

CONTEXTUALIZANDO A CAPTURA DE GÁS CARBÔNICO POR AMINAS COM ALUNOS DE NÍVEL MÉDIO/TÉCNICO DA REDE FEDERAL DE ENSINO TECNOLÓGICO

Roseantony Rodrigues Bouhid¹ (PQ), *Jussara Lopes de Miranda² (PQ), Luiza C Moura²(PQ), Cláudia Ferreira da Silva³ (PQ), (PQ), Daniella Perrotta² (PG), Marcelo Kauffman¹ (TC), Raíssa Carvalho Martins¹ (TC)

1- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro IFERJ - Campus Maracanã, 2- Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 3- IFERJ- Campus Paracambi

Palavras-Chave: captura de CO₂, aquecimento global

Resumo:

A diminuição das emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE), como o dióxido de carbono (CO₂), tem sido apontado como um dos maiores desafios para a humanidade neste século. Embora o CO₂ faça parte do ciclo natural do carbono, a utilização exacerbada de combustíveis fósseis ocasionou a elevação da sua quantidade na atmosfera, contribuindo significativamente o aquecimento global. Dentre as diversas medidas para a mitigação do aquecimento global, os processos para a captura e armazenamento de CO₂ surgem como propostas que podem e estão sendo realizadas experimentalmente. O objetivo deste trabalho foi contextualizar o aquecimento global e os processos de captura de CO₂ com aminas no ensino de Química, promovendo a associação entre as técnicas industriais úteis à captura deste gás e a aprendizagem e formação dos alunos de nível médio da rede tecnológica de ensino federal. Foi realizado um trabalho de transposição didática da técnica utilizando-se recursos como laboratórios de química, maquetes e kits de demonstração, explorando conceitos como reações químicas, acidez e basicidade, assim como, análises químicas. Foi possível, assim, contextualizarmos assuntos teóricos de ciências, bem como suscitarmos o questionamento da intervenção humana no ambiente.

INTRODUÇÃO

O ensino científico restrito à sala de aula e aos livros textos, desvinculado do mundo cotidiano e das novidades e inovações tecnológicas, pode desfigurar a ciência, que passa a não mais explicar os fenômenos vividos pelos indivíduos no seu dia a dia até se transformar num conhecimento restrito ao contexto escolar. Para levar para as salas de aula de química alguns assuntos relacionados aos desafios globais do planeta, como aquecimento global, camada de ozônio, acidificação dos oceanos, mudanças climáticas, escassez de água, fome e pobreza, é necessário que ocorra uma mudança metodológica no ensino.

O conhecimento científico ensinado na escola colabora para a interpretação do mundo vivido fora do ambiente escolar. A educação científica deve enfatizar o conhecimento construído pela ciência, mas de forma contextualizada, sem se perder da realidade, permitindo que o aluno, a partir do entendimento do processo real, entendido através das teorias atualizadas, do processo de construção do conhecimento e relacionando-se com os conhecimentos adquiridos através de suas próprias experiências de vida, possa tecer sua própria opinião e crítica, entendendo os limites e as reais motivações que geram as novas descobertas, desmistificando a ciência e o cientista e superando o senso comum (PEREZ et al,2001).

A transformação dos saberes científicos em escolares não pode se dar através da simplificação ou da fragmentação dos dados. Para que o conhecimento da escola não se torne ultrapassado e próximo ao senso comum, ampliando a discussão, sem concentrá-la apenas nas relações professor-aluno é preciso discutir o “saber” ensinado na escola e se ele se aproxima do “saber sábio” produzido nas academias e legitimado pela comunidade científica (Chevallard, 1991). Segundo Rovira e Sanmarti (1998, p.1)

o desenvolvimento de uma “ciência escolar”, que apresenta procedimentos metodológicos para se estabelecer, deve se iniciar por uma seleção de conteúdos e um processo de construção de modelos teóricos que exige a utilização de estratégias de ensino e de “instrumentos facilitadores de ensino”. Para Marandino (2004, p.105) “os conceitos de transposição didática e de recontextualização se aproximam, pois dizem respeito às transformações que o saber sábio ou o discurso científico sofrem ao passar para os contextos de ensino”, mas para a autora o conceito de transposição didática está atrelado ao conhecimento produzido pela ciência.

Os alunos de um curso técnico de uma escola pública federal do Rio de Janeiro foram escolhidos para um trabalho de transposição didática, com desenvolvimento de um trabalho experimental e teórico, onde o conhecimento científico foi trabalhado de forma que o conteúdo, sem simplificações generalistas, pudesse ser compreendido por alunos e professores de diferentes níveis de escolaridade através da metodologia de projetos.

A proposta da metodologia de projetos é desenvolver conteúdos através da pesquisa dos próprios alunos, ampliando os conceitos, respeitando o tempo dos alunos, rompendo com a estrutura vigente, onde o professor transmite o conhecimento de conteúdos fragmentados e descontextualizados e transformando os alunos em produtores de conhecimento (BARBOSA, CONTIJO E SANTOS, 2004).

Este trabalho é o relato da experiência ocorrida cujo tema estudado foi captura de carbono por aminas alcooladas em um projeto desenvolvido por uma parceria entre professores e alunos da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e professores e alunos do Curso Técnico de Meio Ambiente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ) com o objetivo de estudar alternativas viáveis para a diminuição da emissão de gás carbônico na atmosfera e a transposição do objeto de estudo para fins didáticos, tendo sido iniciado em 2007, com a elaboração e proposição da utilização de um kit de captura de CO₂ (MARTINS ET AL, 2007; MARTINS E MIRANDA, 2007)

O material produzido pelos dez alunos sob supervisão das autoras foi apresentado pelos alunos participantes em um evento acadêmico promovido pelo IFRJ para um público interno e externo que contava com professores e alunos dos diversos segmentos de ensino, incluindo do nível fundamental de escolas da rede pública municipal e estadual do Rio de Janeiro .

Buscou-se apresentar a pesquisa realizada de forma didática com o uso de ferramentas como maquetes, pôsteres e kits experimentais. Os assuntos tratados incluíam: efeito estufa; aquecimento global; emissões de gás carbônico e ciclo do carbono; captura do gás carbônico por aminas alcooladas e dessorção do gás carbônico em locais geológicos de armazenamento.

EFEITO ESTUFA:

O Efeito Estufa é um efeito natural de retenção de calor na atmosfera por uma camada de gases (GEE) que envolve o planeta (Ribeiro e Real, 2006). Os GEE têm a capacidade de absorver a energia no infravermelho térmico, impedindo que toda energia emitida pela superfície terrestre escape para o espaço. A luz infravermelha absorvida pelos GEE é reemitida aleatoriamente em todas as direções, inclusive de volta a superfície, ocasionando um aquecimento adicional da superfície e do ar. Antes da expansão industrial, o ciclo natural do carbono era suficiente para a manutenção do equilíbrio desses gases, mas a utilização de máquinas movidas à vapor e eletricidade implicaram na utilização de energia em larga escala.

No início do século XX, o petróleo foi descoberto como fonte de energia, tornando-se uma das principais fontes energéticas extraídas da natureza. O petróleo, o gás natural e o carvão são formados de material de origem vegetal e como combustíveis fósseis, ao serem queimados para a geração de energia, produzem gases e outros poluentes. Dentre os produtos da reação de combustão podemos destacar o dióxido de carbono (CO_2) devido sua participação no efeito estufa. Segundo dados do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), desde a Revolução Industrial a taxa de emissão de CO_2 subiu consideravelmente e é proporcional ao uso de energia comercial proveniente da queima de combustíveis fósseis. As elevadas concentrações do dióxido de carbono na atmosfera, bem como demais GEE, têm impactado o meio ambiente de forma negativa, causando mudanças climáticas como o aquecimento global, tempestades e atividades meteorológicas descontroladas.

Neste contexto torna-se emergente a adoção de atitudes que resultem na diminuição desses gases na atmosfera. Como as indústrias e plantas de potência são aquelas que contribuem em grande escala para a liberação desses gases, é evidente a necessidade de adaptações ao final das suas linhas de processo a fim de proporcionarem impactos menos drásticos.

Diferentes técnicas poderiam ser utilizadas para a redução dos níveis de CO_2 na atmosfera: redução do consumo de energia; aumento da eficiência dos equipamentos para conversão; substituição dos combustíveis por outros com menor conteúdo de carbono ou a captura e armazenamento de CO_2 .

Embora a discussão por um consumo consciente da energia seja necessária, ela sozinha não resolveria o problema, devido à sua dimensão. A substituição dos combustíveis por outros mais saudáveis ao ambiente tem se tornado possível através de desenvolvimento de novas tecnologias, mas mesmo que todas as fontes de energia fósseis fossem substituídas pelas renováveis, seria necessário um tempo para a substituição de processos já implementados, mantendo ainda elevadas as concentrações de GEE liberados para a atmosfera. Assim, a adoção de metodologias para a captura e armazenamento de carbono apresenta-se como uma estratégia favorável à diminuição das concentrações de CO_2 na atmosfera, enquanto o mesmo continua sendo gerado através das técnicas e combustíveis tradicionais. Após a captura, o gás pode ser direcionado (por tubulações) até campos de exploração de petróleo e/ou gás natural, áreas geológicas para armazenamento.

Segundo Herzog (2001), a recuperação de dióxido de carbono proveniente de fontes emissoras em grande escala é um desafio científico que tem recebido atenção considerável pelos últimos anos.

Diferentes métodos que utilizam os princípios da absorção química, adsorção, criogenia, membranas e sistemas microbianos poderiam ser utilizados para a recuperação de CO_2 . Dentre estas alternativas a absorção com reação química utilizando soluções aquosas de aminas foi demonstrada como uma das mais desenvolvidas e menos cara a ser aplicada em plantas de potência (Erga *et al.*, 1995).

Neste trabalho apresentou-se a absorção com reação química utilizando soluções aquosas de monoetanolamina (MEA) e dietanolamina (DEA) como técnica de captura de CO_2 . A técnica aqui explorada serve como ferramenta para:

- i. demonstrar conceitos e técnicas ensinados em aulas de ciências/química, relacionando-os às atividades práticas da indústria;
- ii. despertar, através da discussão, a conscientização ambiental em futuros profissionais técnicos de nível médio.

Captura de CO_2 por absorção com reação química

A absorção química é muito utilizada em indústrias química para a separação e recuperação de dióxido de carbono provenientes de correntes gasosas de processo ou ainda na indústria do gás natural. Na primeira, o processo é denominado como captura pós-combustão, enquanto que no segundo ele é utilizado para remoção do CO_2 misturado ao metano (CH_4).

No processo de absorção química o gás reage com o solvente definido como solvente químico. O método de absorção do gás envolve a exposição da corrente de gás em solução de amina, que reage com CO_2 presente na corrente gasosa, ocorrendo assim a neutralização ácido-base formando um possível sal carbonatado solúvel (Strazisar *et al.*, *apud* Teixeira *et al.*, 2006). Esta reação é reversível, permitindo que o gás seja liberado por aquecimento na coluna de regeneração da MEA carbonatada. Em consequência a amina não é consumida e pode ser reciclada continuamente no processo que opera em ciclos, absorção e dessorção, permitindo seu uso como absorvente. A frequente repetição do ciclo tende a formar contaminantes, gerando produtos pesados de difícil remoção que se acumulam e podem causar grandes reduções na eficiência e problemas na operação do sistema (Silva e Svendsen, 2006, *apud* Teixeira *et al.*, 2006).

DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE CAPTURA DE CO_2 :

O gás de queima passa através de um trocador de calor e um exaustor antes de ser alimentado na coluna de absorção também chamada de absorvedor. A corrente gasosa alimentada entra em contato com a solução de MEA no absorvedor até que a mesma sature. A seguir, a solução de MEA saturada, é bombeada para o regenerador, passando antes por um trocador de calor. A MEA é, então, recuperada e volta ao absorvedor através de uma corrente de reciclo. Todas as passagens através de trocadores de calor servem para adequação das correntes as temperaturas ótimas de operação de cada equipamento. O gás de exaustão pode então ser direcionado ao armazenamento ou reutilizado em outro setor industrial.

METODOLOGIA:

A metodologia adotada foi a elaboração de um kit experimental com objetivos didáticos através de transposição da tecnologia industrial seguida de ensaios representativos do processo. A partir do conhecimento do processo e das reações químicas adotadas em cada uma das suas etapas, foi proposta a utilização de vidrarias e equipamentos comuns em laboratórios de química para a representação do mesmo.

O kit experimental montado está representado através das Figuras 2 e 3.

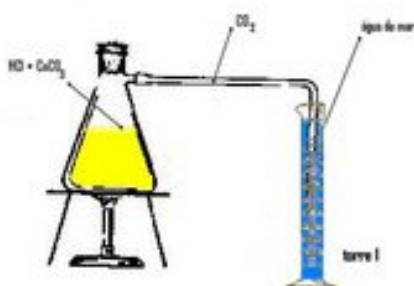


Figura 2: kit experimental desenvolvido para captura de CO₂ com solução aquosa de MEA ou DEA

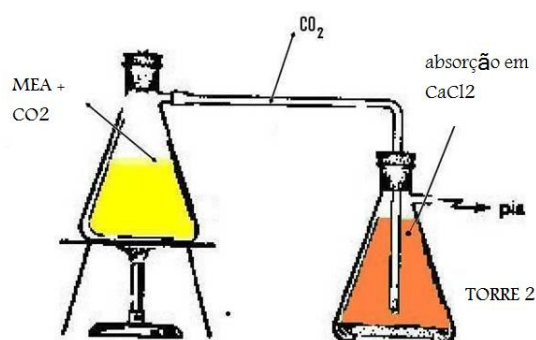


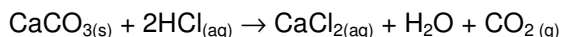
Figura 3: kit experimental desenvolvido para dessorção de CO₂ com solução aquosa de CaCl₂

Embora de forma simplificada, o kit experimental permitiu a execução das etapas de absorção e dessorção. Os conhecimentos de ciências (química ambiental) atrelados a cada etapa do processo estão listados através da Tabela 1.

Tabela 1: conhecimentos do ensino de ciências explorados em cada processo representado através do kit experimental montado

Processo	Conhecimentos do ensino de ciências
Alimentação de Corrente gasosa	Produção de CO ₂ a partir da reação entre carbonato de cálcio e ácido clorídrico
Captura de CO ₂ em coluna de absorção	Processo de Absorção com reação química; Características e limitações da MEA como solvente reativo; Tecnologia potencial para captura de carbono em processos de cunho ambiental.
Dessorção de CO ₂	Processo de dessorção do CO ₂ através do aquecimento da solução; Reciclo de MEA após reativação da mesma; Degradação gradual da MEA após alguns ciclos; Reação química do cloreto de cálcio com o gás carbônico dessorvido Técnica analítica de titulação para avaliar o grau da reação.

A fim de representar a alimentação da corrente gasosa rica em CO₂, o mesmo foi gerado através da reação entre carbonato de cálcio e ácido clorídrico, conforme a equação:



A coluna de absorção, no kit experimental, foi montada com o auxílio de um erlenmeyer e através de uma mangueira de borracha o gás gerado foi borbulhado sobre a solução aquosa de MEA a 10% e de DEA a 10%. Assim que a saturação da solução aquosa de MEA era atingida o processo era interrompido, passando-se a etapa de regeneração, ou seja, dessorção do CO₂ solubilizado na solução aquosa. A fim de avaliarmos o avanço do processo de absorção e explorarmos os possíveis produtos formados devido a reação na solução de amina, amostras foram retiradas, antes da etapa de dessorção e submetidas a titulação. A etapa de absorção foi desenvolvida à temperatura ambiente (20°C) e a de dessorção em torno de 60°C.

As titulações foram executadas contra HCl na concentração [0,5224]mol/L na temperatura ambiente. Os alunos plotaram as curvas de titulação no programa de computador EXCEL.

A simplicidade da metodologia adotada foi essencial para alcançarmos o objetivo maior de uma atividade de transposição didática de um processo industrial: a contextualização de conhecimentos teóricos.

O projeto foi desenvolvido, em primeira instância, com alunos do ensino médio/técnico diretamente envolvidos na execução da pesquisa de cunho empírico. Posteriormente, os resultados foram apresentados a outros estudantes, inclusive de ensino fundamental de escolas da rede pública municipal e estadual do Rio de Janeiro, servindo como força motriz em discussões a respeito das intervenções humanas ao meio ambiente e suas consequências, além na necessidade de cada indivíduo atentar para um consumo consciente.

RESULTADOS:

No decorrer dos encontros com os alunos participantes no Laboratório de Meio Ambiente do IFRJ, observou-se intenso interesse e participação por parte dos dez alunos diretamente envolvidos. O conceito e o entendimento das reações químicas que ocorriam no processo não eram de fácil entendimento, gerando muitas dúvidas e a necessidade de vários encontros para o esclarecimento de dúvidas e retorno às consultas bibliográficas.

Após três meses de pesquisa bibliográfica e encontros periódicos do grupo, foi realizado o desenvolvimento de procedimentos prático-experimentais, para a produção do gás carbônico e posterior captura pelas aminas MEA e DEA.

Foram preparadas as soluções de Aminas, HCl, Biftalato de sódio e NaOH e padronizaram segundo o *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. O kit experimental desenvolvido e proposto por Martins e Miranda (MARTINS e MIRANDA, 2007) para a captura de CO₂ foi utilizado vidrarias disponíveis no laboratório, como: a proveta, como a torre para a captura, o kitassato e o funil de separação com adaptação feita com rolha de borracha para a produção do gás a partir da reação do carbonato de cálcio e ácido clorídrico e mangueiras para a injeção do gás nas aminas.

Para a etapa de dessorção, foram utilizados o balão de fundo chato, rolhas, mangueiras, erlenmeyers e termômetros no desenvolvimento do Kit.

O indicador utilizado foi a timolftaleína para os testes de absorção e dessorção e para as titulações potenciométricas das soluções de aminas saturadas de CO_2 utilizou-se o alaranjado de metila e a fenolftaleína, seguindo-se o procedimento padrão para determinação da alcalinidade total das soluções.

Para a saturação das aminas com CO_2 utilizou-se em primeiro momento porções de 30g de carbonato de cálcio (VETEC) com ácido clorídrico P.A. (VETEC) na diluição de 1:2. O gás produzido de tal mistura foi borbulhado por cerca de 20 minutos em 50 mL de solução de MEA a 10%, com três repetições de todo procedimento. Em seguida procedeu-se a saturação da solução de DEA utilizando o mesmo procedimento. Para a aferição das massas utilizou-se balança analítica de precisão.

A titulação potenciométrica foi manual com auxílio de pHmetro digital. Os alunos trataram os dados obtidos estatisticamente e produziram curvas de titulação.

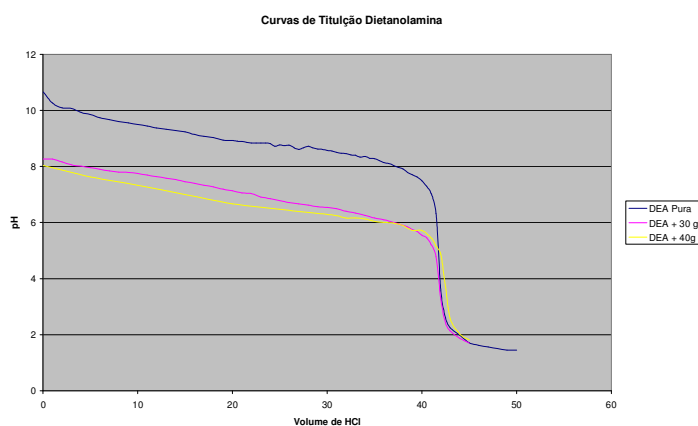


Figura 4: Curvas de titulação contra ácido clorídrico 0,5224mol/L com 25 mL de solução aquosa a 10% de DEA pura e saturada de CO_2

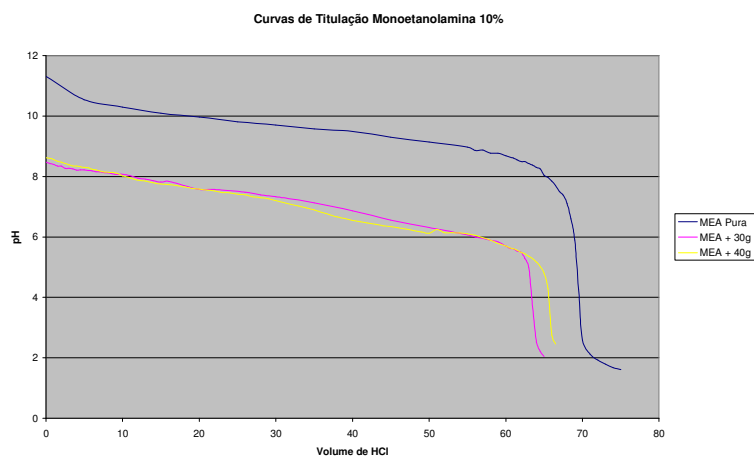


Figura 5: Curvas de titulação contra ácido clorídrico 0,5224mol/L com 25 mL de solução aquosa a 10% de MEA pura e saturada de CO_2

Observaram-se diferenças nos comportamentos da MEA e da DEA. A DEA apresenta uma curva similar às curvas de titulação do NaOH carbonatado com coincidência de pH e não variando o ponto de equivalência para o solvente puro e saturado de gás carbônico, o que pode indicar que ao reagir com o CO_2 , ocorra a solubilização deste produzindo simplesmente uma solução de bicarbonato e ocorrendo a protonação da amina.

O trabalho foi apresentado em eventos acadêmicos internos, nas XXVII e XXVIII Semanas de Química do IFRJ- Campus Maracanã e contou com a visita de

centenas de visitantes. As crianças do ensino fundamental demonstraram muito interesse e satisfação ao assistir à apresentação dos alunos, que tentaram adaptar a linguagem às diferentes idades e níveis culturais dos visitantes. As maquetes produzidas e os kits vêm sendo utilizadas nas aulas da disciplina de química ambiental e foram otimizados para demonstração do processo de captura em cursos e mini-cursos ministrados por Miranda, J. L. (MIRANDA, 2009)

CONSIDERAÇÕES FINAIS:

A técnica de absorção com reação química em solução de monoetanolamina (MEA) serviu como estratégia para explorarmos assuntos do ensino de ciências e ambiental. Além disso, serviu também para despertar discussões relativas a intervenção humana no meio ambiente.

Os resultados dos ensaios experimentais permitiram perceber as limitações da MEA como solvente reativo, pois esta logo apresentou saturação, implicando na necessidade de sua reativação para que fosse reutilizada. A técnica de titulação como ferramenta analítica permitiu observar que o(s) produto(s) formado é majoritariamente o bicarbonato.

Podemos concluir que, em termos de transposição didática, o objetivo foi amplamente alcançado. Entretanto, as limitações encontradas na execução dos ensaios, devido 'a simplicidade das ferramentas utilizadas, despertaram no grupo o interesse de avançarmos o projeto para uma etapa posterior. Desta forma, a próxima etapa visa a representação do mesmo processo em um simulador do processo industrial em escala piloto. Este também permitirá explorarmos detalhes que se apresentam como entraves na utilização da técnica, como vazão de corrente gasosa, concentração da solução e tempo de residência do gás dentro da coluna de absorção.

Agradecimentos

A pesquisa contou com o apoio da FINEP/ Projeto Educação Ambiental através da Indústria do Petróleo (PROMOVE)

Referências

Barbosa, E. F.; Gontijo, A. F.; SANTOS, F. F. Inovações pedagógicas em educação profissional: uma experiência de utilização do método de projetos na formação de competências. **Boletim Técnico do Senac**, v. 30, n. 2, maio. 2004. Disponível em: <<http://www.senac.br/informativo/BTS/302/boltec302d.htm>> Acesso em: abr. 2006.

Chevallard, Y., (1991). *La transposición didáctica: del saber sabio al saber enseñado*. Buenos Aires: Aique.

Erga, O.; Juliussenb, O.; Lidal H. CO₂ recovery by means of aqueous amines. *Energy Conver Manage*, v. 36, 1996.

Herzog, H. What future for carbon capture and sequestration? **Environment Science and Technology**, v. 35, n. 7, 2001.

Marandino, M., Transposição ou recontextualização? Sobre a produção de saberes na educação em museus de ciências, *Revista Brasileira de Educação*, no 26 - maio/junho/julho/agosto, 2004

Martins, C; Moura, F., Bouhid Roseanthy R, Moura, Luiza C., Miranda, Jussara L., *Captura de CO₂ e Aquecimento Global: Contextualização e aplicação no Ensino de Química*, Livro de Resumos da 30^a Reunião Anual da Sociedade Brasileira, Seção de Ensino em Química, T1662-2, 2007.

Martins, C.; Miranda, J. L.; *Contextualização do Aquecimento Global e da Captura de CO₂ no Ensino de Química*, Monografia de Conclusão do Curso de Licenciatura em Química do Instituto de Química da UFRJ, 2007.

Miranda, J.L, Curso de *Captura e Conversão de CO₂*, 5^o PDPETRO, Fortaleza, 2009.

Rao, A.; Rubin, E. A Technical, Economic, and Environmental Assessment of Amine-Based CO₂ Capture Technology for Power Plant Greenhouse Gas Control. **Environment Science and Technology**, v. 36, 2002.

Ribeiro, A. K. e Real, M. V. Novos Combustíveis. E-papers. 2006.

Rovira, M.P.G., Sanmarti, N., (1998). Las bases de orientación: un instrumento para enseñar a pensar teóricamente en biología. *Alambique – Didáctica de las Ciencias Experimentales* nº 16, p. 8-20, abr.

Silva, E. F. e Svendsen, H., *apud* Teixeira, W. D.; Santana, M. L. A.; Lima, Y. S. Avaliação do processo de degradação da MEA no sistema de absorção de CO₂ em gás de queima. **Revista UNIFACS**, v. 10, n. 1, 2006.

Strazisar *et al.*, *apud* Teixeira, W. D.; Santana, M. L. A.; Lima, Y. S. Avaliação do processo de degradação da MEA no sistema de absorção de CO₂ em gás de queima. **Revista UNIFACS**, v. 10, n. 1, 2006.