

4

Avaliação econômica

4.1

Critério de análise do custo benefício

Para implantação do sistema de recuperação de energia elétrica por intermédio do conjunto aquecedor-expansor será necessário realizar um investimento financeiro, que implicará em saída imediata de capital. Em contrapartida, visando a atratividade econômica de implantação do empreendimento, espera-se receber fluxos de caixa (entradas de moeda) que compensem ao longo do tempo essa saída inicial. De forma objetiva, esses fluxos de caixa podem ser efetuados com a própria economia obtida pela subtração entre o valor monetário da energia elétrica vendida (gerada pelo expansor) e o custo do gás natural (consumido pelo aquecedor), a saber:

$$S = C_{ev} - C_{gc} \quad (50)$$

Onde:

S = economia anual resultante; proveniente da diferença entre o valor da energia elétrica vendida e o custo do gás natural consumido (em reais por ano).

C_{ev} = valor da energia elétrica gerada anualmente, que pode ser vendida ou abatida da conta de consumo da estação de redução de pressão (em reais por ano).

C_{gc} = custo do gás natural consumido anualmente para queima no aquecedor, computado a partir do preço de venda para o cliente final pela PETROBRAS (em reais por ano).

Como uma ferramenta de tomada de decisão de investimento, a viabilidade econômica da implantação do novo sistema aquecedor-expansor, nas estações de redução de pressão, deve ser definida através do cálculo e análise do índice de taxa interna de retorno (TIR) e do tempo de recuperação do capital (*payback*).

Tempo de recuperação do capital ou *payback* (*P*):

É o tempo decorrido entre o investimento inicial e o momento no qual os fluxos de caixa acumulados se igualam ao valor desse investimento. O tempo de recuperação do capital pode ser facilmente calculado pela Eq. (51):

$$P = \frac{I}{S} \quad (51)$$

Onde:

P = tempo de recuperação do capital (em anos).

I = investimento na compra do sistema instalado, *turn key*, (em reais).

S = economia anual resultante; proveniente da diferença entre a energia elétrica vendida e o gás natural consumido (em reais por ano).

Taxa interna de retorno (TIR):

A TIR é um método de avaliação do investimento baseado na determinação de sua lucratividade ou taxa interna de retorno. Matematicamente, a TIR é a taxa de juros necessária para igualar o valor de um investimento com os seus respectivos retornos futuros, ou seja, significa a taxa de retorno de um projeto.

Da matemática financeira tem-se:

$$P = \frac{(1+j)^n - 1}{j \cdot (1+j)^n} \quad (52)$$

Em que:

P = tempo de recuperação do capital (em anos).

j = taxa interna de retorno – TIR (em % a.a.).

n = vida útil do sistema, no nosso caso igual a 20 anos.

4.2**Metodologia para dimensionamento do sistema de recuperação de energia**

A metodologia de análise é baseada na construção de fluxos de benefícios e custos, aos quais se aplicam o método de análise de investimento fundamentado na TIR. Com o auxílio da planilha eletrônica Excel (marca registrada da Microsoft) elabora-se um fluxo de caixa levando-se em

consideração o valor da energia elétrica gerada anualmente (C_{ev}) e o custo do gás natural consumido anualmente (C_{gc}), que resulta na economia anual (S) obtida por intermédio da Eq. (50).

Em seguida, com o custo de investimento do projeto (I) e o valor da economia anual obtida (S), calcula-se o tempo, em anos, de recuperação do capital (P), utilizando-se a Eq. (51).

A partir do tempo de recuperação de capital (P) e da estimativa de vida útil do sistema aquecedor-expansor ($n = 20$ anos), aplicando-se a Eq. (52), é possível obter-se a taxa interna de retorno (TIR) do investimento. Entretanto, como a estimativa de vida útil do sistema é de 20 anos, a Eq. (52) se transformará num polinômio de grau 20, como mostrado a seguir:

Substituindo-se a Eq. (51) na Eq. (52) e fazendo $n=20$, tem-se:

$$\frac{I}{S} = \frac{(1+j)^{20} - 1}{j \cdot (1+j)^{20}} \quad \rightarrow \quad j \cdot (1+j)^{20} = \frac{S}{I} \cdot [(1+j)^{20} - 1] \quad (53)$$

Rearrmando a equação, vem:

$$\frac{S}{I} \cdot [(1+j)^{20} - 1] - j \cdot (1+j)^{20} = 0 \quad (54)$$

Nesse momento se faz necessário a aplicação de um método de cálculo para encontrar o valor de j (TIR) expresso pela Eq. (54). No entanto, esse cálculo será realizado aproveitando a função TAXA do programa Excel, cujos parâmetros são:

TAXA (*Nper*; *Pgto*; *Vp*; *Vf*; *Tipo*)

Onde:

Nper = número total de períodos de pagamento em um empréstimo ou um investimento.

Pgto = pagamento efetuado a cada período e não pode ser alterado no decorrer do empréstimo ou investimento.

Vp = valor presente: a quantia atual de uma série de pagamentos futuros.

Vf = valor futuro ou um saldo em dinheiro que se deseja atingir após o último pagamento ter sido efetuado. Quando não especificado, utiliza $Vf=0$.

Tipo = valor lógico: pagamento no início do período =1; pagamento ao final do período =0 ou não especificado.

Assim, na confecção da planilha, a TIR será calculada aplicando-se a função TAXA com os seguintes parâmetros:

$$TIR = TAXA (20; S; I; 0; 0) \quad (55)$$

Onde:

20 = estimativa de vida útil do sistema (equivalente a 20 períodos de pagamento).

S = economia anual (diferença entre a energia elétrica vendida e o gás natural consumido).

I = investimento para implantação do sistema.

0 = saldo após o último pagamento.

0 = pagamento ao final do período.

Em suma, de posse da economia anual (S), do custo de investimento do projeto (I) e da estimativa de vida útil do sistema aquecedor-expansor ($n = 20$ anos), obtém-se a taxa interna de retorno (TIR), que pode ser comparada com a taxa mínima de atratividade (TMA) exigida pela PETROBRAS em projetos de novos negócios, verificando-se desta forma há viabilidade econômica ou não na implantação do projeto.

4.2.1

Levantamento de dados para elaboração da planilha econômica

No bojo do capítulo anterior, Avaliação Técnica, foi desenvolvida uma metodologia voltada para obtenção da potência térmica requerida no aquecedor ($\dot{Q}$), da potência elétrica gerada pelo expansor ($\dot{W}$), do consumo anual de gás combustível (C_g) e da energia elétrica gerada anualmente (E_e) para todas as estações de redução de pressão. Para definir se há viabilidade na implantação do projeto, resta quantificar monetariamente o consumo de gás anual e da energia elétrica gerada anualmente, além do investimento na compra do sistema instalado para cada estação de redução de pressão.

Para levantar o custo do consumo de gás é necessário o valor da tarifa cobrada no ponto de entrega (ou *city-gate*). A tarifa de venda do gás em cada ponto de entrega é tratada como confidencial e estratégica pela Petrobras, porém na Internet no site “Relações com o investidor”, mantido pela Petrobras, (www2.petrobras.com.br/ri/port/DestaquesOperacionais/GasEnergia/PrecosImp.asp) são divulgados os “Preços do gás natural no *City-gate*”. Tais preços levam em conta o valor da *commodity* mais transporte, são lançados trimestralmente, divididos nas categorias “Nacional”, “Térmico” e “Importado” e são expressos em US\$/milhões de BTU. Para o estudo adotou-se o valor da tarifa referente ao primeiro trimestre de 2009 do gás natural vendido com nacional, equivalente a 7,7461 US\$/milhões de BTU. Observa-se que a tarifa é cobrada em forma de energia fornecida e com base na moeda americana. Logo, para se chegar ao custo final em moeda nacional, tem-se que converter o volume consumido em energia térmica, mediante o poder calorífico do gás consumido, e a moeda, a partir da taxa cambial vigente. A Eq. (56) possibilita esta conversão:

$$C_{gc} = C_g \cdot t_g \cdot PCS \cdot t_x \cdot f_{bk} \quad (56)$$

Onde:

C_{gc} = custo do gás natural consumido anualmente para queima no aquecedor (em reais por ano).

C_g = volume de gás natural consumido anualmente (em m³ por ano).

t_g = 7,7461 (tarifa do gás natural no *city-gate* - em US\$/milhões de BTU).

PCS = média anual do poder calorífico superior do gás natural no *city-gate* (em kcal/m³).

t_x = 2,00 (taxa cambial média 1º trimestre 2009 - em R\$/US\$).

f_{bk} = $3,968321 \times 10^{-6}$ (fator de conversão de milhões de BTU para kcal).

O valor da energia elétrica produzida será calculado com base na tarifa divulgada pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), em seu site na Internet (www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=550), sob o título “Tarifas Médias por Classe de Consumo / Região”. Trata-se de uma tabela de tarifas médias organizada por classe de consumo e por região geográfica, cujos valores são expressos em R\$/MWh. Será tomado como valor de referência o valor da classe de consumo industrial da região sudeste, equivalente ao mês de março de 2009,

que é igual à 226,79 R\$/MWh. De maneira mais simples do que a tarifa do gás, a Eq. (57) apresenta a forma de calcular o valor da energia elétrica produzida:

$$C_{ev} = E_e \cdot t_e \cdot f_{Mk} \quad (57)$$

Onde:

C_{ev} = valor da energia elétrica gerada anualmente (em reais por ano).

E_e = quantidade anual de energia elétrica gerada (em kWh por ano).

$t_e = 226,79$ (tarifa média da energia elétrica industrial/região sudeste - em R\$/MWh).

$f_{Mk} = 0,0001$ (fator de conversão de MWh para kWh).

Devido ao fim acadêmico, cabe registrar a enorme dificuldade para se conseguir um orçamento visando a implantação do sistema aquecedor-expansor em estações de redução de pressão, pois esse tipo de empreendimento não só envolve a instalação dos novos equipamentos, bem como as interligações desses equipamentos com o sistema de gás natural e com a rede de energia elétrica. Foram realizados contatos com fabricantes, porém não houve sucesso na obtenção de um orçamento satisfatório, tendo-se respostas incompletas ou até mesmo a falta de proposta devido à preocupação com o alto custo do transporte (no caso de um fabricante russo).

Desta forma, optou-se pelo desenvolvimento de um procedimento para elaboração de um gráfico que dê como resposta o maior índice da TIR, comportado pelo fluxo de caixa do empreendimento, em função das condições de operação de cada uma das estações de redução de pressão.

Um dado relevante é que as condições operacionais da estação de redução de pressão identificadas pelos valores de temperatura, pressão e vazão do gás disponível no gasoduto, variam ao longo do dia e conseqüentemente ao longo do ano. Isto faz com que a geração de energia elétrica através do expansor também seja variável. Por conseguinte, caso o expansor seja selecionado pelo maior valor da potência elétrica que pode ser gerada ao longo do ano, com base nos dados operacionais pretéritos, em vários períodos do ano o expansor funcionará com um baixo índice de aproveitamento, diminuindo a economicidade do projeto para o mesmo investimento inicial feito. Uma forma de minimizar esse efeito, é determinar a capacidade máxima de geração de

potência elétrica do expensor a ser instalado, inferior à potência elétrica máxima que pode ser gerada ao longo do ano, para cada estação de redução de pressão, que otimize a operação do equipamento. Caso a potência elétrica disponível for maior do que a capacidade do expensor, este admitirá apenas a quantidade de gás natural necessária para a geração de uma potência elétrica igual à sua capacidade, devolvendo para a estação de redução convencional (válvulas de controle) a diferença. Caso contrário, ele operará em carga parcial, admitindo todo o gás natural. Esse ponto ótimo pode ser primariamente identificado por meio de uma escala de progressão percentual (de 0 a 100%) da potência elétrica máxima disponível, nas condições operacionais da estação de redução de pressão, colocada graficamente em função do dia do ano. Como por exemplo, pode ser verificado na Fig. 17 por intermédio do gráfico “% da potência máxima gerada x dia do ano”.

Com a progressão percentual da potência elétrica máxima é possível calcular tanto a energia elétrica gerada quanto o consumo de gás natural requerido no aquecedor para cada dia do ano e, por somatório, encontrar os valores anuais. Com esses dados podem-se construir curvas de investimento do sistema por kW gerado em função da TIR *versus* o percentual da potência elétrica máxima do expensor.

A partir de uma proposta de fornecimento do sistema aquecedor-expensor pode-se calcular o valor do investimento por kW gerado, ou seja, dividindo-se o valor do investimento para implantação do sistema pela potência elétrica máxima na saída do gerador elétrico conectado ao expensor. Entrando nesse gráfico com o valor do investimento por kW gerado contra o máximo valor de TIR, obtem-se a TIR do projeto e o ponto ótimo do percentual da potência máxima do expensor.

4.2.2

Procedimento adotado

O procedimento visa obter, para cada uma das 34 estações de redução, um gráfico para auxiliar na tomada de decisão para execução ou não do projeto de implantação de um sistema de recuperação de energia com a utilização de um conjunto aquecedor-expensor. Nesse gráfico é possível identificar a TIR do projeto e o ponto ótimo do percentual da potência máxima do expensor.

Com a utilização de uma planilha eletrônica Excel, vide modelo na Fig. 14 , devem ser seguidos os seguintes passos:

- 1º. Elaborar um modelo de simulação numérica no HYSYS, conforme definido no sub-capítulo 2.3.3;
- 2º. Executar a simulação no HYSYS com os dados operacionais médios diários levantados e obter para cada dia a potência térmica requerida no aquecedor (kW) e a potência elétrica gerada (kW) pelo expensor e registrar esses valores em colunas distintas da planilha eletrônica;
- 3º. Criar uma coluna com a potência elétrica gerada (kW) levando em consideração o rendimento do gerador elétrico (em nosso caso 0,90) conectado ao expensor e atribuir ao título da coluna “100% W”;
- 4º. Identificar a máxima potência elétrica gerada (100% W) e registrar em uma célula específica. Registrar também a tarifa de gás natural (US\$/milhões de BTU), o PCS (kcal/m³), a taxa de câmbio (R\$/US\$) e a tarifa de energia elétrica (R\$/MWh);
- 5º. Criar conjunto de colunas limitando a potência elétrica gerada na progressão percentual de 10 a 90% em função da máxima potência elétrica gerada;
- 6º. Criar conjunto de colunas com a energia elétrica gerada (kWh) na progressão percentual de 10 a 100% das potências elétricas calculadas no 5º passo;
- 7º. Criar uma coluna com a potência térmica requerida (kW) levando em consideração o rendimento do queimador (em nosso caso 0,75) e atribuir ao título da coluna “100% Q”;
- 8º. Criar conjunto de colunas limitando a potência térmica requerida (kW) na progressão percentual de 10 a 90% em função da máxima potência elétrica gerada;
- 9º. Criar conjunto de colunas com o consumo de gás natural (m³/dia) na progressão percentual de 10 a 100% das potências térmicas calculadas no 8º passo;
- 10º. Criar conjunto de colunas, vinculadas às linhas em progressão percentual de 10 a 100%, calcular e lançar a quantidade de energia gerada anual (kWh/ano), o valor da energia gerada anual - segundo a Eq. (57) (R\$/ano), consumo de gás anual (m³/ano), o custo do consumo de gás anual - segundo a Eq. (56) (R\$/ano), a economia anual - segundo a Eq. (50) (R\$/ano);
- 11º. Criar conjunto de colunas, também vinculadas às linhas em progressão percentual de 10 a 100% da potência máxima gerada, atribuir os valores de investimento por potência gerada de 5.000,00 a

10.000,00 (R\$/kW) e calcular para cada percentual o tempo de retorno - segundo a Eq. (51) (anos) e a TIR - segundo a Eq. (55) (% aa).

A Fig. 14 apresenta parte da planilha econômica da estação de redução CAP, que serve de modelo para as demais estações.

* IF	módimo	kW	PCS médio anual	Eficiência queimador	Eficiência gerador	Rendimento	Tensão de energia elétrica	Tensão de gás natural	Taxa de câmbio comercial	Vida útil	2.285,2	9.5/23	75%	100%	3.468.014	3.276.975	2.915.533	2.551.061	2.186.650	Volume anual (m³/ano)	* IF	módimo (kW)	Energia gerada anual		Consumo de gás anual		Economia	Investimento por potência gerada	Tempo de Retorno anos	TIR % a.a.	
																							Quantidade (kW/ano)	Valor R\$/ano	Quantidade (m³/ano)	Valor R\$/ano					Valor R\$/ano
Eficiência queimador																															
Rendimento																															
Tensão de energia elétrica																															
Tensão de gás natural																															
Taxa de câmbio comercial																															
Vida útil																															
2.285,2																															
9.5/23																															
75%																															
100%																															
3.468.014																															
3.276.975																															
2.915.533																															
2.551.061																															
2.186.650																															
Volume anual (m³/ano)																															
* IF																															
módimo (kW)																															
Quantidade (kW/ano)																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															
Valor R\$/ano																															

Concluída a planilha calcada nos dados operacionais diários, vide Fig. 14, referente à estação de redução CAP, e com a ajuda do assistente de gráficos do Excel podem ser elaborados gráficos, como aqueles apresentados nas Fig. 51 a Fig. 54.

O procedimento acima também serve, com pequenas modificações, para aplicação dos dados mensais sumarizados, resultando numa planilha similar que também pode gerar gráficos para auxiliar na tomada de decisão pelo investimento no projeto, ou seja, também serve para verificar se o projeto é economicamente viável.