

Estudo Teórico e Experimental da Utilização da Energia Solar em Aplicações Domésticas, Comerciais e Industriais

Palavras-Chave: energia solar, ciclo Rankine orgânico, eficiência

Autores:

Anita Fernandes de Siqueira – ETEC Bento Quirino

Glendha Crystina Garcia Messali – E.E. Adalberto Nascimento

Sarah Vitória dos Santos Ferreira - E. E. Reverendo Prof. José Carlos Nogueira

Prof. Dr. José Vicente Hallak Dangelo (orientador) – FEQ/UNICAMP

INTRODUÇÃO:

A energia, em suas diversas formas, está presente em diferentes setores da sociedade e seu consumo crescente torna cada vez mais necessária a busca de fontes de energia renováveis. Especificamente no caso da energia elétrica, o desenvolvimento e uso de meios de geração alternativos, como forma de suprir a demanda, sem a emissão de poluentes ou utilização de fontes esgotáveis, tem crescido muito nos últimos anos. Dentre as diversas opções de geração de energia elétrica a partir de fontes alternativas, a energia solar tem apresentado o maior crescimento. A IEA (Agencia internacional de Energia) prevê um crescimento de 30% na utilização desta energia em 2022 no mundo e no Brasil tem havido um aumento da capacidade instalada de energia solar fotovoltaica, tendo alcançado em 2022 a marca de 14 GW, equivalente à geração da usina hidrelétrica de Itaipu (ABSOLAR, 2022).

Levando em consideração a relevância da energia solar, este projeto estudou os meios de aproveitamento solar via placas fotovoltaicas, concentradores solares e coletores solares de placa plana, bem como os ciclos Rankine (convencional e orgânico) e Kalina, para geração de potência a partir de fontes alternativas de energia.

Este projeto de iniciação científica – ensino médio, teve como principais objetivos:

- desenvolver e aprimorar os conhecimentos na área de utilização da energia solar em aplicações domésticas, comerciais e industriais;
- compreender os princípios de funcionamento dos coletores solares e células fotovoltaicas;
- realizar simulações envolvendo os ciclos termodinâmicos estudados e avaliar a influência das variáveis operacionais dos ciclos sobre sua eficiência;

- compreender o princípio de funcionamento dos equipamentos utilizados em ciclos termodinâmicos (bombas, turbinas, válvulas, trocadores de calor e compressores);
- desenvolver a visão crítica dos participantes do projeto, relacionada ao uso de fontes alternativas de energia;
- contribuir para que os alunos do projeto desenvolvam técnicas de pesquisa, elaboração de relatórios, apresentações orais de trabalhos e que dominem as etapas do método científico.

METODOLOGIA:

Devido à pandemia, com a prorrogação da impossibilidade de atividades presenciais na Unicamp, a metodologia consistiu inicialmente no estudo teórico do tema; reuniões remotas, que foram conduzidas tanto pelo professor orientador como também por alunos de graduação do Grupo PET-EQ do Programa de Educação Tutorial e em pesquisas realizadas pelas alunas do PIBIC-EM. Num segundo momento foi possível realizar reuniões presenciais, algumas atividades práticas no Laboratório de Transferência de Calor e Massa, apresentações de seminários, resolução de exercícios e, ao final, a utilização de um software (Aspen Hysys v.10) para simular o Ciclo de Rankine e avaliar a influência de algumas variáveis operacionais sobre a eficiência do ciclo. Foi construída uma base em calorimetria, com cálculos de calor latente e sensível, realizando diversos exercícios baseados na literatura (Villas Bôas *et al.*, 2012). Em seguida, foram introduzidos conceitos de balanço de massa, mistura de correntes e cálculo da concentração, bem como balanços de energia de cada componente do ciclo de Rankine, utilizando a 1ª Lei da Termodinâmica. Em todos os tópicos estudados foi abordado também a conversão de unidades. A Tabela 1 apresenta as principais equações utilizadas nos cálculos.

Tópico	Equações	Variáveis
Calorimetria	Calor sensível: $Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$	Q: quantidade de calor
		m: massa do corpo
	Calor latente: $Q = m \cdot L$	Cp: calor específico
		ΔT : T(final)- T(inicial) T = temperatura
Mistura de correntes	Concentração: $C = m/V$	L: calor latente
		C: concentração
		V: volume
Eficiência do ciclo	$\eta = \frac{\dot{W}_{turbina} - \dot{W}_{bomba}}{\dot{Q}_{caldeira}}$	W = potência Q = taxa de calor fornecido

Tabela 1 – Equações utilizadas nos estudos envolvendo aplicações da energia solar e ciclo de Rankine.

Com os principais conceitos estabelecidos, foram investigadas aplicações da energia solar nos setores doméstico, comercial e industrial (sistemas fotovoltaicos *on-grid* e *off-grid*, coletores solares de placas planas e coletores concentradores). Os diagramas temperatura-entropia e pressão-temperatura de substâncias puras foram utilizados para um melhor entendimento do Ciclo Rankine e do comportamento das variáveis de operação desse ciclo.

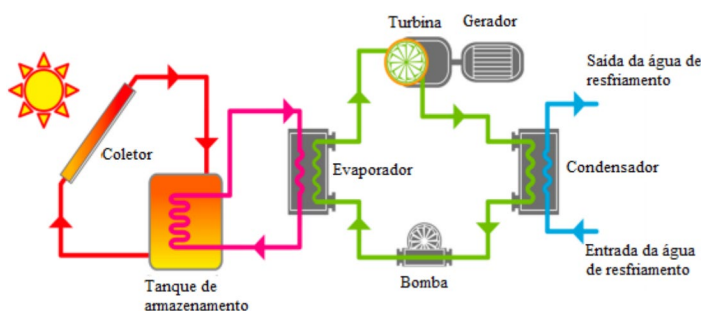


Figura 1- Ciclo Rankine Orgânico utilizando uma fonte de energia solar.

Fonte: <http://engenharias.macaue.ufri.br/images/testetcc/2018/TCC-Renata-Engenharia-Mec%C3%A2nica-Corrigido.pdf>

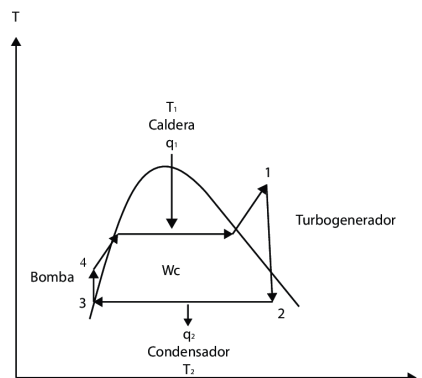


Figura 2- Diagrama de Temperatura-Entropia ilustrando as etapas de um ciclo Rankine.

Fonte: https://www.researchgate.net/figure/FIGURA-III411-Ciclo-Rankine-en-el-diagrama-Temperatura-Entropia_fig6_344311471

Com relação ao diagrama pressão e temperatura da água, realizou-se um experimento prático em laboratório, no qual uma quantia de água foi aquecida, sem variação de pressão, possibilitando consultar a variação de temperatura em determinados instantes de tempo. Ao final, realizou-se uma simulação do ciclo de Rankine no software Aspen Hysys, concretizando o tema com o cálculo de eficiência energética, e maneiras de aumentar a eficiência do ciclo variando temperatura, pressão e outros parâmetros.

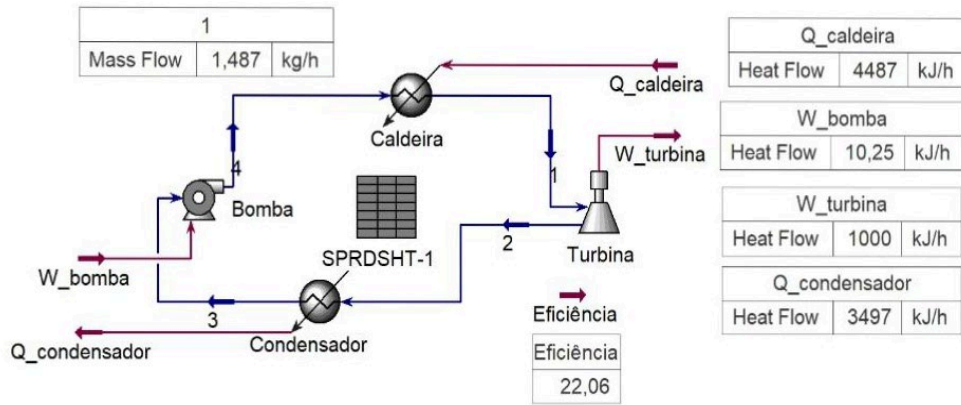
RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A Figura 3 apresenta o experimento realizado em laboratório, de verificação dos conceitos de entalpia (calor) sensível e entalpia latente, analisando-se a mudança de estado ao longo do tempo.

A Figura 4 apresenta o ciclo de Rankine simulado utilizando-se o software Aspen Hysys, considerando sua configuração convencional com os quatro componentes principais: caldeira, turbina, condensador e bomba. A partir de um caso base, foi analisada a influência das variáveis operacionais sobre a eficiência do ciclo, basicamente temperatura e pressão das linhas do ciclo. O objetivo do ciclo neste caso, é que o calor produzido na caldeira seja capaz de aquecer a água, a qual se transformará em vapor, que por sua vez contém energia térmica. Esta energia térmica, através da turbina, será convertida em potência.



Figura 3 – Experimento de calorimetria realizado no laboratório.



Name	1	2	3	4
Vapour Fraction	1,0000	1,0000	0,0000	0,0000
Temperature [C]	500,0	138,2	99,59	100,2
Pressure [kPa]	5000	100,0	100,0	5000
Molar Flow [kgmole/h]	8,256e-002	8,256e-002	8,256e-002	8,256e-002
Mass Flow [kg/h]	1,487	1,487	1,487	1,487
Liquid Volume Flow [m3/h]	1,490e-003	1,490e-003	1,490e-003	1,490e-003
Heat Flow [kJ/h]	-1,865e+004	-1,965e+004	-2,315e+004	-2,314e+004

Figura 4- Tela do simulador de processos e tabela com as variáveis do ciclo de Rankine.

As opções avaliadas para melhorar a eficiência do ciclo foram: aumentar a pressão de operação da caldeira; aumentar o grau de superaquecimento (temperatura de saída da caldeira); aumentar o grau de expansão na turbina e diminuir a temperatura de saída do condensador. A Figura 5 apresenta três estudos de casos da influência dessas variáveis sobre a eficiência do ciclo.

Na Figura 5a observa-se que para a faixa analisada e mantidas constantes as demais variáveis do caso base, a eficiência do ciclo aumenta com o aumento da pressão de entrada na turbina. Na Figura 5b observa-se que a eficiência do ciclo aumenta com a temperatura de saída da caldeira e para a Figura 5c observa-se que a eficiência do ciclo aumenta quando maior for o grau de expansão na turbina.

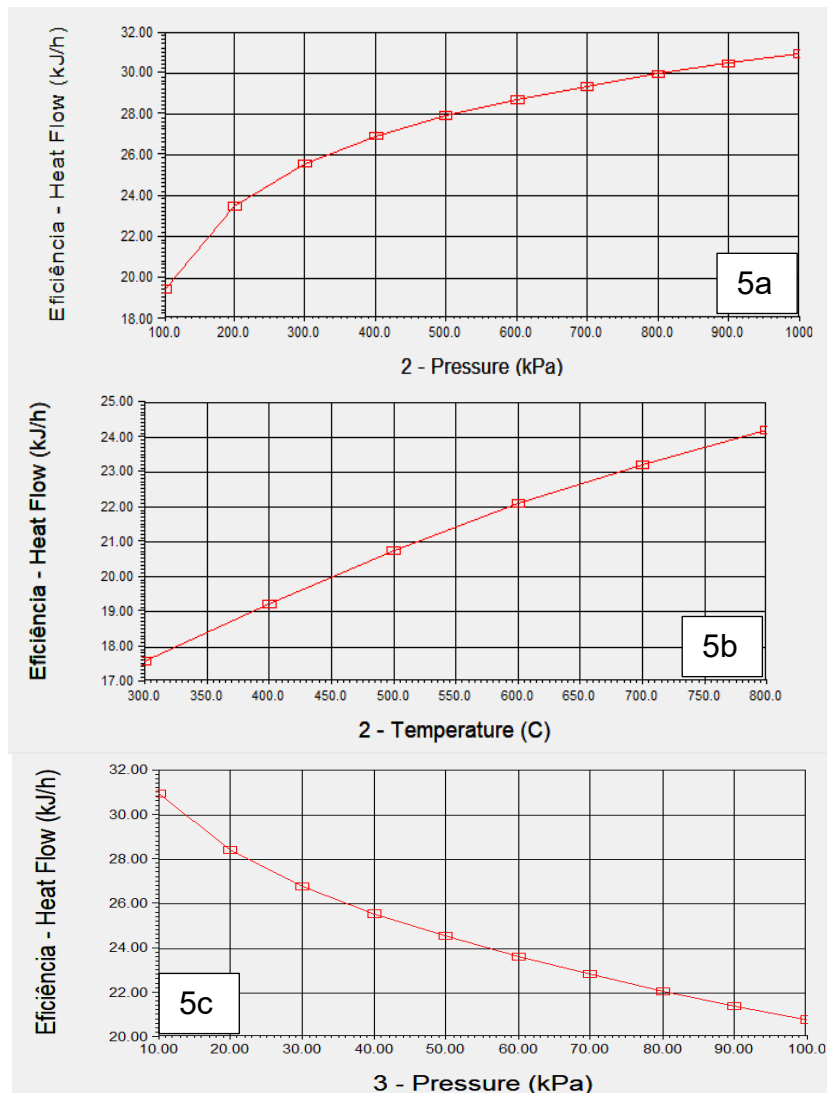


Figura 5 – a) influência da pressão de operação da caldeira; b) influência do grau de superaquecimento na caldeira e c) influência do grau de expansão na turbina.

CONCLUSÕES:

O estudo realizado por este projeto possibilitou um melhor entendimento acerca do uso e aplicações da energia solar, possibilitando ampliar o conhecimento sobre a área. Foi possível analisar os componentes envolvendo o Ciclo de Rankine e as maneiras de melhorar sua eficiência, por meio da adequação das variáveis operacionais do ciclo. Também foi de suma importância o desenvolvimento de visão crítica acerca do uso da energia solar e de outras fontes de energia alternativas, como a eólica e a geotérmica, que também foram estudadas neste projeto. Com relação às simulações foi possível verificar a importância de se conhecer o processo e os equipamentos antes de utilizar o simulador, bem como saber realizar os cálculos de forma manual, sem precisar depender desse programa. O simulador é interessante e importante para avaliar diferentes condições e buscar as melhores condições e operar com maior eficiência. A operação eficiente contribui para a diminuição dos impactos ambientais no planeta. Foi possível também verificar o papel de um engenheiro na operação eficiente de um processo e como ele atua na definição das condições de operação do mesmo e na escolha de alternativas para substituir métodos convencionais de geração de energia visando a redução do consumo de combustíveis fósseis. Foram estudados também os ciclos Rankine orgânico e Kalina que são mais adequados para o uso de fontes alternativas de energia.

AGRADECIMENTOS:

Gostaríamos de expressar nossos agradecimentos ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica Ensino da PRP/UNICAMP, pelo financiamento e pelas bolsas de estudo que permitiram a execução desse projeto e também aos alunos do Projeto Feira do Grupo PET-EQ da FEQ/UNICAMP por toda a ajuda e acompanhamento ao longo deste projeto: Anna Carolina Nishi de Lima, Ingrid Alves Martins, Rafael Soares da Silva e Thiago Oliveira Sousa.

BIBLIOGRAFIA

ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica.
<https://www.absolar.org.br/noticia/geracao-solar-no-brasil-atinge-14-gw-potencia-equivalente-a-usina-de-itaipu/>, acessado em 18 de julho de 2022.

VILLAS BÔAS, Newton; DOCA, Ricardo Helou; BISCUOLA, Gualter José; **Tópicos de Física – Volume 2**, Saraiva Didático, 19ª edição, 2012.

PLANAS, Oriol. **Concentradores solares: Tipos e operação. Energia Solar**, 2020. Disponível em: <https://pt.solar-energia.net/solar-termica/componentes/concentrador-solar>. Acesso em: 18 julho de 2022.

BRASIL ESCOLA - Energia solar: como funciona ,tipos, vantagens e desvantagens.
<https://m.brasilecola.uol.com.br/geografia/energia-solar.htm>. Acesso em :18 de julho de 2022.