

OPERAÇÃO DE SISTEMAS DE TRIGERAÇÃO COM DIFERENTES ARQUITETURAS EM FUNÇÃO DE
DEMANDAS DE ELETRICIDADE, AQUECIMENTO E REFRIGERAÇÃO

Felipe Portes Lanes – felipelanes@hotmail.com

José Alberto Reis Parise – parise@puc-rio.br

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Mecânica, www.mec.puc-rio.br

S1 – Sistemas de ar condicionado e aquecimento

Resumo. Vivenciamos uma época onde os esforços estão direcionados a pesquisas, responsáveis por desenvolver equipamentos, sistemas e processos energeticamente mais eficientes e que gerem impactos ambientais cada vez menores. Neste contexto, o presente trabalho propõe o estudo de quatro diferentes tipos de arquiteturas para sistemas de trigeração não conectados à rede elétrica externa, atuando unicamente a partir da recuperação da energia térmica rejeitada por um motor de combustão interna. Aplicam-se estas arquiteturas às demandas de eletricidade, aquecimento e refrigeração em três casos da literatura, a saber: (i) Hospital de Clínicas da Unicamp, (ii) complexo comercial em Hong Kong, (iii) hotel cinco estrelas em Tianjin (China). Para uma melhor compreensão, realiza-se uma análise baseada no cálculo do EUF (Energy Utilization Fator) para cada caso. A partir dos resultados finais, verifica-se a eficiência das arquiteturas de trigeração na redução do consumo de combustível (redução média de 36% no melhor resultado), em comparação com os sistemas atuando sem elas.

Palavras-chave: Trigeração, Chcp, Arquiteturas, Demandas

1. INTRODUÇÃO

O processo de produção de energia e sua utilização são responsáveis por dois terços de toda a emissão dos gases do efeito estufa no mundo (IEA, 2015). O aumento contínuo da população mundial ao longo dos anos (segundo o *United States Census Bureau*, em 2028 a população mundial atingirá a marca de 8 bilhões de pessoas e em 2048, 9 bilhões) se traduzirá em um aumento considerável na produção e consumo de energia e, se não forem tomadas medidas efetivas que minimizem essas emissões, experimentaremos mudanças climáticas e ambientais de difícil reversão. O grande desafio atualmente é conseguir reduzir emissões sem alterar abruptamente o crescimento da economia mundial, propagando novas tecnologias para produção distribuição e consumo energético, de forma a atingir resultados satisfatórios. Entre as possíveis medidas para alteração do cenário de mudanças climáticas globais, segundo a IEA, temos: a remoção progressiva de plantas movidas a carvão e derivados com baixa eficiência e sua reestruturação de forma a aumentar sua eficiência energética. A utilização de sistemas de cogeração e trigeração está diretamente ligado a estas metas. Cogeração ou CHP (Combined Heat and Power) é a produção simultânea de energia elétrica e térmica, sendo a última responsável por suprir demandas de aquecimento ou refrigeração. Inserida no mesmo contexto temos a Trigeração ou CHCP (Combined Heat, Cooling and Power), que tem por objetivo suprir as três demandas anteriormente citadas, simultaneamente. Instalações com valor razoável de horas de operação ao ano (em torno de 4000 horas/ano – ASHRAE, 2004) consomem significativa quantidade de energia, conforme a seguir (porte do sistema, capacidade, principais aplicações): 1) Microssistema, abaixo de 20kW, comercial, institucional e residencial; 2) Pequeno porte, 20kW a 1 MW, lojas, supermercados, hospitais, escritórios, escolas, pequenas indústrias; 3) Médio porte, 1 a 10 MW, indústrias, hotéis e centros institucionais e comerciais de médio porte; 4) Grande porte, acima de 10MW, grandes indústrias e centros institucionais, comerciais ou residenciais. O uso de sistemas de cogeração e trigeração proporcionam um aumento na eficiência média global, permitindo que 75% a 80% da energia de entrada, ou até 90% em plantas de elevada eficiência, seja convertida em energia útil. Enquanto que em sistemas convencionais movidos a combustíveis fósseis esta permanece entre 35% a 37% (ASHRAE, 2012). Este aumento deve-se ao aproveitamento da energia térmica rejeitada pelo motor primário, anteriormente desperdiçada, e agora utilizada na produção de vapor, água quente, refrigeração através do acionamento de chillers de absorção ou adsorção e geração de energia elétrica através do acoplamento de um ciclo de potência, como por exemplo, um ORC (Organic Rankine Cycle). Sistemas de cogeração e trigeração são alvos constante de estudos e têm uma extensa literatura, podendo-se citar como recentes revisões sobre o assunto os trabalhos desenvolvidos por Heejin Choa *et al.* (2014), Espírito Santo (2012), Parise *et al.* (2011), Al-Sulaiman *et al.* (2011), Mago *et al.* (2009) e Wu e Wang (2006).

2. DEMANDAS – ESTUDOS DE CASO

2.1 Hospital de Clínicas da UNICAMP

Para este caso foram consideradas as demandas energéticas do Hospital de Clínicas da Unicamp ao longo de um ano, com medições tomadas de uma em uma hora (ESPIRITO SANTO, 2006). Os dados estão agrupados por estação do ano, dias úteis e não úteis, como ilustram as Fig. 1 e 2.

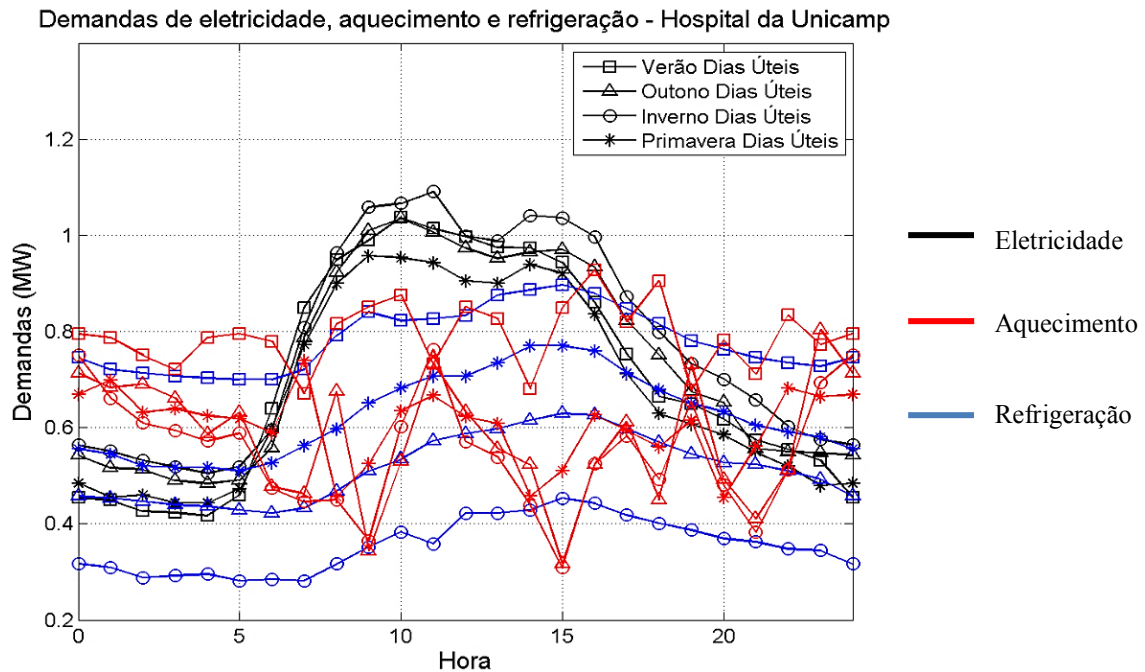


Figura 1 - Demandas no hospital em dias úteis (ESPIRITO SANTO, 2006).

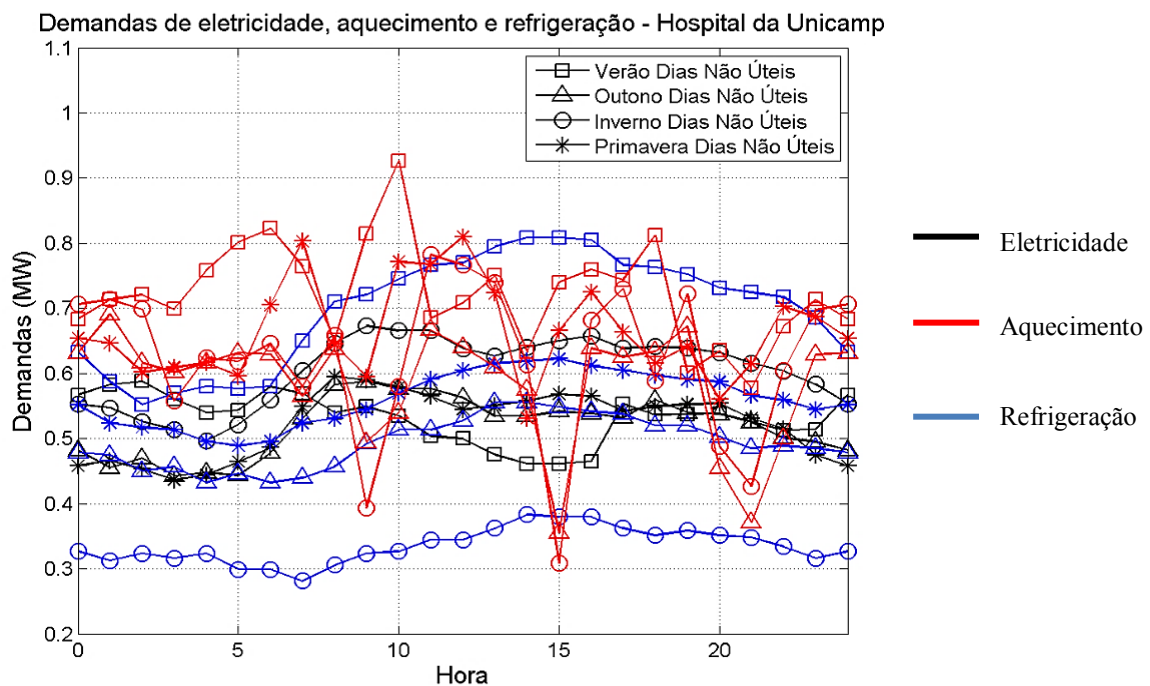


Figura 2 - Demandas no hospital em dias não úteis (ESPIRITO SANTO, 2006).

2.2 Complexo comercial em Hong Kong

Lai e Hui (2010) disponibilizaram valores de referência para as demandas máximas ao longo de um ano de operação para um centro comercial em Honk Kong, Fig. 3. A demanda de refrigeração é alta no verão (de maio a outubro), enquanto é baixa no inverno (de novembro a abril). Embora a demanda de eletricidade também sofra leve alteração mensal, sua flutuação não é sensível às mudanças sazonais.

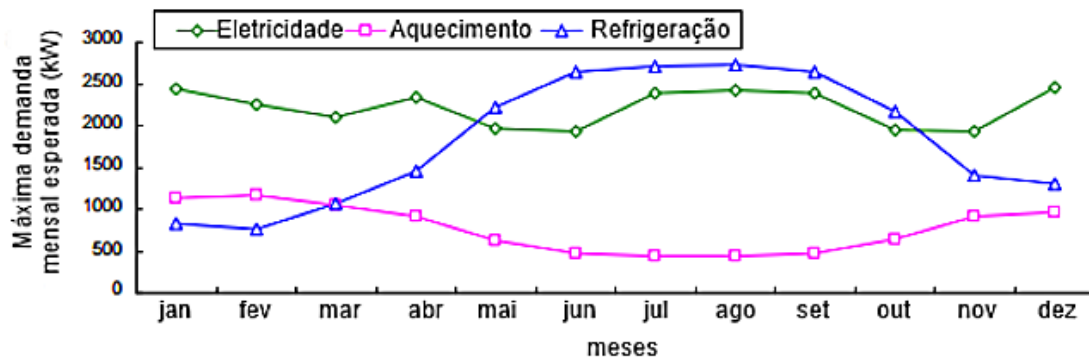


Figura 3 - Máxima demanda mensal no centro comercial em Hong Kong (LAI E HUI, 2010).

2.3 Hotel cinco estrelas em Tianjin

Han et al (2014), utilizando o software Energy-plus, estimaram as demandas do estabelecimento para cada dia do ano, oferecendo uma melhor visualização para a variação de cada uma delas durante este período. Observa-se que mesmo no inverno existem cargas de refrigeração, devido à existência dessa demanda para algumas zonas internas e exigências mais altas para a qualidade do ar. A demanda de energia elétrica, porém, permanece praticamente a mesma ao longo de todo o ano. Devido a difícil visualização causada por bruscas variações entre os valores e por possuir um número grande de dados, optou-se, neste trabalho, aproximar as curvas de demanda por polinômios de quarta ordem, ilustrado na Fig. 4, amenizando as variações entre cada valor.

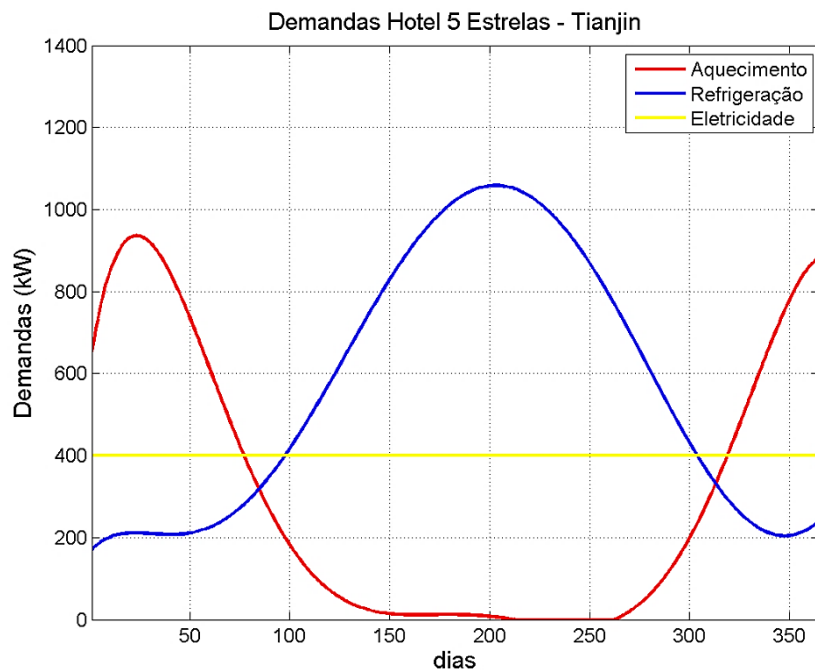


Figura 4 - Demandas do hotel cinco estrelas aproximadas por um polinômio de sexto grau.

3. ARQUITETURAS

3.1 Sistema sem trigerção

No sistema sem trigerção, Fig. 5a, assim como nas demais configurações de trigerção que seguem, a demanda de eletricidade ($\dot{E}_{lo}$) é atendida queimando-se combustível no motor. Uma parcela da energia do combustível de entrada (α_{es}) vira potência de eixo para geração de energia através de um gerador com eficiência (η_{ge}). Nesta arquitetura, somam-se as demandas de eletricidade e o consumo elétrico proveniente do chiller de compressão de vapor, caracterizado pelo seu coeficiente de operação (COP_{vc}), para suprir a demanda de refrigeração ($\dot{Q}_{co}$). Por fim, a demanda de aquecimento ($\dot{Q}_{ht}$) é atendida queimando-se combustível em uma caldeira (boiler) com eficiência η_{bo} . O calor rejeitado no ar-

refecimento ($\dot{Q}_{ec}$) e na exaustão ($\dot{Q}_{ex}$) do motor não são aproveitados. Têm-se duas possíveis fontes de consumo de combustível: (i) $\dot{F}_{he}$: combustível queimado no motor térmico e (ii) $\dot{F}_{bo}$: combustível queimado na caldeira.

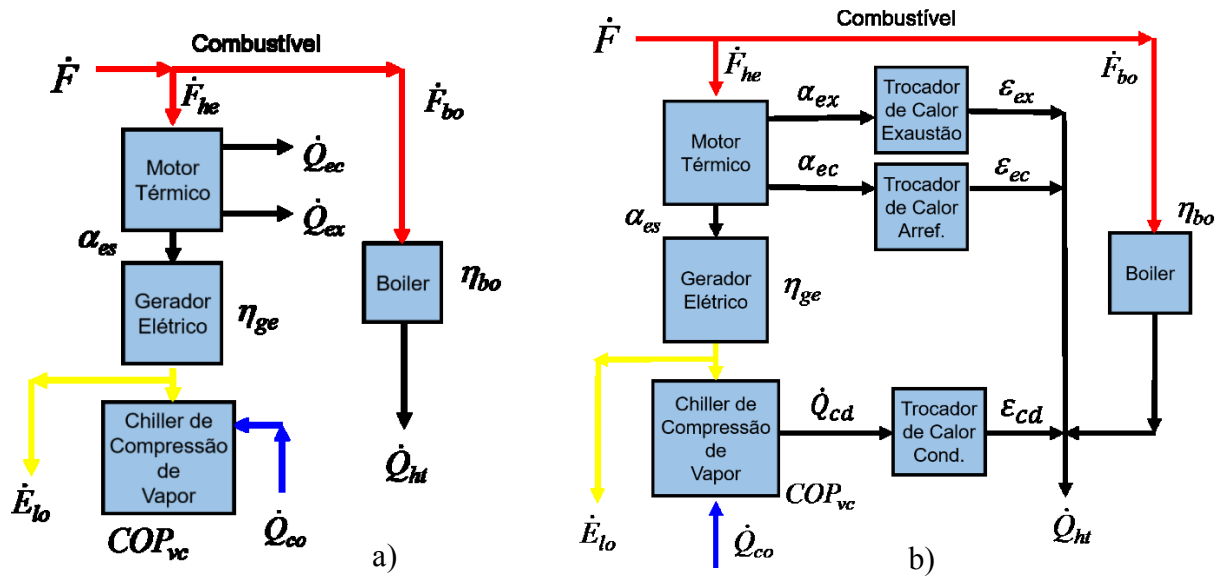


Figura 5 – (a) Sistema sem trigeração e (b) trigeração com chiller de compressão de vapor (COELHO, 2014).

3.2 Trigeração com chiller de compressão de vapor

Nesta arquitetura (Fig. 5b), há o uso integral das parcelas de energia térmica disponíveis na água de arrefecimento (α_{ec}), gases de exaustão do motor (α_{ex}) e rejeitada pelo condensador do chiller de compressão de vapor ($\dot{Q}_{cd}$) para suprir as demandas de aquecimento. A recuperação se dá mediante a utilização de trocadores de calor para cada parcela, onde: ϵ_{ec} , ϵ_{ex} e ϵ_{cd} são as efetividades dos trocadores para arrefecimento, exaustão e do condensador do chiller, respectivamente. Caso o calor recuperado não seja suficiente para atender a esta demanda, haverá queima de combustível adicional na caldeira. A demanda de refrigeração, por sua vez, será totalmente atendida pelo chiller de compressão de vapor, acionado com a energia elétrica produzida no gerador.

3.3 Trigeração com chiller de absorção

Como particularidade desta arquitetura (Fig. 6), a demanda de refrigeração é atendida exclusivamente por um chiller de absorção com coeficiente de desempenho COP_{ab} , e acionado termicamente pela parcela de calor derivada da água de arrefecimento do motor térmico. Se este for insuficiente para produção de água gelada na potência frigorífica desejada, queima-se diretamente combustível no chiller, na taxa de $\dot{F}_{ab}$, complementando a energia necessária ao processo. Neste caso, a parcela de calor derivada dos gases de exaustão do motor e o calor rejeitado pelo condensador do chiller de absorção serão utilizados para atender a demanda de aquecimento. Se o calor recuperado for insuficiente para este fim, haverá eventual queima de combustível na caldeira para atender integralmente a esta demanda.

3.4 Trigeração com chillers de absorção e compressão de vapor combinados

Nesta configuração (Fig. 7), similarmente à anterior, o calor de rejeito da água de arrefecimento do motor térmico é recuperado para acionar um chiller de absorção. A diferença reside no fato de, na eventualidade de a demanda de refrigeração requerer capacidade frigorífica superior àquela obtida com o ciclo de absorção acionado pelo calor de rejeito, a queima suplementar de combustível no chiller de absorção é substituída pela operação de um chiller elétrico de compressão de vapor.

3.5 Trigeração com chillers de absorção e compressão de vapor combinados

Na quinta e última configuração considerada neste trabalho (Fig. 8), acopla-se um equipamento operando em ORC (“Organic Rankine Cycle”) com uma eficiência de η_{ORC} , responsável por acionar um chiller de compressão de vapor, utilizando a energia térmica disponível na água de arrefecimento do motor.

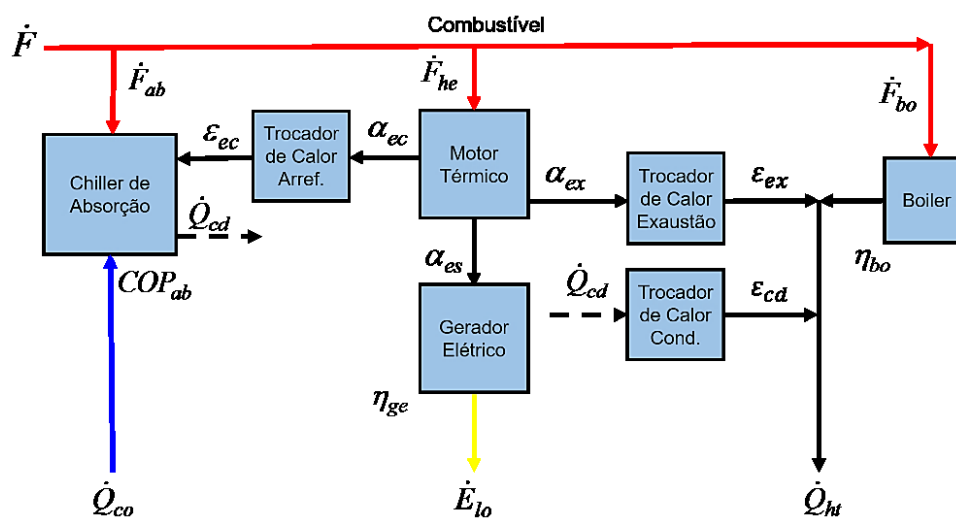


Figura 6 - Trigeração com chiller de absorção (COELHO, 2014).

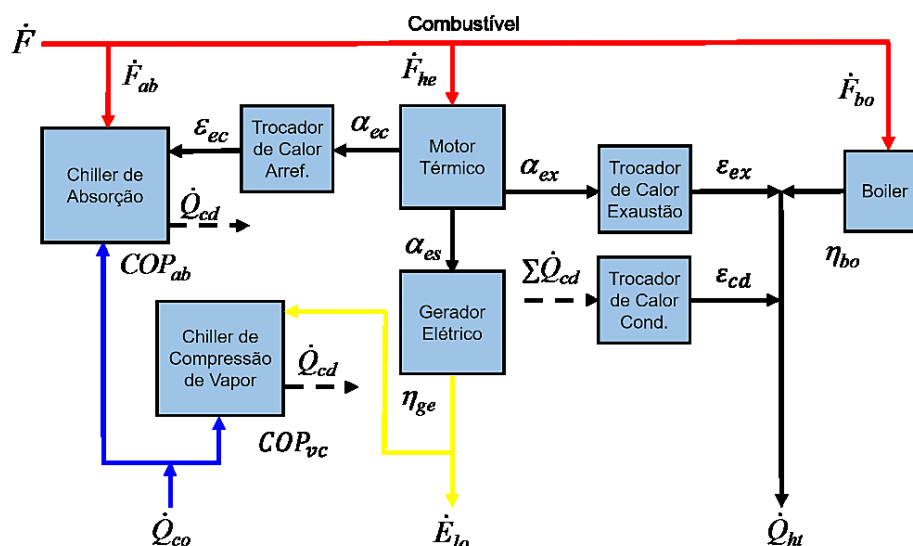


Figura 7 - Trigeração com chillers de absorção e de compressão de vapor combinados (COELHO, 2014).

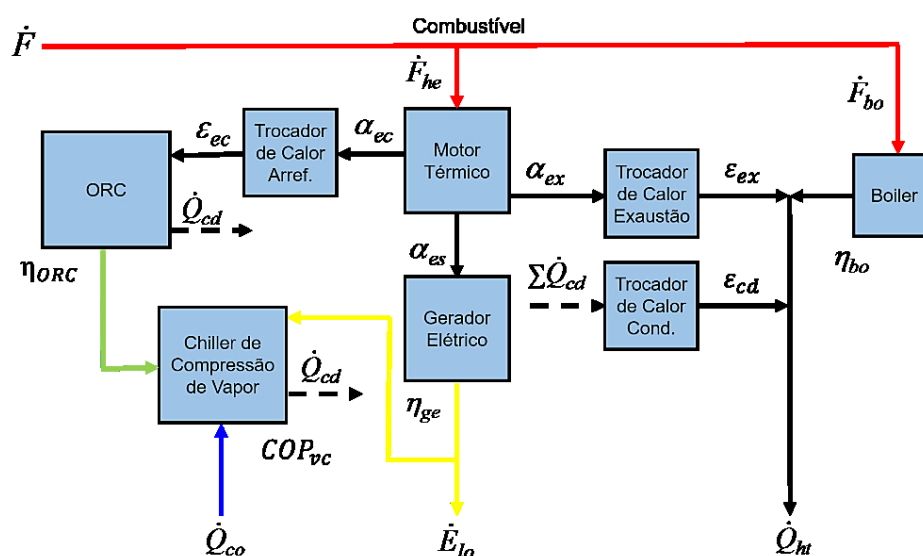


Figura 8 - Trigeração com ORC acionando chiller de compressão de vapor.

4. MODELO MATEMÁTICO

4.1 Arquitetura I – Sistema sem trigerção

$$\dot{F}_I = \dot{F}_{heI} + \dot{F}_{boI} \quad (1)$$

$$\dot{F}_{heI} = \left(\dot{E}_{lo} + \frac{\dot{Q}_{co}}{COP_{vc}} \right) \frac{1}{\eta_{ge}\alpha_{es}} \quad (2)$$

$$\dot{F}_{boI} = \frac{\dot{Q}_{ht}}{\eta_{bo}} \quad (3)$$

4.2 Arquitetura II – Trigerção com chiller de compressão de vapor

$$\dot{F}_{II} = \dot{F}_{heII} + \dot{F}_{boII} \quad (4)$$

$$\dot{F}_{heII} = \dot{F}_{heI} = \left(\dot{E}_{lo} + \frac{\dot{Q}_{co}}{COP_{vc}} \right) \frac{1}{\eta_{ge}\alpha_{es}} \quad (5)$$

$$\dot{Q}_{ht,recII} = \dot{F}_{heII}(\alpha_{ec}\varepsilon_{ec} + \alpha_{ex}\varepsilon_{ex}) + \dot{Q}_{co} \left(1 + \frac{1}{COP_{vc}} \right) \varepsilon_{cd} \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{Q}_{ht} \leq \dot{Q}_{ht,recII} \rightarrow \dot{F}_{boII} = 0 \end{array} \right. \quad (7)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{Q}_{ht} > \dot{Q}_{ht,recII} \rightarrow \dot{F}_{boII} = \frac{\dot{Q}_{ht} - \dot{Q}_{ht,recII}}{\eta_{bo}} \end{array} \right. \quad (8)$$

4.3 Arquitetura III – Trigerção com chiller de absorção

$$\dot{F}_{III} = \dot{F}_{abIII} + \dot{F}_{heIII} + \dot{F}_{boIII} \quad (9)$$

$$\dot{F}_{heIII} = \frac{\dot{E}_{lo}}{\eta_{ge}\alpha_{es}} \quad (10)$$

$$\dot{Q}_{co,recIII} = \dot{F}_{heIII}\alpha_{ec}\varepsilon_{ec} \quad (11)$$

$$\dot{Q}_{ht,recIII} = \dot{F}_{heIII}\alpha_{ex}\varepsilon_{ex} + \dot{Q}_{co} \left(1 + \frac{1}{COP_{ab}} \right) \varepsilon_{cd} \quad (12)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\dot{Q}_{co}}{COP_{ab}} \leq \dot{Q}_{co,recIII} \rightarrow \dot{F}_{abIII} = 0 \end{array} \right. \quad (13)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\dot{Q}_{co}}{COP_{ab}} > \dot{Q}_{co,recIII} \rightarrow \dot{F}_{abIII} = \frac{\dot{Q}_{co}}{COP_{ab}} - \dot{Q}_{co,recIII} \end{array} \right. \quad (14)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{Q}_{ht} \leq \dot{Q}_{ht,recIII} \rightarrow \dot{F}_{boIII} = 0 \\ \dot{Q}_{ht} > \dot{Q}_{ht,recIII} \rightarrow \dot{F}_{boIII} = \frac{\dot{Q}_{ht} - \dot{Q}_{ht,recIII}}{\eta_{bo}} \end{array} \right. \quad (15)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{Q}_{ht} \leq \dot{Q}_{ht,recIII} \rightarrow \dot{F}_{boIII} = 0 \\ \dot{Q}_{ht} > \dot{Q}_{ht,recIII} \rightarrow \dot{F}_{boIII} = \frac{\dot{Q}_{ht} - \dot{Q}_{ht,recIII}}{\eta_{bo}} \end{array} \right. \quad (16)$$

4.4 Arquitetura IV – Trigeração com chillers de absorção e compressão de vapor combinados

$$\dot{F}_{IV} = \dot{F}_{heIV} + \dot{F}_{boIV} \quad (17)$$

$$\dot{F}_{heIV} = \left(\dot{E}_{lo} + \frac{\dot{Q}_{co,vc}}{COP_{vc}} \right) \frac{1}{\eta_{ge}\alpha_{es}} \quad (18)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\dot{Q}_{co}}{COP_{ab}} \leq \dot{Q}_{co,recIV} \rightarrow \begin{array}{l} \dot{Q}_{co,cv} = 0 \\ \dot{Q}_{co,ab} = \dot{Q}_{co} \end{array} \end{array} \right. \quad (19)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\dot{Q}_{co}}{COP_{ab}} > \dot{Q}_{co,recIV} \rightarrow \begin{array}{l} \dot{Q}_{co,cv} = \frac{\dot{Q}_{co}}{COP_{ab}} - \dot{Q}_{co,recIV} \\ \dot{Q}_{co,ab} = \dot{Q}_{co,recIV} \end{array} \end{array} \right. \quad (20)$$

$$\dot{Q}_{co,recIV} = \dot{F}_{heIV}\alpha_{ec}\varepsilon_{ec} \quad (21)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{Q}_{ht} \leq \dot{Q}_{ht,recIV} + \sum \dot{Q}_{cd} \rightarrow \dot{F}_{boIV} = 0 \end{array} \right. \quad (22)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{Q}_{ht} > \dot{Q}_{ht,recIV} + \sum \dot{Q}_{cd} \rightarrow \dot{F}_{boIV} = \frac{\dot{Q}_{bo}}{\eta_{bo}} \end{array} \right. \quad (23)$$

$$\dot{Q}_{bo} = \dot{Q}_{ht} - \left(\dot{Q}_{ht,recIV} + \sum \dot{Q}_{cd} \right) \quad (24)$$

$$\dot{Q}_{ht,recIV} = \dot{F}_{heIV}\alpha_{ex}\varepsilon_{ex} \quad (25)$$

$$\sum \dot{Q}_{cd} = \left(\dot{Q}_{co,ab} \left(1 + \frac{1}{COP_{ab}} \right) + \dot{Q}_{co,vc} \left(1 + \frac{1}{COP_{vc}} \right) \right) \varepsilon_{cd} \quad (26)$$

4.5 Arquitetura V – Trigeração com ORC acionando chiller de compressão de vapor

$$\dot{F}_V = \dot{F}_{heV} + \dot{F}_{boV} \quad (27)$$

$$\dot{F}_{heV} = \left(\dot{E}_{lo} + \frac{\dot{Q}_{co,vc}}{COP_{vc}} \right) \frac{1}{\eta_{ge}\alpha_{es}} \quad (28)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\dot{Q}_{co}}{COP_{vc}} \leq \dot{E}_{co,ORC} \rightarrow \dot{Q}_{co,cv} = 0 \end{array} \right. \quad (29)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\dot{Q}_{co}}{COP_{vc}} > \dot{Q}_{co,ORC} \rightarrow \dot{Q}_{co,cv} = \frac{\dot{Q}_{co}}{COP_{vc}} - \dot{E}_{co,ORC} \end{array} \right. \quad (30)$$

sendo:

$$\dot{E}_{co,ORC} = \dot{F}_{heV} \alpha_{ec} \varepsilon_{ec} \eta_{ORC} \quad (31)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{Q}_{ht} \leq \dot{Q}_{ht,recV} + \sum \dot{Q}_{cd} \rightarrow \dot{F}_{boV} = 0 \end{array} \right. \quad (32)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{Q}_{ht} > \dot{Q}_{ht,recV} + \sum \dot{Q}_{cd} \rightarrow \dot{F}_{boV} = \frac{\dot{Q}_{bo}}{\eta_{bo}} \end{array} \right. \quad (33)$$

$$\dot{Q}_{bo} = \dot{Q}_{ht} - (\dot{Q}_{ht,recV} + \sum \dot{Q}_{cd}) \quad (34)$$

$$\dot{Q}_{ht,recV} = \dot{F}_{heV} \alpha_{ex} \varepsilon_{ex} \quad (35)$$

$$\sum \dot{Q}_{cd} = \left(\dot{Q}_{co,ORC} \left(1 + \frac{1}{\eta_{ORC}} \right) + \dot{Q}_{co,vc} \left(1 + \frac{1}{COP_{vc}} \right) \right) \varepsilon_{cd} \quad (36)$$

4.6 Redução relativa na taxa de consumo de energia

Para compararmos as quatro configurações de trigeração quanto à redução na taxa de consumo de energia primária, em relação ao sistema original sem trigeração, será usado o fator de redução relativa $\xi(-)$, Eq. (37), onde $\dot{F}_I$ é a taxa de consumo de combustível do sistema sem trigeração e $\dot{F}_i$ é a taxa de consumo de combustível da arquitetura sob estudo.

$$\xi = \frac{\dot{F}_I - \dot{F}_i}{\dot{F}_I} \quad (37)$$

4.7 Fator de utilização de energia

De acordo com a definição do “*energy utilization factor*”, tem-se que este é o somatório dos produtos energéticos dividido pelo somatório dos consumos energéticos.

$$EUF = \frac{\sum \text{Produtos energéticos}}{\sum \text{Consumos energéticos}} = \frac{\dot{E}_{lo} + \dot{Q}_{co} + \dot{Q}_{ht}}{\dot{F}_{he} + \dot{F}_{ab} + \dot{F}_{bo}} \quad (38)$$

5 RESULTADOS OBTIDOS

Foi desenvolvido um código computacional no software MATLAB para o cálculo do consumo e parâmetros de desempenho, pertinentes a cada situação. Após pesquisa bibliográfica e a partir de informações sobre os equipamentos do sistema, foram utilizados os seguintes dados característicos: $\alpha_{ec} = 0,3$; $\alpha_{ex} = 0,3$; $\alpha_{es} = 0,33$; $\varepsilon_{ec} = 0,75$; $\varepsilon_{ex} = 0,75$; $\varepsilon_{cd} = 0,75$; $\eta_{ge} = 0,9$; $\eta_{ORC} = 0,12$; $\eta_{bo} = 0,8$; $COP_{vc} = 4$; $COP_{ab} = 0,8$. As equações (1) a (3), referentes as arquiteturas sem trigeração, foram aplicadas as demandas apresentadas anteriormente. Então, aplicando as equações (4) a (36) foram calculados os consumos de combustível em taxa de energia para os sistemas de trigeração e, através das equações (37) e (38), calculados os parâmetros de desempenho ξ e EUF . A Fig. 9 apresenta a variação do EUF para o caso onde se obteve a maior redução percentual da taxa de consumo de energia, a Tab. 1 e os itens 5.2 e 5.3, a redução relativa percentual da taxa de consumo de energia das arquiteturas que utilizam trigeração, em relação à sem trigeração, para os diversos casos analisados. Essas tabelas dão uma visão geral do consumo por arquitetura e qual delas resulta em maior economia de combustível sob a forma de energia primária.

5.1 Hospital de Clínicas da UNICAMP

Percebe-se que, em dias úteis, no período de meia-noite às cinco horas da manhã, o EUF quase não se altera. Mas, a partir das seis horas da manhã há uma queda do EUF, voltando a crescer de forma oscilatória a partir das quinze/dezesseis horas da tarde. Tem-se esse comportamento pois esse intervalo corresponde a um patamar superior nas demandas de eletricidade e refrigeração do hospital, ou seja, o somatório dos produtos energéticos aumenta. Porém, o somatório dos consumos energéticos também sobe significativamente. Nestes períodos do dia há calor de rejeito em excesso resultando, mesmo em sistemas com trigeração, em um baixo fator de utilização dos rejeitos energéticos, sendo então desperdiçados. Isto leva a uma redução no valor do EUF durante esse intervalo específico, voltando a subir depois do período de maiores demandas energéticas.

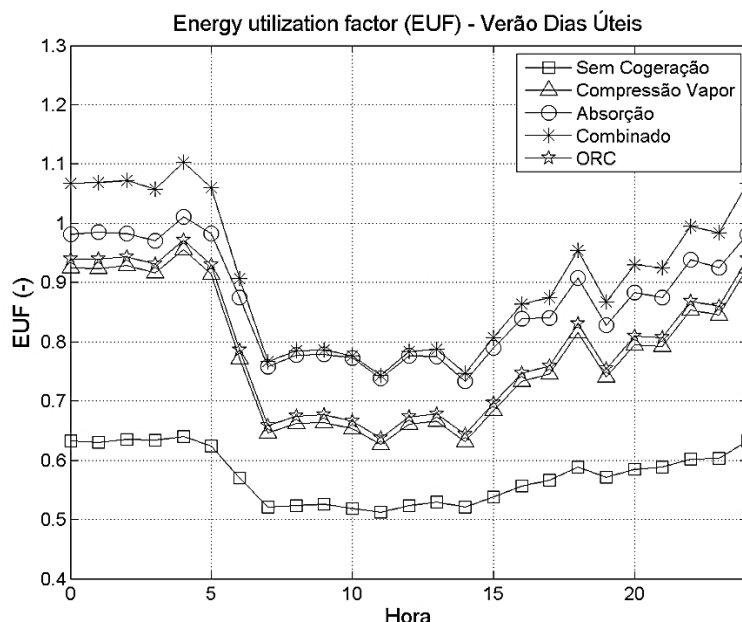


Figura 9 - EUF das arquiteturas propostas operando durante o verão em dias úteis – Hospital de Clínicas da Unicamp.

Tabela 1 - Redução relativa na taxa de consumo de energia, em relação ao sistema sem trigeração, operando em dias úteis – Hospital de Clínicas da Unicamp.

Redução Relativa na Taxa de Consumo de Energia (-)				
Arquitetura	Verão dias úteis	Outono dias úteis	Inverno dias úteis	Primavera dias úteis
II	24%	20%	19%	21%
III	33%	31%	27%	32%
IV	36%	32%	27%	33%
V	26%	21%	22%	22%

5.2 Complexo comercial em Hong Kong

A redução relativa na taxa de consumo de energia em relação ao sistema sem trigeração para o Complexo Comercial em Hong Kong foi o seguinte: Arquitetura II, 10%; III, 20%; IV, 22%; V, 12%.

5.3 Hotel cinco estrelas em Tianjin

Por sua vez, a redução relativa na taxa de consumo de energia em relação ao sistema sem trigeração para o hotel cinco estrelas em Tianjin foi: Arquitetura II, 17%; III, 20%; IV, 26%; V, 17%.

6 CONCLUSÕES

Quatro configurações básicas para sistemas de trigeração foram estudadas através de um modelo termodinâmico básico, onde os principais componentes do sistema são caracterizados por parâmetros estáticos. Foram estudados dois usos para o calor de rejeito do motor térmico: diretamente para o sistema de aquecimento ou para acionar um ciclo de refrigeração por absorção.

Os resultados apontaram a quarta arquitetura IV como sendo a melhor configuração dentre as opções de trigeração ao operar durante o período estabelecido para cada análise (36% de redução na taxa de consumo de energia – hospital da UNICAMP - verões dias úteis). A arquitetura II foi pontualmente mais eficiente quando a demanda de aquecimento era muito maior que as demandas de eletricidade e refrigeração. E, a arquitetura III foi pontualmente mais eficiente quando a energia térmica recuperada era suficiente para suprir a demanda de refrigeração, utilizando o chiller de absorção, sem queima adicional no mesmo.

O estudo aqui desenvolvido mostra a importância de se considerar, no próprio modelo, as demandas energéticas (refrigeração, aquecimento e potência elétrica), pois a relação entre estas e a capacidade da planta determinará a melhor configuração para o sistema de trigeração.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq e FAPERJ pelo apoio a este projeto.

REFERÊNCIAS

- AL-SULAIMAN, F. A., HAMDULLAHPUR, F., DINCER, I. 2011. Trigeneration: A comprehensive review based on prime movers, International Journal of Energy Research, Volume 35, Issue 3, pages 233–258.
- CEEETA.2001. Centro de Estudos em Economia da Energia, dos Transportes e do Ambiente, Tecnologias de Micro-Geração e Sistemas Periféricos.
- COELHO, V. M. E., PARISE, J.A.R. 2014. 9º MERCOFRIO, “Estudo de diferentes arquiteturas para sistemas de trigeração com aplicação em um caso de centro comercial”, Porto Alegre, RS.
- CHOA, H., SMITH A. D., MAGO, P. (2014). Combined cooling, heating and power: A review of performance improvement and optimization, Applied Energy, Volume 136, Pages 168–185.
- ASHRAE, D. ALLEN CROSBY, P.E. 2004. Cogeneration: Engineering Natural Gas-Driven Systems, Journal, p.20.
- ASHRAE. 2012. Combined Heat & Power-Cogen - ASHRAE Illinois Chapter.
- ESPIRITO SANTO, D. B. Cogeração de alta eficiência: uma metodologia de análise para prever o desempenho”, Revista ABRAVA, Ed.306, p. 38-44, agosto 2012.
- HAN, G. TIANZHEN YE, S.Y., SUN, P., ZHANG, H. (2014). Analysis of combined cooling, heating, and power systems under a compromised electric-thermal load strategy, Energy and Buildings, Volume 84, Pages 586-594.
- IEA. 2015. Energy and Climate Changes, World Energy Outlook Special Report. IEA/OECD, Paris.
- LAI, S.M., HUI, C.W. 2010. Integration of trigeneration system and thermal storage under demand uncertainties, Applied Energy 87 (9) p.2868-2880.
- MAGO, P.J., CHAMRA, L.M., HUEFFED, A. 2009. A review on energy, economical, and environmental benefits of the use of CHP systems for small commercial buildings for the North American climate, International Journal of Energy Research, Volume 33, Issue 14, pages 1252–1265.
- PARISE, J.A.R., MARTÍNEZ, L.C.C., MARQUES, R.P., Mena, J.B., VARGAS, J.V.C. 2011. A study of the thermodynamic performance and CO₂ emissions of a vapour compression bio-trigeneration system, Applied Thermal Engineering 31 pp.1411-1420.
- PETCHERS, N. 2012. Combined Heating, Cooling & Power Handbook: Technologies & Applications, 2nd Ed, 900 p.
- US Census Bureau. 1995b. GLOBAL POPULATION GROWTH, International Programs Center, International Data Base and unpublished tables. United Nations.
- WU, D.W., WANG, R.Z. 2006. Combined cooling, heating and power: A review, Progress in Energy and Combustion Science, Volume 32, Issues 5–6, Pages 459–495.

TRIGENERATION SYSTEMS OPERATION WITH DIFFERENT ARCHITECTURES AND AS FUNCTION ON ELECTRICITY, HEATING AND COOLING DEMANDS.

Abstract. Nowadays more and more researches are aimed to develop equipment, systems and processes energetically efficient generating less environmental impact. In this scenario, this paper proposes the study of four different types architectures for trigeneration systems, using heat reject from an internal combustion engine powered by natural gas. Those architectures are applied to the demands of electricity, refrigeration and heating of the following facilities: Hospital de Clínicas da Unicamp, a major hospital in Brazil; a commercial complex in Hong Kong and a five stars hotel in Tianjin, China. In order to have a better understanding, the energy balance calculations are based on EUF “energy utilization factor”, one of the parameters available in the literature to evaluate the performance of that kind of system. In the end, was verified the efficacy of those architectures on the reduction of the amount of primary fuel consumed by the facilities in comparison to systems without trigeneration, (average reduction of 36%, at best), when disconnect of the external electrical supply.

Key words: Trigeneration, CCHP, Architectures, Demands