

# Cogeração e Trigeriação

## Um caso prático

### 1 Introdução

A necessidade de diminuir os consumos de energia, não só por questões financeiras mas, essencialmente, por questões ambientais fez com que fossem feitos esforços no sentido da implementação de sistemas de energias renováveis ou mesmo com rendimentos o mais elevados possíveis.

Surge, então, em alternativa às grandes centrais convencionais e às redes de distribuição em alta tensão, a produção descentralizada de eletricidade, sendo que a cogeração era em finais de 2010 segundo a Galp Energia, responsável pela produção de cerca de 12% de todo o consumo de eletricidade no país e por 34% da produção em regime especial.

A cogeração/trigeriação surge como uma tecnologia interessante ao garantir economias de energia e competitividade acrescida às empresas e consiste basicamente na produção combinada de energia térmica e elétrica num mesmo equipamento, destinando-se ambas ao consumo da própria empresa ou de terceiros, evitando ou atenuando a utilização de equipamentos próprios de produção de calor e aquisição de energia elétrica à rede.

Neste artigo vamos familiarizar-nos com esta solução energética, a cogeração/trigeriação, que prova ser bastante eficiente, aplicando os princípios da produção combinada de eletricidade, calor e frio.

### 2 Conceitos e princípios

As centrais convencionais convertem em eletricidade apenas cerca de 1/3 da energia do combustível que consomem, o resto é perdido na forma de calor. Tal desperdício acarreta efeitos adversos para o meio ambiente tornando-se imperativa a necessidade do aumento de eficiência no processo de produção. A cogeração apresenta um rácio onde 4/5 da energia primária é convertida em energia utilizável apresentando vantagens na área financeira e ambiental.

O conceito de produção distribuída diz respeito à produção de energia o mais próximo de onde ela é consumida, ou seja, a energia é produzida no local de consumo sendo evitadas as perdas nas redes de distribuição, e aplicadas no sector industrial e em edifícios onde existe uma exigência simultânea de energia elétrica e térmica calor e/ou frio.

No processo convencional de transformação de energia fóssil em energia elétrica a maior parte da energia contida no combustível é transformada em calor e perdida no meio ambiente.

### Cogeração

Começando pela necessidade de entender o conceito poder-se-á dizer que a cogeração consiste, basicamente, na produção de eletricidade junto dos centros de consumo, permitindo o aproveitamento de calor no processo de geração, também designada por CHP (*Combined Heat and Power*). O aproveitamento pode dar-se sob a forma de calor ou água quente, para uma aplicação secundária. Os processos conseguem assim um máximo de aproveitamento de combustível consumido e poupam energia primária.

Devido às grandes dificuldades no transporte da energia térmica o calor só pode ser utilizado perto do centro produtor, o que limita estas instalações a centrais relativamente pequenas. O limite de distância para o transporte de calor ser economicamente viável fica em torno de 5km.

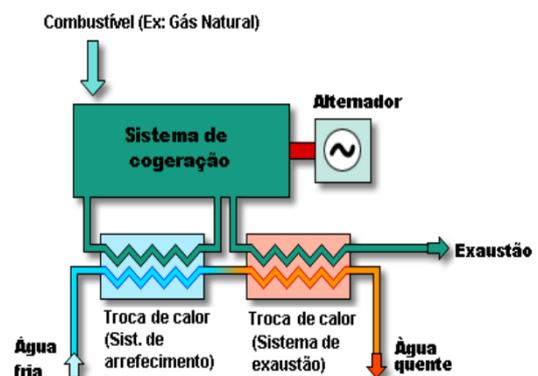


Figura 1 – Esquema de um sistema de cogeração

## Trigeração

Já no que diz respeito à trigeração poder-se-á dizer que esta implica a produção simultânea de eletricidade, calor e frio a partir de um único combustível. É um esquema de produção de energia em que se recupera calor desperdiçado para se obter frio. Compreende sistemas CHP combinados com *chillers* de absorção.

Nos serviços, o calor gerado pelos sistemas de cogeração é essencialmente utilizado para a climatização, dos edifícios, no entanto as necessidades de aquecimento são limitadas a alguns meses de Inverno. Há, contudo, necessidades significativas de arrefecimento, ar condicionado, durante os meses de Verão. A Energia térmica proveniente de uma instalação de cogeração, será utilizada para produzir frio, através de um ciclo de absorção. Este processo “alargado” de cogeração é conhecido por trigeração ou produção combinada de eletricidade, calor e frio (CHCP, *combined heat, cooling and power production*).

## Vantagens e benefícios da trigeração

No sector terciário a trigeração já provou ser uma solução apropriada para uma vasta gama de tipos de edifícios, nomeadamente Hotéis, Hospitais, Escolas, Universidades,

Aeroportos, e grandes Centros Comerciais. Apresentando as seguintes vantagens:

- Economias de energia primária:** Cerca 25% comparativamente à produção convencional de energia elétrica.
- Redução de emissões poluentes:** Com a utilização de gás natural em vez de combustíveis derivados do petróleo ou carvão, as emissões de CO<sub>2</sub> e partículas são praticamente nulas.
- Benefícios económicos:** Os custos energéticos das instalações de trigeração são menores do que os das instalações convencionais. Pode dizer-se que a redução de preços é da ordem dos 20-30%.
- Aumento da fiabilidade do aprovisionamento energético:** Pequenas centrais de cogeração/trigeração de energia elétrica, calor e frias ligadas à rede elétrica, garantem uma operação ininterrupta da instalação, no caso de falha do funcionamento da central ou do abastecimento da rede. Ao nível nacional favorecem a produção descentralizada, reduzindo a necessidade de grandes centrais termo-elétricas. Contribuindo também para o aumento do emprego a nível local.

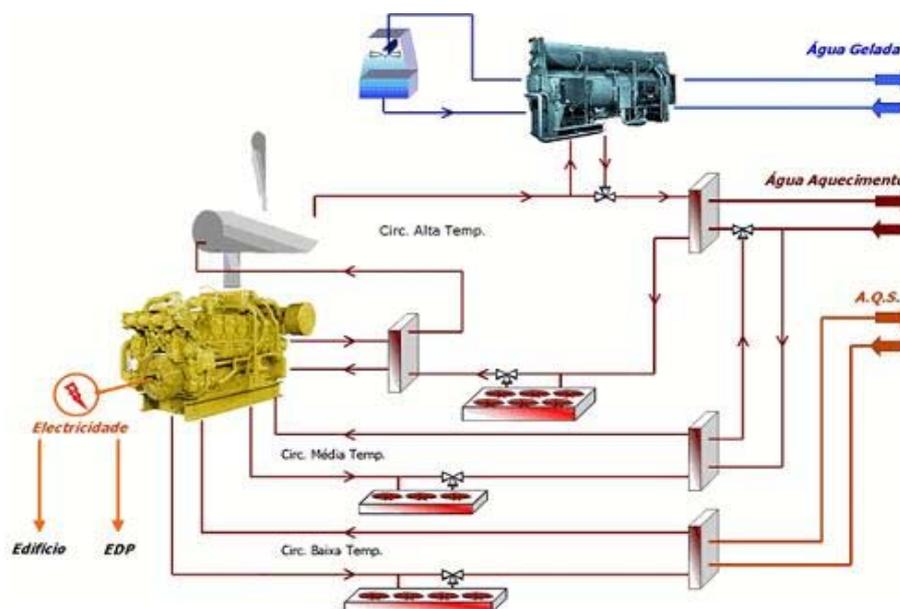


Figura 2 – Esquema de trigeração (Fonte: STET, 2008)

**e. Aumento de estabilidade do sistema elétrico:** As unidades de trigeriação proporcionam um alívio significativo às redes do sistemas elétrico durante os meses quentes de verão. As cargas de arrefecimento são transferidas da eletricidade para um combustível fóssil, uma vez que o processo de arrefecimento/refrigeração muda dos, largamente, utilizados ciclos de compressão de vapor para os de absorção. Isto contribui ainda para o aumento da estabilidade das redes elétricas e para a melhoria da eficiência do sistema, porquanto os picos de verão são servidos pelas empresas elétricas distribuidoras através de unidades de apoio ineficientes e linhas de transporte de energia elétrica sobrecarregadas.

### 3 Tecnologias de trigeriação

A parte mais importante de uma instalação de trigeriação é a máquina que produz eletricidade e energia térmica (calor). Esta máquina caracteriza a instalação ou central de cogeração (CHP). Seguindo-se o aparelho que produz o frio, utilizando energia térmica do processo de cogeração (*chiller* de absorção).

Presentemente as tecnologias mais importantes disponíveis no mercado para cogeração são:

- Turbina de gás;
- Turbina de vapor;
- Ciclo combinado;
- Motor alternativo de combustão interna;
- Pilhas de combustível;
- Micro-turbinas

As primeiras quatro tecnologias, usando turbinas ou motores alternativos de combustão interna, têm sido aplicadas em instalações de cogeração nas últimas décadas. As pilhas de combustível e micro-turbinas estão em fase de desenvolvimento e início de comercialização.

Para a trigeriação, os tipos vulgarmente mais aplicados são os motores de combustão interna, muitas das vezes em grupos de mais que um para fazer face à variação de carga. As turbinas de gás são utilizadas em grandes complexos de edifícios tais como Hospitais ou redes urbanas de calor e frio. As pilhas de combustível são utilizadas, essencialmente no sector terciário, devido ao seu funcionamento silencioso.

Outra vantagem fundamental deste sistema, reside nos subprodutos da operação, nomeadamente o hidrogénio. Este pode ser utilizado como meio de armazenar energia, contribuindo para o aumento global da instalação de trigeriação.

Para comparação, a tabela I resume as características técnicas dos tipos de tecnologias de cogeração mais utilizados.

#### Unidades produtoras de água refrigerada (*Chiller*)

Um *chiller* é uma máquina que tem como função arrefecer água ou outro líquido em diferentes tipos de aplicações, através de um ciclo termodinâmico.

**Tabela I – Características dos diferentes tipos de sistemas de cogeração**

Máquina Motriz	Turbina de gás	Turbina de Vapor	Ciclo Combinado	Motor de Combustão	Célula de Combustível
Potencia (MWe)	0,2 -100	0,5-100	4-100	0,015-30	0,01-0,25
Razão Calor/Eletricidade	1,12- 2	2-10	0,5-1,7	0,4-1,7	1,1
Rend. Eléctrico (%)	15-35	10-40	30-40	25-45	35-40
Rend. Térmico (%)	40-59	40-60	40-50	40-60	20-50
Rend. Total (%)	60-85	60-85	70-90	70-85	55-90
Tempo de Vida (anos)	15-25	20-35	15-25	10-20	>5
Carga Mínima (%)	75	20	75	50	Sem limites
Eficácia (%)	90-98	99	90-98	92-97	>95
Uso Energia Térmica	Aquecimento, AQS, Vapor BP e AP	Vapor BP e AP	Vapor BP e AP	Aquecimento, AQS, Vapor BP e AP	AQS, Vapor BP e AP
Combustível	Gasoso, Líquido	Todos	Gasoso, Líquido	Gás, Gasolina, Gasóleo	Gás

Os dois principais tipos de *chiller* são:

- *Chiller* de compressão ou elétrico;
- *Chiller* de absorção .

Os *chillers* de compressão utilizam um compressor mecânico acionado, normalmente por um motor elétrico, de forma a aumentar a pressão em determinada fase do ciclo termodinâmico do sistema.

Os *chillers* de absorção permitem produzir água gelada a partir de uma fonte de calor utilizando para tal uma solução de um sal (brometo de lítio) num processo termoquímico de absorção. Os *chillers* de absorção são, muitas vezes, integrados em sistemas de cogeração, de forma a permitir o aproveitamento do calor que de outra forma seria desperdiçado.

Principais componentes de um *chiller* de absorção estão representados na figura 3.

#### 4 Caso de estudo

Este capítulo apresenta os principais resultados do levantamento efetuado à central de cogeração/trigeração do *Norteshopping*, com o intuito de proporcionar uma melhor compreensão da sua importância, a sua influência na produção distribuída e seu desempenho e os seus contributos na melhoria do meio ambiente.



Figura 4 – Motor de combustão instalado no Norteshopping

A central de trigeração do *Norteshopping* entrou em funcionamento em 1998 e totaliza atualmente 54 500 horas de funcionamento. É constituída por dois motores de combustão interna utilizando como combustível o gás natural. Tem uma potência elétrica instalada de 2950 kWe (quilo Watt elétrico) por grupo, num total de 5900 kWe, uma potência térmica de 2750 kWt (quilo Watt térmico) por grupo, num total de 5500 kWt. Estão ainda instalados dois *chillers* de absorção com uma potência de frio de 1750 kWt por grupo, num total de 3500 kW.

Toda a energia elétrica produzida pela central é vendida à EDP, sendo a energia térmica utilizada para climatização do *Norteshopping*. A central de trigeração está em funcionamento de segunda a sexta das 7H00 às 24H00,

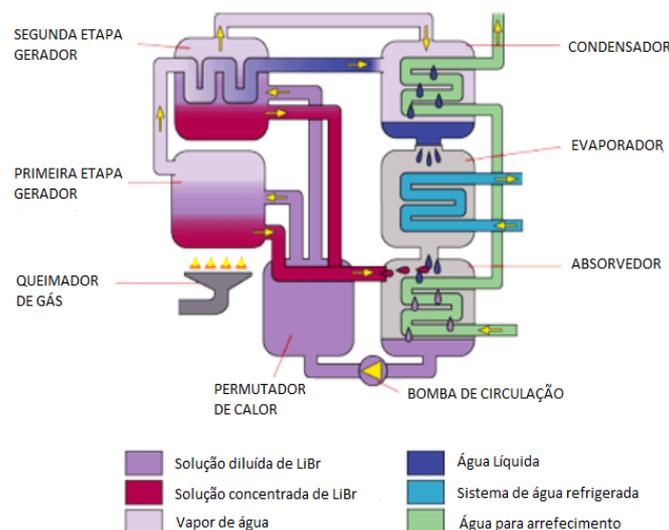


Figura 3 – Esquema de um *chiller* de absorção (Adaptado de: [www.fscs-online.com](http://www.fscs-online.com))

funcionando à carga máxima nas horas de ponta e a 95% nas horas cheias, nas horas do vazio e super vazio não se encontra em funcionamento.

Na tabela II são apresentados os dados energéticos da central de cogeração/trigeração do *Norteshopping* em 2010.

Através dos vetores energéticos apresentados no quadro, podemos então proceder ao cálculo da poupança de energia primária (PEP) da atividade da cogeração relativamente à produção separada de calor e de eletricidade, em conformidade com o estabelecido no decreto lei nº23/2010 de 25 de Março, medida de acordo com a seguinte fórmula.

$$PEP = \left[ 1 - \frac{1}{\frac{CHP\_H\eta}{REF\_H\eta} + \frac{CHP\_E\eta}{REF\_E\eta}} \right] \times 100 \quad (1)$$

**CHP H $\eta$**  é a eficiência térmica do processo, definida como a produção anual de calor útil dividida pelo combustível utilizado na produção total de calor e de eletricidade;

$$H\eta = \frac{T}{C} \times 100 = \frac{13.838.060}{59.417.911} \times 100 = 23,3\% \quad (2)$$

T - energia térmica útil consumida anualmente

C - energia primária consumida anualmente e avaliada a partir do poder calorífico inferior do gás natural

**Ref H $\eta$**  é o valor de referência da eficiência para a produção separada de calor, estando este valor compreendido entre os 35% e 45%.

**CHP E $\eta$**  é a eficiência elétrica, definida como a produção total anual de eletricidade dividida pelo combustível utilizado na produção total de calor útil e de eletricidade num processo de cogeração.

$$E\eta = \frac{E}{C} \times 100 = \frac{22 - 122 - 255}{59.417.911} \times 100 = 37,2\% \quad (3)$$

E - energia elétrica produzida anualmente

C - energia primária consumida anualmente e avaliada a partir do poder calorífico inferior do gás natural

Tabela II – Vetores energéticos da central de cogeração/trigeração no ano 2010

ESP.	UN.	2010
<b>HORAS DE FUNCIONAMENTO</b>		
Cogeração – 2010	H	8.570
GN 2010	Nm3	5.544.732
GN (PCI) 2010	kWh	59.417.911
GN (PCS) 2010	kWh	65.796.976
<b>PRODUÇÃO ENERGIA ELÉTRICA</b>		
PROD (W#1+W#2)	kWhe	22.122.255
Prod>EDP 2010	kWhe	20.840.770
<b>PRODUÇÃO ENERGIA TÉRMICA</b>		
En.Térmica 2010	kWht	13.838.060
AF 2010	kWht	8.449.712
AQ 2010	kWht	1.767.043
<b>ENERGIA TÉRMICA SERVIÇOS COMUNS</b>		
AF SC 2010	kWh	8.089.662
AQ SC 2010	kWh	1.614.846
<b>CUSTO COMBUSTIVEL</b>		
CUSTO ESPECIF.GN	Eur/kWhGas(PCI)	0,02479
CUSTO ESPECIF.GN	Eur/kWheu	0,07827
<b>PREÇO VENDA ENERGIA</b>		
AF	Eur/kWh	0,04410
AQ	Eur/kWh	0,04467
EE W	Eur/kWh	0,11489

**Ref En** é o valor de referência da eficiência para a produção separada de eletricidade, estando este valor compreendido entre os 35% e 45%.

Calculada a eficiência energética elétrica e térmica, e conhecidos os valores de referência correspondentes procederemos então ao cálculo da poupança de energia primária (PEP) da atividade da cogeração.

$$PEP = \left[ 1 - \frac{1}{\frac{0,233}{0,9} + \frac{0,372}{0,4}} \right] \times 100 = 15,9\% \quad (4)$$

**Eficiência Global do Sistema** - A eficiência global corresponde ao total anual da produção de energia elétrica e da produção de calor útil dividido pelo consumo de combustível utilizado na produção de calor num processo de cogeração e na produção bruta de energia elétrica e mecânica, sendo a eficiência calculada com base no poder calorífico líquido dos combustíveis (também denominado poder calorífero inferior).

$$G\eta = \frac{E+T}{C} \times 100 = \frac{13.838.060 + 22.122.255}{59.417.911} \times 100 = 60,5\% \quad (5)$$

**Rendimento elétrico equivalente**- A legislação portuguesa define o rendimento elétrico equivalente REE por forma a avaliar o rendimento efetivo da instalação de trigeração. Para o presente caso como a central funciona a gás natural o REE têm de ser superior a 55% sendo dada pela seguinte expressão

$$REE = \frac{E}{C - \frac{T}{0,9}} = \frac{22.122.255}{59.417.911 - \frac{13.838.060}{0,9}} = 50,2\% \quad (6)$$

Analisando o fornecimento de energia elétrica aos clientes finais de eletricidade podemos verificar que este é suportado por um sistema centralizado de produção baseado em centrais termoelétricas de grande potência e um sistema de transporte de energia de longas distâncias. A central de cogeração/trigeração do *Norteshopping*, embora apresente um rendimento elétrico equivalente abaixo das mais

recentes centrais de cogeração/trigeração constituiu ao longo dos últimos treze anos um meio de produção alternativo ao sistema centralizado evitando o custo de produção e transporte dessa energia pelas centrais convencionais e reduzindo o impacto ambiental.

## 5 Enquadramento jurídico cogeração/trigeração

DL 538/1999 - Regulamenta a atividade de cogeração.

DL 313/2001 - Modifica o clausulado do DL 538/1999.

Declaração de Retificação 8-B/2002 - Corrige o DL 313/2001.

DL 68/2002 e Portaria 764/2002 – Regulamenta a Produção de eletricidade de baixa tensão (microgeração).

P 399/2002 - Disposições sobre a aplicação do DL 313/2001.

DL 363/2007 - Regulamenta a microprodução.

DL 23/2010 - Estabelece o regime jurídico e remuneratório aplicável à energia elétrica e mecânica e de calor útil produzidos em cogeração.

## 6 Conclusões

A Cogeração/Trigeração desempenha um importante papel no esforço de redução de emissões de CO<sub>2</sub> e outros gases de efeito de estufa, pois o carácter integrado da trigeração implica maiores taxas de conversão de energia e, por conseguinte, menores emissões poluentes.

A vantagem resultante para o sector energético da utilização da cogeração/trigeração é importante referir, que na sua maioria dizem respeito à produção de eletricidade. As centrais de trigeração produzem três formas de energia útil, eletricidade, calor e frio, a partir da queima de um combustível. Comparando com as centrais convencionais consegue-se o reaproveitamento da energia desperdiçada sob a forma de energia térmica, aumentando desta forma claramente o rendimento, que nas centrais convencionais situar-se-iam entre os 30% e os 50% enquanto que os de produção de calor situar-se-iam entre os 85% e os 95%, facilmente se percebe que o potencial na melhoria dos rendimentos de conversão só existe, na prática, no lado da produção de eletricidade.

Um facto importante a retirar é que o custo de produção do calor, frio e da eletricidade nestas unidades é diretamente afetado, pelo custo do combustível consumido. Se o consumidor de calor já está familiarizado com essa indexação permanente de energia térmica, a aquisição de eletricidade no mercado, regulado ou liberalizado, não agrega uma atualização direta, porque vigora o método de estabilidade dos preços. Se é um facto que os projetos de cogeração/trigeração melhoram a eficiência energética, não se pode dispensar a existência de uma remuneração da eletricidade de cogeração, que agregue, em cada momento, um mecanismo de indexação aos preços dos combustíveis em detrimento de uma criação de tarifários.

### Bibliografia

- *Azevedo, João L. Toste, Apontamentos sobre cogeração, IST 2001*
- *Sérgio da Silva Brandão, Cogeração, UC, 2004.*
- *Rui M.G.Castro, Introdução à cogeração, DEEC/IST, 2009*
- *Álvaro Brandão Pinto, Palestra, O Futuro da Cogeração, FEUP*
- *Decreto Lei nº23 /2010 de 25 de Março*
- *Pedro Rocha, NORTESHOPPING, 2011*
- *DGEG-Direcção Geral de Energia e Geologia, Renováveis <http://www.dgeg.pt>*
- *GALP ENERGIA <http://www.galp.pt/>*
- *ADENE <http://www.adene.pt>*
- *COGEN Portugal <http://www.cogenportugal.com>*
- *COGENERATION <http://cogeneration.net/>*

### CURIOSIDADE

