

PROTÓTIPO DE COGERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DO REVESTIMENTO ASFÁLTICO DE PAVIMENTOS

Daniele Fronza
Fábio Pereira Rossato
Francine Rafaeli Kohls
Índira Samantha Vieira da Cruz
Nelson Knak Neto

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

RESUMO

No Brasil, cerca de 99% das rodovias são pavimentadas com revestimento asfáltico. Este, devido a sua coloração escura, possibilita grande absorção de calor e aproveitamento energético, sem modificar a matriz construtiva. Diante deste contexto, visou-se avaliar a viabilidade do aproveitamento de calor a partir desta camada de revestimento dos pavimentos para cogeração de energia. Foi desenvolvido um protótipo composto por três canalizações de dimensões e materiais diferentes, localizadas na metade da espessura de uma camada de concreto asfáltico. O sistema foi instalado em um local com incidência solar de 10 horas diárias. Os resultados indicaram que a canalização de maior diâmetro proporcionou melhor desempenho, com um ganho médio de temperatura de 0,77°C para uma extensão de 0,90 m. Concluiu-se que o protótipo de preaquecimento de água apresentou boa eficiência, tornando-se uma alternativa bastante viável para cogeração de energia em um sistema de aquecimento por caldeiras.

ABSTRACT

In Brazil, about 99% of the highways are paved with asphalt. This, due to its dark coloration, allows great absorption of heat and energy utilization, without modifying the constructive matrix. In this context, the aim was to evaluate the viability of the use of heat from this layer of floor covering for energy generation. A prototype composed of three pipes of different dimensions and materials was developed, located at half the thickness of an asphalt concrete layer developed. The system was installed in a place with solar incidence of 10 hours daily. The results indicated that the larger diameter conduit provided better performance, with an average temperature gain of 0.77 ° C for an extension of 0.90m. It was concluded that the water preheating prototype showed good efficiency, making it a very viable alternative for cogeneration of energy in a boiler heating system.

1. INTRODUÇÃO

O principal modal de transporte brasileiro é o rodoviário, sendo este responsável pelo transporte de mais de 61% das cargas e mais de 95% dos deslocamentos de passageiros. Em virtude disso, têm-se inúmeros quilômetros de rodovias pavimentadas. Associado a isto, no Brasil, tem-se a predominância do uso de misturas asfálticas na camada de revestimento, estando presente em mais de 99% das rodovias pavimentadas (CNT, 2017).

Elevadas temperaturas devido à coloração escura característica dos revestimentos asfálticos, colaboram para que haja grande absorção de calor (VASSOLER, 2009).

A temperatura ambiente está ligada com o clima da região em questão, segundo Soares (2011), o clima é definido como um conjunto de fenômenos meteorológicos que caracterizam, durante um longo período de tempo, o estado da atmosfera de um determinado local. O autor ainda ressalta que um dos parâmetros utilizados para a classificação do clima são as temperaturas médias, máximas e mínimas.

Ainda em concordância com o autor, devido à grande dimensão do Brasil, o mesmo é influenciado pela geografia, altitude e dinâmica das correntes e massas de ar, devido a isto, o mesmo possui uma diversificação climática muito ampla.

Cerca de 92% do território brasileiro se encontra na zona intertropical, com predominância de

climas quentes e temperaturas médias superiores a 20 °C, por outro lado, o clima do Rio Grande do Sul apresenta diferenças em relação ao clima do Brasil, sendo enquadrado na zona fundamental temperada, com temperaturas que variam de 3 °C a temperaturas superiores a 22 °C, e temperatura média de 18 °C (SOARES, 2011). Apesar de apresentar essa média de temperatura, o estado possui regiões com extremos que chegam a -10 °C no inverno e 40 °C no verão, sendo sua localização mais ao sul do país um dos fatores responsáveis pela diferença mais acentuada na temperatura, durante as estações do ano (SOARES, 2011).

Segundo Incropera (2003), sempre que existe diferença de temperatura entre dois meios ocorrerá transferência de calor, esta é classificada em três modos, condução, convecção e irradiação.

Na condução a transferência de calor acontece através do meio, ou seja, devido a interação entre partículas, ocorre a transferência de energia das partículas mais energéticas para as menos energéticas (INCROPERA, 2003). Esse fenômeno pode ser explicado tendo em vista o choque entre as moléculas de um corpo mais quente que transfere energia para as moléculas mais frias, essa movimentação de energia pode ser quantificada utilizando a Lei de Fourier, e recebe a denominação de taxa de transferência (q).

A convecção ocorre entre uma superfície e um fluido em movimento e abrange dois mecanismos de transferência de calor, a transferência de energia devido ao movimento molecular aleatório (difusão) e a transferência através do movimento global, ou macroscópico, do fluido (INCROPERA, 2003).

A radiação térmica é uma forma de transmissão de energia em forma de calor, de uma matéria que se encontra a uma temperatura diferente de zero. A energia é transportada por meio de ondas eletromagnéticas (ou, alternativamente, fótons) e não necessariamente necessita de um meio material, sendo até mais eficiente no vácuo, diferente da condução e convecção (INCROPERA, 2003).

O ciclo de aquecimento e resfriamento do revestimento asfáltico no decorrer do dia, no início do dia a temperatura na superfície do pavimento é menor em relação às demais profundidades, conforme aumenta a insolação a temperatura sobe a ponto de ser bem maior em comparação com as profundidades atingindo seu grau máximo entre o segundo e terceiro períodos do dia, horário normalmente mais quente. Quando os raios solares diminuem, a temperatura na superfície diminui enquanto o interior do pavimento retém calor (TRAMONTINI, 2007).

Diante dos fatos apresentados, visou-se aproveitar essa fonte de captação de calor, que é o revestimento asfáltico para gerar energia de forma limpa e sustentável, através da elaboração de um protótipo de um sistema de pré-aquecimento de água que foi desenvolvido e implantado dentro da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões/Campus de Santo Ângelo, RS e em seguida, analisado em um determinado período de tempo.

Contudo, se o mesmo fosse adaptado e implantado em escala real, poderia ser utilizado como cogeração de energia de um sistema de geração de energia através caldeiras de vapor. Pois, além de ser um sistema suprido por energia limpa, pode substituir em parte, demais sistemas de energia que utilizam combustíveis fósseis, aliando à preservação ambiental a redução de custos com combustíveis.

2. OBJETIVO

A presente pesquisa teve como objetivo avaliar a viabilidade de aproveitamento do calor para a cogeração de energia através de diferentes técnicas associadas ao revestimento asfáltico de pavimentos com ênfase em um sistema de pré-aquecimento de água.

3. METODOLOGIA

Inicialmente, foi realizado um estudo aprofundado sobre o tipo de sistema em questão, e este, foi realizado com o auxílio de livros, teses, artigos, dentre outros.

Após, averiguou-se o melhor local para instalação do sistema, dentro da URI/Campus Santo Ângelo, instalou-se o mesmo ao lado do prédio 24, localizado na instituição, este ponto foi escolhido levando em consideração a incidência solar e a superfície plana do mesmo.

Bem como, foram definidos os materiais a serem utilizados e os componentes do sistema, que foi subdividido em três partes: a primeira sucedeu-se com a construção de um molde em madeira com dimensões de 0,90x0,35x0,10m, e dentro deste foram colocadas tubulações de cobre com diâmetros de (1/4" e 1/2"), como também uma canalização quadrada do tipo metalon com dimensões de 0,2x0,2 m.

O material da canalização foi escolhido em função da condutividade térmica, e levou-se em consideração a configuração da estrutura de cálculo para transferência de calor, sendo que para a canalização quadrada pode ser utilizado o modelo para parede plana e nas canalizações circulares foi necessário considerar diferentes espessuras, pois o mesmo não possui modelo de cálculo (INCROPERA, 2003). A Figura 1 demonstra o molde já construído com as canalizações em seu interior.

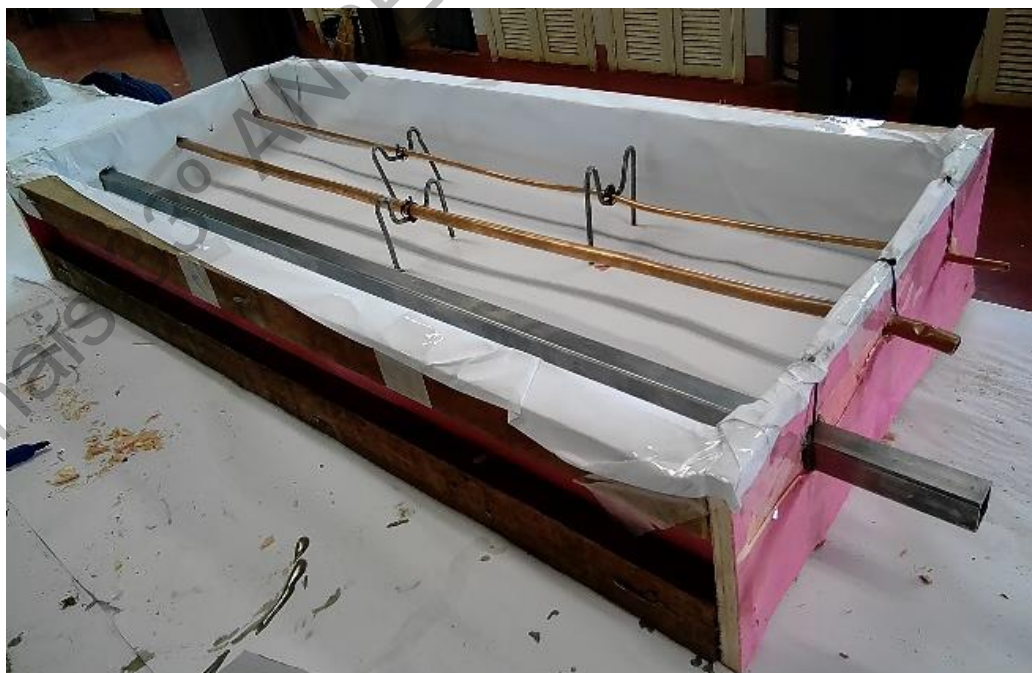


Figura 1: Molde com as canalizações

Contudo, ambas as canalizações possuem 0,9 metros de comprimento. Por último, as

canalizações foram recobertas com massa asfáltica, como pode ser observado na Figura 2.



Figura 2: Molde preparado com as canalizações e a massa asfáltica

Na segunda etapa foi elaborado um sistema de medição de temperatura, composto por uma placa arduíno uno, um módulo relógio e um módulo de cartão de memória, que foram colocados em uma caixa plástica, como pode ser observado na Figura 3. Também, utilizou-se sensores de temperatura do tipo DS-18B20 a prova d'água que foram colocados no início e no final das tubulações para a determinação do ganho de temperatura pelo sistema.

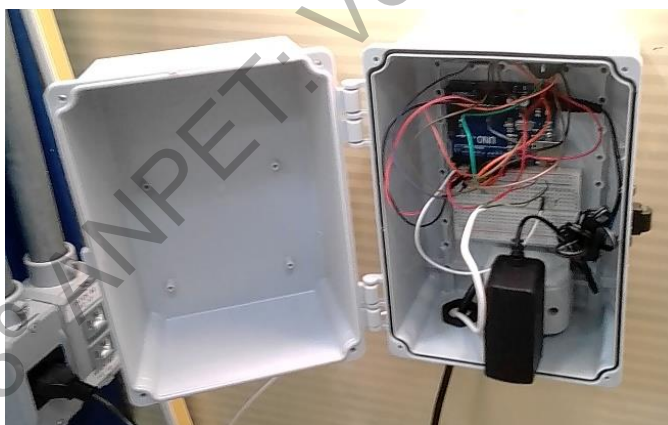


Figura 3: Sistema de medição de temperatura

A terceira e última parte do sistema foi composta por uma caixa d'água de 310 litros de capacidade, mangueiras de silicone e uma bomba submersa.

O funcionamento do protótipo do sistema de pré-aquecimento de água sucedeu-se da seguinte maneira: utilizou-se uma mangueira de silicone para ligar a caixa d'água ao ponto inicial da canalização que ficou inserida na camada de revestimento asfáltico, neste ponto também foi inserido um sensor de temperatura, com intuito de medir a temperatura da água no ponto de entrada. No ponto de saída também foi colocado um sensor, medindo a temperatura no respectivo ponto. Após a passagem da água pela canalização, no interior do revestimento asfáltico, a mesma retornava para a caixa d'água. A circulação da água ocorreu com a utilização de uma bomba de água para aquário, com capacidade de escoamento de 500 l/h.

Desta forma, foi registrada a temperatura no ponto de entrada e saída do revestimento, sendo possível verificar quanto a água estava sendo aquecida durante a passagem pelas canalizações, as temperaturas foram lidas a cada 30 minutos, e foram registradas pelo sistema de medição de temperatura. A Figura 4 demonstra o sistema já em funcionamento.



Figura 4: Sistema em funcionamento

Por fim, foram coletados e analisados os dados provenientes do sistema de pré-aquecimento de água. Foram calculados alguns parâmetros para as tubulações de cobre e de aço, bem como: a vazão, o ganho médio de temperatura (por dia), a taxa de transferência de calor, o comprimento necessário para chegar ao equilíbrio térmico, além do cálculo da estimativa de redução de combustível fóssil, onde estipulou-se um sistema de cogeração de energia em conjunto com um tipo de caldeira (no caso, a fogotubular) e um modelo de microturbina a vapor, necessários para os cálculos. Para fins de cálculos foram utilizadas as medições em horários com ganhos de energia, das 8:00 às 20:00 horas.

A transferência de calor pode ocorrer de três formas, condução, convecção e irradiação, a pavimentação asfáltica absorve calor por irradiação, devido a sua coloração preta e através de condução toda a camada de revestimento é aquecida. Ao introduzir as tubulações, o mesmo aquece também por meio de condução e a água que circula por ele, por meio de convecção e condução pelo contato da canalização com a água. A quantificação dos processos de transferência de calor pode ser feita através de equações de taxa, utilizou-se a lei de Fourier e a equação de calor sensível para calcular a taxa de fluxo de calor.

As medições para cada material da canalização foram realizadas em períodos diferentes, sendo que para cada um foi verificado a média de temperatura do revestimento asfáltico e do ambiente. Sendo assim, cada análise será realizada para a condição ao qual as canalizações estavam submetidas.

A temperatura do asfalto foi coletada com o auxílio de um termômetro de contato, em vários pontos do revestimento, as leituras foram realizadas ao longo do dia, para que pudesse ser

levado em consideração o aquecimento do revestimento, e posteriormente foi realizado o cálculo da temperatura média ao longo do dia. Enquanto que, a temperatura ambiente foi coletada através de dados da estação meteorológica localizada nas dependências da URI campus Santo Ângelo e dados adaptados de *accuweather*, obtendo-se as temperaturas médias do meses estudados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Variação da temperatura da água

Com os valores de temperatura de entrada e saída das canalizações de todos os dias aferidos, calculou-se a variação de temperatura média, que é utilizada para os cálculos de transferências de calor e na estimativa do comprimento necessário para que a água entre em equilíbrio térmico com o revestimento asfáltico. Os valores encontrados nas tubulações de cobre estão expressos na Tabela 1, enquanto que os encontrados na tubulação de aço estão na Tabela 2.

Tabela 1: Cálculos de ganho de temperatura média da água canalização de cobre

Data	Ganho Canalização 1/2"	Ganho Canalização 1/4"
23/10/2017	0,43	0,25
24/10/2017	1,19	0,29
28/10/2017	0,84	0,23
29/10/2017	0,46	0,19
30/10/2017	0,40	-0,06
31/10/2017	1,12	0,37
01/11/2017	1,05	0,36
02/11/2017	1,12	0,37
03/11/2017	-0,19	0,20
04/11/2017	0,42	0,26
05/11/2017	1,05	0,32
06/11/2017	1,22	0,34
07/11/2017	1,21	0,31
08/11/2017	0,47	0,23
09/11/2017	0,78	0,26
GANHO MÉDIO	0,77	0,26

Tabela 2: Cálculos de ganho de temperatura média da água canalização de aço

Data	Ganho canalização 20x20 (mm)
09/11/2018	0,63
10/11/2018	0,53
11/11/2018	0,44
12/11/2018	0,27
15/11/2018	0,48
16/11/2018	0,35
GANHO MÉDIO	0,4484

4.2. Taxa de transferência de calor

O cálculo de transferência de calor foi feito pela lei de Fourier, representa basicamente a quantidade de calor Q que atravessa um corpo, sob uma diferença de temperatura, de acordo com a Equação 1. Considerou-se o sistema como parede plana e utilizando o somatório das

resistências do revestimento asfáltico, da canalização de cobre e da água. Este valor corresponde a quantidade teórica de calor transmitida à água.

$$Q = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \rightarrow Q = \frac{\Delta T}{\Sigma 1/R} \quad (1)$$

Onde:

Q - Valor teórico da taxa de calor [W]

X – Espessura (h) [m]

k – Coeficientes de condutividade térmica (tabelado) [W/K.m]

ΔT - Variação de Temperatura T_{asfalto} e T_{água} [°C]

A – Área de troca de calor [m²]

O valor de resistência a condução do revestimento asfáltico, foi obtido adotando-se três valores de espessura para as canalizações circulares, pois sua configuração não possui equação específica e foi preciso analisar qual espessura aproxima-se mais do resultado obtido no cálculo de fluxo de calor, sendo assim, obteve-se três valores de taxa de transferência de calor. A primeira espessura é a distância da superfície à canalização, a segunda é a distância da superfície à um quarto do diâmetro da canalização e a última é a distância da superfície à metade do diâmetro da canalização.

Para realizar o cálculo da resistência da água foi necessário antes conhecer o número de Reynolds (Rey), para determinar se o escoamento é laminar ou turbulento e, a partir desse parâmetro obter o valor de Nusselt (Nu). A partir do número de Nu é possível calcular o coeficiente de transferência térmica por convecção da água e utilizá-lo na equação de resistência a convecção térmica. As taxas de transferência de calor calculadas para as canalizações de cobre estão apresentadas na Tabela 3 e as calculadas para a canalização de aço na Tabela 4.

Tabela 3: Taxa de transferência de calor para as diferentes espessuras consideradas

Data	Canalização de 1/2"			Canalização de 1/4'		
	qh1 (W)	qh2 (W)	qh3 (W)	qh1 (W)	qh2 (W)	qh3 (W)
23/10/2017	17,17	18,42	19,66	21,09	21,80	22,52
24/10/2017	46,92	50,33	53,74	24,76	25,60	26,43
28/10/2017	33,15	35,56	37,97	19,88	20,55	21,22
29/10/2017	18,34	19,67	21,00	16,32	16,87	17,43
30/10/2017	16,04	17,21	18,38	-5,45	-5,64	-5,82
31/10/2017	44,14	47,35	50,56	31,64	32,71	33,78
01/11/2017	41,34	44,35	47,35	30,88	31,93	32,97
02/11/2017	43,95	47,14	50,34	31,22	32,27	33,33
03/11/2017	-7,55	-8,09	-8,64	17,04	17,61	18,19
04/11/2017	19,26	18,04	19,26	22,60	23,36	24,13
05/11/2017	41,50	44,52	47,54	27,58	28,51	29,45
06/11/2017	47,92	51,40	54,88	29,20	30,19	31,18
07/11/2017	47,54	51,00	54,45	26,77	27,68	28,58
08/11/2017	18,49	19,83	21,18	19,47	20,13	20,79
09/11/2017	30,71	32,94	35,17	22,01	22,75	23,50
MÉDIA	30,59	32,64	34,85	22,33	23,08	23,84

Tabela 4: Taxa de transferência de calor

Canalização 20x20 (mm)	
DATA	q (W)
09/11/2018	22,78
10/11/2018	19,78
11/11/2018	16,32
12/11/2018	10,18
13/11/2018	9,33
15/11/2018	17,72
16/11/2018	12,88

4.3. Fluxo de Calor

O fluxo de calor (Q) representa quanto de calor é fornecida para o meio em um determinado período, o cálculo é realizado através de Equação 2, e determinado em função da massa, calor específico, variação de temperatura da substância e do tempo. Este reflete o valor real de calor que foi absorvido pela água. Para a obtenção dos valores de taxa de calor, multiplicou-se os valores de calor específico, vazão mássica e variação de temperatura da água.

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (2)$$

Onde:

Q – Fluxo de calor [W]

m – Vazão mássica [kg/s]

C_p – Calor específico da água em pressão constante [J/kg.K]

ΔT – Variação de temperatura [K]

Os resultados obtidos para este parâmetro para as canalizações de cobre estão apresentados na Tabela 5 e para a de aço na Tabela 6.

Tabela 5: Fluxo de calor canalização de cobre

DATA	Q (W)	
	1/2"	1/4"
23/10/2017	67,72	9,95
24/10/2017	185,06	11,6804
28/10/2017	130,76	9,378
29/10/2017	72,33	7,69
30/10/2017	63,28	-2,57
31/10/2017	174,13	14,92
01/11/2017	163,07	14,57
02/11/2017	173,35	14,72
03/11/2017	-29,76	8,03
04/11/2017	66,33	10,66
05/11/2017	163,71	13,01
06/11/2017	189,01	13,77
07/11/2017	187,52	12,62
08/11/2017	72,92	9,18
09/11/2017	121,13	10,38

Tabela 6: Fluxo de calor canalização de aço

DATA	Q (W)
09/11/2018	171,61
10/11/2018	132,55
11/11/2018	109,87
12/11/2018	68,49
13/11/2018	62,79
15/11/2018	119,29
16/11/2018	86,70

4.4. Redução de combustível e comprimento necessário para o equilíbrio térmico

4.4.1. Canalização de Cobre

Os resultados de redução de combustível foram estimados para a canalização de cobre com diâmetros de 1/2" e 1/4", levando em consideração a temperatura de aquecimento que o sistema teria que proporcionar a água, uma vez que, o resultado obtido foi de 22,63 °C. Este valor foi calculado através da diferença média de temperatura entre o revestimento asfáltico e o ambiente, que foram, respectivamente, de 42,63 °C e 20 °C.

Para a estimativa do tubo de 1/2" obteve-se, através dos cálculos, uma vazão de 0,037 l/s, ou seja, 1 l de água demora cerca de 27 s para atravessar o sistema de 0,9 m de comprimento, e, um ganho médio de temperatura, por dia, de 0,77 °C. Com isso, estimou-se que, o sistema necessitaria de um comprimento total de 26,3 m para que houvesse então o equilíbrio térmico entre a temperatura da água e a temperatura do revestimento asfáltico, ou seja, a temperatura de ambos será a mesma, não ocorrendo mais transferência de calor. Contudo, seriam necessárias 7,5 h para que esse processo ocorresse.

Para o tubo de 1/4" seguiu-se os mesmos métodos de cálculos utilizados para o tubo de 1/2" polegada, sendo que ele possui o mesmo comprimento de 0,90 metros e uma vazão de 0,0095l/s, ou seja, 1 litro de água leva 105 segundos para passar pelos 0,90 metros do sistema. O sistema utilizando o tubo de 1/4" apresentou um ganho médio, por dia, de temperatura de 0,26°C. Assim estimou-se que, o sistema precisaria de um comprimento de 76,97 metros para elevar a temperatura da água de 20 °C para a temperatura do revestimento asfáltico que é de 42,63°C.

Todavia, utilizando os valores de que a caldeira escolhida (para fins de cálculos) consumia cerca de 168,95 kg/h de óleo diesel, para que a temperatura fosse elevada a temperatura ambiente da água de 20 °C para 150 °C (temperatura em que a caldeira produz vapor). Conquanto, considerando que o sistema de pré-aquecimento de água elevou a temperatura da água a temperatura média do revestimento que foi de 42,63 °C, a caldeira, por sua vez, necessitaria elevar a temperatura apenas de 42,63 °C para 150 °C.

Desse modo, faria com que o sistema consumisse somente 139,54 kg/h de diesel, ao invés de 168,95 kg/h que é o consumo normal, o que proporciona uma redução de 29,41 kg/h no consumo de combustível. Por fim, utilizando o valor médio atual do preço do diesel de R\$3,799 o litro, obteve-se uma economia de R\$131,44 por hora considerando a densidade de 0,85 kg/l (PETROBRAS, 2018).

4.4.2. Canalização de aço

Os cálculos para a tubulação de aço foram realizados considerando a diferença de temperatura do revestimento asfáltico e do ambiente durante o período estudado. Foi encontrado para a temperatura média do revestimento asfáltico de 39,83°C e para a temperatura ambiente de 26°C.

Sabendo que a canalização de aço possui uma vazão de 0,0601 l/s, o que significa que levando em consideração o sistema proposto de pré-aquecimento de água, para encher um recipiente (béquer) de 1 litro de água leva cerca de 16,64 segundos atravessando a canalização de 0,90 metros, obtendo um ganho de energia de 0,4484°C no período de maior eficiência do sistema.

Com base nestes dados, pode-se estimar qual o comprimento da canalização seria necessário a fim de elevar a temperatura da água até a temperatura do revestimento asfáltico, assim alcançando o equilíbrio térmico, ou seja, a água estará com a mesma temperatura do revestimento asfáltico, alcançando assim a temperatura máxima possível. Logo, para elevar a temperatura da água de 20°C (temperatura ambiente) até a temperatura de 39,83°C (temperatura do revestimento asfáltico) seria necessário uma canalização de 39,80 metros.

Portanto, se fosse instalado um sistema de pré-aquecimento de água com um comprimento de 39,80 metros, para encher um reservatório com capacidade de 1000 litros de água seria necessário em torno de 4,62 horas para aquecer o montante de água.

Com isso, para estabelecer parâmetros na redução do uso combustível, o estudo propõe a substituição na alimentação da água para caldeira, ou seja, ao invés da caldeira aquecer a água na temperatura de 20°C, a mesma se utilizaria da água pré-aquecida proveniente do sistema, assim o aquecimento da água seria de 39,83°C a 150°C.

Sabendo então, que a caldeira, para elevar a temperatura da água de 20°C a 150°C tem um consumo de combustível (óleo diesel) de 168,95 kg/h, se fosse implantado o sistema proposto, a caldeira iria consumir somente 143,18 kg/h, tendo em vista uma redução do uso de combustível de 25,77 kg/h. De acordo com pesquisa de preço local, o preço atual do óleo diesel é de cerca de R\$ 3,799, o litro, e considerando a densidade do óleo diesel de 0,85 kg/l (PETROBRAS, 2018), pode-se estimar uma redução do uso do combustível de R\$ 115,18 por hora.

4.4.3. Comparativo entre as diferentes canalizações

Tendo em vista todos os dados encontrados, foi possível fazer uma comparação entre o sistema de pré-aquecimento de água analisando todas as canalizações inseridas nele, de acordo com a Tabela 7, podemos observar que

Tabela 7: Comparativo entre as canalizações analisadas

	Unidade	Tubo Aço 20x20 mm	Tubo Cobre 1/2"	Tubo Cobre 1/4"
Ganho médio de temperatura	°C	0,4484	0,7753	0,2646
Vazão	l/s	0,0601	0,037	0,0095
Comprimento da tubulação	m	39,80	23,02	67,45
Tempo para encher 1000 L	h	4,62	7,50	29,24
Redução de óleo diesel	kg/h	25,77		29,77

Verificando esses dados, pode-se notar que a canalização de aço obteve um ganho menor de temperatura em relação à canalização de cobre de 1/2", porém superior do que a de 1/4", fazendo com que a tubulação de 1/2" seja melhor quanto ao comprimento da canalização, pois necessita somente de 23,02 metros para obter o mesmo ganho de temperatura que as demais canalizações.

No entanto, a canalização de aço possui uma vazão maior o que a canalização de cobre de 1/2" e 1/4", o que consequentemente levaria menos tempo para abastecer um reservatório de 1000 l, gerando assim uma economia no uso do óleo diesel maior do que a canalização de cobre de 1/2", que obteve um melhor desempenho quanto ao ganho de temperatura.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O protótipo do sistema de pré-aquecimento de água obteve resultados significativos provando que o revestimento asfáltico de pavimentos contribui na absorção de grande quantidade de calor proveniente da radiação solar e o transferiu para as canalizações que aqueceram a água que passava em seu interior, como já esperado a quantidade de calor absorvida pela água varia muito com a quantidade de sol que irradia sobre o sistema, e também em função do diâmetro e da velocidade com que a água circula.

A proposta deste estudo foi verificar a eficiência de um sistema de pré-aquecimento de água tendo em vista três canalizações inseridas em seu interior, visando um aquecimento de água através da incidência solar em um revestimento asfáltico. Com isso, foram analisadas as três canalizações, verificando assim qual delas apresentou maior eficiência quanto à geração de energia limpa.

Conclui-se então, que o sistema proposto que consiste na simulação de um sistema de pré-aquecimento de água através de um pavimento asfáltico, se mostrou eficiente para as três tubulações inseridas, ou seja, todas elas mostraram que podem aquecer a água conduzida em seu interior, apresentando-se como alternativas viáveis para a cogeração de energia limpa.

No entanto, das três canalizações avaliadas no protótipo, a canalização que obteve melhor desempenho quanto ao ganho de temperatura foi a canalização de cobre de 1/2", pois a mesma obteve um ganho médio de temperatura de 0,7753°C, diferindo das outras duas de 0,4484°C (canalização de aço) e 0,2646°C (canalização de cobre de 1/4"). Consequentemente, se esse sistema fosse implantado em uma escala maior, a canalização de cobre de 1/2" precisaria de um comprimento menor para se alcançar a temperatura de equilíbrio térmico entre a água e o revestimento asfáltico.

Em contrapartida, a canalização que contribuiria mais para a economia no uso do óleo diesel seria a canalização de aço, pois a mesma para abastecer o mesmo reservatório de água levaria menos tempo, o que ocasionaria em uma redução de R\$ 115,18 por hora, considerando o preço atual do óleo diesel.

O valor de fluxo de taxa de calor encontrado pela lei de Fourier para todas as espessuras calculadas não se aproximou dos valores cálculos com a equação de taxa de calor, devido a inexistência de uma equação para a configuração do protótipo, que junta o sistema de parede plano com o sistema cilíndrico, sendo assim necessário supor alguns valores necessários para o cálculo.

Agradecimentos

Este trabalho tem o apoio do programa de iniciação científica e tecnológica Rede de Estudo e Pesquisa em Desenvolvimento Sustentável (REDES) da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e Missões (URI), projeto de pesquisa 4954.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bernucci et al. (2006) *Pavimentação asfáltica: formação para engenheiros*. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA.
- Confederação Nacional Do Transporte (2017) *Anuário CNT do Transporte*. CNT, Brasília.
- Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes (2018) *DNIT: Relatório de gestão 2015*. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/aceso-a-informacao/relatorio-de-gestao/relatorio-de-gestao-2015>>. Acesso em 04 maio 2018.
- Incropera, F. P. e Dewitt, D. P. (2014) *Fundamentos de Transferência de Calor e Massa*. 7ªed. LTC – livros técnicos e científicos editora S.A., Rio de Janeiro.
- Soares, R. M. (2015) *Modelagem matemática para a determinação de propriedades térmicas de concreto com adição de borracha*. 2011. 73 f. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí.
- PETROBRAS (2018) *Diesel comum s-10 e s-500*, 2018. Disponível em: <<http://www.br.com.br/pc/produtos-e-servicos/para-seu-veiculo/oleo-diesel-veiculo/diesel+comum+s-10+s-500/diesel+comum+s-10+s-500>>. Acesso em: 26 nov. 2018.
- Porto, R. M. (2006) *Hidráulica básica*. 4.ed. EESC-USP, São Carlos.
- Tramontini, R. (2007) *Modelagem matemática da transferência de calor em pavimentos rígidos e flexíveis*. 2007. 87 f. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí.
- Vassoler, G. (2009) *Análise numérica do comportamento mecânico de pavimentos submetidos a variação de temperatura*. 126 f. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí.