

TECNOLOGIA APLICADA A GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO UNIDADES TERMOELETRICAS¹

Carlos Eduardo Machado Paletta²

Pedro Lo Giudice³

Antonio Marcos Furco Junior⁴

Leonardo Buranello⁵

Resumo

O presente estudo tem a finalidade de apresentar o uso do ciclo regenerativo, como uma alternativa para a melhoria na eficiência de produção de energia elétrica por meio de Unidades Termoelétricas. É fato que o Brasil ao longo dos anos tem apresentado uma crescente demanda por energia elétrica. Também é sabido que diversas e antigas unidades termoelétricas encontram-se em seu limite máximo de produção, e por muitas vezes com baixas eficiências, surgindo assim, a necessidade de otimização dos equipamentos existentes ou na melhoria na concepção do ciclo de geração de energia. Entretanto, a decisão em se modernizar ou substituir o equipamento existente deve estar baseada em uma análise técnica econômica. O que se pode observar, é que devido às novas tecnologias aplicadas em turbinas a vapor, em muitos casos, a substituição do equipamento existente por um novo é mais vantajosa.

Palavras-chave: Ciclo regenerativo; Geração de energia elétrica; Termoelétricas.

TECHNOLOGY APPLIED TO ELETRICITY GENERATION USING THERMOELETRIC PLANTS

Abstract

The purpose of this study is to present the use of the regenerative cycle as an alternative for improving the efficiency of electricity production through thermoelectric units. It is a fact that Brazil over the years has shown an increasing demand for electricity. It is also known that several power plants are at their maximum production, and work many times with low efficiencies, this resulting in the need for optimization of existing equipment or improving the design cycle power generation. However, the decision to improve or replace existing equipment must be based on a technical and economic analysis. What can be observed which is due to new technologies in steam turbines, in many cases the replacement of existing equipment with a new one is more advantageous.

Keywords: Regenerative cycle; Power generation; Thermoelectric.

¹ *Contribuição técnica ao 34º Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades e 28º Encontro de Produtores e Consumidores de Gases Industriais, 28 a 30 de agosto de 2013, Vitória, ES.*

² *Engenheiro mecânico e Mestre em Energia, Gerente de Desenvolvimento de Negócios, TGM Turbinas. São Paulo, São Paulo, Brasil.*

³ *Engenheiro mecânico, Coordenador de Projetos, TGM Soluções. Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil.*

⁴ *Engenheiro mecânico, Engenheiro de Aplicação, TGM Soluções. Dumont, São Paulo, Brasil.*

⁵ *Engenheiro mecânico, Engenheiro de Aplicação, TGM Soluções. Penapolis, São Paulo, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

Tendo em vista o aumento acentuado da demanda por energia elétrica no Brasil e em outros países do mundo, desenvolvidos e em desenvolvimento, e aliado a isto um esforço cada vez maior na conscientização do uso mais racional e sustentável da energia, advindas do consumo das fontes não renováveis e também renováveis, faz-se necessária a melhoria e otimização das instalações de potência visando obter o máximo de eficiência dos equipamentos, menores gastos com manutenção, maior confiabilidade e vida útil de forma a se minimizar os custos com consumo de combustíveis, operação e de geração da energia elétrica, nas já em funcionamento quanto nos futuros projetos térmicos. Não se pode perder de vista que o desenvolvimento global com sustentabilidade envolve uma boa e saudável qualidade de vida para a atual e futuras gerações. Por isso, a utilização da energia, em suas várias formas, e o controle da poluição ambiental, precisa ser encarada de forma responsável e competente. Assim, as termelétricas queimando grandes quantidades de combustíveis necessitam de atenção especial para que possam ter melhores eficiências térmicas e menores emissões de poluentes para a atmosfera. Para a melhora da eficiência das centrais termoeletricas existentes e futuras e como consequência queda da emissão de poluentes, vem sendo aplicado a utilização do Ciclo Rankine Regenerativo as plantas industriais.

O Ciclo Rankine é um ciclo termodinâmico reversível que converte calor em trabalho. Nomeado de Rankine por William John Macquorn Rankine, um sueco polímata e professor da Universidade de Glasgow que o idealizou. O ciclo termodinâmico Rankine é a base fundamental dos motores a vapor e máquinas térmicas.

Conhecido nos processos industriais, o ciclo Rankine é utilizado na cogeração e/ou geração de energia elétrica por meio de turbinas a vapor.

O acionamento da turbina é feito pela expansão do vapor de alta pressão procedente de um gerador de vapor, por exemplo, uma caldeira.

A turbina por sua vez transforma a energia térmica em energia mecânica acionando assim o eixo do gerador que transformará energia mecânica em energia elétrica.

Em muitos casos o vapor que sai da turbina pode ser aproveitado em um processo industrial, quando o mesmo necessitar de vapor ou energia térmica a um nível relativamente baixo de temperatura.

Em outros casos, quando não há utilização de vapor no processo da indústria, o mesmo é canalizado diretamente ao condensador de vapor o qual transformará o vapor em líquido a ser utilizado na caldeira (chamado de ciclo fechado).

Em alguns casos, o vapor ainda pode alimentar o desaerador de vapor e outros pré-aquecedores e retornado posteriormente a caldeira.

O ciclo Rankine é usualmente conhecido e é utilizado em diversas instalações industriais e tem o seu uso totalmente disseminado no mercado nacional.

Entretanto, conforme já mencionado busca por ciclos mais eficientes, no que se refere ao consumo de combustível em relação ao total de energia elétrica produzida trás a tona a discussão e implementação do Ciclo Regenerativo.

O processo de ciclo regenerativo consiste na utilização do vapor de diversos estágios da turbina para o aquecimento do condensado que retorna a caldeira.

O seu efeito principal pode ser explicado tanto com base na redução da vazão de vapor que chega ao condensador e quanto na redução das correspondentes perdas na fonte fria, como pelo aumento da temperatura média termodinâmica de fornecimento de calor ao ciclo.

Entre os fatores que influenciam o rendimento do ciclo a vapor, destaca-se a temperatura da água de alimentação da caldeira.

A Utilização da água da caldeira pré-aquecida, possibilita um consumo menor de combustível na caldeira, visto que a energia necessária para aquecer a água ao ponto máximo desejado é menor se comparado com o ciclo convencional, sem o pré-aquecimento da água de alimentação.

Assim sendo, pode-se dizer que o aumento da temperatura da água de alimentação é obtido por meio das extrações de vapor ao longo da turbina.

A cada extração de vapor intermediária na turbina está associado a um trocador de calor, aquecedores específicos para cada pressão e temperatura.

A medida que se aumenta o número de extrações e de trocadores de calor (aquecedores) num sistema de ciclo regenerativo, a temperatura da água de retorno a caldeira também aumenta, acarretando numa maior eficiência no ciclo como um todo.

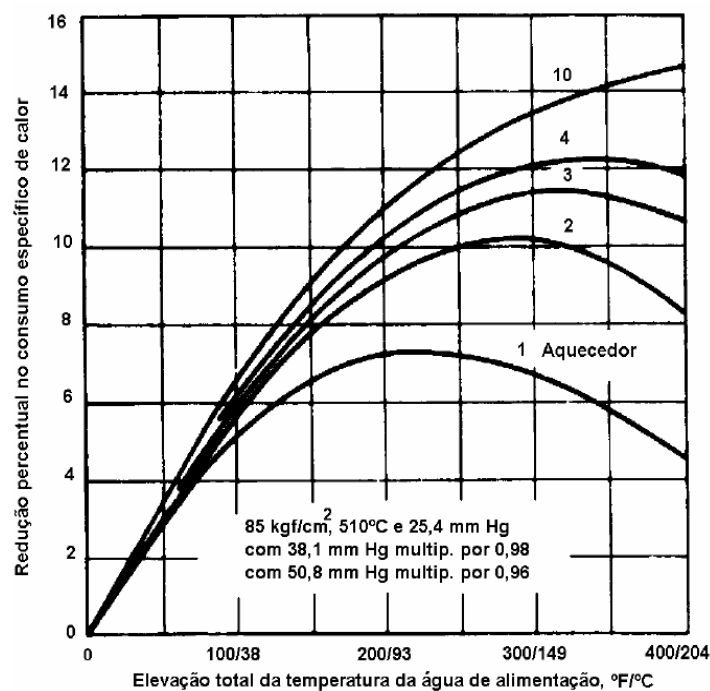


Figura 1: Redução percentual no consumo específico de calor com o número de aquecedores da água de alimentação.⁽¹⁾

O número ideal de extrações de vapor e trocadores de calor (aquecedores da água de alimentação) é determinada a partir de considerações econômica e financeiras, visto que o ciclo regenerativo está totalmente consolidado tecnicamente.⁽²⁾

1.1 Ciclo Rankine Convencional

O ciclo Rankine tradicional pode ser exemplificado por meio de 4 etapas, tais quais: o bombeamento, o aquecimento, a expansão e a condensação.

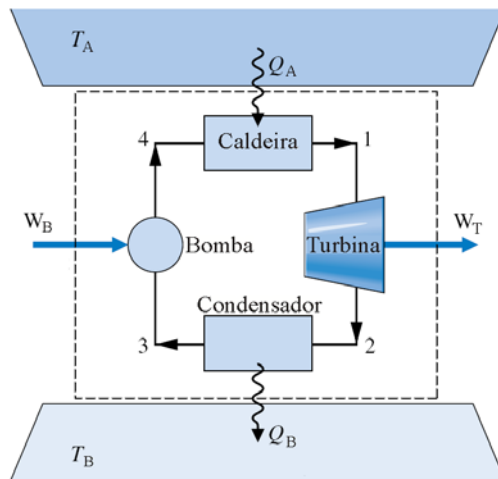


Figura 2. Esquemático - Ciclo Rankine Convencional.

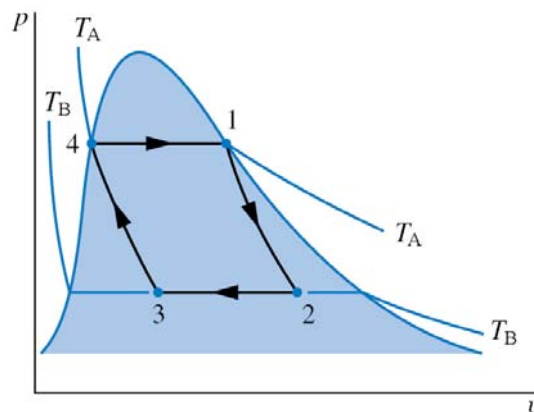


Figura 3. Diagrama - Ciclo Rankine Convencional.

Fase 3-4 Compressão: o fluido é bombeado de uma pressão baixa para uma pressão alta utilizando-se uma bomba. O bombeamento requer algum tipo de energia para se realizar.

Fase 4-1 Transferência de calor isobárica: o fluido pressurizado entra numa caldeira, onde é aquecida a pressão constante até se tornar vapor superaquecido.

Fase 1-2 Expansão: o vapor superaquecido expande através de uma turbina para gerar trabalho idealmente, esta expansão é isentrópica. Com esta expansão, tanto a pressão quanto a temperatura se reduzem.

Fase 2-3 Transferência de calor: o vapor então entra num condensador, onde ele é resfriado até a condição de líquido saturado. Este líquido então retorna à bomba e o ciclo se repete.

1.2 Ciclo Rankine Regenerativo

O ciclo regenerativo tem como característica principal o pré-aquecimento do condensado antes de ser utilizado na caldeira.

O Ciclo Rankine Regenerativo é nomeado desta forma devido ao fato do fluido (água) ser reaquecido após sair do condensador até a entrada na caldeira, por meio de trocadores de calor entre a água de retorno e fontes de calor provenientes da turbina, as chamadas extrações de vapor.

Para haver um aumento na temperatura da água é necessária uma fonte de calor com temperatura maior.

O processo pode se repetir por diversas vezes até se atingir a temperatura da água de retorno desejada.

Esse processo possibilita o aumento da temperatura média do fluido em circulação, o que aumenta a eficiência termodinâmica do ciclo.

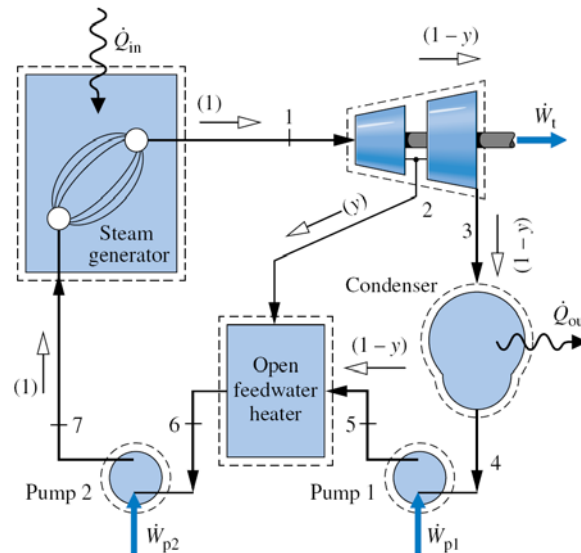


Figura 4. Esquemático - Ciclo Rankine Regenerativo.

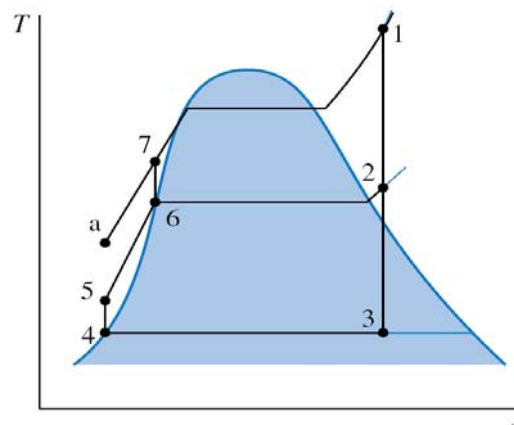


Figura 5. Diagrama - Ciclo Rankine Regenerativo.

O resultado do ciclo regenerativo pode ser explicado tanto com base na redução da vazão de vapor que chega ao condensador bem como na redução das correspondentes perdas na fonte fria como pelo aumento da temperatura média termodinâmica de fornecimento de calor ao ciclo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O objetivo desse trabalho é de apresentar, calcular e analisar os resultados obtidos referentes a um Ciclo Rankine Regenerativo na comparação aos resultados de um Ciclo Rankine Convencional com a mesma base de dados, visando criar subsídios de uma solução para aumento da eficiência energética em plantas termoeletricas.

Para realização dos cálculos utilizaremos o software Thermoflex Versão 22.⁽³⁾

Na primeira parte do estudo serão analisados os parâmetros técnicos e posteriormente os econômicos e financeiros.

2.1 Cálculo

Nessa etapa será analisada uma situação de uma UTE - Unidade Termo Elétrica a qual necessita produzir ou produz 46 MWh, utilizando o carvão Sub betuminoso, o mais típico do Brasil com Pcs de 18.338,16 kJ/kg⁽⁴⁾ como combustível para a caldeira.

2.1.1 Análise da UTE pelo ciclo rankine convencional

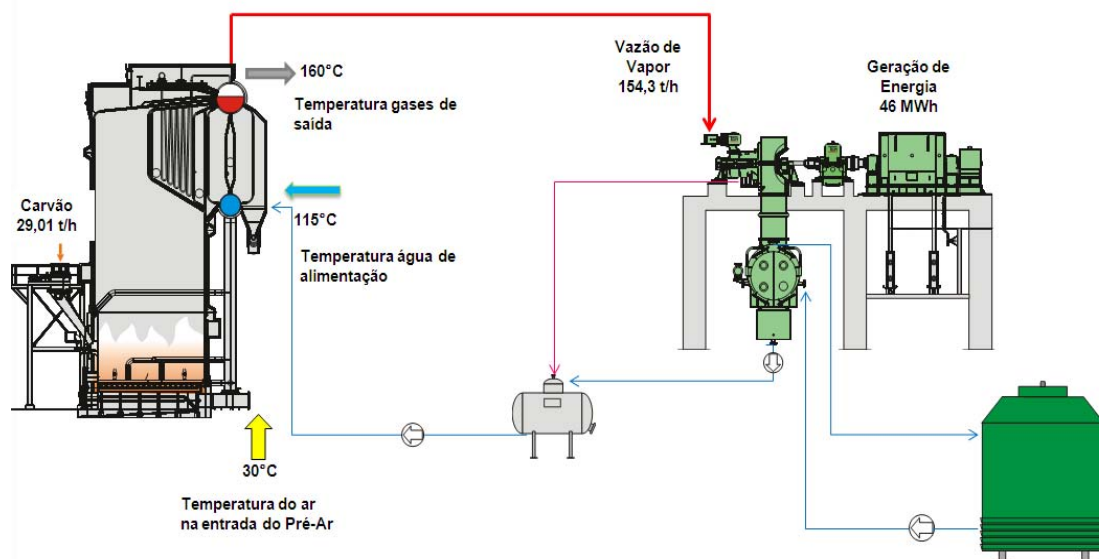


Figura 6. Ciclo Rankine Convencional.

Descrição do Ciclo Rankine Convencional conforme Figura 6.

Nessa configuração, o combustível é alimentado na caldeira o qual após queima transfere energia na forma de calor para a água, a qual muda de estado físico tornando-se vapor superaquecido.

O vapor então é enviado para turbina de condensação a qual transforma energia térmica em mecânica por meio do movimento rotacional de giro do rotor.

A turbina por sua vez está acoplada a um redutor e a um gerador o qual produz energia elétrica.

O vapor admitido na turbina cede a maior parte de sua energia para o rotor da turbina, até se transformar em vapor de baixa pressão e baixa temperatura.

O vapor então é direcionado a um condensador, o qual tem a função de transformá-lo em água novamente para ser enviado ao desaerador.

No desaerador, a água receberá calor de uma tomada ou extração de vapor da turbina a fim de aumentar a temperatura da mesma e retornar a caldeira.

2.1.2 Análise da UTE pelo do ciclo rankine regenerativo

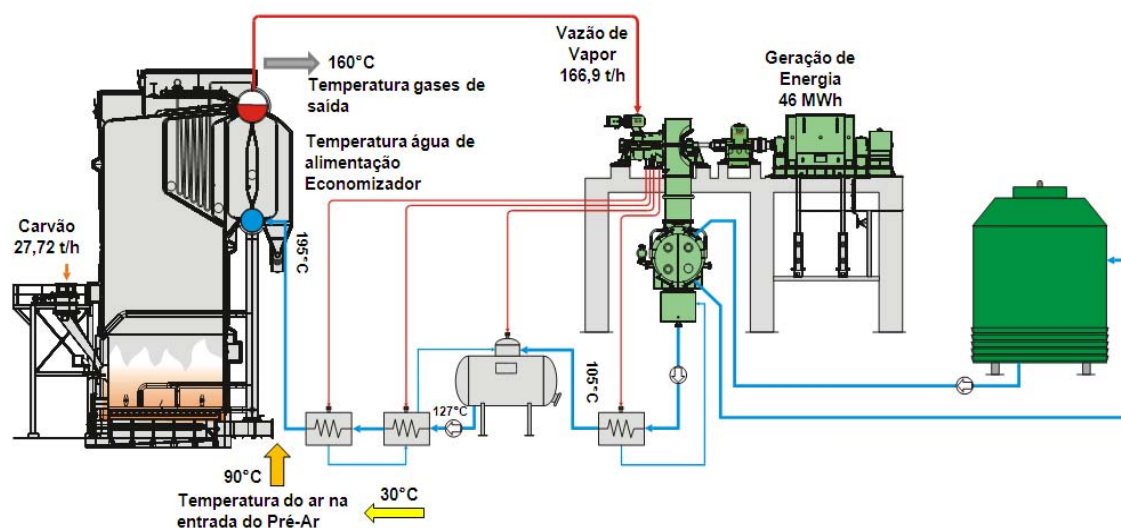


Figura 7. Ciclo Rankine Regenerativo.

Descrição do Ciclo Rankine Regenerativo conforme Figura 7.

Na configuração do No Ciclo Rankine Regenerativo o processo se mantém igual o Ciclo Rankine convencional até a passagem pelo condensador.

Após essa etapa, a configuração é alterado a fim de permitir que a água ao invés de ir direto para o desaerador ela será direcionada primeiramente a um pré- aquecedor de baixa onde o mesmo recebe um ganho energético por meio do vapor proveniente de uma tomada de vapor de baixa pressão vinda da turbina.

Após o pré-aquecedor de baixa a água é encaminhada ao desaerador já com a sua temperatura aumentada.

No desaerador a água recebe calor de outra tomada de vapor da turbina para aumento na temperatura da mesma e eliminação dos gases presentes nela.

Após a passagem pelo aquecedor o condensado, será novamente encaminhado a um novo pré aquecedor de alta, o qual receberá mais energia de outra tomada de vapor proveniente da turbina.

Após este preaquecedor de alta a água quente passa por mais um preaquecedor de alta alimentado com outra tomada de alta pressão proveniente da turbina e é retornada para a caldeira com uma temperatura bem maior que no ciclo Rankine Convencional.

3 RESULTADOS

Abaixo apresentaremos as principais diferenças técnicas e econômicas dos dois processo abrodados.

3.1 Comparação entre os Ciclos Rankine Convencional e Ciclo Rankine Regenerativo

A Tabela 1 apresenta as principais variáveis de processo entre os dois ciclos.

Tabela 1. Dados dos Ciclos

ITEM	RANKIE CONVENCIONAL	RANKINE REGENERATIVO
Caldeira	Aquatubular	Aquatubular
Pressão de vapor caldeira	69,34 bar(a)	69,34 bar(a)
Vazão de vapor	154,3 tv/h	166,9 tv/h
Geração de E.E	46 MWh	46 MWh
Vazão de condensado	136,1 tv/h	126,6 tv/h
Vazão de água – Torre	6.874 t/h	6.389 t/h
Pré – aquecedor de baixa	0	1
Desaerador	1	1
Pré – aquecedor de alta	0	2
Temp. água de alimentação da caldeira	115°C	195°C
Consumo de combustível	29,01 t/h	27,72 t/h
Rendimento do ciclo	27,87%	29,8%

3.2 Estimativa de Custo para de Instalação de Ambos os Projetos

Abaixo segue Tabela 2 com a estimativa de custo dos principais equipamentos de uma termoeletrica com ciclo Rankine Convencional e outra com ciclo Rankine Regenerativo.

Tabela 2. Custo dos principais equipamentos de cada sistema

ITEM	RANKIE CONVENCIONAL	RANKINE REGENERATIVO
Caldeira	R\$40.000.000,00	R\$ 41.000.000,00
Turbina de condensação	R\$ 10.640.000,00	R\$ 10.290.000,00
Redutor	R\$ 880.000,00	R\$ 880.000,00
Gerador de E.E	R\$ 4.500.000,00	R\$ 4.500.000,00
Torre de resfriamento	R\$ 2.860.000,00	R\$ 2.650.000,00
Pré – aquecedor de baixa	Não Aplicado	R\$ 290.000,00
Pré – aquecedor de alta	Não Aplicado	R\$ 380.000,00
Interligações	Não Aplicado	R\$ 350.000,00
Automação e controle	Não Aplicado	R\$ 150.000,00
Soma	R\$ 58.880.000,00	R\$ 60.490.000,00

Na Tabela 2 não foram apresentados itens comuns as dois ciclos tais como; engenharia básica, obras civis, casa de força, subestação etc.. Os quais segundo Paletta⁽⁵⁾ contabilizam em torno de R\$ 60.000.000,00 para ambos os sistemas.

Podemos observar que o custo da Opção 1 é inferior ao da Opção 2, em R\$ 1.610.000,00.

Embora o custo da opção 2 seja superior em 2,67%, há uma economia de combustível de 4,4%, sendo este com preço médio atual do carvão no Brasil gira em torno de R\$ 51,80/ton., o Payback desta diferença de investimento entre ciclo

convencional e regenerativo ocorre em 2,75 anos ou mais precisamente em 2 anos e 265 dias, com a UTE em regime pleno de operação.

4 RESULTADOS E CONCLUSÕES

O objetivo geral deste estudo foi o de verificar as interferências das variáveis tecnológicas, econômicas e financeiras no projeto de instalação de uma unidade termoeletrica com ciclo Rankine Convencional e outra com ciclo Rankine Regenerativo.

De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que a Alternativa 2 apresenta uma melhor eficiência global.

Pode-se verificar que o investimento necessário para a Alternativa 2, foi de somente 2,67% maior que o da Alternativa 1, fato esse que possibilitou a mesma.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer à equipe de soluções tecnológicas, que me auxiliou na elaboração deste trabalho.

Agradeço à TGM Turbinas a qual me forneceu dados técnicos, subsídios para confecção deste.

Por ultimo agradeço a ABM pela iniciativa de realizar um seminário a qual profissionais do setor energético, podem compartilhar suas experiências e com isto contribuir para o desenvolvimento do setor energético e também do Brasil.

REFERÊNCIAS

- 1 FAIRES, V. M. & SIMMANG, M. Termodinâmica. 6. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 1983.
- 2 TGM Turbinas – Principais Tipos de Turbinas, 2010. Disponível em: <http://www.tgmturbinas.com.br/>.
- 3 THERMOFLEX Version 22.0 da THERMOFLOW. Licensed for TGM Turbinas, 2013.
- 4 SILVA, D. C. Análise Termoeconômica de uma Usina Termoeletrica a Carvão Mineral. Dissertação de Mestrado apresentada à comissão de Pós-Graduação da Universidade Federal de Itajubá UNIFEI, como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Ciências em Engenharia Mecânica na Área de Concentração em Conversão de Energia. – Universidade Federal de Itajubá – MG.
- 5 PALETTA, C. E. M. As implicações dos aspectos legais, econômicos e financeiros na implementação de projetos de geração de energia a partir de biomassa no Brasil: um estudo de viabilidade. 2004. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.