



COMPROMETIDA COM A PROMOÇÃO DO DESENVOLVIMENTO  
DA ENGENHARIA E DAS CIÊNCIAS MECÂNICAS

**VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING**  
**18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil**  
**August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil**

## **PRINCIPAIS ASPECTOS DAS ESTRATÉGIAS TECNOLÓGICAS PARA O SEQUESTRO DE CO<sub>2</sub>**

**Diovana Aparecida dos Santos Napoleão<sup>1</sup>, diovana@debas.eel.usp.br**

**José Antônio Perrella Balestieri<sup>2</sup>, perrella@feg.unesp.br**

<sup>1</sup>Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de Lorena – EEL/USP Campus I  
CP 116 CEP 12602810- Lorena – SP Tel.: (12) 3159-5089

<sup>2</sup>Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP Campus de Guaratinguetá  
Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333 CEP 12516410 Guaratinguetá - SP

**Resumo:** *A utilização de fontes de energia e de tecnologias modernas de uso final conduziram a mudanças qualitativas na vida humana, proporcionando tanto o aumento da produtividade econômica quanto do bem-estar da população. No entanto, mais do que o aumento do consumo de energia, são os serviços gerados pela energia que realmente conduzem a uma melhoria no cotidiano da população. Também o propósito para o qual os serviços energéticos são alocados é que determina, em última análise, o nível de desenvolvimento econômico atingido. O Brasil atualmente possui um sistema de energia relativamente “limpo”, contando significativamente com fontes de energia renováveis, como a biomassa e a hidroeletricidade. Não obstante, a questão importante é saber como os combustíveis fósseis são usados para satisfazer as necessidades de energia intensiva das indústrias no setor manufatureiro, do aumento da urbanização e do rápido crescimento no setor dos transportes rodoviários sem causar danos excessivos ao meio ambiente. Neste trabalho propõe-se avaliar tecnologias associadas à redução do CO<sub>2</sub> na atmosfera por meios físico e químicos, como também avaliar um estudo das tecnologias avançadas de geração energética livre de carbono, objetivando melhorar a eficiência de uso final e a redução das emissões de CO<sub>2</sub>. Como resultado final, pretende-se comparar os estudos de tecnologias voltadas para a captura de CO<sub>2</sub>, enfatizando suas vantagens e desvantagens e apresentando uma correlação entre as tecnologias empregadas que foram sinalizadas a uma ou duas décadas atrás.*

**Palavras-chave:** *Cogeração, Tecnologias avançadas de geração, Emissões de CO<sub>2</sub>*

### **1. INTRODUÇÃO**

Apesar das incertezas referentes à influência das emissões antropogênicas dos gases de efeito estufa (GEE) na mudança do clima no mundo, fortes evidências de correlação com o problema do aquecimento terrestre têm sido apresentadas, sendo enfatizadas pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2000). Mais recentemente o IPCC (2007), através do Quarto Relatório de Avaliação, reforça a necessidade de estabilização da concentração dos gases de efeito estufa, a um determinado nível, que previna a ocorrência de interferências perigosas sobre o sistema climático mundial. Acrescenta ainda, que apesar da definição do termo “interferências perigosas” ser objeto de julgamento de caráter social e político, as reduções das emissões são consideradas inevitáveis, para que se alcance a estabilização da concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera.

No século XX observou-se um aumento rápido da população e o crescimento explosivo do consumo de energia. Segundo IEA (International Energy Agency) está previsto um aumento na demanda de energia de 57% de 2004 a 2030. A Tabela 1 apresenta as comparações do uso de energia, consumo da população e taxa de energia per capita entre 1900 e 2001 (Song, 2006). Atualmente, 85% da demanda de energia mundial é gerada através de combustíveis fósseis, sendo estes responsáveis por 40% das emissões de CO<sub>2</sub>, considerando-se o carvão como fonte principal destas emissões (Carapelluci e Milazzo, 2003). As questões ambientais associadas às emissões dos poluentes provenientes de combustíveis fósseis apresentam problemas globais, tais como, toxicidade do ar e os gases de efeito estufa. Com base nestas considerações a emissão de CO<sub>2</sub> proveniente da atividade humana estava relacionada a 7 Gt/a em 1990, considerando-se o processo de combustão a partir de combustíveis fósseis em plantas industriais, o desflorestamento e a desertificação (Yamasaki, 2003).

Estima-se que em 2020, o consumo de energia no mundo seja 75% maior do que em 1990, o que implica em mudanças urgentes nas políticas energéticas, ambientais e/ou tecnológicas. Evidências científicas indicam que as concentrações atmosféricas de CO<sub>2</sub> estão aproximadamente 16% acima dos níveis contabilizados em 1990. A diminuição dos impactos ambientais devido às mudanças climáticas requer uma redução das emissões de CO<sub>2</sub>

principalmente no setor de energia, principal fonte de emissão de gases de efeito estufa. Muitos países estão adotando medidas tecnológicas preventivas com o objetivo de reduzir ou minimizar o crescimento da emissão de gases poluentes.

Tabela 1- Uso de energia, consumo da população e taxa de energia per capita entre 1900 e 2001 (Song, 2006)

Fonte de energia	1900		2001	
	MTOE <sup>a</sup>	% ou Unidade	MTOE <sup>a</sup>	% ou Unidade
Carvão	501	55	2,395	24
Petróleo	18	2	3,913	39
Gás natural	9	1	2,328	23
Energia Nuclear	0	0	662	6
Energias renováveis <sup>b</sup>	383	42	750	8
Total	911	100%	1004,8	100%
População	1762	milhões	6153	milhões
Taxa per capita e uso	0,517	TOE <sup>a</sup>	1,633	TOE
Emissão global de CO <sub>2</sub>	534	MMTCE <sup>a</sup>	6607	MMTCE
Emissão per capita de CO <sub>2</sub>	0,30	MTCE	1,07	MTCE
CO <sub>2</sub> atmosférico	295	ppmv <sup>a</sup>	371	ppmv
Estimativa de vida	47,3	Anos	77,2	Anos

<sup>a</sup> TOE: toneladas de óleo equivalentes; MTOE: milhões de toneladas de óleo equivalentes; MMTCE: milhões de toneladas métricas de carbono equivalente; MTCE: toneladas métricas de carbono equivalente; ppmv: parte por milhão por volume. <sup>b</sup> incluindo energia hidrelétrica, biomassa, geotérmica, solar e eólica

Existem muitas tecnologias que poderiam ser utilizadas para a redução dos níveis de CO<sub>2</sub> na atmosfera, desde a redução do consumo de energia, aumento da eficiência dos equipamentos para conversão e utilização de energia, substituição dos combustíveis por outros com menor índice de carbono (por exemplo, gás natural ao invés de carvão) até o uso de fontes de energia renováveis e nuclear ou a captura e o armazenamento de CO<sub>2</sub> gerado a partir de combustíveis fósseis.

A captura e o armazenamento de CO<sub>2</sub> é uma das maneiras encontradas para reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>, sendo, recentemente considerada uma tecnologia potencial de aplicação. Isto se deve ao fato de que aproximadamente 85% das necessidades de energia comerciais do mundo são supridas por combustíveis fósseis. De acordo com Steeneveldt et al. (2006) existem várias linhas de pesquisas descritas na literatura que são direcionadas para a tecnologia de captura e armazenamento de CO<sub>2</sub>, conforme apresentadas na figura 1.

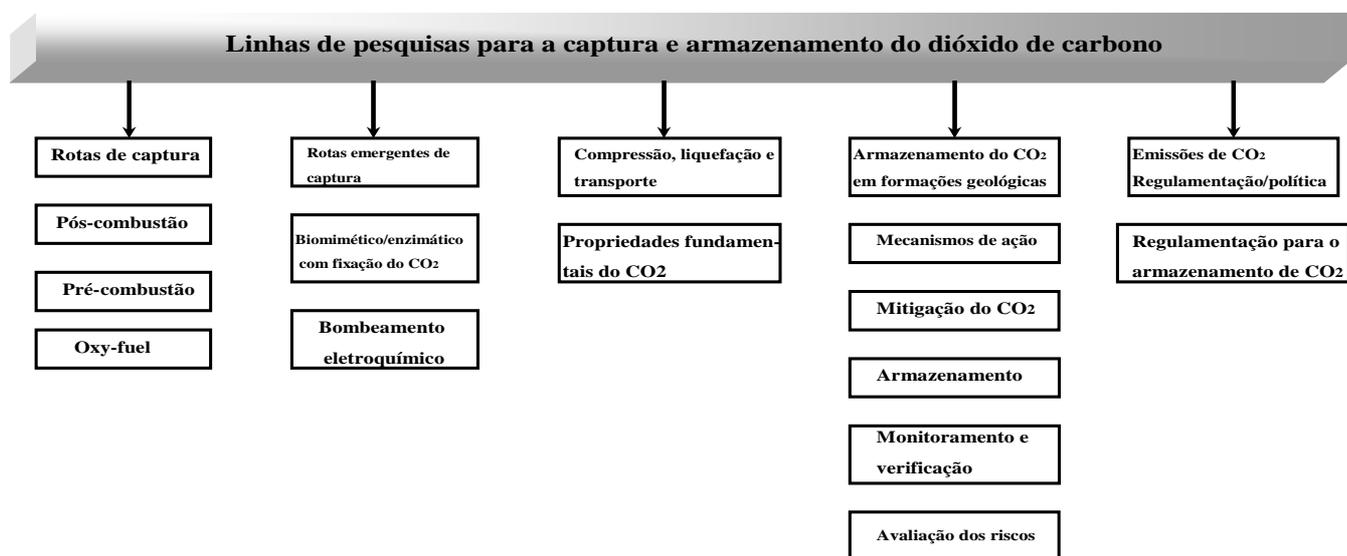


Figura 1- Principais linhas de pesquisas para a captura e armazenamento do CO<sub>2</sub> (Steeneveldt et al.,2006)

A tecnologia de captura e armazenamento do CO<sub>2</sub> é constituída basicamente por três etapas distintas: inicialmente captura-se o CO<sub>2</sub> de correntes gasosas emitidas durante a produção de energia, em processos industriais ou através do processamento de combustíveis. Posteriormente, é realizado o transporta do CO<sub>2</sub> capturado através de tubovias ou tanques, armazenando-o em lençóis profundos de águas salinas, jazidas esgotadas de petróleo e gás ou minas de carvão.

Um dos maiores projetos de captura e separação de CO<sub>2</sub> no mundo se encontra na Europa, denominado Castor, com efetiva participação de importantes companhias operadoras de petróleo (Statoil, Gaz de France), empresas de energia, institutos de pesquisas e fornecedores de equipamentos de processos industriais. Este projeto tem por finalidade reduzir o custo de captura do CO<sub>2</sub> a uma faixa não superior entre 20 a 30€/t. A capacidade de captura do CO<sub>2</sub> em uma planta deste projeto é correspondente a 1 t/h, a partir da combustão do carvão e o armazenamento geológico (500 x 10<sup>3</sup> t/ano) em campo de petróleo marítimo (Maia, 2007). De acordo com a revisão bibliográfica realizada, Xavier (2004) apresenta as possíveis aplicações para o CO<sub>2</sub> capturado a partir do gás de combustão, com destaque para o armazenamento em reservatórios exauridos de óleo e gás natural, minas de carvão, aquíferos salinos, dentre outros. No caso da injeção de CO<sub>2</sub> em reservatórios de óleo e gás, pode-se aumentar a recuperação de hidrocarbonetos existentes no mesmo. Simmonds (2003) apresenta o estudo da British Petroleum (BP) quanto à separação e captura do CO<sub>2</sub>, para fins de recuperação de petróleo no Alasca (Estados Unidos). O resultado obtido mostra que apesar do grande porte das instalações (captura de 1,7 x 10<sup>6</sup> t/ano), o projeto é viável e disponibiliza a melhor tecnologia na atualidade (processo químico de remoção do CO<sub>2</sub> com uso de aminas).

Neste trabalho, são apresentadas as tecnologias com baixa emissão de carbono e as diferentes alternativas de captura e separação do CO<sub>2</sub>, evidenciando as propostas comercialmente disponíveis e aquelas que apresentam potencial adequado de aplicabilidade em médio e longo prazo.

## 2- TECNOLOGIAS DE CAPTURA, SEPARAÇÃO DE CO<sub>2</sub> PARA CENTRAIS GERADORAS DE ENERGIA A PARTIR DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

O conceito de captura e armazenamento de CO<sub>2</sub>, ou CCS, consiste na remoção do dióxido de carbono das emissões resultantes de fontes estacionárias industriais tais como centrais termoeletricas, cimenteiras, siderúrgicas (Gupta et al., 2003). De acordo com Lyngfelt (2001), a captura de CO<sub>2</sub> pode ser aplicada a todos os processos industriais que utilizam a queima de combustíveis fósseis (carvão, gás e petróleo) e de biomassa. Por conseguinte, pode-se afirmar que se trata de um processo que permite o uso continuado de combustíveis fósseis ao mesmo tempo em que limita as emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera até que uma economia baseada no suprimento de energia, a partir de hidrogênio e de fontes renováveis, esteja suficientemente desenvolvida.

Em um contexto geral, entre as indústrias que emitem CO<sub>2</sub> para a atmosfera, as centrais elétricas que utilizam combustíveis fósseis para a produção de energia apresentam os maiores índices de emissões em torno de 33 a 40% (Carapelluci e Milazzo, 2003; Stewart e Hessami, 2005). De acordo com Damen et al. (2006) e Yang et al. (2008) existem muitas tecnologias concebíveis com relação à captura de CO<sub>2</sub> e a conversão de energia (em alguns processos a captura de CO<sub>2</sub> está associada à tecnologia de conversão), tornando-se necessária uma classificação para o processo de captura do CO<sub>2</sub>. A classificação das estratégias de captura do CO<sub>2</sub> gerado a partir de combustíveis fósseis primários (carvão, gás natural ou óleo), biomassa ou uma mistura de combustíveis, pode ser identificada:

- processo de pós-combustão ou pós-tratamento
- processo de pré-combustão ou pré-tratamento
- combustão oxy-fuel
- combustão loop químico (chemical looping)

### 2.1- Processo de pós-combustão ou pós-tratamento

Na tecnologia de pós-combustão o CO<sub>2</sub> é separado do gás proveniente da mistura de NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub>, o processo é ilustrado na figura 2. O processo de absorção química pode estar associado a uma das etapas da tecnologia de captura de CO<sub>2</sub> (pós-combustão), com a utilização de um absorvente, como por exemplo, o monoetanolamina (MEA). A utilização desta técnica foi amplamente difundida na indústria de gás natural por mais de 60 anos. Outra vantagem a ser destacada nesta técnica é que durante o processo de pós combustão ocorre a produção CO<sub>2</sub> puro.

De acordo com os dados do National Energy Technology Laboratory (NETL) estimou-se que em 2000 a implementação deste processo aumentou o custo da produção de eletricidade em torno de 70% (Elwell e Grant, 2006). Uma alternativa para contornar o aumento do custo da eletricidade através do processo de pós-combustão seria o emprego da tecnologia de membrana para a etapa inicial do processo de separação do gás.

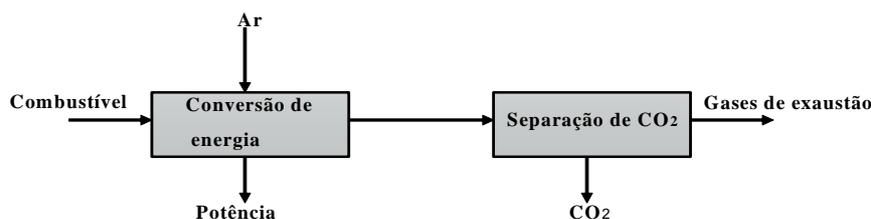


Figura 2- Processo de pós-combustão (Feron e Hendriks, 2005)

## 2.2- Processo de pré-combustão ou pré-tratamento

No processo de pré-combustão, os combustíveis são inicialmente convertidos a partir da mistura de CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub> (gás de síntese) que é produzida via reforma por vapor, oxidação parcial do gás natural ou gaseificação do carvão e subsequentemente a reação catalítica de shift, o combustível fica rico em hidrogênio sendo queimado com ar depois da separação do H<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> (Yang et al., 2008). A mistura resultante de hidrogênio e CO<sub>2</sub> pode ser separada em duas linhas antes da combustão: uma de CO<sub>2</sub> e outra de hidrogênio. Enquanto o CO<sub>2</sub> pode ser estocado, o hidrogênio pode ser usado em um processo de combustão para gerar energia e/ou calor. Embora os passos iniciais sejam mais complicados e mais caros do que o processo de pós-combustão, a alta concentração de CO<sub>2</sub> produzida no reator de shift e a alta pressão encontrada nestas aplicações são mais favoráveis para a separação do CO<sub>2</sub>. A figura 3 identifica a tecnologia do processo de pré-combustão.

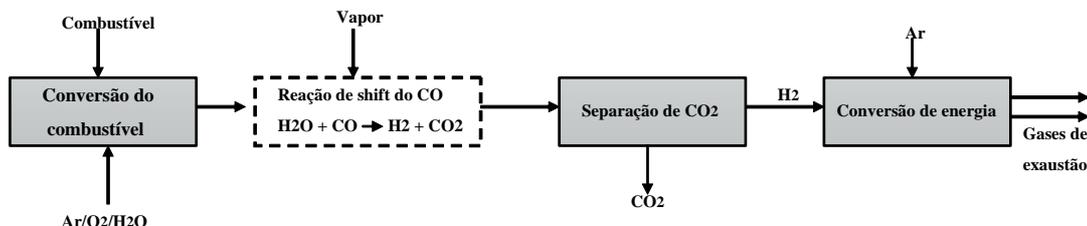


Figura 3- Processo de pré-combustão (Feron e Hendriks, 2005)

Diversos métodos podem ser usados na captura do CO<sub>2</sub> (pré-combustão), sendo uma das opções correspondentes ao processo de absorção, no qual o solvente pode ser químico (MEA) ou físico. A técnica da absorção física corresponde a uma tecnologia consolidada que foi implantada na Plant Great Plains Synfuels no norte de Dakota (U.S.) por aproximadamente 20 anos (Elwell e Grant, 2006). Dados apresentados pelo Department of Energy (DOE) estimou-se que em 2000 a utilização da tecnologia de captura com pré-combustão elevou o custo da produção de eletricidade em torno de 25%, sendo que o objetivo a longo prazo é reduzir essa taxa de custo para 10%.

## 2.3- Combustão loop químico (chemical looping)

De acordo com Hossain e Lasa (2008), Yang et al. (2008) a combustão loop químico (chemical looping) pode ser considerada um novo processo de captura de CO<sub>2</sub>, baseada na queima do combustível por meio de dois reatores separados a serem considerados:

- reator com ar
- reator de combustível

A figura 4 ilustra o processo de combustão loop químico (chemical looping)

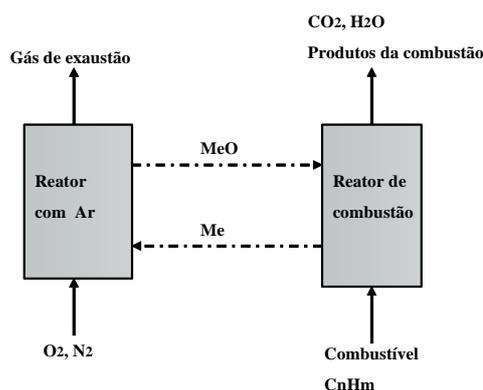


Figura 4- Esquema da combustão loop químico (Rydén e Lyngfelt, 2006)

O oxigênio proveniente do reator com ar circula no processo com pequenas partículas de óxido de metal (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, NiO, CuO ou Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) e posteriormente é oxidado de acordo com a seguinte reação:



No reator com combustível o óxido de metal é reduzido pelo combustível, o qual é oxidado produzindo CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O de acordo com a reação:



Neste processo a energia requerida pelos reatores depende das reações 1 e 2, bem como da temperatura do meio reacional. A reação expressa pela equação 1 é exotérmica e pela 2 endotérmica.

Algumas vantagens podem ser atribuídas a esse processo quando comparado com a combustão convencional, sendo a seguir destacadas:

- o gás de exaustão proveniente do reator com ar é inofensivo à atmosfera, pois é constituído de  $\text{N}_2$ ;
- o gás de exaustão do reator com combustível consiste em  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ , onde a separação do  $\text{CO}_2$  pode ser realizada através do condensador, indicando desta forma uma redução da emissão de  $\text{CO}_2$  com mínima penalidade energética.

## 2.4- Combustão Oxy-fuel

No processo da combustão oxy-fuel o gás natural é queimado em atmosfera de oxigênio misturado com  $\text{CO}_2$  reciclado e/ou vapor, resultando num fluxo concentrado de  $\text{CO}_2$  e vapor ( $\text{H}_2\text{O}_{(v)}$ ), que pode ser separado por condensação. Ao invés de separar o  $\text{CO}_2$  dos gases de exaustão, tornando-o composto basicamente por nitrogênio, o  $\text{N}_2$  é removido do ar de combustão por uma unidade de separação de ar (ASU, air separation unit), fato pelo qual Feron (2006) a ele se refere como desnitrogenação no processo de geração de energia. Embora existam sistemas comerciais disponíveis para a separação do oxigênio em grande escala, o processo oxy-fuel combustion está atualmente em fase de demonstração. Pesquisas estão sendo realizadas com base nesta tecnologia de captura objetivando aumentar a eficiência do processo e reduzir os custos envolvidos nas etapas do processo (Yang et al., 2008). A figura 5 ilustra o processo de combustão oxy-fuel.

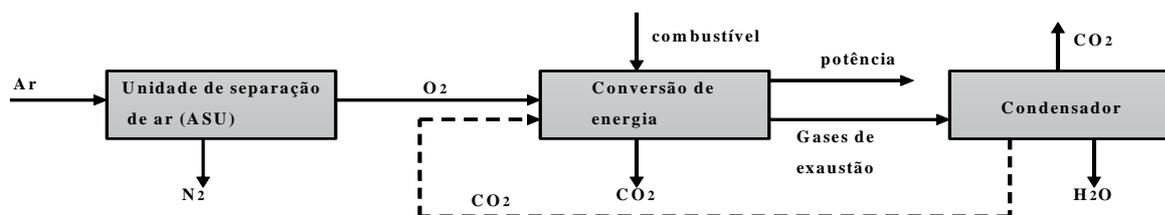


Figura 5- Processo oxy-fuel, (Feron e Hendriks, 2005)

As alternativas da tecnologia oxy-fuel são apresentadas na tabela 2 evidenciando as eficiências de cada ciclo para a geração de energia.

Tabela 2 – Comparações das principais alternativas da tecnologia oxy-fuel (Steenveeldt et al., 2006)

Tecnologia de geração de energia	Principais aspectos	Órgãos divulgadores da tecnologia	Fluido de trabalho	Eficiência do ciclo (Kvamsdal et al., 2005a)	Desenvolvimento técnico
AZEP <sup>a</sup>	Membranas para separação integrada de $\text{O}_2/\text{N}_2$ com combustor e turbinas a gás; (> 45 MW)	Consortium: Norsk Hydro Alstom, Siemens, Borsig, Ulster Univ., PSI, Lund Technical Univ., Areva	Ar	51	Membrana (fluxo de $\text{O}_2$ , estabilidade e potência mecânica) laque cerâmico com alta temperatura, alta temperatura, trocador de calor, combustor integrado a turbina e reator
GRAZ <sup>b</sup>	3 turbinas (2 turbinas operando com alta pressão e 1 com baixa pressão), ciclo à vapor, recirculação do $\text{CO}_2$ e vapor	Prof. Jericha from Technical University of Graz	77% $\text{H}_2\text{O}$ 23% $\text{CO}_2$	43	Sistema integrado vapor/turbina a gás e gases não condensáveis
WATER <sup>c</sup>	2 turbinas (operando com alta e baixa pressão), 2 combustores, recuperação da água aquecida	Sistemas de Energia Limpa - Clean Energy Systems (CES)	90% $\text{H}_2\text{O}$ 10% $\text{CO}_2$ a 80°C	44	Sistema integrado vapor/turbina a gás e gases não condensáveis
CHEMICAL LOOPING COMBUSTION	A combustão ocorre através de uma reação de redução (oxigênio é reduzido a óxido metálico)	Consortium in CCP: BP, Alstom Boilers, Chalmers University, CSIC (Spain), ENI	Ar	51	Metal Attrition Fine Dust para turbinas. Turbinas integrada com reator

<sup>a</sup>AZEP (advanced zero emission power plants) – centrais térmicas de emissão zero, envolve a integração da membrana cerâmica e uma câmara de combustão que produz  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$  que são expandidos numa turbina a vapor.

<sup>b</sup>GRAZ – o ciclo Graz consiste em uma câmara de combustão operando a alta pressão (40 bar), que queima gás natural, oxigênio, CO<sub>2</sub> e vapor. No condensador a mistura de CO<sub>2</sub> e água se separa, a água é vaporizada e superaquecida, enquanto o CO<sub>2</sub> é comprimido.

<sup>c</sup>Clean Energy Systems (CES) Sistemas de Energia Limpa – o processo é um variante entre o ciclo da água e o ciclo Graz. A câmara de combustão queima uma mistura a alta pressão água/vapor, oxigênio e gás natural ou gás de síntese. O processo de combustão é executado em condições estequiométricas para a produção de vapor e CO<sub>2</sub> a alta temperatura e pressão na turbina da central térmica.

## 2.5- Membranas poliméricas

Esse processo se baseia na diferença de taxas de difusão entre o oxigênio e o nitrogênio através de uma membrana que separa fluxos de alta e de baixa pressão. Devido à menor dimensão da molécula de oxigênio, muitas membranas são mais permeáveis a este do que ao nitrogênio. Sistemas de membrana são geralmente limitados à produção de ar enriquecido de oxigênio, com 25 a 50% deste na composição. As membranas apresentam um baixo custo no processo de separação do gás, permitem o uso de temperaturas mais baixas, levando a uma redução no consumo de energia, responsável pela maior parcela nos custos de produção. Em plantas industriais a temperatura elevada do gás provocará uma rápida destruição da membrana, havendo a necessidade de redução desta temperatura (abaixo de 100°C) antes do processo de separação através da membrana (Yang et al., 2008).

Diversas pesquisas relacionadas ao emprego de membranas para a separação de gás incluem o estudo de vários polímeros a serem destacados: poliacetileno, polianilina, poli(arileno éter)s, poliarilatos, policarbonatos, polieteramidas, poli(etileno óxido), poliamidas, poli(fenileno éter), poli(pyrrolone)s e polissulfonados. A figura 6 apresenta as estruturas moleculares de alguns polímeros utilizados para a confecção das membranas poliméricas.

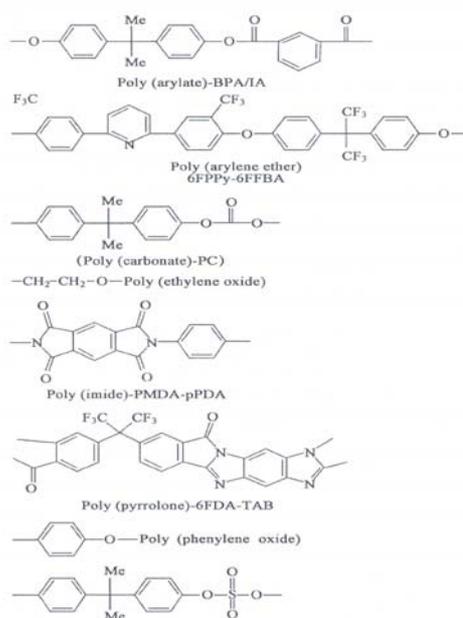


Figura 6- Estruturas poliméricas usadas na tecnologia de captura de CO<sub>2</sub> (Powell e Qiao, 2006)

## 3- RESULTADOS

No desenvolvimento deste trabalho foram apresentadas tecnologias para a captura e o armazenamento de CO<sub>2</sub>, consideradas de potencial aplicação em centrais geradoras de energia. Isto se deve ao fato da grande porcentagem da demanda de energia mundial ser suprida por combustíveis fósseis. Existem várias linhas de pesquisas atualmente, direcionadas para as tecnologias de captura e armazenamento de CO<sub>2</sub>, visando reduzir os impactos ambientais causados pelo CO<sub>2</sub>, redução dos custos das plantas acopladas a estas tecnologias, redução dos custos de eletricidade e aumento da eficiência dos processos. A figura 7 apresenta as principais opções das tecnologias disponíveis para a captura de CO<sub>2</sub>.

Baseado na avaliação das tecnologias disponíveis para a captura de CO<sub>2</sub> das centrais geradoras de energia podem ser destacadas as seguintes conclusões:

- atualmente existem três etapas preliminares disponíveis para a captura do CO<sub>2</sub>, a tecnologia de pós-combustão, oxy-fuel e a pré-combustão;
- estas etapas contemplam várias opções tecnológicas em estágios de desenvolvimento, visando a otimização dos processos;
- os grandes desafios para estes cenários constam na avaliação do potencial de aplicação e na comparação de tecnologias existentes no mercado.



## 5- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARESTA, M., QUARANTA, E., TOMMASI, I. **Projects for the utilization of carbon dioxide**. Energy Convers. Mgmt, v. 35, n. 5-8, p. 495-504, 1992.
- CARAPPELLUCI R., MILAZZO A. **Membrane systems for CO<sub>2</sub> capture and their integration with gas turbine plants**. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part A: Journal of Power and Energy, v. 217, p. 505-517, 2003.
- DAMEN K., TROOST M. VAN, FAAIJ A., TURKENBURG W. **A comparison of electricity and hydrogen production system with CO<sub>2</sub> capture and storage**. Part A: Review and selection of promising conversion and capture technologies. Progress in Energy and Combustion Science v. 32, p. 215-246, 2006.
- ELWELL L. C., GRANT W. S. Technology options for capturing CO<sub>2</sub>-Special Reports. Power 150(8), 2006.
- FERON P. H. M., HENDRIKS C. A. **CO<sub>2</sub> capture process principles and costs**. Oil and Gas Science and Technology Rev, IPF 60(3), p. 451-459, 2005.
- GUPTA, COYLE I., THAMBIMUTHU K. **CO<sub>2</sub> capture technologies and opportunities in Canadá**. In: 1<sup>st</sup> Canadian CC&S Technologies Roadmap Workshop, Canadá, 2003.
- HOSSAIN M. M., LASA H. I. **Chemical-looping combustion (CLC) for inherent CO<sub>2</sub> separations – a review**. Chemical Engineering Science v.63, p. 4433-4451, 2008.
- INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Mudança no clima 1995: a ciência da mudança do clima: sumário para formuladores de políticas, contribuições do grupo de Trabalho I ao Segundo Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre a mudança do clima**. Brasília: IPCC: MCT: PNUD, 2000. 56p.
- MAIA, J. L. P. **Separação e captura do dióxido de carbono em instalações marítimas de produção de petróleo**. 2007. 216p. Tese (Doutorado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo- São Paulo.
- POWELL, C. E., QIAO, G. G. **Polimeric CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> gas separation membranes for the capture of carbon dioxide from power plant flue gases**. Journal of Membrane Science, v. 279, p. 1-49, 2006.
- SIMMONDS, M. **Amine based CO<sub>2</sub> capture from gas turbine**. In: Annual Conference on carbon sequestration, United Kingdom, p. 10, 2003.
- SONG, C. **Global challenges and strategies for control, conversion and utilization of CO<sub>2</sub> for sustainable development involving energy, catalysis, adsorption and chemical processing**. Catalysis Today, v. 115, p. 2-32, 2006.
- STEENEVELDT, R., BERGER, B., TORP, T. A. **CO<sub>2</sub> capture and storage. Closing the Knowing – Doing Gap**. Trans IChemE, Part A, Chemical Engineering Research and Design, 84(A9), p. 739-763, 2006.
- STEWART, C., HESSAMI, M. **A study of methods of carbon dioxide capture and sequestration-the sustainability of a photosynthetic bioreactor approach**. Energy Conversion and Management , v. 46, p. 403-420, 2005.
- XAVIER, E. E. **Termeletricidade no Brasil: proposta metodológica para inventário das emissões aéreas e sua aplicação para o caso do CO<sub>2</sub>**. 2004. 335f. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ.
- YAMASAKI, A. **An overview of CO<sub>2</sub> mitigation options for global warming – Emphasizing CO<sub>2</sub> sequestration options**. Journal of Chemical Engineering of Japan, 36(4), p. 361-375, 2003.
- YANG, H., XU, Z., FAN, M., GUPTA, R., SLIMANE, R. B., BLAND, A. E., WRIGHT, I. **Progress in carbon dioxide separation and capture: A review**. Journal of Environmental Sciences, v. 20, p. 14-27, 2008.

## 6- DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

### MAIN ASPECTS OF TECHNOLOGICAL STRATEGIES FOR THE CO<sub>2</sub> ISOLATION

**Diovana Aparecida dos Santos Napoleão<sup>1</sup>, diovana@debas.eel.usp.br**

**José Antônio Perrella Balestieri<sup>2</sup>, perrella@feg.unesp.br**

<sup>1</sup>University of São Paulo – School of Engineering of Lorena – EEL-USP Campus I

CP 116 CEP 12602810 Lorena – SP Tel.: (12) 3159-5089

Julio de Mesquita Filho São Paulo State University – UNESP Campus de Guaratinguetá

Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 33 CEP 12516410 Guaratinguetá - SP

The utilization of energy resources and modern technologies of final usage led to qualitative changes in the human life, providing as much as the economic productivity rise as the population's welfare. However, more than the increase of the energy consumption, the jobs generated buy the energy that really leads to an improvement in the population's daily routine. Also, the purpose for which the energetic jobs are allocated is what determines, in last analysis, the level of economic development reached. Brazil nowadays has a "clean" energy system, counting significantly on renewable energy resources, as the biomass and the hydroelectricity. Nevertheless, the important issue is to know how the fossil combustibles are used to satisfy the needs of the intensive energy of the industries in the manufacturing sector, the urbanization increase and the fast growth in the highway transportation sector without causing excessive damages to the environment. This paper proposes to evaluate the technologies associated with the CO<sub>2</sub> reduction in the atmosphere through physical and chemical means, as well as evaluating a study of the advanced technologies of free carbon energetic generation, intending to improve the efficiency of the final usage and the reduction of the CO<sub>2</sub> emissions. As a final result, it is intended to compare the studies of technologies pointed to the CO<sub>2</sub> capture, emphasizing its advantages and disadvantages and introducing a correlation among the technologies applied and which were signaled one or two decades ago.

Key-words: Cogeneration; Advanced generation technologies; CO<sub>2</sub> emissions





**VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
*VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING*  
**18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil**  
*August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil*

|