MEDIÇÕES ESPECTROFOTOMÉTRICAS DE SISTEMAS DE JANELA UTILIZANDO LÍQUIDOS TRANSPARENTES (*TRANSWALLS*)[1]

PIFFER, YURI F., Universidade Federal de Santa Catarina, email: yuripiffer@hotmail.com;
MIZGIER, MARTIN O., Universidade Federal de Santa Catarina, email: martin.ordenes@ufsc.br;
MARINOSKI, DEIVIS L, Universidade Federal de Santa Catarina, email: deivis.marinoski@ufsc.br

ABSTRACT

This paper presents the measurement of specular transparent liquids' spectroscopy in the solar wavelength range with normal incidence for Transwall filling purposes. Transwalls can be described as passive solar building's envelope system with direct light gain, but thermal attenuation (spectral selectivity). It has been tested different samples of water, solutions, alcohols and acids, so as float glass 3mm and two prototypes varieties: double glass with internal spacing (gap) of 2mm and 10mm filled with the liquids listed above or empty. All experiments have been carried out in the spectrophotometer Lambda 1050 and compared by Visible Transmittance (T_{vis}) and Solar Transmittance (T_{solar}). Also, T_{vis} and T_{solar} data from 4mm green glass and 12mm Azuria glass have been collected from the National Fenestration Rating Council (NFRC) list for analogy purposes. The results have shown promising spectral selectivity of thin water samples with higher light transmittance than double glass systems and considerable infrared attenuation. Also, the measurements pointed the impact internal reflections can cause to light transmittance when varying from air to water refractive index.

***Keywords**: Transwall, Spectrometry, Water wall, Spectrally selective, Façade's innovation.*

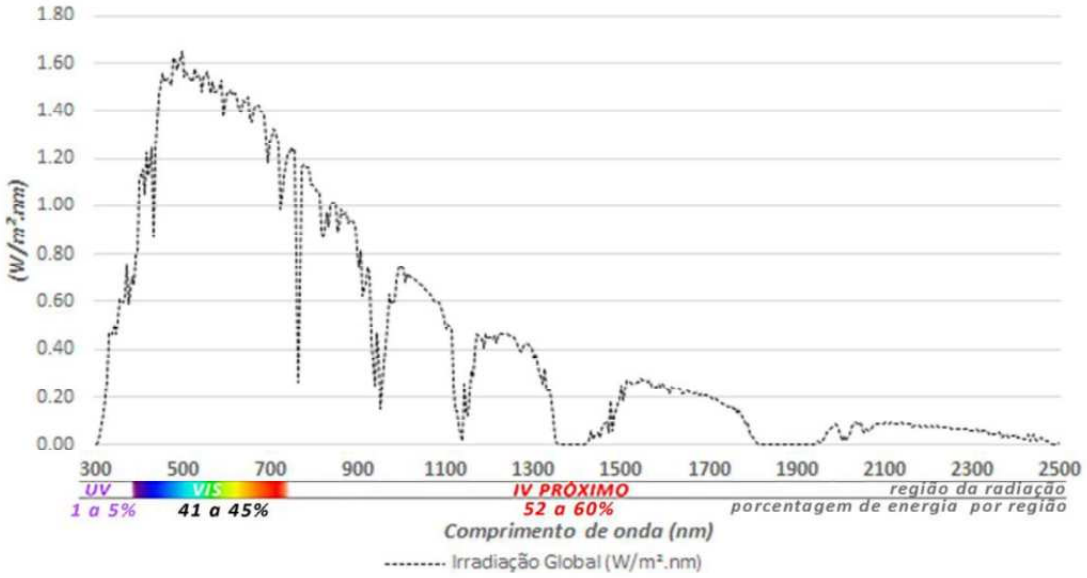
1 INTRODUÇÃO

O desempenho térmico e lumínico de aberturas na envoltória da construção civil é determinante nas condições de conforto ambiental e eficiência energética nos edifícios. Isto se deve ao fato de que as aberturas permitem consideráveis trocas de energia entre o ambiente interno e externo ao admitirem radiação solar direta e difusa ou por promoverem trocas térmicas provenientes da condução e convecção mais expressivas que envoltórias sem aberturas.

Tratando-se especificamente do ganho de energia pela admissão de raios solares, o espectro solar incidente sobre a Terra é composto de 1 a 5% por raios ultravioletas (UV, 290nm – 380nm), 41 a 45% de luz visível (380nm a 780nm) e 52 a 60% de raios no infravermelho próximo e médio (IV, 780nm a 2500nm) conforme descreve Caram (2002) (ver Figura 1).

Figura 1 – Potência do espectro solar

[1] PIFFER, Y., MIZGIER, M., MARINOSKI, D. Medições espectrofotométricas de sistemas de janela utilizando líquidos transparentes (transwalls). In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2018, Foz do Iguaçú. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.



Fonte: Adaptado de Caram (2002) e ASTM G173-03 (2003)

As taxas de transmissão, reflexão e absorção em objetos transparentes variam de acordo com a faixa espectral da radiação incidente. Em decorrência dessa característica intrínseca, um material transparente pode permitir a entrada de luz visível, mas dificultar a transmissão de radiação ultravioleta ou infravermelha por ter baixa transmissão nestes outros comprimentos de onda. São exemplos destes materiais chamados de "espectroseletivos" não apenas inúmeros vidros e plásticos aplicados à construção civil, mas também a água.

Além da característica espectroseletiva, a água ainda dispõe de expressiva capacidade térmica, isto é, que há maior delonga em relação a outros materiais para variar sua temperatura sob um mesmo estímulo térmico. Por conseguinte, a água, além de reduzir a admissão de radiação infravermelha e transmitir luz, também pode armazenar parte do calor o qual seria transmitido ao ambiente interno e atenuar picos térmicos.

Vários estudos referentes à vedações com água – denominadas *transwalls* – foram conduzidos nas últimas décadas, entre eles os trabalhos no AMES Laboratory, EUA chefeado por McClelland (FUCHS, MCCLELLAND, 1979), Nayak (1987a; 1987b) em Srinagar, Índia, as pesquisas de Papersenos (1983) e Nisbet (NISBET, KWAN, 1987; NISBET, MTHEMBU, 1992) na Universidade de Glasgow, Escócia e recentemente Wu e Lei (2016) na Universidade de Sydney, Austrália. Estes estudos, na maior parte dos casos, dedicaram-se à aplicação das *transwalls* em regiões de clima frio, adotando seções espessas de água, adição de chapas plásticas de absorção de radiação ou soluções de corante (que absorvem luz e não radiação infravermelha).

Ainda há, portanto, vasto campo de estudo da aplicação de *transwalls* em climas quentes com lâminas delgadas de água ou outros líquidos espectroseletivos. Tal sistema teria o objetivo de filtrar a radiação solar transmitindo o máximo de luz visível e o mínimo de ondas no infravermelho,

além de, possivelmente, evitar o aumento de temperatura da fachada decorrente da alta massa térmica do líquido.

Este trabalho delimitou-se a tratar da caracterização da transmissão de radiação em amostras delgadas de vários líquidos transparentes entre vidros medindo-se a transmissão e reflexão total por comprimento de onda destas amostras no espectrofotômetro. A propósito, busca-se encontrar possíveis líquidos, além da água, que mesmo em seções delgadas têm capacidade espectroseletiva.

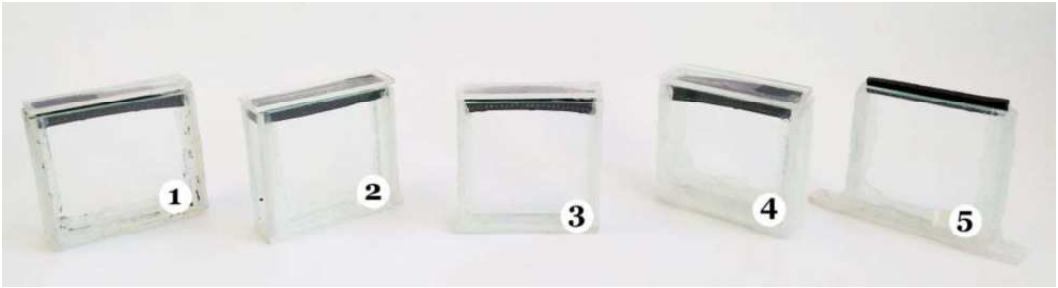
2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a execução desta pesquisa (a) foram construídos protótipos de vidro adequados à abertura da cavidade do espectrofotômetro os quais serão chamados de protótipos,(b) foram adquiradas as amostras líquidas testadas no equipamento dentro dos protótipos, (c) ocorreu a medição propriamente dita e (d) a coleta de dados de alguns vidros espectroseletivos. Tais etapas são descritas a seguir.

2.1 Protótipos de vidro

Para a construção dos protótipos de teste no espectrofotômetro foi utilizado vidro simples 3mm nas faces incididas pela radiação (frontal e traseira). As paredes laterais foram executadas com policarbonato, coladas com cola de silicone e o protótipo foi selado por tampa de borracha. Os cinco protótipos (Figura 2) têm altura e comprimento de 50 mm sendo que os protótipos *1, 2, 3* e *4* proporcionam 10 mm de vão interno e o protótipo *5* 2mm.

Figura 2 – Imagem dos cinco protótipos construídos.



Fonte: Os autores

2.2 Espectrofotômetro

O espectrofotômetro é um equipamento capaz de medir a transmissão e reflexão frontal e traseira de uma amostra por faixa espectral da radiação. Utilizou-se o aparelho Lambda 1050 da PerkinElmer (Figura 3) do Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E) em Florianópolis-SC com módulo de medição de esfera integradora (150 mm) que mede o espectro solar (entre 300 a 2500nm) com radiação incidente no ângulo normal. Seguiu-se o protocolo de uso apontado por Marinoski *et al* (2013).

Figura 3 – Espectrofotômetro Lambda 1050 *(esquerda)* e amostra posicionada dentro do espectrofotômetro *(direita)*.



Fonte: Os autores

Os dados coletados são em seguida ponderados em planilha eletrônica pela porcentagem de energia solar no comprimento de onda medido, conforme os dados da ASTM G173-03 (2003).

2.3 Amostras ensaiadas

O vidro simples 3mm e os protótipos construídos com 2mm e 10mm de vão foram medidos no espectrofotômetro para caracterização. Posteriormente, as amostras líquidas e transparentes medidas dentro dos protótipos foram: água encanada (oriundas de Florianópolis-SC e Foz do Iguaçu-PR) e água destilada; ácido acético; metanol; etanol e isopropanol; água salobra (20% conc. de NaCl); solução de sal de amônia (20% conc. de NH4Cl) e solução de polietilenoglicol na concentração de 10%. Todos os líquidos foram ensaiados utilizando os protótipos de 10mm de vão e apenas uma amostra de água destilada foi ensaiada no protótipo de 2mm. As amostras foram preparadas no Departamento de Química da Universidade Federal de Santa Catarian e utilizaram compostos para análise (P.A.). Algumas amostras não puderam ter a reflexão medida no mesmo dia em decorrência do agendamento para uso do espectrofotômetro. Essas amostras se comprometeram necessitando descartá-las e adotou-se a reflexão da água nas devidas espessuras para elaborar a transmissão solar e visível. Tais amostras apresentam um asterisco (*) em seus devidos nomes.

2.4 Caracterização visual

Todos os protótipos quando cheio apresentaram comportamento especular, permitindo a nítida visualização de um lado ao outro (ver Figura 4).

Figura 4 – Protótipo de 10 mm cheio de água destilada.



Fonte: Os autores

2.5 vidros comparativos

Para efeito de comparação, os resultados das medições foram contrapostos aos dados de dois vidros espectroseletivos conhecidos no mercado, sendo eles o vidro verde 4 mm (NFRC° n°3024) e o vidro Azuria 12mm (NFRC n°5039). Os dados foram obtidos pelo software Optics 6.0.

2 RESULTADOS

A tabela 1 apresenta os dados de transmissão visível (Tvis) e solar (Tsolar) medidos no espectrofotômetro. Entende-se como transmissão visível (Tvis) a porcentagem de energia transmitida pela energia incidente analisando-se apenas o espectro visível, enquanto que na transmissão solar (Tsolar) analisa-se todo o espectro solar. A reflexão frontal e traseira das amostras apresentou valores idênticos, implicando que os resultados de transmissão independem do lado analisado. Os comentários tecidos pelos autores visam a aplicação destes sistemas em regiões de clima quente onde é indicado reduzir a entrada de calor por radiação solar na edificação.

Tabela 1 – T_{vis} e T_{solar} total das amostras comparadas.

AMOSTRA	data	Tvis	Tsolar
Vidro simples (3mm)	31/03	90,3%	84,8%
Protótipo vazio (10 mm vão)	17/03	81,8%	72,5%
Protótipo vazio (2 mm vão)	31/03	81,8%	72,5%
Água destilada (10 mm)	31/03	88%	64,1%
Água encanada de Florianópolis (10 mm)	17/03	87,8%	63,8%
Água encanada de Foz do Iguaçu (10 mm)	31/03	88%	64%
*Água destilada (2 mm)	06/04	87,9%	68,9%
Ácido Acético (10 mm)	06/04	85,8%	65,6%
Etanol (10 mm)	06/04	87,4%	64,7%
Metanol (10 mm)	06/04	87,4%	65%
*Isopropanol (10 mm)	06/04	87,7%	65,9%
*Água salobra (NaCl, 20% conc.) (10 mm)	06/04	88,1%	64,3%
*Solução NH4Cl (20% conc.) (10 mm)	06/04	86,8%	63,2%
*Polietilenoglicol (10% conc.) (10 mm)	06/04	90,4%	66%
Vidro verde (n° NFRC 3024) **	-	52,9%	79,8%
Azuria 12mm (n° NFRC 5039) **	-	18,7%	48,5%

Observação: Todas as amostras líquidas foram medidas entre dois vidros simples 3mm;

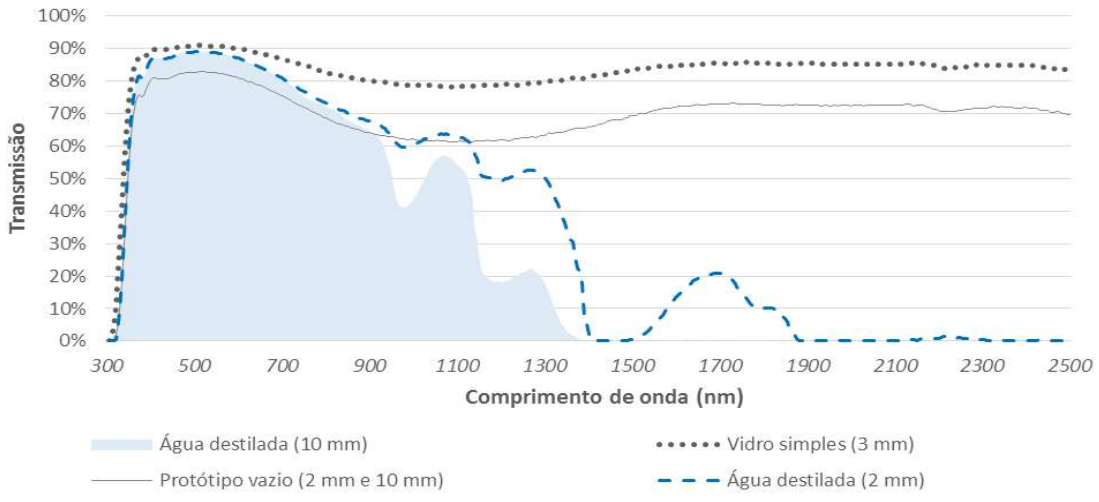
**Adotou-se a reflexão da água no protótipo com 10mm de vão;*

*** Obtido pelo Optics (LBNL, 2007)*

Fonte: Os autores

A tabela 1 e o gráfico 1 revelam uma característica bastante peculiar de que um sistema de sanduíche de 'vidro – água – vidro' transmite mais luz que um sanduíche de 'vidro – ar – vidro'. O vidro simples apresentou alta transmissão de radiação no espectro solar com pico no espectro visível (como já conhecido). O vidro duplo (protótipo vazio) apresentou uma curva muito parecida, porém, com menor transmissão. Também, não há diferença entre a transmissão do protótipo vazio variando-se a espessura do vão de ar.

Gráfico 1 – Transmissão solar de amostras de vidro e água.



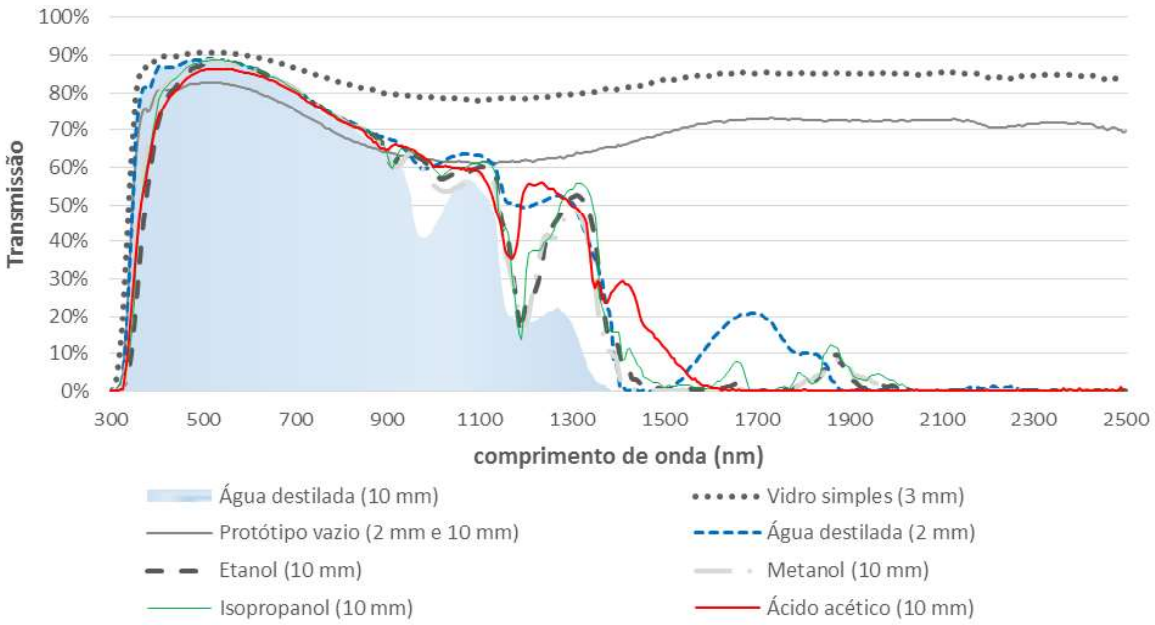
Fonte: Os autores

Curiosamente, a transmissão da água no espectro visível é muito mais parecida ao do vidro simples (mais alta) do que ao protótipo vazio, mesmo tendo o protótipo de água mais material para absorver radiação. A explicação para este fenômeno se deve às múltiplas reflexões que ocorrem dentro deste sistema e à ocasionada pela diferença de refração entre vidro-ar e vidro-água.

Enquanto a água transmite mais no espectro visível, sua absorção reduz drasticamente a transmissão no IV próximo, zerando a transmissão em vários comprimentos de onda quando se utiliza a lâmina com 10mm. Também, percebe-se que mesmo a lâmina de 2mm apresenta intensa redução da transmissão em vários comprimentos de onda do infravermelho.

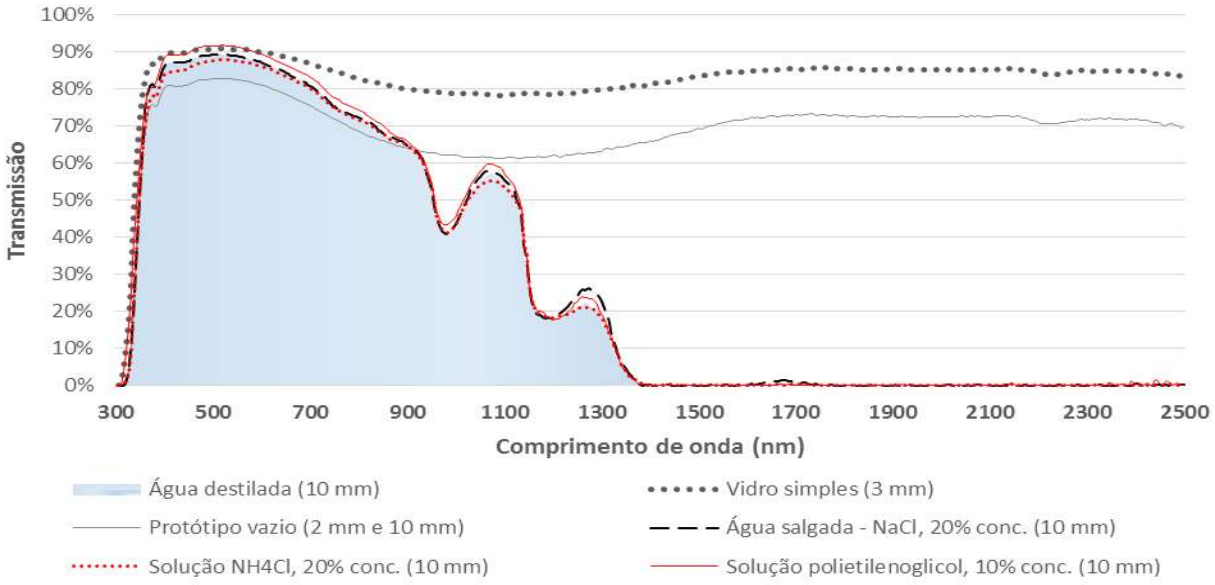
Os gráficos 2 e 3 mostram que todos os líquidos testados apresentaram substancial redução na transmissão de radiação IV, porém nenhuma amostra absorve mais que a água nesta faixa espectral. As soluções apresentadas no gráfico 3 geraram pouca mudança na curva de transmissão da água apontando que os compostos químicos utilizados não absorvem no comprimento da radiação solar.

Gráfico 2 – Transmissão solar das amostras de álcoois e ácido acético.



Fonte: Os autores

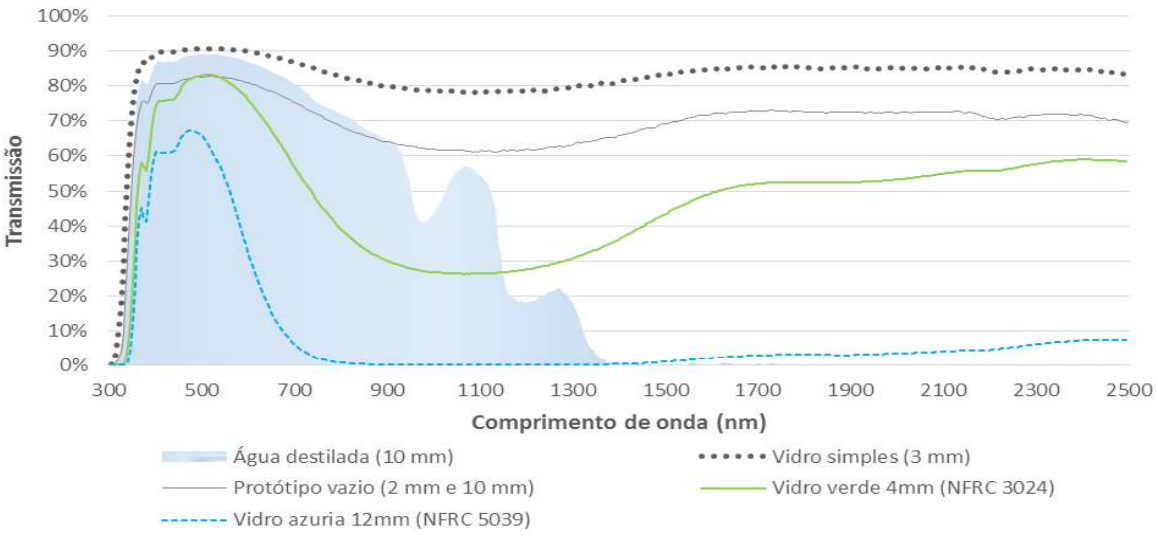
Gráfico 3 – Transmissão solar de soluções.



Fonte: Os autores

O gráfico 4 compara a espectroseletividade da lâminas de água de 10mm com o vidro verde 4mm o o vidro Azuria 12mm. Em relação ao vidro verde 4mm, a água tem melhor desempenho e consegue transmitir mais luz (88% contra 52,8%) e passar menos raios infravermelhos (64% de Tsolar contra 79,8%), além de não apresentar coloração. Quando comparada ao vidro Azuria 12mm (com 18,7% de Tvis e 48,5% de Tsolar), a água apresenta pior desempenho na passagem de calor, porém, é questionável a contribuição na utilização em vedações da construção civil de um vidro com apenas 18,7% na passagem de luz, mesmo tendo alta espectroseletividade. De fato, há outros vidros que permitem comparação, mas estes dois apresentados elucidam o potencial de passagem de luz e redução de calor da água.

Gráfico 4 – Transmissão solar dos vidros comparativos.



Fonte: Os autores

5 CONCLUSÕES

Os dados coletados comprovam o potencial do uso de água em vedações espectroseletivas visando a economia de energia e o conforto térmico do ambiente construído em climas quentes;

Percebe-se o papel peculiar da reflexão no aumento de transmissão de luz quando utiliza-se água entre vidros, merecendo este tópico estudos posteriores;

Embora a própria água já garanta a alta taxa de transmissão no espectro visível e o oposto no infravermelho próximo em direção ao médio, na faixa entre 800nm e 1350nm a adição de algum composto ao sistema que absorva neste espectro poderá reduzir consideravelmente a atual T_{solar} da água;

Estudos do desempenho térmico e não só da transmissão radiante de *transwalls* delgadas em climas quentes devem ser executados para o melhor entendimento do sistema.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao doutorando de Química [OCULTADO] pela contribuição na elaboração das amostras e ao CNPq pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **E903-96**: Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres, 1996.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **G173-03**: Standard Tables for Reference Solar Spectral Irradiances - Direct Normal and Hemispherical on 37° Tilted Surface. ASTM International, 2003.

CARAM, R. M. **Estudo e Caracterização de Fachadas Transparentes para Uso na Arquitetura**: Ênfase na Eficiência Energética. 2002. 189p. Texto (Livre-Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

FUCHS, R.; MCCLELLAND, J.f.. **Passive solar heating of buildings using a transwall Structure**. Solar Energy, [s.l.], v. 23, n. 2, p.123-128, 1979. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/0038-092x(79)90112-9.

MARINOSKI, D., et al. **Análise comparativa de valores de refletância solar de superfícies opadas utilizando diferentes equipamentos de medição em laboratório.** In: XII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Set. 2013, Brasília.

NAYAK, J. **Thermal performance of a water wall**. Building and Environment, vol. 22, 1, 1987 (1987a), páginas 83-90. https://doi.org/10.1016/0360-1323(87)90045-X

NAYAK, J. **Tranwall versus trombe wall**: relative performance studies. Energy Conversion & Management, Vol. 27, No. 4, 1987 (1987b), páginas 389-393. DOI: 10.1016/0196-8904(87)90117-8

NISBET, S.; KWAN, C. **The application of the transwall to horticultural glasshouses**. Solar Energy, [s.l.], v. 39, n. 6, p.473-482, 1987. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/0038-092x(87)90054-5.

NISBET, S.k.; MTHEMBU, N.s.. **Transwall modelling using effective conductivities**. Solar Energy, [s.l.], v. 49, n. 2, p.127-138, ago. 1992. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/0038-092x(92)90147-3.

PAPERSENOS, George, F. **The analysis of the transwall passive solar system**. 1983. 291p. Texto (PhD) – Universidade de Glasgow, Glasgow, Escócia.

WU, T; LEI, C. **Thermal modelling and experimental validation of a semi-transparent water wall system for Sydney climate**. Solar Energy, volume 136, 15 out. 2016 (2016c), páginas 533-546. https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.07.026.