34	2530,40	4140,04	1167,47	2972,57
Z85	1918,55	716,32	1202,23	1611,76	962,99	648,77	1838,88	789,03	1049,85
Z86	8888,32	395,41	8492,91	7710,38	412,90	7297,48	8624,98	392,45	8232,53
Z87	30527,12	268,83	30556,29	28383,79	276,71	28107,08	30254,54	267,62	29986,92
Z88	11820,08	0,00	11820,08	9495,95	0,00	11296,67	11296,67	0,00	11296,67
	C1-FECH	C2-FECH	C3-FECH	C4-FECH	C5-FECH	C6-FECH	C7-FECH	C8-FECH	C9-FECH
	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor
Z81	5848,08	4704,51	1543,58	7183,58	6315,69	867,89	7083,81	6007,65	1076,16
Z82	10960,92	7877,68	3083,25	11962,69	9863,25	2099,44	11934,16	9594,72	2403,50
Z83	3298,66	2170,90	1117,68	3509,18	2625,54	883,63	3635,27	2532,33	1132,93
Z84	4827,80	776,70	4051,09	3775,12	1216,15	2558,98	4176,02	1166,59	3009,43
Z85	2525,37	318,83	2206,54	1617,43	950,58	666,85	1853,73	777,18	1076,55
Z86	10522,19	212,10	10310,08	7767,58	412,77	7354,81	8692,39	392,16	8300,24
Z87	34885,75	180,94	34704,81	28490,59	276,72	28213,86	30379,57	267,54	30112,03
Z88	15038,11	0,00	15038,11	9600,84	0,00	11423,65	11423,65	0,00	11423,65
	D1-FECH	D2-FECH	D3-FECH	D4-FECH	D5-FECH	D6-FECH	D7-FECH	D8-FECH	D9-FECH
	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor
Z81	7053,54	5802,91	1250,63	7171,79	6264,34	907,44	7078,21	5929,89	1148,32
Z82	11938,13	9314,81	2623,31	11970,76	9813,52	2157,24	11946,60	9450,63	2495,98
Z83	3790,23	2438,18	1352,05	3544,87	2608,46	936,41	3698,90	2475,41	1223,49
Z84	4453,94	1156,05	3297,89	3845,93	1214,71	2631,22	4298,56	1160,92	3137,64
Z85	2076,00	663,81	1412,19	1663,61	925,91	737,70	1964,13	742,54	1221,59
Z86	9302,59	390,55	8912,05	7943,27	412,10	7531,17	8979,07	389,10	8589,97
Z87	31393,09	266,14	31126,95	28844,54	276,19	28568,35	30926,75	265,79	30660,95
Z88	12660,79	0,00	12660,79	9963,53	0,00	12015,51	12015,51	0,00	12015,51
	E1-FECH	E2-FECH	E3-FECH	E4-FECH	E5-FECH	E6-FECH	E7-FECH	E8-FECH	E9-FECH
	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor
Z81	7049,44	5803,07	1246,38	7171,57	6264,31	907,26	7076,45	5929,96	1146,49
Z82	11937,56	9314,76	2622,81	11970,69	9813,44	2157,25	11946,35	9450,53	2495,83
Z83	3788,46	2438,17	1350,29	3544,76	2608,42	936,34	3698,18	2475,42	1222,76
Z84	4449,22	1156,03	3293,19	3845,76	1214,66	2631,10	4296,63	1160,92	3135,72
Z85	2054,44	663,83	1390,61	1662,17	925,87	736,29	1954,48	746,12	1211,80
Z86	9281,33	390,56	8890,77	7941,76	412,11	7529,65	8969,26	389,10	8580,16
Z87	31361,60	266,14	31095,47	28842,25	276,19	28566,06	30912,17	265,79	30646,38
Z88	12600,52	0,00	12600,52	9957,86	0,00	11987,37	11987,37	0,00	11987,37

	F1-FECH			F2-FECH			F3-FECH			F4-FECH			F5-FECH			F6-FECH			F7-FECH			F8-FECH			F9-FECH		
	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor
Z81	7055.53	5842.38	1213.15	7187.22	6295.82	891.40	7086.81	5967.26	1119.55	6947.69	5968.60	979.09	7105.67	6322.63	783.04	6990.80	6060.62	930.18	6766.08	5901.93	864.14	6909.98	6214.26	695.72	6800.87	5981.37	819.50
Z82	11940.12	9355.82	2584.30	11977.93	9843.38	2134.55	11950.58	9488.35	2462.23	11775.12	9494.84	2280.28	11852.21	9875.29	1976.92	11801.91	9592.12	2209.79	11558.42	9426.92	2131.50	11640.61	9764.86	1875.75	11584.61	9513.67	2070.94
Z83	3765.41	2453.27	1312.14	3536.75	2620.39	916.36	3680.08	2489.60	1190.48	3487.73	2749.77	700.96	3397.59	2617.92	779.68	3457.43	2509.99	947.44	3317.85	2438.23	879.62	3317.85	2566.35	694.58	3292.96	2462.02	830.94
Z84	4394.34	1163.09	3231.26	3817.80	1219.48	2598.32	4250.49	1166.66	3083.83	3981.09	1131.13	2849.95	3592.87	1183.18	2409.69	3898.51	1137.53	2760.98	3753.20	1087.89	3419.08	1136.30	2282.78	3687.20	1094.54	2592.65	642.51
Z85	1998.29	676.92	1321.37	1645.90	938.72	707.17	1912.66	757.18	1155.48	1599.55	785.28	814.27	1515.38	1000.61	514.77	1603.37	849.26	754.11	1511.99	821.93	690.05	1459.53	1010.91	448.62	1520.15	877.64	592.65
Z86	9156.43	393.57	8762.86	7870.18	414.76	7455.42	8861.22	392.01	8469.21	8302.80	370.06	7932.74	7420.22	389.60	7030.62	8133.55	370.18	7763.37	7856.00	329.83	7526.17	7076.40	348.05	6728.35	7699.95	330.59	7369.36
Z87	31121.33	267.83	30853.49	28685.71	277.47	28408.23	30695.79	267.38	30428.40	29735.64	258.18	29477.46	27953.33	265.50	27687.82	29478.73	257.59	29221.14	29104.40	232.77	28871.63	27504.11	237.10	27267.01	28865.25	231.24	28634.02
Z88	12363.90	0.00	12363.90	9820.02	0.00	9820.02	11777.69	0.00	11777.69	10552.14	0.00	10552.14	8941.29	0.00	8941.29	10279.23	0.00	10279.23	9950.50	0.00	9950.50	8572.83	0.00	8572.83	9725.85	0.00	9725.85

	G1-FECH			G2-FECH			G3-FECH			G4-FECH			G5-FECH			G6-FECH			G7-FECH			G8-FECH			G9-FECH		
	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor
Z81	6836.47	5055.95	1780.52	6783.46	5597.76	1185.70	6802.17	5177.97	1624.20	6514.57	5234.77	1279.80	6606.12	5642.73	963.39	6530.84	5313.93	1216.91	6196.26	5144.08	1052.17	6296.33	5490.72	805.61	6209.39	5208.38	1001.01
Z82	11812.14	8566.86	3245.27	11728.81	9178.03	2550.78	11790.70	8706.37	3084.33	11462.39	8771.26	1289.12	11494.47	9234.83	2259.64	11479.65	8866.78	2612.87	11109.53	8886.46	2423.07	11170.68	9080.29	2090.39	11137.59	8762.55	2375.04
Z83	4072.77	2154.65	1918.11	3575.52	2347.05	1228.47	3914.14	2183.64	1730.50	3485.60	2186.24	1299.35	3289.20	2341.27	947.92	3436.19	2208.42	1227.76	3176.03	2125.74	1030.30	3046.90	2253.30	793.60	3140.31	2140.85	999.46
Z84	5283.58	1026.20	4257.39	4322.80	1094.43	3228.37	5080.66	1025.57	4055.09	4511.47	975.97	3535.49	3918.25	1037.11	2881.13	4419.96	978.17	3441.79	4126.64	911.46	3215.18	3650.19	967.56	2662.62	4049.02	914.86	3134.16
Z85	2755.44	411.55	2343.89	1828.69	676.01	1152.68	2533.42	477.10	2056.31	1786.56	535.12	1251.44	1487.10	760.04	727.06	1762.92	588.91	1174.01	1555.71	584.14	971.57	1368.35	777.31	591.05	1549.80	629.69	920.11
Z86	11108.94	304.78	10804.16	9086.88	322.08	8764.80	10711.88	297.72	10414.16	9556.27	271.56	9284.70	8285.93	287.72	7998.21	9382.40	267.65	9114.74	8790.50	219.47	8571.03	7721.34	233.67	7487.67	8645.90	217.01	8428.89
Z87	34911.34	226.39	34684.95	31455.73	235.68	31220.06	34462.10	223.53	34238.57	32564.55	212.41	32352.14	30206.12	218.30	29987.81	32386.81	209.64	32177.17	31498.47	178.71	31319.76	29474.22	180.64	29293.58	31351.58	174.96	31176.62
Z88	16221.95	0.00	16221.95	12235.44	0.00	12235.44	15460.25	0.00	15460.25	12871.55	0.00	12871.55	10565.64	0.00	10565.64	12629.13	0.00	12629.13	11754.76	0.00	11754.76	9883.18	0.00	9883.18	11584.42	0.00	11584.42

	H1-FECH			H2-FECH			H3-FECH			H4-FECH			H5-FECH			H6-FECH			H7-FECH			H8-FECH			H9-FECH		
	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor
Z81	6830.60	5055.95	1774.65	6783.16	5597.75	1185.41	6790.53	5178.00	1621.53	6511.41	5334.78	1276.63	6605.79	5642.59	963.20	6529.38	5313.93	1215.43	6193.96	5144.10	1049.86	6296.15	5490.66	805.49	6208.25	5208.33	999.92
Z82	11811.41	8566.77	3244.65	11728.89	9178.01	2550.88	11790.29	8706.19	3084.11	11462.02	8777.18	1284.84	11494.27	9234.64	2259.63	11479.26	8866.57	2612.69	11109.19	8866.44	2422.75	11170.74	9080.28	2090.46	11137.28	8762.38	2374.90
Z83	4070.44	2154.57	1915.87	3575.47	2347.07	1228.40	3913.24	2183.65	1729.59	3484.38	2186.24	1298.14	3289.17	2341.27	947.90	3435.69	2208.46	1227.23	3175.02	2125.70	1049.31	3046.90	2253.30	793.60	3139.88	2140.80	999.08
Z84	5277.18	1026.17	4251.01	4322.70	1094.42	3228.29	5077.93	1025.54	4052.39	4507.23	975.85	331.38	3918.24	1037.16	2881.09	4418.09	978.13	3439.96	4123.26	911.39	3211.88	3630.06	967.57	2662.49	4047.50	914.90	3132.60
Z85	2723.27	411.42	2311.84	1826.41	675.95	1150.46	2518.25	477.07	2041.18	1770.63	535.03	1235.60	1486.05	760.13	725.91	1755.10	588.88	1166.22	1544.21	584.04	960.17	1367.31	777.31	590.24	1544.03	629.60	914.43
Z86	11084.42	304.78	10779.64	9085.27	322.04	8763.22	10700.02	297.70	10402.32	9539.40	271.56	9267.84	8284.85	287.69	7997.16	9374.10	267.66	9106.44	8776.52	219.47	8557.05	7720.52	233.66	7486.86	8638.97	217.00	8421.97
Z87	34875.59	226.37	34649.22	31453.28	235.67	31217.61	34445.04	223.52	34221.51	32539.24	212.41	32326.83	30204.48	218.32	29986.16	32374.69	209.62	32165.07	31476.73	178.70	31298.03	29472.33	180.64	29291.70	31341.03	174.96	31166.07
Z88	16153.24	0.00	16153.24	12228.16	0.00	12228.16	15426.60	0.00	15426.60	12816.58	0.00	12816.58	10559.26	0.00	10559.26	12601.82	0.00	12601.82	11704.47	0.00	11704.47	9877.24	0.00	9877.24	11559.30	0.00	11559.30

	I1-FECH			I2-FECH			I3-FECH			I4-FECH			I5-FECH			I6-FECH			I7-FECH			I8-FECH			I9-FECH		
	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor	GERAL	total frio	total calor
Z81	6824.90	5090.44	1734.46	6800.05	5211.87	1588.18	6800.05	5211.87	1588.18	6635.71	5135.58	1422.91	6635.71	5135.58	1422.91	6538.46	5049.23	1422.91	6538.46	5049.23	1422.91	6538.46	5049.23	1422.91	6538.46	5049.23	1422.91
Z82	11807.43	8605.99	3201.44	11788.99	8742.90	3046.09	11788.99	8742.90	3046.09	11465.25	8809.44	2655.81	11482.71	8898.29	2584.42	11482.71	8898.29	2584.42	11113.90	8715.55	2398.35	11137.31	2346.10	11137.31	8791.21	2346.10	11137.31
Z83	4037.12	2167.16	1869.96	3885.92	2195.92	1690.00	3885.92	2195.92	1690.00	3468.90	2197.59	1271.30	3421.45	2219.70	1201.75	3421.45	2219.70	1201.75	3163.96	2135.84	1028.12	3129.99	2151.20	978.79	3129.99	2151.20	978.79
Z84	5217.06	1032.46	4184.61	5027.24	1030.90	3996.34	5027.24	1030.90	3996.34	4467.26	980.92	3486.35	4381.79	982.81	3398.98	4381.79	982.81	3398.98	4088.34	915.98	3172.36	4015.81	919.02	3096.78	4015.81	919.02	3096.78
Z85	2637.09	420.50	2216.59	2450.33	487.86	1962.46	2450.33	487.86	1962.46	1730.46	544.36	1186.10	1720.14	599.88	1120.26	1720.14	599.88	1120.26	1514.89	592.98	921.91	1515.39	640.09	876.29	1515.39		

	K1-FECH				K2-FECH				K3-FECH				K4-FECH				K5-FECH				K6-FECH				K7-FECH				K8-FECH				K9-FECH			
	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	
Z81	6875.56	5002.88	1872.68	6841.85	5150.68	1691.17	6841.85	5150.68	1691.17	6841.85	5150.68	1691.17	6841.85	5150.68	1691.17	6841.85	5150.68	1691.17	6841.85	5150.68	1691.17	6841.85	5150.68	1691.17	6841.85	5150.68	1691.17	6841.85	5150.68	1691.17	6841.85	5150.68	1691.17	6841.85	5150.68	
Z82	11863.90	8509.18	3354.72	11836.85	8674.51	3162.33	11836.85	8674.51	3162.33	11836.85	8674.51	3162.33	11836.85	8674.51	3162.33	11836.85	8674.51	3162.33	11836.85	8674.51	3162.33	11836.85	8674.51	3162.33	11836.85	8674.51	3162.33	11836.85	8674.51	3162.33	11836.85	8674.51	3162.33	11836.85		
Z83	4175.14	2138.70	2036.43	3991.58	2176.86	1814.72	3991.58	2176.86	1814.72	3991.58	2176.86	1814.72	3991.58	2176.86	1814.72	3991.58	2176.86	1814.72	3991.58	2176.86	1814.72	3991.58	2176.86	1814.72	3991.58	2176.86	1814.72	3991.58	2176.86	1814.72	3991.58	2176.86	1814.72	3991.58		
Z84	5417.38	1029.34	4388.04	5177.12	1031.55	4145.57	5177.12	1031.55	4145.57	5177.12	1031.55	4145.57	5177.12	1031.55	4145.57	5177.12	1031.55	4145.57	5177.12	1031.55	4145.57	5177.12	1031.55	4145.57	5177.12	1031.55	4145.57	5177.12	1031.55	4145.57	5177.12	1031.55	4145.57	5177.12		
Z85	2882.04	388.08	2493.96	2634.09	462.99	2171.10	2634.09	462.99	2171.10	2634.09	462.99	2171.10	2634.09	462.99	2171.10	2634.09	462.99	2171.10	2634.09	462.99	2171.10	2634.09	462.99	2171.10	2634.09	462.99	2171.10	2634.09	462.99	2171.10	2634.09	462.99	2171.10	2634.09		
Z86	11383.72	305.53	11078.19	10914.62	300.61	10614.01	10914.62	300.61	10614.01	10914.62	300.61	10614.01	10914.62	300.61	10614.01	10914.62	300.61	10614.01	10914.62	300.61	10614.01	10914.62	300.61	10614.01	10914.62	300.61	10614.01	10914.62	300.61	10614.01	10914.62	300.61	10614.01	10914.62		
Z87	35355.56	226.55	35129.00	34785.84	224.70	34561.14	34785.84	224.70	34561.14	34785.84	224.70	34561.14	34785.84	224.70	34561.14	34785.84	224.70	34561.14	34785.84	224.70	34561.14	34785.84	224.70	34561.14	34785.84	224.70	34561.14	34785.84	224.70	34561.14	34785.84	224.70	34561.14	34785.84		
Z88	16820.31	0.00	16820.31	15912.08	0.00	15912.08	15912.08	0.00	15912.08	15912.08	0.00	15912.08	15912.08	0.00	15912.08	15912.08	0.00	15912.08	15912.08	0.00	15912.08	15912.08	0.00	15912.08	15912.08	0.00	15912.08	15912.08	0.00	15912.08	15912.08	0.00	15912.08	15912.08		
	L1-FECH				L2-FECH				L3-FECH				L4-FECH				L5-FECH				L6-FECH				L7-FECH				L8-FECH				L9-FECH			
	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	
Z81	6868.53	5039.86	1828.67	6827.33	5623.46	1203.87	6841.90	5186.32	1655.58	1186.32	5186.32	1655.58	1186.32	5186.32	1655.58	1186.32	5186.32	1655.58	1186.32	5186.32	1655.58	1186.32	5186.32	1655.58	1186.32	5186.32	1655.58	1186.32	5186.32	1655.58	1186.32	5186.32	1655.58	1186.32		
Z82	11858.61	8550.38	3308.24	11772.19	9201.93	2570.26	11834.93	8712.82	3122.10	11526.60	8712.82	3122.10	11526.60	8712.82	3122.10	11526.60	8712.82	3122.10	11526.60	8712.82	3122.10	11526.60	8712.82	3122.10	11526.60	8712.82	3122.10	11526.60	8712.82	3122.10	11526.60	8712.82	3122.10	11526.60		
Z83	4138.55	2152.45	1986.10	3611.33	2360.63	1250.69	3962.00	2189.79	1772.21	3608.86	2167.12	1441.74	3351.98	2347.01	1004.97	3355.10	2201.03	1334.07	3311.92	2102.56	1209.35	3116.44	2257.52	859.92	3251.55	2129.66	1121.69	3116.44	2257.52	859.92	3251.55	2129.66	1121.69			
Z84	5352.19	1036.18	4316.01	4350.15	1108.53	3241.62	5123.81	1037.34	4086.47	4692.72	984.77	3707.95	3996.98	1054.07	2942.91	4556.71	3566.21	4353.39	921.44	3431.96	3732.11	986.61	2745.50	4225.57	928.14	3297.43	3732.11	986.61	2745.50	4225.57	928.14	3297.43				
Z85	2787.32	397.69	2389.62	1851.12	679.54	1171.58	2561.60	474.21	2087.39	1936.37	494.82	1441.55	1547.70	747.04	800.65	1889.11	563.49	1325.62	1717.49	529.98	1187.51	1431.26	755.86	675.39	1686.47	591.46	1095.00	1431.26	755.86	675.39	1686.47	591.46	1095.00			
Z86	11245.23	307.87	10937.36	9135.72	329.32	8806.40	10795.54	302.90	10492.64	9925.95	274.39	9651.56	8446.92	295.16	8151.75	9664.10	272.48	9391.62	9253.59	223.95	9029.63	7932.96	241.96	7691.00	9012.57	222.83	8789.74	7932.96	241.96	7691.00	9012.57	222.83	8789.74			
Z87	35103.73	227.98	34875.76	31490.38	239.16	31251.22	34559.34	226.18	34333.17	33169.49	213.53	32955.96	30444.91	221.90	30223.01	32838.31	211.93	32626.38	32280.71	180.86	32099.85	29807.87	184.95	29622.92	31960.74	178.08	31782.66	29807.87	184.95	29622.92	31960.74	178.08	31782.66			
Z88	16535.08	0.00	16535.08	12347.53	0.00	12347.53	15657.12	0.00	15657.12	13678.52	0.00	13678.52	10939.02	0.00	10939.02	13263.93	0.00	13263.93	12717.64	0.00	12717.64	10351.12	0.00	10351.12	12371.51	0.00	12371.51	10351.12	0.00	10351.12	12371.51	0.00	12371.51			
	M1-FECH				M2-FECH				M3-FECH				M4-FECH				M5-FECH				M6-FECH				M7-FECH				M8-FECH				M9-FECH			
	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	
Z81	6898.31	4282.62	2615.69	6505.13	4861.77	1643.37	6780.89	4389.78	2391.11	6230.53	4391.15	1889.39	6157.80	4872.69	1285.11	6212.54	4479.53	1733.02	5726.06	4256.47	1469.59	5709.75	4677.21	1032.54	5711.12	4332.98	1378.13	4677.21	1032.54	5711.12	4332.98	1378.13				
Z82	11847.67	7755.74	4091.93	11550.58	8445.81	3104.77	11782.46	7890.95	3891.51	11243.55	7896.00	3347.55	11169.71	8462.76	2706.95	11247.38	8004.01	3243.38	10751.12	7760.26	2990.86	10737.04	8257.23	2479.81	10768.02	7855.90	2912.12	10737.04	8257.23	2479.81	10768.02	7855.90	2912.12			
Z83	4872.37	1862.70	2809.67	3783.23	2059.99	1723.24	4435.20	1883.20	2552.95	3738.15	1853.00	1885.15	3308.25	2030.03	1278.22	3641.53	1766.78	3252.80	1483.74	2951.41	1916.59	1034.83	3181.30	1784.57	1396.72	1916.59	1034.83	3181.30	1784.57	1396.72	1916.59	1034.83	3181.30			
Z84	6480.93	873.70	5607.23	5061.12	949.10	4182.03	6230.29	869.68	5347.61	5473.70	797.53	4678.56	869.86	3642.69	5337.94	748.77	4593.97	715.16	1524.68	2190.23	3166.36	1710.68	1455.68	3607.15	1549.07	2058.07	3166.36	1710.68	1455.68	3607.15	1549.07	2058.07				
Z85	4040.14	216.95	3823.19	2320.31	439.63	1880.68	3707.21	259.93	3447.28	2421.52	292.96	2128.56	1664.96	515.31	1140.65	2336.04	992.40	1971.22	333.14	1638.08	1449.78	531.13	912.85	1919.68	377.25	1542.43	1449.78	531.13	912.85	1919.68	377.25	1542.43				
Z86	13590.06	232.96	13357.10	10762.55	242.32	10520.24	13135.02	222.23	12912.79	11579.01	187.51	11391.50	9665.45	199.06	9466.39	11337.06	182.17	11154.89	10559.65	133.56	10426.09	8919.92	144.16	8775.76	10345.67	130.10	10215.58	8919.92	144.16	8775.76	10345.67	130.10	10215.58			
Z87	39199.93	188.28	39010.63	34808.86	196.24	34612.62	38797.69	183.59	38614.10	36472.68	169.04	36033.64	33247.92	175.20	33072.71	36263.26	165.82	36097.43	35142.32	128.00	34990.54	32316.00	129.32	32186.68	34945.10	123.11	34821.98	32316.00	129.32	32186.68	34945.10	123.11	34821.98			
Z88	20936.14	0.00	20936.14	15470.11	0.00	15470.11	20127.67	0.00	20127.67	16564.21	0.00	16564.21	13072.92	0.00	13072.92	16220.03	0.00	16220.03	14990.54	0.00	14990.54	12102.55	0.00	12102.55	14728.01	0.00	14728.01	12102.55	0.00	12102.55	14728.01	0.00	14728.01			
	N1-FECH				N2-FECH				N3-FECH				N4-FECH				N5-FECH				N6-FECH				N7-FECH				N8-FECH				N9-FECH			
	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	GERAL	total	frio	total	calor	
Z81	8074.34	3352.83	4721.52	6875.09	4114.13	2760.960																														

	P1-FECH			P2-FECH			P3-FECH			P4-FECH			P5-FECH			P6-FECH			P7-FECH			P8-FECH			P9-FECH		
	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor
Z81	5711,36	4353,61	1357,75	7008,79	4205,78	2803,01	6560,93	4852,16	1708,77	6868,09	4349,63	2518,45	6369,84	4271,41	2098,43	6228,49	4843,68	1384,81	6330,23	4004,19	1926,04	5872,11	4123,22	1748,89	5784,76	4642,23	1142,53
Z82	10770,85	7782,67	2888,67	11941,71	7663,18	4278,53	11609,15	8430,95	3178,20	11861,47	7839,02	4022,45	11376,76	7753,29	3623,47	11249,88	8425,01	2824,87	11364,35	7911,92	3452,43	10897,02	7595,83	3301,19	10824,79	8210,01	2614,78
Z83	3167,68	1792,03	1374,75	4869,55	1839,50	3030,05	3864,53	2060,50	1804,02	4576,33	1871,36	2703,97	4014,11	1818,73	2195,37	3431,35	2026,19	1405,15	3857,54	1854,68	2002,87	5395,41	2711,38	1816,13	3085,22	1913,02	1172,20
Z84	4790,75	721,55	4069,20	6731,02	875,26	5855,76	5152,08	961,40	4190,68	6400,86	876,27	5524,59	5849,22	801,78	5047,44	4665,06	887,34	3777,72	5618,93	808,86	4810,07	5395,41	721,18	4674,22	4307,84	801,69	3506,15
Z85	1876,53	385,27	1491,26	4387,12	195,65	4191,47	2431,33	432,37	1998,96	3944,64	247,59	3697,04	2902,22	250,49	2651,74	1836,37	493,15	1343,22	2709,58	311,44	2398,14	2464,63	276,05	2188,58	1620,28	499,43	1120,85
Z86	10264,52	130,83	10133,69	14089,45	234,22	13855,23	10952,90	247,88	10705,02	13476,61	225,65	13250,96	12340,26	190,51	12149,76	9990,26	206,02	9784,24	11917,60	186,81	11730,79	11456,17	138,18	11317,99	9315,53	152,17	9163,36
Z87	34804,37	123,74	34680,63	39942,34	187,59	39754,75	35084,30	198,73	34885,57	39304,23	184,45	39119,78	37645,42	168,84	37476,59	33751,77	178,54	33573,22	37159,68	167,11	36992,56	36544,97	130,01	36414,96	32944,60	134,29	32810,31
Z88	14540,03	0,00	14540,03	22027,87	0,00	22027,87	15909,51	0,00	15909,51	20887,42	0,00	20887,42	18256,84	0,00	18256,84	13842,55	0,00	13842,55	17532,50	0,00	17532,50	16907,44	0,00	16907,44	13006,97	0,00	13006,97

	Q1-FECH			Q2-FECH			Q3-FECH			Q4-FECH			Q5-FECH			Q6-FECH			Q7-FECH			Q8-FECH			Q9-FECH		
	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor
Z81	5836,28	4245,61	1590,67	6983,39	4233,73	2749,66	6563,61	4874,09	1689,52	6589,33	3623,59	2965,74	6360,22	4297,86	2062,36	6234,57	4863,32	1371,25	6326,00	4429,17	1896,83	6360,22	4297,86	2062,36	6234,57	4863,32	1371,25
Z82	10895,72	7744,57	3151,14	11929,58	7700,42	4229,16	11610,93	8457,61	3153,32	11579,04	7181,82	4397,22	11373,77	7787,45	3586,33	11254,91	8449,47	2805,45	11362,73	7943,38	3419,34	11373,77	7787,45	3586,33	11254,91	8449,47	2805,45
Z83	3414,67	1761,37	1653,30	4822,75	1849,94	2972,81	3847,24	2068,85	1778,40	4702,65	1657,92	3044,72	3985,78	1828,89	2156,90	3421,06	2034,07	1386,99	3833,22	1864,15	1969,07	3985,78	1828,89	2156,90	3421,06	2034,07	1386,99
Z84	5166,63	780,13	4436,49	6658,22	880,28	5777,95	5124,56	964,13	4160,43	6737,02	624,46	6112,97	5794,07	806,76	4987,31	4643,82	889,60	3754,23	5573,79	812,83	4760,96	5794,07	806,76	4987,31	4643,82	889,60	3754,23
Z85	2310,23	333,12	1977,11	4261,54	201,20	4060,34	2392,97	441,23	1951,74	4059,98	382,73	3877,25	2818,80	257,09	2561,70	1814,24	501,60	1312,64	2645,59	319,62	2325,98	2818,80	257,09	2561,70	1814,24	501,60	1312,64
Z86	11045,65	135,95	10909,70	13947,43	235,31	13712,12	10889,65	248,65	10640,99	15411,52	143,16	15268,36	12229,41	191,57	12037,83	9940,29	206,73	9733,56	11821,81	187,83	11633,97	12229,41	191,57	12037,83	9940,29	206,73	9733,56
Z87	36050,14	126,34	35923,80	39722,60	188,53	39534,06	34975,00	199,32	34775,68	42223,85	150,63	42073,22	37459,74	169,72	37290,02	33660,19	179,06	33481,13	36996,92	167,94	36828,98	37459,74	169,72	37290,02	33660,19	179,06	33481,13
Z88	16255,61	0,00	16255,61	21716,05	0,00	21716,05	15747,61	0,00	15747,61	22628,91	0,00	22628,91	17982,39	0,00	17982,39	13710,70	0,00	13710,70	17303,76	0,00	17303,76	17982,39	0,00	17982,39	13710,70	0,00	13710,70

	R1-FECH			R2-FECH			R3-FECH			R4-FECH			R5-FECH			R6-FECH			R7-FECH			R8-FECH			R9-FECH		
	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor
Z81	6326,00	4429,17	1896,83	6975,49	4233,64	2741,85	6563,15	4874,04	1689,11	6849,07	4376,60	2472,47	6354,94	4297,80	2057,14	6234,27	4863,28	1370,99	6323,63	4429,20	1894,44	5862,48	4147,69	1714,80	5791,62	4660,92	1130,70
Z82	11362,73	7943,38	3419,34	11928,86	7700,35	4228,51	11610,79	8457,47	3153,32	11852,11	7872,62	3979,49	11373,30	7787,43	3585,87	11254,93	8449,33	2805,60	11362,41	7943,13	3419,28	10896,00	7627,86	3268,14	10831,45	8233,43	2598,03
Z83	3833,22	1864,15	1969,07	4819,78	1849,92	2969,86	3847,20	2068,82	1778,38	4534,96	1881,19	2653,77	3983,98	1828,90	2155,08	3421,04	2033,92	1387,12	3832,28	1864,14	1968,14	3522,46	1740,06	1782,41	3077,68	1920,31	1157,37
Z84	5573,79	812,83	4760,96	6651,27	880,24	5771,02	5124,31	964,05	4160,26	6339,32	880,07	5459,25	5788,78	806,73	4982,06	4643,89	889,66	3754,23	5571,45	812,78	4758,66	5339,46	725,79	4613,67	4288,36	804,03	3484,23
Z85	2645,59	319,62	2325,98	4217,04	201,17	4015,88	2389,74	441,21	1946,54	3826,83	255,17	3571,66	2791,14	257,08	2534,06	1812,27	501,61	1310,67	2631,82	319,52	2312,50	2375,07	282,61	2092,46	1600,32	507,73	1092,59
Z86	11821,81	187,83	11633,97	13921,27	235,31	13685,97	10887,90	248,66	10639,24	13345,33	226,73	13118,60	12209,01	191,57	12017,44	9938,64	206,73	9731,91	11811,89	187,83	11624,06	11335,66	139,11	11196,54	9266,37	152,76	9113,60
Z87	36996,92	167,94	36828,98	39685,15	188,53	39496,62	34972,46	199,31	34773,15	39095,79	185,30	38910,49	37430,49	169,70	37260,79	33658,19	179,05	33479,13	36982,77	167,94	36814,84	36345,61	130,77	36214,84	32855,34	134,89	32720,45
Z88	17303,76	0,00	17303,76	21635,77	0,00	21635,77	15738,98	0,00	15738,98	20577,21	0,00	20577,21	17910,87	0,00	17910,87	13702,60	0,00	13702,60	17268,28	0,00	17268,28	16581,84	0,00	16581,84	12877,16	0,00	12877,16

[illegible]

	F1-VENT			F2-VENT			F3-VENT			F4-VENT			F5-VENT			F6-VENT			F7-VENT			F8-VENT			F9-VENT		
	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor
281	18.068,56	18062,79	5.764,28	19.100,04	19097,95	2.086,645	18.495,65	18491,59	4.104,29	18.532,22	18529,14	3.086,201	19.313,46	19312,18	1.276,649	18.854,13	18851,32	2.088,51	18.655,27	18653,08	2.193,825	19.359,43	19358,56	0.869,326	18.947,19	18945,61	1.577,666
282	13.827,56	13217,49	610,0671	12.460,38	12314,31	446,3021	14.005,93	13966,34	539,5862	13.890,36	13800,61	480,7506	14.245,04	13854,53	390,550	14.035,07	13595,65	449,2111	13.801,39	13363,45	437,9388	14.124,94	13771,91	353,0301	13.934,99	13531,87	403,111
283	7.513,78	7398,568	115,2111	7.945,38	7871,96	73,41663	7.689,77	7593,18	66,63253	7.674,91	7589,91	85,00342	8.014,69	7953,077	61,61587	7.815,00	7739,53	75,46673	7.712,52	7637,265	75,25661	8.015,39	7960,998	54,39088	7.837,99	7771,272	66,6256
284	6.638,96	6582,234	56,72411	6.957,30	6921,249	36,05235	6.762,05	6661,475	31,88502	6.661,475	6616,979	37,87488	6.956,63	6928,062	30,57032	6.802,70	6765,616	37,08885	6.716,70	6680,699	35,99731	6.944,13	6917,647	26,48194	6.805,23	6773,222	32,06423
285	2.799,80	2795,648	4,156201	3.291,40	3291,134	0,267196	3.004,03	3001,992	2,034361	3.017,81	3067,158	0,6478	3.435,63	3435,628	0	3.205,61	3205,396	0,218027	3.143,37	3143,043	0,323676	3.488,30	3488,298	0	3.284,80	3284,733	0,064231
286	4.068,07	3586,17	481,904	4.180,56	3875,915	304,6484	4.109,72	3701,497	408,2183	4.017,89	3657,244	356,6486	4.134,45	3878,922	255,5289	4.060,72	3744,046	316,6783	3.936,46	3619,83	316,6317	4.047,19	3817,341	229,8488	3.981,25	3698,912	382,3363
287	5.849,83	1417,585	4432,241	5.041,34	1505,881	3535,46	5.521,60	1452,527	4069,072	5.260,86	1421,265	3839,59	4.756,86	1488,676	3268,187	5.065,30	1447,608	3617,693	5.007,19	1373,706	3633,482	4.553,59	1430,707	3122,681	4.827,98	1395,936	4432,948
288	746,45	0	746,4519	368,97	0	368,9678	582,76	0	582,7623	469,34	0	469,3351	278,16	0	278,1614	392,83	0	392,832	417,17	0	417,1675	252,27	0	252,2711	350,99	0	350,9874

	G1-VENT			G2-VENT			G3-VENT			G4-VENT			G5-VENT			G6-VENT			G7-VENT			G8-VENT			G9-VENT			
	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	
281	17.190,38	17183,27	8.995,194	18.614,62	18611,8	2.822,163	17.752,28	17752,28	17746,26	6.025,587	17.930,53	17926,93	3.599,047	18.968,78	18967,55	1.237,296	18.332,16	18329,6	2.566,098	18.141,34	18139,21	2.130,023	19.048,38	19047,61	0.77094	18.492,26	18490,79	1.474,903
282	13.507,42	12768,39	739,0336	14.075,63	13599,09	476,5448	13.720,19	13092,41	627,7688	13.588,93	13070,23	519,5916	14.059,17	13676,21	382,9611	13.773,47	13306,86	466,6178	13.461,80	13025,72	436,0817	13.890,12	13560,03	330,0945	13.628,96	13234,1	394,8066	
283	7.160,38	7004,64	155,7433	7.739,47	7656,003	83,47005	7.380,80	7257,491	123,3131	7.389,96	7305,474	94,48895	7.851,49	7789,263	82,1457	7.573,77	7491,638	82,1457	7.467,93	7390,32	77,6098	7.856,15	7805,088	51,06118	7.622,85	7556,033	66,8149	
284	6.408,37	6334,032	74,33773	6.847,91	6808,946	38,96674	6.568,73	6511,139	57,58957	6.521,20	6476,576	44,62139	6.860,53	6830,848	29,68064	6.643,30	6605,121	38,37959	6.543,30	6506,351	34,95139	6.839,91	6816,258	23,6543	6.652,59	6622,212	30,38089	
285	2.342,53	2331,083	11,44644	3.002,99	3002,273	0,763549	2.997,18	2950,478	5,531825	2.709,45	2708,308	1,137458	3.215,30	3215,298	0	2.904,89	2904,388	0,497421	2.867,22	2866,704	0,519858	3.306,04	3306,039	0	3.037,96	3037,866	0,09248	
286	3.954,64	3309,838	644,8002	4.040,53	3694,072	346,4554	3.970,69	3450,471	520,2194	3.823,40	3422,635	400,7667	3.967,26	3707,313	259,9471	3.875,12	3526,095	349,0226	3.704,44	3372,727	331,7174	3.835,65	3616,321	219,3316	3.750,68	3461,438	289,239	
287	6.494,38	1320,851	5173,33	5.212,01	1435,874	3776,132	5.984,59	1361,605	4622,981	5.419,58	1325,06	4094,518	4.720,25	1408,224	3312,028	5.162,68	1354,644	3808,033	4.993,32	1256,272	3737,047	4.400,09	1323,831	3076,259	4.773,75	1280,013	3493,735	
288	1.143,39	0	1143,39	459,94	0	459,9432	846,40	0	846,3985	568,44	0	568,4416	291,02	0	291,0185	462,30	0	462,3011	471,77	0	471,7701	248,13	0	248,1307	385,51	0	385,5061	

	H1-VENT			H2-VENT			H3-VENT			H4-VENT			H5-VENT			H6-VENT			H7-VENT			H8-VENT			H9-VENT			
	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	
281	17.192,24	17183,27	8.995,194	18.615,17	18612,35	2.822,588	17.755,48	17755,48	17746,26	6.018,652	17.932,21	17928,63	3.599,047	18.968,85	18967,61	1.235,291	18.333,56	18331,2	2.560,038	18.141,92	18139,8	2.124,989	19.046,40	19045,63	0.770255	18.492,24	18490,76	1.472,903
282	13.506,15	12769,38	736,7702	14.075,63	13599,09	476,5448	13.721,54	13092,41	627,7688	13.588,93	13070,81	518,1204	14.059,78	13677,05	382,7337	13.773,39	13307,49	465,902	13.461,92	13026,63	434,9584	13.889,90	13560,13	329,7696	13.628,63	13234,38	394,2484	
283	7.160,20	7004,91	155,7705	7.741,45	7659,027	83,42668	7.383,34	7260,186	123,1504	7.401,46	7307,103	94,36102	7.852,35	7790,15	82,04996	7.575,38	7493,328	82,04996	7.468,37	7390,917	77,44988	7.856,52	7805,033	51,09267	7.621,41	7554,698	66,71905	
284	6.409,37	6335,211	74,16112	6.849,24	6810,334	38,90914	6.567,77	6510,321	57,44723	6.522,19	6477,58	44,61321	6.859,93	6830,261	29,67422	6.643,13	6604,764	38,35238	6.543,49	6506,446	35,0441	6.839,56	6816,088	23,52584	6.652,26	6621,938	30,32307	
285	2.343,41	2332,464	10,94582	3.004,01	3003,258	0,752748	2.996,28	2590,868	5,040655	2.706,85	2707,748	1,103922	3.216,08	3216,085	0	2.904,30	2904,024	0,474658	2.866,44	2865,957	0,484848	3.305,93	3305,925	0	3.036,74	3036,651	0,087656	
286	3.949,05	3309,39	639,664	4.040,24	3694,207	346,0353	3.968,40	3450,501	517,9014	3.821,53	3423,387	398,139	3.966,99	3707,578	259,4141	3.874,59	3526,811	347,7752	3.702,01	3372,328	329,6826	3.834,85	3615,815	219,0394	3.749,73	3461,453	288,2757	
287	6.482,66	1321,098	5161,56	5.209,87	1435,788	3774,086	5.980,28	1361,623	4618,653	5.413,47	1325,654	4087,815	4.719,55	1408,606	3310,947	5.159,32	1354,76	3804,563	4.988,85	1256,912	3735,886	4.399,64	1323,751	3075,888	4.771,20	1279,913	3491,288	
288	1.126,57	0	1126,571	458,63	0	458,6291	838,92	0	838,9206	559,67	0	559,6678	290,48	0	290,4835	458,70	0	458,7011	464,64	0	464,6386	247,54	0	247,5397	382,15	0	382,1465	

	I1-VENT			I2-VENT			I3-VENT			I4-VENT			I5-VENT			I6-VENT			I7-VENT			I8-VENT			I9-VENT		
	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor	GERAL	total fri	total calor
281	17.244,65	17235,99	8.660,921	17.796,42	17790,62	5.806,292	17.796,42	17790,62	5.806,292	17.974,70	17971,21	3.490,739	18.369,63	18367,13	2.501,627	18.369,63	18367,13	2.501,627	18.178,31	18176,27	2.041,968	18.522,71	18521,3	1.41085	18.522,71	18521,3	1.41085
282	13.523,54	12800,98	722,5544	13.736,60	13118,49	618,1168	13.736,60	13118,49	618,1168	13.607,31	13096,87	510,4346	13.789,10	13328,41	460,6948	13.789,10	13328,41	460,6948	13.477,50	13048,64	428,8663	13.641,42	13251,85	389,5646	13.641,42	13251,85	389,5646
283	7.180,03	7025,549	151,4768	7.398,32	7277,564	120,751	7.398,32	7277,564	120,751	7.417,47	7324,709	92,76189	7.589,49	7508,629	80,85918	7.589,49	7508,629	80,85918	7.483,48	7407,412	76,06436	7.632,83	7567,128	65,65488	7.632,83	7567,128	65,65488
284	6.428,00	6355,982	72,01643	6.583,09	6526,908	56,18063	6.583,09	6526,908	56,18063	6.535,17	6491,224	43,95102	6.654,78	66166													

	P1-VENT			P2-VENT			P3-VENT			P4-VENT			P5-VENT			P6-VENT			P7-VENT			P8-VENT			P9-VENT		
	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor
Z81	17.283,16	17.729,37	3.790.076	15.482,04	15.457,04	25.008,13	17.240,05	17.731,24	8.807,773	16.167,86	16.150,7	17.164,59	16.160,24	16.145,56	14.682,94	17.604,58	17.599,11	5.765,652	16.729,90	16.719,2	10.694,83	16.337,80	16.327,11	10.686	17.667,68	17.664,41	3.277,257
Z82	12.836,55	12.831,73	504.8212	12.835,22	11.687,15	11.686,067	13.419,91	12.723,17	696,7361	13.062,56	12.094,29	966,2059	12.771,65	11.922,32	850,3228	13.335,17	10.778,567	114,1456	12.994,22	12.759,899	734,3246	12.535,96	11.814,14	721,8138	13.085,59	12.609,74	475,5569
Z83	6.992,21	6.990,61	101.5372	6.976,43	6.105,22	311,208	7.104,41	6.954,755	49,6335	6.707,52	6.689,722	237,7966	6.623,79	6.422,582	201,2117	7.193,71	707,567	114,1456	6.884,00	6.679,499	164,498	6.651,02	6.484,45	166,5668	7.179,23	7.083,542	95,68407
Z84	6.333,33	6.290,138	42.89479	6.042,32	5.875,3	167,0209	6.529,17	6.459,808	69,35712	6.211,35	6.091,211	120,1423	6.086,08	5.985,612	100,4687	6.529,03	6.477,153	18,76231	6.248,00	6.169,23	78,77443	6.083,02	6.005,02	78,00443	6.497,01	6.457,168	39,84259
Z85	2.541,79	2.540,257	1.531,92	1.727,29	1.653,011	74,27681	2.402,97	2.396,016	6,955938	1.963,73	1.929,147	34,57912	1.991,19	1.974,605	16,58824	2.620,63	2.618,753	1,876231	2.234,19	2.225,203	8,98741	2.130,80	2.119,747	11,04965	2.712,46	2.711,351	1,110564
Z86	3.476,94	3.043,79	433,1508	4.060,58	2.849,573	1211,012	3.910,70	3.295,585	615,11	3.971,99	3.008,312	963,682	3.743,45	2.919,394	824,0628	3.773,27	3.295,446	477,8218	3.746,92	3.058,225	688,6998	3.542,15	2.946,247	695,9052	3.584,32	3.181,742	402,5821
Z87	5.409,46	1129,59	4279,87	8.480,54	1171,297	7309,248	6.351,57	1312,124	4039,446	7.650,01	1221,481	6428,53	7.106,20	1163,557	5942,641	5.692,18	1277,701	4414,475	6.572,48	1205,138	5367,345	6.531,22	1081,087	5450,134	5.264,48	1179,189	4085,294
Z88	683,77	0	683,7656	2.516,13	0	2516,13	1.031,67	0	1031,666	1.891,74	0	1891,74	1.519,79	0	1519,793	720,23	0	720,2298	1.204,61	0	1204,606	1.317,63	0	1317,63	627,37	0	627,3693

	Q1-VENT			Q2-VENT			Q3-VENT			Q4-VENT			Q5-VENT			Q6-VENT			Q7-VENT			Q8-VENT			Q9-VENT		
	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor
Z81	16.866,33	16.858,97	7.358448	15.535,32	15.511,1	24,22077	17.271,87	17.263,22	8.640397	16.211,69	16.194,89	16,79901	16.207,83	16.193,5	14,3335	17.630,33	17.624,96	5,720261	16.766,66	16.756,23	10,43488	16.207,83	16.193,5	14,3335	17.630,33	17.624,96	5,720261
Z82	13.752,83	12130,02	622.8069	12.866,90	11.718,61	1148,288	13.430,30	12.740,11	590,1994	13.073,13	12.117,9	955,2303	12.788,77	11.951,17	837,6031	13.345,21	12.790,62	554,5946	13.007,06	12.281,5	725,5581	12.768,77	11.951,17	837,6031	13.345,21	12.790,62	554,5946
Z83	6.859,33	6.722,03	136,7045	6.491,53	6.188,111	303,4173	7.116,27	6.988,636	147,6326	6.720,99	6.687,821	235,1661	6.640,99	6.435,865	197,1266	7.202,22	7.089,219	112,9998	6.857,15	6.695,375	161,7799	6.640,99	6.435,865	197,1266	7.202,22	7.089,219	112,9998
Z84	6.237,19	6.176,512	60,67691	6.057,18	5.895,389	161,7929	6.539,19	6.470,824	68,36365	6.224,76	6.107,421	117,3358	6.101,40	6.003,268	98,12838	6.539,66	6.488,57	51,09322	6.260,82	6.183,611	77,20637	6.101,40	6.003,268	98,12838	6.539,66	6.488,57	51,09322
Z85	2.357,21	2.351,289	5,92924	1.739,12	1.671,429	67,694	2.419,14	2.412,571	6,573631	1.978,87	1.946,695	32,17559	2.009,07	1.993,72	15,34647	2.635,24	2.633,49	1,7450072	2.250,61	2.242,143	8,46804	2.009,07	1.993,72	15,34647	2.635,24	2.633,49	1,7450072
Z86	3.550,87	2.971,112	579,7545	4.045,43	2.862,448	1182,986	3.909,71	3.302,212	607,5017	3.965,76	3.019,507	946,2503	3.736,80	2.931,052	805,7533	3.774,18	3.302,181	472,0035	3.744,09	3.067,215	676,8784	3.736,80	2.931,052	805,7533	3.774,18	3.302,181	472,0035
Z87	6.045,25	1116,003	4929,244	8.395,19	1175,317	7219,871	6.321,84	1313,998	5007,839	7.590,34	1224,706	6365,634	7.045,38	1167,03	5878,354	5.668,64	1279,077	4389,568	6.529,15	1208,203	5320,95	7.045,38	1167,03	5878,354	5.668,64	1279,077	4389,568
Z88	1.043,97	0	1043,972	2.430,83	0	2430,834	1.010,74	0	1010,738	1.839,64	0	1839,638	1.460,81	0	1460,809	705,08	0	705,075	1.168,47	0	1168,469	1.460,81	0	1460,809	705,08	0	705,075

	R1-VENT			R2-VENT			R3-VENT			R4-VENT			R5-VENT			R6-VENT			R7-VENT			R8-VENT			R9-VENT		
	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor	GERAL	total frijo	total calor
Z81	16.766,66	16.756,23	10.43488	15.535,05	15.510,9	24,14584	17.272,41	17.263,77	8.638413	16.211,02	16.194,22	16,79452	16.208,34	16.194,04	14,30622	17.630,86	17.625,5	5,367414	16.767,44	16.757,02	10,42159	16.381,06	16.370,71	10,34794	17.693,74	17.690,54	3,195,146
Z82	13.007,06	12.815,7	725,5581	12.864,56	11.719,07	1145,488	13.429,98	12.740,37	689,6118	13.071,30	12.117,53	953,7673	12.786,29	11.950,98	835,3106	13.344,62	12.790,52	554,1012	13.006,03	12.281,6	724,4284	12.549,63	11.840,62	709,0149	13.095,22	12.623,2	472,0185
Z83	6.857,15	6.695,295	161,7799	6.490,32	6.188,027	302,292	7.115,83	6.988,278	147,5454	6.721,56	6.688,828	232,7322	6.640,49	6.443,922	196,569	7.202,55	7.089,631	112,9221	6.857,14	6.695,612	161,5319	6.666,08	6.503,181	162,902	7.188,35	7.093,871	94,47864
Z84	6.260,82	6.183,611	77,20637	6.055,94	5.894,489	161,4552	6.539,34	6.471,018	68,31759	6.224,50	6.107,292	117,2124	6.100,90	6.002,947	97,95714	6.539,73	6.488,637	51,09656	6.260,48	6.183,339	77,14518	6.098,53	6.022,647	75,88774	6.506,02	6.466,696	39,32789
Z85	2.250,61	2.242,143	8,464804	1.736,81	1.671,584	65,22805	2.418,69	2.412,168	6,52929	1.978,68	1.947,172	31,50566	2.008,59	1.993,61	14,98268	2.634,46	2.632,729	1,733761	2.250,47	2.242,135	8,337645	2.008,59	1.993,61	14,98268	2.634,46	2.632,729	1,733761
Z86	3.744,09	3.067,215	676,8784	4.038,47	2.862,574	1175,5	3.909,45	3.302,842	606,6059	3.962,51	3.019,38	943,1259	3.732,39	2.931,273	801,1191	3.773,23	3.302,074	471,1528	3.742,32	3.067,45	674,8716	3.732,39	2.931,273	801,1191	3.773,23	3.302,074	471,1528
Z87	6.529,15	1.208,203	5320,95	8.380,79	1175,182	7205,608	6.320,37	1314,114	5006,555	7.583,73	1224,85	6358,88	7.035,65	1167,071	5868,579	5.667,17	1278,868	4388,304	6.524,55	1208,119	5316,426	6.467,54	1083,884	5383,653	5.241,53	1180,818	4060,71
Z88	1.168,47	0	1168,469	2.404,76	0	2404,755	1.008,02	0	1008,019	1.827,41	0	1827,408	1.443,49	0	1443,49	703,09	0	703,0859	1.160,72	0	1160,716	1.443,49	0	1443,49	703,09	0	703,0859

Apêndice B

TromBR: Telas do aplicativo para dispositivos móveis:

Apêndice B1: Tela Inicial do aplicativo TromBR

(Explicação do sistema trombe e das tipologias consideradas neste trabalho)

Apêndice B2: Tela de informações sobre o aplicativo TromBR

Apêndice B3: Exemplo da tela de recomendações projetuais

The screenshot shows a web application interface for 'trombr', a system for recommending Trombe wall projects in Brazil. The header includes the logo and the title 'Sistema de Recomendações para Projetos de Paredes Trombe no Brasil'. A navigation bar has three tabs: 'Home', 'Recomendações de Projeto' (selected), and 'Sobre'. The main content area is titled 'Clima: Tropical de Altitude'. It features a 3D diagram of a Trombe wall system with labels A, B, C, and D. Below the diagram, the following specifications are listed:

- A: Vidro Duplo
- B: 0,15m
- C: 0,45m
- D: 3%

Below these specifications, the following information is provided:

- Área envidraçada: 100% área da fachada
- Recomendação para o Verão: Parede Trombe Ventilada
- Recomendação para o Inverno: Parede Trombe Fechada

The footer of the interface reads 'PPGAU - USP / SC - 2013'.