Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

INFLUÊNCIA DO ENVELHECIMENTO NATURAL NA REFLETÂNCIA DE TELHAS DE FIBROCIMENO SEM AMIANTO

T. COELHO
Arquiteta, Mestranda
FEC/UNICAMP
SP/Brasil
thamyscoelho@gmail.com

C.GOMES
Professor Doutor
FEC/UNICAMP
SP/Brazil
cemgomes@fec.unicamp.br

K.DORNELLES
Professora Doutora
IAU/USP
SP/Brasil
kelend@sc.usp.br

RESUMO

No Brasil, as telhas onduladas de fibrocimento são caracterizadas como um componente construtivo de baixo custo, especialmente voltado à população de baixa renda. Também, este segmento corresponde a mais de 50% do setor de cobertura do país. Em sua composição, uma telha de fibrocimento sem amianto possui cerca de 75% de cimento Portland, 20% de calcário e 5% de fibras naturais e sintéticas. Dessa forma, como elemento de cobertura, está susceptível aos fenômenos da carbonatação e eflorescência, bem como deposição de fungos. A carbonatação, inerente aos compostos cimentícios, ocorre naturalmente mediante sua exposição ao CO_2 presente na atmosfera. O fenômeno da eflorescência, por sua vez, provém de processos cíclicos de saturação e secagem da água da chuva, que implica na lixiviação e impregnação, em sua superfície, de compostos ricos em $Ca(OH)_2$, potencializando a carbonatação. Ambos os processos, em via de regra, levam ao clareamento da superfície das telhas. Por outro lado, este elemento construtivo, quando instalado em coberturas com pouca inclinação e insolação, tende a escurecer mediante deposição de matéria orgânica e proliferação de fungos. A fim de analisar o desempenho térmico de telhas onduladas de fibrocimento após processos de envelhecimento natural, mediu-se a refletância à radiação solar em amostras retiradas destes elementos após 36 meses de exposição, comparando-as com as propriedades das telhas novas, com 28 dias de idade. O estudo permite concluir que, com relação às telhas novas com 28 dias de idade, as telhas carbonatadas apresentam os menores absortâncias solares médias, enquanto que aquelas com presença de fungos apresentaram os resultados mais críticos.
Palavras-chave: fibrocimento sem amianto, envelhecimento natural, carbonatação, eflorescência, conforto térmico.

ABSTRACT

In Brazil, the non-asbestos fiber cement roof tiles are characterized as a low cost component especially focused on the low-income population. Also, this segment accounts for over 50% of the country coverage sector. In its composition, a non-asbestos fiber cements roof tiles shingle about 75% Portland cement, 20% lime, and 5% of natural and synthetic fibers. Thus, as the cover member is susceptible to the phenomena of carbonation and efflorescence and deposition of fungi. The Carbonation process is inherent to cementitious compounds, naturally occurring through its exposure to CO_2 in the atmosphere. The phenomenon of efflorescence, in turn, derives from cyclic processes of saturation and drying with rain water, which implies the leaching and impregnation, on its surface, of compounds rich in $Ca(OH)_2$, increasing the carbonation. Both processes lead to whitening of the tiles' surface. Moreover, this construction component, when installed in roofs with shallow pitch and insolation tends to darken upon deposition of organic matter and fungal proliferation. In order to analyze the thermal performance of corrugated sheets of asbestos cement after natural aging processes, it measured the reflectance of solar radiation on the samples taken of these elements after 36 months, comparing them with new 28 days of age tiles properties. The study shows that with respect to the 28 days old new tiles, the carbonated ones have the lowest average solar absoptance, while those with the presence of fungi presented the most critical results.
Keywords: non-asbestos fiber cement, natural aging, carbonation, efflorescence, thermal performance.

1. INTRODUÇÃO

O mercado brasileiro de telhas para coberturas produz, anualmente, quatrocentos e vinte milhões de metros quadrados, sendo, deste total, 46,7% em fibrocimento, 37,4% em cerâmica, 11,7% em aço, 2,29% em alumínio e 1,82% demais

materiais [1], sendo que o segmento de fibrocimento apresenta, isoladamente, a segunda maior participação no faturamento anual das indústrias brasileiras de produtos do cimento [2]. A expressiva participação das telhas onduladas de fibrocimento neste segmento se justifica especialmente por seu baixo custo, sendo, então, um elemento construtivo mais acessível à parcela da população de baixa renda.

Tal realidade, associada ao fenômeno da autoconstrução, que, no Brasil, é o modo mais comum de provisão da habitação popular [3], e a inexistência de forros e lajes na maior parcela destas moradias, revela a importância desse componente construtivo, em especial, no que se refere ao conforto ambiental nestes lares. O tipo de material das telhas determinará a quantidade de radiação transmitida para o interior da edificação, contribuindo para a elevação da temperatura do ar interna [4]. Apenas o sistema de cobertura é responsável por até 70% das trocas térmicas de uma edificação, ou seja, possui papel protagonista nos aspectos relacionados eficiência energética [5], principalmente no caso de edificações térreas.

Uma cobertura pode ser chamada de *energeticamente eficiente* quando, entre outras características, possui alta *refletância solar*, ou seja, diminui-se a temperatura superficial do material para que uma quantidade de calor menor penetre na construção ou menos calor seja transferido para o ambiente interno [6]. Estratégias tais como a manipulação de cores da cobertura, para diminuir o consumo energético com condicionamento de ambientes das edificações, aplicadas por KONOPACKI et al. em [7]; bem como a utilização de coberturas frias ("cool roofs") nas edificações [8]; relacionam-se à da absortância solar, que influencia consideravelmente sobre os ganhos de calor solar das telhas.

As matérias-primas utilizadas na fabricação das telhas onduladas de fibrocimento sem amianto são: a matriz cimentícia (75%), cargas minerais (como o calcário e a sílica ativa) (20%), com reforço de fibras (5%) que podem ser sintéticas e/ou celulósicas, com variações de concentração (teores em massa). Dessa maneira, adquire resistência e a durabilidade elevadas, sendo a leveza e sua pequena espessura as principais vantagens na utilização desse material [9]. Como componente da cobertura, essas telhas estão sujeitas à deterioração, devido ao tempo de exposição aos agentes ambientais como chuvas, poluição e radiação solar.

Conforme [10] e [11] a carbonatação resulta de uma reação química entre as componentes do cimento e o dióxido de carbono presente na atmosfera, diminuindo, assim, a porosidade do material. Já a eflorescência está relacionada à lixiviação de alguns compostos, tal como a portlandita (hidróxido de cálcio), que prejudica o desempenho mecânico das telhas [12] [13]. A proliferação de fungos em materiais de base cimentícia é devida a fatores tais como localização e os agregados associados ao cimento Portland, como mostra o estudo de [14], onde os exemplares pesquisados advindos de cidades com menor amplitude térmica, temperaturas médias e umidade relativa do ar apresentaram menor concentração de fungos.

Constitui-se como objeto deste artigo a análise do desempenho térmico das telhas onduladas de fibrocimento sem amianto, submetidas ao envelhecimento natural, especialmente após sofrerem processos de carbonatação e eflorescência, bem como deposição de microrganismos filamentosos (fungos) em sua superfície.

Para verificar a interferência dessas alterações patológicas no desempenho destes elementos construtivos, foram realizadas análises de refletância das telhas.

2. ENVELHECIMENTO NATURAL

A literatura apresenta dois processos pelos quais os materiais de base cimentícia podem envelhecer: naturalmente (expostos à ação do tempo e a periodicidade da manutenção da estrutura em serviço); e de modo acelerado, em laboratório, a fim de simular situações naturais de envelhecimento e compreender a influência destas sobre as características físico-químicas do material.

O envelhecimento natural das telhas onduladas de fibrocimento pode alterar o comportamento da *absortância solar* do componente, presumindo-se que fenômenos como a carbonatação, eflorescência e a deposição de fungos alteram as características superficiais naturais do material. Absortância solar pode ser definida como o "Quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície" [15]. Ou seja, é um indicador de desempenho térmico relacionado ao acabamento ou às características superficiais do material.

O desempenho das características relacionadas ao acabamento dos materiais dependerá da distribuição espectral da radiação solar [16]. Radiação solar é a energia radiante emitida pelo sol, da qual apenas em torno de 35% é visível, na

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

faixa de frequência entre 400 e 700 Angstroms (ou 4 x 10-7m < λ < 7 x 10-7 m), enquanto que a região do ultravioleta (UV) situa-se entre 100- 380nm, e a do infravermelho (IV) > 780nm.

A carbonatação pode diminuir a porosidade e a irregularidade superficial típica das telhas de fibrocimento; a eflorescência pode alterar a cor superficial do material; e o depósito de materiais biológicos pode, dependendo da natureza dessa deposição, escurecer a telha ondulada de fibrocimento ou pouco influenciar de forma prática na sua aparência. Todas essas proposições serão avaliadas experimentalmente nesta pesquisa.

2.1 Processos de envelhecimento natural: carbonatação, eflorescência e deposição de fungos

A carbonatação é um processo físico e químico natural, que ocorre nos materiais de base cimentícia expostos a concentrações de dióxido de carbono (CO_2) da atmosfera a qual estão expostos. A decomposição do material progride da superfície externa para a interna, relacionando-se diretamente à facilidade que o CO_2 encontra para se difundir através da camada de cobrimento do concreto em um intervalo de tempo [10].

A reação entre os materiais de base cimentícia e o CO_2 libera da estrutura do material principalmente o carbonato de cálcio ($CaCO_3$), formado, nas telhas de fibrocimento, camadas periféricas que alteram o seu aspecto natural. Todavia, apenas o processo de carbonatação não tem um efeito negativo sobre o material de base cimentícia, como explica [11], ele pode até reduzir da porosidade do material e reforçar a sua superfície.

O CO_2 desencadeia a carbonatação mediante facilitadores como:

- A porosidade devida à relação água/cimento na composição dos materiais;
- Fatores inerentes ao clima ou às atividades econômicas predominantes numa região.

Apesar de comumente se fazer a relação entre altas concentrações de CO_2 à proximidade a centros urbanos, outros fatores inerentes ao clima ou às atividades econômicas predominantes numa região podem ser determinantes na ocorrência da carbonatação em telhas de fibrocimento. [17] cita processos que ocorrem distantes dos grandes centros urbanos que agridem a matriz cimentícia do concreto tais como a presença de indústrias, focos de queimada decorrentes de atividade agropecuária e até a influência do partido arquitetônico da edificação, responsável pela integração da estrutura ao microclima local.

Na literatura ha vários métodos descritos para determinação da profundidade da carbonatação, porém o mais empregado, devido a vantagens como o baixo custo e a facilidade de execução [10] é a aplicação de solução de fenolftaleína. A fenolftaleína é um componente orgânico, inodoro e incolor em meio básico, mas que, em contato com substâncias ácidas, adquire uma coloração rosada.

A utilização desta substância na determinação da profundidade do ataque de CO_2 nos materiais de base cimentícia é feita indiretamente, pois a cor que a amostra adquire representa onde o pH do material está maior que nove [11].

Já a *eflorescência* afeta estruturas em contato com água (pura e ácida) por longos períodos em ambientes como o de barragens, condutores de água, instalações para tratamento de resíduos radioativos, entre outros [11]. A eflorescência causa uma aparência esteticamente indesejável, de dimensões irregulares e coloração que varia de acordo com a orientação da edificação [18], além do aumento da porosidade e permeabilidade, e perda de resistência mecânica do material [11].

O processo de eflorescência do cálcio dos materiais de base cimentícia é resumido por [19] nas seguintes etapas: a) a gradiente de concentração entre porosidade e a presença de água levam a difusão dos íons de cálcio; b) em seguida, a porosidade é reduzida e c) o cálcio solidificado se dissolve gradualmente.

Por fim, a deposição de microrganismos filamentosos (fungos) é o último processo de envelhecimento de telhas onduladas de fibrocimento abordado nesta pesquisa, capaz de reduzir o seu desempenho mecânico e térmico. Assim como no processo de carbonatação, a poluição dos grandes centros urbanos também tem um papel relevante na manifestação biológica em compostos de fibrocimento, uma vez que as partículas em suspensão no ar, devido à queima de combustíveis fósseis, nutrem os fungos e facilitam a sua proliferação [14].

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

3. MÉTODO

A fim de analisar o desempenho térmico das telhas onduladas de fibrocimento sem amianto, submetidas ao envelhecimento natural, especialmente após sofrerem processos de carbonatação e eflorescência, bem como deposição de microrganismos filamentosos (fungos) em sua superfície, procedeu-se as seguintes etapas metodológicas:

- Coleta de amostras de 5cm x 5cm de telhas onduladas de fibrocimento, com idades de 28 dias e 36 meses, envelhecidas na cidade de Campinas, estado de São Paulo, região sudeste do Brasil;
- Avaliação visual dos processos de envelhecimento;
- Ensaios de refletância solar;

3.1 Coleta de amostras

Para a realização das análises, foram empregadas telhas onduladas de fibrocimento sem amianto, produzidas com a tecnologia "Cimento Reforçado por Fibra Sintética". Foram consideradas telhas recém-produzidas, aos 28 dias de idade, consideradas então como referência.

As amostras envelhecidas naturalmente foram selecionadas após exatos 36 meses de produção (03 anos), de forma a ser possível identificar a presença dos processos de carbonatação, eflorescência, bem como deposição de fungos filamentosos e matéria orgânica. As telhas envelhecidas datam de outubro de 2012 conforme identificação do fabricante.

Para análises dos processos de envelhecimento e de refletância solar foram extraídas amostras das telhas, no tamanho de 5cm x 5cm, especialmente da região plana localizada no canal do componente construtivo conforme apresentado na Figura 1 a seguir. Foram extraídas 03 amostras para cada análise.

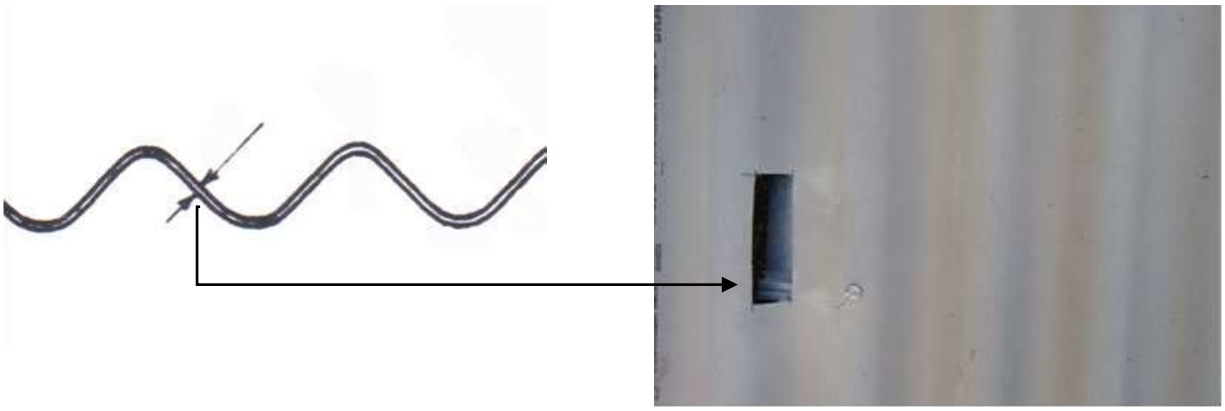


Figura 1: Local da retirada das amostras para análises de envelhecimento e refletância solar.

3.2 Avalição visual dos processos de envelhecimento

Recomenda-se que a aferição da carbonatação seja visual, e a diferença entre a porção carbonatada e não carbonatada do material realizada com uma régua graduada em milímetros [20]. Os ensaios de carbonatação com uso de fenolftaleína foram realizados no laboratório de materiais de construção (LMC) da faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP.

Para verificação da eflorescência e presença de fungos filamentosos foi realizada a identificação visual na superfície das telhas.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

3.3 Ensaios de refletância solar

A medição de refletância com uso de espectrofotômetro foi realizada em três amostras de 5cm x 5cm de telhas de fibrocimento novas de referência, carbonatadas, com eflorescência e com fungos. As amostras apresentavam aspecto variado devido à diferença de idade da predominância do tipo de envelhecimento natural que as acometia.

Objetivamente, a obtenção das absortâncias para esta pesquisa adotou o seguinte método:

- Obtenção das Refletâncias (ρ) por meio do espectrofotômetro da fabricante Varian, modelo Cary 5G;
  Telha nova: 3 amostras (N1; N2 e N3);
  Telha carbonatada: 3 amostras (C1; C2 e C3);
  Telha carbonatada e com eflorescência: 3 amostras (C4; C5 e C6);
  Telha com fungos (manifestações biológicas): 3 amostras (F1; F2 e F3);

- Média total das *refletâncias* e na faixa do espectro solar (300 a 2500 nm) correspondente a radiação Ultravioleta (UV); visível (VIS); e ao infravermelho (IV);

- Correção dos valores de refletância ao espectro solar de referência (Padrão), recomendado pela ASTM E903-12
  Ex: N1 (N2; N3; C1...F1...) x SolPadr = *Refletância Ajustada*;

- Média total das refletâncias ajustadas na faixa do espectro solar correspondente a radiação Ultravioleta (UV); ao visível (VIS); e ao infravermelho (IV); e ao Ultravioleta (UV);

- Cálculo da refletância total ajustada (produto da média total das refletâncias ajustadas, pela média total das refletâncias, por faixa do espectro);

- Obtenção da absortância solar (α) das 12 amostras por meio da equação da termodinâmica:

  α = 100%- ρ (RefTotAjust de N2; N3; C1...F1...)

- Elaboração de gráficos de absortância para discussão dos resultados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados os resultados dos ensaios de carbonatação das telhas, por meio da aplicação da fenolftaleína. Na telha nova com 28 dias de idade, ilustrada na Figura 2, pode-se observar que toda a espessura da amostra reagiu com o composto químico, apresentando a coloração avermelhada e indicando que o material ainda não passou pelo processo de carbonatação.



Figura 2: Amostra de telha nova não carbonatada

Comparativamente, são apresentados na Figura 3 os resultados obtidos das telhas com 36 meses de idade. Observa-se que a região não carbonatada corresponde a uma pequena parcela do interior da telha.

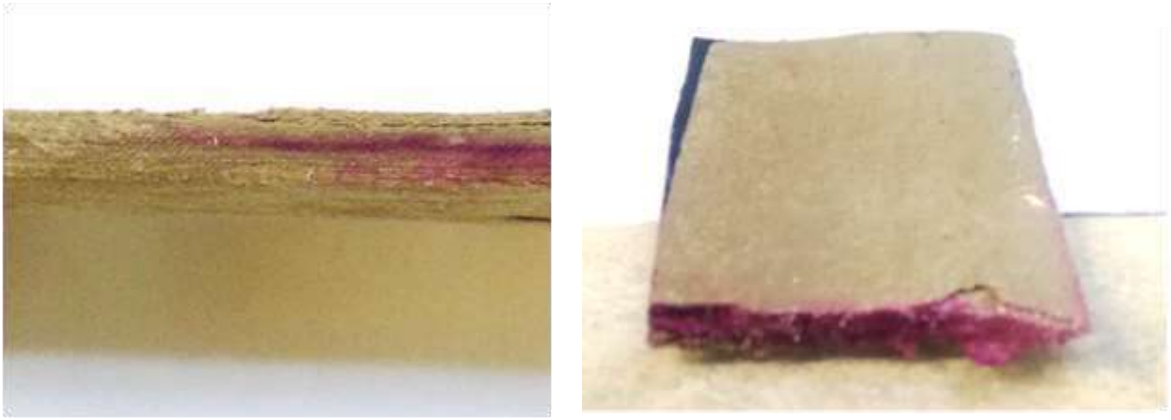


Figura 3: Amostras de telha carbonatada aos 36 meses

A literatura [10] disserta que a carbonatação é considerada uma das principais manifestações patológicas, por afetar a durabilidade dos compósitos de cimento, como por exemplo, o concreto armado e o fibrocimento. Esse processo de envelhecimento se da por meio da estrutura de poros, onde os subprodutos terminam por se depositar, alterando, de acordo com [11] características mecânicas e químicas do componente.

A carbonatação ocorre mais lentamente em ambientes secos ou saturados, com elevada umidade. Ou seja, a penetração de agentes químicos responsáveis por esse processo vai depender da saturação dos poros do compósito [10]. A cidade de Campinas, por apresentar clima tropical de altitude, pode ser caracterizada como de baixo índice pluviométrico e grande amplitude térmica [21].

As amostras da telha com presença de fungos, mostradas na Figura 4, foram retiradas para ensaio de absortância:



Figura 4: Identificação visual da presença de fungos.

Não está entre os objetivos de esta pesquisa identificar qual o tipo de manifestação biológica que se dá sobre esse tipo de material. Porém, de acordo com [22] sabe-se que bactérias e fungos fototróficos, ou seja, que necessitam da luz solar para a realização de reações químicas para alimentação, são os que mais comumente se fixam nas telhas onduladas de fibrocimento. [14] disserta, também, que a poluição é um importante facilitador da contaminação por fungos da superfície de telhas, tendo em vista que fornece material que pode ser utilizado como nutriente a esses organismos.

A Tabela 1 sintetiza os resultados médios de *Absortância Solar*, calculadas a partir dos dados de refletância fornecidos pelo método do espectrofotômetro com esfera integradora.

Para se chegar a um valor que caracterize o comportamento térmico de cada telha, aferiu-se uma média aritmética simples dos resultados de absortância obtidos para cada amostra (ex: média de N1;N2;N3), por região do espectro, a qual nomeou-se *Absortância média ajustada*, onde*:*

- ESPECT.: média dos valores de absortância das amostras, não ajustados ao espectro solar;
- AJUSTADA: média dos valores de absortância das amostras, ajustados ao espectro solar.

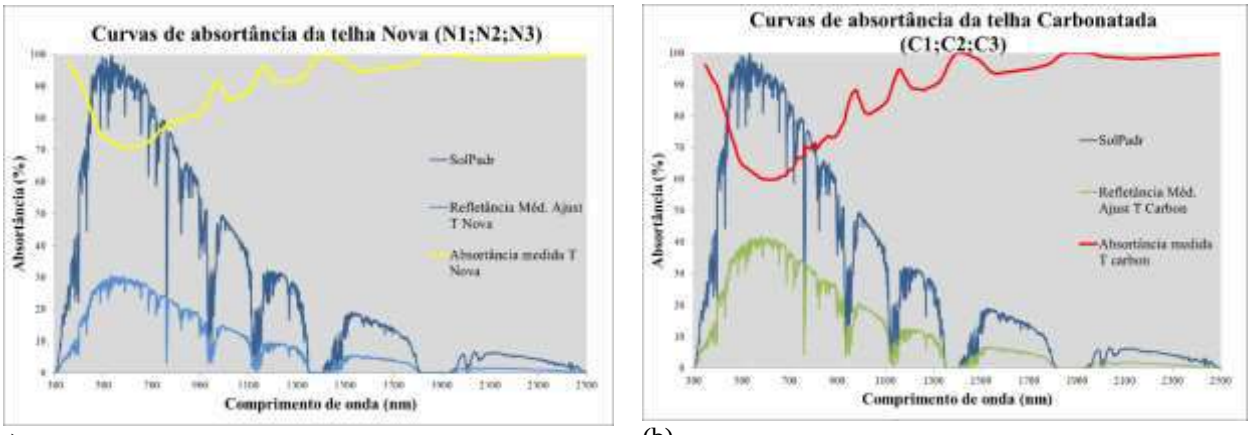
Tabela 11 – Absortâncias medidas em espectrofotômetro e ajustadas ao espectro solar padrão (%)

Faixa do espectro:	Ultravioleta		Visível		Infravermelho		Total (Solar)	
	Espect.	Ajustada	Espect.	Ajustada	Espect.	Ajustada	Espect.	Ajustada
Telha Nova	76,3	76,0	70,3	70,1	72,8	70,6	72,8	70,5
Telha carbonatada	65,9	66,1	59,0	58,7	65,4	59,7	65,2	59,7
Telha Carbonatada/Efloresc	63,9	63,9	59,2	59,0	65,4	60,2	63,8	60,2
Telha com Fungos	88,1	88,1	84,9	84,9	76,9	82,0	84,9	82,0

Os resultados por conjunto de amostras mostrou que aquelas com presença de fungos, devido a irregularidade própria da manifestação biológica sobre elementos construtivos, apresentaram maiores diferenças de absortância solar entre si e entre as faixas do espectro, sobretudo naquela correspondente a radiação do infravermelho.

As amostras carbonatadas e com eflorescência obtiveram resultados de absortância solares mais próximos entre si, pois a difusão do CO_2 presente na atmosfera se da de modo uniforme nos poros da matriz cimentícia, formando uma camada mais compacta e densa, como explica Pizzol et al [25]. O aumento da densidade das camadas exteriores da telha que passou pelo processo de carbonatação.

Nas Figuras 5 e 6 são apresentadas as curvas espectrais de absortância medida da telha nova, carbonatada, carbonatada com efeito simultâneo da eflorescência, e com fungos, individualmente e comparativamente ao espectro solar tomado como padrão em [23] por [24].



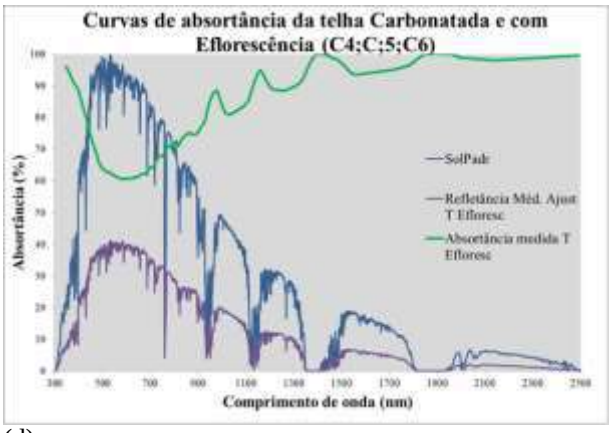
(a) (b)

Figura 5: Curvas espectrais de absortância da telha nova (a) e carbonatada (b)

As amostras carbonatadas apresentaram a maior diminuição de absortâncias medidas na faixa de radiação visível do espectro, pois o processo de envelhecimento concomitante de carbonatação e eflorescência modifica características superficiais das amostras, tornando-as mais densas e com acúmulo de sais na superfície.



(c)



(d)

Figura 6: Curvas espectrais de absortância da telha com fungos (c) e com eflorescência (d).

As maiores diferenças entre as absortâncias das amostras encontram-se na região do espectro que corresponde a luz visível. Em todas as faixas do espectro, a telha carbonatada apresentou os melhores resultados de absortância, inferindo-se que proceda da diminuição da porosidade e do deslocamento de substâncias alcalinas para as extremidades do material, clareando a superfície e refletindo a radiação solar, com maior eficácia na faixa da radiação visível. A situação mais crítica foi observada nos resultados de absortância da telha com presença de fungos, devido ao escurecimento característico da natureza dos fungos que nela se depositam, elucidado anteriormente.

Todavia, também se observa diferenças em menor intensidade na faixa do infravermelho (>780nm até 1,3µm), onde a telha envelhecida com presença de fungos atinge picos de absortância 96,5%. A região do infravermelho é a aquela onde se concentra a maior parte da energia responsável pelos ganhos de calor do material. Quando um elemento construtivo absorve aproximadamente toda a radiação solar que sobre ele incide, representa um agente prejudicial ao conforto térmico do usuário, pois essa energia converter-se-á em radiação de onda longa, aquecendo os ambientes imediatamente abaixo do elemento construtivo.

Esses resultados são importantes quando a maior parcela consumidora das telhas onduladas de fibrocimento, no Brasil, dispõe recursos limitados. A possibilidade de tirar partido de uma determinada característica que um componente da cobertura adquira com o tempo para mitigar a transferência de calor entre os meios interno e externo das edificações, como aquelas inerentes ao processo de carbonatação, é importante como estratégia passiva para reduzirem-se os gastos com condicionamento do ambiente interno e com a substituição de peças, tornando a edificação mais energeticamente eficiente. Todavia, ainda é necessário estabelecer mecanismos de controle sobre esses processos para que possam ser utilizados a favor do melhor desempenho térmico.

5. CONCLUSÃO

A partir do método experimental proposto, pode-se concluir que:

- A menor absortância solar das telhas onduladas de fibrocimento que passaram por processos naturais de carbonatação e eflorescência, contribui para reduzir os ganhos de calor solar pelas edificações;

- A partir da região do espectro do infravermelho (>750nm), a diferença entre as absortâncias das telhas decresceu até igualarem-se entre ~1,5µm e ~2µm; concluindo-se que, na região do espectro onde se concentra a maior parte das ondas eletromagnéticas, responsáveis pelo aquecimento do fechamento dos edifícios, a diferença no desempenho térmico entre as telhas novas com 28 dias de idade e envelhecidas ha 36 meses gradativamente diminuiu.

Não se quantificou a influência de outros aspectos relacionados aos processos de envelhecimento como alterações na porosidade e rugosidade do componente, que possam influenciar sobre o desempenho térmico destes. Outras investigações, portanto, são necessárias para se cobrir a lacuna no conhecimento identificada por esta pesquisa.

O envelhecimento natural de telhas onduladas de fibrocimento sem amianto pode afetar o desempenho térmico do componente quando causam alterações estruturais e superficiais, capazes de modificar a capacidade de troca de calor

por radiação, tendo-se como referência o comportamento térmico das telhas novas com 28 dias de idade. Nesta pesquisa, essa diferença foi percebida sobretudo na faixa visível do espectro solar.

O estudo do desempenho térmico de telhas onduladas de fibrocimento sem amianto, envelhecidas naturalmente, permite concluir que as telhas que reagiram ao composto químico *fenolftaleína* e, portanto, comprovadamente carbonatadas, apresentam as menores absortâncias solares médias em comparação as novas, e portanto, menor absorção da radiação solar. De acordo com a revisão de literatura, os compósitos cimentícios que passam por esse processo de envelhecimento apresentam alterações tais como diminuição da porosidade, aumento da resistência mecânica superficial e, caso também ocorra deslocamento de substâncias alcalinas (Eflorescência), clareamento irregular superficial. Infere-se que essas alterações são as responsáveis pelo melhor desempenho térmico apresentado pelas telhas onduladas de fibrocimento carbonatadas após 36 meses de idade.

5. AGRADECIMENTOS

A Universidade Estadual de Campinas e à Universidade Federal de São Carlos pelo apoio técnico.

6. REFERÊNCIAS

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). Mercado de fibrocimento continua crescendo... (Notícia). 2003. Disponível: em: http://notes.abcp.org.br:8080/producao/clipp/clipp.nsf/59dac160bc7df2ba03256aef00407549/05c3656fa389365103256d0b006b4415?OpenDocument. Acesso em: 20 jan. 2016.

[2] SINOPROCIM. Dados setoriais de 2013.Faturamento Nacional do Setor. Disponível em: http://sinaprocim.org.br/portal/wp-content/uploads/2015/04/faturamento-2013.pdf. Acesso em: 17 nov. 2015.

[3] BALTHAZAR, Renata Davi Silva. *A permanência da autoconstrução*: um estudo de sua prática no Município de Vargem Grande Paulista. 2012. Dissertação (Mestrado em Habitat) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16137/tde-02072012-132335/>. Acesso em: 02 dez 2015.

[4] CONCEIÇÃO, Maristela N. Da et al. *Desempenho de telhas de escória de alto forno e fibras vegetais em protótipos de galpões*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 12, n. 5, p. 536–539, 2008.

[5] VIJAYKUMAR, K.C.K.; SRINIVASAN, P.S.S.; DHANDAPANI, S. *A performance of hollow clay tile (HCT) laid reinforced cement concrete (RCC) roof for tropical summer climates*. Energy and Buildings, v. 39, n. 8, p. 886–892, 2007. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778806002507>.

[6] TEIXEIRA, C. F. B. *Análise de desempenho térmico de telhas de fibrocimento tratadas com revestimentos brancos e submetidas à aspersão de água.*Tese de doutorado. Universidade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo da (FEC-UNICAMP). Campinas, Brasil: UNICAMP, 2013.

[7] KONOPACKI, S. et al. *Cooling Energy Savings Potential of Light Colored Roofs for Residential and Commercial Building in Us Metropolitan Areas*. The Environmental Protection Agency. Benkerley, 1997.

[8] FERRARI, C. et al. *Design of a cool color glaze for solar reflective tile application*. Ceramics International, v. 41, p. -, 2015.

[9] Sindicato Nacional da Indústria de Produtos de Cimento. SINAPROCIM. *Fibrocimento*. S/D. Disponível em: http://www.sinaprocim.org.br/Upload/Esp_Tecn/fibrocimento.pdf. Acesso em 01 out 2015.

[10] TASCA, Maisson. *Estudo Da Carbonatação Natural De Concretos Com Pozolanas*: Monitoramento em longo prazo e análise da microestrutura. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, 2012. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/ppgec/wp-content/uploads/dissertacao_maisson_tasca.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2015.

[11] GLASSER, F. P.; MARCHAND, J.; SAMSON, E. *Durability of concrete* — Degradation phenomena involving detrimental chemical reactions. Cement and Concrete Research, v. 38, n. 2, p. 226–246, 2008.

[12] SAGUES, Alberto a et al. Carbonation in Concrete and Effect on Steel Corrosion. Department of Civil and Environmental Engineering University of South Florida. p. 255 p., 1997. Disponível em: <http://ntl.bts.gov/lib/20000/20000/20046/PB98106735.pdf>. Acesso em 01 out 2015.

[13] DIAS, C. M R et al. *Envelhecimento de longo prazo de telhas onduladas de fibrocimento* – O efeito da carbonatação, lixiviação e chuva ácida. Cement and Concrete Composites, v. 30, n. 4, p. 255–265, 2008.

[14] TANACA, H.K. et al. Discoloration and fungal growth on three fiber cement formulations exposed in urban, rural and coastal zones. Building and Environment, v. 46, n. 2, p. 324–330, 2011. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132310002362>.

[15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15220: 2005. *Desempenho térmico de edificações Parte 1*: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro. 8p.

[16] PEREIRA, Cláudia Donald et al. *Guia de medição e cálculo para refletância e absortância solar em superfícies opacas* (v . 1). Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. 1 ed. Florianópolis: CB3E - Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações, 2015. Disponível em: <http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Guia_medicao_refletancia_CB3E_v1.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2015

[17] CAFANGE, Daniele Maria Pilla Junqueira. *Estudo de métodos e medidas auxiliares para o controle da resistência à carbonatação de concretos estruturais de cimento Portland*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-06042011-130020/>. Acesso em: 10 nov. 2015

[18] DOW, C.; GLASSER, F. P. *Calcium carbonate efflorescence on Portland cement and building materials*. Cement and Concrete Research, v. 33, n. 1, p. 147–154, 2003.

[19] WAN, K. et al. *Spatial distribution of the increased porosity of cement paste due to calcium leaching*. Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed., v. 30, n. 4, p. 735–744, 2015.

[20] INTERNATIONAL UNION OF LABORATORIES AND EXPERTS IN CONSTRUCTION MATERIALS, SYSTEMS AND STRUCTURES - RILEM. *CPC-18: Measurement of hardened concrete carbonation depth*. Materials and Structures, v. 21, p. 453–455, 1988.

[21] CEPAGRI, Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. *Clima de Campinas*. campinas: [s.n.]. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outrasinformacoes/climadecampinas.html>. Acesso em: 12 nov. 2015.

[22] SHIRAKAWA, M. A. et al. *Fungal and phototroph growth on fiber cement roofs and its influence on solar reflectance in a tropical climate.* International Biodeterioration Biodegradation, v. 95, p. 1–6, 2014.

[23] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). G173 – 12: *Standard Tables for Reference Solar Spectral Irradiances*: Direct Normal and Hemispherical on 37° Tilted Surface. ASTM International, 2012a

[24] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). E903 – 12: *Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres*. ASTM International, 2012.

[25] PIZZOL, V. D. et al. Effect of accelerated carbonation on the microstructure and physical properties of hybrid fiber-cement composites. Minerals Engineering, v. 59, p. 101–106, 2014.