



ADMIR BASSO , HUGO CAMILO LUCINI , MAURICIO RORIZ
Departamento de Engenharia Civil
Universidade Federal de São Carlos

O presente trabalho desenvolve um conjunto de alternativas construtivas e recomendações para coberturas horizontais, tomando como base análises e simulações térmicas e ambientais realizadas através do programa computacional ARQUITROP por solicitação da empresa ENCOL SA-Engenharia, Comercio e Indústria, para satisfazer exigências construtivas em 14 das principais cidades brasileiras.

The present work intends to develop constructive solutions and recommendations for exposed horizontal roof-coverings. It was based upon thermal and ambient analysis and simulations realized through the ARQUITROP system (computerized thermal and ambient simulation program). The construction company ENCOL SA (Brasilia) have solicited this study to satisfy its buildings requirement in 14th of the main cities in Brazil.

DILATAÇÃO TÉRMICA

As vedações externas dos edifícios estão sujeitas a várias solicitações, entre elas as de origem térmica. Estas, têm uma variação diária e sazonal.

As solicitações térmicas no edifício vão provocar, entre outros efeitos, modificações dimensionais, isto é, movimentos de contração e dilatação. Estes movimentos podem ser dificultados em função dos vínculos que envolvem os elementos e componentes das edificações. Estas restrições podem provocar tensões que fazem surgir fissuras.

As movimentações térmicas de um material dependem das suas características físicas, do gradiente de temperatura e da frequência com que ocorre esta variação térmica. O valor das tensões verificadas em um edifício, por ação térmica, é função da magnitude da movimentação, das propriedades elásticas do material e do grau de vinculação a que está submetido.

As patologias por movimentação de ação térmica podem ter origem em deslocamentos diferenciados entre os elementos ou componentes de uma vedação do edifício. Os deslocamentos diferenciados podem ser provocados por três agentes: junção de materiais com diferentes coeficientes de dilatação térmica, a exposição de elementos ou componentes a situações diferenciadas de solicitações térmicas e existência de gradiente de temperaturas distintos em um mesmo material.

Cada material tem um coeficiente de dilatação térmica próprio (ver tabela) e, quando materiais cujos coeficientes são muito diferenciados, são vinculados, vão surgir movimentos distintos que levam ao surgimento de patologias.

Os elementos e componentes de uma edificação estão sujeitos a solicitações térmicas distintas em função de sua posição e da orientação do edifício. As diversas fachadas de um prédio não estão sujeitas às mesmas quantidades de radiações solares, assim como as

coberturas e fachadas não estão submetidas a um mesmo regime térmico. Estas distintas exposições provocam movimentações diferenciadas.

A cobertura de um edifício, objeto do presente estudo, está sujeita a todas as solicitações descritas acima.

As coberturas geralmente são constituídas de vários elementos com coeficientes de dilatação térmica diferenciados, o que, quando se adota soluções construtivas inadequadas, leva a problemas patológicos. As coberturas que têm isolamento à base de poliestireno devem possuir juntas para a sua expansão e não formar um conjunto monolítico, uma vez que o poliestireno, em média, dilata oito vezes mais que os demais elementos. O gradiente de temperatura no isolante (ver planilhas) é da ordem de vinte vezes superior ao que ocorre na laje de concreto ou argamassa.

Em função das solicitações a que esta submetida, a cobertura provoca nas vedações verticais a que está vinculada tensões que, sem uma adequada solução construtiva, provocam trincas horizontais ou, nos cantos, em diagonal.

Os vários elementos de uma cobertura, via de regra, estão com temperaturas distintas entre as suas duas faces. O limite admissível apresentado pela Encol SA, para que a laje de concreto não provoque tensões que resultem em trincas é de quatro graus centígrados.

As dilatações por ação térmica podem ser agravadas quando o elemento da cobertura está com um alto índice de umidade, isto porque, além da movimentação térmica há a movimentação higroscópica.

As coberturas sofrem ainda a ação de choques térmicos, isto é, grandes diferenciais de temperatura em um curto período de tempo, como ocorre quando há uma chuva. Outro agravante é quando o ambiente está submetido a um condicionamento artificial de refrigeração que provoca maiores gradientes de temperatura nos seus elementos.

condicionados termicamente ou não (refrigeração ou calefação);

A metodologia de trabalho consistiu em identificar, através de simulações em microcomputador com o programa ARQUITROP, soluções construtivas para coberturas que, considerando as exigências acima mencionadas, atendessem os seguintes indicadores de desempenho:

- a. Diferença máxima admissível entre as temperaturas superficiais da laje de cobertura e da laje de piso do último pavimento: seis graus centígrados;
- b. Diferença máxima admissível entre as temperaturas da face superior e da face inferior das lajes de cobertura: quatro graus centígrados.

Assim, para cada clima e para cada solução de cobertura, foram calculadas as espessuras mínimas, dentre as existentes no mercado, necessárias à cada tipo de isolante térmico, dependendo de seus coeficientes de condutibilidade. Estes coeficientes foram tomados considerando que, na medida em que absorvem a umidade do ar, os materiais perdem parte de sua capacidade de isolamento. Os valores adotados foram fornecidos pela própria ENCOL e são baseados em ensaios desenvolvidos nos laboratórios do IPT, em São Paulo.

CRITÉRIOS PARA AS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

A partir dos conceitos anteriores, na análise das soluções construtivas para as coberturas, considerou-se a problemática de transmissão de calor entre as diferentes camadas que compõem as mesmas, e os processos de dilatação/contração dos materiais utilizados, incorporando a presença de umidade em maior ou menor grau nessas camadas.

Teríamos portanto, duas situações básicas:

- a. Dilatação/Contração das camadas de Proteção, de Isolamento Térmico, de Impermeabilização e do Sistema Estrutural.
- b. Umidade presente nas camadas, principalmente nas de Isolamento Térmico, em forma líquida ou de vapor d'água.

A quantidade de umidade presente nos materiais, como já descrito, afeta também as movimentações térmicas dos mesmos, aumentando consideravelmente as exigências em relação às juntas de dilatação e à não vinculação das camadas.

A ação do calor e a presença de umidade nos materiais constitutivos da cobertura, especialmente os horizontais, obriga ao tratamento simultâneo do problema:

1. Desvincular ao máximo as camadas superpostas utilizando elementos intermediários que evitem a consolidação das mesmas: Papel Kraft, Argamassas Fracas, Areia Solta, etc.
2. Permitir o deslocamento horizontal do conjunto (Dilatação/Contração), sem afetar a integridade estrutural das diferentes camadas: Juntas de dilatação perimetrais e centrais.
3. Impedir no possível, o encharcamento das camadas inferiores à de Proteção Mecânica, facilitando o escoamento das águas superficiais, tanto por cima como por dentro das mesmas, até atingirem os ralos com superfícies impermeáveis.
4. Facilitar ao máximo a saída do vapor d'água contido nas camadas da cobertura, para evitar danos nos sistemas rígidos e, garantir a capacidade de isolamento térmico dos materiais utilizados com essa finalidade, com camadas superiores, e elementos de desvinculação das camadas (papel kraft, etc) permeáveis ao vapor

d'água.

Nas coberturas com telhado, o cuidado com os processos de Dilatação e Contração também deve existir, considerando que o gradiente térmico no isolante é muito alto.

As soluções construtivas adotadas respondem às questões acima, a partir da definição do posicionamento da camada de Impermeabilização junto à laje, segundo as Normas de Serviço de Projeto e Especificação de Impermeabilização da Encol S.A.

Isto leva a que, todos os materiais utilizados para o isolamento térmico da laje, devem responder corretamente às premissas de máximo isolamento térmico e mínima higroscopicidade, o que delimita o número de materiais disponíveis no mercado e as condições de utilização.

Uma outra vinculação entre o Sistema de Impermeabilização e o Isolamento Térmico, pode facilitar a obtenção de outras alternativas construtivas, com uma variedade maior de materiais e técnicas de utilização.

FATORES CLIMÁTICOS

Os climas das seguintes cidades foram considerados no presente estudo:

01. Belem	(PA)
02. Belo Horizonte	(MG)
03. Brasília	(DF)
04. Campinas	(SP)
05. Campo Grande	(MS)
06. Cuiabá	(MT)
07. Curitiba	(PR)
08. Goiânia	(GO)
09. Manaus	(AM)
10. Porto Alegre	(RS)
11. Rio de Janeiro	(RJ)
12. Salvador	(BA)
13. São Paulo	(SP)
14. Vitória	(ES)

Os dados de temperatura são registrados pelas estações climatológicas através de 24 medições diárias. Após 30 anos de observação são determinadas as características típicas (normais) de cada cidade. No Brasil, o último estudo com tal representatividade foi divulgado pelo Ministério da Agricultura e cobriu o período entre 1931 e 1960. No presente trabalho foram considerados esses dados para todas as cidades exceto Brasília, caso em que adotou-se os valores publicados pelo Ministério da Aeronáutica referentes ao período entre 1961 e 1965. Em relação às temperaturas os seguintes parâmetros merecem destaque:

1. Máxima Absoluta Mensal (MAX.ABS): a maior temperatura registrada, para cada mes, ao longo dos 30 anos;
2. Mínima Absoluta Mensal (MIN.ABS): a menor temperatura registrada, para cada mes, ao longo dos 30 anos;
3. Amplitude Absoluta Mensal (AMP.ABS): a diferença, para cada mes, entre MAX.ABS e MIN.ABS;
4. Média Mensal das Máximas (MED.MAX): para cada mes, a média aritmética entre as maiores temperaturas registradas ao longo dos 30 anos;
5. Média Mensal das Mínimas (MED.MIN): para cada mes, a média aritmética entre as menores temperaturas registradas ao longo dos 30 anos;
6. Amplitude Média Mensal (AMP.MED): para cada mes, a diferença entre MED.MAX e MED.MIN.

Tendo em vista o objetivo específico de reduzir a oscilação de temperatura nos elementos rígidos das coberturas o principal fator climático a ser conside-

A tabela a seguir apresenta o coeficiente de dilatação térmica dos materiais mais usuais em construção civil. É apresentada também, a dilatação térmica, milímetro/por metro linear, quando os materiais estão submetidos a uma diferença de temperatura de trinta graus centígrados.

Tabela de Coeficientes de Dilatação

	DT *10-6	EL KN/mm	30°C mm/m
Pedras Naturais:			
Calcáreo.....	7	10/80	0,00021
Basalto.....	12		0,00036
Granito	10	20/60	0,00030
Arenito	12	3/80	0,00036
Tijolos:			
Bloco de concreto.	12	10/25	0,00036
Cerâmica em placas	6		0,00018
Tijolo de barro...	8	4/26	0,00024
Sílico-calcário...	8	8/14	0,00024
Concretos e Argamassas:			
Concreto normal...	11	15/36	0,00033
Concreto celular..	11	3,2	0,00033
Con. agregado fino	17	15/36	0,00051
Argamassa cimento.	10	20/35	0,00030
Cimento-amianto...	10	14/26	0,00030
Polímeros:			
Polietileno duro..	160		0,00480
Poliestireno duro.	80		0,00240
Poliuretano.....	110		0,00330
Elastômeros.....	77		0,00230
Prolipolileno.....	18		0,00054

DT = coeficiente de dilatação térmica (°C*10-6)

EL = módulo de elasticidade (KN/mm)

DESEMPENHO TÉRMICO DE COBERTURAS: CONCEITOS BÁSICOS

O conceito de Desempenho Térmico, quando aplicado à um componente construtivo, normalmente envolve, no mínimo, três aspectos:

1. Desempenho do componente em relação ao micro-clima no interior do ambiente construído, ou seja: sua capacidade de proporcionar conforto térmico para os ocupantes;
2. Contribuição do componente no sentido de tornar o edifício econômico no consumo de energia, principalmente energia elétrica;
3. Estabilidade térmica das estruturas e revestimentos construtivos, evitando o surgimento de fissuras e outras patologias típicas de excessiva movimentação por processos de dilatação e contração;

O presente trabalho, embora vise atender especificamente à esse terceiro aspecto, seguramente irá contribuir também com os dois primeiros, conforto e economia, devido à recomendável vinculação entre os mesmos.

Estabilizar termicamente um componente construtivo implica em dois cuidados. Em primeiro lugar, atenuar as variações de sua temperatura ao longo do tempo e, em segundo lugar, reduzir os gradientes térmicos entre suas duas faces. No caso das coberturas a principal preocupação ocorre em relação aos elementos mais rígidos, as lajes, pois são estas que, pela sua vinculação, transmitem os movimentos para as outras partes da estrutura.

De todas as vedações de uma edificação, as coberturas são as que sofrem com maior intensidade a ação da radiação solar. O efeito conjugado entre radiação solar e temperatura do ar, dependendo do tipo de clima

e da hora do dia, pode elevar a temperatura da face superior das coberturas à mais de 80 graus centígrados. Quanto mais escuras forem essas superfícies maior será a quantidade de radiação absorvida e, portanto, mais altas as temperaturas. Uma cobertura com boa capacidade de reflexão (branca ou de alumínio) absorve apenas 5%, ou menos, da radiação solar incidente enquanto que uma superfície negra pode chegar a absorver mais de 90%.

A redução na variação de temperatura da laje dependerá do grau de isolamento térmico oferecido pelos outros elementos da cobertura. A resistência térmica de cada uma das camadas que constituem a cobertura é diretamente proporcional à espessura dessas camadas e inversamente proporcional ao coeficiente de condutividade do material. No caso de câmaras de ar, como ocorre nos áticos ou em elementos vazados (tijolos, lajotas, etc), a transmissão do calor se dará não por condução e sim por irradiação térmica de longo comprimento de onda. Nesse caso a resistência térmica dependerá do sentido do fluxo, do grau de estanqueidade da câmara e do coeficiente de emissividade das superfícies limítrofes. Este coeficiente de emissividade, é baixo apenas em superfícies espelhadas como, por exemplo, lâminas de alumínio.

O presente estudo foi desenvolvido por solicitação da empresa ENCOL S/A- Engenharia, Indústria e Comércio tendo em vista a necessidade de estabelecer procedimentos construtivos que evitem o surgimento de determinadas patologias provocadas por movimentações de origem térmica nos elementos rígidos de coberturas de edificações de múltiplos pavimentos. Dessas patologias, as mais frequentes são:

- a. Fissuras em revestimentos, lajes e alvenarias;
- b. Descolamento de revestimentos;
- c. Umidades localizadas ou generalizadas;
- d. Penetração de água de chuva por coberturas ou fachadas;

Mesmo quando os efeitos mais visíveis se apresentam nas fachadas, geralmente as causas principais se devem aos baixos índices de isolamento térmico das coberturas sendo essas, assim, o objeto que mereceu a maior atenção no desenvolvimento deste estudo. De acordo com a solicitação da ENCOL, os seguintes aspectos foram considerados:

- a. Especificidade das configurações climáticas das diversas regionais da empresa;
- b. Disponibilidade de materiais construtivos em cada regional;
- c. Compatibilidade entre as soluções apresentadas e os sistemas construtivos adotados pela empresa;
- d. Compatibilidade entre as soluções apresentadas e outros manuais já em fase de implantação como, por exemplo, o manual relativo à impermeabilização;
- e. Interesse em evitar um número excessivo de soluções alternativas, restringindo-se apenas às mais recomendáveis para cada caso;

A tipologia construtiva estudada possui as seguintes características principais:

- a. Edifícios habitacionais com 10 ou mais pavimentos, destinados à clientela de faixa de renda média-média e média-alta;
- b. Estruturas convencionais em concreto armado, moldado "in loco", em sistema de pilares, vigas e lajes;
- c. Vedações verticais externas em blocos cerâmicos de 8 furos (10 x 20 x 20), revestidos externamente com argamassa de cimento, cal e areia (3,0 cm) e internamente com gesso (1,0 cm);
- d. Coberturas transitáveis e não transitáveis (com áticos ou não);
- e. Ambientes ocupados ou não, ventilados ou não,

rado é a amplitude térmica. Tratando-se de problema que atinge a estrutura, considerou-se conveniente adotar, como medida de segurança, uma média aritmética entre as amplitudes médias mensais (AMP.MED) e as amplitudes absolutas mensais (AMP.ABS). Com base nesses valores foram estabelecidos dias típicos para cada mes do ano e para cada cidade. Os dias típicos mais desfavoráveis (com maiores amplitudes, ou seja: maiores médias entre AMP.MED e AMP.ABS) serviram para classificar os climas em quatro grupos:

Grupo A - Amplitude térmica entre 10 E 15 graus centígrados

Salvador	10.9
(*) Belém	12.9
Manaus	13.9
Vitória	14.1

Grupo B - Amplitude térmica entre 15 E 20 graus centígrados

Rio de Janeiro	15.9
(*) Brasília	19.3
Belo Horizonte	20.0

Grupo C - Amplitude térmica entre 20 E 25 graus centígrados

Campinas	22.8
(*) Porto Alegre	22.9
Curitiba	23.5
São Paulo	23.7

Grupo D - Amplitude térmica entre 25 E 30 graus centígrados

Campo Grande	26.0
(*) Cuiabá	26.2
Goiania	26.4

(*) Para efeito das simulações, as cidades marcadas com um asterisco foram tomadas como representativas de cada grupo climático.

As amplitudes térmicas, assim definidas, foram adotadas para o estabelecimento dos dias típicos à serem considerados nas simulações.

SIMULAÇÕES

As simulações foram realizadas para as cidades representativas dos grupos conforme descrito acima em uma primeira instância. As demais, foram realizadas para ser verificado se não havia nenhuma discrepancia na classificação climatológica.

As simulações do desempenho térmico das coberturas foram realizadas para duas situações críticas: verão e inverno. Isto representa, para uma dada cidade, a situação mais quente e a situação mais fria, respectivamente. Cabe ressaltar que as situações de verão e inverno, neste caso, não estão diretamente associadas às estações do ano, mas às médias das amplitudes conforme descrito em Fatores Climáticos.

Associadas às condições climatológicas extremas, foram consideradas as situações críticas de uso, isto é, a utilização de condicionamento artificial do ambiente. O condicionamento artificial foi estimado como estando as superfícies do ambiente à uma temperatura de vinte e seis graus centígrados. Dessa forma, quando as temperaturas superficiais (no verão ou no inverno) diferenciam em dois graus centígrados, acima ou abaixo de 26, foram recalculadas as temperaturas intermediárias. Para isto, a temperatura superficial interna foi considerada igual à vinte e seis graus centígrados, representando um resfriamento ou um aquecimento artificial do ambiente.

O ambiente padrão considerado nas simulações possui as seguintes características:

- .comprimento: 3.80m
- .largura: 2.50m
- .pé-direito: 2.60m
- .área envidraçada: 1.00m²
- .vidro comum sem proteção solar
- .duas fachadas, uma sem abertura
- .orientação oeste da fachada de 3.80m
- .orientação norte da fachada sem abertura
- .cor externa das fachadas clara

As janelas foram consideradas fechadas para efeito de ventilação, isto porque, com ventilação a temperatura interna do ambiente tende a se igualar à externa mascarando assim o choque térmico que a laje, objeto de estudo, sofreria. O ambiente foi considerado como tendo uma ocupação baixa, isto é, 0.3 pessoas por metro quadrado, durante as vinte e quatro horas do dia. As coberturas foram consideradas como tendo cor escura, situação mais comum, o que representa a maior absorção da radiação solar.

As soluções construtivas simuladas foram de três tipos:

- .coberturas transitáveis, tais como terraço de apartamento de cobertura
- .coberturas não transitáveis, tais como casa de máquinas ou teto do último pavimento
- .coberturas com telhas de fibro-cimento com áticos.

Os três tipos acima estão especificados nas Normas de Serviço de Projeto e Especificação de Impermeabilização da Encol S.A. (versão 88). Estas soluções podem ser termicamente isoladas com os seguintes elementos:

- para coberturas transitáveis e não transitáveis:
 - .camada de 4.0 cm de poliestireno expandido
 - .camada de 2.5 cm de poliestireno estrudado
 - .camada de 10 cm de concreto expandido moldado "in loco"
 - .camada de 10 cm de concreto expandido pré-moldado

- para coberturas com telha de fibro-cimento com ático:
 - .camada de 2.5 cm de poliestireno expandido
 - .camada de 2.5 cm de poliestireno estrudado
 - .camada de 5.0cm de concreto expandido moldado "in loco"
 - .camada de 10 cm de concreto expandido pré-moldado

Os isolantes não executados em obra têm suas espessuras em função do produto oferecido no mercado.

Foram também simuladas coberturas com telhas de fibro-cimento, sem isolamento térmico, com ático ventilado ou com ático sem ventilação.

Uma outra alternativa, mais econômica, de isolamento térmico em coberturas de fibro-cimento foi simulada, onde, uma camada de tijolo cerâmico com oito furos é assentada sobre a laje, tendo uma camada superior de argamassa para garantir que as lâminas de ar não sejam ventiladas, proporcionando um maior isolamento.

Nas fichas e planilhas sínteses as soluções descritas acima têm a seguinte simbologia:

- .coberturas transitáveis = TRANS
- .coberturas não transitáveis = NTRAN
- .coberturas com telha fibro-cimento = COBER FBCCI
- .poliestireno expandido = ISO/EXPAN
- .poliestireno extrudado = ISO/EXTRU
- .concreto expandido in loco = ISO/ESPUM
- .concreto expandido pré-moldado = ISO/CELUL

Local: CUIABÁ

Projeto	Dia Mes	Cobertura		Isolante		Laje		Variação	
		Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Iso.	Laj.
COB.FBCI	15/9	72.3	34.3	----	----	44.5	35.6	----	8.9
NVENTI	15/7	63.4	28.3	----	----	37.7	29.5	----	8.2
COB.FBCI	15/9	72.3	28.5	60.8	33.6	32.7	29.0	27.2	3.7
TFURA	15/7	63.4	24.8	53.3	29.3	28.5	25.3	24.0	3.2
TRAN.ISO	15/9	72.3	28.1	69.3	41.0	32.6	28.7	28.3	3.9
ESP.U MID	15/7	63.4	24.4	60.8	35.8	28.4	24.9	25.0	3.5
NTRA.ISO	15/9	72.3	28.4	69.1	41.8	32.8	28.9	27.3	3.9
ESP50%Um	15/7	63.4	24.7	60.6	36.5	28.5	25.2	24.1	3.3
NTRA.2	15/9	72.3	27.9	59.1	32.8	32.8	28.5	26.3	4.3
ISOL	15/7	63.4	24.1	51.7	28.4	28.4	24.6	23.3	3.8
NTRA2ISO	15/9	72.3	28.6	52.0	32.3	32.3	29.1	19.7	3.2
ESP	15/7	63.4	24.9	45.5	28.1	28.1	25.3	17.4	2.8
NTRA2ISO	15/9	72.3	29.3	54.5	31.9	31.9	29.6	22.6	2.3
8 cm	15/7	63.4	25.6	47.8	27.9	27.9	25.9	19.9	2.0

Local : BRASÍLIA

Projeto	Dia Mes	Cobertura		Isolante		Laje		Variação	
		Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Iso.	Laj.
TRAN.ISO	15/9	67.5	26.3	65.7	33.2	28.7	26.6	32.5	2.1
EXPAN	15/7	54.9	21.4	53.4	27.0	23.4	21.6	26.4	1.8
TRAN.ISO	15/9	67.5	26.0	65.6	33.0	28.4	26.3	32.3	2.1
EXP.COND	15/7	54.9	26.0	53.6	30.9	27.7	26.2	22.7	1.5
TRAN.ISO	15/9	67.5	26.5	65.9	32.4	28.6	26.8	33.5	1.8
EXTRU	15/7	54.9	21.4	53.6	26.2	23.1	21.6	27.4	1.5
EXT.COND	15/7	54.9	26.0	53.8	30.1	27.4	26.2	23.7	1.2
TRAN.ISO	15/9	67.5	25.6	65.1	36.1	29.3	26.1	29.0	3.2
ESPUM	15/7	54.9	20.6	52.9	29.2	23.6	21.0	23.7	2.6
ESP.COND	15/7	54.9	26.0	53.2	33.2	28.5	26.3	20.0	2.2
TRAN.ISO	15/9	67.5	25.7	65.1	36.7	29.3	26.1	28.4	3.2
CELUL	15/7	54.9	20.8	53.0	29.8	23.7	21.2	23.2	2.5
CEL.COND	15/7	54.9	26.0	53.3	33.6	28.5	26.3	19.7	2.2
NTRA.ISO	15/9	67.5	26.3	65.5	33.2	28.7	26.6	32.3	2.1
EXPAN	15/7	54.9	21.4	53.3	27.0	23.4	21.6	26.3	1.8
EXP.COND	15/7	54.9	26.0	53.5	30.8	27.7	26.2	22.7	1.5
NTRA.ISO	15/9	67.5	26.5	65.8	32.4	28.5	26.8	33.4	1.7
EXTRU	15/7	54.9	21.6	53.5	26.4	23.3	21.8	27.1	1.5
EXT.COND	15/7	54.9	26.0	53.7	30.1	27.4	26.2	23.6	1.2
NTRA.ISO	15/9	67.5	25.7	64.9	36.7	29.3	26.1	28.2	3.2
ESPUM	15/7	54.9	20.8	53.0	31.9	26.4	24.1	21.1	2.3
ESP.COND	15/7	54.9	26.0	53.1	33.6	28.5	26.3	19.5	2.2
NTRA.ISO	15/9	67.5	25.6	65.9	36.6	29.3	26.1	29.3	3.2
CELUL	15/7	54.9	20.7	53.6	29.7	23.7	21.1	23.9	2.6
CEL.COND	15/7	54.9	26.0	53.8	33.6	28.5	26.3	20.2	2.2
COB.FBCI	15/9	67.5	27.4	61.5	29.6	29.6	27.7	31.9	1.9
EXPAN	15/7	54.9	22.1	50.0	23.9	23.9	22.3	26.1	1.6
EXP.COND	15/7	54.9	26.0	48.9	27.5	27.5	26.2	21.4	1.3
COB.FBCI	15/9	67.5	25.3	54.9	29.9	29.9	25.9	25.0	4.0
ESPUM	15/7	54.9	20.3	44.6	24.1	24.1	20.8	20.5	3.3
ESP.COND	15/7	67.5	26.0	46.3	29.1	29.1	26.4	17.2	2.7
COB.FBCI	15/9	67.5	26.0	56.9	28.6	28.6	26.3	28.3	2.3
CELUL	15/7	54.9	21.1	48.6	23.4	23.4	21.4	25.2	2.0
CEL.COND	15/7	54.9	26.0	49.5	28.0	28.0	26.2	21.5	1.8
COB.FBCI	15/9	67.5	33.4	----	----	41.3	34.4	----	6.9
VENTI	15/7	54.9	24.3	----	----	31.4	25.2	----	6.2
VEN.COND	15/9	67.5	26.0	----	----	35.6	27.2	----	8.4
	15/7	54.9	26.0	----	----	32.7	26.8	----	5.9

Local: BELEM

Projeto	Dia Mes	Cobertura		Isolante		Laje		Variação	
		Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Iso.	Laj.
TRAN.ISO	15/11	57.7	30.6	56.5	35.2	32.2	30.8	21.3	1.4
EXPAN	15/10	60.0	30.3	58.7	35.3	32.0	30.5	23.4	1.5
EXP.CON	15/11	57.7	26.0	56.3	31.3	27.9	26.2	25.0	1.7
	15/10	60.0	26.0	58.5	31.7	28.0	26.2	26.8	1.8
TRAN.ISO	15/11	57.7	30.7	56.7	34.6	32.1	30.9	21.1	1.2
EXTRU	15/10	60.0	30.4	58.9	34.6	31.9	30.6	24.3	1.3
EXT.CON	15/11	57.7	26.0	56.5	30.5	27.6	26.2	26.0	1.4
	15/10	60.0	26.0	58.7	30.9	27.7	26.2	27.8	1.5
COB.FBCI	15/11	57.7	31.4	53.7	32.8	32.8	31.6	20.9	1.2
EXPAN	15/10	60.0	31.2	55.7	32.8	32.8	31.4	22.9	1.4
EXP.CON	15/11	57.7	26.0	52.9	27.7	27.7	26.2	25.2	1.5
	15/10	60.0	26.0	54.9	27.9	27.9	26.2	27.0	1.7
COB.FBCI	15/11	57.7	34.9	----	----	40.2	35.6	----	5.0
VENTI	15/10	60.0	35.4	----	----	39.5	35.9	----	3.6
VEN.CON	15/11	57.7	26.0	----	----	33.3	26.9	----	6.4
	15/10	60.0	26.0	----	----	33.8	27.0	----	6.8
COB.FBCI	15/11	57.7	33.9	----	----	40.3	34.7	----	5.6
NVENTI	15/10	60.0	34.1	----	----	41.0	35.0	----	6.0
COB.FBCI	15/11	57.7	30.0	50.4	33.2	32.7	30.3	17.2	2.4
TFURA	15/10	60.0	29.7	52.1	33.2	32.6	30.1	18.9	2.5

.camada de tijolo furado	=	/TFURA
.ático ventilado	=	/VENTI
.ático não ventilado	=	/NVENT

RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

As coberturas que contêm isolantes térmicos, em todas as regionais, têm um desempenho satisfatório, isto é, o diferencial térmico à que esta submetido a laje do último pavimento é inferior a quatro graus centígrados.

As coberturas com telhas de fibro-cimento com ático sem isolamento térmico, em todas as regionais, apresentam um desempenho insatisfatório, devendo ser abandonadas como solução construtiva.

O gradiente térmico que ocorre no isolante é, em média, vinte vezes maior que o gradiente verificado na laje. Considerando que, principalmente os poliestireno, têm um coeficiente de dilatação térmica muito maior que o coeficiente de dilatação térmica do concreto, há necessidade de desvincular a camada de isolante das demais camadas e, permitir seu deslocamento com juntas de dilatação.

Algumas regionais apresentam particularidades que estão comentadas a seguir:

CUIABÁ

Nesta regional as soluções construtivas com isolamento térmico em concreto expandido (moldado "in loco" ou pré-moldado) não foram simuladas por não serem disponíveis no mercado local.

A solução com camada de tijolo cerâmico furado, no período mais quente, apresentou um desempenho próximo do limite (3.7°C).

BRASÍLIA

A cobertura com telha de fibro-cimento e isolamento com uma camada de 5.0 cm de concreto expandido moldado "in loco", no verão, atingiu o limite de 4°C, o que recomenda utilizar uma camada mais espessa.

BELÉM

Nesta regional o mercado local não possibilita o uso de isolantes à base de concreto expandido.

CURITIBA

Com excessão da época de inverno, sem calefação, quando as coberturas com telhas de fibro-cimento sem isolamento não apresentam um desempenho aceitável todas as demais soluções são utilizáveis em qualquer situação.

PLANILHA SÍNTESE DAS TEMPERATURAS INTERMEDIÁRIAS

Local: PORTO ALEGRE

Projeto	Dia Mes	Cobertura		Isolante		Laje		variação	
		Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Iso.	Laj.
TRAN.ISO	15/1	56.9	29.3	55.7	33.9	30.9	29.5	21.8	1.4
EXPAN	15/7	35.4	19.7	34.7	22.3	20.6	19.8	12.4	0.8
TRAN.ISO	15/1	56.9	26.0	55.5	31.2	27.8	26.2	24.3	1.6
EXP.COND	15/7	35.4	26.0	35.0	27.6	26.6	26.1	7.4	0.5
TRAN.ISO	15/1	56.9	29.5	55.9	33.4	30.9	29.7	22.5	1.2
EXTRU	15/7	35.4	19.9	34.8	22.1	20.7	20.0	12.7	0.7
TRAN.ISO	15/1	56.9	26.0	55.7	30.4	27.5	26.2	25.3	1.3
EXT.COND	15/7	35.4	26.0	35.0	27.3	26.5	26.1	7.7	0.4
TRAN.ISO	15/1	56.9	28.5	55.3	35.6	31.0	28.8	19.7	2.2
ESPUM	15/7	35.4	18.6	34.4	22.8	20.1	18.8	11.6	1.3
TRAN.ISO	15/1	56.9	26.0	55.1	33.7	28.7	26.3	21.4	2.4
ESP.COND	15/7	35.4	26.0	34.9	28.4	26.8	26.1	6.5	0.7

Local: PORTO ALEGRE

Projeto	Dia Mes	Cobertura		Isolante		Laje		variação	
		Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Iso.	Laj.
TRAN.ISO	15/1	56.9	28.7	54.8	36.0	31.1	29.0	18.8	2.1
CELUL	15/7	35.4	18.6	34.2	23.0	20.0	18.8	11.2	1.2
TRAN.ISO	15/1	56.9	26.0	54.6	34.0	28.6	26.3	20.6	2.3
CEL.COND	15/7	35.4	26.0	34.7	28.4	26.8	26.1	6.3	0.7
NTRA.ISO	15/1	56.9	29.3	55.6	33.9	30.9	29.5	21.7	1.4
EXPAN	15/7	35.4	19.7	34.6	22.3	20.6	19.8	12.3	0.8
NTRA.ISO	15/1	56.9	26.0	55.4	31.2	27.8	26.2	24.2	1.6
EXP.COND	15/7	35.4	26.0	34.9	27.6	26.6	26.1	7.3	0.5
NTRA.ISO	15/1	56.9	29.5	55.8	33.4	30.9	29.7	22.4	1.2
EXTRU	15/7	35.4	19.9	34.8	22.1	20.7	20.0	12.7	0.7
NTRA.ISO	15/1	56.9	26.0	55.6	30.4	27.5	26.2	25.2	1.3
EXT.COND	15/7	35.4	26.0	35.0	27.3	26.5	26.1	7.7	0.4
NTRA.ISO	15/1	56.9	28.7	55.1	36.1	31.1	29.0	19.0	2.1
ESPUM	15/7	35.4	18.6	34.4	23.0	20.0	18.8	11.4	1.2
NTRA.ISO	15/1	56.9	26.0	55.0	34.1	28.6	26.3	20.9	2.3
ESP.COND	17/7	35.4	26.0	34.8	28.5	26.8	26.1	6.3	0.7
NTRA.ISO	15/1	56.9	28.6	55.8	36.1	31.1	28.9	19.7	2.2
CELUL	15/7	35.4	18.4	34.7	22.9	19.9	18.6	11.8	1.3
NTRA.ISO	15/1	56.9	26.0	55.7	34.1	28.7	26.3	21.6	2.4
CEL.COND	15/7	35.4	26.0	35.0	28.5	26.8	26.1	6.5	0.7
COB.FBCI	15/1	56.9	30.6	52.9	32.0	32.0	30.8	20.9	1.2
EXPAN	15/7	35.4	21.2	33.3	22.0	22.0	21.3	11.3	0.7
COB.FBCI	15/1	56.9	26.0	52.3	27.7	27.7	26.2	24.6	1.5
EXP.COND	15/7	35.4	26.0	34.0	26.5	26.5	26.1	7.5	0.4
COB.FBCI	15/1	56.9	28.9	48.6	31.9	31.9	29.3	16.7	2.6
ESPUM	15/7	35.4	19.7	30.7	21.4	21.4	19.9	9.3	1.5
COB.FBCI	15/1	56.9	26.0	47.7	29.4	29.4	26.4	18.3	3.0
ESP.COND	15/7	35.4	26.0	32.6	27.0	27.0	26.1	5.6	0.9
COB.FBCI	15/1	56.9	29.0	51.7	30.9	30.9	29.2	20.8	1.7
CELUL	15/7	35.4	19.4	32.4	20.5	20.5	19.5	11.9	1.0
COB.FBCI	15/1	56.9	34.1	---	---	39.4	34.8	---	4.6
VENTI	15/7	35.4	24.9	---	---	27.3	25.2	---	2.1
COB.FBCI	15/1	56.9	26.0	---	---	33.1	26.9	---	6.2
VEN.COND	15/7	35.4	26.0	---	---	28.2	26.3	---	1.9
COB.FBCI	15/1	56.9	29.1	49.6	32.3	31.8	29.4	17.3	2.4
TFURA	15/7	35.4	19.8	31.3	21.6	21.3	20.0	9.7	1.3

Local: CUIABÁ

Projeto	Dia Mes	Cobertura		Isolante		Laje		Variação	
		Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Iso.	Laj.
TRAN.ISO	15/9	72.3	29.4	70.4	36.6	31.9	29.7	33.8	2.2
EXPAN	15/7	63.4	25.8	61.7	32.1	28.0	26.1	29.6	1.9
EXP.COND	15/9	72.3	26.0	70.2	33.8	28.7	26.3	36.4	2.4
TRAN.ISO	15/9	72.3	29.7	70.7	35.8	31.8	30.0	34.9	1.8
EXTRU	15/7	63.4	26.1	62.0	31.4	28.0	26.3	30.6	1.7
EXT.COND	15/9	72.3	26.0	70.5	32.6	28.3	26.3	37.9	2.0
NTRA.ISO	15/9	72.3	29.4	70.2	36.6	31.9	29.7	33.6	2.2
EXPAN	15/7	63.4	25.8	61.6	32.1	28.0	26.1	29.5	1.9
EXP.COND	15/9	72.3	26.0	70.0	33.8	28.7	26.3	36.2	2.4
NTRA.ISO	15/9	72.3	29.7	70.5	35.8	31.8	30.0	34.7	1.8
EXTRU	15/7	63.4	26.1	61.9	31.4	28.0	26.3	30.5	1.7
EXT.COND	15/9	72.3	26.0	70.4	32.4	28.0	26.0	38.0	2.0
COB.FBCI	15/9	72.3	30.7	66.0	33.0	33.0	31.0	33.0	2.0
EXPAN	15/7	63.4	26.6	57.9	28.6	28.6	26.9	29.3	1.7
EXP.COND	15/9	72.3	26.0	65.3	28.5	28.5	26.3	36.8	2.2
COB.FBCI	15/9	72.3	35.7	---	---	44.2	36.8	---	7.4
VENTI	15/7	63.4	28.5	---	---	36.6	29.5	---	7.1
VEN.COND	15/9	72.3	26.0	---	---	36.7	27.3	---	9.4