

# REAPROVEITAMENTO DE ENERGIA: MELHORIA DE UM SISTEMA PRODUTIVO GIRATÓRIO DE ESPETOS MOVIDO À VAPOR D'ÁGUA

Rosival Ferreira da Silva<sup>1</sup>

Daniele da Silva Xavier<sup>2</sup>

Luis Fernando Quintino<sup>3</sup>

Wagner Costa Botelho<sup>4</sup>

## RESUMO

Este artigo tem como objetivo geral, apresentar a melhoria de processo e estrutural aplicada num projeto existente. Esse projeto existente é de uma churrasqueira com sistema Gira-Espeto movido a vapor, que no original não prevê reutilizar o vapor liberado e apenas se ater ao giro do espeto com o uso do sistema térmico e mecânico. Após a melhoria proposta por esse estudo, o vapor pode ser transformado novamente em seu estado líquido, impactando positivamente na segurança, já que a coleta do mesmo será diretamente por uma tubulação onde é liberado e também na redução do gasto de água. As informações foram coletadas a partir de estudos onde pessoas envolvidas no projeto contribuíram com informações ligadas à melhoria. A base para o artigo seguiu da leitura e compreensão do conteúdo de estudo e implementação efetiva da melhoria. Com base nos estudos foi possível identificar a possibilidade de ganhos com água devido à reutilização do vapor e aumento no tempo de autonomia do sistema. Após a análise dos dados foi observado que com a melhoria aplicada à churrasqueira a vapor, é possível coletar o vapor e transformá-lo em água para que assim seja reabastecida sem a necessidade de intervenção humana. Conclui-se que a melhoria é viável e será um complemento num produto reconhecido e muito útil no mercado.

**Palavras chave:** Melhoria de sistema Gira-Espeto, Reaproveitamento de vapor, Meio Ambiente, Sustentabilidade.

## 1. INTRODUÇÃO

A queima de combustível para a geração de calor é um dos métodos mais utilizado ao longo dos anos para diversos fins, desde o uso para um churrasco com a queima do carvão vegetal para assar a carne, até grandes indústrias que queimam o carvão mineral para produzir o aço.

---

<sup>1</sup>Estudante de Engenharia de Produção (Fac. Carlos Drummond de Andrade) rosivalpj@hotmail.com

<sup>2</sup>Estudante de Engenharia de Produção (Fac. Carlos Drummond de Andrade) daniele.xavier0407@gmail.com

<sup>3</sup>Professor Msc. Engenharia de Produção (Fac. Carlos Drummond de Andrade) luis.quintino@drummond.com

<sup>4</sup>Professor Dr. Engenharia de Produção (Fac. Carlos Drummond de Andrade) wagner\_botelho@terra.com.br

A emissão de poluentes lançados à atmosfera cresceu gradativamente com o avanço das indústrias e sua produção, aumento da circulação de veículos, emissões de sistemas de ar condicionado e refrigeração, busca por energia elétrica adquirida de formas indiretas e tantas outras ações que lançam substâncias impróprias ou nocivas à saúde, causando assim, grande dano ao planeta.

A fim de inserir o presente artigo no conceito de desenvolvimento sustentável, assunto tão buscado e comentado pela sociedade como um todo, inclusive por governos mundiais e empresas de pequeno a grande porte, foi estudado uma melhoria para o reaproveitamento de um recurso natural, buscando assim meios mais limpos e eficientes que minimize o impacto causado ao meio ambiente e resulte também num retorno financeiro.

Os benefícios da redução de emissão de gases poluentes ao meio ambiente são inúmeros, a começar pela saúde no ambiente urbano, recuperação da fauna e flora, minimização dos efeitos das mudanças climáticas, redução do nível do efeito estufa e o aquecimento global.

Vapor é usado como meio de transmissão de energia desde os primórdios do desenvolvimento industrial (RODRIGUES, 2012).

O vapor é gerado principalmente a partir da água e ao retornar ao estado líquido permite que sua energia seja aplicada ao que se deseja aquecer (ROMANHO, 2017).

O objeto abordado para ser aplicada a melhoria, trata-se de uma churrasqueira, onde foi adaptado o sistema gira-espeto. Esse sistema tem como base engrenagens acopladas em um mecanismo gira-espeto que é acionado através do vapor de água que é gerado com a queima do carvão em uma churrasqueira convencional.

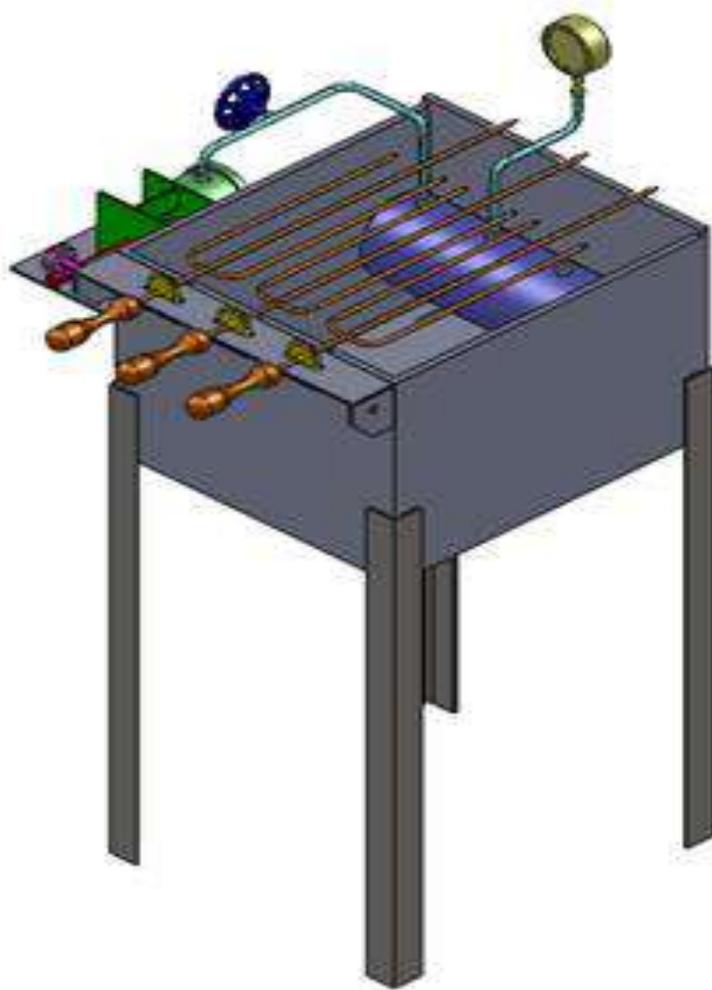
Para o funcionamento do sistema temo-mecânico, utiliza-se sistema de engrenagens (coroa x sem-fim), turbina a vapor, vaso de pressão (caldeira), válvula reguladora, fonte de energia térmica (carvão vegetal), elementos construtivos (tubulação de aço, conexões, etc.)

Para o projeto em questão foi utilizado o conceito de funcionamento por autonomia onde trabalhará em ciclos e as etapas são:

- Abastecimento do reservatório (vaso de pressão), com água em seu estado líquido;
- Vedação do reservatório para evitar vazamento do fluido de trabalho (água-vapor)
- Fornecimento de calor ao meio, através da queima de calor vegetal

- Controle da pressão através do manômetro
- Acionamento do sistema quando a pressão de trabalho for adequada.
- Encerrar o funcionamento do sistema, quando:
  - Esgotar o fluido de trabalho dentro do reservatório (água 100% líquida transformando em vapor e usada no sistema; ou
  - Quando a geração de vapor for menor e não conseguir dar vazão ao vapor gerado.

O que ocorre com o método anterior apresentado na figura 01, é que com esse método para a geração de energia acaba-se perdendo parte do seu poder calorífico para o ambiente sendo que poderia ser utilizado para outra finalidade através de conversões de energia.



**Figura 1** - Desenho esquemático do sistema

**Fonte:** Monteiro, 2013 – Método anterior.

A ideia de melhoria surgiu ao ver o funcionamento da churrasqueira, visto que a quantidade de vapor liberada pela hélice era significativa e estava sendo desperdiçada sendo que poderia ser reutilizada de alguma forma, já que a churrasqueira exige que seja feito abastecimento de água. Então o desenvolvimento da melhoria iniciou primeiramente com o estudo sobre o reaproveitamento do vapor, seguido da parte prática, como a montagem do sistema de coleta do vapor.

Assim, foi realizado e a solução encontrada foi uma tubulação de captação do vapor, que condensava em contato com a água potável e retornava ao cilindro de origem, tornando possível a reutilização do vapor que seria lançado ao ar sem uso algum.

Partindo desse princípio pode-se afirmar que aplicando um novo mecanismo ao que seria desperdiçado e liberado ao meio ambiente é possível reaproveitar o vapor liberado na queima de combustível, reduzindo assim o gasto com água.

O condensado é recuperado através da captação do vapor por uma tubulação feita exclusivamente para esse fim, permitindo que seja reutilizada a água em sua forma líquida. A intenção e busca da melhoria é coletar o máximo possível de vapor para que a quantidade de condensado abasteça o sistema e mantenha o ciclo de trabalho ativo.

### **O funcionamento do vapor**

A água em seu estado líquido tem moléculas de H<sub>2</sub>O que são mantidas constantemente juntas e separadas. Porém quando há o aquecimento dessas moléculas as pontes que ligam essas moléculas se rompem antes mesmo que elas possam se formar. Quando há fornecimento de calor suficiente essas moléculas “soltas” formam o gás transparente, mais conhecido como vapor, ou vapor seco, sendo mais específico.

Para esclarecer melhor a diferença entre vapor úmido e vapor seco, será abordado a seguir as principais diferenças.

O vapor seco é um gás transparente, pois todas as suas moléculas de água mantêm seu estado gasoso, já o vapor úmido é obtido quando parte de suas moléculas já perderam suas energias (calor latente) e se condensam para formar pequenas gotículas de água.

### **Vapor saturado de água**

O vapor de água quando se transfere a uma massa de água quantidade suficiente de calor para causar sua vaporização (SINGER, 1991). Para obter o vapor é necessário a mudança de estado físico da água, que deixa de ser líquido e passa a ser vapor, que se define

em duas etapas dependendo da pressão e da temperatura da água. Primeiro, saturação, quando a água está sub-resfriada e o calor aumenta a temperatura até chegar no ponto de ebulição, segundo, vaporização que é quando a adição de calor é contínua e transforma o estado da água para vapor.

### **O vapor como transporte de energia**

A água pela sua abundância na natureza desempenha um importante papel na geração e distribuição da energia térmica na indústria (FRANCESCHINI, 1982). Conforme Franceschini a importância da água e do vapor na indústria se dá pela grande capacidade de armazenar calor, que se sobressai perante outros fluidos térmicos usados.

O reaproveitamento da água bem como a sua economia são assuntos onde se têm grande repercussão e preocupação devido à necessidade de preservação desse recurso natural de extrema importância para os seres vivos. Com a atual crise hídrica, a consciência sobre o tratamento e o descarte responsável de efluentes passa a ser vista muito mais do que uma necessidade operacional e sim uma obrigação socioambiental. O controle desse descarte responsável dentro das normas ambientais é regido pela Resolução Conama 430, que é uma legislação federal.

O meio corporativo está se adaptando cada vez mais às necessidades de preservação dos recursos naturais, bem como o cumprimento de suas obrigações dentro da lei, e uma medida ecologicamente correta que ganha força nesse meio é o reuso da água. O objetivo é aproveitar o máximo e melhor possível a água reutilizada, para a preservação da água potável para consumo humano.

Outras vantagens que valem ser ressaltadas são, proteção dos mananciais, diminuição da demanda por água, menos poluição através de produtos químicos e a redução nos custos. Em indústrias por exemplo, a água utilizada para a geração de vapor, não precisa ser totalmente potável, e tem utilidade fundamental em algumas linhas de produção.

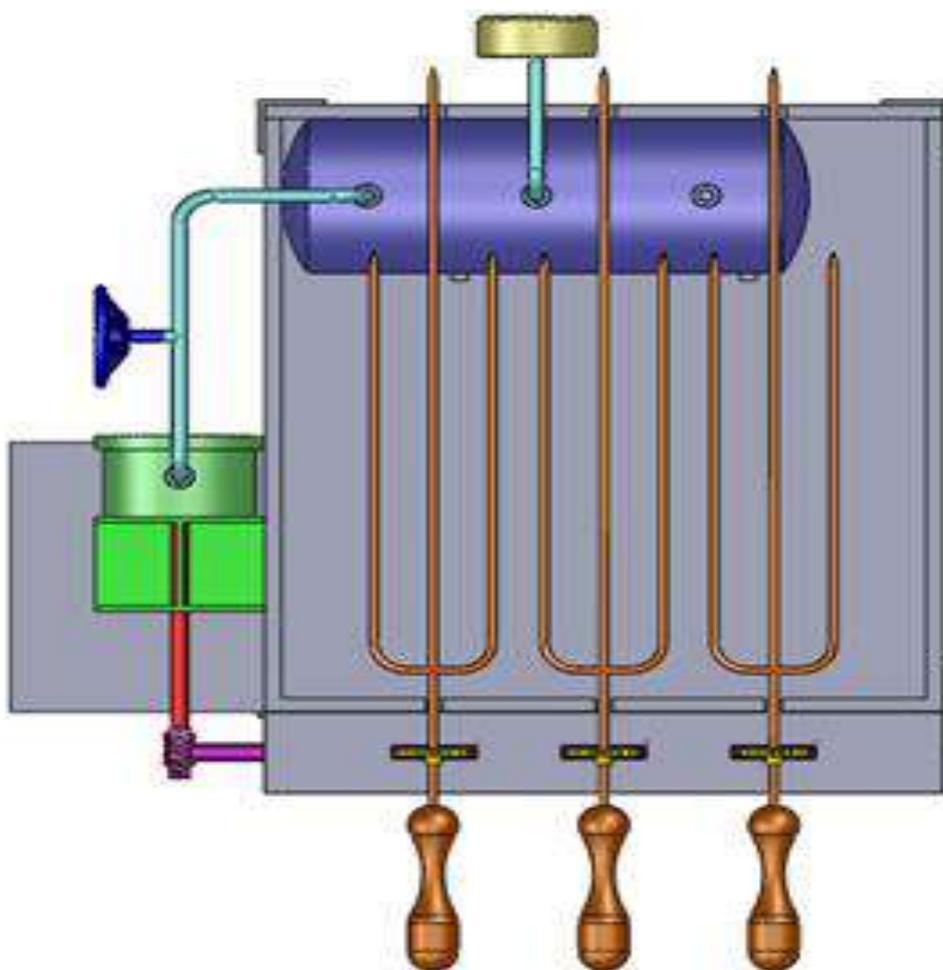
Sendo assim, o reuso da água além de otimizar custos, impacta também positivamente no meio ambiente e para a sociedade, pois se trata de um recurso que fica cada vez mais escasso.

A tecnologia para tratamento é definida a partir da qualidade do efluente a ser tratado e da qualidade necessária para reuso. Quando precisa de uma água de menor qualidade e o efluente é de baixa carga, o processo pode envolver apenas filtração e cloração. Em processos mais nobres, há modelos sofisticados e tecnologias altamente difundidas.

A consciência sobre a escassez da água está ligada diretamente à sustentabilidade e o reuso passou a ser visto como produto, trazendo benefícios e reconhecimento à grandes empresas que aplicam os métodos que preservam os recursos hídricos.

É notável que nos últimos anos tem-se falado muito em otimização do tempo e na necessidade de se realizar mais de uma atividade na mesma hora, portanto um sistema gira-espeto auxilia muito no cozimento uniforme dos alimentos, permitindo a conciliação com demais atividades.

Usando como base um produto já existente (MONTEIRO, 2013), conforme as figuras 1 e 2, que é a churrasqueira com sistema gira-espeto movido a vapor, foi estudado uma maneira de reaproveitar o vapor que é liberado com a queima do carvão vegetal e fazer um mecanismo que transforme esse vapor em condensado, reabastecendo assim a mesma, tornando-a autossuficiente enquanto houver vapor e deixando-a mais segura.



**Figura 2 - Vista superior do sistema**

**Fonte:** Monteiro, 2013 – Método anterior.

O interesse na melhoria do produto partiu da vontade de aprimorar um sistema inovador e reaproveitar o que é desperdiçado, aumentando a autonomia do produto.

O objetivo desse artigo é aplicar uma melhoria para que a churrasqueira com sistema gira-espeto aumente sua autonomia através da captação do vapor que é liberado e transformado em condensado, voltando assim à forma líquida, que reabastecerá o reservatório, e reaproveitar o vapor que é liberado através da queima do carvão vegetal e utilizá-lo no reabastecimento do reservatório, fazendo com que o sistema gira-espeto seja autossuficiente.

Será ressaltado também a importância do reuso da água mediante a atual situação desse recurso finito, a fim também de reforçar a consciência de que ainda que aplicado em um projeto de pequeno porte é possível obter retorno positivo tanto na economia de água quanto nos custos e quando aprimorado e implantado em grandes empresas o retorno se torna ainda maior.

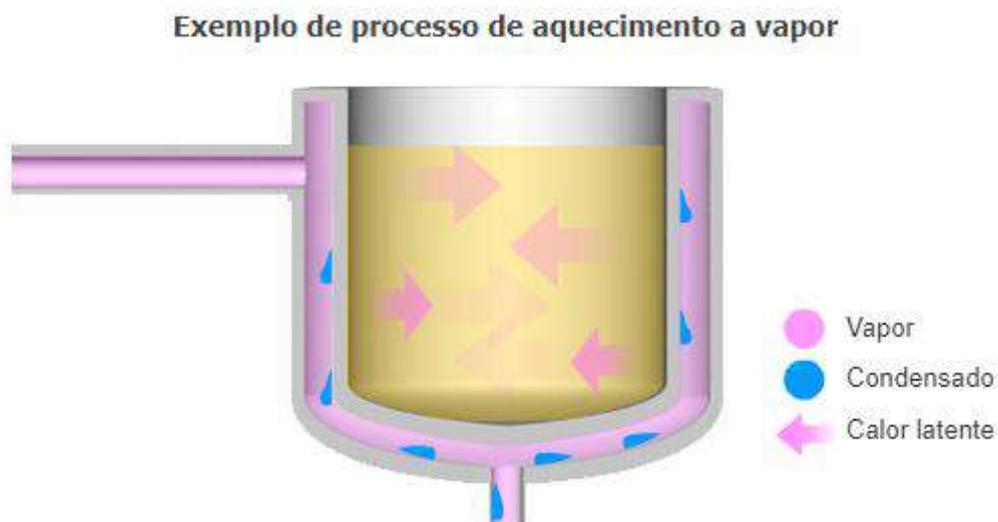
## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Conforme Monteiro (2013), o projeto original figuras 1 e 2, ou seja, o estudo e projeto de um sistema térmico que aproveita o calor proveniente da queima do combustível (carvão vegetal) para realizar o movimento de sistema “gira-espeto”, foram utilizados: vaso de pressão, turbina, engrenagens e também as condições de plena carga. Sob a ótica sustentável, os objetivos do estudo foram plenamente atingidos.

A reutilização do condensado pode reduzir consideravelmente os gastos com recursos da água, bem como melhorar as condições do ambiente e/ou equipamento onde se é aplicado.

### **2.1 Condensado**

Condensado é a transformação do vapor do seu estado gasoso para líquido. Num processo de aquecimento, condensado é o resultado após o vapor ter transferido uma porção da sua energia térmica conhecida como calor latente para o produto, linha ou equipamento que está sendo aquecido – figura 3.



**Figura 3 - Exemplo de processo de aquecimento a vapor**

Fonte: TLV (2017)

## 2.2 Calor Latente VS Calor Sensível

O calor latente é a energia necessária para transformar a água em vapor, também conhecida como entalpia ou calor de vaporização. Essa transformação em vapor absorve o calor latente que ao ser liberado é revertido em água à alta temperatura (BREMER, 2017).

Quando o vapor se condensa no instante da mudança de fase, a temperatura de condensação é a mesma do vapor, pois somente o calor latente foi perdido, e a quantidade total de calor sensível permanece.

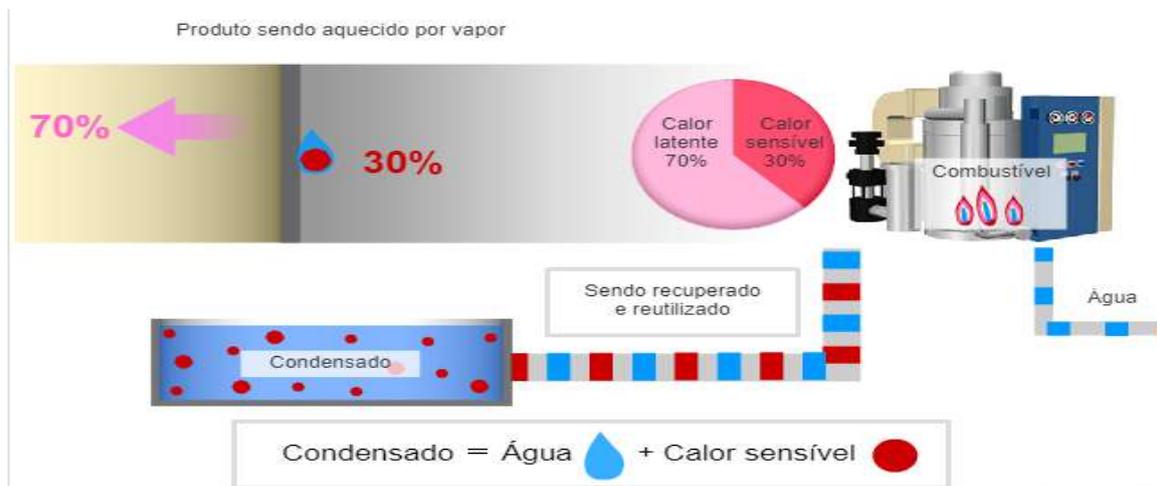
Esta condição é conhecida como "água saturada". O principal motivo da recuperação do condensado está em reutilizar ao máximo este calor sensível sempre que possível, ao invés de perdê-lo.

## 2.3 Condensado recuperado

As grandes empresas utilizam em seu processo de produção, caldeiras que são espécies de geradores de vapor onde o mesmo é gerado através da troca térmica entre o material combustível e a água.

A caldeira tem a finalidade de fazer com que a água se aqueça e passe do estado líquido para o gasoso. São muito utilizadas em processos industriais onde é exigido altas temperaturas, como por exemplo em indústrias químicas e petroquímicas, além de outros diversos segmentos industriais.

Quando o condensado é recuperado os gastos com água são menores devido à reutilização do vapor – figura 04.



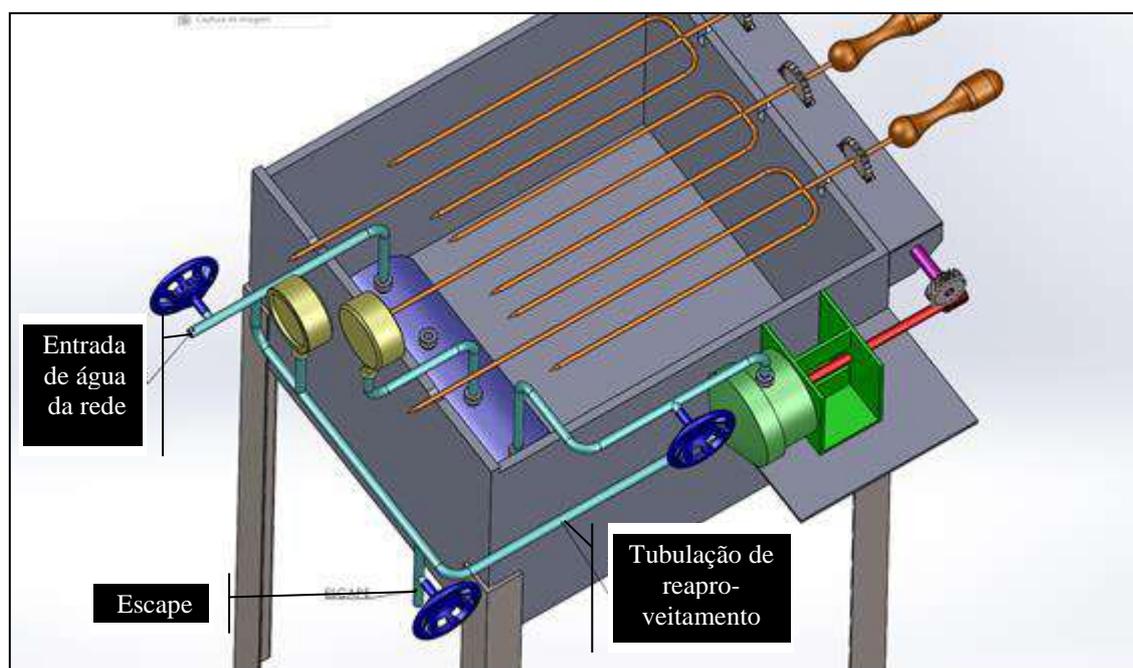
**Figura 4 - Condensado Recuperado**

Fonte: TLV (2017)

### 3. MÉTODO E DESENVOLVIMENTO

Partindo do conceito de desenvolvimento sustentável e da busca cada vez maior por meios de reaproveitamento de recursos naturais, foi criado um sistema gira-espeto para uma churrasqueira onde utiliza-se o calor que é desperdiçado e liberado ao meio ambiente no momento da combustão do carvão, transformando energia térmica em energia mecânica, que aciona um sistema de engrenagens, fazendo com que o alimento rotacione e cozinhe por inteiro.

O equipamento principal foi a churrasqueira e nela foram instalados elementos necessários para o pleno funcionamento, como vaso de pressão, turbina a vapor, espeto, conexões, manômetro, válvulas, coroas e parafusos – figura 05.



**Figura 5** – Melhoria proposta pelos autores

**Fonte:** Autores desse trabalho

### 3.1 O Funcionamento

Usando a queima do carvão vegetal como base para a geração de calor mais comum em questão doméstica, foi abordado uma maneira que permitisse que este calor fosse reaproveitado e transmitido à caldeira instalada na churrasqueira da seguinte maneira:

**Condução** – O processo irá acontecer através da troca de calor entre o carvão e as paredes do vaso de pressão

**Convecção** – A convecção ocorrerá, pois existe um movimento em que o ar mais frio irá descer, devido a sua maior densidade e o ar que está sendo aquecido pela chama gerada pelo carvão, irá subir.

**Radiação** – O processo de radiação irá ocorrer durante a combustão do carvão vegetal, que irá emitir diversas ondas de calor aquecendo a caldeira.

Após esses processos, o reservatório será aquecido e conseguirá vaporizar a água dentro da caldeira, fazendo com que acione o trabalho na turbina a vapor.

#### **Impacto positivo na segurança e meio ambiente**

Aplicando o método utilizado na churrasqueira, porém em grande escala como em grandes empresas os ganhos também são maiores e mais significativos, como por exemplo a

redução da necessidade de combustível da caldeira que através da recuperação do condensado leva a menor poluição do ar através da redução das emissões de CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono – Gás Carbônico), NO<sub>2</sub> (dióxido de azoto ou dióxido de nitrogênio) e SO<sub>2</sub> (Dióxido de Enxofre), a limitação das nuvens de vapor para reduzir o ruído gerado a partir da descarga atmosférica do condensado, ajudando a prevenir o acúmulo de água no chão, melhorando consideravelmente o ambiente de trabalho da empresa.

Outros benefícios que também podem ser considerados é a redução da necessidade de purga da caldeira que funciona como um filtro, e menor corrosão no sistema de reutilização, já que a qualidade da água torna-se melhor.

### **Redução do custo de combustível**

Quando a alimentação da caldeira passa a ser com o condensado de alta temperatura, o resultado é maximizado, pois menor energia térmica é necessária para transformar a água em vapor. Quando utilizado de maneira eficiente, o condensado pode tornar possível a redução do combustível da caldeira em torno de 10 a 20%.

### **Menores gastos relativos à água**

Considerando que todas as impurezas foram coletadas durante o transporte do condensado, o mesmo pode ser reutilizado como água de alimentação da caldeira, reduzindo o fornecimento de água e custos de tratamento.

Com base nas informações obtidas e no conhecimento adquirido, é possível perceber que o retorno é muito positivo quando o assunto é a reutilização do condensado, seja em pequena ou grande escala, pois o intuito é sempre contribuir com o meio ambiente, reutilizando o que for possível dos recursos naturais que estão disponíveis.

## **4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

### **4.1 Aplicando a melhoria: recuperando o condensado**

A fim de reutilizar o vapor que é liberado da churrasqueira foram feitas melhorias para aumentar a autonomia do sistema e a segurança de quem a manipula onde será instalada uma tubulação na boca da hélice que libera o vapor a fim de fazer a coleta do mesmo, então esse retornará ao reservatório que terá um nível graduado onde indicará quando o nível de água está baixo. Utilizando um registro e um manômetro de pressão libera-se o registro que liga a rede de água e a pressão levará a água que junto com o vapor irá condensar, voltando ao estado líquido, abastecendo assim o reservatório da churrasqueira, tornando-a autossuficiente e com uma autonomia melhor.

## **4.2 Segurança**

No sistema atual o vapor é liberado sem que haja qualquer tipo de proteção para quem está próximo ou manipulando a churrasqueira oferecendo riscos de queimaduras. No processo de melhoria a tubulação que capta o vapor direto da hélice, permite maior segurança, evita ferimentos e até mesmo desperdício do vapor. Visto que a água é de extrema importância para a sobrevivência dos seres vivos, é natural que métodos para sua reutilização e preservação avancem cada vez mais, independente da quantidade a ser recuperada e reutilizada, o importante é colocar em prática o que se adquire em conhecimentos em busca de resultados cada vez mais significativos.

Queimaduras de vapor são muito comuns e grande parte dos acidentes são domésticos, então, além da melhoria no projeto, da captação e reaproveitamento do vapor, também se deve ressaltar um tópico de grande importância, a segurança.

Por ser a segurança do produto frente ao usuário um item muito importante, foi instalada no sistema uma válvula de escape. Com o funcionamento, a partir de uma determinada temperatura a válvula abre e o vapor e a pressão são liberados, mantendo o cilindro com plena segurança, impedindo assim acidentes ocorram.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Considera-se finalmente que a melhoria é possível e irá agregar muito a um produto que visa a sustentabilidade. Através de um sistema de captação do vapor é possível reaproveitá-lo para que complemente o sistema da churrasqueira, fazendo com que a mesma se torne autossuficiente visto que não será necessária a intervenção humana. Um outro benefício que vale ressaltar é o custo-benefício do projeto, pois a adaptação não exige um investimento financeiro alto e proporciona a comodidade de ter o churrasco pronto sem a preocupação de dedicar uma pessoa exclusivamente para ficar cuidando dessa atividade. O fato de reaproveitar o condensado faz com que haja a preservação dos recursos hídricos que ficam a cada dia mais escasso, contribuindo assim com a sustentabilidade. Estudar a melhoria num objeto já existente e de grande utilidade, despertou a vontade de avançar no tema e estender ao reaproveitamento em grande escala, aplicando o método em indústrias e obtendo maiores resultados.

## REFERÊNCIAS

BREMER, Horst. *Processo de reaproveitamento de energia térmica do condensado no sistema de alimentação de água em caldeiras*. Disponível em: <<https://www.escavador.com/patentes/259929/processo-de-reaproveitamento-de-energia-termica-do-condensado-no-sistema-de>>; Acesso em 17 julho 2017.

MONTEIRO, Alan Richer Nascimento; Et All. *Sistema “gira-espeto” movido à vapor*. UNIP, TCC, 2013.

RODRIGUES, Marcos L. M. *Curso Eficiência Energética em Sistemas de Vapor*. DATTE: Educação & Treinamento. Belo Horizonte, 2012.

ROMANHO, Marcos. *Retorno de condensado*. Disponível em:

<<https://pt.slideshare.net/marcosromanholo7/parte-06-retorno-condensado>>; Acesso em: 26/07/2017.

TLV. *Introdução sobre recuperação do condensado*. Disponível em: <<http://www.tlv.com/global/BR/steam-theory/introduction-to-condensate-recovery.html>>; Acesso em: 11/07 2017.