

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Fernando Elias França Machado

**A EFICIÊNCIA DE TÉCNICAS SUSTENTÁVEIS NA
CONSTRUÇÃO CIVIL MEDIDA ATRAVÉS DO
CONFORTO TÉRMICO:
ESTUDO EM ESCOLA NO MUNICÍPIO DE FELIZ**

Porto Alegre
dezembro 2010

FERNANDO ELIAS FRANÇA MACHADO

**A EFICIÊNCIA DE TÉCNICAS SUSTENTÁVEIS NA
CONSTRUÇÃO CIVIL MEDIDA ATRAVÉS DO
CONFORTO TÉRMICO:
ESTUDO EM ESCOLA NO MUNICÍPIO DE FELIZ**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Miguel Aloysio Sattler

Porto Alegre
dezembro 2010

FERNANDO ELIAS FRANÇA MACHADO

**A EFICIÊNCIA DE TÉCNICAS SUSTENTÁVEIS NA
CONSTRUÇÃO CIVIL MEDIDA ATRAVÉS DO
CONFORTO TÉRMICO:
ESTUDO EM ESCOLA NO MUNICÍPIO DE FELIZ**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 20 de dezembro de 2010

Prof. Miguel A. Sattler
PhD University of Liverpool
Orientador

Profª. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Miguel A. Sattler (UFRGS)
PhD University of Liverpool

Prof. Inácio B. Morsch (UFRGS)
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profª. Carolina B. Gemelli (UFRGS)
Mestre em Eng. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho a meus pais, Luís Alberto Machado e Dayse Lúcida Ramos França, que sempre me apoiaram e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais por me incentivarem pela busca contínua de aprendizado.

Agradeço a minha namorada Gabriela por me apoiar em momentos difíceis.

Agradeço ao Prof. Miguel Aloysio Sattler, orientador deste trabalho, pelos ensinamentos, pela compreensão e paciência.

Agradeço a UFRGS pela oportunidade de ensino de qualidade.

Agradeço a minha vó Lazi por me auxiliar em moradia durante toda a minha faculdade.

Agradeço aos meus amigos por me ajudarem a aliviar as pressões quando necessário.

Agradeço a Renata Tubelo por ter cedido os dados da sua tese de mestrado referente às medições da escola de Feliz.

Se minha mente consegue imaginar, então eu consigo
realizar.

Napoleon Hill

RESUMO

MACHADO, F. E. F. **A Eficiência de Técnicas Sustentáveis na Construção Civil Medida Através do Conforto Térmico:** estudo em escola no município de Feliz. 2009. 79 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Este trabalho versa sobre a verificação do desempenho térmico de uma escola, Unidade do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, localizada no município de Feliz, a qual foi concebida sob os princípios da sustentabilidade. O projeto foi desenvolvido por uma empresa de arquitetura em parceria com o NORIE (Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul). Durante o período de nove meses, foram realizadas medições *in loco* de temperatura e umidade relativa. Estas medições foram realizadas através de sensores térmicos do tipo HOBO, os quais são capazes de armazenar dados de medições continuamente durante vários meses consecutivos. Comparando estes dados de valores coletados com o diagrama bioclimático de Givoni, foi possível verificar a eficiência da edificação estudada em abrandar as condições climáticas externas e, assim proporcionar melhores condições de conforto aos seus ocupantes. Através do conceito Graus-Hora e Grau-Médio também foi verificado que os dados internos tiveram, relativamente, menores amplitudes em suas oscilações, gerando assim menos desconforto por frio ou por calor aos usuários da Edificação.

Palavras-chave: conforto térmico; técnicas construtivas, sustentabilidade.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: fluxograma de pesquisa.....	16
Figura 2: preservação dos elementos naturais.....	25
Figura 3: janelas superiores da fachada norte.....	26
Figura 4: janelas inferiores e bandeja de luz interna.....	26
Figura 5: janelas da fachada sul.....	27
Figura 6: isolamento térmico do telhado com chapas do tipo <i>off-set</i>	28
Figura 7: paredes externas duplas.....	29
Figura 8: zoneamento bioclimático brasileiro.....	33
Figura 9: carta bioclimática com as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Caxias do Sul, RS.....	34
Figura 10: aberturas para ventilação.....	34
Figura 11: vedações externas.....	35
Figura 12: correlação entre PMV e PPD.....	38
Figura 13: zona de conforto estabelecida por Givoni em 1992.....	39
Figura 14: carta bioclimática proposta por Givoni em 1992.....	40
Figura 15: sensores para captação dos dados.....	47
Figura 16: posicionamento dos sensores.....	48
Figura 17: fachada sul (à esquerda), corte da sala (meio) e fachada norte (à direita).....	48
Figura 18: implantação da edificação em relação ao norte.....	49
Figura 19: corte representativo da Edificação em relação às árvores.....	49
Figura 20: ocorrência de ventilação cruzada.....	50
Figura 21: variação semanal das médias de temperatura e umidade relativa no verão.....	53
Figura 22: variação horária da temperatura na semana mais quente do verão.....	53
Figura 23: variação horária de umidade relativa na semana mais quente do verão.....	53
Figura 24: diagrama bioclimático de Givoni para os valores externos e internos.....	55
Figura 25: variação semanal das médias de temperatura e umidade relativa no outono.....	57
Figura 26: variação horária da temperatura na semana mais quente do outono.....	58
Figura 27: variação horária de umidade relativa na semana mais quente do outono.....	58
Figura 28: variação horária da temperatura na semana mais fria do outono.....	59
Figura 29: variação horária de umidade relativa na semana mais fria do outono.....	59
Figura 30: diagrama bioclimático de Givoni para os dados do outono.....	61
Figura 31: variação semanal das médias de temperatura e umidade relativa no inverno.....	63
Figura 32: variação horária de temperatura na semana mais fria do inverno.....	63

Figura 33: variação horária de umidade relativa na semana mais fria do inverno.....	64
Figura 34: diagrama bioclimático de Givoni para os dados do inverno.....	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: valores máximos de temperatura e umidade relativa na semana mais quente do verão.....	54
Quadro 2: graus-hora e grau-médio para o período de verão.....	56
Quadro 3: valores máximos de temperatura e umidade relativa na semana mais quente do outono.....	60
Quadro 4: valores mínimos de temperatura e valores máximos de umidade relativa na semana mais fria do outono.....	60
Quadro 5: graus-hora e grau-médio para o período do outono.....	62
Quadro 6: valores mínimos de temperatura e valores máximos de umidade relativa na semana mais fria do inverno.....	64
Quadro 7: graus-hora e grau-médio para o período de inverno.....	67

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 MÉTODO DE PESQUISA	14
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA.....	14
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO.....	14
2.2.1 Objetivo principal	14
2.2.2 Objetivo secundário	14
2.3 HIPÓTESE.....	15
2.4 PRESSUPOSTO.....	15
2.5 DELIMITAÇÕES.....	15
2.6 LIMITAÇÕES.....	15
2.7 DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	16
3. O AMBIENTE E O ORGANISMO HUMANO	18
3.1 O AMBIENTE.....	18
3.2 O ORGANISMO HUMANO.....	19
3.2.1 Metabolismo	20
3.2.2 Termorregulação	20
3.2.3 Reação ao frio e ao calor	21
3.2.4 A fadiga higrotérmica	22
3.2.5 Aclimação	22
4 AS PRINCIPAIS TÉCNICAS CONSTRUTIVAS UTILIZADAS NA ESCOLA ESTUDADA	24
5 MÉTODOS E CRITÉRIOS PARA A AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO	30
5.1 ALGUNS ASPECTOS SOBRE A NORMA 55 DA ASHRAE.....	30
5.2 NBR 15220 – DESEMPENHO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES.....	32
5.3 PARÂMETROS DE FANGER PARA VERIFICAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO.....	35
5.3.1 Vestimenta	35
5.3.2 Atividade física	36
5.3.3 Voto médio estimado	36
5.3.4 Alguns aspectos da norma ISO 7730	38
5.4 O DIAGRAMA BIOCLIMÁTICO DE GIVONI (1992).....	39
5.4.1 Zona 1: conforto	40
5.4.2 Zona 2: ventilação	41

5.4.3 Zona 3: resfriamento evaporativo.....	41
5.4.4 Zona 4: massa térmica para resfriamento.....	41
5.4.5 Zona 5: ar condicionado.....	41
5.4.6 Zona 6: umidificação.....	42
5.4.7 Zona 7: massa térmica e aquecimento solar.....	42
5.4.8 Zona 8: aquecimento solar passivo.....	42
5.4.9 Zona 9: aquecimento artificial.....	42
5.5 CRITÉRIOS E MÉTODOS ADOTADOS PARA A VERIFICAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DA EDIFICAÇÃO ESTUDADA.....	43
5.5.1 Graus-Hora ou Graus-Dia.....	44
5.5.2 Grau-médio.....	45
6 LOCALIZAÇÃO, PROJETOS E INSTRUMENTAÇÕES DA EDIFICAÇÃO ..	46
6.1 INSTRUMENTAÇÕES PARA COLETA DE DADOS.....	46
6.2 LOCALIZAÇÃO E PROJETOS DA EDIFICAÇÃO.....	47
7 ANÁLISE DOS DADOS.....	51
7.1 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DA EDIFICAÇÃO NO VERÃO.....	52
7.2 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DA EDIFICAÇÃO NO OUTONO.....	56
7.3 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DA EDIFICAÇÃO NO INVERNO.....	62
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	68
REFERÊNCIAS.....	733

1 INTRODUÇÃO

Hoje a construção civil é o principal setor responsável pelos impactos gerados ao meio ambiente e, a sua cadeia produtiva, por um grande consumo de recursos naturais. Portanto, a concepção de construções mais sustentáveis é necessária para minimizar estes impactos e otimizar a utilização dos recursos naturais disponíveis. Construções sustentáveis seriam aquelas que atendessem às questões econômicas, sociais, ambientais, culturais e políticas, de acordo com as dimensões da sustentabilidade, a qual está diretamente relacionada com os impactos causados nos diversos âmbitos acima citados. Neste contexto, vale ressaltar que raramente são utilizadas técnicas que correspondam a todas estas expectativas esperadas. Portanto, podemos referir como construções mais sustentáveis aquelas que almejam materializar ao máximo estes conceitos.

A utilização de técnicas que busquem uma maior sustentabilidade, além de proporcionar benefícios diretos, também proporciona os benefícios indiretos, que podem ser entendidos como aqueles decorrentes dos benefícios diretos. Por exemplo: uma vantagem imediata da utilização de técnicas para o uso racional de energia elétrica é o conforto térmico e, como consequência deste benefício, melhor qualidade na saúde dos usuários da edificação.

Portanto, na medida em que for possível atingir os mesmos objetivos, mas de uma maneira mais eficiente, tais técnicas devem ser ressaltadas. O conforto térmico em um determinado ambiente, quando alcançado de uma maneira natural, demonstra a eficiência das técnicas utilizadas na construção deste ambiente. Uma escola localizada no município de Feliz, Unidade do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, foi concebida através dos princípios da sustentabilidade. Algumas das técnicas construtivas utilizadas na Escola, que contribuem com o conforto térmico da edificação, são: paredes externas duplas, maximização da iluminação e ventilação natural, isolamento térmico da cobertura, piso elevado, preservação dos elementos naturais ao redor da edificação, orientação solar da edificação, dimensionamento e orientação das aberturas e de bandejas de luz.

Com a finalidade de análise da eficiência das técnicas construtivas utilizadas na Escola estudada, foi realizado um monitoramento das condições térmicas desta edificação, através de

medições internas e externas de temperatura e umidade relativa. Associadas à pesquisa bibliográfica, foi possível investigar os níveis de conforto térmico foi oferecido aos seus usuários, no período da coleta de dados.

Além deste capítulo, que apresenta a introdução, o trabalho tem, no capítulo 2, o método de pesquisa do estudo, no qual estão incluídas a questão de pesquisa, objetivos, hipótese, pressupostos, delimitações, limitações e delineamento de pesquisa, que orientaram a realização deste trabalho. No capítulo 3 apresentam-se temas relacionados à interação do ambiente construído com o organismo humano. O capítulo 4 contempla as principais técnicas construtivas que foram utilizadas na Escola e as suas funções em relação ao conforto térmico. No capítulo 5 são abordados alguns métodos e critérios para a avaliação do desempenho térmico de edificações, para que, através dos diversos métodos e critérios apresentados, fosse possível escolher aquele que melhor se adequasse a edificação estudada. E no capítulo 6 apresentam-se as considerações finais.

2. MÉTODO DE PESQUISA

O método de pesquisa baseia-se em diretrizes, as quais se relacionam entre si e definem o desenvolvimento do trabalho.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: as técnicas de construção aplicadas na Escola em estudo são eficazes quanto às condições de conforto térmico geradas considerando-se os estudos bioclimáticos de Givoni como referência?

2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Os objetivos do trabalho estão classificados em principal e secundário e são apresentados nos próximos itens.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal deste trabalho é a análise da eficácia, quanto ao conforto térmico, de técnicas racionais e sustentáveis aplicadas à edificação em estudo, comparando os dados das medições *in loco* internos e externos com os estudos de Givoni.

2.2.2 Objetivos secundários

Este trabalho apresenta dois objetivos secundários. Um deles, foi a seleção dos valores limites, entre os estudados por Givoni, para a zona de conforto térmico, que será utilizada como referência para a verificação da eficácia das técnicas construtivas adotadas na Escola

em estudo. E outro objetivo secundário é a identificação das técnicas construtivas utilizadas e as suas funções em relação ao conforto térmico.

2.3 HIPÓTESE

A hipótese do trabalho é que o sistema construtivo, o qual foi definido baseado nos princípios da sustentabilidade e da eficiência energética, adotado na construção da Escola, é eficaz quanto ao oferecimento aos usuários de condições de conforto térmico, independente das variações climáticas às quais está submetida ao longo do ano.

2.4 PRESSUPOSTO

Como pressuposto para a pesquisa, será admitido que os dados de temperatura e umidade relativa obtidos experimentalmente, quando dentro da zona estipulada para o conforto térmico, representem a real sensação de conforto dos usuários, já que esta sensação é algo individual e subjetivo.

2.5 DELIMITAÇÕES

O estudo foi desenvolvido na escola localizada no município de Feliz, Unidade do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia e as medições *in loco* foram realizadas em pontos internos e externos àquela edificação, sendo estes pontos fixos e pré-determinados.

2.6 LIMITAÇÕES

As limitações do trabalho estão relacionadas à precisão dos equipamentos utilizados para as medições e aos resultados do *software* empregado para análise de conforto. O trabalho também se limita a pesquisa de uma única sala.

2.7 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O delineamento da pesquisa está dividido em cinco etapas. Estas etapas estão listadas abaixo e se relacionam conforme consta no diagrama da figura 1. Portanto, são elas:

- a) a pesquisa bibliográfica;
- b) a coleta de dados;
- c) a seleção dos valores limites da zona de conforto para a verificação térmica;
- d) a análise dos resultados das medições, com base no diagrama de Givoni;
- e) as considerações finais e conclusões.

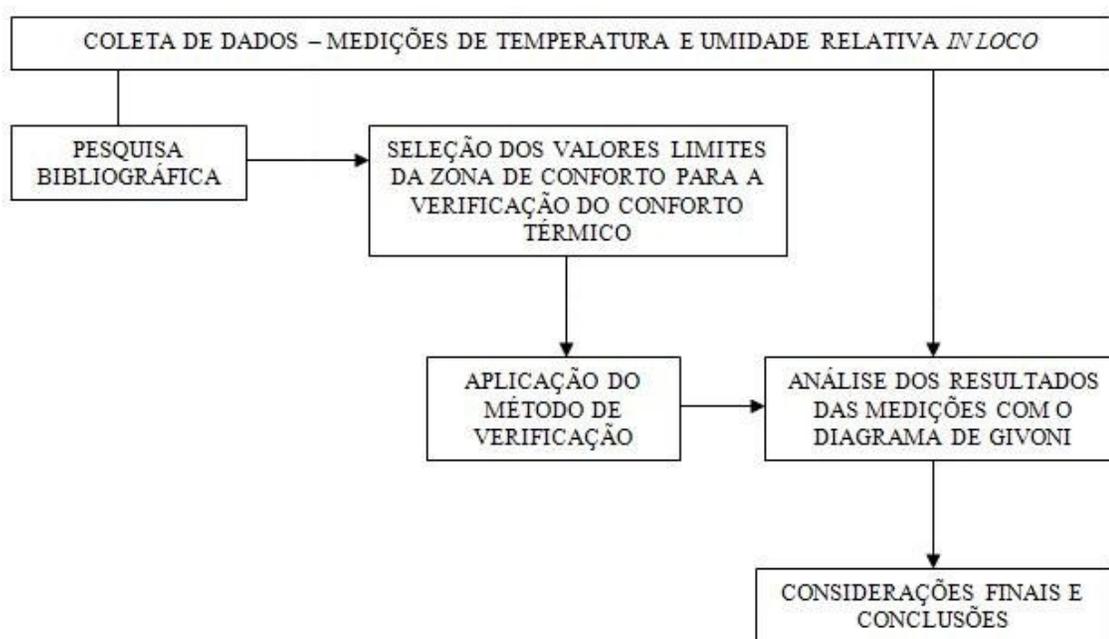


Figura 1: fluxograma de pesquisa

A **pesquisa bibliográfica** foi baseada em livros, trabalhos, teses, dissertações, publicações, artigos e outros, relacionados a medições *in loco* de temperatura e umidade relativa, a verificação de conforto térmico de edificações e técnicas construtivas sustentáveis.

A **coleta de dados** ocorreu através de medições *in loco* de temperatura e umidade. Esta coleta de dados ocorreu num período de nove meses. O período de estudo teve início em dezembro de 2009 e se prolongou até agosto de 2010.

A **seleção dos valores limites da zona de conforto para a verificação térmica da edificação em estudo** se fez necessária, pois estes valores variam de autor para autor. E mesmo um único autor, no caso Givoni, apresenta diferentes valores limites para a zona de conforto térmico. Estes diferentes valores limites, que são utilizados nos diagramas bioclimáticos, foram baseados no clima e nos países em que foram realizados os estudos térmicos. Portanto, através da pesquisa bibliográfica foi possível fazer a análise e definir quais seriam os valores mais adequados a serem adotados neste trabalho.

As técnicas construtivas utilizadas na edificação analisada foram estudadas com o objetivo de verificar as suas funções frente ao oferecimento de conforto térmico.

As **análises dos resultados das medições** realizadas na escola pesquisada foram realizadas através da comparação entre os valores externos aos internos, utilizando o diagrama bioclimático de Givoni como referência.

Considerações finais e conclusões são a respeito da eficácia das técnicas construtivas utilizadas na escola pesquisada, em relação a quantidade de horas de conforto térmico que foi oferecida aos usuários daquela escola.

3. O AMBIENTE E ORGANISMO HUMANO

A sensação de conforto térmico é uma relação direta entre o ambiente e o organismo humano. Portanto, as variáveis do ambiente que podem influenciar na sensação de conforto do usuário e, conseqüentemente, no funcionamento do organismo humano, quando este está submetido à condições de desconforto térmico, devem ser compreendidas. Neste capítulo serão apresentados os principais fatores que influenciam no conforto térmico.

3.1 O AMBIENTE

Partindo da premissa de que a Arquitetura deve servir ao homem e ao seu conforto, o ambiente projetado deve trazer benefícios aos usuários. Em relação às vantagens de um ambiente racionalmente projetado, é sabido que o homem tem melhor qualidade de vida e saúde quando o seu organismo está em harmonia com o meio no qual está inserido. Além disso, também pode ser verificado um melhor rendimento na execução de tarefas práticas ou intelectuais, quando estas são realizadas dentro de um ambiente confortável. Dentro destas possibilidades de conforto, pode-se enquadrar o conforto acústico, lumínico e térmico.

O conforto térmico, é definido pela ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers* – (1993 apud LAMBERTS et al., 1997, p. 41) como “[...] um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa.”. Outro conceito é proposto por Lamberts et al. (1997, p. 41), mencionando que: “Se o balanço de todas as trocas de calor a que está submetido o corpo for nulo, e a temperatura da pele e suor estiverem dentro de certos limites, pode-se dizer que o homem sente conforto térmico.”. Um ambiente projetado deve ter, como função básica, oferecer aos usuários condições térmicas compatíveis às exigências de conforto do corpo humano, independentemente de quais forem as condições climáticas externas.

As variáveis climáticas que interferem na resposta térmica de uma edificação e na sensação de conforto térmico oferecido aos usuários são diversas. Para Frota e Schiffer (2006, p. 17):

As principais variáveis climáticas do conforto térmico são a temperatura, umidade e velocidade do ar e radiação solar incidente. Guardam estreitas relações com regime de chuvas, vegetação, permeabilidade do solo, águas superficiais e subterrâneas, topografia entre outras características locais que podem ser alteradas pela presença humana.

Em relação ao rendimento e a capacidade de trabalho dos usuários de um ambiente que oferece conforto térmico, Frota e Schiffer (2006, p. 17) afirmam que, “Quando as trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente ocorrem sem maior esforço, a sensação do indivíduo é de conforto térmico e sua capacidade de trabalho, desse ponto de vista, é máxima.”. Os autores também explicam porque o organismo humano sente desconforto, quando o ambiente não proporciona condições de temperaturas adequadas:

Se as condições térmicas ambientais causam sensação de frio ou de calor, é porque nosso organismo está perdendo mais ou menos calor que o necessário para a homeotermia, que passa a ser seguida com esforço adicional que representa sobrecarga, com queda de rendimento no trabalho, até o limite, sob condições de rigor excepcionais, de perda total de capacidade de trabalho e/ou problema de saúde.

Portanto, é responsabilidade do projetista de qualquer edificação, proporcionar ao usuário um desempenho satisfatório quanto ao conforto térmico, oferecendo condições ambientais agradáveis aos ocupantes. Para se obter estas condições, se não naturais, mas com um menor custo com equipamentos de climatização, os projetistas devem se atualizar em relação as técnicas de eficiência energética e os custos destas, comparadas às técnicas convencionais. Tais técnicas de eficiência energética ou energia alternativa são entendidas, erradamente, como inviáveis, pelos projetistas ou pelos investidores, mas como pode explicar Dueck (2009), “[...] a fase de operação e manutenção de um edifício é responsável por um custo nove vezes maior que o custo de construção, e que decisões de projeto têm impactos positivos e negativos sobre as contas mensais futuras.”.

3.2 O ORGANISMO HUMANO

O organismo humano promove trocas de energia, através do seu metabolismo e dos mecanismos de termorregulação. A ativação destes mecanismos está relacionada com as condições de frio e calor, que são geradas pelo ambiente ao corpo humano que nele está inserido. Quanto maiores as variações de temperatura, maior o desconforto humano, devido às

repetidas utilizações destes mecanismos de termorregulação, que são responsáveis em manter a temperatura interna humana quase que constante.

3.2.1 Metabolismo

É através do metabolismo, que o organismo adquire energia (FROTA; SCHIFFER, 2006, p. 19). Os autores afirmam que cerca de 20% dessa energia é transformada em potencialidade de trabalho e a parcela restante, cerca de 80%, se transforma em calor, o qual deve ser dissipado, para que o organismo seja mantido em equilíbrio.

3.2.2 Termorregulação

O aumento ou diminuição da temperatura interna do organismo pode causar danos à saúde e até a morte; por este motivo, existem mecanismos com a finalidade de manter a temperatura interna relativamente constante (LAMBERTS et al., 1997, p. 40). É através do aparelho termorregulador, o qual comanda a redução dos ganhos ou o aumento das perdas de calor por mecanismos de controle, que o organismo humano trabalha pela manutenção da temperatura interna, a qual deve ser mantida quase que constante (FROTA; SCHIFFER; 2006, p. 19-20).

O equilíbrio térmico do corpo humano é alcançado por meio de vias de transferência de calor, como explica Moran (2006, p. 124):

O corpo mantém seu equilíbrio térmico por meio de duas principais vias de transferência de calor: pela produção de calor como um subproduto dos processos metabólicos e pela perda para o ambiente. O calor pode ser recebido ou liberado por condução, convecção ou radiação. Uma quarta forma de liberação de calor é por meio da evaporação.

Portanto, quando o organismo humano experimenta a sensação de conforto térmico, é porque ele perde para o ambiente, sem recorrer a nenhum mecanismo de termorregulação, o calor produzido pelo metabolismo, de modo compatível com a sua atividade (FROTA E SCHIFFER, 2006, p. 20).

3.2.3 Reação ao frio e ao calor

Em relação ao frio, quando as condições ambientais proporcionam perdas de calor do corpo, além das necessárias para a manutenção de sua temperatura interna constante, o organismo reage, buscando reduzir as perdas e aumentar as combustões internas (FROTA; SCHIFFER, 2006, p. 20). Segundo Moran (1994, p. 124), “O sistema circulatório é o principal transferidor de calor dentro do corpo. O sangue que flui pelos órgãos capta o calor e pode levá-lo para o interior ou para a superfície do corpo.”.

O primeiro mecanismo termorregulador acionado é a vasoconstrição periférica; esta faz com que os vasos capilares mais próximos à pele se contraíam, enquanto que os mais próximos aos órgãos internos se dilatam (LAMBERTS et al., 1997, p. 40). O objetivo da vasoconstrição periférica é que a pele se resfrie, atingindo uma temperatura o mais próxima possível à do meio, evitando, assim, perdas de calor por radiação e por convecção (RAMON 1980 apud LAMBERTS et al., 1997, p. 40).

Outros mecanismos termorreguladores contra o frio são o arrepio e o aumento do metabolismo, conforme explica Lamberts et al. (1997, p. 40-41):

O movimento muscular que provoca o arrepio aquece a pele por atrito, além de aumentar sua rugosidade, evitando perdas de calor por convecção. Após o arrepio, se o frio ainda for agressivo, haverá o aumento do metabolismo entre 30% e 100%, que pode se manifestar pelo tremor dos músculos. Assim o calor produzido internamente será maior, compensando as perdas do organismo para o meio.

Em relação ao calor, quando as perdas de calor são inferiores às necessárias para a manutenção de sua temperatura interna constante, o organismo proporciona condições de troca de calor através da vasodilatação e da exsudação (FROTA; SCHIFFER, 2006, p. 20). Segundo Lamberts et al. (1997, p. 41) “[...] a vasodilatação [...] aumenta a temperatura da pele, incrementando perdas de calor por convecção e radiação.”. Outro mecanismo termorregulador é o suor (exsudação), que, de acordo com Lamberts et at. (1997, p. 41), é o mecanismo mais importante para a sensação de conforto térmico. Os autores explicam que é através da evaporação do suor que as perdas de calor do corpo são incrementadas.

A quantidade máxima de suor que pode ser evaporada numa unidade de tempo depende diretamente da umidade relativa e da velocidade do ar, além de que esta quantidade de suor

que pode ser segregada, também varia de acordo com o grau de aclimatação e com o biotipo do indivíduo (FROTA; SCHIFFER, 2006, p. 22).

3.2.4 Fadiga higrotérmica

O organismo humano passa diariamente por uma fase de fadiga (catabolismo) e por uma fase de repouso (anabolismo), sendo que o catabolismo envolve três tipos de fadiga: física, termo-higrotérmica e nervosa; esta última, particularmente, visual e sonora (FROTA; SCHIFFER, 2006, p. 21). Os autores também explicam que:

A fadiga física faz parte do processo normal do metabolismo. A fadiga termo-higrotérmica é resultante do trabalho excessivo do aparelho termorregulador, pela existência de condições ambientais desfavoráveis, no tocante à temperatura do ar, tanto com relação ao frio quanto ao calor, e à umidade do ar.

3.2.5 Aclimatação

O ser humano é capaz de se adaptar ao meio onde vive e uma das características das adaptações humanas é a sua flexibilidade de reações (ajustamentos fisiológicos), frente ao ambiente (MORAN, 2006, p. 25). Segundo o autor para que as respostas da aclimatação na estrutura do organismo ocorram, é necessário que haja um estímulo externo, por um período de tempo suficiente.

Quando o organismo humano sofre exposições prolongadas ou repetidas a ambientes térmicos estressantes, este organismo se aclimatará às condições que, anteriormente, teve exposto. Esta aclimatação é consequência de adaptações do organismo, que, através destas, diminuirão o estresse fisiológico causado por ambientes semelhantes durante novas exposições (FERREIRA JUNIOR et al., 2009, p. 1). Um exemplo de aclimatação ao calor é o aumento da capacidade sudorípara do organismo, e, em decorrência deste aumento, um menor acúmulo de calor corporal (WENGER, 1988 apud FERREIRA JUNIOR et al., 2009, p. 1).

Outros exemplos de aclimatação também podem estar relacionados aos outros fatores que determinam a sensação térmica do ser humano. O percentual de umidade relativa e o valor da

velocidade do ar, por exemplo, podem ter diferentes valores de aceitação. Estas diferenças de valores estão diretamente relacionadas ao nível de aclimação dos indivíduos ao meio onde vivem. Segundo Givoni (1998 apud MORELLO, 2005, p. 36), o fator aclimação é importante na definição de índices de conforto. O autor exemplifica que, pessoas que vivem em países de clima quente, preferem temperaturas mais elevadas que aquelas recomendadas pelas normas adotadas em países desenvolvidos.

4 AS PRINCIPAIS TÉCNICAS CONSTRUTIVAS UTILIZADAS NA ESCOLA ESTUDADA

A Unidade do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia localizada no município de Feliz, é uma edificação que foi projetada e construída orientada por princípios da sustentabilidade. Embora a Escola tivesse, inicialmente, um projeto arquitetônico tradicional, ao se perceber o potencial da região e também devido à vontade de seus idealizadores, o projeto inicial foi modificado para um projeto mais sustentável e inovador. Desde o início, a proposta pedagógica para a Escola foi voltada para a sustentabilidade, com o oferecimento de cursos como agricultura, cerâmica e gestão, portanto, seria racional que o projeto de construção seguisse no mesmo caminho.

Os requisitos sustentáveis foram definidos de acordo com as características da região, objetivando a utilização de recursos locais. Estes recursos podem ser classificados como recursos materiais, naturais e humanos. Nos recursos materiais se destaca a cerâmica, onde a região é responsável por 50% da produção do Rio Grande do Sul. No quesito dos recursos naturais e para a sua valorização, foram desenvolvidos projetos que otimizassem a iluminação e ventilação natural. A preservação da vegetação no entorno da Escola e o conforto ambiental proporcionado pela edificação também foi uma preocupação dos projetistas. Além disso, a mão de obra para a construção da Escola também foi contratada localmente, utilizando-se deste modo os recursos humanos locais. Enfim, foi necessário que poucos recursos fossem trazidos de fora da região.

A Escola também contou com projetos hidráulicos de reaproveitamento de água da chuva e de tratamento de resíduos. Com todos estes projetos, arquitetônico, lumínico, hidráulico, paisagístico e outros, que foram desenvolvidos a favor da sustentabilidade e somando-se aos esforços dos projetistas em buscar junto à comunidade quais eram as suas necessidades, pode-se dizer que foi possível concretizar os conceitos de sustentabilidade física (arquitetura),

social, econômica e cultural na construção do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia no município de Feliz (trabalho não publicado)¹.

Em relação à arquitetura, as principais técnicas construtivas utilizadas e que colaboram com o oferecimento de conforto térmico aos usuários são:

- a) a preservação da vegetação no entorno da edificação;
- b) a otimização da iluminação e ventilação natural;
- c) o correto posicionamento solar da edificação;
- d) o isolamento térmico da cobertura;
- e) e a utilização de paredes duplas.

A presença da vegetação junto ao ambiente construído proporciona melhores condições de conforto térmico e ambiental. O melhoramento das condições de conforto térmico, proporcionado pela vegetação, está relacionado à capacidade da vegetação em amenizar as temperaturas e proporcionar sombreamento (CUNHA et al., 2005, p. 63). Como a Edificação estudada foi projetada para otimizar a ventilação natural, é desejável que, quando se faça uso deste recurso, a massa de ar externa não esteja super aquecida. A figura 2 ilustra a presença da vegetação junto à Escola.



Figura 2: preservação dos elementos naturais

¹ As informações referentes à concepção dos projetos da Escola e os dados da região, foram obtidos através de um entrevista feita pela Arq. Maria da Luz P. Silva com a coordenadora da Fundação de Educação Profissional do Vale do Caí em 2008.

Através de projetos de dimensionamento e de posicionamento das janelas, foi possível aperfeiçoar a iluminação natural que é oferecida aos usuários das salas de aula. A iluminação natural é obtida, principalmente, através das janelas superiores da fachada norte (figura 3) e através das bandejas de luz, tendo esta última a função de evitar a radiação solar direta, e assim, o ofuscamento nos ocupantes e espalhar a luminosidade pela sala.



Figura 3: janelas superiores da fachada norte

Com a iluminação natural otimizada, a quantidade de lâmpadas necessárias para tornar o ambiente com níveis desejáveis de iluminação torna-se menor: com isso, a contribuição das luminárias no ganho interno de calor se reduz. A figura 4 ilustra as janelas inferiores da fachada norte e a posição da bandeja de luz, acima, localizada internamente à Edificação estudada.



Figura 4: janelas inferiores e bandeja de luz interna

Outro fator que colabora com o aumento da sensação de conforto térmico dos ocupantes da Edificação, é a possibilidade de ocorrência de ventilação cruzada. A sala de aula estudada, além das janelas da fachada norte, também possui janelas na fachada sul (figura 5), e estas, quando operadas em sincronia, possibilitam uma movimentação de massas de ar, oferecendo aos usuários uma ventilação cruzada, que pode ser controlada através do grau de abertura das janelas. Segundo Cunha et al. (2005, p. 59):

Nos períodos quentes, a [...] predominância de elevada umidade relativa do ar implica a necessidade de correspondente alta velocidade do ar – resguardados os limites de sensação agradável, imprescindível para acelerar a evaporação do suor, evitando um previsível *stress* causado pela umidade cutânea e da vestimenta, e, ainda, aumentando a perda de calor pela superfície da pele, por convecção.



Figura 5: janelas da fachada sul

Cunha et al. (2005, p. 96) ainda indica que “Considerando que o ar aquecido pelo uso do espaço interior tende a se deslocar verticalmente para cima, a existência de aberturas proporciona a renovação do ar do espaço interior.”. O autor também ressalta que, nas aberturas, é aconselhável haver telas, para evitar a entrada de insetos para o ambiente.

Em períodos com temperaturas mais amenas, próximas (ou inferiores) à 18°C, o fluxo de ar que ingressa no ambiente deve ser controlado. A quantidade de ar deve ser somente o suficiente para a ventilação higiênica, com o objetivo de diluir a concentração de poluentes: porém, deve-se ter o cuidado para que o fluxo de ar não entre em contato com os usuários,

utilizando-se, assim, somente as aberturas superiores para ventilação (CUNHA et al., 2005, p. 101)

Outro fator importante, em relação à eficiência térmica de edificações, está relacionado ao fato de que grande parte dos ganhos de calor acontece através da cobertura, já que esta fica muito exposta à radiação solar. Deste modo, as coberturas das edificações, quando aquecidas, tendem a transmitir a radiação solar que é absorvida em forma de calor, para dentro dos ambientes. Portanto, através de isolamentos térmicos de telhados e coberturas, estes ganhos de temperatura na edificação são minimizados. Na Escola estudada, o isolamento térmico da cobertura foi incrementado através da utilização de chapas metálicas, do tipo *off-set* (figura 6), as quais foram posicionadas entre as telhas cerâmicas e forro. A eficiência de lâminas metálicas, para fins de isolamento térmico, é explicada pela capacidade destas de refletir a maior parte da radiação, absorver uma pequena proporção, e ainda assim, re-irradiar muito pouco deste calor absorvido (material não publicado)².



Figura 6: isolamento térmico do telhado com chapas off-set

Em uma edificação, as trocas de calor entre os meios exterior e interior também ocorrem através dos fechamentos (paredes e janelas). Estas trocas de calor ocorrem de maneira diferente, variando de acordo com os tipos de fechamentos, podendo estes serem classificados em transparentes ou opacos (LAMBERTS et al., 1997, p. 56). Os autores ainda salientam que,

² O material utilizado como referência faz parte da apostila da disciplina de Habitabilidade oferecida para o curso de Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Professor Miguel A. Sattler).

em fechamentos opacos (paredes), a transmissão de calor acontece quando há diferenças de temperatura entre as superfícies interior e exterior e que o sentido do fluxo de calor será sempre da superfície mais quente para a mais fria. Segundo Lamberts et. al. (1997, p. 58), a transmissão do calor entre os meios depende, fundamentalmente, da espessura do fechamento, e através desta espessura se pode calcular o valor da resistência térmica do material (capacidade de resistir à passagem do calor). Portanto, com o objetivo de resistir à passagem de calor do exterior para o interior do ambiente (em dias quentes), foram utilizadas paredes duplas (figura 7), como fechamentos externos na Edificação.



Figura 7: paredes externas duplas com tijolos maciços

Conforme Lamberts et. al. (1997, p. 58), “Pode-se reduzir consideravelmente as trocas de calor em um fechamento opaco [...] construindo fechamentos com múltiplas camadas [...]”. Por outro lado, em dias frios, o objetivo das paredes duplas é diminuir as perdas de calor da Edificação para o exterior. Portanto, com a utilização desta técnica construtiva, a temperatura interna da sala de aula estudada pode ser mais bem controlada (sem perdas e ganhos excessivos de calor) e regularizada com o auxílio do uso de ventilação cruzada.

5 MÉTODOS E CRITÉRIOS PARA A AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO

O processo de avaliação térmica de um ambiente requer a existência de critérios e valores limites de referência, baseados nos índices e escalas de conforto térmico (BARBOSA, 1997, p. 32). A autora completa esta afirmação dizendo que:

No intuito de quantificar o comportamento humano ante as variações térmicas do ambiente, são definidos índices que expressam a relação entre causa e efeito, com a utilização de valores numéricos representativos do fenômeno. Com base nos índices, estabelecem-se as zonas de conforto térmico delimitadas graficamente sobre diversos tipos de nomogramas ou através de cartas e diagramas que limitam os parâmetros físicos e definem o domínio no qual se estabelecem as zonas de conforto térmico. As escalas de conforto térmico podem ser semânticas ou numéricas, sendo montadas em termos de sensações subjetivas graduadas por conforto e desconforto térmico, relacionando-se tais graduações com parâmetros físicos de estímulo. Atualmente, os índices evoluíram e os modelos de conforto estão sendo desenvolvidos com o apoio da informática.

As normas referentes a conforto térmico de edificações, se baseiam nestes índices de conforto, e é válido mencionar que diferentes normas definem os mesmos critérios para avaliar o conforto térmico (temperatura, umidade relativa, velocidade do ar), mas elas diferem apenas nos valores estipulados para as zonas de conforto.

Em relação a estes índices, será adotado aquele que melhor se adequar as condições climáticas da Escola em estudo. Através da pesquisa de diferentes normas ou métodos relacionados ao conforto térmico, será possível determinar quais os valores dos critérios escolhidos que serão utilizados para a verificação térmica do ambiente escolhido.

5.1 ALGUNS ASPECTOS SOBRE A NORMA 55 DA ASHRAE

Embora tenha sido idealizada para edifícios de escritórios com ar condicionado, a Norma 55 da ASHRAE³ também pode ser utilizada em outros tipos de edificações. As zonas de conforto

³ ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*

nela estipuladas são largamente empregadas como base para a estruturação de cartas bioclimáticas (BARBOSA, 1997, p. 39).

Segundo Givoni (1992 apud BARBOSA, 1997, p. 39),

[...] existem alguns problemas decorrentes da utilização da norma ASHRAE, quando se trata de edifícios sem ar condicionado. Pode-se citar, por exemplo, a aplicação do limite de umidade estipulado pela ASHRAE e os limites para velocidade do ar em locais quentes e úmidos. A aclimação dos habitantes nesses locais deveria ser considerada, bem como a função das altas velocidades na aceitação de conforto a altas umidades.

Corroborando com a afirmação de Givoni sobre aclimação, Frota e Schiffer (2006, p. 23-24) também afirmam que:

As condições ambientais que proporcionam sensação de conforto térmico em habitantes de clima quente e úmido não são as mesmas que proporcionam sensação de conforto em habitantes de clima quente e seco e, muito menos, em habitantes de regiões de clima temperado ou frio. A partir das variáveis climáticas do conforto térmico, e de outras variáveis como atividade desenvolvida pelo indivíduo considerado aclimatado e saudável e sua vestimenta, vem sendo desenvolvida uma série de estudos que procuram determinar as condições de conforto térmico e os vários graus de conforto ou desconforto por frio ou por calor.

Como exemplo de critérios para o conforto térmico, a Norma 55 da *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (1977 apud FROTA; SCHIFFER, 2006, p. 24) considera 25°C (para os dias mais quentes da América do Norte), como temperatura ótima, podendo variar entre 23 e 27°C, sendo esses valores aplicáveis para:

- a) velocidade do ar de 0,5 m/s;
- b) umidade relativa entre 30 e 70 %;
- c) inverno;
- d) vestimenta normal;
- e) pessoa sentada;
- f) ocupação sedentária;
- g) temperatura radiante média igual à temperatura do ar.

A Norma 55 da ASHRAE também recomenda:

- a) acrescentar 2°C para velocidade do ar 0,25 m/s;

- b) deduzir 1°C para umidade de 90%;
- c) no verão, acrescentar 1°C;
- d) para banheiro (ou similar), acrescentar 3 a 5°C;
- e) deduzir até 5°C, para ocupação ativa;
- f) deduzir 3 a 5°C, para áreas de trânsito.

5.2 NBR 15220 – DESEMPENHO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES

A norma NBR 15220 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003) estabelece um Zoneamento Bioclimático Brasileiro. Este é dividido em oito zonas relativamente homogêneas, quanto ao clima e, para cada uma destas zonas, há um conjunto de recomendações técnico-construtivas, que otimizam o desempenho térmico das edificações. A Norma traz recomendações de diretrizes construtivas e detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo. Embora baseada na carta bioclimática de Givoni, de 1992, esta Norma não trata dos procedimentos para avaliação do desempenho térmico de edificações, os quais devem ser elaborados através de cálculos, de medições *in loco* ou de simulações computacionais.

Esta Norma, sob o título geral Desempenho Térmico em Edificações, é dividida em 5 partes, sendo elas:

- a) parte 1: definições, símbolos e unidades;
- b) parte 2: métodos de cálculo de transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações;
- c) parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;
- d) parte 4: medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;
- e) parte 5: medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

Neste trabalho, será detalhado apenas o que se diz respeito a parte 3 (zoneamento bioclimático e diretrizes construtivas). A figura 8, segundo a Norma, ilustra a divisão bioclimática do território brasileiro.

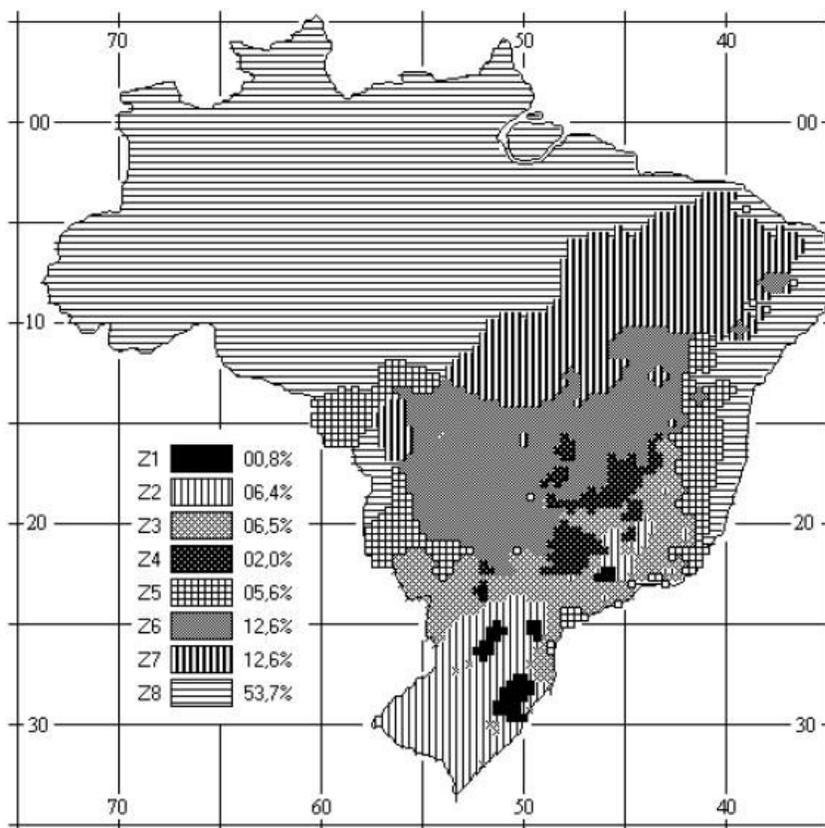


Figura 8: zoneamento bioclimático brasileiro
(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003, p. 3)

Segundo a Norma, para cada uma destas zonas, formulou-se um conjunto de recomendações técnicas-construtivas, com o objetivo de otimizar o desempenho térmico das edificações (através de sua melhor adequação climática). Para a formulação das diretrizes construtivas e para o estabelecimento das estratégias de condicionamento térmico passivo, foram considerados os seguintes parâmetros e condições de contorno:

- a) tamanho das aberturas para ventilação;
- b) proteção das aberturas;
- c) vedação externa (tipo de parede externa e tipo de cobertura);
- d) estratégias de condicionamento térmico passivo.

A figura 9, por sua vez, ilustra a carta bioclimática, com as normais climatológicas daquela região, utilizada para a definição das diretrizes, que devem ser obedecidas para um melhor oferecimento de condições de conforto térmico da edificação a ser construída na região em questão.

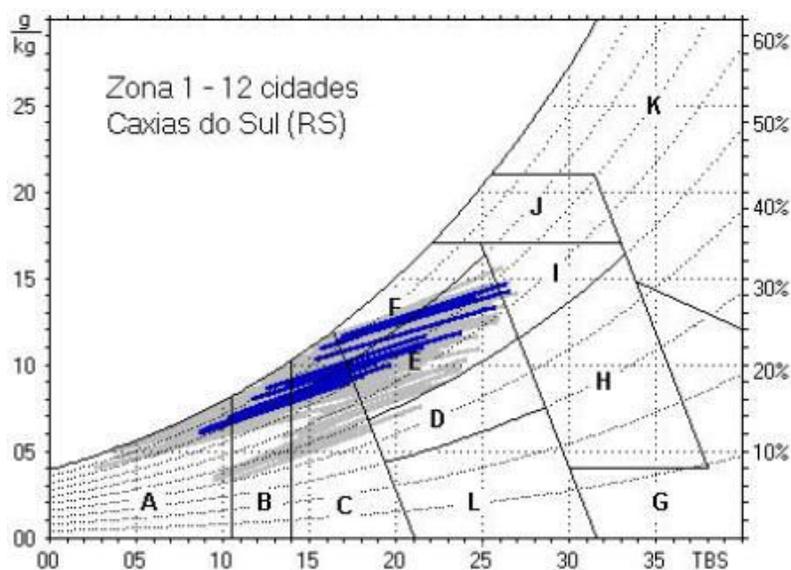


Figura 9: carta bioclimática com as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Caxias do Sul, RS (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003, p. 4)

Para as características desta Zona, a Norma descreve as seguintes diretrizes construtivas:

- abertura para ventilação: médias (figura 10);
- sombreamento das aberturas: permitir sol durante o período de frio;
- vedações externas: parede leve e cobertura leve isolada (figura 11);
- estratégias de condicionamento térmico passivo para o inverno: aquecimento solar da edificação e vedações internas pesadas (inércia térmica).

Aberturas para ventilação	A (em % da área de piso)
Pequenas	$10\% < A < 15\%$
Médias	$15\% < A < 25\%$
Grandes	$A > 40\%$

Figura 10: aberturas para ventilação (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003, p. 17)

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

NOTAS

1 Transmitância térmica, atraso térmico e fator solar (ver 02:135.07-001/2)

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

3 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.

4 O termo "ático" refere-se à câmara de ar existente entre o telhado e o forro.

Figura 11: vedações externas
(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003, p. 17)

A Norma também descreve as diretrizes construtivas, de acordo com cada zona bioclimática, para uma lista de 330 cidades, cujos climas foram classificados, e o método utilizado para a classificação bioclimática.

5.3 PARÂMETROS DE FANGER PARA VERIFICAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO

Além das variáveis ambientais, que podem ser extraídas através de medições, outros fatores também afetam na sensação de conforto térmico, sendo estes fatores a vestimenta e a atividade física.

5.3.1 Vestimenta

A resistência térmica da roupa é de grande importância para a determinação da sensação de conforto térmico do homem (LAMBERTS et al., 1997, p. 42). Segundo Frota e Schiffer (2006, p. 23) a influência da vestimenta na sensação de conforto térmico está relacionada com a sua capacidade de reduzir:

- a) o ganho de calor relativo à radiação solar direta;
- b) as perdas em condições de baixo teor de umidade;
- c) o efeito resfriador do suor;
- d) a sensibilidade do corpo, quanto às variações de temperatura e de velocidade do ar.

Esta variável, a vestimenta, é medida através da unidade **clo**, que equivale a $0,155 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{K/W}$. Conforme Frota e Schiffer (2006, p. 23), “Sua resistência térmica depende do tipo de tecido, da fibra e do ajuste ao corpo, devendo ser medida através das trocas secas relativas de quem a usa.”.

5.3.2 Atividade física

A atividade física, que será desenvolvida no ambiente no qual será avaliado o conforto térmico, é de suma importância, pois quanto maior a atividade física, maior será o calor gerado por metabolismo (LAMBERTS et al., 1997, p. 42). Segundo o autor, de acordo com a atividade física que é exercida no ambiente, o nível de ventilação que é oferecido aos usuários, para que estes não se sintam desconfortáveis, pode variar, como, por exemplo: em academias de ginástica o uso abundante de ventilação é recomendável, tanto para reduzir a sensação de calor, como por questões de higiene do ar; já, em salas de aula, onde o calor gerado pelo metabolismo é menor, a ventilação deve ser dosada, de modo que não atrapalhe as atividades exercidas (evitar que o fluxo de ar faça voar os papéis).

5.3.3 Voto médio estimado

Conforme explica Barbosa (1997, p. 32-33):

Fanger em 1967 formulou uma equação geral de conforto para calcular a combinação das variáveis ambientais incluindo a temperatura radiante média, velocidade do ar, umidade relativa, temperatura do ar, nível de atividade e vestimenta. Essa equação foi correlacionada com o Voto Médio Estimado (PMV) que representa a sensação térmica subjetiva resultante de pesquisa, onde obteve-se resposta de 1296 usuários dinamarqueses e norte americanos, submetidos a condições controladas de ambiente interno. Fanger e Rohles, em 1970, usaram o

conceito da *Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas* (PPD) para suplementar o Voto Médio Estimado de indivíduos na avaliação de um ambiente térmico.

O Voto Médio Estimado consiste num valor numérico, que traduz a sensibilidade humana ao frio e ao calor, para o qual o conforto térmico correspondente ao PMV é zero; para o frio é negativo e para o calor é positivo (LAMBERTS et al., 1997, p. 43). É importante ressaltar que a criação da norma ISO 7730, de 1984, foi baseada nestas pesquisas de Fanger, e que ela utiliza os conceitos do PMV e do PPD para verificação do conforto térmico de um ambiente (LAMBERTS et al., 1997, p. 43).

Segundo Araújo (1998, p. 410), a formulação da equação de conforto térmico, que correlaciona **sensação térmica** com a atividade metabólica do corpo humano desenvolvida por Fanger, baseou-se em três requisitos de conforto: são eles:

- a) o corpo humano vive em constante balanço térmico com o ambiente, onde a perda de calor para o ambiente é igual à taxa de calor produzido pelo corpo e que o equilíbrio térmico não é uma condição suficiente para o conforto térmico porque o balanço de calor pode ser mantido por mecanismos fisiológicos, tal como a exsudação, em condições distantes do conforto;
- b) existe uma taxa preferencial de exsudação para o conforto, que também é função da taxa metabólica;
- c) a temperatura média da pele pode ser um indicativo de conforto e as sensações térmicas estão relacionadas com a temperatura média da pele.

5.3.4 Alguns aspectos da norma ISO 7730

Segundo a norma ISO 7730 (1994 apud MORELLO, 2005, p. 34), é recomendado que a percentagem de pessoas insatisfeitas seja menor que 10%, para que se verifique o conforto térmico em um ambiente. Isto corresponde a uma faixa do PMV de -0,5 a +0,5, conforme pode ser observado na figura 12.

Segundo a norma ISO 7730 (1994 apud MORELLO, 2005, p. 35), para a condição de conforto térmico, as seguintes condições devem ser atendidas, conforme descrito abaixo:

- a) a umidade relativa do ar deve estar entre os limites de 30% e 70%;
- b) a diferença entre a temperatura do ar, ao nível dos tornozelos (10 cm), e da cabeça (1,10 m considerando uma pessoa sentada), deve ser inferior a 3°C;

- c) a assimetria da temperatura radiante, a partir de um forro aquecido ou resfriado, deve ser menor que 5°C (considerando um pequeno plano horizontal localizado a 60 cm do piso);
- d) a assimetria radiante, a partir das janelas, deve ser menor que 10°C (considerando um pequeno plano vertical, localizado a 60 cm do piso);
- e) a temperatura superficial dos pisos deve estar entre 19°C e 26°C.

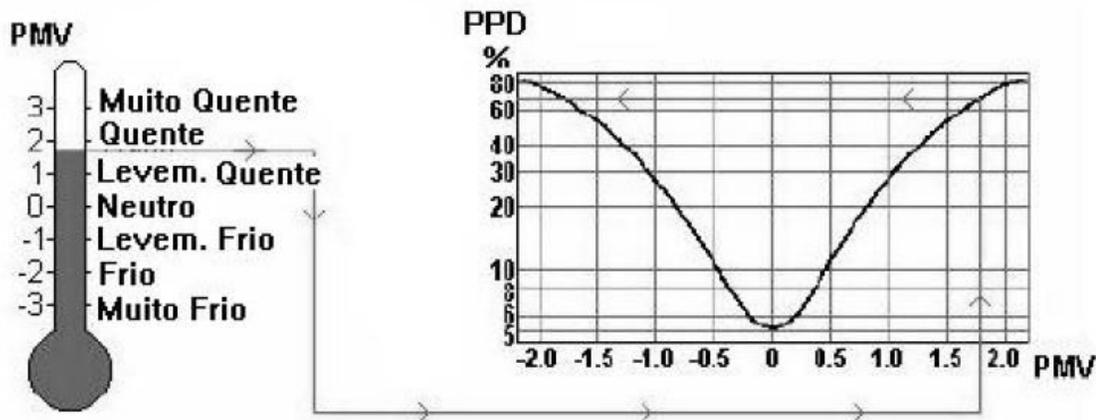


Figura 12: correlação entre PMV e o PPD
(MORELLO, 2005, p. 34)

Além destas condições listadas acima, a ISO 7730 (1994 apud MORELLO, 2005, p. 35) sugere o limite de 15% de pessoas insatisfeitas com as correntes de ar, considerando indivíduos em atividades leves ou sedentárias (1,2 met).

5.4 O DIAGRAMA BIOCLIMÁTICO DE GIVONI (1992)

Givoni, no seu mais recente trabalho (1992), o qual foi baseado no diagrama bioclimático desenvolvido por Olgyay, adequou uma carta bioclimática para os países em desenvolvimento, na qual os limites máximos de conforto da sua carta anterior (para países desenvolvidos e de clima temperado) foram expandidos, conforme mostra a figura 13 (LAMBERTS et al., 1997, p. 104). Os autores também afirmam que “[...] o trabalho de Givoni de 1992, para países em desenvolvimento, é o mais adequado às condições brasileiras.”.

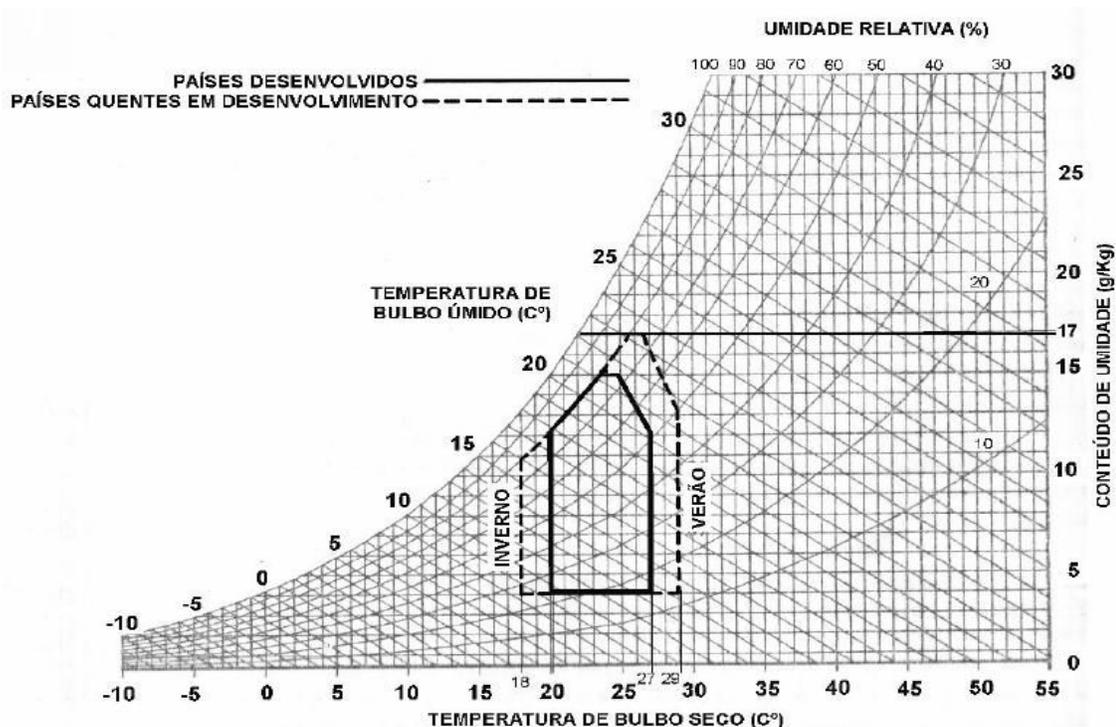


Figura 13: zona de conforto estabelecida por Givoni em 1992
(GIVONI, 1997 apud MORELLO, 2005, p. 38)

Na carta bioclimática de Givoni, de 1992 (figura 14), são sugeridos os limites das condições climáticas, dentro dos quais várias estratégias de projeto de edifícios e sistemas de resfriamento natural podem garantir o conforto térmico interno (BARBOSA, 1997, p. 35). Este diagrama relaciona os valores de temperatura do ar e da umidade relativa, e nele são identificadas nove zonas de atuação, conforme a seguir é detalhado.

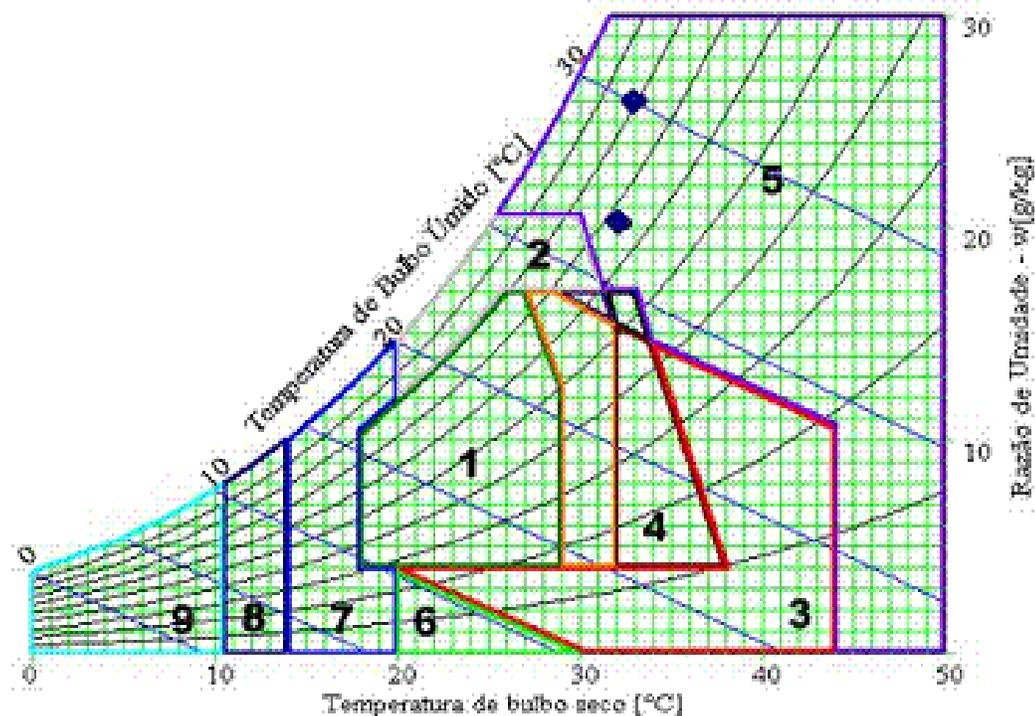


Figura 14: carta bioclimática proposta por Givoni em 1992
(PEREIRA; SOUZA, 2007)

5.4.1 Zona 1: conforto

Embora o conforto térmico seja algo subjetivo, nas condições delimitadas pela zona 1, haverá uma grande possibilidade de que o ocupante sinta-se confortável nesse quesito, valendo ressaltar que para as temperaturas próximas a 18 °C, deve-se controlar o fluxo de ar para que esse não gere desconforto e, também, próximo a 29 °C graus, deve-se controlar a incidência direta dos raios solares (LAMBERTS et al., 1997, p. 106). Os autores, portanto, afirmam que “[...] o organismo humano pode estar em conforto, mesmo em diversos limites de umidade relativa (entre 20% e 80%) e de temperatura (18°C e 29°C) [...]”.

5.4.2 Zona 2: ventilação

Na zona 2 do diagrama, para que o ocupante possa ter melhores sensações térmicas mesmo quando a temperatura for superior a 29 °C ou a umidade relativa superior a 80%, recomenda-se o uso da ventilação para amenizar o desconforto (LAMBERTS et al., 1997, p. 107).

5.4.3 Zona 3: resfriamento evaporativo

Quando as condições do ambiente se enquadram na zona 3 do diagrama, recomenda-se o uso da técnica de resfriamento evaporativo, pois a evaporação da água pode reduzir a temperatura e, simultaneamente, aumentar a umidade relativa; mas, para evitar o acúmulo de vapor de água, é aconselhável que se tenha uma boa taxa de ventilação (LAMBERTS et al., 1997, p. 107). Segundo os autores, é aconselhável a utilização do resfriamento evaporativo apenas quando a temperatura de bulbo úmido máxima não excede os 24 °C e a temperatura de bulbo seco máxima não ultrapassem os 44°C, para os países em desenvolvimento.

5.4.4 Zona 4: massa térmica para resfriamento

Quando os valores plotados sobre o diagrama enquadram-se na denominada zona 4, aconselha-se o uso da inércia térmica, para diminuir a amplitude da temperatura interior, em relação à exterior, e não somente o uso da massa térmica dos fechamentos, como pode-se aproveitar-se da massa térmica da terra ou do emprego de materiais isolantes, como parte da construções (LAMBERTS et al., 1997, p. 108).

5.4.5 Zona 5: ar condicionado

Na zona 5, onde o clima das regiões é muito severo, recomenda-se o uso de aparelhos de ar condicionado para melhorar a sensação de conforto térmico (LAMBERTS et al., 1997, p. 108).

5.4.6 Zona 6: umidificação

Segundo Lamberts et al. (1997, p. 109), “Quando a umidade relativa do ar for muito baixa e a temperatura inferior a 27 °C, haverá desconforto térmico devido à secura do ar. Nestes casos, a umidificação do ar melhora a sensação de conforto, ainda que possa produzir um efeito de resfriamento evaporativo indesejável.”.

5.4.7 Zona 7: massa térmica e aquecimento solar

Na zona 7, região situada entre 14°C e 20°C, o uso da massa térmica junto ao aquecimento solar passivo pode compensar as baixas temperaturas, pelo armazenamento do calor solar que fica retido nas paredes da edificação (LAMBERTS et al., 1997, p. 109). Os autores também afirmam que o uso do aquecimento solar passivo, com isolamento térmico, pode evitar as perdas de calor da edificação para o exterior, enquanto que se aproveitam os ganhos de calor interno, aumentando a temperatura interior.

5.4.8 Zona 8: aquecimento solar passivo

Quando os valores de temperatura e umidade se enquadram na zona 8 do diagrama, entre 10,5°C e 14°C, é recomendado o uso de aquecimento solar passivo e o isolamento térmico da edificação, pois as perdas de calor tenderão a ser muito grandes (LAMBERTS et al. 1997, p. 110).

5.4.9 Zona 9: aquecimento artificial

Conforme explicam Lamberts et al. (1997, p. 110), em locais com temperaturas muito baixas, inferiores a 10,5°C, o aquecimento solar passivo pode não ser suficiente para o conforto e o uso de aquecimento artificial será o mais adequado.

5.5 CRITÉRIOS E MÉTODOS ADOTADOS PARA A VERIFICAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DA EDIFICAÇÃO ESTUDADA

Baseado na revisão bibliográfica, é correto afirmar que a carta bioclimática de Givoni, de 1992 para países em desenvolvimento, é a mais adequada para as condições brasileiras e, portanto, foi adotada para verificação do conforto térmico da edificação estudada.

A verificação térmica foi realizada através dos dados coletados por medições térmicas e de umidade relativa, e estes dados, então, foram plotados e comparados, através do diagrama de Givoni de 1992. Para a verificação do conforto térmico foi determinado que os dados coletados devessem se enquadrar entre os valores de umidade relativa de 20% a 80% e os valores de temperatura entre 18°C e 29°C, sendo esta faixa de valores a mesma para todas as estações do ano.

Para os valores fora destes intervalos, foram observadas as estratégias de resfriamento, de acordo com as zonas bioclimáticas do diagrama de Givoni, que poderiam ser utilizadas para melhorar a sensação de conforto dos ocupantes. Além destas estratégias de resfriamento, outro fator que poderia amenizar a sensação de desconforto dos usuários da Edificação, nas horas em que os dados estivessem fora da zona estipulada para conforto térmico, é a questão da aclimação dos mesmos, em relação ao clima da região. Portanto, mesmo fora destas faixas de valores acima mencionados, os usuários das salas de aula poderiam se sentir confortáveis, já que, para a sensação de conforto térmico também devem ser consideradas as atividades desenvolvidas e a vestimenta. As atividades praticadas na Escola são consideradas atividades leves e, por isso, é possível alcançar uma sensação de conforto mais facilmente. Em relação à vestimenta, por não haver a necessidade de utilização de uniformes, considera-se que os ocupantes utilizem roupas confortáveis e de acordo com as temperaturas da região.

Através de sensores do tipo HOBO, foram coletados os dados de temperatura e umidade relativa, tanto para os ambientes internos, como para o externo. Para estes sensores, foi possível definir um intervalo de tempo (neste caso horário), para que ocorressem as medições, e, uma vez que os sensores foram instalados, as medições ocorreram continuamente. Após o preenchimento da capacidade de memória de armazenamento dos sensores, os dados foram

transferidos para um computador, através do auxílio de um *software* específico, mas sem haver a necessidade de interrupção das medições.

5.5.1 Graus-Hora ou Graus-Dia

Para a quantificação das horas de desconforto, a metodologia Grau-Hora (equação 1) é largamente utilizada entre estudos climáticos. Graus-hora é um parâmetro climático, que pode ser definido como o somatório da diferença de temperatura, quando esta se encontra abaixo ou acima de uma temperatura base (GOULART, 1993, p. 6):

$$GH = \sum (T_b - T_h) \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

GH = índice de graus-hora;

T_b = temperatura base;

T_h = temperatura horária.

Através desta metodologia é possível quantificar as horas de desconforto, de uma maneira mais coerente e ponderada. Por exemplo: um valor de temperatura de ar igual a 17,9°C não pode ter o mesmo peso, na quantificação de horas de desconforto, que uma temperatura de ar igual a 10°C, embora as duas temperaturas estejam abaixo dos 18°C (valor estipulado para como limite inferior de conforto).

Com relação à temperatura-base, foi adotada uma faixa de valores entre 26°C e 29°C, para a refrigeração, e entre 15°C e 18°C, para o aquecimento. A escolha por faixa de valores, e não por um único valor de temperatura base, é devido ao fato de que a edificação tende a ter ganhos internos de calor, através de fontes de calor, como pessoas, aparelhos e lâmpadas. O valor que foi adotado é de 3°C, como possível ganho interno de calor. Vale ressaltar que, na prática, este valor deve ser verificado, uma vez que este pode variar de acordo com a

atividade de ocupação e com as características da edificação (LITTLER; THOMAS⁴, 1984 apud MORELLO, 2005, p. 52).

5.5.2 Grau-Médio

Segundo Papst (1999 apud MORELLO, 2005, p. 53), o grau-médio pode ser conceituado como “[...] a razão do somatório dos graus-hora, pelo número de horas em que a temperatura esteve acima, ou abaixo, da base estipulada, ou seja, a média dos graus hora.”.

Através da equação 2, apresentada abaixo, foi possível calcular os graus-médios. E, a partir deste conceito, acredita-se que a redução das horas de desconforto, proporcionada pela edificação, foi representada de maneira mais adequada.

$$G_{med} = \Sigma GH \div h \quad (\text{equação 2})$$

Onde:

G_{med} = índice de grau-médio;

GH = índice de graus-hora;

h = horas de desconforto.

⁴ Os autores fazem referência em seu trabalho dos estudos de outro autor (Peach , 1977), o qual também esclarece o porque da utilização de faixa de valores para temperatura-base.

6 LOCALIZAÇÃO, PROJETOS E INSTRUMENTAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

Neste capítulo serão apresentados os projetos de planta baixa, corte, e de implantação da Escola no terreno. Também será apresentada a instrumentação utilizada para a coleta dos dados, assim como o local onde elas foram instaladas.

6.1 INSTRUMENTAÇÕES PARA COLETA DE DADOS

Para a coleta dos dados de temperatura e umidade relativa, foram utilizados sensores do tipo HOBO. Estes sensores foram posicionados em três pontos: dois deles, dentro da sala de aula pesquisada e outro, externamente. A coleta de dados foi iniciada no dia 22 de dezembro de 2009 e finalizada em 16 de agosto de 2010. Embora estivesse previsto que a coleta de dados durasse o período de um ano, a data do fim da coleta de dados foi antecipada, devido ao fato de impossibilidade dos sensores em permanecer dentro da sala de aula, por motivos de força maior.

Os sensores utilizados na Escola têm a capacidade de armazenar dados continuamente, durante vários meses. Portanto, somente era necessário transferir os dados coletados dos sensores para um computador a cada 3 meses, aproximadamente. Para a coleta de dados eram necessários um notebook e um cabo específico do sensor, para a transferência destes dados para o notebook. Através de um *software*, também específico para os sensores, essa transferência era efetuada na forma de uma planilha de dados. A figura 15 ilustra o modelo dos sensores e os cabos que foram utilizados para a transferência dos dados.



Figura 15: sensores para captação dos dados

6.2 LOCALIZAÇÃO E PROJETOS DA EDIFICAÇÃO

Com a finalidade de avaliação da eficiência das técnicas sustentáveis utilizadas na construção da Escola, foram coletados dados externos e internos de temperatura e umidade relativa do ar. Esta eficiência, então, foi analisada através da comparação entre os valores das medições externas às internas. Para o posicionamento dos sensores, foram escolhidos dois pontos dentro da sala de aula, acima da altura das luminárias, e outro ponto externo. O ponto externo foi localizado no corredor, do lado de fora da sala, mas sob a cobertura de um telhado (sem isolamento térmico), para que houvesse proteção do sensor durante as medições. Embora o sensor externo estivesse sob um telhado, aproximadamente a 80 centímetros abaixo deste, ele estava exposto às condições externas. A figura 16 ilustra o posicionamento dos sensores, os números 1 e 2 representam os sensores internos e o número 3 o sensor externo.

Em relação à localização da Edificação no terreno, ela foi projetada e posicionada de maneira a obter um máximo aproveitamento solar. Na fachada norte existem duas linhas de janelas (em diferentes alturas), enquanto a fachada sul possui apenas uma linha de janelas. Estas fachadas estão ilustradas na figura 17, a qual também ilustra um corte da sala e o posicionamento das aberturas, em relação às fachadas, e a bandeja de luz da fachada norte.

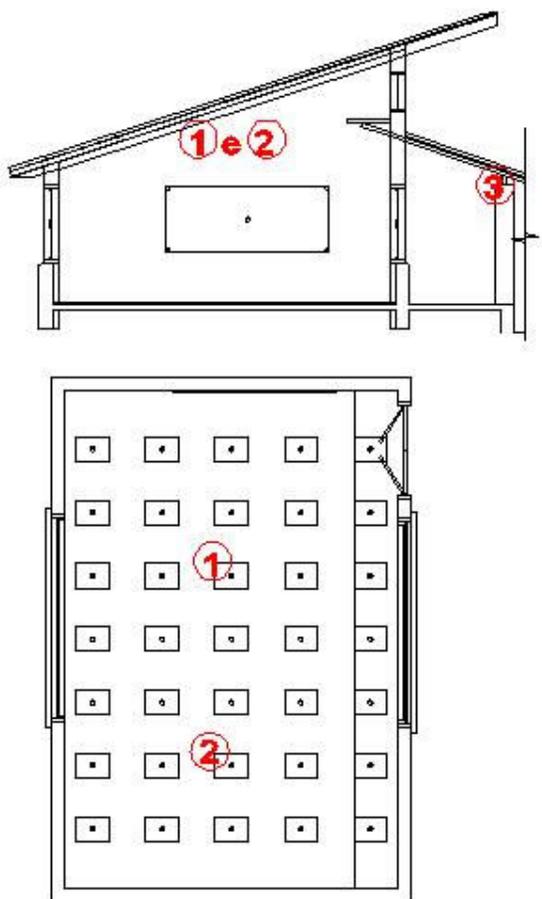


Figura 16: posicionamento dos sensores
(KRUM, 2009⁵)

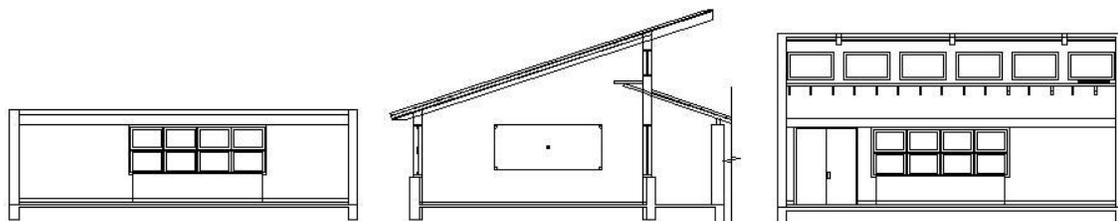


Figura 17: fachada sul (à esquerda), corte da sala (meio) e fachada norte (à direita)
(KRUM, 2009)

⁵ Os projetos da Edificação referentes às figuras 16 à 20 foram cedidos pela Arq. Christiane Cunha Krum.

A implantação da Escola no terreno está ilustrada na figura 18 e nela se pode observar a posição solar da mesma, em relação ao norte. Observa-se que todas as salas de aulas são direcionadas para os mesmos lados, e, por isso, a escolha de uma única sala de aula para as medições é razoável e representativa das condições térmicas oferecidas pela Escola. A posição da Edificação, em relação às árvores do terreno, é ilustrada na figura 19. Pode-se observar que na fachada norte as árvores estão mais afastadas da Edificação, permitindo, assim, uma maior quantidade de radiação solar através das janelas.

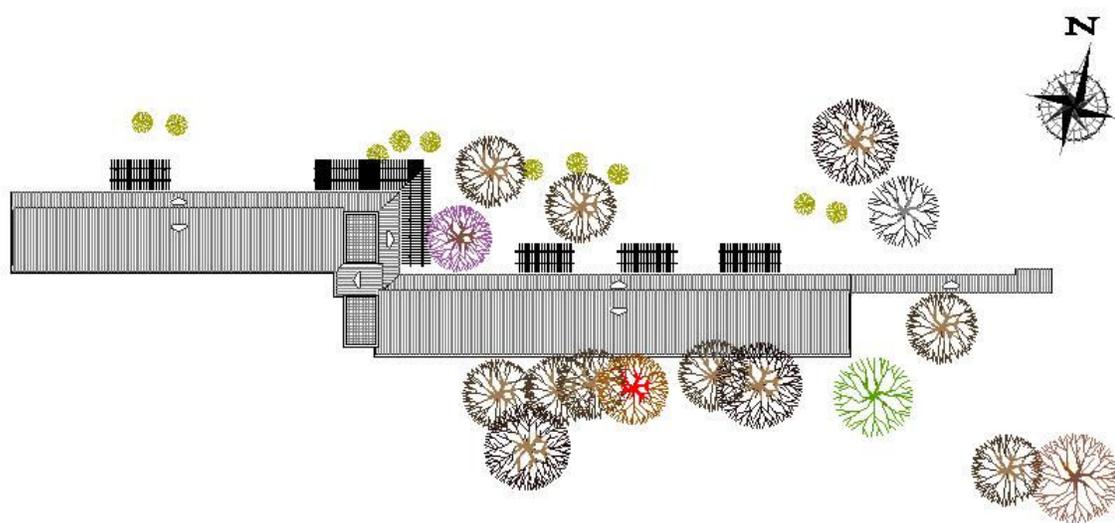


Figura 18: implantação da Edificação em relação ao norte
(KRUM, 2009)



Figura 19: corte representativo da Edificação em relação às árvores
(KRUM, 2009)

Em dias quentes, conforme mencionado anteriormente (capítulo 4), a ventilação cruzada colabora para amenizar a sensação de desconforto, podendo ser, através da dissipação do calor

superficial humano, por convecção e/ou através da renovação da massa de ar. A renovação da massa de ar interna é uma estratégia eficiente, pois através da respiração e da transpiração, os ocupantes da Edificação são capazes de elevar o índice de umidade relativa do ar, gerando, assim, maior desconforto, na medida em que o ar vai se tornando saturado e a capacidade do corpo de regulação térmica (através do mecanismo de exsudação) vai diminuindo. A figura 20 ilustra como ocorre a ventilação cruzada na sala pesquisada, quando é feito o uso deste recurso.

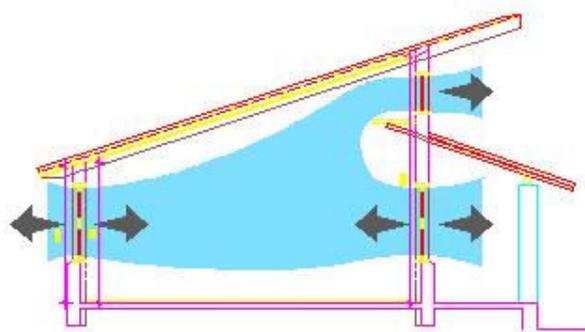


Figura 20: ocorrência de ventilação
(KRUM, 2009)

7 ANÁLISE DOS DADOS

O capítulo que segue, além de apresentar os dados coletados no interior e exterior da Escola, tem por objetivo de analisar e discutir os resultados obtidos, para cada uma das estações do ano, no período estudado. Deve-se ressaltar que a Escola estudada possuía apenas cursos noturnos, portanto as salas eram ocupadas somente à noite. A comparação dos dados externos com os internos é feita da plotagem destes no diagrama bioclimático de Givoni (1992). O *software* utilizado para a plotagem dos dados no diagrama, também forneceu, em porcentagem, a quantidade de horas dentro da zona de conforto e a quantidade de horas de desconforto pelo frio e pelo calor. Devido ao fato de que os resultados do *software*, em relação aos dados dos sensores 1 e 2 serem semelhantes, uma vez que estes dois sensores foram posicionados internamente, neste trabalho serão apenas apresentados os resultados referentes ao sensor 2 (interno) e ao sensor 3 (externo). Neste capítulo, também serão apresentados os quadros de comparação dos índices de graus-hora e grau-médio, referentes a estes sensores.

Para a verificação da influência da ocupação da edificação (ganho interno de calor) nas condições de conforto, os dados foram separados em finais de semana (sem ocupação) e dias úteis (com ocupação). No entanto, por serem pouco conclusivos, estes resultados estarão dispostos apenas no apêndice A.

Com relação aos limites de conforto, foi adotada a zona de conforto para países em desenvolvimento, proposta por Givoni (1992). Desta forma, os valores de temperatura do ar de 18°C e 29°C, correspondem aos limites, inferior e superior, respectivamente, da zona de conforto. E os valores de umidade relativa do ar de 20% e 80%, correspondem aos limites, inferior e superior, respectivamente, também da zona de conforto. Esta faixa de valores foi utilizada igualmente para todas as estações do ano pesquisadas.

7.1 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DA EDIFICAÇÃO NO VERÃO

O período de verão foi considerado como compreendido do dia 22 de dezembro (início das medições) ao dia 19 de março. Ao todo, foram registrados 2104 dados de cada variável ambiental, totalizando 88 dias de medições consecutivas no verão. Para melhor análise dos dados, os meses foram divididos em quatro semanas, sendo a primeira semana considerada do dia 01 ao dia 07, a segunda semana do dia 08 ao dia 14, a terceira semana do dia 15 ao dia 21 e a quarta semana do dia 22 ao último dia do mês. Desta maneira, foi possível identificar a semana de maior calor, através das médias semanais de temperatura. Com esta definição da semana de maior calor do período de verão, esta semana foi mais bem estudada, através da análise da variação horária da temperatura e da umidade relativa.

Em relação aos sensores 2 e 3, a semana com a maior média de temperatura foi a primeira semana do mês de fevereiro. Para o sensor externo, nesta semana, a média semanal de temperatura foi igual a 29,7°C e, para o sensor interno, a média semanal da temperatura foi igual a 30,3°C. Como se pode observar através da figura 21, apesar dos valores (das médias semanais) de umidades relativas internas serem inferiores aos externos, os valores (das médias semanais) de temperaturas internas foram superiores. Como apenas estes valores das médias semanais não são suficientes para analisar a eficiência da Edificação, em relação ao conforto térmico, estes valores apenas serviram para definir a semana de maior calor. Definindo, assim, a primeira semana do mês de fevereiro como a mais quente do verão, a partir dos dados coletados nesta semana foi possível verificar a variação horária destas variáveis ambientais.

Portanto, analisando a variação horária destas variáveis, pode-se observar, através das figuras 22 e 23, que os valores externos apresentaram amplitudes muito maiores de temperatura e umidade relativa do que aos valores internos. Devido a esta grande variação externa, e havendo, à noite, uma queda muito grande da temperatura externa, as médias semanais das temperaturas internas apresentaram valores superiores às externas. Nas figuras referentes 22 e 23, as linhas verticais laranjas delimitam o sábado e domingo (períodos sem ocupação do prédio) desta semana.

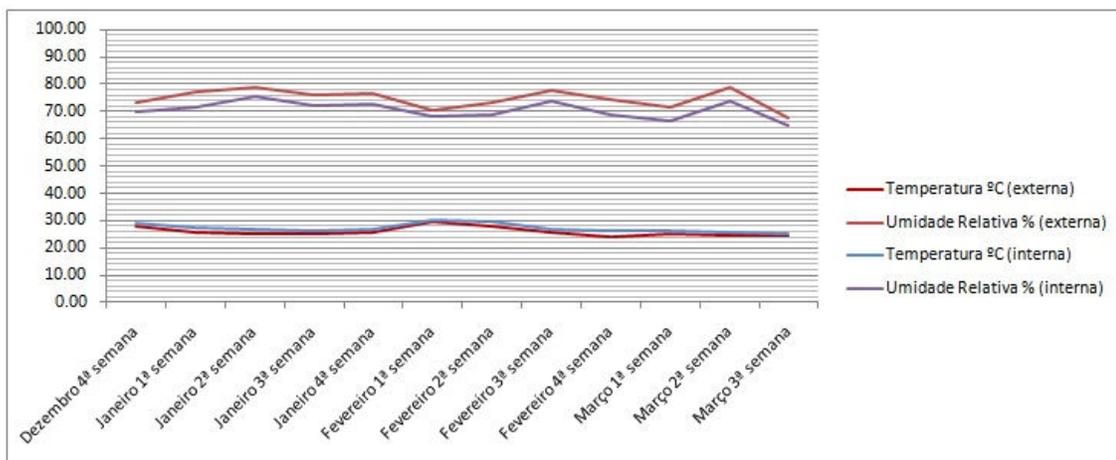


Figura 21: variação semanal das médias de temperatura e umidade relativa no verão

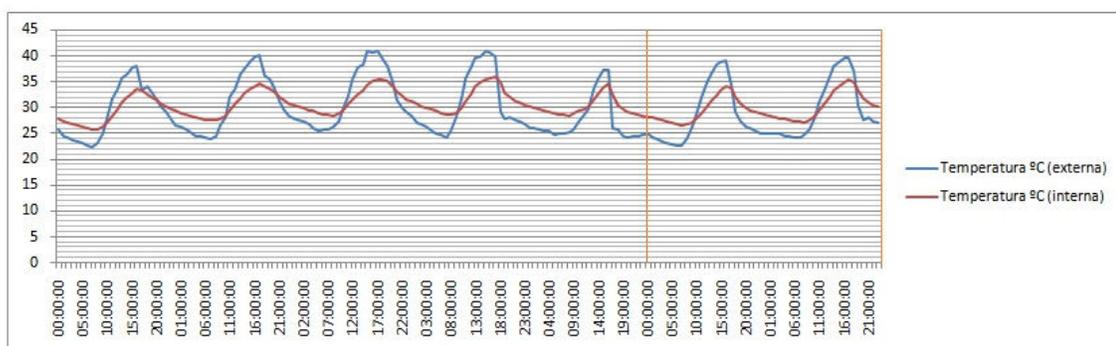


Figura 22: variação horária da temperatura, na semana mais quente do verão

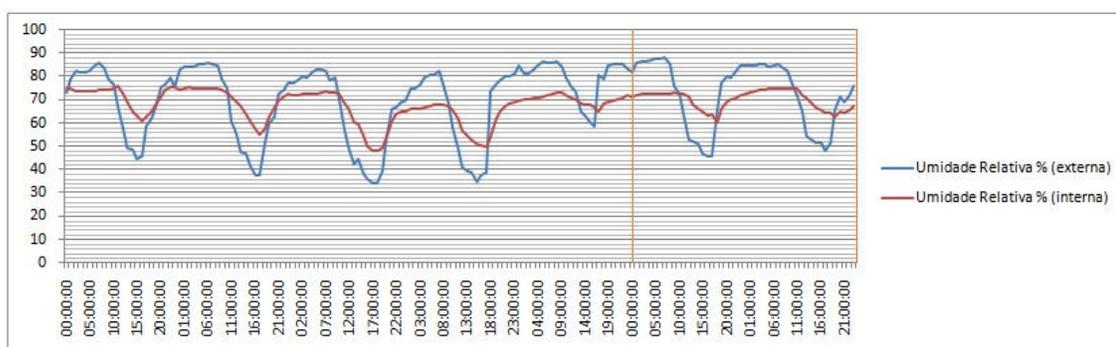


Figura 23: variação horária de umidade relativa, na semana mais quente do verão

Baseado na primeira semana de fevereiro, a qual foi a mais quente, o quadro 1 apresenta os valores máximos de temperatura e de umidade relativa e quando elas ocorreram.

Dia	Valores externos				Valores internos			
	Temperatura °C	Horário	U.R. %	Horário	Temperatura °C	Horário	U.R. %	Horário
1-fev	38.00	16	85.90	7	33.6	16	76.00	11
2-fev	40.10	17	85.80	6	34.7	17	75.00	10
3-fev	40.90	16	82.10	4	35.4	18	73.40	7
4-fev	40.80	15	80.60	5	35.9	17	68.70	9
5-fev	37.20	15	86.60	8	34.5	16	72.90	8
6-fev	39.10	16	87.90	6	34.1	16	72.30	10
7-fev	39.60	16	85.10	6	35.3	17	76.10	10

Quadro 1: valores máximos de temperatura e umidade relativa, na semana mais quente do verão

De acordo com o quadro 1, os valores máximos de temperatura foram amenizados pela Edificação, a qual também ofereceu menores valores de umidade relativa aos ocupantes. Combinando estas duas características oferecidas pela Edificação, pode-se dizer que as condições térmicas internas foram mais favoráveis do que as externas.

Analisando estas duas variáveis ambientais através do diagrama bioclimático de Givoni de 1992 (figura 24), é possível observar que, para os dados coletados internamente, existe uma maior quantidade (densidade) de valores dentro da zona de conforto (região delimitada pela linha azul clara). De acordo com o *software* utilizado, os valores externos apresentaram-se 18% dentro da zona de conforto e os valores internos totalizaram 46% dentro desta zona. E o desconforto devido ao calor reduziu de 76% (dados externos), para 54% (dados internos).

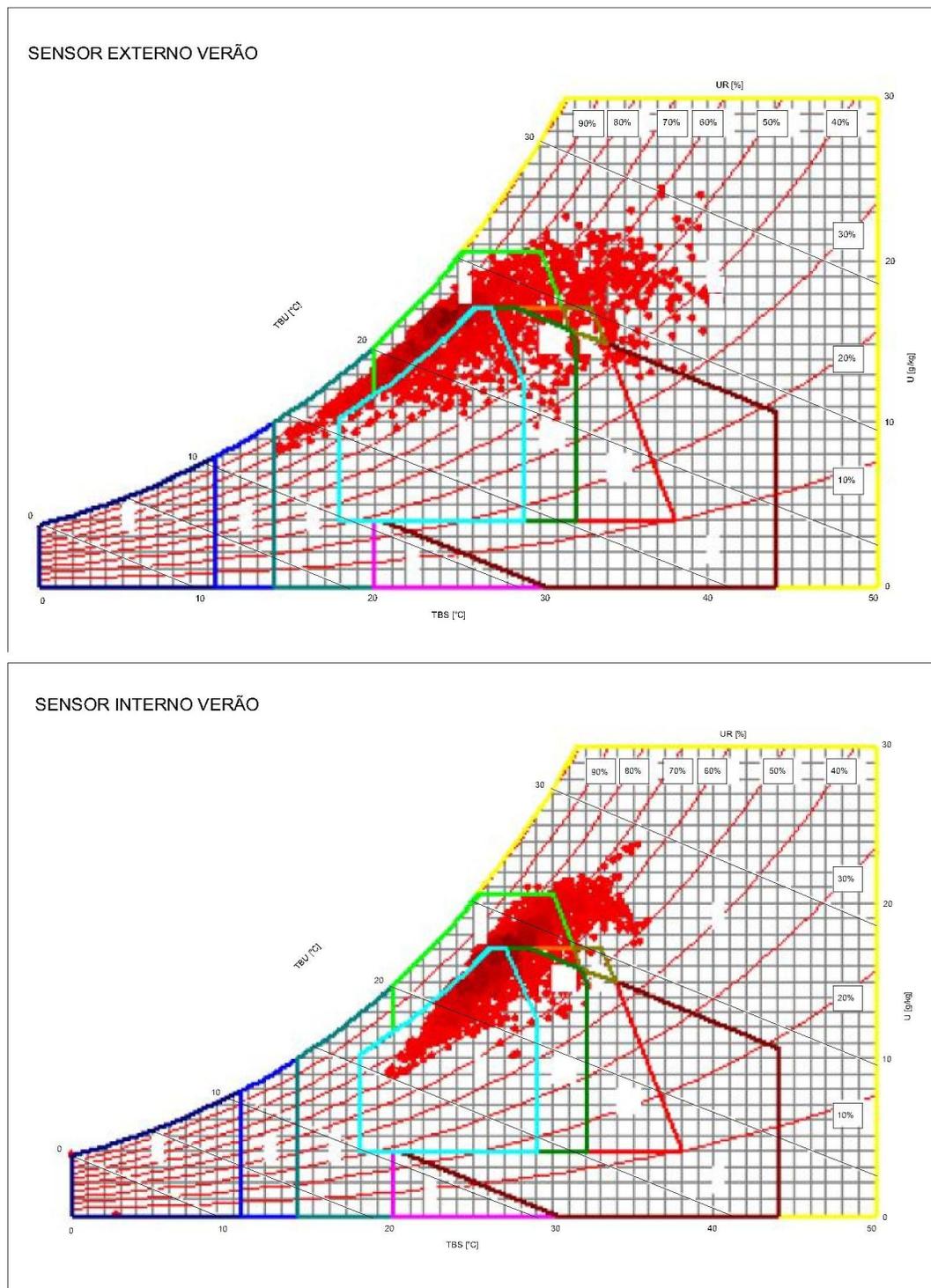


Figura 24: diagrama bioclimático de Givoni, para os dados do verão

Devido ao fato de que as variáveis externas apresentaram maiores amplitudes e, mesmo assim, apresentaram menores valores (das médias semanais) de temperatura, é justificado o

uso do conceito de graus-hora e grau-médio (capítulo 6), para avaliação das horas de desconforto. O quadro 2 permite a comparação entre os valores de graus-hora, horas de desconforto, e grau-médio, em relação aos dados coletados pelos sensores interno e externo.

Graus-Hora e Grau-médio no verão							
Sensor 2 (interno)				Sensor 3 (externo)			
Tb	GH	Horas	GM	Tb	GH	Horas	GM
26	3861.3	1375	2.81	26	3965	861	4.61
27	2617.3	1065	2.46	27	3172.1	722	4.39
28	1689.3	770	2.19	28	2501.4	609	4.11
29	1037.4	517	2.01	29	1940.5	517	3.75

Quadro 2: graus-hora e grau-médio, para o período de verão

Para os diferentes valores de temperaturas-base (T_b), os valores de grau-médio (GM) internos foram inferiores aos externos. Isto significa que houve uma menor variação de temperatura e menores amplitudes desta, acima do limite superior de conforto, gerando assim menos desconforto aos ocupantes daquela Edificação. Estas amplitudes também podem ser evidenciadas através dos valores de graus-hora (GH), onde os valores internos apresentaram-se menores do que os valores externos, caracterizando, também, a ocorrência de menores variações acima do limite superior de conforto.

Através da figura 22, também se pode observar que os momentos em que as temperaturas externas ficaram abaixo de 29°C e, portanto, dentro da zona de conforto, eram momentos em que não havia ocupação na Escola (aproximadamente entre os horários da 00 horas às 08 horas).

7.2 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DA EDIFICAÇÃO NO OUTONO

O período de outono foi considerado do dia 20 de março ao dia 20 de junho. Ao todo, foram registrados 2160 dados de cada variável ambiental, totalizando 92 dias de medições consecutivas no outono. Para análise dos dados, assim como na estação de verão, os meses também foram divididos em semanas, sendo a primeira semana considerada do dia 01 ao dia

07, a segunda semana do dia 08 ao dia 14, a terceira semana do dia 15 ao dia 21 e a quarta semana do dia 22 ao último dia do mês.

Em relação aos sensores 2 e 3, a semana com a maior média de temperatura foi a quarta semana do mês de março. Para o sensor externo, nesta semana, a média semanal da temperatura foi igual a 24,2°C e, para o sensor interno a média semanal de temperatura foi igual a 25,7°C. Após definir a quarta semana do mês de março como a mais quente do verão, também foi necessário definir a semana de menor temperatura, já que a estação de outono é a intermediária entre o verão e o inverno. Portanto, de maneira similar, também através das médias semanais, foi definido que a semana de menor temperatura, no período do outono, foi a segunda semana do mês de junho. Para o sensor externo, desta vez, de acordo com a segunda semana do mês de junho, a menor média de temperatura foi igual a 13,9°C e de acordo com o sensor interno a menor média de temperatura foi igual a 15,3°C. Desta maneira, para a estação de outono foram analisadas duas semanas detalhadamente, a de maior calor (quarta semana do mês de março) e a de menor temperatura (segunda semana do mês de junho).

A figura 25 representa a variação semanal das médias de temperatura e umidade relativa na estação de outono.

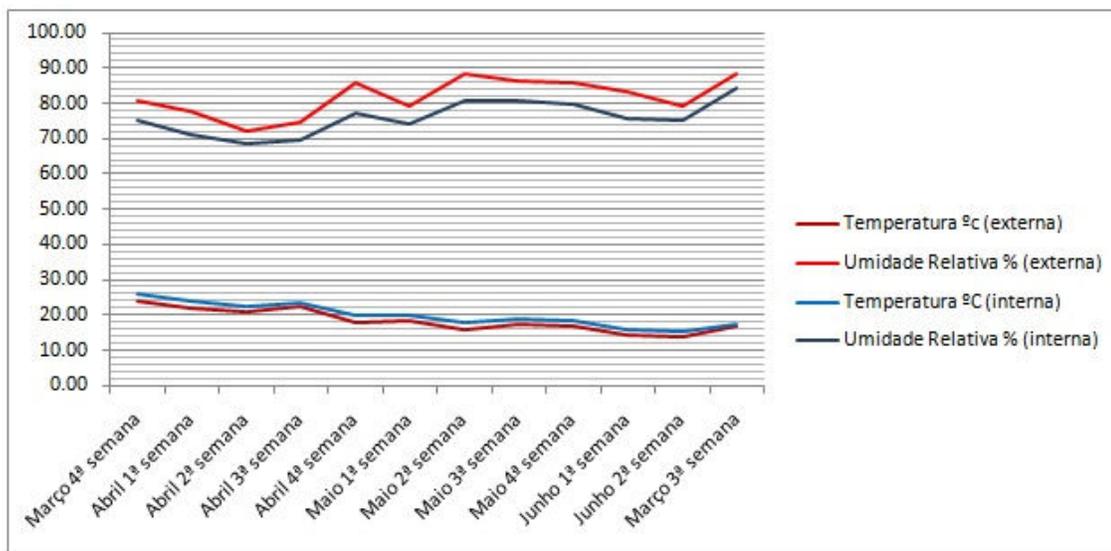


Figura 25: variação semanal das médias de temperatura e umidade relativa no outono

Através da figura 26, pode-se observar que os valores externos apresentaram, novamente, maiores amplitudes do que os valores internos (tanto na semana de maior calor, como na semana de menor temperatura). As figuras 26 e 27 ilustram a variação horária da temperatura e umidade relativa na semana mais quente do outono, sendo esta semana do dia 21 ao dia 28 de março.

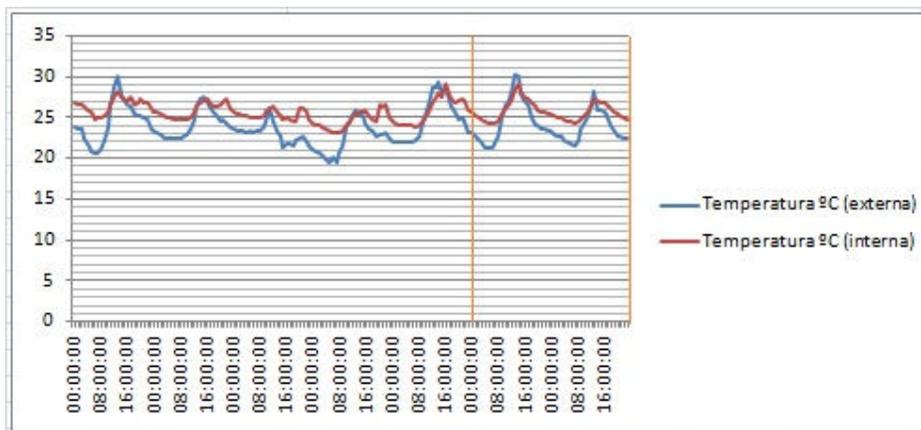


Figura 26: variação horária da temperatura, na semana mais quente do outono

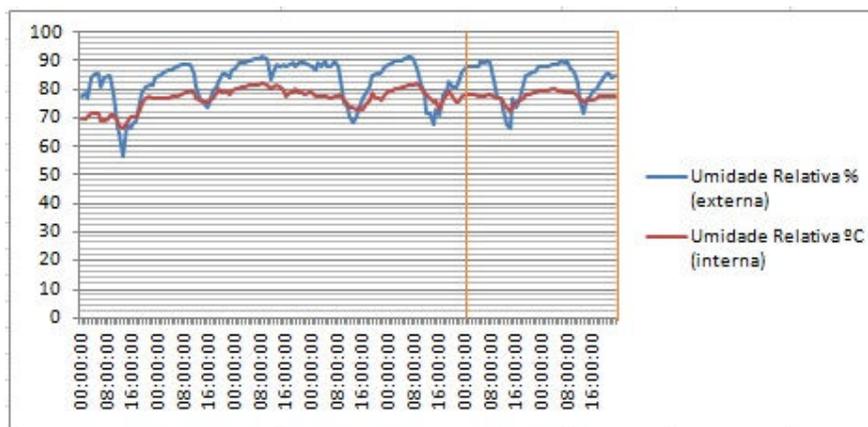


Figura 27: variação horária de umidade relativa na, semana mais quente do outono

Desta vez, para a semana mais fria do outono, as figuras 28 e 29 ilustram a variação horária de temperatura e umidade relativa.

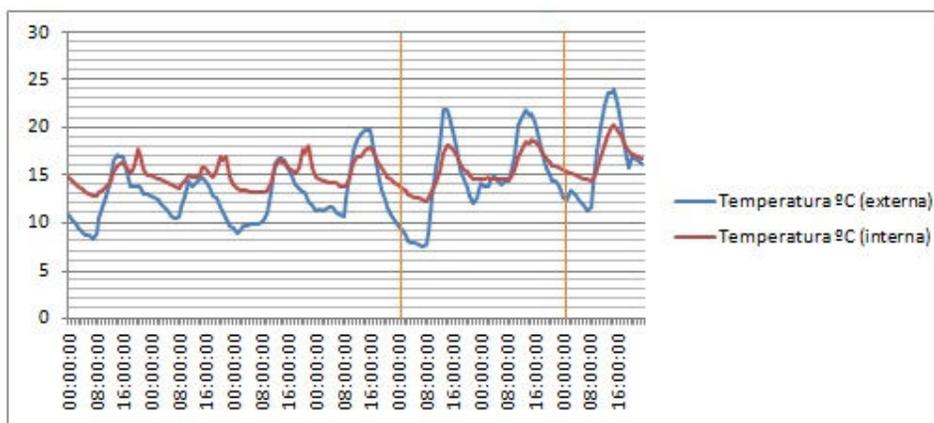


Figura 28: variação horária da temperatura, na semana mais fria do outono

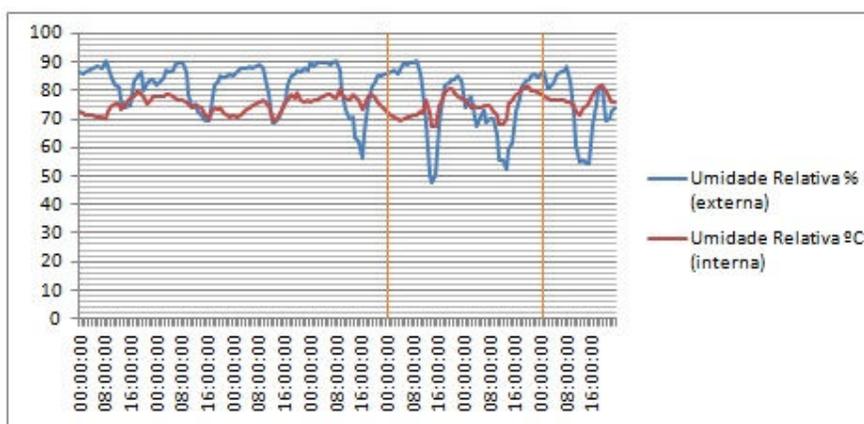


Figura 29: variação horária de umidade relativa, na semana mais fria do outono

Conforme ilustrado nos quadros 3 e 4, os valores máximos de temperatura foram amenizados pela Edificação, a qual também ofereceu menores valores de umidade relativa aos ocupantes. Combinando estas duas características, também se pode afirmar que as condições térmicas internas foram mais favoráveis do que as externas.

Dia	Valores externos				Valores internos			
	Temperatura °C	Horário	U.R. %	Horário	Temperatura °C	Horário	U.R. %	Horário
22-mar	30.00	13	84.00	3	28.10	13	71.80	4
23-mar	27.50	15	88.40	9	27.20	16	79.30	10
24-mar	26.20	11	90.80	8	26.20	12	83.50	11
25-mar	25.80	13	87.90	5	25.90	16	77.80	8
26-mar	29.30	14	90.80	6	28.90	16	82.00	10
27-mar	30.20	13	90.10	7	29.00	14	77.80	6
28-Mar	28.10	13	89.70	8	27.10	13	80.10	3

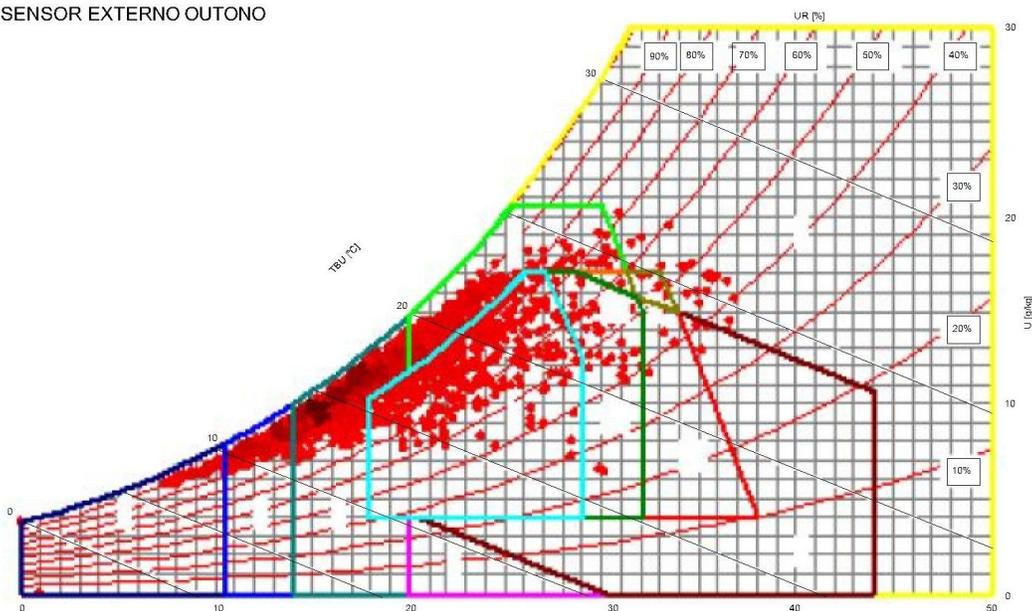
Quadro 3: valores máximos de temperatura e umidade relativa, na semana mais quente do outono

Dia	Valores externos				Valores internos			
	Temperatura °C	Horário	U.R. %	Horário	Temperatura °C	Horário	U.R. %	Horário
8-jun	8.20	7	90.20	8	12.80	7	76.90	13
9-jun	9.70	23	89.60	7	13.60	8	78.30	2
10-jun	8.90	1	88.80	7	13.10	7	76.50	9
11-jun	10.30	23	89.00	6	13.70	8	80.60	9
12-jun	7.50	7	89.70	7	12.20	8	77.00	12
13-jun	13.70	2	83.70	20	14.50	7	79.50	18
14-jun	11.30	7	87.50	7	14.40	8	80.70	18

Quadro 4: valores mínimos de temperatura e valores máximos de umidade relativa, na semana mais fria do outono

De acordo com o diagrama bioclimático de Givoni (figura 30), é possível observar que para os dados coletados internamente existe uma maior quantidade (densidade) de valores dentro da zona de conforto (região delimitada pela linha azul clara). De acordo com o *software* utilizado, os valores externos apresentaram-se 20% dentro da zona de conforto e os valores internos totalizaram 46% dentro desta zona. O desconforto devido ao calor reduziu de 19% (dados externos) para 12% (dados internos) e o desconforto devido ao frio reduziu de 61% (dados externos) para 41% (dados internos).

SENSOR EXTERNO OUTONO



SENSOR INTERNO OUTONO

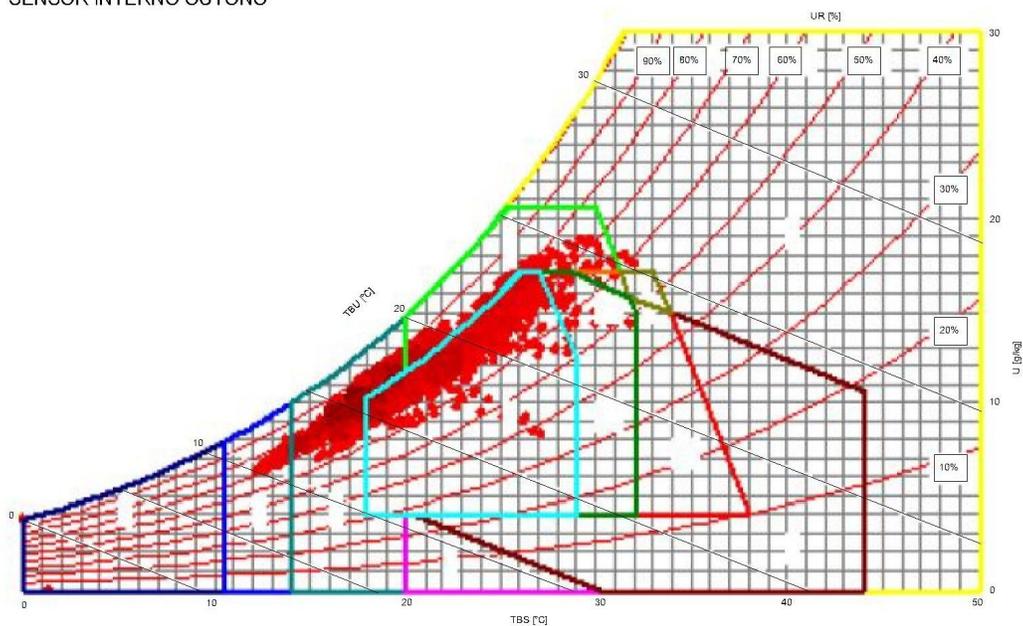


Figura 30: diagrama bioclimático de Givoni, para os dados do outono

Assim como para o verão, mas desta vez para o outono, foi utilizado o conceito de graus-hora e grau-médio. Os resultados da utilização destes conceitos, para a quantificação de horas de desconforto, está ilustrado abaixo, no quadro 5, o qual permite a comparação entre os valores

de graus-hora, horas de desconforto, e grau-médio, em relação aos dados coletados pelos sensores interno e externo.

Graus-Hora e Grau-médio no outono							
Sensor 2 (interno)				Sensor 3 (externo)			
Tb	GH	Horas	GM	Tb	GH	Horas	GM
15 e 26	469	333	1.41	15 e 26	1747.9	669	2.61
16 e 27	490.9	323	1.52	16 e 27	2206.3	833	2.65
17 e 28	728.1	478	1.52	17 e 28	2874.8	981	2.93
18 e 29	1235.8	728	1.70	18 e 29	3782	1168	3.24

Quadro 5: graus-hora e grau-médio, para o período de outono

Para os diferentes valores de temperaturas-base (T_b), os valores de grau-médio (GM) internos foram inferiores aos externos. Isto significa que houve uma menor variação de temperatura e menores amplitudes desta, acima (ou abaixo) do limite superior (ou inferior) de conforto, gerando, assim, menos desconforto aos ocupantes da Edificação. Estas amplitudes também podem ser evidenciadas através dos valores de graus-hora (GH), onde os valores internos apresentaram-se menores do que os valores de GH, caracterizando, também, menores variações fora dos limites de conforto.

7.3 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO NO INVERNO

O período de inverno foi considerado do dia 21 de junho ao dia 16 de agosto (fim das medições). Ao todo, foram registrados 1353 dados de cada variável ambiental, totalizando 57 dias de medições consecutivas no inverno. Para análise dos dados, assim como para as outras estações, os meses foram divididos em semanas, sendo a primeira semana considerada do dia 01 ao dia 07, a segunda semana do dia 08 ao dia 14, a terceira semana do dia 15 ao dia 21 e a quarta semana do dia 22 ao último dia do mês.

Em relação aos sensores 2 e 3, a semana com a menor média de temperatura foi a primeira semana do mês de agosto. Para o sensor externo, a média semanal da temperatura nesta semana foi igual a $10,7^{\circ}\text{C}$ e, para o sensor interno, a média semanal da temperatura foi equivalente a $12,7^{\circ}\text{C}$. Assim, a primeira semana do mês de agosto foi a de menor temperatura

do inverno: portando, esta semana foi analisada detalhadamente. As figuras 32 e 33 ilustram a variação horária de temperatura e umidade relativa, respectivamente.

A figura 31 representa a variação semanal das médias de temperatura e de umidade relativa, no período de inverno.

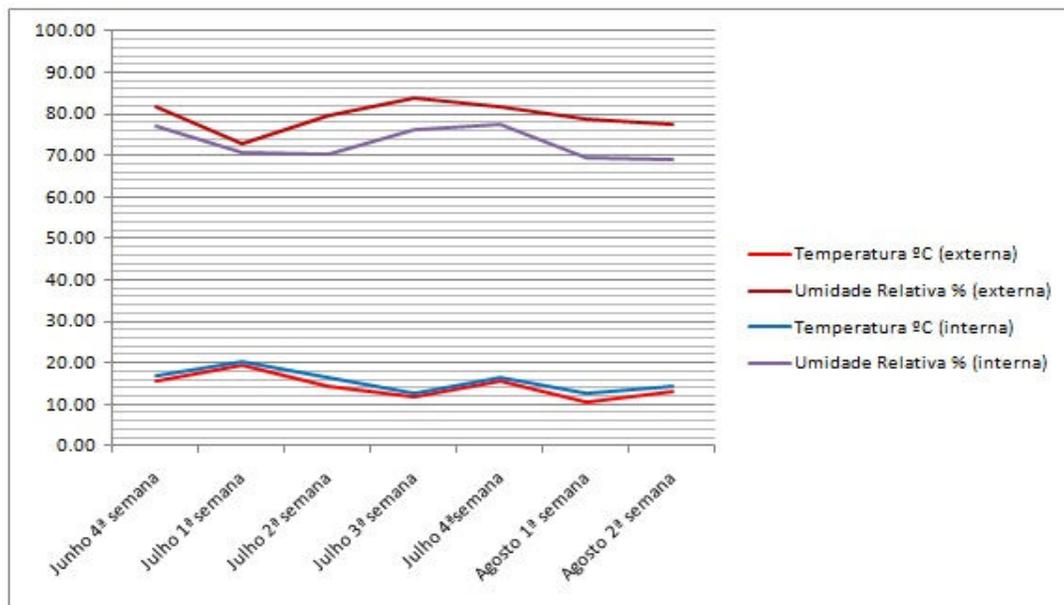


Figura 31: variação semanal das médias de temperatura e umidade relativa no inverno

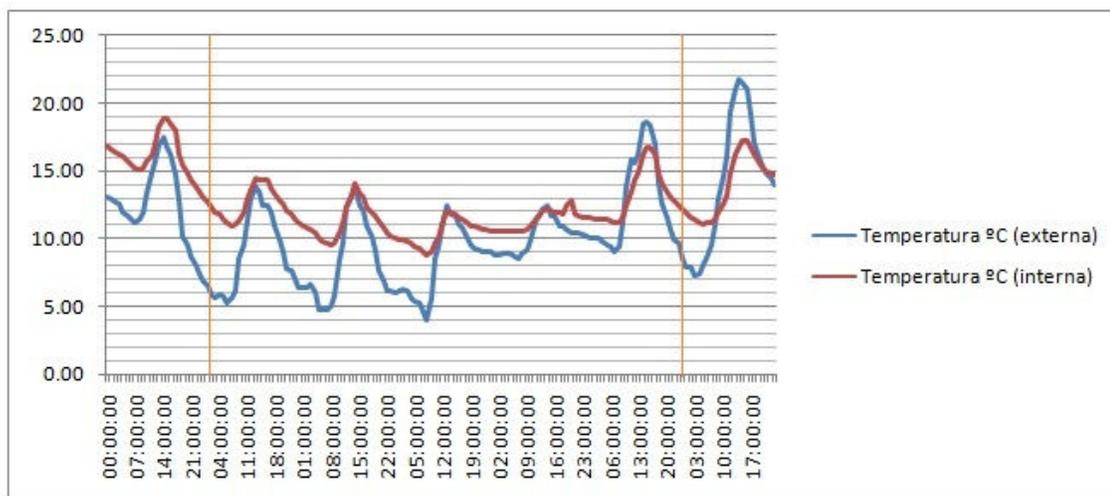


Figura 32: variação horária da temperatura, na semana mais fria do inverno

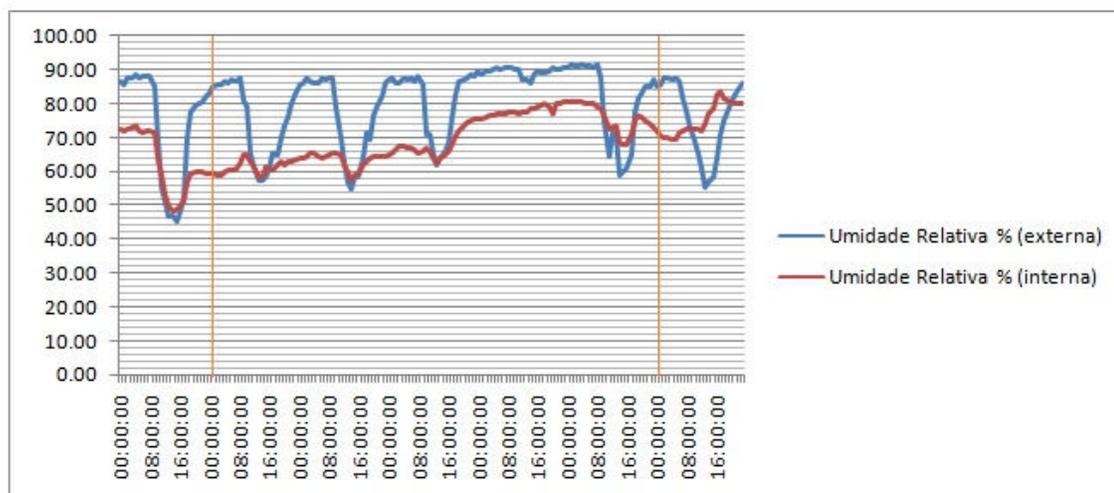


Figura 33: variação horária de umidade relativa, na semana mais fria do inverno

De acordo com o quadro 6, e conforme também ocorreu nas outras estações estudadas, os valores mínimos de temperatura foram melhorados pela Edificação. Também se pode observar, através da figura 33, que a maioria dos dados de umidade relativa interna esteve entre 20% e 80%. Portanto, relacionando novamente que estas duas variáveis ambientais obtiveram valores mais favoráveis em relação ao oferecimento de conforto térmico pela Edificação, pode-se afirmar que as condições térmicas internas foram mais adequadas aos seus usuários do que as externas, como seria de se esperar.

Dia	Valores externos				Valores internos			
	Temperatura °C	Horário	U.R. %	Horário	Temperatura °C	Horário	U.R. %	Horário
1-ago	11.70	5	88.20	6	15.50	6	73.50	4
2-ago	5.20	6	87.50	8	11.20	6	65.20	9
3-ago	4.70	6	87.40	8	9.60	8	65.30	9
4-ago	4.00	7	88.20	8	8.80	8	65.70	8
5-ago	8.70	6	90.60	9	10.60	7	77.70	10
6-ago	9.10	6	91.70	8	11.20	7	80.30	5
7-ago	7.30	3	87.60	5	11.20	4	82.60	16

Quadro 6: valores mínimos de temperatura e valores máximos de umidade relativa, na semana mais fria do inverno

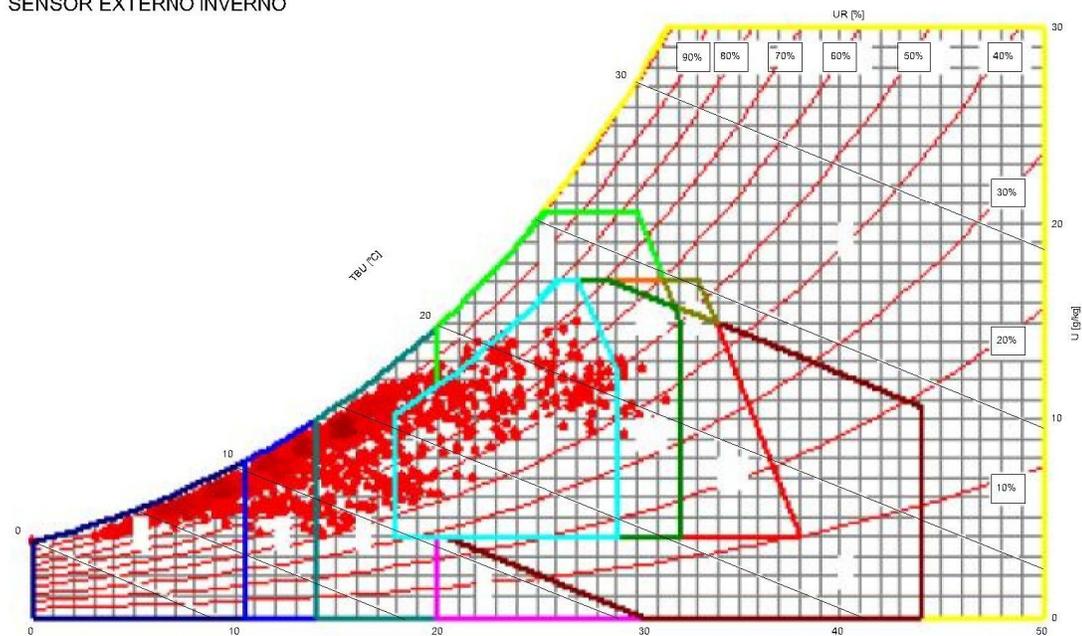
Analisando estas duas variáveis ambientais, através do diagrama bioclimático de Givoni, de 1992 (figura 34), é possível observar que, para os dados coletados internamente, existe uma maior quantidade (densidade) de valores dentro da zona de conforto (região delimitada pela linha azul clara). De acordo com o *software* utilizado, os valores externos apresentaram-se

18% dentro da zona de conforto e os valores internos totalizaram 20% dentro desta zona. O desconforto devido ao frio reduziu de 80% (dados externos), para 78% (dados internos).

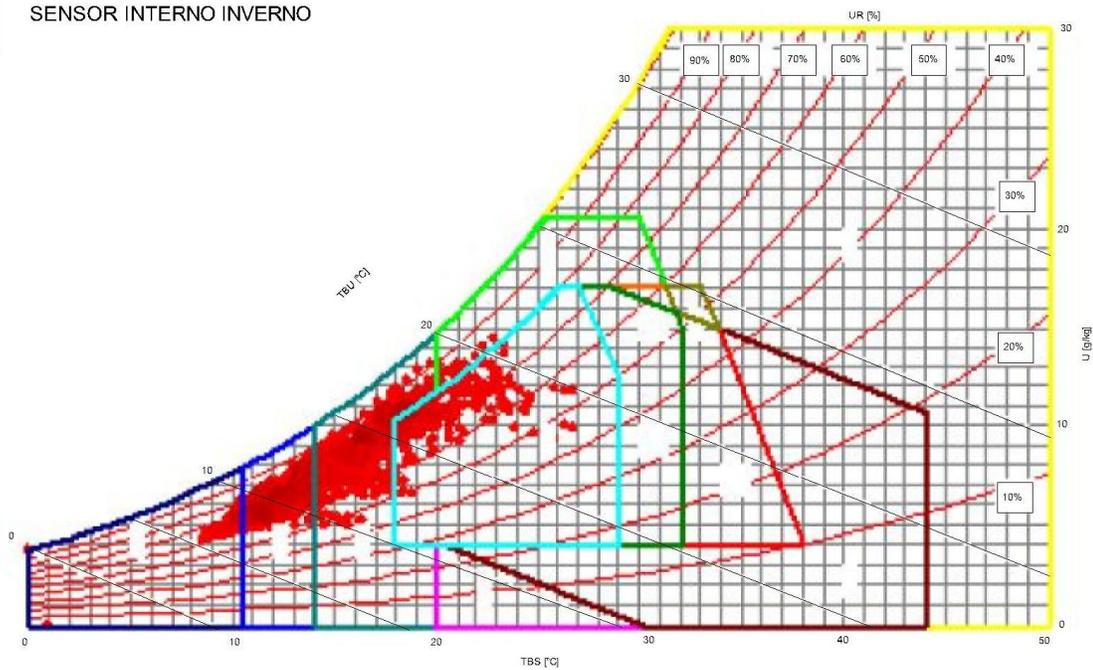
Embora para os dados internos o acréscimo da porcentagem dentro na zona de conforto tenha sido mínimo e o desconforto pelo frio tenha decaído pouco, a Edificação ofereceu melhores condições térmicas. Uma possível explicação para isto é devido ao fato de que, neste ano de 2010, o inverno tenha sido rigoroso, com temperaturas mínimas de aproximadamente 7°C (muito abaixo do limite inferior de conforto de 18°C). Desta maneira, a Edificação não teve a capacidade de elevar a temperatura ao ponto de que esta se enquadrasse dentro dos limites de conforto (18°C à 29°C).

É importante ressaltar que apesar das condições internas não atingirem a zona de conforto (de uma maneira significativa), a temperatura interna teve um acréscimo de mais de 6°C em alguns momentos. Este fato também confere a Edificação capacidade de oferecer aos ocupantes melhores condições térmicas, ainda que fora da zona estipulada como a de conforto.

SENSOR EXTERNO INVERNO



SENSOR INTERNO INVERNO



Quadro 34: diagrama bioclimático de Givoni, para os dados do inverno

Os resultados da utilização do conceito de graus-hora e grau-médio, para a quantificação de horas de desconforto, estão ilustrados no quadro 7, o qual também permite a comparação entre os valores dos dados coletados pelos sensores interno e externo.

Graus-Hora e Grau-médio no inverno							
Sensor 2 (interno)				Sensor 3 (externo)			
Tb	GH	Horas	GM	Tb	GH	Horas	GM
15	1491.9	549	2.72	15	3080.5	680	4.53
16	2088.7	628	3.33	16	3855.4	828	4.66
17	2787.3	778	3.58	17	4726	905	5.22
18	3633.7	904	4.02	18	5674.3	980	5.79

Quadro 7: graus-hora e grau-médio, para o período de inverno

Para os diferentes valores de temperaturas-base (T_b), os valores de grau-médio (GM) internos foram inferiores aos externos. Isto significa que houve uma menor variação de temperatura e menores amplitudes abaixo do limite inferior de conforto, gerando, assim, menos desconforto aos ocupantes da Edificação. Estas amplitudes também podem ser evidenciadas através dos valores de graus-hora (GH), onde os valores internos apresentaram-se menores do que os valores externos, caracterizando, também, menores variações abaixo do limite de conforto.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo principal a análise da eficácia das técnicas construtivas utilizadas na construção do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia localizado no município de Feliz - RS. Comparando os dados externos aos internos, das medições *in loco* de temperatura e umidade relativa, através do diagrama bioclimático de Givoni de 1992, é possível afirmar que o interior da Edificação estudada, como seria de se esperar, proporcionou melhores condições térmicas do que o exterior.

A zona de conforto proposta por Givoni (1992), para países em desenvolvimento, por usar uma carta psicrométrica como base, foi de fácil aplicação e permitiu uma visualização clara das estratégias bioclimáticas, para os valores que não se encontraram no intervalo de conforto.

Desta maneira, para o verão, a Edificação quase que triplicou a quantidade de horas dentro da zona de conforto (de 18% para 46%) e quando os dados estavam fora desta zona, a sensação de calor (em 42% das horas de desconforto) poderia ser facilmente amenizada pelo uso da ventilação cruzada. Por possuir janelas nos dois lados da sala, o uso deste recurso era viável, devendo ser controlado, para que não causasse desconforto por folhas voando e ventos muito fortes. Um possível problema na utilização da ventilação natural é a necessidade de se deixar as janelas abertas, possibilitando assim, a entrada de insetos. Portanto, é aconselhável a fixação de telas nas janelas, pois estas permitem a entrada de massas de ar, mas vetam a passagem de insetos. Vale ressaltar que, sempre que possível o uso de ventilação natural, este recurso deve ser priorizado, ao uso de um sistema artificial (ventiladores ou ar condicionado), tendo em vista a minimização do consumo de energia.

Para o outono, a Edificação também ofereceu melhores condições térmicas aos ocupantes, mais que dobrando (de 20% para 46%) a quantidade de horas dentro da zona de conforto. Para esta estação, o desconforto pelo calor também poderia ser amenizado (11% das horas) pelo uso da ventilação cruzada. Para as horas de desconforto pelo frio, o uso de aquecimento solar passivo e da inércia térmica da Edificação mostrou-se eficaz em alguns momentos (conforme o diagrama bioclimático de Givoni). Em alguns momentos, mais precisamente 39% das horas,

devido às baixas temperaturas nesta época, este desconforto somente poderia ser amenizado pelo uso de aquecimento artificial.

Em relação aos resultados do inverno, devido às baixas temperaturas, a Edificação não apresentou resultados significativos, em relação a um possível acréscimo dos dados dentro da zona de conforto. Mas, conforme demonstrado no capítulo anterior, as temperaturas mínimas internas apresentaram-se bem maiores do que as externas. Apesar das técnicas construtivas, para o inverno, não terem apresentado resultados satisfatórios, a Edificação continuou oferecendo melhores condições térmicas do que o exterior. Os motivos para um baixo desempenho térmico da Edificação no inverno podem ser vinculados, principalmente, a inexistência de vidros duplos e à baixa capacidade de aquecimento solar interno e, conseqüentemente, um baixo aproveitamento da massa térmica para aquecimento.

As janelas por serem um ponto forte de perdas de calor, deveriam apresentar vidros duplos, pois, além da ausência destes, havia muitas frestas entre as esquadrias de madeira (portas e janelas), que proporcionavam um acréscimo nestas perdas internas de calor.

O aquecimento solar da sala estudada não era favorecido, uma vez que as janelas inferiores da fachada norte não recebem a incidência direta da radiação solar e as janelas superiores são de pequenas dimensões, quando estas são confrontadas com aquelas necessárias para a entrada de radiação para o interior da edificação, com conseqüente aquecimento solar. Além disso, a Edificação por não possuir aulas diurnas, não era capaz de armazenar possíveis ganhos internos de calor devido a ocupação destas salas de aulas.

É importante ressaltar, que, diferentemente de uma casa, a Edificação estudada não necessita oferecer boas condições térmicas durante o período de madrugada, e que foi justamente neste período (das 3 às 7 horas da manhã), que ocorreram as temperaturas mínimas do inverno.

O critério dos graus-hora e grau-médio também foi de simples aplicação, e constituiu um recurso importante para a quantificação das horas de desconforto. Para todas as estações do ano estudadas, os valores de graus-hora e grau-médio internos foram menores do que os externos, demonstrando que houve menores amplitudes, acima ou abaixo dos limites de conforto. É importante destacar que, para os dados de temperatura e umidade relativa, quanto menos estes valores se afastarem dos valores limites, menor será o desconforto gerado aos ocupantes.

Em relação à umidade relativa, os valores internos sempre foram inferiores aos externos, e, para os períodos de calor, isto se torna favorável, pois permite que o organismo humano alivie a sensação de calor, através do mecanismo de exsudação (suor). Também foi possível observar, através dos gráficos de variações horárias, que a umidade relativa sempre esteve (naquelas semanas estudadas detalhadamente) dentro dos limites de conforto. Mas, como para o conforto térmico é necessário a combinação de temperatura e umidade relativa, dentro de certos valores limites, nem sempre foi possível que a Edificação oferecesse conforto térmico aos usuários. Apesar disto, a Escola estudada ofereceu sempre melhores condições térmicas aos ocupantes, valendo-se do uso de técnicas construtivas sustentáveis e racionais.

Como sugestões para trabalhos futuros, é aconselhável um estudo mais detalhado da interferência da ocupação das salas, nas condições de conforto térmico oferecidas pela Edificação. E quando as salas de aula da Escola forem ocupadas também durante o dia (gerando ganhos internos de calor), as condições climáticas internas devem ser monitoradas em períodos de baixas temperaturas, para verificar se a Edificação poderá melhorar o oferecimento de conforto térmico em dias frios.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, V. M. D. Estudo da Aplicabilidade da norma ISO 7730 na Avaliação das Condições Térmicas dos Usuários das Edificações em Natal-RN. In: TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS: SOLUÇÕES PARA O TERCEIRO MILÊNIO, 1998, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1998. Disponível em: <http://congr_tgpe.pcc.usp.br/anais/Pg409a416.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: desempenho térmico de edificações – parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2003.

BARBOSA, M. J. **Uma Metodologia para Especificar e Avaliar o Desempenho Térmico de Edificações Residenciais Unifamiliares**. 1997. 277 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

CUNHA, E. G.; ZECHMEISTER, D.; MELO, E. Q.; MASCARÓ, J. J.; VASCONCELLOS, L.; FRANDOLOSO, M. A. L. **Elementos de Arquitetura de Climatização Natural**. 2 ed. Passo Fundo: Editora da Universidade de Passo Fundo, 2005.

DUODEK, D. Retorno certo: os benefícios diretos e indiretos das soluções sustentáveis. **Construção Mercado**, n. 98, set. 2009. Disponível em: <<http://revista.construcaomercado.com.br/negocios-incorporacao-construcao/98/retorno-certo-os-beneficios-diretos-e-indiretos-das-solucoes-151119-1.asp>>. Acesso em: 30 nov. 2009.

FERREIRA JUNIOR, J. B.; COELHO, L. G. M.; PIRES, W.; SILVA, R. A.; MARTINI, A. R. P.; BORBA, D. A. Relação entre aclimação ao calor e ciclo circadiano. **Revista Digital Efdeportes**, n. 133, jun. 2009. Disponível em: <<http://www.efdeportes.com/efd133/relacao-entre-aclimatacao-ao-calor-e-ciclo-circadiano.htm>>. Acesso em: 30 nov. 2009.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 7 ed. São Paulo: Studio Nobel, 2006.

LAMBERTS, R.; PEREIRA, F.; DUTRA, L. **Eficiência energética na Arquitetura**. São Paulo: PW, 1997.

MORAN, E. F. **Adaptabilidade Humana**: uma introdução a antropologia ecológica. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1994.

MORELLO, A. **Avaliação do comportamento Térmico do Protótipo Habitacional Alvorada**. 2005. 178 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PEREIRA, D. M.; SOUZA, S. I. S. **Determinação dos Indicadores de Grau de Conforto Térmico, PMV e do PPD, para os Laboratórios do prédio 11 da URI Campus de Santo Ângelo.** 2007. p. 54-64. Disponível em:
<http://www.reitoria.uri.br/~vivencias/Numero_005/artigos/artigos_vivencias_05/artigo_006.htm>. Acesso em: 30 nov. 2009.

**APÊNDICE A – Resultados dos estudos das variáveis ambientais em
relação aos períodos com e sem ocupação das salas de aula**

SITUAÇÃO DA SALA DE AULA NO INVERNO	Total de horas	Conforto	Horas de conforto
Geral	1353	19,90 %	269.25
Sem ocupação (finais de semana)	384	24,40 %	93.70
Com ocupação (dias úteis)	969	18,00 %	174.42
Sem ocupação (finais de semana e mais o período de férias)	624	16,80 %	104.83
Com ocupação (sem os finais de semana e sem o período de férias)	729	22,90 %	166.94
SITUAÇÃO DA SALA DE AULA NO INVERNO	Total de horas	Desconforto pelo frio	Horas de desconforto
Geral	1353	78,50 %	1.062.11
Sem ocupação (finais de semana)	384	74,80 %	287.23
Com ocupação (dias úteis)	969	80,00 %	775.20
Sem ocupação (finais de semana e mais o período de férias)	624	82,40 %	514.18
Com ocupação (sem os finais de semana e sem o período de férias)	729	74,60 %	543.83

SITUAÇÃO DA SALA DE AULA NO VERÃO	Total de horas	Conforto	Horas de conforto
Geral	2104	45,80 %	963.63
Sem ocupação (finais de semana)	576	44,50 %	256.32
Com ocupação (dias úteis)	1528	46,40 %	708.99
Sem ocupação (finais de semana e mais o período de férias)	1660	41,60 %	690.56
Com ocupação (sem os finais de semana e sem o período de férias)	444	66,20 %	293.93
SITUAÇÃO DA SALA DE AULA NO VERÃO	Total de horas	Desconforto pelo calor	Horas de desconforto
Geral	2104	54,10 %	1.138.26
Sem ocupação (finais de semana)	576	55,30 %	318.53
Com ocupação (dias úteis)	1528	53,50 %	817.48
Sem ocupação (finais de semana e mais o período de férias)	1660	58,30 %	967.78
Com ocupação (sem os finais de semana e sem o período de férias)	444	33,50 %	148.74

SITUAÇÃO DA SALA DE AULA NO OUTONO	Total de horas	Conforto	Horas de conforto
Geral	2160	46,20 %	997.92
Sem ocupação (finais de semana)	672	44,10 %	296.35
Com ocupação (dias úteis)	1488	47,10 %	700.85
SITUAÇÃO DA SALA DE AULA NO OUTONO	Total de horas	Desconforto pelo frio	Horas de desconforto
Geral	2160	41,50 %	896.40
Sem ocupação (finais de semana)	672	42,00 %	282.24
Com ocupação (dias úteis)	1488	41,20 %	613.06
SITUAÇÃO DA SALA DE AULA NO OUTONO	Total de horas	Desconforto pelo calor	Horas de desconforto
Geral	2160	12,30 %	265.68
Sem ocupação (finais de semana)	672	13,90 %	93.41
Com ocupação (dias úteis)	1488	11,20 %	166.66

Quadro apa 1: comparativo entre os dados com e sem ocupação da sala de aula

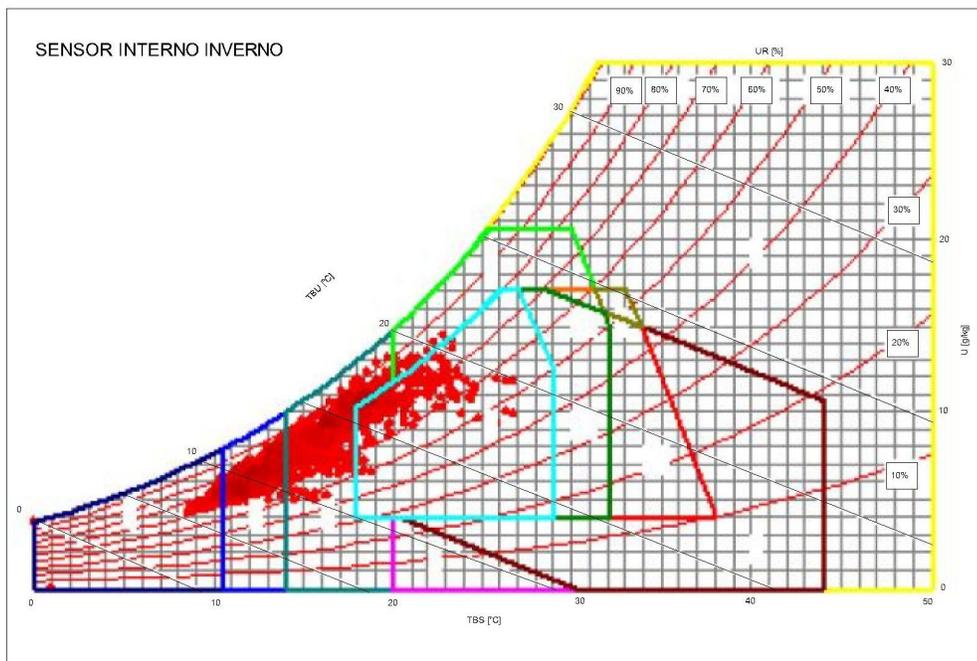


Figura apa 1: diagrama bioclimático para os dados internos do período de inverno

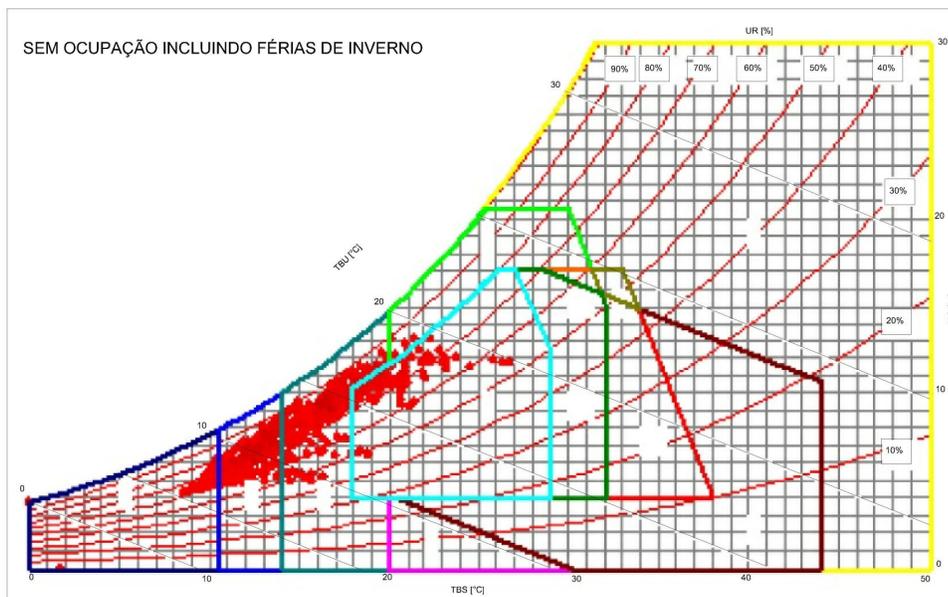


Figura apa 2: diagrama bioclimático para os dados internos do período de inverno e para a sala sem ocupação

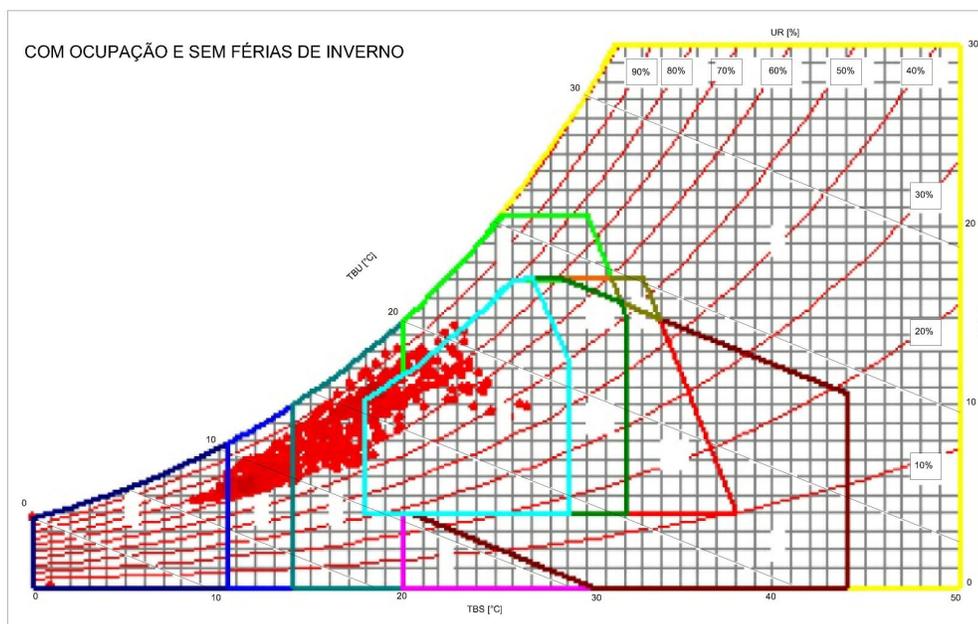


Figura apa 3: diagrama bioclimático para os dados internos do período de inverno e para a sala com ocupação

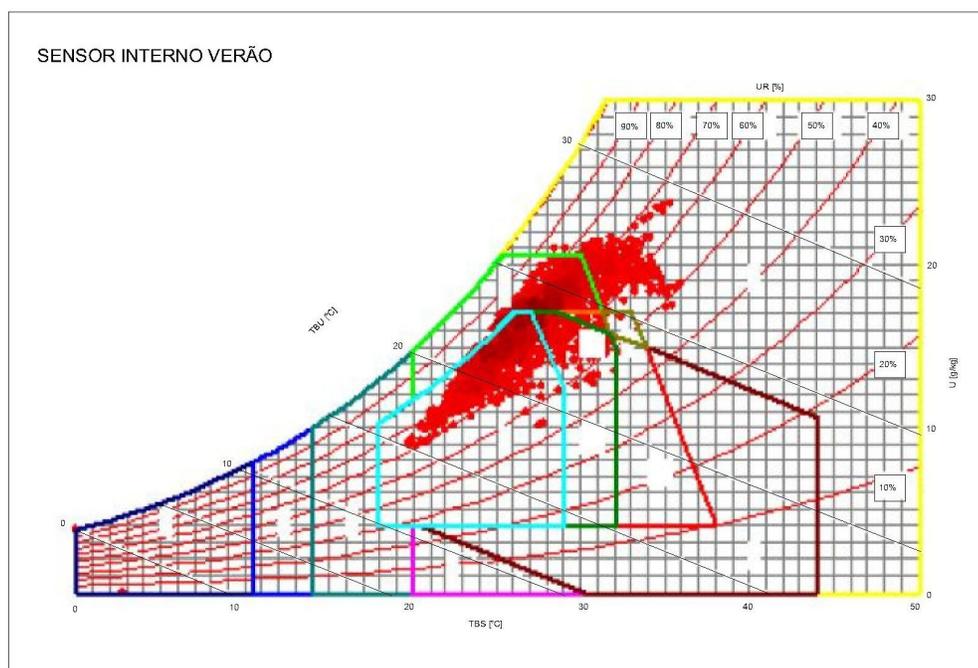


Figura apa 4: diagrama bioclimático para os dados internos do período de verão

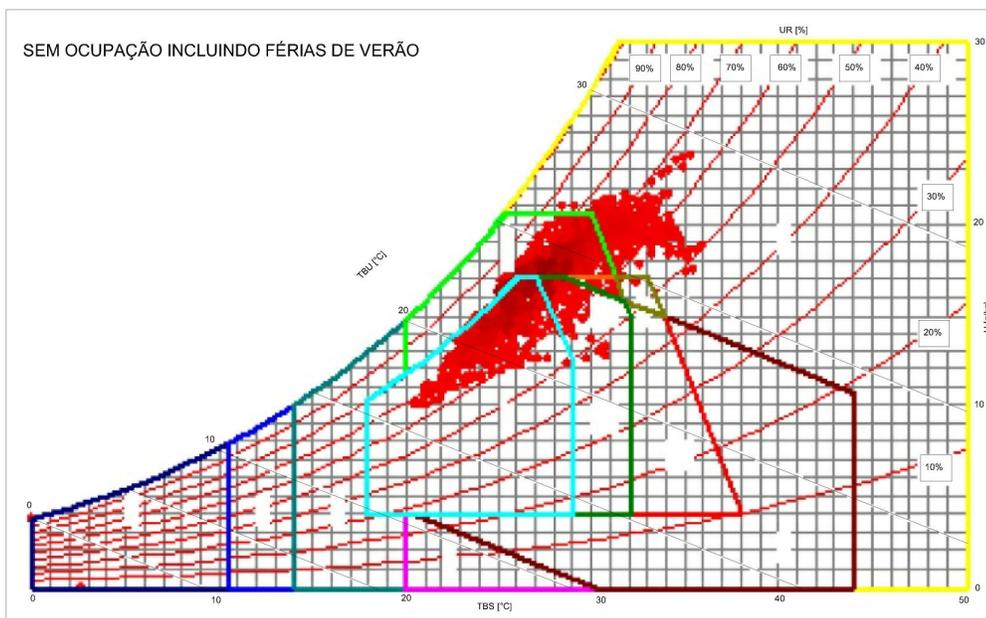


Figura apa 5: diagrama bioclimático para os dados internos do período de verão e para a sala sem ocupação

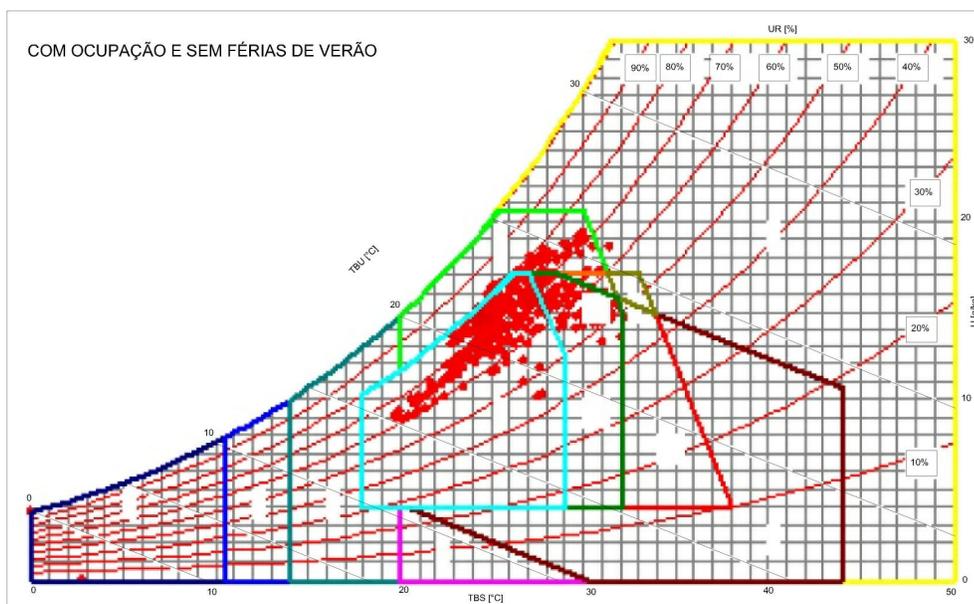


Figura apa 6: diagrama bioclimático para os dados internos do período de verão e para a sala com ocupação

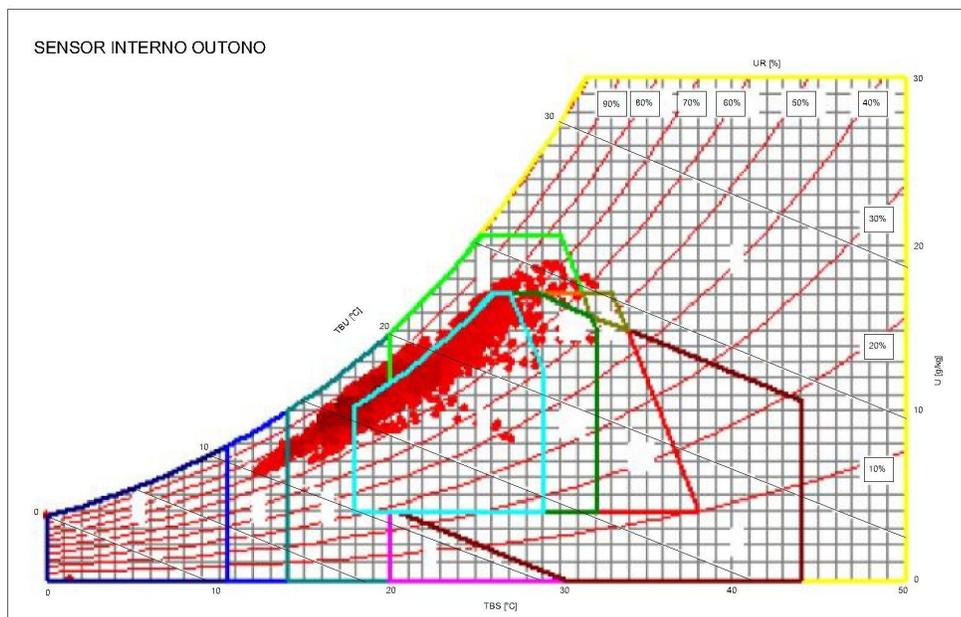


Figura apa 7: diagrama bioclimático para os dados internos do período de outono

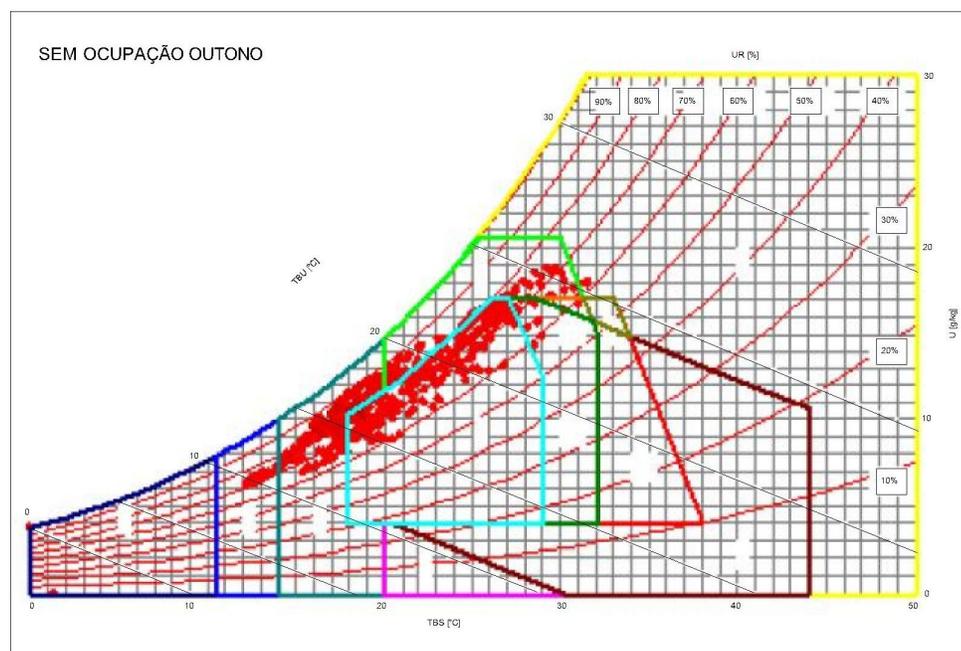


Figura apa 8: diagrama bioclimático para os dados internos do período de outono e para a sala sem ocupação

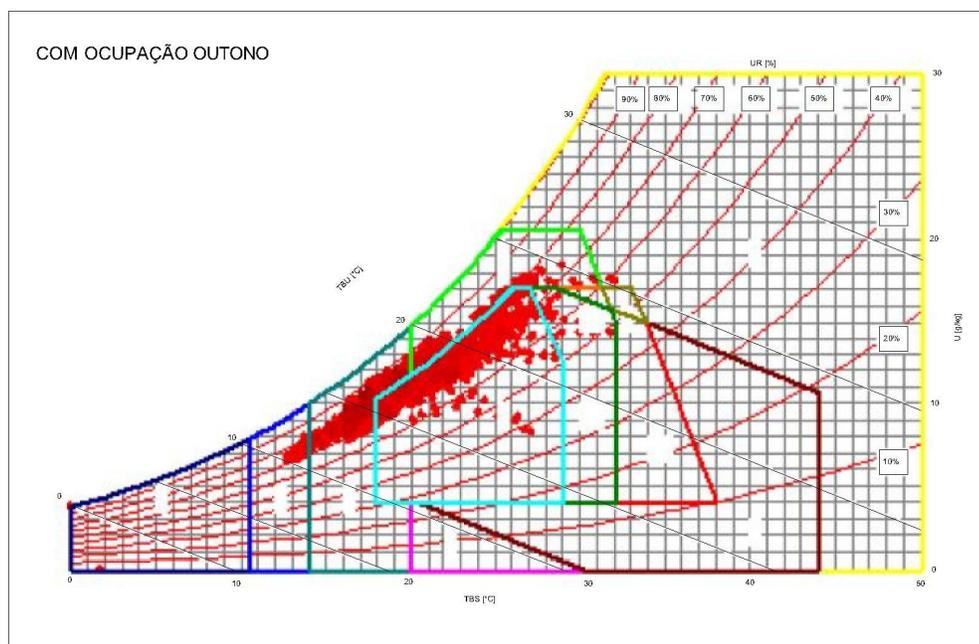


Figura apa 9: diagrama bioclimático para os dados internos do período de outono e para a sala com ocupação