

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ANÁLISE DE SOLUÇÕES PARA CONFORTO E SALUBRIDADE
TÉRMICA EM PRÉDIO DA CRECHE CENTRAL DA USP

Alberto Takashi Sasaki

São Paulo
2005

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ANÁLISE DE SOLUÇÕES PARA CONFORTO E SALUBRIDADE
TÉRMICA EM PRÉDIO DA CRECHE CENTRAL DA USP

Trabalho de formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
obtenção do título de Graduação em Engenharia

Alberto Takashi Sasaki

Orientador: Professor Dr. Antonio

Luís de Campos Mariani

Área de Concentração:

Engenharia Mecânica

São Paulo

2005

TF-05
Sa78a

DEDALUS - Acervo - EPMN



31600011112

FICHA CATALOGRÁFICA

Sasaki, Alberto Takashi

**Análise de soluções para conforto e salubridade térmica em
prédio da creche central da USP / A.T. Sasaki. -- São Paulo,
2005.**

p.

**Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.**

**1.Conforto térmico das construções 2.Conforto ambiental
3.Carga térmica I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia Mecânica II.t.**

AGRADECIMENTOS

Gostaria de deixar registrado meu sincero agradecimento a todas as pessoas e instituições nomeadas abaixo, que de alguma maneira contribuíram para a efetivação deste trabalho:

Ao professor Doutor **Antonio Luís de Campos Mariani**, do departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, pela maneira com que me orientou para a realização deste trabalho de formatura;

À **Creche Central e Pré-Escola da USP**, na pessoa de sua diretora **Martha Musa Magaldi**, de todos os colaboradores e educadores, pela confiança e apoio demonstrado em minhas atividades para o desenvolvimento deste trabalho;

Ao **Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**, pelo auxílio e fornecimento de meios para a elaboração deste trabalho.

Aos engenheiros **Adalberto Travassos da Rosa**, **Bruno de Carmo Coelho**, **Luis Antonio Colombo**, **Marco Antonio Galacio Pedroso** e **Raul Vasquez Peralta**, pelo apoio e confiança demonstrado em minhas atividades para a elaboração deste trabalho.

RESUMO

Nos dias atuais já é comprovada a necessidade do conforto térmico para o bom desempenho das atividades físicas e intelectuais das pessoas que estão em um ambiente, além da necessidade atual de conservação de energia.

A normalização existente é baseada em estudos feitos nos quais relacionam a teoria de balanço térmico entre o homem e o ambiente. Estes estudos mostram que o conforto térmico é função de variáveis associadas ao corpo humano tais como o metabolismo e a vestimenta e também variáveis ambientais como temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade relativa do ar.

Assim sendo, este trabalho objetivou a análise de soluções para o problema de desconforto térmico encontrado na Creche Central e Pré-Escola da USP, determinando e analisando os pontos críticos de desconforto ali encontrados e propondo soluções viáveis para este problema.

Na primeira parte do trabalho foi feita uma breve pesquisa procurando fundamentos teóricos para a possível avaliação do problema e a determinação de suas causas.

Em paralelo à pesquisa, foi feita uma caracterização construtiva da creche juntamente com a elaboração de um questionário voltado aos seus colaboradores, para a determinação dos pontos críticos da creche que serão estudados.

Através do modelo utilizado pela ASHRAE foram verificadas, em determinadas condições, as temperaturas internas dos ambientes selecionados para posteriormente serem elaboradas e avaliadas propostas de melhoria das condições ali encontradas.

ABSTRACT

It is currently known that thermal comfort is necessary for the proper development of physical and mental activities of people that happen to be in a given environment, as well as energy efficient use which has become a paramount issue at current energy price.

Current standards are based in previously accomplished research which relates thermal balance theory between human beings and the environment where they live in.

Such research has disclosed that thermal comfort as a function of several human parameters as metabolism and the clothing that they wear on, and others which are environment-related such as air temperature, average radiant temperature, air velocity and air relative humidity.

Therefore, this work is aimed at the assessment of the solutions proposed to the problem arising from the thermal discomfort found at the "Creche Central e Pré-Escola da USP", thus it brings into focus and ascertains the critical aspects of such discomfort and posits feasible solutions to this problem.

The first part of this work comprises a brief research on the theoretical basis for the solution of this problem and the assessment of its origin.

At the same time it was undertaken an in situ data collection regarding the layout and building characteristics of the day care center and a set of questions that were issued to those working at this center, so as to find out the critical aspects which were brought into the scope of this work.

The model used by ASHRAE was instrumental for the verification of, which were under certain conditions, the internal temperatures of the chosen environments; which on their turn served as the groundwork for the drafting and assessment of the proposals for the improvement of the conditions found therein.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	4
2. OBJETIVOS.....	7
2.1 Objetivo Principal	7
2.2 Objetivos específicos.....	7
3. METODOLOGIA	8
4. ESTUDO DA EDIFICAÇÃO	9
4.1 Descrição geral da edificação	9
4.2 Caracterização dos ambientes.....	10
4.3 Seleção dos ambientes para estudo	13
4.4 Caracterização dos ambientes.....	15
4.5 Determinação de temperaturas críticas.....	15
4.5.1 Cálculo de carga térmica para iluminação	15
4.5.2 Carga térmica devido aos equipamentos	17
4.5.3 Carga térmica devido às pessoas.....	19
4.5.4 Carga térmica devida às paredes internas.....	21
4.5.5 Carga térmica devida às paredes externas	21
4.5.6 Carga térmica devida às coberturas	25
4.5.7 Carga térmica devida aos vidros.....	26
4.6 Balanço térmico para cada ambiente.....	29
4.7 Medições ambientais	31
5. PROPOSTAS E SOLUÇÕES.....	33
5.1 Identificação e detalhamento das principais causas.....	33
5.2 Análise das propostas	37
5.2.1 Utilização de lã de rocha.....	39
5.2.2 Utilização de lã de vidro	40
5.2.3 Utilização de poliestireno expandido.....	42
5.2.4 Utilização do Poliuretano	44
5.3 Simulação do uso das propostas.....	46
5.3.1 Temperaturas internas utilizando lã de rocha.....	46

5.3.2 Temperaturas internas utilizando lã de vidro	47
5.3.3 Temperaturas internas utilizando poliestireno expandido	49
5.3.4 Temperaturas internas utilizando poliuretano.....	50
5.3.4 Comparação entre isolantes	52
6. CONCLUSÕES.....	55
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
8. ANEXO.....	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Carta bioclimatológica com as estratégias indicadas para São Paulo.	5
Figura 4. 1 Ambientes estudados.	9
Figura 4. 2 Vista aérea da creche.	10
Figura 4. 3 Áreas externas.	10
Figura 4. 4 Porta de alumínio do ambiente do salão.	11
Figura 4. 5 Janelas dos salões do módulo 2 e 3.	12
Figura 4. 6 Janelas das salas 1, 2, 3 e 4.	12
Figura 4. 7 Resultado do questionário para o verão.	14
Figura 4. 8 Resultado do questionário para o inverno.	14
Figura 4. 9 Gráfico da carga térmica devido à radiação.	16
Figura 4. 10 Temperaturas de equilíbrio para o verão.	30
Figura 4. 11 Temperaturas de equilíbrio para o inverno.	30
Figura 5. 1 Variação da temperatura no ambiente 1 por variação de U.	33
Figura 5. 2 Variação da temperatura no ambiente 2 por variação de U.	34
Figura 5. 3 Variação da temperatura no ambiente 3 por variação de U.	34
Figura 5. 4 Variação da temperatura no ambiente 4 por variação de U.	35
Figura 5. 5 Variação da temperatura no ambiente 5 por variação de U.	35
Figura 5. 6 Variação da temperatura no ambiente 6 por variação de U.	36
Figura 5. 7 Formas da lã de rocha.	39
Figura 5. 8 Utilização da lã de vidro na construção civil.	40
Figura 5. 9 Lã de vidro em rolo e painéis.	41
Figura 5. 10 Comportamento da lã de vidro ao fogo.	41
Figura 5. 11 Temperaturas no verão com a utilização de lã de rocha.	46
Figura 5. 12 Temperaturas no inverno com a utilização de lã de rocha.	47
Figura 5. 13 Temperaturas no verão com a utilização de lã de vidro.	48
Figura 5. 14 Temperaturas no inverno com a utilização de lã de vidro.	48
Figura 5. 15 Temperaturas no verão com a utilização de poliestireno.	49
Figura 5. 16 Temperaturas no inverno com a utilização de poliestireno.	50
Figura 5. 17 Temperaturas no verão com a utilização de poliuretano.	51
Figura 5. 18 Temperaturas no inverno com a utilização de poliestireno.	51
Figura 5. 19 Comparação de materiais isolantes no verão.	53
Figura 5. 20 Comparação de materiais isolantes no inverno.	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Tabela 4. 1 Características construtivas dos ambientes.	11
Tabela 4. 2 Tabela de áreas dada em metros quadrados.	15
Tabela 4. 3 CLF para os horários analisados.	17
Tabela 4. 4 Ganho de calor devido à iluminação.	17
Tabela 4. 5 CLF para os equipamentos.	18
Tabela 4. 6 Ganho de calor devido aos equipamentos.	19
Tabela 4. 7 CLF para os ocupantes.	20
Tabela 4. 8 Parcela de carga para ocupantes.	20
Tabela 4. 9 Áreas e CLTD para o ambiente 1.	24
Tabela 4. 10 Áreas e CLTD para o ambiente 2.	24
Tabela 4. 11 Áreas e CLTD para o ambiente 3.	24
Tabela 4. 12 Áreas e CLTD para o ambiente 4.	24
Tabela 4. 13 Áreas e CLTD para o ambiente 5.	24
Tabela 4. 14 Áreas e CLTD para o ambiente 6.	25
Tabela 4. 15 Valores do fator de sombreamento FAS.	25
Tabela 4. 16 CLTD corrigido para sombra.	25
Tabela 4. 17 CLTD para o teto.	26
Tabela 4. 18 CLTD para os vidros.	27
Tabela 4. 19 Dados para o cálculo da radiação solar.	28
Tabela 4. 20 SHGF para vidros.	28
Tabela 4. 21 CLF para as janelas.	28
Tabela 4. 22 Transferência de calor devido à radiação solar.	28
Tabela 4. 23 Temperaturas de equilíbrio para o verão e para o inverno.	29
Tabela 4. 24 Temperaturas de equilíbrio para o verão e para o inverno.	29
Tabela 4. 25 Medições Ambientais externas.	31
Tabela 4. 26 Medições Ambientais internas no mês de julho.	31
Tabela 4. 27 Medições Ambientais internas no mês de outubro.	32
Tabela 4. 28 Medições Ambientais internas no mês de novembro.	32
Tabela 5. 1 Delta U da parede para cada ambiente.	36
Tabela 5. 2 Delta U do teto para cada ambiente.	36
Tabela 5. 3 Delta U das janelas para cada ambiente.	37
Tabela 5. 4 Características da lâ de rocha.	39
Tabela 5. 5 Características da lâ de vidro.	40
Tabela 5. 6 Propriedades do poliestireno expandido.	43
Tabela 5. 7 Comportamento do EPS com outros materiais.	43
Tabela 5. 8 Diferença entre temperaturas com e sem isolamento.	52
Tabela 5. 9 Áreas internas totais para cada ambiente.	53

1. INTRODUÇÃO

O conforto térmico é definido segundo a ASHRAE como “a condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico”.

Os estudos de conforto térmico só receberam a devida atenção após a Revolução Industrial. Com o impulso da industrialização ocorrido no início do século XX, começou a ter importância a visão de melhores condições ambientais para o desenvolvimento de atividades em ambientes de trabalho, tendo em vista principalmente a manutenção da saúde e da produtividade do trabalhador.

Hoje é possível verificar através de estudos já realizados, que a importância do conforto térmico está baseado em, principalmente, três fatores: a satisfação do homem e seu bem estar, o desempenho humano e a conservação de energia.

No Brasil, a falta de bancos de dados nacionais ao se tratar das condições de conforto térmico, especificamente das condições com relação aos estudantes no desempenho de suas atividades escolares, faz com sejam utilizados, quando necessário, parâmetros e limites estipulados em outros países de condições climáticas um tanto diferente das nossas.

Este trabalho procura analisar as condições ambientais da Creche e Pré-Escola Central COSEAS da USP, Unidade Educacional subordinada à Coordenadoria de Serviços e Assistência Social da Universidade de São Paulo que possui estreitas relações com a comunidade. A história da Creche-Pré-Escola Central iniciou-se a partir da necessidade de um espaço para os filhos de um grupo de funcionários da Reitoria que encaminhou um pedido formal ao Reitor, solicitando “um espaço para deixar seus filhos, durante a jornada de trabalho”. Esse pedido não foi atendido, mas despertou, principalmente entre as mulheres, a busca por uma creche. Em 1975, uma famosa e histórica passeata de bebês, em frente ao prédio da Reitoria, organizada por um grupo de mães da comunidade, levou a formação de um grupo para a implantação do primeiro espaço para crianças pequenas do campus

chamada Creche/Pré-Escola Central, inaugurada em 1982, anos depois da primeira reivindicação.

A creche é constituída por três módulos semelhantes e interligados por um corredor central onde se encontram as áreas administrativas da creche. O módulo 1, o mais antigo, possui duas salas que comportam crianças de zero a três anos de idade, um banheiro, fraudário e um salão. O módulo 2 e 3 são gêmeos e possuem quatro salas, ocupadas por cerca de vinte crianças em cada uma, dois banheiros e um salão.

Inicialmente é necessário conhecer a região que será estudada, no caso a cidade de São Paulo. Apesar de se ter uma visão geral sobre o clima brasileiro, cada região possui características distintas tanto geográficas quanto climáticas.

Pode-se observar a carta bioclimática da cidade de São Paulo apresentada por Lamberts (1997) e as estratégias para a melhoria no conforto térmico propostas pelo autor. Estas estratégias são divididas em nove zonas agrupadas na carta psicrométrica:

- 1 Zona de conforto
- 2 Zona de ventilação
- 3 Resfriamento Evaporativo
- 4 Massa térmica para resfriamento
- 5 Ar condicionado
- 6 Umidificação
- 7 Massa térmica e aquecimento solar
- 8 Aquecimento solar passivo
- 9 Aquecimento artificial
- 10 Interseções entre estratégias

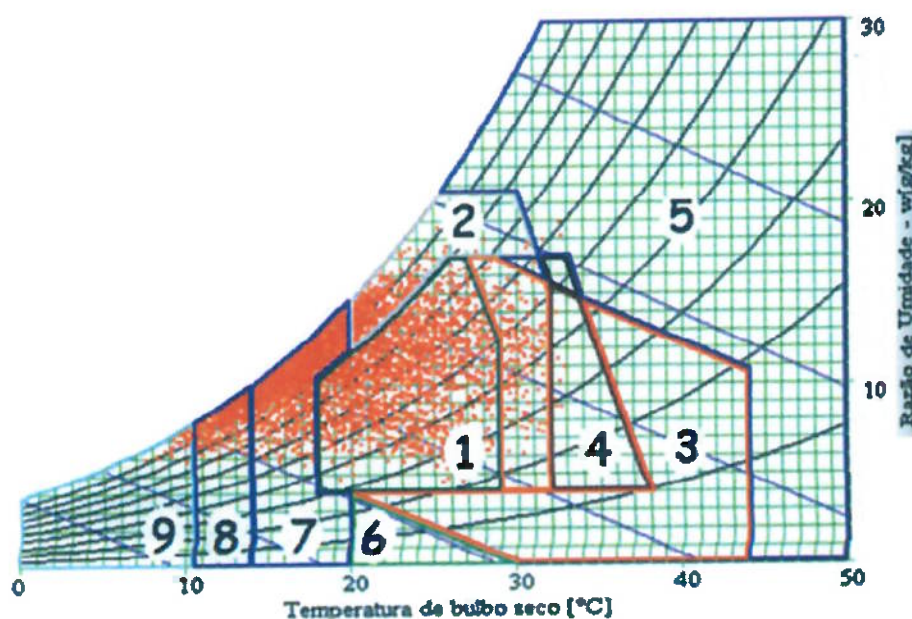


Figura 1.1 Carta bioclimatológica com as estratégias indicadas para São Paulo.

Nesta carta bioclimática é possível observar que há uma grande concentração de pontos na região de aquecimento, principalmente na zona de massa térmica. A análise feita pelo livro indica que 27,1 % das horas do ano são confortáveis e 72,8% são desconfortáveis por frio (59,3%) ou calor (13,4%), sendo as estratégias mais indicadas as seguintes:

1. Massa térmica com aquecimento solar (48,1%);
2. Ventilação (10,8%);
3. Aquecimento solar passivo (10,4%).

Visto o aumento do interesse nos últimos anos por parte dos pesquisadores em trabalhos sobre o conforto térmico, existem hoje diversos guias de referências e normas específicas para cada tema de estudo.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Principal

Este trabalho visa avaliar as condições de conforto e salubridade térmica de determinados ambientes do prédio da creche central da USP, propondo soluções viáveis que tornem os ambientes salubres e mais confortáveis.

2.2 Objetivos específicos

- Determinação de ambientes críticos de desconforto térmico que serão analisados, através dos resultados obtidos pelo questionário feito para avaliação das sensações térmicas dos colaboradores da creche, e da avaliação de temperaturas críticas dos ambientes;
- Seleção de alguns ambientes para a aplicação da metodologia adotada neste trabalho e proposição de soluções que auxiliam a melhorar as condições de conforto e salubridade térmica;
- Análise dos ambientes selecionados através da caracterização construtiva destes ambientes e o levantamento de dados por meio de medições ambientais.
- Proposição e detalhamento de uma solução para o problema, através da análise e de um estudo de viabilidade das alternativas a serem propostas.

3. METODOLOGIA

Para a análise dos problemas que se encontram na creche foi utilizada a mesma metodologia proposta por BOLLIGER JR e MARIANI, e pela ASHRAE (1981 e 2001) para a elaboração dos cálculos necessários.

Para que seja possível atingir os objetivos propostos neste trabalho, é necessário o levantamento de dados de campo, onde o mesmo foi dividido em três etapas: questionário, medições ambientais e caracterização dos ambientes.

Buscou-se a verificação da sensação térmica real dos colaboradores da creche em seus ambientes de trabalho, por este motivo foi aplicado aos colaboradores um questionário elaborado através de um modelo proposto pela ISO 9920/95.

Para a medição da temperatura do ar (a temperatura de bulbo seco TBS) foi utilizado um termômetro digital portátil no qual o princípio de medição de temperatura se baseia na variação do valor da resistência elétrica de um condutor metálico em função da temperatura.

A caracterização dos ambientes estudados foi realizada juntamente com o questionário, através de medições locais e informações dadas pelos colaboradores da creche.

O equacionamento e o cálculo das cargas térmicas seguem o modelo que utiliza o CLTD (Cooling Load Temperature Difference), o CLF (Cooling Load Factor) e também o fator SHGF (Solar Heat Gain Factor).

O estudo analisará situações críticas de verão e de inverno em meses e horários pré-estabelecidos para cada situação. Os meses de Julho e de Dezembro foram escolhidos para o verão e inverno respectivamente. Os horários analisados para o caso de verão foram 09:00, 13:00 e 16:00, já para o caso de inverno foram 7:00 e 18:00.

4. ESTUDO DA EDIFICAÇÃO

4.1 Descrição geral da edificação

Para simplificação do modelo e pelo fato das salas dos módulos serem semelhantes, alterando apenas sua orientação solar, o módulo 2 foi dividido como ambientes 1, 2 e 3 e módulo 3 nos ambientes 4, 5 e 6 representados pela figura 4.1, esses ambientes foram delimitados.

Além dessas considerações foi estimado que os ambientes adjacentes aos módulos estudados estão à temperatura constante e equivalente $t_{\text{ext Max}} - 4^{\circ}\text{C}$ (MANUAL TRaine-AIR).

O módulo 1 não foi considerado para o modelo por limitação do escopo e por apresentar características parecidas com os ambientes estudados.

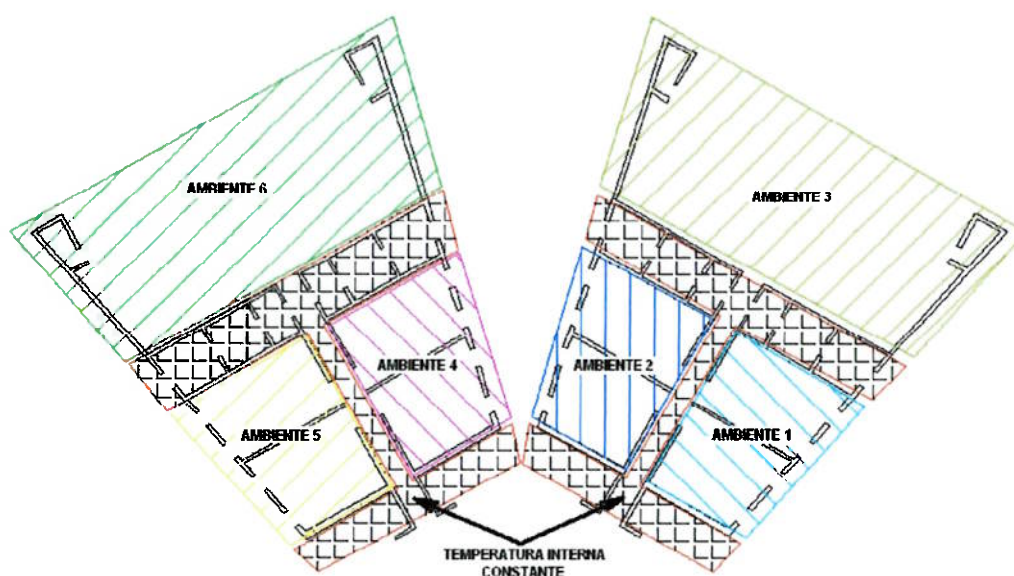


Figura 4. 1 Ambientes estudados.

A figura 4.2 obtida pelo programa “Google Earth” é uma vista aérea da creche da USP e mostra a sua orientação geográfica, o programa fornece também suas coordenadas.

Latitude: 23°33' Sul;

Longitude: 46°42' Oeste;

Altitude: 730 m.



Figura 4.2 Vista aérea da creche.

4.2 Caracterização dos ambientes

Os módulos 2 e 3 são idênticos entre si e situam-se simetricamente um de cada lado do módulo 1 e eles foram construídos mais recentemente em relação ao módulo 1 conforme pode ser visto na Fig. 4.2.. É possível observar que as alas são separadas por duas áreas externas abertas ao ambiente, onde não há passagem de pessoas (Figura 4.3) e que servem de ligação de algumas salas com o meio externo.



Figura 4.3 Áreas externas.



Figura 4. 3 Áreas externas.

As características construtivas e de ocupação dos ambientes dos módulos 2 e 3 estão descritas na tabela 4.1 abaixo.

Tabela 4. 1 Características construtivas dos ambientes.

	AREA [m ²]	ALTURA [m]	PORTAS [m]	JANELAS [cm]	EQUIPAMENTOS	ILUMINAÇÃO	PESSOAS
SALÃO	102	2,6	3 portas de alumínio 1,2 x 2,1	12 janelas 61 x 41	3 ventiladores	24 conjuntos lâmpadas + reator	88 crianças 4 educadores
SALA 1	22,2	2,6	madeira 1,2 x 2,1	2 com venezianas 100 x 180	1 ventilador	19 conjuntos lâmpadas + reator	22 crianças 1 educador
SALA 2	22,5	2,6	madeira 1,2 x 2,1	2 com venezianas 100 x 180	1 ventilador	19 conjuntos lâmpadas + reator	22 crianças 1 educador
SALA 3	24	2,6	madeira 1,2 x 2,1	2 com venezianas 100 x 180	1 ventilador	19 conjuntos lâmpadas + reator	22 crianças 1 educador
SALA 4	24	2,6	madeira 1,2 x 2,1	2 com venezianas 100 x 180	1 ventilador	19 conjuntos lâmpadas + reator	22 crianças 1 educador

As portas e as janelas de alumínio dos pátios dos módulos 2 e 3 estão representadas nas figuras 4.4 e 4.5 respectivamente.



Figura 4. 4 Porta de alumínio do ambiente do salão.



Figura 4.5 . Janelas dos salões do módulo 2 e 3.

As janelas das salas 1, 2, 3 e 4 estão representadas pela figura 4.6 abaixo.



Figura 4.6 Janelas das salas 1, 2, 3 e 4.

4.3 Seleção dos ambientes para estudo

É conhecido que a creche central da USP possui problemas com relação às condições de conforto térmico, por este motivo houve a necessidade de determinar quais eram os pontos de maior gravidade possibilitando a seleção de alguns ambientes de modo a estar compatível com a abrangência e a disponibilidade de tempo deste trabalho.

Para a determinação dos ambientes que foram selecionados para estudo foi realizada uma pesquisa entre os educadores da Creche através de um questionário, de modo a verificar suas sensações térmicas em seus ambientes de trabalho.

Este questionário foi elaborado através de um modelo proposto pela ISO 9920/25. Através dele foi possível verificar em quais ambientes da creche são encontrados as piores sensações térmicas, ajudando assim a determinar quais são os pontos críticos a serem estudados.

Após o recolhimento dos questionários, foi feita uma filtragem, para auxiliar a seleção dos ambientes em que haviam sensações muito desconfortáveis, tanto para a condição de verão como para a condição de inverno. Feito isso, foram selecionados os ambientes em que a pessoa, que respondeu o questionário, costuma trabalhar.

Os gráficos da Figura 4.7 e 4.8 mostram a distribuição dos resultados tanto para o verão quanto para o inverno.

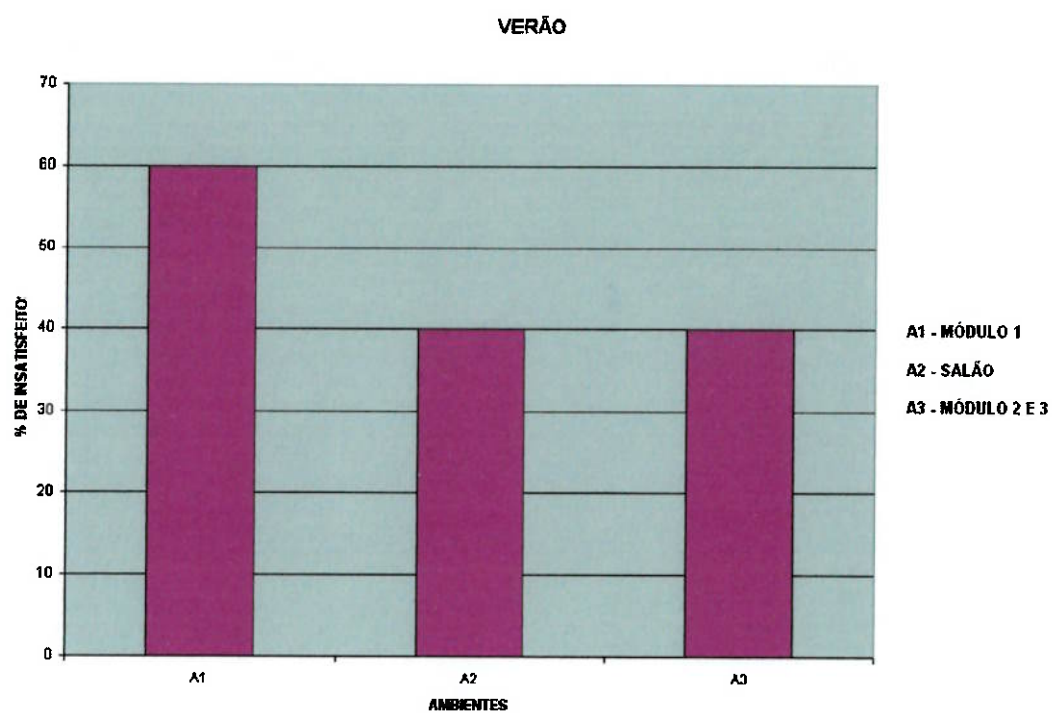


Figura 4. 7 Resultado do questionário para o verão.

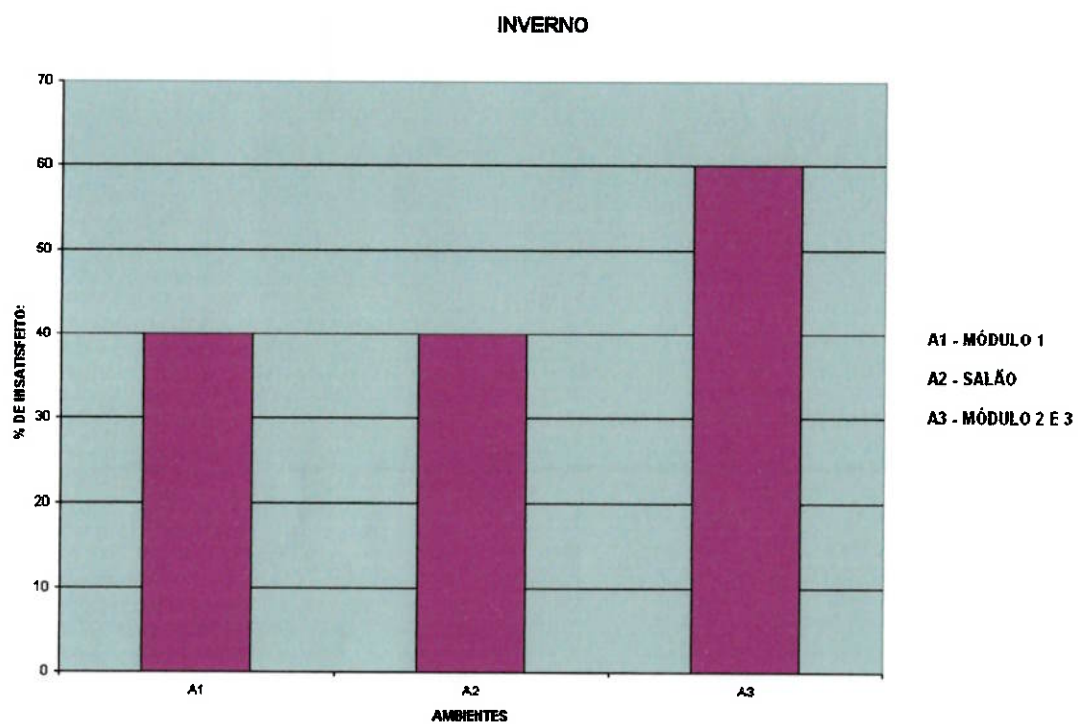


Figura 4. 8 Resultado do questionário para o inverno.

4.4 Caracterização dos ambientes

Para o cálculo da carga térmica é necessário conhecer a área das faces do ambiente estudado, separando essas áreas pelo material constituinte de cada face e pela orientação solar das faces externas como visto na tabela 4.2 a seguir.

Tabela 4. 2 Tabela de áreas dada em metros quadrados.

AMBIENTE	TETOS	PAREDES INTERNAS	PAREDES EXTERNAS (NE)	PAREDES EXTERNAS (SO)	PAREDES EXTERNAS (SE)	PAREDES EXTERNAS (NO)
1	46,75	50,7	0	0	22,1	0
2	46,75	50,7	0	0	0	22,1
3	96	41,6	0	0	15,6	15,6
4	46,75	50,7	22,1	0	0	0
5	46,75	50,7	0	22,1	0	0
6	96	41,6	15,6	15,6	0	0

Tabela 4.2. Continuação.

AMBIENTE	VIDROS (NE)	VIDROS (SO)	VIDROS (SE)	VIDROS (NO)	PORTAS DE ALUMÍNIO (NO)
1	0	0	7,2	0	0
2	0	0	0	7,2	0
3	20,8	0	0	0	20,8
4	7,2	0	0	0	0
5	0	7,2	0	0	0
6	0	0	0	20,8	20,8

4.5 Determinação de temperaturas críticas

A carga térmica representa o fluxo positivo ou negativo de calor, relacionado a um certo horário, para um determinado ambiente. Este conceito é convencionado por fontes externas de energia e fontes internas de energia.

No caso da creche, as fontes externas são as transmissões por radiação, convecção e condução através das paredes internas e externas, tetos e vidros. As fontes internas de carga térmica são devido à iluminação artificial e os ventiladores de teto instalados.

4.5.1 Cálculo de carga térmica para iluminação

A iluminação artificial da creche é feita por lâmpadas fluorescentes tubulares, estas lâmpadas emitem luz pela passagem da corrente elétrica através de um gás. Esta descarga emite quase que totalmente radiação ultravioleta (invisível ao olho

humano) que, por sua vez, será convertida em luz pelo pó fluorescente que reveste a superfície interna do bulbo.

Para o acionamento destas lâmpadas é necessário o uso de reatores eletrônicos.

O conjunto lâmpada + reator utilizado na creche consome 40 W (dado fornecido pela OSRAM) e o ganho de calor proveniente deste conjunto para cada ambiente denominado por H_{LUX} é calculado através do produto entre a potência consumida pelo conjunto, o número de lâmpadas instaladas no ambiente e pelo fator CLF (cooling load factor).

Conforme BOLLIGER JR e MARIANI (2002) o fator CLF como sendo:

$$CLF = \frac{\text{FLUXO DE ENTRADA DE CALOR}}{\text{FLUXO MÁXIMO DE ENTRADA DE ENERGIA}}$$

Este fator deve ser utilizado, pois uma parcela do fluxo de entrada de energia correspondente à radiação se armazena na estrutura, móveis e pessoas que possuem a temperatura interna menor que a do ambiente. Esta parcela é transferida para o interior do recinto em hora posterior após a temperatura interna ultrapassar a do ambiente (Figura 4.9).

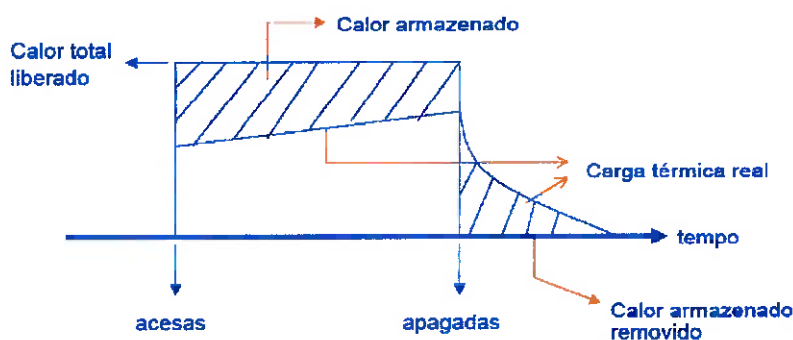


Figura 4. 9 Gráfico da carga térmica devido à radiação.

O valor de CLF pode ser obtido nas tabelas 17A a 17E do manual “Fundamentals” da ASHRAE. Cada tabela é função do número de horas de operação da fonte de emissão de energia.

Para a obtenção do valor de CLF nas tabelas da ASHRAE, deve ser considerado os fatores “a” e “b” correspondentes respectivamente pelo mobiliário e estrutura do ambiente estudado. Utilizando a Tabela 15 e a Tabela 16 da ASHRAE obtiveram-se esses valores:

$a = 0,55$ (mobiliário comum, sem carpete e taxa de ventilação média);

$b = B$ (parede de 76,2 mm, piso de concreto e taxa de ventilação média).

Tempo de iluminação: 8 horas (caso extremo em que as luzes ficam ligadas das 7:00 às 18:00).

Através da Tabela 17B foi possível chegar ao valor de CLF para os horários críticos 09:00, 13:00 e 16:00 para o verão e 07:00 e 18:00 para o inverno. Esses dados estão representados na Tabela 4.3 abaixo.

Tabela 4. 3 CLF para os horários analisados.

AMBIENTE	NÚMERO DE LÂMPADAS	POTÊNCIA CONSUMIDA (W)	CLF				
			9:00	13:00	16:00	7:00	18:00
1	21	40	0.64	0.76	0.28	0.06	0.23
2	21	40	0.64	0.76	0.28	0.06	0.23
3	24	40	0.64	0.76	0.28	0.06	0.23
4	21	40	0.64	0.76	0.28	0.06	0.23
5	21	40	0.64	0.76	0.28	0.06	0.23
6	24	40	0.64	0.76	0.28	0.06	0.23

Os valores dos ganhos de calor devido às lâmpadas (H_{LUX}) estão descritos na tabela 4.4 por horário do dia.

Tabela 4. 4 Ganho de calor devido à iluminação.

AMBIENTE	$H_{LUX} [W]$				
	09:00	13:00	16:00	07:00	18:00
1	537,6	638,4	235,2	50,4	193,2
2	537,6	638,4	235,2	50,4	193,2
3	614,4	729,6	268,8	57,6	220,8
4	537,6	638,4	235,2	50,4	193,2
5	537,6	638,4	235,2	50,4	193,2
6	614,4	729,6	268,8	57,6	220,8

4.5.2 Carga térmica devido aos equipamentos

Na Creche estudada, os ventiladores de teto são os únicos equipamentos considerados para este cálculo de carga térmica. Desse modo, conforme BOLLIGER JR e MARIANI (2002), a determinação da carga devido aos ventiladores de teto instalados em cada ambiente é feita através das expressões:

$$H_{VENT} = N * P_N * FD * CLF$$

Onde:

- H_{VENT} é o ganho de calor proveniente dos ventiladores;
- N é o número de ventiladores instalados;

- P_N é a potência nominal do motor;
- FD é o fator de dissipação;
- CLF é a parcela de energia radiante emitida pelo equipamento e armazenada nas estruturas.

O valor de CLF, representado pela tabela 4.5, é determinado através da Tabela 23 no Capítulo 26 da ASHRAE analogamente ao no item anterior para iluminação, sendo que os ventiladores operam em média 4 horas por dia no verão e não operam durante o inverno.

Tabela 4. 5 CLF para os equipamentos.

AMBIENTE	NÚMERO DE EQUIP.	POTÊNCIA CONSUMIDA (W)	CLF				
			9:00	13:00	16:00	7:00	18:00
1	2	110	0.65	0.18	0.1	0	0
2	2	110	0.65	0.18	0.1	0	0
3	3	60	0.65	0.18	0.1	0	0
4	2	110	0.65	0.18	0.1	0	0
5	2	110	0.65	0.18	0.1	0	0
6	3	60	0.65	0.18	0.1	0	0

O fator de dissipação (FD) para os ventiladores pode ser conseguido pela expressão geral:

$$FD = FS * FC * \left[FEC + \left(\frac{1}{\eta_{MOT}} - 1 \right) \right] \quad (1)$$

Onde:

- FS é o fator de simultaneidade de operação;
- FC é o fator de carga;
- FEC é chamado de fator de energia cinética;
- η_{mot} é o rendimento do motor.

No caso estudado, toda a energia é dissipada na forma de calor dentro do ambiente em três formas:

- Calor dissipado pelo motor;
- Calor dissipado pelo atrito mecânico de movimento do vento;
- Calor dissipado pelo atrito viscoso do movimento do ar;

Dessa forma podemos considerar:

- $FEC = 1$, ou seja, é admitido que toda energia mecânica fornecida pelo motor é convertida em energia cinética na máquina (pás do ventilador);

- $FS = 1$, pois todos os ventiladores operam simultaneamente;

Portanto:

$$FD = 1$$

Desse modo os valores independe do horário, tanto no verão quanto no inverno.

Os valores dos ganhos de calor devido aos ventiladores estão representados na tabela 4.6 em função da hora do dia.

Tabela 4. 6 Ganho de calor devido aos equipamentos.

AMBIENTE	H vent [w]				
	9:00	13:00	16:00	7:00	18:00
1	143	39.6	22	0	0
2	143	39.6	22	0	0
3	117	32.4	18	0	0
4	143	39.6	22	0	0
5	143	39.6	22	0	0
6	117	32.4	18	0	0

4.5.3 Carga térmica devido às pessoas

Os cálculos de carga térmica para pessoas foram realizados utilizando dados extraídos da ASHRE – Fundamentals 1981, tabela 18. Foi adotado que os ocupantes realizam trabalhos leves sentados (atividade de escritório), e neste caso obtém-se que o calor total emitido é $HT/(\text{adulto masculino}) = 150 \text{ W}$ por pessoa, supondo que o ambiente está a $25,5^\circ\text{C}$.

Como no ambiente estudado existem apenas ocupantes crianças e adultos do sexo feminino, os valores da carga total são diferentes, sendo 85% do $HT/(\text{adulto masculino})$ para as mulheres e 75% para as crianças. Desse modo: $HT/\text{criança} = 112,5$ e $HT/\text{mulher} = 127,5 \text{ W}$.

A carga térmica devido aos ocupantes do ambiente estudado é dividida em duas parcelas, calor sensível e calor latente. Desse modo, inicialmente foi adotada a hipótese de que a parcela HS (calor sensível) e HL (calor latente) que possuem o mesmo valor são de $56,25 \text{ W}$ para as crianças e $63,75 \text{ W}$ para as mulheres.

Para o cálculo das parcelas totais de calor latente (HL) e calor sensível (HS) foram utilizadas equações fornecidas por BOLLIGER JR e MARIANI (2002) conforme segue:

$$HL = n \cdot (HL/\text{pessoa})$$

$$HS = n \cdot (HS/\text{pessoa})$$

Onde n é o número de ocupantes.

Assim como para os itens anteriores, o CLF é determinado através da Tabela 19 do Capítulo 26 da ASHRAE e este depende da permanência dos ocupantes nos ambientes e do número de horas após o início da ocupação.

A tabela 4.7 mostra os valores do CLF para cada ambiente em função dos horários analisados.

Tabela 4. 7 CLF para os ocupantes.

AMBIENTE	PERMANÊNCIA [HORAS]	CLF				
		9:00	13:00	16:00	7:00	18:00
1	4	1	1	1	0	1
2	4	1	1	1	0	1
3	2	1	1	1	0	1
4	4	1	1	1	0	1
5	4	1	1	1	0	1
6	2	1	1	1	0	1

Os valores das cargas devido aos ocupantes dos ambientes estão representados na Tabela 4.8 abaixo.

Tabela 4. 8 Parcela de carga para ocupantes.

NUMERO DE OCUPANTES	H pessoas [W]				
	9:00	13:00	16:00	7:00	18:00
44	2475	2475	2475	0	2475
2	127.5	127.5	127.5	0	127.5
44	2475	2475	2475	0	2475
2	127.5	127.5	127.5	0	127.5
88	4950	4950	4950	0	4950
4	255	255	255	0	255
44	2475	2475	2475	0	2475
2	127.5	127.5	127.5	0	127.5
44	2475	2475	2475	0	2475
2	127.5	127.5	127.5	0	127.5
88	4950	4950	4950	0	4950
4	255	255	255	0	255

Deve-se observar que não foram consideradas constantes as ocupações dos ambientes, para os ambientes 1, 2, 4 e 5, foi considerado que a ocupação ocorre a partir das 7:00. Já nos ambientes 3 e 6, foi considerado que a ocupação ocorre a partir das 12:00.

4.5.4 Carga térmica devida às paredes internas

A transferência de calor por condução e convecção são as principais parcelas no cálculo da carga térmica do ambiente e o equacionamento geral dessa carga depende de diversos fatores conforme proposto pela ASHRAE. Esta transferência de calor foi analisada para a condição de verão (ganho) e para a condição de inverno (perda).

Para que fosse possível determinar a temperatura interna dos ambientes selecionados foi considerado que os banheiros existentes em cada módulo possuem temperaturas constantes e iguais às consideradas pela ASHRAE Fundamentals 1993 para ambientes não condicionados nas condições de verão e inverno:

$$t_{\text{INC verão}} = t_{\text{ext max}} - 2,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\text{INC inver}} = t_{\text{ext min}} + 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Essas considerações foram feitas para que seja possível o equilíbrio entre as perdas e os ganhos incidente sobre o ambiente analisado.

4.5.5 Carga térmica devida às paredes externas

A transferência de calor por condução e convecção são as principais parcelas no cálculo da carga térmica do ambiente e o equacionamento geral dessa carga depende de diversos fatores conforme proposto pela ASHRAE.

Esta transferência de calor foi analisada para a condição de verão (ganho) e para a condição de inverno (perda)

$$G = U * S * [(1 - \text{FAS}) * \text{CLTD}_{\text{CORR}} + \text{FAS} * \text{CLTD}_{\text{sombra CORR}}] \quad (2)$$

Onde:

- S significa a área da superfície;
- FAS é a fração da área de sombra, ou seja, $\text{FAS} = (\text{área de sombra})/(\text{área total correspondente à face em exposição})$;

- 25,5°C e 29,4°C = temperatura de referência para o ambiente e temperatura média externa de referência respectivamente;
- $k = 1$ para paredes escuras, 0,83 para paredes de cor média (área rural) ou 0,65 para paredes de cor clara (área rural).

A perda de calor através das paredes é expressa através da equação:

$$P = U * S * (t_A - t_{EXT}) \quad (5)$$

Para o caso estudado:

No cálculo do coeficiente global de transferência de calor, as paredes são consideradas de tijolo comum com 20 cm de espessura (Grupo B da tabela 6, Cap. 26 da ASHRAE) e revestidas com azulejos cerâmicos (dados fornecidos pelo “Guia de Revestimentos Cerâmicos” – EESC-USP), portanto:

$$r_E = A0 = 0,044 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

$$r_I = E0 = 0,121 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

$$K_{\text{parede}} = 0,727 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$e_{\text{parede}} = 0,20 \text{ m}$$

$$K_{\text{azulejo}} = 1,04 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$e_{\text{azulejo}} = 0,08 \text{ m}$$

$$U = 2,7 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

Para o cálculo do CLTD_{CORR} são admitidas:

$$k = 0,83 \text{ (paredes de cor média);}$$

$$t_{\text{max EXT}} = 32^\circ\text{C (ASHRAE);}$$

$$DR = 8^\circ\text{C (São Paulo);}$$

$$LM = 0 \text{ (desprezando a variação de latitude);}$$

$$FAS = 0 \text{ (considerando que não há paredes em sombra)}$$

As Tabelas 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 e 4.14 mostram as áreas das faces externas e o CLTD para cada horário, tanto para o verão quanto para o inverno e com as correções devido à latitude (tabela 9, Cap. 26 da ASHRAE).

- O $CLTD_{\text{sombra CORR}}$ corresponde ao $CLTD + \Delta CLTD$ face sul a 40° de latitude e no caso estudado não é representativo por estarmos em latitudes baixas;
- $CLTD_{\text{CORR}}$ que corresponde ao $CLTD + \Delta CLTD$;
- U é denominado coeficiente global de transferência e sua determinação pode ser feita pela equação:

$$U = \frac{1}{\left(r_I + r_E + R_{AR} + \sum \frac{e_J}{K_J} \right)} \quad (3)$$

Onde:

- r_E é a resistência de película de superfícies exteriores à edificação;
- r_I é a resistência de película de superfícies interiores à edificação;
- R_{AR} é a resistência correspondente a espaços de ar contidos entre os elementos que compõe a interface;
- e_J é a espessura dos materiais que compõe os elementos construtivos limítrofes do ambiente com locais não condicionados;
- K_J é a condutividade térmica dos materiais em $W/m^\circ C$.

O $CLTD$ (Cooling Load Temperature Difference) significa a diferença de temperatura devida à insolação incidente sobre a parede considerando o efeito de armazenamento pela parede. Este valor é tabelado pela ASHRAE (tabela 7, Capítulo 26) em função da face, material da parede e hora do dia.

Como o $CLTD$ é referido para condições de referência, é necessária uma correção ($\Delta CLTD$) para as nossas condições locais. Este termo é calculado através da equação:

$$\Delta CLTD = CLTD * (k - 1) + LM * k + (25,5 - t_A) + (t_{\text{max EXT}} - 29,4 - 0,5 * DR) \quad (4)$$

Onde:

- LM = correção de latitude e mês (tabela 9 do capítulo 26 da ASHRAE);
- t_A = temperatura do ambiente analisado;
- $t_{\text{max EXT}}$ = temperatura máxima externa;
- DR = Daily Range, é a variação máxima da temperatura externa durante as 24 horas do dia e foi determinada através da tabela 10 capítulo 26 da ASHRAE;

Tabela 4. 9 Áreas e CLTD para o ambiente 1.

ESTAÇÃO	HORÁRIO	FACE	ÁREA	CLTD
VERÃO	09:00	SE	22,1	6,4
	13:00	SE	22,1	8,4
	16:00	SE	22,1	11,4
INVERNO	07:00	SE	22,1	10,6
	18:00	SE	22,1	15,6

Tabela 4. 10 Áreas e CLTD para o ambiente 2.

ESTAÇÃO	HORÁRIO	FACE	ÁREA	CLTD
VERÃO	09:00	NO	22,1	9,1
	13:00	NO	22,1	7,1
	16:00	NO	22,1	8,1
INVERNO	07:00	NO	22,1	4
	18:00	NO	22,1	3

Tabela 4. 11 Áreas e CLTD para o ambiente 3.

ESTAÇÃO	HORÁRIO	FACE	ÁREA	CLTD
VERÃO	09:00	SE	15,6	6,4
		NO	15,6	9,1
	13:00	SE	15,6	8,4
		NO	15,6	7,1
	16:00	SE	15,6	11,4
		NO	15,6	8,1
INVERNO	07:00	SE	15,6	4
		NO	15,6	10,6
	18:00	SE	15,6	9
		NO	15,6	9,6

Tabela 4. 12 Áreas e CLTD para o ambiente 4.

ESTAÇÃO	HORÁRIO	FACE	ÁREA	CLTD
VERÃO	09:00	NE	22,1	8,1
	13:00	NE	22,1	10,1
	16:00	NE	22,1	11,1
INVERNO	07:00	NE	22,1	2
	18:00	NE	22,1	6

Tabela 4. 13 Áreas e CLTD para o ambiente 5.

ESTAÇÃO	HORÁRIO	FACE	ÁREA	CLTD
VERÃO	09:00	SO	22,1	7,4
	13:00	SO	22,1	5,4
	16:00	SO	22,1	7,4
INVERNO	07:00	SO	22,1	12,6
	18:00	SO	22,1	12,6

Tabela 4. 14 Áreas e CLTD para o ambiente 6.

ESTAÇÃO	HORÁRIO	FACE	ÁREA	CLTD
VERÃO	09:00	NE	15,6	8,1
		SO	15,6	7,4
	13:00	NE	15,6	10,1
		SO	15,6	5,4
	16:00	NE	15,6	11,1
		SO	15,6	7,4
INVERNO	07:00	NE	15,6	8,8
		SO	15,6	6
	18:00	NE	15,6	12,6
		SO	15,6	6

Devido a existência de árvores no local, como mostra a foto aérea da creche na Figura 4.2 e pelas características construtivas da creche, as paredes externas possuem um fator de sombreamento (FAS) que é indicado na tabela 4.15 e o CLTDcorr.sombra, mostrado na tabela 4.16 abaixo.

Tabela 4. 15 Valores do fator de sombreamento FAS.

AMBIENTE	F.A.S			
	PAREDES EXTERNAS (NE)	PAREDES EXTERNAS (SO)	PAREDES EXTERNAS (SE)	PAREDES EXTERNAS (NO)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0.5
3	0	0	0	0.5
4	0.5	0	0	0
5	0	0.8	0	0
6	0.5	0.8	0	0

Tabela 4. 16 CLTD corrigido para sombra.

AMBIENTE	CLTDcorr.sombra				
	VERÃO			INVERNO	
	9:00	13:00	16:00	7:00	18:00
1	0	0	0	0	0
2	6	6	6	7	6
3	0	0	0	0	0
	6	6	6	7	6
4	6	6	6	7	6
5	6	6	6	7	6
6	0	0	0	0	0
	6	6	6	7	6

4.5.6 Carga térmica devida às coberturas

Para o cálculo da parcela de calor transferida através das coberturas são utilizados as mesmas equações e conceitos vistos para as paredes, sendo que os valores de CLTD encontram-se na tabela 5 capítulo 26 da ASHRAE.

O coeficiente global de transferência de calor é calculado através das características fornecidas pelo Comitê Brasileiro de Construção Civil.

Onde:

- Cobertura de telha de fibro-cimento com forro de laje mista;
- Espessura da telha: 0,7 cm
- Espessura da laje: 12,0 cm
- $R_T(\text{laje}) = 0,0900 \text{ m}^2\text{C/W}$
- $C_T(\text{laje}) = 95 \text{ kJ/m}^2\text{C}$

E desse modo:

$$U_{\text{cober}} = 1,93 \text{ W/m}^2\text{C}$$

Neste caso, foi considerado o teto de concreto nº 9 para a determinação do CLTD levando em conta um atraso de 3 horas (valor fornecido pelo Comitê Brasileiro de Construção Civil). A tabela 4.17 mostra o CLTD dos ambientes nos horários 09:00, 13:00 e 16:00 para o verão e 07:00 e 18:00 para o inverno.

Tabela 4. 17 CLTD para o teto.

AMBIENTE	ÁREA [m ²]	CLTD				
		VERÃO			INVERNO	
		09:00	13:00	16:00	07:00	18:00
1	46,75	5	8	18	8	25
2	46,75	5	8	18	8	25
3	96	5	8	18	8	25
4	46,75	5	8	18	8	25
5	46,75	5	8	18	8	25
6	96	5	8	18	8	25

4.5.7 Carga térmica devida aos vidros

Para o caso dos vidros foi feito o cálculo em duas parcelas, o primeiro da transmissão de calor por convecção e condução e o segundo da transferência de calor devido à radiação solar.

O equacionamento para a transferência de calor por condução e convecção é dado por:

- Típica situação de verão:

$$G = U_{\text{VIDRO}} * S_{\text{VIDRO}} * [\text{CLTD}_{\text{VIDRO}} + (25,5 - t_A + t_{\text{max EXT}} - 0,5 * \text{DR} - 29,4)] \quad (6)$$

- Típica situação de inverno:

$$P = U_{\text{VIDRO}} * S_{\text{VIDRO}} * (t_A - t_{\text{EXT}}) \quad (7)$$

No caso estudado os vidros são do tipo comum e possuem 3 mm de espessura, desse modo temos:

$$U = (0,044 + 0,003/0,76 + 0,121)^{-1} = 5,92 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$DR = 8 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ (Tabela 3B cap. 27 – ASHRAE 2001)}$$

$$t_{\text{max EXT VERÃO}} = 32 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ (Tabela 3B cap. 27 – ASHRAE 2001)}$$

$$t_{\text{max EXT INVERNO}} = 10 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ (Tabela 3B cap. 27 – ASHRAE 2001)}$$

Os valores de CLTD dependem do horário do dia e estão expostos na tabela

4.18.

Tabela 4. 18 CLTD para os vidros.

AMBIENTE	ÁREA [m ²]	CLTD				
		VERÃO			INVERNO	
		09:00	13:00	16:00	07:00	18:00
1	7,2	1	7	8	-1	7
2	7,2	1	7	8	-1	7
3	20,8	1	7	8	-1	7
4	7,2	1	7	8	-1	7
5	7,2	1	7	8	-1	7
6	20,8	1	7	8	-1	7

O equacionamento geral para a transferência de calor devido à radiação solar para o caso com proteção é dado pela expressão:

$$H = SC * S * CLF * \{[(1 - FAS) * SHGF] + [FAS * SHGF_{\text{SOMBRA}}]\}$$

Onde:

- SC é o coeficiente de sombreamento para os tipos de proteção interna e tipos de vidros, este valor pode ser obtido pela tabela 33, 34 e 41 do capítulo 27 – ASHRAE;
- S é a área do vidro;
- FAS é a fração da área em sombra;
- SHGF (Solar Heat Gain Factor) representa o máximo fluxo de entrada de energia solar radiante através do vidro de referência (comum de 3 mm). Este valor é função da latitude, face e mês (tabela 11 do capítulo 26 – ASHRAE);
- SHGF_{SOMBRA} está representado na tabela 12 do capítulo 26 – ASHRAE;
- CLF é o Cooling Load Factor para janelas com venezianas e está representado na tabela 14 capítulo 26 – ASHRAE.

Na tabela 4.19, 4.20 e 4.21 são mostrados os valores necessários para o cálculo do calor transferido H para cada ambiente estudado.

Tabela 4. 19 Dados para o cálculo da radiação solar.

AMBIENTE	ÁREA [m ²]	FACE	SC	FAS
1	7.2	SE	0.64	0
2	7.2	NO	0.64	0.5
3	20.8	NE	0.64	1
4	7.2	NE	0.64	0.5
5	7.2	SO	0.64	0.8
6	20.8	NO	0.64	1

Tabela 4. 20 SHGF para vidros.

AMBIENTE	SHGF		SHGFsombra	
	VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO
1	375	601	145	95
2	574	110	133	114
3	574	110	133	114
4	574	110	133	114
5	375	601	145	95
6	574	110	133	114

Tabela 4. 21 CLF para as janelas.

AMBIENTE	CLF				
	VERÃO			INVERNO	
	09:00	13:00	16:00	07:00	18:00
1	0,81	0,33	0,22	0,57	0,13
2	0,17	0,22	0,73	0,11	0,69
3	0,58	0,26	0,2	0,76	0,12
4	0,58	0,26	0,2	0,76	0,12
5	0,16	0,59	0,81	0,11	0,45
6	0,17	0,22	0,73	0,11	0,69

A transferência de calor dos ambientes para cada horário do dia é mostrada na tabela 4.22:

Tabela 4. 22 Transferência de calor devido à radiação solar.

AMBIENTE	H [W]				
	VERÃO			INVERNO	
	8:00	13:00	17:00	7:00	18:00
1	1400	570	380	1579	360
2	277	358	1189	57	356
3	1027	460	354	1153	182
4	945	424	326	392	62
5	141	519	713	99	407
6	301	390	1292	167	1047

4.6 Balanço térmico para cada ambiente

Foram realizados os cálculos para o balanço térmico para a estimação da temperatura dos ambientes internos não condicionados. Desse modo supõe-se que está temperatura seja a de equilíbrio entre os ganhos (meio ambiente) e as perdas (outros ambientes internos).

Para a parcela de perda, a temperatura dos ambientes internos adjacentes aos estudados (banheiros, corredores e área administrativa) foi considerada constante e igual a 24°C ao longo do dia como já visto na Figura 4.1.

As temperaturas de equilíbrio para o verão e para o inverno foram calculadas com o auxílio de uma planilha e estão mostradas na Tabela 4.23 e 4.24:

Tabela 4. 23 Temperaturas de equilíbrio para o verão e para o inverno.

	HORÁRIO	AMBIENTE 1 [°C]	AMBIENTE 2 [°C]	AMBIENTE 3 [°C]
VERÃO	9:00	34.13	33.71	33.49
	13:00	33.52	36.95	34.54
	16:00	34.32	35.88	34.19
INVERNO	7:00	13.41	11.71	14.15
	18:00	14.84	13.69	15.61

Tabela 4. 24 Temperaturas de equilíbrio para o verão e para o inverno.

	HORÁRIO	AMBIENTE 4 [°C]	AMBIENTE 5 [°C]	AMBIENTE 6 [°C]
VERÃO	9:00	33.23	33.14	33.48
	13:00	33.37	35.10	35.57
	16:00	34.94	36.81	34.16
INVERNO	7:00	12.21	12.71	13.19
	18:00	13.43	14.65	16.99

Através desses resultados foi possível elaborar um gráfico de colunas para melhorar a visualização das temperaturas em função dos horários, tanto para o verão (Figura 4.10) quanto para o inverno (Figura 4.11).

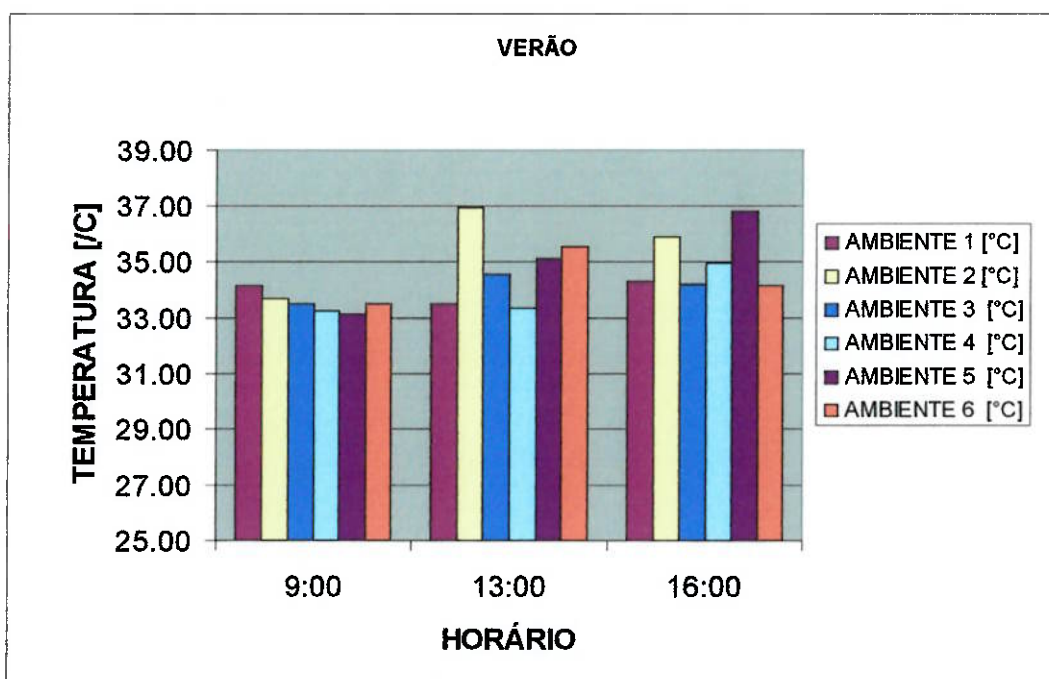


Figura 4. 10 Temperaturas de equilíbrio para o verão.

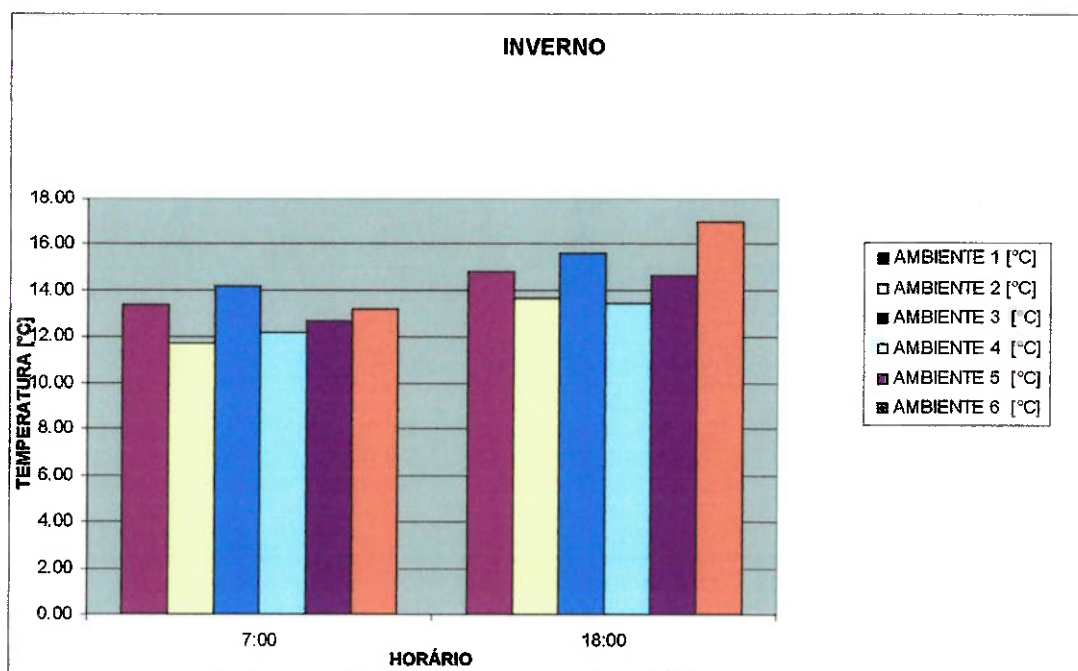


Figura 4. 11 Temperaturas de equilíbrio para o inverno.

4.7 Medições ambientais

A principal variável do conforto térmico é a temperatura do ar. A sensação de conforto baseia-se na perda de calor do corpo pelo diferencial de temperatura entre a pele e o ar, complementada pelos outros mecanismos termo-reguladores. A perda de calor, que é produzido pelo corpo através do metabolismo, é menor quando a temperatura do ar está alta, ou maior quando a temperatura está mais baixa.

A diferença de temperatura entre dois pontos no ambiente provoca a movimentação do ar, chamada de convecção natural: a parte mais quente torna-se mais leve e sobe enquanto a mais fria desce, proporcionando uma sensação de resfriamento do ambiente.

Para a medição da temperatura do ar (a temperatura de bulbo seco TBS) foi utilizado um termômetro digital portátil no qual o princípio de medição de temperatura se baseia na variação do valor da resistência elétrica de um condutor metálico em função da temperatura.

A coleta de dados foi realizada durante o mês de Julho e especificamente nos dias frios. As Tabelas 4.22 e 4.23 mostram as temperaturas para os horários do dia em que foram feitas as medições.

Tabela 4. 25 Medições Ambientais externas.

HORÁRIO	TEMPERATURA [°C]			
	26/jul	27/jul	28/jul	29/jul
08:00	15,2	14,3	13,8	14,9
13:00	15,9	15,7	16	16,4

Tabela 4. 26 Medições Ambientais internas no mês de julho.

AMBIENTE	HORÁRIO	TEMPERATURA [°C]			
		26/jul	27/jul	28/jul	29/jul
1	08:00	16,1	15,8	14,9	15,4
	13:00	16,4	16,3	17,2	18,1
2	08:00	16,5	16,1	15,4	16
	13:00	16,8	16,7	17,2	17,6
3	08:00	15,9	15,8	14,9	16,9
	13:00	16,8	16,9	17,6	18,2
4	08:00	16,3	16,1	15,5	16,3
	13:00	17,2	17,6	16,4	19,3
5	08:00	16,6	16,2	17,2	18,3
	13:00	17	16,9	18	19,2
6	08:00	16,3	17	17,3	16
	13:00	17,2	17,8	18	18,6

Foram feitas poucas coletas devido a falta de tempo, mas mesmo assim os resultados destas medições servem como um comparativo para o modelo que foi utilizado.

Devido à creche estar em reforma durante o período da coleta de dados no mês de julho, as medições foram realizadas sem nenhum ocupante nos ambientes, com luzes apagadas e janelas abertas.

Foram coletados outros dados nos meses de outubro e novembro aumentando a base de dados para análise. Estes valores estão representados nas Tabelas 5.24 e 5.25 abaixo.

Tabela 4. 27 Medições Ambientais internas no mês de outubro.

AMBIENTE	24/out		26/out		27/out		28/out	
	09:35	13:05	09:40	13:30	09:20	13:10	09:25	13:20
1	16,5	26,2	16,7	26,9	17,1	25,8	16,9	26,3
2	16,7	26,9	16,7	26,1	16,5	26,1	17	27,1
3	16,3	25,8	16,5	26,4	16,8	25,9	16,5	27,3
4	16,6	26	16,6	26,5	16,7	26	16,9	26,2
5	16,8	26,8	16,8	26,8	16,9	26,1	17,1	26,6
6	16,4	26,1	16,5	26	16,9	26,6	16,9	27,6

Tabela 4. 28 Medições Ambientais internas no mês de novembro.

AMBIENTE	7/nov		9/nov		15/nov		16/nov	
	09:20	13:15	09:45	13:25	09:15	13:30	09:35	13:45
1	18,2	26,7	17,7	26,7	17,1	26,9	17,6	26,9
2	18,2	27,5	17,1	27,4	17,3	27,6	17,6	27,7
3	18	27,7	17,4	26,3	16,9	26,5	17,4	27,9
4	18,1	26,6	17,3	26,5	17,2	26,7	17,5	26,8
5	18,3	27	17,5	27,3	17,4	27,5	17,7	27,2
6	18	28	17,5	26,6	17	26,8	17,4	28,2

5. PROPOSTAS E SOLUÇÕES

Após a análise dos ambientes selecionados através da caracterização construtiva e do balanço térmico nestes ambientes, é possível propor alternativas para o problema com relação ao conforto térmico.

Para a proposição e escolha de uma solução para o problema, foi necessário a identificação da principal causa de ganho térmico nos ambientes estudados, para dessa forma avaliar soluções mais eficientes.

Por se tratar de uma instituição de ensino, as propostas terão que garantir condições de segurança e bem-estar aos seus ocupantes, levando em conta também a viabilidade econômica e técnica.

5.1 Identificação e detalhamento das principais causas

Para avaliar qual a origem da principal parcela de ganho térmico, foi simulada a hipótese de variação do coeficiente global de transferência de calor (U) das paredes, tetos e janelas, isoladamente para cada ambiente, tanto para o verão quanto para o inverno.

As figuras 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 e 5.6 mostram os gráficos da variação do coeficiente global de transferência de calor (ΔU) com relação à temperatura interna durante o verão na condição crítica avaliada (9:00 am).

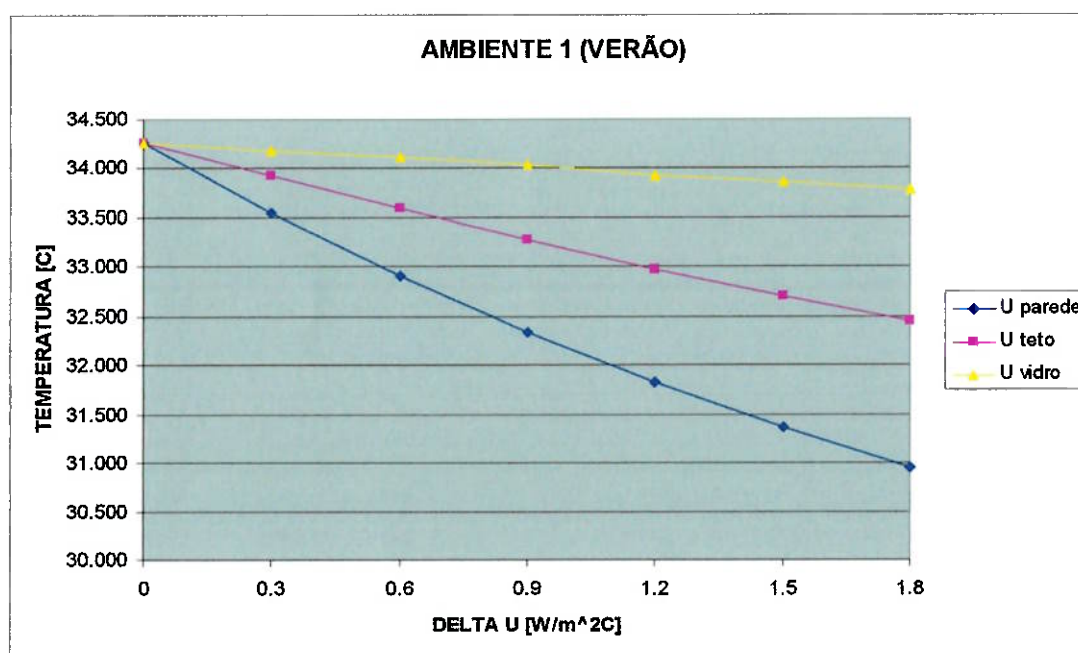


Figura 5. 1 Variação da temperatura no ambiente 1 por variação de U .

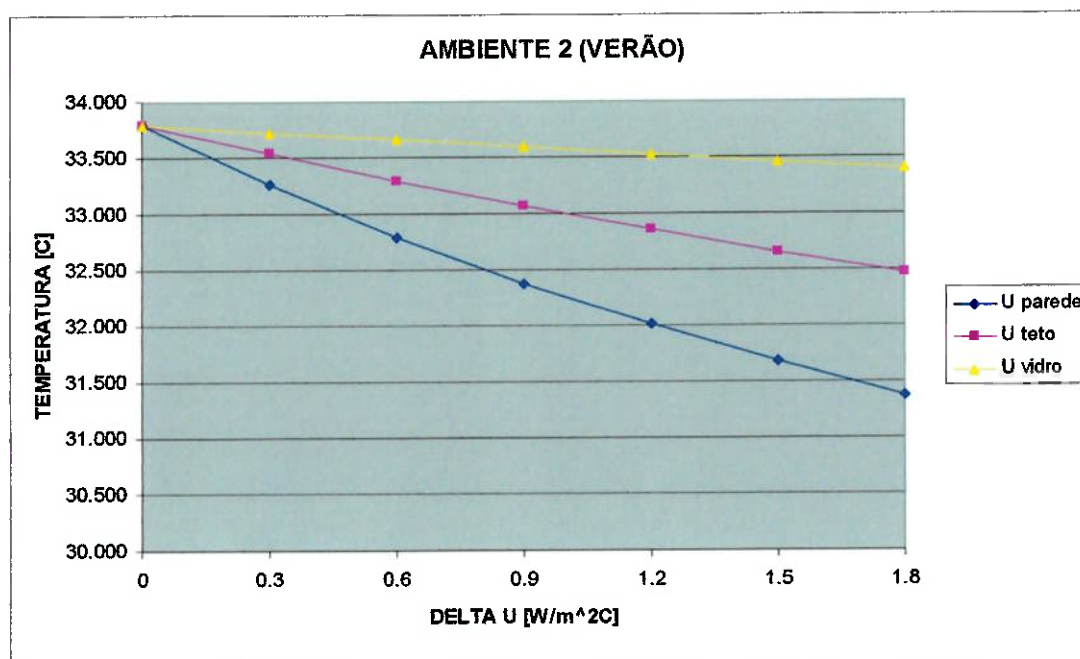


Figura 5. 2 Variação da temperatura no ambiente 2 por variação de U.

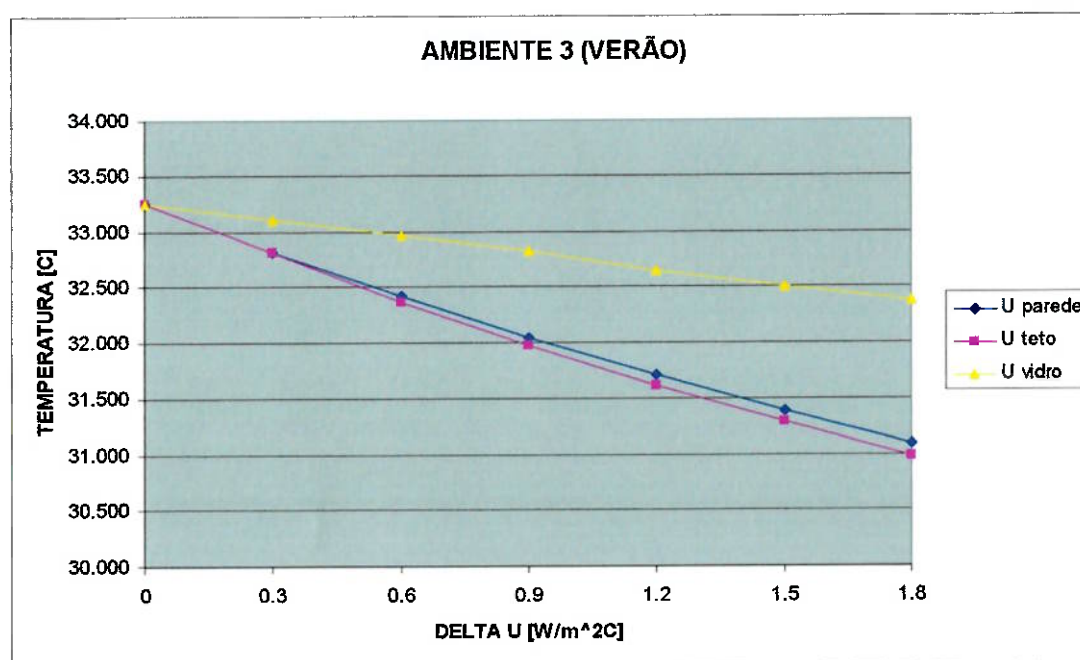


Figura 5. 3 Variação da temperatura no ambiente 3 por variação de U.

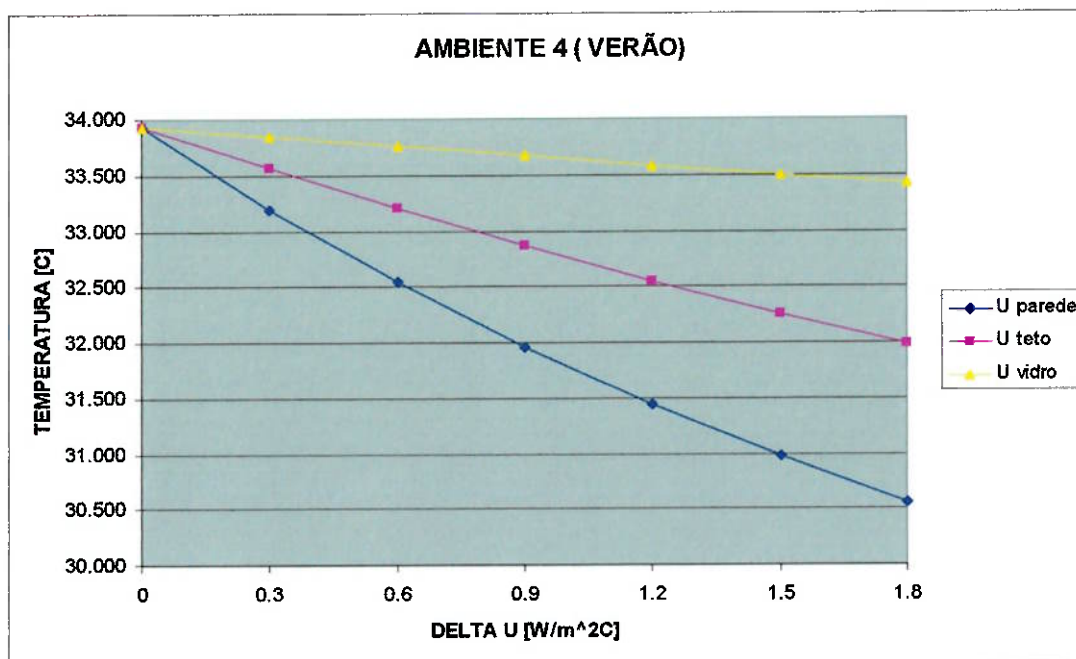


Figura 5. 4 Variação da temperatura no ambiente 4 por variação de U.

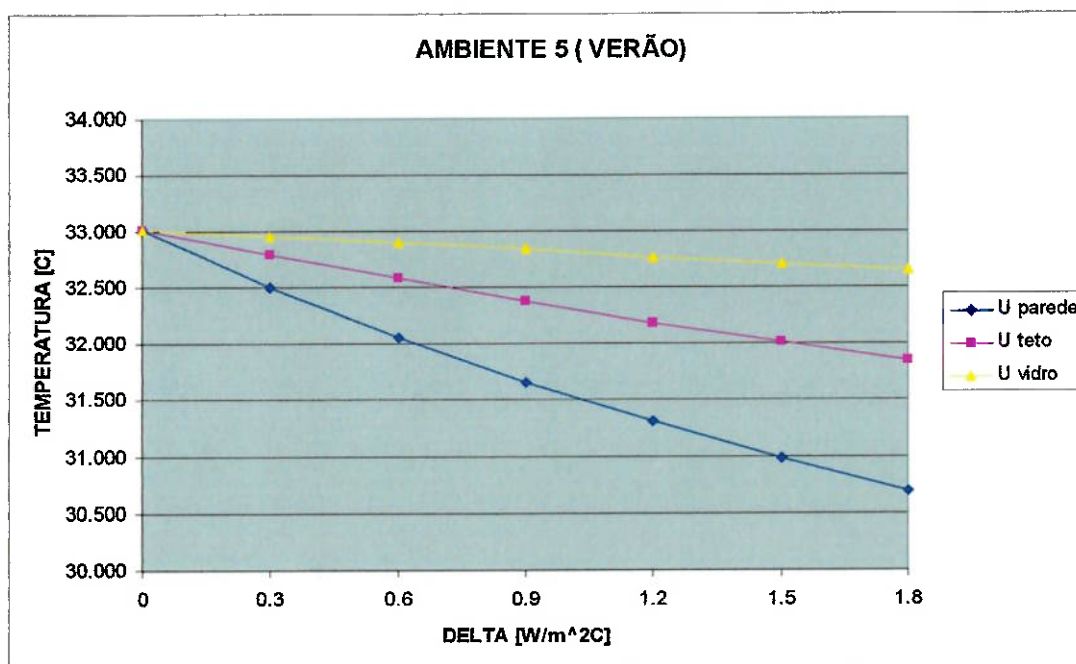


Figura 5. 5 Variação da temperatura no ambiente 5 por variação de U.

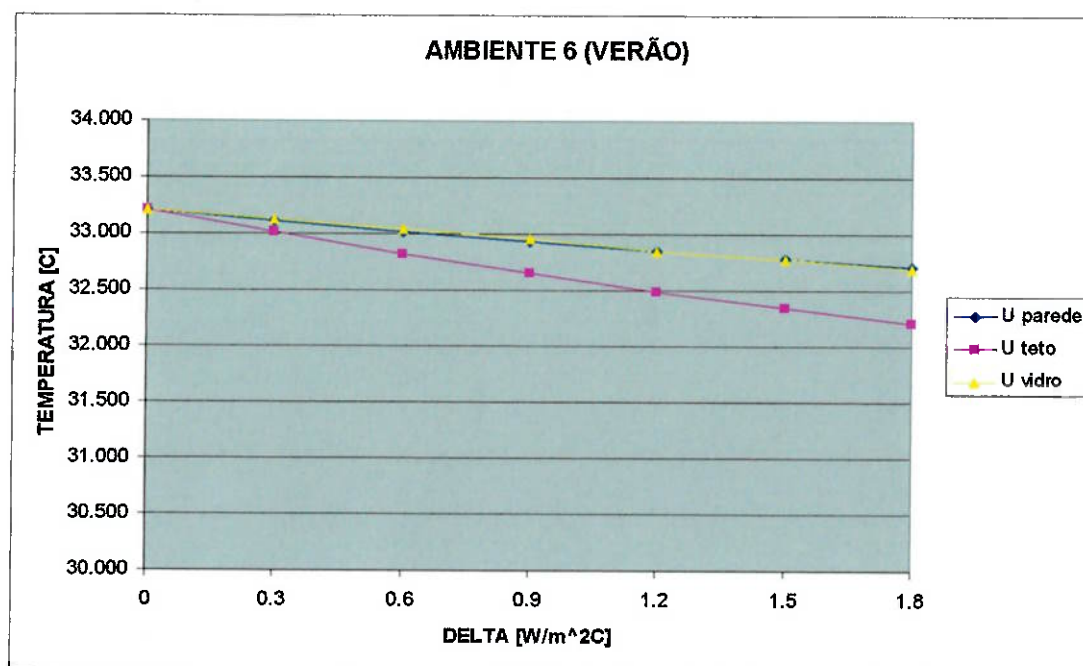


Figura 5. 6 Variação da temperatura no ambiente 6 por variação de U.

É possível concluir através destes gráficos que nos ambientes 1, 2, 4 e 5, a principal parcela de ganho térmico é devido às paredes, pois é nessa parcela que ocorre a maior variação de temperatura. Já com os ambientes 3 e 6 a principal parcela de ganho térmico é devido ao teto, isso porque estas coberturas possuem grande área de extensão e por estarem mais expostas à insolação.

Durante o inverno as variações de temperatura são mínimas, como mostram as tabelas 5.1, 5.2 e 5.3.

Tabela 5. 1 Delta U da parede para cada ambiente.

DELTA U [W/m².C]	AMBIENTE 1 [C]	AMBIENTE 2 [C]	AMBIENTE 3 [C]	AMBIENTE 4 [C]	AMBIENTE 5 [C]	AMBIENTE 6 [C]
0	15,3	9,7	10,4	10,4	11,7	9,2
0,3	15,1	9,8	10,4	10,4	11,8	9,3
0,6	15,0	9,9	10,5	10,4	11,9	9,5
0,9	14,9	9,9	10,5	10,4	12,0	9,6
1,2	14,8	10,0	10,5	10,5	12,1	9,8
1,5	14,7	10,1	10,6	10,5	12,2	9,9
1,8	14,6	10,2	10,6	10,5	12,2	10,0

Tabela 5. 2 Delta U do teto para cada ambiente.

DELTA U [W/m².C]	AMBIENTE 1 [C]	AMBIENTE 2 [C]	AMBIENTE 3 [C]	AMBIENTE 4 [C]	AMBIENTE 5 [C]	AMBIENTE 6 [C]
0	15,3	9,7	10,4	10,4	11,7	9,2
0,3	15,0	9,6	10,3	10,3	11,6	9,1
0,6	14,6	9,6	10,1	10,2	11,4	9,1
0,9	14,6	9,6	10,1	10,2	11,4	9,1
1,2	14,3	9,5	10,1	10,1	11,3	9,1
1,5	14,1	9,5	10,0	10,1	11,2	9,1
1,8	14,0	9,5	10,0	10,0	11,1	9,1

Tabela 5. 3 Delta U das janelas para cada ambiente.

DELTA U [W/m ² .C]	AMBIENTE 1 [C]	AMBIENTE 2 [C]	AMBIENTE 3 [C]	AMBIENTE 4 [C]	AMBIENTE 5 [C]	AMBIENTE 6 [C]
0	15,3	9,7	10,4	10,4	11,7	9,2
0,3	15,2	9,6	10,3	10,3	11,6	9,1
0,6	15,1	9,6	10,2	10,2	11,6	9,0
0,9	15,0	9,5	10,0	10,2	11,5	8,9
1,2	14,9	9,4	9,9	10,1	11,4	8,8
1,5	14,8	9,4	9,8	10,0	11,4	8,7
1,8	14,7	9,3	9,7	10,0	11,3	8,6

5.2 Análise das propostas

Para que a condição de conforto humano seja alcançada mais facilmente, uma boa proposta é a instalação de materiais isolantes térmicos e refletivos que provêm resistência relativamente boa ao fluxo de calor.

Tendo em vista que as paredes são responsáveis pela principal parcela de ganho nos ambientes 1, 2, 4 e 5, e que o teto é o responsável nos ambientes 3 e 6, existe a necessidade de analisar propostas que atendem ambos os casos.

Costa (1974) define isolantes térmicos como “materiais de baixo coeficiente de condutibilidade, normalmente porosos, cuja elevada resistência térmica baseia-se na baixa condutibilidade do ar contido em seus vazios”.

Ainda segundo esse autor, “quanto menor a densidade do material e maior o número de poros, maior o seu poder de isolamento. O limite dessa capacidade, naturalmente, é a condução pura do ar em repouso, cujo valor é da ordem de 0,02 Kcal/m²h°C”.

No entender de Costa, um material isolante térmico deve apresentar as seguintes propriedades:

- Baixa condutibilidade térmica;
- Resistir bem à temperatura em que é aplicado;
- Possuir boa resistência mecânica;
- Ser imputrescível e inatacável por pragas;
- Ser incombustível;
- Não ser higroscópico e apresentar, se possível, baixa permeabilidade ao vapor d'água.

O conhecimento de diversas alternativas para o isolamento térmico nas edificações, é possível encontrar soluções construtivas e econômicas melhorando as

condições de conforto térmico aos ocupantes destes ambientes, sem a necessidade de utilizar equipamentos de condicionamento ambiental.

Com vista à melhoria do isolamento térmico das paredes e dos tetos da creche, foram desenvolvidas as seguintes propostas:

- Reforço do isolamento térmico das paredes pelo interior;
- Desenvolvimento de materiais de construção (blocos, painéis, etc.), com menor condutibilidade térmica que os materiais tradicionais;
- Reforço do isolamento térmico das paredes pelo exterior;

A proposta mais apropriada para os ambientes da creche é o reforço do isolamento térmico pelo interior, visto que, além de ser totalmente compatível com as características construtivas, apresenta as seguintes vantagens:

- Redução de pontes térmicas;
- Pode ser aplicado em edifícios já ocupados sem a necessidade de restrições ao seu uso;
- Não há alteração da estética externa da edificação.

Deve ser levada em consideração a utilização de pintura clara nas paredes externas expostas diretamente ao sol, refletindo a radiação solar e diminuindo o calor acumulado durante o dia.

Os materiais usualmente utilizados na construção civil para isolamento térmico das paredes e tetos são os isolantes fibrosos de lã de vidro ou lã de rocha e o poliestireno expandido.

5.2.1 Utilização de lã de rocha

Apresentando-se em forma de placa ou manta (figura 5.7), a lã de rocha provém de fibras minerais de rocha vulcânica. Além de não reter água, uma vez que possui uma estrutura não capilar, as alterações perante eventuais condensações são nulas.



Figura 5. 7 Formas da lã de rocha.

Produto fabricado a partir de rochas basálticas especiais e outros minerais. Aquecidos à cerca de 1500°C são transformados em filamentos que, aglomerados com soluções de resinas orgânicas, permitem a fabricação de produtos leves e flexíveis até muito rígidos, dependendo do grau de compactação.

Fabricada em todo o mundo, a lã de rocha devido a suas características termo-acústicas (Tabela 5.4) atende os mercados da construção civil, industrial e automotivo entre outros. Outra característica é a resiliência do material, o que faz com que ele retorne a sua forma original após a retirada da força que causou a deformação.

Tabela 5. 4 Características da lã de rocha.

DESCRIÇÃO	VALORES
Comportamento ao fogo	Incombustível
Condutibilidade térmica (W/m.k)	0,099
Calor específico (J/kg°C)	837,4

A Lã de Rocha foi classificada no Grupo 3 (Material não Cancerígeno), segundo relatório da IARC (International Agency for Research on Cancer). A IARC, sediada em Lyon (França), é um órgão pertencente à Organização Mundial da Saúde da ONU.

5.2.2 Utilização de lã de vidro

A lã de vidro, por suas propriedades físicas e químicas (Tabela 5.5), é um dos mais utilizados isolantes térmicos no mundo por ser leve, fácil de manusear e cortar e por não deteriorar ou apodrecer. Na construção civil, tem contribuído para a obtenção do conforto térmico-acústico das edificações comerciais e residenciais, a figura 5.7 ilustra a utilização da lã de vidro na construção civil.

Tabela 5. 5 Características da lã de vidro.

Material	Densidade Kg/m ³	Espessura	Condutividade térmica - K (W / m°C) Temp. méd. = 24°C	Resistência térmica - R (m ² ° C / W)
Lã de vidro	12	50 mm	0,045	1,11
	20	50 mm	0,038	1,32
	35	50 mm	0,034	1,47
	12	75 mm	0,045	1,67

(Fonte: Metalica)

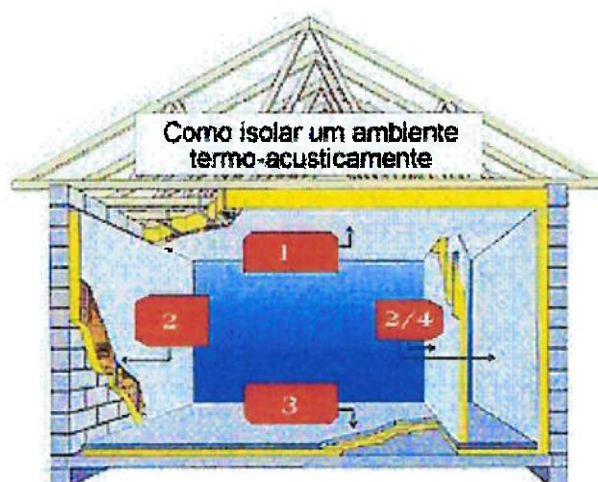


Figura 5. 8 Utilização da lã de vidro na construção civil.

A lã de vidro é um componente fabricado em alto forno a partir de sílica e sódio, aglomerados por resinas sintéticas, comercializada em rolos e em painéis (figura 5.9), havendo uma diversidade de densidades e espessuras.



Figura 5. 9 Lã de vidro em rolo e painéis.

Um dos fatores que levam a escolha da lã de vidro é o fato de ser um material incombustível (Figura 5.10), qualidade que deve ser considerada em todos os projetos de edificações comerciais ou residenciais. O comportamento ao fogo dos materiais isolantes, inclusive aqueles com revestimentos, deve ser o de não contribuir e não propagar o fogo durante uma situação de incêndio.

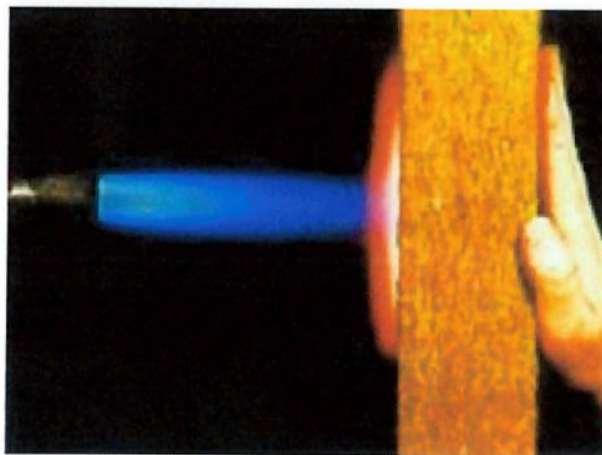


Figura 5. 10 Comportamento da lã de vidro ao fogo.

A lã de vidro é do tipo de fibra que não tem nenhuma relação com as fibras de amianto, atualmente alvo de restrições de uso. A Agência Internacional para a Pesquisa do Câncer (Iarc), ligada à Organização Mundial de Saúde, classifica a lã de vidro como um material não cancerígeno.

Por ser um material fibroso, a lã de vidro é um dos melhores materiais para o tratamento acústico, na construção de barreiras para evitar a transferência de uma onda sonora (ruído) de um ambiente ao outro ou na absorção acústica, tratamento aplicado para melhorar a qualidade acústica dos ambientes, essencial para o conforto das crianças ocupantes dos ambientes da creche.

Quando uma onda sonora entra em contato com a lã de vidro, ela é facilmente absorvida, devido à porosidade da lã. Além disso, ocorre uma fricção entre a onda e a superfície das fibras. Essa fricção converte parte da energia sonora em calor, ou seja, a lã de vidro faz com que a energia sonora perca intensidade, o que resulta em um aumento de absorção ou da isolação sonora. Tal fenômeno de absorção e fricção em conjunto não ocorre com outros materiais não-fibrosos.

5.2.3 Utilização de poliestireno expandido

O poliestireno expandido (EPS) é um plástico celular e rígido, que pode apresentar diversas formas e aplicações. O EPS é uma espuma de poliestireno moldada, constituída por um aglomerado de grânulos, e é o material muito utilizado para placas para isolamento na construção civil, para caixas de peixe, para embalagens de eletrodomésticos e produtos eletrônicos.

Existem outros tipos de espumas de poliestireno que, no entanto, não são EPS. O XPS - poliestireno extrudido, que é também uma espuma rígida de poliestireno, mas diferencia-se do EPS por ser obtida por um processo de extrusão em contínuo e por empregar outros gases expansores. A sua única aplicação corrente é como isolamento na construção civil, apresentando-se sob a forma de placas coloridas. O PSP - poliestireno papel, que é também uma espuma rígida de poliestireno, extrudida, que é produzida com uma fraca espessura (2 - 3 mm). A sua aplicação é em bandejas e tabuleiros para acondicionar produtos alimentares.

As propriedades deste material são vistas na Tabela 5.6, a mais importante é a sua capacidade de resistir à passagem do calor. Tal deve-se à sua estrutura celular, que é constituída por muitos milhões de células fechadas com diâmetros de alguns décimos de milímetro e com paredes de 1 mm. Esta espuma é composta aproximadamente por 2% de poliestireno e 98% de ar. O fator decisivo para a boa capacidade de isolamento térmico do EPS é o de manter, permanentemente, uma grande quantidade de ar, quase imóvel, dentro das suas células.

Este material é produzido em duas versões:

- Classe P: não retardante à chama;
- Classe F: retardante à chama.

Também são divididos em 3 grupos de massa específica aparente:

I - de 13 a 16 kg/m³;

II - de 16 a 20 kg/m³;

III - de 20 a 25 kg/m³.

Tabela 5. 6 Propriedades do poliestireno expandido.

Propriedades	Mét. de Ensaio	Unidade	Classe P			Classe F		
<i>Tipo de Material</i>			I	II	III	I	II	III
Massa específica aparente	NBR 11949	Kgm ³	13-16	16-20	20-25	13-16	16-20	20-25
Resistência à compressão com 10% de deformação	NBR 8082	K Pa	≥60	≥70	≥100	≥60	≥70	≥100
Resistência à flexão	ASTM C-203	K Pa	≥150	≥190	≥240	≥150	≥190	≥240
Absorção de água Imersão em água	NBR 7973	g/cm ³ ×100	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1
Permeabilidade ao vapor d'água	NBR 8081	ng/Pa.s.m	≤7	≤5	≤5	≤7	≤5	≤5
Coefficiente de condutiv. térmica a 23°C	NBR 12904	W/(m.k)	0,042	0,039	0,037	0,042	0,039	0,037
Flamabilidade	NBR 1948		Material não retardante à chama			Material retardante à chama		

(Fonte: ABRAPEX - Associação Brasileira do Poliestireno Expandido)

Não é conhecido o limite de idade do EPS. Os estudos realizados sobre as soluções construtivas do EPS correntes confirmam esta afirmação. No entanto, as propriedades do EPS impõem a sua correta aplicação para que seja garantido um desempenho adequado ao longo do tempo.

O EPS é compatível com a maioria dos materiais normalmente utilizados na construção de edifícios, como mostra a Tabela 5.7, com exceção alguns materiais que contenham solventes. Nestes casos terá de se evitar o contacto ou exposição a vapores destes materiais, pois a estrutura celular é danificada pelos solventes e sendo este processo acelerado com temperaturas elevadas.

Tabela 5. 7 Comportamento do EPS com outros materiais.

Água, água do mar, soluções de sais	+
Materiais de construção correntes (cal, cimento, gesso)	+
Soluções alcalinas	+
Soluções ácidas fracas	+
Ácido clorídrico 35%	+
Ácido nítrico 50%	+
Ácido sulfúrico 95%	-
Sais, adubos	+
Betumes, produtos betuminosos diluídos com água	+
Produtos betuminosos com solventes	-
Produtos asfálticos	-
Gasóleo, gasolina, fuel	-
Alcool	+/-
Solventes orgânicos	-
Hidratos de carbono alifáticos	-

(Fonte: Associação Industrial do Poliestireno Expandido)

5.2.4 Utilização do Poliuretano

As espumas rígidas de poliuretano são freqüentemente formuladas em sistemas constituídos de dois componentes. Um dos componentes é o isocianato (normalmente MDI polimérico), o outro é constituído de um ou mais polióis e demais aditivos, como: surfactantes; retardantes de chama; catalisadores; e reticuladores de cadeia, como glicerina ou trietanolamina. O número de hidroxilas destes sistemas, na maioria das vezes, varia de 350 a 550 mg de KOH/g. Os catalisadores e surfactantes desempenham papel importante no processo de espumação. Se a velocidade da reação é suficientemente rápida, a massa polimérica em crescimento adquire uma estrutura reticulada que aprisiona o agente de expansão (CFC's, HCFC's, pentanos, HFC's, etc) nas células fechadas. Os polieterpolisiloxanos são os surfactantes mais usados em espumas rígidas, promovendo a formação de uma estrutura de células fechadas, uniformes e sem vazios.

As espumas rígidas representam o segundo maior mercado para PU's, após as espumas flexíveis. Desde os anos 60, o mercado de espumas rígidas cresceu até atingir 2,2 milhões de toneladas em 2000, correspondendo a 28% do consumo mundial de PU's de 8,5 milhões de toneladas, sendo 18% em construção (painéis laterais e tetos) e 10% em isolamento térmico.

O mercado brasileiro contemplou um volume total de sistemas (isocianato + polioli) de 36.000 toneladas em 2000, e cerca de 39.000 em 2001, com crescimento estimado em 4-6%. O grosso desse volume (58%) está voltado para o segmento de refrigeração doméstica e o restante para o mercado de construção civil (16%), predominantemente painéis/telhas tipo sanduíche e isolamento térmico (spray, injeção e bloco); transporte (17%), e outros (9%).

As propriedades térmicas, resistência mecânica e leveza das estruturas sanduíche das PUR, as torna adequadas a diferentes aplicações. Os sistemas de espumas rígidas de PU são utilizados na fabricação de painéis divisórios, pisos e telhas; no isolamento térmico de refrigeradores, contêineres, frigoríficos, caminhões, vagões, tanques, aquecedores, oleodutos, tubulações, etc; materiais para embalagens; partes de móveis; estruturas flutuantes a prova de furos para barcos e equipamentos de flutuação; e componentes de carros, ônibus, trens, aviões, etc. As espumas rígidas

podem ser fabricadas por derramamento, injeção, "spray", sistemas pressurizados, ou outras técnicas.

Elas possuem uma estrutura polimérica altamente reticulada com células fechadas, podendo ter densidades tão baixas quanto 10 kg/m³ até quase sólidos com 1.100 kg/m³. Todavia, o maior consumo é em espumas, de baixa densidade (28 a 50 kg/m³), usadas em isolamento térmico. As excelentes propriedades de isolamento térmico das espumas rígidas de PU, quando comparadas com outros materiais, são devidas à baixa condutividade térmica do gás retido dentro das suas células fechadas.

Recentemente, as espumas rígidas tornaram-se foco de discussões acaloradas devido a aspectos relacionados à: redução do uso dos clorofluorcarbonos (CFC's); inflamabilidade; e reciclagem. Os CFC's estão sendo substituídos como agente de expansão em todas as aplicações pelos clorofluorcarbonos hidrogenados (HCFC's), menos danosos ao meio ambiente; pentanos, principalmente no mercado europeu, devido ao seu potencial zero de destruição da camada de ozônio; e pelos HFCs.

Com relação a inflamabilidade as espumas rígidas atendem às normas de segurança e os problemas de substituição dos CFC's foram superados com a introdução dos novos agentes de expansão e retardantes de chama. A meta é a obtenção de espumas com retardantes de chama livres de halogênios. As espumas de polisocianurato (PIR) que possuem estruturas altamente aromáticas, quando queimadas formam uma estrutura carbonizada, o que permite em muitas formulações reduzir ou eliminar a necessidade de uso dos retardantes de chama.

A reciclagem é uma obrigação dos nossos tempos, e os rejeitos de espumas rígidas têm sido reutilizados com adição de MDI e prensagem em temperaturas elevadas, para a obtenção de placas com aplicações diversas, desde assoalho até mobiliário. Outro método é a reciclagem química (glicólise primária). Neste caso ocorre a transformação dos produtos reciclados em novas matérias-primas. Finalmente, a incineração é um método viável para transformar os rejeitos em energia.

5.3 Simulação do uso das propostas

A seguir serão simuladas, a partir de dados fornecidos pelos fabricantes, quais as temperaturas internas de equilíbrio para cada ambiente com a utilização dos isolamentos térmicos propostos.

Foi optada a utilização apenas das temperaturas críticas para facilitar a visualização e a escolha de placas com espessuras pré-definidas de 50 mm.

5.3.1 Temperaturas internas utilizando lã de rocha

Através dos dados fornecidos pelo fabricante do isolamento térmico de lã de rocha (Tabela 5.4), foi possível simular através da planilha qual seriam as temperaturas internas de equilíbrio nos ambientes analisados.

Os valores das temperaturas, tanto no verão quanto no inverno, representam a utilização da lã de rocha comercial recomendado pelo fabricante de espessura 50mm e K igual a 0,099 W/m°C, como revestimento interno nas paredes e no teto de cada ambiente, estes valores estão representadas nos gráficos das Figuras 5.11 e 5.12.

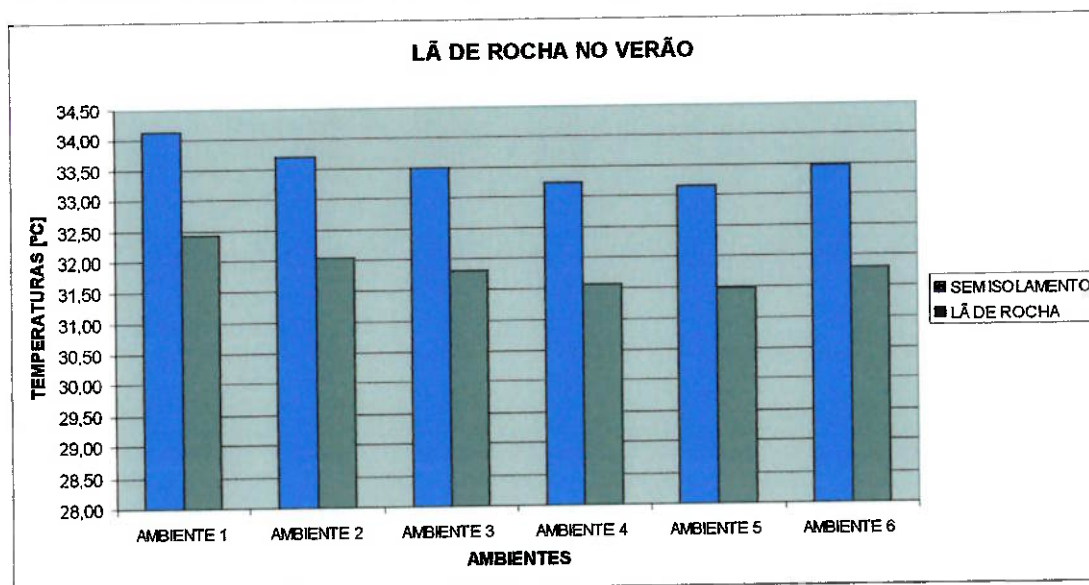


Figura 5. 11 Temperaturas no verão com a utilização de lã de rocha.

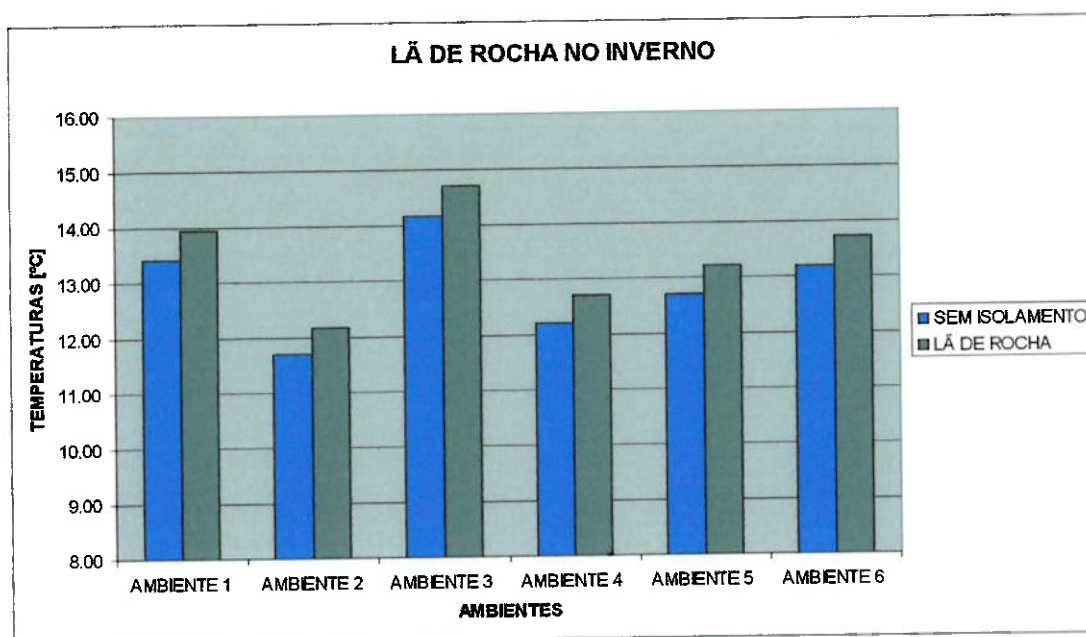


Figura 5.12 Temperaturas no inverno com a utilização de lã de rocha

É possível verificar a partir dos gráficos, que no verão há uma redução de até 9,60% na temperatura nos dias de verão e um aumento de até 7,54% nos dias de inverno, nos horários críticos de ambos os casos.

5.3.2 Temperaturas internas utilizando lã de vidro

Com os dados fornecidos pelo fabricante do isolante térmico de lã de vidro (Tabela 5.5), foi possível simular através da planilha qual seriam as temperaturas internas de equilíbrio nos ambientes analisados.

Os valores das temperaturas, tanto no verão quanto no inverno, simulam a utilização da lã de vidro comercial recomendado pelo fabricante de espessura 50mm e K igual a 0,034 W/m°C, como revestimento interno nas paredes e no teto de cada ambiente e estes valores estão representadas nos gráficos das Figuras 5.13 e 5.14.

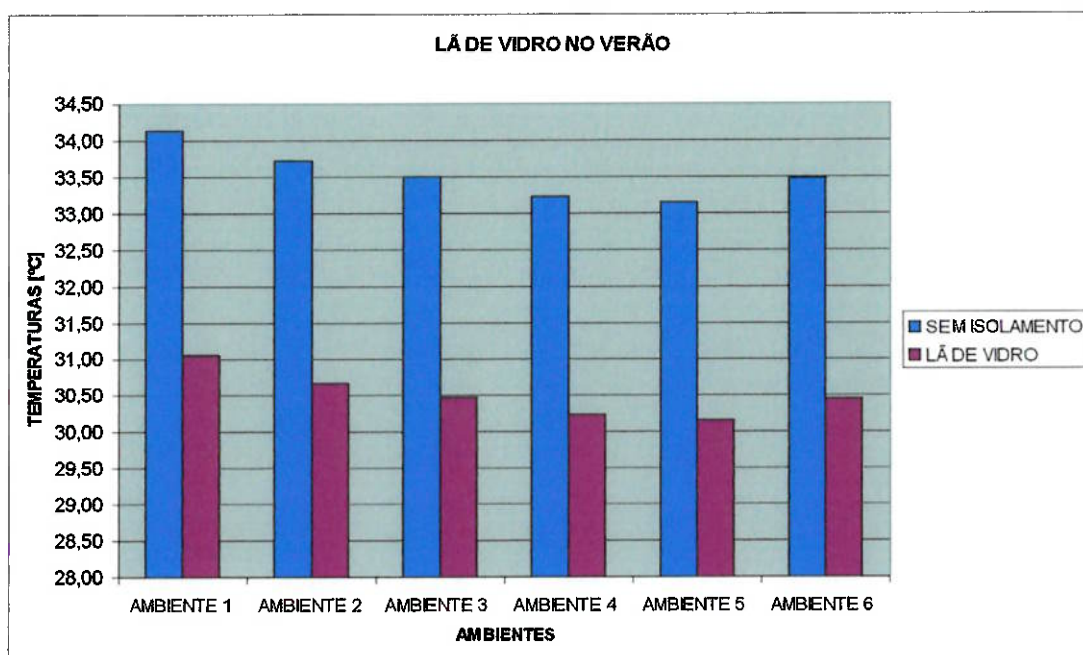


Figura 5. 13 Temperaturas no verão com a utilização de lã de vidro.

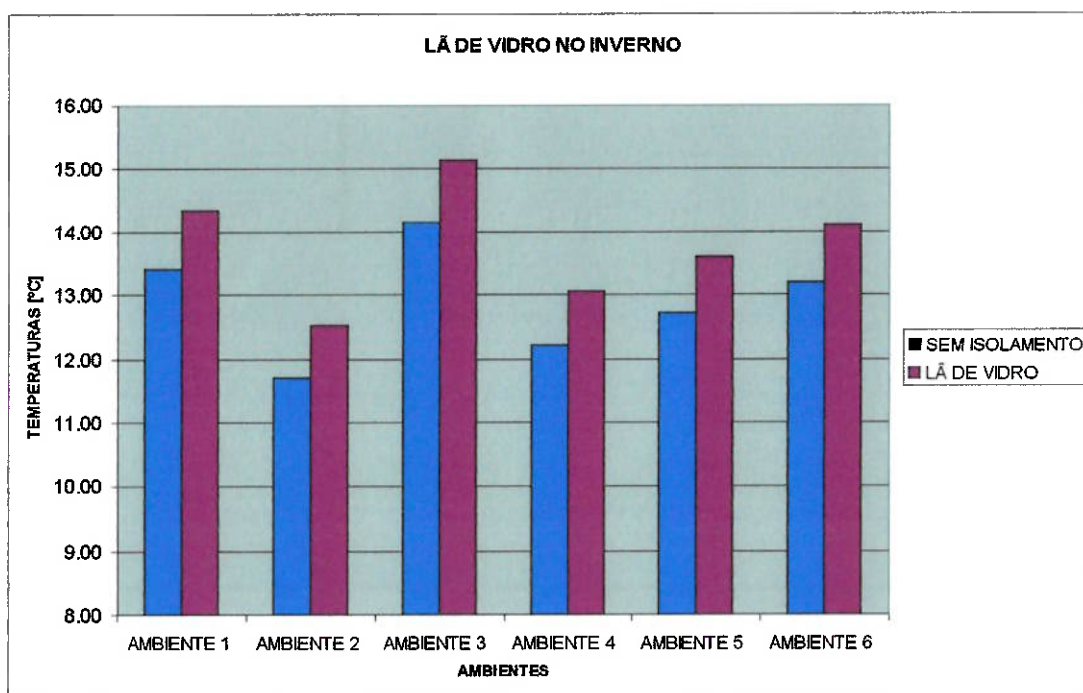


Figura 5. 14 Temperaturas no inverno com a utilização de lã de vidro.

É possível verificar a partir dos gráficos, que no verão há uma redução de até 11,95% na temperatura nos dias de verão e um aumento de até 9,43% nos dias de inverno, nos horários críticos de ambos os casos.

5.3.3 Temperaturas internas utilizando poliestireno expandido

Com os dados fornecidos pelo fabricante de placas de poliestireno expandido para isolante térmico (Tabela 5.6), foi possível chegar às temperaturas internas de equilíbrio nos ambientes analisados.

Os valores das temperaturas, tanto no verão quanto no inverno, simulam a utilização de placas de poliestireno comerciais recomendada pelo fabricante, com espessura 50mm e K igual a 0,037 W/m°C, como revestimento interno nas paredes e no teto de cada ambiente e estes valores estão representadas nos gráficos das Figuras 5.15 e 5.16.

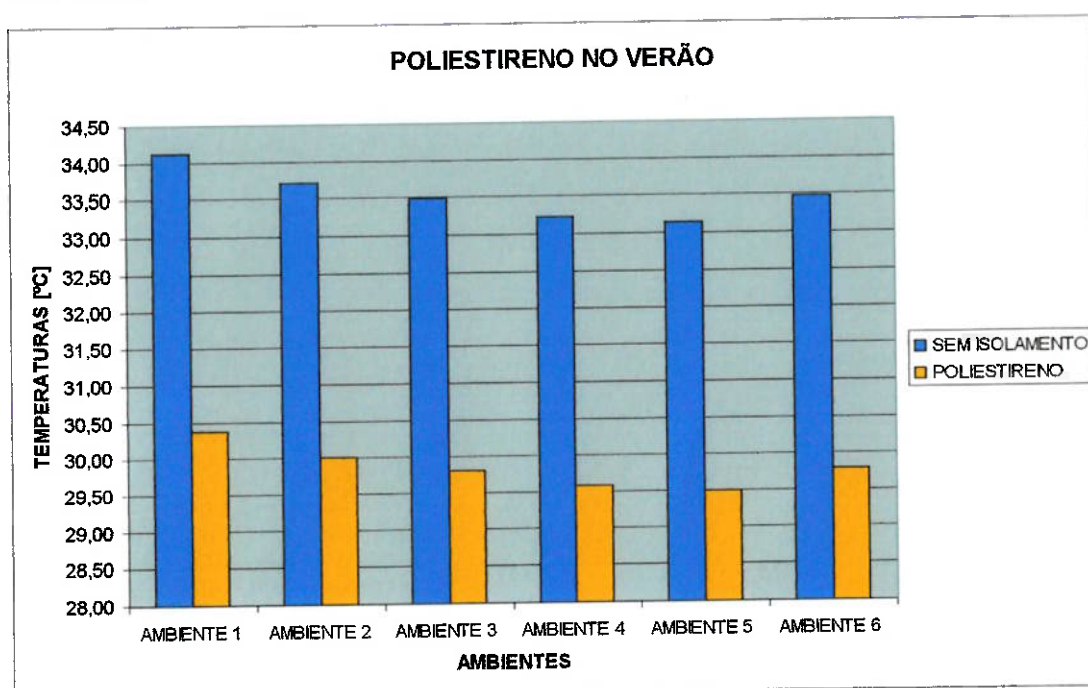


Figura 5. 15 Temperaturas no verão com a utilização de poliestireno.

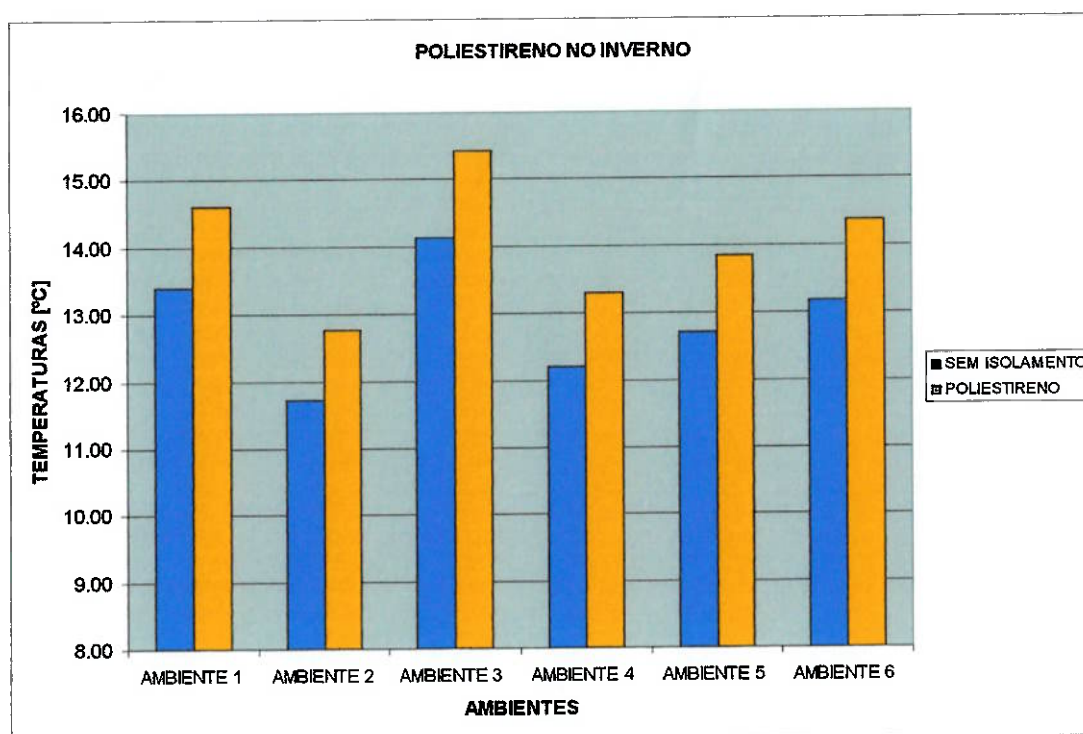


Figura 5. 16 Temperaturas no inverno com a utilização de poliestireno.

É possível verificar a partir dos gráficos, que no verão há uma redução de até 11,82% na temperatura nos dias de verão e um aumento de até 9,43% nos dias de inverno, nos horários críticos de ambos os casos.

5.3.4 Temperaturas internas utilizando poliuretano

Com os dados fornecidos pelo fabricante de placas rígidas de poliuretano para isolante térmico, foi possível chegar às temperaturas internas de equilíbrio nos ambientes analisados.

Os valores das temperaturas, tanto no verão quanto no inverno, simulam a utilização de placas de poliuretano comerciais recomendada pelo fabricante, com espessura 50mm e K igual a 0,021 W/m°C, como revestimento interno nas paredes e no teto de cada ambiente e estes valores estão representadas nos gráficos das Figuras 5.17 e 5.18.

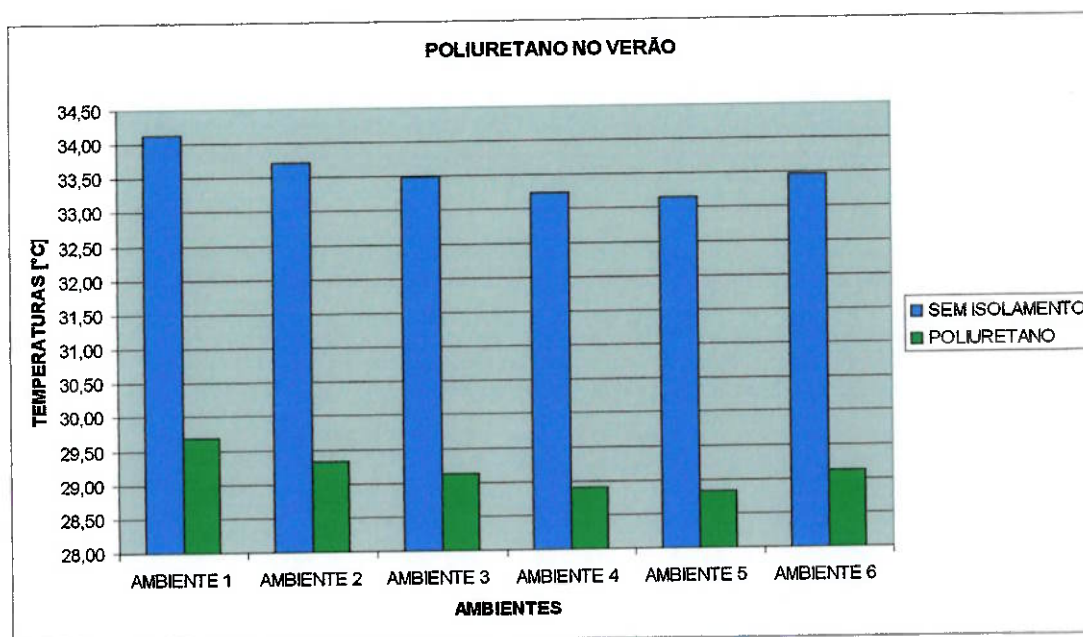


Figura 5. 17 Temperaturas no verão com a utilização de poliuretano.

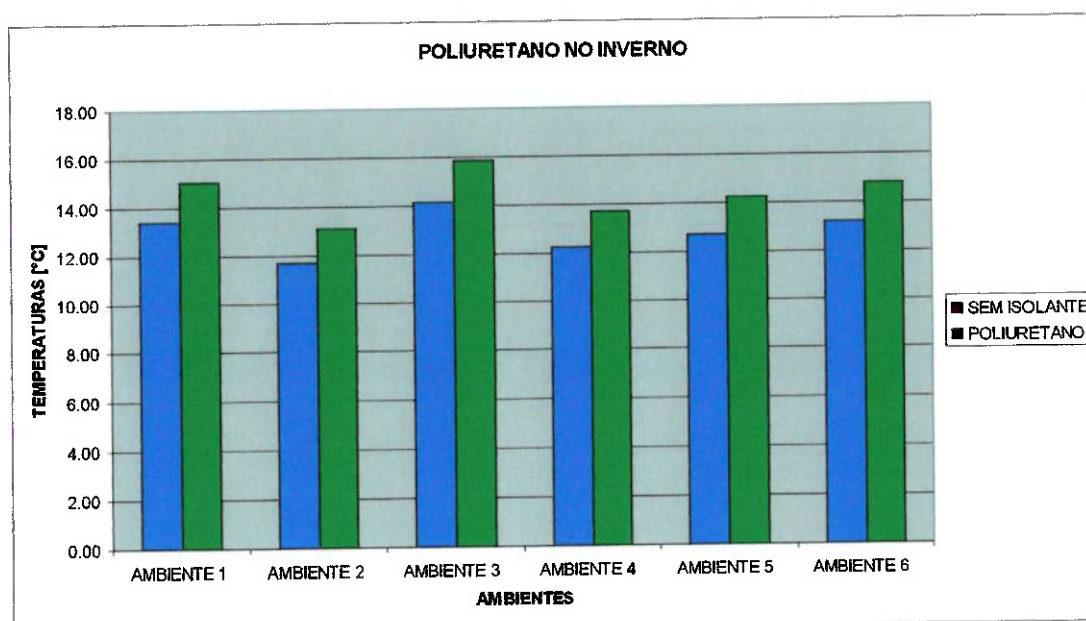


Figura 5. 18 Temperaturas no inverno com a utilização de poliestireno.

É possível verificar a partir dos gráficos, que no verão há uma redução de até 12,81% na temperatura nos dias de verão e um aumento de até 9,51% nos dias de inverno, nos horários críticos de ambos os casos.

5.3.4 Comparação entre isolantes

Os três materiais propostos apresentam propriedades físicas e químicas diferentes, o que torna difícil distinguir qual a melhor opção.

Para que seja possível comparar os três tipos de isolamentos térmicos, foram calculadas as relações entre o custo total do material com o módulo da diferença entre a temperatura sem isolamento e a temperatura com isolamento.

Desse modo foram determinadas as diferenças entre as temperaturas nos horários críticos para cada ambiente, tanto para o verão quanto para o inverno, como mostra a Tabela 5.8.

Tabela 5. 8 Diferença entre temperaturas com e sem isolamento.

MATERIAL	AMBIENTE 1 [°C]	AMBIENTE 2 [°C]	AMBIENTE 3 [°C]	AMBIENTE 4 [°C]	AMBIENTE 5 [°C]	AMBIENTE 6 [°C]
Lã de vidro	4,385	3,190	3,595	4,532	2,996	1,152
Lã de rocha	3,527	2,566	2,828	3,643	2,413	0,895
Poliestireno	4,336	3,154	3,550	4,481	2,962	1,137
Poliuretano	4,604	3,349	3,799	4,760	3,144	1,223

Foi realizada uma pesquisa de mercado para a avaliação do custo por metro quadrado de cada isolante, por existirem inúmeros modelos para um mesmo material, o fabricante forneceu valores dos mais utilizados para este tipo de construção:

- Lã de rocha: 14,90 R\$/m²;
- Lã de vidro: 17,60 R\$/m²;
- Poliestireno: 7,50 R\$/m².
- Poliuretano: 28,50 R\$/m²

(Fonte: ISAR Isolamentos Térmicos)

O custo de instalação não é fixo e depende do local de instalação do material, mas será igual para os três tipos de isolantes e por isso não é relevante para a comparação.

Através do custo por metro quadrado e as áreas internas totais (Tabela 5.9), foram calculados os custos totais por ambiente.

Tabela 5. 9 Áreas internas totais para cada ambiente.

AMBIENTE	TETO [m ²]	PAREDES INTERNAS [m ²]	PAREDES EXTERNAS [m ²]	ÁREA TOTAL [m ²]
1	46,75	50,7	22,1	119,55
2	46,75	50,7	22,1	119,55
3	96	41,6	31,2	168,8
4	46,75	50,7	22,1	119,55
5	46,75	50,7	22,1	119,55
6	96	41,6	31,2	168,8

O gráfico da Figura 5.19 e 5.20 mostram para cada ambiente e tipo de material, a relação entre o custo total e a diferença de temperaturas internas com e sem revestimento, tanto para o verão quanto para o inverno respectivamente.

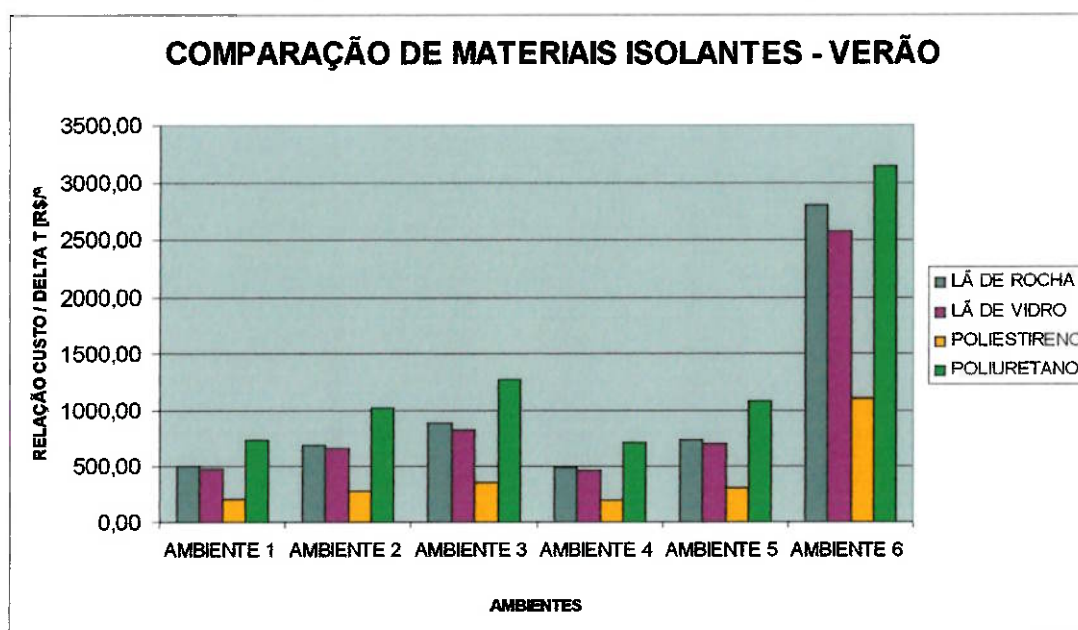


Figura 5. 19 Comparação de materiais isolantes no verão.

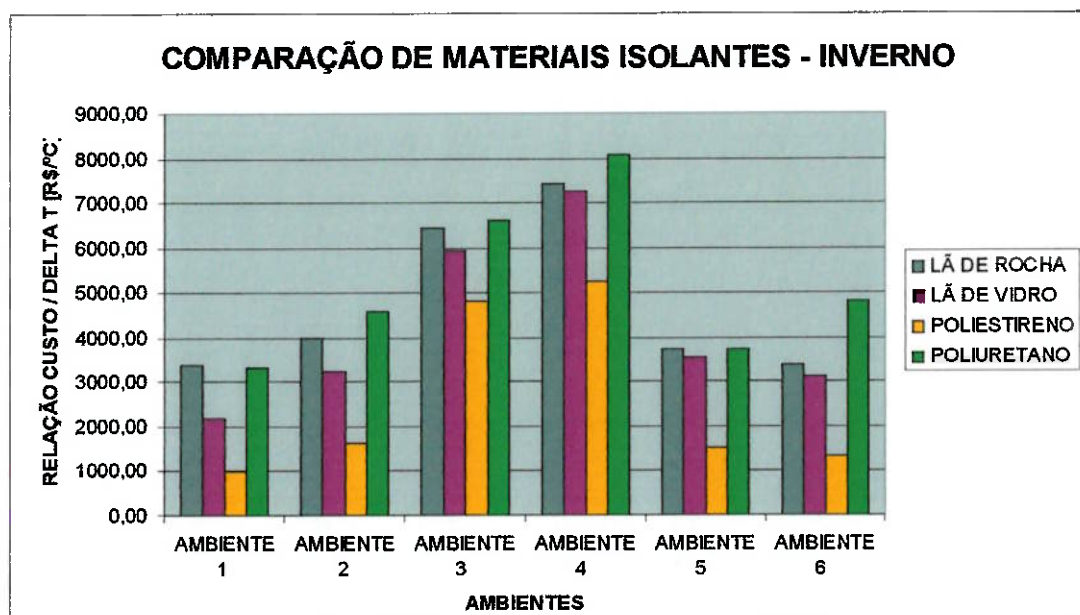


Figura 5. 20 Comparação de materiais isolantes no inverno.

É possível constatar com esses gráficos que o material que apresenta o melhor custo benefício é o poliestireno expandido, por em todos os casos apresentar o menor custo por diferença de temperatura em todos os ambientes.

6. CONCLUSÕES

A primeira parte do trabalho procurou determinar quais os pontos críticos de desconforto térmico existentes na creche central da USP, através da caracterização construtiva de seu prédio e o modelamento da troca de calor dos ambientes e também através da utilização de um questionário para avaliar a opinião dos colaboradores com relação ao ambiente em que trabalha.

Não é possível utilizar apenas os resultados dos questionários para a avaliação do desconforto térmico, pois são diferentes os números de pessoas que trabalham em cada ambiente e pelo fato de nem todos terem respondido adequadamente o questionário. Desse modo o questionário foi utilizado como parâmetro para identificar os possíveis ambientes, e os cálculos para o modelo serviram como comprovação e identificação das causas para este problema.

As zonas de conforto térmico propostas pela ASHRAE 55-92 variam entre os limites de temperatura de 19°C a 25°C, logo, foi possível identificar que os ambientes estudados poderão apresentar temperaturas inferiores de 19°C no caso de inverno favorecendo ao stress ao frio, e temperaturas bem acima de 25°C no verão configurando condições de exposição ao calor que podem provocar estresse térmico nos ocupantes.

Observando os valores de temperatura de equilíbrio interna resultantes do modelo utilizado, verifica-se que valores altos foram obtidos para as condições de verão, acima do que era esperado, inclusive considerando medições locais realizadas.

Foi possível perceber através dos cálculos que nos ambientes 3 e 6 a maior parcela da troca térmica entre os ambientes externos e internos foi devido ao teto. Já nos outros ambientes (1, 2, 4, e 5) esta parcela é devida principalmente pelas paredes, como mostram os gráficos gerados.

Como alternativa de solução para melhorar o conforto térmico dos ambientes estudados, foi analisado o uso de isolamento térmico interno adicionado às paredes e tetos.

Através da planilha gerada para a determinação das temperaturas internas nos ambientes, foi possível simular a utilização de isolamentos térmicos convencionais como a lã de rocha, a lã de vidro, o poliestireno expandido e o poliuretano.

Considerando que para um mesmo material disponível no mercado, existem várias alternativas para sua aquisição, foram utilizados opções recomendados pelo fabricante fixando-se as dimensões geométricas com o objetivo de diminuir o número de variáveis no equacionamento.

Alguns outros pré-requisitos foram também adotados, para a definição dos isolantes térmicos, por exemplo: riscos de incêndio, resistência mecânica e o uso em ambientes escolares ocupados por crianças.

É possível verificar a partir dos gráficos, que no verão há uma redução na temperatura nos dias de verão de até 9,60% com a utilização da lã de rocha, 11,95% com a utilização da lã de vidro, 11,82% com a utilização do poliestireno expandido e 12,81% com a utilização do poliuretano.

No caso do inverno foi verificado um aumento de até 7,54% com a utilização da lã de rocha, 9,43% com a utilização da lã de vidro, 9,43% com a utilização do poliestireno expandido e 9,51% com a utilização do poliuretano.

Foram calculadas as relações entre o custo total e a diferença de temperatura sem e com isolamento, estes valores levaram a concluir que o melhor material a ser utilizado é o poliestireno expandido, dentro das características pré-determinadas.

Analisando os resultados considera-se que alguns elementos críticos dos modelos e hipóteses merecem verificações quanto a suas aplicações no presente estudo.

São elas:

- Temperaturas dos ambientes internos vizinhos àqueles que foram estudados;
- Consideração da troca térmica com o solo nos ambientes investigados. Este fator pode contribuir para a redução dos valores das temperaturas internas de equilíbrio, pois o seu estado não é coincidente com o do ambiente em questão.
- Período de ocupação e iluminação dos ambientes, que possivelmente alteraram os resultados obtidos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) ALVES, P.M.C.; BARBOSA, M.J.; MAIA, M.A.; MANOEL, J.; SOUZA, C.A.B. *Análise das condições de Conforto Ambiental no Núcleo de Desenvolvimento infantil da UFSC: Uma Proposta de Estudo a Partir da Metodologia Ergonômica*. Florianópolis: UFSC, 1997.
- 2) ARAÚJO, V. M. D. *Parâmetros de conforto térmico para usuários de edificações escolares no litoral nordestino brasileiro*. São Paulo, 1996. Tese de Doutorado - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo.
- 3) ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*; Handbook of Fundamental, Atlanta, 2001.
- 4) ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*; Standard 55 – Environmental Conditions for Human Occupancy, Atlanta, 2001.
- 5) BOLLIGER JR., R.; MARIANI, A.L.C. *Programa smacna de educação continuada de tratamento de ar*, SMACNA Brasil, São Paulo, 2002.
- 6) CARLO, C. C. *Desempenho térmico de edificações*. Florianópolis: UFSC, 2005.
- 7) FANGER, P. O. *Thermal Comfort*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1970.
- 8) FARIA, I. P. *Estação Memória: lembrar como projeto. Contribuições ao estudo da mediação cultural*. São Paulo, 1999 (Dissertação de mestrado apresentada à ECA/USP).
- 9) GOULART, S., LAMBERTS, R., FIRMINO, S. *Dados Climáticos para projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras*. Florianópolis: UFSC, 1997.

- 10) INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. *Fundamentos da transferência de calor e de massa*. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.
- 11) LAMBERTS, R. *Desempenho térmico de edificações: cálculo da transmitância térmica e da resistência térmica de elementos e componentes*. Florianópolis: UFSC, 1996.
- 12) LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, R. O. F. *Eficiência energética na arquitetura*. São Paulo: PW Editores, 1997.
- 13) LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A. P. *Conforto térmico e stress térmico*. Florianópolis: UFSC, 2002.
- 14) MINAKI, C.; AMORIM, T. C. C. M. *Características de temperatura e conforto térmico em ambiente urbano e rural: Episódio de verão*. Presidente Prudente: UNESP, 2005.
- 15) SCARAZZATO, P.S.; *Investigação Sobre Critérios Para Determinação e Medição dos Níveis de Conforto Térmico*. São Paulo - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 1988.
- 16) VARGAS, M. R. *Resistência ao Fogo das Estruturas de Aço*. Rio de Janeiro, IBS/CBCA, 2003.
- 17) VILAR, W.; *Química e Tecnologia dos Poliuretanos*. Rio de Janeiro, 2004.
- 18) VITTORINO, F.; SATO, N. M. N.; AKUTSU, M. *Desempenho térmico de isolantes refletivos e barreiras radiantes aplicados em coberturas*. Curitiba, ENCAC-COTEDI, 2003.
- 19) XAVIER, A. A. P. *Condições de Conforto Térmico para Estudantes de 2º grau na região de Florianópolis*. Florianópolis, 1999. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

8. ANEXO

QUESTIONÁRIO

Prezado colaborador:

Você está sendo convidado a participar de um trabalho a respeito das condições de conforto térmico na creche da USP. Através de sua participação, teremos condições de determinar quais são os pontos críticos onde ocorre o maior desconforto térmico na creche. Assim sendo, solicitamos que você responda aos itens abaixo, com a maior sinceridade possível, pois da veracidade das informações, depende o sucesso deste trabalho.

1. Data: _____
2. Qual a sua idade? _____
3. Qual seu sexo?
4. Durante o **VERÃO**, em seu período de trabalho, marque qual a sua sensação térmica:

	9:00h	10:00h	11:00h	12:00h	14:00h	15:00h	16:00h	17:00h
COM MUITO CALOR								
COM CALOR								
LEVEMENTE COM CALOR								
NEUTRO								
LEVEMENTE COM FRIO								
COM FRIO								
COM MUITO FRIO								

5. Durante o **VERÃO**, em seu período de trabalho, de que maneira você se encontra?

	9:00h	10:00h	11:00h	12:00h	14:00h	15:00h	16:00h	17:00h
CONFORTÁVEL								
LEVEMENTE INCONFORTÁVEL								
INCONFORTÁVEL								
MUITO INCONFORTÁVEL								

6. Durante o **VERÃO**, em seu período de trabalho, como você gostaria de estar se sentindo?

	9:00h	10:00h	11:00h	12:00h	14:00h	15:00h	16:00h	17:00h
BEM MAIS AQUECIDO								
MAIS AQUECIDO								
UM POUCO MAIS AQUECIDO								
ASSIM MESMO								
UM POUCO MAIS REFRESCADO								
MAIS REFRESCADO								
BEM MAIS REFRESCADO								

7. Durante o **INVERNO**, em seu período de trabalho, marque qual a sua sensação térmica:

	9:00h	10:00h	11:00h	12:00h	14:00h	15:00h	16:00h	17:00h
COM MUITO CALOR								
COM CALOR								
LEVEMENTE COM CALOR								
NEUTRO								
LEVEMENTE COM FRIO								
COM FRIO								
COM MUITO FRIO								

8. Durante o **INVERNO**, em seu período de trabalho, de que maneira você se encontra?

	9:00h	10:00h	11:00h	12:00h	14:00h	15:00h	16:00h	17:00h
CONFORTÁVEL								
LEVEMENTE INCONFORTÁVEL								
INCONFORTÁVEL								
MUITO INCONFORTÁVEL								

9. Durante o **INVERNO**, em seu período de trabalho, como você gostaria de estar se sentindo?

	9:00h	10:00h	11:00h	12:00h	14:00h	15:00h	16:00h	17:00h
BEM MAIS AQUECIDO								
MAIS AQUECIDO								
UM POUCO MAIS AQUECIDO								
ASSIM MESMO								
UM POUCO MAIS REFRESCADO								
MAIS REFRESCADO								
BEM MAIS REFRESCADO								

10. Marque com um X, na figura abaixo, qual o local em que você passa a maior parte do tempo do seu trabalho:

