

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS  
ENGENHARIA MECÂNICA  
LUCAS PAULO FARIA MENDES

N. CLASS.	M621.4022
CUTTER	M539v
ANO/EDIÇÃO	2012

VIABILIDADE SISTEMA SERPENTINA RESIDENCIAL

Varginha

2012

**FEPESMIG**

**LUCAS PAULO FARIA MENDES**

**VIABILIDADE SISTEMA SERPENTINA RESIDENCIAL**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação da profª. Me Luiz Carlos Vieira Guedes.

**Varginha**

**2012**

**FEPESMIG**

**LUCAS PAULO FARIA MENDES**

**VIABILIDADE SISTEMA SERPENTINA RESIDENCIAL**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta por:

Aprovado em     /     /

---

Prof. Me Luiz Calor Vieira Guedes (Orientador)

---

Prof. Altamiro Caldonazo Junior

---

Prof Me Alexandre Lopes

Obs.:

Dedico este trabalho primeiramente a minha família, aos professores do Centro Universitário do Sul de Minas, aos meus colegas.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pela força e determinação, aos meus pais Jaime e Maria e irmãos que tanto amo, ao Grupo de oração JABC, pelas orações nos momentos, pelo apoio e aos professores que contribuíram para a realização deste.

“Comece a fazer o que é necessário,  
depois o que é possível, e de repente você  
estará fazendo o impossível”. (SÃO  
FRANCISCO DE ASSIS)

## RESUMO

O presente desenvolvimento de pesquisa visa mostrar a viabilidade do uso de um trocador de calor tipo serpentina, utilizando as disciplinas estudadas ao longo do curso de Engenharia Mecânica, no intuito de discorrer sobre os benefícios, os tipos, os cálculos e afins, do trocador de calor tipo serpentina, na utilização de fogões à lenha, através de novos cálculos e adaptações do mesmo, buscar a redução do desperdício de água. A solução para este problema será apresentada neste projeto através do detalhamento de dois processos, que aliam conforto e uso racional de água. Atualmente, o foco é pela busca de mecanismos ecologicamente corretos, e, são alternativas ecológicas disponíveis para usuários de serpentina em fogão à lenha, uma vez que um dos dispositivos estudados oferece um termostato, que mostra ao usuário a temperatura da água no momento do banho, reduzindo-se assim, o consumo da água, uma vez que não haverá a necessidade de manter o fluxo de água corrente enquanto aguarda-se que a mesma atinja a temperatura ideal para o banho. Vale ressaltar que ambos os sistemas foram desenvolvidos e aperfeiçoados pelos trabalhadores que os executaram. A adoção dessa metodologia de trabalho é uma maneira de sistematizar o conhecimento operacional e sua evolução, assim como criar padrões, segui-los e melhorá-los. Consta também no trabalho uma breve revisão das literaturas relacionadas com o desenvolvimento do trocador de calor e do processo estudado, o detalhamento dos tipos de trocadores, as etapas necessárias para o desenvolvimento e a implantação de melhoria na apresentação dos resultados obtidos e por fim as considerações finais.

Palavras-chave: Trocador de calor. Serpentina. Água.

## **ABSTRACT**

*This present development of this research wants to show the viability of the use of changer of heat type serpentine using the disciplines studied during the course of mechanical engineering, with the objective of describe about the benefits, types of calculations and so forth, of the heat changer in the utilization of lumber oven, trough the new calculations and adaptations of the same, search the reduction of water waste. The solution of this problem will be showed in this project by the detail of two process. That links the comfort with the rational utilization of water. Actually, the focus is by the search of mechanisms ecologically corrects, and are ecologic alternatives available for user of serpentine in lumber oven, once, one of the devices studied offer a thermostat that show to the user the temperature of water in the moment of the shower, reducing the consume of water, once that will not have the necessity to keep the flow of running water while wait that the same arrive in the ideal temperature of the shower. Must emphazise that both systems have been developed and perfected by workers who executed them. The adoption of this working methodology is a way to systematize knowledge and operational trends, and create patterns, follow them and improve them, It consists also work a short review of the literature linked to the development of changer of heat and studied process, detailing the types of changers of heat, the steps necessary for the development and implementation of improvement in the presentation of the results and, finally, the final considerations.*

*Keywords: Changer of heat. Serpentine. Water*

## LISTA DE ILUSTRAÇÃO

FIGURA 1 Transferência por condução .....	15
FIGURA 2 Transferência de calor por condução, convecção e radiação .....	16
FIGURA 3 Fluxograma de classificação dos trocadores de calor .....	18
FIGURA 4 Trocador de calor tipo serpentina .....	20
FIGURA 5 Fogão a lenha com serpentina .....	20
FIGURA 6 Serpentina na forma de helicóides.....	23
FIGURA 7 Fogão a lenha.....	25
FIGURA 8 Diagrama fogão a lenha, com instalação de serpentina .....	28
FIGURA 9 Transmissão de calor em paredes cilíndricas .....	31

## LISTA DE TABELAS

FIGURA 1 Valores habituais de U .....	31
FIGURA 2 Correlações para o coeficiente de transporte de calor da massa .....	31
FIGURA 3 Valores calor específicos.....	31
FIGURA 4 Consumo de energia .....	31

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO.....</b>	<b>12</b>
2.1 Situação da água no mundo.....	12
2.2 Termodinâmica.....	12
<b>3 TRANSFERÊNCIA DE CALOR .....</b>	<b>14</b>
3.1 Processos que geram transferência de calor .....	14
3.2 Trocador de calor .....	16
3.3 Classificação de trocador de calor .....	17
3.3.1 Classificação de acordo com a característica de construção .....	18
3.3.2 Alguns dados importantes sobre os trocadores de calor .....	18
3.4 Natureza de transferência .....	19
3.5 Trocador de calor tipo serpentina .....	19
3.6 Significado de coeficiente global de transferência.....	20
3.6.1 Resistência á transferência de calor .....	20
3.7 Reatores com serpentina.....	21
<b>4 ESTUDO DE CALCULOS.....</b>	<b>23</b>
4.1 Transferência de calor entre o fluido agitado e as paredes da camisa/serpentina .....	23
4.2 Conceito de vazão .....	23
4.2 Fluxo de calor .....	23
<b>5 HISTÓRIA DE PESQUISA .....</b>	<b>25</b>
<b>6 SISTEMAS TERMICOS.....</b>	<b>26</b>
6.1 Condução de Calor em Paredes Cilíndricas .....	28
<b>7 ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>30</b>
<b>8 IMPLANTAÇÃO SERPENTINA .....</b>	<b>31</b>
<b>9 RESULTADOS OBTIDOS.....</b>	<b>32</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>33</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O projeto de desenvolvimento a seguir é de um dispositivo usado para realizar o processo da troca térmica entre dois fluidos sem diferentes temperaturas. Este processo é comum em muitas aplicações da Engenharia Mecânica. Podemos utilizá-los nos aquecimentos e resfriamento de ambientes, no condicionamento de ar, na produção de energia, na recuperação de calor e no processo químico. Em virtude das muitas aplicações importantes, a pesquisa e o desenvolvimento dos trocadores de calor têm uma longa história, mas ainda hoje se busca aperfeiçoar o projeto e o desempenho de trocadores, baseada na crescente preocupação pela conservação de energia. No trocador de calor, o fluido quente e aquele que fornece calor, e senão houver mudança de fase se resfriara. O fluido frio é aquele que recebe calor, e se não houver mudança de fase se aquecerá.

A água é um recurso natural imprescindível para a sobrevivência do homem na Terra. Sem ela não seria possível a existência de vida no planeta. Sendo assim, é importante o cuidado para não poluir e não desperdiçar as reservas de água doce. Atualmente discute-se o problema de uma iminente escassez de água no mundo. Projeta-se que, no ano de 2050, 18% da população mundial ira sofrer de severa escassez de água. (Instituto de Vínculo e de Desenvolvimento de Pesquisa, Porto Alegre, 2010)

O uso racional da água é uma ação que depende diretamente da consciência ambiental dos usuários. Muitas vezes, os usuários não percebem situações onde seria possível diminuir o gasto excessivo. Exemplos comuns são os banhos demorados e a lavagem de calçadas, etc. um destes exemplos simples citado acima de desperdício motivou o projeto descrito neste texto: a água desperdiçada no início dos banhos controlados por serpentina. Enquanto o usuário aguarda a água atingir a temperatura ideal de banho, muitos litros de água potável tratada vão para o ralo, sem que seja feito nenhum uso da mesma.

O trabalho é iniciado com uma breve revisão das literaturas sobre o tema, logo após será demonstrado os tipos de trocador de calor, suas vantagens, em seguida é realizado e apresentado trocador de calor tipo serpentina e cálculos para demonstrar sua viabilidade considerando as dificuldades encontradas, na seqüência são demonstrados os resultados obtidos e por fim a conclusão.

## 2 REFERÊNCIAL BIBLIOGRÁFICO

### 2.1 Situações da água no Mundo

De acordo Macedo (2001), o novo século traz a crise da falta de água, e o homem precisa discutir o futuro da água e da vida. Nos últimos 20 anos, o consumo por habitante de água dobrou no Brasil e a expectativa é de que dobre outra vez nos próximos 20 anos. Contudo, a disponibilidade de água por habitante atualmente é três vezes menor do que em 1950. Desperdício é aquela ação pela qual se gasta sem proveito, se esbanja, se usa mal ou se desaproveita. Portanto, a referência ao desperdício da água esta associada a um conjunto de ações e processos através dos quais os seres humanos gastam sem proveito. Esbanjam ou usam mal. Desperdiçar água indica falta de clareza sobre a importância fundamental deste valioso recurso para nossa sobrevivência. Projeta-se que, no ano de 2050, 18% da população mundial ira sofrer de severa escassez de água. (Instituto de vinculo e de desenvolvimento de pesquisa, Porto Alegre, 2010)

### 2.2 Termodinâmica

Nos tubos de cobre, conforme Kavassaki (1987), um metal mais “nobre” (da extremidade catódica da serie galvânica), a corrosão normalmente é uniforme, uma vez que, na presença de oxigênio de deterioração. No entanto, determinamos condições, como teores elevados de dióxidos de carbono livre combinados com a presença de  $O_2$  dissolvidos, cloretos, meios ácidos (ph baixo), a temperatura e velocidade de escoamento elevadas, assim como o cloro residual livre, podem acelerar sensivelmente o processo de corrosão. Dissolvido, desenvolve-se, em toda a superfície interna, uma película protetora, continua e aderente, de óxidos e carbonatos de cobre responsáveis pela taxa bastante lenta e generalizada.

Conforme Gonçalves (1994), ou seja, considera-se regime permanecem em conduto forçado, onde se faz um balanceamento entre o diâmetro da tubulação, a vazão do projeto esperada e as pressões necessárias para o funcionamento adequado dos aparelhos e equipamentos, tendo em vista a carga disponível.

Considerando o escoamento laminar segundo Incropera, (1992), no interior de um tubo circular de raio  $r$ , com o fluido entrando no tubo com uma velocidade uniforme. Sabemos que, quando o fluido entra em contato com a superfície, os efeitos viscosos se tornam importantes e se desenvolve uma camada limite com o crescimento de  $x$ . Este

desenvolvimento ocorre à custa do retraimento da região com escoamento inviscido e termina quando a camada limite, os efeitos viscosos se entendem sobre a seção reta e o perfil da velocidade não mais se altera com crescimento de  $x$ .

O dimensionamento da distribuição do sistema predial de água quente é feito de maneira anciloga ao sistema de água fria, apresentada em Ilha, Gonçalves (1994), ou seja, considera-se regime permanente em conduto forçado, onde se faz um balanceamento entre o diâmetro da tubulação, a vazão de projeto esperada e as pressões necessárias para o funcionamento correto.

Para a realização do trabalho padrão, três elementos são indispensáveis de serem analisados que são: a sequencia do trabalho, o tempo em que o fogão a lenha fica aceso e a quantidade de água que é desperdiçada quando abre a torneira.

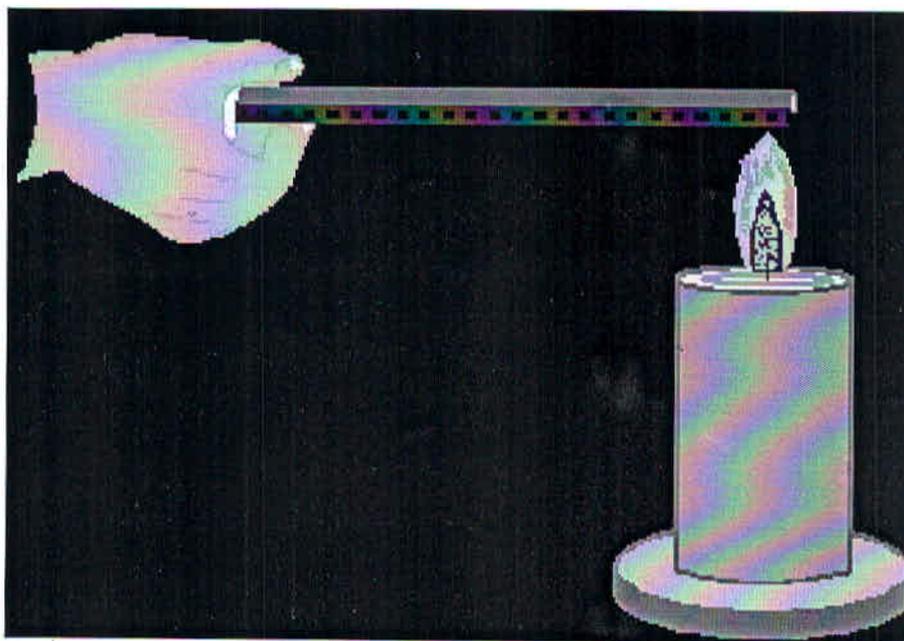
### 3 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

#### 3.1 Processos que geram transferência de calor

Colocando-se um corpo quente em contato com um frio, verificamos que depois de certo tempo, denominado tempo de relaxamento do sistema, a temperatura dos dois corpos se iguala. Quando os dois corpos passam a ter a mesma temperatura, diz Luiz, Moysés (1989), que eles atingiram o equilíbrio térmico. O corpo quente cedeu calor ou energia térmica para o corpo frio. Podemos afirmar então que a energia térmica (ou calor) é uma quantidade de energia que se transmite de um corpo quente para um corpo frio. Define-se Luiz, Moysés (1989), que a transmissão de calor de um sistema para outro ocorre sempre que existe uma diferença de temperatura entre dois sistemas: no equilíbrio térmico não pode ocorrer nenhuma troca de calor. No processo de transmissão de calor por condução, de acordo Hallyday, Resnick e Walker (1996), a energia é transferida através das moléculas presentes nos materiais. A primeira molécula, mais próxima da fonte de calor, ao receber a energia na forma de calor eleva seu grau de agitação molecular, transmitindo esta agitação para as moléculas vizinhas.

A condução acontece principalmente em meios sólidos e essa forma de transferência de calor ocorre em razão do contato das partículas (átomos, elétrons e moléculas) que formam o corpo. Imagine a seguinte situação: com uma barra metálica em mãos, coloque uma de suas extremidades em uma fonte de calor (uma chama de fogo, por exemplo) conforme figura:

Figura 1: transferência por condução



Fonte: ebah

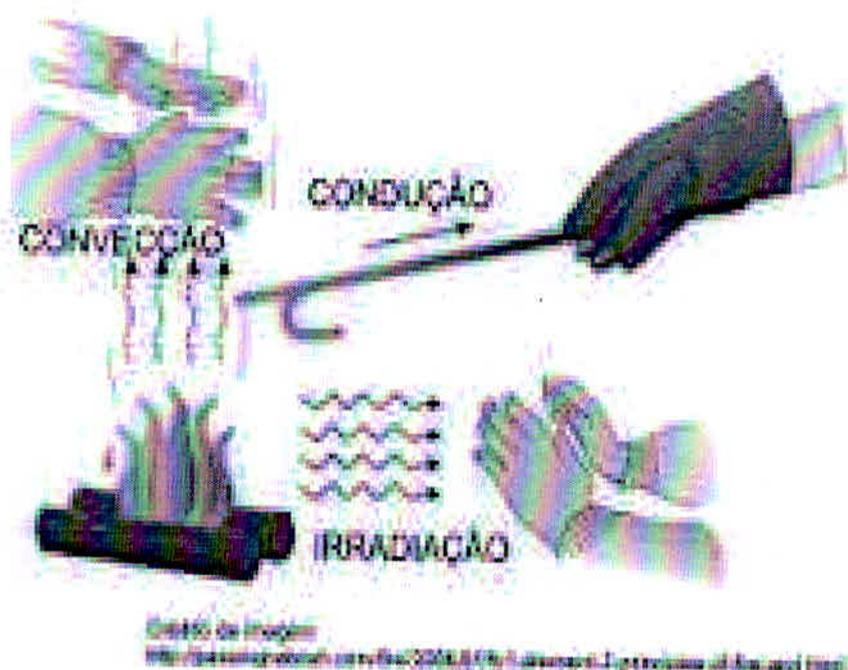
Em minutos você perceberá que a outra extremidade da barra estará quente e você não conseguira segurá-la. Mas o que aconteceu para que a outra extremidade da barra esquentasse? O calor fluiu do ponto mais quente para o mais frio da barra em razão da diferença de temperatura entre as duas pontas da mesma. A transmissão do calor ocorre através da agitação dos átomos que constituem a barra e é transferida sucessivamente de um para outro até que se atinja o equilíbrio térmico de acordo com Luiz, Moysés (1989).

A convecção é o fenômeno da transferência de calor que se observa nos fluidos, gases e líquidos, e acontece em razão da diferença de densidade do fluido. Esse tipo de transferência de calor pode ser observado nos condicionadores de ar. Esses aparelhos são colocados na parte superior de uma sala de forma proposital, pois o ar frio que é mais denso que o ar quente do ambiente desce e o ar quente sobe para ser refrigerado, formando, dessa maneira, as correntes de convecção. Esse é o princípio de refrigeração dos alimentos nas geladeiras. Um corpo quente é colocado dentro de um recipiente de vidro fechado a vácuo. Com um fenômeno colocado do lado de fora desse recipiente, percebe-se que acontece variação da temperatura do ambiente. É de se concluir que a transferência de calor, nesse caso, não aconteceu por condução ou por convecção, pois esses processos só acontecem quando há meio material. Nesse caso, a transmissão de calor foi feita por meio de outro processo que se

chama radiação térmica ou irradiação. O calor que aquece a Terra todos os dias chega até nos através do mesmo processo.

Relata Araujo (1978), que as definições de regime estacionário e regime transitório se dão em termos de fluxo de calor. Quando o fluxo de calor no interior da parede é constante, o regime é estacionário, ou seja, o fluxo que entra é igual ao fluxo que sai. Já no regime transitório ocorre uma variação de fluxo de calor nas diferentes seções da parede, logo o fluxo de entrada é diferente do fluxo de saída. A transferência de energia em forma de calor se dá através de três modos distintos: condução, radiação e convecção, conforme figura:

Figura2: transferência de calor por condução, convecção e radiação



Fonte: Faires, Virgil\*(2001)

Entende-se Macedo (2001), por água quente, a água sob pressão atmosférica normal não atinge a temperatura de ebulição de 100 graus C.

Define-se Incropera, (1992), o processo de troca térmica entre dois fluidos em diferentes temperaturas, é separado por uma fronteira sólida. O dispositivo usado para corporificar esta troca é o trocador de calor, que tem aplicações específicas.

### 3.2 Trocador de calor

É um dispositivo usado para realizar o processo da troca térmica entre dois fluidos sem diferentes temperaturas. Este processo é comum em muitas aplicações da Engenharia Mecânica. Podemos utilizá-los nos aquecimentos e resfriamento de ambientes, no condicionamento de ar, na produção de energia, na recuperação de calor e no processo químico. No trocador de calor, o fluido quente é aquele que fornece calor, e se não houver mudança de fase se resfriará. O fluido frio é aquele que recebe calor, e se não houver mudança de fase se aquecerá.

### 3.3 Classificações de trocador de calor

Os trocadores podem ser classificados de várias formas, uma delas é de acordo com o serviço

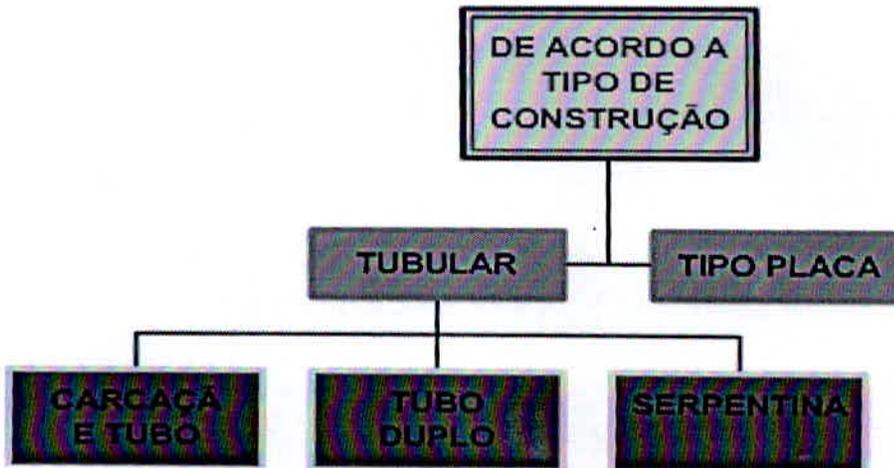
- a) Trocadores/recuperadores: recuperam calor entre duas correntes do processo
- b) Condensadores: são trocadores que removem calor latente de um vapor, o fluido frio normalmente utilizado é a água.
- c) Resfriadores: são trocadores de calor utilizados para resfriar uma corrente do processo, utilizando água na maioria dos casos, como refrigerante.
- d) Aquecedores: são trocadores de calor utilizados para aquecer uma corrente em processo, utilizando vapor de água saturado, como fluido aquecedor. Óleo térmico também costuma ser utilizado.
- (h) Evaporadores: são utilizados para evaporação de água ou de outro solvente para concentrar uma solução.
- i) Vaporizadores: são utilizados para vaporização de fluidos, exceto água.

Podem ser classificados em categorias:

- a) Tubular: casco e tubo, duplo tubo, resfriadores a ar, tubo aquecido
- b) De placa: placa espiral, lamela, placa aletada.
- c) De materiais altamente resistentes à corrosão: grafite, vidro, teflon
- d) Especiais: rotativos ou elétricos.

### 3.3.1 Classificação de acordo com a característica de construção

Figura3: Fluxograma de classificação dos trocadores de calor



Fonte: Trocador de calor, Ed. 8

Temos trocador tubular, de placas, de superfície estendida e regenerativa. Outros trocadores existem, mas os grupos principais são estes. Aqui serão estudados apenas o último. Tipos de trocador de calor demonstrado por Incropera, (1992):

- a) Trocadores tubulares.
- b) Trocadores de carcaça e tubo.
- c) Trocador tubo duplo.
- d) Trocador de calor em serpentina

### 3.3.2 Alguns dados importantes sobre os trocadores de calor

Os trocadores de contato indireto classificam-se em: trocadores de transferência direta e de armazenamento.

O tipo de trocadores de transferência direta:

- a) Placa.
- b) Tubular.
- c) Superfície estendida.

Recuperadores constituem uma vasta maioria de todos os trocadores de calor. Este estudo segue uma tendência de estudo do trocador de calor tipo serpentina, com base nos cálculos devemos de forma consciente desenvolver um projeto com muita responsabilidade.

### **3.4 Natureza de transferência**

Nesta categoria, os trocadores de calor são classificados como de contato direto e de contato indireto. Não vemos por hora a necessidade de entrar em detalhes sobre o contato direto, pois este trabalho tem como o contato indireto. Usados aqui nos trocadores de serpentina.

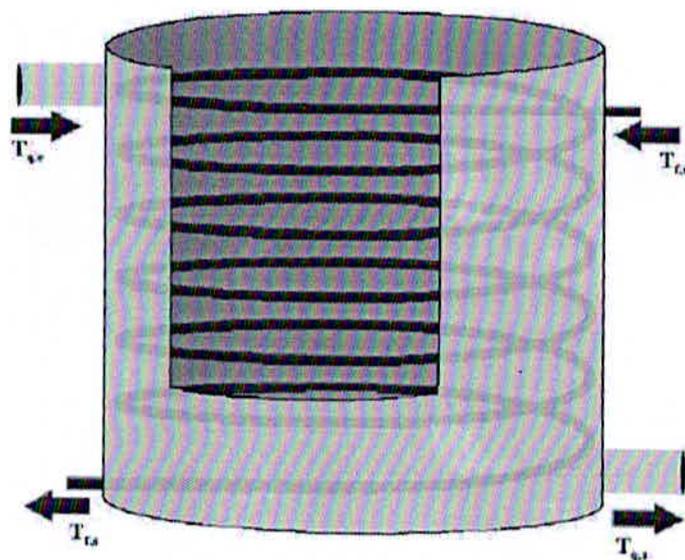
Trocador de calor de contato indireto, os fluidos permanecem separados, e o calor é transferido continuamente através de uma parede, pela qual se realiza a transferência de calor. (BRAGA FILHO, 2004, p.546).

Neste tipo, há um fluxo contínuo de calor do fluido quente ao frio através de uma parede que os separa. Não há mistura entre eles, pois cada corrente permanece em passagens separadas. (BRAGA FILHO, 2004, p.546).

### **3.5 Trocador de calor tipo serpentina**

Trocador de calor é o dispositivo que efetua a transferência de calor de um fluido para o outro. O trocador de calor tipo serpentina consiste em uma ou mais serpentinas (de tubos circulares) ordenadas em uma carcaça. A transferência de calor associada a um tubo espiral é mais alta que para tubo duplo. Além disto, uma grande superfície pode ser acomodada em um determinado espaço utilizando as serpentinas. As expansões térmicas não são nenhum problema, mas a limpeza é muito problemática, conforme figura 4, no caso de serpentina fogão a lenha, conforme figura 5, deve evitar limpar quando quente, corre o risco de furar a tubulação de cobre devido às altas temperaturas.

Figura 4 - Trocador de calor tipo serpentina



Fonte: Catálogo Técnico

Figura 5 - Fogão a lenha com serpentina



Fonte: Autor

### 3.6 Significado do Coeficiente Global de Transferência

#### 3.6.1 Resistência a Transferência de Calor

O coeficiente global de transferência de calor  $U$  de acordo com Faires, Moring (1978), envolve vários coeficientes, que são relativos ao transportes da parede do vaso até o líquido agitado, ao transporte pelas paredes sólidas do tanque, ao transporte pelo fluido dentro das camisas/serpentina (condensados no caso de aquecimento ou resfriamento), além do transporte pelas incrustações nas paredes do tanque, assim como através do sistema de isolamento (caso exista). A resistência global de transferência de calor pode ser expressa como sendo o inverso do coeficiente, ou seja,  $1/U$  e é quantificada pela soma das outras resistências em série. Matematicamente:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_s} + \frac{1}{K' N^x}$$

Em que  $h_s$  representa a soma dos coeficientes relativos ao fluido de resfriamento/aquecimento, incrustações e condução pelas paredes sólidas, enquanto que o termo  $1/K' N^x$  ( $K'$  é uma constante e  $N$  é a velocidade de rotação elevada a um coeficiente  $x$ , empírico) representa a resistência entre a parede do tanque e o líquido agitado, ou seja,  $1/h$ , sendo  $h_j$  para reatores encamisados e  $h_c$  para reatores com serpentina (os sub-índices “j” para camisas e “c” para serpentina são válidos para todo o texto).

A tabela 1, apresenta correlações recomendadas para o coeficiente de transporte de calor da massa agitada ou do líquido exterior para o uso de serpentina.

A tabela 2: Correlações recomendadas para o coeficiente de transporte de calor da massa agitada ou do líquido exterior para o uso de serpentina. (adaptado do Uhl e Gray, 1966).

A resistência  $1/h_s$  pode ser escrita como:

$$\frac{1}{h_s} = \frac{1}{h_o} + R_m + R_f$$

Sendo  $h_o$  o coeficiente de transferência do meio de aquecimento/resfriamento,  $R_m$  a resistência oferecida pelas paredes e  $R_f$  a resistência oferecida pelas incrustações. Existem

vários métodos empíricos os relatos em Luiz, Moysés (1989), para determinação de  $h_s$ , dentre os quais se destaca o método modificado de Wilson representando pela equação anterior. O valor de  $R_m$ . É calculado com base na equação de condução unidimensional de calor enquanto que o valor de  $R_f$  relativo aos dois lados da parede do tanque (dentro do tanque e dentro da camisa) é estimado como sendo aproximadamente 0,001 com base em dados experimentais. Resta então o cálculo de  $h_o$  que é determinado experimentalmente ou calculado pelas expressões a seguir, para velocidades de fluxo de águas menores que 0,1 ft/sec.

### 3.7 Reatores com serpentina

As taxas de transferência de calor hoc, para o fluido no interior de uma serpentina seguem a equação de Sieder e Tate (para tubos retilíneos), a seguir:

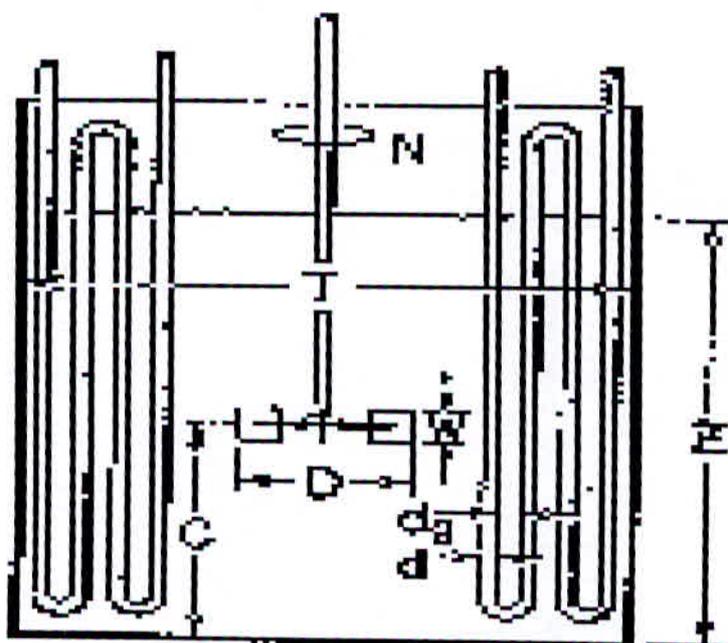
$$\frac{h_{oc} d_i}{k} = 0,0225 \left( 1 + 3,5 \frac{d_i}{D_c} \right) \left( \frac{d_i V, \rho}{\mu} \right)^{0,8} \left( \frac{c, \mu}{k} \right)^{0,4}$$

O coeficiente de transferência de calor entre a parede da serpentina e o líquido agitado pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$\frac{h_c \cdot T}{k} = K \cdot \left( \frac{D^2 N, \rho}{\mu} \right)^a \left( \frac{c, \mu}{k} \right)^b \left( \frac{\mu_w}{\mu} \right)^c$$

O aquecimento ou resfriamento por serpentina pode ser feito na forma de helicóides ou chicanas verticais, conforme figura abaixo:

Figura 6: serpentina na forma de helicóides



Fonte:ebah

Tabela 1: Valores habituais de U

## Valores habituais de U em tanques com camisa

fluido na camisa	fluido no tanque	parede	agitação	U, W/m <sup>2</sup> K
vapor	água	cobre	nenhuma	850
vapor	pasta	ferro fundido	lenta	1400
vapor	água ebulição	cobre	raspador duplo	700
vapor	leite	ferro fundido esmaltado	nenhuma	1400
água quente	água fria	ferro fundido esmaltado	lenta	1100
vapor	puré tomate	metal	nenhuma	1700
			agitado	400
				170

Fonte: tanques agitados com serpentinas de aquecimento, Geankoplis, (1993)

Tabela 2: Correlações para o coeficiente de transporte de calor da massa agitada para o uso de serpentinas.

Autores	serpentina				
	Tipo	d	d <sub>o</sub>	D <sub>c</sub>	L <sub>c</sub>
Chilton et al.	Helicóide	½	¼	9,6	5,75
		*	*	*	*
Pratt		¼ - 1,5	0,48-2	7,75	18-28
Oldshue e Gretton		7/8	7/8	35,1	31,5
		1,75	1,75	34,2	
			5,25		
Cummings e West		1	½	24	23
		1	½	24	23
		1	½	24	23
Kraussold		-	25/32	-	-
Skelland e Dabrowski		¾	1,25	13	15
Rushton et al.	Chicanas verticais	1,31	1,5	-	60
Dunlap e Rushton		1,9	1,9	-	est. 30
		0,84	est. 1,06		est. 15

Fonte: adaptado do Uhl e Gray, 1966

Figura 7 - Fogão a lenha



Fonte: Autor

## 4 CÁLCULOS

### 4.1 Transferência de calor entre o fluido agitado e as paredes da camisa/serpentina

Transferência de calor entre o fluido agitado e as paredes da camisa/serpentina. O transporte de calor em um vaso cilíndrico de diâmetro constante para um fluido incompressível é correlacionado pela equação 01.

$$Nu = a (Re)^a (Pr)^b (VIS)^c \quad (1)$$

Em que:

Re = determina a natureza do fluxo no sistema

Nu = expressa a relação da taxa total da transferência de massa e aquela afetada pelas moléculas, sendo calculada pela equação 2.

Pr = mede a relação entre a transferência de momento e calor pelas moléculas

$$Nu = h_i L / k_L \quad (2)$$

Uma equação análoga a transferência de calor por convecção forçada em tubos, permite o cálculo do coeficiente de transferência de calor entre o fluido e a jaqueta.

### 4.2 Fluxo de calor

Para que um corpo seja aquecido, normalmente, usa-se uma fonte térmica de potência constante, ou seja, uma fonte capaz de fornecer uma quantidade de calor por unidade de tempo. Fluxo de calor que a fonte fornece de maneira constante como o quociente a quantidade de calor Q e o intervalo de tempo de exposição ( $\Delta t$ ):

$$\Phi = \frac{Q}{\Delta t}$$

Sendo a unidade adotada para fluxo de calor, no sistema internacional, o Watt(W), que corresponde a Joule por segundo, embora também sejam muito usada a unidade cas/s, e seus múltiplos: cal/min., Kcal/s.

## 4.2 Conceito de Vazão

Defini-se Maliska (1994) por vazão, o volume por unidade de tempo, que se escoar através de determinada seção transversal de um condutor (canal, rio, tubulações, etc.). Ou seja, vazão é a rapidez com a qual o volume se escoar.

Vazão = velocidade \* área

$$\text{área} = \pi D^2 / 4$$

A quantidade de calor a ser retirada ou recebida de um fluido para o outro é definida pela equação abaixo:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Onde:

Q = Calor Total necessário

c = calor específico

m = Vazão máxima

$\Delta T$  = Diferença entre temperatura de entrada e saída.

Tabela 3: valores calores específicos

Substância	c (cal/g°C)
Alumínio	0,219
Água	1,000
Álcool	0,590
Cobre	0,093
Chumbo	0,031
Estanho	0,055
Ferro	0,119
Gelo	0,550
Mercúrio	0,033
Ouro	0,031
Prata	0,056
Vapor d'água	0,480
Zinco	0,093

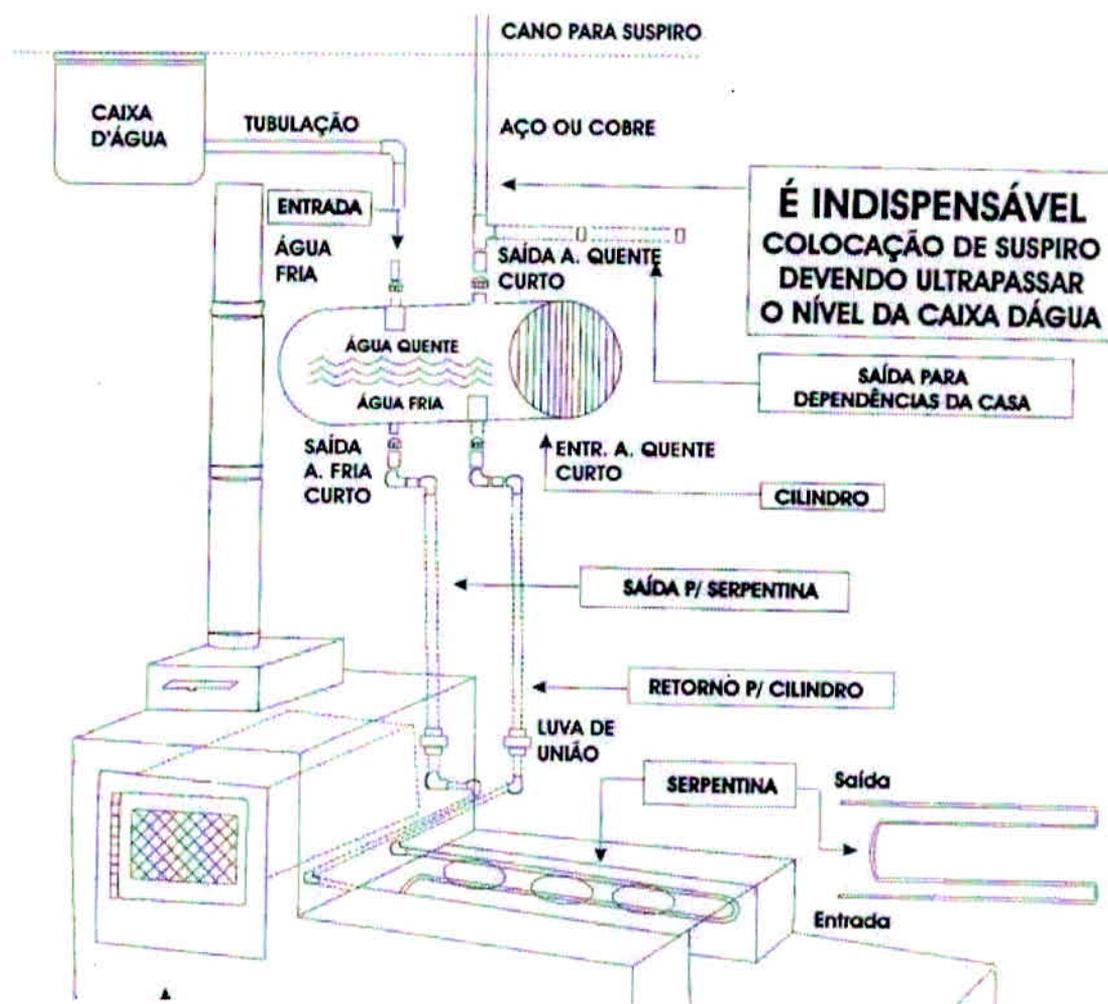
Fonte: livro calorimetria

Um dos principais requisitos de desempenho dos sistemas prediais de água quente é a existência de água na quantidade e temperatura

## 5 HISTÓRIA DE PESQUISA

Um projeto que tem uma proposta de mostrar a viabilidade serpentina em um fogão à lenha, evitando o gasto de energia no chuveiro elétrico e reduzir o desperdício de água, forma de calcular a melhor troca de calor ou o melhor revestimento para não haver perda no sistema de tubulação. O projeto vem como uma alternativa de evitar o desperdício de água em uma serpentina industrial, melhorar a troca de calor e diminuir a conta de água. A pesquisa seguiu com o nome de serpentina em um fogão a lenha, no qual consistiu no levantamento de dados. O projeto de um trocador de calor tipo serpentina, tem como base uma estrutura de tijolos refratários, caixa d'água, tubulação de cobre, cilindro onde de armazenamento d'água, cano para suspiro, forno, serpentina.

Figura 8- Diagrama fogão a lenha, com instalação de serpentina



Fonte: Catálogo Técnico para instalação da serpentina

## 6.SISTEMAS TÉRMICOS

A condução de acordo Luiz, Moysés (1989), caracteriza-se pela presença de um gradiente de temperatura em um determinado sistema ou entre sistemas em contato entre si, processo pelo qual a energia se propaga por calor através da matéria, predominante na fase sólida, onde as vibrações moleculares se elevam com a temperatura fazendo com que o calor flua da região de temperatura mais alta para a região de temperatura mais baixa. O processo de transporte de energia é denominado transmissão de calor. A equação básica para transmissão de calor condução foi proposta por Fourier, em 1822, onde a taxa de calor transmitido por condução  $Q$  é proporcional ao gradiente de temperatura  $dT/dx$ , dada por:

$$Q \propto A = \frac{dT}{dx}$$

A temperatura local é  $T(x)$  e  $x$  é a distância no sentido do fluxo de calor. O fluxo de calor depende da condutividade térmica  $k$  que consiste em uma propriedade do meio. Admitindo a transmissão de calor por condução em um meio homogêneo, o fluxo é:

$$Q = \frac{-KA \, dT}{dx}$$

Onde:  $Q$  fluxo de calor por condução;  $K$  coeficiente de condutividade térmica do material;  $A$  área de troca de calor  $dT/dx$ . Gradiente térmico.

O coeficiente de condutividade térmica ( $k$ ) depende do material, através do seu valor podemos classificar os materiais em condutores e isolantes. Os metais possuem um alto valor para  $k$ , conseqüentemente são classificados como condutores, enquanto que os menos densos (cortiça, lã de rocha etc.) são classificados como isolantes, pois possuem um valor de  $k$  baixo.

Na maior parte das substâncias o coeficiente de condutividade térmica depende da temperatura, conforme função abaixo:

$K_0 \rightarrow$  Condutividade térmica  $0^\circ$

$B \rightarrow$  coeficiente de temperatura

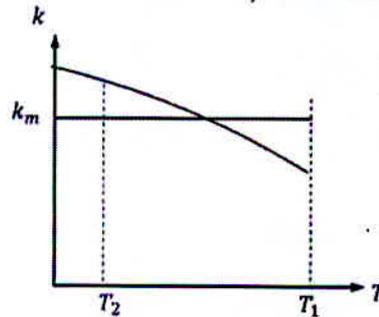
Admitiremos um sistema onde o fluxo de calor e área de troca de calor são constantes. Aplicando a equação de Fourier para essa configuração, integrando o primeiro membro, temos:

$$\frac{Q}{A} dx = -K dT \rightarrow \frac{Q}{A} \int_{x_1}^{x_2} dx = \frac{Q}{A} (x_2 - x_1) = \int_{T_2}^{T_1} K dT \quad (I)$$

Consideraremos o coeficiente de condutividade térmica  $K$  constante, mas na prática o coeficiente de condutividade térmica é um valor  $k_m$ , por tanto consideramos  $k$  com  $k_m$ :

$$\frac{Q}{A} (x_2 - x_1) = K_m (T_1 - T_2) \quad (II)$$

Gráfico 1 - Substituição das formulas.



Fonte: Ebah

Substituição das equações:

$$\frac{Q}{A} (x_2 - x_1) = k_m (T_1 - T_2) \rightarrow k_m (T_1 - T_2) = \int_{T_2}^{T_1} k dT$$

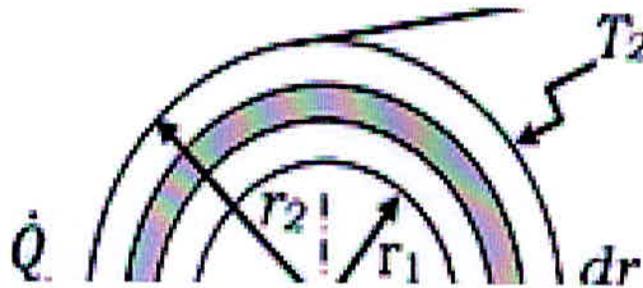
$$k_m (T_1 - T_2) = \int_{T_2}^{T_1} k dT$$

$$k_m = \frac{1}{\Delta T} \int_{T_2}^{T_1} k dT$$

## 6.1 Condução de Calor em Paredes Cilíndricas

Nas paredes cilíndricas, conforme ilustrado na figura abaixo, a área de troca de calor não é constante, variando com o raio ( $r$ ).

Figura 9 – Transmissão de calor em paredes cilíndricas



Fonte: Ebah

Admitindo  $T_1 > T_2$ , o fluxo de calor será de dentro para fora, radial. Aplicando a equação básica para transmissão de calor condução de Fourier, temos:

Equação - Transmissão de calor condução de Fourier

$$q = -kA \frac{dT}{dx}$$

$$\rightarrow Q = -k 2\pi r L \frac{dT}{dr}$$

Realocando os termos da equação:

$$Q \frac{dr}{r} = -k 2\pi r L \frac{dT}{dr}$$

Integrando-se, invertendo os limites da integral no segundo membro da equação, temos:

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{dr}{r} \\
 &= - \int_{T_2}^{T_1} K 2\pi L dT \\
 &= \int_{T_2}^{T_1} K 2\pi L dT
 \end{aligned}$$

Admitindo que o processo se dê em regime estacionário (permanente, as temperaturas propriedade intensiva do sistema) na face interna e externa do tubo não variam com o tempo logo o fluxo de calor. Adotamos o coeficiente de condutibilidade térmica médio em nossas aplicações, de tal modo, podemos considerá-lo constante. Com base nessas considerações realocando os termos da equação, temos:

Equação - Modelamento na face interna do tubo

$$Q \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = K 2\pi L \int_{T_2}^{T_1} dT$$

Desenvolvendo a integral:

Equação - Finalizando o desenvolvimento

$$\begin{aligned}
 Q \ln \frac{r_2}{r_1} &= K 2\pi L (T_1 - T_2) \\
 Q &= \frac{K 2\pi L (T_1 - T_2)}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \\
 Q &= \frac{\Delta T}{\sum_{i=1}^n (R_T)} \\
 Q &= \frac{(T_1 - T_2)}{\frac{1}{K 2\pi L} \ln \frac{r_2}{r_1}}
 \end{aligned}$$

$$Q \ln \frac{r_2}{r_1} = K 2\pi L T$$

## 7 ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO

O dimensionamento e especificação de um trocador de calor para executar com eficiência e economia em um serviço específico são um pouco mais complicados do que se pensa normalmente. Muitas variáveis, tais como: pressão de projeto, vazão queda de pressão, velocidade no bocal e compatibilidade, entre outras, devem ser consideradas antes de se selecionar um modelo para o trabalho específico. A primeira etapa do desenvolvimento de qualquer projeto deve ser o planejamento do mesmo. O planejamento foi realizado e todas as necessidades para o estudo da serpentina de um fogão a lenha, foram identificadas: sua finalidade, localização, dimensão, funcionalidade, os processos que serão avaliados, os equipamentos que serão utilizados na pesquisa, o melhor método, melhor tempo de um fogão aceso, evitando o desperdício de água.

## 8 IMPLANTAÇÃO SERPENTINA

A fim de avaliar a aceitação de um sistema que visa diminuir a conta de energia e evitar o desperdício de água, foi realizada uma pesquisa com quatro pessoas, cujas questões estão explicitadas. Indagados sobre a preocupação com a questão ambiental, a conclusão em si dos pesquisadores declarou estar preocupados, em particular com a questão da energia e da água. Destes 90 % possui sistema de aquecimento serpentina, 45 % têm consciência do desperdício de água ocasionado por ele, problema que pode ser resolvido com o uso do sistema descrito neste trabalho. Entre os pesquisados, 75% estão dispostos a ajudar levantar dados para desenvolver tempo maior para aquecimento da água, para economizar. Já para a instalação, 25% disseram que estariam dispostos a realizar estudo mais avançados para algum tipo de reforma no seu banheiro. Assim, a pesquisa reflete que as pessoas têm preocupação com a questão da conta de energia e da água.

## 9 RESULTADOS OBTIDOS

Com os levantamentos de dados foi possível concluir que para mostrar a viabilidade de um fogão à lenha, adaptando um sistema de serpentina, é preciso muito estudo, projeto, referências sobre o tema sendo umas das dificuldades, foi possível desenvolver um cálculo para manter por mais tempo o fogão a lenha aceso, pois assim aumenta a troca do tubo, e fica uma sugestão para instalação de uma eventual válvula de registro e um termostato, para que se abra o registro assim que a temperatura atingir a ideal temperatura do banho. A proposta de levantamento de dados e instalação válvula foi bem aceito pelos pesquisados.

Tabela 4 :consumo de energia residência , família de 4 pessoas

CHUVEIRO ELÉTRICO		TROCADOR DE CALOR - SERPENTINA	
Ano 2008	Consumo Mensal R\$	Ano 2009	Consumo Mensal R\$
Janeiro	122,50	Janeiro	65,00
Fevereiro	128,38	Fevereiro	64,50
Março	132,57	Março	68,58
Abril	132,65	Abril	69,58
Maio	118,51	Maio	62,50
Junho	114,25	Junho	70,52
Julho	122,52	Julho	78,56
Agosto	118,17	Agosto	77,54
Setembro	119,32	Setembro	63,52
Outubro	118,16	Outubro	60,57
Novembro	124,36	Novembro	62,58
Dezembro	138,58	Dezembro	82,56
Consumo Anual	1367,47	Consumo Anual	761,01

Fonte: Autor

## 10 CONCLUSÃO

Este trabalho foi muito importante para se ter conhecimento da grande complexidade que se tem por trás dos fenômenos e processos estudados em sala de aula. O sistema destinou-se a resolução do problema da conta de energia e do desperdício. Seguindo esta linha de raciocínio, partiu-se do princípio de que o funcionamento do mesmo teria como restrição permitir que a água saísse no chuveiro apenas quando a mesma já estivesse na temperatura ideal de banho. Através do levantamento de dados da pesquisa é de grande viabilidade implantar em um fogão a lenha um trocador de calor tipo serpentina. Fica uma sugestão quanto ao desperdício de água, adaptar um sensor de temperatura e uma válvula de registro, podendo assim abrir somente ter a certeza da temperatura ideal de banho.

## REFERÊNCIAS

A QUIMICA TRANSBORDA. Disponível em:

<<http://insaturados.blogspot.com.br/2010/03/trocador-de-calor-em-serpentina.html>>. Acesso em: 08 de maio. 2012

<[http://sites.poli.usp.br/p/luiz.terron/agitacao\\_de\\_liquidos/textos\\_on\\_line/4\\_Transferencia\\_de\\_Calor/transferencia\\_de\\_calor.htm#transferencia](http://sites.poli.usp.br/p/luiz.terron/agitacao_de_liquidos/textos_on_line/4_Transferencia_de_Calor/transferencia_de_calor.htm#transferencia)>

BRAGA FILHO, Washington, **Transmissão de Calor**, 2ª Ed. São Paulo, 2003.

FAIRES, Moring Virgil; SIMMANG, Clifford Max. **Termodinâmica**. 6. Ed. Rio de Janeiro, 1978.

GEANKOPLIS, C.J., "Transport Processes and Unit Operations", 3. Ed. Prentice Hall, M

HALLYDAY, D.; RESNICK, R. WALKER, R. Trad. José Paulo Soares de Azevedo Jearl, **Fundamentos da Física**- vol.2. Ed LTC. 6ª edição, 1996.

ILHA, Gonçalves. **Engenharia Geral**, São Paulo 2004, Traduzido por Washington Braga Filho. - ED.Cengage Learning 1ª edição .

INCROPERA, F.P. e WITT D.P., **Fundamentos de transferência de Calor e Massa – 3ª edição**", Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 1992.

LUIZ, Moysés Adir, SERGIO, Lins Gouveia. **Elementos de Termodinâmica**. 6. Ed. Rio de Janeiro, 1989.

MACEDO, Jorge Antônio Barros. **Águas e Águas**. São Paulo: Varela Editora e Livraria. 2001

MALISKA. **Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos**- 2.Ed. LTC Editora, São Pulo, 2004.

SISTEMAS TERMICOS. Para elaboração de projetos. Disponível em:

<<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAyugAE/sistemas-termicos>>. Acesso em: 08 de abril. 2012

TECNICAS para elaboração de trabalhos acadêmicos. Varginha: Grupo Unis 2012.

Disponível em: <<http://biblioteca2.unis.edu.br/manual-de-normalizacao-trabalhos-academicos/>>. Acesso em: 03 de maio. 2012.

KAVASSAKI, Y. **Tubulações para instalações prediais de água**. São Paulo, 1987.

/Seminário apresentado ao curso de pos graduação – Disciplina PCC-703 – Instalações Hidráulicas Prediais – 1ª parte/