

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo



Dissertação

**Projeto de Edificação Residencial Unifamiliar
para a Zona Bioclimática 2 com Avaliação
Termo Energética por Simulação
Computacional**

Juliana Al-Alam Pouey

Pelotas, 2011

JULIANA AL-ALAM POUHEY

**PROJETO DE EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL UNIFAMILIAR PARA A ZONA
BIOCLIMÁTICA 2 COM AVALIAÇÃO POR SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências (área do conhecimento: qualidade e tecnologia do ambiente construído).

Orientador: Prof. Dr. Antonio César Silveira Baptista da Silva

Pelotas, 2011

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação:
Bibliotecária Daiane Schramm – CRB-10/1881

P872p Pouey, Juliana Al-Alam

Projeto de edificação residencial unifamiliar para a zona bioclimática 2 com avaliação termo energética por simulação computacional / Juliana Al-Alam Pouey ; Orientador: Antonio César Silveira Baptista da Silva. – Pelotas, 2011.
137f.

Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas.

1. Arquitetura bioclimática. 2. Eficiência energética. 3. Avaliação de conforto térmico. 4. Simulação computacional. I. Silva, Antônio César Silveira Baptista, orient. II. Título.

CDD 720

Banca examinadora:

Prof. Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos (UFSM)

Doutor pela Universidade Federal de São Carlos, Brasil

Prof. Eduardo Grala da Cunha (UFPeI)

Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profa. Celina Maria Britto Correa (UFPeI)

Doutora pela Universidade Politécnica de Madrid, Espanha

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus.

Aos meus pais por terem me dado o amor, a educação e os valores responsáveis por tudo que sei e sou hoje.

A minha irmã por ser a pessoa mais importante na minha vida, minha companhia constante em todos os momentos, pelas dificuldades e vitórias compartilhadas sempre.

Ao meu orientador, Professor Antonio César, por sua dedicação e estímulo incansáveis durante esta pesquisa, por acreditar no meu trabalho e pelo empenho em disseminar o conhecimento nesta área.

Aos professores, funcionários, bolsistas, colegas do LABCEE-UFPel pelo ambiente de trabalho que proporcionam e pela troca de ensinamentos diária, em especial ao David Martins pela colaboração nesse trabalho.

Aos meus familiares e amigos que estão sempre próximos de mim, pelo incentivo e carinho demonstrados.

RESUMO

POUEY, J. A. **Projeto de Edificação Residencial Unifamiliar para a Zona Bioclimática 2 com Avaliação Termo Energética por Simulação Computacional.** 2011. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UFPel, Pelotas.

O presente trabalho apresenta a proposta de um projeto arquitetônico de edificação residencial para a zona bioclimática 2, desenvolvida a partir das estratégias bioclimáticas de condicionamento passivo recomendadas para locais de grande variação climática, como Pelotas-RS, de modo a otimizar o desempenho térmico e energético. Após o desenvolvimento do caso base o projeto foi avaliado por simulação computacional, com base nos parâmetros e definições do RTQ-R (2010), utilizando-se os programas *DesignBuilder* e *EnergyPlus*. O desempenho térmico do projeto foi avaliado com base nos fluxos de energia e nos graus-hora de desconforto com relação à temperatura operativa para os ambientes de permanência prolongada. O desempenho energético da envoltória do projeto foi avaliado conforme os procedimentos do RTQ-R. Posteriormente foram propostas alterações no caso base com o objetivo de melhorar o desempenho térmico e energético do projeto, o qual foi novamente simulado e avaliado. Os resultados das simulações das alterações no caso base, principalmente em razão do isolamento da envoltória da edificação, resultaram em uma melhora muito significativa no período de inverno. Em se tratando das avaliações feitas segundo o RTQ-R, o equivalente numérico da envoltória da unidade habitacional autônoma para o caso base foi C e com as alterações propostas elevou-se para A, com ambos dados climáticos.

Palavras-chave: arquitetura bioclimática, eficiência energética, simulação computacional

ABSTRACT

POUEY, J. A Projeto de Edificação Residencial Unifamiliar para a Zona Bioclimática 2 com Avaliação Termo Energética por Simulação Computacional. 2011. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UFPel, Pelotas.

The present work is a proposal of an architectural project for a residential construction for bioclimatic zone 2, developed from recommended bioclimatic strategies of passive conditioning for places of great climatic variation, as Pelotas-RS, in order to optimize thermal and energetic performance. After development of base case the project was evaluated by computational simulation, on basis of parameters and definitions of RTQ-R (2010), using softwares DesignBuilder and EnergyPlus. Project thermal performance was evaluated based on energy flows and in degree-hours of discomfort relating to the operative temperature for environments of prolonged permanence. Energetic performance of envelope project was evaluated according procedures of the RTQ-R. Later there were proposed modifications in base case with the aim to improve thermal and energetic performance, which once again was simulated and evaluated. The results of simulations of modifications in base case, mainly due to isolation of the construction envelope, resulted in a very significant improvement in winter. In case of evaluations made according to RTQ-R, numerical equivalent of envelope of the independent housing unit for base case resulted in C and with the modifications proposals it raised to A, with both climatic data.

Keywords: bioclimatic architecture, energetic performance, computational simulation

Sumário

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Considerações Iniciais	15
1.2	Motivação e Justificativa	21
1.3	Objetivos	24
1.4	Estrutura da Dissertação	25
2	ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA	27
2.1	Ambiente Climático: O Clima	27
2.2	Conforto Térmico e Desempenho Térmico	32
2.3	Estratégias Bioclimáticas	37
2.3.1	Planilhas de Mahoney	38
2.3.2	Carta Bioclimática de Givoni	41
2.3.3	NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações de interesse social	44
2.3.4	Análise das Estratégias Bioclimáticas	46
3	MÉTODO	51
4	PROJETO ARQUITETÔNICO BIOCLIMÁTICO	54
4.1	O Sítio	54
4.2	O Programa	56
4.3	O Projeto Arquitetônico – Aplicação das Estratégias Bioclimáticas	57
5	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO PROJETO ARQUITETÔNICO	71
5.1	Programas de Simulação	71
5.2	Dados Climáticos	72
5.3	Parâmetros de entrada da Simulação	78
5.3.1	Simulação da edificação naturalmente ventilada	78
5.3.2	Simulação da edificação condicionada artificialmente	84
5.3.3	Caracterização dos materiais e componentes do caso base	85
5.4	Parâmetros de avaliação da simulação	88
5.5	Resultados da Simulação do Caso Base	89
5.5.1	Inverno – Santa Maria	89
5.5.2	Verão – Santa Maria	94
5.5.3	Inverno - Curitiba	98
5.5.4	Verão - Florianópolis	102
5.5.5	Avaliações do caso base segundo os graus-hora	106
5.5.6	Avaliações do caso base segundo o RTQ-R	106
5.6	Alterações do caso base	112
5.6.1	Paredes Externas	112
5.6.2	Cobertura	113
5.6.3	Aberturas	113
5.6.4	Piso	114
5.7	Resultados da Simulação das Alterações no Caso Base	114
5.7.1	Inverno - Santa Maria	114
5.7.2	Verão - Santa Maria	116
5.7.3	Inverno - Curitiba	119
5.7.4	Verão – Florianópolis	121
5.7.5	Avaliações das alterações do caso base segundo os graus-hora	123
5.7.6	Avaliações das alterações do caso base segundo RTQ-R	125
6	CONCLUSÕES	130
	REFERÊNCIAS	133

Lista de Figuras

Figura 1: Translação da terra.	27
Figura 2: Mapa Mundial da Classificação Climática de Köppen.....	28
Figura 3: Carta Solar para latitude 32S (Pelotas-RS).....	29
Figura 4: Diagrama de Radiações Solares em Planos Verticais e Horizontais em Kcal/m ² dia	30
Figura 5: Carta Bioclimática de Givoni para Pelotas a partir das médias mensais.	41
Figura 6: Carta Bioclimática de Givoni para Pelotas a partir dos dados horários.....	42
Figura 7: Zoneamento bioclimático brasileiro.	44
Figura 8: Zona bioclimática 2.....	45
Figura 9: Imagem aérea do Campus Porto – UFPel.....	54
Figura 10: Futuro prédio do refeitório (a); Canal São Gonçalo (b).....	55
Figura 11: Implantação do Campus Porto - UFPel.	55
Figura 12: Vista oeste do terreno (a); Vista sul do terreno (b).	56
Figura 13: Vegetação no sul do terreno, ao fundo o canal (a); Vegetação a nordeste (b).	56
Figura 14: Planta de Cobertura do projeto.	58
Figura 15: Planta Baixa do pavimento térreo do projeto.....	59
Figura 16: Planta Baixa do pavimento superior do projeto.....	59
Figura 17: Perspectiva noroeste do projeto.	60
Figura 18: Perspectiva sudoeste do projeto.....	60
Figura 19: Perspectiva nordeste do projeto.	61
Figura 20: Perspectiva sudeste do projeto.	61
Figura 21: Corte AA do projeto.....	62
Figura 22: Localização da lareira (aquecedor multifuncional) no projeto.....	64
Figura 23: Esquema de funcionamento do aquecedor multifuncional.	65
Figura 24: Corte BB do projeto.....	68
Figura 25: Carta Solar de Pelotas com máscara de sombra de eficiência total.....	68
Figura 26: Percentual de sombreamento mensal dado pelo <i>SunTool</i>	69
Figura 27: Médias Diárias de 2007 – Verão (jan-fev)	75
Figura 28: Médias Diárias de 2007 – Inverno (jun-jul).....	76
Figura 29: Médias Diárias – Inverno (abr-set).....	77
Figura 30: Médias Diárias – Verão (out-mar).....	77

Figura 31: Fluxo de Energia (kW) na Sala– Santa Maria/Inverno (abr-set)	90
Figura 32: Gráfico Temperatura Sala x Temperatura Externa – Santa Maria/Inverno (abr-set)	90
Figura 33: Fluxo de Energia (kW) no Mezanino– Santa Maria/Inverno (abr-set).....	91
Figura 34: Gráfico Temperatura Mezanino x Temperatura Externa – Santa Maria/Inverno (abr-set)	92
Figura 35: Fluxo de Energia (kW) no Dormitório de Casal – Santa Maria/Inverno (abr-set)	92
Figura 36: Fluxo de Energia (kW) no Dormitório de Solteiro – Santa Maria/Inverno (abr-set)	93
Figura 37: Gráfico Temperatura Dorm. Casal x Temperatura Externa – Santa Maria/Inverno (abr-set)	93
Figura 38: Gráfico Temperatura Dorm. Solteiro x Temperatura Externa – Santa Maria/Inverno (abr-set)	94
Figura 39: Fluxo de Energia (kW) na Sala – Santa Maria/Verão (out-mar)	95
Figura 40: Gráfico Temperatura Sala x Temperatura Externa – Santa Maria/Verão (out-mar).....	95
Figura 41: Fluxo de Energia (kW) no Mezanino – Santa Maria/Verão (out-mar).....	96
Figura 42: Gráfico Temperatura Mezanino x Temperatura Externa – Santa Maria/Verão (out-mar).....	96
Figura 43: Fluxo de Energia (kW) no Dormitório Casal – Santa Maria/Verão (out-mar)	97
Figura 44: Gráfico Temperatura Dorm. Casal x Temperatura Externa – Santa Maria/Verão (out-mar).....	97
Figura 45: Fluxo de Energia (kW) no Dormitório Solteiro – Santa Maria/Verão (out-mar).....	98
Figura 46: Gráfico Temperatura Dorm. Solteiro x Temperatura Externa – Santa Maria/Verão (out-mar).....	98
Figura 47: Fluxo de Energia (kW) na Sala – Curitiba/Inverno (abr-set).....	99
Figura 48: Gráfico Temperatura Sala x Temperatura Externa – Curitiba/Inverno (abr-set)	99
Figura 49: Fluxo de Energia (kW) no Mezanino – Curitiba/Inverno (abr-set)	100
Figura 50: Gráfico Temperatura Mezanino x Temperatura Externa – Curitiba/Inverno (abr-set)	100

Figura 51: Fluxo de Energia (kW) no Dormitório Casal – Curitiba/Inverno (abr-set)	101
Figura 52: Fluxo de Energia (kW) no Dormitório Solteiro – Curitiba/Inverno (abr-set)	101
Figura 53: Gráfico Temperatura Dorm. Casal x Temperatura Externa – Curitiba/Inverno (abr-set)	101
Figura 54: Gráfico Temperatura Dorm. Solteiro x Temperatura Externa – Curitiba/Inverno (abr-set)	102
Figura 55: Fluxo de Energia (kW) na Sala – Florianópolis/Verão (out-mar)	102
Figura 56: Gráfico Temperatura sala x Temperatura Externa – Florianópolis/Verão (out-mar)	103
Figura 57: Fluxo de Energia (kW) no Mezanino – Florianópolis/Verão (out-mar)	103
Figura 58: Gráfico Temperatura Mezanino x Temperatura Externa – Florianópolis/Verão (out-mar)	104
Figura 59: Fluxo de Energia (kW) no Dormitório Casal – Florianópolis/Verão (out- mar)	104
Figura 60: Gráfico Temperatura Dorm. Casal x Temperatura Externa – Florianópolis/Verão (out-mar)	105
Figura 61: Fluxo de Energia (kW) no Dormitório Solteiro – Florianópolis/Verão (out- mar)	105
Figura 62: Gráfico Temperatura Dorm. Solteiro x Temperatura Externa – Florianópolis/Verão (out-mar)	106
Figura 63: Fluxo de Energia (kW) na Sala – Santa Maria/Inverno (abr-set)	114
Figura 64: Fluxo de Energia (kW) no Mezanino – Santa Maria/Inverno (abr-set)	115
Figura 65: Fluxo de Energia (kW) no Dormitório de Casal – Santa Maria/Inverno (abr- set)	116
Figura 66: Fluxo de Energia (kW) no Dormitório de Solteiro – Santa Maria/Inverno (abr-set)	116
Figura 67: Fluxo de Energia (kW) na Sala – Santa Maria/Verão (out-mar)	117
Figura 68: Fluxo de Energia (kW) no Mezanino – Santa Maria/Verão (out-mar)	118
Figura 69: Fluxo de Energia (kW) no Dormitório Casal – Santa Maria/Verão (out-mar)	118
Figura 70: Fluxo de Energia (kW) no Dormitório Solteiro – Santa Maria/Verão (out- mar)	119
Figura 71: Fluxo de Energia (kW) na Sala – Curitiba/Inverno (abr-set)	119

Figura 72: Fluxo de Energia (kW) no Mezanino – Curitiba/Inverno (abr-set)	120
Figura 73: Fluxo de Energia (kW) no Dormitório Casal – Curitiba/Inverno (abr-set)	120
Figura 74: Fluxo de Energia (kW) no Dormitório Solteiro – Curitiba/Inverno (abr-set)	121
Figura 75: Fluxo de Energia (kW) na Sala – Florianópolis/Verão (out-mar)	121
Figura 76: Fluxo de Energia (kW) no Mezanino – Florianópolis/Verão (out-mar).....	122
Figura 77: Fluxo de Energia (kW) no Dormitório Casal – Florianópolis/Verão (out-mar).....	122
Figura 78: Fluxo de Energia (kW) no Dormitório Solteiro – Florianópolis/Verão (out-mar).....	123

Lista de Tabelas

Tabela 1: Dados de Radiação Solar Incidente (I_g) sobre Planos Verticais e Horizontais (W/m^2). Latitude: 30° Sul.	31
Tabela 2: Normais Climatológicas de Pelotas, período 1971-2000	32
Tabela 3: Categorias de Conforto Térmico ISO 7730 (2005).....	34
Tabela 4: Normais Climatológicas de Pelotas- RS aplicadas as Planilhas de Mahoney.....	38
Tabela 5: Diagnóstico do clima nas Planilhas de Mahoney.	39
Tabela 6: Indicadores climáticos nas Planilhas de Mahoney.....	39
Tabela 7: Parâmetros do Método nas Planilhas de Mahoney.....	40
Tabela 8: Estratégias recomendadas pela Carta Bioclimática de Givoni para Pelotas a partir das médias mensais.	42
Tabela 9: Estratégias recomendadas pela Carta Bioclimática de Givoni para Pelotas a partir dos dados horários.	43
Tabela 10: Transmitância térmica, atraso térmico e fator solar admissíveis para vedações externas.	45
Tabela 11: Resumo das Estratégias Bioclimáticas para Pelotas-RS.....	47
Tabela 12: Estratégias Bioclimáticas de Aquecimento (para períodos frios).	48
Tabela 13: Estratégias Bioclimáticas de Resfriamento (para períodos quentes).	48
Tabela 14: Áreas efetivas de ventilação em relação área do piso e da parede.....	66
Tabela 15: Padrão de ocupação para dias de semana e final de semana.....	81
Tabela 16: Taxas metabólicas para cada atividade.....	82
Tabela 17: Padrão de uso da iluminação.	83
Tabela 18: Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para paredes.....	85
Tabela 19: Absortância solar das amostras de cor branca de diferentes tintas.	86
Tabela 20: Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para coberturas.	87
Tabela 21: Graus-hora de aquecimento para as temperaturas base de $18^\circ C$ e $20^\circ C$ no caso base.	106
Tabela 22: Totais de GH_R no ano por ambiente.	107
Tabela 23: Equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento – Zona Bioclimática 2	108

Tabela 24: Determinação do $\text{EqNumEnv}_{\text{Resf}}$	108
Tabela 25: Totais de C_A no ano por ambiente.	109
Tabela 26: Equivalente numérico da envoltória do ambiente para aquecimento – Zona Bioclimática 2	109
Tabela 27: Determinação do EqNumEnv_A	110
Tabela 28: Classificação do nível de eficiência de acordo com a pontuação obtida	111
Tabela 29: Graus-hora de aquecimento para as temperaturas base de 18°C e 20°C nas alterações do caso base.	123
Tabela 30: Graus-hora de aquecimento para as temperaturas base de 18°C e 20°C, Santa Maria.	124
Tabela 31: Graus-hora de aquecimento para as temperaturas base de 18°C e 20°C, Curitiba.	124
Tabela 32: Graus-hora de resfriamento para a temperatura base de 26°C, no inverno.	124
Tabela 33: Graus-hora de resfriamento para a temperatura base de 26°C, no verão.	125
Tabela 34: Totais de GH_R no ano por ambiente.	125
Tabela 35: Determinação do $\text{EqNumEnv}_{\text{Resf}}$	126
Tabela 36: Equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento – Zona Bioclimática 2	126
Tabela 37: Totais de C_A no ano por ambiente.	126
Tabela 38: Determinação do EqNumEnv_A	127
Tabela 39: Equivalente numérico da envoltória do ambiente para aquecimento – Zona Bioclimática 2	128
Tabela 40: Classificação do nível de eficiência de acordo com a pontuação obtida	128

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

As funções essenciais da arquitetura são reconhecidas desde os primórdios da humanidade: abrigo e proteção. Abrigo contra as intempéries, a chuva, o vento, o frio, o calor e a neve. Proteção em relação a ataques de tribos ou povos inimigos, animais e insetos.

Ou seja, é condição inerente à boa arquitetura o provimento de conforto ambiental ao usuário, tornando seu abrigo cada vez mais adequado às suas necessidades, independente do tipo de construção ou do local onde se situe.

Disto provêm as necessidades primordiais a serem atendidas pelo ambiente construído, pela arquitetura, que essencialmente deve ser resultante do ambiente climático local, da tecnologia disponível e da cultura do povo.

Ao longo da história, impulsionada pelos novos materiais advindos da Revolução Industrial, o aço e o concreto armado, e, principalmente, em virtude das transformações sociais, econômicas e técnicas decorrentes da Segunda Guerra Mundial, a arquitetura distanciou-se da relação com o ambiente climático local sofrendo um processo de internacionalização. O desenvolvimento de sistemas de condicionamento de ar, compatíveis com uso em edificações, fez com que o ambiente climático deixasse de ser um condicionante de projeto (LAMBERTS *et al.*, 2001).

Durante décadas viu-se o uso indiscriminado das novas tecnologias e materiais que se tornavam disponíveis, os quais eram projetados e utilizados em qualquer lugar do mundo, sem sofrer adaptações às características do ambiente climático e da cultura do local a ser inserido, ignorando-se ainda, muitas vezes, o estudo das variáveis arquitetônicas provedoras das condições de conforto ambiental

na arquitetura, como a orientação solar e a forma do edifício, o dimensionamento das aberturas, os fechamentos, entre outras.

Como consequência desta produção arquitetônica, na busca de minimizar o desconforto térmico e visual dos ambientes construídos, sistemas de iluminação e de climatização artificial passaram a ser largamente utilizados, dando ao projetista uma posição bastante cômoda perante os problemas de adequação do edifício ao clima (LAMBERTS *et al.*, 2001), porém, gerando gastos energéticos excessivos.

Esta realidade agravou-se com as crises do petróleo ocorridas na década de 70. Como as fontes de energia disponíveis apresentavam custos mais altos e exigiam longos períodos de implantação, o uso racional de energia passou a ser encarado como a opção mais vantajosa na Europa (WESTPHAL, 2002).

A partir deste momento, o consumo de energia passa a ser um importante condicionante de projeto e, conseqüentemente, a interação do edifício com o clima voltou a ser valorizada.

Logo após esta crise, alguns países criaram programas governamentais e legislações específicas para promover a eficiência energética. Em 1974 surgiram na Europa, na França e Alemanha, mais especificamente, o desenvolvimento dos primeiros regulamentos que buscavam a eficiência energética em edificações. Nesta mesma época nos Estados Unidos, alguns estados americanos também criaram seus regulamentos.

No Brasil, as iniciativas neste sentido demoraram a iniciar, mas nos últimos anos a quantidade de ações e regulamentações na área demonstram que o país busca recuperar o tempo perdido.

Em 1985, foi criado pelos Ministérios de Minas e Energia e da Indústria e Comércio o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), com o objetivo de promover a racionalização da produção e do consumo de energia elétrica no país.

Em 1991 realizou-se o I Encontro Nacional de Normalização ligada ao Uso Racional de Energia e ao Conforto Ambiental em Edificações, na cidade de Florianópolis-SC, com o intuito de se definirem diretrizes básicas para o desenvolvimento da normalização brasileira. A partir de 1996, iniciou-se um período de discussões com a participação de profissionais e pesquisadores de cada área.

Em 1998, a apreciação dos textos foi feita pelos associados da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), os quais foram votados e aprovados. (GHISI *et al.*, 2003).

Em 1999, RORIZ *et al.* publicaram uma proposta de Norma Técnica Brasileira que definia requisitos mínimos aceitáveis de desempenho térmico para habitações de interesse social. Tal proposta serviu de base para a NBR 15220 - Desempenho térmico para edificações de interesse social (ABNT, 2005).

Com a crise nacional que afetou o fornecimento e distribuição de energia elétrica no Brasil em 2001, foi publicado em 18 de abril daquele ano o Decreto nº 3789, o qual dispôs sobre medidas emergenciais de racionalização visando à redução de consumo e aumento da oferta de energia elétrica. No mesmo ano, o governo brasileiro também aprovou a Lei Federal nº 10295, que definiu a política nacional para a conservação e o uso racional da energia, estabelecendo níveis máximos de consumo de energia ou a eficiência energética mínima para equipamentos construídos ou vendidos no país e para edificações residenciais, comerciais e industriais (MACIEL, 2006a).

Em 2003 foi instituído pela Central Elétricas Brasileiras S.A. (ELETROBRAS) e PROCEL o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações (PROCEL EDIFICA), onde as ações foram ampliadas e organizadas com o objetivo de incentivar a conservação e o uso eficiente dos recursos naturais nas edificações, reduzindo os desperdícios e os impactos sobre o meio ambiente.

Em 2005 foi publicada a Norma Técnica Brasileira NBR 15220 - Desempenho térmico para edificações de interesse social (ABNT, 2005), que define requisitos mínimos aceitáveis de desempenho térmico para habitações de interesse social, na qual o território brasileiro é dividido em oito zonas bioclimáticas e, para cada zona, são indicadas estratégias de condicionamento térmico passivo que contribuem para elevar os níveis de conforto térmico.

Em julho de 2007 foi estabelecido o Green Building Council Brasil (GBC Brasil), entidade representante do World Green Building Council (WGBC) para a certificação LEED – Leadership in Energy and Environmental Design no Brasil. O LEED é um sistema de classificação de edificações a partir de critérios de sustentabilidade ambiental em diferentes categorias. Envolve pré-requisitos

obrigatórios e um sistema de pontuação cumulativa que permite às edificações obter diferentes classificações. No Brasil, foram estabelecidos cinco comitês temáticos, os quais analisam os créditos e apresentam sugestões para a aplicação de acordo com a realidade brasileira: Espaço Sustentável; Energia e Atmosfera; Qualidade Ambiental Interna; Uso Eficiente da Água; Materiais e Recursos.

Em 2008, foi publicada a NBR 15575 - Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos (ABNT, 2008), a qual define requisitos e critérios de desempenho como segurança, habitabilidade, higiene e saúde, durabilidade e adequação ambiental. São estabelecidos níveis mínimo, intermediário e superior de desempenho para os diferentes elementos da edificação: estrutura, pisos internos, fachadas e paredes internas, coberturas e sistemas hidrossanitários.

Em se tratando do desempenho térmico a norma diz que a edificação deve atender as exigências de conforto térmico considerando-se as características bioclimáticas definidas no zoneamento bioclimático brasileiro da NBR 15220 (2005), e estabelece três procedimentos: simplificado, por meio de simulação computacional e por meio da realização de medições em edificações ou protótipos construídos, para avaliação da adequação da habitação a sua zona bioclimática.

Em abril de 2008 foi apresentado o Processo AQUA – Alta Qualidade Ambiental, inspirado no selo francês *Démarche* HQE adaptado à realidade brasileira. A certificação é concedida pela Fundação Vanzolini, instituição privada, ligada ao Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP). O processo AQUA contém os requisitos para o Sistema de Gestão do Empreendimento (SGE) e os critérios de desempenho nas categorias da Qualidade Ambiental do Edifício (QAE) que abordam a eco-construção, eco-gestão e a criação de condições de conforto e saúde para o usuário.

Alguns dos maiores avanços na área da eficiência energética foram as publicações dos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – RTQ-C, portaria nº 372, de 17 de setembro de 2010 e Requisitos de Avaliação da Conformidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – RAC-C, portaria nº 395, de 11 de outubro de 2010, cujas primeiras versões são de 2009.

O RTQ-C contém os requisitos técnicos a serem avaliados para obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). A ENCE pode ser concedida para duas fases: para o Projeto que pode ser avaliado pelo método prescritivo ou por simulação computacional e para o Edifício Construído avaliado através de inspeção *in loco*. A etiquetagem de edificações comerciais, em vigor desde 2009, atualmente é voluntária e aplicável a edifícios com área mínima de 500m² ou tensão de abastecimento superior ou igual a 2,3 kV.

O Regulamento apresenta os critérios para classificação do nível de eficiência energética do edifício através da avaliação de três sistemas: envoltória, iluminação e condicionamento de ar, podendo ser concedida uma etiqueta parcial ou geral para o edifício. O RAC-C apresenta o processo de avaliação das características do edifício para etiquetagem junto ao Organismo de Inspeção acreditado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro).

Ainda em 2010 foi publicado o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais – RTQ-R, portaria nº 449, de 25 de novembro de 2010. No início de 2011 foi publicado os Requisitos de Avaliação da Conformidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais – RAC-R, portaria nº 122, de 15 de março de 2011.

O RTQ-R tem como objetivo criar condições para a etiquetagem do nível de eficiência energética de edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares, especificando os requisitos técnicos e os métodos para classificação de edificações residenciais quanto à eficiência energética, para obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE).

Assim como no RTQ-C a ENCE pode ser concedida para o Projeto, avaliado pelo método prescritivo ou por simulação computacional e para o Edifício Construído avaliado por inspeção *in loco*. No RTQ-R são avaliados a envoltória e o sistema de aquecimento de água das unidades habitacionais, bem como os sistemas presentes nas áreas comuns dos edifícios multifamiliares.

Estas normas e regulamentações brasileiras buscam a disseminação e a conscientização da importância dos ideais de eficiência energética e desempenho ambiental das edificações e possuem hoje a maior atenção que já tiveram em nosso

país, com forte tendência a crescer cada vez mais, por se tratar de uma realidade mundial, na qual o Brasil está se inserindo tardiamente, porém buscando suas propostas e soluções.

Atualmente, a ELETROBRÁS e o PROCEL EDIFICA estão trabalhando na disseminação do conhecimento antes restrito às instituições de ensino e pesquisa, investindo na capacitação de laboratórios e profissionais desta área em todo o país.

Hoje, a necessidade crescente de reduzir o consumo de energia nas edificações retoma o desafio primário da arquitetura, na qual é fundamental considerar a questão ambiental na hora de projetar, onde as decisões tomadas durante o processo de projeto têm influência direta no edifício projetado e na relação com seu entorno (Yeang, 1995).

A arquitetura bioclimática é uma retomada da arquitetura a seus princípios básicos, ou seja, adaptar a edificação ao seu ambiente climático de modo a otimizar o desempenho energético das edificações e manter as condições de conforto aos usuários.

Portanto, o projeto arquitetônico deve ser orientado por princípios bioclimáticos, considerando-se os aspectos ambientais e climáticos do local em que está inserido e a máxima e melhor utilização dos recursos disponibilizados pela natureza. Deve, ainda, levar em consideração as interações entre o edifício e o meio ambiente, não só durante a construção, mas também durante seu funcionamento e uso, considerando a gestão de recursos energéticos e materiais.

Assim, as preocupações devem prosseguir na especificação de equipamentos eficientes e utilização de tecnologias alternativas de menor impacto ambiental. Finalmente, na posterior etapa de utilização da edificação, cabe ao usuário o uso racional e correto dos recursos disponibilizados pelo projeto.

O estudo do clima local, conhecendo o ambiente climático e os condicionantes bioclimáticos da região a partir dos dados climáticos disponíveis, é o primeiro passo no desenvolvimento deste projeto, através do qual se identificam quais estratégias devem ser adotadas em função do benefício que elas propiciam ao longo do ano.

Este processo torna-se mais complexo quando o local apresenta grandes variações climáticas no ano, fazendo com que estratégias distintas e talvez

antagônicas tenham que ser adotadas na mesma edificação e, algumas vezes, na mesma estação climática. Este é o caso do extremo sul do Brasil, incluindo a região de Pelotas-RS, onde em alguns momentos, num curto espaço de tempo, diversas estratégias bioclimáticas são exigidas.

1.2 Motivação e Justificativa

Com base nesta realidade, e sendo norteadas por estes conceitos, esta dissertação visa a concepção do projeto arquitetônico de um protótipo de edificação bioclimática residencial para a zona bioclimática 2, mais especificamente, a região de Pelotas-RS.

Tem como relevância a possibilidade da pesquisa sobre as adequações de uma edificação projetada especificamente para as características da zona bioclimática que engloba a região de Pelotas, de acordo com a Norma Brasileira NBR 15220, a zona bioclimática 2.

A importância do projeto arquitetônico e da escolha das estratégias utilizadas para garantia das condições de conforto térmico e eficiência energética em climas como o de Pelotas-RS torna-se mais evidente à medida que se tem conhecimento das grandes variações climáticas ao longo do ano.

Em um trabalho em que se coletou dados horários por mais de dois anos, SILVA e GONÇALVES (2008) observaram um verão caracterizado por temperaturas elevadas com médias acima dos 20°C e máximas atingindo valores acima dos 39°C. Apesar disso, alguns dias apresentaram temperaturas abaixo dos 15°C, fazendo com que o período registrasse amplitudes térmicas superiores a 18°C, num período inferior a 24hs. No inverno, as temperaturas mínimas atingiram o valor de 0°C, a menor média em um dia deste período foi inferior a 6°C e a maior amplitude térmica diária foi superior a 15°C.

Ainda, em virtude destas grandes variações climáticas deriva a importância do estudo da automação dos dispositivos passivos no projeto, levando-se em conta como a edificação se comporta, não de forma estática, mas sofrendo com o comportamento extremamente dinâmico das condições atmosféricas, o que poderia exigir do usuário uma dedicação especial para gerenciar tais dispositivos passivos de condicionamento térmico.

Desde o princípio do desenvolvimento dos estudos preliminares existe a constante preocupação da integração do partido arquitetônico com as técnicas e elementos construtivos, a especificação dos materiais, os sistemas complementares e a interação com o usuário, enfim todas as soluções que garantirão o desenvolvimento adequado e desejado do projeto do protótipo.

Existe, ainda, a preocupação de que este protótipo não seja apenas uma vitrine estática, uma demonstração de tecnologias possíveis e inovadoras, mas, sim, que estas tecnologias sejam trabalhadas e dimensionadas para que funcionem de forma correta, tornando-se um constante objeto de pesquisa.

É importante salientar que nesta zona bioclimática 2 não se tem conhecimento da existência de protótipo semelhante com este objetivo.

A Casa Eficiente, protótipo existente em Florianópolis-SC (zona bioclimática 3), desenvolvido pela ELETROSUL em parceria com o Laboratório de Eficiência Energética em edificações (LABEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), é um projeto de demonstração de eficiência energética em habitação unifamiliar, com o objetivo de incentivar o desenvolvimento de soluções inovadoras e eficientes na construção civil visando o uso racional de energia elétrica, da água e menor impacto ambiental causado pelas edificações (MACIEL *et al.*, 2006). Construída entre os anos de 2005 e 2006, após sua conclusão foi realizado monitoramento diário das variáveis ambientais internas e externas e do consumo de energia. Atualmente a Casa Eficiente encontra-se aberta à visitação do público em geral.

O protótipo Alvorada, protótipo habitacional unifamiliar de interesse social construído a partir de 2000 em Porto Alegre-RS (zona bioclimática 3) no Campus do Vale da UFRGS, foi submetido a uma série de avaliações desde sua idealização, em 1999. MORELLO (2005) em sua dissertação de mestrado monitorou a temperatura do ar interno do protótipo durante os anos de 2003 e 2004.

MARTINS *et al.* (2009b), apresenta uma proposta arquitetônica de edificação residencial unifamiliar a ser construída na zona rural do município de Maravilha, região semi-árida do estado de Alagoas, onde os princípios da arquitetura bioclimática foram condicionantes prioritários, sendo consideradas as variáveis climáticas do lugar a partir das quais foram traçadas diretrizes de condicionamento

passivo para o projeto. Foram utilizados os softwares Ecotect para estudo da insolação e o EnergyPlus para avaliar o desempenho térmico da edificação.

Dentro do mesmo ideal de busca de eficiência energética nas edificações, mas com um caráter de casa ecoeficiente, a STEPHOUSE trata-se da proposta de um projeto de residência unifamiliar, no qual são utilizados para sua construção apenas produtos reciclados e recicláveis. Este projeto surgiu com a participação da equipe STEPHOUSE no Concurso de Idéias Arquitetônicas do Consórcio Brasil, para representar o Brasil na competição internacional *Solar Decathlon Europe* 2010 (VAZQUEZ *et al.*, 2009).

O *Solar Decathlon* trata-se de uma competição entre universidades do mundo inteiro que tem como objetivo aumentar o conhecimento sobre casas sustentáveis, com ênfase nas vantagens e possibilidades do uso de energias renováveis e das construções energeticamente eficientes. Em junho de 2010, aconteceu o *Solar Decathlon Europe* em Madri, na Espanha. O Brasil teve o projeto denominado Casa Solar Flex selecionado, projeto de casa auto-suficiente em energia, desenvolvido pelo Consórcio Brasil, equipe composta por estudantes de seis universidades brasileiras, UFMG, UFRGS, UFRJ, UFSC, USP e UNICAMP.

No *Solar Decathlon Europe* 2012, que ocorrerá também em Madri, o Brasil estará representado pelo Team Brasil, com a coordenação da Universidade Federal de Santa Catarina e da Universidade de São Paulo e participação da UFRJ, UNICAMP, UFRGS e IF-SC. A Ekó House, projeto brasileiro, é baseada nas varandas brasileiras, que regulam luz, calor, ventilação, privacidade e integração com o entorno e mistura materiais e soluções locais e tradicionais com tecnologias eficientes.

As pesquisas nesta área têm como objetivo auxiliar no desenvolvimento de instrumentos e oferecer diretrizes projetuais para contribuir no cenário da produção arquitetônica atual nacional. Muito se avançou neste âmbito, com a criação das primeiras normas nacionais de conforto térmico. No entanto, é possível constatar que alguns aspectos ainda são bastante amplos ou carecem de definições.

Esta dissertação enfatiza a importância do desenvolvimento de projetos arquitetônicos mais eficientes neste cenário, dando subsídios a profissionais da área de Arquitetura e Urbanismo e Engenharia Civil, a partir do experimento físico do

protótipo e da simulação de diretrizes e soluções de projeto que devem ser aplicadas na prática, especificamente em locais de grande variação climática, como o extremo sul do Brasil, possibilitando estudos futuros que desenvolvam o gerenciamento das estratégias bioclimáticas tornando-as capazes de se adequar às variações do ambiente de modo a alcançar o máximo desempenho da edificação.

1.3 Objetivos

O objetivo principal desta dissertação é elaborar um projeto arquitetônico de edificação residencial unifamiliar para a zona bioclimática 2, aplicando os princípios bioclimáticos de condicionamento passivo recomendados e buscando otimizar o desempenho termo energético da edificação.

Os objetivos específicos da dissertação são:

- Conhecer os condicionantes climáticos da região de Pelotas-RS, a partir da análise dos dados climáticos disponíveis;
- Identificar as diversas estratégias bioclimáticas de projeto adequadas ao conforto e à eficiência energética para esta região;
- Estabelecer as soluções e técnicas construtivas do projeto arquitetônico, aplicando as estratégias passivas de condicionamento;
- Elaborar o projeto arquitetônico (caso base);
- Avaliar o projeto arquitetônico por simulação computacional;
- Avaliar o projeto arquitetônico (caso base) segundo o RTQ-R;
- Propor alterações no projeto arquitetônico (caso base);
- Avaliar as alterações propostas no projeto por simulação computacional;
- Avaliar as alterações propostas no projeto arquitetônico segundo o RTQ-R.

1.4 Estrutura da Dissertação

No intento de atingir os objetivos propostos esta dissertação está estruturada em cinco capítulos, que são descritos a seguir:

Neste primeiro capítulo procurou-se introduzir os temas relacionados ao presente trabalho, apresentando as considerações iniciais, a motivação e justificativa para realização da pesquisa, os seus objetivos, metodologia e a estrutura do trabalho.

No capítulo 2, busca-se conhecer as principais características do clima e seus fatores condicionantes no local de estudo, no caso a região de Pelotas-RS, a partir dos dados climáticos disponíveis. É realizada uma breve revisão bibliográfica sobre conforto e desempenho térmico, apresentando os índices de conforto térmico reconhecidos. Em seguida são identificadas as diversas estratégias bioclimáticas de projeto adequadas ao conforto e à eficiência energética de edificações para a região de Pelotas-RS, a partir de três referências reconhecidas: a Carta Bioclimática de Givoni, as Planilhas de Mahoney e a NBR 15220 com o objetivo de contextualizar estas estratégias ao dinamismo do clima do extremo sul do Brasil, de modo a buscar diretrizes para otimizar o desempenho térmico e energético da edificação através de estratégias bioclimáticas de condicionamento.

O projeto arquitetônico em nível de anteprojeto do protótipo de Edificação Bioclimática para a região de Pelotas-RS é apresentado no capítulo 3. Neste capítulo descreve-se o sítio onde foi projetado o protótipo e o programa de necessidades, o qual atende às solicitações de uma residência unifamiliar para uma família de quatro pessoas, com área construída de aproximadamente 200m². O projeto arquitetônico é descrito com a aplicação das estratégias bioclimáticas empregadas e as soluções projetuais e técnicas construtivas para alcançar estas estratégias, apresentadas no capítulo anterior.

No capítulo 4 é realizada a avaliação do projeto arquitetônico a partir de simulação computacional utilizando-se o *software EnergyPlus* e seu interface gráfico *DesignBuilder*. Os primeiros resultados foram referentes ao caso base e, posteriormente, simulou-se alterações no projeto com o intuito de melhorar o conforto térmico e a eficiência energética. O projeto foi também avaliado segundo o RTQ-R (2010).

Encerrando o presente trabalho, as conclusões são apresentadas no capítulo 5.

2 ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA

2.1 Ambiente Climático: O Clima

O clima é dividido em componentes denominados elementos climáticos, os quais são as variáveis efetivamente medidas como a temperatura do ar, a umidade atmosférica do ar, a radiação solar, a precipitação e os ventos.

A palavra clima, de origem grega – Klíma (inclinação), faz alusão ao conhecimento astronômico da inclinação do eixo imaginário da Terra, responsável pelas estações do ano e por uma série de fatores climáticos (SILVA, 1994).

A terra percorre uma trajetória elíptica em um plano inclinado de $23^{\circ}27'$ em relação ao plano do equador no movimento de translação. Este ângulo define que os hemisférios norte e sul recebam quantidades diferentes de radiação solar ao longo do ano, o que caracteriza as estações pelos solstícios de verão e de inverno e pelos equinócios de primavera e de outono, conforme a Figura 1 abaixo.

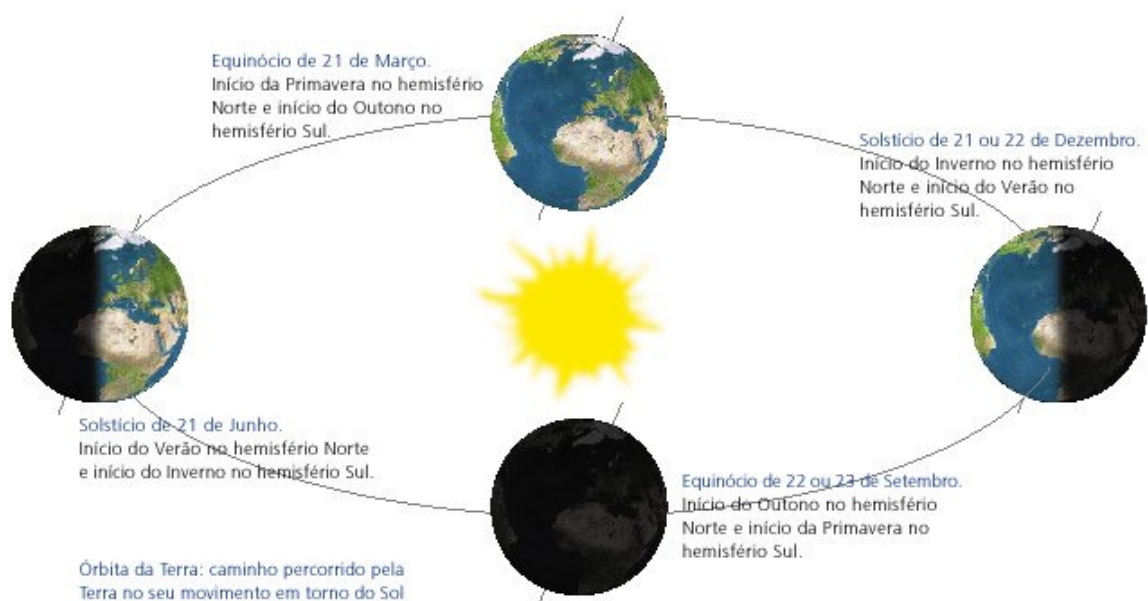


Figura 1: Translação da terra.

Fonte: Ciência Viva, 2010.

No mapa da Figura 2 pode-se observar que a região sul do Brasil, onde inclui-se Pelotas, caracteriza-se pela sigla Cfa (verde claro). Na classificação climática de Köppen a sigla Cfa representa o clima Subtropical, definido, mais especificamente, como Clima Temperado úmido com verão quente, que possui como característica típica a presença de quatro estações bem definidas. Possui forte influência marítima por sua proximidade com o mar, característica que se manifesta na elevada umidade atmosférica (média de 80%).

Também na Figura 2 pode-se observar outras regiões do globo que apresentam o mesmo tipo climático definido por Köppen, como é o caso do Uruguai e leste da Argentina na América do Sul, do sudoeste da China e sul do Japão na Ásia e do sudeste dos Estados Unidos e leste da Austrália.

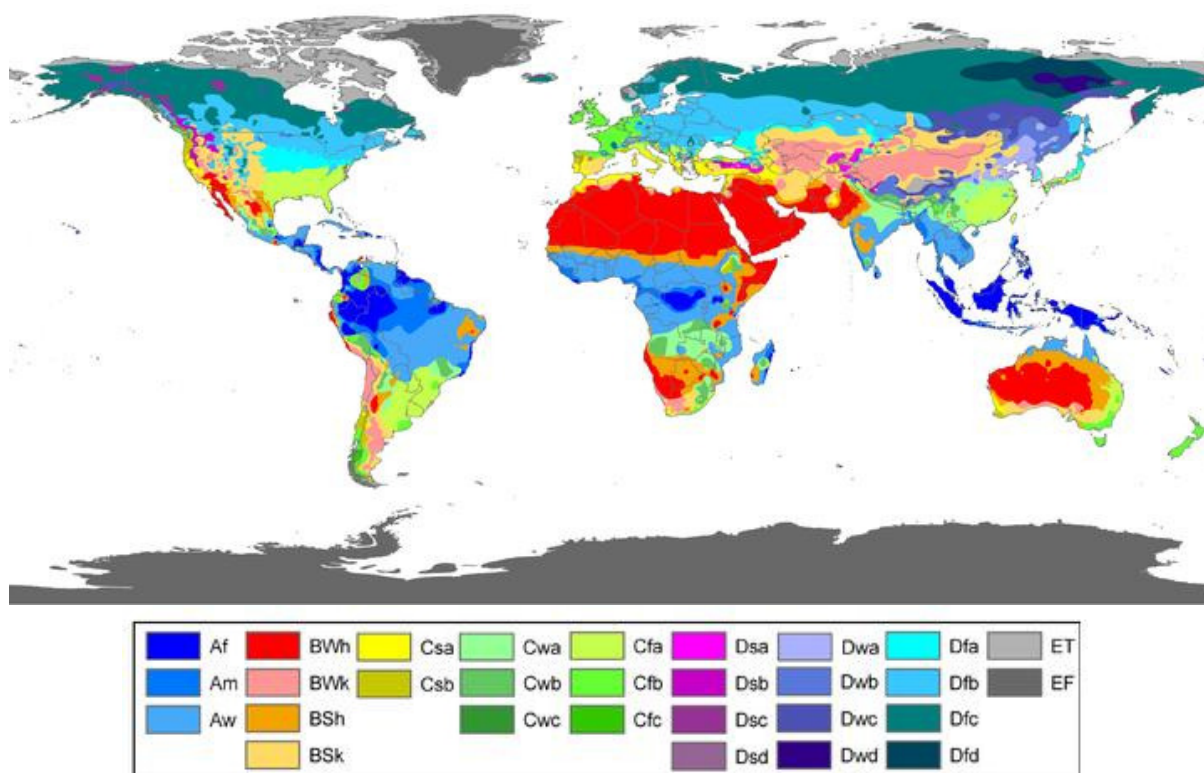


Figura 2: Mapa Mundial da Classificação Climática de Köppen

Fonte: Wikipédia, 2010.

Segundo NIMER (1989), na região sul do Brasil há o domínio exclusivo do clima mesotérmico, o qual, estando relacionado com as latitudes médias, é do tipo temperado. Este caráter temperado do clima do sul do Brasil confere a esta região uma notável oscilação térmica ao longo do ano.

O verão é bastante quente, pois durante o solstício de verão os raios solares incidem com grande intensidade e os dias são muito mais longos que as noites, aumentando o tempo diurno de radiação. O inverno é bastante frio, sofrendo intensas e sucessivas invasões de frentes polares, que trazem abundantes chuvas seguidas por massas polares. Junho e julho são os meses mais representativos do inverno, pelo considerável aumento da duração da noite em relação às horas de radiação diurna.

Pelotas está situada entre 31° e 32° de latitude sul e apresenta uma longitude de $52^{\circ}21'$ oeste, com 13m acima do nível do mar. As precipitações nesta região são regulares (ROSA, 1985).

As cartas solares elaboradas segundo o método de projeção estereográfica são utilizadas para determinar o ângulo de incidência do sol sobre uma superfície específica e consistem na representação gráfica das trajetórias aparentes do Sol, projetadas no plano do horizonte do observador para cada latitude específica.

A carta solar para a latitude de Pelotas, 32° Sul, utilizando-se o *software Analysis SOL-AR* (LABEEE, 2009b), desenvolvido no Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da UFSC, é apresentada na Figura 3, a seguir.

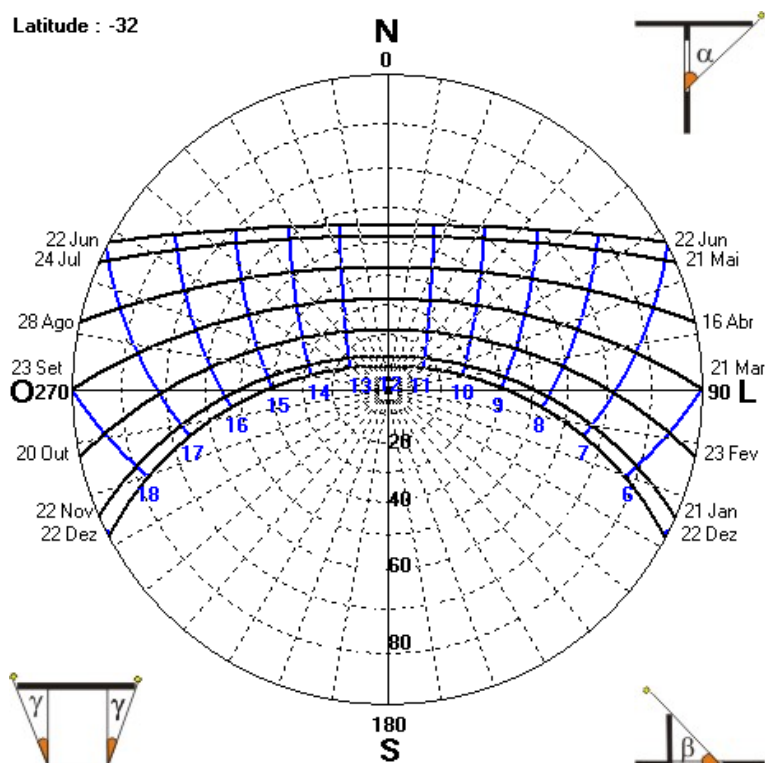


Figura 3: Carta Solar para latitude 32S (Pelotas-RS)

Fonte: *Analysis SOL-AR* (LABEEE, 2009b).

Observando-se a Figura 3 é possível constatar a grande incidência de radiação solar no verão em Pelotas, chegando a 14 horas de exposição solar no solstício de verão, quando a radiação solar incide das 5 às 19 horas do dia. No solstício de inverno a incidência ocorre das 7 às 17 horas, totalizando apenas 10 horas de exposição solar.

A Figura 4 apresenta o diagrama de radiações solares em planos verticais e horizontais para Pelotas, onde é possível observar-se claramente a vantagem do plano vertical norte em relação aos outros planos, o qual recebe maior quantidade de radiação solar no solstício de inverno, quando esta é desejada, e menor quantidade de radiação solar no solstício de verão, quando esta não é desejada.

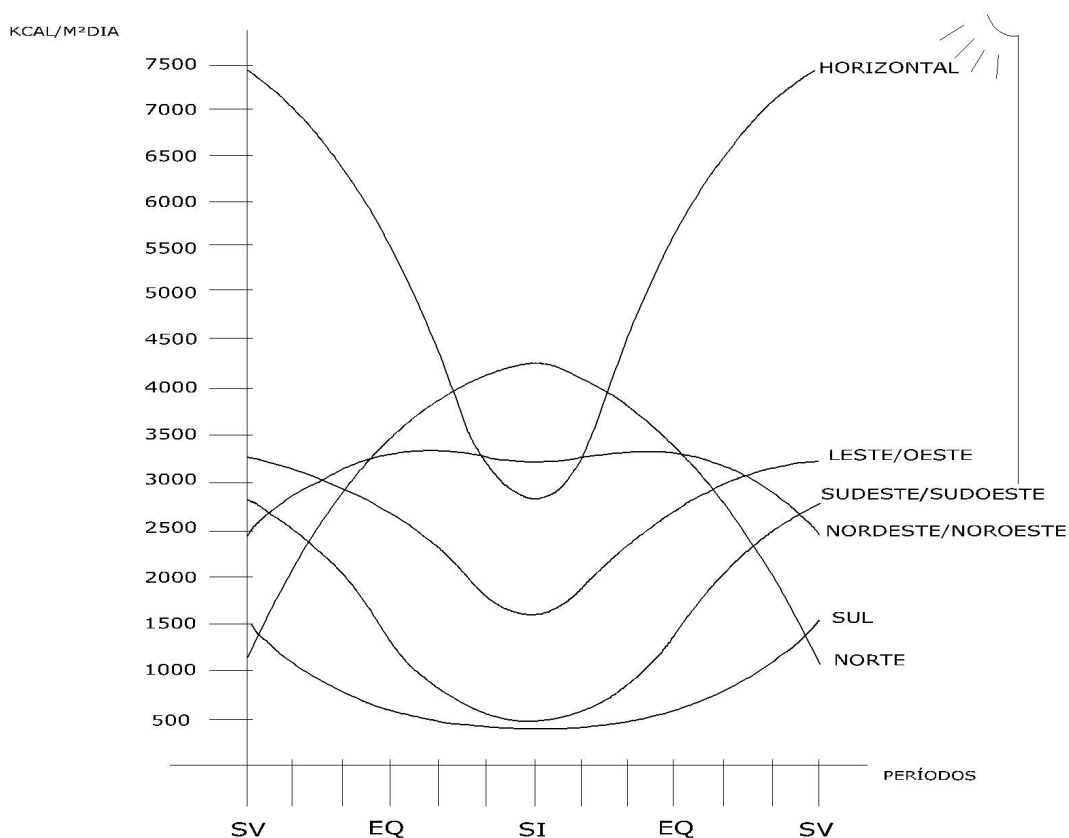


Figura 4: Diagrama de Radiações Solares em Planos Verticais e Horizontais em Kcal/m²/dia

Fonte: Adaptado de: PRIETTO, 1987.

A Tabela 1: Dados de Radiação Solar Incidente (I_g) sobre Planos Verticais e Horizontais (W/m^2). Latitude: 30° Sul. apresenta os dados de radiação solar incidente sobre planos verticais e horizontais (W/m^2) para a latitude 30° Sul. Muito embora Pelotas esteja localizada entre as latitudes 31° e 32° Sul, a utilização de tais dados é possível, tendo em vista que na prática, utilizar cartas solares cuja variação

da latitude representada com relação à real seja por volta de 3° não resulta em desvios significativos (FROTA *et al.*, 2001).

Tabela 1: Dados de Radiação Solar Incidente (Ig) sobre Planos Verticais e Horizontais (W/m²).
Latitude: 30° Sul.

	06h	07h	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	dezembro 22
S	142	188	143	78	63	68	65	68	63	78	143	188	142	
SE	330	563	586	502	345	116	65	68	63	58	50	43	25	
E	340	633	715	667	517	309	65	68	63	58	50	43	25	
NE	165	357	456	475	422	311	146	68	63	58	50	43	25	
N	25	43	50	58	117	170	179	170	117	58	50	43	25	
NW	25	43	50	58	63	68	146	311	422	475	456	357	165	
W	25	43	50	58	63	68	65	309	517	667	715	633	340	
SW	25	43	50	58	63	68	65	116	345	502	586	563	330	
H	114	345	588	804	985	1099	1134	1099	985	804	588	345	114	

S	0	28	45	50	58	63	63	63	58	50	45	28	0	março 22 / setembro 22
SE	16	270	351	261	101	63	63	63	58	50	45	28	0	
E	23	421	651	649	518	309	63	63	58	50	45	28	0	
NE	16	343	596	686	666	565	406	216	58	50	45	28	0	
N	0	80	219	347	458	526	548	526	458	347	219	80	0	
NW	0	28	45	50	58	216	406	565	666	686	596	343	16	
W	0	28	45	50	58	63	63	309	518	649	651	421	23	
SW	0	28	45	50	58	63	63	63	101	261	351	270	16	
H	0	144	388	617	808	928	964	928	808	617	388	144	0	

S	—	3	23	38	45	50	50	50	45	38	23	3	—	junho 21
SE	—	14	72	38	45	50	50	50	45	38	23	3	—	
E	—	35	278	429	387	244	50	50	45	38	23	3	—	
NE	—	37	333	602	682	641	524	364	198	48	23	3	—	
N	—	20	207	445	604	691	720	691	604	445	207	20	—	
NW	—	3	23	48	198	364	524	641	682	602	333	37	—	
W	—	3	23	38	45	50	50	244	387	429	278	35	—	
SW	—	3	23	38	45	50	50	50	45	38	23	14	—	
H	—	6	101	280	446	558	594	558	446	280	101	6	—	

Fonte: FROTA e SCHIFFER, 2001.

As normais climatológicas são dados climáticos obtidos através do cálculo das médias de parâmetros meteorológicos obedecendo a critérios recomendados e referem-se a períodos padronizados de trinta anos sucessivos, segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Estes dados climáticos são considerados simplificados, por se tratarem de médias mensais, se comparados a dados climáticos horários que contém informações climáticas para as 8.760 horas do ano.

Na Tabela 2 são apresentadas as normais climatológicas de Pelotas referentes ao período de 1971 a 2000, último disponível, disponibilizadas pelo Laboratório de Agrometeorologia da Embrapa Clima Temperado.

Tabela 2: Normais Climatológicas de Pelotas, período 1971-2000

Variáveis	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Temperatura Média (C°)	23,2	23,0	21,7	18,5	15,1	12,4	12,3	13,4	14,9	17,5	19,6	22,0	17,8
Temperatura Média das Mínimas (C°)	19,1	19,1	17,7	14,4	11,1	8,6	8,6	9,5	11,2	13,6	15,3	17,7	13,8
Temperatura Mínima Absoluta (C°)	10,0	9,8	5,0	2,7	1,2	-3,0	-2,7	-1,0	0,2	2,6	6,0	7,9	-3,0
Temperatura Média das Máximas (C°)	28,2	27,9	26,9	24,0	20,8	17,8	17,5	18,6	19,6	22,2	24,6	27,1	22,9
Temperatura Máxima Absoluta (C°)	39,0	36,5	37,4	35,1	31,6	29,4	31,8	33,0	35,6	34,4	39,2	39,6	39,6
Precipitação Pluviométrica (mm)	119,1	153,3	97,4	100,3	100,7	105,7	146,0	117,4	123,7	100,7	99,5	103,2	1366,9
Umidade Relativa (%)	77,4	79,9	80,5	82,3	83,6	84,0	84,9	83,2	81,8	79,5	76,0	75,5	80,7
Insolação Total (horas e décimos)	251,2	204,7	213,0	189,5	177,7	146,2	149,9	160,8	161,5	199,6	234,5	265,9	196,2
Nebulosidade (0-10)	5,7	5,9	5,6	5,3	5,5	6,0	6,3	6,3	6,4	6,1	5,8	5,4	5,9
Velocidade Média do Vento (m.s ⁻¹)	3,9	3,6	3,2	3,0	2,7	2,8	3,0	3,2	4,0	4,2	4,2	4,0	3,5
Direção Predominante do Vento	NE	E	E	SW	SW	SW	NE	NE	NE	E	E	E	E
Velocidade Máxima do Vento (m.s ⁻¹)	23,0	25,2	25,0	25,5	23,5	26,0	23,0	28,0	30,0	27,2	26,2	27,2	30,0
Direção do Vento na Velocid. Máx.	SW	S	SW	SW	NE	S	SW	NE	NE	NE	S	SW	NE

Fonte: Embrapa, 2010.

2.2 Conforto Térmico e Desempenho Térmico

Segundo a ASHRAE 55 (2004a) conforto térmico é definido como a condição mental que expressa satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa.

As condições de conforto térmico se dão em função de uma série de variáveis, ambientais (temperatura do ar, umidade relativa, temperatura média

radiante e velocidade do ar) e humanas (vestimenta e atividade), que determinam as trocas térmicas entre o corpo humano e o meio e as respostas fisiológicas e psicológicas do ser humano.

As variáveis do conforto térmico são diversas e variando diferentemente as condições finais podem proporcionar sensações ou respostas semelhantes ou até iguais. Isso levou os estudiosos a desenvolverem os índices de conforto térmico, que agrupam as condições que proporcionam as mesmas respostas (FROTA e SCHIFFER, 2001).

A Temperatura Efetiva (TE), elaborada em 1923 por Yaglow e Houghten, é um dos índices de conforto mais amplamente conhecido. Um índice subjetivo que considera a temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido e velocidade do ar, conjuntamente, traduzindo a sensação térmica.

Para avaliação do conforto térmico em ambientes construídos, FANGER (1970), definiu, a partir de uma equação que resume todos os processos de trocas de calor entre o corpo e o ambiente, um critério para avaliar o grau de desconforto, relacionando as variáveis que influenciam no conforto térmico com uma escala de sensação térmica definida por ele. Esse critério foi denominado de Voto Médio Estimado (PMV, *predicted mean vote*).

O PMV consiste em um valor numérico que traduz a sensibilidade humana ao frio e ao calor. Para conforto térmico o PMV é 0 (zero), para o frio é negativo e para o calor é positivo (LAMBERTS *et al.*, 2001).

A escala de sensação térmica é simétrica em relação ao ponto 0 (zero), que corresponde a neutralidade térmica, variando do -3 (muito frio) ao +3 (muito calor).

FANGER (1970) relacionou o PMV com a Porcentagem Prevista de Insatisfeitos (PPD, *predicted percentage of dissatisfied* em seu trabalho original), considerando como limite de conforto as condições que apresentam PPD inferior a 20%.

A norma ISO 7730, criada em 1984 com o título “Ambientes Termicamente Moderados – determinação dos índices PMV/PPD e especificações das condições térmicas”, adotou as pesquisas de Fanger, sugerindo sua aplicação, limitando, no entanto, o PPD em 10% como condição de conforto, o que corresponde a uma faixa do PMV de -0,5 a +0,5.

Esta norma, revisada a cada dez anos, teve sua última versão apresentada em 2005. Nesta terceira edição a norma teve seu título alterado para “Ergonomia do ambiente térmico - Determinação analítica e interpretação do conforto térmico usando o cálculo dos índices PMV/PPD e critérios de conforto térmico local”.

Sobre a aceitabilidade do ambiente térmico a ISO 7730 (2005) adicionou tabelas com categorias de conforto térmico para determinar e designar diferentes escalas de avaliação dos parâmetros, apresentando três categorias de classificação de ambientes e espaços (VOLTANI e LABAKI, 2008), como é possível observar-se na Tabela 3 abaixo, passando a ser aceitável o PPD até 15% como condição de conforto, correspondendo a uma faixa de PMV de -0,7 a +0,7.

Tabela 3: Categorias de Conforto Térmico ISO 7730 (2005).

Categoria	Estado térmico do corpo	
	PPD%	PMV
A	<6	-0,2<PMV<+0,2
B	<10	-0,5<PMV<+0,5
C	<15	-0,7<PMV<+0,7

Fonte: Adaptado de: ISO 7730, 2005.

No que diz respeito a cartas bioclimáticas, a primeira foi elaborada por OLGAY (1963), voltada estritamente para o exterior da edificação, apresentando-se como uma tentativa de associar os dados climáticos com a sensação de conforto. Em 1968, OLGAY adaptou sua carta bioclimática passando a poder analisar tanto climas temperados quanto climas quentes e úmidos, dependendo da zona de conforto a ser adotada.

GIVONI (1969) concebeu uma carta bioclimática para ambientes internos que corrigia algumas limitações do diagrama proposto por Olgyay. Traçada sobre uma carta psicrométrica, permitiu a delimitação de zonas de atuação por meio de estratégias visando a obtenção de conforto térmico.

GIVONI (1992) reavalia o conforto em edifícios sem condicionamento, direcionando seus estudos a países em desenvolvimento, situados em regiões de clima quente úmido. Propõe então duas cartas bioclimáticas, uma para países desenvolvidos (clima temperado) e outra para países em desenvolvimento (clima

quente úmido). A faixa aceitável para temperatura do ar sem movimento, para países desenvolvidos é de 18 a 25°C no inverno e de 20°C a 27°C no verão, para países em desenvolvimento é sugerida a elevação de 2°C no limite superior de temperatura.

LAMBERTS *et al.* (1994) compara as zonas e índices de conforto e propõe a adoção da Carta Bioclimática de Givoni (GIVONI, 1992), com suas estratégias de projeto, por apresentar melhores condições de aplicação para o Brasil, sendo adaptadas para o desenvolvimento das normas e regulamentos de conforto e eficiência energética no país.

A NBR 15575 (ABNT, 2008) estabelece para um desempenho térmico mínimo, na condição de verão, que o valor máximo diário de temperatura do ar interno seja igual ou menor ao valor máximo de temperatura do ar externo. Para um desempenho superior o valor máximo diário de temperatura interna deve ser igual ou menor a 27°C. Para a condição de inverno, estabelece para um desempenho térmico mínimo o valor mínimo diário de temperatura do ar interno igual ou maior a 12°C e para um desempenho térmico superior igual ou maior a 17°C.

Comparando-se os valores limites para o desempenho térmico da norma aos de GIVONI é possível observar a norma mais flexível para o período de inverno aceitando 17°C para um desempenho superior e até 12°C para um desempenho mínimo, enquanto a temperatura mínima de GIVONI é 18°C. Já para o período de verão o desempenho superior da norma estipula temperatura máxima de 27°C, a mesma de GIVONI para países desenvolvidos, ou seja, mais exigente.

MORELLO (2005) ressalta que com relação à temperatura do ar, muitas vezes somente a quantificação das horas de desconforto não é suficiente para expressar a eficiência da envoltória construtiva frente às adversidades climáticas, pois considerando-se apenas se os valores estão abaixo ou acima dos limites máximos ou mínimos não se tem distinção do quanto os valores se distanciam ou se aproximam dos limites.

Em razão disto, outro parâmetro climático de avaliação das condições de conforto térmico da edificação adotado são os graus-dia ou graus-hora de desconforto, que pode ser definido como o somatório das diferenças de temperatura

quando esta se encontra abaixo ou acima de uma temperatura base (T_b) (SZOKOLAY, 1987).

No caso do graus-dia, verifica-se a temperatura média (T_{med}) para cada dia do ano e quando este valor for menor que a temperatura base calcula-se a diferença, que são somadas para todo ano (Equação 1). O graus-hora é estimado da mesma forma, no entanto verificando-se a temperatura horária (T_h), durante todo ano (Equação 2).

$$GD = \sum (T_b - T_{med}) \quad (\text{Equação 1})$$

$$GH = \sum (T_b - T_h) \quad (\text{Equação 2})$$

No RTQ-R (2010) o conceito de graus-hora é utilizado para estimar a energia requerida para resfriamento de um ambiente nas edificações naturalmente ventiladas, sendo consideradas as temperaturas operativas que excedem a temperatura base recomendada de 26°C (Equação 3). No entanto, não é especificada uma temperatura base para estimar a energia para aquecimento de um ambiente no Regulamento, a não ser quando a edificação é artificialmente condicionada.

$$GH_R = \sum (T_o - 26^\circ\text{C}) \quad (\text{Equação 3})$$

CUNHA (2010) utiliza como referência a Norma Alemã DIN 4108-6 (2003), a qual especifica a temperatura mínima interior no inverno de 20°C para criar um dos cenários quanto à temperatura interna a ser mantida para cálculo da carga térmica de aquecimento.

Segundo Goulart (1993) a Norma Espanhola NBE-CT-79 (1979) recomenda temperatura base de 15°C ao estabelecer os graus-dia anuais para determinar a energia para aquecimento, enquanto SZOKOLAY (1987) adota a temperatura base de 18°C.

MATOS (2007), para avaliação das simulações em seu trabalho, utilizou para o cálculo de graus-hora de resfriamento a temperatura base de 26°C, e para o cálculo de graus-hora de aquecimento, 20°C. Estes limites de conforto para temperatura operativa foram obtidos a partir da ISO 7730/94.

Os valores de graus-hora de resfriamento foram obtidos para o período compreendido entre 21/09 e 20/03, e os valores de graus-hora de aquecimento ao

longo dos dias 21/03 e 20/09. Somadas, as quantidades de graus-hora de ambos geram o valor de graus-hora anual para os cômodos representativos da residência, dormitório e sala (MATOS, 2007).

2.3 Estratégias Bioclimáticas

Em 1963, OLGYAY usou pela primeira vez o termo bioclimático, aplicando a bioclimatologia, que relaciona o estudo do clima (climatologia) aos seres humanos, na arquitetura e criando a expressão projeto bioclimático.

O projeto bioclimático é uma abordagem que tira vantagem do clima através da aplicação correta de elementos de projeto e de tecnologia para controle dos processos de transferência de calor, mantendo as condições de conforto dos usuários na edificação e contribuindo para a economia de energia (GOULART e PITTA, 1994).

Neste sentido, as estratégias bioclimáticas recomendadas para um determinado conjunto de características climáticas devem influenciar no processo de tomada de decisões de projeto desde a etapa dos estudos preliminares, tendo em vista que a utilização destes conceitos desde o princípio do desenvolvimento do projeto arquitetônico possibilita um potencial mais elevado de atendimento às condições de conforto e de economia de energia na edificação.

Com base no estudo do clima local a partir dos dados climáticos disponíveis da cidade de Pelotas-RS foram estudadas as estratégias bioclimáticas de projeto apontadas para otimização do desempenho térmico e energético de edificações, explorando e utilizando ao máximo os potenciais naturais de condicionamento passivo em locais de grande variação climática anual, como é o caso do extremo sul do Brasil.

Utilizando-se três referências reconhecidas, analisou-se as recomendações das Planilhas de Mahoney (KOENIGSBERGER *et al.*, 1973) e da Carta Bioclimática de Givoni (GIVONI, 1992) para Pelotas e a parte 3 da NBR 15220 - Desempenho térmico para edificações de interesse social (ABNT, 2005), que contém o zoneamento bioclimático brasileiro e as diretrizes construtivas específicas para a zona bioclimática 2, na qual Pelotas está incluída.

2.3.1 Planilhas de Mahoney

Em climas compostos os requisitos sazonais podem ser contraditórios. Um sistema de ponderação deve ser utilizado para avaliar a importância relativa das exigências antagônicas. Este sistema deve levar em conta a duração e a gravidade dos diversos fatores climáticos.

As Planilhas de Mahoney (KOENIGSBERGER et al., 1973) foram elaboradas com base neste sistema, no qual os limites desejáveis de temperatura são distintos para os períodos diurno e noturno e dependem das médias mensais da umidade relativa e da média anual da temperatura do ar exterior. O método consta da utilização de planilhas.

A primeira planilha, mostrada a seguir na Tabela 4, é utilizada para gravar os dados climáticos mais essenciais, temperatura, umidade, chuva e vento, orientando e definindo a extensão da pesquisa dos dados. São inseridas as médias mensais destes dados, com base nas normais climatológicas do período de 1971-2000 de Pelotas. A partir das temperaturas médias, tem-se o valor da temperatura média anual (TMA), no caso de Pelotas-RS, 18,4°C.

Tabela 4: Normais Climatológicas de Pelotas- RS aplicadas as Planilhas de Mahoney.

1. NORMAIS		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MAX	TMA
TEMP. °C	MED. MAX.	28,2	27,9	26,9	24	20,8	17,8	17,5	18,6	19,6	22,2	24,6	27,1	28,2	18,4
	MED. MIN.	19,1	19,1	17,7	14,4	11,1	8,6	8,6	9,5	11,2	13,6	15,3	17,7	8,6	19,6
	AMPL. (AMM)	9,1	8,8	9,2	9,6	9,7	9,2	8,9	9,1	8,4	8,6	9,3	9,4	MIN	AMA
UMID. RELAT. (%)		77,4	79,9	80,5	82,3	83,6	84	84,9	83,2	81,8	79,5	76	75,5	TOTAL	
CHUVA (mm)		119	153	97	100	101	106	146	117	124	101	100	103	1367	mm
VENTO	VEL. (m/s)	3,9	3,6	3,2	3	2,7	2,8	3	3,2	4	4,2	4,2	4		
	DIREÇÃO	NE	L	L	SO	SO	SO	NE	NE	NE	L	L	L		

Fonte: Adaptado de: KOENIGSBERGER, *et al.*, 1973.

A segunda planilha, apresentada na Tabela 5, permite um diagnóstico do clima e desenvolve uma série de indicadores climáticos. Com base na umidade relativa (RH) é estabelecido um “umidade grupo” para cada mês. Médias acima de 70% resultam no grupo 4, que no caso de Pelotas ocorre em todos os meses do ano.

Nas duas últimas linhas, os resultados para cada mês relativos aos índices de estresse térmico para o dia e para a noite são apresentados pela seguinte

legenda: Q (quente) - se estiver acima do limite; C (conforto) - se estiver dentro dos limites médios; F (frio) - se estiver abaixo do limite.

Tabela 5: Diagnóstico do clima nas Planilhas de Mahoney.

2. DIAGNÓSTICO			J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
GRUPO UMIDADE			4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
TEMPERATURA	DIA	MÁXIMO	28,2	27,9	26,9	24,0	20,8	17,8	17,5	18,6	19,6	22,2	24,6	27,1
		LIM. SUP.	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
		LIM. INF.	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
	NOITE	MÍNIMO	19,1	19,1	17,7	14,4	11,1	8,6	8,6	9,5	11,2	13,6	15,3	17,7
		LIM. SUP.	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
		LIM. INF.	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0
DIAGR.	DIA		Q	Q	Q	C	C	F	F	F	F	C	C	Q
	NOITE		C	C	C	C	F	F	F	F	F	F	C	C

Fonte: Adaptado de: KOENIGSBERGER, *et al.*, 1973.

Alguns grupos de sintomas (natureza do estresse térmico, algumas características climáticas e a duração de ambos) indicam as medidas corretivas que poderiam ser tomadas. O método desenvolvido utiliza seis 'indicadores' (três indicadores de umidade: U1, U2 e U3 e três indicadores de aridez: A1, A2 e A3).

A terceira planilha, mostrada na Tabela 6, apresenta os indicadores climáticos com os totais de ocorrência de cada um deles. Estes indicadores são traduzidos em especificações de desempenho ou recomendações para a síntese de uma solução formal para o projeto arquitetônico, as quais são agrupadas em oito categorias: traçado, espaçamento, movimento do ar, aberturas, paredes, coberturas, dormir ao ar livre e proteção contra chuva.

Tabela 6: Indicadores climáticos nas Planilhas de Mahoney.

3. INDICADORES			J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAIS	
UMIDADE	U 1														4	U 1
	U 2														4	U 2
	U 3														0	U 3
ARIDEZ	A 1														0	A 1
	A 2														0	A 2
	A 3														4	A 3

Fonte: Adaptado de: KOENIGSBERGER, *et al.*, 1973.

No caso de Pelotas-RS as recomendações são:

- Traçado: edifícios orientados sobre eixo leste-oeste para reduzir a exposição ao sol das fachadas leste e principalmente oeste.
- Espaçamento: espaço aberto para a penetração da brisa, porém protegido de ventos quentes ou frios.
- Movimento do ar: quartos em fileira única. Dispositivo permanente para o movimento do ar (ventilação cruzada).
- Aberturas: quanto ao tamanho, aberturas medianas com 20% a 40% da superfície da parede; quanto à posição, aberturas nas paredes norte e sul, aberturas na parede leste são desejáveis e na parede oeste são aceitáveis em climas frios ou moderados.
- Paredes: paredes externas leves com baixa capacidade térmica; tempo curto de transmissão térmica.
- Coberturas: coberturas leves e bem isoladas, com baixa capacidade térmica.

Para as duas últimas categorias, dormir ao ar livre e proteção contra chuva, não existe recomendações para Pelotas.

A quarta planilha, representada na Tabela 7, indica os intervalos considerados confortáveis a partir das médias mensais da umidade relativa (UR) e da média anual da temperatura do ar exterior (TMA).

Tabela 7: Parâmetros do Método nas Planilhas de Mahoney.

4. PARÂMETROS DO MÉTODO

GRUPO UMIDADE	Gr. Umid.	LIMITES DE CONFORTO (° C)					
		TMA > 20°		TMA 15° - 20°		TMA < 15°	
		Dia	Noite	Dia	Noite	Dia	Noite
Gr. 1, quando U.R. < 30%	1	26° 34°	17° 25°	23° 32°	14° 23°	21° 30°	12° 21°
Gr. 2, quando U.R. 30% - 50%	2	25° 31°	17° 24°	22° 30°	14° 22°	20° 27°	12° 20°
Gr. 3, quando U.R. 50% - 70%	3	23° 29°	17° 23°	21° 28°	14° 21°	19° 26°	12° 19°
Gr. 4, quando U.R. > 70%	4	22° 27°	17° 21°	20° 25°	14° 20°	18° 24°	12° 18°

Fonte: Adaptado de: KOENIGSBERGER, *et al.*, 1973.

2.3.2 Carta Bioclimática de Givoni

A carta bioclimática de Givoni (GIVONI, 1992), construída sobre o diagrama psicrométrico, que relaciona a temperatura do ar e a umidade relativa, especifica a zona de conforto e demais zonas com suas estratégias correspondentes.

O *software Analysis BIO* (LABEEE, 2009), desenvolvido no LABEEE da UFSC, sobrepõe os dados de temperatura e umidade sobre a Carta Bioclimática podendo-se utilizar tanto dados horários ao longo do ano (TRY), como também médias mensais das normais climatológicas.

Primeiramente foi gerada a carta bioclimática de Givoni para Pelotas, com base nos dados climáticos mensais da cidade, obtidos a partir das normais climatológicas do período de 1971-2000, apresentada na Figura 5.

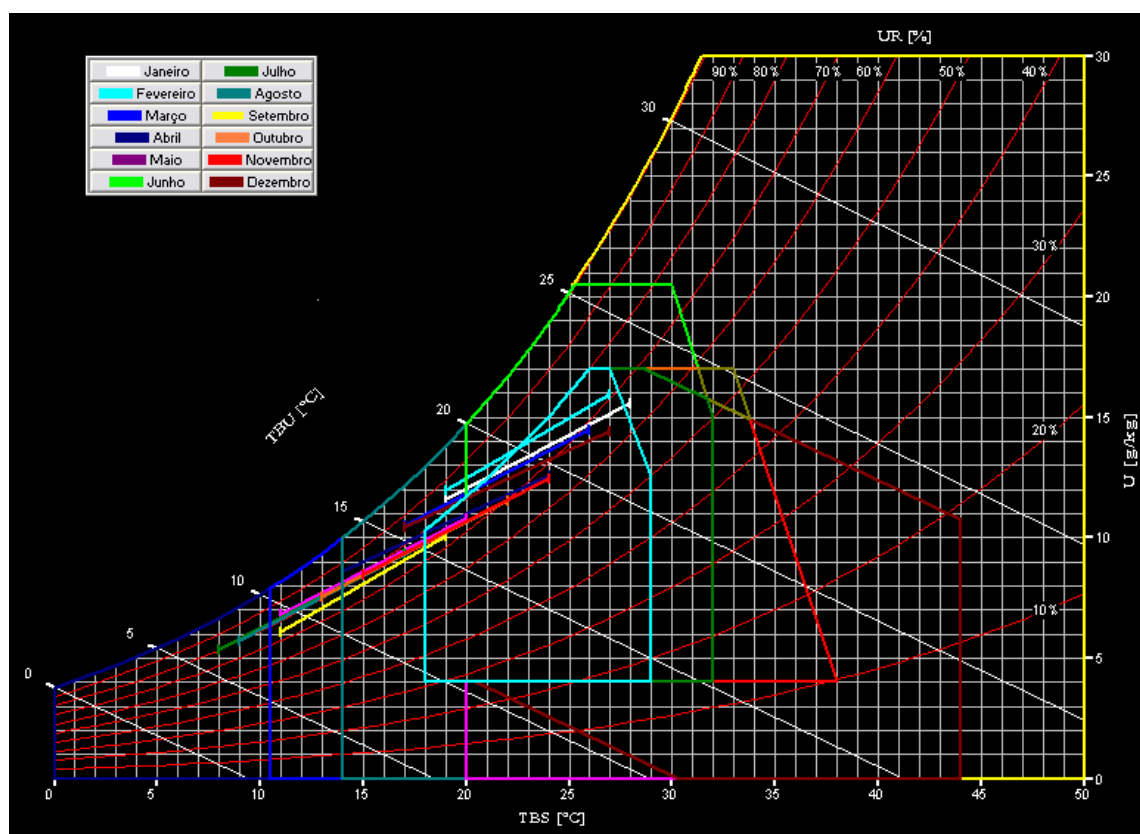


Figura 5: Carta Bioclimática de Givoni para Pelotas a partir das médias mensais.
Fonte: *Analysis BIO* (LABEEE, 2009a).

Como resultado o programa destaca as estratégias de projeto para a adequação da edificação ao clima, para cada mês, de acordo com as zonas identificadas na Carta Bioclimática e apresenta um relatório de porcentagem de horas do ano em que cada estratégia bioclimática é mais adequada, bem como a porcentagem de horas de conforto, apresentado na Tabela 8.

Tabela 8: Estratégias recomendadas pela Carta Bioclimática de Givoni para Pelotas a partir das médias mensais.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
CONFORTO (%)	74,3	56,2	63,2	60,0	22,2	-	-	-	12,5	44,5	66,7	72,5
ESTRATÉGIAS (%)												
Ventilação	11,2	31,3	3,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aquecimento Solar Passivo/Alta Inércia Térmica	11,1	12,5	33,3	40,0	44,5	33,3	33,3	44,5	50,0	44,4	33,3	27,5
Aquecimento Solar Passivo	-	-	-	-	33,3	38,9	38,9	38,9	37,5	11,1	-	-
Ventilacao/Alta Inércia/Resfriamento Evaporativo	3,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aquecimento Artificial	-	-	-	-	-	27,8	27,8	16,7	-	-	-	-

Fonte: Adaptado de: *Analysis BIO* (LABEEE, 2009a).

Posteriormente, utilizou-se os dados climáticos horários externos de temperatura do ar e umidade relativa monitorados por SILVA e GONÇALVES (2008) E SILVA e GONÇALVES (2010) durante o ano de 2007 em Pelotas para servir de parâmetro e complemento às estratégias recomendadas com base nas médias mensais. Os resultados podem ser observados na Figura 6.

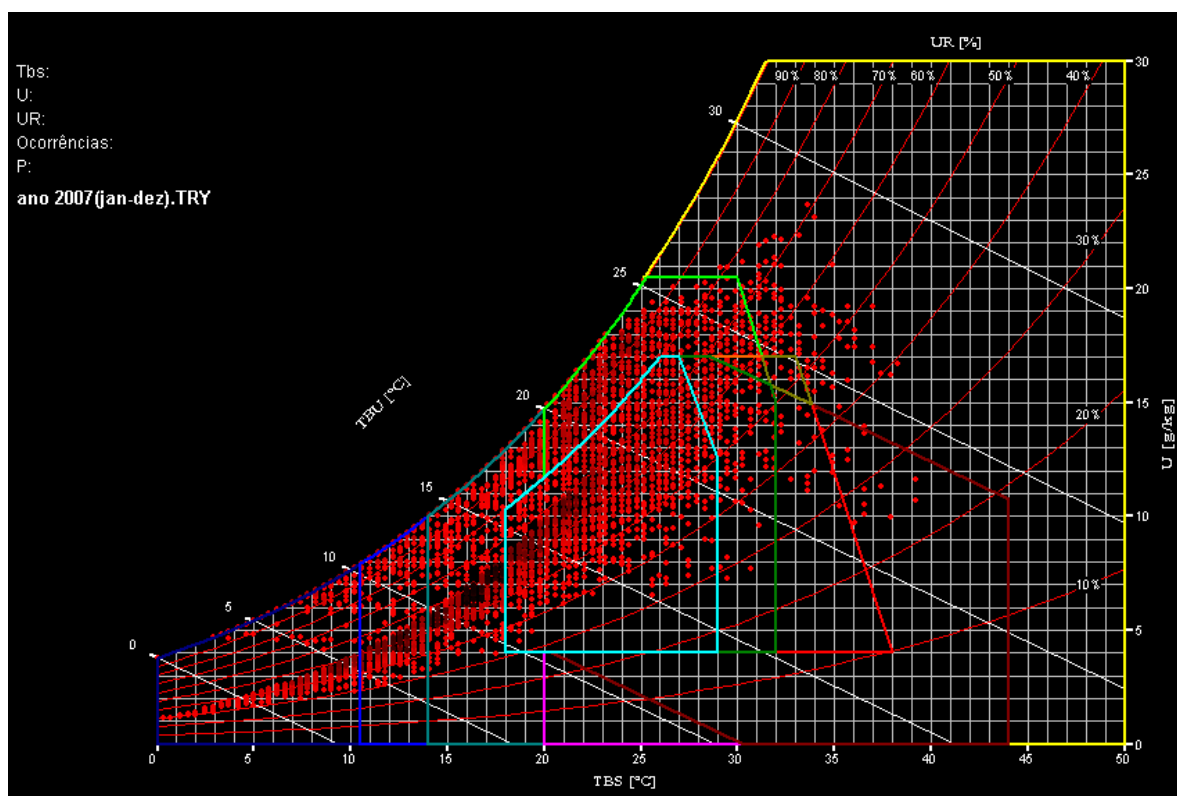


Figura 6: Carta Bioclimática de Givoni para Pelotas a partir dos dados horários.

Fonte: *Analysis BIO* (LABEEE, 2009a).

Em se tratando da utilização dos dados horários no software, as porcentagens de conforto e de recomendação de cada estratégia a ser utilizada são dadas em porcentagens referentes ao ano todo, conforme a Tabela 9.

Tabela 9: Estratégias recomendadas pela Carta Bioclimática de Givoni para Pelotas a partir dos dados horários.

ESTRATÉGIAS POR ZONAS					%
CONFORTO					29,6
Ventilação					16,3
Ventilação/ Alta Inércia Térmica/ Resfriamento Evaporativo					3,73
Aquecimento Solar/Alta Inércia Térmica					12,1
Aquecimento Solar Passivo					12,5
Resfriamento Evaporativo					0,20
Aquecimento Artificial					23,8
Ar Condicionado					1,77
SOMBREAMENTO					44,9

Fonte: Adaptado de: *Analysis BIO* (LABEEE, 2009a).

Analisando-se os resultados é possível constatar que Pelotas possui características climáticas bastante críticas, uma vez que possui apenas 29,6% de conforto ao longo do ano, sendo o frio o maior problema, pois nos meses de inverno o desconforto chega a 100% considerando-se as médias mensais, exigindo a utilização de aquecimento artificial para solucionar quase 28% do desconforto, já que mesmo utilizando-se as soluções passivas corretamente, estas são insuficientes para resolver o desconforto causado pelo frio.

É possível identificar a recomendação de estratégias para adequação de uma edificação ao clima local. No caso de Pelotas as principais estratégias recomendadas para o frio são o aquecimento solar, a alta inércia térmica e o aquecimento solar passivo, porém sendo ainda necessário o aquecimento artificial. Para o calor, a ventilação é a estratégia fundamental, aparecendo também com uma porcentagem pequena o resfriamento evaporativo e ainda a necessidade mínima de ar condicionado.

Outra característica peculiar de Pelotas também constatada pela avaliação da carta bioclimática de Givoni são as grandes amplitudes térmicas que ocorrem na cidade, chegando no verão, no mês de fevereiro, a uma amplitude máxima de

18,6°C em 24 horas, e a amplitude média diária do mês 9,76°C. Meses como novembro e dezembro possuem amplitudes médias diárias de mais de 10°C.

2.3.3 NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações de interesse social

A NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações de interesse social (ABNT, 2005) apesar de tratar de edificações de interesse social, que não é o foco deste trabalho, foi utilizada por tratar-se da referência de normalização quanto ao conforto térmico existente no país atualmente.

Esta norma contém em sua parte 3 o zoneamento bioclimático brasileiro e as diretrizes construtivas para habitações unifamiliares. O zoneamento bioclimático brasileiro para fins de edificações compreende oito diferentes zonas, conforme indica a Figura 7.

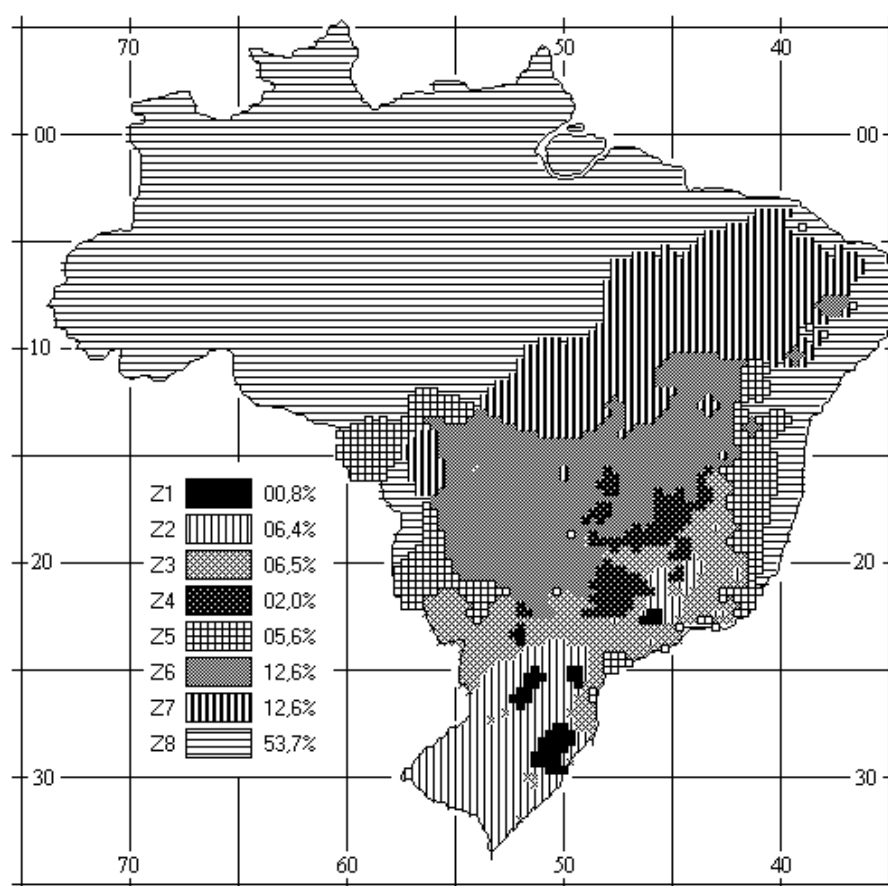


Figura 7: Zoneamento bioclimático brasileiro.

Fonte: NBR 15220 (parte 3), 2005.

Conforme é possível observar na Figura 8, grande parte do extremo sul do Brasil, incluindo Pelotas-RS, encontra-se na zona bioclimática 2.

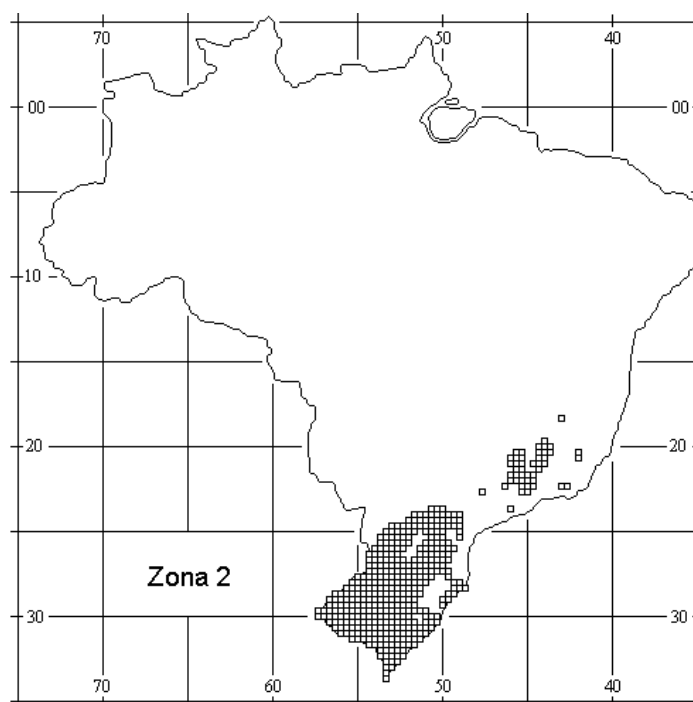


Figura 8: Zona bioclimática 2.

Fonte: NBR 15220 (parte 3), 2005.

Para cada zona bioclimática formulou-se um conjunto de recomendações técnico-construtivas. Para a zona bioclimática 2 são apresentadas diretrizes construtivas relativas às aberturas, paredes e coberturas caracterizadas a seguir.

Quanto às aberturas, a norma recomenda aberturas médias para ventilação, que seriam entre 15% e 25% da área de piso e que o sombreamento das aberturas permita sol durante o inverno.

Quanto ao tipo de vedações externas, a norma recomenda paredes leves e coberturas leves isoladas, as quais são definidas pelas características descritas na Tabela 10:

Tabela 10: Transmitância térmica, atraso térmico e fator solar admissíveis para vedações externas.

Vedações externas		Transmitância térmica – U W/m ² .K	Atraso térmico - ϕ Horas	Fator solar - FS _o %
Paredes	Leve	U ≤ 3,00	$\phi \leq 4,3$	FS_o ≤ 5,0
	Leve refletora	U ≤ 3,60	$\phi \leq 4,3$	FS _o ≤ 4,0
	Pesada	U ≤ 2,20	$\phi \geq 6,5$	FS _o ≤ 3,5
Coberturas	Leve isolada	U ≤ 2,00	$\phi \leq 3,3$	FS_o ≤ 6,5
	Leve refletora	U ≤ 2,30.FT	$\phi \leq 3,3$	FS _o ≤ 6,5
	Pesada	U ≤ 2,00	$\phi \geq 6,5$	FS _o ≤ 6,5

1 As aberturas efetivas para ventilação são dadas em percentagem da área de piso em ambientes de longa permanência (cozinha, dormitório, sala de estar).

2 No caso de coberturas (este termo deve ser entendido como o conjunto telhado mais ático mais forro), a transmitância térmica deve ser verificada para fluxo descendente.

3 O termo “ático” refere-se à câmara de ar existente entre o telhado e o forro.

Fonte: Adaptado de: NBR 15220 (parte 3), anexo C, tabela C.2, 2005.

As estratégias de condicionamento térmico passivo para a zona bioclimática 2 especificam para o verão somente a estratégia da ventilação cruzada e para o inverno o aquecimento solar da edificação e vedações internas pesadas (inércia térmica) e diz, ainda, que o condicionamento passivo será insuficiente durante o período mais frio do ano.

A NBR 15220, parte 3, possui o seguinte detalhamento das estratégias de condicionamento térmico recomendadas no parágrafo anterior:

- A ventilação cruzada é obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isto significa que se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deveria ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada.

- A forma, a orientação e a implantação da edificação, além da correta orientação de superfícies envidraçadas, podem contribuir para otimizar o seu aquecimento no período frio através da incidência de radiação solar. A cor externa dos componentes também desempenha papel importante no aquecimento dos ambientes através do aproveitamento da radiação solar.

- A adoção de paredes internas pesadas pode contribuir para manter o interior da edificação aquecido.

- Deve-se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, que pode alterar significativamente a direção dos ventos.

2.3.4 Análise das Estratégias Bioclimáticas

A partir dos dados analisados é possível observar que em se tratando das Planilhas de Mahoney estas têm como característica recomendações para a questão da solução formal do desenho do projeto arquitetônico, aparecendo a avaliação de aspectos como o traçado e espaçamento, os quais nas demais fontes não são trabalhados, no entanto, as recomendações quanto às aberturas, paredes e coberturas, coincidem bastante com as estratégias da NBR 15220 para a zona bioclimática 2.

Ao utilizar dados climáticos específicos de uma cidade na Carta Bioclimática de Givoni, no caso Pelotas, é possível observar a indicação das mesmas estratégias da norma, o que é justificado pelo fato da NBR 15220 utilizar uma Carta Bioclimática adaptada a partir da Carta Bioclimática de Givoni. No entanto, além destas,

aparecem outras estratégias em percentuais menores, mas que devem ser consideradas em se tratando de um protótipo experimental que visa obter o máximo desempenho de estratégias passivas.

Na NBR 15220, por ser um zoneamento que divide o Brasil em oito zonas bioclimáticas, torna-se inevitável que cidades com características peculiares distintas encontrem-se em uma mesma zona. Em virtude disto as recomendações são mais amplas de forma a abranger todas estas cidades. Ainda assim, são estratégias importantes e relativamente simples de serem buscadas no projeto, sendo bastante específicas no que diz respeito a trazer alguns valores a serem alcançados, como transmitância térmica, atraso térmico e fator solar máximos recomendados.

A Tabela 11 contém o resumo das estratégias bioclimáticas indicadas para Pelotas-RS a partir das três referências estudadas, Planilhas de Mahoney, Carta Bioclimática de Givoni e NBR 15220.

Tabela 11: Resumo das Estratégias Bioclimáticas para Pelotas-RS.

Estratégias	Planilhas de Mahoney	Carta Bioclimática de Givoni	NBR 15220
	-	aquecimento solar passivo	aquecimento solar
Traçado	maiores faces para norte e sul	-	-
Paredes externas	leves, com baixa capacidade calorífica	-	leves $U \leq 3,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\phi \leq 4,3 \text{ Horas}$ $FS_o \leq 5,0 \%$
Paredes internas	-	alta inércia térmica	pesadas, com inércia térmica
Coberturas	leves e bem isoladas, com baixa capacidade térmica	-	leves isoladas $U \leq 2,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\phi \leq 3,3 \text{ Horas}$ $FS_o \leq 6,5 \%$
		aquecimento artificial	aquecimento artificial
Movimento do ar	ventilação cruzada	ventilação	ventilação cruzada
Espaçamento	penetração de brisa, protegido de ventos	-	atentar para ventos predominantes
Aberturas	médias – 20 a 40% da área de parede	-	médias – 15 a 25% da área do piso
Sombreamento	-	sombreamento das aberturas	sombreamento das aberturas, permitindo sol durante inverno
		resfriamento evaporativo	

Fonte: POUEY e SILVA, 2010.

Tais estratégias bioclimáticas foram divididas em estratégias que proporcionam mais ganhos e menos perdas para o aquecimento da edificação no período de inverno e menos ganhos e mais perdas para o resfriamento no verão, conforme as tabelas seguintes, Tabela 12 e 13.

Tabela 12: Estratégias Bioclimáticas de Aquecimento (para períodos frios).

Mais Ganhos	Menos Perdas
Aquecimento solar	Menores fachadas sul
Maiores fachadas norte	Isolamento da cobertura
Elementos translúcidos na orientação norte para recepção de insolação	Aberturas menores orientação sul
Jardim de inverno com parede absorviva	Aberturas com resistência térmica
Inércia térmica paredes internas	Proteção dos ventos sul
Massa térmica para aquecimento	
Aquecimento ativo – aquecedor multifuncional	

Tabela 13: Estratégias Bioclimáticas de Resfriamento (para períodos quentes).

Menos Ganhos	Mais Perdas
Menores fachadas oeste	Ventilação cruzada
Evitar a ventilação quando temperaturas externas elevadas	Ventos predominantes no verão
Venezianas nas aberturas	Porão ventilado
Sombreamento das aberturas	
Coberturas leves, com baixa capacidade calorífica	
Isolamento da cobertura	
Paredes externas leves, com baixa capacidade calorífica	
Vegetação do entorno	

Grande parte do desempenho térmico da edificação deve-se a forma desta e a orientação das fachadas, no entanto, esta questão é sucintamente abordada pelas Planilhas de Mahoney e na NBR 15220, parte 3.

As especificações quanto às aberturas, nas fontes estudadas, se restringem ao tamanho de uma forma geral. Não existem recomendações quanto ao tamanho das aberturas para as diferentes orientações, o que poderia resultar num melhor aproveitamento destas.

Outro aspecto importante não abordado é quanto à transmitância térmica das aberturas. Na norma há especificações para a transmitância térmica máxima das vedações externas, paredes e cobertura, mas a janela se constituirá em um elemento frágil, o que pode ocasionar uma perda considerável em virtude do fato de que muitas vezes têm-se grandes áreas de abertura, chegando a 40% da área de parede, conforme recomendação das Planilhas de Mahoney. Entretanto, se fosse especificado uma transmitância máxima para as aberturas poderíamos ter aberturas maiores na orientação mais ensolarada no inverno (norte) incrementando a eficiência do aquecimento solar.

Apesar de não mencionado pelas fontes pesquisadas, é importante, ainda, quanto às especificações das aberturas, que estas possuam maior resistência térmica para evitar a perda de calor armazenado no interior da edificação para o meio externo.

Em se tratando da disposição dos usos e seus compartimentos em planta, não existe nenhuma recomendação nas fontes pesquisadas. No entanto, pelas mesmas razões apresentadas anteriormente deve-se privilegiar a localização dos compartimentos de permanência prolongada, como quartos e sala voltados preferencialmente para orientação norte.

Quanto às características das paredes e coberturas, as recomendações tanto das Planilhas de Mahoney, como da NBR 15.220, coincidem. As paredes externas devem ser leves, com baixa capacidade calorífica, o que significa paredes que não acumulem calor, o qual posteriormente seria transmitido para o interior da edificação.

As coberturas, também leves, devem receber isolamento para diminuir as trocas com o ambiente externo, ou seja, no inverno não perderem calor armazenado

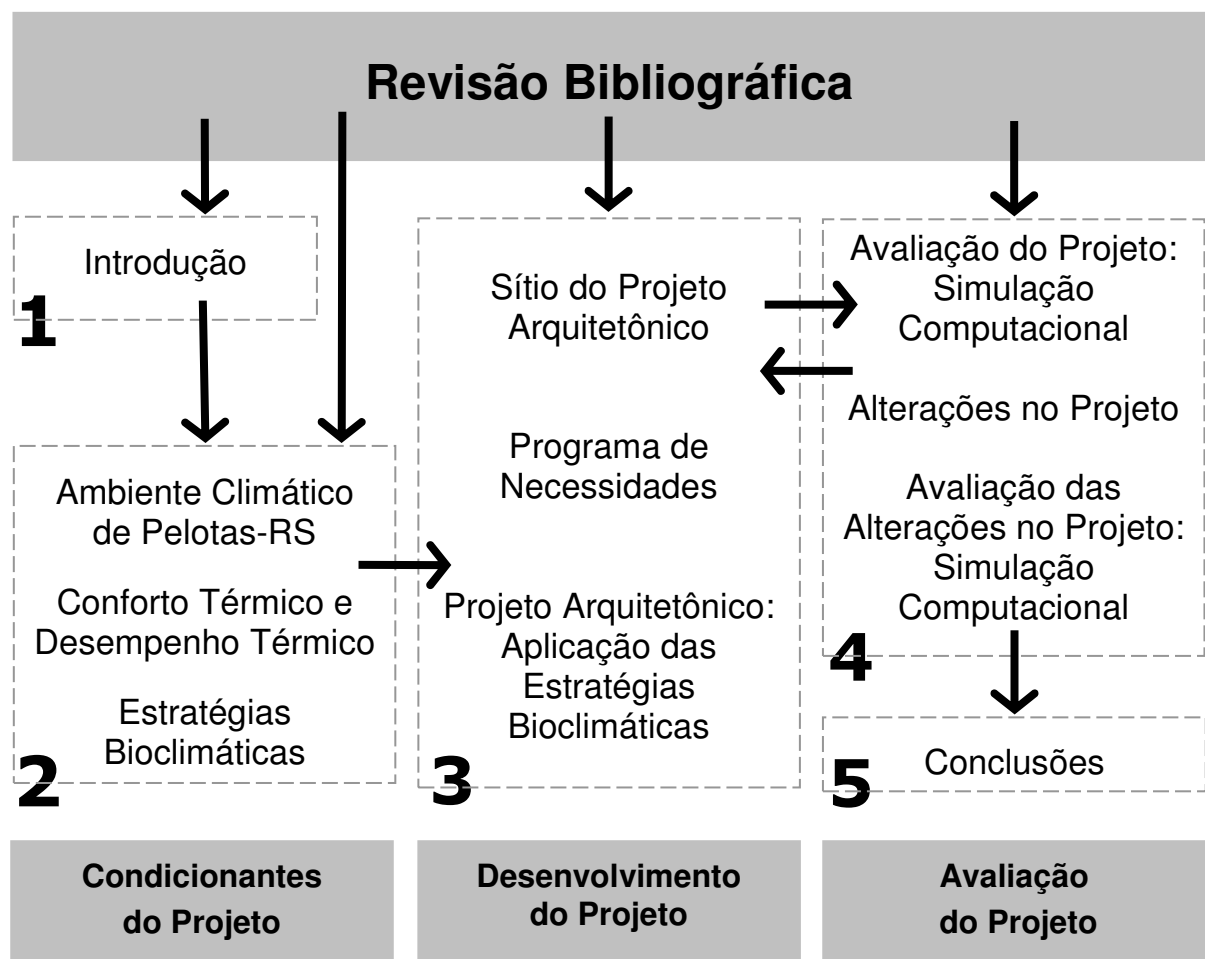
no interior da edificação quando a temperatura externa é inferior, e no verão terem maior resistência aos ganhos de calor, frente à maior exposição da cobertura à radiação solar. Já as paredes internas devem ser pesadas, com alta inércia térmica para armazenar o calor no interior da edificação.

Tanto a Carta Bioclimática, como a NBR 15.220 indicam como inevitável, ainda, apesar do máximo aproveitamento das estratégias passivas de aquecimento, a necessidade de aquecimento artificial no inverno do extremo sul do Brasil.

Quanto às estratégias de resfriamento para o período de verão, a utilização do mecanismo de ventilação natural é a principal estratégia recomendada pelas três fontes pesquisadas, sendo que a ventilação cruzada pode ser atingida também a partir da utilização de saídas de ar quente superiores, próximas ou junto à cobertura.

O sombreamento das aberturas, somente mencionado nas fontes pesquisadas, é outra estratégia de resfriamento importante para o período de verão. Deve ser utilizado principalmente nas aberturas das fachadas norte e oeste, no entanto, a proteção solar deve permitir a incidência solar no interior da edificação no inverno.

3 MÉTODO



A parte inicial do trabalho inclui a revisão da literatura (bibliográfica), buscando conhecimento aprofundado sobre o estado da arte deste assunto, a partir da bibliografia existente e de trabalhos que foram e estão sendo realizados nesta área.

A segunda etapa, após esta pesquisa, foi a aplicação da metodologia de projeto arquitetônico, fundamentada pelas estratégias bioclimáticas identificadas anteriormente. Iniciada pela definição do sítio para desenvolvimento do projeto e

pela especificação do programa de necessidades do protótipo deu-se o desenvolvimento das etapas de estudos preliminares do anteprojeto do caso base.

Na terceira etapa foi realizada a avaliação do projeto arquitetônico a partir da modelagem e simulação computacional do caso base. A simulação computacional foi realizada utilizando-se o software *DesignBuilder*, ferramenta utilizada para simulação do desempenho térmico e energético de edificações, a qual possui uma interface que utiliza os algoritmos do programa *EnergyPlus*, porém corrigindo as limitações gráficas no processo de modelagem.

Esta terceira etapa subdivide-se da seguinte forma:

a) Simulação computacional e dados climáticos:

Inicialmente é realizada uma breve revisão bibliográfica dos programas de simulação computacional termo energética e dos dados climáticos utilizados nestes programas bem como sua existência e disponibilidade atuais. Salienta-se neste momento o fato de o único arquivo climático horário representativo da zona bioclimática 2 existente atualmente ser o de Santa Maria-RS e compara-se dados de temperatura deste arquivo com dados reais de Pelotas-RS e ainda com dados do verão de Florianópolis e do inverno de Curitiba.

b) Modelagem e configuração da simulação:

O trabalho utiliza a metodologia do RTQ-R (2010), Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais para realização da modelagem e configuração dos parâmetros de entrada da simulação conforme detalhadamente descrito no capítulo cinco.

c) Configuração do envelope do edifício:

Onde são caracterizados os materiais e componentes propostos no projeto arquitetônico do caso base.

d) Análise dos resultados:

São apresentados os resultados das simulações do caso base, mostrando os fluxos de energia dos ambientes de permanência prolongada e suas temperaturas operativas e a partir da metodologia de avaliação de conforto e eficiência energética utilizada no RTQ-R (2010) estes resultados são avaliados segundo o conceito de graus-hora na edificação naturalmente ventilada e pelo

consumo para aquecimento da edificação condicionada artificialmente. Para determinação do equivalente numérico da envoltória é utilizada a equação da zona bioclimática 2.

A quarta etapa constitui-se nas propostas de alterações no projeto do caso base, as quais foram realizadas no modelo e simuladas novamente na busca do aprimoramento dos resultados alcançados inicialmente.

4 PROJETO ARQUITETÔNICO BIOCLIMÁTICO

4.1 O Sítio

Nas antigas instalações do Frigorífico Anglo, situado no bairro Porto da cidade de Pelotas, localiza-se atualmente o Campus Porto da Universidade Federal de Pelotas. Principal campus da instituição nos dias de hoje, ainda sendo implantado, já abriga a reitoria da UFPel, o setor administrativo e diversos cursos.

O sítio destinado para o projeto localiza-se no interior deste campus, conforme Figura 9, em área definida pela reitoria da Universidade especificamente para este fim, pois existe a intenção de no futuro o protótipo vir a ser construído.



Figura 9: Imagem aérea do Campus Porto – UFPel.

Fonte: Google Earth, 2011.

Esta área situa-se ao lado do futuro prédio do refeitório do campus e bem próximo às margens do Canal São Gonçalo (Figura 10), importante elemento do sistema hídrico da região, pois faz a ligação das Lagoas Mirim e dos Patos, e onde localiza-se o Porto da cidade de Pelotas.

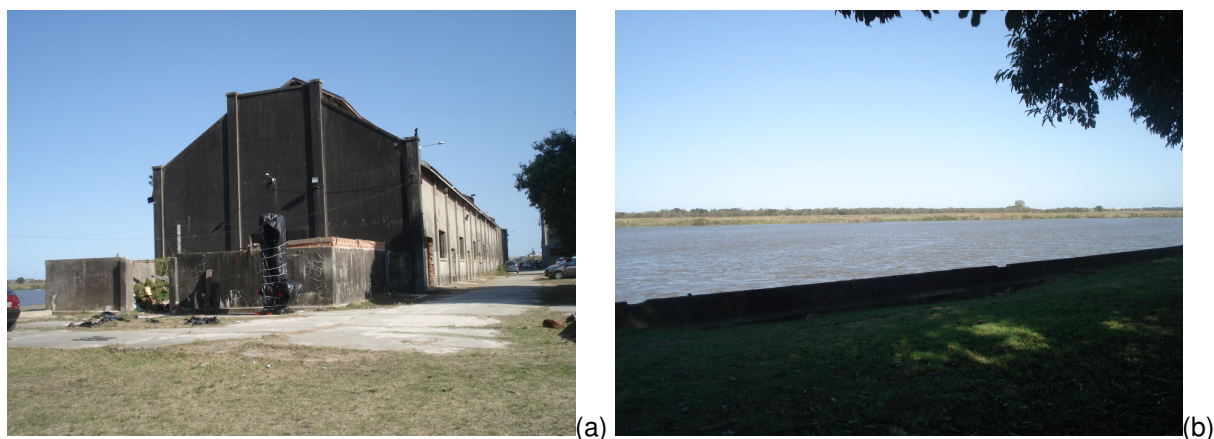


Figura 10: Futuro prédio do refeitório (a); Canal São Gonçalo (b).

Por ser um terreno sem grandes obstruções no entorno, esta área favorece o conceito primordial do projeto: a busca das estratégias passivas de conforto, pois possui grande potencial para o aproveitamento da energia solar e para aplicação da ventilação cruzada, conforme é possível observar-se nas Figura 11 e Figura 12.

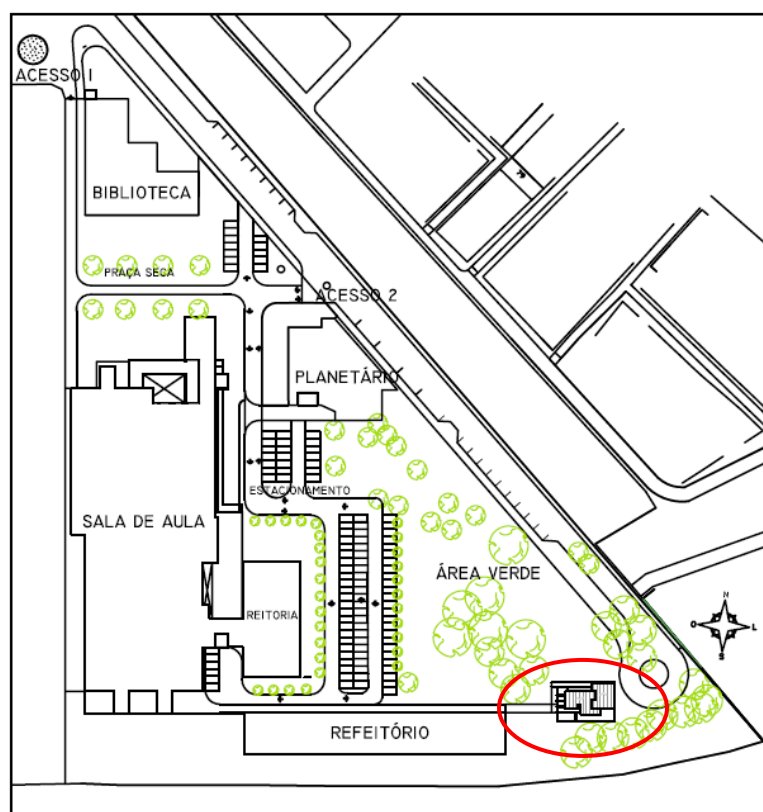


Figura 11: Implantação do Campus Porto - UFPel.



Figura 12: Vista oeste do terreno (a); Vista sul do terreno (b).

A vegetação existente no entorno, de porte médio, mostrada na Figura 13, será mantida. Localizada ao sul e sudeste da implantação do protótipo, favorece a proteção dos ventos de inverno vindos do sul, do Canal São Gonçalo, tradicionalmente conhecidos na região por sua intensidade. Existe também vegetação a nordeste, que segundo os dados climáticos das últimas normais climatológicas de Pelotas, é o quadrante do vento predominante dos meses de julho, agosto e setembro.

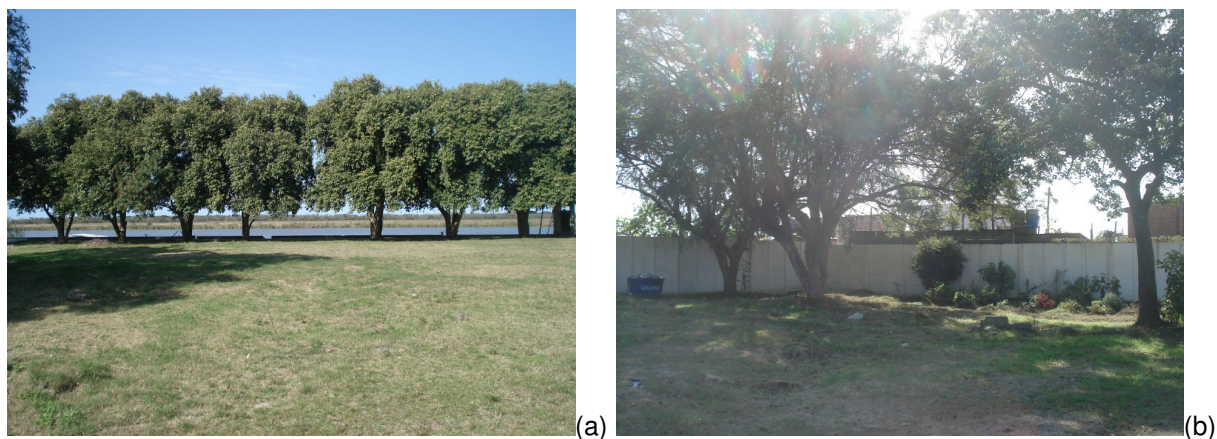


Figura 13: Vegetação no sul do terreno, ao fundo o canal (a); Vegetação a nordeste (b).

4.2 O Programa

Com aproximadamente 200,00 m² de área construída total, o programa de necessidades do protótipo contempla ambientes de uma residência unifamiliar para uma família de quatro pessoas, com dois dormitórios, sala de estar/jantar, cozinha, área de serviço e um banheiro. Integrado à sala, o espaço do jardim de inverno poderá ser utilizado também como varanda no verão, com a esquadria totalmente aberta.

O programa possui ainda um mezanino com acesso restrito ao público visitante. Este espaço configura-se em área para uso como laboratório de pesquisa para futuras medições que sejam realizadas no protótipo. Numa residência unifamiliar este espaço seria um local para estudo (escritório).

4.3 O Projeto Arquitetônico – Aplicação das Estratégias Bioclimáticas

A partir dos dados compilados e analisados no capítulo anterior, tem-se a indicação das estratégias bioclimáticas para aquecimento e resfriamento da edificação que nortearam o desenvolvimento do projeto arquitetônico.

4.3.1 Estratégias de Aquecimento

Em se tratando de estratégias de aquecimento, fundamentais no período de inverno para as características climáticas locais, o aquecimento solar da edificação é imprescindível e recomendado por todas as fontes pesquisadas.

Este aquecimento é possível através da captação da radiação solar e, desta forma, a orientação norte se mostra sempre favorável em razão de receber a maior quantidade de radiação solar no solstício de inverno, quando esta é desejada, e a menor quantidade de radiação solar no solstício de verão, quando esta não é desejada.

Quanto a recomendações para a questão da solução formal do desenho do projeto arquitetônico, estas aparecem claramente apenas nas Planilhas de Mahoney (KOENIGSBERGER *et al.*, 1973), onde são recomendados aspectos como o traçado, o espaçamento e o movimento do ar.

A questão do traçado influencia diretamente no lançamento do partido arquitetônico, sendo fundamental levar-se em consideração a recomendação de edifícios orientados sobre o eixo leste-oeste, resultando, assim, em partido de forma alongada em planta com panos de fachadas maiores voltados principalmente para a orientação norte, para a captação da radiação solar no inverno, e planos menores nas fachadas leste e principalmente oeste, que beneficiem a redução dos ganhos solares indesejáveis do verão.

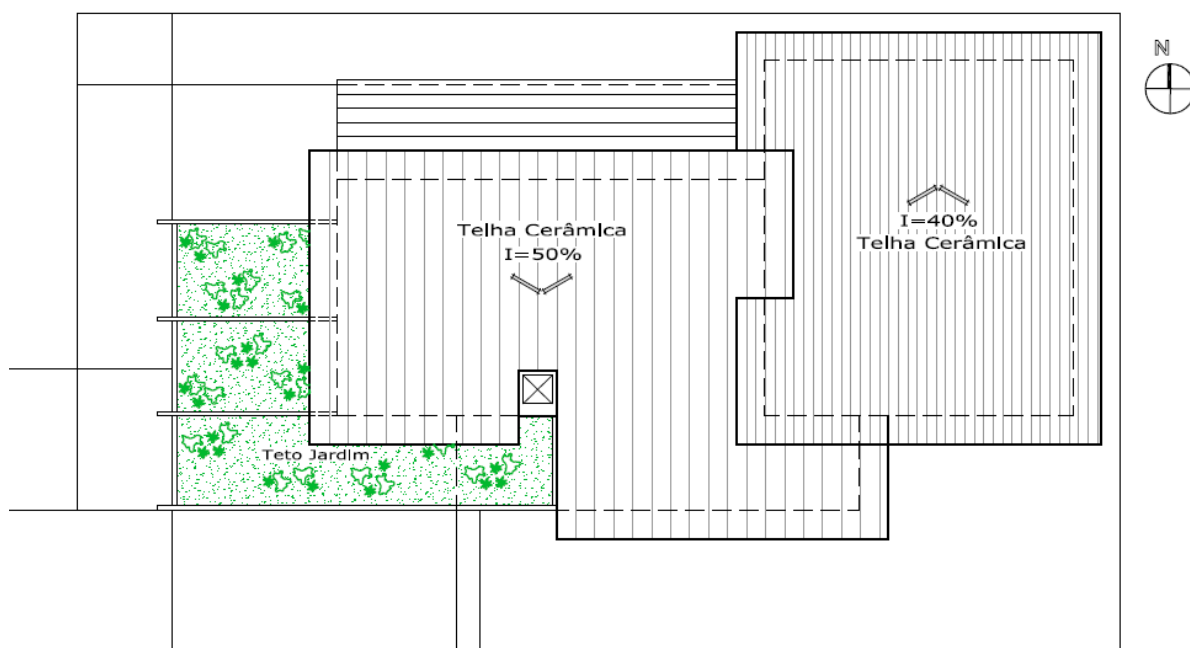


Figura 14: Planta de Cobertura do projeto.

Respeitando esta premissa básica para locais de grande variação climática, em conjunto com a solução funcional, partiu-se para o lançamento do partido arquitetônico e os primeiros estudos preliminares do volume da edificação.

Na definição da solução funcional e da disposição dos ambientes e seus usos em planta no projeto arquitetônico, a busca do aquecimento solar da edificação também foi fator determinante, onde privilegiou-se a localização dos compartimentos de permanência prolongada, quartos e sala voltados para orientação norte, utilizando ainda os ambientes de serviço como barreira térmica na orientação sul, conforme Figura 15.

Desde o princípio defendeu-se o conceito de trabalhar com dois volumes distintos em uma organização aglomerada, configurando uma composição assimétrica, sendo o volume principal destacado em razão de sua dimensão.

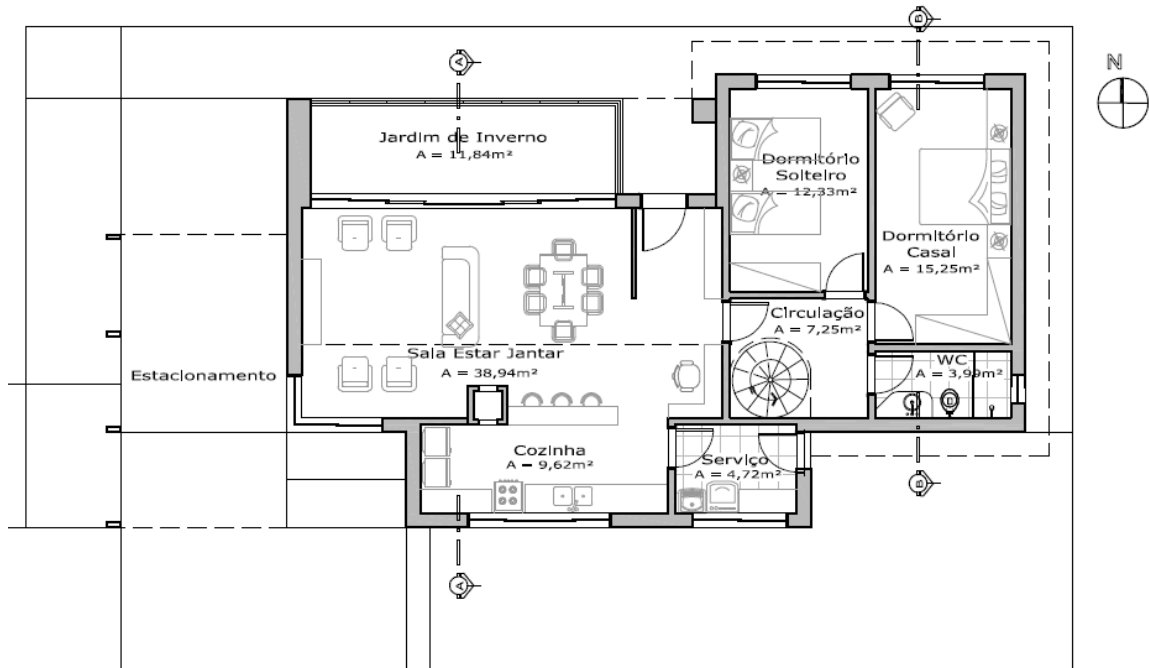


Figura 15: Planta Baixa do pavimento térreo do projeto.

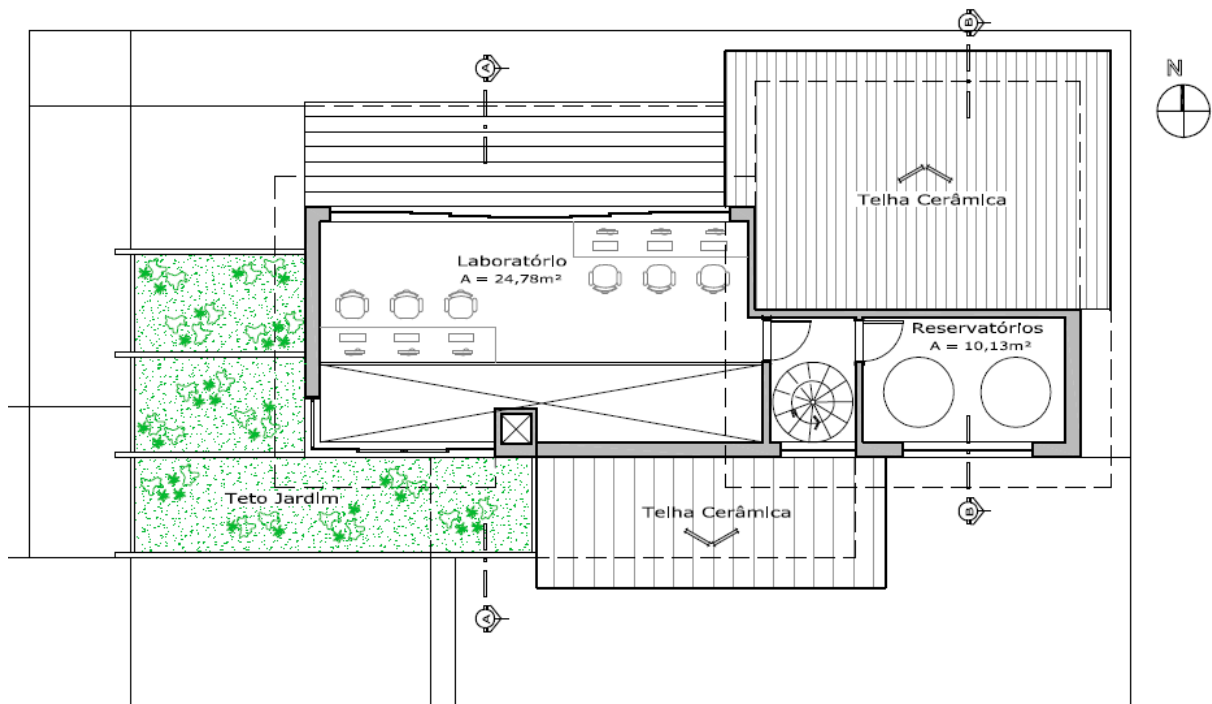


Figura 16: Planta Baixa do pavimento superior do projeto.

Considerando-se então a forma em planta recomendada com planos de fachadas maiores nas orientações norte e sul, evidenciou-se a necessidade, em contrapartida, de buscar uma solução para minimizar a área do plano voltado para o sul, a fim de diminuir as perdas em razão da ausência de radiação solar direta recebida no inverno, e também proteger dos ventos vindos deste quadrante, intensos nesta estação, recomendação esta existente tanto nas Planilhas de Mahoney (KOENIGSBERGER *et al.*, 1973), como na NBR 15220 (ABNT, 2005).

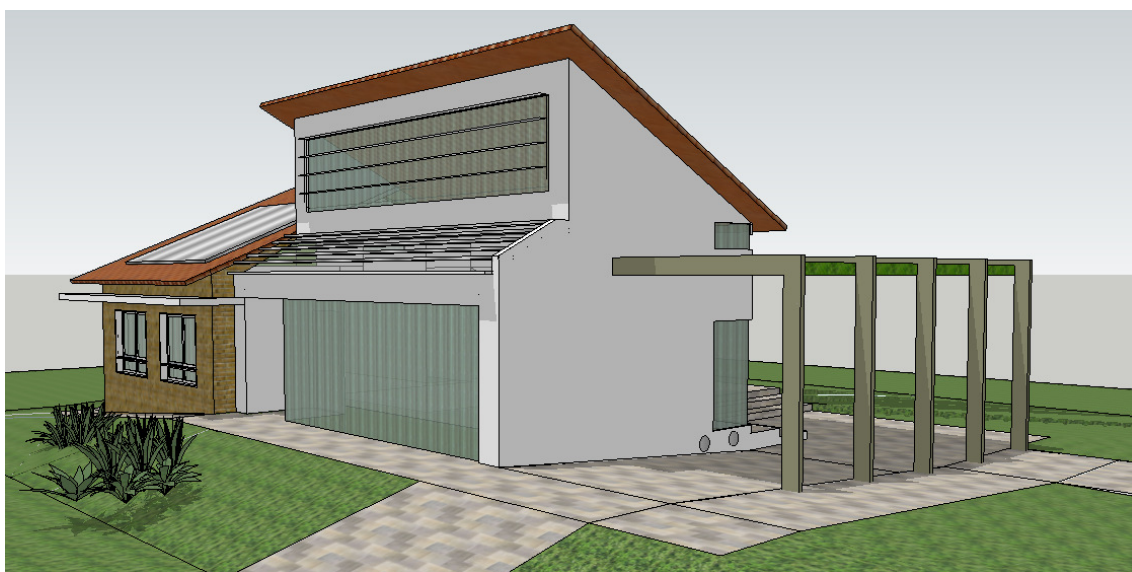


Figura 17: Perspectiva noroeste do projeto.

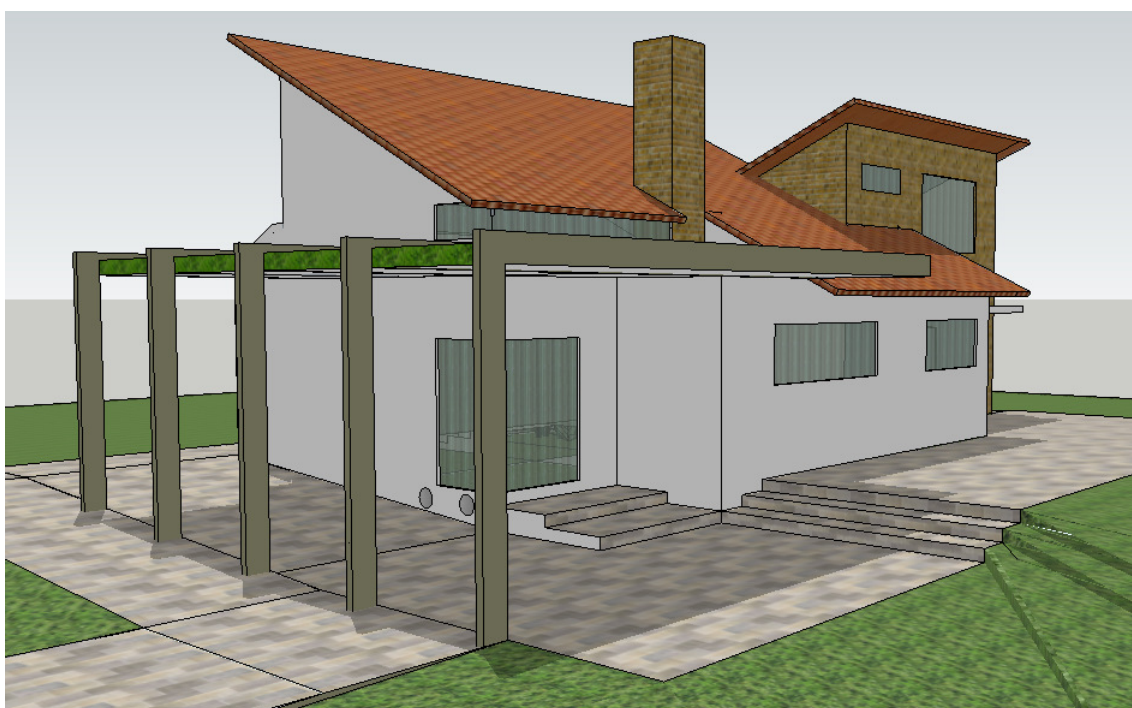


Figura 18: Perspectiva sudoeste do projeto.

A proposta do volume principal com pé direito duplo e mezanino, e a inclinação desta cobertura para o sul possibilitaram a resolução desta questão. O volume secundário com inclinação do telhado oposta, voltada para a orientação norte, foi projetado para receber as placas solares e já possuir a altura suficiente para localizar os reservatórios superiores instalados sobre o banheiro.



Figura 19: Perspectiva nordeste do projeto.



Figura 20: Perspectiva sudeste do projeto.

O volume do jardim de inverno, também chamado por outros autores de solário e invernadeiro, localizado em frente à sala na orientação norte, possui como

característica ser um espaço fechado com cobertura e parede translúcidas. É uma opção arquitetônica para o aproveitamento da radiação solar, projetado com o intuito de captar a máxima energia solar para aquecimento no inverno. Em contrapartida, possui abertura quase total de sua esquadria, que ocupa praticamente toda sua fachada norte, para no verão permitir a ventilação natural do ambiente.

Este ambiente possui cobertura de vidro, sobreposta por brises móveis de alumínio que permitem variar a inclinação de acordo com a intenção de receber radiação ou não. No inverno, no período diurno, ficando abertos, paralelos aos raios solares, e no verão, ficando fechados, tornando a cobertura totalmente opaca. Foi previsto, também, um sistema de ganho solar indireto que utiliza a parede entre o jardim de inverno e a sala, a qual funciona como parede *trombe*, que se trata de uma parede de acumulação em alvenaria.

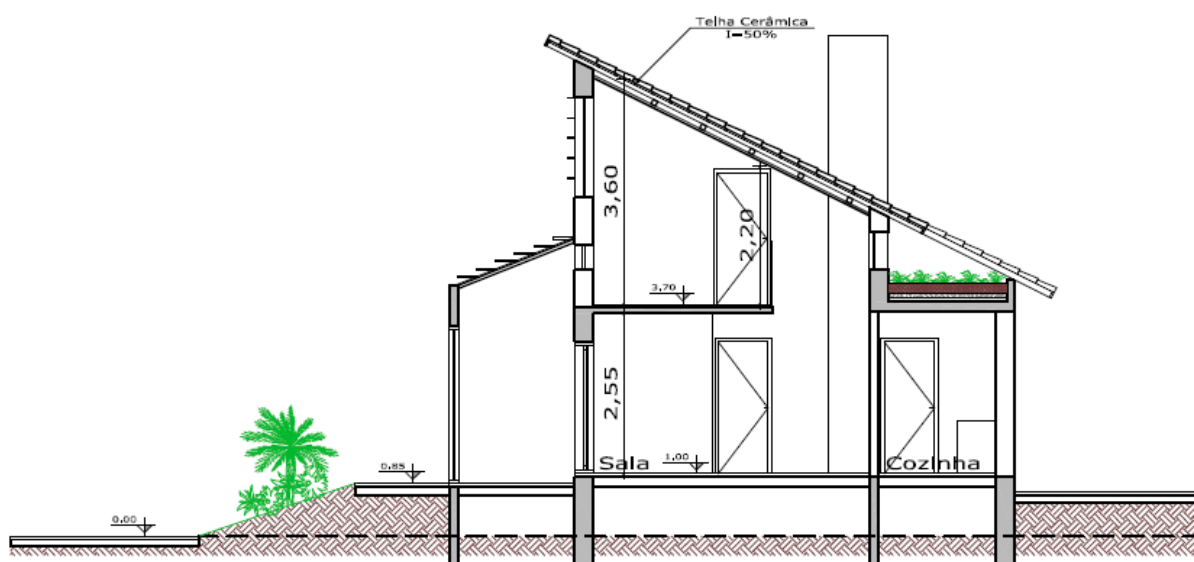


Figura 21: Corte AA do projeto.

A parede *trombe* funciona recebendo a radiação solar através do vidro da cobertura do jardim de inverno, a qual aquece esta parede de acúmulo térmico, que por sua vez aquece o recinto transferindo o calor por condução. A taxa de transferência térmica através da parede depende dos materiais e da espessura desta (BROWN, 2004).

No projeto a área de parede acima da abertura da sala, que possui esta função de acumulação, foi proposta escura, na cor preta o que aumenta sua função absorptiva. Para promover a circulação do ar aquecido pela parede de acumulação,

que recebe diretamente os raios solares, existem venezianas para passagem do ar quente para o mezanino próximo a cobertura de vidro do jardim de inverno.

As aberturas da edificação configuram-se em elementos importantes em locais de grande variação climática por influenciarem na busca das estratégias tanto de aquecimento como de resfriamento, limitando as trocas de calor e permitindo captar a radiação solar no inverno e possibilitar a ventilação natural no verão. Para isso precisam estar projetadas de forma a atender esta flexibilidade.

Pelas mesmas razões apresentadas anteriormente, para atendimento da estratégia de aquecimento as aberturas dos dois dormitórios, bem como a da sala estão voltadas para a orientação norte.

A carga térmica ingressa no ambiente através da radiação solar que passa pelas aberturas e é absorvida pelas superfícies internas do ambiente, convertendo-se em energia térmica. Estas superfícies aquecem outras superfícies internas através da radiação infravermelha emitida (calor) e por convecção o ar que está em contato com estas superfícies (PAPST, 2006).

É importante ainda, para a eficiência da massa térmica interna, que as aberturas possuam grande resistência térmica para evitar a perda de calor armazenado no interior da edificação para o meio externo à noite no inverno. Esta resistência térmica é obtida por meio da garantia da estanqueidade das aberturas e possibilidade do isolamento noturno.

No projeto foi proposta a utilização de venezianas com paletas móveis nas aberturas dos dormitórios, as quais podem ser fechadas exercendo esta função de proporcionar a resistência térmica necessária, semelhante à utilização de postigos internos, muito comuns nas edificações antigas da região.

Apesar de não existir recomendações quanto ao tamanho das aberturas para as diferentes orientações, sabe-se que a fachada sul deve receber aberturas menores, em virtude dos ventos e da ausência de incidência de radiação solar no inverno, o que no projeto é atendido em virtude das janelas de serviço, da cozinha e área de serviço possuírem peitoril mais alto e serem menores.

Conforme as fontes pesquisadas, sabe-se que apesar do máximo aproveitamento das estratégias bioclimáticas passivas de condicionamento, ainda

assim, na zona bioclimática 2 é necessário o uso de aquecimento artificial no período de inverno para atender às condições de conforto no interior da edificação.

As edificações com esta necessidade de aquecimento podem aproveitar algumas fontes de calor como centrais de calefação, a exemplo das casas tradicionais de New England, EUA, que muitas vezes tinham seus recintos organizados ao redor de uma lareira central usada para o cozimento de alimentos, buscando distribuir seu calor (BROWN, 2004).

Com base nesta premissa, e na questão da busca da eficiência energética em edificações residenciais, que também norteia este trabalho, foi previsto para o protótipo a utilização de um “equipamento” desenvolvido pelo NORIE/UFRGS. Trata-se de um aquecedor multifuncional que agrega as funções de lareira, aquecedor de ambiente, aquecedor de água, forno e fogão. Tem como características o baixo custo, a utilização de uma fonte energética renovável e ser compacto e de simples construção, aproveitando ao máximo o calor gerado (KUHN *et al.*, 2007).

O equipamento foi projetado no centro da edificação, servindo como fonte de calor central para aquecimento do ambiente, localizado na parede que divide o ambiente das salas e a cozinha, conforme Figura 22, utilizando a função de lareira voltada para sala e as funções de forno e fogão que se encontram na face oposta da lareira do equipamento voltadas para a cozinha.

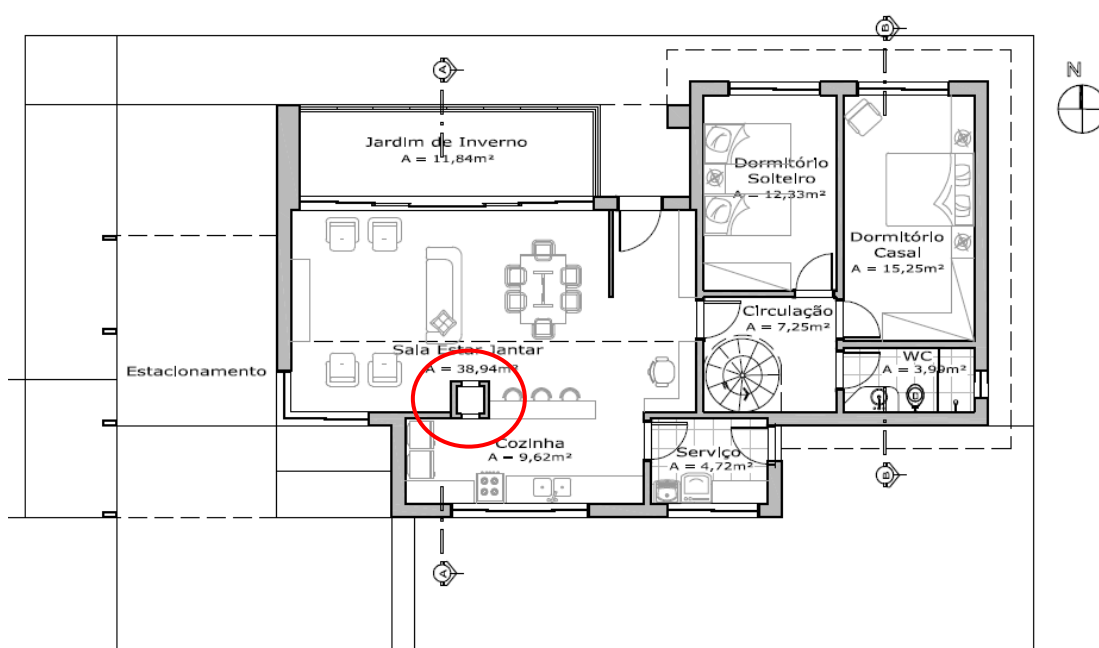


Figura 22: Localização da lareira (aquecedor multifuncional) no projeto.

Segundo KUHN *et al.* (2007) no equipamento foi proposto o fechamento da boca da fornalha para diminuir as perdas de calor que ocorrem em lareiras convencionais sem fechamento. Ainda, para o aumento da eficiência foram criadas câmaras laterais de ar, entre a parede externa do aquecedor e as chamas, inserindo-se uma chapa metálica intermediária, o que possibilitou promover o aquecimento do recinto por radiação e por convecção.

O ciclo do calor é iniciado através da combustão de lenha na lareira. A liberação desse calor para o ambiente ocorre pela radiação direta do calor através do vidro da porta de fechamento da fornalha, pela radiação do calor absorvido pelas superfícies opacas, como as alvenarias e lajes e, por último, o fogo aquece as chapas metálicas, que por sua vez esquentam o ar da câmara, gerando movimento convectivo, que succiona o ar frio do recinto pelas aberturas inferiores e libera ar aquecido pelas superiores (KUHN *et al.*, 2007).

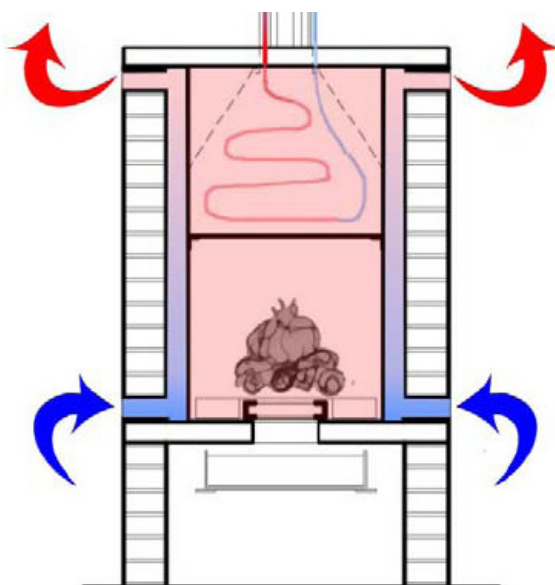


Figura 23: Esquema de funcionamento do aquecedor multifuncional.

Fonte: KUHN *et al.*, 2007.

A função de aquecimento de água não será detalhada neste momento.

4.3.2 Estratégias de Resfriamento

O mecanismo de ventilação natural, a partir da ventilação cruzada principalmente, configura-se na principal estratégia de resfriamento para o período de verão, sendo recomendada pelas três fontes pesquisadas.

Segundo BROWN (2004), a ventilação cruzada é uma forma de resfriamento particularmente valiosa porque ela não só remove o calor do recinto, como também melhora a sensação térmica ao elevar os níveis de evaporação das pessoas.

Sendo assim, as aberturas são elementos construtivos fundamentais para o atendimento da estratégia de resfriamento.

Conforme as recomendações para ventilação natural, quanto ao tamanho, as aberturas devem ser médias, atendendo as proporções recomendadas que são de 20 a 40% da área de parede segundo as Planilhas de Mahoney (KOENIGSBERGER *et al.*, 1973) e 15 a 25% da área de piso segundo a NBR 15220 (ABNT, 2005).

No entanto, não fica claro em nenhuma das referências se esta porcentagem é referente à área total da abertura ou à área de ventilação efetiva desta. A Tabela 14 apresenta as áreas efetivas de ventilação das janelas e a porcentagem entre elas e as áreas de piso e parede.

Tabela 14: Áreas efetivas de ventilação em relação área do piso e da parede.

Ambiente	Área de piso (m²)	Área de parede (m²)	Área efetiva ventilação (m²)	Percentual da área de piso (%)	Percentual da área de parede (%)
Sala de estar/jantar	38,94	23,85	9,87	25,3%	41,4%
Dormitório de casal	15,25	7,84	1,60	10,5%	20,4%
Dormitório de solteiro	12,33	7,98	1,60	13%	20%
Cozinha	9,62	14,30	1,35	14%	9,4%
Área de serviço	4,72	7,01	0,90	19%	12,8%
Banheiro	3,99	3,85	0,54	13,5%	14%

É importante ressaltar que em locais de grande variação climática é necessário o controle desta ventilação para evitar os ganhos quando a temperatura externa é mais alta do que a temperatura interna no período de verão.

No projeto as venezianas móveis propostas nas aberturas dos dormitórios permitem a ventilação diurna e, principalmente, noturna quando as temperaturas externas baixam em relação à temperatura do dia e possibilitam ainda o bloqueio da radiação solar indesejada no período mais quente.

No clima temperado, o movimento do ar é muitas vezes fraco à noite e, neste caso, a ventilação por efeito chaminé assume uma importante função complementar. Esta depende da altura entre as tomadas e saídas de ar, e é maximizada através de recintos com grandes pés-direitos (BROWN, 2004).

Em virtude disto foi projetado o pé-direito duplo do volume principal para possibilitar as diferenças de altura das aberturas e proporcionar este efeito chaminé, beneficiando a ventilação nos ambientes da sala, cozinha e mezanino integrados.

Nos dormitórios a ventilação cruzada é proporcionada pelas janelas externas em conjunto com as portas internas, as quais possuem bandeiras ventiláveis para possibilitar esta ventilação cruzada mesmo se as portas estiverem fechadas quando os dormitórios estão sendo utilizados, por questões de privacidade. Uma saída de ar quente no segundo andar da circulação, acima da escada, completa o mecanismo. As janelas dos dormitórios possuem abertura na altura do peitoril para favorecer a diferença de altura de entrada e saída de ar e ao mesmo tempo permitir a incidência de ventilação na zona de ocupação.

O sombreamento das aberturas, mencionado nas fontes pesquisadas, é outra estratégia de resfriamento importante para o período de verão. No entanto, o projeto dos protetores solares deve ser desenvolvido levando-se em consideração a necessidade de que este protetor permita a incidência da radiação solar no interior da edificação no período de inverno, recomendação comentada na NBR 15220 (ABNT, 2005).

Nas aberturas da fachada norte, nos dormitórios, foi projetado protetor horizontal fixo contínuo, com largura de setenta centímetros, localizado trinta centímetros acima da janela, com ângulo em relação ao plano horizontal de 70°, conforme observa-se na Figura 24.

Os protetores foram simulados no *software SunTool* de propriedade da Autodesk, o qual disponibiliza o sombreamento proporcionado pelo protetor com a máscara de sombra de eficiência total plotada na carta solar para a latitude de Pelotas-RS, bem como valores de porcentagem de sombreamento para cada mês do ano para este local.

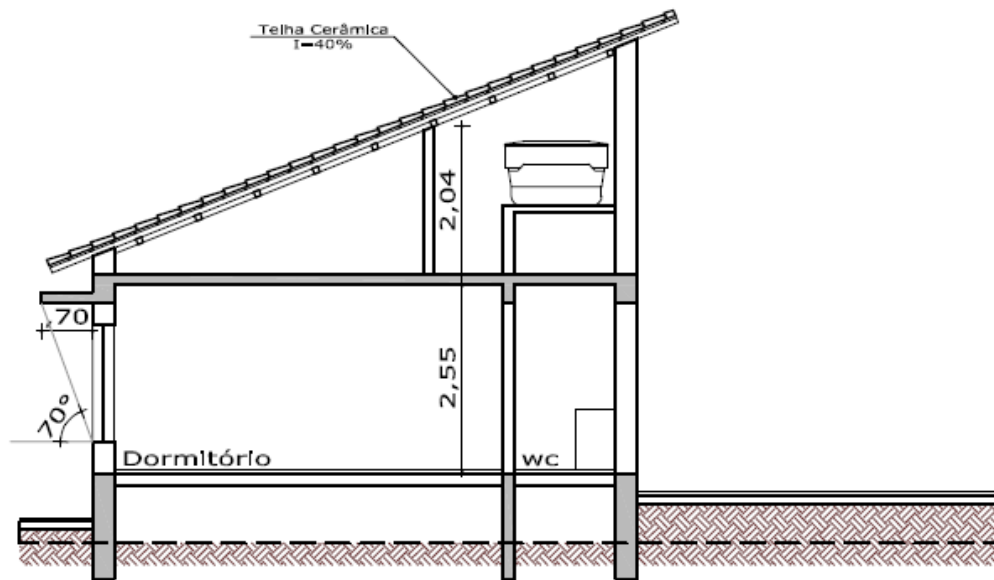


Figura 24: Corte BB do projeto.

O período definido para eficiência total do brise (sombreamento de toda a janela) foi de outubro a fevereiro das 9h às 15h, conforme a Figura 25. Este intervalo atende ao período mais quente do ano e do dia. Caso a incidência de radiação durante o mês de março ou setembro gere desconforto, há a possibilidade de sombreamento das aberturas através do posicionamento das venezianas móveis.

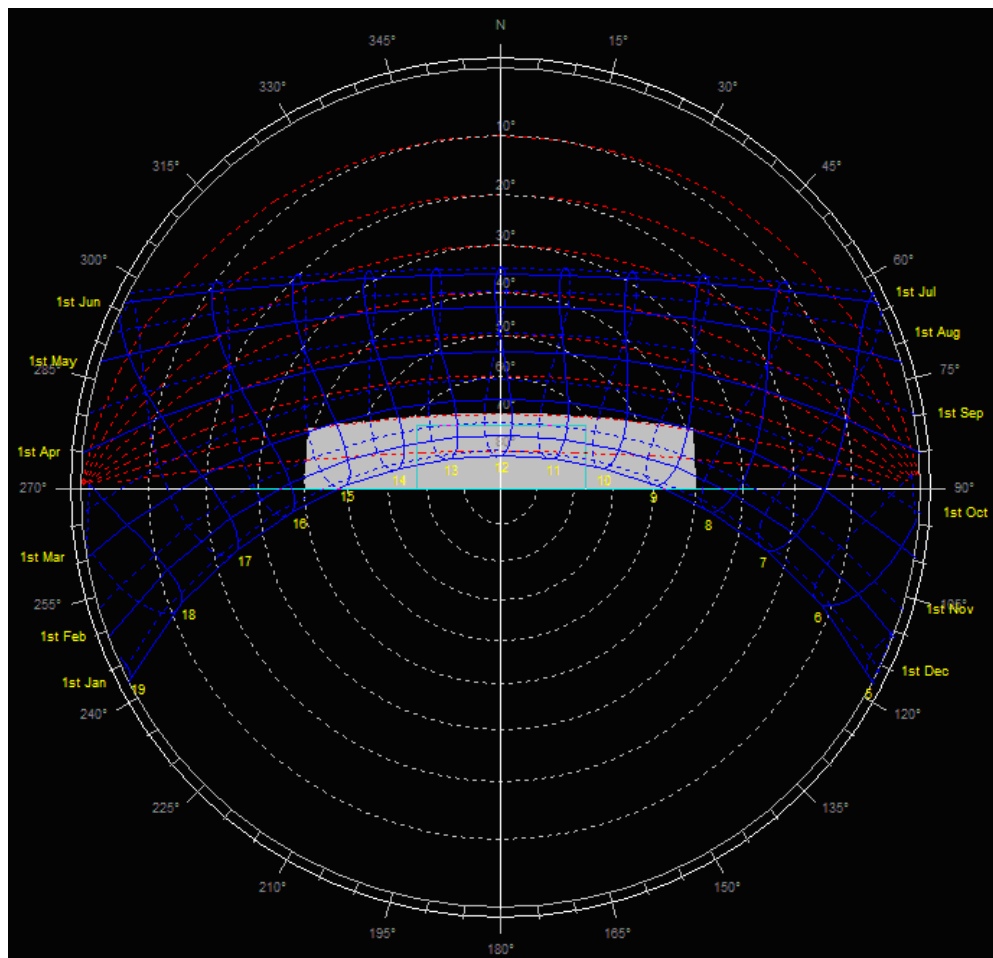


Figura 25: Carta Solar de Pelotas com máscara de sombra de eficiência total.

Effective Shading Coefficients			
Latitude: -32.0°			
Longitude: -52.0°			
Timezone: -52.5° [-3.5hrs]			
Orientation: 0.0°			
Month	Avg.SC	Max.SC	Min.SC
January	99.9%	100.0%	99.0%
February	88.2%	100.0%	43.0%
March	40.3%	55.0%	0.0%
April	15.7%	25.0%	0.0%
May	7.5%	15.0%	0.0%
June	5.2%	12.0%	0.0%
July	7.8%	15.0%	0.0%
August	16.7%	30.0%	0.0%
September	47.1%	70.0%	0.0%
October	96.9%	100.0%	83.0%
November	100.0%	100.0%	100.0%
December	100.0%	100.0%	100.0%
Summer	96.1%	100.0%	80.7%
Winter	6.8%	14.0%	0.0%
Annual	52.1%	60.2%	35.4%

Figura 26: Percentual de sombreamento mensal dado pelo *SunTool*.

A janela do mezanino possui protetores horizontais paralelos, configurados por cinco aletas finas de onze centímetros de largura, espaçadas a cada trinta centímetros, também com ângulo em relação ao plano horizontal de 70°.

As paredes externas devem ser leves com baixa capacidade calorífica, o que significa paredes que não acumulem calor, o qual posteriormente seria transmitido para o interior da edificação, pois a carga térmica proveniente da radiação solar ingressa no ambiente pelas paredes externas que absorvem a radiação solar, que aumenta a temperatura desta superfície e por condução vai aquecendo até a parte interna da parede.

No projeto, no caso base foram propostas alvenarias de tijolos cerâmicos de 6 furos quadrados, assentados na menor dimensão, rebocadas em ambas as faces, com espessura final da parede de 14cm no volume principal de pé-direito duplo. O volume dos dormitórios foi proposto com alvenarias deste mesmo tijolo cerâmico, porém não rebocadas, deixando o tijolo à vista.

As paredes internas devem ser pesadas, com alta inércia térmica em razão da capacidade de armazenar calor no interior da edificação. Por esta razão optou-se por utilizar tijolos maciços com espessura de 10 cm, rebocados em ambas as faces, resultando em uma parede de 15 centímetros de espessura final.

Segundo PAPST (1999), a necessidade de grande inércia térmica aumenta quanto maior a variação da temperatura externa, radiação solar e/ou ganhos de

calor. A razão entre o calor absorvido e o calor armazenado nos materiais da edificação dependem da capacidade térmica do material.

As coberturas, assim como as paredes externas, devem ser leves e receber isolamento, influenciando nas estratégias tanto de aquecimento, como de resfriamento, para diminuir as trocas com o ambiente externo. Ou seja, no inverno não perderem calor armazenado no interior da edificação, quando a temperatura externa é inferior, e no verão terem maior resistência aos ganhos de calor, frente à maior exposição da cobertura a radiação solar.

No projeto arquitetônico, na cobertura do volume de pé-direito duplo, foi proposta no caso base cobertura de telha de barro com isolamento de 5cm de lã de rocha sobre o forro de madeira inclinado. Já a cobertura do volume dos quartos, também de telha de barro, possui laje plana de concreto de 10 cm de espessura, com o mesmo isolamento.

Parte da cobertura da cozinha que segue e configura o pergolado lateral à edificação para proteção do veículo é um telhado vegetado que acima da laje possui as camadas de impermeabilização, drenagem (agregados graúdos), substrato (solo, resíduos agrícolas) e a vegetação (plantas rasteiras e suculentas).

Esta cobertura do pergolado tem por objetivo no projeto sombrear parte da fachada oeste, a qual recebe muita radiação solar indesejada no verão, tirando partido das funções biológicas das plantas que são responsáveis pela absorção de uma proporção da radiação solar incidente, gerando o resfriamento passivo da cobertura.

No projeto, toda edificação foi elevada um metro do solo, em razão da grande umidade proveniente do solo na região, principalmente pelo fato de estar tão próxima ao canal São Gonçalo. Este porão possui aberturas que permitem a sua ventilação e, desta forma, proporcionar perda de calor pelo piso no período de verão.

As aberturas para ventilação do porão estão localizadas nas fachadas leste e oeste, evitando, assim, ventos frios intensos de inverno vindos do sul, existindo, porém, a possibilidade de fechamento destas aberturas quando desejado.

5 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO PROJETO ARQUITETÔNICO

5.1 Programas de Simulação

As primeiras ferramentas computacionais para simulação de edificações foram desenvolvidas ainda na década de 70. Em seguida, foram desenvolvidas nos Estados Unidos algumas ferramentas utilizadas até hoje, entre elas o BLAST e o DOE-2, os quais, já na década de 90, tiveram seus principais recursos adotados pelo *EnergyPlus* (MENDES *et al.*, 2005).

O programa computacional de simulação térmica e energética *EnergyPlus*, desenvolvido pelo *Lawrence Berkeley National Laboratory* em sociedade com outros laboratórios para o Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE) é um dos programas mais confiáveis e utilizados no mundo atualmente, pois opera de acordo com as normas ASHRAE 90.1 (1999) e ASHRAE 140 (2004), exigência contida no RTQ-C (2010) e RTQ-R (2010).

Segundo PEREIRA e GHISI (2008), o *EnergyPlus* é capaz de estimar trocas térmicas, índices de iluminação e consumo energético de edifícios, a partir da modelagem física do edifício e seus sistemas de ventilação, iluminação, aquecimento e resfriamento.

Possui também recursos que permitem simular o gerenciamento das potencialidades do projeto arquitetônico a partir do acionamento automático de alguns dispositivos passivos (janelas, cortinas, protetores solares), através de padrões de uso e valores de variáveis ambientais internas e externas.

No entanto, apesar de sua disseminação no meio da simulação computacional térmica e energética, é mencionada também a sua interface pouco amigável (MENDES *et al.*, 2005).

Atualmente o *EnergyPlus* possui um *plug-in* para o programa *SketchUp* do *Google* de modo a facilitar a inserção de modelos para simulação através deste *software* de modelagem 3D. Além deste *plug-in* com o *SketchUp*, existem outros programas que fazem a interface com o *EnergyPlus* para otimizar a utilização do usuário para diferentes objetivos (ENERGYPLUS, 2011).

Neste trabalho optou-se pela utilização do software *DesignBuilder* como interface do programa *EnergyPlus*, pois permite uma rápida e fácil introdução de geometrias e oferece um conjunto de ferramentas que tornam mais simples a modelagem de edifícios (MARTINS *et al.*, 2009).

Nas simulações desta pesquisa foram utilizadas as versões *EnergyPlus* 6.0 e *DesignBuilder* 2.3.5.036. Ambos os programas atendem a ASHRAE 140 – *BEST TEST* (DESINGBUILDER, 2010).

Após definido o projeto arquitetônico, foi simulado primeiramente o caso base, configurado por materiais culturalmente mais utilizados na região, porém, com a preocupação específica com o conforto térmico e eficiência energética da edificação, proporcionados pelas propriedades dos materiais construtivos que compõe a envoltória.

Para a simulação foram utilizados os parâmetros e padrões especificados pelo RTQ-R, Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (2010), os quais determinam a eficiência da envoltória pelo método de simulação a partir dos procedimentos para simulação da edificação tanto naturalmente ventilada, como condicionada artificialmente.

5.2 Dados Climáticos

Um dos problemas com que se defrontam as pesquisas na área de simulação computacional de desempenho térmico e energético de edificações é a inadequação dos dados climáticos disponíveis, uma vez que estes tradicionalmente são gerados para subsidiar o planejamento agrícola e não o ambiente construído.

Para utilização destes registros climáticos em *softwares* de simulação é necessária sua redução a séries numéricas digitalizadas, o que pode requerer um montante extraordinário de horas de trabalho (PEREIRA *et al.*, 2004).

Outro problema para a simulação é a falta de estações meteorológicas no território brasileiro que forneçam todos os dados necessários para compilar um arquivo climático. Segundo PEREIRA *et al.*, (2004) e CARLO (2005), a dificuldade está, principalmente, na falta de dados de radiação solar incidente, os quais nas estações são produzidos como número de horas de insolação, dado este insuficiente para avaliação do ambiente construído.

Soma-se a isto o fato de a localização destas estações meteorológicas ser, em sua maioria, em aeroportos ou outros locais distantes da zona urbana o que resulta em uma imprecisão por não registrar os efeitos da cidade no microclima e, conseqüentemente, no desempenho térmico de uma edificação (CARLO, 2005).

No sentido de mitigar alguns destes problemas, foram desenvolvidas metodologias de tratamento de dados climáticos, que são utilizadas para revisão e correção destes, como, por exemplo, ajustes de modelos para estimativa de dados de radiação e compilação de arquivos em formatos compatíveis com os programas computacionais de simulação de desempenho térmico.

O TRY (*Test Reference Year*), traduzido como Ano Climático de Referência, utilizado em simulações de eficiência energética, resulta de uma série de dados climáticos tratados por metodologia específica. O procedimento utilizado para selecionar o ano climático para um local específico é baseado na eliminação de anos os quais contém temperaturas médias mensais extremas (altas ou baixas), até permanecer um ano somente (GOULART, 1993).

Outra metodologia de tratamento de dados resulta na criação de um TMY (*Teste Meteorological Year*), que se trata de uma ano climático que nunca existiu realmente, mas que apresenta uma compilação de meses sem extremos de temperatura provenientes de diferentes anos (CARLO, 2005).

O TRY ou TMY determinados por estes processos consistem em dados climáticos horários, sendo um total de 8.760 horas do ano, apresentados em formato padronizado que dão origem aos arquivos de extensões que servem de dados de entrada para programas de simulação de desempenho térmico e energético de edificações.

Para inserção no programa *EnergyPlus* a formatação dos dados TRY ou TMY resultam no arquivo de texto *EnergyPlus Weather File* (EPW), o qual consiste

num banco de dados meteorológicos separados por vírgulas. Possui como diferencial dos antigos formatos usados em programas como o DOE-2, a utilização das unidades no Sistema Internacional (SI) e a possibilidade de inserção de maior número de dados, como o de iluminância da abóbada celeste (PEREIRA *et al.*, 2004).

Segundo o pré-requisito específico do arquivo climático do método de simulação do RTQ-R (2010), os arquivos climáticos utilizados para simulações devem ser os disponibilizados pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos ou os publicados no sítio do Procel Info, em formatos como TRY e TMY, e devem fornecer valores horários para todos os parâmetros relevantes requeridos pelo programa de simulação.

Define, ainda, que os dados climáticos devem ser representativos da zona bioclimática de localização do projeto avaliado e, caso este local não possua arquivo climático, deve-se utilizar dados de uma região próxima com características climáticas semelhantes (RTQ-R, 2010).

No item do RTQ-R (2010) que descreve o procedimento para determinação da eficiência da envoltória pelo método prescritivo são mencionados exemplos de cidades de cada zona bioclimática para os cálculos das equações. Para a zona bioclimática 2, onde se situa Pelotas, o exemplo é a cidade de Santa Maria- RS, que possui um arquivo climático TMY.

Para as simulações deste trabalho, em virtude da falta da existência atualmente de um TMY ou TRY da cidade de Pelotas-RS, foi utilizado primeiramente este arquivo climático TMY de Santa Maria, o mesmo utilizado na formulação das diretrizes da zona bioclimática 2, no RTQ-C e RTQ-R. Estes dados foram utilizados para simulação do ano completo, dividido em período de inverno e de verão.

Para possibilitar uma avaliação em relação aos dados de temperatura externa de Pelotas, utilizou-se medições realizadas em monitoramento de protótipo no período de 2006 a 2008 por SILVA e GONÇALVES (2008) E SILVA e GONÇALVES (2010), as quais resultaram na compilação de dados horários de temperatura de todo ano de 2007.

Utilizando-se dados do INMET/ELETROBRAS (2010) da cidade de Santa Maria, fornecidos de 2001 a 2007, foi possível fazer uma comparação entre os

dados climáticos das cidades de Pelotas e Santa Maria, a partir de médias diárias reais medidas nas duas cidades nos meses críticos de verão e inverno do ano de 2007.

Nos meses de verão de janeiro e fevereiro de 2007 há um acompanhamento da variação da temperatura em ambas as cidades, o que corrobora os dados. No entanto, na maioria do período as temperaturas em Pelotas permanecem mais altas que as de Santa Maria, conforme é possível observar-se na Figura 27.

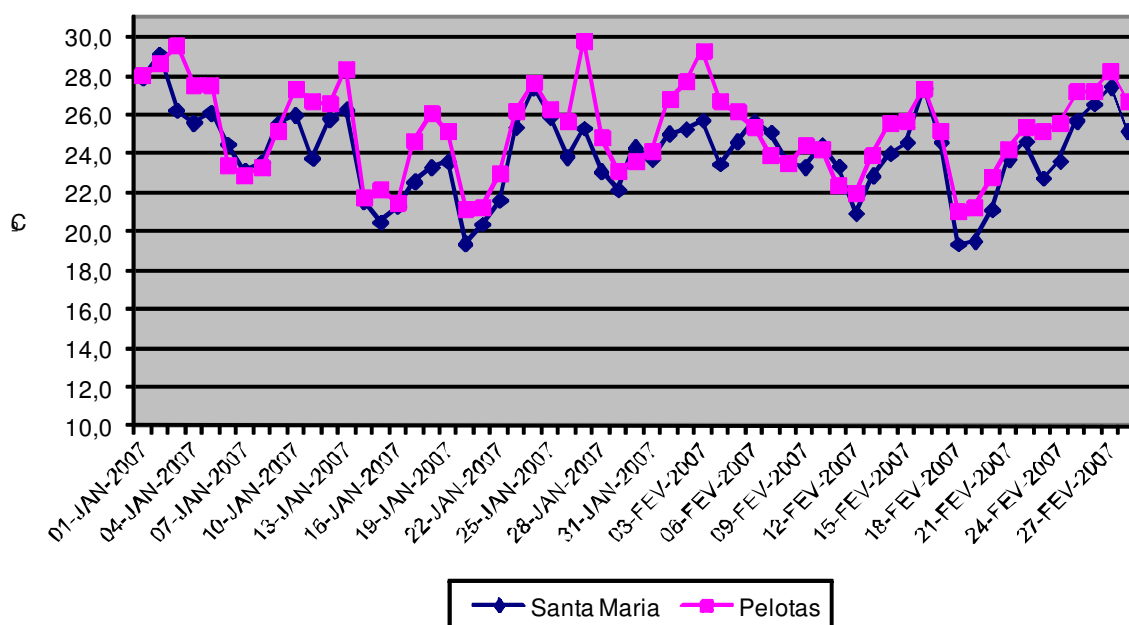


Figura 27: Médias Diárias de 2007 – Verão (jan-fev)

Nos meses de inverno de junho e julho de 2007, é possível constatar na Figura 28, o mesmo acompanhamento da variação das duas temperaturas, inclusive na ocorrência de picos de calor. Neste período as temperaturas mais baixas ocorrem em alguns dias em Pelotas e em outros em Santa Maria, ficando evidente que quando ocorreram picos de calor, em Pelotas a temperatura não aumentou tanto quanto em Santa Maria.

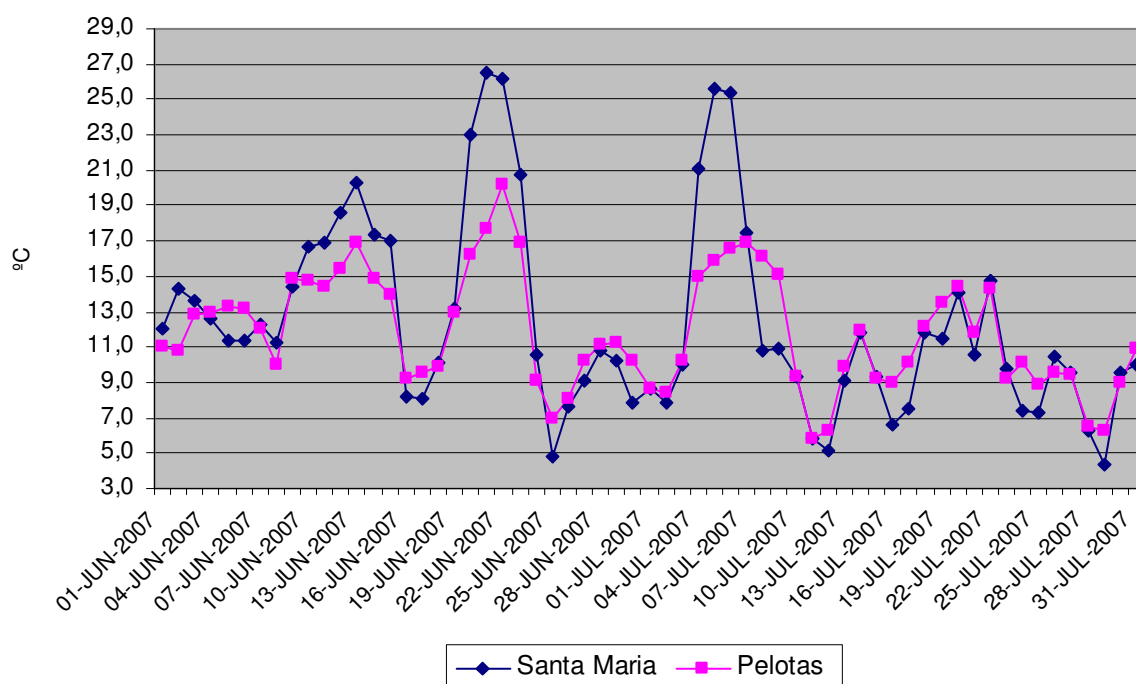


Figura 28: Médias Diárias de 2007 – Inverno (jun-jul)

Não havendo dados horários de qualquer outra cidade da zona bioclimática 2 atualmente, observou-se arquivos climáticos das zonas bioclimáticas 1 e 3 como opções para simular respectivamente as condições de inverno e verão.

Foram observados os dados climáticos de inverno da cidade de Curitiba-PR, localizada na zona bioclimática 1, zona esta com características climáticas mais frias que a zona bioclimática 2, o que é possível constatar a partir das estratégias bioclimáticas recomendadas pela NBR 15220 (ABNT, 2005b), que são as mesmas da zona de Pelotas, porém sem indicação de estratégia de condicionamento térmico passivo para o período de verão e principalmente pela equação do cálculo do equivalente numérico da envoltória no RTQ-R (2010), que para zona bioclimática 1 leva praticamente em consideração somente o equivalente numérico da envoltória para aquecimento.

Observando-se a Figura 29, a qual possui a comparação das temperaturas externas do TMY de Santa Maria, TMY de Curitiba e os dados climáticos de Pelotas de 2007, no período de inverno compreendido entre abril e setembro, é possível observar-se uma maior semelhança das variações de temperatura de Pelotas com as de Curitiba do que com o TMY de Santa Maria. O TMY de Santa Maria possui oscilações com vários picos de calor neste período de inverno.

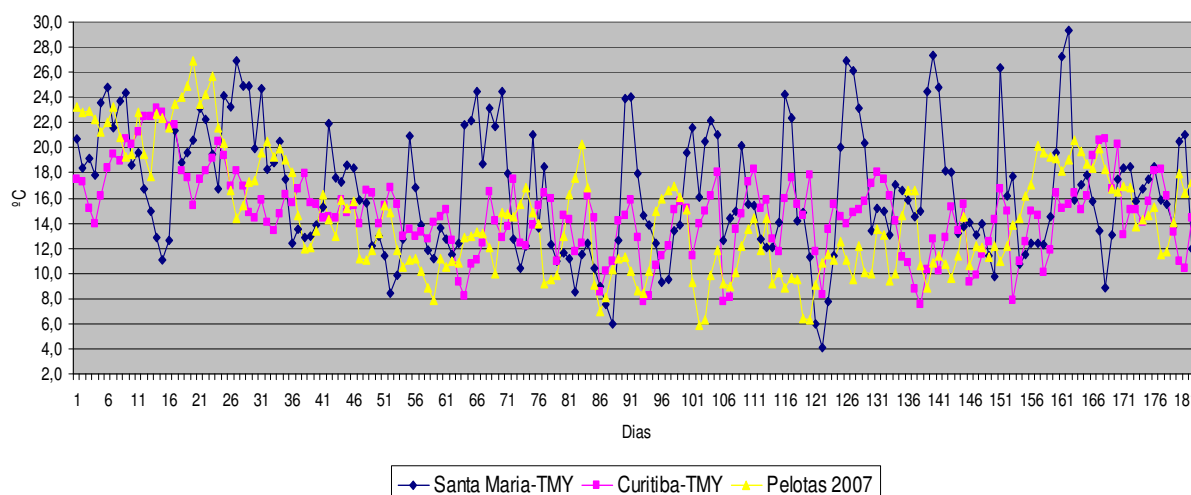


Figura 29: Médias Diárias – Inverno (abr-set)

Nesta mesma linha, foram observados os dados climáticos do período de verão de Florianópolis, localizada na zona bioclimática 3, com características climáticas mais quentes que a zona de Pelotas, pois segundo recomendações da NBR 15220 (ABNT, 2005b) não tem necessidade de aquecimento artificial em nenhum período do ano, e no RTQ-R (2010) a equação do cálculo do equivalente numérico da envoltória para zona bioclimática 3, o equivalente numérico da envoltória para resfriamento possui um peso maior que o equivalente numérico da envoltória para aquecimento.

Ao comparar-se as temperaturas externas do TMY de Santa Maria, TMY de Florianópolis e os dados climáticos de Pelotas de 2007, no período de verão compreendido entre outubro e março, existe uma maior coincidência nas variações dos dados das três cidades do que no período de inverno, conforme Figura 30.

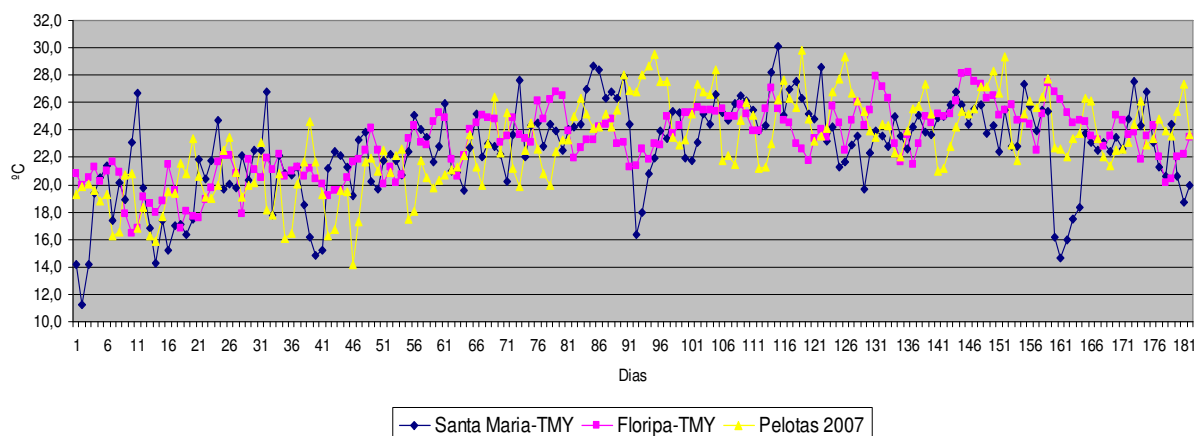


Figura 30: Médias Diárias – Verão (out-mar)

Com base nestas comparações optou-se por utilizar na metodologia, além da simulação com o TRY de Santa Maria, representativo da zona bioclimática 2, também utilizar-se o arquivo climático TMY de Curitiba para simular o período de inverno e o arquivo climático TMY de Florianópolis para simular o período de verão, em razão de suas maiores semelhanças reais com o clima de Pelotas, inverno e verão respectivamente, apesar de localizarem-se em outras zonas bioclimáticas.

5.3 Parâmetros de entrada da Simulação

5.3.1 Simulação da edificação naturalmente ventilada

5.3.1.1 Modelagem e controle do sistema de ventilação natural

Segundo o RTQ-R (2010) todos os ambientes da unidade habitacional que possuem aberturas para ventilação devem ser modelados no sistema de ventilação natural da edificação. O regulamento recomenda, também, um coeficiente de rugosidade do entorno baseado na *ASHRAE Handbook of Fundamentals* (2009) que deve ser de 0,33, o qual representa um terreno de centro urbano e recomenda que este valor seja utilizado na simulação mesmo que a edificação não esteja num centro urbano.

O coeficiente de descarga para janelas e portas retangulares deve ser de 0,60. O coeficiente do fluxo de ar por frestas deve ser de 0,001 kg/s.m e o expoente do fluxo de ar deve ser 0,65. (RTQ-R, 2010).

Segundo o RTQ-R, ainda, o padrão de uso da ventilação natural pode ser através da estratégia de controle automático, por temperatura ou por entalpia, e também através da opção de controlar a ventilação por períodos determinados, com base em padrões horários, sem especificar, no entanto, nenhum padrão a ser utilizado.

Foi utilizado para as janelas o controle automático por temperatura para abertura e fechamento destas, descritos no RTQ-R (2010) e por MARTINS *et al* (2009).

Trata-se de um padrão de uso da temperatura que controla a abertura das janelas pela combinação do *schedule* da janela e do *setpoint* para temperatura interna (T_{sp}), também chamada no RTQ-R de temperatura do termostato ($T_{\text{termostato}}$), em comparação com a temperatura interna (T_i) e temperatura externa (T_e).

Para resfriamento, no período do verão, quando a temperatura interna do ambiente (T_i) é igual ou superior ao *setpoint* (T_{sp}) e também quando a temperatura do ar interna é superior à temperatura externa (T_e), a abertura da janela é habilitada. Ou seja, estará aberta quando $T_i \geq T_{sp}$ e $T_i \geq T_e$ e o *schedule* da janela permitir a abertura. Estes *schedules* estão descritos conforme parâmetros a seguir.

Nas simulações do método prescritivo do RTQ-R foi utilizada temperatura de *setpoint* (termostato) de 20°C. MARTINS *et al* (2009) definiu esta temperatura em 25°C, a partir dos valores de PMV de Fanger calculados pelo programa, pois para os resultados obtidos frente aos valores inseridos e calculados verificou-se que quando a temperatura interna estava em torno de 25°C o PMV calculado pelo EnergyPlus tendia a zero.

Nas simulações deste trabalho foi usada a temperatura de *setpoint* utilizada no RTQ-R de 20°C para o período de verão.

Nas simulações, para avaliar o desempenho das aberturas para resfriamento da edificação, no período de verão, foi utilizada a automação das aberturas conforme simulações de MARTINS *et al*, (2009), descritas a seguir, observando-se, porém, que este padrão respeita o *setpoint* da temperatura, mencionado acima.

- venezianas das janelas dos dormitórios na orientação norte abertas das 8h às 20h, já que o protetor solar horizontal destas janelas não permite a entrada de radiação solar direta dentro da edificação;
- janelas norte dos dormitórios com possibilidade de abertura durante as 24 horas do dia;
- janela norte da sala com possibilidade de abertura das 8h às 20h, protegida pela projeção do jardim de inverno, com os brises de sua cobertura fechados, bloqueando a radiação solar;
- janela norte do jardim de inverno constantemente aberta, independentemente do controle automático.
- janela superior na orientação norte (mezanino) com possibilidade de abertura as 24 horas do dia para melhor circulação do ar interno, que embora não possua venezianas, é protegida da radiação solar por protetores solares horizontais paralelos;

- janelas sul da cozinha e área de serviço com possibilidade de abertura das 8h às 20h para promover melhor circulação de ar;
- janela sul acima da escada com função de saída de ar, com possibilidade de abertura durante as 24 horas do dia;
- janela leste do banheiro, do tipo pivotante, com possibilidade de abertura durante as 24 horas do dia;
- as portas internas dos dormitórios permanecem abertas dias de semana das 7h às 22h e fins de semana das 9h às 22h, conforme parâmetro de ocupação do RTQ-R (2010). No entanto, a bandeira destas portas, pivotante, permanece aberta durante as 24 horas do dia, para permitir a ventilação cruzada;
- as demais portas internas permanecem 100% abertas durante as 24 horas do dia, exceto a do banheiro que permanece sempre fechada;
- as portas externas permanecem fechadas durante todo período.

Para avaliar o desempenho das aberturas para aquecimento da edificação, no período de inverno, foi utilizada a temperatura de *setpoint* de 24 °C para

As portas internas foram consideradas constantemente fechadas neste período, assim como as aberturas para ventilação do porão.

As venezianas das janelas dos dormitórios na orientação norte no inverno foram mantidas abertas das 8h às 17hrs para receber a radiação solar.

Os brises móveis do jardim de inverno no período de inverno foram mantidos abertos das 7h às 17hrs também para receber a radiação solar.

5.3.1.2 Taxas de infiltração de ar

A NBR 15575, parte 1 (ABNT, 2004), estabelece nos seus procedimentos para avaliação do desempenho térmico, por meio de simulação computacional, uma taxa de ventilação do ambiente de uma renovação de ar por hora.

No entanto utilizou-se para a simulação da infiltração de ar no projeto o sistema “*AirflowNetwork*”, incorporado ao programa *EnergyPlus*, que simula a infiltração e calcula as trocas de ar do exterior com as zonas térmicas e entre as zonas (PEREIRA; GHISI, 2008). Este sistema também foi utilizado nas simulações de MATOS (2007).

5.3.1.3 Padrão de ocupação

Conforme o RTQ-R (2010), deve ser modelado um padrão de ocupação dos ambientes para os dias de semana e outro para os finais de semana, considerando-se como padrão mínimo duas pessoas por dormitório e a sala sendo utilizada por todos os usuários dos dormitórios.

Na tabela do RTQ-R (2010) a ocupação do ambiente é representada pela porcentagem de pessoas disponíveis no horário, a qual foi adaptada para a ocupação real do projeto resultando no padrão apresentado na Tabela 15.

Tabela 15: Padrão de ocupação para dias de semana e final de semana.

Hora	Dormitórios		Sala	
	Dias de Semana (pessoas)	Final de Semana (pessoas)	Dias de Semana (pessoas)	Final de Semana (pessoas)
1 h	4	4	0	0
2 h	4	4	0	0
3 h	4	4	0	0
4 h	4	4	0	0
5 h	4	4	0	0
6 h	4	4	0	0
7 h	4	4	0	0
8 h	0	4	0	0
9 h	0	4	0	0
10 h	0	2	0	0
11 h	0	0	0	1
12 h	0	0	0	3
13 h	0	0	0	0
14 h	0	0	1	3
15 h	0	0	1	2
16 h	0	0	1	2
17 h	0	0	1	2
18 h	0	0	1	1
19 h	0	0	4	1
20 h	0	0	2	2
21 h	2	2	2	2
22 h	4	4	0	0
23 h	4	4	0	0
24 h	4	4	0	0

Fonte: Adaptado de: RTQ-R, Tabela 3.39.

5.3.1.4 Atividade

O RTQ-R (2010) baseia-se nos valores recomendados para as taxas metabólicas para cada atividade da *ASHRAE Handbook of Fundamentals* (2009), considerando uma área de pele média de $1,80\text{m}^2$, a qual é equivalente a área de pele de uma pessoa média.

A Tabela 16 recomenda a adoção da taxa metabólica em função do tipo de atividade desempenhada em cada ambiente a ser adotada (RTQ-R, 2010).

Tabela 16: Taxas metabólicas para cada atividade.

Ambiente	Atividade realizada	Calor produzido (W/m²)	Calor produzido para área de pele = $1,80\text{m}^2$ (W)
Sala	Sentando ou assistindo TV	60	108
Dormitórios	Dormindo ou descansando	45	81

Fonte: RTQ-R, Tabela 3.40.

5.3.1.5 Cargas internas de equipamentos

As cargas internas de equipamentos devem ser modeladas somente para a sala segundo o RTQ-R (2010), em um período de 24 horas e com a potência das cargas internas de $1,5\text{ W/m}^2$.

5.3.1.6 Padrão de uso da iluminação

Assim como o padrão de ocupação, o padrão de uso da iluminação deve ser um para os dias de semana e outro para os finais de semana. A modelagem deve ser realizada para os ambientes de permanência prolongada, onde na Tabela 17, os valores 100% representam os horários do uso da iluminação e os valores 0% representam a iluminação desligada (RTQ-R, 2010).

Ainda, segundo o RTQ-R (2010), os ambientes de permanência prolongada devem ser modelados com densidade de potência instalada de iluminação de $5,0\text{ W/m}^2$ para os dormitórios, e $6,0\text{ W/m}^2$ para a sala.

Tabela 17: Padrão de uso da iluminação.

Hora	Dormitórios		Sala	
	Dias de Semana %	Final de Semana %	Dias de Semana %	Final de Semana %
1 h	0	0	0	0
2 h	0	0	0	0
3 h	0	0	0	0
4 h	0	0	0	0
5 h	0	0	0	0
6 h	0	0	0	0
7 h	100	0	0	0
8 h	0	0	0	0
9 h	0	100	0	0
10 h	0	0	0	0
11 h	0	0	0	100
12 h	0	0	0	100
13 h	0	0	0	0
14 h	0	0	0	0
15 h	0	0	0	0
16 h	0	0	0	0
17 h	0	0	100	100
18 h	0	0	100	100
19 h	0	0	100	100
20 h	0	0	100	100
21 h	100	100	100	100
22 h	100	100	0	0
23 h	0	0	0	0
24 h	0	0	0	0

Fonte: RTQ-R, Tabela 3.41.

5.3.1.7 Temperatura do solo

PEREIRA e GHISI (2008) destacam a importância da correta definição dos valores de temperatura do solo que provocam grandes alterações nos resultados das simulações.

Em estudo de calibração foi realizada simulação comparando a utilização dos valores de temperatura do solo do arquivo climático TRY de Florianópolis e da temperatura média mensal medida no solo do terreno estudado para determinado mês, resultando em diferença de 4°C entre estas temperaturas. Foi descrito, ainda,

que com o valor de temperatura do solo medido no local, as temperaturas do ar internas obtidas na simulação ficaram bem mais próximas das medidas no interior da residência (PEREIRA e GHISI, 2008).

O RTQ-R (2010) afirma que os valores de temperatura do solo dos arquivos climáticos não são recomendados para o uso em simulações térmicas e energéticas.

Segundo PEREIRA e GHISI (2009) e o RTQ-R (2010), para a definição dos valores de temperatura do solo em simulações térmicas e energéticas, deve-se utilizar o programa *Slab*, que é um programa auxiliar ao *EnergyPlus* para calcular a temperatura média do solo para cada mês do ano, com base nos valores médios de temperaturas internas e externas da edificação para o clima que será simulado.

Com base nestas referências o programa *Slab* foi utilizado para a definição da temperatura do solo nas simulações deste trabalho e os valores utilizados são mostrados na Tabela 18 abaixo.

Tabela 18: Temperaturas do solo calculadas pelo *Slab*.

Local	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Santa Maria	24,5	24,3	23,4	21,9	19,9	18,8	18,6	19,7	19,3	20,8	21,5	23,5
Curitiba	-	-	-	22,1	20,3	19,2	18,9	19,2	19,3	-	-	-
Florianópolis	24,2	24,8	24,5	-	-	-	-	-	-	20,1	21,4	23,5

5.3.2 Simulação da edificação condicionada artificialmente

Segundo o RTQ-R (2010), a simulação da edificação condicionada artificialmente utiliza o cálculo do consumo relativo de energia para aquecimento (C_A) dos ambientes de permanência prolongada e do consumo relativo de energia para refrigeração (C_R) dos dormitórios. C_A e C_R tratam-se do consumo anual de energia, em kWh/m², e são calculados no período das 21h às 8h. No período restante, considera-se a edificação naturalmente ventilada.

O RTQ-R possui as seguintes especificações para a modelagem do sistema de condicionamento de ar:

- temperatura do termostato de aquecimento de 22 °C e de refrigeração de 24 °C;
- taxa de fluxo de ar por pessoa de 0,00944 m³/s;
- modo de operação do ventilador contínuo;

- eficiência do ventilador de 0,7 e eficiência do motor de 0,9;
- razão entre o calor retirado do ambiente e a energia consumida pelo equipamento (COP) de 3,00 W/W;
- razão entre o calor fornecido ao ambiente e a energia consumida pelo equipamento (COP) de 2,75 W/W;
- número máximo de horas não atendidas do sistema de condicionamento de ar de 10%.

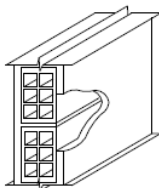
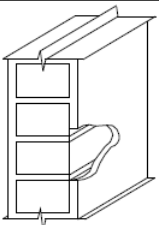
5.3.3 Caracterização dos materiais e componentes do caso base

As propriedades térmicas dos materiais usados no caso base foram obtidas na norma NBR 15220 (ABNT, 2005).

5.3.3.1 Paredes

Como referência para a especificação da composição das paredes do caso base foi utilizada a Tabela D.3 – Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas paredes, da parte 3 da NBR 15220 (ABNT, 2005b), atendendo aos limites sugeridos para transmitância ($<3,0$), retardo térmico ($<4,3$) e fator de ganho solar ($<5,0$) das paredes externas.

Tabela 18: Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para paredes.

Parede	Descrição	U [W/(m ² .K)]	C _T [kJ/(m ² .K)]	φ [horas]
	Parede de tijolos 6 furos quadrados, assentados na menor dimensão Dimens. tijolo: 9,0x14,0x19,0 cm Espessura arg. de assent.: 1,0 cm Espessura arg. de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 14,0 cm	2,48	159	3,3
	Parede de tijolos maciços, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x6,0x22,0 cm Espessura arg. de assentamento: 1,0 cm Espessura arg. de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 15,0 cm	3,13	255	3,8

Fonte: Adaptado de: NBR 15220, parte 3, Tabela D.3.

Nas alvenarias externas foi proposto a utilização de tijolos de 6 furos quadrados com dimensões de 9,0x14,0x19,0 cm, assentados na menor dimensão, resultando em uma parede com espessura total de 14,0 cm.

As alvenarias internas foram projetadas com tijolos maciços, com dimensões de 10,0x6,0x22,0 cm, assentados na menor dimensão, resultando em espessura total da parede de 15,0 cm.

Quanto aos valores para absorvência das paredes das fachadas utilizou-se a Tabela B.2 - Absorvência para radiação solar (ondas curtas) e emissividade para radiações a temperaturas comuns (ondas longas), da parte 2 da NBR 15220 (ABNT, 2005a).

O volume principal de pé-direito duplo foi projetado com pintura na cor branca, a qual, conforme os dados da norma, possui absorvência de 0,20. O volume dos dormitórios em tijolo aparente possui absorvência que pode variar de 0,65 a 0,80, no trabalho foi utilizado o valor de 0,7 para simulação.

Os valores de absorvência apresentados na NBR 15220 podem ser diferentes em função da tonalidade e concentração das cores, como pode-se verificar no trabalho de DORNELLES (2008), que avaliou a absorvência de diversas cores de tintas de alguns fornecedores.

Conforme DORNELLES (2008) foram medidas a absorvência solar de amostras de diferentes tipos e marcas de uma mesma cor de tintas do mercado e comparadas. Estas medições foram realizadas com espectrofotômetro e ajustadas ao espectro solar padrão. A Tabela 19, a seguir, mostra o resultado da absorvência das diferentes tintas na cor branca avaliadas.

Tabela 19: Absorvência solar das amostras de cor branca de diferentes tintas.

Nome	Tipo de Tinta	Marca	Atot (%)
Bianco Sereno	Látex PVA fosca	Novacor (Sherwin Williams)	26,6%
Branco	Látex acrílica fosca	Metalatex (Sherwin Williams)	15,8%
Branco Neve	Látex PVA fosca	Suvinil	16,2%
Branco Neve	Látex acrílica fosca	Suvinil	10,2%
Branco	Látex PVA fosca	Novacor (Sherwin Williams)	11,1%

Fonte: Adaptada de: DORNELLES, 2008.

Com base nesta referência, e considerando-se que a tinta proposta no projeto é tinta acrílica, será utilizado o valor mais alto deste tipo, dentre os pesquisados. Portanto, para a simulação utilizou-se o valor de 0,16 para absorvência das fachadas de cor branca.

5.3.3.2 Coberturas

Para as coberturas foi utilizada a Tabela D.4 – Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas coberturas, da parte 3 da NBR 15220 (2005b), que especifica determinadas composições de coberturas e seus referentes valores para estas variáveis.

No caso base, no volume principal, utilizou-se cobertura de telha de barro com isolamento de lã de vidro de 5cm sobre forro de madeira, com espessura, tanto da telha como da madeira, de 1,0 cm. A cobertura do volume dos quartos, também de telha de barro, possui laje plana de concreto de 10 cm de espessura e o mesmo isolamento de 5cm de lã de vidro localizado nas telhas.

Tabela 20: Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para coberturas.

Cobertura	Descrição	U [W/(m ² .K)]	C _T [kJ/(m ² .K)]	φ [horas]
	Cobertura de telha de barro com 5,0 cm de lã de vidro sobre o forro de madeira Espessura da telha: 1,0 cm Espessura da madeira: 1,0 cm	0,62	34	3,1

Fonte: Adaptado de: NBR 15220, parte 3, Tabela D.4.

Conforme a NBR 15220 (ABNT, 2005a) a absorvância da telha de barro é de 0,75 a 0,80. Para a simulação utilizou-se o valor de 0,75 para absorvância da telha, em razão de ter sido projetada a cobertura com telha de barro mais clara.

5.3.3.3 Aberturas

Para o caso base foram propostas portas externas de madeira maciça de 0,80x2,10m e portas internas de madeira semi-oca de 0,80x2,10m, sendo as dos dormitórios com bandeira pivotante de 30cm de altura.

As janelas são de PVC com vidro simples comum com 3mm, de correr, exceto a abertura do banheiro que é pivotante, abrindo 90°. As aberturas dos dormitórios possuem venezianas com palhetas móveis. Todas as janelas externas possuem tela de nylon para possibilitar a ventilação natural no verão e barrar a entrada de insetos à noite neste período.

A esquadria de fechamento do jardim de inverno é uma exceção em relação às outras aberturas, pois foi pensada utilizando-se sistema com trilhos e rodízios que permitem que as folhas deslizem até as extremidades e girem em um ângulo de 90°.

possibilitando, assim, a abertura total do ambiente para o exterior no período de verão.

5.4 Parâmetros de avaliação da simulação

A metodologia de avaliação das condições de conforto nas simulações desenvolvida neste trabalho, assim como os parâmetros, foi a do RTQ-R (2010), a qual utiliza os indicadores de graus-hora de resfriamento dos ambientes para a simulação da edificação naturalmente ventilada.

Para o cálculo do indicador de graus-hora de resfriamento (GH_R) utiliza-se a temperatura operativa horária para cada ambiente de permanência prolongada calculada pelo programa computacional de simulação e a temperatura base de 26°C, através da Equação 4 (RTQ-R, 2010; MATOS, 2007).

$$GH_R = \sum (T_o - 26^\circ\text{C}) \quad (\text{Equação 4})$$

Como o RTQ-R não especifica uma temperatura base para o cálculo de graus-hora de aquecimento (GH_A) para edificação naturalmente ventilada, utilizou-se as referências de MATOS (2007) que definiu a temperatura base de aquecimento em 20°C (Equação 5) para avaliação das suas simulações, e de SZOKOLAY (1987) que adota a temperatura base de 18°C (Equação 6).

$$GH_A = \sum (20^\circ\text{C} - T_o) \quad (\text{Equação 5})$$

$$GH_A = \sum (18^\circ\text{C} - T_o) \quad (\text{Equação 6})$$

Avaliou-se ainda a possibilidade de se atingir o conforto térmico tanto com a temperatura de 20°C como com a de 18°C variando somente a vestimenta.

A variável vestimenta que é medida em clo (clothing) e representa a resistência térmica da roupa, influenciando diretamente na sensação de conforto térmico da pessoa, nas simulações do período de inverno foi de 1 clo e no período de verão 0,5 clo.

No inverno considerando-se a vestimenta 1 clo, a atividade de 60W/m² recomendada pelo RTQ-R para a sala, a velocidade do ar zero e a umidade relativa do ar 50% e considerando-se a temperatura base de 20°C tem-se um PMV de -0,7 e o um PPD (percentual de pessoas insatisfeitas) de 18%, dentro do limite de conforto segundo FANGER (1970) e a ISO 7730 (2005). Alterando-se a umidade relativa para 80%, média na cidade Pelotas-RS, o PMV cai para -0,5 e o PPD para 13%.

Utilizando-se os mesmos valores iniciais nas demais variáveis, porém considerando-se a temperatura base de 18°C o PMV é -1,2 e aumenta para 40% o PPD, ficando fora do limite de conforto. Neste caso seria necessário aumentar para 1,3 clo considerando-se a umidade relativa de 50% e 1,2 clo com a umidade relativa de 80% para atingir-se um PMV de -0,7, dentro do limite de conforto. Este aumento em clo equivaleria ao acréscimo na vestimenta aproximadamente de uma camisa de manga comprida, por exemplo.

Em razão desta possibilidade de se atingir o conforto térmico tanto com a temperatura de 20°C como com a de 18°C variando somente a vestimenta, optou-se por avaliar o graus-hora de aquecimento com ambas temperaturas base.

Foram simulados os dados para o inverno, compreendendo o período entre 01 de abril e 30 de setembro, e para o verão, o período entre 01 de outubro e 31 de março. Os valores destes períodos somados geram o valor de graus-hora anual para aquecimento e para resfriamento, o qual foi avaliado nos ambientes de permanência prolongada: sala, mezanino e dormitórios.

No trabalho foram simulados estes períodos descritos sempre com um mês a mais de antecedência e desconsiderado o primeiro mês, em razão de que sabe-se que o programa *DesignBuilder* simula os dias consecutivamente e as variáveis de um dia influenciam nas do dia seguinte, como no clima real, portanto os primeiros dias simulados podem sofrer alguma alteração nos valores.

Em se tratando da simulação da edificação condicionada artificialmente, para avaliação do nível de eficiência pelo RTQ-R (2010) é utilizado o consumo relativo para aquecimento (C_A) dos ambientes de permanência prolongada.

5.5 Resultados da Simulação do Caso Base

5.5.1 Inverno – Santa Maria

Nas simulações do caso base com o arquivo climático TMY de Santa Maria para o período de inverno, compreendido neste trabalho entre abril e setembro, no ambiente da sala as maiores perdas ocorrem pelas paredes, chegando a mais de 2000 kW, existindo também perdas consideráveis de 370kW pelo piso e 250kW pela cobertura, conforme é possível contatar-se na Figura 31.

O ganho total por radiação solar pelas aberturas neste mesmo período foi de 580kW, observando-se que a principal abertura da sala possui a projeção do jardim de inverno de 1,50 metros, no entanto, no inverno o posicionamento dos brises possibilita a incidência solar pelo vidro.

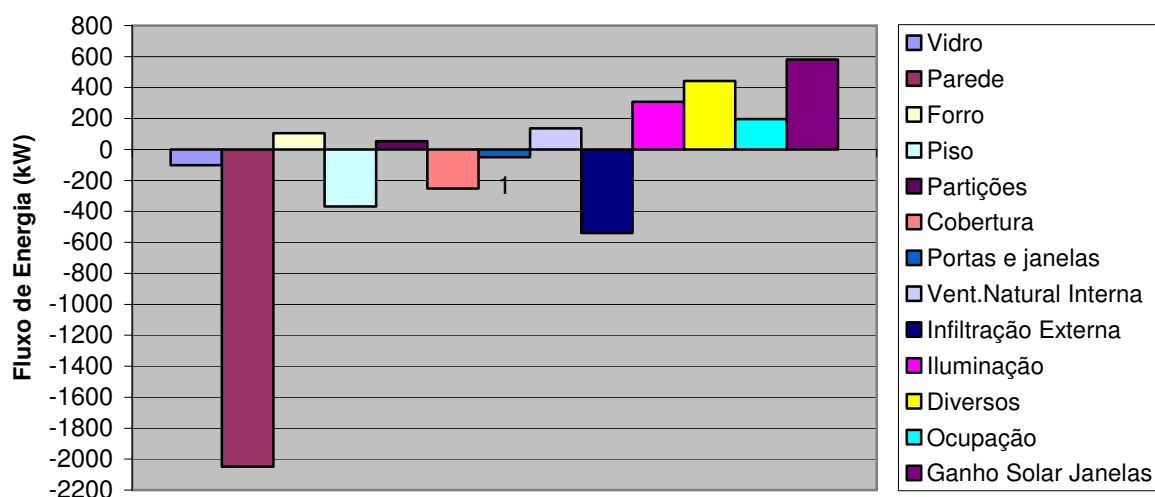


Figura 31: Fluxo de Energia (kW) na Sala– Santa Maria/Inverno (abr-set)

Comparando-se a temperatura operativa da sala, a qual é utilizada para o cálculo de graus-hora, com a temperatura externa no período de inverno na Figura 32 é possível observar-se que o ambiente mantém temperaturas mais estáveis e confortáveis mesmo quando as temperaturas externas caem drasticamente.

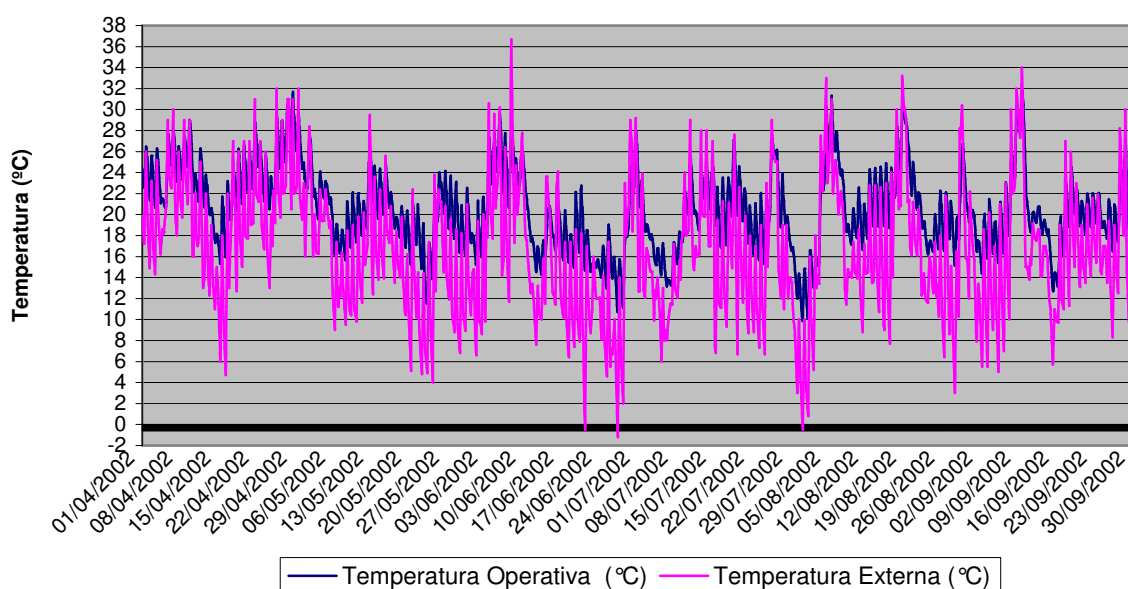


Figura 32: Gráfico Temperatura Sala x Temperatura Externa – Santa Maria/Inverno (abr-set)

No ambiente do mezanino, simulado em zona separada da sala, apesar de estar sobre esta e possuir trocas entre ambas as zonas, conforme observa-se na Figura 33, também as maiores perdas são pelas paredes, 2024kW. No entanto, é constatada uma perda bastante considerável também pelos vidros, chegando a 1170kW e pela cobertura de 780kW. No mezanino o ganho solar pelas aberturas chega a 3800kW nestes seis meses, pois sua abertura recebe radiação solar direta durante todo período.

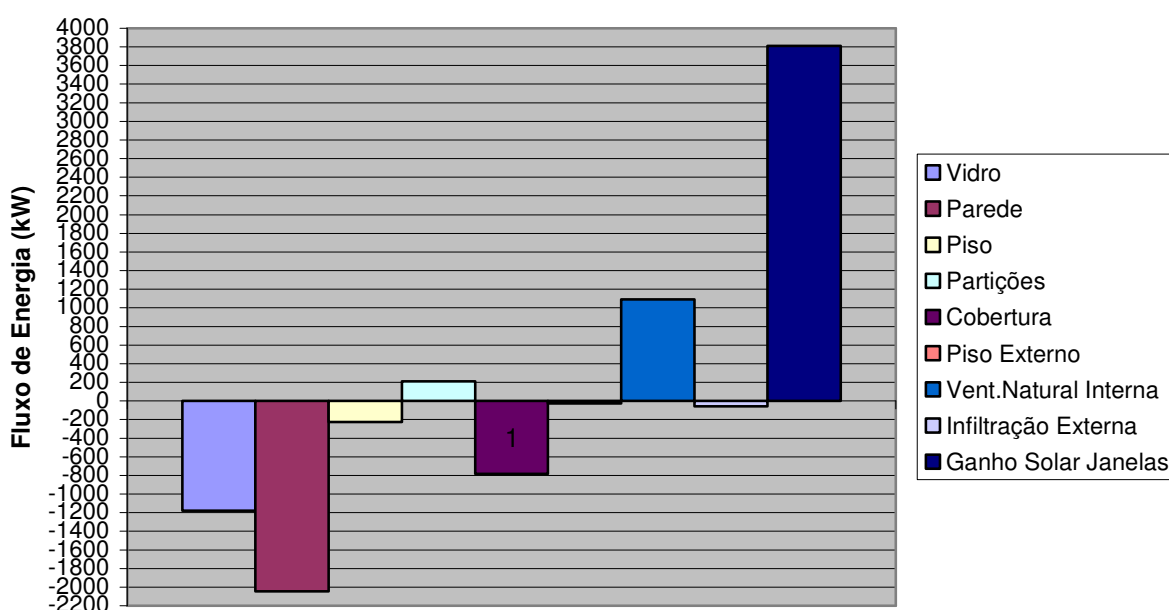


Figura 33: Fluxo de Energia (kW) no Mezanino– Santa Maria/Inverno (abr-set)

Na Figura 34 é possível observar que no mezanino as temperaturas operativas internas sempre estão mais altas que as temperaturas externas e do que a temperatura da sala, possivelmente em razão da diferença de pressão, que faz o ar quente armazenado no jardim de inverno subir. No entanto, as temperaturas internas devem ser controladas para não causarem um desconforto por calor neste ambiente, mesmo no período de inverno.

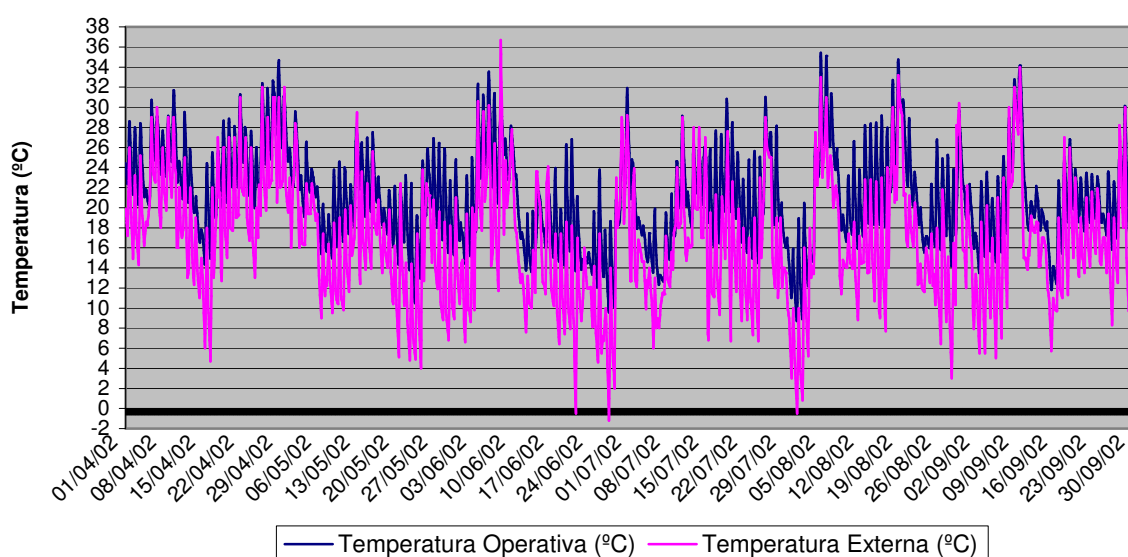


Figura 34: Gráfico Temperatura Mezanino x Temperatura Externa – Santa Maria/Inverno (abr-set)

Em se tratando dos dormitórios, tanto o de casal como o de solteiro, se comparados à sala e ao mezanino possuem perdas bem menores, o que se explica por serem ambientes menores. Ambos possuem perdas pelas paredes pouco maiores de 400kW cada. Ocorrem perdas também pelos vidros de 220kW nos dois dormitórios, conforme Figura 35 e Figura 36. É possível observar-se, ainda, os ganhos solares bastante consideráveis de 800kW em cada dormitório, o mesmo valor, o que se explica pelas aberturas dos dois terem as mesmas dimensões.

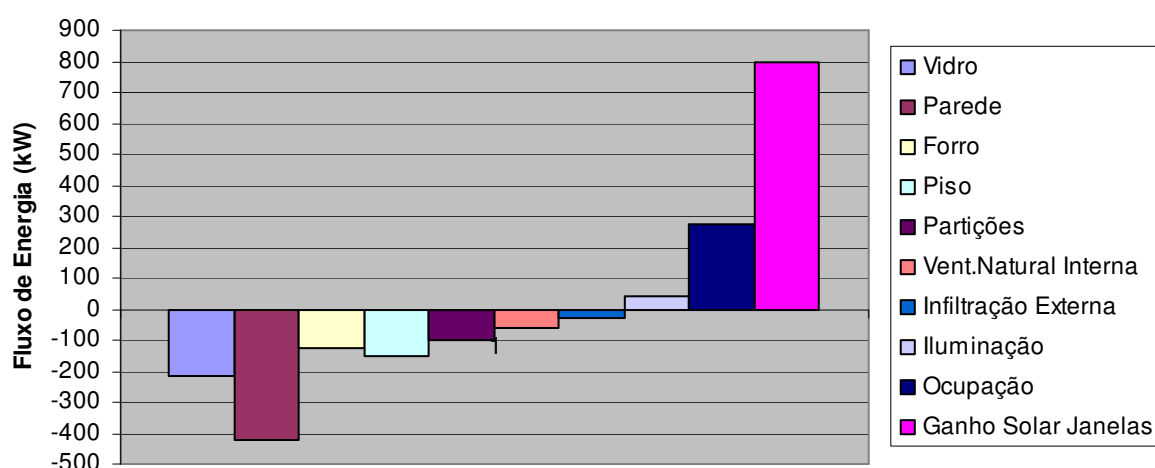


Figura 35: Fluxo de Energia (kW) no Dormitório de Casal – Santa Maria/Inverno (abr-set)

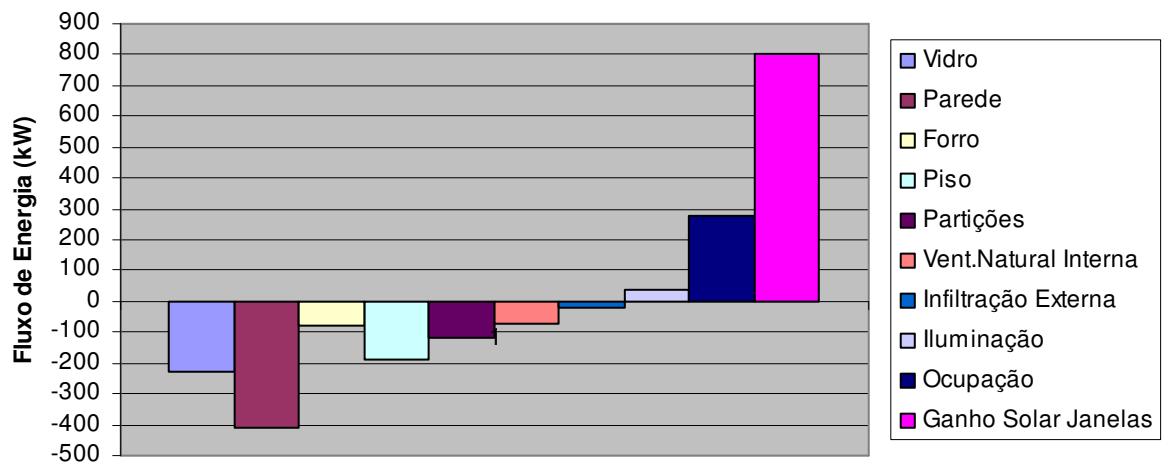


Figura 36: Fluxo de Energia (kW) no Dormitório de Solteiro – Santa Maria/Inverno (abr-set)

Os dormitórios se apresentam como ambientes nos quais a temperatura operativa interna se mantém mais estável sofrendo menos com as oscilações da temperatura externa (Figura 37 e Figura 38). Inclusive, é possível observar-se que os gráficos das variações da temperatura interna são muito semelhantes em ambos os dormitórios.

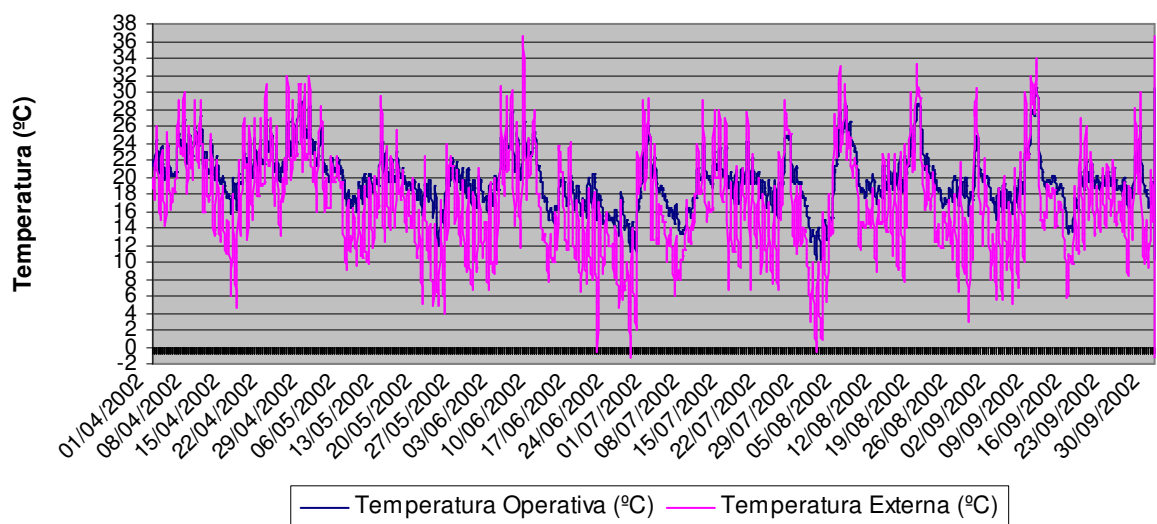


Figura 37: Gráfico Temperatura Dorm. Casal x Temperatura Externa – Santa Maria/Inverno (abr-set)

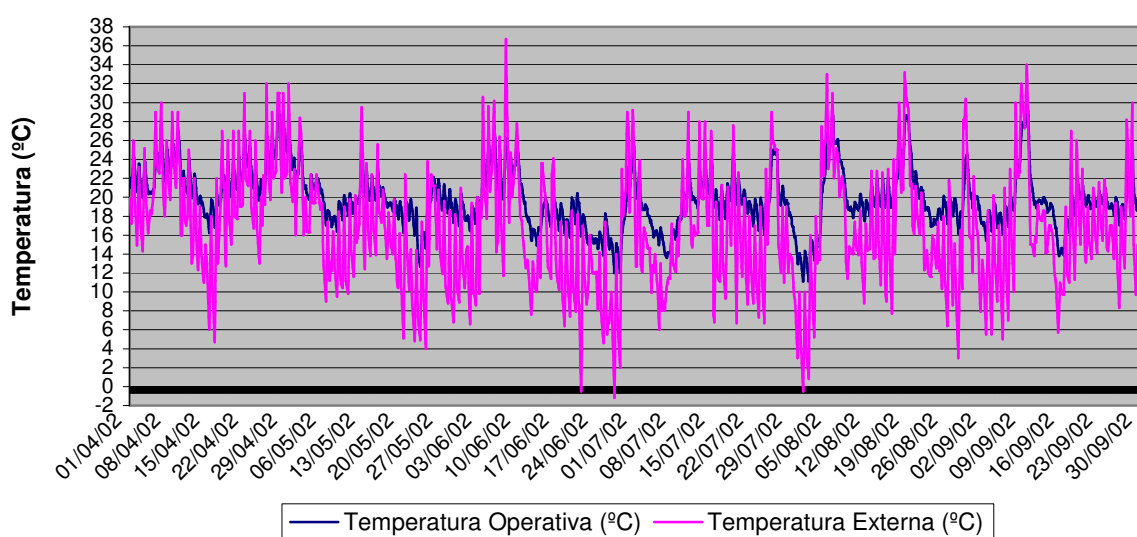


Figura 38: Gráfico Temperatura Dorm. Solteiro x Temperatura Externa – Santa Maria/Inverno (abr-set)

5.5.2 Verão – Santa Maria

Na simulação dos dados climáticos de verão, no período que compreende outubro a março, diferente das simulações de inverno, onde as paredes eram responsáveis pelas maiores perdas, estas agora não representam ganhos na sala e mezanino, inclusive continuam perdendo energia, o que neste período é desejável, conforme é possível observar-se na Figura 39.

Existem perdas importantes também por ventilação natural interna de 1140kW, que representa as trocas internas com as outras zonas, pelo piso de 560kW e pela infiltração externa de 350kW.

É possível observar-se também na Figura 39 que os maiores ganhos na sala, neste período, são pela radiação solar nas aberturas, mesmo elas estando sombreadas, chegando a quase 1000kW nestes seis meses, o que aparentemente parece bastante. No entanto, considerando-se que neste período, nesta orientação a abertura recebe radiação em média no período durante nove horas do dia, dividindo por todo este período, seriam menos de 617W por hora de ganho em média, e, levando-se em consideração, ainda, que a abertura da sala possui mais de 13m² de área de vidro, o ganho seria de pouco mais de 54W por metro quadrado da abertura, o que corresponde à radiação difusa.

É importante ressaltar que os ganhos chamados de diversos no gráfico, 440kW na sala, referem-se as cargas internas de equipamentos, e segundo o RTQ

(2010) são modeladas somente para a sala e com potência de $1,5 \text{ W/m}^2$. No entanto, como o *DesignBuilder* permite definir a variação destes ganhos somente de 1 em 1 W/m^2 simulou-se com 2 W/m^2 .

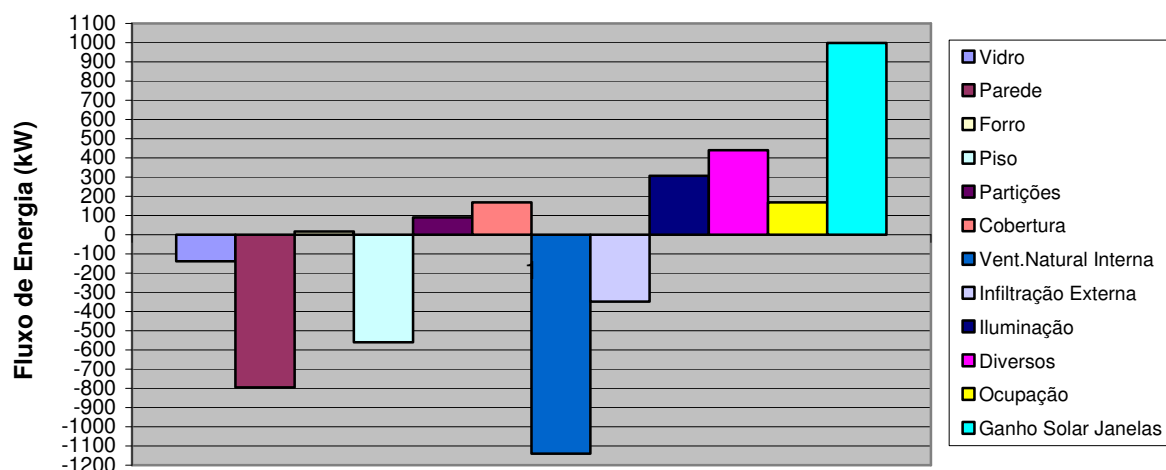


Figura 39: Fluxo de Energia (kW) na Sala – Santa Maria/Verão (out-mar)

A Figura 40 mostra o amortecimento das variações da temperatura externa ao longo do período, o qual possibilita manter a temperatura operativa mais próxima da zona de conforto térmico desejada.

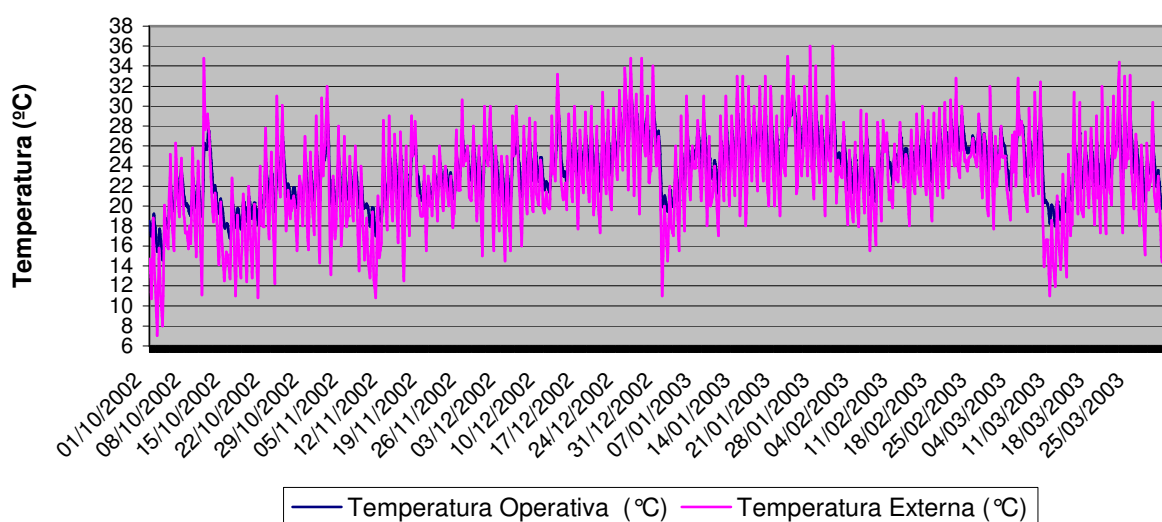


Figura 40: Gráfico Temperatura Sala x Temperatura Externa – Santa Maria/Verão (out-mar)

Quanto ao fluxo de energia no mezanino, os maiores ganhos também são pela radiação solar nas aberturas. Porém, este ganho, assim como o da sala, dividido por todo período e pela dimensão da abertura torna-se ínfimo, pois a

abertura do mezanino possui protetores solares projetados para este período de verão, sombreando-a.

Observa-se, ainda, na Figura 41 o ganho de 530kW pela cobertura. Quanto às perdas, as maiores são pelas paredes, 850kW, seguida dos vidros que perdem 560kW e da ventilação natural interna, 460kW.

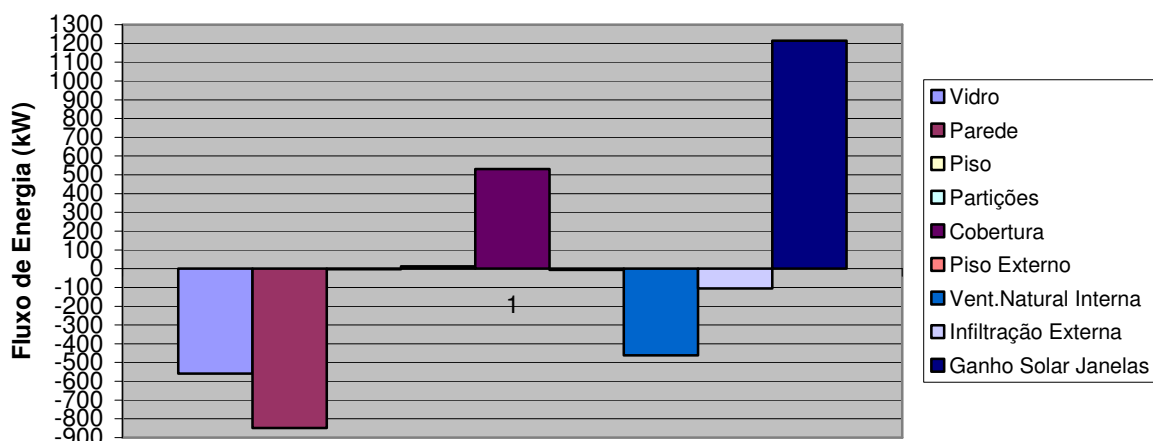


Figura 41: Fluxo de Energia (kW) no Mezanino – Santa Maria/Verão (out-mar)

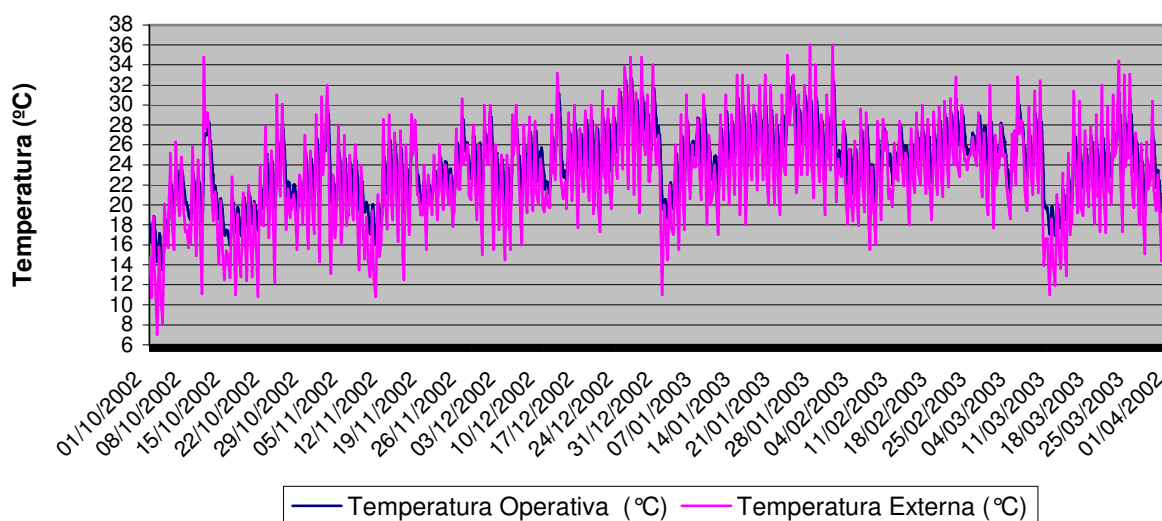


Figura 42: Gráfico Temperatura Mezanino x Temperatura Externa – Santa Maria/Verão (out-mar)

Neste período do verão é possível observar comportamentos diferentes entre os dois dormitórios, o contrário do que ocorre no inverno. O dormitório de casal, localizado na extremidade da edificação, possui parede externa voltada para o leste, o que possivelmente ocasiona o ganho de 350kW pelas paredes. O ganho referente à ocupação de 250kW é o determinado pelo *schedule* configurado

segundo o padrão do RTQ-R, e o mesmo para todos os dormitórios em todos períodos simulados.

A maior perda é pela ventilação natural, representada pelos 635kW perdidos por infiltração externa, seguida das trocas com o piso, que são de 215kW, conforme observa-se na Figura 43.

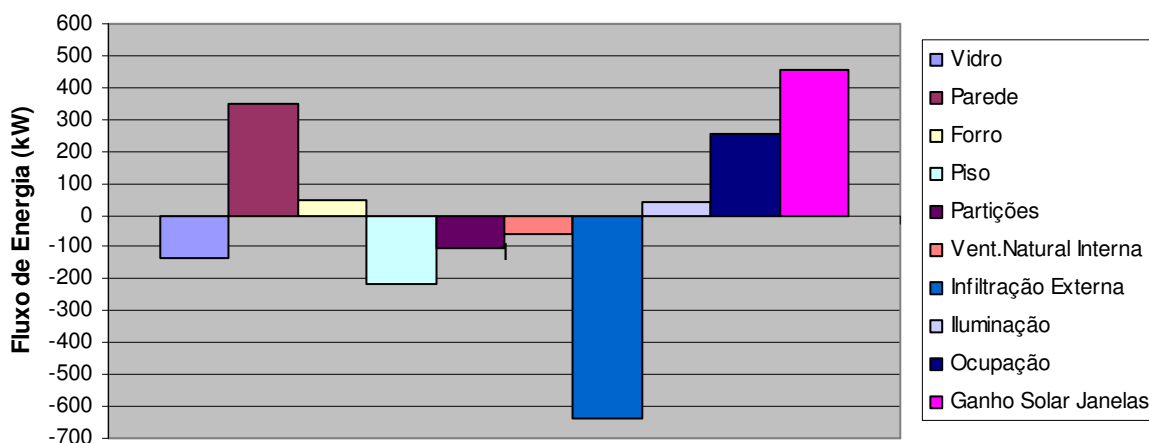


Figura 43: Fluxo de Energia (kW) no Dormitório Casal – Santa Maria/Verão (out-mar)

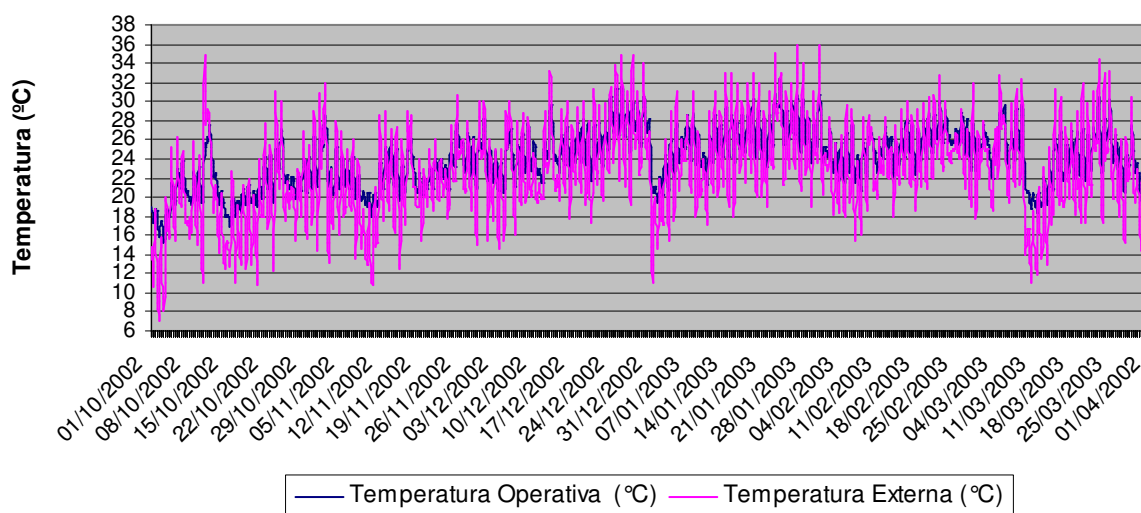


Figura 44: Gráfico Temperatura Dorm. Casal x Temperatura Externa – Santa Maria/Verão (out-mar)

O dormitório de solteiro, ao contrário do de casal, apresenta perda pelas paredes ao invés de ganhos. A perda pelo piso é um pouco inferior se comparada ao outro, em virtude de sua área ser menor.

Tanto as perdas pelo vidro, como os ganhos de radiação solar, são valores muito próximos em ambos os dormitórios, o que se explica pelo fato das duas aberturas possuírem as mesmas dimensões.

É interessante observar que os ganhos por radiação solar nos dormitórios, no período do verão, são praticamente metade do valor de kW recebidos no inverno simulando-se com os dados climáticos de Santa Maria.

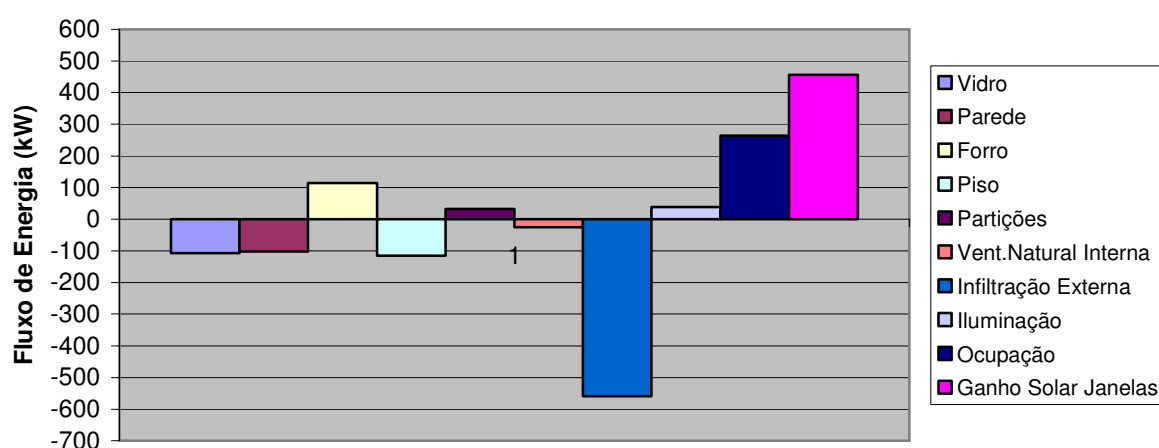


Figura 45: Fluxo de Energia (kW) no Dormitório Solteiro – Santa Maria/Verão (out-mar)

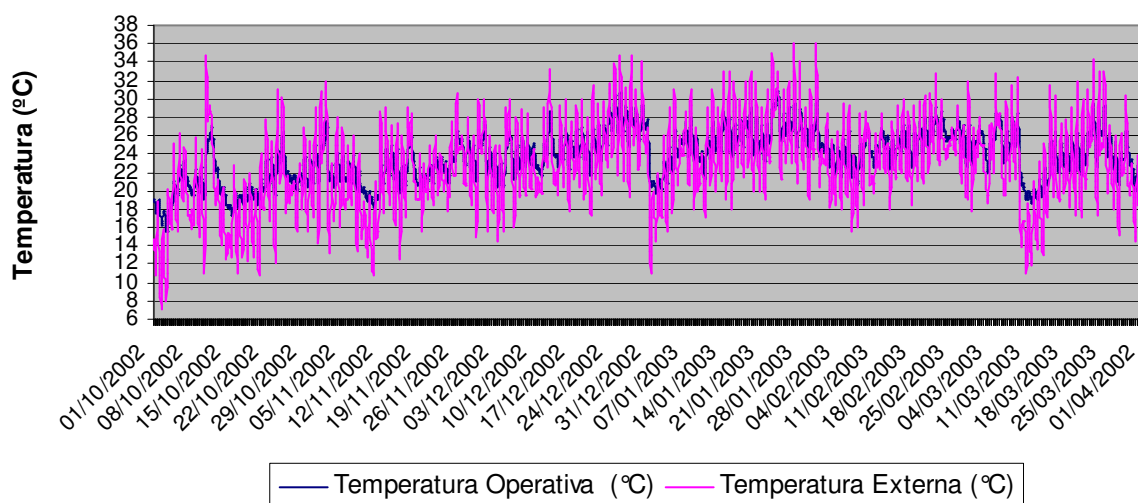


Figura 46: Gráfico Temperatura Dorm. Solteiro x Temperatura Externa – Santa Maria/Verão (out-mar)

5.5.3 Inverno - Curitiba

Utilizando-se os dados climáticos de Curitiba, zona bioclimática 1, para a simulação do mesmo período de inverno, de abril a setembro, é possível constatar exigências mais severas se comparadas às de Santa Maria, apresentando valores de perdas em kW sempre um pouco maiores.

No ambiente da sala, assim como com os dados de Santa Maria, as maiores perdas são pelas paredes, 2270 kW, seguida pela infiltração externa, 455kW. O ganho por radiação solar é muito próximo do valor de Santa Maria, 603kW, conforme Figura 47.

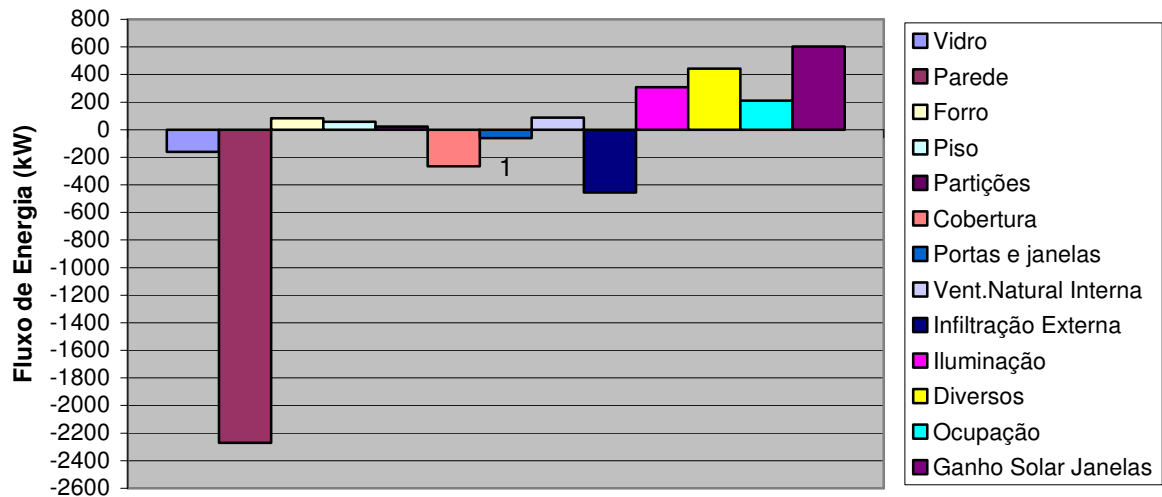


Figura 47: Fluxo de Energia (kW) na Sala – Curitiba/Inverno (abr-set)

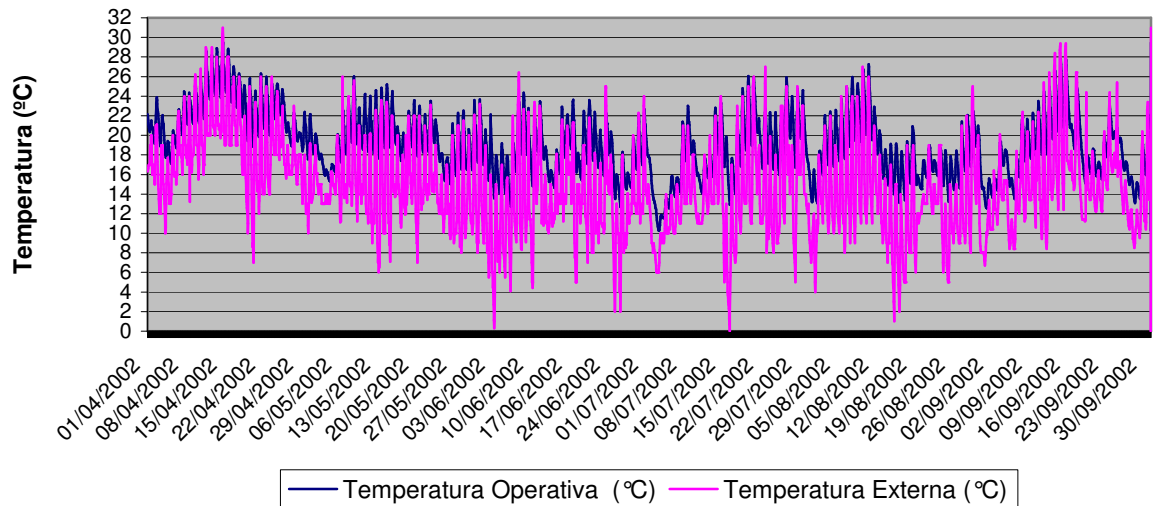


Figura 48: Gráfico Temperatura Sala x Temperatura Externa – Curitiba/Inverno (abr-set)

O mezanino segue as mesmas tendências, com valores de perdas próximos, mas um pouco maiores que os ocorridos em Santa Maria. As maiores perdas ocorrem pelas paredes, 2195kW, seguidas pelos vidros, 1245kW, e pela cobertura, 735kW. O ganho solar pelas aberturas mantém-se alto no período simulado de inverno, 3712kW.

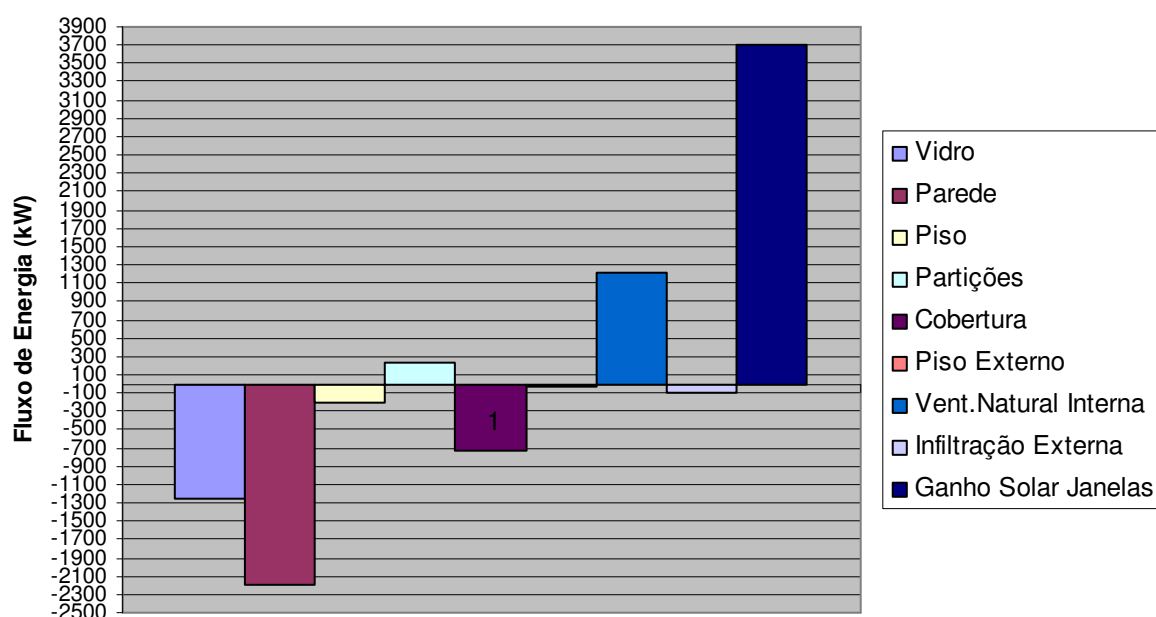


Figura 49: Fluxo de Energia (kW) no Mezanino – Curitiba/Inverno (abr-set)

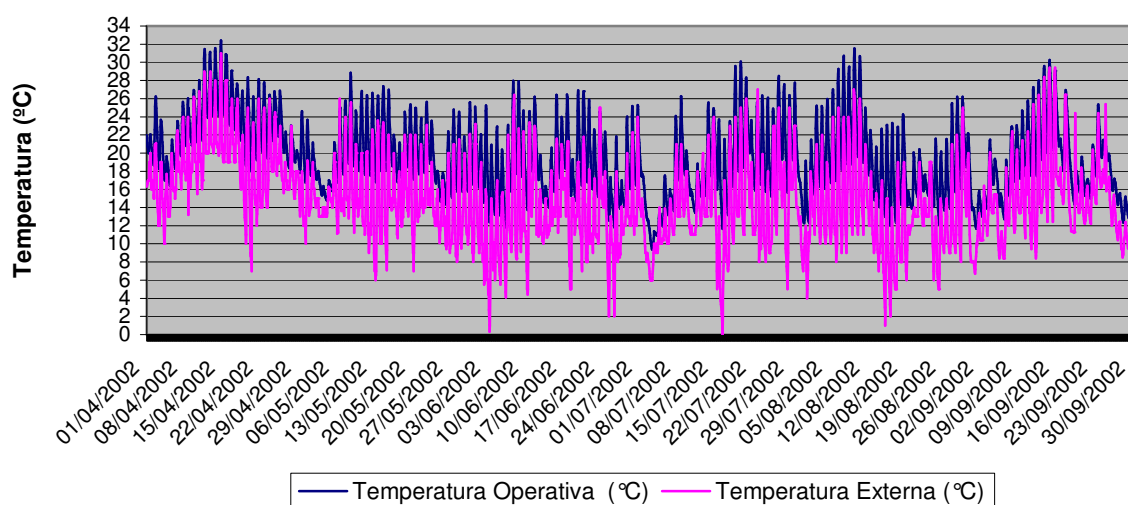


Figura 50: Gráfico Temperatura Mezanino x Temperatura Externa – Curitiba/Inverno (abr-set)

No inverno, os dormitórios novamente aparecem com comportamentos bem semelhantes. Aparecem perdas pelas paredes de 590kW no de casal e 510kW no de solteiro. Ocorrem perdas, também, pelos vidros em torno de 240kW em cada dormitório. Os ganhos por radiação solar nos dormitórios são de 740kw em cada abertura.

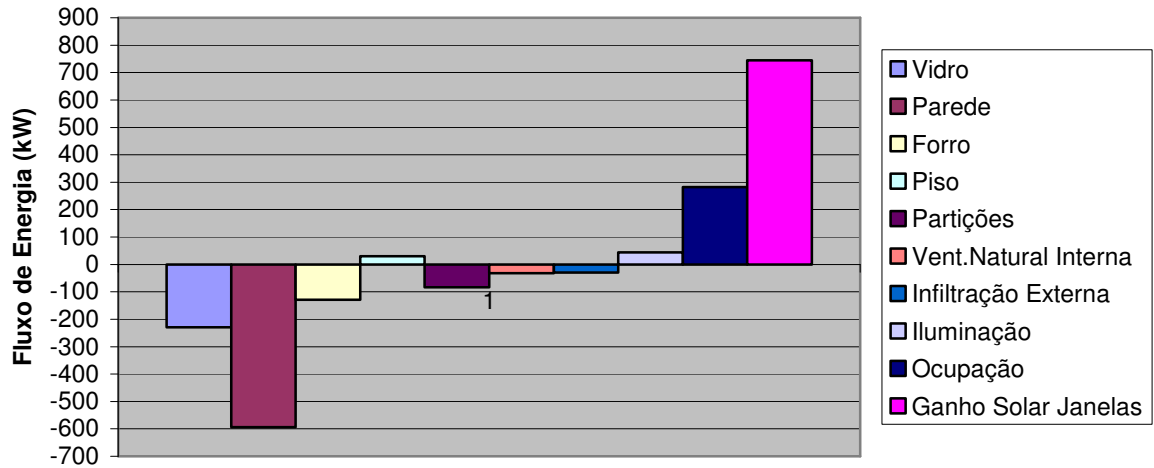


Figura 51: Fluxo de Energia (kW) no Dormitório Casal – Curitiba/Inverno (abr-set)

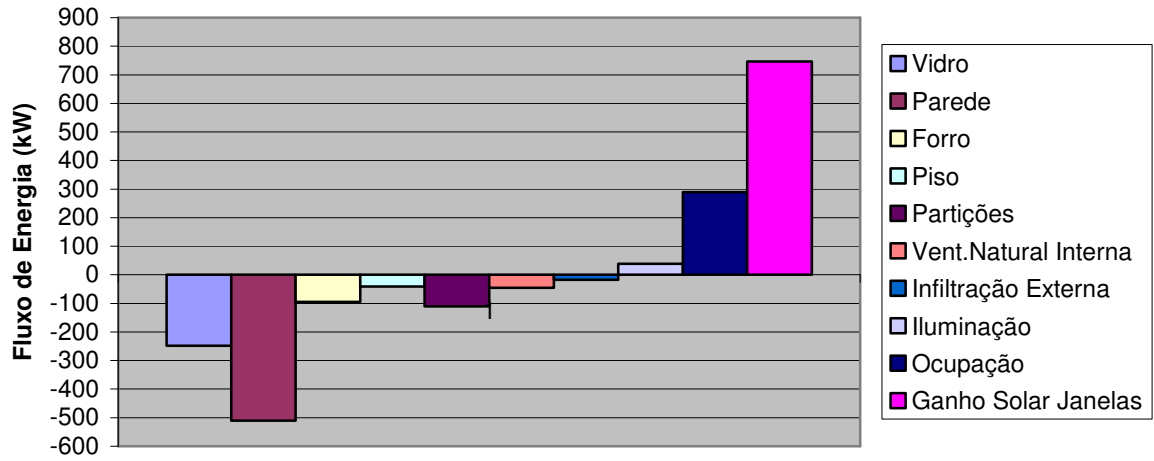


Figura 52: Fluxo de Energia (kW) no Dormitório Solteiro – Curitiba/Inverno (abr-set)

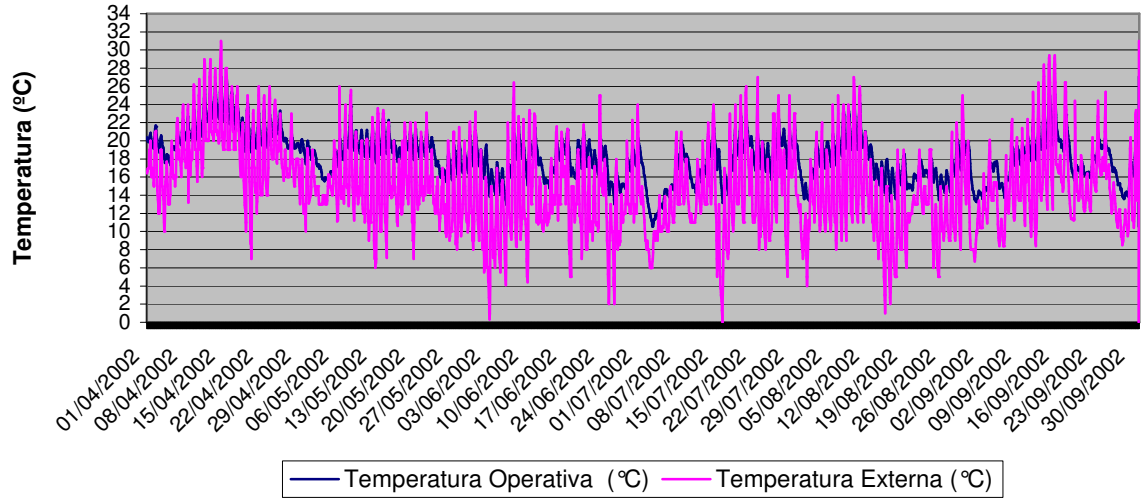


Figura 53: Gráfico Temperatura Dorm. Casal x Temperatura Externa – Curitiba/Inverno (abr-set)

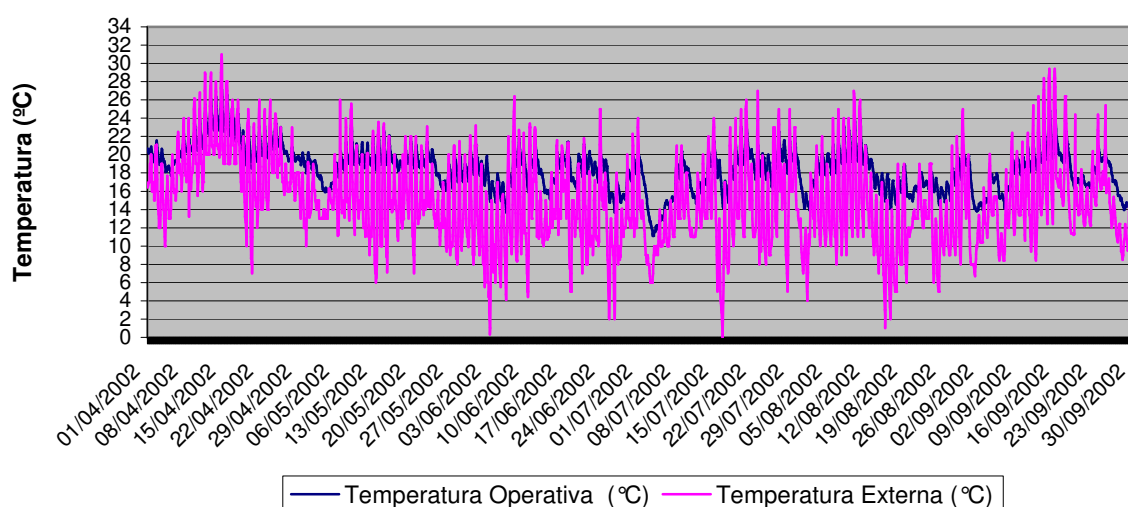


Figura 54: Gráfico Temperatura Dorm. Solteiro x Temperatura Externa – Curitiba/Inverno (abr-set)

5.5.4 Verão - Florianópolis

Com base nos dados climáticos de Florianópolis, as simulações para o período de verão, de outubro a março, apresentam no ambiente da sala as maiores perdas por ventilação natural interna, 980kW, seguida pelas paredes, que perdem 740kW, pelo piso, 575kW, e pela infiltração externa, 430kW, conforme a Figura 55.

Comparando os valores resultantes nas simulações de ambas as localidades para o verão, na sala, as perdas da ventilação interna e das paredes são maiores em Santa Maria. No entanto, as do piso e infiltração externa, ao contrário, são maiores em Florianópolis.

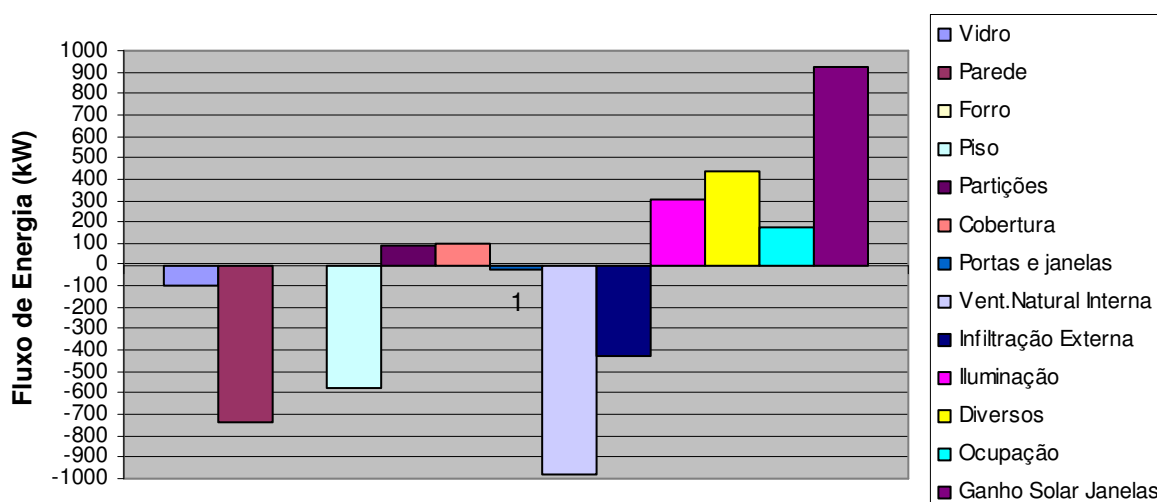


Figura 55: Fluxo de Energia (kW) na Sala – Florianópolis/Verão (out-mar)

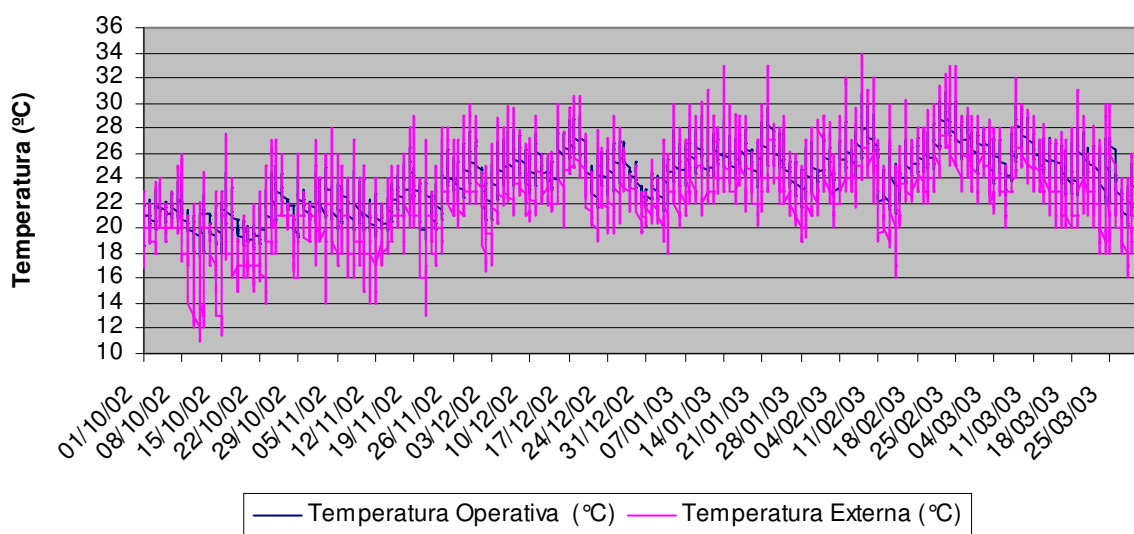


Figura 56: Gráfico Temperatura sala x Temperatura Externa – Florianópolis/Verão (out-mar)

No mezanino os ganhos por radiação solar, 1160kW, e pela cobertura, 380kW, são menores, mas próximos se comparados aos de Santa Maria. Quanto às perdas, as maiores são pelas paredes, 733kW, seguida pela ventilação natural interna, 590kW, e os vidros, que perdem 450kW.

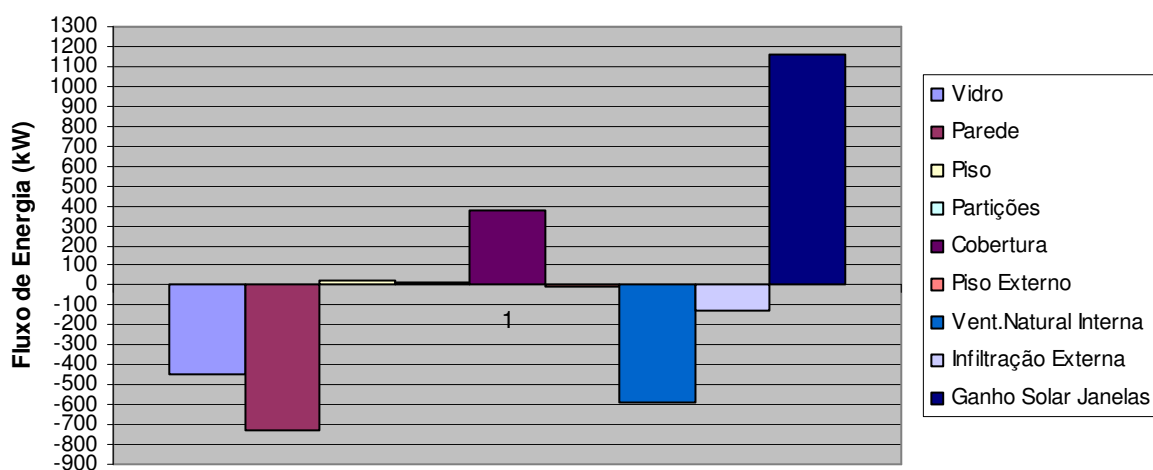


Figura 57: Fluxo de Energia (kW) no Mezanino – Florianópolis/Verão (out-mar)

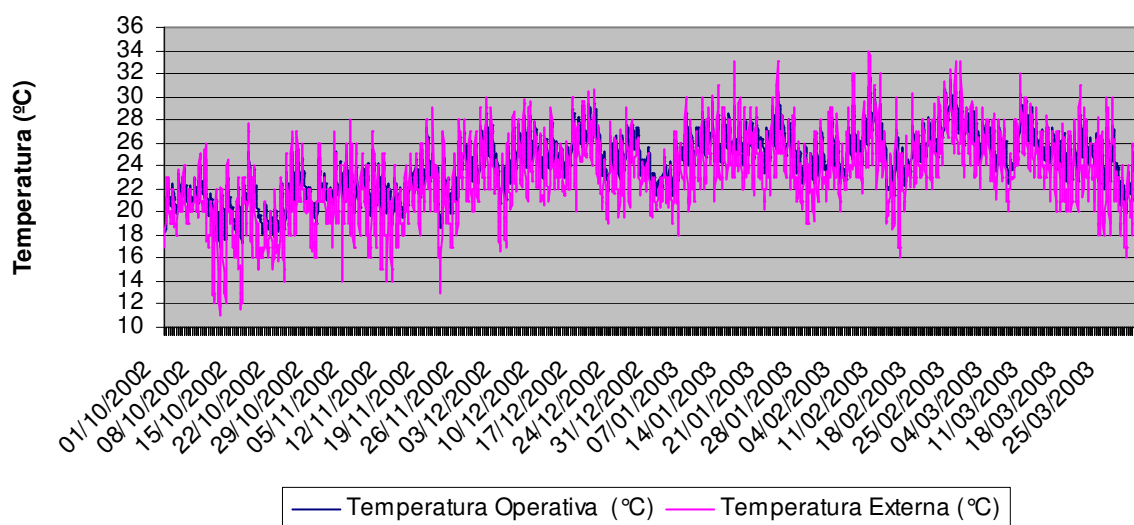


Figura 58: Gráfico Temperatura Mezanino x Temperatura Externa – Florianópolis/Verão (out-mar)

O ganho pelas paredes no dormitório de casal permanece, porém, menor que em Santa Maria, 200kW. A maior perda é pela infiltração externa, no entanto, menor também, 470kW, seguida das trocas com o piso que caem para 190kW, conforme observa-se na Figura 59.

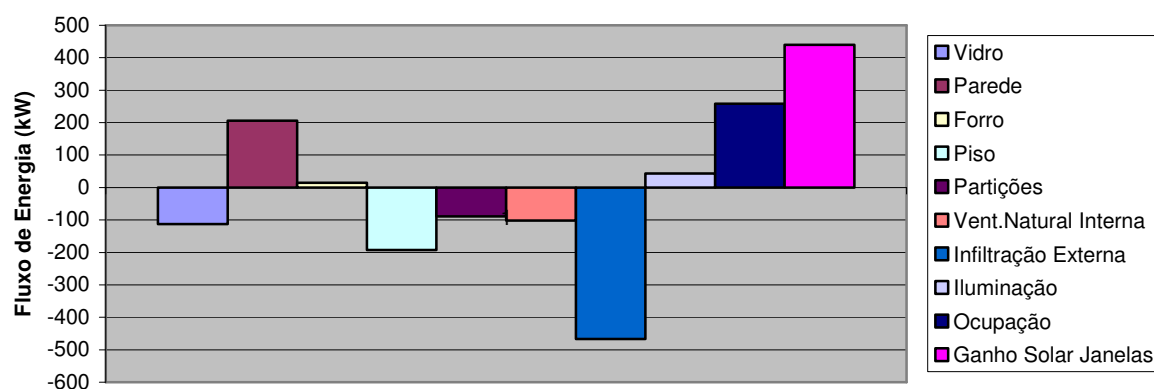


Figura 59: Fluxo de Energia (kW) no Dormitório Casal – Florianópolis/Verão (out-mar)

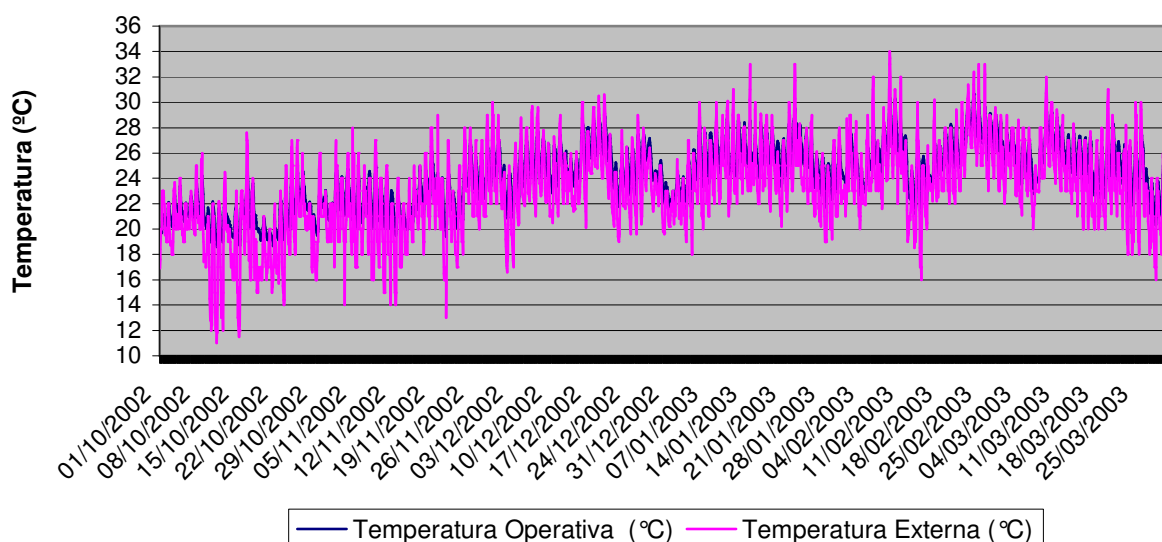


Figura 60: Gráfico Temperatura Dorm. Casal x Temperatura Externa – Florianópolis/Verão (out-mar)

O dormitório de solteiro se mantém apresentando perda pelas paredes ao invés de ganhos, mas apenas 130kW, próximo aos valores dos vidros e piso. As perdas maiores, de 430kW, ocorrem pela infiltração externa.

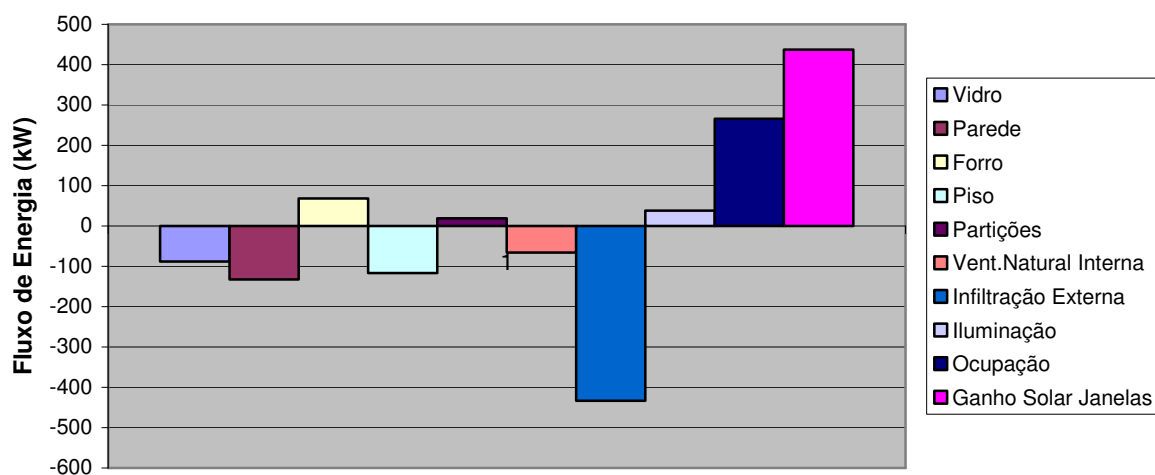


Figura 61: Fluxo de Energia (kW) no Dormitório Solteiro – Florianópolis/Verão (out-mar)

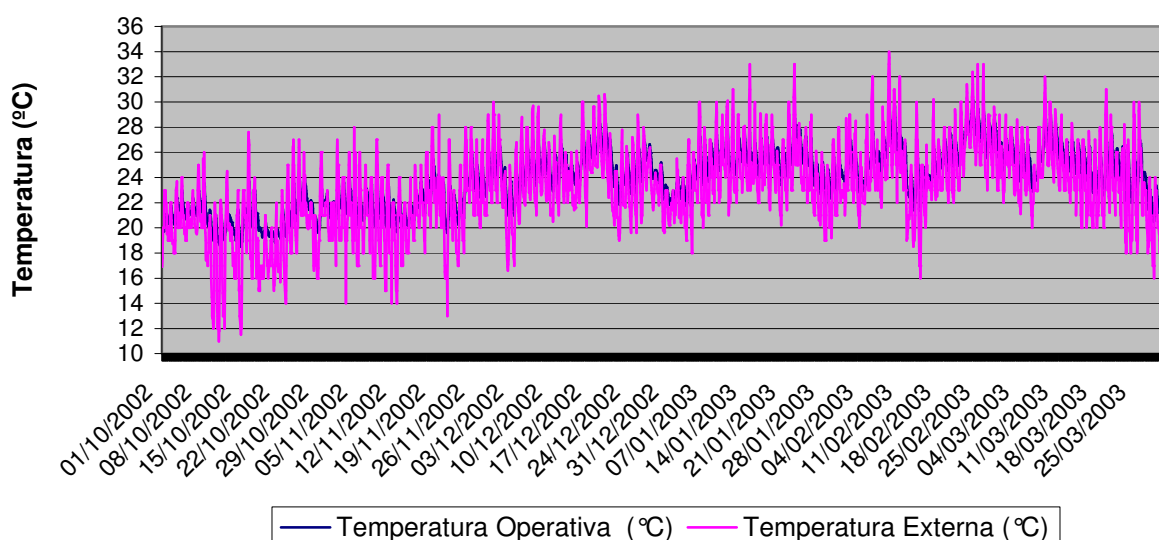


Figura 62: Gráfico Temperatura Dorm. Solteiro x Temperatura Externa – Florianópolis/Verão (out-mar)

5.5.5 Avaliações do caso base segundo os graus-hora

Os graus-horas de aquecimento, que representam a quantidade de desconforto por frio no ambiente, foram calculados considerando-se as temperaturas base de 18°C e 20°C. Em se tratando dos cálculos para avaliação dos graus-hora, os dados climáticos de Curitiba mostram-se bem mais críticos se comparados aos de Santa Maria nos seis meses simulados do período de inverno, conforme observa-se na Tabela 21.

Tabela 21: Graus-hora de aquecimento para as temperaturas base de 18°C e 20°C no caso base.

Santa Maria	GH_A T_{BASE} 18°C	GH_A T_{BASE} 20°C	Curitiba	GH_A T_{BASE} 18°C	GH_A T_{BASE} 20°C
Sala	2359	5541	Sala	3445	7833
Mezanino	2660	5694	Mezanino	4003	8175
Dorm. Casal	2312	5645	Dorm. Casal	3766	8615
Dorm. Solteiro	1892	4938	Dorm. Solteiro	3054	7479

5.5.6 Avaliações do caso base segundo o RTQ-R

A avaliação da envoltória, a partir do equivalente numérico da envoltória (EqNumEnv), é uma das variáveis consideradas para a classificação do nível de eficiência energética da unidade habitacional autônoma, a qual considera também o

equivalente numérico do sistema de aquecimento de água e as bonificações atribuídas por iniciativas que aumentem a eficiência da edificação.

Este trabalho se deteve a realizar somente a avaliação da envoltória, das estratégias bioclimáticas propostas, a partir do método de simulação. Portanto, as demais variáveis não foram calculadas, não se chegando à pontuação total do nível de eficiência energética da unidade habitacional autônoma.

O equivalente numérico da envoltória segundo o RTQ-R (2010), é calculado a partir da determinação dos equivalentes numéricos da envoltória dos ambientes para resfriamento e aquecimento, de acordo com os valores obtidos para indicador de graus-hora (GH_R) e o consumo relativo para aquecimento (C_A) obtidos na simulação, respectivamente.

Determina-se o Equivalente Numérico da Envoltória da Unidade Habitacional Autônoma para Resfriamento ($EqNumEnv_{Resfr}$) e o Equivalente Numérico da Envoltória da Unidade Habitacional Autônoma para Aquecimento ($EqNumEnv_A$) de cada ambiente de permanência prolongada avaliado da unidade habitacional.

5.4.6.1 Determinação do $EqNumEnv_{Resfr}$

Como os períodos de inverno (abril a setembro) e verão (outubro a março) foram simulados separadamente no trabalho, estes foram somados para se chegar aos GH_R totais referentes ao ano, conforme observa-se na Tabela 22.

Tabela 22: Totais de GH_R no ano por ambiente.

Ambiente	Santa Maria			Florianópolis + Curitiba		
	GH_R Verão	GH_R Inverno	GH_R Ano	GH_R Verão	GH_R Inverno	GH_R Ano
Sala	1521	756	2277	1170	114	1284
Mezanino	2865	1854	4719	1695	563	2258
Dormitório Casal	2043	407	2450	1475	28	1503
Dormitório Solteiro	1247	390	1637	887	30	917

A Tabela 23 do RTQ-R (2010) fornece o equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento a partir do GH_R .

Tabela 23: Equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento – Zona Bioclimática 2

Eficiência	EqNumEnvAmb_{Resfr}	Condição
A	5	$GHR \leq 2.310$
B	4	$2.310 < GHR \leq 4.396$
C	3	$4.396 < GHR \leq 6.481$
D	2	$6.481 < GHR \leq 8.567$
E	1	$GHR > 8.567$

Fonte: Adaptado de: RTQ-R (2010).

O equivalente numérico da envoltória da unidade habitacional para resfriamento (EqNumEnvResfr) é obtido através da ponderação dos EqNumEnvAmb_{Resfr} pelas áreas úteis dos ambientes avaliados (AU_{amb}), calculado na Tabela 24.

Tabela 24: Determinação do EqNumEnv_{Resfr}

Ambiente- Local	GH_R	EqNumEnvAmb_{Resfr}	AU_{amb} (m²)	EqNumEnv_{Resfr}
Sala Santa Maria	2277	A - 5	48,50	4,4 B
Mezanino Santa Maria	4719	C - 3	24,78	
Dormitório Casal Santa Maria	2450	B - 4	15,25	
Dormitório Solteiro Santa Maria	1637	A - 5	12,33	
			100,86	
Sala Curitiba+Florianópolis	1284	A - 5	48,50	5 A
Mezanino Curitiba+Florianópolis	2258	A - 5	24,78	
Dormitório Casal Curitiba+Florianópolis	1503	A - 5	15,25	
Dormitório Solteiro Curitiba+Florianópolis	917	A - 5	12,33	
			100,86	

5.4.6.2 Determinação do EqNumEnv_A

O equivalente numérico da envoltória da unidade habitacional autônoma para aquecimento é determinado com o mesmo procedimento do de resfriamento,

descrito acima, porém utilizando-se os valores de consumo relativo para aquecimento (C_A), apresentado nas Tabelas 25 e 27.

Tabela 25: Totais de C_A no ano por ambiente.

Ambiente	Santa Maria			Curitiba+Florianópolis		
	C_A Inverno	C_A Verão	C_A Ano	C_A Inverno	C_A Verão	C_A Ano
Sala	40,765	45,802	86,567	68,068	23,689	91,758
Mezanino	17,453	3,005	20,458	25,685	1,708	27,392
Dormitório Casal	48,336	5,343	53,679	67,906	2,402	70,308
Dormitório Solteiro	25,038	4,948	29,987	63,344	2,177	65,521

A Tabela 26 do RTQ-R (2010) fornece o equivalente numérico da envoltória do ambiente para aquecimento a partir do C_A .

Tabela 26: Equivalente numérico da envoltória do ambiente para aquecimento – Zona Bioclimática 2

Eficiência	EqNumEnvAmb_A	Condição
A	5	$C_A \leq 15,591$
B	4	$15,591 < C_A \leq 31,182$
C	3	$31,182 < C_A \leq 46,772$
D	2	$46,772 < C_A \leq 62,363$
E	1	$C_A > 62,363$

Fonte: Adaptado de: RTQ-R (2010).

Tabela 27: Determinação do EqNumEnv_A

Ambiente- Local	C_A	EqNumEnvAmb_A	AU_{amb} (m^2)	EqNumEnv_A
Sala Santa Maria	86,567	E - 1	48,50	2,3 D
Mezanino Santa Maria	20,458	B - 4	24,78	
Dormitório Casal Santa Maria	53,679	D - 2	15,25	
Dormitório Solteiro Santa Maria	29,987	B - 4	12,33	
			100,86	
Sala Curitiba+Florianópolis	91,758	E - 1	48,50	1,7 D
Mezanino Curitiba+Florianópolis	27,392	B - 4	24,78	
Dormitório Casal Curitiba+Florianópolis	70,308	E - 1	15,25	
Dormitório Solteiro Curitiba+Florianópolis	65,521	E - 1	12,33	
			100,86	

5.4.6.3 Determinação do EqNumEnv

Para a zona bioclimática 2, o equivalente numérico da envoltória da unidade habitacional autônoma - EqNumEnv é obtido por meio da Equação 7, descrita abaixo:

$$\text{EqNumEnv} = 0,44 \times \text{EqNumEnv}_{\text{Resfr}} + 0,56 \times \text{EqNumEnv}_A \quad (\text{Equação 7})$$

Utilizando os dados climáticos de Santa Maria o resultado seria (Equação 8):

$$\text{EqNumEnv} = 0,44 \times 4,4 + 0,56 \times 2,3 = \mathbf{3,224} \quad (\text{Equação 8})$$

Utilizando os dados climáticos de Curitiba para o inverno e de Florianópolis para o verão, o resultado seria (Equação 9):

$$\text{EqNumEnv} = 0,44 \times 5 + 0,56 \times 1,7 = \mathbf{3,152} \quad (\text{Equação 9})$$

A Tabela 28 fornece a classificação do nível de eficiência energética de acordo com a pontuação obtida (RTQ-R, 2010).

Tabela 28: Classificação do nível de eficiência de acordo com a pontuação obtida

Condição	Nível de Eficiência
$PT \geq 4,5$	A
$3,5 \leq PT < 4,5$	B
$31,182 \leq PT < 46,772$	C
$1,5 \leq PT < 2,5$	D
$PT < 1,5$	E

Fonte: Adaptado de: RTQ-R (2010)

Segundo os resultados é possível constatar que o nível de eficiência energética da envoltória do projeto do caso base, por estar no intervalo entre 2,5 e 3,5, seria Nível C para ambos dados climáticos simulados.

Quanto aos resultados, é possível observar-se que nos valores do consumo de energia relativo para aquecimento (C_A) de verão do ambiente da sala em Santa Maria, é possível identificar um valor mais alto do que o C_A de inverno o que não faz sentido, tendo em vista que obviamente o consumo para aquecer a edificação é muito mais solicitado no período de inverno do que no verão.

Em razão deste valor, observou-se diversas variáveis da simulação para identificar-se o que ocorreu. Primeiramente, verificou-se que no período de verão deste trabalho, o qual possui seis meses, estão incluídos meses que muitas vezes ainda necessitam de aquecimento, como outubro e março. No entanto, ainda assim, o total do valor de C_A no verão para o ambiente da sala era absurdo por ser maior que o do inverno.

Além disso, observando-se os fluxos de energia da sala, neste período constatou-se uma perda muito grande por ventilação natural interna e, em compensação, o aquecimento artificial sendo acionado para compensar esta perda. Como o ambiente do jardim de inverno foi simulado no verão com sua esquadria totalmente aberta durante todo período, a qual corresponde a praticamente 100% do vão, este tornou-se um ambiente externo, sendo o responsável pelas trocas com a sala e, conseqüentemente, pela perda por ventilação natural interna.

Identificou-se, então, que como a temperatura de *setpoint* indicada pelo RTQ-R é 20°C para as janelas abrirem no verão e a temperatura do termostato de aquecimento é mantida em 22°C, ocasiona um problema para a simulação, pois

quando a temperatura interna do ambiente está maior que a externa e acima de 20°C as janelas são abertas, no entanto, ela estando pouco acima dos 20°C o aquecimento artificial é acionado até elevá-la aos 22°C, causando o estranho gasto excessivo de energia para aquecimento no verão.

5.6 Alterações do caso base

Após as avaliações das simulações do caso base, foram propostas alterações no projeto com o objetivo de melhorar o conforto térmico e a eficiência energética da edificação, proporcionando diminuição das perdas e aumento dos ganhos no período de inverno e o oposto, aumento das perdas e diminuição dos ganhos no verão. E ainda, a diminuição de graus-hora de desconforto durante todo ano.

5.6.1 Paredes Externas

Com a verificação de que as paredes externas são responsáveis pelas maiores perdas em todos os ambientes de permanência prolongada no inverno, e por ganhos no verão no dormitório de casal, simulou-se o projeto com paredes duplas, com tijolo furado na face externa, tijolo maciço na face interna e isolamento com lã de rocha de 5 centímetros de espessura entre elas.

A configuração adotada da parede dupla com tijolo maciço no lado interno favorece o aumento da capacidade térmica em função da maior densidade. No entanto, uma maior densidade equivale a uma maior condutividade do material. Para esta configuração, com o tijolo maciço interno, melhores resultados são alcançados com o uso do isolante térmico no interior da parede

Foi proposta a utilização dos mesmos tijolos do caso base, externamente os tijolos de 6 furos quadrados com dimensões de 9,0x14,0x19,0cm, assentados na menor dimensão, e internamente os tijolos maciços de 10,0x6,0x22,0cm, com isolamento de lã de rocha entre os tijolos de 5cm de espessura, resultando na parede com um total de 24cm no volume de tijolo a vista e espessura de 29cm no volume rebocado com argamassa de reboco de 2,5cm em cada face.

Quanto aos valores de absorvência solar das paredes, manteve-se os mesmos do caso base.

5.6.2 Cobertura

A cobertura de telha de barro simulada no caso base, no volume principal, com isolamento de lã de vidro de 5cm sobre forro de madeira foi mantida. A cobertura do volume dos quartos, também de telha de barro com laje plana de concreto de 10 cm de espessura e isolamento também de 5cm, teve a localização do isolamento alterada, pois no caso base estava junto às telhas e neste foi colocado sobre a laje de concreto com o objetivo de diminuir as trocas pelo forro nos dormitórios.

5.6.3 Aberturas

Avaliando-se os valores de infiltração externa, a qual ocorre em função do coeficiente do fluxo de ar por frestas de janelas e portas, é possível constatar uma perda considerável no inverno, principalmente nos dormitórios. No caso base foi utilizada a recomendação do RTQ-R, na qual este coeficiente é de 0,001kg/s.m, o que segundo o programa *DesignBuilder* corresponderia a uma esquadria classificada como pobre quanto à estanqueidade.

Em razão da necessidade de resistência térmica das aberturas para a eficiência da massa térmica, já mencionada no capítulo anterior, optou-se por simular o projeto com esquadrias classificadas como excelentes pelo *DesignBuilder*, para diminuir as perdas por infiltração externa.

Para diminuir as trocas do interior da edificação com o meio externo pelas aberturas também simulou-se as janelas com vidro duplo neste segundo momento.

Outra constatação na avaliação das simulações do caso base foi quanto ao grande acúmulo de calor acontecendo no ambiente do mezanino no período de inverno, possivelmente recebido do jardim de inverno a partir da abertura existente próxima à cobertura de vidro deste ambiente.

No entanto, evidenciou-se a necessidade de estimular maiores trocas entre o jardim de inverno e o ambiente da sala, para maior aquecimento deste. Em razão disto simulou-se o projeto com esta abertura superior, entre o mezanino e o jardim de inverno, fechada, na tentativa de forçar que o ar quente do jardim de inverno ingresse na sala.

5.6.4 Piso

Existem perdas pelo piso no período de inverno em torno de 100kW por ambiente, no entanto as perdas são maiores no verão quando são favoráveis para o conforto da edificação, chegando a mais de 500kW no ambiente da sala.

Com o objetivo de diminuir as perdas pelo piso no inverno, este foi isolado com poliestireno expandido com espessura de 5cm. Para tentar compensar a redução das perdas pelo piso no verão, devido ao seu isolamento, foram propostas aberturas no piso da sala, tipo grelha, para permitir que o ar sob o piso, mais frio, entre nos dias quentes. A área total destas aberturas no piso é um pouco menor que a soma das áreas das aberturas no porão.

Estas grelhas foram simuladas abertas das 14h às 18h no verão.

5.7 Resultados da Simulação das Alterações no Caso Base

5.7.1 Inverno - Santa Maria

Nas simulações realizadas com as propostas de alterações no caso base, com o arquivo climático TMY de Santa Maria para o período de inverno, mesmo utilizado anteriormente, no ambiente da sala, conforme a Figura 63, é possível constatar-se uma diminuição muito grande nas perdas pelas paredes, em virtude do isolamento destas, que neste segundo momento foram simuladas duplas com isolamento no interior.

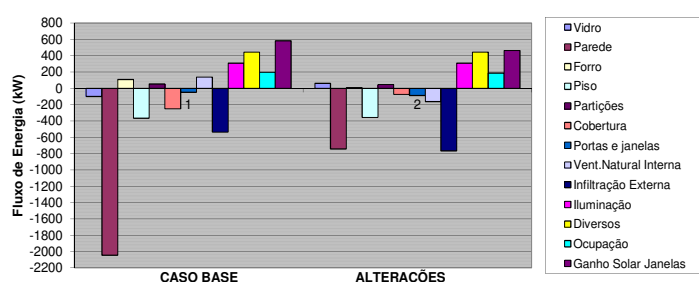


Figura 63: Fluxo de Energia (kW) na Sala – Santa Maria/Inverno (abr-set)

No ambiente do mezanino também é possível identificar a diminuição considerável das perdas pelas paredes e vidros. O aumento das perdas pela cobertura pode ser explicado pela grande elevação das temperaturas internas com as alterações propostas, observadas pelo cálculo de graus-hora de aquecimento apresentado no fim deste item.

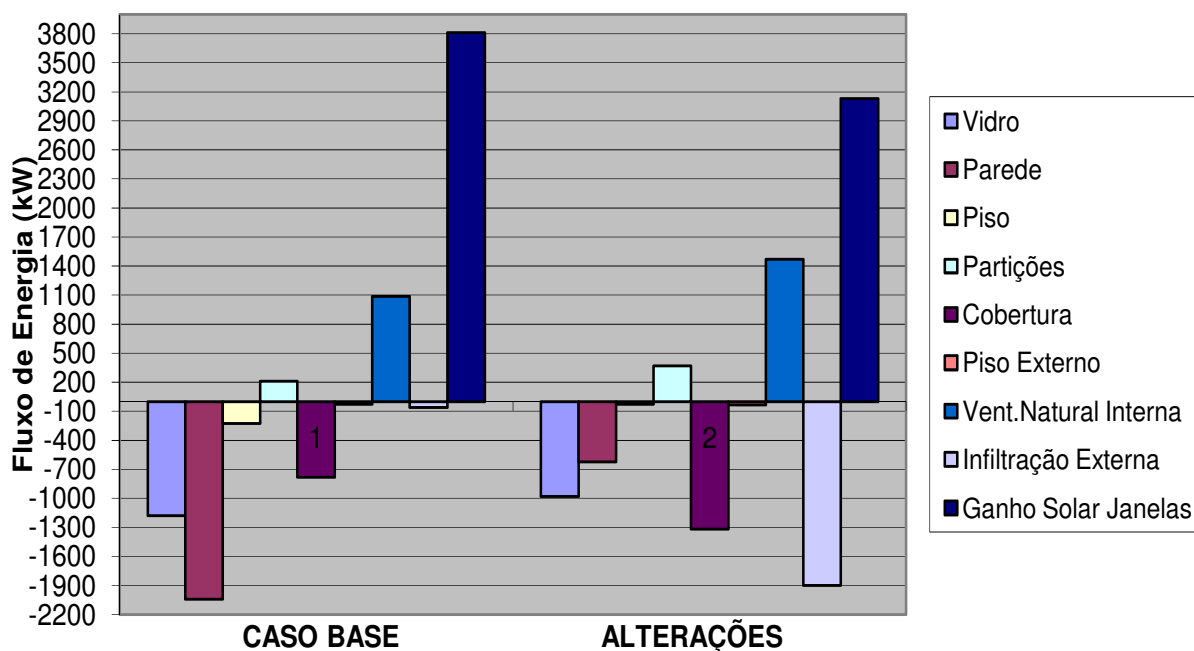


Figura 64: Fluxo de Energia (kW) no Mezanino – Santa Maria/Inverno (abr-set)

Os dormitórios seguem apresentando um comportamento muito semelhante no inverno, com diminuição das perdas pelas paredes e forro, este último justificado pela proposta nas alterações da colocação do isolamento logo acima da laje ao invés de localizado no telhado como estava no caso base.

O vidro duplo nas esquadrias influencia na diminuição dos ganhos pela radiação solar direta recebida por eles, o que é possível constatar em todos ambientes no inverno, com as alterações propostas.

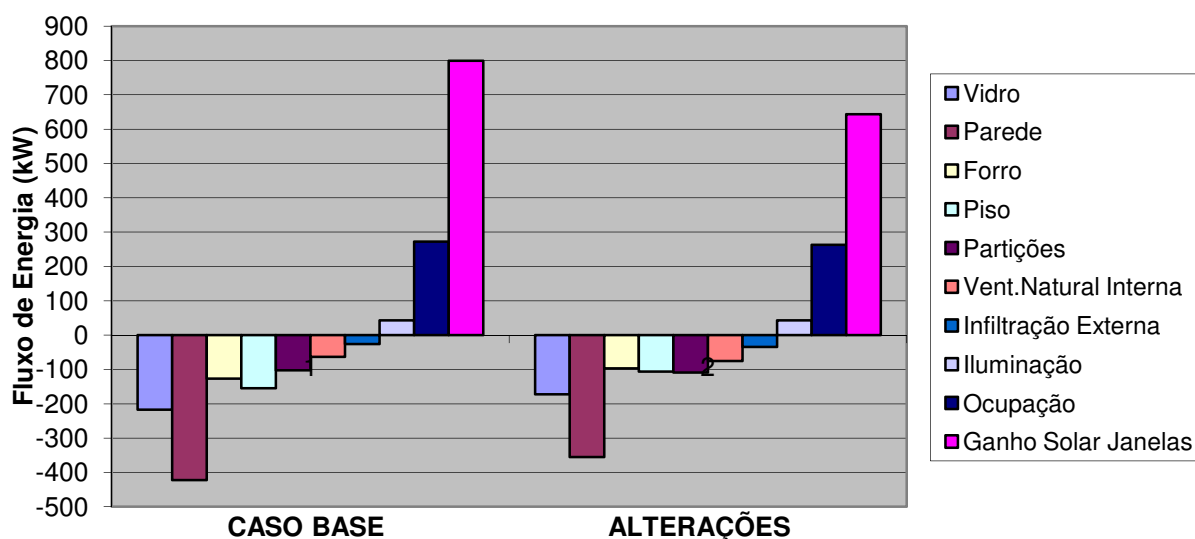


Figura 65: Fluxo de Energia (kW) no Dormitório de Casal – Santa Maria/Inverno (abr-set)

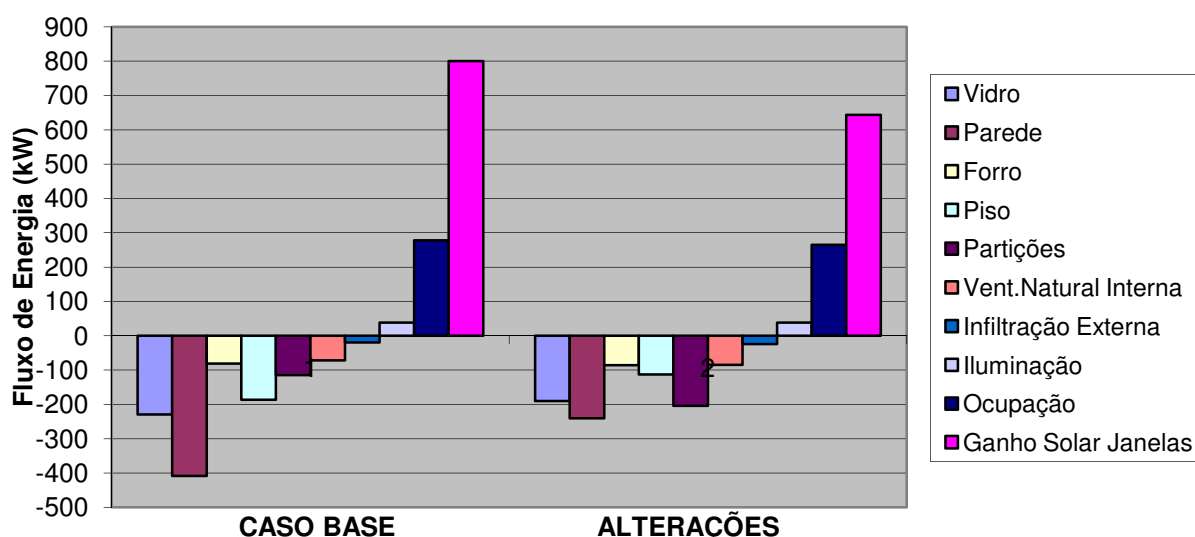


Figura 66: Fluxo de Energia (kW) no Dormitório de Solteiro – Santa Maria/Inverno (abr-set)

5.7.2 Verão - Santa Maria

O aumento do isolamento da edificação nas alterações do caso base proposto nas paredes, piso e vidros duplos é reconhecidamente uma estratégia que favorece muito mais o conforto térmico no inverno do que no verão, o que é possível constatar pela diminuição das perdas pelas paredes e piso e os ganhos pelos vidros na sala no verão, com as alterações.

No entanto, é possível observar um aumento na infiltração externa, que representa a ventilação natural, e uma diminuição dos ganhos por radiação solar na

proposta das alterações em comparação com o caso base em todos ambientes analisados.

Na sala, também aumentam significativamente as perdas pelas trocas internas com outros ambientes, conforme a Figura 67, o que deve ocorrer devido à ventilação pelo piso proposta nas alterações do caso base e ainda, possivelmente ela perca energia também para o jardim de inverno, que no verão tem sua esquadria mantida aberta e funciona como uma varanda, apesar do programa seguir reconhecendo-o como uma zona.

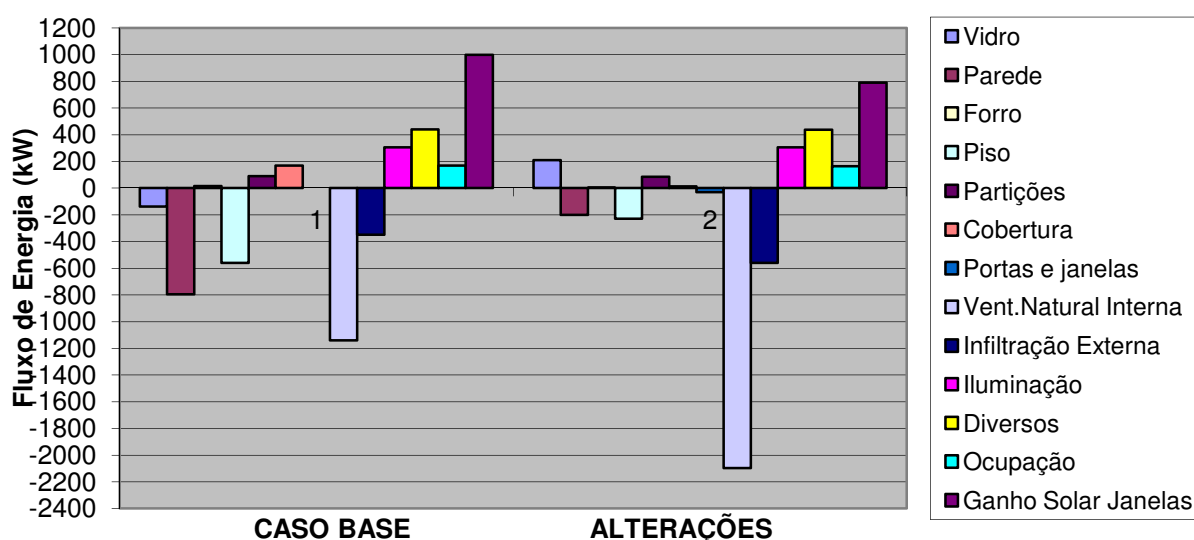


Figura 67: Fluxo de Energia (kW) na Sala – Santa Maria/Verão (out-mar)

No mezanino as perdas pelas paredes e vidros diminuem, e aumenta significativamente a perda pela ventilação natural interna, pois este perde para a sala que, por sua vez, perde para o jardim de inverno.

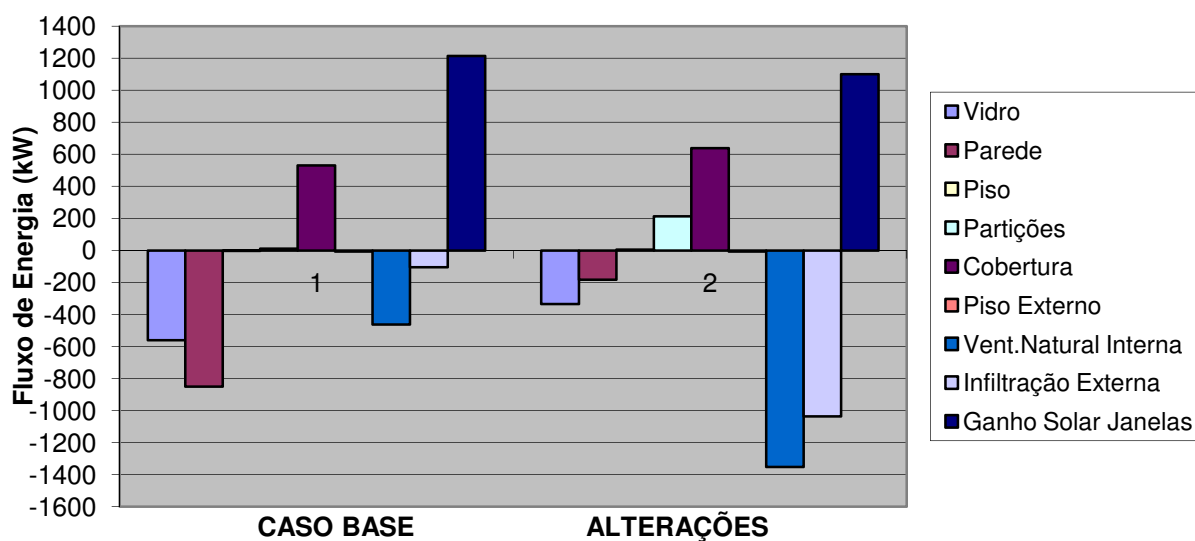


Figura 68: Fluxo de Energia (kW) no Mezanino – Santa Maria/Verão (out-mar)

Conforme a Figura 69, o dormitório de casal que no caso base ganhava calor pelas paredes, possivelmente em razão da parede leste, com o isolamento proposto nas alterações deixou de ganhar este calor.

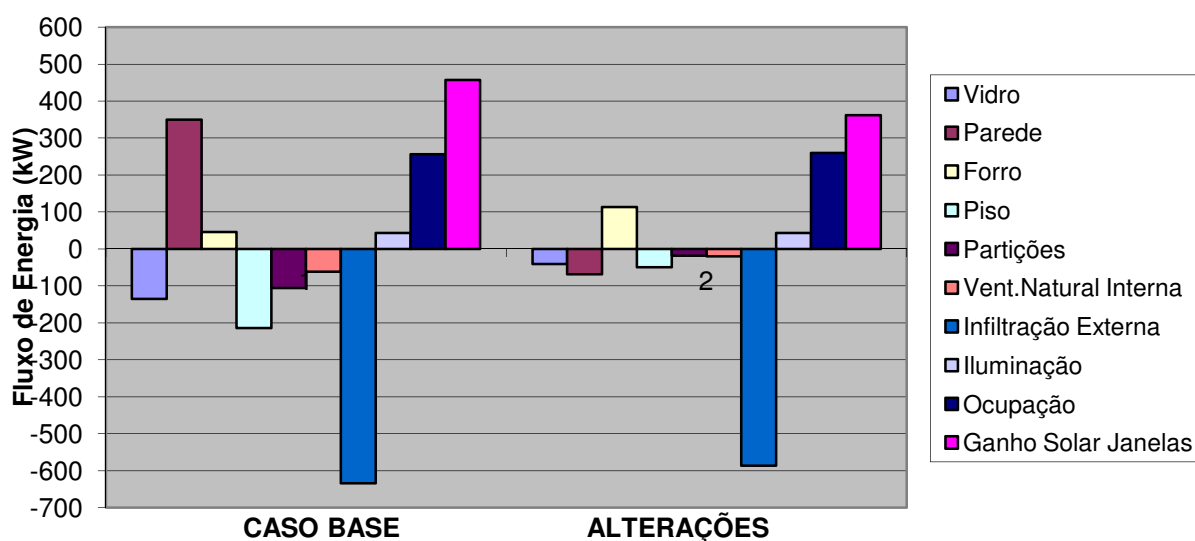


Figura 69: Fluxo de Energia (kW) no Dormitório Casal – Santa Maria/Verão (out-mar)

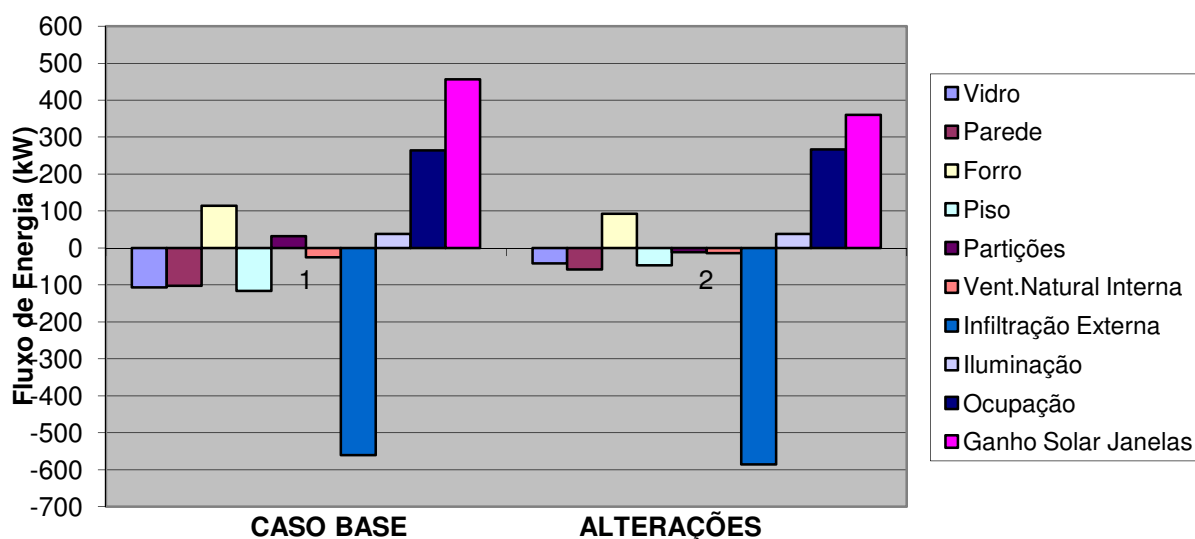


Figura 70: Fluxo de Energia (kW) no Dormitório Solteiro – Santa Maria/Verão (out-mar)

5.7.3 Inverno - Curitiba

As diferenças entre o caso base e as alterações propostas na simulação com os dados climáticos do inverno de Curitiba são muito semelhantes às do inverno de Santa Maria, podendo observar-se o mesmo comportamento dos componentes analisados.

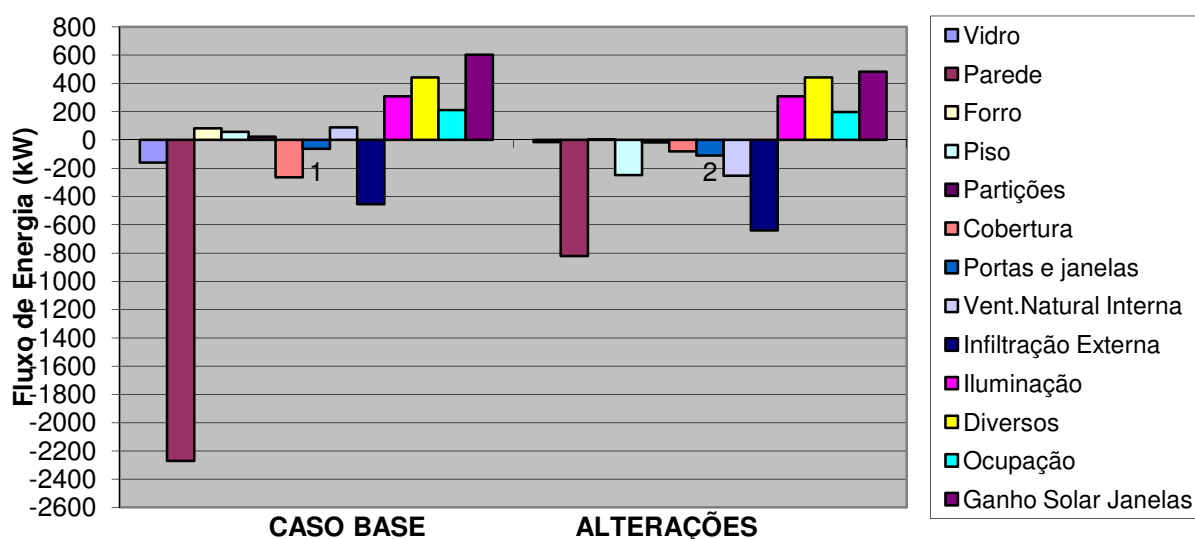


Figura 71: Fluxo de Energia (kW) na Sala – Curitiba/Inverno (abr-set)

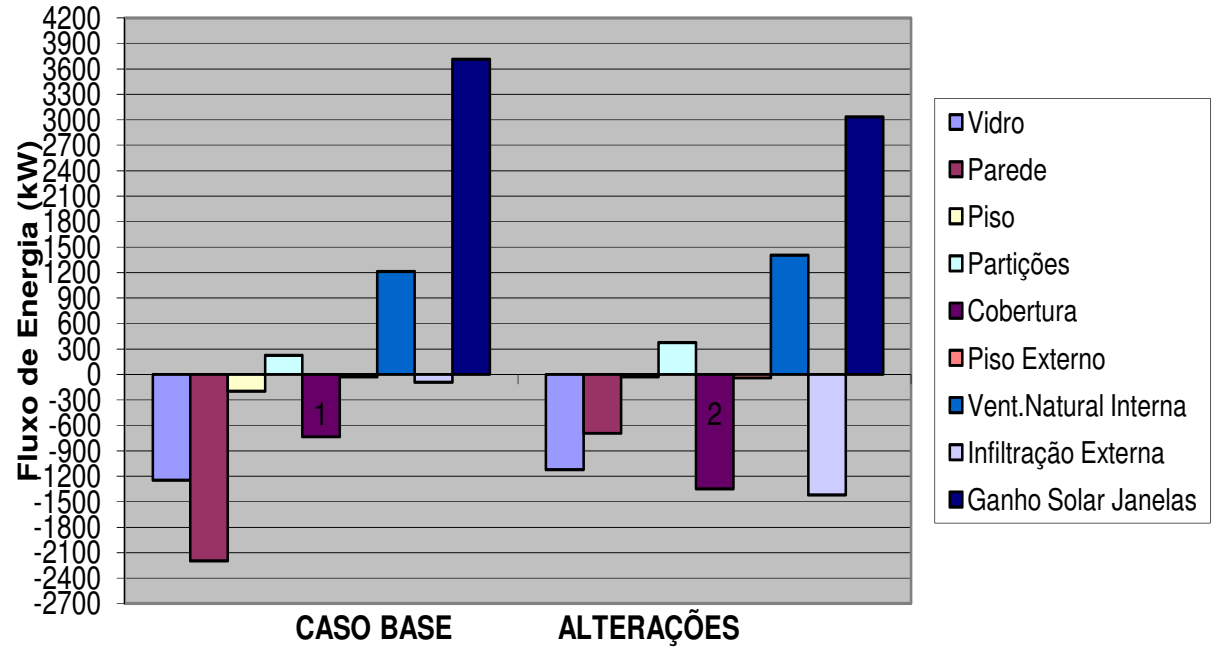


Figura 72: Fluxo de Energia (kW) no Mezanino – Curitiba/Inverno (abr-set)

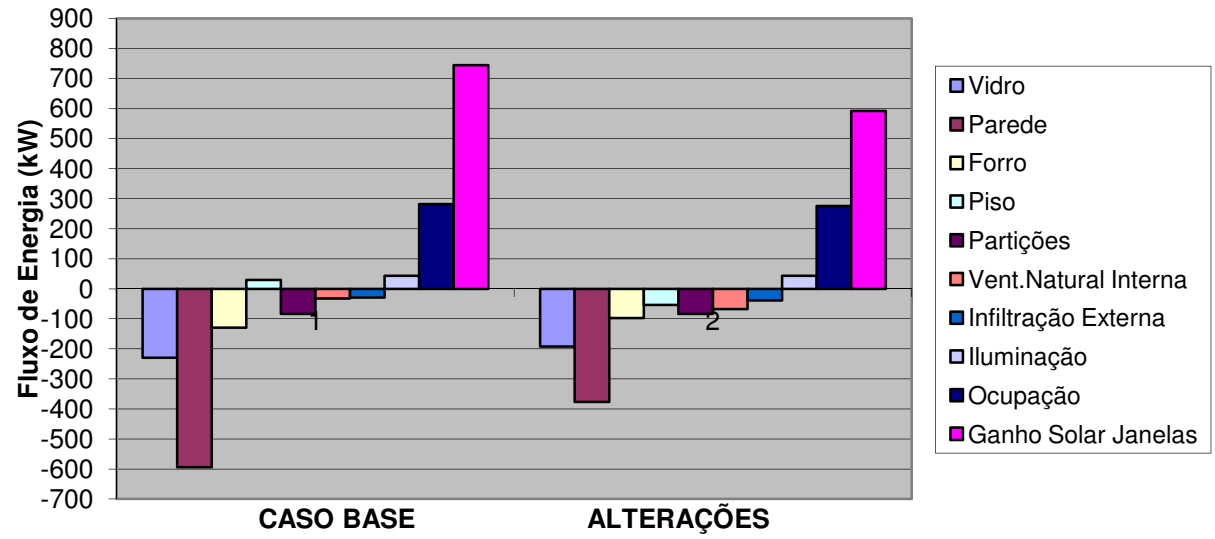


Figura 73: Fluxo de Energia (kW) no Dormitório Casal – Curitiba/Inverno (abr-set)

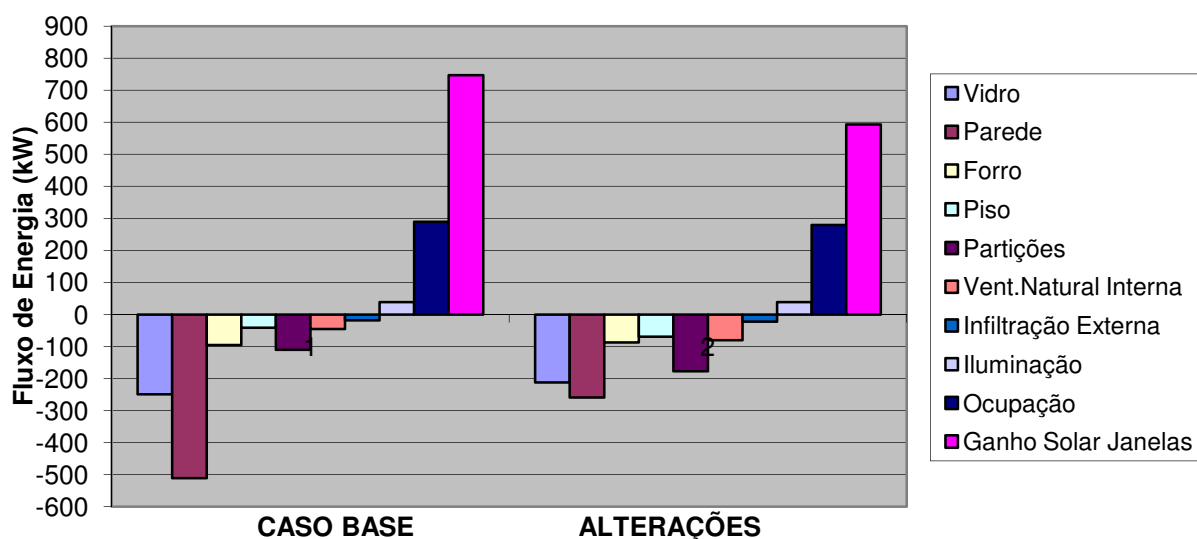


Figura 74: Fluxo de Energia (kW) no Dormitório Solteiro – Curitiba/Inverno (abr-set)

5.7.4 Verão – Florianópolis

Assim como com nos dados de inverno, as diferenças entre o caso base e as alterações propostas na simulação com os dados climáticos do verão de Florianópolis são muito semelhantes às do verão de Santa Maria, podendo observar-se o mesmo comportamento dos componentes analisados.

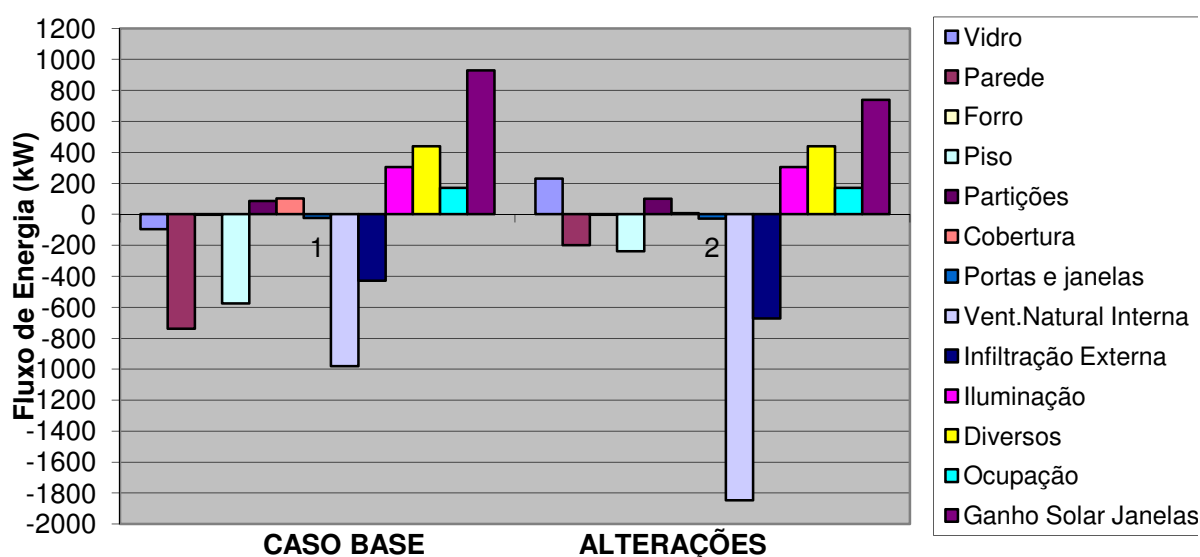


Figura 75: Fluxo de Energia (kW) na Sala – Florianópolis/Verão (out-mar)

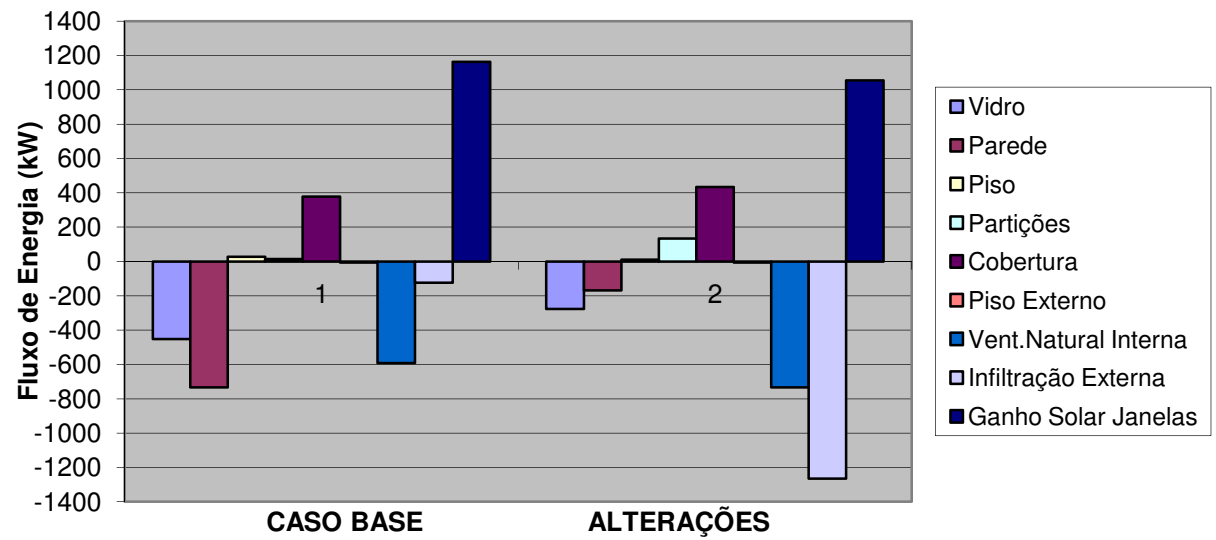


Figura 76: Fluxo de Energia (kW) no Mezanino – Florianópolis/Verão (out-mar)

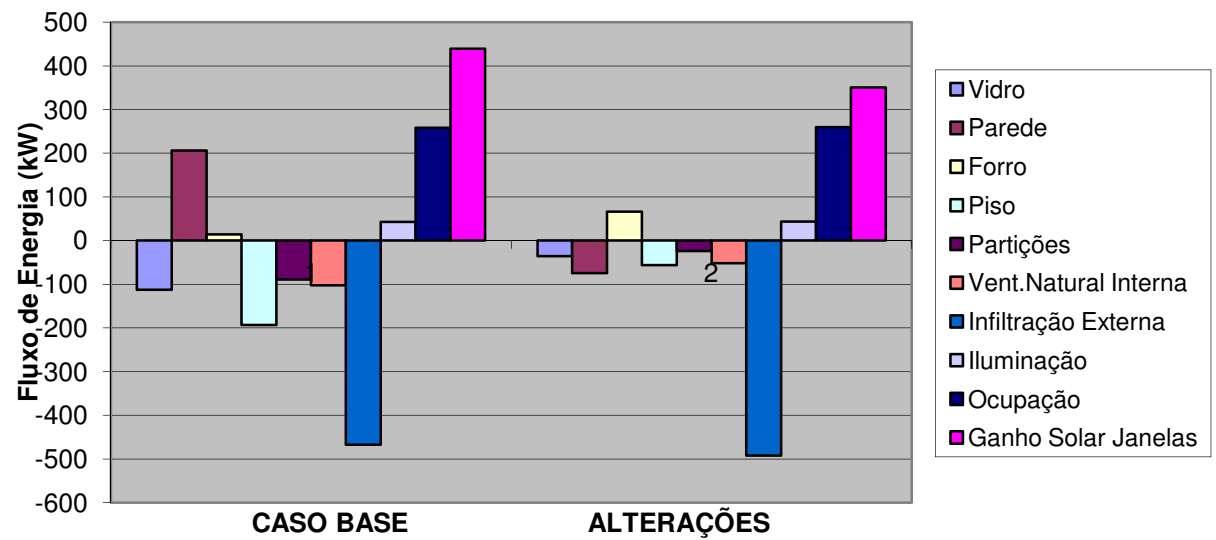


Figura 77: Fluxo de Energia (kW) no Dormitório Casal – Florianópolis/Verão (out-mar)

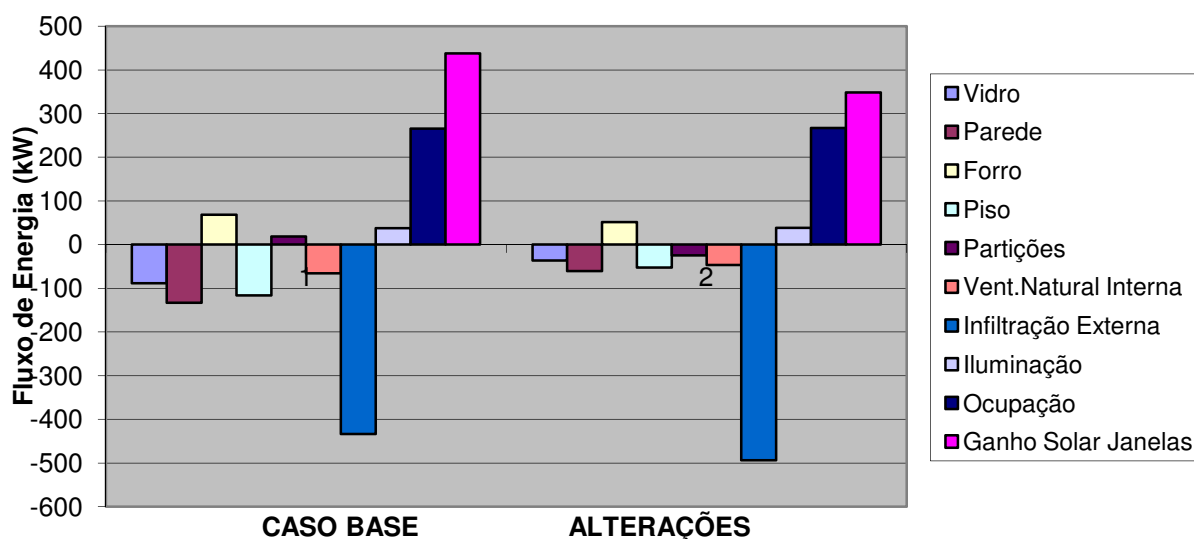


Figura 78: Fluxo de Energia (kW) no Dormitório Solteiro – Florianópolis/Verão (out-mar)

5.7.5 Avaliações das alterações do caso base segundo os graus-hora

A Tabela 29 mostra o cálculo dos graus-hora de aquecimento para as alterações propostas no projeto no período de inverno, assim como no caso base, para as temperaturas base de 18°C e 20°C.

Tabela 29: Graus-hora de aquecimento para as temperaturas base de 18°C e 20°C nas alterações do caso base.

Inverno Santa Maria	GHA T _{BASE} 18°C	GHA T _{BASE} 20°C	Inverno Curitiba	GHA T _{BASE} 18°C	GHA T _{BASE} 20°C
Sala	170	918	Sala	388	1714
Mezanino	371	1366	Mezanino	669	2381
Dorm. Casal	112	946	Dorm. Casal	371	2303
Dorm. Solteiro	50	699	Dorm. Solteiro	259	1658

Comparando-se os valores de graus-hora de aquecimento do caso base e das alterações é possível constatar-se uma melhora bastante sensível do conforto térmico no inverno, com as alterações propostas, conforme observa-se nas Tabelas 30 e 31 os valores de graus-hora de desconforto por frio caem para um valor muito baixo.

Comparando-se os valores de Santa Maria com os de Curitiba novamente é possível salientar o inverno mais crítico de Curitiba, com valores de graus-hora de desconforto por frio sempre maiores.

Tabela 30: Graus-hora de aquecimento para as temperaturas base de 18°C e 20°C, Santa Maria.

Inverno Santa Maria	Caso Base	Alterações	Caso Base	Alterações
	GH_A T_{BASE} 18°C	GH_A T_{BASE} 18°C	GH_A T_{BASE} 20°C	GH_A T_{BASE} 20°C
Sala	2359	170	5541	918
Mezanino	2660	371	5694	1366
Dorm. Casal	2312	112	5645	946
Dorm. Solteiro	1892	50	4938	699

Tabela 31: Graus-hora de aquecimento para as temperaturas base de 18°C e 20°C, Curitiba.

Inverno Curitiba	Caso Base	Alterações	Caso Base	Alterações
	GH_A T_{BASE} 18°C	GH_A T_{BASE} 18°C	GH_A T_{BASE} 20°C	GH_A T_{BASE} 20°C
Sala	3445	388	7833	1714
Mezanino	4003	669	8175	2381
Dorm. Casal	3766	371	8615	2303
Dorm. Solteiro	3054	259	7479	1658

Os graus-hora de resfriamento no inverno, apresentados na Tabela 32, são considerados para o cálculo do GH_R no RTQ-R, pois é avaliada a soma de todo ano. Desta forma, os valores de desconforto por calor no inverno influenciam diretamente no cálculo do equivalente numérico da envoltória para resfriamento (EqNumEnv_{Resfr}) e, conseqüentemente, no nível de eficiência energética da edificação.

Tabela 32: Graus-hora de resfriamento para a temperatura base de 26°C, no inverno.

Inverno Santa Maria	Caso Base	Alterações	Inverno Curitiba	Caso Base	Alterações
	GH_R T_{BASE} 26°C	GH_R T_{BASE} 26°C		GH_R T_{BASE} 26°C	GH_R T_{BASE} 26°C
Sala	756	661	Sala	114	98
Mezanino	1854	1173	Mezanino	563	338
Dorm. Casal	407	267	Dorm. Casal	28	16
Dorm. Solteiro	390	465	Dorm. Solteiro	30	47

Em se tratando dos graus-hora de resfriamento, avaliados no período de verão tanto para Santa Maria como para Florianópolis, houve uma diminuição da quantidade de graus-hora de desconforto por calor em todos ambientes, ocasionando uma melhora no conforto da edificação também no período de verão.

Tabela 33: Graus-hora de resfriamento para a temperatura base de 26°C, no verão.

Verão Santa Maria	Caso Base	Alterações	Verão Florianópolis	Caso Base	Alterações
	GH_R T_{BASE} 26°C	GH_R T_{BASE} 26°C		GH_R T_{BASE} 26°C	GH_R T_{BASE} 26°C
Sala	1521	1537	Sala	1170	1326
Mezanino	2865	2531	Mezanino	1695	1843
Dorm. Casal	2043	861	Dorm. Casal	1475	783
Dorm. Solteiro	1247	924	Dorm. Solteiro	887	865

5.7.6 Avaliações das alterações do caso base segundo RTQ-R

As alterações propostas no caso base também foram avaliadas segundo o RTQ-R (2010), da mesma forma descrita anteriormente.

5.6.4.1 Determinação do Equivalente Numérico da Envoltória da Unidade Habitacional Autônoma para Resfriamento - EqNumEnv_{Resfr}

A Tabela 344 apresenta os graus-hora de resfriamento dos períodos de verão e inverno somados chegando-se aos totais referentes ao ano.

Tabela 34: Totais de GH_R no ano por ambiente.

Ambiente	Santa Maria			Florianópolis + Curitiba		
	GH_R Verão	GH_R Inverno	GH_R Ano	GH_R Verão	GH_R Inverno	GH_R Ano
Sala	1537	661	2198	1326	98	1424
Mezanino	2531	1173	3704	1843	338	2181
Dormitório Casal	861	267	1128	783	16	799
Dormitório Solteiro	924	465	1389	865	47	912

O equivalente numérico da envoltória da unidade habitacional para resfriamento (EqNumEnv_{Resfr}) é obtido através da ponderação dos EqNumEnvAmb_{Resfr} pelas áreas úteis dos ambientes avaliados (AU_{amb}), calculado na Tabela 355.

Tabela 35: Determinação do $\text{EqNumEnv}_{\text{Resf}}$

Ambiente- Local	GHR	$\text{EqNumEnvAmb}_{\text{Resfr}}$	AU_{amb} (m^2)	$\text{EqNumEnv}_{\text{Resfr}}$
Sala Santa Maria	2198	A – 5	48,50	4,75 A
Mezanino Santa Maria	3704	B – 4	24,78	
Dormitório Casal Santa Maria	1128	A – 5	15,25	
Dormitório Solteiro Santa Maria	1389	A - 5	12,33	
			100,86	
Sala Curitiba+Florianópolis	1424	A – 5	48,50	5 A
Mezanino Curitiba+Florianópolis	2181	A – 5	24,78	
Dormitório Casal Curitiba+Florianópolis	799	A – 5	15,25	
Dormitório Solteiro Curitiba+Florianópolis	912	A – 5	12,33	
			100,86	

A Tabela 36 do RTQ-R (2010) fornece o equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento a partir do GHR .

Tabela 36: Equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento – Zona Bioclimática 2

Eficiência	$\text{EqNumEnvAmb}_{\text{Resfr}}$	Condição
A	5	$\text{GHR} \leq 2.310$
B	4	$2.310 < \text{GHR} \leq 4.396$
C	3	$4.396 < \text{GHR} \leq 6.481$
D	2	$6.481 < \text{GHR} \leq 8.567$
E	1	$\text{GHR} > 8.567$

Fonte: Adaptado de: RTQ-R (2010).

5.6.4.2 Determinação do Equivalente Numérico da Envoltória da Unidade Habitacional Autônoma para Aquecimento - EqNumEnv_A

O equivalente numérico da envoltória da unidade habitacional autônoma para aquecimento é determinado com o mesmo procedimento do de resfriamento, porém utilizando-se os valores de consumo relativo para aquecimento (C_A), apresentados na Tabela 377 e

Tabela 388.

Tabela 37: Totais de C_A no ano por ambiente.

Ambiente	Santa Maria			Curitiba+Florianópolis		
	C_A Inverno	C_A Verão	C_A Ano	C_A Inverno	C_A Verão	C_A Ano
Sala	13,935	0,038	13,973	19,303	0	19,303
Mezanino	0,039	0	0,039	0,055	0	0,055
Dormitório Casal	13,247	0,355	13,602	14,256	0	14,256
Dormitório Solteiro	12,484	0,244	12,728	11,711	0	11,711

Tabela 38: Determinação do $EqNumEnv_A$

Ambiente- Local	C_A	$EqNumEnvAmb_A$	AU_{amb} (m ²)	$EqNumEnv_A$
Sala Santa Maria	13,973	A - 5	48,50	5 A
Mezanino Santa Maria	0,039	A - 5	24,78	
Dormitório Casal Santa Maria	13,602	A - 5	15,25	
Dormitório Solteiro Santa Maria	12,728	A - 5	12,33	
			100,86	
Sala Curitiba+Florianópolis	19,303	B - 4	48,50	4,52 A
Mezanino Curitiba+Florianópolis	0,055	A - 5	24,78	
Dormitório Casal Curitiba+Florianópolis	14,256	A - 5	15,25	
Dormitório Solteiro Curitiba+Florianópolis	11,711	A - 5	12,33	
			100,86	

A Tabela 39 do RTQ-R (2010) fornece o equivalente numérico da envoltória do ambiente para aquecimento a partir do C_A .

Tabela 39: Equivalente numérico da envoltória do ambiente para aquecimento – Zona Bioclimática 2

Eficiência	EqNumEnvAmb_A	Condição
A	5	$C_A \leq 15,591$
B	4	$15,591 < C_A \leq 31,182$
C	3	$31,182 < C_A \leq 46,772$
D	2	$46,772 < C_A \leq 62,363$
E	1	$C_A > 62,363$

Fonte: Adaptado de: RTQ-R (2010).

5.6.4.3 Determinação do equivalente numérico da envoltória da unidade habitacional autônoma – EqNumEnv

Para a zona bioclimática 2, o equivalente EqNumEnv é obtido por meio da Equação 10, descrita abaixo:

$$\text{EqNumEnv} = 0,44 \times \text{EqNumEnv}_{\text{Resfr}} + 0,56 \times \text{EqNumEnv}_A \quad (\text{Equação 10})$$

Utilizando os dados climáticos de Santa Maria o resultado seria (Equação 11):

$$\text{EqNumEnv} = 0,44 \times 4,75 + 0,56 \times 5 = \mathbf{4,89} \quad (\text{Equação 11})$$

Utilizando os dados climáticos de Curitiba para o inverno e de Florianópolis para o verão, o resultado seria (Equação 12):

$$\text{EqNumEnv} = 0,44 \times 5 + 0,56 \times 4,52 = \mathbf{4,73} \quad (\text{Equação 12})$$

A Tabela 40 fornece a classificação do nível de eficiência energética de acordo com a pontuação obtida (RTQ-R, 2010).

Tabela 40: Classificação do nível de eficiência de acordo com a pontuação obtida

Condição	Nível de Eficiência
$PT \geq 4,5$	A
$3,5 \leq PT < 4,5$	B
$31,182 \leq PT < 46,772$	C
$1,5 \leq PT < 2,5$	D
$PT < 1,5$	E

Fonte: Adaptado de: RTQ-R (2010)

Segundo os resultados é possível constatar que o nível de eficiência energética da envoltória do projeto das alterações do caso base, tanto a partir dos dados climáticos de Santa Maria, como com os dados climáticos de Curitiba para o inverno e Florianópolis para o verão, estando acima de 4,5, elevou para o Nível A a eficiência energética da envoltória do projeto.

6 CONCLUSÕES

Neste trabalho foram aplicadas as estratégias bioclimáticas de condicionamento passivo para o desenvolvimento de um projeto arquitetônico de edificação residencial unifamiliar para a zona bioclimática 2, região de Pelotas-RS, sendo realizada simulação computacional deste para avaliar o comportamento da edificação frente às grandes variações climáticas ao longo do ano, ainda que se tenha tido que realizar as simulações com arquivos climáticos que não os da cidade, pela falta da existência destes. O fato de se ter simulado o projeto com três TMY diferentes buscou amenizar este problema.

Observando-se os resultados das simulações realizados, conclui-se que, mesmo com a utilização do aquecimento solar passivo com massa térmica interna, estratégia fundamental para o aquecimento da edificação, o isolamento da envoltória da edificação é fundamental para as exigências do frio em climas que possuem invernos rigorosos, a partir das comparações entre os resultados do caso base, o qual foi simulado sem isolamento, com as alterações propostas, tornando-o isolado.

Em se tratando do desempenho da edificação no período de calor, o conforto foi alcançado utilizando-se as estratégias de ventilação cruzada, ventilação por efeito chaminé, porão ventilado e aberturas no piso da sala para proporcionar trocas com o porão ventilado. No entanto, as propostas de outras estratégias passivas de resfriamento mais específicas poderiam contribuir ainda mais no resfriamento da edificação, como por exemplo, a ventilação a partir de dutos enterrados, o resfriamento evaporativo no entorno ou o simples uso de cortinas para amenizar a radiação difusa.

Concluindo, as alterações no caso base atingiram as melhorias desejadas no desempenho termo energético do projeto tanto para o período do inverno como no verão.

A avaliação da eficiência energética da envoltória do projeto segundo o RTQ-R resultou em Nível C para o caso base. Com as alterações propostas a eficiência elevou-se para o Nível A.

A aplicação da metodologia de avaliação da eficiência energética da envoltória por simulação, segundo o RTQ-R, possibilitou a este trabalho, além da avaliação dos resultados das simulações do projeto arquitetônico proposto, que era o objetivo inicial, uma avaliação do regulamento em si.

Considerando-se que o RTQ-R é recente e sabidamente poucas avaliações pelo método da simulação computacional foram realizadas até o momento, é um importante estudo no sentido de avaliar a aplicação deste e levantar questionamentos e discussões sobre questões pontuais, como o caso da temperatura de *setpoint* para abertura das janelas e a utilização do arquivo climático TMY da Cidade de Santa Maria, representativo da zona bioclimática 2 no RTQ-R.

Em se tratando da temperatura de *setpoint* para abertura das janelas nas simulações da edificação, que no RTQ-R foi utilizada para as simulações do método prescritivo a temperatura definida em 20°C, esta precisa ser revista, pois, para as simulações da zona bioclimática 2, para o período de inverno é muito baixa, prejudicando o acúmulo de calor no interior da edificação, desejado neste período.

Fica evidente, portanto, a importância da correta especificação da temperatura de *setpoint*, parâmetro para acionamento da abertura das janelas, para o procedimento de simulação para a avaliação da eficiência energética, para que não ocorra de uma edificação ter desempenho baixo não em função do projeto, mas sim da não adequação destes parâmetros.

Portanto, é necessário avançar as discussões neste sentido e tentar definir-se uma temperatura de *setpoint* para um modelo simulado anualmente, que possibilite tirar partido, da melhor forma possível, das estratégias bioclimáticas propostas no projeto, sem prejudicar a avaliação, tanto dos GH_R como do C_A , na determinação da eficiência energética da envoltória de um projeto.

As avaliações das simulações evidenciaram, ainda, questionamentos quanto ao arquivo climático TMY de Santa Maria, principalmente no período de inverno, e a necessidade da criação de um novo arquivo climático TMY ou TRY representativo

da zona bioclimática 2, para os estudos futuros e possíveis revisões do RTQ-C e RTQ-R.

Por fim, é importante salientar a dificuldade de se projetar uma edificação confortável durante todo ano para locais de grandes variações climáticas, com invernos rigorosos e verões também bastante quentes, como é o caso de Pelotas-RS, o que evidencia a necessidade do gerenciamento da arquitetura bioclimática, através da automação inteligente das estratégias passivas de condicionamento para tirar o máximo proveito possível destas e avaliar realmente todo o potencial bioclimático do projeto.

Portanto, como recomendações para trabalhos futuros seria interessante o desenvolvimento de uma maior flexibilização da edificação, a partir do estudo da automação das estratégias bioclimáticas e a necessidade de se explorar mais o desempenho de cada estratégia aplicada isoladamente e combinada a outras específicas.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho Térmico para Edificações de Interesse Social**, 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: ABNT, 2005a.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho Térmico para Edificações de Interesse Social**, Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005b.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos**, Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY FOR HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERING. Standard 55: **Thermal environmental conditions for human occupancy**. ASHRAE: Atlanta, 2004a.

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY FOR HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERING. Standard 140: **Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs**. Atlanta, 2004b.

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY FOR HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERING. **Handbook of Fundamentals**. Atlanta, 2009.

BROWN, G. Z.; DEKAY, M. **Sol, vento e luz: estratégias para o projeto de arquitetura**. Editora Bookman Companhia Ed, 2004.

CARLO, J. C. **Processamento de Arquivos Climáticos para Simulação do Desempenho Energético de Edificações**. Relatório técnico. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - UFSC. Florianópolis, 2005.

CIÊNCIA VIVA. Disponível em: <http://www.cienciaviva.pt/equinocio/lat_long/cap2.asp>. Acesso em: 18 de janeiro de 2010.

CUNHA, E. G. **Elementos de arquitetura de climatização natural: método projetual buscando a eficiência energética nas edificações**, Passo Fundo: UPF, 2004.

CUNHA, E. G. **Análise do modelo de adaptação da norma alemã EnEV 2007 para o cálculo de carga térmica de aquecimento para a cidade de porto alegre, rs, com base em simulação computacional com o Software EnergyPlus**. In: 13º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Canela, 2010.

DESINGBUILDER. **ANSI/ASHRAE Standard 140-2007 Building Thermal Envelope and Fabric Load Tests**. DesignBuilder Version 2.1.0 (incorporating EnergyPlus version 4.0.0), 2010.

DESINGBUILDER. Versão. 2.3.5.036. Disponível em: <<http://www.designbuilder.co.uk/>>. Acesso em: 01 março 2011.

DORNELLES, K. A. **Absortância Solar de superfícies opacas: Conceitos, Métodos de determinação e base de dados para tintas imobiliárias**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

EMBRAPA Clima Temperado. Disponível em: <<http://www.cpact.embrapa.br/index.php>>. Acesso em: 02 fev. 2010.

ENERGYPLUS. Versão.6.0. Disponível em: <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>>. Acesso em: 01 maio 2011.

FANGER, P.O. **Thermal Comfort**. New York. McGraw Hill Book Company. 1970.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GHISI, E.; LAMBERTS, R.; RORIZ, M.; PEREIRA, F. O. R.; SOUZA, M. C. R. **Normalização em conforto ambiental: desempenho térmico, lumínico e acústico de edificações** - Porto Alegre : ANTAC, 2003. (Coleção Habitare, v. 3, cap. 2)

GIVONI, B. *Man, Climate and Architecture*. New York, 1969.

GIVONI, B. **Comfort, climate analysis and building design guidelines**. Energy and Building, vol.18, 1992.

GOULART, S. **Dados Climáticos para Avaliação de Desempenho Térmico de Edificações em Florianópolis**. 1993. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis.

GOULART, S.; PITTA, T. **Advanced topics in Bioclimatology to building design, regarding environmental comfort**. PPGE-UFSC. Florianópolis. 1994.

GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. Disponível em: <<http://www.gbcbrasil.org.br>>. Acesso em: 10 jan. 2010.

INMET/ELETOBRAS. **Dados Meteorológicos**. 2010.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, RTQ-C**. Eletrobrás, 2010.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Requisitos de Avaliação da Conformidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, RAC-C**. Eletrobrás, 2010.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, RTQ-R**. Eletrobrás, 2010.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Requisitos de Avaliação da Conformidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, RAC-R**. Eletrobrás, 2011.

INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730** Moderate thermal environments—determination of the PMV and PPD indices and specification of conditions for thermal comfort. Geneva, 1984.

INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730** Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Geneva, 2005.

KOENIGSBERGER, O. H.; INGERSOLL, T. G.; MAYHEW, A.; SZOKOLAY, S. V. **Manual of Tropical Housing and Building. Part one: Climatic Design.** Longman, London, 1973.

KUHN, E. A.; PROFES, M. B.; ZANIN, N. Z.; SATTTLER, M. A. **Projeto de equipamento multifuncional de baixo custo - Aquecedor de ambientes e de água, forno e fogão.** In: IV Encontro Nacional e II Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, Campo Grande, 2007.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES, LABEEE. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. **Analysis Bio.** Versão 2.1.5. 2009a. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/softwares/analysis-bio>>.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES, LABEEE. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. **Analysis Sol-ar.** Versão 6.2. 2009b. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/softwares/analysis-sol-ar>>.

LAMBERTS, R.; BOGO, A.; PIETROBON, C.; BARBOSA, M.; GOULART, S.; PITTA, T. Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico. Relatório Interno, 02/94. UFSC, 1994.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** Ed. ProLivros, São Paulo, 2001.

MACIEL, A. A. **Integração de conceitos bioclimáticos ao projeto arquitetônico.** 2006. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis.

MACIEL, A. A.; ANDRADE, S. F.; GUGEL, E. C.; BATISTA, J. O.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. **Projeto Casa Eficiente: demonstração de eficiência energética em habitação unifamiliar.** In: 11º Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, Florianópolis, 2006.

MARTINS, D. J.; RAU, S. L.; RECKZIEGEL, S.; FERRUGEM, A. P.; SILVA, A. C. S. B. **Ensaio sobre a utilização da automação de aberturas na simulação do desempenho térmico de edificações.** In: 10º Encontro Nacional e 6º Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Natal, 2009a.

MARTINS, T. A. L.; BITTENCOURT, L. S.; CAVALCANTI, F. S. **Arquitetura bioclimática para o semi-árido Alagoano: projeto de uma edificação residencial para zona rural de Maravilha-AL.** In: 10º Encontro Nacional e 6º Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Natal, 2009b.

MATOS, M. **Simulação computacional do desempenho térmico de residências em florianópolis utilizando a ventilação natural.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis.

MENDES, N.; WESTPHAL, F.S.; LAMBERTS, R.; CUNHA NETO, J. A. B. **Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil.** Ambiente Construído, Porto Alegre, 2005.

MORELLO, A. **Avaliação do comportamento térmico do protótipo habitacional Alvorada.** 2005. Dissertação de Mestrado, NORIE - UFRGS, Porto Alegre.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil.** Rio de Janeiro, IBGE, 1989.

OLGYAY, V. **Design with climate, bioclimatic approach to architecture regionalism.** Princeton University, New Jersey, 1963.

OLGYAY, V. **Clima y Arquitectura en Colombia.** Universidad del Valle, Facultad de Arquitectura, Cali, Colombia, 1968.

PAPST, A. L. **Uso de Inércia Térmica em Clima Subtropical – Estudo de caso Florianópolis-SC.** 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina- UFSC, Florianópolis.

PAPST, A. L. **Diretrizes Bioclimáticas para Estruturação do Programa de Necessidades.** In: ENTAC - XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Florianópolis, SC, 2006.

PEREIRA, C. D.; GHISI, E. **A influência do envelope no desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ocupadas e ventiladas naturalmente.** In: ENCAC - X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Natal, RN, 2009.

PEREIRA, C. D.; GHISI, E. **Calibração de um modelo computacional de uma residência unifamiliar localizada em Florianópolis.** In: ENTAC - XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Fortaleza, CE, 2008.

PEREIRA, I.; ALVES, T.; PINHEIRO, R.; ASSIS, E. **Metodologia de tratamento de dados climáticos para inserção em softwares de simulação energética de edifícios.** In: I Conferência Latino-americana de Construção Sustentável e X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo, SP, 2004.

POUEY, J. A.; SILVA, A. C. S. B. **Análise das estratégias bioclimáticas para otimização do desempenho térmico de edificações em locais de grande variação climática.** In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Canela, RS, 2010.

PRIETTO, P. L. M. **Dados Climáticos de Pelotas.** Pelotas, 1987.

PROCESSO AQUA. Disponível em: <<http://www.processoaqua.com.br/index.html>>. Acesso em: 14 mar. 2011.

RORIZ, M.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Uma proposta de norma técnica brasileira sobre desempenho térmico de habitações populares.** In: 5º Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Fortaleza, 1999.

ROSA, M. **Geografia de Pelotas.** Pelotas: Ed. da UFPEL, 1985.

SILVA, A. C. S. B.; GONÇALVES, M. R. F. **Avaliação de desempenho térmico de protótipo de unidade habitacional pré-moldada de placas lisas cimentícias em zona bioclimática 2 (verão).** In: 12º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Fortaleza, 2008.

SILVA, A. C. S. B.; GONÇALVES, M. R. F. **Avaliação de desempenho térmico de protótipo de unidade habitacional pré-moldada de placas lisas cimentícias em zona bioclimática 2 (inverno).** In: 13º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Canela, 2010.

SILVA, A. C. S. B. **Zoneamento Bioclimático Brasileiro para Fins de Edificação.** Dissertação de Mestrado, NORIE - UFRGS, Porto Alegre, 1994.

SOLAR DECATHLON–CASA SOLAR FLEX. Disponível em: <<http://www.sdbrasil.org/ptbr/index.php>>. Acesso em: 04 fev. 2010.

SOLAR DECATHLON – EKÓ HOUSE. Disponível em: <<http://www.sdbrasil.org/index.php?lang=pt-BR>>. Acesso em: 28 ago. 2011.

SZOKOLAY, S. V. **Thermal Design of Buildings.** Raia Education Division, Austrália, 1987.

VAZQUEZ, E. G.; BRANDÃO, M. G. S.; SILVA, O. J. C. **STEPHOUSE – Projeto de residência unifamiliar ecoeficiente.** In: 10º Encontro Nacional e 6º Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Natal, 2009.

VOLTANI, E. R.; LABAKI, L. C. **Revisão da última versão da Norma ISO 7730 (2005).** In: 12º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Fortaleza, 2008.

WESTPHAL, F. S. **Desenvolvimento de um algoritmo para estimativa do consumo de energia elétrica de edificações não residenciais a partir de dados climáticos simplificados.** 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis.

WIKIPÉDIA. Disponível em: http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:World_Koppen_Map.png. Acesso em 20 de janeiro de 2010.

YEANG, K. **Designing with nature. The ecological basis for architectural design.** New York. McGraw-Hill, 1995.