



# 2º CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO & GÁS

## CONSERVAÇÃO DE ENERGIA EM REFINARIAS DE PETRÓLEO

J. S. S. Olim<sup>1</sup>, J. Haddad<sup>2</sup>, A. N. C. Viana<sup>3</sup>, A. R. S. Martins<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Av. BPS, 1303, Caixa Postal 50, Itajubá, MG, CEP 37500-000, e-mail: [jsilvio@unifei.edu.br](mailto:jsilvio@unifei.edu.br)

<sup>2</sup> Instituto de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Itajubá, Av. BPS, 1303, Caixa Postal 50, Itajubá, MG, CEP 37500-000, e-mail: [jamil@iee.unifei.edu.br](mailto:jamil@iee.unifei.edu.br)

<sup>3</sup> Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Av. BPS, 1303, Caixa Postal 50, Itajubá, MG, CEP 37500-000, e-mail: [augusto@iem.unifei.edu.br](mailto:augusto@iem.unifei.edu.br)

<sup>4</sup> Instituto de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Itajubá, Av. BPS, 1303, Caixa Postal 50, Itajubá, MG, CEP 37500-000, e-mail: [amartins@iee.unifei.edu.br](mailto:amartins@iee.unifei.edu.br)

**Resumo** – Este trabalho descreve o potencial de dois métodos de conservação de energia aplicados às refinarias de petróleo, visando o melhor aproveitamento dos recursos energéticos. O primeiro método aborda o aproveitamento do calor residual de baixa temperatura, que está contido nas correntes finais dos processos de refino. O segundo método consiste na operação de sistemas de bombeamento com rotação variável, de modo a operar sempre com bom rendimento. Os dois métodos são apresentados e caracterizados de acordo com as aplicações possíveis em uma refinaria de petróleo.

Palavras-Chave: Refino; Conservação de Energia; Recuperação de Calor; Sistemas de Bombeamento; Rotação Variável.

**Abstract** – This work describes the potential of two methods of energy's conservation applied to the refineries of petroleum, seeking the best use of the energy resources. The first method approaches the use of the residual heat of low temperature, that is contained in the finals currents of the refinement processes. The second method consists of the operation of pumping systems with variable rotation, in way to operate always with good efficiency. The two methods are presented and its possible applications in the refinement processes of petroleum are characterized .

Keywords: Refinement Processes; Energy's Conservation; Heat's Recuperation; Pumping Systems; Variable Rotation .

## 1. Introdução

Além das vantagens inerentes que a utilização eficiente da energia traz às indústrias, como maior competitividade, existe atualmente um ambiente promissor, seja pela dinâmica do setor energético, seja pelas mudanças institucionais, a configurar uma gama de oportunidades para que o uso racional da energia seja buscado de forma integrada. Esta atuação integrada em eficiência energética torna-se ainda mais decisiva em função dos seguintes fatores: o preço dos energéticos é crescente em todo o mundo, a universalização do atendimento energético ainda é um desafio para o Brasil, os riscos de interrupção ou redução do abastecimento de energia estão sempre presentes, além de que a importação de energéticos e de diversos equipamentos usados na produção e transporte de energia têm impacto direto no desempenho das contas públicas.

No caso das refinarias, considerando o contexto acima descrito, o campo para aplicação e desenvolvimento de novas tecnologias relacionadas com o uso racional de energia é amplo. Neste sentido, o objetivo que norteou o presente trabalho foi o de desenvolver e especificar metodologias para a redução de perdas em refinarias, abordando os aspectos técnicos pertinentes.

## 2. Recuperação de Calor de Baixa Temperatura

O aproveitamento do calor presente nas correntes de refino é uma técnica amplamente utilizada em refinarias de petróleo. Esta energia, sob a forma de calor, é inerente a todo processo de refino já que, na etapa de destilação, o petróleo é aquecido e os produtos obtidos saem relativamente à baixa temperatura ( $T < 350$  °C). As plantas são comumente projetadas prevendo esta fonte de energia, normalmente aproveitada em baterias de trocadores de calor que fazem com que o calor rejeitado por uma corrente seja utilizado para aquecer uma outra corrente que necessite ter sua temperatura elevada. No entanto, esta aplicação se limita apenas a um aproveitamento inicial devido à impossibilidade de um sistema operar de tal modo que o único resultado seja a transferência de energia por calor de um corpo frio para um corpo quente espontaneamente (Segunda Lei da Termodinâmica). Sendo assim, as correntes ainda apresentam temperaturas consideráveis após as baterias de trocadores de calor e são resfriadas para o bombeamento dos produtos. Este resfriamento faz com que o calor residual disponível seja simplesmente rejeitado para a atmosfera.

Uma vez que muitas correntes de refino apresentam temperatura da ordem de 150 °C após as baterias de trocadores de calor, tem-se nas refinarias um grande potencial de aproveitamento de calor (Brown et. al., 1990). Dentre os processos de refino, destaca-se o processo de destilação atmosférica, que por ser o primeiro processo de refino apresenta diversos produtos, em grandes quantidades, rejeitando calor. Com o aproveitamento deste calor pode-se aumentar consideravelmente a eficiência térmica da planta.

### 2.1. Especificação das Correntes Potencialmente Aproveitáveis

O primeiro passo para a especificação das correntes a serem estudadas profundamente foi a realização de um levantamento de todas as correntes que rejeitam calor em uma refinaria. Para isso, tomou-se como base uma configuração complexa, com todos os processos de refino existentes, apresentada por Brown et. al. (1990) e que apresenta valores típicos de temperatura das correntes. Esses valores são utilizados neste trabalho apenas como ponto de partida, uma vez que se têm diferentes configurações de acordo com o petróleo a ser refinado e com os produtos de produção prioritária.

No entanto, a temperatura não é o único parâmetro a ser analisado. Bem como a vazão mássica de cada corrente, devem ser considerados também aspectos técnicos pertinentes à utilização desta energia. Desta forma, correntes de produtos voláteis, que devem ser rapidamente resfriados, não devem ser aproveitadas devido aos possíveis prejuízos causados ao processo. Correntes intermitentes, que são geradas esporadicamente, também não são de grande interesse, visto que dariam origem a projetos relativamente menos rentáveis. Processos com características específicas, que são sensíveis a pequenas modificações ou que ocorrem por razões ambientais (como o processo de hidrotreatamento, por exemplo) também foram desconsiderados neste trabalho.

Outra dificuldade neste tipo de aproveitamento energético é a localização física das correntes nos processos. Um bom exemplo deste problema é a corrente de gás combustível no processo de craqueamento catalítico, que apresenta um bom potencial energético mas não pode ser aproveitada pelo fato de ter a disponibilidade no topo da torre de craqueamento, dificultando assim qualquer tipo de aproveitamento. Ainda no craqueamento catalítico tem-se um ponto com grande disponibilidade energética que não pode ser utilizado devido ao fato da corrente apresentar grande quantidade de partículas em suspensão. Trata-se do catalisador do processo, que é descartado à alta temperatura mas não pode ter a energia aproveitada devido às dificuldades de fluxo (Gary e Handwerk, 1994).

Por outro lado, o processo de destilação atmosférica é de grande interesse pois, além de envolver correntes com grandes vazões mássicas, é um processo que está presente na maioria das refinarias.

A análise inicial dos dados das diferentes correntes indica os pontos potencialmente aproveitáveis para a análise posterior. Os principais pontos selecionados estão presentes na Tabela 1, que mostra o resultado geral do levantamento inicial. No entanto, de acordo com as observações feitas anteriormente, os pontos prioritários para a análise são os referentes ao processo de destilação atmosférica, apresentados nas primeiras linhas da Tabela 1. A utilização da energia nestes pontos deve também contemplar os meios e a aplicabilidade deste método, de modo a dar utilidade a esta energia.

Tabela 1. Valores teóricos de temperatura das correntes potencialmente aproveitáveis.

Processo de Refino	Corrente do Processo	Variação de Temperatura	Processo Destino
Destilação Atmosférica	Diesel	232°C→43,4°C	Hidrotratamento
	Querosene	177°C→43,4°C	Hidrotratamento
	Gasóleo Leve	304°C→43,4°C	Craqueamento Catalítico
Destilação a Vácuo	Resíduo	204°C→23,9°C	Processamento de Asfalto
Craqueamento Catalítico	Catalisador	700°C→Tamb	-
	Gás Combustível	93,3°C→Tamb	Armazenamento (Produto Final)
Craqueamento Térmico	Gás Combustível	204°C→37,7°C	Armazenamento (Produto Final)
	Gasóleo	204°C→65,5°C	Craqueamento Catalítico
Hidrotratamento	Óleo Combustível	93,3°C→Tamb	Armazenamento (Produto Final)
	Diesel	93,3°C→Tamb	Armazenamento (Produto Final)
Processamento de Óleo Lubrificante	Condensados	82,2°C→Tamb	Armazenamento (Produto Final)
Processamento de Asfalto	Asfalto	260°C→160°C	Armazenamento (Produto Final)
Tratamento de Resíduos	Óleo Combustível	260°C→Tamb	Armazenamento (Produto Final)
Hidrotratamento	Condensados	82,2°C→Tamb	Armazenamento (Produto Final)
Isomerização	Leves Finais	93,3°C→37,8°C	Isomerização
	Condensados	82,2°C→Tamb	Armazenamento (Produto Final)
Recuperação de Gases	Condensados	82,2°C→Tamb	Armazenamento (Produto Final)

## 2.2. Aplicações para o Aproveitamento Energético

As aplicações para o aproveitamento energético são de extrema importância para justificar a utilidade da recuperação de calor e variam muito de uma planta para outra. Existem várias propostas para aumentar a eficiência energética da planta com o uso desta energia, porém este trabalho apresentará apenas a possibilidade de geração de frio, por meio de chillers de absorção, para a aplicação nos condensadores que geram o vácuo na destilação a vácuo.

O ciclo de refrigeração a absorção assemelha-se com o ciclo de compressão de vapor pelo fato de utilizar um condensador, um evaporador e um dispositivo de expansão. A diferença está em como a baixa pressão do vapor que existe no evaporador se converte em alta pressão de vapor que entra no condensador. Em lugar de um compressor para o trabalho necessário ao funcionamento, como em um chiller de compressão de vapor, a energia térmica é a força motriz.

O sistema de compressão de vapor possui quatro elementos básicos: o evaporador, o condensador, o dispositivo de expansão e o compressor. No sistema de refrigeração por absorção o compressor é substituído pelo gerador e pelo absorvedor e bomba de solução. No gerador, o fluido de trabalho volátil (refrigerante) é parcialmente separado da solução por adição de calor. Posteriormente, refrigerante e solução são recombinados no absorvedor através de um processo exotérmico.

O refrigerante em estado de vapor, a alta pressão, é levado ao condensador onde irá ceder calor para outro fluido, ocorrendo então sua condensação. Posteriormente o mesmo é expandido, assim como no sistema compressão de vapor, sendo então levado ao evaporador onde irá vaporizar devido à baixa pressão, causando assim o efeito de resfriamento.

O refrigerante é enviado ao absorvedor no qual será misturado com a solução pobre de absorvente-refrigerante, proveniente do gerador. Uma solução rica é devolvida ao gerador, através da bomba de solução, onde será reiniciado o processo. Vale salientar que o consumo de potência elétrica da bomba não é maior que 1 % da capacidade de refrigeração do chiller (Andrade, 2000). A fim de manter a diferença de pressão entre o gerador e o absorvedor a solução é expandida ao entrar no absorvedor.

Um trocador de calor pode ser introduzido entre o absorvedor e o gerador. Ele transfere calor do fluxo de gases quentes que sai do gerador, para o fluxo frio que deixa o absorvedor. Essa unidade de regeneração de calor reduz o calor requerido pelo gerador e assim melhora a eficiência do sistema.

Sendo a temperatura das correntes a serem utilizadas abaixo de 230 °C, pode-se recuperar o calor através de um trocador de calor a fim de gerar água quente e alimentar o chiller por absorção que, para esse caso, deve ser o de simples efeito.

### 2.3. Avaliação da Metodologia para Casos Específicos

A configuração exata do ciclo de absorção de calor a ser adotada dependerá da configuração da refinaria, das correntes utilizadas e das temperaturas envolvidas. A Tabela 2 apresenta a caracterização de correntes potencialmente aproveitáveis das unidades de destilação atmosférica da PETROBRÁS UN-REPLAN (Refinaria de Paulínia), que é a maior refinaria de petróleo do Brasil.

Tabela 2. Caracterização das correntes nas unidades de destilação da REPLAN.

Correntes do Processo	Variação de Temperatura	Vazão Mássica (kg/s)
Querosene	165 °C a 35 °C	16,6
Diesel Leve	111 °C a 35 °C	38,9
Diesel Pesado	124 °C a 35 °C	41,6
Gasóleo Leve	100 °C a 35 °C	8,3

Estes valores podem ser comparados com os valores teóricos apresentados anteriormente na Tabela 1, que indicavam variações de temperatura mais significativas. Estas diferenças podem ser atribuídas principalmente à otimização das baterias de trocadores de calor, que fazem com que as correntes sejam energeticamente mais bem aproveitadas. Este tipo de aproveitamento energético tem sido ampliado consideravelmente nos últimos anos através da utilização de novas técnicas de análise, dentre as quais destaca-se a Pinch Technology.

A variação de temperatura de todas as correntes presentes na Tabela 2 é provocada pela simples rejeição de calor para a água de refrigeração. Para o aproveitamento energético destas correntes, pode-se adotar um ciclo com o gerador mantido a uma temperatura da ordem de 100°C, através do qual pode-se ter a geração de água fria em ciclos com COP da ordem de 0,80. A quantidade de frio gerada, em valores absolutos, varia de acordo com o porte da instalação a ser construída, mas teria como possível uso o último estágio do sistema de geração de vácuo da torre de destilação a vácuo. Desta forma, o frio gerado pela recuperação de calor não seria responsável pela geração do vácuo na torre, mas sim pela diminuição da temperatura da água utilizada neste processo. Esta variação de temperatura, em geral, será pequena devido à grande vazão envolvida neste processo, porém será responsável por uma diminuição incremental no valor da pressão da torre. Com isto, tem-se o aumento do rendimento da torre, que passa a produzir mais gasóleo em função da menor pressão.

Sendo assim, além de ocorrer um ganho energético devido ao aproveitamento do calor das correntes, ocorre um ganho real em termos de processo. Cabe salientar que a análise de viabilidade técnica e econômica de propostas desta natureza são extremamente complexas e particulares de cada caso, uma vez que envolve ganhos no processo, os quais são de difícil previsão. Além disso, este tipo de aplicação não apresenta precedentes que possam servir de referência, cabendo portanto estudos mais aprofundados a serem realizados por trabalhos futuros.

## 3. Sistemas de Bombeamento Operando com Rotação Variável

Os processos refino trabalham com bombas que possuem, em geral, variações nas condições de operação. Tais variações são provenientes geralmente de variações nas características do fluido de trabalho ou de demanda variável, implicando, portanto, em variações de vazão e pressão (Meyers, 1996). Em sistemas convencionais, o método utilizado para se alterar a vazão consiste na atuação em válvulas de controle, que resulta em perdas de energia, visto que se provoca um estrangulamento na linha, ao passo que o motor elétrico continua trabalhando com rotações nominais. Um outro método de se alterar a vazão do sistema é a variação da rotação do motor através de sistemas estáticos de controle de velocidade, que proporcionam economia de energia desde que aplicado corretamente (Talwar, 1984).

A proposta deste trabalho é a utilização de um inversor de frequência para acionamento do motor de tal forma que a vazão obtida atenda o sistema e que permita o maior aproveitamento da energia elétrica, ou seja, minimizando as perdas. Desta forma pretende-se justificar o investimento adicional pela economia de energia ocasionada pela operação em um ponto que apresente menores perdas e maior rendimento, resultando numa redução no consumo de energia sem prejudicar o atendimento do processo.

### 3.1. Análise da Bomba Operando com Rotação Constante e Variável

A estimativa do potencial de conservação de energia passa necessariamente pela determinação ou avaliação das curvas características da bomba e do sistema, para diversas condições de operação e perda de carga. Para atender a solicitação de diminuição de vazão da instalação, com a bomba operando com rotação constante, é comum utilizar estrangular a válvula na saída da mesma, alterando o ponto de funcionamento com o aumento da perda de carga. Outro método utilizado para diminuir a vazão em uma instalação é a colocação de um by-pass na saída da bomba para o reservatório de sucção. No entanto, o efeito deste tipo de procedimento é amplamente oneroso do ponto de vista energético.

A alternativa proposta para um melhor aproveitamento energético é a instalação de um inversor de frequência entre o sistema e o conjunto moto-bomba de tal modo que, reduzindo a rotação de trabalho, ocorra alteração da curva da bomba (ponto três da Figura 1) e conseqüentemente, diminuição da vazão. A área hachurada na Figura 1 indica uma redução nas perdas de carga, ou seja, economia de energia. Ocorre neste caso um deslocamento do ponto de operação sobre a curva do sistema, de modo a manter constante a abertura da válvula.

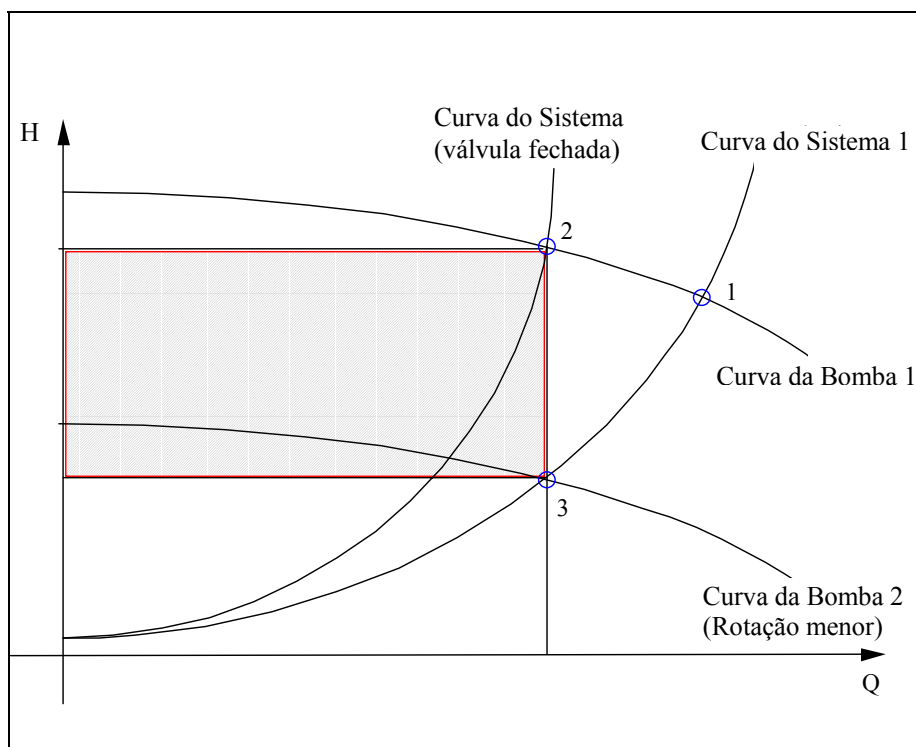


Figura 1. Economia de energia proveniente da mudança do ponto de operação pela variação da rotação.

Uma vez que a vazão é a mesma para os dois casos, o principal agente desta economia é a pressão total que a bomba necessita fornecer para que o sistema possa cumprir a sua função. A pressão total em um sistema de bombeamento é composta basicamente por duas parcelas: a pressão estática e a pressão dinâmica. Sendo assim, o potencial de economia energética será maior para sistemas onde a parcela de pressão dinâmica for mais significativa, uma vez que esta parcela cresce com o quadrado da vazão (Karassik, 1984). Por outro lado, a parcela de pressão estática, referente altura geométrica de elevação e à diferença de pressão nos reservatórios, é constante para qualquer valor de vazão. Logo, em função das baixas pressões estáticas observadas, os sistemas de bombeamento em refinarias de petróleo são sistemas extremamente sensíveis à variação da vazão, apresentando assim um grande potencial de economia energética.

Outra característica que justifica a aplicação da operação de bombas com rotação variável que está presente em refinarias é a variação das características do fluido de trabalho (Silva, 2000). É comum no bombeamento de hidrocarbonetos a perda de rendimento, ou até mesmo em casos extremos a interrupção do fornecimento, devido a decréscimos de temperatura e conseqüente aumento de viscosidade (Leffler, 1979). Nestes casos, tem-se a mudança do ponto de operação pela solicitação de maiores pressões, que podem ser obtidas por meio do aumento da rotação.

Além disso, devido à alta periculosidade do ambiente de trabalho em refinarias de petróleo, cresce a cada dia a necessidade de operação à distância em tempo real, que já é utilizado hoje em dia no comando das válvulas e pode ser utilizado no controle da rotação da bomba em associação com outros controles, facilitando ainda mais a operação dos sistemas de bombeamento (EFEI, 1998). No entanto, em sistemas com vários consumidores, os métodos de controle de vazão estarão baseados em modelos matemáticos complexos, que combinam a variação da rotação da bomba com a operação de válvulas, tal qual o desenvolvido por Tasinaffo (1998).

### 3.2. Avaliação da Metodologia para Casos Específicos

A avaliação do potencial de conservação de energia deve ser realizada caso a caso, pois as configurações dos sistemas de bombeamento em refinarias de petróleo são as mais diversas possíveis. Neste trabalho, descreve-se como exemplo de aplicação a análise de cinco bombas da unidade de destilação atmosférica da PETROBRÁS UN-REPLAN (Refinaria de Paulínia). Estas bombas operam com rotação constante e com controle de vazão por meio de válvulas e este trabalho analisou o potencial de economia energética, bem como a viabilidade do investimento, para a implementação da operação destas bombas por meio de rotação variável. Para a realização da análise, foi implementada uma planilha computacional que quantifica a economia energética e faz a análise econômico-financeira das propostas. O resumo dos valores relativos à análise destas bombas é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Resumo dos resultados das análises realizadas nas unidades de destilação da REPLAN.

Aplicação da Bomba:	Potência do Motor	Econ. Energ. (MWh / ano)	Econ. (%)	Inv. Inicial (R\$)	TIR (%) (TMA=12 %)	VPL (R\$)
Querosene para Tanque	125 HP	247,9	35,1	52.000,00	12,1	314,55
Diesel Leve para Tanque	150 HP	384,5	51,9	63.000,00	24,5	43.651,79
Diesel Pesado para Tanque	150 HP	400,4	48,4	63.000,00	22,9	38.026,32
Refluxo de Topo 1	200 HP	623,9	70,0	60.000,00	56,0	114.981,35
Refluxo de Topo 2	200 HP	621,5	69,5	60.000,00	55,6	114.111,09
<b>Total</b>	<b>1025 HP</b>	<b>2.596,6</b>	<b>55,3</b>	<b>298.000,00</b>	<b>----</b>	<b>311.085,10</b>

O principal motivo para a escolha destas bombas para a análise são as constantes variações de vazão no processo e, devido a estas variações, as substituições seriam responsáveis por uma redução significativa do consumo energético. Vale ressaltar que, apesar do número reduzido em relação à quantidade de bombas presentes em uma refinaria, estas bombas mostram a existência de um amplo campo de aplicação desta metodologia em refinarias.

Todos os casos analisados apresentaram-se viáveis. Cabe salientar que todos os valores utilizados na análise econômico-financeira foram estimados junto à empresa e junto aos fabricantes e que foram considerados o investimento inicial e os custos de manutenção e de operação ao longo do horizonte de estudo de quinze anos. Além da viabilidade econômica, outro fator que estimula a implementação destes projetos e o estudo de outros é a orientação corporativa para a busca da eficiência energética nos processos, que atua como grande incentivador destas modificações.

#### 4. Conclusões

Após uma primeira análise, têm-se indícios de que uma possível alternativa de aproveitamento energético do calor proveniente nas correntes de refino, a baixa temperatura, é relativa à geração de frio através de chillers de absorção para a aplicação no próprio processo. Dentre as correntes, destacam-se as correntes de querosene, diesel leve, diesel pesado e gasóleo leve provenientes da destilação atmosférica e dentre os pontos para possível aplicação, merece estudos mais detalhados o sistema de geração de vácuo para a destilação a vácuo, sendo necessário estudos posteriores para quantificar os ganhos energéticos e os ganhos de processo, provocados pela diminuição da pressão na torre a níveis inferiores aos atuais.

Quanto à otimização energética nos sistemas de bombeamento, nota-se a presença de um vasto campo de aplicação da operação de bombas com rotação variável. Tal implementação promove na maioria dos casos considerável economia energética pela redução das perdas e pelo aumento do rendimento, e nos casos apresentados neste trabalho, apresentam viabilidade econômica.

#### 5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao PRH-16 ANP-EFEI, Programa de Formação de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, pelo suporte financeiro e tecnológico dado ao projeto e à CICE-REPLAN, Comissão Interna de Conservação de Energia da Refinaria de Paulínia, pelas informações fornecidas e pela atenção dispensada a este projeto.

#### 6. Referências

- ANDRADE, R.V., *Cogeração com Chiller de Absorção ou de Compressão*, UNIFEI, Itajubá, 2000;  
 BROWN, H.L., HAMEL, B.B., HEDMAN, B.A., *Energy Analysis of 108 Industrial Processes*, 1990;  
 EFEI / ELETROBRÁS / PROCEL, 1998, *Eficientização Energética de Sistemas de Bombeamento* ;  
 GARY, J.H., HANDWERK, G.E., *Petroleum Refining – Technology and Economics*, 3rd Edition, 1994;  
 KARASSIK, J.I., *Centrifugal Pumps and System Hydraulics*, The Chemical Engineering Guide to Pumps, Mc Graw – Hill, pp 60 – 82, 1984;  
 LEFFLER, W.L., *Petroleum Refining – for the nontechnical person*, 2nd Edition, Pennweell, 1979;  
 MEYERS, R.A., *Handbook of Refining Processes*, 2nd Edition, Mc Graw Hill, 1996;  
 SILVA, B. C., “*Desenvolvimento de metodologia de campo para estimativa do potencial de conservação de energia em instalações de bombeamento*”, Dissertação de Mestrado, UNIFEI, Itajubá-MG, 2000;  
 TALWAR, M., *Analyzing Centrifugal – Pump Circuits*, The Chemical Engineering Guide to Pumps, Mc Graw – Hill, pp 83 – 87, 1984  
 TASINAFFO, P.M., “*Regulação de Geradores de Fluxo pela Variação da Rotação*”, Dissertação de Mestrado, UNIFEI, Itajubá-MG, 1998.