

1 Introdução

1.1 Contexto geral

O presente trabalho aborda o tema da produção simultânea de frio, calor e energia elétrica. Usando a simulação, investiga as relações entre os diferentes tipos de energia, tendo em foco a operação eficiente dos sistemas energéticos que analisa. Para isto, divide-se em dois estudos: uma análise global de sistemas de cogeração e uma modelagem de um ciclo de refrigeração por absorção.

Em plataformas *offshore*, para a extração de petróleo, utiliza-se, normalmente, uma parte do gás natural produzido para satisfazer as demandas de eletricidade das mesmas (Jeffs, 1984). O gás é queimado em turbinas a gás ou em motores de combustão interna para gerar a energia elétrica consumida pela planta. Neste caso, o calor necessário para outros usos de aquecimento no processo de separação, bem como para necessidades de climatização ou de refrigeração, pode ser parcialmente fornecido pela exergia dos gases de exaustão dos motores primários. Este fato caracteriza uma plataforma *offshore* como um sistema energeticamente isolado, propício à utilização de uma planta de cogeração. Uma plataforma *offshore* apresenta demandas específicas de energia elétrica, aquecimento e frio. Como resultado, a análise de um sistema térmico complexo, com a geração de diversos produtos energéticos a partir de uma única fonte de combustível, requer a busca de um esquema de produção mais eficiente do ponto de vista energético.

O primeiro estudo de este trabalho versa sobre um sistema de cogeração operando com dois motores térmicos distintos e em paralelo (turbina a gás e motor de combustão interna, ambos utilizando diesel como combustível), um *chiller* de absorção, acionado a partir de calor de rejeito dos motores térmicos, e um *chiller* de compressão de vapor auxiliar. Aplicando as equações principais para o balanço energético, elaborou-se um modelo que possibilita a predição do comportamento do sistema. Como resultado, foram obtidas curvas características de

comportamento com as quais se podem determinar os maiores valores de eficiência global (Razão de Conversão de Energia) em função: (i) da razão entre as demandas de refrigeração e de potência elétrica; (ii) da razão de distribuição de geração de eletricidade entre os dois motores térmicos; e (iii) da razão de carga parcial de cada um deles.

Por outro lado, atualmente no Brasil não existem produtores nacionais de sistemas de refrigeração por absorção. Este estudo é parte de um projeto mais abrangente, destinado a preencher esta necessidade nacional, elaborando os modelos matemáticos que caracterizam o comportamento das instalações de refrigeração por absorção e de cada um de seus processos. Validar-se-ão experimentalmente os parâmetros do modelo matemático com dados medidos nos equipamentos disponíveis.

O presente trabalho busca propiciar uma ferramenta de tomada de decisões relacionadas à orientação segura dos investimentos financeiros na modificação física de instalações existentes e no projeto de novas instalações de utilidades para plataformas *offshore* e, igualmente, para outros sistemas de cogeração.

1.2 Preâmbulo

1.2.1 Demandas simultâneas de refrigeração e climatização, de energia elétrica e de aquecimento

Cresce no mundo moderno o emprego dos sistemas de refrigeração e climatização, como item fundamental para a elevação da qualidade de vida dos seres humanos. Paralelamente ao aumento das instalações frigoríficas, amplia-se o consumo de energia elétrica e, com este, a emissão de gases nocivos ao meio ambiente. A cogeração, cujo objetivo é produzir eletricidade ou energia mecânica de maneira que se utilize a maior parte da energia contida num combustível (Sala Lizárraga, 1994), apresenta-se como a forma de utilização mais racional de energia primária (Kong et al, 2004). A refrigeração por absorção, por sua parte, pode ser

usada como alternativa para diminuir o consumo de energia elétrica ou para atender as demandas de frio em localidades isoladas que não dispõem de interligação com o sistema elétrico nacional, (Gordon e Ng, 1993), aí incluindo-se as plataformas *offshore*. Ambos os temas têm sido amplamente abordados na literatura, sobretudo nos últimos anos (Boyce, 2001; Kolanowski, 2003; Horlock, 1996; Pehnt et al. 2005). O presente trabalho, ao abordar o estudo de casos específicos, utilizando dados levantados em instalações reais propõe uma contribuição específica e incremental ao tema.

1.2.2 Projeto DORAGEX

O presente trabalho insere-se no âmbito do projeto “Desenvolvimento e otimização de refrigeradores de absorção e trocadores de calor para gases de exaustão”, DORAGEX, conduzido em parceria entre a Universidade Federal do Paraná e a PUC-Rio. Os objetivos principais do projeto são: 1) construir dois protótipos de sistemas de absorção, de 1 e 20TR, movidos a gases quentes; 2) Construir um protótipo de trocador de calor para a utilização dos gases quentes expelidos de motores de combustão interna, turbinas e micro-turbinas como fonte de energia para o sistema; 3) Caracterizar os sistemas construídos (e.g. quantificando os resultados obtidos em termos de potência disponível para a refrigeração e condicionamento de ar) e 4) Disponibilizar um aplicativo computacional para simulação do projeto e otimização de refrigeradores de absorção.

Como parte do projeto, foram importadas três unidades de refrigeração por absorção, de fabricação italiana. Estas unidades têm sido submetidas a testes, engenharia reversa e simulação. Uma delas já foi testada em Curitiba (Pereira, 2006b).

Da mesma forma que o ensaio experimental, a modelagem é uma etapa fundamental para a compreensão do sistema e sua posterior otimização. Permite orientar futuros desenvolvimentos de protótipos, abreviando consideravelmente as horas gastas na fabricação e ensaios de componentes e sistemas.

1.3 Objetivos

Os objetivos gerais de este trabalho são (I) modelar a produção *offshore* de frio, calor e energia elétrica e (II) caracterizar as unidades de refrigeração por absorção.

Para alcançar o mesmo propuseram-se os seguintes objetivos específicos.

1. Obter as equações para os balanços energéticos e exergéticos de um sistema de cogeração operando com dois motores térmicos distintos e em paralelo.
2. Obter as curvas características do comportamento termodinâmico que permitam obter os maiores valores de eficiência exergética global para o esquema de cogeração estudado.
3. Levantar as características físicas e nominais de um sistema de refrigeração por absorção já existente e testado, elaborar o esquema e definir o ciclo termodinâmico.
4. Elaborar o modelo matemático característico do equipamento (refrigerador por absorção) e de cada um dos seus processos.
5. A partir dos dados experimentais disponíveis e das equações propostas, ajustar o modelo aos pontos obtidos nos experimentos.

1.4 Organização do Trabalho

O trabalho se divide em quatro capítulos com os conteúdos seguintes. No Capítulo 2, “Estudo termodinâmico de um sistema de cogeração operando com dois motores térmicos distintos”, são apresentadas as equações de conservação de energia que descrevem o comportamento de um sistema de cogeração operando com uma turbina a gás e um motor de combustão interna. Estuda-se, ademais, um caso particular. O Capítulo 3, “Modelagem da refrigeração por absorção”, detalha um refrigerador por absorção, mostrando os esquemas, subsistemas, ciclo

termodinâmico e as características nominais do equipamento. Apresentam-se as equações do modelo matemático para cada um dos volumes de controle do sistema, propiciando a comparação com os dados experimentais e uma análise paramétrica do sistema. Finalmente, no Capítulo 4, chega-se às conclusões gerais do trabalho e às recomendações para trabalhos futuros.