

## VANTAGENS DO CICLO COMBINADO A GÁS NATURAL FACE A OUTRAS TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO DE ENERGIA. ESTUDO DE CASO: A CENTRAL DA TAPADA DO OUTEIRO, PORTUGAL

**Maria José Brenhas**

Aluna de Engenharia do Ambiente (UFP)  
16678@ufp.edu.pt

**Rosário Machado**

Aluna de Engenharia do Ambiente (UFP)  
17462@ufp.edu.pt

**Maria Alzira Dinis**

Mestre Assistente - Faculdade de Ciência e Tecnologia (UFP)  
madinis@ufp.edu.pt

### RESUMO

Seria impensável concebermos os nossos dias sem a utilização de energia eléctrica. Esta forma de energia é responsável pelo desenvolvimento económico e a sua disponibilidade é indicadora da qualidade de vida dos povos. A procura de formas de obtenção desta energia que minimizem os impactes para o ambiente tem levado à adopção de energias renováveis mas também ao desenvolvimento de novas tecnologias que permitam aumentar a eficiência de conversão de energia entre as suas várias formas. Neste sentido procedeu-se à análise de um estudo de caso da central termoeléctrica a gás natural com tecnologia de ciclo combinado da Tapada do Outeiro, Portugal.

### PALAVRAS-CHAVE

Ciclo combinado, gás natural, emissões, energia eléctrica.

### ABSTRACT

Living without electricity is nowadays unconceived. The economic growth and quality of life is strongly dependent on this source of energy. The search for new forms of producing electricity in order to minimise environmental impacts has led to the adoption of renewable energies and to the improvement of new technologies which allow at the same time to reach high efficiency in the process of energy conversion from the chemical form to the electrical one. This article is about a case study of a natural gas turbine power plant with combined cycle, at "Tapada do Outeiro", Portugal.

### KEYWORDS

Power plant, combined cycle, natural gas, emissions, electricity.

## 1. INTRODUÇÃO

Existe uma forte ligação entre energia, ambiente e desenvolvimento sustentável. De facto, uma fonte segura de energia é fundamental para o desenvolvimento económico (Ferreira, 2007). Esta ligação está bem patente nas preocupações da Comissão Europeia, que no documento *Energy Community* foca a ligação estreita entre a disponibilidade de energia e o desenvolvimento económico e social dos países, afectando todos os sectores incluindo a saúde e a educação. O mesmo documento refere, ainda, a energia como um dos factores responsáveis pela fixação dos povos às suas terras de origem, uma vez que sem ela não é possível o crescimento económico (European Commission, 2008).

No final do século XX, a União Europeia (UE) é confrontada com um grande desafio: como manter um aumento contínuo de produção de energia necessária ao crescimento económico e, simultaneamente, minimizar os efeitos adversos da sua produção e utilização no ambiente, nos ecossistemas e no bem-estar humano (Tzimas e Peteves, 2005).

Apesar da energia nuclear estar amplamente implantada, representando 35% do total produzido na UE (considerando os 27 países membros), ainda existe uma forte dependência dos combustíveis fósseis. Conforme se pode verificar na Figura 1, elaborada com base nos valores disponíveis no Eurostat (2008), este tipo de combustíveis é responsável pela produção de 50% do total de energia eléctrica. Destes, o gás natural representa 23% do total de energia eléctrica produzida. Constata-se também um aumento da produção de energia eólica de 2% no ano de 2004 e de 3% em 2005. De salientar que em Portugal este tipo de energia passou de 2% em 2004 para 4% em 2005, em relação ao total da energia produzida (Eurostat, 2008)

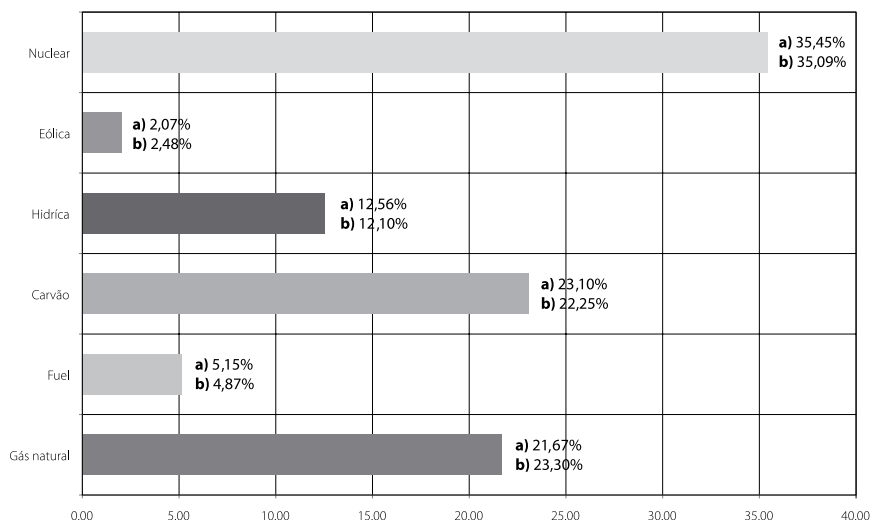


Figura 1 - Distribuição da energia eléctrica produzida na UE27 por diferentes processos: a) ano 2004, b) ano 2005.

A produção de energia eléctrica em centrais de ciclo combinado, que queimam gás natural e usam turbinas de gás e vapor com caldeiras de recuperação altamente eficientes, são uma alternativa às centrais convencionais, já que oferecem altas eficiências energéticas juntamente com reduções substanciais de emissões gasosas (García e Zorraquino, 2002). A eficiência da produção da energia eléctrica tem assim um papel muito importante como indicador do impacto ambiental deste processo. A eficiência não só é indicadora da rentabilização dos combustíveis fósseis como também das emissões para a atmosfera por unidade de energia produzida (European Commission, 2006).

Em Portugal existem duas centrais termoeléctricas que utilizam esta tecnologia. Uma delas, a central de ciclo combinado da Tapada do Outeiro, é o objecto de estudo deste artigo. O objectivo é verificar até que ponto a tecnologia de ciclo combinado será uma opção de futuro para a produção de energia eléctrica *versus* desempenho ambiental.

## 2. O GÁS NATURAL NA EUROPA

Pensa-se que o gás natural terá sido descoberto na Pérsia entre 6000 a.C. a 2000 a.C., mas, na Europa, apenas foi conhecido no século XVII, não tendo despertado grande interesse até Alessandro Volta ter descoberto, há 200 anos, o seu potencial energético (ERSE, 2008).

O gás natural tem assumido uma importância cada vez maior como fonte de energia uma vez que se considera, de forma generalizada, que é actualmente o combustível fóssil menos poluente. Sendo constituído maioritariamente por metano ( $\text{CH}_4$ ), conforme se pode verificar na Tabela 1, a sua combustão produz essencialmente  $\text{CO}_2$  e vapor de água.

Constituintes	Fórmula química	Quantidade (%)
Metano	$\text{CH}_4$	70-90
Etano	$\text{C}_2\text{H}_6$	0-20
Propano	$\text{C}_3\text{H}_8$	0-20
Butano	$\text{C}_4\text{H}_{10}$	0-20
Dióxido de carbono	$\text{CO}_2$	0-8
Oxigénio	$\text{O}_2$	0-0,2
Azoto	$\text{N}_2$	0-5
Sulfureto de hidrogénio	$\text{H}_2\text{S}$	0-5
Gases nobres	A, He, Ne, Xe	vestígios

Tabela 1 - Composição típica do gás natural no mundo (NaturalGas, 2008).

Os outros combustíveis fósseis, ao serem compostos por moléculas de hidrocarbonetos muito mais complexas, originam, para a mesma quantidade de energia produzida, maiores emissões de  $\text{CO}_2$  que o gás natural (Ramos-Real *et al.*, 2006). A combustão do gás natural produz, também, pequenas quantidades de dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e óxidos de azoto ( $\text{NO}_x$ ), assim como de monóxido de carbono (CO) e de outros hidrocarbonetos reactivos, sendo desprezável a quantidade de partículas emitida (European Commission, 2006).

Para além destas características, o facto de ser possível o seu fornecimento directo no local de consumo, a ausência de necessidade de armazenamento e a chama fácil e regulável a temperatura constante, tornam o gás natural competitivo para a produção de energia eléctrica (ERSE, 2008).

Este recurso é privilegiado na Europa, dado que possui reservas próprias que cobrem 70% das suas próprias necessidades, pelo menos até 2020. Prevê-se que, nessa data, as reservas existentes apenas cobrirão 40% das necessidades (Eurogás, 2008; Europa, 2008). Estes valores são baseados em estimativas, não sendo possível conhecer com exactidão a quantidade de gás natural existente (NaturalGas, 2008). Contudo, a Europa encontra-se rodeada de possíveis fornecedores deste tipo de combustível, como a Rússia, Argélia, Nigéria, Líbia, Egipto e Médio Oriente (Eurogás, 2008).

### 3. A TECNOLOGIA DE CICLO COMBINADO

Todas as centrais, termoeléctricas, nucleares hídricas e eólicas, utilizam o mesmo princípio, a transformação da energia mecânica em energia eléctrica (Eurelectric, 2008). Uma central termoeléctrica transforma o calor produzido pela combustão de um combustível em energia mecânica utilizada para accionar um gerador que produz energia eléctrica (Turbogás, 2008).

Numa central de ciclo combinado a energia resultante da combustão do gás natural é utilizada para mover uma turbina sendo transformada em energia mecânica de rotação. Esta energia é transmitida pelo veio ao alternador onde é transformada em energia eléctrica. Os gases resultantes da combustão do gás atingem temperaturas superiores a 500°C. Esta energia é aproveitada numa caldeira de recuperação de calor onde se produz vapor em três diferentes níveis de pressão (alta, média e baixa pressão) que, ao ser admitido em três diferentes turbinas, vai produzir mais energia. Estas turbinas estão ligadas ao mesmo veio que a turbina a gás aumentando a eficiência de produção de energia (Turbogás, 2008; García e Zorraquino, 2002).

Esta tecnologia permite um maior rendimento e, portanto, maior eficiência, do que uma turbina a gás a funcionar em Ciclo Aberto onde todo o calor contido nas emissões gasosas teria que ser lançado na atmosfera sem aproveitamento. O rendimento energético seria apenas de 35 a 38% contra os 50 a 55% conseguidos com a tecnologia de ciclo combinado (Turbogás, 2008).

De acordo com Beér (2006) as centrais termoeléctricas a gás natural, operando em ciclo combinado, são as que apresentam menores emissões gasosas ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ) por quantidade de energia produzida (kWh ou MWh).

### 4. ESTUDO DE CASO: A CENTRAL DE CICLO COMBINADO DA TAPADA DO OUTEIRO

Após várias deslocações e entrevistas com os responsáveis da central da Tapada do Outeiro foi possível perceber claramente o processo associado à tecnologia de ciclo combinado e obter os dados que serviram de base ao desenvolvimento deste trabalho.

A central de ciclo combinado da Tapada do Outeiro, Figura 2, situa-se numa área populacional no concelho de Gondomar. Entrou em funcionamento em 1999, tendo sido a primeira central de ciclo combinado em Portugal. São 50 os colaboradores que garantem o funcionamento da Central nas áreas de produção, engenharia e recursos humanos. A coordenação de todas as actividades é efectuada em sala de controlo, equipada com um painel de serviços comuns para as ligações à rede eléctrica, aos sistemas de extracção de água do rio, fornecimento de gás, bem como aos sistemas de alarme e incêndio e de fugas de gás. A central é constituída por três grupos de produção, tendo cada um deles a sua própria estação de controlo. A partir desta efectua-se as operações de arranque, paragem, alteração de carga e verificação dos sistemas de alarme. A sua capacidade de produção é de 990 MW divididos pelos três grupos geradores de 330 MW cada.



Figura 2 - Central de ciclo combinado da Tapada do Outeiro.

No processo de transformação o gás natural, proveniente da Argélia, chega à central através de um gasoduto a 8 °C, aproximadamente, onde é pré-aquecido até 200 °C para otimizar a queima. Entra na câmara de combustão da turbina a gás, representada na Figura 3, onde se junta com o ar atmosférico (previamente comprimido para aumentar o caudal) dando-se a combustão a 1160 °C. Esta energia é aproveitada na turbina sendo convertida em energia mecânica de rotação e transmitida pelo veio ao alternador, Figura 4, que a transforma em energia eléctrica produzindo 220 MW, correspondentes a 2/3 da energia produzida pelo grupo gerador.

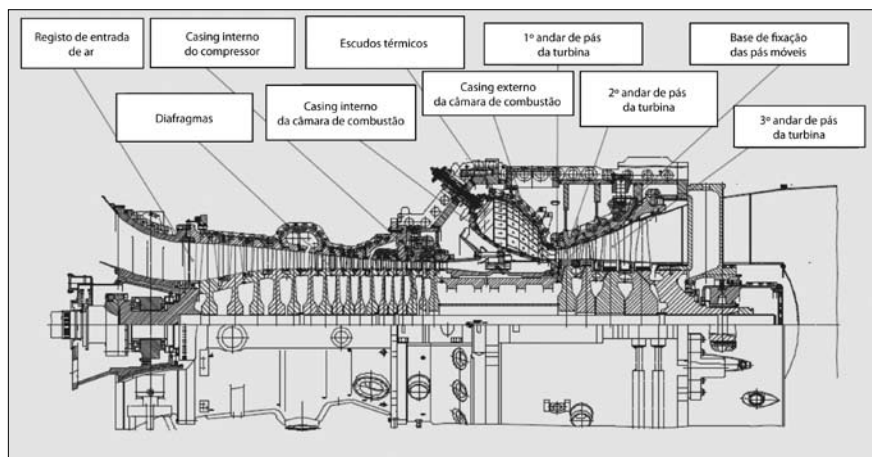


Figura 3 - Turbina a gás da Central da Tapada do Outeiro.



Figura 4 - Alternador da Central da Tapada do Outeiro.

Os gases da combustão saem da turbina a gás a 565 °C alimentando uma caldeira de recuperação de calor, Figura 5, para produzir vapor em três níveis de pressão que vão ser admitidos em turbinas de vapor de alta, média e baixa pressão que se encontram representadas na Figura 6, sendo os gases lançados na atmosfera a 90 °C.



Figura 5 - Caldeira de recuperação de calor da Central da Tapada do Outeiro.



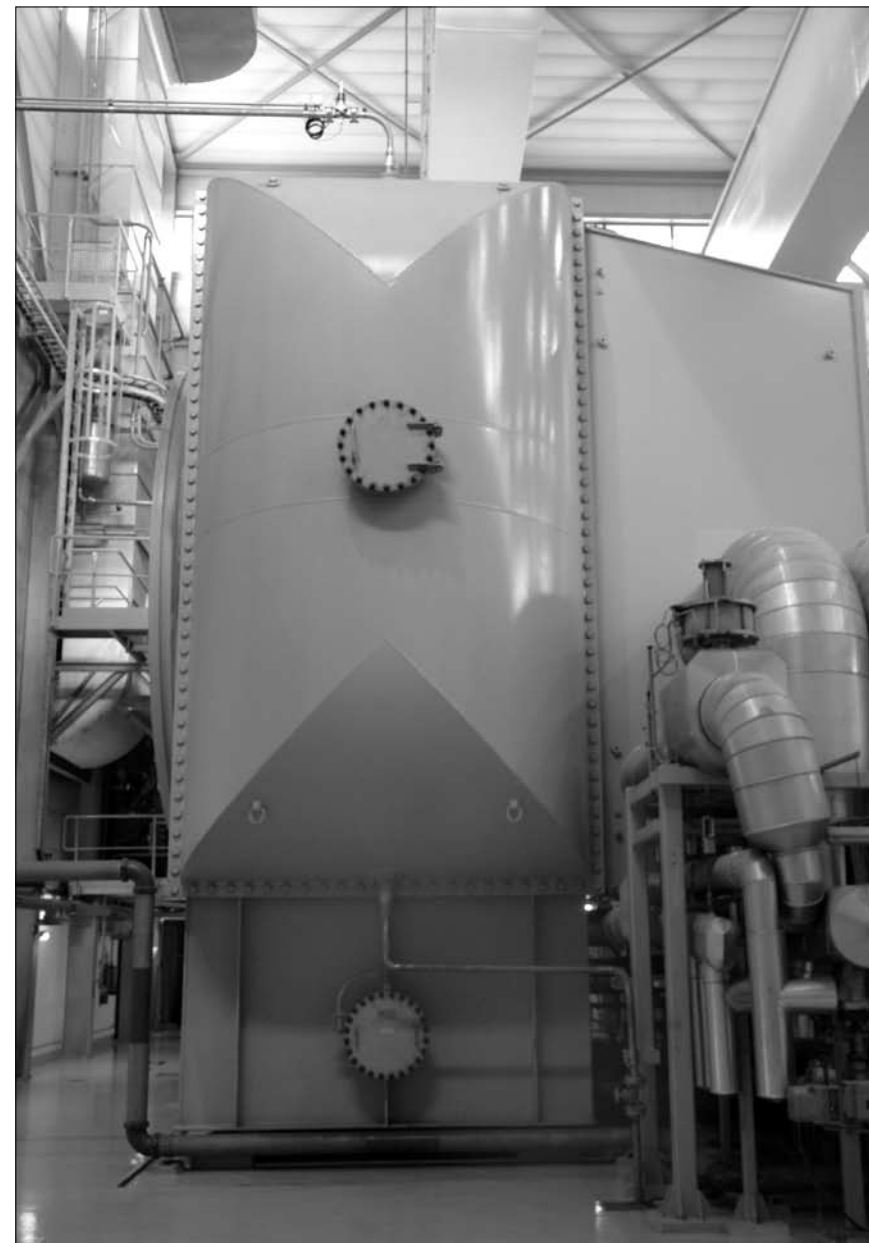
**Figura 6** - Turbinas a vapor da Central da Tapada do Outeiro.

A turbina de alta pressão funciona a 550 °C e 113 bar, a de média pressão a 550 °C e 30 bar e a de baixa pressão a 230 °C e 4,5 bar. Estas turbinas são acopladas à turbina a gás através da embraiagem, Figura 7, num veio único que acciona o alternador. Desta forma consegue-se produzir o restante 1/3 da energia, isto é, 110 MW.



**Figura 7** – Embraiagem de acoplamento das turbinas a vapor à turbina a gás da Central da Tapada do Outeiro.

O vapor libertado pelas turbinas de vapor é arrefecido com água captada pelo rio Douro, em circuito aberto e a sua condensação dá-se num condensador que opera em vácuo a 48 mbar. As Figuras 8 e 9 mostram o condensador e o sistema de captação de água do rio, respectivamente.



**Figura 8** - Condensador da Central da Tapada do Outeiro.



Figura 9 - Captação de água do rio para a Central da Tapada do Outeiro.

O processo de produção de energia eléctrica de um dos grupos da central de ciclo combinado da Tapada do Outeiro encontra-se esquematizado na Figura 10, onde se pode visualizar o circuito de vapor com três diferentes níveis de pressão.

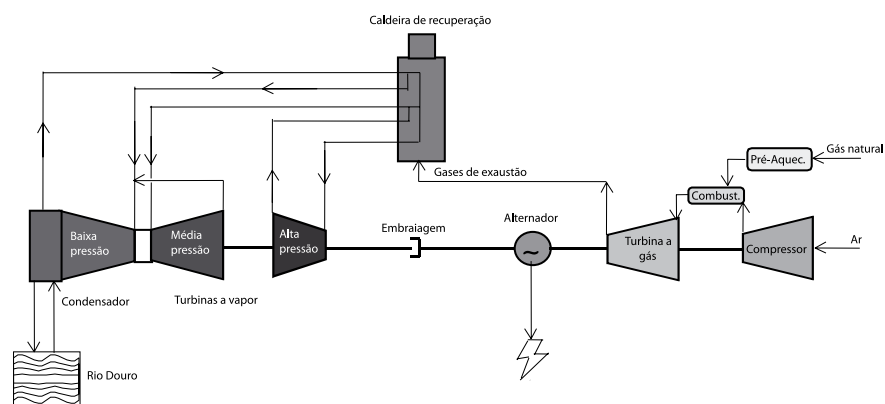


Figura 10 - Representação esquemática do processo de transformação de energia por tecnologia de ciclo combinado da Central da Tapada do Outeiro.

Este processo de transformação necessita de energia, água e matérias-primas secundárias e subsidiárias, tais como óleos e reagentes químicos para a regeneração das resinas de permuta iónica utilizadas na produção de água desmineralizada que alimenta as caldeiras de produção de vapor.

O processo envolve a produção de resíduos líquidos e sólidos, efluentes líquidos e emissões gasosas. A Tabela 2 indica a caracterização das emissões gasosas da central durante o ano de 2007, onde se podem verificar as reduzidas emissões de  $\text{SO}_2$  e de partículas características dos gases resultantes da combustão do gás natural. De salientar, ainda, a inexistência de emissões de Compostos Orgânicos Voláteis (COV's).

A quota de emissão de  $\text{CO}_2$  atribuída à central para o ano de 2007 foi de 2.600.858 ton, contra os 1.685.962 ton emitidos, conforme consta da Tabela 2. Este facto permite à central comercializar a quota de  $\text{CO}_2$  não utilizada a outros cujas emissões excedam os valores de quota atribuídos.

Parâmetro	Regime de monitorização	Quantidade (t)	Quantidade /energia produzida (t/MWh)
$\text{CO}_2$	Cálculo, através de factores de emissão baseados na qualidade do gás que é monitorizado online por cromatografia.	1 685 962	0,369
CO	Monitorização em contínuo	115,4	2,53E-05
$\text{NO}_x$	Monitorização em contínuo	1849,6	4,05E-04
$\text{SO}_2$	Monitorizado duas vezes por ano	0,1	2,19E-08
COV's	Monitorizado duas vezes por ano	0	0
Partículas	Monitorizado duas vezes por ano	0,1	2,19E-08

Tabela 2 - Caracterização das emissões gasosas da central da Tapada do Outeiro no ano de 2007 (Turbogás, 2007).

Conforme já se mencionou anteriormente, as águas de arrefecimento são captadas no rio Douro, sendo a ele devolvidas a uma temperatura mais elevada. Existem, por isso, vários pontos de monitorização da temperatura da água do rio, a montante e jusante do ponto de descarga. O requisito ambiental que a central da Tapada do Outeiro tem que cumprir, no que a isto diz respeito, indica como valor máximo permitido para o aumento da temperatura da água do rio 3 °C. No ano de 2007 o valor máximo encontrado foi de 1,2 °C. Isto significa que os valores conseguidos estão muito abaixo dos limites máximos permitidos, o que reflecte o bom desempenho da central neste aspecto.

Os efluentes líquidos gerados pela regeneração de resinas de permuta iónica são tratados numa unidade de tratamento de águas residuais existente nas instalações da central. Na Tabela 3 encontra-se a composição média no ano de 2007 do efluente da central após tratamento e respectivos Valores Limite de Emissão (VLE) para os poluentes considerados. Como se pode verificar os VLE são cumpridos.

Parâmetro	Unidade	Média ano 2007	Valor Limite de Emissão (VLE)
pH	Escala Sörensen	7,6	6-9
Carência Química de Oxigénio	mg/l $\text{O}_2$	10,7	150
Sólidos Suspenso Totais	mg/l	4,1	60
Ferro total	mg/l Fe	0,6	2
Manganês	mg/l Mn	0	2
Chumbo Total	mg/l Pb	0,1	1
Óleos minerais	mg/l	<1	15

Tabela 3 - Composição média do efluente, no ano 2007, da central de ciclo combinado da Tapada do Outeiro após tratamento (Turbogás, 2007).

São de diferentes tipos os resíduos produzidos pela central. Destacam-se, entre outros, as lamas resultantes de tratamento de águas e águas contaminadas. A Tabela 4 apresenta alguns resíduos produzidos pela central durante o ano de 2007.

Designação do resíduo	Unidade	Quantidade
Óleos usados	m <sup>3</sup>	4,5
Águas contaminadas	m <sup>3</sup>	222,2
Emulsões não cloradas	m <sup>3</sup>	22,3
Isolamentos	t	7,1
Filtros de ar	t	5,5
Lamas da clarificação da água	t	137,0

**Tabela 4** - Alguns resíduos produzidos na central da Tapada do Outeiro durante o ano de 2007 (Turbogás, 2007).

## 5. COMPARAÇÃO COM AS OUTRAS CENTRAIS DE PORTUGAL

Em Portugal existem centrais termoeléctricas que utilizam diferentes combustíveis fósseis e uma central termoeléctrica a biomassa. Da análise dos valores constantes nos documentos Sumário Ambiental 2005/2006 da central termoeléctrica do Pego, Sumário Ambiental 2006 da central termoeléctrica da Tapada do Outeiro e Relatórios de Sustentabilidade dos anos de 2002, 2003, 2004, 2005 e 2006 da EDP, foi possível construir a Tabela 5 e os gráficos representados nas Figuras 11 e 12 que estabelecem a comparação entre estas centrais e a central da Tapada do Outeiro (Tejoenergia, 2006; Turbogás, 2006; EDP, 2002; EDP, 2003; EDP, 2004; EDP, 2005; EDP, 2006).

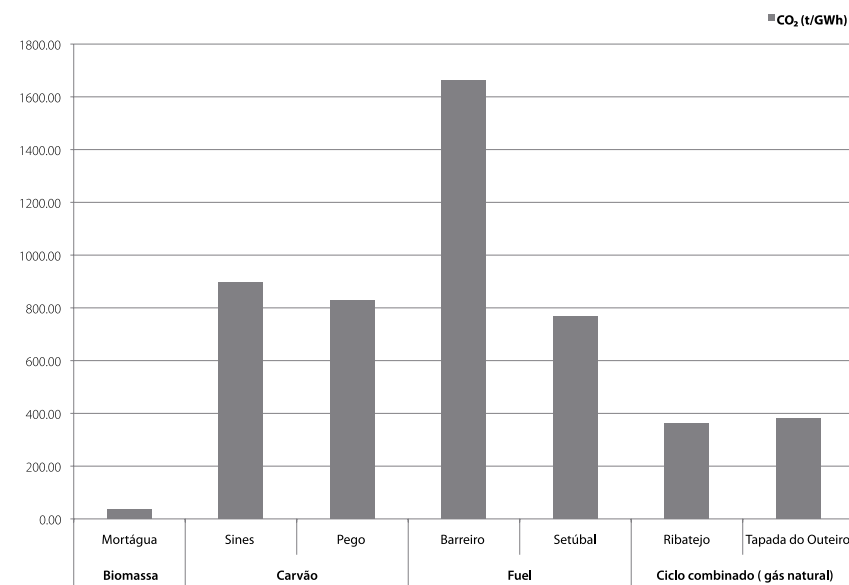
A Tabela 5 mostra os valores de energia produzida entre as diferentes centrais consideradas. Conforme se pode verificar, a central da Tapada do Outeiro representou 23% da energia eléctrica produzida no total das centrais consideradas no ano de 2004, 21% no ano 2005 e 15% no ano de 2006. Pode-se verificar, também, que a quantidade de energia eléctrica produzida pela central a biomassa é muito reduzida quando comparada com a produzida pelas centrais que utilizam combustíveis fósseis.

	Ano	Biomassa		Carvão			Fuel		Gás natural	
		Mortágua	Sines	Pego	Barreiro	Setúbal	Ribatejo	Tapada do Outeiro		
Energia produzida (GW)	2002	37,48	9531,72	5167,00	249,03	5190,71	n.d.	7130,00		
	2003	38,32	9473,06	4504,00	194,92	1834,19	n.d.	5410,00		
	2004	49,42	9529,61	4774,00	200,45	1689,21	3418,76	6160,00		
	2005	51,39	9590,18	5066,00	220,02	3555,76	5088,06	6300,00		
	2006	51,39	9694,23	4723,00	145,00	1234,93	5728,22	4070,00		

**Tabela 5** - Energia eléctrica produzida pelas diferentes centrais desde os anos 2002 até 2006 (Tejoenergia, 2006; Turbogás, 2006; EDP, 2002; EDP, 2003; EDP, 2004; EDP, 2005; EDP, 2006). [n.d. – não disponível]

A Figura 11 compara as emissões de CO<sub>2</sub> de diversas centrais termoeléctricas por unidade de energia eléctrica produzida. Os valores nela constantes foram calculados tomando a média das emissões de CO<sub>2</sub> dos anos 2002 a 2006, com excepção da central do Ribatejo cuja informação só está disponível a partir do ano de 2004. A sua análise revela que as duas cen-

trais a gás natural de ciclo combinado existentes no país, Tapada do Outeiro e Ribatejo, são as que apresentam menores emissões deste gás por quantidade de energia eléctrica produzida (ton CO<sub>2</sub>/GWh), comparativamente a outros combustíveis fósseis (centrais a carvão e fuel). A central de biomassa apresenta claramente menores emissões de CO<sub>2</sub>. A inclusão da central de biomassa nesta comparação foi apenas feita a título indicativo pois, como se sabe, o carbono proveniente de biomassa é um recurso renovável (ciclo curto – décadas), enquanto que o proveniente de combustíveis fósseis não o é (ciclo longo – milhões de anos) (Sun, 2004).



**Figura 11** - Comparação dos valores de médios de emissão de CO<sub>2</sub> (ton CO<sub>2</sub>/GWh) nas várias centrais (Tejoenergia, 2006; Turbogás, 2006; EDP, 2002; EDP, 2003; EDP, 2004; EDP, 2005; EDP, 2006).

Quer as emissões de NO<sub>x</sub> quer as de partículas apresentam os valores de emissão mais baixos nas centrais a gás natural operando a ciclo combinado, como se mostra na Figura 12. À semelhança das emissões de CO<sub>2</sub>, objecto da Figura 11, são apresentados os valores médios das emissões dos anos de 2002 a 2006, à excepção dos valores da central do Ribatejo que, conforme já foi referido, apenas se encontram disponíveis dados a partir do ano 2004 inclusive. É, ainda, possível verificar que a central a biomassa produz elevadas quantidades destes poluentes em comparação com as centrais a gás natural. Para a central termoeléctrica do Pego são referidos os valores de dióxido de azoto (NO<sub>2</sub>) e não de óxidos de azoto (NO<sub>x</sub>), por ser este o valor que se encontrava disponível no documento consultado, Sumário Ambiental 2005/2006 da central termoeléctrica do Pego.

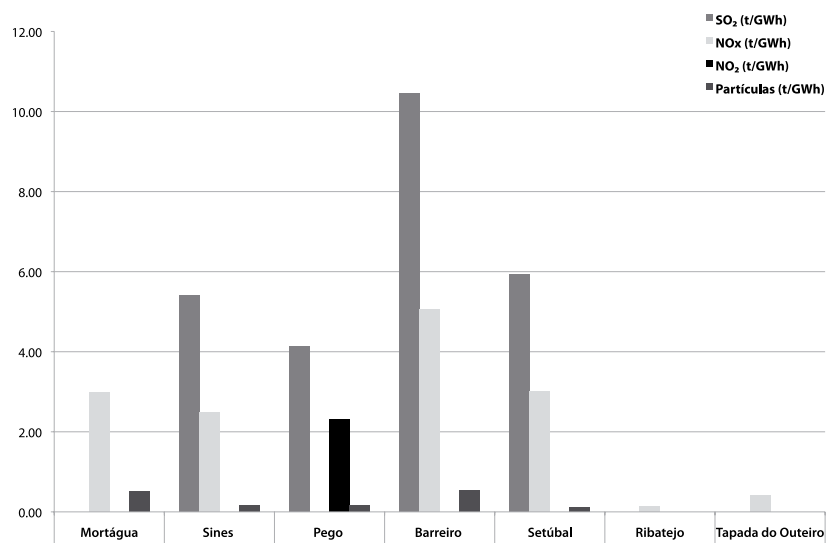


Figura 12 - Comparação dos valores de emissão em t/GWh de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e partículas nas várias centrais (Tejoenergia, 2006; Turbogás, 2006; EDP, 2002; EDP, 2003; EDP, 2004; EDP, 2005; EDP, 2006).

Analisando as Figuras 11 e 12 verifica-se que as centrais que operam com o mesmo tipo de combustível fóssil apresentam diferentes valores de emissões por GWh de energia eléctrica produzida, nomeadamente os valores encontrados para as centrais do Barreiro e Setúbal (a fuel) e a diferença de valores encontrados em especial de NO<sub>x</sub> entre as centrais de Sines e do Pego ambas operando com turbinas a vapor utilizando carvão como combustível. No entanto, estes foram os dados recolhidos nos documentos oficiais disponíveis ao público na internet os já mencionados Sumário Ambiental 2005/2006 da central termoeléctrica do Pego, Sumário Ambiental 2006 da central termoeléctrica da Tapada do Outeiro e Relatórios de Sustentabilidade de 2002, 2003, 2004, 2005 e 2006 da EDP. Mesmo os valores de consumo de água e de água de arrefecimento são muito diferentes entre centrais que utilizam o mesmo tipo de combustível conforme se pode verificar na Tabela 6. Para compreender a razão destas diferenças seria necessário efectuar uma visita a cada uma das centrais e perceber as diferenças tecnológicas e/ou de qualidade dos combustíveis utilizados que as justifiquem.

	Biomassa		Carvão		Fuel		Gás natural	
	Mortágua	Sines	Pego	Barreiro	Setúbal	Ribatejo	Tapada do Outeiro	
Valor médio de consumo de água (m <sup>3</sup> /GWh)	4340,56	166,65	1583,20	3007,47	251,68	68,15	27,02	
Valor médio de água utilizada para arrefecimento (m <sup>3</sup> /GWh)	3427,22	126 409,12	2417,61	231 752,22	158 460,63	1238,80	61 022,50	

Tabela 6 - Valores médios dos anos 2002 a 2006 dos consumos de água em m<sup>3</sup> por GWh de energia eléctrica produzida e dos volumes utilizados para arrefecimento (Tejoenergia, 2006; Turbogás, 2006; EDP, 2002; EDP, 2003; EDP, 2004; EDP, 2005; EDP, 2006). [NOTA: Para a central do Ribatejo só se encontram disponíveis dados a partir do ano de 2004, inclusive]

Analisando a Tabela 6, verifica-se que as centrais a gás natural operando em ciclo combinado são, também, as que apresentam menores consumos de água por unidade de energia produzida. Salienta-se, ainda, a discrepância dos valores de água captada para arrefecimento para as centrais do Ribatejo e da Tapada do Outeiro, ambas a gás natural com tecnologia de ciclo combinado, sendo estas, no entanto, as que apresentam os consumos mais baixos.

Entre os diferentes tipos de centrais não foram encontradas, nos documentos consultados, diferenças substanciais entre os valores de emissão de parâmetros como a Carência Química de Oxigénio (CQO), Sólidos Suspensos Totais (SST), Óleos e Gorduras e Hidrocarbonetos, apresentando todas elas valores de emissão muito inferiores aos VLE (Tejoenergia, 2006; Turbogás, 2006; EDP, 2002; EDP, 2003; EDP, 2004; EDP, 2005; EDP, 2006).

As centrais a carvão e as centrais a fuel produzem escórias e cinzas, resultantes da queima do combustível. Apesar de a indústria betoneira absorver parte destas cinzas o encaminhamento deste tipo de resíduos é um problema com que as centrais a gás natural não se defrontam, uma vez que a combustão deste não gera resíduos (Tejoenergia, 2006; Turbogás, 2006; EDP, 2002; EDP, 2003; EDP, 2004; EDP, 2005; EDP, 2006).

## 6. CONCLUSÕES

Através da análise dos valores apresentados, foi possível confirmar que as centrais de ciclo combinado a gás natural provocam menores impactes ambientais do que as centrais a carvão e a fuel, pois as emissões gasosas por GWh produzido são menores. Estas centrais apresentam, também, menor consumo de água e não produzem resíduos resultantes do processo de combustão.

A central de Mortágua, a biomassa, emite apenas 37 t CO<sub>2</sub>/GWh, valor muito inferior ao encontrado para as centrais que utilizam combustíveis fósseis. Em contrapartida as emissões de NO<sub>x</sub> e partículas são muito superiores às das centrais de ciclo combinado (ver Figura 12), uma vez que nestas as emissões de partículas são quase inexistentes e as de óxidos de azoto são muito inferiores.

Da análise dos valores de emissão de CO<sub>2</sub> apresentados na Figura 11, conclui-se que o impacte ambiental de uma central a gás natural em ciclo combinado é significativamente inferior ao provocado pelas centrais a carvão e fuel existentes em Portugal e consideradas neste trabalho. Este facto é reforçado pelo reduzido consumo de água nas centrais a gás natural com tecnologia de ciclo combinado como a central do Ribatejo e da Tapada do Outeiro, quando comparado com os valores obtidos com as centrais que operam com outros combustíveis, conforme se pode verificar após análise da Tabela 6, apesar de existir uma diferença considerável entre os valores disponibilizados para centrais que operam com o mesmo tipo de combustível.

O aumento dos preços dos combustíveis fósseis e o aumento da preocupação com os aspectos ambientais, nomeadamente com as emissões de CO<sub>2</sub>, despertaram o interesse nas energias renováveis. Elas são fortemente promovidas pelas políticas Europeia e, consequentemente, Portuguesa. Este facto aparece bem demonstrado no aumento considerável da utilização de energia eólica. No entanto, num futuro próximo elas não são, ainda, uma alternativa viável para o abastecimento de uma Europa cada vez mais dependente da energia

eléctrica, pois, como já referido, ainda só representavam, em 2005, cerca de 3% do total de energia produzida na UE27 e apenas 4% em Portugal, do total de energia produzida. Assim, encontrar formas de produzir electricidade a custos reduzidos e com o menor impacte ambiental possível é o desafio que os países enfrentam para promoverem o seu crescimento económico. Deste modo a tecnologia de ciclo combinado utilizando gás natural apresenta-se como uma alternativa válida, conforme ficou demonstrado pelos valores de emissão e de rendimento obtidos pela central termoeléctrica de ciclo combinado da Tapada do Outeiro e do Ribatejo.

Como comentário final, realça-se o elevado consumo de água por GWh de energia produzida (Tabela 6) que a central de Mortágua, a biomassa, apresenta. Este facto por si só não permite tirar conclusões sobre se as centrais da biomassa serão menos eficientes do ponto de vista ambiental que as centrais a gás natural operando em ciclo combinado. No entanto, poderão existir situações em que o recurso a esta tecnologia se justificará, particularmente do ponto de vista ambiental, como seja a valorização energética de resíduos florestais muito utilizada nas indústrias de produção de pasta de papel.

## BIBLIOGRAFIA

- Beér, J.** (2006). High Efficiency Electric Power Generation: The Environmental Role. *Progress Energy Combustion Sci.*, 33, pp 107–134.
- EDP.** (2002). Relatórios de Sustentabilidade de 2002. [Em linha]. Disponível em <http://www.edp.pt/NR/rdonlyres/7CC8B871-9BA0-4A82-9E29-253457F88334/0/DLRelatAmb2002port.pdf> [Consultado em 27/04/2008].
- EDP.** (2003). Relatórios de Sustentabilidade de 2003. [Em linha]. Disponível em <http://www.edp.pt/NR/rdonlyres/22189F3A-4103-4837-AFC4-0DAAF37C84C2/0/SustentEspanhol2003.pdf> [Consultado em 27/04/2008].
- EDP.** (2004). Relatórios de Sustentabilidade de 2004. [Em linha]. Disponível em <http://www.edp.pt/NR/rdonlyres/2C2B3832-9AC9-4791-B18A-4CEEC52F6555/0/Sustentabilidade2004.pdf> [Consultado em 27/04/2008].
- EDP.** (2005). Relatórios de Sustentabilidade de 2005. [Em linha]. Disponível em [http://www.edp.pt/NR/rdonlyres/21931602-20A5-4016-ADAC-B79659590904/0/sustentabilidade\\_2005.pdf](http://www.edp.pt/NR/rdonlyres/21931602-20A5-4016-ADAC-B79659590904/0/sustentabilidade_2005.pdf) [Consultado em 27/04/2008].
- EDP.** (2006). Relatórios de Sustentabilidade de 2006. [Em linha]. Disponível em [http://www.edp.pt/EDPI/Internet/PT/Group/Sustainability/Reports/Ambiente\\_centrais.htm](http://www.edp.pt/EDPI/Internet/PT/Group/Sustainability/Reports/Ambiente_centrais.htm) [Consultado em 27/04/2008].
- ERSE.** Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos [Em linha]. Disponível em <http://www.erse.pt/vpt/entrada/aerse/> [Consultado em 27/04/2008].
- Eurelectric.** [Em linha]. Disponível em <http://www2.eurelectric.org/> [Consultado em 28/04/2008].
- Eurogás.** The European Union of the Natural Gas Industry. (2008). Natural Gas. The Energy for a Sustainable Future. [Em linha]. Disponível em <http://www.eurogas.org/uploaded/Final%20-%20Natural%20gas%20-%20the%20energy%20for%20a%20sustainable%20future%20-%20brochure.pdf> [Consultado em 28/04/2008].
- Europa Home Page.** [Em linha]. Disponível em <http://europa.eu/scadplus/leg/pt/lvb/l27047.htm> [Consultado em 27/04/2008].
- European Commission.** (2006). Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants. [Em linha]. Disponível em <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm> [Consultado em 27/04/2008].

- European Commission.** (2008). Energy Community. [Em linha]. Disponível em [http://ec.europa.eu/energy/electricity/south\\_east/doc/energy\\_community\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/energy/electricity/south_east/doc/energy_community_en.pdf) [Consultado em 27/04/2008].
- Eurostat.** [Em linha]. Disponível em [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page?\\_pageid=0,1136239,0\\_45571450&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page?_pageid=0,1136239,0_45571450&_dad=portal&_schema=PORTAL) [Consultado em 27/04/2008].
- Ferreira, P.** (2007). Electricity Power Planning in Portugal: The Role of Wind Energy. Escola de Engenharia. Universidade do Minho.
- Garcia, I., Zorraquino, J.** (2002). Energy and Environmental Optimization in Thermo-electrical Generating Processes - Application of a Carbon Dioxide Capture System. *Energy*, 27, pp 607–623.
- NaturalGas.org.** [Em linha]. Disponível em <http://www.naturalgas.org/index.asp> [Consultado em 25/05/2008].
- Ramos-Real, F., Moreno-Piquero, J. e Ramos-Henríquez, J.** (2006). The Effects of Introducing Natural Gas in the Canary Islands for Electricity Generation. *Energy Policy*, 35, pp. 3925–3935.
- Sun, J.** (2004). The Impact of Changing Energy Mix CO<sub>2</sub> - A Case from CO<sub>2</sub> Emissions in the OECD, 1971-2000. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 26(10), pp 915 - 926.
- Tejoenergia.** (2006). Sumário Ambiental 2005/2006. [Em linha]. Disponível em <http://www.tejoenergia.com/filecont/SUMARIO.pdf> [Consultado em 27/04/2008].
- Turbogás Home Page.** [Em linha]. Disponível em <http://www.turbogas.pt/main.php> [Consultado em 27/04/2008]
- Turbogás.** (2006). Sumário Ambiental 2006. [Em linha]. Disponível em [http://www.turbogas.pt/fotos/gca/sum\\_amb\\_pt\\_1176200875588312157461b66ab8360e.pdf](http://www.turbogas.pt/fotos/gca/sum_amb_pt_1176200875588312157461b66ab8360e.pdf) [Consultado em 27/04/2008].
- Turbogás.** (2007). Sumário Ambiental 2007. [Em linha]. Disponível em [http://www.turbogas.pt/fotos/gca/sum\\_amb\\_pt\\_1215678947565893644875c9e32b485.pdf](http://www.turbogas.pt/fotos/gca/sum_amb_pt_1215678947565893644875c9e32b485.pdf) [Consultado em 27/04/2008].
- Tzimas, E. e Peteves, S.** (2005). The Impact of Carbon Sequestration on the Production Cost of Electricity and Hydrogen from Coal and Natural-Gas Technologies in Europe in the Medium Term. *Energy*, 30, pp 2672–2689.