

MODELAGEM E CONVALIDAÇÃO DO MODELO DE PAREDE TÉRMICA COM E SEM FLUXO DE ÁGUA PARA CONFORTO TÉRMICO E APROVEITAMENTO DE ÁGUA QUENTE

 <https://doi.org/10.56238/arev7n3-198>

Data de submissão: 19/02/2025

Data de publicação: 19/03/2025

Lucas Santos Garreto

Doutorando em Engenharia Civil – UTFPR

E-mail: lucasgarreto@alunos.utfpr.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9330-0625>

José de Ribamar Pestana Filho

Mestre em Ciência da Educação —IPLAC/UEMA

E-mail: ssjpestana@gmail.com

Emily Maria Monte Pereira

Graduada em Engenharia Mecânica - UEMA

E-mail: emilymontee@gmail.com

Brendon Kauir Araujo Oliveira

Mestrando em Engenharia de Materiais – IFMA

E-mail: oliveira.brendon.ka@gmail.com

Lucas Gabriel Silva Lobato

Mestrando em Engenharia de Materiais – IFMA

E-mail: lucaslobato@acad.ifma.edu.br

Railson Silva Ribeiro

Mestrando em Engenharia de Materiais – IFMA

E-mail: railson15ribeiro@hotmail.com

Ana Karoliny da Silva Raposo

Doutoranda em biotecnologia - Renorbio - UFMA

E-mail: anakarolinyraposo@gmail.com

Luís Felipe Pinheiro da Silva

Engenheiro Civil - UFMA

E-mail: felipepinheiros07@gmail.com

RESUMO

O projeto de pesquisa busca validar um modelo de parede térmica com a utilização inovadora dos tijolos ecológicos. Esses tijolos possuem furos contínuos na vertical, quando colocado um sobre o outro, formarão tubos, como dutos para água, esgoto e eletricidade. O objetivo é utilizar os mesmos para passar canos onde água irá circular, formando uma serpentina, de tal forma que a energia térmica incidente na parede seja captada, não totalmente, mas em uma boa parte, diminuindo, desta forma, a troca de calor entre as partes internas e externas, proporcionando um conforto térmico. Buscando compreender a eficiência desse sistema com o transporte da água através dos dutos, serão realizadas

simulações na plataforma Solid Works que irão reproduzir de forma semelhante às trocas de calor da parede a ser construída e calcular as perdas de carga nas tubulações, esta variável pode ser entendida como a perda de energia dinâmica do fluido devido à fricção das partículas do fluido entre si e contra as paredes da tubulação. Essas informações serão de fundamental importância para o projeto, visto que esses resultados serão posteriormente comparados aos dados coletados na construção real e darão embasamento para a eventual convalidação do modelo de Parede Térmica.

Palavras-chave: Tijolo ecológico. Conforto térmico. Perda de carga.

1 INTRODUÇÃO

Nota-se, que o homem há milhares de anos vem procurando se manter em ambientes que estão a uma temperatura dentro do limite suportável ou procurando meios de conservar a temperatura do ambiente dentro desse limite, de tal forma que não haja interferência na sua temperatura interna. A preocupação do homem com relação a seu bem-estar e conforto é diretamente proporcional a evolução da humanidade, ou seja, quanto mais evoluídas se tornam as pessoas, mais exigentes ficam com relação a seu conforto e bem-estar. O conforto térmico encontra-se inserido no conforto ambiental, onde também fazem parte o conforto visual (incluindo a psicodinâmica das cores), conforto acústico e qualidade do ar. Seus estudos têm ligação estreita com as áreas de Engenharia e Arquitetura, por serem elas as responsáveis pela concepção e criação dos ambientes nos quais o homem passa grande parte de sua vida (Lisboa, 2015).

De acordo com Lisboa (2015), o organismo humano pode ser comparado a uma "máquina térmica", a qual gera calor quando executa algum trabalho. O calor gerado pelo organismo deve ser dissipado em igual proporção ao ambiente, a fim de que não se eleve nem diminua a temperatura interna do corpo. Como o homem é um animal homeotérmico, isto é, deve manter sua temperatura corporal praticamente constante, esse desequilíbrio ocasionado entre a geração e a dissipação do calor pelo organismo pode ocasionar sensações desconfortáveis, ou mesmo patologias em casos mais extremos (stress térmico). Dessa maneira, o embasamento dos estudos de conforto térmico encontra-se no balanço térmico verificado entre o homem e o ambiente a seu redor, o que teve grande impulso pelos estudos realizados em câmaras climatizadas, principalmente os de Fanger (1970), na Dinamarca, cujos modelos propostos são utilizados até hoje e encontram-se normalizados através da ISO 7730 (1997), (International Organization for Standardization).

Assim como nos iglus usa-se o gelo, para construir as paredes, pois a água no estado sólido tem sua condutibilidade térmica menor que no estado líquido, para amenizar uma troca de calor entre as partes interna e externa, as casas e prédios são construídos, na maioria das vezes, com blocos de alvenaria cerâmicos, que também tem a função de evitar uma grande troca de calor. Esse tipo de bloco ainda não é suficiente para evitar essa troca, ou seja, a resistência térmica ainda é baixa, pois como ela depende da razão entre a espessura e da condutibilidade térmica, onde a espessura é de $e = 10\text{ cm}$ e a condutibilidade K entre $0,7$ e $1,5\text{ W/m.K}$, tijolo vermelho furado (Kuffel; Tomim, 2018). Prova disso é a grande utilização de ar-condicionado, em regiões onde a temperatura é elevada e aquecedores onde a temperatura é baixa.

Uma grande solução para evitar o uso de ar condicionado é a utilização de tijolos ecológicos. Esses tijolos são modulares compostos por areia, cimento e até resíduos de construção, constituídos

por dois furos espessos centrais. São fáceis de construir porque são montáveis e necessitam de pouco material, já que dispensam o cimento, como aglomerante entre os tijolos, necessitando somente de uma cola de fácil aplicação. A construção é muito mais rápida, já que é dispensável o uso de vigas e pilares, constituído um sistema autoportante. O tijolo é chamado de ecológico por causa do seu processo de fabricação que não envolve a queima, eliminando tanto a lenha quanto os gases residuais da combustão.

Tal tijolo ainda, possibilita a utilização dos furos, que são na vertical e contínuos, e quando colocado um sobre o outro formam tubos, criando a oportunidade para a adição de dutos para água, esgoto e eletricidade. Neste trabalho pretende-se, devido hoje ter-se uma grande preocupação com a reutilização de energia, levantar um estudo mostrando que esse tijolo ecológico tenha mais uma função em relação aos furos, que é passar por esses furos água, formando uma serpentina, de tal forma que boa parte da energia térmica incidente na parede seja captada para aproveitada no aquecimento da água para futuras aplicações. Essa técnica irá também, contribuir no aumento da resistência térmica dessa parede que, como consequência, irá passar pouca energia térmica para o ambiente interno. Dessa forma, haverá um ganho no conforto térmico e na economia de energia elétrica, pois não haverá a necessidade de aparelhos de climatização ou pelo menos amenizar o uso desses aparelhos, o que leva também a contribuir nas questões energética e ambiental.

A energia solar constitui-se em uma alternativa energética renovável acessível interessante para sistemas de condicionamento de ar. Ao substituir uma fonte convencional por uma fonte renovável de energia, a energia solar, esses sistemas vão ao encontro das exigências renováveis. Dessa maneira, a parede térmica encontrou na absorção de carga térmica uma solução para a otimização do conforto interno, para a diminuição do consumo de energia e para diminuição do impacto negativo no meio ambiente. De forma a compreender e corretamente dimensionar esta primeira parte do projeto, é necessário que seja estudada de maneira perspicaz a importância do Tijolo Ecológico e suas diferenças quanto ao demais materiais de construção e as vantagens que levaram a sua escolha.

O objetivo deste projeto é evidenciar a viabilidade de aproveitar parte da carga térmica gerada pela energia solar que incide sobre uma parede de tijolo ecológico equipada com tubulações internas dispostas em forma de serpentina. Com isso, busca-se capturar a energia térmica que a parede absorve para aquecer água, permitindo seu reaproveitamento em aplicações futuras e contribuindo para a diminuição dos custos relacionados à climatização. Para alcançar esse propósito, propõe-se que a carga térmica solar seja absorvida diretamente pelas tubulações integradas à parede, aquecendo a água em circulação para um uso posterior. Além do mais, pretende-se melhorar o conforto térmico ao minimizar a transferência de calor para o ambiente interno, reduzindo assim o efeito da radiação solar

que eleva a temperatura interna. Como resultado, haverá uma redução no consumo de eletricidade, uma vez que a necessidade de utilizar sistemas de climatização, como ar-condicionado e refrigeradores, será menor. Essa diminuição na utilização de equipamentos de refrigeração também trará um impacto ambiental positivo, pois resultará em uma redução na emissão de gases de efeito estufa, frequentemente relacionados ao funcionamento desses dispositivos.

2 METODOLOGIA

2.1 INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO DE TEMPERATURA PARA COLETA DE DADOS

Para a validação dos estudos que serão apresentados será construída uma parede física, com especificações determinadas de acordo com o que o projeto necessita. Serão feitas coletas de dados de temperaturas utilizando um FieldLogger, da marca Novus, e 8 termopares tipo K.

O FieldLogger (figura 1) é um módulo de leitura e registro de variáveis analógicas e digitais com grande resolução e velocidade. Existem quatro tipos de canais de entrada no FieldLogger: analógicos, digitais, remotos e virtuais. Nesse estudo, serão utilizados os oito canais de entrada analógicos disponíveis. Estes são configuráveis para a leitura de sinais de tensão, corrente e termopares.

Figura 1 - FieldLogger, Novus.



Fonte: Catálogo FieldLogger – Novus, 2019.

Para as medições de temperaturas serão utilizados os termopares. Estes são sensores de temperaturas simples, com medições precisas, e acessíveis, pelo seu baixo custo. Os termopares são bastante utilizados nos mais variados processos de medição de temperatura. É composto por dois metais diferentes unidos em uma extremidade. Quando há uma diferença de temperatura entre a extremidade unida e as extremidades livres, verifica-se o surgimento de uma diferença de potencial que pode ser medida por um voltímetro. Diferentes tipos de termopares possuem diferentes tipos de curva diferença de potencial *versus* temperatura.

Os termopares que serão utilizados são do tipo K (figura 2). Este tipo de termopar é composto por Cromel (liga 90% Níquel e 10% Cromo) e Alumel (liga 95% Níquel e 5% Alumínio). De acordo com o Manual de Instruções do FieldLogger (Novus), o termopar K, tem uma faixa de medição de -130°C a 1372°C (-202°F a 2501,6°F). Com exatidão de $\pm 0,2\%$ (F.E.) e $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$.

Figura 2 - Termopares K.



Fonte: Autores, 2019.

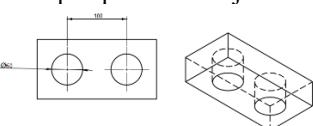
2.2 PAREDE TÉRMICA

2.2.1 Modelagem

Para a construção de qualquer modelo físico é necessário que antes exista um projeto, um delineamento do empreendimento a ser realizado, nesse caso, um desenho em alguma plataforma CAD. Para o projeto da parede térmica as especificações das modelagens seguiram os critérios da prensa manual utilizada para a fabricação dos tijolos.

A prensa fabricará tijolos com as seguintes dimensões: 200 mm de comprimento; 100 mm de largura; 50 mm de altura; diâmetro dos furos verticais de 50 mm e o espaço entre os centros dos furos de 100 mm. Esses dados podem ser observados na plotagem, a seguir (figura 3), construída na plataforma Auto CAD.

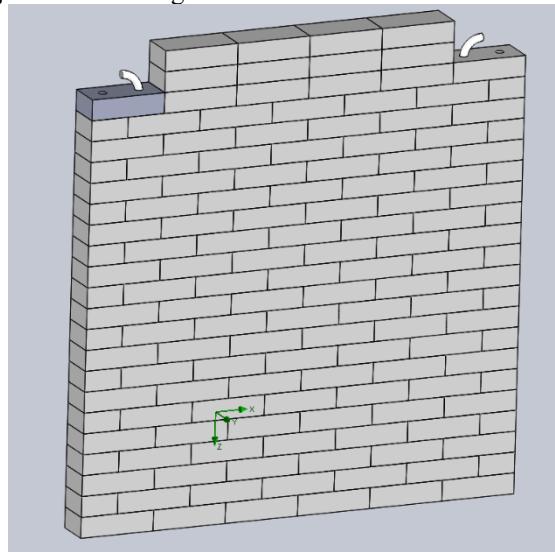
Figura 3 - Vistas e perspectiva do tijolo ecológico inteiro



Fonte: Autores, 2019.

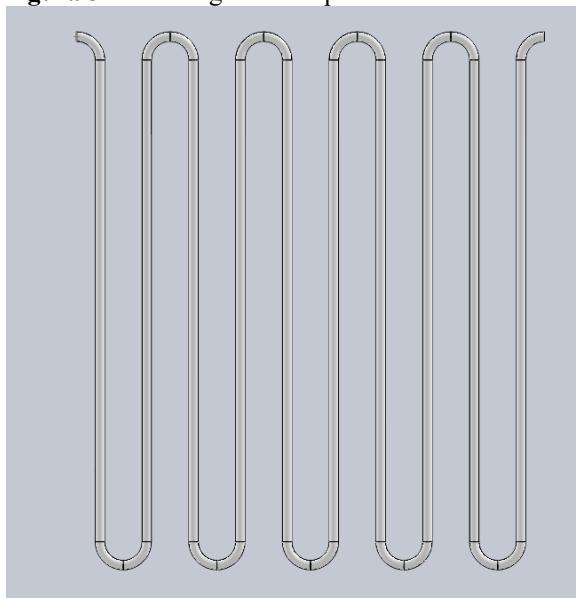
Partindo desses dados, é possível projetar a parede (figura 4) formada por esses tijolos e a serpentina (figura 5) que passará por ela. As modelagens a seguir foram confeccionadas na plataforma Solid Works. Esses modelos serão usados posteriormente nas simulações.

Figura 4 – Modelagem da Parede Térmica em Solid Works.



Fonte: Autores, 2019.

Figura 5 – Modelagem da serpentina em Solid Works.



Fonte: Autores, 2019.

A parede projetada possuirá 6 tijolos alinhados horizontalmente na sua base e 23 verticalmente, formando uma parede com 1,20 m de largura e 1,15 m de altura.

A tubulação escolhida que se mostrou a mais apropriada para o projeto foi da marca Tigre. O diâmetro escolhido foi o de 20 mm. Para essa tubulação foi o que se provou ideal. Levando em

consideração a pressão que o fluido deveria exercer para percorrer todo o caminho da serpentina quanto as curvas. Curvas de 90° foram adotadas no lugar de joelhos, já que o primeiro proporciona menores perdas de carga. Dito isso, a serpentina será formada por 10 tubos retilíneos de 1,10 m e 20 curvas de 90° de 50 mm de comprimento.

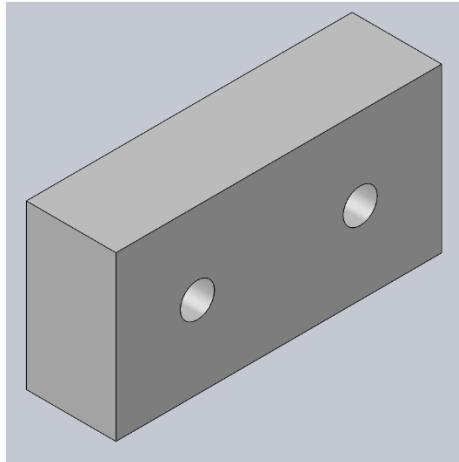
2.2.2 Simulação em Solid Works

De acordo com Saldanha (2019), engenheiros e matemáticos vêm a décadas, tentando compreender e prever melhor a dinâmica dos fluidos e os fenômenos de transferência de calor por meio da simulação de CFD (Computational Fluid Dynamics, Dinâmica de fluidos computacional). Segundo ele, o objetivo é claro: otimizar o projeto de produtos e processos que envolvam fluxo de fluidos e, ao mesmo tempo, minimizar os custos, o tempo e os esforços experimentais incorridos.

E com o mesmo objetivo, de otimizar o projeto da parede térmica, será calculado por meio de simulação no Solid Works a perda de carga total que o fluido sofrerá ao passar pela serpentina e a passagem de radiação solar pela parede, indicando valores teóricos que poderão ser posteriormente comparados aos resultados reais.

É importante levar em consideração que a parede terá o espaço entre a tubulação e as paredes internas do tijolo preenchidas com o solo-cimento. Dessa maneira a resistividade térmica do ar não interferirá nos resultados alcançados. Portanto, os tijolos devem ser modelados com apenas 20 mm de furo (figura 6), o equivalente a tubulação.

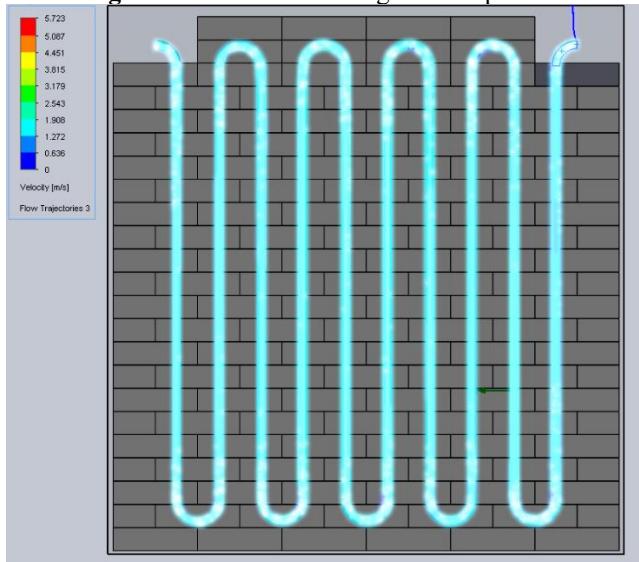
Figura 6 – Tijolo modelado em Solid Works com dimensões de diâmetro alteradas para simulação.



Fonte: Autores, 2019.

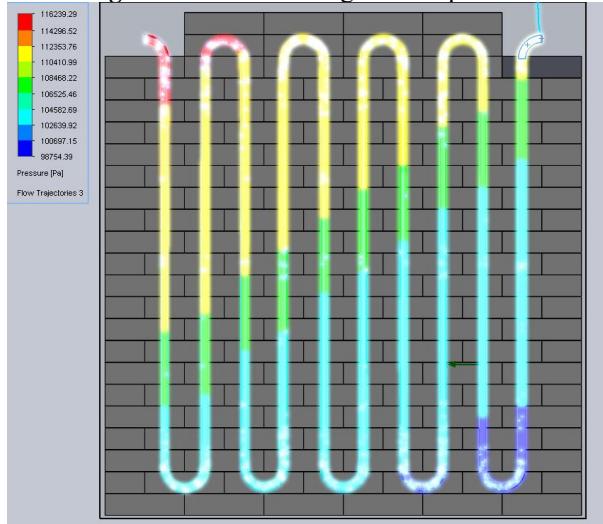
A seguir tem-se as simulações (figuras 7 e 8).

Figura 7 – Velocidade da água na serpentina.



Fonte: Autores, 2019.

Figura 8 – Pressão da água na serpentina.



Fonte: Autores, 2019.

As simulações resultarão nos valores de velocidade alcançada pelo fluido na serpentina, as temperaturas a que a parede pode alcançar ao longo das interações, a temperatura que a água poderá alcançar e ainda o valor da perda de carga que o fluido terá ao final da passagem pela tubulação.

Para isso alguns valores devem ser inseridos antes da simulação, um deles é a velocidade do fluido ao entrar na tubulação. Pode-se encontrá-lo a partir do valor da vazão volumétrica que se encontra o líquido ao entrar na serpentina.

Com a ajuda de um balde de 13 litros, pode-se cronometrar o tempo que o líquido levará para preenchê-lo. Ao sair da torneira do prédio que sede o experimento, o balde pode ser ocupado em 59

segundos. Para encontrar a vazão faz-se a razão entre o volume e o tempo, encontrando 0,2204 L/s, transformando para m^3/s encontra-se $2,203 \times 10^{-4} m^3/s$.

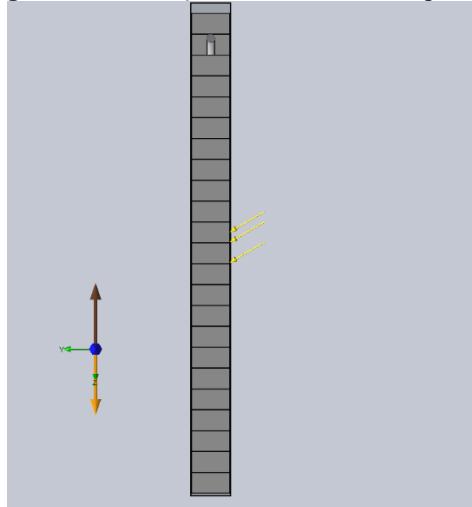
A velocidade pode ser encontrada por meio da seguinte equação:

$$v \cong \frac{4 \cdot \varphi_{tub}}{\pi \cdot d^2} \quad (1)$$

O valor para “d” deve ser o diâmetro da tubulação em estudo. Nesse caso 20 mm, usamos então 0,02 m. O valor encontrado para a velocidade será de 0,7016, aproximadamente 0,7 m/s. essa velocidade deve ser inserida na simulação como a velocidade do fluido.

O Solid Works necessita ainda que os valores das temperaturas ambiente e iniciais sejam inseridas. É também selecionada a opção que deverá adicionar a irradiação solar sobre a parede. O valor para a radiação solar será de 208 w/m^2 , a quantidade incidida sobre a Terra. Por fim, deve-se posicionar os vetores, como pode ser visto a seguir (figura 09) a radiação solar sobre a parede.

Figura 09 – Radiação Solar incidente na parede.



Fonte: Autores, 2019.

2.2.3 Construção

2.2.3.1 Fabricação do Tijolo

Após as simulações é iniciada a etapa de construções. A fabricação dos tijolos seguiu as diretrizes estabelecidas pela Norma ABNT NBR 10833 - Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica.

A primeira parte, e possivelmente a mais importante, no momento da fabricação do tijolo é a preparação da matéria prima. Como explicado anteriormente o solo deve ser areno argiloso, ou seja,

deve conter 70% de areia e 30% de argila. Esse solo foi extraído de uma escavação que estava acontecendo no campus Paulo VI da Universidade Estadual do Maranhão.

- (1) O preparo do solo: De acordo com a Sahara (2018), a mistura ideal deve conter 7 baldes de solo e 1 de cimento. Deve ser feita uma pré-mistura com uma enxada antes de, com o auxílio de um regador, chuviscar um pouco de água.
- (2) A compactação dos tijolos ecológicos: Os baldes com o solo são colocados no silo. É importante que o balde não seja retirado no momento da despeja do solo, dessa maneira a umidade pode ser preservada. É acionada a prensa manual para compactar os tijolos. A prensa manual profissional utilizada possui uma compactação de 1,5 toneladas com o efeito de 6 toneladas.
- (3) Cura: Os tijolos, nessa fase da fabricação, podem ser empilhados ou enfileirados, sempre com os machos virados para cima, para o processo de cura (figura 10). Imediatamente após a confecção eles devem ser cobertos por uma lona para não perder a umidade que é fundamental para alcançar a perfeita cura. E é importante que permaneçam assim durante o primeiro dia, sem a necessidade de molhar. Já no dia seguinte deve haver uma leve pulverizada. Do terceiro ao quinto dia de cura os tijolos devem ser bem molhados. A partir do sexto dia eles devem ser estocados.

Figura 10 – Tijolos em processo de cura.



Fonte: Autores, 2019.

A partir do décimo quinto dia o tijolo já está pronto para construção (figura 11). O meio tijolo pode ser fabricado cortando o tijolo modular ao meio na falta de um molde (figura 12). Assim como a canaleta pode ser fabricada a partir de cortes no tijolo inicial (figura 13).

Figura 11 – Tijolo em condições Figura 12 – Meio tijolo. Figura 13 – Canaleta para construção.



Fonte: Autores, 2019.

Fonte: Autores, 2019.

Fonte: Autores, 2019.

2.2.3.2 Construção da Parede Térmica para estudos

Após o processo de cura do tijolo é possível iniciar a construção do modelo de parede térmica.

Primeiramente foi estabelecido o local da construção. O espaço escolhido recebe muita incidência da radiação solar no período da tarde, ideal para o estudo. E ainda, a ligação com uma sala que servirá de base para acomodar o FieldLogger. Essa sala ainda, terá sua parede de tijolos cerâmicos vermelhos sendo estudada juntamente com a parede térmica, assim os resultados poderão ser comparados posteriormente.

(1) A construção deve começar com uma base de tijolos ecológicos maciços. Seguida por uma fileira de canaletas. Estas servirão para acomodar as curvas da serpentina (figura 14). As curvas já devem estar conectadas as tubulações.

Figura 14 – Canaletas com curvas.



Fonte: Autores, 2019.

(2) Para que a coleta de dados forneça informações precisas é necessário que o espaço entre a tubulação e as paredes internas dos tijolos seja preenchida com solo-cimento (figura 15).

Figura 15 – Espaços preenchidos.



Fonte: Autores, 2019.

(3) Por fim, quando a parede estiver próxima de estar concluída deve-se encaixar as curvas do topo da serpentina. Restarão duas extremidades, onde uma será a entrada de água e a outra, a saída (figura 16). Após as curvas será colocada outra fileira de canaletas e finalizada com tijolos ecológicos maciços. Uma folha de isopor é posicionada entre a duas paredes para que os dados não sejam comprometidos pela reflexão da incidência solar na parede de referência, assim como manter a temperatura da parede ecológica.

Figura 16 – Mangueira acoplada à saída de água.



Fonte: Autores, 2019.

2.2.4 Coleta de dados

Ao fim da construção da parede térmica os termopares devem ser dispostos com a finalidade de coletar dados de áreas específicas. Cada área receberá um termopar, estes estarão ligados ao FieldLogger. Cada entrada receberá os dados das temperaturas e os transformarão em tabelas ou gráficos. Eles estarão dispostos da seguinte maneira:

- (1) Termopar 1: Será chamado de “Ambiente Int. Ref”, ou seja, coletará os dados da temperatura ambiente no interior da sala de referência.
- (2) Termopar 2: Será “Ambiente Ext. Ref”. Assim como o primeiro, coletará a temperatura ambiente, porém do lado de fora das construções.
- (3) Termopar 3: Será “Parede Ext. Ref”. Esse termopar coletará a temperatura que o lado de fora da parede de referência irá receber. Ele deve estar protegido para que não receba incidência direta do sol, para que possa coletar a temperatura da parede com mais precisão.
- (4) Termopar 4: Será “Parede Int. Ref”. Assim como a anterior coletará os dados da parede de referência, porém do lado de dentro.
- (5) Termopar 5: Será “Parede Proj. Ext”. Este coletará a temperatura da parede ecológica, onde a face está virada para a incidência do sol.
- (6) Termopar 6: Será “Parede Proj. Int”. Coletará a temperatura que a face interna da parede ecológica demonstrar.

Antes do início das coletas de temperaturas é necessária a configuração do FieldLogger. Ela determinará o diretório para onde as informações serão encaminhadas, a interface, que nesse caso será “escravo”. É onde os canais analógicos serão habilitados e os termopares terão sua calibração customizada. Essa calibração é ideal para que os dados possam ser acurados. A configuração habilitará também os registros, a que momento se inicia a coleta, o modo e o horário para o término, quais serão os canais selecionados e o intervalo de tempo entre os registros.

Quando finalizada a configuração, esta é enviada ao equipamento (figura 17). Assim como foi determinado no momento da configuração a coleta começará.

Figura 17 – Interface do FieldLogger.



Fonte: Autores, 2019.

As coletas ocorrerão em momentos distintos. Das 4 coletas no total, somente 2 terão seus dados aproveitados, visto que as coletas realizadas no dia 18 de julho tiveram suas referencias prejudicadas pelo dia chuvoso.

Contudo, duas coletas de dados obtiveram informações que alcançaram as expectativas para um dia ensolarado.

A Coleta de Água com fluxo constante aconteceu no dia 19 de julho durante o período das 13 horas e 30 min até às 15 horas do mesmo dia. Para a coleta das temperaturas dos fluxos de água foram realizadas medições manuais com o auxílio de um termômetro de precisão, 0,1°C.

Já a Coleta de Água Retida aconteceu durante o período das 15 horas do dia 19 até as 9 horas da manhã do dia 22.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 SIMULAÇÕES

As simulações geraram os seguintes resultados (figura 18)

Figura 18 – Print dos resultados exportados para Excel.

Goal Name	Unit	Value
SG Min Velocity 1	[m/s]	0,426415477
SG Av Velocity 1	[m/s]	0,676523506
SG Max Velocity 1	[m/s]	0,855556525
SG Max Static Pressure 1	[Pa]	116222,8872
SG Max Static Pressure 2	[Pa]	109402,7831
SG Min Temperature (Solid) 1	[°C]	34,16256061
SG Av Temperature (Solid) 1	[°C]	36,32040617
SG Max Temperature (Solid) 1	[°C]	38,37532732
SG Min Temperature (Solid) 2	[°C]	30,36139933
SG Av Temperature (Solid) 2	[°C]	31,11023974
SG Max Temperature (Solid) 2	[°C]	34,25829158
SG Max Temperature (Fluid) 1	[°C]	28
SG Max Temperature (Fluid) 2	[°C]	28,04445551
Perda de carga	[Pa]	6820,104053

Fonte: Autores, 2019.

A tabela exportada para o Excel diretamente do Solid Works mostra a velocidade máxima a que o fluido chegou, sendo ela de aproximadamente 0,86 m/s. A temperatura da face externa da parede térmica está intitulada “SG Av Temperature (Solid) 1”, e após 170 interações resultou no valor de

36,32°C. Já a da face interna da parede, “SG Av Temperature (Solid) 2”, indica 31,11°C. Mostrando uma diferença de mais de 5°C entre as faces da parede.

A simulação resultou ainda no valor de perda de carga de 6820 Pa, ou seja, a diferença de pressão entre a saída e a entrada do fluido.

É possível encontrar também a temperatura a que a água se encontrará ao final das interações. Com o valor inicial de 28°C ela sobe para, apenas, 28,044°C. A mudança é pequena, contudo, indica a absorção de energia solar.

3.2 COLETAS

3.2.1 Água em fluxo constante

A primeira amostra de temperaturas corresponde ao estudo em que a água estava passando em um fluxo constante dentro da serpentina. As primeiras observações são a de que as temperaturas na parede de referência, tanto do lado de dentro quanto do lado externo, são sempre maiores que as temperaturas da parede térmica (figura 19). Isso indica que a Irradiação Térmica proveniente do sol, ao passar pela Parede Ecológica, encontrou, não só na resistividade térmica do tijolo como também na absorção do calor pela água, uma barreira a mais na sua trajetória para o lado interno da parede.

Figura 19 – Print dos resultados colhidos pelo FieldLogger no Excel.

DATE	TIME	AMB EXT REF	AMB INTER REF	PARED EXT REF	PARED INT REF	PARED PROJ EXT	PARED PROJ INT	Difer. Paredes Extern.	Difer. Pared. Intern.
19/07/2011	13:30:01	40,73	32,71	44,11	34,08	40,63	31,97	3,48	2,11
19/07/2011	13:40:01	38,78	32,35	44,81	34,20	41,60	32,44	3,21	1,76
19/07/2011	13:50:01	37,84	32,68	46,12	34,63	42,49	32,87	3,63	1,76
19/07/2011	14:00:01	38,61	32,61	47,12	34,78	43,03	33,00	4,09	1,78
19/07/2011	14:10:01	38,89	32,48	48,11	35,10	43,58	33,27	4,53	1,83
19/07/2011	14:20:01	38,57	32,93	49,28	35,59	44,34	33,53	4,94	2,06
19/07/2011	14:30:01	41,33	33,13	50,99	35,99	45,30	33,79	5,69	2,2
19/07/2011	14:40:01	40,40	32,96	51,09	36,48	45,79	34,13	5,3	2,35
19/07/2011	14:50:01	37,76	33,16	51,76	36,82	46,63	34,32	5,13	2,5
19/07/2011	15:00:01	40,44	33,26	53,29	37,23	47,33	34,57	5,96	2,66
							Média	Média	
							4,596	2,101	

Fonte: Autores, 2019.

É possível notar na tabela, marcado em azul, os horários e as maiores diferenças entre as temperaturas das paredes internas e externas. Às 15 horas a temperatura ambiente do lado de fora chega aos 40°C. A parede de referência que recebe a incidência direta do sol marca 53,29°C, enquanto a temperatura da parede térmica, que também está exposta à incidência direta, marca somente 47,33°C. Mostrando uma diferença de 5,96°C. Da mesma forma acontece ao analisarmos as faces internas das paredes. A face de referência indica 37,23°C enquanto a do projeto marca 34,57°. Uma diferença de 2,66°C.

Nota-se ainda, uma semelhança com o modelo real e a simulação feita anteriormente. Na simulação é possível constatar uma diferença de 5°C entre as faces da parede do projeto. E no modelo

construído há uma diferença de aproximadamente 10°C em média entre a face externa e a interna. Mostrando valores menores para o interior.

Essas diferenças indicam que a energia térmica que passa com mais facilidade pela parede de referência é, não só, mais lenta na parede térmica como também pode ser identificada nas faces externas. Isso se dá pela ação da água e sua temperatura mais baixa em comparação às dos tijolos como também pela resistividade térmica do tijolo.

A temperatura da água ao entrar na tubulação foi medida em 29,8°C pelo termômetro de precisão. Ao sair da tubulação a água encontrou-se a uma temperatura de 30,7°C. O aumento de quase 1°C se dá pela absorção de energia térmica incidindo na parede pela água que passa pela serpentina.

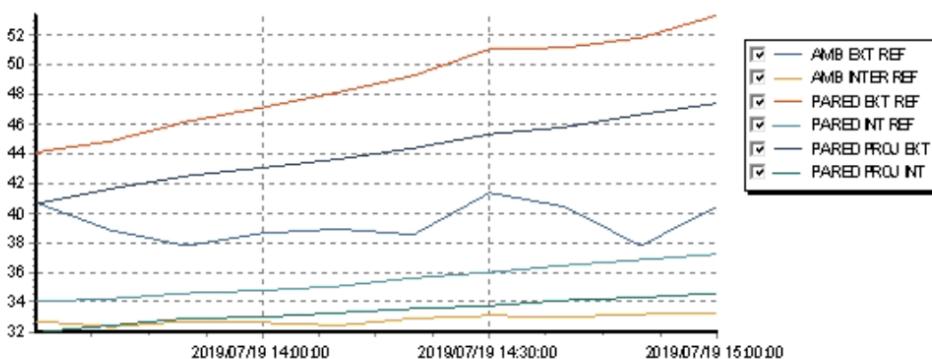
A diferença média entre as temperaturas das paredes internas é de mais 2°C. Esse desvio de temperatura é a diferença entre um ambiente desconfortavelmente quente e um local onde há conforto térmico.

A coleta de dados nos dá ainda um gráfico onde é possível observar as diferenças de temperaturas de maneira mais explícita (figura 20).

Figura 20 – Relatório disponibilizado pelo FieldLogger após coleta.

Início: 2019/07/19 13:30:01

Fim: 2019/07/19 15:00:0



Nome do Canal	Valor mínimo	Valor máximo	Valor médio
AMB EXT REF	37,76	41,33	39,33
AMB INTER REF	32,35	33,26	32,83
PARED EXT REF	44,11	53,29	48,67
PARED INT REF	34,08	37,23	35,49
PARED PROJ EXT	40,63	47,33	44,07
PARED PROJ INT	31,97	34,57	33,39

Fonte: Autores, 2019.

É possível notar que até mesmos os valores médios de temperatura da parede térmica são menores que a parede de referência. Os dados para as paredes externas são 48,67°C e 44,07°C, parede

de referência e parede térmica respectivamente. E para as faces internas das paredes, têm-se 35,49°C e 33,39°C, respectivamente para a parede de referência e a do projeto.

3.2.2 Água retida na serpentina

A segunda amostra de temperaturas corresponde ao estudo em que a água estava retida dentro da serpentina. Mesmo sem água corrente também é possível notar diferenças de temperaturas entre as faces das paredes (Figura 21).

Figura 21 - Print de parte dos resultados colhidos pelo FieldLogger no Excel.

DATE	TIME	AMB EXT REF	AMB INTER REF	PARED EXT REF	PARED INT REF	PARED PROJ EXT	PARED PROJ INT	Dif. Pards. Ext	Dif. Pared. Int.
19/07/20	13:30:01	40,73	32,71	44,11	34,08	40,63	31,97	3,48	2,11
19/07/20	13:40:01	38,78	32,35	44,81	34,20	41,60	32,44	3,21	1,76
19/07/20	13:50:01	37,84	32,68	46,12	34,63	42,49	32,87	3,63	1,76
19/07/20	14:00:01	38,61	32,61	47,12	34,78	43,03	33,00	4,09	1,78
19/07/20	14:10:01	38,89	32,48	48,11	35,10	43,58	33,27	4,53	1,83
19/07/20	14:20:01	38,57	32,93	49,28	35,59	44,34	33,53	4,94	2,06
19/07/20	14:30:01	41,33	33,13	50,99	35,99	45,30	33,79	5,69	2,2
19/07/20	14:40:01	40,40	32,96	51,09	36,48	45,79	34,13	5,3	2,35
19/07/20	14:50:01	37,76	33,16	51,76	36,82	46,63	34,32	5,13	2,5
19/07/20	15:00:01	40,44	33,26	53,29	37,23	47,33	34,57	5,96	2,66
19/07/20	15:10:01	39,87	33,27	54,26	37,47	47,49	34,66	6,77	2,81
19/07/20	15:20:01	41,08	33,47	55,77	38,10	48,54	35,15	7,23	2,95
19/07/20	15:30:01	40,39	33,72	55,68	38,54	49,43	35,76	6,25	2,78
19/07/20	15:40:01	41,84	33,95	56,83	38,78	50,39	36,30	6,44	2,48
19/07/20	15:50:01	41,81	34,01	57,55	39,15	50,86	36,89	6,69	2,26
19/07/20	16:00:01	39,72	34,35	57,74	39,78	51,64	37,65	6,1	2,13
19/07/20	16:10:01	38,14	34,32	57,49	40,03	52,11	38,21	5,38	1,82
19/07/20	16:20:01	37,67	34,63	56,76	40,57	51,60	38,92	5,16	1,65
19/07/20	16:30:01	39,75	34,57	57,02	40,74	52,16	39,41	4,86	1,33
19/07/20	16:40:01	37,87	34,74	56,44	40,93	51,73	39,83	4,71	1,1
19/07/20	16:50:01	36,35	34,97	54,87	41,34	51,02	40,29	3,85	1,05
19/07/20	17:00:01	35,39	35,06	52,49	41,53	49,38	40,53	3,11	1
19/07/20	17:10:01	36,62	35,01	52,63	41,54	49,48	40,80	3,15	0,74
19/07/20	17:20:01	34,31	35,06	44,91	41,72	44,43	41,02	0,48	0,7
19/07/20	17:30:01	33,15	35,03	41,97	41,72	42,82	41,16	-0,85	0,56
19/07/20	17:40:01	33,09	34,87	40,57	41,52	41,45	41,06	-0,88	0,46
19/07/20	17:50:01	32,35	34,81	40,99	41,26	40,64	40,79	0,35	0,47
19/07/20	18:00:01	31,56	34,78	38,17	40,77	39,41	40,45	-1,24	0,32
19/07/20	18:10:01	31,81	34,73	36,85	40,33	38,54	39,96	-1,69	0,37
19/07/20	18:20:01	31,08	34,59	36,11	39,86	37,86	39,55	-1,75	0,31

Fonte: Autores, 2019.

Esse estudo ocorreu logo após o primeiro estudo. Tendo começado as 15h do dia 19 e sendo finalizada as 9 horas do dia 22.

As maiores diferenças de temperaturas entre as paredes externas podem ser encontradas entre as coletas feitas as 15 horas e 10 minutos e as 16 horas. Sendo em média uma distância de 6,58°C. As temperaturas menores da parede do projeto são claramente influenciadas pela água que se encontra dentro da serpentina. Prova disso são as temperaturas coletadas nas horas seguintes. Enquanto as 18 horas e 20 minutos a temperatura ambiente desce para 31°C e a temperatura da parede de referência vai para 36,11°C, a da parede do projeto se encontra a 37,86°C. Maior que a de referência em 1,75°C. Isso acontece porque a água que se encontra na serpentina absorveu energia térmica e a acumulou, não sendo devidamente trocada após um período.

Contudo, o mesmo não aconteceu entre as faces internas das paredes (figura 22).

Figura 22 – Print de parte dos resultados colhidos pelo FieldLogger no Excel.

20/07/20 09:20:01	30,36	30,07	31,00	29,74	29,06	27,09	1,94	2,65
20/07/20 09:30:01	29,71	29,80	30,68	29,63	28,87	27,08	1,81	2,55
20/07/20 09:40:01	29,51	30,19	30,83	29,97	28,94	27,24	1,89	2,73
20/07/20 09:50:01	30,69	30,24	31,20	30,05	29,17	27,28	2,03	2,77
20/07/20 10:00:01	31,03	30,60	31,66	30,28	29,44	27,35	2,22	2,93
20/07/20 10:10:01	30,19	30,63	31,44	30,46	29,58	27,46	1,86	3
20/07/20 10:20:01	31,43	30,73	32,97	30,65	30,59	27,58	2,38	3,07
20/07/20 10:30:01	31,71	31,03	33,99	30,92	31,66	27,79	2,33	3,13
20/07/20 10:40:01	30,94	31,15	34,06	31,09	31,88	27,96	2,18	3,13
20/07/20 10:50:01	32,59	31,17	34,60	31,21	32,20	28,10	2,4	3,11
20/07/20 11:00:01	32,00	31,47	34,84	31,57	32,70	28,46	2,14	3,11
20/07/20 11:10:01	31,45	31,36	34,95	31,63	32,98	28,56	1,97	3,07
20/07/20 11:20:01	32,52	31,77	35,10	31,92	33,04	28,85	2,06	3,07
20/07/20 11:30:01	32,95	31,70	35,45	32,03	33,45	29,06	2	2,97
20/07/20 11:40:01	30,99	31,65	35,00	32,13	33,24	29,26	1,76	2,87
20/07/20 11:50:01	32,50	31,76	36,07	32,28	34,08	29,50	1,99	2,78
20/07/20 12:00:01	30,93	32,14	35,95	32,68	34,05	29,79	1,9	2,89
20/07/20 12:10:01	33,84	32,14	36,69	32,96	34,84	30,15	1,85	2,81
20/07/20 12:20:01	32,61	32,13	36,74	33,05	35,05	30,32	1,69	2,73
20/07/20 12:30:01	33,96	32,36	36,59	33,33	35,26	30,60	1,33	2,73
20/07/20 12:40:01	31,61	32,39	35,82	33,31	34,78	30,70	1,04	2,61
20/07/20 12:50:01	32,15	32,13	35,10	33,35	34,21	30,94	0,89	2,41
20/07/20 13:00:01	31,68	32,29	35,04	33,43	34,32	31,05	0,72	2,38
20/07/20 13:10:01	30,25	32,43	34,04	33,60	33,56	31,23	0,48	2,37
20/07/20 13:20:01	31,23	32,44	33,72	33,73	33,38	31,50	0,34	2,23
20/07/20 13:30:01	31,85	32,57	33,75	33,80	33,27	31,50	0,48	2,3
20/07/20 13:40:01	31,24	32,42	33,84	33,73	33,42	31,56	0,42	2,17
20/07/20 13:50:01	31,12	32,16	33,44	33,48	33,05	31,46	0,39	2,02
20/07/20 14:00:01	30,16	32,28	32,88	33,58	32,68	31,58	0,2	2
20/07/20 14:10:01	30,63	32,05	33,42	33,41	32,95	31,47	0,47	1,94
20/07/20 14:20:01	30,99	32,16	33,89	33,47	33,07	31,52	0,82	1,95
20/07/20 14:30:01	29,11	32,02	32,73	33,42	32,41	31,50	0,32	1,92

Fonte: Autores, 2019.

No período do dia 20, das 10 horas às 14 horas ficaram registradas as maiores diferenças entre a temperaturas das faces internas das paredes, chegando a até 3,13°C de diferença. E, assim como na primeira coleta, prova que é possível alcançar menores temperaturas utilizando este modelo de parede térmica.

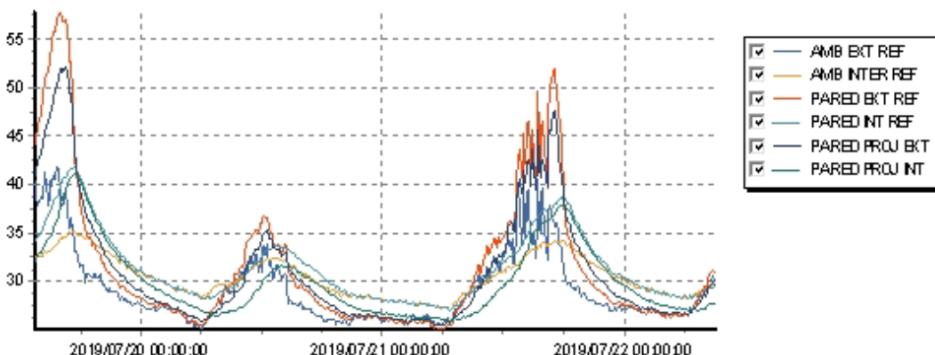
Com o auxílio do termômetro de precisão foi possível medir as temperaturas da água antes de entrar na serpentina e a temperatura da água ao final da coleta. Marcada pelo termômetro a água ao entrar marcava aproximadamente 29°C. Contudo, ao fim da coleta, a temperatura já alcançava os 50°C.

Ao notar-se a absorção de energia térmica pela água, faz-se necessária a troca do fluido periodicamente. A temperatura do fluido poderá alterar a temperatura do ambiente. Como é possível atentar na tabela que as diferenças de temperaturas entre as faces externas das paredes diminuem até que a parede de referência tenha uma temperatura menor e a diferença seja negativa.

E para finalizar o estudo dessa coleta o FieldLogger forneceu ainda um relatório incluindo um gráfico que melhor explica as mudanças as temperaturas ao longo da coleta (figura 23).

Figura 23 – Relatório disponibilizado pelo FieldLogger após coleta.

Início: 2019/07/19 13:30:01 Fim: 2019/07/22 09:00:01



Nome do Canal	Valor mínimo	Valor máximo	Valor médio
AMB EXT REF	25,19	41,84	29,24
AMB INTER REF	27,02	35,06	30,51
PARED EXT REF	25,02	57,74	31,59
PARED INT REF	27,02	41,72	31,49
PARED PROJ EXT	25,47	52,16	31,19
PARED PROJ INT	25,94	41,16	30,11

Fonte: Autores, 2019.

E ainda assim, os valores médios entre as temperaturas das faces interna e externa da parede térmica mostram-se menores que as da parede de referência. Em 1,38°C em relação as faces internas das paredes.

4 CONCLUSÃO

O projeto de pesquisa consistiu em elaborar uma análise térmica do modelo de parede térmica com fluxo de água para conforto térmico e aproveitamento de água quente. Inicialmente buscou-se entender os conhecimentos envolvidos através da literatura existente para fundamentar os critérios de análise, os testes e fabricação durante a execução do projeto. A partir dos estudos teóricos realizados, das simulações executadas e do estudo em volta da coleta de dados das temperaturas do modelo construído da parede térmica, é possível concluir que:

- (1) Boa parte da energia térmica incidente na parede é captada e absorvida pela água e tijolos.

O fenômeno é perceptível ao se constatar o aumento da temperatura da água ao passar pela serpentina em fluxo constante e quando se encontra represada em seu interior. Ela se encontra em estado potável e poderá ser aproveitada posteriormente, para fins domésticos e demais, como por exemplo substituir a água aquecida do chuveiro elétrico ou ser

utilizada para fins alimentícios, além de inúmeras outras aplicações. Conclui-se, então, que o objetivo “Reaproveitamento da carga solar” foi alcançado.

- (2) Observou-se, ao constatar que a temperatura da face interna da parede térmica encontrava-se a temperaturas menores que a externa e inferior à face interna da parede de referência, que a carga térmica que normalmente passa pelas paredes, praticamente sem perda, foi em grande parte absorvida, otimizando o Conforto Térmico.
- (3) É possível constatar que a temperatura do ambiente interno da parede do projeto manifesta menores temperaturas em comparação a uma parede construída com tijolo cerâmico vermelho. Sendo assim, é possível deduzir que ao construir um ambiente utilizando essas orientações, o âmbito edificado terá níveis de temperatura considerados confortáveis, reduzindo, portanto, o uso de ar condicionados e aparelhos refrigeradores, diminuindo o consumo de energia elétrica.
- (4) É plausível inferir que a redução dos níveis de consumo de ar condicionados e aparelhos refrigeradores não somente diminuirá o consumo de energia elétrica, como também reduzirá uma quantidade considerável de emissão de gases estufa, onde é de saber comum que um dos maiores responsáveis são os aparelhos ar condicionáveis. Assim como a redução da utilização do ar-condicionado resultará em um menor impacto negativo ambiental, a utilização dos Tijolos Solo-cimento também somará para isso, como é possível julgar a partir do apresentado em “1.1.2. Ecológico”.
- (5) Constata-se, ainda, que a forma mais vantajosa de se utilizar a Parede Térmica é com a mudança periódica da água que se encontra dentro da serpentina, ou seja, com fluxo. Isso irá ocorrer normalmente ao longo da reutilização da água.
- (6) Entende-se também que os horários em que a parede térmica se mostrou mais eficiente foram precisamente nos horários em que os dias se encontraram mais quente. Assim no experimento com fluxo constante como no com água represada, os horários das 14 horas as 15 horas apresentaram as maiores diferenças de temperaturas.

Conclui-se, a partir do que foi inferido, que a Parede Térmica mostrou resultados positivos e alcançou seus objetivos. A construção de protótipo de tijolo ecológico promoveu avaliação de desempenho quanto ao fluxo de calor ultrapassado por ele, em comparação ao tijolo comum.

Por fim, é certo que o referido projeto pode ainda ser significantemente explorado para se obter melhor entendimento dos fundamentos e fenômenos relacionados. Acredita-se que por meio dos resultados aqui obtidos através da metodologia aplicada, esta pesquisa se torne uma fonte para

melhorar a compreensão na aplicação do tijolo ecológico com o objetivo de otimizar o conforto térmico e outros projetos de mesma natureza da comunidade acadêmica desta universidade

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, INC. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10833**: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica – Procedimento. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8492**: Tijolo de Solo-cimento - Análise dimensional, determinação da resistência a compressão e da absorção de água - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

CENGEL, Y.A., & Cimbala, J.M. **Mecânica dos Fluidos: Fundamentos e Aplicações**. McGraw-Hill; ECOTERM. **Tijolo Ecológico**. São Sebastião do Paraíso – MG. 2018. Disponível em: <<http://tijoloecloterm.com/tijolo-ecologico>>. Acesso em: 15 de abril de 2019.

FANGER, P. O. *Thermal Comfort*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1970.

FÍSICA Net. **Constantes físicas: Condutividade Térmica (k)**. 2018. Disponível em: <[https://www.fisica.net/constantes/condutividade-termica-\(k\).php](https://www.fisica.net/constantes/condutividade-termica-(k).php)>. Acesso em: 30 de junho de 2019.

FOX; MCDONALD, A.T. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. LTC Editora, 5ª Edição, 2011.

GOUVEIA, R. **Irradiação Térmica**. 2018. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/irradiacao-termica>>. Acesso em: 19 de junho de 2019.

KUFFEL, M. A.; TOMIM, K. C. **Desempenho térmico do tijolo modular de solo cimento em comparação ao tijolo cerâmico e blocos de concreto**. 2018. 22 f. Trabalho Final de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Paranaense, Campus de Toledo, 2018.

LIMA, Fernando. **Perdas de cargas**. Universidade Estadual do Maranhão, São Luís.

LISBOA, J. M. **Aplicação do tijolo ecológico em paredes que recebam incidência de energia térmica solar para otimizar o conforto térmico**. 2015. 24 f. Relatório semestral apresentado à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Estadual do Maranhão. 2015.

MUNDO da Elétrica. **O que é um termopar**. 2019. Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-um-termopar>>. Acesso em: 28 de maio de 2019.

NOVUS. **Solução completa em automação: FieldLogger**. Porto Alegre - RS. 2019.

SAHARA. **Tijolo Ecológico Solo Cimento**. Mogi das Cruzes – SP. 2018. Disponível em: <<https://www.sahara.com.br/novo/informativos/tijolo-ecologico-solo-cimento.php>>. Acesso em: 16 de maio de 2019.

SALDANHA, L. **Como a Simulação de Fluxo incorporada acelera o processo de projetos mecânicos.** 2017. Disponível em: <<https://www.4ieng.com.br/single-post/Como-a-simulacao-de-fluxo-incorporada-acelera-o-processo-de-projetos-mecanicos>>. Acesso em: 30 de junho de 2019.

SILVA, S. R. **Tijolos de Solo Cimento reforçado com serragem de madeira.** 2005. 219 f. Dissertação apresentada ao Curso de PósGraduação em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de "Mestre em Engenharia de Estruturas". 2005.

WEBER, E; CAMPOS, R. F. F.; BORGA, T. **Análise da Eficiência do Tijolo Ecológico Solo-cimento na construção civil.** Universidade Alto Vale do Rio do Peixe – UNIARP. 2017. 17 f.
WHITE, F.M., **Mecânica dos Fluidos**, McGraw-Hill;