



# **UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

Decanato de Pesquisa e Pós-Graduação

Instituto de Ciências Biológicas

Instituto de Física

Instituto de Química

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS**  
**MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE CIÊNCIAS**

FONTES DE ENERGIA - USOS E CONSEQUÊNCIAS  
PROPOSTA DE MATERIAL DIDÁTICO PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS

DENISE CUNHA SARDENBERG BASTOS

BRASÍLIA - DF

OUTUBRO

2009

## FICHA CATALOGRÁFICA

Bastos, Denise Cunha Sardenberg

Fontes de energia - Usos e Consequências: Proposta de Material Didático para o Ensino de Química / UnB, Brasília, 2009.

221 P.

Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília. Instituto de Ciências Biológicas, Instituto de Física, Instituto de Química. Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências

Combustíveis - Material Didático - Transposição Didática - Pesquisa Científica - Universidade de Brasília.



# **UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

Decanato de Pesquisa e Pós-Graduação

Instituto de Ciências Biológicas

Instituto de Física

Instituto de Química

## **PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE CIÊNCIAS**

**FONTES DE ENERGIA - USOS E CONSEQUÊNCIAS  
PROPOSTA DE MATERIAL DIDÁTICO PARA O ENSINO DE QUÍMICA**

**DENISE CUNHA SARDENBERG BASTOS**

Dissertação realizada sob orientação da Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Márcia Murta e apresentada à banca examinadora como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ensino de Ciências - Área de Concentração "Ensino de Química", pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Universidade de Brasília.

Brasília - DF

Outubro

2009

## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

DENISE CUNHA SARDENBERG BASTOS

### **FONTES DE ENERGIA - USOS E CONSEQUÊNCIAS: PROPOSTA DE MATERIAL DIDÁTICO PARA O ENSINO DE QUÍMICA**

Dissertação apresentada à banca examinadora como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ensino de Ciências - Área de Concentração "Ensino de Química", pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Universidade de Brasília.

Aprovada em 16 de outubro de 2009.

#### **BANCA EXAMINADORA**

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Márcia Murta  
(Presidente)

---

Prof. Dr. Ricardo Gauche  
(Membro Interno - IQ/UnB)

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Jeane Cristina Gomes Rotta  
(Membro Externo)

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Joice de Aguiar Baptista  
(Suplente - IQ/UnB)

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Carlos (*in memoriam*) e Vilma, que me orientaram e apoiaram nas escolhas e caminhos traçados nesta longa jornada.

Ao meu marido Jonathan, que sempre incentivou e apoiou minha evolução profissional e aos meus filhos Raphael e Luís Felipe, pela colaboração, carinho e paciência durante o tempo decorrido na elaboração dessa dissertação.

Aos colegas professores, uma modesta contribuição para que perpetuemos na prazerosa missão de ensinar.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado força, coragem e saúde para concluir mais uma etapa nesta longa jornada.

À minha família, especialmente meu marido e filhos pela compreensão e paciência nos momentos de ausência.

À minha orientadora e amiga Professora Maria Márcia Murta, com quem passei vários dias e horas trocando conhecimentos e experiências. Pelas palavras de apoio nos momentos de angústia e ansiedade. Pela orientação, com relação ao melhor caminho a seguir, durante a confecção dessa dissertação.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e também aos professores da Pós-graduação em Educação. Todos foram meus orientadores no momento em que estava redigindo essa dissertação.

Aos meus colegas do Colégio Militar de Brasília, que tanto me ajudaram nas horas mais difíceis.

Aos colegas do mestrado que compartilharam das mesmas dúvidas e incertezas.

A todos que de alguma forma contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Muito Obrigada!

## RESUMO

A passagem da primeira década do século XXI marca o surgimento de uma nova visão de mundo, baseada na compreensão plena da finitude dos recursos naturais que o Planeta pode prover, juntamente com a percepção das conseqüências ambientais que o consumo desmedido provoca e que podem, claramente, comprometer a vida na Terra. A situação atual força uma reflexão sobre qual é a melhor forma de organização social para preservar os recursos naturais e energéticos do Planeta e, que ao mesmo tempo, seja um sistema inclusivo. Um entendimento mais amplo das várias forças que concorrem para a nova sociedade ora em construção, que implica mudança de cultura, torna-se oportuno para a geração de estudantes que atualmente cursa o ensino médio e que se transformará em força de trabalho na próxima década. Como a questão energética é central em qualquer movimento de reorganização que se pretenda para a sociedade atual, essa dissertação teve como objetivo a preparação de um Material Didático, dirigido aos professores do ensino médio, tendo como tema norteador o estudo dos combustíveis para o aprendizado de parte dos conteúdos de Química. Tomando-se por base a matriz energética brasileira, que utiliza 46% de recursos renováveis, muito acima da média mundial que é de 12%, além das recentes descobertas de campos de petróleo em camadas mais profundas do oceano, o entendimento da maneira pela qual o país alcançou resultados tão relevantes se relaciona com os dados obtidos pela pesquisa acadêmica e suas aplicações tecnológicas. Assim, o ponto de partida para a confecção desse material foi transpor os resultados das pesquisas sobre o petróleo e o álcool realizadas no Centro de Pesquisa da Petrobras (CENPES) e os resultados das investigações realizadas no Laboratório de Materiais Combustíveis (LMC), instalado no Instituto de Química da Universidade de Brasília, que concentra suas pesquisas no biodiesel. Ao escolher os resultados da pesquisa acadêmica como ponto de partida na preparação desse material de ensino, o instrumento que se julgou mais apropriado para sua construção foi o método de Transposição Didática desenvolvido por Yves Chevallard. A contextualização do tema priorizou as relações Ciência — Tecnologia — Sociedade — Ambiente, um movimento denominado CTSA, que enfatiza a importância do conhecimento na formação de um cidadão mais crítico na sua atuação na sociedade. Os conceitos abordados a partir de tal perspectiva permitem ampliar o escopo de interferência positiva que esses alunos podem exercer no futuro em suas áreas de atuação profissional.

**Palavras chave:** Combustível, Material didático, Transposição didática, Pesquisa científica.

## ABSTRACT

The first decade of the XXI century is over and now a new vision of the world rises. This new vision is based on the understanding that our natural resources will not last forever and also that the irresponsible use of those resources will have serious effects on life on earth. The present situation demands a change in the way we see social organizations. The main question now is how we should organize society in a way that we could be responsible for the environment, and still keep everyone satisfied. Getting the young students who will become the working force in the near future to know that they have to be responsible for the environment today is an excellent way to start. Energy supplies must be the main subject of discussion in any attempt to reorganize the way a society should work. Therefore, this thesis aims at developing a didactical material for high school teachers. The focus of this study is on the chemistry of fuels and how this particular subject can be taught in high school.

The Brazilian energetic matrix uses 46% of its non renewable resources, a rate which is much higher than the one in most countries in the world, which is 12%. The recently discovered oil fields, in deeper layers of the Atlantic Ocean was also possible through academic researches. The development of the didactical material which is the object of the present project started with the analysis of the results found by Petrobras researchers on alcohol and oil and also with the analysis of the results of the researches led by the Chemistry Institute of UnB, which focus on the study of Biodiesel. The proposal was that both researches could be used as content for High School Chemistry teaching, according to Yves Chevallard's Didactical Transportation theory.

Key words: Fuel, Didactic material, Didactical transportation, Scientific research.



## **LISTA DE FIGURAS**

- ❖ Figura 1 - Relações entre conceitos
- ❖ Figura 2 - Sistema Didático (Chevallard)
- ❖ Figura 3 - Sistema de Ensino

## **LISTA DE QUADROS E TABELAS**

1. Quadro 1 - Aspectos do ensino CTSA contemplados no módulo didático
2. Quadro 2 - Aspectos da Transposição Didática contemplados no Módulo
3. Tabela 1 - Planilha de Avaliação de livros didáticos de Química (grupo de critérios)
4. Tabela 2 - Planilha de Avaliação (conhecimento químico - modelo que indica caráter transitório das ciências)
5. Quadro 3 - Avaliação do Modulo Didático

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>CAPÍTULO 1</b>	
<b>A PESQUISA E O ENSINO DE QUÍMICA</b> .....	17
1. O Contexto da Pesquisa Científica e o Contexto da Sala de Aula.....	17
2. A Transposição Didática de Yves Chevallard.....	21
2.1 O Triângulo das Relações Didáticas.....	22
<b>CAPÍTULO 2</b>	
<b>O SABER CIENTÍFICO</b> .....	26
1. A Ciência e os Cientistas.....	26
2. A Química como Cultura.....	30
3. O Ensino CTSA - Ciência - Tecnologia - Sociedade - Ambiente.....	33
4. A Ciência e a Tecnologia.....	35
5. Os Caminhos da Sustentabilidade.....	39
<b>CAPÍTULO 3</b>	
<b>A TEORIA DA TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA</b> .....	42
1. A Transposição do Saber Científico.....	42
2. Breve Histórico.....	44
3. A Transposição Didática Externa.....	48
4. A Transposição Didática Interna.....	49
<b>CAPÍTULO 4</b>	
<b>A CONFECÇÃO DO MÓDULO</b> .....	51
1. A Produção dos Saberes.....	54
1.1 O Saber Sábio.....	54
1.2 Centros de Pesquisa Científica.....	55
2. O Saber a Ensinar.....	56
3. O Saber Ensinado.....	57

<b>4. Estrutura do Módulo.....</b>	<b>58</b>
<b>4.1 O Tema Gerador.....</b>	<b>59</b>
<b>4.2 Características do Módulo.....</b>	<b>60</b>
<b>4.2.1 Petróleo e Gás.....</b>	<b>61</b>
<b>4.2.2 Álcool.....</b>	<b>65</b>
<b>4.2.3 Biodiesel.....</b>	<b>67</b>

## **CAPÍTULO 5**

<b>1. METODOLOGIA.....</b>	<b>70</b>
<b>2. Análise de Livros Didáticos.....</b>	<b>71</b>
<b>2.1 Contextualização e Abordagem CTSA em Livros Didáticos.....</b>	<b>72</b>
<b>2.2 Critérios para Análise.....</b>	<b>72</b>
<b>2.3 Análise dos Livros Selecionados.....</b>	<b>74</b>
<b>2.4 Análise de Revistas de Divulgação Científica.....</b>	<b>76</b>
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	
<b>3.1 Avaliação do Módulo Didático.....</b>	<b>78</b>
<b>3.1.1 Breve Perfil e Comentários dos Professores.....</b>	<b>79</b>
<b>3.1.2 Avaliação do Módulo por meio de Planilha.....</b>	<b>80</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>85</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>89</b>
<b>APÊNDICE A - Módulo Didático.....</b>	<b>95</b>
<b>ANEXO 1 - Planilha para Avaliação de Livros Didáticos de Química.....</b>	<b>219</b>

## INTRODUÇÃO

A reflexão acerca da problemática que envolve as discussões entre professores e alunos no âmbito do Ensino de Química leva a considerar a questão da contextualização da atividade do Químico em seu ambiente de pesquisa como primordial para a abordagem dos conteúdos a serem ensinados.

A questão energética, nos dias atuais, é um tema central nas relações que envolvem a sociedade e o uso de tecnologias aplicadas na obtenção de diversas fontes de energia. O Brasil se destaca no cenário internacional por apresentar um alto percentual de oferta de energia renovável proveniente de biomassa (álcool e biodiesel) e hidráulica, em relação aos demais países. Isto se deve ao fomento em pesquisas nos últimos quarenta anos, nos quais os recursos naturais foram devidamente aproveitados.

A atividade científica sempre despertou interesse, desde os tempos da Alquimia, quando alquimistas realizavam experiências em laboratórios improvisados para descobrir novas substâncias (CHERUBIN, 1997). Os pesquisadores das ciências naturais dos tempos modernos também experimentam novos processos que os levam a descoberta de tecnologias inovadoras e relevantes para a sociedade.

No âmbito do ensino e aprendizagem de Química existem muitas dificuldades que perpassam aos aspectos abstratos do conteúdo químico que normalmente é dirigido aos alunos. O conhecimento químico é visto como mais um conteúdo que precisa ser memorizado e que se encontra fora do contexto da produção científica (CACHAPUZ e cols.2005)

No dia-a-dia de minha atuação profissional, como professora de Química, percebo situações semelhantes às vivenciadas por mim quando aluna da 3.<sup>a</sup> série do ensino médio – a mesma série na qual leciono atualmente. Muitas dúvidas e incertezas sobre a profissão que deverão escolher e o caminho a seguir acompanham a maioria dos alunos. Por haver partilhado das mesmas experiências, reservo sempre alguns minutos das aulas para a troca de informações e conhecimentos.

Com o objetivo de esclarecer o porquê da escolha de integrar a pesquisa científica ao ensino da Ciência Química em um módulo didático para professores do ensino médio, uma breve exposição de minha trajetória como profissional da Química em algumas indústrias e como professora de Química será explicitada.

Minha escolha profissional se deveu, em princípio, à grande afinidade com as áreas científicas, principalmente Química, Biologia e Física. Assim como meus alunos, procurei a carreira mais por afinidade do que propriamente por aptidão. Ingressei no curso de Química pensando em me tornar uma Química Industrial e poder manipular e transformar as substâncias contribuindo para a produção científica e tecnológica. Porém, a realidade foi bem diferente.

No final da década de 1980 e início dos anos 1990, houve uma retração na indústria química brasileira (TORRES, 1997), reduzindo substancialmente os postos de trabalho. Justamente nessa época, cursava ao mesmo tempo o bacharelado e a licenciatura. Isso era incentivado pela maioria dos docentes do curso de Química como alternativa para os graduandos, que, dessa forma, saíam da faculdade aptos a exercer também a carreira do magistério ou uma iniciação á pesquisa acadêmica.

Durante o curso, fiz alguns estágios na área de combustíveis, nos laboratórios de uma indústria de cosméticos e também em uma indústria alimentícia, onde ainda trabalhei por um

período, depois de formada. Porém, em nenhum deles pude ser aproveitada como profissional, devido à crise nas indústrias petroquímicas. Resolvi, então, me direcionar para a licenciatura, iniciando assim minha carreira no magistério sem, no entanto, me afastar da produção científica vivenciada em alguns centros acadêmicos.

Embora atuando como docente para alunos do ensino médio de Química, nunca tive a visão de que para ensinar Química precisava apenas me apoiar em textos prontos extraídos de livros didáticos e reproduzi-los na forma de conteúdos de ensino descontextualizados da realidade e da vivência dos alunos. Pelo contrário. Sempre busquei um aperfeiçoamento, seja na forma de leituras que abordavam o conhecimento químico como meio de renovar os aspectos científico-tecnológicos ou por meio de cursos que incentivavam a prática pedagógica reflexiva como forma de despertar nos estudantes o interesse pelas áreas científicas.

Sendo assim, ao escolher o curso de mestrado profissionalizante em ensino de Ciências, meu objetivo foi participar das discussões que envolvem os novos pressupostos teóricos sobre o ensino de Ciências; conhecer metodologias e abordagens curriculares inovadoras e relevantes ao ensino da Química e poder me interar sobre as pesquisas científicas em desenvolvimento no meio acadêmico.

No decorrer do curso, após a leitura de livros, artigos e trabalhos científicos, apresentação de seminários e discussões entre professores e alunos do curso de mestrado, eu e minha orientadora tivemos a ideia de elaborar um módulo de ensino que servisse a professores de Química, em particular, e a outros professores que desejem complementar sua prática de forma diferenciada do ensino tradicional.

Esse módulo foi avaliado parcialmente por alguns professores que lecionam disciplinas nas áreas de Ciências Naturais e Ciências Humanas na mesma série e colégio onde trabalho. A avaliação seguiu alguns critérios, selecionados conforme uma planilha elaborada

para análise de livros didáticos de Química (SANTOS, 2006). A planilha se encontra no anexo 2 desta dissertação.

A seguir, uma síntese da dissertação e a proposição de elaborar o módulo de ensino como produto deste mestrado profissionalizante.

A presente dissertação está estruturada em quatro capítulos organizados da seguinte forma: Capítulo 1 sobre o contexto da pesquisa científica e o contexto da sala de aula, mostrando as relações que se estabelecem nesses dois ambientes, e como a inter-relação entre eles possibilita um melhor aprendizado da Ciência Química. O capítulo ainda contém uma breve explanação sobre o instrumento teórico que possibilitou a inter-relação.

No Capítulo 2 o saber científico sob os pontos de vista filosófico, cultural, técnico e tecnológico. E o surgimento de um movimento voltado ao ensino, por meio da interação entre Ciência, Tecnologia e Sociedade e suas consequências ambientais.

No capítulo 3, a teoria da transposição didática de Yves Chevallard, que serviu de fundamentação para mostrar as possíveis relações estabelecidas entre o saber e o ensino. Um breve histórico explicando a relação didática triangular que a diferencia da maioria das teorias sobre ensino, em que se destaca apenas a relação entre professor e aluno, sem incluir o saber como referencial nos processos de ensino e aprendizagem. Em seguida, como se processa a transposição do saber sábio ao saber a ensinar e, finalmente, ao saber ensinado – o que pode ser constatado na confecção do módulo didático.

No capítulo 4 a confecção e estruturação do módulo de ensino, fundamentado no método de transposição didática desenvolvido por Yves Chevallard. Ainda no capítulo 4 estão presentes a metodologia utilizada na execução deste trabalho, e a análise de dados com o resultado final.



## CAPÍTULO 1

### A PESQUISA E O ENSINO DE QUÍMICA

#### 1. O Contexto da Pesquisa Científica e o Contexto da Sala de aula

Sou professora de Química, atualmente lecionando para alunos da 3.<sup>a</sup> série do ensino médio, em uma escola da rede oficial de ensino localizada na cidade de Brasília – Distrito Federal. Os alunos daquela série estão concluindo uma etapa de suas vidas e começando outra, que inclui a escolha da profissão. Portanto, a busca por informações é de suma importância. A partir de agora, além de estudantes serão também cidadãos partícipes em um mundo em constante transformação. O desenvolvimento científico-tecnológico tem influência sobre a sociedade, gerando bens materiais e possibilidade de vivermos mais e com saúde, porém, também pode causar danos ao meio ambiente. O momento atua, demanda tomada de decisões e formação de cidadãos críticos comprometidos com a sociedade.

Embora na prática didática buscasse um ensino interdisciplinar, pela abordagem de temas e conteúdos que se inter-relacionassem, percebia que a concepção dos alunos sobre Ciência e produção científica se distanciava da realidade vivenciada no ambiente acadêmico, onde se verifica a produção do conhecimento científico, em geral, e químico, em particular.

Procurei modificar minha abordagem trazendo para discussões em sala de aula artigos publicados por cientistas/químicos em revistas especializadas. Entre outras, a Revista Química Nova na Escola. Nesses artigos, pesquisadores químicos buscavam soluções, por meio de “experiências”, para problemas relativos ao uso de materiais, como a identificação de moléculas extraídas de plantas para uso medicinal, a pesquisa de fibras sintéticas para a

indústria têxtil, a produção de novas resinas termoplásticas biodegradáveis e novas tecnologias na produção de combustíveis automotivos, menos danosos ao ambiente.

Percebi que ao comentar a respeito das pesquisas desenvolvidas em espaços acadêmico-científicos, os alunos faziam perguntas e procuravam encontrar semelhanças entre aquele conhecimento e os conteúdos disciplinares contextualizados pelos professores no cotidiano da sala de aula.

Comecei a refletir sobre a maneira de “transferir” o conhecimento produzido naquela esfera acadêmica e disponibilizá-lo para os alunos. Como as pesquisas na área de Química poderiam ser transmitidas aos alunos sem o uso de metodologias científicas próprias a essas atividades?

Encontrei a resposta ao participar de um curso promovido pela Universidade de Brasília (UnB) em 2005, dirigido a formação de professores.

O curso preparado pelo Professor Dr. Paulo Anselmo Ziane Suarez, do Laboratório de Materiais e Combustíveis (LMC) do Instituto de Química da UnB, tratava da obtenção e fabricação de combustíveis alternativos, obtidos a partir de óleos e gorduras, popularmente conhecidos como “Biodiesel”.

O objetivo do curso era o ensino de novas técnicas de produção desenvolvidas em laboratório com o uso de biomassa vegetal e animal.

Os tópicos abordados envolviam conceitos inerentes às disciplinas de Biologia e Química, tratando da extração de óleos e gorduras para fins energéticos. Foram mencionadas as propriedades químicas e físicas das substâncias obtidas, bem como as reações químicas envolvidas na produção do combustível.

A última parte do curso foi uma demonstração dos processos industriais de obtenção do biodiesel, quando foram selecionadas sementes de soja e gordura de frango como matéria-prima alternativa.

No decorrer do curso, ficou claro que o conhecimento conduzido pelo professor e que envolviam a produção da Ciência e suas relações com as novas tecnologias, poderiam ser repassadas para os alunos durante as aulas.

A questão está em como mediar esse conhecimento e levá-lo para as salas de aula. O c que os alunos sabem acerca da temática em questão, na maioria das vezes, é apreendido por meio de informações fora do contexto de ensino por eles vivenciado. Além do mais, essas informações são processadas pelos alunos de forma desconexa, sem base científica, são apenas fatos do cotidiano. Como transpor o conhecimento científico/químico para aulas de Química? E qual a importância da pesquisa acadêmica na abordagem dos conteúdos de Química no ensino médio?

Para responder cada uma dessas perguntas, em princípio, procurei refletir sobre a atuação do professor em sala de aula e qual a sua relação com o saber científico. A maioria dos professores universitários de Química atua, ora como profissional na docência, ora na produção científica ou tecnológica. Os docentes do ensino básico, em grande parte, atuam somente no ensino, e se afastam da produção científica atual.

Uma das maneiras de se levar o conhecimento científico – aquele produzido em centros de pesquisas acadêmicas ou em institutos de pesquisas científicas – aos estudantes é transpor esse conhecimento a objeto de ensino. Para isso, é necessária a participação do professor como investigador das pesquisas desenvolvidas nesses espaços.

Mas só a participação do educador não é suficiente. É necessário que se criem condições de articulação entre o ensino e a pesquisa, para uma boa prática docente.

É notório que o conhecimento escolar se constitui a partir de sua relação com os diferentes saberes sociais (ASTOLFI, 1990). Cabe ao docente, durante sua dinâmica de ensino, orientar e direcionar os conhecimentos que os alunos já possuem como forma de problematizar as relações entre esses e o conhecimento científico.

O módulo didático parte de um tema atual e abrangente “Combustíveis/fontes de energia”, contendo informações que normalmente não se encontram em livros didáticos. Cada tópico inicia com uma breve introdução a respeito do uso de combustíveis como fonte de energia e sua importância histórica, econômica, social, ambiental e técnico-científica. Além disso, foram analisados os conteúdos de ensino de Química que se inter-relacionam com cada combustível e suas propriedades.

Para a elaboração desse módulo, levou-se em consideração as relações que se estabelecem entre as moléculas e a liberação de quantidades diferentes de energia. Cada combustível pesquisado contém um determinado grupo de moléculas pertencentes a diferentes classes químicas.

A pesquisa acadêmica, em geral, trata de problemas tecnológicos atuais. A participação em cursos oferecidos por universidades que valorizam o conhecimento científico/químico ajudará o professor do ensino médio a elaborar melhor as estratégias de ensino, contextualizando os tópicos de ciências que estejam inter-relacionados com a pesquisa em questão.

O modo pelo qual o conhecimento científico pode ser incorporado ao conteúdo didático, seria transformando o objeto do saber a ensinar em um objeto de ensino. Tal processo é conhecido como “Transposição Didática”.

A Transposição Didática foi a teoria escolhida como referencial para a proposição do módulo, pois trata-se de um meio de inserir o saber químico/científico no saber a ensinar, aquele que é preparado pelo professor.

É necessário fazer uma breve explanação sobre a teoria da transposição didática de Yves Chevallard.

## **2. A Transposição Didática de Yves Chevallard**

O conceito de transposição didática aparece como um instrumento que transforma objetos de conhecimento – o saber científico ou as práticas sociais – em objetos de ensino. Muitos pesquisadores, a partir da década de 1980, fizeram uso de vários termos para a inserção da transposição didática no campo educacional: “Transposição Didática” (PERRENOUD, 1993; CHEVALLARD, 1991), “Imperialismo Didático” (FORQUIM, 1993, apud GABRIEL); “Mediação Didática” (LOPES, 1999); “Recomposição Didática” (TUTIAUX-GUILLON et alii, 1993, apud GABRIEL).

Dentre os pesquisadores, o que mais se destacou por seus estudos voltados à Didática da Matemática, foi Yves Chevallard, que define a transposição didática como um processo por meio do qual o saber produzido pelos cientistas (saber sábio) se transforma naquele que está contido nos livros didáticos (saber ensinado).

A produção científica se dá nos meios acadêmicos e centros de pesquisa, e é validada por uma comunidade de cientistas, sendo então publicada em revistas especializadas, periódicos científicos e apresentação dos trabalhos em encontros e congressos.

O conhecimento escolar é um conjunto de saberes compartimentado em disciplinas, tendo como ponto de apoio, na maioria das escolas, o livro didático.

Para que o conhecimento produzido na esfera acadêmica e nos centros de pesquisa possa chegar ao ambiente escolar e especificamente às salas de aula, pode-se dispor de um instrumento como a transposição didática. Para isso, é essencial o envolvimento de todo o sistema didático, o qual Chevallard denominou de “*Noosfera*”.

Na *Noosfera* estão presentes: cientistas, educadores, docentes, discentes, autores de livros didáticos, técnicos de instituições do governo e a comunidade escolar. Todos contribuindo para a reconstrução de saberes didáticos.

A investigação a respeito da transposição do saber científico para o saber a ensinar e posteriormente para o saber ensinado partiu da compreensão da relação triangular: professor— aluno — saber.

## **2.1 O triângulo das relações didáticas**

A relação do professor com o saber é fundamental na seleção dos conceitos químicos e nas situações de ensino propostas. O professor, em interação com seus alunos e tendo como referência o conhecimento já estabelecido pela comunidade científica, pode efetivamente produzir, criar e recontextualizar os conteúdos de ensino na forma de “textos do saber” (LOPES, 1999).

A pesquisa Química demanda uma linguagem científica compatível com o tipo e propriedades das substâncias analisadas. Os conceitos químicos transpostos aparecem como textos do saber, pois são dotados de uma forma específica para o trabalho escolar.

O livro didático é o referencial mais usado pelo professor no processo de transposição do conhecimento químico. Algumas vezes, a transposição é feita de forma inadequada pelo professor (MARANDINO, 2004), pois o mesmo não prioriza o aprendizado de conceitos científicos nem mostra as relações entre a Ciência e as tecnologias.

Embora os livros didáticos venham sendo reformulados periodicamente para atender às exigências das políticas, como os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (BRASIL, 2002), que priorizam a contextualização e o conhecimento técnico-científico como forma de incorporar a Ciência e a Cultura ao sistema de ensino, nem todo livro corresponde às concepções vigentes nos documentos oficiais, prevalecendo à apresentação de conteúdos fragmentados e sem vínculos com a produção científica.

Na relação didática, o saber ensinado pelo professor é reconstruído pelo aluno por meio das situações de ensino por ele vivenciadas. O saber científico vai então sofrendo uma série de transformações até sua inserção na sala de aula. Segundo Chevallard (1991), essas transformações que ocorrem com o saber sábio geram deformações, supressões e acréscimos que resultam em verdadeiras criações didáticas.

Por motivos diversos, a maioria dos docentes do ensino de Química não frequenta cursos de formação e atualização de professores. Segundo MALDANER (2000), os professores relutam em aceitar a idéia de se tornarem pesquisadores em sua própria ação.

A conjugação ensino-pesquisa tende a favorecer as relações professor-aluno e entre os professores com outros profissionais de sua área. A partir dessas interações, a transposição do

conhecimento produzido na Academia e centros de pesquisa poderá chegar ao sistema de ensino como conhecimento escolar, sendo assim inserido nos programas curriculares.

Uma sugestão de estrutura hierárquica, que representa inter-relações entre conceitos e o tema proposto nesse módulo didático e que poderá ser utilizada pelo professor de Química ao elaborar programas de ensino, está representada na figura 1.



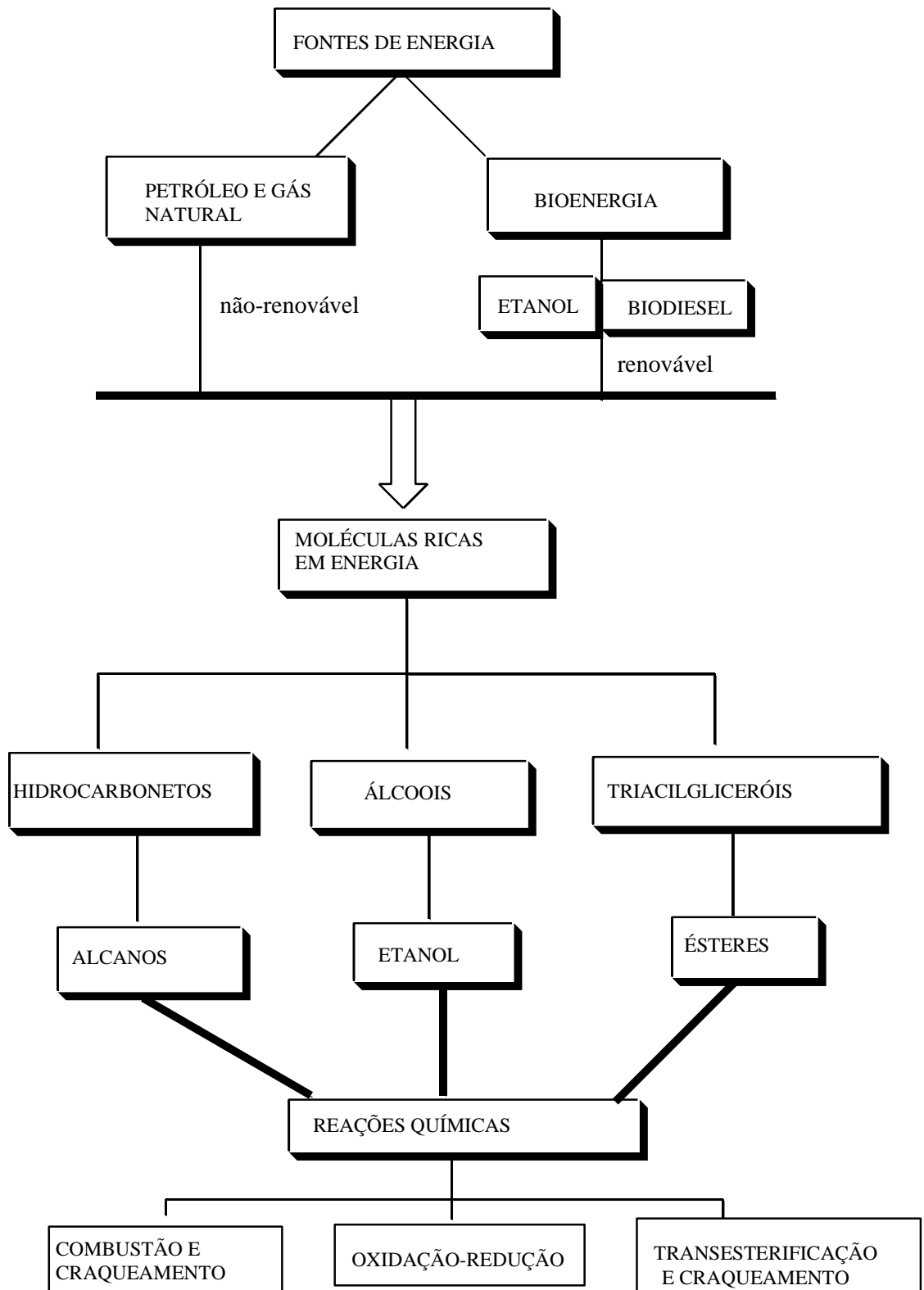


Figura 1

## CAPÍTULO 2

### O SABER CIENTÍFICO

Neste capítulo, pretende-se demonstrar as relações que se estabelecem entre o saber sábio, no qual se encontram a Ciência, os cientistas e a Tecnologia, e o saber a ensinar em que interagem professores e alunos. Essas inter-relações influenciam o sistema de ensino e o contexto socioambiental.

Pretende-se também demonstrar como a pesquisa e a produção científica integradas aos conteúdos de ensino de Química contribuirão para o entendimento da atividade científica como parte da atividade humana e como forma de divulgar conhecimentos.

#### 1. A Ciência e os Cientistas

Falar sobre a Ciência e os cientistas é aguçar a curiosidade e o imaginário, é fazer parte de uma cultura histórica na tentativa de representar o mundo em que vivemos.

Desde o surgimento da Ciência moderna, no Século XVII, questões relativas ao método científico e à natureza da Ciência aparecem como fatores preocupantes entre os filósofos. Francis Bacon (1561-1626) foi um dos pioneiros nas investigações sobre o método científico.

Para ele, a visão comum da atividade e da natureza científica (*Novum Organum*) pressupõe que a Ciência começa por observações, e que tais observações são neutras, sem

referência a qualquer teoria. As leis científicas foram criadas por meio do método indutivo, em que a observação, a investigação e a experimentação compunham a única forma de se alcançar o poder e o domínio sobre a Natureza.

Na visão atual da Ciência, a observação dos fenômenos é orientada por uma teoria que lhe dá sustentação, ao contrário do processo indutivo, no qual as premissas derivadas de observações experimentais não garantem que as generalizações resultantes sejam cientificamente válidas (CHALMERS, 1993).

No Século XIX, a corrente científicista – apoiada no Positivismo – valorizava o empirismo e afirmava que os fatos só podem ser conhecidos cientificamente por meio da experiência.

A partir das primeiras décadas do Século XX, novas correntes epistemológicas surgiram com críticas à concepção positivista sobre a natureza da Ciência. Pensadores como Popper, Kuhn, Bachelard, Lakatos e Feyerabend exerceram grande influência sobre a comunidade científica, por defenderem uma concepção racionalista/construtivista. O conhecimento é construído a partir de teorias e hipóteses que passam a orientar a observação dos fenômenos.

Bachelard denomina obstáculos epistemológicos ao racionalismo puro dos filósofos e ao empirismo sem uma razão que lhe dê sustentação. O conceito também é usado para demonstrar o distanciamento entre o conhecimento científico, estruturado em uma fenomenotécnica (fenômenos que não estão espontaneamente na Natureza) e o conhecimento comum, baseado no empirismo das primeiras impressões (LOPES, 1996).

Embora a concepção empirista-indutivista tenha sido objeto de estudo e crítica de vários filósofos e epistemólogos das ciências, alguns professores ainda utilizam técnicas pedagógicas inadequadas e desatualizadas, baseadas no indutivismo (GIORDAN e

KOSMINSKY, 2002). É fundamental repensar a prática docente para que a metodologia científica apresentada aos alunos possibilite a compreensão de todo o processo de elaboração do conhecimento científico, assim como os avanços, os erros e os conflitos (BRASIL, 2005).

A metodologia de ensino do professor e suas concepções epistemológicas irão contribuir para a aprendizagem dos conceitos científicos, levando os estudantes a “vivenciarem” a cultura científica e a modificarem suas formas de pensar e agir sobre o mundo natural.

Dessa forma, eles estarão adquirindo uma competência de pensamento científico, pois segundo CHAMIZO; IZQUIERDO (2008, p.5)

*As perguntas e suas soluções, os problemas de seu tempo, as leis e os modelos que permitem reconhecer padrões e as teorias sobre o mundo formam parte de uma atividade humana – a dos cientistas – que incluem o que estes fazem em seus laboratórios e a maneira como ‘vivem’ as perguntas que se fazem e tentam responder.*

Atualmente, são as universidades e os centros de pesquisa científica e tecnológica os principais responsáveis pela geração de conhecimentos e posterior propagação da cultura – por meio das atividades científicas, propiciam importantes avanços tecnológicos que vão se refletir na sociedade nas mais diversas vertentes.

A Química como Ciência Natural possui, para cada área específica, um lugar na atividade industrial. A síntese de novas moléculas, cristais, polímeros, ligas, vidros etc. requerem pesquisas inovadoras, bem como formulação, produção de novos modelos e conceitos (ALVES, 2005). O fortalecimento e desenvolvimento industrial e econômico dependem do sucesso das pesquisas.

Segundo Maldaner (2000), o exercício da pesquisa é uma qualidade eminentemente humana, desenvolvida na cultura e na história humanas, que ocorre na interação mediada com o mundo sociocultural no qual se insere.

A interação com outras áreas de conhecimento — como a Física (processamento de materiais); a Biologia (medicamentos e biotecnologia); Geografia, História e especialistas das Ciências da Terra (meio ambiente) — causam impacto na sociedade, garantindo o próprio desenvolvimento.

O tema escolhido para esta dissertação diz respeito às pesquisas acadêmicas sobre combustíveis fósseis e biocombustíveis alternativos, demonstrando como o desenvolvimento da Ciência contribui para a qualidade de vida dos cidadãos. O conhecimento dos resultados obtidos dá credibilidade ao trabalho do cientista e a uma visão de Ciência socialmente relevante.

O principal objetivo para a escolha do tema foi demonstrar como é possível conciliar o desenvolvimento tecnológico, a evolução da Ciência e a pesquisa de novos materiais – considerando a questão ambiental e a sustentabilidade – com o ensino da Ciência Química.

No contexto de sala de aula, os alunos poderão questionar de forma reflexiva o papel desempenhado pela Ciência e pelos cientistas em situações concretas que, na opinião deles, sejam consideradas atuais e socialmente relevantes. Os professores estarão envolvidos na discussão crítica de diversas perspectivas sobre o tema e poderão analisar as distintas formas de conceber a natureza da Ciência e o caráter controverso semelhante à formação dos conceitos científicos.

## 2. A Química como Cultura

Partindo-se do fato de a Ciência ser parte da Cultura e, sendo a Química uma Ciência Natural, ela está presente no contexto da sociedade. A educação é parte de um processo social, que considera a cultura como um meio de disseminar o conhecimento para as gerações futuras. É importante que os alunos percebam que a ciência Química se faz presente na cultura contemporânea e que por meio dela poderemos estabelecer um diálogo com o mundo. A inclusão de temas que gerem nos estudantes a curiosidade de transcender a informação e conhecer mais a respeito do mundo ao seu redor contribuirá para o aprimoramento do ensino dessa ciência.

A cultura como parte integrante do processo educativo contribui para melhorias na qualidade de vida dos cidadãos, na economia global e na busca de sustentabilidade. Como afirma Lopes (1999, p.64), a cultura e o cultural não estão tanto naquilo que se transmite, mas naquilo que se faz com o que se transmite, compreendendo um processo de reprodução cultural e social das divisões de classe da sociedade.

Segundo Batista (1993), a cultura tecnológica designa o conjunto de saberes e de atitudes que permite a incorporação de elementos da tecnologia na cultura socialmente aceita, de modo a torná-los relevantes para a vida.

Como a inovação tecnológica envolve o uso do conhecimento científico e da pesquisa em áreas específicas, é notório o envolvimento do professor na procura de um saber mais aprofundado da Ciência e de sua relação com a vida de cada indivíduo. Na sala de aula, de uma forma geral, os professores parecem ter mais facilidade de expressar idéias relativas aos conceitos científicos que usualmente são apresentados nos livros didáticos, e alguma

dificuldade em ampliar a discussão, inserindo questões relativas à Tecnologia e às questões sociais (AMARAL; FIRME, 2008).

Segundo Soares, (2005), só estará habilitado para uma ação pedagógica pertinente e competente no ensino das Ciências, da Química, da Física, da Biologia, da Geografia etc. um professor cuja formação tenha sido influenciada – marcada, determinada – pelas pesquisas na área específica (ou nas áreas específicas) na qual e para a qual se forma professor. Portanto, a inter-relação entre a pesquisa científica e a prática pedagógica é indispensável para, além de enriquecer as discussões entre professores e alunos, proporcionar um maior conhecimento dos saberes científicos.

Para Astolfi e Develay (1990), a escola nunca ensinou saberes, mas sim conteúdos de ensino que resultam de cruzamentos complexos entre uma lógica conceitual, um projeto de formação e as exigências didáticas.

Ao se colocar em prática a transposição dos saberes científicos através de propostas de atividades de ensino e aprendizagem, o papel do aluno será valorizado no sentido de confrontá-lo com situações de erro, de forma a não conceber a imagem de cientistas infalíveis. O professor retifica os erros, e esclarece que a construção e a produção científica estão presentes nos contextos sociais, tecnológicos e culturais.

Do ponto de vista didático, ao sujeitarmos a experiência científica a uma tentativa de questionamento, estamos convidando os alunos a desenvolverem-se cognitivamente, em um confronto de ideias com os seus pares, em que o resultado não só não é, de antemão, conseguido, como tem que ser sempre olhado à luz dos seus quadros interpretativos (PRAIA; CACHAPUZ; PÉRES, 2005).

O ensino de Química não deve se restringir a um conjunto de informações, baseadas em acontecimentos recentes ou extraídas de livros didáticos, problematizados e inseridos nos

conteúdos disciplinares. Ao contrário, a contextualização dos conteúdos de ensino deve ter base científica e comprovação pela comunidade de cientistas.

Como afirmam ASTOLFI e DEVELAY (1990, p. 36), uma verdadeira aprendizagem científica se define, tanto pelas transformações conceituais que produz no indivíduo quanto pelo produto de saber que lhe é dispensado.

Ao transpor o conhecimento produzido e validado nos centros de pesquisa para as salas de aula, o professor contribuirá para desmistificar uma concepção errônea da Ciência e dos cientistas. Ao mesmo tempo, permitirá o acompanhamento do avanço da Ciência e das novas tecnologias que venham a ser desenvolvidas.

Segundo Japiassu (1986, p. 64), “o homem comum nada sabe do que se passa no mundo da ciência, a não ser por certas informações mais ou menos neo-esotéricas que se divulgam em publicações nas quais encontramos uma mescla de magia, pseudociência e charlatanismo”. Cabe ao educador fazer a mediação entre o conhecimento informativo e não-fundamentado e a Ciência dos cientistas. Dessa forma, os estudantes podem julgar com fundamento, as informações advindas da tradição cultural, da mídia e da própria escola e tomar decisões autonomamente, enquanto indivíduos e cidadãos (BRASIL, 2006).

Como fazer a mediação entre o conhecimento adquirido cotidianamente por nossos alunos e a produção do conhecimento científico atual?

Para responder a pergunta é necessário refletir sobre o papel da Ciência e da Tecnologia na Sociedade, e como essa inter-relação poderá ser contextualizada no Ensino de Química.



### 3. O Ensino CTSA: Ciência-Tecnologia-Sociedade e Meio Ambiente

Atualmente, vivemos rodeados de tecnologias. Todos os indivíduos utilizam algum artefato tecnológico, embora muitos não possuam conhecimentos sobre o seu funcionamento ou produção. Como a ciência natural Química está inserida na cultura contemporânea, o ensino de Química voltado à cidadania prepara o indivíduo para lidar com os produtos tecnológicos e posicionar-se frente às implicações decorrentes de tais tecnologias (SANTOS; SCHNETZLER, 2003).

Como afirma Bazzo (1998), para que os processos científicos e tecnológicos beneficiem verdadeiramente a humanidade, é necessário proporcionar uma “alfabetização em Ciência e Tecnologia”. Quando se fala em alfabetizar, logo vem à mente o ato de entender, apreender algo. Nesse caso, alfabetização significa conectar Ciência e Tecnologia, para que a sociedade compreenda a extensão dos efeitos positivos ou danosos desses processos.

Devido ao impacto da Ciência e da Tecnologia na sociedade moderna, no início da década de 1970, surgiu um movimento mundial conhecido como ensino de Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), de caráter interdisciplinar, no qual o ensino de Ciências, por meio de informações, torna o cidadão mais apto a cuidar de questões sociais relativas à Ciência e suas tecnologias (SANTOS; SCHNETZLER, 2003).

Assim, os pressupostos do movimento CTS serviram de inspiração para a construção do módulo didático ora proposto.

O Ensino CTS (SANTOS e MORTIMER, 2002), pode ser caracterizado como o ensino do conteúdo de ciências no contexto autêntico do seu meio tecnológico e social, no qual o estudante em seu cotidiano integra o conhecimento científico com a tecnologia. Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) têm enfatizado, desde

1999, a necessidade de vincular o conhecimento científico com a sua incorporação tecnológica (BRASIL, 2006).

“Historicamente, o conhecimento químico centrou-se em estudos de natureza empírica sobre as transformações químicas e as propriedades dos materiais e substâncias” (BRASIL, 2006, p. 31). O ensino de Química atual considera os fatores socioambientais e tecnológicos, incluindo noções de ética, cidadania, respeito aos recursos naturais do planeta e o tratamento e reaproveitamento de rejeitos e resíduos químicos. Tudo isso tendo em vista a sustentabilidade. Cada um desses fatores envolve o sistema de ensino e a sociedade, o que acarreta um elevado grau de “cultura científico-tecnológico” (BAZZO, 1998). Isso é relevante para o campo de pesquisa em Ciência e Tecnologia, tanto como atividade profissional, quanto para o desenvolvimento de novas tecnologias.

No caso específico da Química, o objetivo central do ensino de Química para formar o cidadão é, segundo Santos (2003), prepará-lo para participar em uma sociedade democrática, sabendo lidar com os produtos tecnológicos, e com as consequências do uso de tais tecnologias, e fazê-lo compreender os fenômenos químicos, além de manipular substâncias com precaução, interpretar informações químicas transmitidas pelos meios de comunicação e tomar decisões frente aos problemas sociais relativos à Química.

O ensino de Química fica então caracterizado por meio da inter-relação de dois aspectos centrais: a informação química e o contexto social. A alfabetização ou literacia científica e tecnológica é um meio pelo qual a informação poderá chegar ao sistema de ensino, incentivando alunos a buscarem o conhecimento, desenvolverem habilidades e valores necessários à tomada de decisões concernentes a questões que envolvem a Ciência e a Tecnologia na sociedade.

A preocupação com fatores ambientais, gerados pelos impactos sociais relativos à aplicação da Ciência e suas tecnologias, originou um novo movimento na década de 1990, intitulado Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA). Nesta perspectiva, o sistema de ensino deverá estar voltado à formação de cidadãos críticos e conscientes de seu papel na sociedade.

Portanto, é importante mostrar a relação entre o desenvolvimento das Ciências Naturais e o desenvolvimento tecnológico por meio de uma breve contextualização sobre a evolução da Tecnologia, fundamentada no saber científico.

#### **4. A Ciência e a Tecnologia**

O tema proposto na elaboração deste material didático relaciona-se tanto às Técnicas de Produção quanto a Tecnologias. A Técnica é precursora da Tecnologia. O homem, mediante a Técnica, modifica seu meio, os objetos e as substâncias materiais visando satisfazer suas necessidades e buscando uma melhor qualidade de vida (PALACIOS, et alii, 1998).

A Técnica é tão antiga quanto a humanidade (VARGAS, 1999). Mediante a atividade científica, tentou-se explicar tanto os fenômenos naturais quanto os sociais. A atividade técnica tem proporcionado as ferramentas e os instrumentos necessários para o desenvolvimento da Ciência, do mesmo modo que os avanços produzidos pela Ciência têm possibilitado um aperfeiçoamento das técnicas já existentes (PALACIOS et alii, 1998).

*“O aparecimento dos metais, a metalurgia e o trabalho do ferro, o desenvolvimento da indústria têxtil, o moinho hidráulico, a evolução dos utensílios agrícolas, a maquinaria militar e a imprensa, são, não obstante, referências essenciais no acompanhamento do desenvolvimento técnico pré-científico” (BAPTISTA, 1993, p. 38).*

O homem sempre produziu bens com o objetivo de satisfazer suas necessidades e seus desejos. Embora tenha inventado ferramentas, maquinário e outros objetos, durante um bom tempo, precisou recorrer ao uso da força e da inteligência, a fim de manipulá-los adequadamente (IANNONE, 1992).

Como afirma BAPTISTA (1993, p. 48), em suas reflexões sobre o papel da ciência e da técnica,

*A Ciência sujeita-se aos “desígnios da Natureza” enquanto a técnica serve os desígnios do Homem. Mas o cientista que “arquitectura” ou “constrói” uma teoria assemelha-se ao inventor que, por tentativas, procura ajustar os termos que, inelutavelmente, conduzam a um resultado dado. As teorias da ciência, tal como os dispositivos da técnica, são instrumentos. Os instrumentos da ciência são conceptuais, os da técnica são materiais. Uns e outros a partir de certas causas conduzem sempre aos mesmos efeitos!*

O aparecimento da máquina a vapor, aperfeiçoada em 1781 por James Watt, deu início à Revolução Industrial na Inglaterra (IANNONNE, 1992). Os materiais feitos de forma artesanal foram industrializados. Novas técnicas de produção surgiram, dando origem à sociedade industrial.

A implantação da indústria têxtil e a fabricação dos produtos necessários à lavagem do algodão e à tintura dos tecidos foram responsáveis pelo desenvolvimento da indústria química. Em seguida, vieram as fábricas de explosivos e de fosfatos, utilizados como fertilizantes na agricultura. Surgi, então, uma nova etapa de desenvolvimento técnico, isto é, a Tecnologia, para resolver problemas técnicos de uma forma generalizada, como o faz a Ciência, com suas teorias (VARGAS, 1999).

As tecnologias são técnicas que se fundamentam no saber científico. A atividade teórica da Ciência assemelha-se bastante à técnica. Baptista (1993, p. 47), ao procurar

semelhanças entre a ciência e a técnica, faz a seguinte afirmação: “senhora das causas e dos efeitos, a ciência experimental inventa a *posteriori* conceitos que ‘explicam’ os efeitos pelas causas. A teoria científica recria e reescreve as causas de forma a ‘deduzir’, a partir delas, os efeitos que a experiência elege”.

As relações entre Ciência e Tecnologia fazem parte do mundo em que vivemos. A inovação tecnológica tem trazido benefícios para toda a sociedade. Para Vargas (1999), não há Tecnologia se não houver pesquisa tecnológica. E essa é muito semelhante à pesquisa científica.

É verdade que o avanço da pesquisa científica e tecnológica tem proporcionado aos cidadãos facilidades e melhorias na sua vida diária, interferindo também nas questões de ordem econômica, política, cultural e social. Porém, o uso descontrolado dessas tecnologias poderá destruir as fontes vitais de nossa humanidade (POSTAMN, apud BAZZO, 1998, p. 114). Cabe a todos os cidadãos uma reflexão sobre o uso indiscriminado dessas tecnologias e os meios de controlar os impactos negativos ao ambiente que nos cerca.

Da mesma forma, os cientistas têm refletido sobre a significação da Ciência que estão fazendo. Passaram a interrogar-se acerca dos pressupostos, dos resultados, da utilização, do lugar, do alcance, dos limites e da significação sociocultural da atividade científica (JAPIASSU, 1979). Surge, então, uma nova corrente epistemológica das ciências, conhecida como epistemologia crítica, na qual os pesquisadores devem ser responsabilizados por danos que, porventura, suas descobertas poderão causar à sociedade.

Segundo JAPIASSU (1979, p. 138) “epistemologia crítica, pois, tem por objetivo essencial interrogar-se sobre a responsabilidade social dos cientistas e dos técnicos”. O papel da pesquisa científica, atualmente, está vinculado ao Estado ou à Indústria, sendo responsável – também – pelo desenvolvimento econômico.

É hoje cada vez mais claro o modo como a Tecnologia e a Economia se encontram profundamente interdependentes e como o conceito de globalização está diretamente relacionado com a possibilidade de comunicação instantânea, praticamente entre todos os lugares do Planeta (MARTINS, 2003).

As relações da Ciência com a produção de bens, o desenvolvimento tecnológico e as sociedades industrializadas modificaram o verdadeiro significado da Ciência que, como afirma Japiassu (1979, p. 140), “não reside mais no saber enquanto tal, mas no poder que ele efetivamente confere. Conhecer cientificamente, hoje mais do que nunca, consiste em saber que se sabe fazer”.

É de suma importância a reflexão e a autocrítica que os cientistas fazem a respeito da produção e do desenvolvimento científico-tecnológico. Os avanços tecnológicos, principalmente na área da biotecnologia (transgênicos, pesquisa genética, células-tronco, agroenergia etc.) e das tecnologias da informação e comunicação, têm contribuído para o desenvolvimento socioeconômico. Porém, o uso inconsequente de certos materiais, como os polímeros não-biodegradáveis, pilhas e baterias contendo chumbo, cádmio e mercúrio, com limites acima do permitido, e o emprego de recursos naturais não renováveis, têm colocado em risco nossa biodiversidade.

Em virtude desses fatores, é necessário que se conheça o processo de produção do conhecimento científico, a fim de encontrar meios de contribuir para um mundo sustentável.

O tema “Combustível” é fundamental para que o aluno compreenda questões tecnológicas relacionadas a fontes de energia e procure discutir as questões ambientais, refletindo sobre o papel da Ciência e de sua contribuição na solução dos problemas sociais do país.

## 5. Os Caminhos da Sustentabilidade

Sustentável é aquilo que se pode manter, conservar; é o que pode permanecer e continuar, sem se esgotar, a partir de processos de preservação e de renovação. O uso excessivo das fontes naturais para satisfazer as necessidades humanas pode comprometer as gerações futuras com a escassez de matéria-prima para alimentação, vestimentas e medicamentos.

A Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento da ONU elaborou um relatório, em 1987, conhecido como Relatório de Brundtland, em homenagem à primeira ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland (presidente da comissão), o qual propõe o desenvolvimento sustentável como sendo “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem as suas necessidades”. (CAVALCANT et alii, 1994). O relatório também faz referência às relações entre economia, tecnologia, sociedade e política, cobrando uma postura ética da sociedade em relação ao meio ambiente.

A estratégia para manter a sociedade unida na busca pela sustentabilidade foi a criação de um instrumento de planejamento participativo para o desenvolvimento sustentável. Esse instrumento é a Agenda 21<sup>1</sup>, um documento criado na Conferência Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (ECO 92), realizada em junho de 1992, na cidade do Rio de Janeiro, onde estiveram presentes representantes de todos os países do mundo.

---

<sup>1</sup> A agenda 21 é um plano de ação a ser realizado e adotado global, nacional e localmente – por governos e sociedade civil – em todas as áreas em que a ação humana impacta o meio ambiente. Com base na construção e promoção de ações que equacionem justiça social, eficiência econômica e conservação ambiental, constitui-se na mais abrangente tentativa já realizada de orientar para um novo padrão de desenvolvimento para o século 21. Disponível em <<http://www.mma.gov.br>> Acesso em 6 abr.2008.

No Brasil, em 2004, a Agenda 21 passou a integrar o Plano Plurianual do Governo Federal (PPA 2004/07), pelo qual o Ministério do Meio Ambiente assume o desafio de atingir um novo modelo de desenvolvimento, que tem como eixo a sustentabilidade aliada à preservação ambiental, à justiça social, ao crescimento econômico e à participação e controle da sociedade como elemento para democratizar o direito à qualidade de vida (MMA, 2008).

A temática ambiental tem sido alvo constante de preocupação da sociedade e do sistema de ensino. A inclusão de temas ambientais no ensino de várias disciplinas ampliou a relação vista anteriormente entre ciência, tecnologia e sociedade incluindo noções de educação ambiental como forma de ampliar a tomada de decisões frente a problemas técnico-científicos que venham interferir no equilíbrio dos ecossistemas.

O desenvolvimento tecnológico, e o uso de fontes renováveis de energia são fatores relacionados à sustentabilidade do meio ambiente. Em função disso, é importante que o professor – ao abordar conteúdos de ensino de Química que fazem referência à utilização dos recursos extraídos do ecossistema – promova discussões, com o objetivo de despertar a consciência ambiental dos alunos.

A extração de recursos naturais, principalmente para obtenção de combustíveis automotivos, gera resíduos que afetam a qualidade de vida dos cidadãos. O movimento de conscientização da sociedade começa na escola – um espaço diferenciado de produção de saberes (MARANDINO, 2004), ao promover uma educação para o desenvolvimento sustentável. Uma educação que objetive compreender as relações sociedade-natureza e contribua para a mudança de valores e atitudes dos estudantes, na solução de problemas e conflitos ambientais, é segundo CARVALHO (2004, p. 13) “uma educação ambiental crítica, pois contribui para a transformação dos atuais padrões de uso e distribuição dos bens



ambientais em direção a formas mais sustentáveis, justas e solidárias de vida e de relação com a natureza”.

A organização conceitual do módulo desenvolvido está centrada em temas atuais, mostrando a Ciência envolvida com problemas de interesse social, buscando solução por meio da produção científico-tecnológica.

A incorporação das questões ambientais ao ensino CTS visa contribuir para a formação de cidadãos críticos e conscientes do uso da Tecnologia sem prejuízo ao meio ambiente.

O diálogo do professor com seus alunos e o conhecimento sobre o tema selecionado, bem como, o próprio discurso dos alunos e as relações que se estabelecem com o saber em questão, facilitarão a transposição didática do conteúdo de saber a ensinar.

No próximo capítulo será abordado o fenômeno da transposição didática e sua trajetória desde o saber científico até sua inserção na sala de aula, como saber ensinado.

## CAPÍTULO 3

### A TEORIA DA TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA

#### 1. A Transposição do Saber Científico

Para que o ensino de Química possa abranger questões relativas à Ciência e suas Tecnologias, pode-se fazer uso de um instrumento que transforma o conhecimento científico em conceitos mais acessíveis para professores e alunos.

A teoria da Transposição Didática, de Yves Chevallard, é um desses instrumentos. Nela, o autor afirma que “para que se torne possível o ensino de um determinado elemento do saber, este deverá sofrer certas deformações, que o deixarão apto a ser ensinado” (1991, p.16).

*Um conteúdo do saber que tenha sido designado como saber a ensinar sofre a partir de então um conjunto de transformações adaptativas que irão torná-lo apto a ocupar um lugar entre os objetos de ensino. O trabalho que transforma um objeto de saber a ensinar em um objeto de ensino, é denominado a transposição didática (LEITE, 2007, p. 43).*

A teoria da Transposição Didática analisa a trajetória que tem início na produção do saber científico (saber sábio) e termina no momento em que este se transforma em objeto de ensino (saber ensinado). Segundo Chevallard (1991, p.11), “o sistema didático do saber é diferente do sistema acadêmico, pois embora ambos se inter-relacionem não se superpõem”.

O saber acadêmico tem como principal objetivo uma construção científica, histórica e cultural. Como é produzido na comunidade científica, deve ser comunicado e socializado para que novos saberes sejam produzidos.

O funcionamento didático objetiva a apropriação do saber pelos alunos, a partir das situações de ensino por eles vivenciadas. Essa especificidade pela qual os objetos de ensino se remetem àquilo que já é conhecido pelo aluno, mas, que deve aparecer como novidade, Chevallard chama de contradição antigo/novo. Afinal, é o novo, é o não sabido que justifica a relação didática. Para Chevallard (1991), didática é a ciência do estudo e didático é qualquer aspecto dos múltiplos processos de estudo ocorridos cotidianamente nas sociedades.

O termo “Transposição Didática”, segundo Chevallard (LEITE, 2007), foi empregado inicialmente pelo sociólogo francês Michel Verret, na sua tese de doutorado “*Le temps des études*”, publicada em 1975. Para Verret (LEITE, 2007), didática é a transmissão de um saber adquirido. Transmissão dos que sabem para os que ainda não sabem. Daqueles que aprenderam para aqueles que aprendem.

Chevallard se apropriou da idéia de Verret e a adaptou ao campo da didática das matemáticas, transformando-a em teoria. Desenvolveu um modelo teórico para análise dos sistemas de ensino, tendo como eixo estruturante a discussão do saber escolar em termos epistemológicos.

Segundo essa teoria, um conceito ao ser transferido, transposto, de um contexto ao outro, passa por profundas modificações (ASTOLFI; DEVELAY, 1990). Ao ser ensinado, todo conceito mantém semelhanças com a idéia originalmente presente em seu contexto da pesquisa, porém, adquire outros significados próprios do ambiente escolar no qual será alojado.

Deste modo o conhecimento produzido pelos cientistas e fundamentado pela comunidade científica poderá ser transposto e adaptado para as salas de aula, por meio de programas de ensino e materiais didáticos.

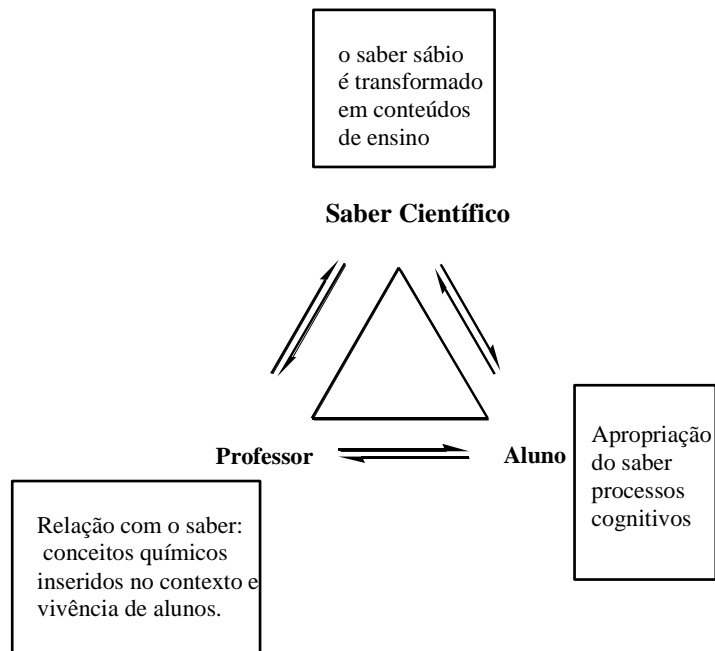
## 2. Breve Histórico

A Pedagogia e a Psicologia da segunda metade do Século XX mostram o sistema didático representado apenas por relações de natureza sociológica, como a que envolve professor e alunos no âmbito do processo de ensino e aprendizagem.

CHEVALLARD (1991) incluiu nesse sistema o saber produzido na esfera acadêmica – o saber científico – destacando a complexidade das relações estabelecidas entre os três pólos do sistema. Dessa forma, foi criado o triângulo fundamental que constitui a relação didática professor-aluno-saber, e que transforma o saber científico em saber a ensinar, e por fim, em um saber ensinado (MENEZES, 2006).

O saber passa a integrar a relação tida anteriormente como exclusiva entre professor e alunos, constituindo uma base ternária: o professor, o aluno e o saber. O triângulo das relações didáticas (Figura 2) vem confirmar o equilíbrio que se estabelece entre os três pólos do sistema didático – o pedagógico, no papel do professor, o psicológico, o aluno e o epistemológico, o saber científico.

### Triângulo das Relações Didáticas



**Figura 2 Sistema didático (CHEVALLARD, 1991)**

A questão do conhecimento escolar passou a ser objeto de discussão quando Chevallard (1991) considerou o ato de ensinar Matemática uma ciência, e a relação entre o conhecimento apreendido e o conhecimento científico um dos pontos fundamentais em toda didática.

Se levarmos em conta as relações que ocorrem em um sistema didático envolvendo a tríade professor-aluno-saber, as discussões que envolvem a didática da Matemática também envolverão a didática das disciplinas científicas, como a Química. Posto isto, no processo de transformação dos saberes científico-tecnológicos envolvendo a ciência natural Química, o professor será um facilitador na apropriação pelos alunos dos saberes sistematizados e integrados aos conteúdos de ensino.

O saber produzido na comunidade científica não deve ser transposto, de imediato, para o sistema didático. É necessário que o saber sábio passe por uma série de transformações para que se torne um saber “ensinável” ou ensinado – aquele que estará presente na sala de aula. Entre o saber científico e o saber ensinado, existe um nível intermediário, o saber a ensinar.



Nesta dissertação, procura-se demonstrar primeiro a relação entre o saber científico e o professor, ou, mais precisamente, as alterações sofridas pelo saber, desde sua criação na comunidade científica até sua apropriação pelo professor. O que resultou na confecção de um material didático que poderá ser transposto para as salas de aula.

Na visão de alguns estudiosos (CHEVALLARD, FORQUIN, ASAC, VERRET, apud MENEZES, 2006), a transposição didática é entendida como um processo epistemológico (pois trata de saberes produzidos na comunidade científica), sociológico (pois pertence à história e ao contexto social) e psicológico (apropriação e reconstrução do saber pelo aluno, no ambiente escolar).

Antes de chegar à sala de aula, como saber ensinado, o saber a ensinar e o saber sábio passarão por processos que Chevallard chama de “textos do saber”, que são:

- Despersonalização;
- Descontextualização;
- Dessincretização;
- Formatação para programabilidade;

A Despersonalização começa no processo da publicação dos saberes pelo pesquisador. O saber que está sendo produzido é separado do contexto daquele que o investiga. A Descontextualização é a separação da problemática que está sendo pesquisada pelo cientista, para um novo contexto, o sistema de ensino.

Para a textualização do saber sábio, é necessário que ocorra sua Dessincretização, isto é, que seja convertido em saberes parciais para em seguida ser programado e assimilado de forma sequencial e racional (Formatação para programabilidade). Assim, o saber científico irá perdendo sua personalidade inicial e passando por uma transformação, tendo sua natureza fortemente modificada.

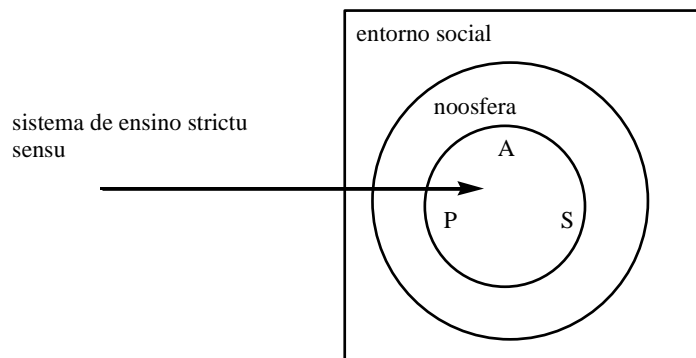
A sociedade exerce influência sobre o sistema técnico-científico, como visto anteriormente no capítulo 2, e também sobre o sistema de ensino, o que implica a formação de dois pólos que se inter-relacionam mutuamente.

Observando a profunda relação entre os fatores internos e externos que influenciam o sistema didático e, por sua vez, o sistema de ensino, Chevallard (apud LEITE, 2007), considerou como, “sistema didático stricto sensu” o local onde atuam professores e alunos, e “sistema de ensino stricto sensu” onde estariam também incluídos os conteúdos de saber. A partir daí, o teórico começou a investigar o sistema didático, inserido em um sistema de ensino.

Para realizar a interface entre a sociedade e as esferas de produção dos saberes, Chevallard criou o conceito de *Noosfera* – círculos intermediários entre a pesquisa e o ensino, integrados ao sistema didático propriamente dito – professor, aluno, conhecimento – ampliando assim o sistema escolar (LOPES, 1999, p. 207), que passa a ser o lugar onde ocorrem, ao mesmo tempo, os conflitos e as transações pelos quais se exprime e se realiza a articulação entre o sistema e seu ambiente, como representado na Figura 3.

Cada uma dessas esferas tem seus agentes pertencentes a diferentes grupos sociais, com interesses distintos e que, com regras próprias, influenciam nas mudanças sofridas pelo saber ao longo de seu percurso epistemológico (PIETROCOLA, 1999).

A *Noosfera* envolve a comunidade responsável por estabelecer o que deve ser ensinado na escola. Nela estão presentes didatas, pedagogos, professores, técnicos do governo responsáveis por gerir o ensino, pais de alunos, representantes de órgãos políticos, representantes de instituições que elaboram currículos e livros didáticos. A normatização do que deve ser ensinado na escola, caracteriza a transposição didática externa (MENEZES, 2006).



Sistema de ensino (CHEVALLARD, 1991, p. 28) Figura 3

### 3. A Transposição Didática Externa

A transposição didática externa se processa na forma de conteúdos de saber, selecionados conforme as demandas da sociedade. Na medida em que é um sistema aberto, o sistema didático necessariamente se compatibiliza com as exigências do contexto social no qual se insere (LOPES, 1999).



No Brasil, os programas de ensino geralmente seguem os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), documento do governo, cujas normas são estabelecidas pelo Ministério da Educação (MEC), e a Lei de Diretrizes e Bases da Educação (BRASIL, 1996). Porém, a maioria dos professores procura nos livros didáticos orientações sobre o saber a ensinar, nos quais programas de ensino se apresentam formatados, atualizados, com ilustrações e exercícios, embora em muitos deles, os conteúdos se encontrem separados em capítulos, muitas vezes descontextualizados e pouco integrados com outras áreas do conhecimento.

Cabe a *Noosfera* regular, junto à estrutura social mais ampla, a forma como deverá se processar a transposição do conhecimento científico, para só então avaliá-lo como pertinente à sociedade e necessário à composição curricular (PIETROCOLA, 2001).

Chevallard (LEITE, 2007) pede que se mantenha uma “vigilância epistemológica” na maneira de ensinar, para que o saber apresentado nos livros didáticos não desfigure o saber de referência. Para isso, o professor deverá usar sua criatividade didática – o que significa garantir a continuidade do processo de transposição, mantendo proximidade com o saber sábio.

#### **4. A Transposição Didática Interna**

A etapa final do processo de transposição didática se dá, quando os conteúdos de ensino chegam até a sala de aula na forma de saber ensinado, configurando a transposição didática interna.

Nesta etapa, ocorre uma relação dialética na qual o professor e o(s) aluno(s) trabalham na transposição de novos saberes produzidos pela esfera científica. O professor, ao mediar à

transposição do novo conhecimento, colocará em prática estratégias de ensino que poderão facilitar o aprendizado.

Nesta dissertação, não cabe discorrer sobre as possíveis estratégias de ensino colocadas em prática pelo(s) professor (es), e sim sugerir uma nova abordagem na apresentação dos conteúdos de Química que auxiliem ao professor no despertar dos alunos pela ciência e a produção científica.

No capítulo seguinte serão demonstrados os critérios para a elaboração do módulo didático, assim como o referencial teórico — a transposição didática e os conteúdos de ensino, as avaliações e metodologia.

## CAPÍTULO 4

### A CONFECÇÃO DO MÓDULO DIDÁTICO

O ensino de Química vinculado ao conhecimento sobre recursos energéticos enriquece e valoriza os conteúdos de ensino, além de contribuir com a formação de cidadãos mais conscientes e envolvidos com a preservação e manutenção das fontes naturais necessárias ao bem estar da sociedade. O tema é atual e passível de estar contido nos livros ou materiais de ensino, pois estimula a procura pelo saber e provoca, por meio da pesquisa científica, um intercâmbio entre os estudantes e a comunidade acadêmica.

O módulo didático proposto corresponde ao Apêndice “A” desta dissertação e tem como característica ser um material de apoio aos professores do ensino médio. A confecção do material foi feita de forma diferenciada da maioria dos livros didáticos, pois prioriza a inter-relação entre a produção científica e o ensino da ciência Química, por meio de temas que ressaltam a importância da inovação tecnológica na produção de energia envolvendo a pesquisa acadêmica.

O uso de fontes alternativas de energia, a consciência ambiental e a gestão de resíduos são temas atuais que não faziam parte dos conteúdos de ensino presentes nos livros didáticos, mas passaram a integrar os programas curriculares para o ensino de Química (BRASIL, 2006), por serem do interesse de toda a sociedade.

A contextualização interdisciplinar do saber a ensinar presente no módulo didático é um fator que permite a proposição de atividades e exercícios variados, tendo o professor como mediador na relação aluno — saber. O ensino CTSA está sendo contemplado, pois, o tema abordado procura explicitar as interconexões entre a Ciência, Tecnologia, Sociedade e o meio

Ambiente, contribuindo para desenvolver nos alunos um espírito crítico como cidadão partícipe de um mundo em constante transformação.

A recontextualização da pesquisa científica atualiza professores e alunos, pois permite que se compreenda a natureza da Ciência com suas aplicações tecnológicas como fator importante ao convívio social.

No quadro 1 os aspectos do ensino CTSA contemplados no módulo.

Aspectos de CTSA	Módulo Didático
1. Organização conceitual centrada em temas tecnológicos e sociais	1. A temática sobre as fontes de energia é relevante e inserida no contexto de professores e alunos.
2. Abordagem interdisciplinar	2. Articula o conhecimento científico e tecnológico numa perspectiva interdisciplinar
3. O desenvolvimento tecnológico depende de deliberações humanas	3. Reflexos do uso de tecnologias sobre o comportamento humano
4. A Tecnologia é apresentada como aplicação das diferentes formas de conhecimento para atender às necessidades sociais.	4. Promove o interesse de professores e estudantes por conectar a ciência com suas aplicações tecnológicas.
5. Preparação de cidadãos, a partir do conhecimento mais amplo da ciência e de suas implicações na vida do indivíduo.	5. Desperta no aluno o sentido cívico e crítico na tomada de decisão quanto a questões que envolvem aspectos socio-ambientais.
6. Natureza da Tecnologia	6. Organização dos aspectos técnicos, organizacionais e culturais da prática tecnológica
7. Efeito da Tecnologia sobre a Sociedade	7. Ênfase aos possíveis impactos ambientais da prática tecnológica.
8. Efeito da Sociedade sobre a Tecnologia	8. Contextualização das atividades científicas e tecnológicas
9. Efeito da Ciência sobre a Sociedade	9. Adquirir uma compreensão da natureza da Ciência e do trabalho científico
10. Efeito da Tecnologia sobre a Ciência	10. Produtos, resíduos e rejeitos obtidos a partir da prática tecnológica

**Quadro 1 - Aspectos do ensino CTSA contemplados no módulo didático**

De acordo com as idéias de Chevallard (1991), mencionadas no capítulo 3, quando novos saberes são introduzidos de forma articulada com os objetos de ensino previamente conhecidos pelos alunos, ocorre um fator que ele denomina de contradição “antigo/novo”. Na confecção do módulo houve a preocupação de se pesquisar as descobertas mais recentes envolvendo cada um dos temas geradores e atualizar as concepções de professores e alunos.

No quadro 2, aspectos da teoria da transposição didática contemplados no módulo, e os conteúdos químicos que podem ser discutidos durante as aulas, a partir dos textos extraídos da pesquisa científica.

Teoria da Transposição Didática	Módulo Didático
1. Saber Acadêmico: produzido na comunidade científica	1. Saber a ensinar: módulo didático
2. Transposição didática externa	2. Textos do saber
3. Despersonalização: publicação dos saberes pelo pesquisador	3. Conteúdos de saber selecionados conforme as demandas da sociedade
4. Descontextualização: problemática pesquisada pelo cientista	4. Sistema de ensino: novo contexto conforme regulamentação da <i>noosfera</i>
5. Dessincretização: o saber sábio deverá ser convertido em saberes parciais	5. O saber sábio é transformado em conteúdos de ensino
6. Formação para programabilidade	6. Os conceitos científicos estão organizados de forma sequencial e racional
7. Publicidade do saber e controle social das aprendizagens	7. Caberá ao professor orientar e direcionar a publicidade e a aprendizagem dos saberes.
8. Elementos da transposição didática externa: precisam ser apreendidos pelos alunos	8. Ligações químicas e forças intermoleculares, propriedades físicas e químicas, funções orgânicas e inorgânicas, energia de ligação
9. Elementos da transposição didática interna: conteúdos de saber chegam a sala de aula na forma de saber ensinado	9. Conceitos químicos contextualizados de forma a priorizar os aspectos macroscópicos no início, seguido do representacional e por último os microscópicos.
10. Vigilância epistemológica	10. Saber apresentado no módulo didático não deve desfigurar o saber de referência.

Quadro 2 - Aspectos da Transposição Didática contemplados no Módulo

## 1. A Produção dos Saberes

Grande parte dos alunos não consegue discernir a relação entre o que acontece no mundo (como o aquecimento global) e o que lhes é ensinado na escola, pois o ensino vivenciado no ambiente escolar é fragmentado em disciplinas, muitas vezes desconexas, e fora do contexto sociocientífico.

Chevallard afirma (1991) que, a maior parte do processo de transposição do saber científico para o saber escolar já foi efetivado no momento em que o professor prepara “textos do saber”, que, no módulo didático ora proposto, consistem de estudos desenvolvidos por pesquisadores em universidades ou centros de pesquisa, e são problematizados na forma de conteúdos escolares.

No módulo, estão presentes os combustíveis mais utilizados nos meios de transporte e os combustíveis alternativos, objeto de estudo das pesquisas científicas nos dois centros selecionados. A pesquisa sobre combustíveis é relevante para a sociedade nos dias atuais, por tratar-se de fontes de energia que geram bens de consumo e nos proporcionam benefícios e comodidades.

### 1.1 O Saber Sábio - O saber dos cientistas e sua transformação em objetos de ensino

Pesquisadores do ensino de ciências, como Santos e Mortimer (2002), têm dado ênfase à importância de se discutir, com os alunos do ensino médio, aspectos relativos à natureza da Ciência e as relações entre a atividade científica, o desenvolvimento tecnológico e suas implicações sociais. O saber científico precisa ser divulgado, não apenas em revistas e

periódicos de divulgação científica, restritas apenas a universidades e centros de pesquisas, mas também para a sociedade.

No módulo de ensino (Apêndice A), foram divulgadas as pesquisas mais recentes envolvendo fontes de energia (petróleo, álcool e biodiesel), as quais, vinculadas ao conteúdo químico, favorecem os aspectos do ensino CTSA, por abordar fatores tecnológicos e socioambientais.

## **1.2 Centros de Pesquisa Científica**

As linhas de pesquisa e as tecnologias em desenvolvimento são descritas em dois ambientes, sendo um deles vinculado a Petrobras, empresa ligada ao governo Federal responsável pela prospecção de todo o petróleo encontrado em território brasileiro. O Centro de Pesquisas Leopoldo Américo Miguez de Mello (CENPES), localizado na Cidade Universitária, no Rio de Janeiro, criado em 1973, é uma instituição de pesquisa responsável por inovações nas áreas de exploração, produção, refino e petroquímica e também detentora de tecnologia de ponta na indústria do petróleo.

No CENPES é feita a pesquisa de óleos pesados por meio de processos químicos de craqueamento. A pesquisa leva em conta a demanda da sociedade com relação a derivados de petróleo para uso como combustível automotivo e também a produção de subprodutos ou matérias-primas para a indústria petroquímica.

O outro ambiente é o Laboratório de Materiais e Combustíveis do Instituto de Química da Universidade de Brasília (LMC), que desenvolve pesquisas na área de biocombustíveis.

A linha de pesquisa no LMC busca alternativas aos principais responsáveis pelos danos ambientais: os combustíveis de origem fóssil, como o petróleo e seus derivados. A obtenção destes combustíveis – que utilizam como matéria-prima recursos naturais renováveis e de fácil manejo – se dá através de vários processos, como o craqueamento catalítico e reações de esterificação e transesterificação de oleaginosas na presença de catalisadores.

## **2. O Saber a ensinar**

O saber a ensinar é baseado em conteúdos extraídos de livros e materiais didáticos, nos quais a ciência é quase sempre apresentada de forma descontextualizada e distante da realidade das práticas acadêmicas.

Os programas de ensino elaborados por instituições (MEC, didatas, pedagogos etc) são fornecidos ao sistema de ensino na forma de currículos, materiais ou livros didáticos com o objetivo de normatizar o saber a ensinar. O processo de ensino e aprendizagem consiste na abordagem de conteúdos compartimentados que são transmitidos pelos educadores aos estudantes conforme o plano de ensino adotado por cada instituição.

Geralmente, a proposta curricular obedece à Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDB) e aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN). Nesta proposta, “os conteúdos, as metodologias e as formas de avaliação são organizadas de tal modo que, ao final do ensino médio, o educando demonstre o domínio dos princípios científicos e tecnológicos que presidem a produção moderna” (BRASIL, 2006, lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996). Porém, em alguns casos a organização e a apresentação dos conteúdos disciplinares não contribuem para a formação de conceitos científicos pelos alunos.



Para que o saber produzido nas universidades e nos centros de pesquisa possa chegar ao ambiente escolar é necessário que o professor faça a transposição do conhecimento científico para as salas de aula. Ao transpor, didaticamente, o saber científico, este será modificado, descontextualizado e reorganizado em um novo saber a ser ensinado.

Nesse módulo, algumas relações se estabelecem entre os três pólos do sistema didático, como visto anteriormente no capítulo 3. O saber da comunidade científica se mantém em equilíbrio com o professor, que inserido no contexto de pesquisa, entra em equilíbrio com o saber prévio do aluno, que é modificado, transformando-se em conhecimento científico.

### **3. O saber ensinado**

O saber ensinado deve levar em conta o conhecimento prévio do aluno a cerca da problemática em questão. O professor precisa avaliar qual a concepção de ciência que os alunos possuem e tentar modificá-la se necessário, através de metodologias adequadas à aquisição de conceitos científicos. O novo saber deverá se integrar aos já existentes, de forma articulada e atualizada, considerando os aspectos sociais, políticos, culturais e tecnológicos (BRASIL, 2006).

As linhas de pesquisa apresentadas abrangem também o uso de novas tecnologias para a diminuição de poluentes atmosféricos, tema relacionado ao conhecimento cotidiano que necessita da contribuição do conhecimento científico.

O material proposto trata de um tema abrangente a toda a *Noosfera* que, segundo Chevallard (LOPES, 1999, p. 207) “são círculos intermediários entre a pesquisa e o ensino”, onde também estão presentes professores e alunos.

Os conceitos de química podem ser apresentados conforme as informações atualizadas sobre a pesquisa de combustíveis são repassadas aos alunos, tornando-se objeto de discussão em sala de aula. O professor poderá mediar tais questões e envolver a comunidade escolar na (re) construção destes saberes.

Para um ensino verdadeiramente significativo, os conteúdos abordados devem ser coerentes com o meio no qual os alunos se inserem. A escola atuando como facilitadora no acesso à cultura e ao saber, ajudando os estudantes a interagirem de forma ativa e crítica.

#### **4. Estrutura do Módulo**

A abertura deste módulo didático conta com uma breve apresentação da matriz energética brasileira a fim de ampliar a visão do tema gerador: “Combustíveis”. O material de ensino foi estruturado em quatro tópicos: Petróleo e Gás Natural; Álcool; Biodiesel e Ciclos Biogeoquímicos.

Em cada um dos tópicos, buscou-se refletir sobre quais aspectos da produção científica poderiam ser disponibilizados e recontextualizados como conteúdos de ensino no módulo didático.

Em princípio, levou-se em conta a natureza epistemológica do saber científico, pois a teoria da transposição didática, segundo Chevallard (1991), propõe-se a pensar o sistema didático com base na abordagem epistemológica do saber a ser ensinado.

Um breve comentário sobre a matriz energética brasileira e sobre cada um dos combustíveis, destacando-se os processos de legitimação entre os diversos grupos sociais, deu início aos textos de saber do material didático.

Em seguida, foram descritas as linhas de produção técnico-científicas para cada combustível e sua demanda pela sociedade. Por fim, uma abordagem analítica da composição química de cada combustível e os processos químicos e físicos para sua obtenção.

Para a transposição dos saberes oriundos de pesquisas nos laboratórios do CENPES (UFRJ e PETROBRAS) e no LMC (UnB), alguns fatores foram considerados como relevantes e facilitadores ao processo de ensino e aprendizagem, como a modernização e atualização do saber a ensinar.

#### 4.1 O tema gerador

Discorrer sobre combustíveis remete a transposição didática externa, onde os saberes científicos são deformados a fim de se tornarem conteúdos de ensino. Tal deformação/transformação depende da *Noosfera*, como visto anteriormente no capítulo 3, que regula e seleciona os conteúdos de saber que aparecem nos currículos e livros didáticos.

A transposição didática interna é a etapa conclusiva da relação entre os saberes, pois se trata do momento em que os conteúdos de ensino adentram a sala de aula. Nela se estabelece a relação triangular do sistema didático: tema gerador/o saber – aquele que ensina/professor – aquele que aprende/aluno.

O professor tem um papel fundamental nessa relação, pois é ele o responsável pela seleção de conteúdos a serem sugeridos e integrados ao tema gerador e discutidos com seus alunos. A transformação dos textos de saber em saber ensinado depende do conhecimento e da relação que o professor mantém com o saber em questão.

## 4.2 Características do Módulo

O módulo didático foi organizado tendo como eixo integrador “Combustíveis, Fontes de Energia” e contextualizado concomitantemente aos conteúdos por meio dos temas geradores: petróleo, álcool e biodiesel.

A sequência na qual cada um dos temas foi abordado poderá ser modificada conforme a aplicação ou preferência de cada professor. O módulo fornece sugestões de conceitos químicos que podem ser contemplados na descrição de algumas fontes de energia. Caberá ao professor, conforme a programação de suas aulas, fazer a seleção dos conteúdos.

Para cada tópico abordado, o módulo apresenta um texto introdutório – extraído de revistas de divulgação científica – que tratam das pesquisas mais recentes sobre cada um dos combustíveis, e que servem de base para a transposição dos conteúdos de química integrados ao saber sábio, e ainda contribuem, para avaliar o conhecimento prévio do aluno sobre o tema.

O modo pelo qual os temas geradores foram estruturados e inseridos nos conteúdos de ensino será descrito a seguir.

No tópico I, o Petróleo como tema gerador dá início à sequência de conceitos e estruturas metodológicas com sugestões de atividades para os alunos e informações aos professores. A seguir uma síntese sobre o petróleo, sua composição, propriedades físicas e químicas, processos de separação de suas frações, uso como combustível e na indústria petroquímica, a produção de energia e as moléculas constituintes. Foi dada uma visão macroscópica no início da apresentação para, em seguida, valorizar os aspectos simbólicos e microscópicos do tema gerador.

#### 4.2.1 Petróleo e Gás Natural

➤ Breve Histórico e Situação atual no Brasil

A descoberta dos primeiros poços de petróleo por volta de 1938 e a auto-sustentabilidade na produção de petróleo em 2006 por meio de plataformas de prospecção cada vez mais modernas, seguida da descoberta do pré-sal, são informações que podem ser utilizadas pelo professor para aproximar os alunos do tema em questão.

➤ Origem do Petróleo

Após a história da descoberta do petróleo e da presença do gás natural como parte importante deste combustível, são apresentados os principais constituintes e suas propriedades. O professor poderá introduzir o tema a partir de um seminário sobre a origem do petróleo, contextualizando-o junto com professores de Biologia, Geografia e História.

A apresentação de conteúdos por meio de temas atuais e interdisciplinares poderá incentivar os alunos a buscarem o conhecimento, interagindo e participando das aulas.

➤ Processamento do Petróleo e a Utilização do Gás Natural

No módulo didático o processo de separação dos constituintes do petróleo é contextualizado mostrando o uso de frações provenientes do óleo bruto para produção de energia e também como matéria-prima para a indústria petroquímica. As reações de

craqueamento são representadas e inseridas no conteúdo sobre ligações químicas, abordando os conceitos microscópicos das substâncias.

### Principais Constituintes do Petróleo

Para que o petróleo possa ser usado como fonte de energia é necessário a sua conversão em derivados de grande importância comercial, obtidos através de processos físicos e químicos. No refino e processamento dos constituintes do petróleo o professor poderá abordar conceitos sobre os principais constituintes deste combustível, introduzindo a Química Orgânica e suas principais classes de compostos.

O conceito de forças intermoleculares é inserido como chave para explicação das propriedades físicas das substâncias, bem como o comportamento macroscópico dos materiais.

### Propriedades Físicas

As propriedades físico-químicas e a estrutura molecular, assim como a variação nos pontos de ebulição, polaridade e solubilidade das diferentes substâncias, podem ser explicadas por meio do modelo de ligação química e das forças intermoleculares. Para se compreender as propriedades macroscópicas das substâncias orgânicas em geral e daquelas constituintes do petróleo especificamente, é necessário que se tenha clareza do modelo empregado para explicar como as moléculas são formadas e quais as forças envolvidas que justificam a sua formação.

➤ Separação de Substâncias Presentes no Petróleo: Destilação e Craqueamento

São descritas as reações que ocorrem nas refinarias, demonstrando as diferenças de propriedades físicas e químicas entre os constituintes do petróleo. Os conceitos químicos são enfatizados por meio das ligações químicas, dando-se ênfase aos aspectos microscópicos das substâncias.

Os processos de craqueamento que ocorrem nas indústrias de petróleo visam modificar a estrutura química das moléculas de hidrocarbonetos, transformando-as em substâncias mais requisitadas e de melhor qualidade.

Os processos de separação das substâncias presentes no petróleo nos reportam à indústria petroquímica. Do processamento desse recurso natural podemos obter matérias-primas básicas utilizadas por diversos segmentos, como o de embalagens, construção civil, elétrico, eletrônico, automotivo, tecelagem, fertilizantes, entre outras.

Durante a contextualização dos processos físicos de separação dos constituintes do petróleo, o professor estará fazendo a transposição da pesquisa científica para a sala de aula. Porém, a fim de normatizar e textualizar o saber a ensinar, o saber da comunidade científica precisa ser delimitado e recontextualizado em saberes parciais.

Sendo assim, o saber sábio passará por um processo de dessincretização, onde os saberes científicos serão programados de forma sequencial e racional e farão parte dos conteúdos de ensino.

➤ Combustão e Agentes Poluentes

A discussão sobre questões ambientais procura mostrar as relações entre o desenvolvimento científico, a inovação tecnológica e as questões sociais. A poluição ambiental e suas principais causas são temas para discussões sobre a responsabilidade da sociedade no uso de tecnologias que geram bens de consumo, mas que também causam estragos e desequilíbrio na natureza. Tal abordagem evidencia características específicas de propostas de ensino CTS & A de química.

➤ Indústria Petroquímica

As pesquisas científicas, que resultam em processos tecnológicos inovadores e mais econômicos, são explicitadas para que o professor possa demonstrar aos alunos, o ramo promissor da indústria química e de seus avanços tecnológicos. Assim, além de estimular o aprendizado de Química, o docente estará motivando os alunos a seguirem a carreira profissional de químico.

#### 4.2.2 **Álcool**

➤ Breve Histórico

No tópico II, o tema álcool é apresentado a partir de um breve histórico sobre a importância do setor sucroalcooleiro na obtenção do álcool combustível e sua evolução até o



surgimento do Proálcool por volta de 1975 – o que levou ao aumento nas vendas de carros movidos a álcool. Já nos anos 1990, foi novamente substituído pelos combustíveis fósseis e, atualmente, é um dos recursos de maior potencial na matriz energética brasileira e mundial.

➤ Texto introdutório

O texto apresentado trata de pesquisas recentes, que comprovam, a partir da análise de poluentes atmosféricos encontrados no ar de uma cidade, como o uso do álcool combustível pelos veículos leves contribui para diminuir cerca de 92% a emissão de HPAs (hidrocarbonetos policíclicos aromáticos), em comparação aos movidos a gasolina ou diesel.

➤ Situação atual no Brasil

O professor poderá comentar que o Brasil é o país mais avançado, do ponto de vista tecnológico, na produção e no uso do etanol como combustível. A cana-de-açúcar é a segunda maior fonte de energia renovável do Brasil, tendo o bagaço como matéria-prima.

Poderá também conceituar tópicos interdisciplinares relacionados à utilização da biomassa como fonte alternativa de energia e mostrar como o uso dessa fonte contribui para a redução dos impactos ambientais e a emissão de gases estufa.

➤ Etanol de lignocelulose

Neste tópico, mostra-se a linha de pesquisa mais promissora, que é a transformação do bagaço de cana e outras fontes de celulose na obtenção de álcool.

O professor poderá discutir sobre a produção do conhecimento científico e dos conceitos que se inter-relacionam nas disciplinas como a Química, a Biologia e a Geografia, entre outras.

➤ Produtos e resíduos gerados no processamento da cana-de-açúcar

O uso do álcool como combustível alternativo ao petróleo da química como ciência. Conceitos como Termoquímica, Cinética das reações e Fotossíntese poderão ser abordados, assim como propriedades físicas e químicas de alcoóis.

Noções de educação ambiental poderão servir como instrumento, para que os alunos assumam posições em relação a problemas que possam afetar de alguma forma a vida em sociedade.

➤ Pesquisa Acadêmica

É descrito o projeto desenvolvido pela Petrobras em parceria com a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e outras universidades brasileiras. O professor poderá argumentar sobre a importância da parceria entre uma instituição federal e as universidades, a fim de se fomentar a pesquisa científica no Brasil. A transposição didática estará sendo contemplada quando o professor mostrar a inter-relação da pesquisa científica com os conteúdos de ensino inseridos no contexto da produção de álcool por via enzimática.

### 4.2.3 Biodiesel

No tópico III, o biodiesel é inserido como fonte de energia alternativa ao petróleo e seus derivados. O Brasil atualmente é um dos líderes da moderna tecnologia de agroenergia e o mercado de biocombustíveis. O professor poderá propor atividades de pesquisa que demonstrem as relações entre as políticas de agroenergia, a inovação tecnológica e a sustentabilidade em um projeto de educação ambiental.

#### ➤ Descrição do biodiesel

A constituição do biodiesel permitirá que o professor proponha questões relacionadas às tecnologias utilizadas para produção de combustíveis alternativos, tendo como matéria-prima os ácidos graxos. A abordagem promoverá a integração dos conteúdos de Química Orgânica (ácidos carboxílicos e seus derivados), com a Química Biológica (ácidos graxos, lipídeos, glicerídeos, esteróis, ceras, dentre outros compostos), mostrando semelhanças entre os conteúdos nas duas disciplinas.

#### ➤ Breve histórico

A história sobre a evolução do biodiesel como combustível dá subsídios ao professor para chamar atenção sobre o uso desta fonte proveniente da biomassa. E também destacar a importância deste combustível para o desenvolvimento industrial do país.

➤ Pesquisa tecnológica e Biomassa

O uso da biomassa para fins tecnológicos remete a contextualização de tópicos como: o efeito estufa; as mudanças climáticas; os recursos renováveis e tecnologias de conversão de energia. Assuntos que podem também ser discutidos durante as aulas de Geografia e Biologia.

➤ Processos de obtenção

São descritos os três processos para obtenção do biodiesel: o químico; o bioquímico e o termoquímico. São fornecidos esquemas e figuras que descrevem os processos mais importantes para a produção deste combustível. O professor poderá usá-los como recurso didático para comparar propriedades físicas e químicas e as principais características.

➤ Sugestão de Atividades

No final do tópico III foi sugerida uma atividade de pesquisa. O objetivo é demonstrar algumas fontes alternativas de energia, seus principais componentes e processos de obtenção com os produtos obtidos. O professor poderá abordar o tema com enfoque CTSA, e avaliar as competências e habilidades dos alunos na escolha do melhor combustível alternativo.

➤ Ciclos Biogeoquímicos

No tópico IV, os ciclos biogeoquímicos servirão de apoio ao professor, ao comentar sobre poluição ambiental provocada pela presença de particulados liberados durante a queima

de combustíveis fósseis. Ou até mesmo explicar sobre a origem do petróleo. O ciclo do enxofre, e o ciclo do carbono, são fontes relevantes de informação para professores de diferentes áreas e o ciclo do nitrogênio mostra a importância do uso de fertilizantes nitrogenados no processo de crescimento de culturas agrícolas.

## CAPITULO 5

### 1. METODOLOGIA

Para escrever esta dissertação, foi realizada uma extensa pesquisa bibliográfica na busca de informações sobre as mais recentes operações no setor de infra-estrutura energética brasileira, com respeito à produção de petróleo e seus derivados e a implementação de fontes de energia de forma sustentável. Também foram visitados laboratórios de universidades, como o laboratório de materiais e combustíveis do Instituto de Química da Universidade de Brasília e o Centro de Pesquisas da Petrobrás da Universidade Estadual do Norte Fluminense.

A bibliografia utilizada consta de livros, periódicos, jornais, revistas científicas e de circulação nacional, relatórios e material interno da Petrobras e informações retiradas de diversas páginas da Internet (Ministério do Meio Ambiente, Ministério das Minas e Energia, Ministério da Educação, Petrobras, entre outros).

A pesquisa resultou em um módulo de ensino destinado a professores, tendo como tema gerador os seguintes combustíveis: Petróleo e seus derivados; Álcool e Biodiesel.

A metodologia utilizada para avaliar o módulo se deu por meio de abordagem qualitativa. Primeiro, foram analisados livros didáticos e revistas científicas, a fim de verificar se a fonte de consulta usada normalmente por professores do ensino de Química aborda a pesquisa científica. E, se o tema contemplado no módulo didático aparece inserido nos conteúdos de Química disponibilizados nos livros.

Em seguida, uma avaliação do módulo didático feita por professores de Química e também por professores de outras disciplinas, que procuram inovar sua prática pedagógica com questões atuais e multidisciplinares.

O instrumento usado para análise teve como base, uma planilha de avaliação de livros didáticos de Química - elaborada por Santos (2006) - tendo em vista alguns critérios relativos à abordagem de aspectos social e metodológica do conteúdo químico e à contextualização dos conceitos e conteúdos da Química.

## **2. Análise de Livros Didáticos**

Antes da confecção do módulo didático, foram apreciados livros de apoio adotados pela maioria dos professores de Química. O objetivo foi pesquisar o que havia publicado sobre o tema da dissertação, “Combustível – fontes de energia” e demonstrar que as fontes de consulta utilizadas por professores e alunos do ensino médio, raramente mencionam a pesquisa acadêmica e os resultados destas pesquisas. A maioria apresenta apenas textos prontos (extraídos de jornais, revistas e publicações institucionais), sem apresentar os processos científicos pelos quais os químicos transformam matérias-primas em produtos destinados à indústria ou à sociedade.

O conhecimento dos processos científicos é relevante, a partir do momento em que se tem como objetivo, disponibilizar informações que permitam ao aluno cidadão compreender e tomar decisão sobre os processos químico-tecnológicos em desenvolvimento, considerando os aspectos históricos, éticos, políticos, sócio-econômicos e ambientais.

## 2.1 Contextualização e abordagem CTSA em livros didáticos

Foram selecionados para análise livros didáticos que abordam o tema “Combustível” (petróleo, álcool e biodiesel) com enfoque CTSA, integrados aos conceitos químicos. Também foram analisados aspectos da teoria da transposição didática de Yves Chevallard, contemplados na contextualização dos conteúdos. Outro aspecto analisado diz respeito à contribuição da pesquisa científica atual na solução de problemas que envolvam inovações tecnológicas e sustentabilidade. A publicação de artigos científicos e a pesquisa de novas tecnologias foram analisadas tendo como referência: a revista “Química Nova na Escola” e a revista “FAPESP”, assim como a revista “Scientific American- Brasil”, edição especial n<sup>os</sup> 19 e 32, 2008-2009 (revista de circulação nacional, encontrada em bancas de jornal e revistas), com conteúdos científicos.

## 2.2 Critérios para análise

Como o material proposto é dirigido a professores que lecionam a ciência natural Química no ensino médio, foram selecionados livros de Química indicados pelo Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM, 2003), sendo um deles adotado pelo colégio no qual possuo experiência “*in loco*”, como parte do corpo docente.

Com o intuito de averiguar o conhecimento que é transposto aos alunos sobre o tema em questão, bem como os fundamentos teórico-metodológicos para o professor, alguns critérios considerados relevantes foram adotados, a saber:

- O tipo de conhecimento que está sendo levado ao aluno
- A transposição didática do tema



- Linguagem dos textos
- Abordagem e Contextualização (CTS&A)
- Conteúdo químico e abordagem metodológica

A abordagem dos conteúdos deverá partir de temas relevantes para todo o sistema de ensino, contextualizados de forma a mostrar o envolvimento da sociedade com a tecnologia e a ciência na busca de um mundo sustentável.

O conteúdo químico deverá priorizar os aspectos macroscópicos, partindo do conhecimento prévio do aluno. E, em seguida, apresentar os microscópicos ou abstratos (como estrutura molecular, representação de fórmulas) sem esquecer que os três níveis de apresentação dos conteúdos – macroscópico, microscópio e simbólico – devem estar inter-relacionados e equilibrados.

A linguagem textual deve ser clara, de forma a facilitar a compreensão dos conceitos científicos vinculados ao tema. O incentivo para buscar novas fontes de informação, como jornais, revistas de divulgação científica, filmes, livros, jogos (virtuais ou não), desenvolverá o senso crítico e a interação com diferentes saberes.

### **2.3 Análise dos livros selecionados**

Foram analisados apenas os capítulos referentes ao tema e aos conteúdos a ele articulados. Não cabe fazer comparações entre os livros no tocante a metodologias adotadas, mas sim observar criticamente a contextualização dos conceitos referentes à produção científica envolvendo combustíveis fósseis e alternativos, além da relação com os conteúdos químicos presentes na proposta curricular do material investigado.

Os livros serão identificados a partir de códigos: L1, L2, L3, L4, L5. Apenas um deles é apresentado na forma de volume único; os demais são separados em volumes para cada série do ensino médio.

O livro L1 é adotado pelo colégio no qual leciono e foi indicado oficialmente pelo Ministério da Educação (MEC, 2004), através do PNLEM (Plano Nacional do livro didático para o ensino médio).

No livro L1, o conhecimento químico relativo ao tema é introduzido a partir de seus aspectos microscópicos e simbólicos, iniciando a apresentação a partir da representação e nomenclatura de alcanos, para em seguida abordar os aspectos macroscópicos, como a origem do petróleo, ocorrência e extração, refino e derivados, por meio de esquemas e figuras. Há uma breve referência ao gás natural e xisto como opção ao petróleo e derivados, por meio de gráficos e mapas. A produção petroquímica aparece na forma de esquema, após a definição e fórmulas de alcenos, sem mostrar qual a ligação entre a função e os materiais obtidos. O equilíbrio entre os aspectos macroscópicos, microscópicos e simbólicos é pouco valorizado.

Nos livros L1, L3 e L5, o tema álcool é introduzido mostrando a presença da substância na vida das pessoas, sob o título “Química e saúde” relacionado a bebidas alcoólicas, sem menção a seu uso como combustível. Os aspectos microscópicos, como constituição atômica e fórmulas químicas são enfatizados antes dos processos de obtenção e uso. Não houve menção às pesquisas científicas relacionadas ao tema, e nem à importância do álcool como combustível alternativo. Os textos são apresentados, descontextualizados, como uma informação complementar ao conteúdo abordado, não havendo interação com outros conteúdos nucleados nem com outras disciplinas.

No livro L2, o conhecimento químico é tratado com base no contexto do aluno. Privilegia, entretanto, os aspectos microscópicos no início das unidades e vai intercalando

textos e projetos temáticos com os conteúdos químicos apresentados. O texto sobre o Petróleo aparece no final da unidade sobre classes de hidrocarbonetos e haletos orgânicos, o que denota falta de vínculo com estes conteúdos. Entretanto, permite a articulação dos conteúdos com outras áreas afins, destacando que o objetivo da obra é desenvolver temas em Química relacionados à atividade humana.

Os livros L3 e L4 iniciam o capítulo com um tema gerador sobre petróleo, detalhando minuciosamente os aspectos macroscópicos, para, em seguida, explorar os aspectos microscópicos. Apresentam uma linguagem clara e diversificada, favorecendo a compreensão dos conceitos científicos. No entanto, não houve menção às pesquisas desenvolvidas no tocante ao petróleo e seus derivados. A indústria petroquímica no L3 é descrita por meio de um esquema, o qual relaciona algumas frações do petróleo como sendo matéria prima para a fabricação de novos materiais.

No volume L5 os conteúdos específicos da Química fazem referência à vivência cotidiana, evidenciando interdependência. O tema "Petróleo – Fonte de Hidrocarbonetos" aparece contextualizado após todo o conteúdo sobre hidrocarbonetos, não priorizando a abordagem temática como ponto de partida. Tal fato impede a discussão que deveria ocorrer transversalmente aos conteúdos e aos conceitos científicos, inviabilizando o desenvolvimento da capacidade de tomada de decisão por parte dos alunos.

No quesito Linguagem, todos os livros apresentaram uma linguagem clara e diversificada, favorecendo a compreensão dos conceitos científicos. A utilização de textos complementares sobre fontes de energia aparece em todos os livros analisados, sendo que nos livros L2 e L3 em maior quantidade e associados a atividades práticas. Os demais livros sugerem leituras complementares que contribuam para a formação e atualização dos professores.

A respeito do biodiesel, os livros L2, L3 e L4 apenas indicam o uso deste combustível proveniente da biomassa, como fonte alternativa ao petróleo e à poluição ambiental, sem relacionar o tema social aos conteúdos químicos ou discutir os aspectos sociais, econômicos e ambientais.

Nos outros livros, os textos são apresentados, descontextualizados, como uma informação complementar ao conteúdo abordado, não havendo interação com outros conteúdos nucleados nem com outras disciplinas.

Com relação à transposição didática, na maioria dos livros analisados constatou-se que a transposição das pesquisas sobre os combustíveis - petróleo, álcool e biodiesel - foi feita de forma inadequada. Os processos químicos para cada combustível não estão relacionados diretamente aos conteúdos programáticos; desta forma, os alunos não conseguem observar a relação entre o tema proposto e os conteúdos químicos.

#### **2.4 Análise de Revistas de Divulgação Científica**

A revista “Química Nova na Escola” é uma fonte relevante de informações à comunidade brasileira do ensino de Química. Para os professores, um incentivo à reflexão e atualização sobre o ensino e aprendizagem de Química. É uma publicação periódica da Sociedade Brasileira de Química (SBQ).

A revista “FAPESP” é dirigida a professores de Ciências do Ensino Fundamental e Médio e tem como objetivo divulgar problemáticas que envolvam relações entre a ciência, a tecnologia, a sociedade e o ambiente.

As revistas de divulgação científica foram avaliadas conforme a publicação de artigos que envolvem tecnologias inovadoras na produção de combustíveis. A revista “Química Nova

na Escola” (n.º15/maio 2002; n.º28/maio2008;) contém artigos sobre Petróleo e Biodiesel, descrevendo a produção, uso, vantagens e desvantagens dos mesmos, os quais não aparecem articulados aos conteúdos químicos, dando apenas sugestões de conteúdos que poderão ser trabalhados pelo professor.

A revista “FAPESP” (exemplares n.ºs 153 e 154/dez 2008) também faz referência a diversas pesquisas envolvendo o uso e produção de combustíveis alternativos como o biodiesel e o álcool obtido a partir da lignocelulose. Os artigos publicados têm por objetivo divulgar projetos em andamento assim como resultados de pesquisas cujos produtos já estão sendo disponibilizados e apreciados pela sociedade.

As revistas científicas são fontes de consulta para professores que buscam inovar no ensino de ciências, embora nem sempre possam estabelecer vínculos com os conteúdos químicos. Desta forma será necessário que o professor crie situações de ensino para que o saber científico seja transposto até a sala de aula, inserido nos conteúdos curriculares tornando-os socialmente relevantes.

A revista “Scientific American-Brasil” divulga notícias relacionadas às Ciências da Natureza, a Economia, a Política, ao Meio Ambiente e a Saúde. Fonte de informações diversificadas que contribuem tanto para a atualização de professores quanto de alunos. Os exemplares n.ºs 19 e 32 (edição especial) contêm artigos sobre petróleo e fontes alternativas de energia. No volume o Etanol é descrito como o melhor dos biocombustíveis, enfatizando as vantagens econômicas, sociais e ambientais. No segundo volume, várias fontes de energia renováveis são descritas, mas o biodiesel e o etanol aparecem como fontes promissoras e ecologicamente corretas de energia.

O conhecimento sobre fontes de energia, que incorporam desenvolvimento econômico com sustentabilidade ambiental, levará a uma reflexão crítica e interativa sobre situações reais

da vivência de professores e estudantes. Assim sendo, materiais de ensino que buscam ampliar a capacidade de tomada de decisão, desenvolver atitudes e valores comprometidos com a cidadania estão inseridos no contexto do ensino CTSA.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 Avaliação do Módulo Didático**

Professores de diferentes disciplinas avaliaram parcialmente o módulo didático, pois o mesmo ainda não havia sido totalmente concluído.

Deste modo, solicitou-se a um professor de cada uma das disciplinas da mesma série e colégio no qual leciono (3.<sup>a</sup> série do ensino médio), que fizessem uma crítica do módulo observando alguns parâmetros usados para análise de livros didáticos.

Para a avaliação, os professores utilizaram como apoio a planilha elaborada por Santos (2006), segundo os critérios descritos abaixo. Como nem todos os professores convidados lecionam Química foi necessário selecionar um conjunto de critérios que pudessem ser avaliados em disciplinas distintas.

Os professores observaram se, no módulo didático:

- A imagem auxilia na compreensão dos conteúdos abordados
- A linguagem favorece a compreensão dos conceitos científicos
- O tema gerador articula os conteúdos com outras áreas do conhecimento
- Há incentivo a atividades diversificadas
- É evidenciado o caráter hipotético e provisório das ciências
- A abordagem de conteúdos valoriza os aspectos macroscópicos, microscópicos e simbólicos do conhecimento.
- Existem ligações entre o conhecimento químico estudado e fenômenos conhecidos por professores e alunos.

### 3.2 Breve Perfil e Comentários dos Professores

Foram selecionados quatro professores do sexo masculino, das disciplinas de Matemática, Física, História, Química e, quatro do sexo feminino, de Literatura, Biologia, Artes, e Geografia.

Todos os professores utilizaram a planilha para avaliação de livros didáticos elaborada por Santos (2006), com a finalidade de ponderar sobre a relevância de alguns critérios relativos à sua concepção de ensino e ao projeto pedagógico da escola. Além de sugerirem mudanças para a melhoria do trabalho.

A professora de Literatura elogiou muito o trabalho, argumentando que muitas informações contidas no módulo didático, não eram de seu conhecimento e que gostaria de ter como apoio a teoria da transposição didática de Chevallard, a fim de transpor os textos literários para a sala de aula. Desta forma, poderiam ser enfatizados os aspectos históricos, culturais e sócio-políticos dos textos selecionados levando a discussões de natureza interdisciplinar.

A professora de Biologia, com mestrado em Educação na área de imagens, sugeriu que as figuras e tabelas inseridas nos textos poderiam ser aproveitadas como recurso didático para elaboração de atividades. Assim como, as informações sobre as fontes de energia contextualizadas no módulo contribuiriam para aumentar seu conhecimento sobre a Química.

Os professores de Matemática e Física acharam o material muito relevante, pois, poderiam usá-lo como referencial para a elaboração de trabalhos e provas integradas, com questões interdisciplinares.

A professora de Artes sugeriu que se colocassem imagens relacionadas a história e modelagem de veículos automotivos e a evolução dos combustíveis mais usados. Achou o tema relevante, pois é uma forma de unir a arte e a cultura ao ensino de química.

O professor de História sugeriu uma maior abordagem na contextualização histórica, dando ênfase à história do petróleo desde a antiguidade até os nossos dias.

A professora de Geografia comentou que poderia utilizar o módulo como complemento didático ao falar sobre meio ambiente e ecologia. A contextualização sobre poluição atmosférica e gestão de resíduos, também poderiam ser discutidas nas aulas de Geografia.

### **3.3 Avaliação do módulo por meio da planilha (PLANLDQ)**

Os critérios avaliados pelos professores, já mencionados acima e que se encontram descritos na planilha para avaliação de livros didáticos, elaborada por SANTOS (2006), receberam os seguintes valores: 0,1, 2 e 3.

Para cada categoria analisada existem subitens que também devem ser analisados segundo estes mesmos valores. O valor zero (0) é atribuído quando a categoria não se aplica a nenhuma característica presente no módulo. O valor um (1), quando o critério não se relaciona com o conteúdo do módulo. O valor dois (2) quando corresponde parcialmente. E o valor três (3) quando o módulo corresponder positivamente ao critério analisado.



Os critérios que avaliam os aspectos gráficos e editoriais (n.º 2) e o referente as atividades experimentais (n.º 5), como representado abaixo, não foram analisados, pois não foram contemplados no módulo didático.

<b>GRUPO DE CRITÉRIOS</b>	<b>RELEVÂNCIA</b>
1. Aspectos visuais – ilustrações (fotografias, esquemas, gráficos etc.)	
2. Aspectos gráficos e editoriais (organização da obra)	
3. Linguagem dos textos	
4. Livro do professor (fundamentação da obra e informações complementares)	
5. Atividades experimentais (existência e viabilidade)	
6. Aspectos históricos da construção do conhecimento químico	
7. Aspectos sociais	
8. Abordagem e contextualização (Ciência Tecnologia e Sociedade -CTS)	
9. Conteúdo químico (precisão e atualização)	

Tabela 1 SANTOS,2006

Para cada critério escolhido, apenas um ou dois subitens foram analisados, por exemplo, o critério sobre aspectos históricos da construção do conhecimento químico, somente o subitem 6.3 foi analisado, como mostrado abaixo:

<b>6. Aspectos históricos da construção do conhecimento químico</b>
6.1 O LDQ valoriza a evolução das idéias para construção dos conhecimentos químicos
6.2 O LDQ compara as concepções prévias dos alunos com as concepções vigentes em determinadas épocas históricas
6.3 O LDQ mostra o caráter hipotético das ciências e as limitações de suas teorias e seus problemas pendentes de soluções
6.4 O conhecimento químico é apresentado como modelo que indica o caráter transitório das ciências
<b>Nota do critério</b>

Tabela 2, SANTOS, 2006

O primeiro critério analisado foi relativo aos aspectos visuais, no qual estão presentes vários subitens. Apenas um dos itens foi analisado. Foi questionado aos professores se, as ilustrações são inseridas nas páginas de modo a valorizar o texto, contribuindo para a transmissão dos conceitos científicos.

A maioria dos professores concordou que as imagens selecionadas nos textos contribuíam para a compreensão dos conceitos abordados.

O segundo critério diz respeito à linguagem, que deve ser clara e favorecer a compreensão dos conceitos vinculados. Os textos devem tratar de aspectos sociais presentes no contexto e vivência dos alunos e haver coerência entre o texto e as ilustrações apresentadas.

A professora de Biologia observou que, algumas ilustrações poderiam ser colocadas após o texto como sugestão de atividade. Todos concordaram que a linguagem dos textos é coerente com a realidade dos alunos e professores.

O terceiro critério se refere a articulação do conteúdo com outras áreas do conhecimento. O professor de História e a professora de Geografia concordaram que existia a interdisciplinaridade no contexto do módulo didático, e as atividades propostas também eram favoráveis a inter-relação entre as disciplinas. A professora de Biologia reconheceu que havia articulação com outras áreas, porém as atividades propostas não priorizavam o caráter interdisciplinar.

Os outros professores concordaram que as sugestões pedagógicas proporcionavam articulação do conteúdo com suas áreas de conhecimento.

Todos os professores concordaram que o tema abordado no módulo didático, fontes de energia, estimula o estudo e a pesquisa dentro e fora de sala de aula. Pois, o conhecimento sobre o tema, até mesmo entre professores, é adquirido em grande parte através dos meios de comunicação mais acessíveis (televisão, jornais e revistas, *web*), sem muito aprofundamento. Para saber mais a cerca desta problemática é necessário a pesquisa a fontes diversificadas e multidisciplinares.

O quarto critério avalia a abordagem de aspectos históricos no módulo didático objetivando mostrar a ciência, como construção humana, limitada e passível de erros. O que confirma o caráter provisório do conhecimento científico.

Apenas os professores de Física, Química, Biologia, História e Literatura tinham conhecimento aprofundado a esse respeito, e concordaram que todos os aspectos haviam sido contemplados no módulo didático. Os outros não quiseram emitir opiniões por não conhecerem muito a respeito.

Os dois últimos critérios estão relacionados ao conteúdo químico e a abordagem metodológica. A maioria dos professores não soube avaliar, embora emitissem opiniões favoráveis quanto a ênfase nos aspectos macroscópicos em primeiro lugar, seguido do simbólico, relacionado a fórmulas e equações e por último os aspectos microscópicos (átomos, íons, moléculas).

O professor de Química elogiou o módulo dando sugestões de mais atividades e questões para discussão concomitante aos novos textos do saber.

Todos os professores foram unânimes em afirmar que, o módulo encontra-se contextualizado através de abordagem temática, explicitando o papel da sociedade no controle da Ciência e Tecnologia.

Para demonstrar os valores atribuídos a cada um dos critérios analisados pelos professores, para avaliação do módulo didático, foi confeccionada a tabela 4. O somatório de todos os quesitos analisados e a média resultante permitiu avaliar a possibilidade da aplicação do módulo didático como um material alternativo para professores do ensino médio.

A seguir o quadro 3 e as notas atribuídas pelos professores a cada um dos critérios selecionados com a média final.

Professor	Aspectos visuais	Linguagem	Módulo didático	Aspectos históricos	Abordagem CTSA	Conteúdo químico
1	3	3	3	2	3	3
2	3	3	2	3	3	2
3	2	2	3	3	3	2
4	3	3	3	3	3	3
5	3	3	3	3	3	3
6	3	3	2	3	3	3
7	2	3	3	3	3	2
8	3	3	3	2	3	3
Total	22	23	22	21	24	21
Média	2,75	2,88	2,75	2,63	3	2,62

**Quadro 3 - Avaliação do Módulo Didático por Professores e notas atribuídas em cada quesito**

Os professores concluíram que a linguagem utilizada no módulo didático é coerente com o tema abordado, conforme exposto no quadro 3. Isso facilitou a compreensão dos conceitos vinculados ao tema fontes de energia.

O conhecimento químico contextualizado por meio de temas que dizem respeito ao sistema de ensino e, por conseguinte, à sociedade – enfatizando as relações entre a ciência, a tecnologia e as consequências ambientais – foi considerado importante pelos professores, pois estabelece conexões com outras áreas do conhecimento.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atravessamos um momento de incertezas no tocante às mudanças climáticas que afetam visivelmente a vida no planeta. Governos, empresários, ambientalistas, economistas e estudiosos têm investido em pesquisas para esclarecer as reais causas destas intempéries. Por conseguinte, a sociedade acaba sendo envolvida nessa problemática, procurando conhecer, opinar e participar, tomando decisões no esforço de minimizar os impactos sociais provocados por fontes de energia em desarmonia com a Natureza.

A abordagem do tema em questão poderá utilizar de várias fontes, como: revistas, jornais, televisão, *web*. Porém, nem todo conhecimento adquirido tem base científica. O modo pelo qual o conhecimento científico pode atingir uma parcela da sociedade é por meio da escola. Desta forma, informações integradas aos conteúdos curriculares poderão facilitar o aprendizado, e o conhecimento científico se fará presente nos conteúdos de ensino.

Nesta dissertação procurou-se avaliar, por meio da mediação de professores se, alunos do ensino médio adquiriram conhecimento científico por meio do aprendizado de Química e a possibilidade de se estender esse aprendizado ao entorno e à sociedade.

A teoria da transposição didática de Yves Chevallard foi utilizada como recurso facilitador de transposição/transformação da pesquisa científica em saber a ensinar. Embora todo o conteúdo curricular de Química seja proveniente das Ciências Naturais, o conhecimento químico que chega até o aluno é em boa parte, descontextualizado e fragmentado em capítulos de livros ou materiais didáticos, sem estabelecer relações com a ciência e com a produção científica.

O módulo didático proposto nesta dissertação procura contribuir com a atualização de profissionais do ensino, especialmente professores de Química, por meio de abordagem temática, que inter-relaciona três fontes de energia – utilizadas como combustíveis automotores – com a produção científica, a tecnologia, o meio ambiente e a sociedade.

No módulo, fez-se inicialmente uma breve explanação sobre a matriz energética brasileira, para em seguida detalhar mais especificamente cada combustível. A contextualização do tema petróleo leva a abordagem de conceitos da ciência Química intercalados com as tecnologias mais avançadas a cerca deste combustível. As pesquisas científicas estão inseridas nos conteúdos curriculares na forma de textos complementares ou atividades, com o objetivo de divulgar o trabalho do cientista e mostrar as relações entre a ciência, a tecnologia e a sociedade.

Questões ambientais tiveram um especial destaque quando apareciam relacionadas ao uso indevido e de forma não sustentável dos combustíveis. As mudanças no clima de muitas regiões do planeta foram decorrentes da combustão completa ou incompleta de determinadas fontes ou até mesmo processos de produção de algumas delas.

Os danos previsíveis estão descritos no módulo, assim como a importância do desenvolvimento de novas tecnologias para amenizar tais fatores. A inovação tecnológica, como incentivo a pesquisa científica, poderá vir a beneficiar a sociedade e o meio ambiente, e abrir novas fronteiras que venham a despertar nas pessoas um sentimento de crítica e de tomada de decisões quanto aos possíveis estragos que a tecnologia possa gerar.

Cada tema abordado engloba uma série de conteúdos específicos de Química inter-relacionados a outras disciplinas e presente no contexto de professores e alunos. Os aspectos macroscópicos são valorizados em primeiro lugar e posteriormente são explorados os microscópicos ou não visíveis, como fórmulas químicas, ligações, átomos, moléculas.

A transposição didática também foi demandada na contextualização dos temas álcool e biodiesel. O álcool combustível (etanol) pode ser obtido por meio de diversas fontes, a biomassa é a principal delas. No Brasil, durante muitos anos, produz-se etanol a partir da fermentação da cana-de-açúcar, cultura agrícola abundante no país. O etanol, obtido por meio desse processo, é dirigido à indústria de bebidas e a partir da década de 1980 também é requisitado em larga escala, como combustível de carros de passeio.

Nos dias atuais, o etanol é visto como combustível alternativo ao petróleo e seus derivados. É um recurso mais abundante no Brasil, de menor custo e baixa emissão de gases estufa em relação aos combustíveis fósseis.

Pesquisas científicas recentes, como por exemplo, as descritas no módulo didático, demonstram que o etanol pode ser obtido também do bagaço da cana de açúcar, resíduo que era descartado e utilizado como fertilizante na própria plantação de cana. É a lignocelulose caminhando em direção a um mundo sustentável. Uma tecnologia que, espera-se, possa ser competitiva e, portanto, implementada nos próximos cinco anos.

O biodiesel também aparece como mais um combustível alternativo ao petróleo. Pesquisas recentes têm recebido financiamentos do governo brasileiro, bancos nacionais e países desenvolvidos interessados em sua produção. Ao descrever essas pesquisas, o professor estará discutindo com seus alunos tópicos interdisciplinares, pois o cultivo e a produção de grãos, bem como as regiões mais propícias ao agronegócio da produção de óleos biocombustíveis, os impactos ambientais, a sustentabilidade e a competitividade, geram uma complexidade temática a qual exige a constituição de redes de pesquisa complexas com diversidade disciplinar, e a requisição de profissionais de áreas como: Física, Química, Biologia, Biotecnologia, Engenharias, Sociologia e Economia, entre outras.

Posto isso, na elaboração desta dissertação procurei conciliar minha prática como professora de Química com os anseios de outros professores e questionamentos de meus alunos. Observava certo distanciamento dos alunos ao iniciar um novo conteúdo. Parte deles se interessava, pois sabiam que aquele novo conhecimento era importante, embora não percebessem o real motivo daquele aprendizado. O conhecimento químico descontextualizado não aguça a vontade pelo saber. Para que tenhamos estudantes críticos e participativos, o novo conhecimento precisa fazer parte de seu contexto e ter importância significativa para eles. Esta reflexão me fez procurar caminhos diferentes dos que já havia me acostumado no dia a dia das salas de aula. O resultado é demonstrado neste módulo didático, onde procurei sugerir uma nova abordagem na apresentação dos conteúdos disciplinares relacionando a pesquisa científica com o ensino da ciência natural Química e das outras ciências relacionada a ela.

A avaliação do módulo por professores que lecionam no mesmo colégio, como mostrado na dissertação, levou a várias considerações e ponderações.

Alguns colegas professores de áreas distintas fizeram a gentileza de sugerir e opinar sobre o conteúdo presente no módulo didático, embora ainda em processo de elaboração. As sugestões e críticas foram consideradas pertinentes e relevantes, capazes de contribuir para enriquecer as discussões em sala de aula e estabelecer vínculos com o conhecimento químico.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, O.L. **Contribuição à Organização da Pesquisa em Química e os Desafios da Interação com outras Áreas do Conhecimento**. Química Nova, vol. 28, Suplemento S44 - S47, 2005.
- ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. Traduzido por Ignez Caracelli... [et al.]. - Porto Alegre: Bookman, 2001.
- ASTOLFI, J. P.; DEVELEY M. A. **Didática das Ciências** – Papirus, Campinas, SP, 1990.
- ANDRIETTA, M. S.; STECKELBERG, C.; ANDRIETTA, S. R. **Bioetanol** \_ Brasil, 30 anos na vanguarda. Divisão de Tecnologia e Processos. Centro Pluridisciplinar de Pesquisas Químicas, Biológicas e Agrícolas (CPQBA). Universidade de Campinas. Disponível em: <<https://www.stupielo@cpqba.unicamp.br>>. Acesso em: 8 jun. 2008.
- AMARAL, E.M.R.; FIRME,R.N. **Concepções de Professores de Química sobre Ciência, Tecnologia, Sociedade e suas Inter-Relações: um estudo preliminar para o desenvolvimento de abordagens CTS em sala de aula**. Revista Ciência e Educação, v.14, n.2, p. 251-269, 2008.
- BACON, F. versão eletrônica do livro “*Novum Organum* ou **Verdadeiras Indicações Acerca da Interpretação da Natureza**”, 1920. Domínio Público. Ministério da Educação.  
Disponível em: <<http://www.mec.gov.br> > Acesso em: 26 fev. 2007
- BAIRD, Colin. **Química Ambiental** – 2.<sup>a</sup> ed. – Porto Alegre: Bookman, 2002
- BAPTISTA, J.M.P. **Educação Tecnológica**. Lisboa: Edições Asa, 1993.
- BAZZO, W.A. **Ciência, Tecnologia e Sociedade e o Contexto da Educação Tecnológica**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1998.

BENEDETTI, O.; PLÁ, J.; RATHMANN, R.; PADULA, A. **Uma proposta de modelo para avaliar a viabilidade do biodiesel no Brasil**. Revista Teoria e Evidência Econômica, Passo Fundo, v.14, Ed. Especial 2006. Disponível em: <<http://www.ufp.br/cepeac>> Acesso em: 2 fev. 2008.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica, nov. 2006. Disponível em: <<http://www.mec.gov.br>>. Acesso em: 31 jan. 2009.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Disponível em: < <http://www.mec.gov.br> >. Acesso em 17 fev. 2009.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Plano Nacional de Energia 2030/MME, Colaboração Empresa de Pesquisa Energética. – Brasília, MME: EPE, 2007.

BRASIL. **Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, Brasília, 2006, 135 p. (Orientações Curriculares para o Ensino Médio; vol.2).

BRASIL. **A visão da Área de biocombustíveis por parte de Produtores e Traders**, I Painel Setorial INMETRO sobre Biocombustíveis. Programa Brasileiro em Certificação em Biocombustíveis: A perspectiva do setor produtivo - Petrobrás, 2007.

BRASIL. Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima, Decreto nº 6.263, 21 nov. 2004. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 27 jan.2009.

BROWN, T.L.; LE MAY, H.E.Jr.; BURSTEN, B.E.; BURDGE, J.R. **Química, A Ciência Central**. Traduzido por Robson Matos; consultores técnicos: André Fernando de Oliveira e Astréa F. de Souza Silva. – São Paulo: Pearson Practice Hall, 2005.

CACHAPUZ, A.; GIL PEREZ, D.; CARVALHO A.M.P.; PRAIA, J.; VILCHES, A. **A Necessária Renovação do Ensino das Ciências**. São Paulo: Cortêz, 2005.

CARVALHO ISABEL, Cristina de Moura, **Educação Ambiental Crítica: Nomes e Endereçamentos da Educação**. Identidades da Educação Ambiental Brasileira. Diretoria de Educação Ambiental. Coordenação: Philippe Pomier Layrargues. Ministério do Meio

Ambiente. Brasília, 2004. 156 p.; 28 cm. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 28 nov. 2008.

CAVALCANTI, C. (org.); BRÜSEKE, F.; e outros. **Desenvolvimento e Natureza: Estudos para uma sociedade sustentável**. INPSO/FUNDAJ, Instituto de Pesquisas Sociais, Fundação Joaquim Nabuco, Ministério de Educação, Governo Federal, Recife, Brasil. Outubro, 1994, p. 262. Disponível na *World Wide Web*. Acesso em: 12 out. 2008

CHALMERS, Alan F. **O que é ciência, afinal?** Tradução Raul Fiker. 1.<sup>a</sup> ed. São Paulo: Brasiliense, 1993.

CHAMIZO, J.O.; IZQUIERDO, M. **Avaliação das Competências de Pensamento Científico**. Revista Química Nova na Escola, n.º 27, fev. 2008.

CHERUBIN, David, **Alquimia: A Arte Negra**. São Paulo: Masdras Editora LTDA, 1997.

CHEVALLARD, Yves. **La Transposition Didactique: Du Savor Savant au Savor Ensigné**. Grenoble, La pensée sauvage, 1991.

\_\_\_\_\_. **La Transposicion didáctica: del saber sábio al saber ensinado**. La Pensée Sauvage, 3<sup>a</sup> ed. 2<sup>a</sup> reimp. Buenos Aires, Argentina: Aique Grupo Editor, 1991. Traduzido por: Claudia Gilman

CARDOSO, Dilson Cardoso (coord.) **Menos Desperdício: Dois estudos resultam em catalisadores que podem tornar a produção de biodiesel mais eficiente e limpa**. Revista Pesquisa FAPESP, São Paulo, n.º 153, nov.2008

DAINTITH, John, **A Dictionary of Chemistry**, 3.<sup>a</sup> ed. Oxford, New York, Oxford University Press, 1996.

FELTRE, R.; **Química Orgânica**. Livro do Professor, 6.<sup>a</sup> ed. Editora Moderna, São Paulo, 2004.

FONSECA, M.R.M. **Química Orgânica**. Editora FTD, São Paulo, 2007.

GABRIEL, Carmem Teresa; **Usos e Abusos do Conceito de Transposição Didática**: artigo científico. Disponível em: <<http://www.ichs.ifop.br/perspectivas/anais/GT0509.htm>> Acesso em: 12 jul. 2008.

GERIS R.; SANTOS, N. A.; AMARAL, B.; MAIA, I.; CASTRO, V.; CARVALHO, **Biodiesel de Soja** – Reação de Transesterificação para aulas práticas de Química Orgânica, Instituto de Química, Universidade Federal da Bahia, Salvador – BA, Química Nova, vol. 30, n.º 5, 1369-1373, 2007.

GIORDAN, M.; KOSMINSKY, L. **Visões de Ciências e sobre Cientista entre Estudantes do Ensino Médio**. Revista Química Nova na Escola, n.º15, maio 2002.

IANNONE, Roberto. A. **A Revolução Industrial**. São Paulo: Moderna, 1992.

IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon S., Z. Chen, D. Qin, M. Manning, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

JAPIASSU, H. F.; **Introdução ao Pensamento Epistemológico**. Rio de Janeiro, F. Alves, 4.ª edição, 1986, 202 p.

KHALIL, C. N.; **As Tecnologias de Produção de Biodiesel**. Centro de Pesquisas da Petrobrás, dez. 2006. Disponível em: <<http://www2.petrobras.gov.br>>. Acesso em 6 fev. 2009.

LEITE, Miriam Soares. **Recontextualização e Transposição Didática** – Introdução à leitura de Basil Bernstein e Yves Chevallard, Araraquara, SP: Junqueira & Marin, 2007.

LEITE, Rogério Cezar de Cerqueira. **Etanol, o melhor dos biocombustíveis**. Revista Scientific American – Brasil, n.º19, p. 53 – 57, edição especial, 2008

LOPES, Alice Ribeiro Casimiro, **Conhecimento Escolar: Ciência e Cotidiano**, Rio de Janeiro: EdUERJ, 1999. 236p.

\_\_\_\_\_. **Bachelard: o Filósofo da Desilusão**. Caderno Cat. Ens.Fís., v.13, n. 3, p. 248-273, dez. 1996.

MCT. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Alternativas Tecnológicas Sustentáveis no Processamento de óleos vegetais – EQE 706 – Centro de Gestão de Estudos Estratégicos**, Brasília, 2005.

MCT. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Aspectos Tecnológicos do biodiesel**. Grupo de Trabalho Interministerial-Biodiesel. Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www.biodiesel.gov.br>>. Acesso em: 10 jul. 2008.

MALDANER, O.A. **A Formação Inicial e Continuada de Professores de Química**. Ijuí, ed. Unijuí, 2000.

MARANDINO, Marta. **Transposição ou Recontextualização? Sobre a produção de Saberes na Educação em Museus de Ciências**. Revista Brasileira de Educação, n. 26, maio/jun/jul/ago. 2004.

MARTINS, I.P., **Formação Inicial de Professores de Física e Química sobre a Tecnologia e suas relações Sócio-Científicas**, Departamento de Didática e Tecnologia Educativa. Universidade de Aveiro. 3810-193. Aveiro. Portugal. Revista Electrónica de las Ciencias. vol. 2, n. 3, 2003.

MENEZES, Ana Paula. **Contrato Didático e Transposição Didática: Interrelações entre os Fenômenos Didáticos na Iniciação à Álgebra na 6ª série do ensino fundamental**. Tese de Doutorado em Educação. Universidade Federal de Pernambuco, 2006

MOREIRA, M.A. **A Teoria da Aprendizagem Significativa e sua Implementação em Sala de Aula**. Brasília: ed. Universidade de Brasília, 2006

MOREIRA, M.A. **Aprendizagem Significativa: da visão Clássica à visão Crítica**. Atas do V Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa, Madri, Espanha, 2006 e do I Encontro Nacional sobre Enseñanza de la Matemática, Tandil, Argentina, 2007.

NEIVA, J. **Conheça o Petróleo**. Assessoria técnica: Gilberto Dantas Veiga. 6.<sup>a</sup> ed., Rio de Janeiro, Expressão e Cultura, 1993.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Trad. Christopher J. Tribe. Rio de Janeiro, Guanabara, 1983.

PALACIUS, F.A.; OTERO, G.F.P.; GARCIA, T.R. **Ciência, Tecnologia y Sociedade**. Madri: Integraf, unidad 4 p.128, 1998.

PARENTE, E.J.S. **Biodiesel no Plural**. Tecbio, Centro de pesquisa da Petrobrás, 2006.

PERUZO, F.M.; CANTO, E.L. **Química na Abordagem do Cotidiano**, 4<sup>a</sup> ed., ed. Moderna, São Paulo, 2006.

PIETROCOLA, M. **Construção e Realidade**: o papel do conhecimento físico no entendimento do mundo. Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Editora da UFSC/INEP, Florianópolis, 2001.

PERRENOUD, P. **A Prática Reflexiva no Ofício do Professor**: Profissionalização e Razão Pedagógica. Porto Alegre: Artmed, 2002.

\_\_\_\_\_. **Práticas Pedagógicas, Profissão Docente e Formação**: Perspectivas Sociológicas. Dom Quixote, Lisboa, 1993.

RINALDI, R.; GARCIA, C.; MARCINIUK, L.; ROSSI, A. V.; SCHUCHARDT, U., Química Geral, Revista Química Nova, vol. 30, n. 5, p. 1374-1380, 2007.

SANTOS, Sandra Maria de Oliveira. **Critérios para Avaliação de Livros Didáticos de Química**. Tese de Mestrado Profissionalizante em Ensino de Ciências. Universidade de Brasília, 2006.

SANTOS, W.L.P.; MÓL, G.S.; **Química e Sociedade**: volume único, ensino médio. ed. Nova Geração.

SANTOS, W.L.P.; MORTIMER, E.F. Uma Análise de Pressupostos Teóricos da Abordagem CTS no Contexto da Educação Brasileira. Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências, vol.2, nº 2, dez. 2002. Disponível em: <<http://www.fae.ufmg.br/>> Acesso em: 22 jan.2008.

SANTOS, W.L.P.; SCHNETZLER, R.P. Educação em Química: compromisso com a cidadania, 3.<sup>a</sup> ed. Editora Unijuí, 2003.

SOARES, M.; ANDRÉ, M. (coord.) O Papel da Pesquisa na Formação e na Prática dos Professores: **As Pesquisas nas Áreas Específicas influenciando o Curso de Formação de Professores**, p.91-105, 4<sup>a</sup> ed. Campinas, São Paulo: ed. Papirus, 2001.

SUAREZ, P. A Z.; SANTOS, A. F. **Óleos e Gorduras: Obtenção e fabricação de Combustíveis Alternativos**, Laboratório de Materiais e Combustíveis, Instituto de Química, Universidade de Brasília – UnB, 2007. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/biocombustiveis>. Acesso em: 28 mai. 2008.

SUAREZ, P. A Z.; MENEGHETTI, S. M. P., **70<sup>o</sup> Aniversário do Biodiesel em 2007: Evolução Histórica e Situação Atual no Brasil**, Química Nova, vol.30, n. 8, p.2068, 2007.

SUAREZ, P. A. Z.; MENEGHETTI, S. M P.; WOLF, C R. **Transformação de Triglicerídeos em Combustíveis, Materiais Poliméricos e Insumos Químicos: Algumas Aplicações da Catálise na Oleoquímica**, Revista Química Nova, vol.30, n. 3, p.667,2007.

SUAREZ, P.A.Z.; SANTOS, W.L.P.; OLIVEIRA, F.C.C., Biodiesel: Possibilidades e Desafios, Revista Química Nova na Escola, n. 28, p. 3 – 8 mai. 2008.

VARGAS, M. **Técnica, Tecnologia e Ciência**, Revista Fapesp. Jan./Fev. 1999. Disponível em: <http://www.revistapesquisa.fapesp.br/index>. Acesso em: 14 ago.2008

VOIGT, N. et al. **Gestão Ambiental de Resíduos**, COPPE- UFRJ, 1999

VOLLHARDT, K. P. C.; SCHORE, N.E. **Organic Chemistry: Structure and Function**, 3.ed. New York, W. H. Freeman and Company, 1999.

WALD, Matthew L. **O Charme e o Poder das Renováveis**. Revista Scientific American Brasil. Edição Especial n. 32, p. 08 – 13.<sup>a</sup>, ed. especial, 2008/2009.

ZILIO, E.; PINTO, U., **Identificação e Distribuição dos Principais Grupos de Compostos presentes nos Petróleos Brasileiros**. Pesquisa, Desenvolvimento e Engenharia de Abastecimento, Avaliação de Petróleos, Centro de Pesquisas (CENPES). Bol. Tec. PETROBRÁS, Rio de Janeiro, 45 (1): 21-25, jan./mar. 2002. Disponível em:

< <http://www.petrobras.gov.br>>. Acesso em: 20 out.2007.



# **APÊNDICE A**

## **MÓDULO DIDÁTICO**



# **UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

Decanato de Pesquisa e Pós-Graduação

Instituto de Ciências Biológicas

Instituto de Física

Instituto de Química

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS**  
**MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE CIÊNCIAS**

**FONTES DE ENERGIA - USOS E CONSEQUÊNCIAS**

**PROPOSTA DE MATERIAL DIDÁTICO PARA O ENSINO DE QUÍMICA**

**DENISE CUNHA SARDENBERG BASTOS**

Proposta de ação profissional resultante da dissertação realizada sob orientação da Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Maria Márcia Murta - e apresentada à banca examinadora como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ensino de Ciências - Área de Concentração "Ensino de Química, pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Universidade de Brasília.

Brasília - DF

Outubro

2009

**FONTES DE ENERGIA**

**USOS E CONSEQUÊNCIAS**

## Sumário

<b>APRESENTAÇÃO</b> .....	102
<b>ESTRUTURA DO MÓDULO</b> .....	105
Características do Módulo.....	106
<b>A MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA</b> .....	115
<b>TÓPICO I</b> .....	118
<b>1. PETRÓLEO E GÁS NATURAL</b> .....	118
11. Breve Histórico.....	118
1.2 Situação Atual no Brasil.....	118
1.3 Processamento do Petróleo.....	121
1.3.1 Separação das Substâncias Presentes no Petróleo: Destilação e Craqueamento.....	123
1.4 ALCANOS.....	128
1.4.1 Compreendendo o Modelo da Ligação Covalente.....	129
1.4.2 Geometria Molecular e suas Representações.....	131
1.4.3 Polaridade: uma propriedade física chave.....	133
1.4.4 Forças Intermoleculares : um conceito chave.....	136
1.4.4.1 Ponto de Ebulição.....	140
1.4.4.2 Ponto de Fusão.....	140
1.4.4.3 Solubilidade.....	141
1.4.5 Gasolina e Índice de Octano.....	142
1.4.6 Combustão e Agentes poluentes.....	143
<b>2. INDÚSTRIA PETROQUÍMICA</b> .....	145
2.1 Breve Histórico.....	146
2.2 Resinas Termoplásticas.....	148
2.3 Importância da Reciclagem dos Plásticos.....	153
<b>TÓPICO II</b>	
<b>2. ÁLCOOL</b> .....	154
2.1 Breve Histórico.....	154
2.2 Processo de Obtenção.....	158
2.3 Produção de Álcool por Via Enzimática.....	160
2.4 Vantagens e Desvantagens do Uso do Etanol.....	164

**TÓPICO III**

<b>3. BIODIESEL</b> .....	168
3.1 Breve Histórico.....	169
3.2 Situação Atual.....	171
3.3 Biomassa.....	172
3.4 Biodiesel - Ésteres de Ácidos Graxos.....	172
3.5 O Agronegócio e a Produção de Biodiesel.....	176
3.6. Tecnologias do Biodiesel.....	178
3.6.1 Transesterificação.....	179
3.6.2 Craqueamento.....	180
3.6.3 Desvantagens do Uso do Biodiesel.....	182

**TÓPICO IV**

<b>4. CICLOS BIOGEOQUÍMICOS</b> .....	186
4.1 Ciclo do Carbono.....	187
4.2 Ciclo do Enxofre.....	190
4.2.1 Material Particulado e Poluição Atmosférica.....	191
4.3 Ciclo do Nitrogênio.....	192
<b>4.4 QUESTÕES AMBIENTAIS</b>	
4.4.1 Efeito Estufa.....	193
4.4.1.1 Situação no Brasil.....	194
4.4.2 Mudanças Climáticas.....	195

<b>FONTES DE CONSULTA</b> .....	198
---------------------------------	-----

**ANEXO 1 Artigo Científico****ANEXO 2 Planilha para Avaliação de livros didáticos**

## APRESENTAÇÃO

A passagem da primeira década do século XXI marca o surgimento de uma nova visão de mundo, que já vem sendo construída desde os últimos anos do século XX, baseada na compreensão plena da finitude dos recursos naturais que o planeta pode prover juntamente com a percepção das conseqüências ambientais que o consumo desmedido provoca, e que podem claramente comprometer a vida na Terra.

A grave crise econômica mundial, deflagrada no final de 2008, destarte os milhões de empregos perdidos e outras conseqüências sociais deletérias, pode ser vista como uma ruptura necessária à maneira pela qual a sociedade vem se organizando. Esses eventos forçam uma reflexão sobre qual a melhor forma de organização social que preserva os recursos minerais e energéticos do planeta e, ao mesmo tempo, seja um sistema inclusivo. Assim, novos valores que sejam adequados às necessidades reais de qualidade de vida se impõem.

Um entendimento mais amplo das várias forças que concorrem para a nova sociedade ora em construção, e que implica uma mudança de cultura, é de fato oportuna para a geração de estudantes que atualmente cursa o ensino médio e que se transformará na força de trabalho da próxima década.

Como a questão energética é central em qualquer movimento de reorganização que se pretenda para a sociedade atual, escolheu-se como tema norteador desse material didático, dirigido aos professores do ensino médio, o estudo dos combustíveis para o aprendizado de parte dos conteúdos de Química.

Tomando-se por base a matriz energética brasileira, que utiliza 46% de recursos renováveis, muito acima da média mundial que é de 12%, além das recentes descobertas de campos de petróleo em camadas mais profundas do oceano, o entendimento da maneira pela qual o país alcançou resultados tão relevantes se relaciona com os dados obtidos pela pesquisa acadêmica e suas aplicações tecnológicas.

Assim, o ponto de partida para a confecção desse material foi transpor os resultados das pesquisas sobre o petróleo e o álcool realizadas no Centro de Pesquisa da Petrobras (CENPES) e os resultados das investigações realizadas no Laboratório de Materiais

Combustíveis (LMC), instalado no Instituto de Química da Universidade de Brasília, que se concentra em biodiesel.

Além de possibilitar uma visão mais abrangente sobre a origem das discussões atuais sobre a questão energética, o uso de dados obtidos em laboratórios de pesquisa pode despertar nos alunos que já possuem uma vocação para o estudo de ciências naturais um interesse pela carreira de químico.

A relevância dessa questão se apóia no cenário que ora se delineia no qual o estudo da Química, assim como das outras ciências naturais, aponta para um futuro profissional promissor. Pensando na carreira de químico especificamente, duas áreas de desenvolvimento importantes se relacionam à Química Verde, também denominada Química Sustentável e a Química Ambiental, ambas imbricadas na construção de uma matriz energética com maior contribuição de fontes renováveis e que sejam menos poluidoras.

Ao escolher os resultados da pesquisa acadêmica como ponto de partida na preparação desse material de ensino, o instrumento que se julgou mais apropriado para sua construção foi o método de Transposição Didática desenvolvido por Yves Chevallard, que se destacou por seus estudos voltados para a didática da Matemática.

Embora em todas as situações em sala de aula o professor realize uma transposição didática, já que utiliza um livro texto como ponto de partida para a apresentação dos conteúdos pertinentes àquela série em questão, algumas definições sobre a transposição didática segundo os moldes propostos por Chevallard se tornam necessárias e esclarecedoras.

Yves Chevallard (1991) analisa a transposição didática, como um processo no qual o saber produzido pelos cientistas, denominado *saber sábio*, se transforma naquele que está contido nos livros didáticos, o *saber ensinado*. O saber de referência é validado por uma comunidade de cientistas, sendo então publicado em revistas especializadas, periódicos científicos e apresentação dos trabalhos em encontros e congressos.

Este saber sofrerá uma série de adaptações até chegar às salas de aula. Por meio de programas de ensino e materiais didáticos, que Chevallard denomina “textos do saber” o conhecimento científico passará por processos de conversão em saberes parciais, nos quais sua natureza é fortemente modificada sendo programado de forma sequencial e racional, a fim

de que os alunos se apropriem do mesmo de maneira diferenciada do produzido na comunidade científica.

Durante esse processo, novos textos do saber devem ser apresentados aos alunos de forma a assegurar algum nível de familiaridade com os conteúdos, mas é o professor quem decidirá o momento exato de fazer a transposição didática dos novos textos do saber.

Para que o conhecimento produzido na esfera acadêmica e nos centros de pesquisa possa chegar ao ambiente escolar e especificamente as salas de aula, é essencial o envolvimento de todo o sistema didático, o qual Chevallard denominou de “*Noosfera*” – círculos intermediários entre a pesquisa e o ensino, onde a sociedade exerce influência na proposição dos objetos de ensino.

Na *Noosfera* estão presentes: os cientistas, educadores, docentes, discentes, autores de livros didáticos, governo e a comunidade escolar. Todos contribuindo para a reconstrução dos saberes escolares.

A vantagem de se usar a teoria da transposição didática de Chevallard para a construção de um material didático, é que a mesma enfatiza – além da relação didática professor-aluno, a inclusão do saber produzido na esfera acadêmica – como mostrado na figura 1 por meio do triângulo das relações didáticas.

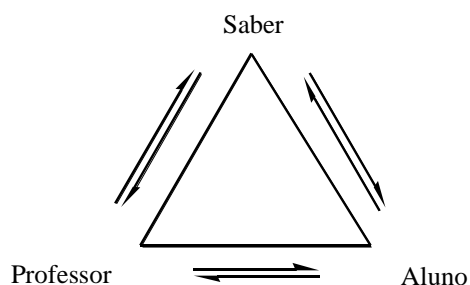


Figura 1 Triângulo das relações didáticas de Chevallard (1991)



Partindo-se do pressuposto que o tema “Combustível” afeta a sociedade como um todo, sendo abordado diariamente pelos órgãos de comunicação, pode-se inferir que os alunos cursando o ensino médio possuem um conhecimento prévio sobre o tema e, certamente, com algumas questões a serem prontamente colocadas, justificada por todas as inter-relações que estabelece: sociais, econômicas e ambientais.

Assim, acredita-se que os pressupostos da Transposição didática estejam contemplados no vértice “aluno” da figura 1, contribuindo com uma fonte abundante de referências de textos do saber produzido na esfera da pesquisa científico tecnológica, como auxílio ao professor, descritos no final desse módulo.

A contextualização do tema priorizou as relações ciência – tecnologia – sociedade – ambiente, um movimento denominado CTSA, que enfatiza a importância do conhecimento na formação de um cidadão mais crítico na sua atuação na sociedade. Os conhecimentos abordados a partir de tal perspectiva ampliam o escopo de interferência positiva que esses alunos podem exercer no futuro em suas áreas de atuação profissional.

## 1.1 ESTRUTURA DO MÓDULO

A abertura deste módulo didático conta com uma breve apresentação da matriz energética brasileira a fim de ampliar a visão do tema gerador, “Combustíveis”. O material de ensino foi estruturado em quatro tópicos: Petróleo e Gás Natural; Álcool; Biodiesel e Ciclos Biogeoquímicos.

Um texto introdutório, transposto de um artigo de pesquisa publicado em revistas de divulgação científica, adaptado e inserido antes da apresentação de cada combustível, contribui para avaliar o conhecimento prévio do aluno sobre o tema proposto. Em seguida é apresentado para cada tópico, um breve histórico e a situação atual daquela fonte de energia no Brasil, bem como, os resultados pertinentes à pesquisa realizada nos centros de referência, CENPES ou LMC.

Todo o conhecimento adquirido por meio destas fontes foi organizado sequencialmente concomitante aos conteúdos de química a eles relacionados. As atividades foram sugeridas como recurso didático em consonância com o tema de pesquisa abordado e

os conceitos químicos apresentados. A interação com outras disciplinas se dá por meio da abordagem de conceitos e questões interdisciplinares com ênfase nas relações entre a ciência, a tecnologia, o meio ambiente e a sociedade.

Pretende-se que esse material possa fornecer uma alternativa para a abordagem de conteúdos de química de forma diferente da que costuma ser apresentada pelos livros didáticos. De qualquer maneira, caberá ao professor, no processo de ensino e aprendizagem, selecionar aqueles resultados que melhor se enquadram ao conjunto de alunos sob sua responsabilidade. Além de propor sempre que pertinente, uma atividade de pesquisa a ser realizada pelos alunos, nas quais os aspectos vinculados a CTS&A sejam mais bem explorados.

No final do texto encontram-se referências de artigos e revistas que foram utilizados na preparação desse material, além de endereços eletrônicos que podem fornecer informações adicionais que o professor julgar necessárias.

O modo pelo qual os temas geradores foram estruturados e inseridos nos conteúdos de ensino será descrito a seguir.

### 1.1.1 Características do Módulo

#### Tópico I – Petróleo e Gás Natural

No tópico I, o Petróleo como tema gerador dá início à sequência de conceitos e estruturas metodológicas com sugestões de atividades para os alunos e informações aos professores. Priorizou-se a visão macroscópica no início da apresentação, seguido da valorização dos aspectos simbólicos e microscópicos do tema gerador.

##### ➤ Breve Histórico e Situação atual no Brasil

A descoberta dos primeiros poços de petróleo por volta de 1938 e a auto-sustentabilidade na produção de petróleo em 2006 por meio de plataformas de prospecção

cada vez mais modernas, seguida da descoberta do pré-sal, são informações que podem ser utilizadas pelo professor para aproximar os alunos do tema em questão.

➤ Origem do Petróleo

Após a história da descoberta do petróleo e da presença do gás natural como parte importante deste combustível, são apresentados os principais constituintes e suas propriedades. O professor poderá introduzir o tema a partir de um seminário sobre a origem do petróleo, contextualizando-o junto com professores de Biologia, Geografia e História.

A apresentação de conteúdos por meio de temas atuais e interdisciplinares poderá incentivar os alunos a buscarem o conhecimento, interagindo e participando das aulas.

➤ Processamento do Petróleo e a Utilização do Gás Natural

No módulo didático o processo de separação dos constituintes do petróleo é contextualizado mostrando o uso de frações provenientes do óleo bruto para produção de energia e também como matéria-prima para a indústria petroquímica. As reações de craqueamento são representadas e inseridas no conteúdo sobre ligações químicas, abordando os conceitos microscópicos das substâncias.

➤ Principais Constituintes do Petróleo

Para que o petróleo possa ser usado como fonte de energia é necessário a sua conversão em derivados de grande importância comercial, obtidos através de processos físicos e químicos. No refino e processamento dos constituintes do petróleo o professor poderá abordar conceitos sobre os principais constituintes deste combustível, introduzindo a Química Orgânica e suas principais classes de compostos.

O conceito de forças intermoleculares é inserido como chave para explicação das propriedades físicas das substâncias, bem como o comportamento macroscópico dos materiais.

### Propriedades Físicas

As propriedades físico-químicas e a estrutura molecular, assim como a variação nos pontos de ebulição, polaridade e solubilidade das diferentes substâncias, podem ser explicadas por meio do modelo de ligação química. Para se compreender as propriedades macroscópicas das substâncias orgânicas em geral e daquelas constituintes do petróleo especificamente, é necessário que se tenha clareza do modelo empregado para explicar como as moléculas são formadas e quais as forças envolvidas que justificam a sua formação.

#### ➤ Separação de Substâncias Presentes no Petróleo: Destilação e Craqueamento

São descritas as reações que ocorrem nas refinarias, demonstrando as diferenças de propriedades físicas e químicas entre os constituintes do petróleo. Os conceitos químicos são enfatizados por meio das ligações químicas, dando-se ênfase aos aspectos microscópicos das substâncias.

Os processos de craqueamento que ocorrem nas indústrias de petróleo visam modificar a estrutura química das moléculas de hidrocarbonetos, transformando-as em substâncias mais requisitadas e de melhor qualidade.

Os processos de separação das substâncias presentes no petróleo nos reportam à indústria petroquímica. Do processamento desse recurso natural podemos obter matérias-primas básicas utilizadas por diversos segmentos, como o de embalagens, construção civil, elétrico, eletrônico, automotivo, tecelagem, entre outras.

Durante a contextualização dos processos físicos de separação dos constituintes do petróleo, o professor estará fazendo a transposição da pesquisa científica para a sala de aula.

Porém, a fim de normatizar e textualizar o saber a ensinar, o saber da comunidade científica precisa ser delimitado e recontextualizado em saberes parciais.

Sendo assim, o saber sábio passará por um processo de dessincretização, onde os saberes científicos serão programados de forma sequencial e racional e farão parte dos conteúdos de ensino.

#### ➤ Combustão e Agentes Poluentes

A discussão sobre questões ambientais procura mostrar as relações entre o desenvolvimento científico, a inovação tecnológica e as questões sociais. A poluição ambiental e suas principais causas são temas para discussões sobre a responsabilidade da sociedade no uso de tecnologias que geram bens de consumo, mas que também causam estragos e desequilíbrio na natureza. Tal abordagem evidencia características específicas de propostas de ensino CTS & A de química.

#### ➤ Indústria Petroquímica

As pesquisas científicas, que resultam em processos tecnológicos inovadores e mais econômicos, são explicitadas para que o professor possa demonstrar aos alunos, o ramo promissor da indústria química e de seus avanços tecnológicos. Assim, além de estimular o aprendizado de Química, o docente estará motivando os alunos a seguirem a carreira profissional de químico.

## 🚦 Tópico II – Álcool

### ➤ Breve Histórico

No tópico II, o tema álcool é apresentado a partir de um breve histórico sobre a importância do setor sucroalcooleiro na obtenção do álcool combustível e sua evolução até o surgimento do Proálcool por volta de 1975 – o que levou ao aumento nas vendas de carros movidos a álcool. Já nos anos 1990, foi novamente substituído pelos combustíveis fósseis e, atualmente, é um dos recursos de maior potencial na matriz energética brasileira e mundial.

### ➤ Texto introdutório

O texto apresentado trata de pesquisas recentes, que comprovam, a partir da análise de poluentes atmosféricos encontrados no ar de uma cidade, como o uso do álcool combustível pelos veículos leves contribui para diminuir cerca de 92% a emissão de HPAs (hidrocarbonetos policíclicos aromáticos), em comparação aos movidos a gasolina ou diesel.

### ➤ Situação atual no Brasil

O professor poderá comentar que o Brasil é o país mais avançado, do ponto de vista tecnológico, na produção e no uso do etanol como combustível. A cana-de-açúcar a segunda maior fonte de energia renovável do Brasil, tendo o bagaço como matéria-prima.

Poderá também conceituar tópicos interdisciplinares relacionados à utilização da biomassa como fonte alternativa de energia e mostrar como o uso dessa fonte contribui para a redução dos impactos ambientais e a emissão de gases estufa.

➤ Etanol de lignocelulose

Além da pesquisa de petróleo e seus derivados, o CENPES também desenvolve tecnologia inovadora para a obtenção de etanol a partir do bagaço da cana-de-açúcar. Este resíduo, que seria descartado após o processo de fermentação do caldo de cana, é reaproveitado através da quebra de moléculas de lignina (lignocelulose) pela ação de enzimas.

A tecnologia da hidrólise enzimática consiste na reação da água sobre um composto com fixação de íons e a proteína com propriedades catalíticas específicas, que transforma o bagaço da cana em açúcar. A hidrólise enzimática produz etanol por processos de fermentação e destilação.

A produção de álcool será aumentada em cerca de 40%, sem a necessidade de novas áreas de plantio, pois será utilizada a biomassa resultante do processo da fermentação, sem degradação do meio ambiente.

O professor poderá discutir sobre a produção do conhecimento científico e dos conceitos que se inter-relacionam nas disciplinas como a Química, a Biologia e a Geografia, entre outras.

➤ Produtos e resíduos gerados no processamento da cana-de-açúcar

O uso do álcool como combustível alternativo ao petróleo demonstra o conhecimento científico em ação e a Química como ciência. Conceitos como Termoquímica, Cinética das reações e Fotossíntese poderão ser abordados, assim como propriedades físicas e químicas de alcoóis.

Noções de educação ambiental poderão servir como instrumento, para que os alunos assumam posições em relação a problemas que possam afetar de alguma forma a vida em sociedade.

➤ Produção de álcool por via enzimática

É descrito o projeto desenvolvido pela Petrobras em parceria com a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e outras universidades brasileiras. O professor poderá argumentar sobre a importância da parceria entre uma instituição federal e as universidades, a fim de se fomentar a pesquisa científica no Brasil. A transposição didática estará sendo contemplada quando o professor mostrar a inter-relação da pesquisa científica com os conteúdos de ensino inseridos no contexto da produção de álcool por via enzimática.

 Tópico III – Biodiesel

No tópico III, o biodiesel é inserido como fonte de energia alternativa ao petróleo e seus derivados. O Brasil atualmente lidera uma moderna tecnologia de agroenergia e o mercado de biocombustíveis. O professor poderá propor atividades de pesquisa que demonstrem as relações entre as políticas de agroenergia, a inovação tecnológica e a sustentabilidade em um projeto de educação ambiental.

➤ Descrição do biodiesel

A constituição do biodiesel permitirá que o professor proponha questões relacionadas às tecnologias utilizadas para produção de combustíveis alternativos, tendo como matéria-prima os ácidos graxos. A abordagem promoverá a integração dos conteúdos de Química Orgânica (ácidos carboxílicos e seus derivados), com a Química Biológica (ácidos graxos, lipídeos, glicerídeos, esteróis, ceras, dentre outros compostos), mostrando semelhanças entre os conteúdos nas duas disciplinas.



➤ Breve histórico

A história sobre a evolução do biodiesel como combustível dá subsídios ao professor para chamar atenção sobre o uso desta fonte proveniente da biomassa. E também destacar a importância deste combustível para o desenvolvimento industrial do país.

➤ Pesquisa tecnológica e Biomassa

O uso da biomassa para fins tecnológicos remete a contextualização de tópicos como: o efeito estufa; as mudanças climáticas; os recursos renováveis e tecnologias de conversão de energia. Assuntos que podem também ser discutidos durante as aulas de Geografia e Biologia.

➤ Processos de obtenção

São descritos os três processos para obtenção do biodiesel: o químico; o bioquímico e o termoquímico. São fornecidos esquemas e figuras que descrevem os processos mais importantes para a produção deste combustível. O professor poderá usá-los como recurso didático para comparar propriedades físicas e químicas e as principais características.

➤ Sugestão de Atividades

No final do tópico III foi sugerida uma atividade de pesquisa. O objetivo é demonstrar algumas fontes alternativas de energia, seus principais componentes e processos de obtenção com os produtos obtidos. O professor poderá abordar o tema com enfoque CTSA, e avaliar as competências e habilidades dos alunos na escolha do melhor combustível alternativo.

➤ Ciclos Biogeoquímicos

No tópico IV, os ciclos biogeoquímicos servirão de apoio ao professor, ao comentar sobre poluição ambiental provocada pela presença de particulados liberados durante a queima de combustíveis fósseis. Ou até mesmo explicar sobre a origem do petróleo. O ciclo do enxofre, e o ciclo do carbono, são fontes relevantes de informação para professores de diferentes áreas.

## **A MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA**

Para se compreender a importância da produção de energia para a sociedade atual, as consequências ambientais e econômicas decorrentes de sua utilização, e que afetam diretamente a humanidade, algumas reflexões sobre as fontes de energia, ou seja, os combustíveis de que se dispõe, podem ser esclarecedoras.

Para se ter uma visão geral dos recursos energéticos disponíveis o entendimento do significado de matriz energética, ainda que bastante simplificado, é indispensável. A matriz energética de um país relaciona quantitativamente toda a produção de energia, discriminada pela fonte ou recurso, e o consumo de cada setor da sociedade, definindo a *oferta interna de energia* (OIE), algumas vezes também chamada *demand total de energia* (DTE).

A avaliação da matriz energética, ao longo do tempo, é determinante para o planejamento do setor energético de cada país no sentido de garantir a produção necessária, segundo a demanda de todos os setores da sociedade. Além disso, essa avaliação fornece informações importantes sobre a quantidade de recursos naturais que está sendo utilizada.

Uma das maneiras de se analisar as fontes de energia de que dispõe é do ponto de vista dos recursos não-renováveis, como o carvão mineral, o gás natural, o petróleo, o urânio e dos recursos renováveis ou perpétuos como a energia hidráulica ou hidrelétrica, biocombustíveis (álcool e biodiesel), energia eólica e energia solar.

O Brasil se destaca no cenário internacional por apresentar um alto percentual de oferta de energia renovável em relação aos demais países (Figuras 2 e 3, respectivamente), resultado de políticas de investimentos em pesquisas nos últimos quarenta anos, em que os recursos naturais do país foram devidamente aproveitados.

Deve-se ainda destacar na OIE brasileira o potencial hidrelétrico, que representa 15% da oferta, bastante significativo são os recursos oriundos da biomassa que contribuem com 31% da oferta interna de energia com peso para o etanol e o biodiesel.

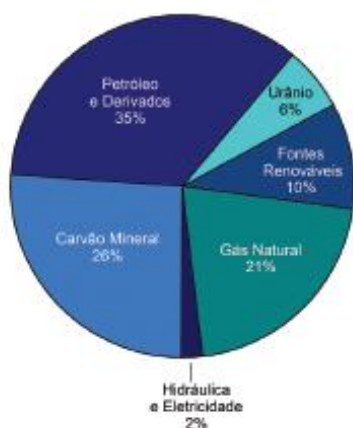


Figura 2 OIE mundial (2007)

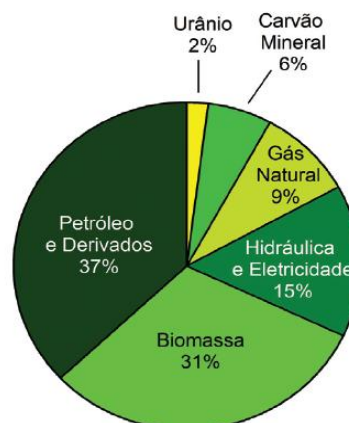


Figura 3 Oferta Interna de Energia – Brasil (2007)

*Quím. Nova* 2009, 32, 757

Por outro lado, as recentes descobertas de vastos campos de petróleo no pré-sal, colocam o Brasil em situação privilegiada no contexto mundial como detentor de recursos energéticos, mas ao mesmo tempo impondo desafios que envolvem toda a sociedade, como fica claro na mensagem **Comissão de Minas e Energia** e o **Conselho de Altos Estudos e Avaliação Tecnológica**:

*“As recentes descobertas, no litoral brasileiro, de reservatórios de petróleo e gás natural abaixo de uma camada de sal tem gerado inúmeras expectativas quanto aos resultados promissores de sua exploração para o Brasil. O entusiasmo, no entanto, tem sido acompanhado de uma série de questionamentos sobre as possíveis formas de aproveitamento dessa riqueza mineral. Entre eles, os desafios tecnológicos inerentes à exploração, o modelo de gestão a ser adotado, e os impactos socioeconômicos e ambientais que a exploração enseja.”*

Pensando no ensino de Química a partir de uma visão mais interdisciplinar, com ênfase nas questões ambientais e suas conseqüências para a sociedade como um todo, embora não negligenciando o conteúdo e a forma, preparou-se esse material didático explorando as fontes de energia do Brasil. O petróleo e gás natural, como exemplos de recursos não renováveis, serviram de base para o estudo dos hidrocarbonetos, e as funções álcool e éster foram abordadas a partir dos biocombustíveis, que podem ser considerados recursos perpétuos.

#### Atividade de Pesquisa:

O gráfico que mostra a oferta de energia interna brasileira (Figura3) indica que 15% correspondem à energia hidráulica ou hidrelétrica. Faça uma pesquisa sobre o histórico do uso das usinas hidrelétricas, indicando quais as necessidades geográficas para que tais usinas possam ser instaladas. Na pesquisa devem constar: a maneira como ocorre a transformação da energia mecânica em energia elétrica e na conclusão devem ser enfatizadas as implicações ambientais dessa forma de exploração de energia, quais as vantagens e desvantagens verificadas.

## Texto I

A exploração de petróleo e gás abaixo da camada de sal no mar gera demanda de conhecimento e tecnologia



### Plataforma P-34 e navio transportador de petróleo, acima, na bacia de Campos

Um sistema que permitirá o transporte do gás natural extraído das profundezas da camada pré-sal na bacia de Santos, das plataformas até os navios, está sendo desenvolvido no laboratório especializado em hidrodinâmica, da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade de São Paulo.

O produto que está associado ao petróleo deverá ser transformado do estado gasoso para o líquido em plena plataforma petrolífera para facilitar o transporte em um navio especializado em gás liquefeito. Um sistema para funcionar em pleno alto-mar, a mais de 300 quilômetros da costa, num ambiente hostil em meio a ondas e ventos fortes e a uma profundidade, da superfície até o chão do mar, de 2.200 a 3.000 metros, a chamada lâmina d' água, fator que dificulta a ancoragem e a estabilidade dos risers, que são as tubulações presas a equipamentos no fundo do oceano que levam petróleo e gás para a plataforma na superfície. "Não existe no mundo um sistema em funcionamento em alto-mar para transformar o gás em líquido. Nesse estado, o gás natural líquido (GNL) tem que estar preservado a baixas temperaturas, num ambiente criogênico e de baixa pressão. Todo o sistema e o duto de transferência da plataforma que fará o transbordo para o navio precisarão estar a uma temperatura de -120° a -160° Celsius (C). O tanque também deverá ser resfriado. O problema é que o metal quando muito frio se torna frágil e pode trincar", diz Nishimoto, que é do Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da Poli (Escola Politécnica) da Universidade de São Paulo (USP).

Outro desafio é fazer o transbordo em condições críticas, com o movimento do mar e das plataformas, que podem ser as semi-submersíveis ou navios-tanques fundeados, conhecidos por FPSOs, sigla de Floating, Production, Storage and Offloading, ou sistema flutuante de produção, armazenamento e descarga, e do navio de GNL, que terá comportamento diferente com os tanques cheios e vazios. O aproveitamento do gás natural é um dos desafios tecnológicos que está posto à Petrobras e demais empresas do processo de exploração, além das parcerias com a academia ou fornecedores. Eles buscam soluções para a produção, a extração e o transporte de petróleo e gás em situações até agora inéditas com reservatórios abaixo da camada de sal, um conjunto de rochas sólidas com cerca de dois quilômetros de espessura. A camada de sal funciona como um selante natural para o petróleo e para o gás que se formaram abaixo, nas chamadas rochas carbonáticas, numa profundidade de 5 a 7 mil. Embora líder na exploração de petróleo em alto-mar, com poços comerciais na profundidade de 1.800 metros de lâmina d' água, a Petrobras experimenta um período de verificação das reservas nos novos poços e a quantidade que será aproveitada comercialmente na região que se estende da costa do estado do Espírito Santo até Santa Catarina. Também verifica a tecnologia para extrair gás e petróleo em condições extremas e levar esses produtos até as refinarias e distribuidoras de gás. Para esse processo, a empresa criou o Programa Tecnológico para o desenvolvimento da Produção dos Reservatórios do pré-sal. **Pesquisa Fapesp n° 52 - Outubro 2008**

# TÓPICO I

## PETRÓLEO E GÁS NATURAL

O petróleo e o gás natural são fontes de energia de origem fóssil, objeto de diversas pesquisas de inovação tecnológica, realizadas com o objetivo de aprimorar a capacidade de produção de derivados de alto valor econômico e social.

Todo o processo produtivo, seja ele de primeira geração ou não, necessita da pesquisa científica como ponto de partida para o desenvolvimento científico-tecnológico. O reconhecimento da importância da atividade científica pelo poder público e, por consequência, pela sociedade tem aberto novas fronteiras para os pesquisadores brasileiros, incentivando os estudantes a buscar na ciência as respostas para diversos problemas.

### 1.1 Breve Histórico

O engenheiro agrônomo Manoel Inácio Bastos ao observar, em 1930, que os moradores de Lobato, na Bahia, usavam uma lama preta, oleosa, para iluminar suas residências, partiu para uma pesquisa que identificasse o tipo de substância utilizada. Coletou amostras para análise e apenas dois anos depois foi recebido pelo então Presidente da República, Getúlio Vargas, com um relatório sobre a substância encontrada em Lobato.

A perfuração do poço DNPM-163, em Lobato, no Recôncavo Baiano, deu início a novas descobertas em outros estados. Em 1938, com a criação de uma agência reguladora, a época o CNP (Conselho Nacional do Petróleo), foram reguladas as atividades de importação, exportação, transporte, distribuição e comércio de petróleo e derivados e o funcionamento da indústria do refino.

Pressionado pela população, o presidente Getúlio Vargas assinou, em outubro de 1953, a Lei 2004, instituindo o monopólio estatal da pesquisa, refino e transporte do petróleo e seus derivados, criando Petróleo Brasileiro S.A. – Petrobrás.

Em 1997, o então presidente, Fernando Henrique Cardoso, através da Lei 9478 permitiu a presença de outras empresas para competir com a Petrobrás em todos os ramos da atividade petrolífera.

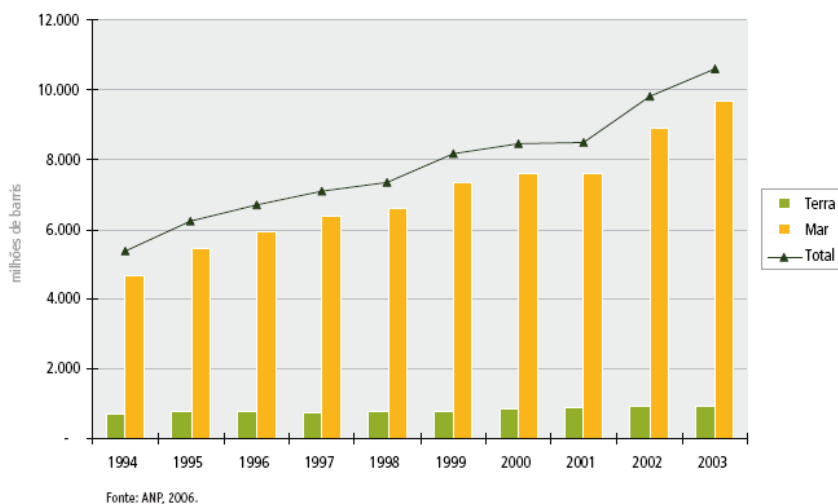
O ano de 2003 é considerado um marco na história da Petrobrás. A descoberta de novos poços contendo óleo de excelente qualidade, gás, natural e condensado, em volume expressivo, atingindo a marca de 1,54 milhão de barris por dia. Quantidade que representa 91% da demanda de derivados do país.

O Brasil, desde 2006, é auto-sustentável na produção de petróleo. A Plataforma Petrobrás 50 (P-50), atualmente em operação no campo de Albacora Leste, na Bacia de Campos, Rio de Janeiro, consolidou a auto-suficiência, reduzindo à vulnerabilidade do país às flutuações internacionais do mercado de petróleo (Petrobrás).

## **1.2 Situação Atual no Brasil**

A maior parte das reservas brasileiras de petróleo (92,5%), segundo dados da Agência Nacional do Petróleo (ANP, 2006) são encontradas no mar (campos *offshore*) e o restante está localizado em campos terrestres. As reservas provadas *offshore* vêm crescendo sistematicamente, como mostra o gráfico da Figura 5. Dados da Petrobrás estimam que em 2015 sejam produzidos 473.000 barris/dia de petróleo.

A Petrobras descobriu no final de 2004 na Bacia do Espírito Santo, a existência de reservatórios arenosos saturados de óleo leve de excelente qualidade, conhecida atualmente como pré-sal. Nos últimos dois anos (2007-2008) as descobertas de campos petrolíferos na Bacia de Santos, vêm sendo consideradas das mais importantes em anos recentes. Deve-se enfatizar que a qualidade do petróleo chamado de pré-sal é tida como superior, quando comparada àquele que em geral se encontra no Brasil, pois a fração de compostos leves é maior, facilitando o refino.



**Figura 5 Evolução das Reservas Provadas de Petróleo no Brasil**

Já para o gás natural, a prospecção e a exploração desse combustível mostram que o Brasil possui reservas comprovadas superiores a 383 bilhões  $m^3$  e seu consumo se distribui da seguinte maneira: setor industrial (53%) e setor energético (23%), ou seja, na geração de eletricidade, e a partir do ano 2000, o consumo de gás natural no setor de transporte passou de 4% para 15% e foi denominado GNV- gás natural veicular.

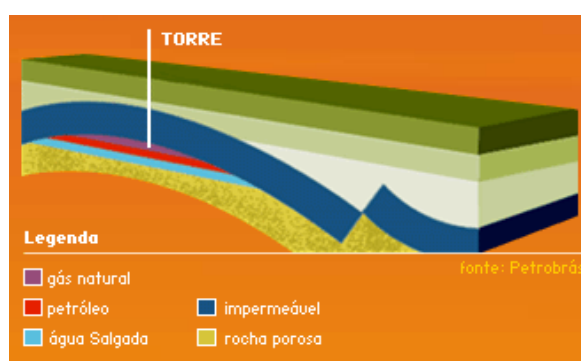
Atualmente já existem no Brasil 17 Estados e 141 cidades que utilizam o GNV como combustível, com aproximadamente 1091 postos de abastecimento e uma estimativa consumo de 165.624.000  $m^3$ /mês, segundo dados de outubro de 2005 coletados pelo MME. A Figura 6 indica o nível de consumo de GNV comparado com os outros combustíveis veiculares.



**Figura 6 Consumo Percentual de Combustíveis Veiculares no Brasil**



Embora o gás natural seja um dos componentes presentes no petróleo (Figura 6), muitas vezes esse combustível fóssil possui reservas específicas, sendo acumulado no subsolo em rochas porosas, que estão isoladas do exterior por rochas impermeáveis.



**Figura 7 Representação de Poço de Petróleo e Gás Natural**

<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/gas-natural/> Acesso maio/2009

O gás natural é o combustível fóssil que apresenta o menor impacto ambiental, pois não apresenta resíduos em sua combustão. Na aplicação do gás natural para geração de energia elétrica, um avanço observado é a existência, no Brasil, de aproximadamente 85 usinas termelétricas em funcionamento e 30 em fase de construção, segundo dados de 2008, fornecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). A composição química do gás natural é mostrada no Quadro 1.

Componente	Composição (% molar)
Metano	91,80
Etano	5,58
Propano	0,97
N-butano	0,03
I-butano	0,02
Pentano	0,10
Nitrogênio	1,42
CO <sub>2</sub>	0,08
TOTAL	100,00

**Quadro 1 Composição Química do Gás Natural**

### Atividade de pesquisa

O metano, componente majoritário do gás natural é um dos gases que colaboram com o aumento do efeito estufa, correspondendo a 16% dos gases- estufa, juntamente com o CO<sub>2</sub> (75%). Grande parte da geração de metano, a partir das atividades humanas, tem origem nos lixões e aterros sanitários. Pesquise:

- a) como o gás metano é gerado a partir do lixo orgânico;
- b) identifique a diferença entre lixão e aterro sanitário;
- c) na cidade de Nova Iguaçu (RJ) existe uma usina termelétrica que utiliza um aterro sanitário como fonte de gás metano. Identifique cada uma das etapas no processo de geração de energia elétrica;
- d) usando o exemplo de Nova Iguaçu, estabeleça quais os impactos sociais que a transformação de um lixão em aterro sanitário proporcionou.

## 1.3 Processamento do Petróleo

Petróleo é uma mistura de substâncias com propriedades combustíveis, além de representar matéria-prima para produção de inúmeros bens de consumo. Para o aproveitamento deste potencial energético é necessário que o petróleo bruto passe por uma série de processos de beneficiamento, caso contrário não teria múltiplas aplicações e seria usado apenas como óleo combustível. O refino do petróleo consiste em separar cada um dos constituintes em derivados de grande valor econômico e comercial.

Basicamente, o petróleo é constituído por moléculas de cadeias longas de hidrocarbonetos pertencentes à classe dos alcanos. Tais moléculas estão presentes nas frações do óleo bruto, como a gasolina, o querosene e o óleo diesel, que são usados como combustíveis de carros de passeio, aviões, máquinas e motores de indústrias.

Para a produção de energia, algumas frações são usadas *in natura*, após passarem por processos de purificação para retirada dos resíduos de petróleo (compostos sulfurados e nitrogenados, principalmente) outras frações participam de reações químicas que as transformam em substâncias de maior valor comercial.

Além do uso como combustível, parte dos derivados de petróleo é empregada como matéria prima na indústria petroquímica, que produz resinas como o polietileno, o poliestireno, polipropileno, entre outras, que posteriormente darão origem aos mais diversos

produtos: desde plásticos de uso geral até roupas e acessórios de automóveis. As reações envolvidas na indústria petroquímica serão discutidas no ítem 2 (p.xx) deste tópico.

### 1.3.1 Separação de Substâncias Presentes no Petróleo: Destilação e Craqueamento

Combustíveis de grande valor comercial são obtidos nas refinarias após processos de separação em torres de destilação realizada à *pressão normal*, também chamada destilação atmosférica, conforme mostra o esquema 1. A destilação atmosférica promove a separação dos derivados leves e médios existentes no petróleo.



(1) GLP= Gás Liquefeito de Petróleo

Fluxograma 1 Esquema de produção nível 1

Dentre os produtos gerados na destilação atmosférica estão os vapores de nafta leve, os gases liquefeitos do petróleo (GLP) e o gás de refinaria que, além de metano e etano, também contém gás sulfídrico ( $H_2S$ ) e vapores de amônia.<sup>2</sup>

A seguir a tabela 1 contém as principais frações extraídas do petróleo com seus respectivos intervalos de ponto de ebulição.

<sup>2</sup> A Petrobrás é a única produtora de nafta petroquímica no Brasil, atendendo parcialmente à demanda nacional com produção própria e com importações. <http://www2.petrobras.com.br/produtos>. Acesso 23/01/2009

Fração	Número de C	Intervalo de Ponto de Ebulição (°C)
Gás Liquefeito de		
Petróleo (GLP)	C <sub>1</sub> a C <sub>4</sub>	abaixo de 20
Éter de petróleo	C <sub>5</sub> a C <sub>6</sub>	30-60
Ligroína ou nafta leve	C <sub>7</sub>	60-90
Gasolina bruta	C <sub>6</sub> a C <sub>12</sub>	85-200
Querosene	C <sub>12</sub> a C <sub>15</sub>	200-300
Óleo diesel	C <sub>15</sub> a C <sub>18</sub>	300-400
Óleos lubrificantes, graxas,		
Parafina e asfalto	C <sub>16</sub> a C <sub>24</sub>	acima de 400

Tabela 1

As moléculas longas de hidrocarbonetos de maiores pontos de ebulição ficam retidas no fundo da torre e são submetidos a outros processos de extração, como a destilação sob baixas pressões<sup>3</sup>, seguida de purificação. Os produtos obtidos são os óleos residuais e parafinas que apresentam baixo valor comercial, sendo, portanto, convertidas em moléculas menores e de maior poder econômico.

Um dos processos utilizados na obtenção de moléculas de cadeia curta e de maior valor comercial, como a gasolina, é o craqueamento ou pirólise, que consiste na quebra de moléculas longas de hidrocarbonetos, presentes nos óleos residuais. Como as moléculas que constituem o petróleo são altamente estáveis, isto é, formam ligações de alta energia, essa quebra é, em geral, realizada a partir de reações que ocorrem na presença de catalisadores, sob altas pressões e temperaturas controladas.

<sup>3</sup> Os fundamentos físico-químicos da destilação serão discutidos no item xx desse tópico, em Ponto de ebulição.

As reações de craqueamento envolvem a quebra homolítica das ligações C-C e C-H, gerando intermediários radicais livres, altamente reativos que se recombinam dando origem a vários produtos.

Quando uma ligação covalente é quebrada, duas condições distintas são possíveis, segundo as condições experimentais:

Homólise: um elétron para cada fragmento, formando radicais livres, que por sua instabilidade, rapidamente reagem. Em geral, tais reações ocorrem em fase gasosa ou, se os reagentes são líquidos, emprega-se alta diluição.

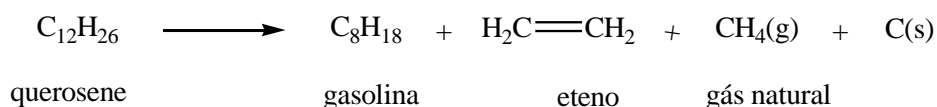


Heterólise: ambos os elétrons para o mesmo fragmento, formando intermediários carregados, um carbocátion, que reage rapidamente com nucleófilos (intermediários ricos em elétrons). As condições experimentais em tais processos envolvem o emprego de solventes para a solvatação dos íons formados.

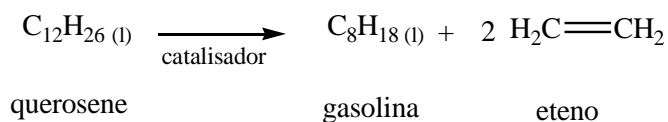


No processo de craqueamento as quebras de ligação são homolíticas e podem ocorrer de duas maneiras, conforme os esquemas 1 e 2.

1. Craqueamento térmico, onde a temperatura atinge cerca de 500<sup>0</sup>C a uma pressão de 9,5 atm.



2. Craqueamento catalítico, que ocorre na presença de um catalisador (zeólita e alumina), a uma menor pressão e temperatura de cerca de 260 °C a 430 °C.



A desvantagem do craqueamento térmico é o alto consumo de energia, necessária para se atingirem temperaturas elevadas, aliado aos produtos obtidos, como o gás combustível e o coque. Por outro lado, o craqueamento catalítico é mais vantajoso, já que o catalisador diminui a quantidade de energia necessária para a quebra dessas ligações estáveis, e apresenta um maior rendimento em GLP, nafta leve e gasolina de alta octanagem, sendo o método mais utilizado nas refinarias.

Os produtos são obtidos nas unidades de craqueamento catalítico em leito fluidizado (FCC's), assim denominado porque o óleo e seu vapor aquecidos formam um fluido, e esse fluido fica em contato com o catalisador dentro do reator de reação. Após o craqueamento, as moléculas passam para a torre de fracionamento e os produtos obtidos são separados e coletados.

A Figura 6 representa o esquema geral de refino do petróleo discutido até esse ponto: a destilação atmosférica, também chamada destilação direta, promove a separação dos derivados leves e médios existentes no petróleo (GLP, nafta, gasolina, querosene + diesel); na destilação a vácuo são gerados GLP e gasolina, e o processo de coqueamento transforma uma fração de menor valor (resíduo de vácuo), em produtos mais nobres – GLP, gasolina, nafta e óleo diesel.

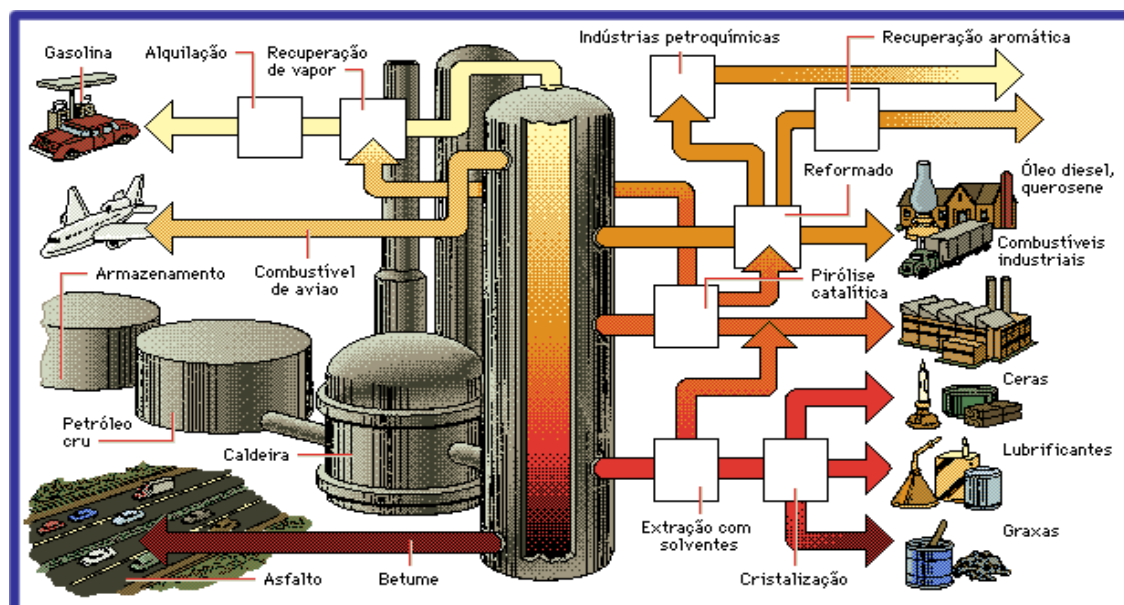


Figura 8 Esquema geral de refino do petróleo <http://www.clickmacae.com.br/?sec=109&pag=pagina&cod=96>

Deve-se notar que no material obtido a partir do craqueamento, além das moléculas alcânicas menores que serão utilizadas como combustíveis, também estão presentes os alcenos, matéria prima para a indústria petroquímica.

### Sugestões de Conteúdos de Química

A partir do tema petróleo, o professor poderá abordar conceitos referente a:

1. Classes de hidrocarbonetos, demonstrando as diferenças entre substâncias orgânicas e inorgânicas quanto as propriedades físicas e químicas, tipo e energia de ligação.
2. Polaridade de ligações e de moléculas, geometria espacial e solubilidade.
3. Reações de Combustão

## 1.4 ALCANOS

Como o petróleo é constituído, principalmente, de alcanos que são substâncias que contêm apenas ligações simples entre os átomos de carbono e hidrogênio, possuindo cadeias carbônicas saturadas lineares ou ramificadas.

A variação das propriedades físico-químicas observadas para cada um dos constituintes dessa mistura se deve ao número de átomos de carbono presentes na cadeia das moléculas, pois o tamanho da cadeia carbônica determina as forças de interação existentes entre elas e, conseqüentemente, suas aplicações para suprir as demandas energéticas da sociedade.

Conhecidos como gases de petróleo, o metano, etano, propano e butano (nomenclatura oficial segundo a IUPAC, Tabela 2), com um, dois, três e quatro átomos de carbono respectivamente, podem ser usados tanto como combustíveis de automóveis, para o cozimento de alimentos (GLP) ou em aquecedores de água e matéria-prima para a indústria petroquímica.

Fórmula	Fórmula estrutural	Nome	Ponto de Ebulição (°C)
Condensada			
CH <sub>4</sub>	CH <sub>4</sub>	<b>Metano</b>	-164
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	CH <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	<b>Etano</b>	-89
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	<b>Propano</b>	-42
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	<b>Butano</b>	0
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	<b>Pentano</b>	36
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	<b>Hexano</b>	69
C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	<b>Heptano</b>	98
C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	<b>Octano</b>	126
C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	<b>Nonano</b>	151
C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	<b>Decano</b>	174

Tabela 2

Contendo de cinco até aproximadamente doze átomos de carbono, são líquidos e encontrados na gasolina; de doze a dezoito carbonos, líquidos viscosos como no querosene, óleo diesel; e os demais derivados de petróleo são sólidos (C<sub>20</sub> para cima, parafinas) e resíduos pastosos (C<sub>36</sub> para cima).



Para explicar essa variação de ponto de ebulição não só dos alcanos, mas das substâncias químicas em geral, além de outras propriedades físicas como polaridade, ponto de fusão, solubilidade, entre outras, é necessário compreender o modelo de ligação química para, em seguida, estudar o comportamento de um conjunto muito grande de moléculas.

#### 1.4.1 Compreendendo o Modelo de Ligação Covalente

Para se compreender as propriedades macroscópicas das substâncias orgânicas, em geral, e daquelas constituintes do petróleo especificamente, é necessário que se tenha clareza do modelo empregado para explicar como as moléculas são formadas e quais as forças envolvidas que justificam a sua formação. O modelo de ligação química permite a compreensão da estabilidade das moléculas além de determinar a maneira pela qual utilizá-las, seja para a obtenção de energia seja para reações de transformação em outros materiais.

Compreendem-se por propriedades macroscópicas aquelas relacionadas ao comportamento de um conjunto com um número muito grande de elementos (por exemplo, um mol de qualquer substância possui  $6,02 \cdot 10^{23}$  moléculas) e que podem ser traduzidas nos valores observados das propriedades físicas como ponto de ebulição, ponto de fusão, viscosidade, índice de refração, densidade, entre outras.

Quando nos referimos ao modelo utilizado para explicar como as moléculas são formadas, passamos para o nível microscópico, ou seja, pode-se realizar a análise a partir de uma única molécula, empregando-se dados como ângulo de ligação, comprimento de ligação, eletronegatividade dos átomos que constituem as ligações, que por sua vez permitirão avaliar a polaridade da molécula.

#### Lembrete

Uma das maiores dificuldades encontrada pelos alunos quando iniciam o estudo de química se encontra em assimilar a representação utilizada para traduzir o comportamento das substâncias a partir de suas estruturas. Assim, seria interessante que o professor durante a exposição dos conteúdos, estivesse sempre alerta para esclarecer o nível em que se está trabalhando determinado conceito, sempre enfatizando a representação utilizada com relação ao modelo microscópico.

O entendimento do porque as ligações químicas se formam e da maneira que os átomos estão arranjados em uma molécula, isto é, sua distribuição espacial com os ângulos e as distâncias de ligação, foi possível a partir de 1926, com o desenvolvimento da mecânica quântica ou mecânica ondulatória. Esta teoria, uma ferramenta matemática muito poderosa está baseada no movimento ondulatório do elétron, em relação ao núcleo, que pode ser descrito pela equação de onda de Schrödinger, uma equação diferencial que, ao ser resolvida, apresenta uma série de soluções.

*Grosso modo*, podemos dizer que as *soluções da equação de onda* são *funções de onda* que, quando elevada ao quadrado, descrevem a *probabilidade* de se encontrar o elétron, em seu movimento ondulatório, a uma determinada distância do núcleo e a sua energia correspondente. Estas funções de onda são chamadas *orbitais atômicos*, que recebem os nomes *s*, *p*, *d* e *f*. Assim, os elétrons podem ser distribuídos nestes espaços, os orbitais, obedecendo a determinadas regras, como o princípio de exclusão de Pauli (apenas dois elétrons em cada orbital) e a regra de Hund (um orbital vazio só poderá receber um elétron quando o orbital de energia inferior a sua já estiver completo).

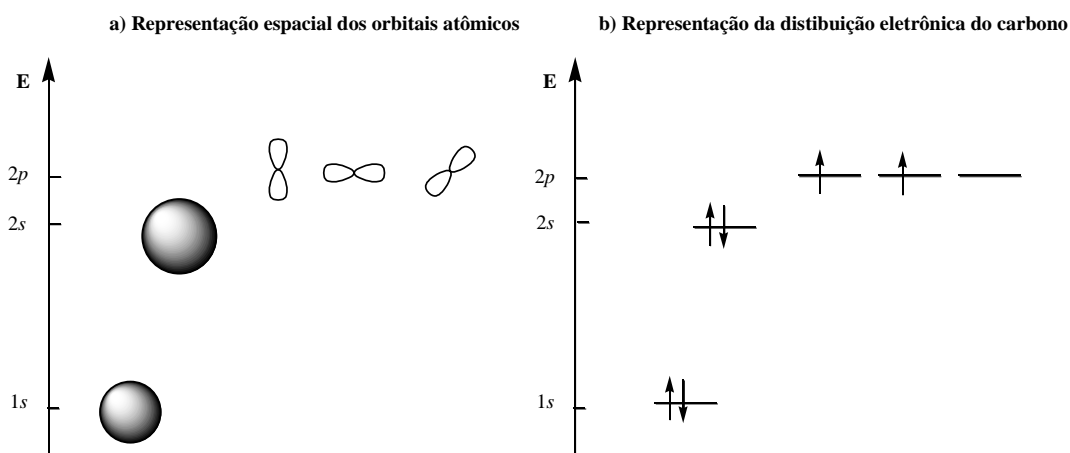


Figura 9 Orbitais atômicos

A figura 9 a mostra uma representação pictórica dos orbitais atômicos, ou seja, o volume espacial onde se tem a maior probabilidade de se encontrar o elétron e, a figura 9 b, a distribuição eletrônica do átomo de carbono que possui seis elétrons, dada por:  $1s^2, 2s^2, 2p^2$ , que estão em ordem crescente de energia e os orbitais passam a ser representados apenas com um traço, por motivo de simplificação.

Até este ponto, estamos falando do átomo de carbono e, portanto, dos seus orbitais atômicos. Como se sabe, a partir de dados experimentais, os compostos de carbono formam quatro ligações. Por exemplo, o gás natural (metano, CH<sub>4</sub>) possui quatro ligações covalentes C-H, envolvendo ângulos de ligação 109,5°, distribuídas nos vértices de um tetraedro.

Para explicar de que maneira as ligações do metano são formadas, devemos nos lembrar que os orbitais são funções matemáticas e, portanto, podem ser combinadas para criar novas funções, ou seja, novos orbitais. A partir da figura 8, tem-se a distribuição dos elétrons do carbono no estado fundamental, à esquerda; o estado excitado\* no centro, indicando a promoção de um elétron do orbital 2s para o orbital 2p vazio e, finalmente, a combinação do orbital 2s com os três orbitais p, dando origem a quatro novas funções, de mesma energia, denominadas sp<sup>3</sup>, com um elétron cada uma. Este processo matemático recebe o nome de hibridização e os orbitais assim obtidos são denominados orbitais híbridos.<sup>4</sup>

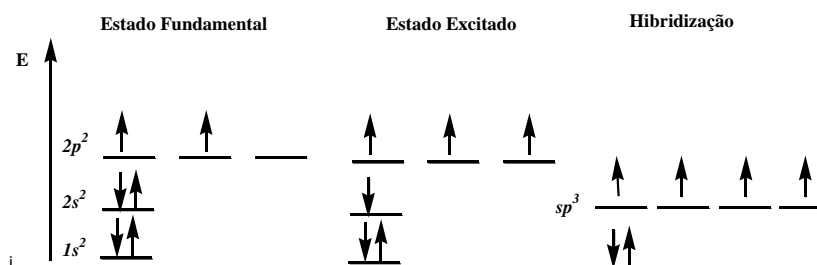


Figura 10 – Hibridização

A partir do cálculo dos orbitais híbridos sp<sup>3</sup>, cada qual com um elétron e todos de mesma energia, pode-se compreender a formação das quatro ligações covalentes do metano: cada uma delas formada pelo compartilhamento de um elétron do carbono e um elétron do hidrogênio.

As moléculas dos alcanos são formadas pela atração entre átomos de carbono e carbono e hidrogênio que alcançam maior estabilidade por meio de ligações químicas. Estas ligações são mantidas por interações eletrostáticas, ou seja, pela atração entre a carga positiva

<sup>3</sup> Chama-se estado excitado porque existe uma demanda de energia para se elevar um elétron de um nível ao outro, mas os cálculos demonstram que a combinação posterior dos quatro orbitais que fornecem as novas funções sp<sup>3</sup>, compensa a demanda energética anterior. Atenção aos valores de energia associados aos orbitais, lembrando sempre que esses valores são alcançados a partir de um cálculo computacional, mas os resultados obtidos explicam os fenômenos observados.

presente no núcleo e a carga negativa dos elétrons de ligação balanceada pelas forças repulsivas entre cargas semelhantes (elétron – elétron e núcleo – núcleo), segundo a Lei de Coulomb:

$$F = \frac{k q_+ \cdot q_-}{r^2}$$

- onde  $F$  é a força atrativa entre as cargas  $q_+$  e  $q_-$ ,  $r$  é a distância entre as cargas e  $k$  a constante de proporcionalidade.

#### 1.4.2 Geometria Molecular e suas Representações

Qual a importância de conhecermos as diferentes formas espaciais das moléculas ou íons? A geometria molecular é a distribuição dos átomos no espaço. As formas que as moléculas ou íons adquirem determinam suas cores, seu cheiro, seu sabor, sua ação como medicamento e também determinam as propriedades dos materiais que nos rodeiam como o estado físico e a solubilidade.

Nas moléculas de alcanos, os átomos de carbono fazem quatro ligações simples e a melhor representação para se compreender as propriedades físicas destas substâncias é a partir de sua fórmula estrutural tridimensional, na qual as ligações se encontram nos vértices de um tetraedro.

Como o tetraedro é tridimensional e deve ser sempre representado em duas dimensões (plano do papel ou da lousa), adota-se a seguinte convenção para a representação dos compostos orgânicos: colocam-se duas ligações no plano do papel e as duas outras (que se encontram no plano perpendicular) são representadas por cunha hachurada quando estiver direcionada para trás do plano do papel e uma cunha fechada quando estiver para frente. O ângulo de ligação HCH e CCH para os alcanos é de  $109,5^\circ$  e as distâncias de ligação C-H e C-C são de 0,110nm e 0,154nm, respectivamente. (Figura 11)

### Fórmula Molecular, planar e tridimensional

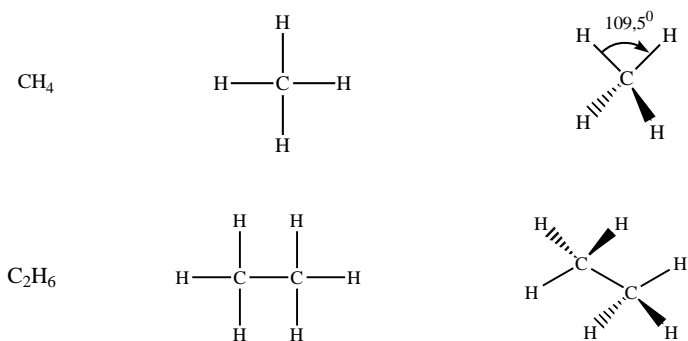


Figura 11 Representações para o metano e o etano

Por exemplo, o gás liquefeito de petróleo (GLP) é composto, sobretudo, por uma mistura de hidrocarbonetos parafínicos (propano, butano e isobutano) e olefínicos (propeno, buteno e isobuteno), nas mais variadas proporções. Traços de etano, eteno, isopentano e buta-1,3-dieno, também podem ocorrer. São usados como fonte de energia e para o cozimento de alimentos em fogões.

A Figura 11 mostra a representação tridimensional dos gases propano e butano e também sua representação simplificada na forma denominada zig-zag, na qual a cadeia carbônica é representada no plano do papel e os átomos de hidrogênio não são mostrados.

### Representação tridimensional e em zig-zag do propano e butano

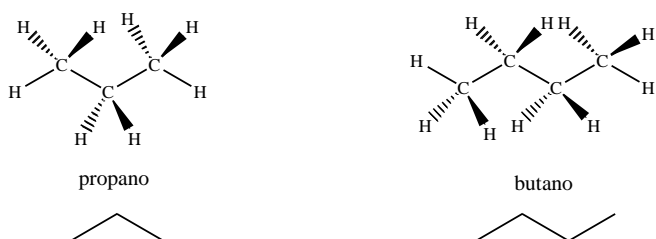


Figura 12

### 1.4.3 Polaridade: uma Propriedade Física Chave

A partir da compreensão do modelo de ligação química e da geometria molecular, de uma maneira geral, partiremos agora para o entendimento do comportamento macroscópico dessas substâncias, que permitirá um maior discernimento para a atribuição dos usos que fazemos destes materiais. Para tanto, é necessário se ter clareza de como um conjunto muito grande de moléculas se organiza e como propriedades físicas emergem a partir de tal organização.

Uma das propriedades mais importantes da ligação covalente é a polaridade. Dois átomos ligados por uma ligação covalente emparelham elétrons e seus núcleos são mantidos próximos pela mesma nuvem eletrônica, mas que nem sempre é compartilhada igualmente pelos núcleos. A capacidade de um núcleo atrair o par de elétrons de uma ligação está relacionado à sua eletronegatividade, que é uma medida da habilidade de um elemento em atrair ou manter elétrons ao redor de si. Linus Pauling estabeleceu uma escala semi-quantitativa dessa habilidade para alguns elementos, conforme ilustrado na tabela 3:

H				
2,2				
Li	C	N	O	F
1,0	2,5	3,1	3,5	4,1
Na	Mg	P	S	Cl
0,9	1,2	2,1	2,4	2,8
K	Ca			Br
0,8	1,0			2,7
				I
				2,2

Tabela 3 Valores de Eletronegatividade para alguns elementos

Quanto maior a diferença de eletronegatividade entre dois núcleos ligados, maior a polarização da ligação. Uma molécula é polar se o centro de carga positiva não coincide com o centro de carga negativa. A grandeza que define a polaridade é o momento de dipolo ( $\mu$ ), uma grandeza vetorial, representado por um vetor de direção do centro negativo para o positivo, sendo que os valores do momento de dipolo são obtidos experimentalmente. (**Atenção:** em grande parte dos livros didáticos a direção do vetor do momento de dipolo da ligação está invertida).

A água, por exemplo, é uma molécula bastante polar, pois existe uma diferença grande entre a eletronegatividade do oxigênio e do hidrogênio, constituindo assim um dipolo. É fácil compreender que uma ligação formada por elementos iguais seja apolar. E para os alcanos, como podemos avaliar sua polaridade?

Para se avaliar o momento de dipolo em moléculas de alcanos, determina-se inicialmente a direção dos vetores para cada ligação e depois sua somatória. No caso do metano, a soma dos dois vetores resultantes (em azul) é zero, pois são de mesma magnitude e direções opostas, mostrado na Figura 13, juntamente com a representação de outras moléculas.

#### Representação da polaridade nas moléculas de $\text{H}_2\text{O}$ , $\text{H}_2$ , $\text{Br}_2$ , $\text{CH}_4$ e $\text{CH}_3\text{Cl}$

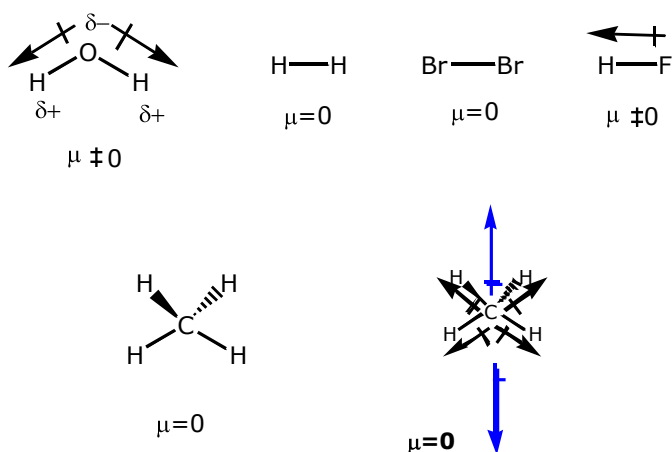


Figura 13

A polaridade de uma molécula está intimamente relacionada às suas propriedades físicas, como ponto de fusão, ponto de ebulição e solubilidade. Para se determinar se uma molécula é polar deve-se analisar o momento de dipolo ( $\mu$ ) de cada uma das ligações. A presença de uma única ligação com  $\mu$  diferente de zero é suficiente para tornar a molécula polar.

A Tabela 3 (p. 127) mostra os alcanos de  $\text{C}_1$  a  $\text{C}_{10}$  e seus respectivos pontos de ebulição. Podemos observar que de  $\text{C}_1$  a  $\text{C}_4$ , as substâncias são gasosas a temperatura

ambiente, a partir de então para cada CH<sub>2</sub> a mais na cadeia, aumenta-se aproximadamente 30°C no valor do ponto de ebulição. Como entender estes valores?

Primeiramente deve-se compreender que a matéria está em constante movimento: os elétrons em seu movimento de rotação; as ligações químicas vibrando; os movimentos de rotação e translação das moléculas, com maior ou menor grau de liberdade segundo o estado físico em que se encontram.

Assim, para moléculas orgânicas pode-se pensar que no estado gasoso, do ponto de vista de um gás ideal, as moléculas possuem movimento aleatório e se movem livremente no recipiente que as contêm. As substâncias que são gasosas à temperatura ambiente revelam que a energia de interação entre suas moléculas é menor que a energia térmica (aquelas de seus movimentos de rotação e translação).

No estado líquido, no qual as moléculas se mantêm próximas umas das outras, são as interações não covalentes ou forças intermoleculares que são responsáveis por tal comportamento. Estas forças atrativas, embora de curto alcance e baixa energia, são somatórias e estabilizam o sistema como um todo.

#### 1.4.4 Forças Intermoleculares: um Conceito Chave

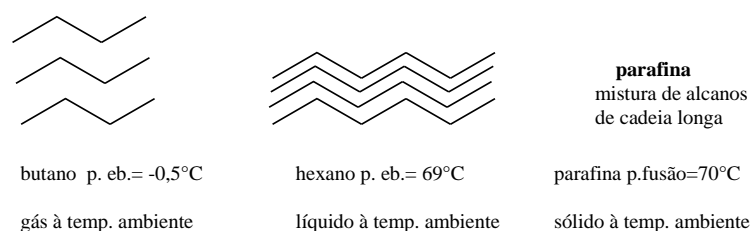
Além das ligações químicas, que mantêm os átomos unidos nas moléculas, existem as forças que determinam a interação entre essas moléculas e são chamadas de interações não covalentes ou forças intermoleculares, que também são de natureza eletrostática, ou seja, regidas pela lei de Coulomb.

O conjunto das forças presentes entre as moléculas orgânicas são denominadas **Forças de van der Waals**, definidas como:

1. **Forças de dispersão ou Forças de London** (nos livros mais antigos, chamadas de forças de van der Waals). Essas interações ocorrem quando duas moléculas se aproximam provocando a repulsão de elétrons que se deslocam de um lado e do outro das moléculas, originando um dipolo momentâneo. As forças de dispersão estão

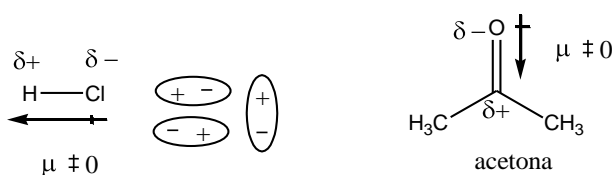


presentes entre todas as moléculas, polares e apolares, e dependem da área de aproximação das moléculas, quanto maior é essa área, maior a força atrativa. No caso dos alcanos, que são moléculas apolares, esta é a única interação presente. Cada unidade adicional de  $\text{CH}_2$  fornece uma área de contato que aumenta a força atrativa total e dá origem a um ponto de ebulição maior. A energia de atração por grupo  $\text{CH}_2$  é da ordem de  $5 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$  que, embora muito pequena (compare com a força de ligação C- H,  $414 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ), elas são somatórias. Assim, podemos entender o aumento do ponto de ebulição dos alcanos mostrados na Tabela 3 (p.x), a partir da representação em zig-zag de algumas moléculas de alcanos (Figura 12).



**Figura 12 Interações não covalentes de alcanos**

2. **Interação dipolo permanente-dipolo permanente.** Essa interação é aquela existente entre moléculas polares, ou seja, aquelas que apresentam um dipolo permanente, nas quais o pólo positivo de uma molécula é atraído pelo pólo negativo de outra. O ácido clorídrico, uma substância inorgânica, apresenta um dipolo permanente, assim como os compostos carbonílicos são exemplos de substâncias orgânicas que apresentam essa interação. (Figura 15) A energia dessa interação é da ordem de  $10 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ .



**Figura 13 Representação do dipolo das moléculas de HCl e Acetona**

**Ligação de hidrogênio.** Um caso particular de interação dipolo-dipolo é a ligação de hidrogênio. Quando o átomo de hidrogênio está covalentemente ligado a oxigênio ou flúor ou nitrogênio, somente a estes três elementos, que são os mais eletronegativos, ocorre uma interação chamada *ligação de hidrogênio* que, embora seja a interação de mais alta energia entre as forças de van der Waals, é somente de  $20\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$  cada uma (lembrar que a energia da ligação covalente O-H é da ordem de  $464\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ), mas como estas interações são somatórias, a aproximação resulta em uma grande estabilização do sistema.

A diferença de  $100^\circ\text{C}$  entre os pontos de ebulição dos ácidos clorídrico e fluorídrico pode ser explicada pela presença de ligações de hidrogênio entre as moléculas de HF, embora a massa molecular do HCl seja quase duas vezes a massa do HF, como mostrado na tabela 5. Da mesma maneira, ao comparar-se o metano e a água, com massas moleculares equivalentes, pode-se apreciar o efeito da ligação de hidrogênio como estabilizadora do sistema como um todo, refletida numa diferença de ponto de ebulição de  $263^\circ\text{C}$ .

	H—Cl ácido clorídrico	H—F ácido fluorídrico	CH <sub>4</sub> metano	H <sub>2</sub> O água
<b>MM</b>	36,5	19	16	18
<b>P. Eb.</b>	$-85^\circ\text{C}$	$15^\circ\text{C}$	$-163^\circ\text{C}$	$100^\circ\text{C}$

Tabela 4

Tanto no caso da água quanto no caso do HF, as moléculas interagem entre si de maneira mais eficiente, causando uma estabilização no sistema, fazendo com que seja necessário que se forneça mais energia, isto é, uma temperatura maior para que ocorra a ebulição. A figura abaixo mostra a representação da ligação de hidrogênio entre as moléculas de água e as de HF.

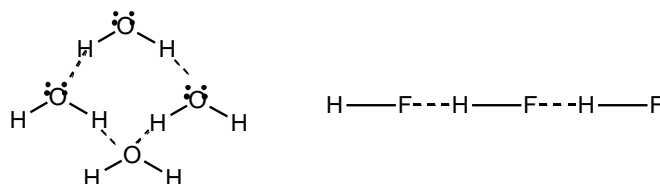


Figura 16

3. **Interação dipolo permanente-dipolo induzido.** Em algumas situações pode-se observar a interação entre moléculas polares e moléculas apolares como, por exemplo, na mistura de etanol (polar) e gasolina (constituída principalmente de isooctano e n-heptano, ambos apolares). A existência dessa interação é o que permite a adição de álcool à gasolina, de aproximadamente 22%, como observado no Brasil, com conseqüências ambientais positivas.

### **Atividade**

No Brasil a gasolina pode receber entre 22 e 25% de teor de etanol. Os postos de combustíveis utilizam um teste simples para quantificar a quantidade de álcool presente na gasolina. Realizado em uma proveta de 100mL, o técnico adiciona 50mL da gasolina retirada da bomba e completa o volume com 50mL de água. Em seguida, a proveta é completamente vedada e, mediante agitação vigorosa, ocorre uma modificação dos volumes entre a fração orgânica (gasolina) e a água. Esse processo é denominado separação de fases líquidas por adição de um líquido. Explique em termos de forças intermoleculares por que a fase orgânica diminuiu. Faça uma representação pictórica da proveta antes e depois da agitação indicando a posição dos líquidos, segundo seus valores de densidade.

Podemos considerar o conceito de forças intermoleculares como uma chave para a explicação das propriedades físicas das substâncias, não apenas das orgânicas, além de ser esclarecedor na compreensão do comportamento macroscópico dos materiais. Assim, uma breve explanação das propriedades físicas como ponto de ebulição, importante no processamento do petróleo; ponto de fusão e solubilidade será discutido à luz do conceito de forças intermoleculares.

#### 1.4.4.1 Ponto de Ebulição

No estado líquido, embora as partículas estejam arranjadas com uma regularidade menor que em um cristal, cada partícula atrai um grande número de outras, e a ebulição envolve a perda dessa coesão. Isto ocorre quando a temperatura do recipiente que contém o líquido é aumentada de tal forma que a energia térmica das partículas é grande o suficiente para superar as forças atrativas que as mantêm no estado líquido. Formam-se assim, bolhas de vapor no interior do líquido que escapam para a superfície. O líquido irá ferver, quando a sua pressão de vapor se igualar a pressão externa que atua sobre a superfície livre do líquido.

No caso de moléculas apolares como os alcanos, a única força de atração entre as moléculas são as forças de dispersão ou forças de London.

#### 1.4.4.2 Ponto de Fusão

Em sólido cristalino as partículas atuam como unidades estruturais – íons ou moléculas – e são arranjados de maneira simétrica e regular dentro do cristal. A fusão é a mudança desse arranjo altamente ordenado, para um arranjo ao acaso que caracteriza o líquido. A fusão ocorre quando a temperatura é aumentada até o ponto em que a energia térmica da partícula seja grande o suficiente para superar as forças inter-cristalinas que as mantêm em posição.

Num sólido iônico, os cristais formam uma estrutura extremamente rígida, pois as forças eletrostáticas que mantêm cada íon na sua posição são muito fortes. Por exemplo, o cloreto de sódio, NaCl, possui um ponto de fusão na temperatura de 801°C, isto é, para superar estas forças de atração deve-se aquecer o sal até esta temperatura .

Já para um sólido não iônico, ou seja, que possui apenas ligações covalentes, as unidades do cristal são moléculas e, para que a fusão ocorra, é necessário superar as forças existentes entre as moléculas, isto é, forças de van der Waals. O açúcar de mesa, a sacarose, é um exemplo de sólido cristalino não-iônico. Muitos já prepararam uma calda de caramelo, fundindo o açúcar com o calor liberado na chama do fogão. Inicialmente, observamos a fusão e em seguida o escurecimento da calda, que significa a decomposição da sacarose. Os

compostos orgânicos, em geral, são instáveis a temperaturas acima de 200°C. E uma colher de sal, fundiria nessas condições?

Deve-se ter claro que quando uma substância orgânica alcança a fusão, **NÃO** ocorre quebra das ligações covalentes C-C, C-H, ou qualquer outra, mas apenas as forças intermoleculares ou as forças de atração entre as moléculas devem ser superadas.

#### 1.4.4.3 Solubilidade

Quando um sólido ou um líquido se dissolve, as unidades estruturais – íons ou moléculas – se separam umas das outras e moléculas do solvente se interpõem entre elas. Para que a dissolução ocorra, deve-se fornecer energia suficiente para se superar as forças inter-iônicas (no caso de solutos iônicos) ou as forças intermoleculares (quando o soluto é molecular). Esta energia é obtida por meio da formação de interações entre as partículas do soluto e as moléculas do solvente. Antigas forças atrativas são trocadas por novas.

Para solutos iônicos uma grande energia é necessária para superar as forças eletrostáticas que mantêm os sítios iônicos coesos. Sobretudo a água, e alguns poucos solventes polares, é capaz de solubilizar substâncias iônicas, pois suas moléculas se constituem em dipolos permanentes solvatando os íons.

Já para sólidos moleculares a solubilidade se deve, principalmente às interações não covalentes entre o soluto e o solvente. No caso do açúcar de mesa, um sólido molecular no qual a sacarose é a unidade do cristal, pode-se observar que a presença dos grupos hidroxila torna a molécula polar. Assim, a água solubiliza o açúcar, pois as ligações de hidrogênio que mantinham o sólido são trocadas pelo mesmo tipo de interação, agora entre a sacarose e a água. Outro exemplo é o caso da parafina, um sólido amorfo, constituído de moléculas de alcanos de cadeia longa, portanto, apolar e solúvel, sob leve aquecimento, em hexano.

Nos dois exemplos, as forças atrativas existentes, são trocadas por interações de mesma magnitude quando da dissolução, ou seja, ligação de hidrogênio no caso do açúcar-água e forças de dispersão no caso parafina hexano. Como explicar, em termos energéticos, o fenômeno da dissolução? Devemos nos lembrar que em ambos os casos ocorre um aumento da entropia do sistema e, essa sim, é a força que direciona a solubilização.

### SUGESTÃO PARA O PROFESSOR

O tipo de interação entre as substâncias iônicas e não-iônicas são muito importantes para compreender o comportamento das fontes utilizadas como combustíveis automotivos. Propriedades como temperaturas de fusão e ebulição, densidade, viscosidade e solubilidade são conceitos fundamentais para discussão sobre a natureza das substâncias químicas.

#### 1.4.5 Gasolina e o Índice de Octana

Dentre as substâncias extraídas do petróleo, a gasolina é a de maior valor comercial e, como se sabe, muito utilizada como combustível. Um motor de automóvel é projetado para aproveitar a energia liberada na explosão (combustão rápida e violenta de um combustível). Explodindo, antes do momento adequado, há uma redução do rendimento do motor que não funciona como deveria.

A qualidade da gasolina é expressa pelo índice de octanas. Uma gasolina é de baixa qualidade quando, dentro do motor, ocorre a explosão antes da faísca produzida pela vela; e a de boa qualidade é aquela que resiste à compressão, sem sofrer explosão. A composição da gasolina é variável, podendo ser formada por compostos de cadeia normal (heptano), com índice de octanas zero ou ramificada (isooctano) índice de octanagem de 100%.

No Brasil, a gasolina comum possui índice de octanagem ao redor de 85, o que significa que, no motor de um automóvel, comporta-se como a mistura contendo 85% de moléculas de isooctano ( $C_8H_{18}$ ) e 15% de heptano ( $C_7H_{16}$ ), mostrados na figura 15 abaixo na representação em zig-zag.

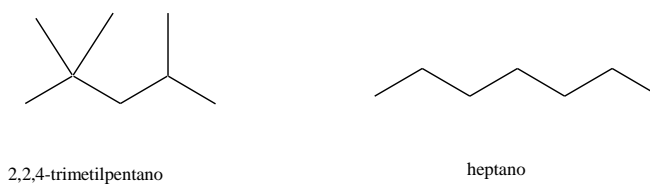


Figura 17

À gasolina comum – combustível produzido nas refinarias, com o nome de gasolina A – são adicionados, conforme a legislação brasileira, 25% de álcool anidro, recebendo o nome de gasolina C. Para manter limpo o motor do veículo e impedir a formação de depósito de resíduos, a gasolina recebe aditivo, passando a ser chamada de gasolina aditivada. Nos postos de algumas distribuidoras é denominada Gasolina Supra. Também pode ser encontrada uma gasolina de maior octanagem: a *Premium*. A Petrobrás inovou na tecnologia e desenvolveu uma gasolina com índice de octanagem melhor que a *Premium*, com baixo teor de enxofre (30 ppm) e maior estabilidade, a gasolina *Podium*.

#### 1.4.6 Combustão e Agentes poluentes

Durante a queima dos combustíveis, a reação principal é a combustão, uma reação de oxidação-redução. A molécula combustível sofre a ação do agente oxidante: o gás oxigênio (O<sub>2</sub>). Na combustão completa todo o combustível é convertido a dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e vapor de água. No decorrer do processo, ocorre liberação de energia, como mostrado no esquema 3.



Combustíveis fósseis, ao serem queimados, geram particulados na atmosfera, como os óxidos de enxofre e nitrogênio. A atmosfera da Terra é um ambiente oxidante, fenômeno que se explica pela presença de grande concentração de oxigênio diatômico. Quando gases provenientes de substâncias naturais ou poluentes são lançados no ar oxidam totalmente, originando produtos que se depositam na superfície da Terra. Se por um lado as reações de oxidação são benéficas para a limpeza do ar, por outro originam substâncias nocivas para humanos, animais e plantas.

Como não existe um motor com 100% de rendimento, a queima incompleta dos motores de combustão interna, além de outras fontes, como as indústrias e florestas, provocam o *smog* fotoquímico – neblina de tonalidade amarelo-amarronzada com a presença de pequenas gotas de água contendo produtos derivados de reações químicas que ocorrem entre os poluentes do ar.

Pode-se observar que em todos estes compostos existem ligações C-C e C-H. Como já discutido, estas ligações são fortes, ou seja, sua energia média de ligação é alta. Quando reagem com o oxigênio (O<sub>2</sub>) do ar, sob ignição, ocorre a oxidação dessas ligações, formando-se CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O, liberando grande quantidade de energia que por sua vez pode realizar trabalho. O movimento de um motor, o fornecimento de energia elétrica, o cozimento dos alimentos, entre outros, corresponde a essa transformação da energia química, aquela contida nas ligações destes compostos, em energia mecânica, elétrica, entre outras, ou seja, a realização de trabalho.

Para considerarmos os estado de oxidação do carbono, vamos utilizar uma aproximação que é bastante útil. Para tanto, é necessário relembrar o conceito de eletronegatividade, que mede a habilidade de um elemento em atrair ou manter o par de elétrons da ligação mais próximo de si. No momento, nos interessa os valores dos seguintes elementos: H=2,2; C=2,5; O=3,5 (mostrados na Tabela 3, p.134). Assim, quando o átomo de carbono estiver ligado a um elemento menos eletronegativo recebe o valor -1, se ligado a um elemento mais eletronegativo, recebe o valor +1 e se ligado a carbono, o valor é zero. Para substâncias contendo apenas um átomo de carbono como o metano, o metanol, o formaldeído, o ácido fórmico e o gás carbônico, teremos os seguintes valores:

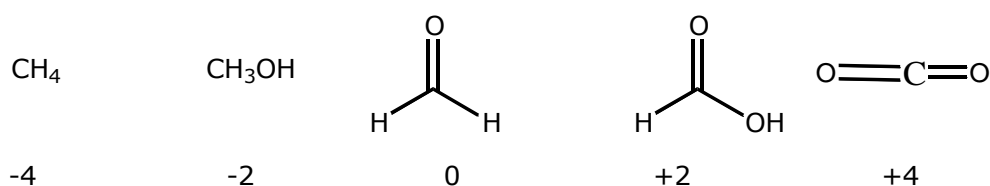
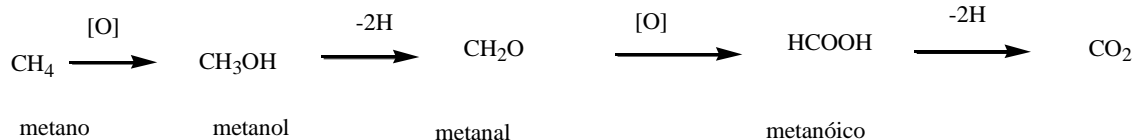


Figura 18

Lembrando que o estado reduzido é aquele mais rico em elétrons, é fácil compreender que o átomo de carbono no metano, dentre os exemplos acima, está na forma reduzida e que no CO<sub>2</sub> o carbono se encontra no seu estado de oxidação máxima, portanto não realiza mais trabalho. Note que quando ocorre a combustão dos compostos orgânicos, uma reação de oxidação-redução, na qual o carbono é oxidado e o O<sub>2</sub> é reduzido, um dos produtos é o CO<sub>2</sub>.

Assim a oxidação do metano a dióxido de carbono ocorre pela adição de oxigênio ou remoção de hidrogênio, como mostrado no esquema 4 abaixo.





Outro combustível de uso comum entre automóveis, caminhões, ônibus e algumas embarcações é o diesel de petróleo. Combustível mais utilizado no Brasil e que representa, em média, 55% do consumo total de combustível. A quantidade de enxofre no óleo diesel é maior do que na gasolina, por isso, na queima do diesel é liberada no ar uma quantidade muito maior de gases altamente poluentes, como o enxofre (SO<sub>2</sub>) e o sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S). Veja o ciclo biogênico do enxofre no Tópico IV.

Desenvolvido com tecnologias que visam diminuir a emissão de material particulado, o óleo diesel rodoviário metropolitano possui – desde maio de 2006 – um teor de enxofre de, no máximo, 0,05% (500 ppm) e o diesel *podium*, único diesel *premium* do mercado com melhor desempenho e com, no máximo, 200 ppm (partes por milhão) de enxofre.

O Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), do Ministério das Minas e Energia elevou a partir do dia 1º de Julho de 2008, o percentual de mistura obrigatória de biodiesel ao óleo diesel de 2% para 3% (três por cento) em todo o território nacional. Em termos ambientais, contribuirá para a redução das emissões veiculares, e em termos econômicos, incentivo a produção de matéria-prima oleaginosa e redução de importação de diesel de petróleo.

## 2. INDÚSTRIA PETROQUÍMICA

A indústria petroquímica, como parte do setor produtivo, é aquela que fornece insumo orgânico para os mais variados setores da indústria química, tais como para a produção de fertilizantes, plásticos, solventes, detergentes, entre outros.

Este ramo industrial é bastante complexo, exigindo constantes avanços tecnológicos, que resultam em processos mais econômicos e um constante aumento da diversidade de novos derivados, sendo, portanto, um ramo de atuação muito promissor para aqueles alunos que seguirem a carreira profissional de químico.

## 2.1 Breve Histórico

As atividades da indústria petroquímica tiveram início nos anos 1920, nos Estados Unidos, mas será a partir dos anos 1940- 1950, durante a II Grande Guerra, que seu desenvolvimento se consolidará, sobretudo pela necessidade de matéria prima para explosivos, como o tolueno, empregado na síntese do TNT – trinitrotolueno e a glicerina, empregada na forma de trinitroglicerina na produção de dinamite.

No Brasil, é também a partir da década de 1950 que as primeiras fábricas são instaladas no Estado de São Paulo, constituindo-se no Primeiro pólo Petroquímico do Brasil. Em 1953, com a criação da Petrobrás, teve início uma fase de grande crescimento do setor, e mais fábricas são construídas visando aproveitamento dos derivados do refino do petróleo. Este avanço levará a criação da Petroquisa – Petrobrás Química S. A., uma subsidiária da Petrobrás com o objetivo de integrar o setor público e o setor privado no planejamento e diversificação das atividades nessa atividade industrial.

Nos anos subseqüentes, mais dois pólos serão instalados: Pólo Petroquímico de Camaçari, em 1972, no Recôncavo Baiano e o Pólo Petroquímico do Sul, em Triunfo no Rio Grande do sul, que entra em funcionamento em 1982.

Na década de 1990, quando foi implementado pelo Governo Federal o Plano Nacional de Desestatização, a Petroquisa viu-se obrigada a transferir grande parte de suas participações societárias, deixando de definir as políticas estratégicas da indústria petroquímica brasileira.

A partir de 1994, com o início da estabilização da economia brasileira, novos empreendimentos começaram a ser desenvolvidos, com destaque para: a implantação do Pólo Petroquímico de Paulínia, o segundo pólo do Estado de São Paulo que utilizará matéria prima da REPLA – Refinaria de Paulínia e do Complexo Gás- Químico do Rio de Janeiro, que empregará o gás natural extraído da bacia de Campos, para a produção dos vários tipos de polietileno.

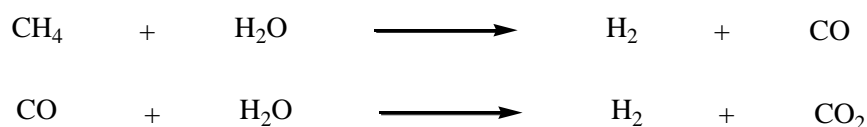
O petróleo e seus derivados ocupam uma posição de destaque na matriz energética brasileira, com aproximadamente 37% da produção de energia primária. Como já discutido anteriormente, o petróleo brasileiro é tipicamente um óleo pesado que, quando fracionado na refinaria, produz uma quantidade muito grande de nafta, gasolina, óleo combustível e, em

quantidade menor, o óleo diesel. Do processamento desse recurso natural podemos obter matérias-primas básicas para a indústria petroquímica.

Partindo geralmente da nafta' uma fração leve do petróleo que contem os cicloalcanos, substâncias parafínicas ramificadas e uma pequena quantidade de aromáticos leves, processos petroquímicos são capazes de quebrar, recombinar e transformar as moléculas originais dos hidrocarbonetos presentes no petróleo ou no gás. Essa transformação físico-química gera em grande escala uma diversidade de produtos, que irão constituir a quase totalidade de produtos industriais consumidos pela população.

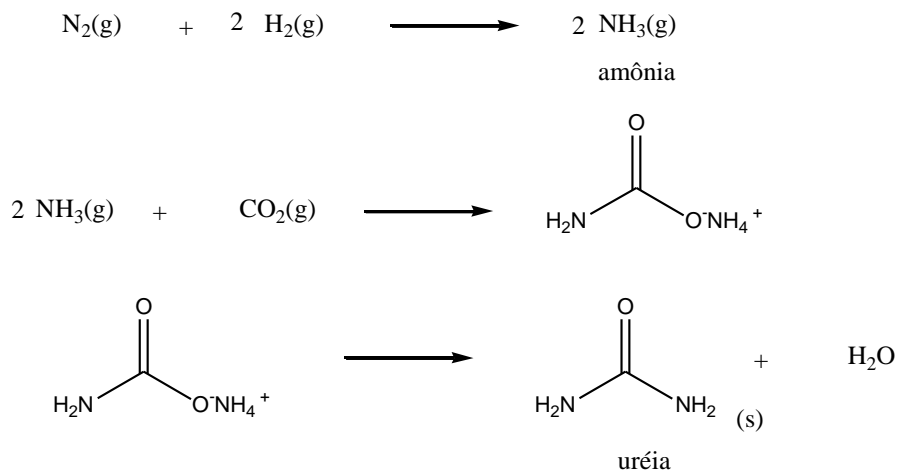
Um emprego bastante interessante da fração nafta é na produção do gás de síntese, que é uma mistura de  $H_2$  e  $CO$ , que ocorre na presença de catalisador e vapores. O gás de síntese também é uma rota importante a partir do gás natural, como mostrado no esquema 5. O monóxido de carbono produzido na primeira etapa, ao reagir com mais vapor d'água, é transformado em gás carbônico, que por sua vez será removido por processos de adsorção, produzindo o  $H_2$  em altíssimo grau de pureza.

**Produção de gás de síntese a partir do gás natural**



A grande produção de  $H_2$  encontra sua aplicação na própria indústria petroquímica, em etapas de purificação e o seu excedente é utilizado na produção de amônia que dará origem aos vários fertilizantes da Petrobrás. A preparação de amônia envolve a utilização do  $N_2$ , previamente separado do ar, na reação com  $H_2$ . Dentre as aplicações industriais da amônia está a síntese da uréia, como representado a seguir (esquema 6).

### Síntese da amônia e da uréia



### Sugestão para o professor

Consultar os ciclos biogeoquímicos no tópico V, o qual demonstra a fixação de nitrogênio provocado pela ação de bactérias. Para um maior aprofundamento, pode-se esquematizar todo o processo de obtenção e conversão da amônia em várias espécies químicas nitrogenadas de grande valor comercial.

Como mostrado na seção 1.4.1 (p.129), na discussão sobre destilação e craqueamento, ficou evidenciado que nessas reações ocorre produção em larga escala de alcenos, dentre outros produtos, e são estas substâncias insaturadas que alimentarão a indústria petroquímica.

A Indústria Petroquímica, por sua vez, é formada por unidades ou empresas, onde os produtos petroquímicos são classificados como: de primeira geração - olefinas (eteno, propeno e butadieno) e aromáticos (benzeno, tolueno e xilenos); segunda geração – produtos intermediários (acrilonitrila, estireno, cloreto de vinila) e resinas termoplásticas (polietilenos, polipropilenos, poliestireno e PVC, entre outras); terceira geração – são as empresas de transformação plástica, onde os produtos da segunda geração e intermediários são

transformados em materiais e artefatos utilizados por diversos segmentos, como o de embalagens, construção civil, elétrico, eletrônico, automotivo, tecelagens, entre outras.

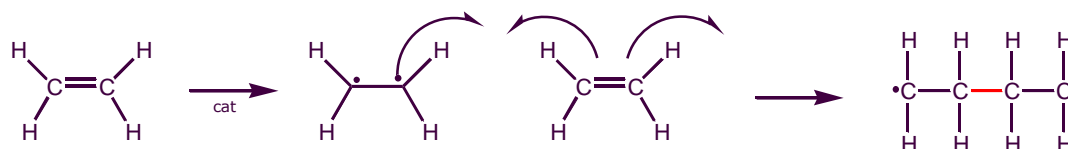
## 2.2 Resinas Termoplásticas

Plásticos são polímeros petroquímicos derivados de fonte não renovável (4% do petróleo é usado na produção de plásticos) que, embora sólidos á temperatura ambiente, não sofrem alterações na sua estrutura química durante o aquecimento e podem ser novamente fundidos após o resfriamento.

Até meados do século XX, os polímeros naturais, como a lã, a borracha, o couro e a celulose, entre outros, eram utilizados na fabricação de utensílios. A partir da II Guerra Mundial, os químicos começaram a desenvolver processos de polimerização por meio de reações químicas controladas.

A matéria prima dos polímeros sintéticos, em geral, é obtida a partir do craqueamento do petróleo (*cf.* Esquema 2, p. 126) e são constituídos de unidades menores chamadas monômeros, que são os alquenos. Os polímeros podem ser classificados como: polímeros de adição ou de condensação, segundo o tipo de reação da qual ele foi obtido.

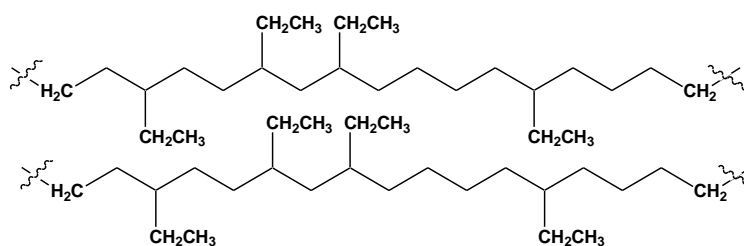
Um exemplo de polímero de adição é o polietileno, amplamente utilizado na confecção de filmes e embalagens. Neste caso, o monômero é o etileno (nome comum do eteno), que sob a influência de um catalisador, neste caso um iniciador radicalar, realiza reações de adição, como mostrado no esquema 7:



A dupla ligação presente no etileno é quebrada homoliticamente levando à formação de um radical livre, um intermediário reativo já que é instável, e ao se chocar com outra molécula de etileno dará origem a um novo radical livre formado por duas moléculas e assim por diante, até a formação do polímero desejado. O polietileno sintetizado sob tais condições

é classificado Polietileno de Baixa Densidade (PEBD), pois forma cadeias ramificadas como representado na figura 19, produzindo sólidos macios e flexíveis, sendo amplamente utilizado em filmes plásticos e na fabricação de sacos para armazenar alimentos.

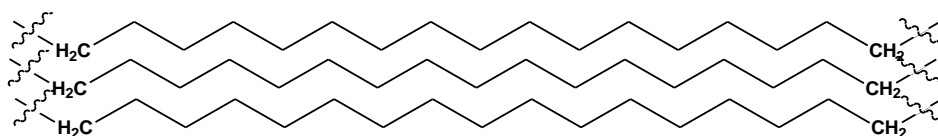
**Representação esquemática de duas cadeias de polietileno ramificado.**



**Figura 19**

O Polietileno de Alta Densidade (PEAD), assim classificado por apresentar uma maior rigidez conferida pelo fato das cadeias poliméricas serem lineares, o que aumenta o empacotamento e, portanto, uma maior densidade (Figura 20). O processo de síntese desse polietileno envolve um catalisador diferente daquele empregado na preparação do PEBD, ao invés de um iniciador radicalar empregam-se sais metálicos como, por exemplo,  $\text{AlCl}_3/\text{TiCl}_4$ , também conhecido como catalisador de Ziegler- Natta..

**Representação esquemática de duas cadeias de polietileno linear**



**Figura 20**

Analisando-se as estruturas dos dois polímeros à luz do conhecimento das forças intermoleculares, fica evidente porque aquele de cadeia ramificada será mais flexível e o polímero de cadeia linear, que permite uma interação mais efetiva entre as moléculas, será mais rígido.

Outro polímero de adição de ampla aplicação no nosso dia a dia é o PVC, sigla em inglês para o cloreto de polivinila. Este polímero é o único material plástico que não é preparado apenas com derivados de petróleo, já que o PVC possui mais da metade de seu peso em átomos de cloro, de origem marinha e o restante em etileno, este sim derivado do petróleo. O processo de fabricação pode ser visto por meio da figura 21.

#### Processo de Fabricação do PVC

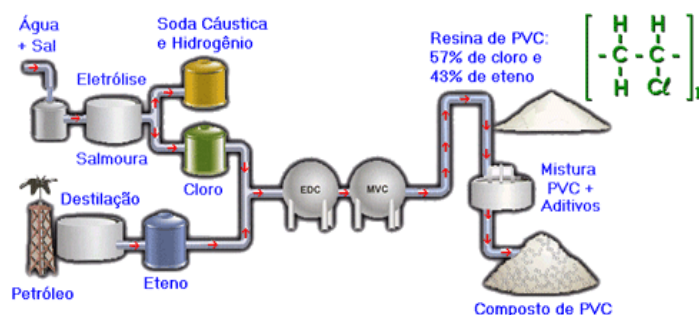
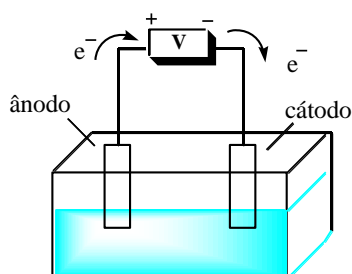


Figura 21 [http://www.institutodopvc.org/publico/?a=conteudo&canal\\_id=39&subcanal\\_id=40](http://www.institutodopvc.org/publico/?a=conteudo&canal_id=39&subcanal_id=40)

A preparação da resina de PVC a partir do sal marinho envolve inicialmente o processo de eletrólise do Cloreto de Sódio ( $\text{NaCl}$ ) que produz os gases  $\text{H}_2$  e  $\text{Cl}_2$ , além de  $\text{NaOH}$ , como esquematizado abaixo.

#### Esquema de uma Pilha Eletrolítica



#### Reações da Eletrólise

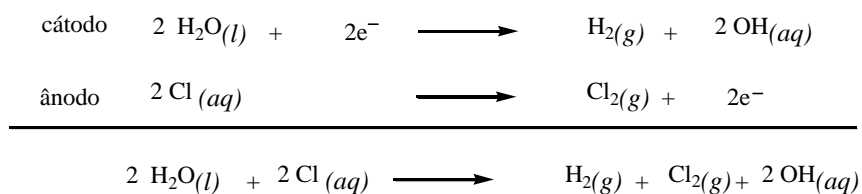
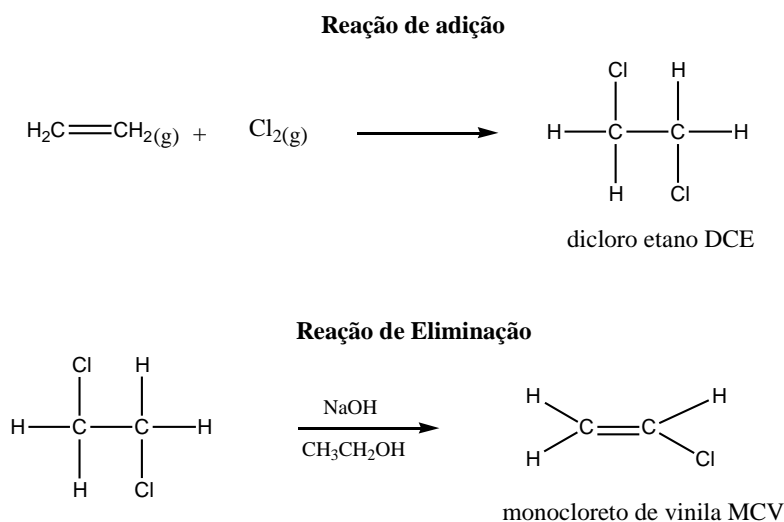
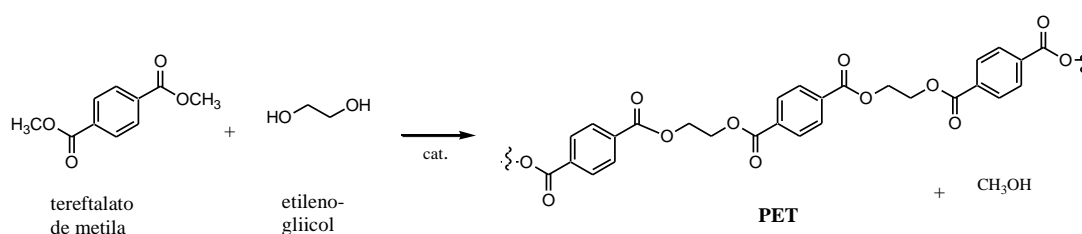


Figura 22

No primeiro reator mostrado na Figura 21, o gás cloro reagirá com o etileno gasoso (ou eteno) obtido do craqueamento de petróleo, formando o produto de adição dicloroetano (DCE) e, num segundo reator ocorrerá a eliminação de uma molécula de HCl formando então o monocloreto de vinila (MCV) que é o monômero que dará origem à resina de PVC (esquema 8).



Além dos polímeros de adição, até aqui discutidos, existem também os polímeros de condensação, que são formados a partir de duas substâncias diferentes, como é o caso do PET, sigla em inglês para o tereftalato de polietileno. A reação envolvida em sua síntese é a transesterificação do tereftalato de metila com o etileno glicol (figura 23).



Como a reação de transesterificação será discutida em detalhes no Tópico III, sobre o biodiesel, o professor poderá apresentar a preparação desse polímero mais tarde.



### 2.3 Importância da Reciclagem dos Plásticos

Dentre os resíduos<sup>5</sup> gerados diariamente pela sociedade, os materiais plásticos chamam a atenção por serem símbolo da sociedade de consumo descartável. O consumo per capita de resina termoplástica no Brasil – considerado um indicador de qualidade de vida – gira em torno de 27 Kg por habitante em 2008, nos Estados Unidos gira em torno de 100 Kg por habitante por ano.

Os plásticos são amplamente utilizados para embalar alimentos, bebidas e medicamentos. As embalagens plásticas protegem os alimentos, evitando a contaminação; são mais leves, proporcionando economia no transporte de mercadorias; e são 100% recicláveis, podendo ser também biodegradáveis.

A reciclagem é uma etapa importante no ciclo de vida das embalagens plásticas. Dentre as vantagens da reciclagem estão: a redução no uso de recursos naturais, pois o material poderá ser reciclado mais de uma vez, o que diminui as emissões e os consumos relativos aos processos de extração e beneficiamento do petróleo; a redução na quantidade de resíduo sólido urbano, o que reflete em menor massa/volume a ser depositado em aterros e lixões. As alternativas de recuperação de plásticos podem ser classificadas em quatro categorias:

- I. Reprocessamento dos plásticos: o material é lavado, fragmentado e triturado para dar origem a novos produtos
- II. Despolimerização até seus componentes monoméricos mediante processos químicos ou térmicos;
- III. Transformação em uma substância de baixa qualidade a partir da qual possam ser feitos outros materiais
- IV. Queima para obtenção de energia através da utilização de tecnologia limpa (que não cause danos ao meio ambiente).

---

<sup>5</sup> O termo resíduo engloba os diversos objetos utilizados pelo homem que tenham perdido sua utilidade para cumprir o fim a que foram destinados inicialmente (VOIGT, N. e outros). Os resíduos definidos como sólidos pela Norma Brasileira NBR 10.004 são aqueles: “(...) resíduos nos estados sólidos e semissólidos que resultam da atividade da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição”

## TEXTO II

### PAPEL DE PLÁSTICO RECICLADO

Um papel sintético fabricado com plástico descartado pós-consumo foi desenvolvido na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e testado em uma planta piloto da empresa Vitopel, fabricante de filmes flexíveis com fábrica em Votorantim, no interior paulista. Produzido em forma de filmes, o material produzido a partir de garrafas de água, potes de alimentos e embalagens de material de limpeza pode ser empregado em rótulos de garrafas, outdoors, tabuleiros de jogos, etiquetas, livros escolares e cédulas de dinheiro.

“Ele é indicado para aplicações que necessitam de propriedades como barreira à umidade e água, além de ser bastante resistente” diz a professora Sati Manrich, do Departamento de Engenharia de Materiais da universidade e coordenadora do projeto. O papel sintético

comercializado atualmente é produzido com derivados de petróleo.

Os testes na planta piloto, também chamada de escala semi-industrial, foram conduzidos por Lorenzo Giacomazzi, coordenador de tecnologia de processos da Vitopel, que tem a cotitularidade da patente. “O grande diferencial desse processo é fabricar um papel sintético com material totalmente reciclado”, diz Giacomazzi.

Foram usadas várias composições e misturas de plásticos da classe das poliolefinas. “O aspecto final é o mesmo do produto feito a partir da resina virgem, com a vantagem que se aproveita o material que iria para o aterro sanitário ou lixões”.

**Fonte: Revista FAPESP, Ed. 155, janeiro de 2009.**

#### Atividade de Pesquisa: Os três Rs

O descarte inadequado de um material causa danos ambientais e perda do valor energético agregado. A Redução de resíduos sólidos, sua Reutilização ou Reciclagem, são decisões que dependem de mudança nos hábitos de consumo de cada cidadão. Orientar os alunos para que desenvolvam um projeto de coleta seletiva, acoplado a tecnologia industrial de reprocessamento dos resíduos termoplásticos.

## TÓPICO II

### TEXTO III

#### PROCURA-SE UM AR MAIS LIMPO

Carro a álcool emite 92% menos poluentes do que os carros a gasolina

O álcool combustível é capaz de reduzir gases poluentes como os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), presentes em altas quantidades na atmosfera e que não são controlados de forma sistêmica nem abrangidos pela legislação ambiental. Os HPAs são compostos orgânicos que se caracterizam pela presença de dois ou mais anéis aromáticos na composição química das moléculas. Entre as dezenas de HPAs existentes, dezesseis são mais importantes por provocar danos à saúde, como o naftaleno, o fluoreno, o fenantreno e, o pior deles, o benzopireno, de maior toxicidade.

Além de serem emitidos por automóveis, os HPAs são liberados na incineração de lixo, na fumaça de cigarros e na queima de lenha e de carvão. Tóxicos e lipossolúveis, os HPAs se acumulam na gordura do corpo podendo causar câncer. Pesquisa realizada pelo

Departamento de Saúde Ambiental da FSP da Universidade de São Paulo (USP) procurou analisar a concentração de HPAs no ar de São Paulo e quantificar a liberação desses compostos por veículos movidos a gasolina e álcool e em seguida nos motores a diesel.

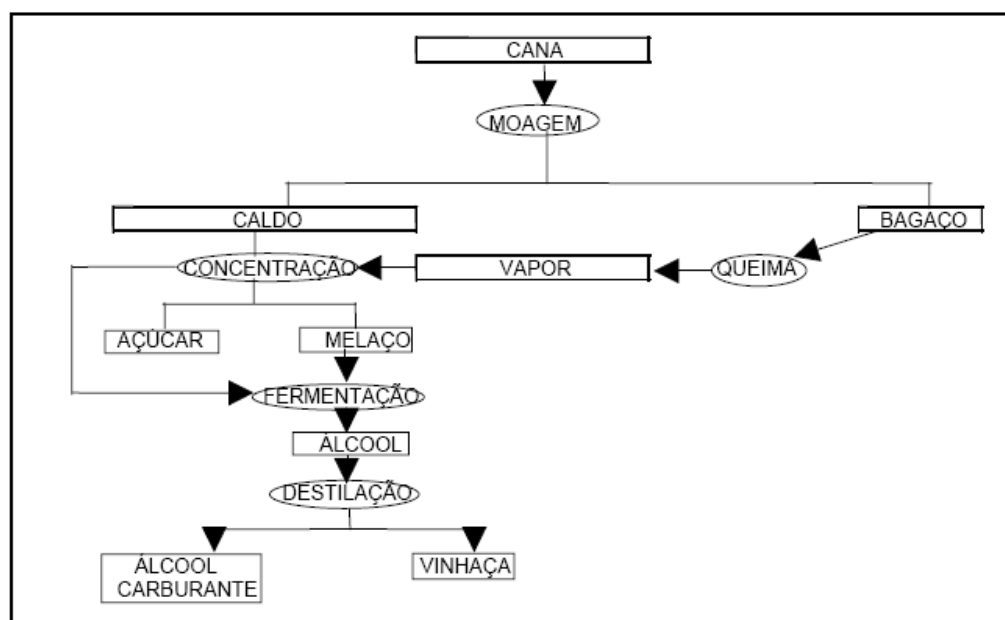
Foram realizados diferentes ensaios nos veículos a gasolina e com motor flex ou bicombustível (abastecido apenas com álcool). Alguns parâmetros, como: tipo de gasolina, de óleo para o motor, qualidade do álcool e presença ou não de aditivos detergentes foram considerados. As análises comprovaram que os veículos movidos a álcool emitem 92% menos HPAs do que os carros a gasolina e que o uso de óleo sintético no lugar do mineral nos veículos a gasolina, contribuiu para a redução de naftaleno e fluoreno.

Fonte: revista Pesquisa FAPESP, nº160, julho, 2009

## ÁLCOOL

### 2.1 Breve Histórico

A produção do álcool combustível automotivo no Brasil pode ser analisada, a partir de seu processo evolutivo no setor sucroalcooleiro. Vários programas foram lançados, sendo o mais importante deles, o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), entre os anos 1975 – 1979. O álcool é obtido nas usinas de açúcar, com destilarias anexas, como representado na figura 24, com o objetivo de reduzir as importações do petróleo e substituir parte da gasolina consumida no país. O processo fermentativo é uma das mais antigas reações químicas conhecidas pelo homem.



Fonte: Cecchi & Freitas (1998)

. Processo Produtivo nas Usinas de Açúcar com Destilarias Anexas.

**Figura 24**

Nos anos 1978 e 1979, o setor sucroalcooleiro exerceu pressão sobre o governo devido à safra recorde de cana-de-açúcar, o que provocou o aumento nas vendas de carros leves movidos a álcool.

No final da década de 1980, ocorreram mudanças na política e economia brasileira. O setor sucroalcooleiro voltou-se para a produção de açúcar, provocando uma forte queda na produção do álcool combustível. Nos anos 90, ocorreram mudanças institucionais e organizacionais, o que levou a busca por técnicas produtivas mais eficientes e de menor custo.

Dos anos 2002 até os dias atuais, as inovações tecnológicas ocorridas na indústria automobilística, como o lançamento dos carros *flex-fuel*, e a problemática das questões ambientais, levou o governo a buscar fontes renováveis de energia.

Atualmente, o recurso de maior potencial para geração de energia elétrica no País é o bagaço de cana de açúcar.

Diante da necessidade de um mundo sustentável, a procura por fontes de energia que substituam os derivados de petróleo é cada vez maior. A emissão de particulados provenientes de combustíveis fósseis não é o único fator responsável pelo incentivo ao uso da energia

renovável. A redução de custos, em relação ao petróleo, vantagens ambientais e geração de emprego e renda no setor rural – quando se faz uso da agroenergia – são questões relevantes na busca de inovação tecnológica para a produção de combustíveis.

O Governo Federal, através do documento de “Diretrizes de Política de Agroenergia” afirma que: “a agricultura é alternativa viável, do ponto de vista econômico, social e ambiental, para a geração de energia renovável, e que a produção de álcool a partir da cana de açúcar, é um exemplo mundial de sucesso, por substituir parte substancial de gasolina no transporte”

Dados do Ministério das Minas e Energia indicam que a demanda por energia no mundo aumentará 1,7% ao ano até 2030, quando alcançará 15,3 bilhões de toneladas equivalentes de petróleo (TEP) por ano.

Levando em conta que o petróleo é uma fonte não renovável de energia e que as reservas mundiais, segundo estatísticas publicadas em 2003 pela British Petroleum<sup>6</sup>, durariam 41 anos, as de gás natural 67 anos e as reservas brasileiras de petróleo, 18 anos, a produção brasileira de energia, através da biomassa, vem a ser a maior e a mais sustentável fonte de energia renovável.

Um comparativo entre as principais fontes de energia utilizadas como combustível, atualmente, demonstra a viabilidade das pesquisas em energias sustentáveis. O bioetanol brasileiro é obtido através da reação de fermentação e a matéria-prima, utilizada em escala industrial, é a cana-de-açúcar. “Com o álcool combustível e a co-geração de eletricidade a partir do bagaço, a cana-de-açúcar é, hoje, a maior fonte de energia renovável do Brasil”.<sup>7</sup>

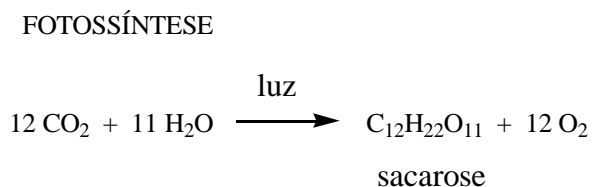
---

<sup>6</sup> Disponível em <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/07-Petroleo\(2\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/07-Petroleo(2).pdf)>. Acesso em 23-maio-2009

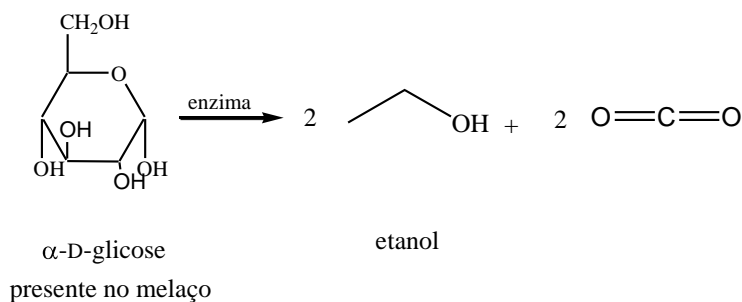
<sup>7</sup> Plano Nacional de agroenergia, 2006 – 2011 (Brasília – DF) 2005 – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento

## 2.2 Processos de Obtenção

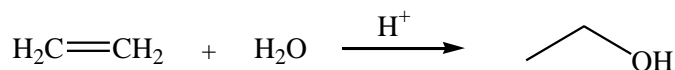
O álcool combustível é considerado energia renovável, pois é proveniente da cultura de biomassa, que se renova a cada safra agrícola pelo processo da fotossíntese. Tal processo envolve a transformação do gás dióxido de carbono, água e luz solar na estrutura vegetal da cana-de-açúcar, segundo o esquema 8.



No Brasil, a maior produção se dá a partir da fermentação do melaço da cana-de-açúcar (esquema 9); os Estados Unidos utilizam o milho como matéria prima para obtenção do etanol; já na Alemanha as fontes de carboidratos são o trigo e a beterraba, o que encarece significativamente a produção desse combustível.



Além da fermentação do amido, pode-se obter o etanol, em escala industrial, a partir da hidratação do etileno, ou eteno, obtido nas reações de craqueamento do petróleo, como visto anteriormente, sob catálise ácida, uma reação de adição.



O grupo funcional hidroxila (OH) é responsável pelas propriedades químicas e físicas dos alcoóis nos quais o átomo de oxigênio com hibridação  $sp^3$  e ângulos de ligação que apresentam uma geometria angular, próxima àquela de tetraedro (Figura 21). O comprimento da ligação O—H (0,096nm) é consideravelmente menor que a ligação C—H (0,110nm), em parte pela alta eletronegatividade do oxigênio, responsável pela distribuição assimétrica de

elétrons que resultam na formação de um dipolo. Deve-se lembrar que os pares de elétrons não-ligantes são aqueles que realizam a ligação de hidrogênio.

Comparação entre a estrutura da água e do etanol.

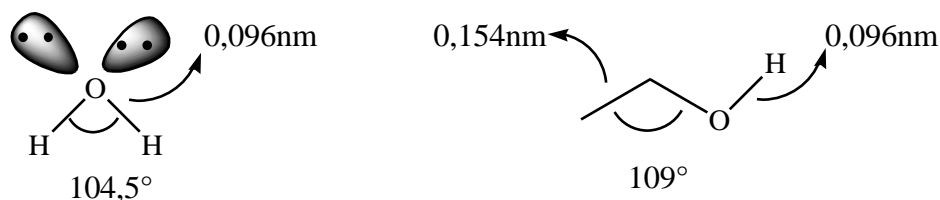


Figura 25

As moléculas de etanol se mantêm unidas por interações muito fortes conhecidas como ligações de hidrogênio, o que explica a grande solubilidade dos alcoóis na água e seus altos pontos de ebulição. As ligações de hidrogênio são formadas entre os átomos de oxigênio de uma molécula de álcool e os átomos de hidrogênio da hidroxila de outra molécula de álcool ou de água.

A solubilidade dos alcoóis na água deve-se às interações de hidrogênio e a presença do grupo OH, conhecido como grupo hidrofílico. Ao contrário dos alcoóis, os alcanos são insolúveis em meio aquoso (hidrofóbicos). Mas não se deve esquecer que o metanol e etanol também possuem um alto grau de solubilidade em solventes orgânicos apolares como a gasolina.

Compostos	Nom. IUPAC	Nom. comum	PF ( $^{\circ}$ C)	PE ( $^{\circ}$ C)	Solubilidade/H <sub>2</sub> O 25 $^{\circ}$ C
CH <sub>3</sub> OH	Metanol	Álcool metílico	- 97,8	65,0	infinita
CH <sub>4</sub>	Metano		- 182,5	- 161,7	3,5 mL(g)/100 mL
CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH	Etanol	Álcool etílico	- 114,7	78,5	infinita
CH <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	Etano		- 183,3	-88,6	4,7 mL (g)/100mL
CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	Propanol	Álcool propílico	- 126,5	97,4	infinita
CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	Propano		- 187,7	- 42,1	6,5mL (g)/100mL
CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub>   OH	Butan-1-ol	Álcool butílico	- 89,5	117,3	8,0 g/100 mL

Fonte: Vollhardt e Schore, Organic Chemistry, p. 286, 1998.

## Solubilidade de alguns alcoóis

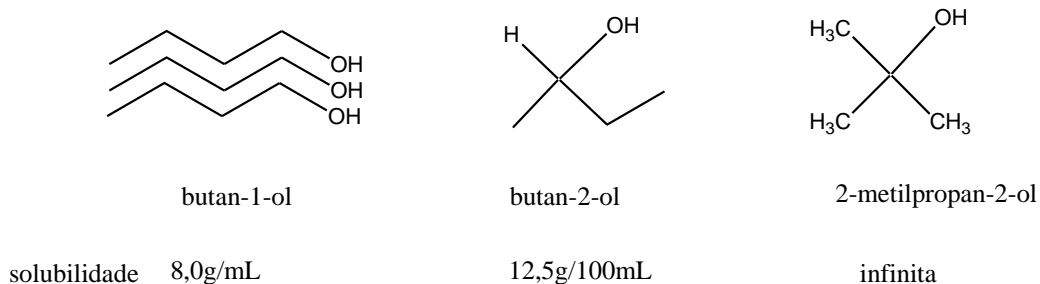


Figura 26

Pode-se observar que alcoóis com cadeias não ramificadas a partir de quatro carbonos possuem uma solubilidade baixa em água (8,0g/100mL para o butanol, Quadro 2) . Como explicar?

Relembrando as forças intermoleculares discutidas no Tópico I, item 1.4.4, sabe-se que entre todas as moléculas existem forças de atração denominadas forças de dispersão, sendo a única operante no caso dos alcanos que são moléculas apolares. No caso dos alcoóis, além dessas forças, existem as ligações de hidrogênio que estabilizam bastante o sistema. Quando a cadeia carbônica começa a aumentar as interações de dispersão, embora de baixíssima energia, tornam-se importantes em termos energéticos.

A comparação entre alcoóis com o mesmo número de carbonos (figura 22 acima) mostra que o 2-metilpropan-2-ol ou *terc*butanol possui solubilidade infinita em água visto que as interações de dispersão são menos favorecidas quando comparadas ao butan-1-ol, de cadeia linear.

## 2.2 Produção de Álcool por Via Enzimática

A Petrobrás, através do CENPES, em parceria com a Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UFRJ), tem desenvolvido pesquisas dirigidas à produção do bioetanol (etanol de lignocelulose), combustível produzido a partir de resíduos agroindustriais – bagaço



da cana-de-açúcar – utilizando tecnologia enzimática (quebra de moléculas sob ação de enzimas). Atualmente, são obtidos cerca de 220 litros de etanol por tonelada de cana-de-açúcar, sem competir com a produção agrícola voltada para alimentos.

As etapas do processo de fabricação começam com um pré-tratamento do bagaço de cana através da hidrólise ácida branda, que consiste na quebra da estrutura cristalina da fibra do bagaço de cana dentro de um reator, seguida da retirada de lignina – complexo que dá resistência à fibra, protegendo a celulose da ação de microorganismos. Em seguida, inicia-se o processo de fermentação pela levedura *Pichia stipitis* e a transformação da celulose, proveniente da etapa de deslignificação em açúcares (sacarificação enzimática), sendo então fermentado pela levedura *Sacharomyces cerevisiae*.

A *Sacharomyces cerevisiae* é uma espécie de levedura largamente utilizada na indústria produtora de fermentados e que tem, como produto final, o álcool carburante. Seu uso se deve à capacidade de transformar, rapidamente, açúcares em etanol; tolerância a grandes variações de temperatura e ao produto formado; osmotolerância e garantia de atividade celular em ambiente ácido.

Após a destilação dos líquidos provenientes das diferentes fermentações, o produto obtido é o etanol, que possui as mesmas características e qualidade daquele produzido em escala industrial, a partir da cana-de-açúcar.

### **Pesquisa Acadêmica – Etanol de Ligninocelulose**

Produção de bioetanol (etanol de lignocelulose) utilizando tecnologia enzimática.

Projeto desenvolvido pela Petrobrás em parceria com a UFRJ e outras universidades brasileiras. O objetivo é integrar a experiência acadêmica à capacidade tecnológica do CENPES nesta área.

A matéria-prima utilizada para a produção do combustível é proveniente de resíduos industriais como o bagaço de cana-de-açúcar.

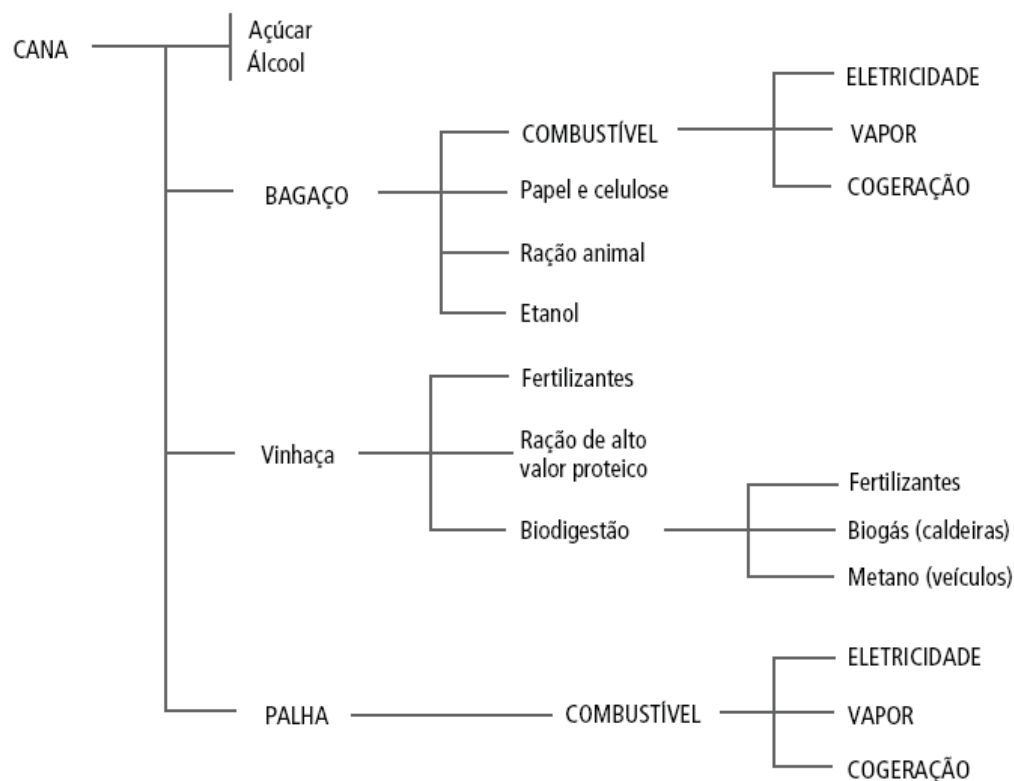
O processo de fabricação de etanol é dividido em quatro etapas:

- ✚ Hidrólise ácida branda do bagaço de cana em um reator, no qual ocorre a quebra da estrutura cristalina da fibra e recuperação de açúcares mais fáceis de hidrolisar.
- ✚ Deslignificação
- ✚ Fermentação de açúcares
- ✚ Destilação

O produto da destilação é o etanol, que apresenta as mesmas características e propriedades do produzido a partir da cana em processo industrial. O objetivo é alcançar a marca de 280 L por tonelada de bagaço (CENPES, 2009).<sup>8</sup>

### Sugestão de Atividades

O fluxograma 2 a seguir contém informações a respeito da obtenção de várias substâncias geradas durante o processamento da cana-de-açúcar. Com o auxílio do fluxograma e tendo como apoio o texto IV, o professor poderá sugerir que os alunos apresentem – em grupos – um seminário, abordando conceitos de Química, Física e Biologia, relacionados ao uso dos produtos e resíduos gerados por meio do bagaço, da cana-de-açúcar.



Fonte: Dedini apud Silvestrin in [www.mme.gov.br/site/menu/selectmainenuitem.do?channelId=8213](http://www.mme.gov.br/site/menu/selectmainenuitem.do?channelId=8213), acesso em 18.10.06

**Fluxograma 2 – Produtos e resíduos gerados no processamento da cana de açúcar**

<sup>8</sup> Disponível em <http://www2.petrobras.com.br/tecnologia.htm>. Acesso 26 mai/2009.

## TEXTO IV

**Transformação da Palha da Cana em Bioóleo, Carvão Siderúrgico, Carbetto de Silício e, Etanol**

A fuligem que sobe ao céu durante a queima da palha da cana-de-açúcar no campo durante a colheita e pousano chão em forma de finos flocos escuros carrega em sua composição cerca de 70 produtos químicos, prejudiciais ao ambiente para a liberação de gases que contribuem para o efeito estufa e causam sérios problemas respiratórios para a população exposta. Enquanto essa prática não é definitivamente banida da cultura canavieira, vários grupos de pesquisa dedicam-se a estudar fins mais nobres para esse material que tem grande potencial para geração de energia elétrica, produção de biocombustível e fabricação de produtos como bioplásticos, carvão para siderúrgicas e até cimento. As possibilidades de aproveitamento do palhicho de cana, material que fica no campo após a colheita composto por folhas verdes, pontas do vegetal, palha e restos do caule, apontam para várias aplicações no setor produtivo. Uma das linhas de pesquisa, conduzida no Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), resultou na obtenção do carbetto de silício, um versátil material sintético, a partir da sílica da palha da cana.

Propriedades como excelente resistência ao desgaste, ao choque térmico e ao ataque de ácidos permitem o emprego desse material, que também é semicondutor, em abrasivos, na indústria de refratários, blindagem de aeronaves, microeletrônica e outras aplicações. A descoberta surgiu como desdobramento do projeto para fabricação do carbetto de silício da palha de arroz, desenvolvido anteriormente pelo mesmo grupo de pesquisa.

O método usado atualmente em escala industrial emprega uma mistura da sílica com carbono. O composto, após ser colocado em um

forno elétrico com temperatura superior a 2.400°C durante 32 a 40 horas, resulta em blocos de silício.

Em outra pesquisa, a palha de cana picada, colocada em um circuito fechado movido a alta temperatura, resulta no final do processo em três produtos com aplicações em áreas distintas – um bioóleo com potencial de utilização na indústria química, um fino pó de carvão vegetal que pode ser empregado na produção siderúrgica e um gás com alto poder calorífico, composto de monóxido de carbono, metano e hidrogênio, indicado tanto para alimentar o próprio reator como para geração de energia elétrica. O processo de termoconversão utilizado é chamado de pirólise rápida. “É uma quebra molecular feita com alta temperatura em poucos segundos”, explica o professor Luís Augusto Barbosa Cortez, da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), coordenador do projeto.

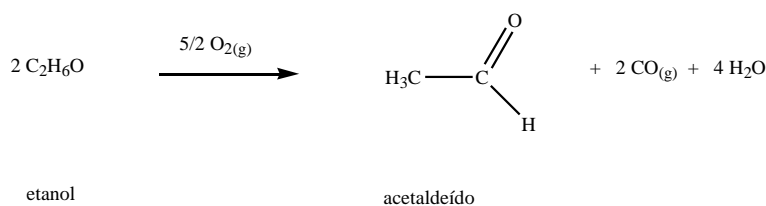
Devido ao seu alto poder calorífico, o palhicho, que atualmente é um problema ambiental por causa da queima no campo, tem excelente potencial de energia elétrica. A proposta é retirar cerca de 50% desse material para fins energéticos e deixar os outros 50% no campo para melhorar as propriedades físico-químicas do solo.

Outra perspectiva futura para o uso da palha é a produção de etanol, utilizando fungos que degradam a palha e o bagaço para produzir açúcares fermentáveis a partir da parede celular. O mecanismo envolve o conhecimento do genoma da cana para entender como se dará essa degradação celular.

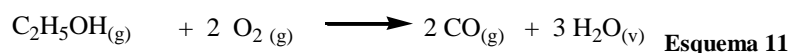
### 2.3 Vantagens e Desvantagens do uso do Etanol

As vantagens para adoção do etanol como combustível são: a redução da dependência de petróleo (uma tonelada de cana contém energia equivalente a 1,2 barril de petróleo); a diversificação energética – biocombustíveis como o álcool e o biodiesel; e outras fontes renováveis de energia, como a solar e eólica, também estão presentes na matriz energética mundial; o desenvolvimento agrícola – sistemas agroindustriais com capacidade de prover energia de forma sustentável; o Protocolo de Kyoto – acordos e discussões internacionais que visam reduzir a emissão de gases de efeito estufa; as oportunidades de créditos de carbono – países que assinaram o protocolo podem comprar e vender créditos de carbono.

As desvantagens estão relacionadas aos fatores ambientais, pois o álcool combustível, embora seja considerado um combustível limpo em comparação com o petróleo, também é responsável pela emissão de alguns particulados que interferem no ciclo biogeoquímico<sup>9</sup>. Durante a queima incompleta do álcool nos motores de veículos, são produzidos vapores tóxicos de formaldeído e acetaldeído, além de gases nitrogenados NO<sub>x</sub> (NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e NO<sub>3</sub><sup>-</sup>).



A combustão que ocorre na presença do ar atmosférico, quando o etanol é o combustível usado em motores à combustão interna com ignição por compressão, também produz outro poluente, o monóxido de carbono (CO), gás muito tóxico que, em concentração elevada no meio ambiente, causa danos a saúde das pessoas e gera produtos ao reagir com o oxigênio molecular. Na oxidação parcial ou incompleta do combustível, o consumo de oxigênio é menor gerando gases poluentes, conforme representado no esquema 11.

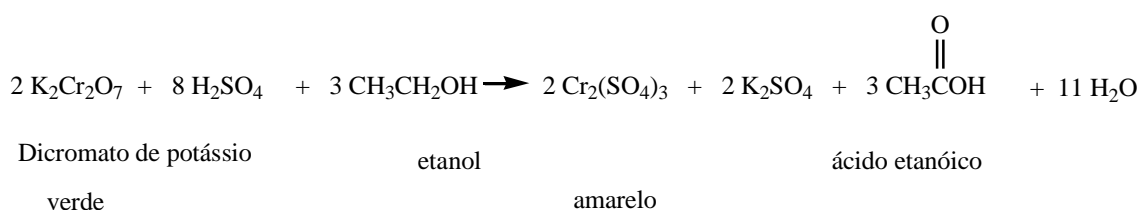


**Esquema 11**

<sup>9</sup> Os ciclos biogeoquímicos estão contextualizados no tópico IV e poderão ser consultados pelo professor sempre que houver referência a natureza e obtenção dos elementos carbono, enxofre e nitrogênio.

A oxidação de álcool primário, como o etanol, na presença de agentes oxidantes como o dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ) ou permanganato de potássio ( $KMnO_4$ ) origina aldeídos, caso a oxidação seja parcial e ácidos carboxílicos, quando a oxidação é total. Esta reação representada por meio do esquema 12 se processa em laboratório para obtenção de ácido carboxílico a partir de álcool primário, e obtenção de cetona, caso o álcool seja secundário. Atualmente, é muito empregada nos testes do bafômetro para detectar a presença do álcool etílico das bebidas alcoólicas, no hálito de condutores de veículos.

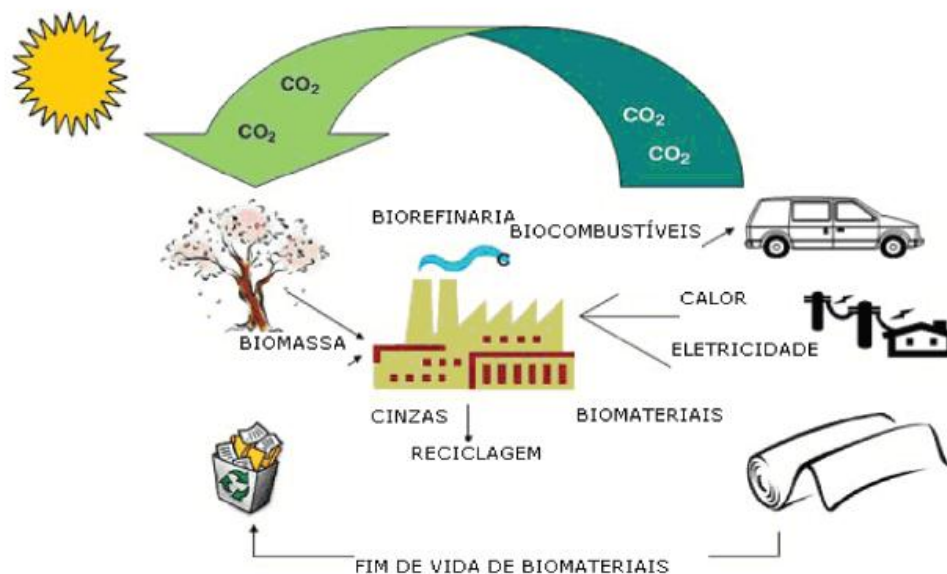
#### TESTE DO BAFÔMETRO



Outras desvantagens são os fertilizantes adicionados ao solo para a cultura da cana-de-açúcar que precisam ser importados, pois a produção no Brasil é pequena em relação à demanda, acarretando altos custos e a queima da palha de cana que emite toneladas de dióxido de carbono e nitrogênio ativo para a atmosfera<sup>10</sup>.

<sup>10</sup> Consultar o ciclo do nitrogênio, no tópico IV

## Ciclo de Rota Sustentável para a Produção de Combustíveis



Fonte: REGAUSKAS et al, 2006.

Figura 27

A figura 27 representa alternativas ao uso de fontes de energia que têm contribuído para o aumento de resíduos e emissão de particulados. Pesquisas recentes têm demonstrado a viabilidade do uso do etanol combustível com vistas à sustentabilidade, embora, nem toda a produção de etanol no Brasil possa ser vista ainda, como sustentável.

### SUGESTÃO PARA O PROFESSOR

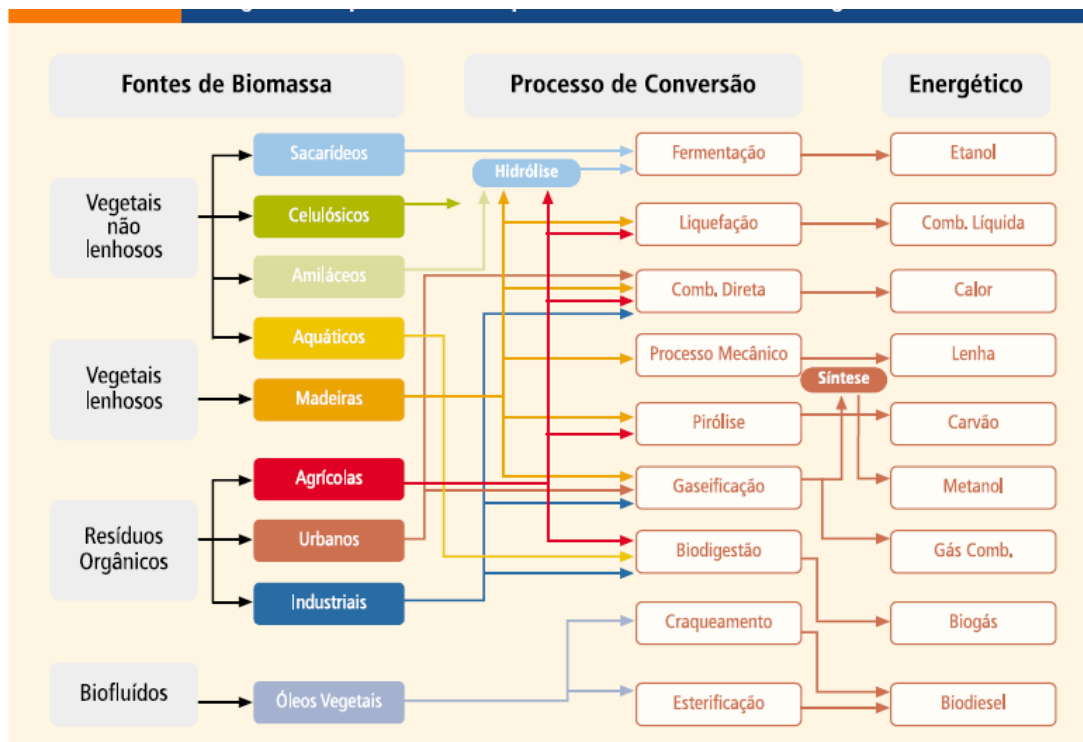
Os conceitos e reações de oxidação-redução poderão ser abordados em atividades experimentais. O uso de equipamentos alternativos em substituição aos originais do laboratório, bem como orientações quanto a toxicidade e periculosidade dos materiais manipulados durante as aulas servirão para o debate de questões sobre sustentabilidade

### Sugestão de Atividade:

Recurso renovável oriundo de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal), a biomassa apresenta grande potencial no setor de geração de energia elétrica. Tecnologias de aproveitamento da biomassa estão representadas no diagrama da figura X a seguir. Os processos são: combustão direta; processos termoquímicos e processos biológicos.

A digestão anaeróbia é um processo biológico que consiste na decomposição do material pela ação de bactérias (microorganismos acidogênicos e metanogênicos), na ausência de ar, em biodigestores, onde o processo é favorecido pela umidade e aquecimento. Em termos energéticos, o produto final é o biogás, composto essencialmente por metano (50% a 75%) e dióxido de carbono. Seu poder calorífico gira em torno de 5.500 kcal/m<sup>3</sup>. O professor poderá pedir que os alunos investiguem a cerca do uso do biogás como fertilizante e como combustível em motores de combustão interna, levando em consideração os aspectos socioambientais.

Diagrama Esquemático dos Processos de Conversão Energética da Biomassa



Fonte: BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL - BEN. Brasília: MME, 1982. (adaptado)

## TÓPICO III

### 3. BIODIESEL

O biodiesel, uma mistura de ésteres de ácidos graxos, é um dos combustíveis renováveis que, desde a década de 1990, vem ganhando importância no cenário nacional e internacional como uma alternativa aos combustíveis fósseis. Pode ser obtido, em geral, a partir de óleos vegetais, da gordura animal e pela reutilização do óleo de fritura pela reação de transesterificação, que utiliza etanol e metanol sob catálise (Figura 24).

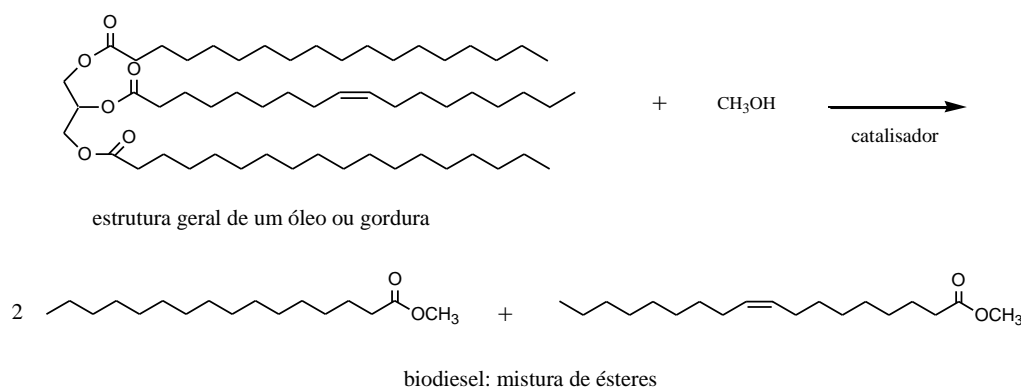


Figura 24- Reação Geral Para Obtenção de Biodiesel

O interesse nesse biocombustível como um substituto ao diesel de petróleo se deve, além de suas propriedades físico-químicas, ao fato de ser uma fonte renovável de energia, biodegradável, não tóxico e livre de compostos sulfurados e aromáticos, como o diesel de petróleo.

Do ponto de vista econômico e agroindustrial, o processo de produção do biodiesel é importante, pois fomenta a realização de programas de pesquisa científica e a inovação tecnológica, além do impacto positivo no setor rural.

O Governo Federal tem investido em programas de incentivo ao uso do biodiesel, visando à utilização de matérias-primas que beneficiem produtores rurais, bem como o



comércio de créditos de carbono<sup>11</sup>. A EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) realiza pesquisas que demonstram aptidões de determinadas regiões na cultura de algumas oleaginosas, como a soja nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, a mamona no Nordeste e o dendê na região Amazônica.

A produção de biodiesel, em escala industrial, pode representar a redução de custos com a importação do diesel de petróleo, além de contribuir para a diminuição de particulados provenientes da queima deste combustível não renovável e o aumento do nível de contratação de mão de obra.

### 3.1 Breve Histórico

No ano de 1895, o pesquisador alemão Rudolf Diesel, inventor do motor à combustão interna, e Henry Ford, fundador da *Ford Company*, pesquisaram vários combustíveis para uso em motores, e encontraram nos óleos vegetais, em particular no óleo de amendoim, um caminho para o desenvolvimento industrial.

Com o rápido crescimento da indústria do petróleo somado ao baixo custo e disponibilidade na época, o petróleo cru passou a ser o combustível mais usado. Porém, com o passar do tempo, novos fatores influenciaram a escolha. A procura por combustíveis mais eficientes, tanto em relação ao desempenho do motor quanto em termos econômicos e ambientais, impulsionaram as pesquisas tecnológicas para o desenvolvimento dos combustíveis de biomassa.

O desabastecimento de petróleo durante a Segunda Guerra Mundial fez surgir na Bélgica a ideia de transesterificar óleos vegetais para produzir um biocombustível com propriedades físico-químicas semelhantes ao diesel de base fóssil.

O bio-óleo, obtido pelo processo de craqueamento térmico e/ou catalítico de óleo vegetal ou gordura animal obtido por processos térmicos, foi usado durante a Segunda Guerra Mundial pela China quando o óleo de tungue foi usado em maquinaria.

---

<sup>11</sup> Programa criado por meio do Protocolo de Kyoto para que grandes emissores de carbono para a atmosfera financiem países com programas de conservação de carbono, preservando-o, por exemplo, na forma de florestas.

Após as crises internacionais do petróleo na década de 1970, vários países buscaram novas alternativas energéticas, como a Áustria, França e Alemanha (atualmente o maior produtor mundial desse combustível).

A indústria automobilística, na década de 1980, realizou diversos testes com o propósito de avaliar o uso de óleos vegetais *in natura* e de biodiesel (entre eles, o éster etílico de soja puro e a mistura de 30% de éster etílico de soja e 70% de óleo diesel). Embora os resultados tenham sido promissores, o alto custo de produção à época tornou inviável o processo. Ainda na década de 80, o Brasil lançou o Proálcool (para abastecer com o etanol, de forma extensiva, veículos movidos à gasolina) e o Pro-óleo (Plano de Produção de Óleos Vegetais para fins Carburantes). Os programas foram elaborados pela Comissão Nacional de Energia do Ministério da Indústria e Comércio (BRASIL, MIC, 1983) em parceria com universidades (Suarez, 2007). A tecnologia do Pro-óleo foi desenvolvida a partir de reações de transesterificação de óleos ou gorduras provenientes da atividade agrícola. Realizada pelas equipes dos professores Expedito Parente (da Universidade Federal do Ceará – UFC) e Ulf Schuchard (da Universidade de Campinas – UNICAMP) as pesquisas feitas com esse combustível resultaram nas primeiras patentes brasileiras.

Em 1986, o programa foi abandonado devido à queda dos preços do petróleo e a oferta do combustível fóssil pelos países do Oriente Médio, desestimulando a utilização de combustíveis alternativos.

Na década de 1990, foram criadas as primeiras agências reguladoras de combustíveis. Na mesma época, foi reestruturada a matriz energética brasileira. A ANP autorizou a realização de testes e comercialização de combustíveis, tendo a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), através do COPPE, permissão para testar biodiesel em motores de combustão.<sup>12</sup>

A partir de 1º de julho de 2008, de acordo com a Resolução nº 2 do Conselho Nacional do Petróleo (CNPE), ficou estabelecida a adição obrigatória de 3% de biodiesel ao diesel de petróleo (B3).

---

<sup>12</sup> Nos primeiros testes foi utilizado óleo vegetal residual proveniente de frituras como matéria-prima para a produção de biodiesel, sendo então adicionado na proporção de 5% ao diesel. Para maiores detalhes ver: [http://www.ivig.coppe.ufrj.br/pbr/linha\\_pesq.html](http://www.ivig.coppe.ufrj.br/pbr/linha_pesq.html).

### 3.2 Situação Atual

O lançamento do Programa Nacional de Produção e uso do Biodiesel (PNPB) em 2004, pelo Governo Federal, foi o marco para a introdução do biodiesel na Matriz Energética Brasileira de combustíveis líquidos.

O Programa coordenado pelo MCT em parceria com institutos de pesquisa e universidades constituiu a Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel (BRASIL, MCT, 2006), onde estão incluídas áreas como: agricultura (através da EMBRAPA), processos produtivos (desenvolvimento de tecnologias), co-produtos (destino e uso da glicerina, torta, farelo etc.) e bens de capital.

O PNPB, órgão responsável pela introdução de biocombustíveis derivados de óleos e gorduras na matriz energética brasileira, define – pela Lei nº 11.097, artigo 4º – o Biodiesel como: “Biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores à combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil”.

A Agência Nacional de Petróleo regulamentou – através da Resolução nº25, de 02 de setembro de 2008 – que, para funcionar em nível comercial, as indústrias de biodiesel precisam de autorização da ANP (que passou a denominar-se Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) para produzir biodiesel. O regulamento determinou também que fosse usado apenas o biodiesel derivado de ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos.

### 3.3 Biomassa

A biomassa é a matéria vegetal gerada pela fotossíntese e, como recurso energético, ela pode ser encontrada na forma de: biomassa energética florestal (biocombustíveis provenientes dos recursos florestais), biomassa energética agrícola (biocombustíveis provenientes das plantações não florestais) e rejeitos urbanos (biomassa encontrada no lixo e no esgoto).<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup> Como descrito no Plano Nacional de Energia 2030, Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético, MME, 2006-2007. Disponível em:

O Brasil tem na biomassa uma das principais fontes de energia alternativas ao combustível fóssil. Isso se deve às condições climáticas favoráveis, à disponibilidade de terras e à experiência acumulada ao longo do tempo, já que o país foi pioneiro no ressurgimento de sistemas de energia a partir dessa fonte, como atesta o quadro da matriz energética brasileira com 31% da oferta de energia a partir da biomassa.

A substituição de combustíveis fósseis por combustíveis oriundos desse recurso, por meio de tecnologias de conversão de energia eficientes e aceitáveis do ponto de vista ambiental, é uma alternativa importante, pois além de reduzir a poluição da atmosfera, incluindo a diminuição dos impactos gerados pelas emissões de gases de efeito estufa, diminui a pressão sobre os recursos não renováveis do país.

### 3.4 Biodiesel - Ésteres de Ácidos Graxos

Como mostrado na Tabela 2 (p.122), a fração de petróleo que possui uma mistura de alcanos de cadeia  $C_{15}$ - $C_{18}$  é classificada como óleo diesel. Assim, os ésteres de cadeia longa, como aqueles derivados dos ácidos graxos naturais podem ser substitutos apropriados a este combustível fóssil.

Para se compreender o porquê de óleos vegetais e gorduras poderem ser utilizados como matéria-prima para a produção de biodiesel é necessário conhecer sua estrutura química com mais detalhes. Também chamados de triacilgliceróis, já que são formados a partir do glicerol e três grupos acila como representado na figura 25, os óleos e as gorduras possuem estruturas semelhantes, variando-se apenas os resíduos de ácido graxo que formam o triéster.

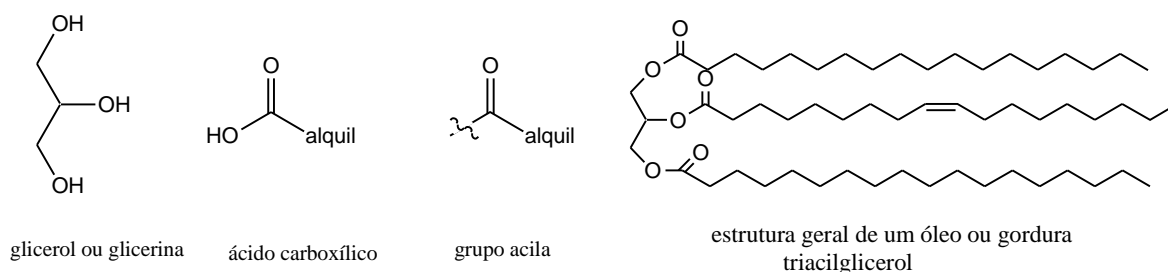
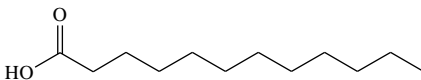
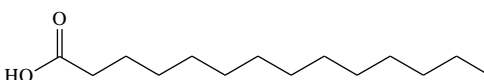
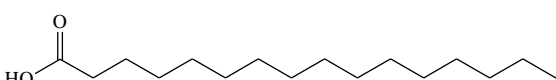
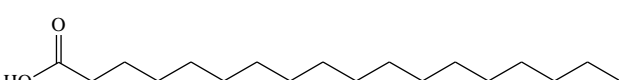
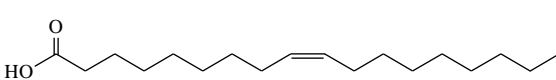
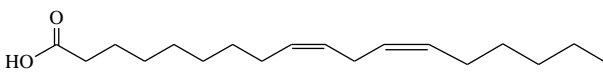
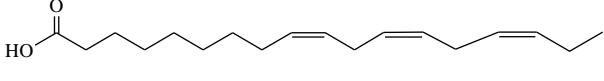


Figura 29 Triacilglicerol

Os ácidos graxos são ácidos carboxílicos que contêm de 4 a 24 átomos de carbono, podendo ter cadeias curtas (4 a 6 átomos), tais como aqueles presentes na manteiga e na gordura de coco; cadeias médias (8 a 12 átomos), presentes no leite de cabra e cadeias longas, com 12 ou mais átomos de carbono, majoritários nos óleos vegetais e na gordura animal, mostrados na Tabela 5.

Ácido Graxo	Nome	Fórmula Molecular	Ponto de Fusão
	Ácido láurico	$C_{12}H_{24}O_2$	44°C
	Ácido mirístico	$C_{14}H_{28}O_2$	54°C
	Ácido palmítico	$C_{16}H_{32}O_2$	63°C
	Ácido esteárico	$C_{18}H_{36}O_2$	70°C
	Ácido oléico	$C_{18}H_{34}O_2$	13°C
	Ácido linoléico	$C_{18}H_{32}O_2$	-5°C
	Ácido linolênico	$C_{18}H_{30}O_2$	-11°C

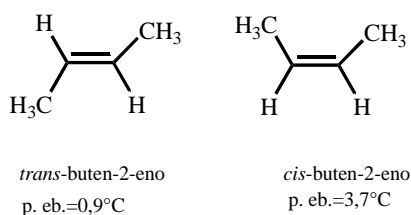
**Tabela 5 Alguns Ácidos Graxos Naturais**

Os ácidos graxos podem ser saturados, isto é, possuem apenas ligações simples entre carbonos, ou insaturados, com uma ou mais duplas ligações. Estas duplas ligações podem gerar isômeros *cis* ou *trans*. Na maioria dos ácidos graxos naturais insaturados, a configuração das duplas ligações é *cis*, e nos ácidos graxos poli-insaturados, como no caso dos ácidos linoléico e linolênico, as duplas ligações são separadas por, pelo menos, um grupamento metileno, ou seja, não são duplas ligações conjugadas.

As ligações duplas, diferente das ligações simples, não possuem livre rotação. Assim, quando os dois átomos de carbono da dupla ligação possuem ligantes diferentes, existem isômeros geométricos destas moléculas. Veja o exemplo dos dois isômeros do but-2-eno, que

possuem propriedades físicas diferentes. Esta diferença é que garante a existência de duas substâncias. A regra de nomenclatura para a isomeria geométrica é a seguinte:

1. Analise cada carbono da dupla ligação separadamente, estabelecendo a ordem de prioridade de cada um dos átomos diretamente ligado a este carbono;
2. Recebe maior prioridade o elemento de maior número atômico;
3. Se os dois substituintes estiverem do mesmo lado, adiciona-se o prefixo *cis* ou *Z* (sempre em itálico ou sublinhado), se os substituintes estiverem de lados opostos, o prefixo usado é *trans* ou *E*.



Parte dos ácidos graxos naturais possui sua cauda apolar totalmente saturada, como por exemplo, o ácido esteárico (18 carbonos, ponto de fusão=70°C) e outros apresentam insaturações, mas sempre com as duplas ligações com geometria *cis* (ácido oléico, 18 carbonos, ponto de fusão=13°C). Como explicar uma diferença tão grande de comportamento em moléculas tão semelhantes?

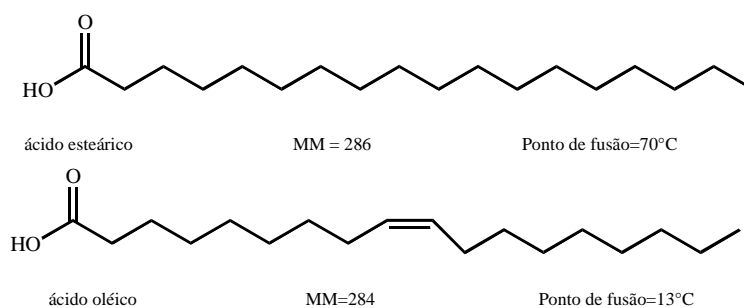


Figura 30

Essa diferença pode ser explicada em termos de forças intermoleculares, discutida no Tópico I (p.116). A partir do ponto de fusão do ácido esteárico, sabe-se que é um sólido a temperatura ambiente. Isto significa que suas moléculas se encontram arranjadas de forma bem ordenada, o que se

deve às forças de dispersão. Já o fato do ácido oléico ser líquido a temperatura ambiente, indica uma menor interação entre suas moléculas, um arranjo mais desordenado, que pode ser explicado pela geometria da dupla ligação que impede uma aproximação maior entre as cadeias. Abaixo uma representação pictórica das caudas apolares, como mostrado abaixo (figura 31):

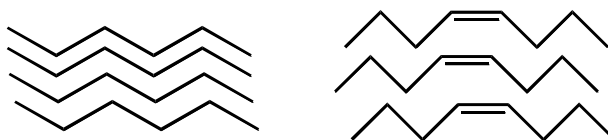


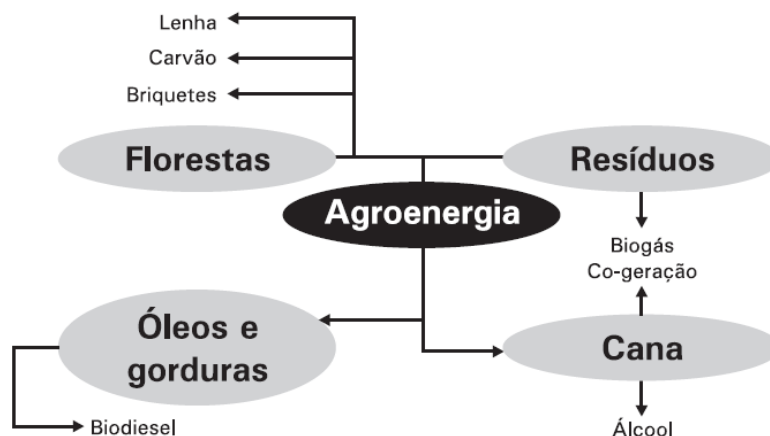
Figura 31

Depois que se compreende o efeito de uma dupla ligação com geometria *cis* na variação do ponto de fusão, pode-se avaliar porque os óleos vegetais são líquidos e a gordura animal é sólida, apesar da semelhança estrutural. A Tabela 6 mostra a porcentagem de resíduos de ácido graxo em algumas dessas substâncias:

Porcentagem Média de ácidos graxos de gorduras e óleos comuns							
	Láurico	Mirístico	Palmítico	Estearico	Oléico	Linoléico	Linoléico
<b>Gordura animal</b>							
Manteiga	2,5	11,1	29,0	9,2	26,7	3,6	
Humana	—	2,7	24,0	8,4	46,9	10,2	
Bacon	—	1,3	28,3	11,9	47,5	6,0	
<b>Óleo vegetal</b>							
Côco	45,4	18,0	10,5	2,3	7,5	—	—
Milho	—	1,4	10,2	3,0	49,6	34,3	—
Algodão	—	1,4	23,4	1,1	22,9	47,8	—
Linhaça	—	—	6,3	2,5	19,0	24,1	47,4
Oliva	—	—	6,9	2,3	84,4	4,6	—
Palma		1,4	40,1	5,5	42,7	10,3	—
Soja	0,2	0,1	9,8	2,4	28,9	52,3	3,6
Girassol	—	—	5,6	2,2	25,1	66,2	—

Tabela 6

### 3.5 O Agronegócio e a Produção do Biodiesel



Fluxograma 3- (BRASIL, Plano Nacional de Agroenergia, 2006 – 2011)

Os objetivos da agroenergia (fluxograma 3) para a matriz energética brasileira de combustíveis são: a redução do uso de combustíveis fósseis; a ampliação da produção e do consumo de biocombustíveis; a proteção ao meio ambiente; o desfrute desse mercado internacional e a contribuição para a inclusão social. Tais fatores contribuem para a pesquisa de tecnologias de produção agrícola e transformação desses produtos em biocombustíveis.

O Brasil dispõe de várias opções para a produção de óleos vegetais. O biodiesel pode ser produzido a partir de qualquer fonte de ácidos graxos. No Brasil, têm sido utilizados óleos de coco, mamona, soja, dendê, palma, babaçu, girassol, amendoim e gorduras de animais, como: o sebo de boi, óleo de peixes, banha de porco. Além de óleos e gorduras, os resíduos graxos (óleos de frituras, borras de refinação, matéria graxa dos esgotos) também são matéria-prima para a produção do biodiesel.

Embora o Brasil seja o maior produtor mundial de soja (cujo óleo representa 90% da produção brasileira), para a produção do biodiesel são obtidos apenas 400 Kg de óleo por hectare, enquanto o girassol e o amendoim rendem o dobro e têm uma extração mais simples do que a da soja. A preferência para o cultivo e uso de soja deve-se ao farelo e às proteínas, ambos de grande interesse para a indústria alimentícia. O Quadro 3 apresenta o teor de óleo de algumas oleaginosas, e a figura 32, fontes alternativas para a produção de biodiesel no Brasil.



Oleaginosa	Teor de óleo
girassol	44%
babaçu	66%
dendê	22%
mamona	48%
soja	20%

Fonte: Tecbio (Biodiesel no plural, Expedito Parente, 2008)

### Quadro 3 Teor de Óleo de Algumas Oleaginosas



Fonte: Alternativas tecnológicas sustentáveis no processamento de óleos vegetais – EQE 706 Centro de gestão de estudos estratégicos – Ministério da Ciência e Tecnologia, 2005. Disponível em <http://www.mct.gov.br>

Figura 32

### 3.6 Tecnologias

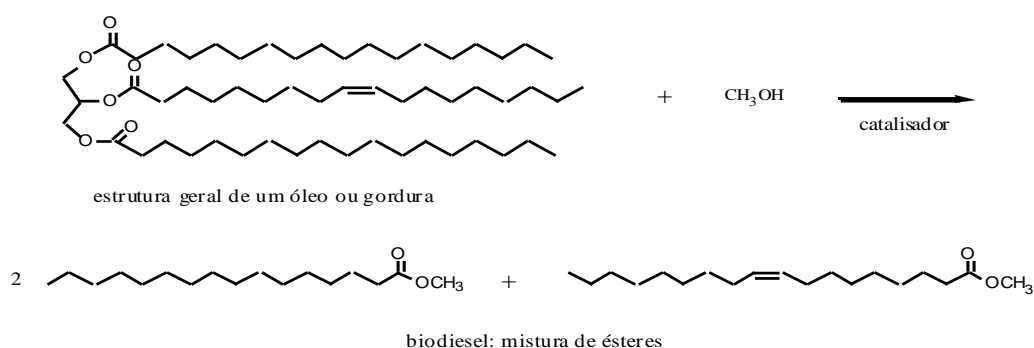
São empregados os seguintes processos tecnológicos para a obtenção do biodiesel:

- ❖ Químicos – Transesterificação Alcalina e Esterificação Ácida
- ❖ Bioquímicos – Transesterificação Enzimática
- ❖ Termoquímicos – Craqueamento Catalítico e Hidrocraqueamento

A via de conversão físico-química da biomassa utiliza técnicas de compressão e extração de óleos vegetais de oleaginosas. Posteriormente os óleos são modificados quimicamente através do processamento de óleos vegetais pela reação de esterificação.

#### 3.6.1 Transesterificação

A transesterificação consiste na reação química de triglicerídeos (óleos e gorduras vegetais ou animais), onde um éster é transformado em outro, através da troca do resíduo alcoxila. Esse processo tecnológico é mais empregado em escala industrial.



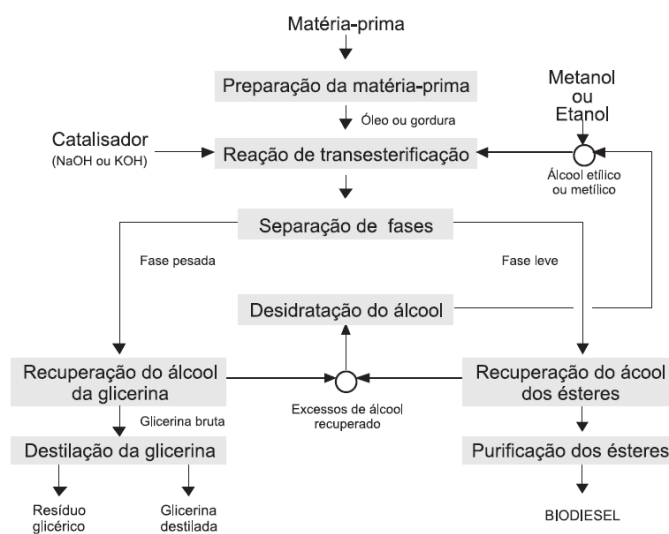
**Figura 33**

Na transesterificação de óleos vegetais, um triacilglicerídeo reage com um monoálcool na presença de um ácido (sulfúrico, sulfônico) ou uma base forte (hidróxido de sódio ou potássio) ou enzima (lipase), gerando-se, como produto final, os ésteres metílicos ou etílicos (biodiesel) e a glicerina (figura 33). Os alcoóis mais utilizados nesse processo são o metanol

e o etanol por apresentarem cadeia curta, altas polaridade e solubilidade, dissolvendo com facilidade catalisadores ácidos e básicos e reagindo rapidamente com os triacilglicerídeos.

Para a produção do biodiesel, as rotas tecnológicas recaem – principalmente no Nordeste e em Minas Gerais – para o uso do metanol junto com o óleo de mamona, o que torna a reação mais rápida; enquanto o etanol dificulta pela presença de mais um grupo  $\text{CH}_2$ . No Centro-Sul, a opção principal é a etílica.

### Obtenção do Biodiesel por meio da Transesterificação:



**Fluxograma 3 - Fonte: Plano Nacional de Agroenergia, MAPA, 2006 – 2011.**

Após a matéria-prima haver passado por processos de purificação e desumidificação, a catálise básica é a reação mais utilizada, como mostrado no fluxograma 3. As bases empregadas no processo são o hidróxido de potássio (KOH) e o hidróxido de sódio (NaOH), na razão molar variando de 1:1 a 6:1, dependendo da quantidade de álcool empregada (o excesso de álcool favorece o deslocamento da reação no sentido dos produtos).

Durante o aquecimento, a temperatura deverá variar de  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  e a quantidade de catalisador usado deverá permanecer em um limite de 0,5% a 1,0% g/g. Se esta quantidade

for excedida, o catalisador provocará a formação de sabão, pela reação de saponificação, e o aumento da viscosidade, dificultando a separação do glicerol.

A catálise ácida é usada quando os triglicerídeos apresentam um alto teor de ácidos graxos livres, como os óleos provenientes de frituras e outros óleos e gorduras residuais. E a catálise enzimática tem despertado o interesse da comunidade científica por ser um processo de obtenção de biodiesel com maior grau de pureza, pois facilita a separação do glicerol. Porém, o custo de aquisição das enzimas é elevado e o rendimento é baixo em relação ao processo químico<sup>14</sup>.

Caso o professor tenha interesse, existem outras reações de transesterificação na literatura, como a catálise com argilo-minerais, os fluídos supercríticos, a catálise heterogênea com o emprego de polímeros orgânicos como catalisadores, dentre outros<sup>15</sup>.

### 3.6.2 Craqueamento

O Craqueamento ou pirólise consiste na quebra de moléculas de triglicerídeos a altas temperaturas (em torno de 380<sup>0</sup>C), sem necessidade de catalisador, produzindo ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos. Além disso, produz como resíduos hidrocarbonetos (alcanos e alcenos) e compostos oxigenados (cetonas, aldeídos, ácidos carboxílicos, além de monóxido e dióxido de carbono e água). O produto obtido se assemelha ao diesel de petróleo. A desvantagem é o baixo rendimento em torno de 60% e os resíduos químicos, que podem ser eliminados, caso se faça uso de catalisadores.

No Laboratório de Materiais e Combustíveis da Universidade de Brasília (UnB) o processo mais utilizado para produção do biodiesel é o craqueamento.

A seguir, a viabilidade técnica de combustível para motores diesel representada no Quadro 4.

---

<sup>14</sup> Como alternativa aos catalisadores básicos e ácidos tradicionais, diversas novas classes foram propostas nas últimas décadas, tais como enzimas, bases orgânicas, complexos metálicos, aluminossilicatos e óxidos metálicos.

<sup>14</sup> Suarez e outros. Quím. Nova vol.30 no. 3 São Paulo Mai/Jun. 2007

PRINCIPAIS FATORES	CARACTERÍSTICAS BÁSICAS	PROPRIEDADES DO COMBUSTÍVEL
Combustibilidade	grau de facilidade em realizar a combustão no equipamento	Poder calorífico Índice de cetano Viscosidade cinemática Tensão superficial
Impactos ambientais das emissões	Preservação da fauna e da flora	Teor de enxofre Teor de hidrocarbonetos aromáticos
Compatibilidade ao uso e ao manuseio	longevidade do motor e de seus entornos	Lubricidade e Corrosividade (teor de enxofre e acidez do combustível e ponto de fulgor)

Quadro 4

As propriedades físicas e químicas de um combustível diesel são mostradas no Quadro 5. No inverno dos países mais frios, o ponto de fluidez (temperatura em que o líquido não mais escoava livremente) torna-se uma importante propriedade, o que exige a adição de aditivos anticongelantes, como o etilenoglicol.

FÍSICAS	QUÍMICAS
VISCOSIDADE DENSIDADE LUBRICIDADE PONTO DE NÉVOA PONTO DE FLUIDEZ PONTO DE FULGOR PODER CALORÍFICO ÍNDICE DE CETANO	TEOR DE ENXOFRE PODER DE SOLVÊNCIA

Quadro 5

As características físicas e químicas do biodiesel são semelhantes entre si, não importando a natureza da matéria-prima nem do agente de transesterificação (metanol ou etanol).

As propriedades fluidodinâmicas (viscosidade e densidade) do biodiesel – independentemente de sua origem – se assemelham às do petrodiesel não havendo necessidade de qualquer regulagem no sistema de injeção dos motores.

O ponto de névoa é a temperatura na qual o líquido, por refrigeração, começa a ficar turvo e o ponto de fulgor é a temperatura em que um líquido torna-se inflamável em presença de uma chama ou faísca. Ambas as propriedades estão relacionadas ao manuseio, armazenamento e segurança no transporte do combustível. O biodiesel não é inflamável nas condições normais, pois apresenta um ponto de fulgor superior à temperatura ambiente.

O biodiesel é um combustível limpo, pois não contém enxofre, é biodegradável, não é corrosivo, é renovável e não contribui para o aumento do efeito estufa (TECBIO, 2006), pois permite melhorar o fechamento do ciclo do carbono (consultar tópico IV, item 4.1).

### **3.6.3 Desvantagens do uso do Biodiesel**

Uma das áreas de atuação da Química é a inovação tecnológica na produção de biocombustíveis para gerar energia. Neste módulo de ensino, tem-se demonstrado a importância do conhecimento químico para identificar possíveis problemas decorrentes da produção e uso destas tecnologias e buscar soluções para saná-las.

Vários questionamentos levam pesquisadores a refletir sobre a possibilidade do uso de fontes vegetais para a geração de energia, sem comprometer a alimentação humana, a preservação da natureza e a manutenção da qualidade ambiental.

Uma das desvantagens apontadas para a não utilização da biomassa para produzir combustíveis, é o deslocamento de áreas destinadas à produção de alimentos para a produção de insumos que se destinam a indústria de biocombustíveis. A outra desvantagem se relaciona a matéria-prima utilizada, óleos ou gorduras muito insaturados, ou pouco insaturados, afetam a qualidade do produto obtido. No primeiro caso, pode ocorrer polimerização oxidativa no contato com o ar, no segundo caso, aumenta o ponto de fusão do combustível limitando seu uso em regiões de clima temperado e frio.

Apesar dos fatores citados, a adoção do biodiesel como combustível alternativo ao petróleo, traz benefícios do ponto de vista econômico, social e ambiental, pois irá gerar emprego e renda e aumentar a atividade agrícola.

## TEXTO V

### Combustíveis Renováveis para o Transporte

Existem três maneiras principais de produzir combustível líquido renovável para transporte. A primeira é simplesmente queimar óleos vegetais, em geral de soja ou palma oleaginosa, em motores a diesel. Atualmente, para ser legalizado, o óleo deve ser convertido em uma forma química chamada éster. O processo é simples, mas só é economicamente viável em escala industrial, o que provoca conflito entre a produção de alimentos e de combustíveis.

Igualmente simples é a fermentação de açúcares para a produção de álcool, o que, da mesma forma, só é viável em escala industrial. No entanto, enormes quantidades de açúcar estão contidas em culturas não alimentares e em partes não comestíveis de plantas produzidas para a alimentação, como a palha de trigo e o talo do milho. Esse material celulósico contém o açúcar convencional com seis átomos de carbono, além de açúcar com cinco átomos de carbono que, normalmente, não fermenta.

Para transformar esses açúcares na terceira forma de obter combustível líquido renovável, algumas usinas-piloto usam vapor ou ácidos, ou uma combinação de ambos. Outra opção são enzimas provenientes de bactérias geneticamente alteradas ou fungos. Na conversão de açúcares em combustível líquido algumas usinas utilizam processos catalíticos e outras leveduras, em geral, também alteradas geneticamente.

Outro processo consiste na quebra de moléculas de celulose e obtenção de um gás combustível composto de monóxido de carbono e hidrogênio, conhecido como gás d'água. A matéria-prima é constituída de detritos florestais, como lascas, cascas e pinhas, papel e plásticos de lixo residencial e resíduos de colheitas agrícolas.

#### Sugestão de atividades:

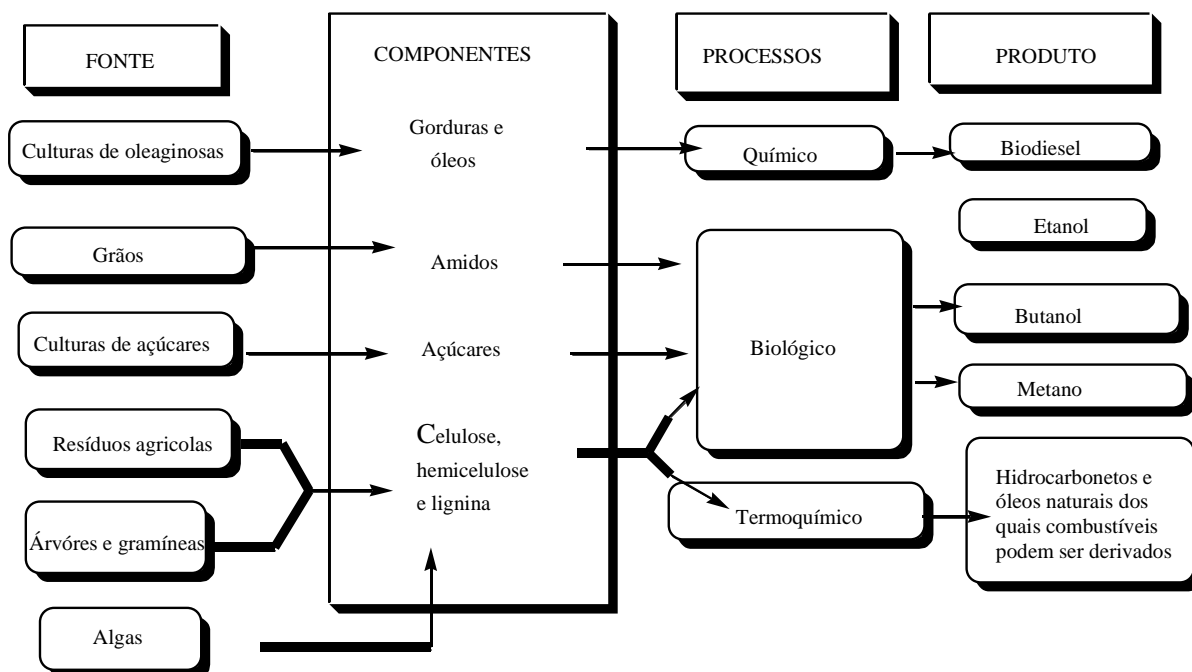
O texto acima tem como objetivo sintetizar o assunto abordado e contextualizado no módulo didático e propor atividades de pesquisa que integrem relações técnico-científicas com o meio ambiente e a sociedade.

O esquema 12 demonstra as relações entre a Ciência-Tecnologia-Meio Ambiente e a Sociedade com enfoque interdisciplinar.

A pesquisa direcionada ao ensino de Química busca demonstrar que o desenvolvimento tecnológico, embora vinculado à Ciência, depende mais de decisões humanas do que da produção científica. O uso de combustíveis alternativos contribui para a diminuição dos fatores nocivos ao meio ambiente. No entanto, muitos consideram essa alternativa prejudicial à produção de alimentos.

O tema é abrangente e envolve contextos das Ciências da Natureza, como a Química, a Biologia e a Física.

A seguir, um esquema dos principais combustíveis e seus processos de obtenção:



**Esquema 12 : Principais combustíveis e seus processos de obtenção**

Algumas questões podem ser levantadas e dirigidas aos alunos na forma de perguntas, como por exemplo:

- 1) Quais são as vantagens e desvantagens da substituição de combustíveis fósseis por energias alternativas?
- 2) Em sua opinião, qual combustível renovável traria mais benefícios econômicos e ambientais para a sociedade? Justifique a resposta.
- 3) Quais as vantagens ambientais auferidas pelo Brasil ao produzir e usar biodiesel?
- 4) Qual a tecnologia recomendada pelo Governo para produção de biodiesel?

Temas como: consumo sustentável, preservação da natureza, efeito estufa, Protocolo de Kyoto bem como o efeito das mudanças climáticas tiveram como ponto de partida, no Brasil, a ECO 92, Conferência Internacional de Ambiente e Mudanças Climáticas, ocorrida no Rio de Janeiro em 1992. Cinco anos após a ECO 92, ocorreu, no Japão, a Conferência de Kyoto, resultando no Protocolo que propõe a diminuição das emissões de carbono pelos países signatários.

Grande parte dos alunos cursando atualmente o ensino médio nasceram no ano da ECO 92, estando, portanto, familiarizados com cada um destes temas. Uma variedade de



questões pode ser abordada dentro do conteúdo de Química com debates e perguntas acerca do assunto.



**Figura 34: Revista Veja 2008.**

#### **Atividades de pesquisa:**

Algumas questões podem ser levantadas durante as aulas com o objetivo de avaliar o conhecimento dos alunos sobre o tema.

- 1) Como funciona o mercado de créditos de carbono?
- 2) Que medidas o protocolo prevê para a redução das emissões?
- 3) O que é o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)?
- 4) O que é a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima?

## TÓPICO IV

### CICLOS BIOGEOQUÍMICOS

Por que o carbono é o principal constituinte das moléculas presentes no petróleo formando compostos tão diferentes? Para responder a esta pergunta é preciso conhecer a origem do carbono e a natureza dos ciclos biogeoquímicos.

Nos ciclos biogeoquímicos o elemento se transforma originando compostos que ora fazem parte da biota, ora podem ser encontrados na crosta terrestre. Neste contexto serão desenvolvidos temas relacionados ao meio ambiente e ao uso sustentável dos recursos naturais. Professores de outras disciplinas como Biologia, Física, Geografia, História, Matemática, também estarão envolvidos na abordagem do tema, pois o assunto é interdisciplinar.

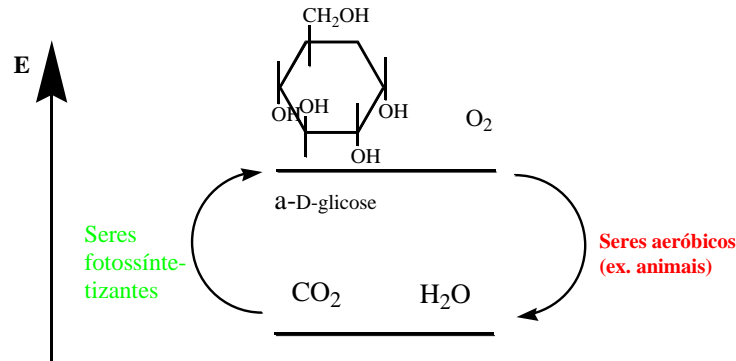
A poluição ambiental e suas principais causas também será tema de discussões sobre a responsabilidade da sociedade no uso de tecnologias que geram bens de consumo, porém, causam destruição e desequilíbrio. Tal abordagem evidencia características específicas de propostas de ensino CTS & A de química.

#### 4.1 Ciclo do Carbono

O elemento químico carbono está presente nos seres vivos participando da composição química de todas as substâncias orgânicas e de grande parte das inorgânicas. Durante o metabolismo, o carbono é convertido a dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e transportado pelo sangue até os pulmões durante a respiração. A expiração libera o gás carbônico para a atmosfera sendo captado pelas folhas, onde tem início o processo da fotossíntese. Os vegetais e as bactérias quimiossintéticas fabricam suas substâncias orgânicas (carboidratos, proteínas, lipídeos e ceras) utilizando o  $\text{CO}_2$  do ar ou de carbonatos e bicarbonatos dissolvidos na água.

E os seres vivos, qual é o seu “combustível”? Quais substâncias básicas são empregadas para obtenção da energia necessária para a manutenção da vida? Neste ponto, devemos fazer uma diferenciação entre os vegetais e os animais. Salvo algumas bactérias

fotossintetizantes, as plantas são os únicos seres vivos capazes de captar a energia solar para realizar a síntese de moléculas com ligação C-C. Para tanto, utilizam moléculas de baixa energia, como o  $\text{CO}_2$  e a  $\text{H}_2\text{O}$  (nas quais o carbono, no  $\text{CO}_2$ , e o H na água, estão oxidados) e, por meio da fotossíntese, produzem carboidratos e  $\text{O}_2$ , moléculas de alta energia, conforme esquema 13. Já os animais se alimentam dos carboidratos, que são oxidados pelo oxigênio que respiram, liberando  $\text{CO}_2$ , água e a energia necessária para sua sobrevivência.



Esquema 13

Para as plantas, carboidratos como o amido, representam a sua reserva de energia. Já para os animais, o amido que ele ingere é rapidamente convertido em energia, e o glicogênio, o carboidrato de reserva dos animais tem seu estoque com curta duração, menor que um dia, sua maneira real de armazenar energia é na forma de gordura.

A decomposição de seres vivos devolve o carbono ao meio ambiente na forma de  $\text{CO}_2$ , o qual pode ser encontrado no fundo dos oceanos ou na crosta terrestre. Outra maneira de retorno do carbono ao ambiente é por meio do desmatamento. A queima e o apodrecimento das florestas liberam no ar o carbono que estava armazenado nos troncos, folhas, raízes e solo. A queima das árvores derrubadas, ou seu simples apodrecimento, faz com que o carbono armazenado nas plantas e no solo seja oxidado, liberando gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) na atmosfera

A origem do petróleo é de natureza orgânica, onde restos de organismos submetidos a uma putrefação incompleta pela ausência de aeração se depositaram no fundo de bacias. Esta lama putrefata é conhecida como "sapropel" (do grego *sapros*, pútrido, e *pelos*, limo). Quando o petróleo é retirado da rocha geradora e queimado na forma de combustível, o carbono é lançado na atmosfera na forma de  $\text{CO}_2$ , se a combustão fosse completa, mas como sempre a combustão é incompleta ocorre a formação de monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) ou carbono puro (fuligem).

Embora a concentração de gases de efeito estufa tenha aumentado na atmosfera pela ação humana, especialmente pela queima de combustíveis fósseis, a principal responsável pela alta concentração destes gases no Brasil é a derrubada de florestas, o que coloca o país na posição de quarto maior emissor de gás carbônico do mundo.<sup>16</sup>

A ação de bactérias, na ausência de oxigênio, sobre restos de organismos depositados no fundo dos mares, permite a volta da matéria orgânica à matéria mineral, transformando-a em água, gás carbônico e sais minerais. Assim, o acúmulo de “sapropel”, sob efeito da pressão e da temperatura, durante algumas centenas de milhões de anos, contribuiu para a formação do petróleo.

A origem do petróleo remete a pesquisas recentes sobre a presença de bactérias nos reservatórios de petróleo, localizado em águas profundas da bacia de Campos, no Rio de Janeiro. O resultado da pesquisa científica poderá ser transformado em “textos de saber”, sendo parte integrante dos conteúdos de ensino.

## PESQUISA CIENTÍFICA

### .DEGRADAÇÃO AERÓBICA DE UM PETRÓLEO BRUTO EXTRAÍDO DE UM RESERVATÓRIO DE ÁGUAS PROFUNDAS DO SUL CAMPO PAMPO, BACIA DE CAMPOS, RIO DE JANEIRO

✚ Pesquisa realizada na Universidade de Campinas (UNICAMP) em parceria com o CENPES (Petrobrás), com o propósito de verificar a presença de bactérias aeróbicas e anaeróbicas nos reservatórios de petróleo da Bacia de Campos, no Rio de Janeiro.

As bactérias vivem em profundidades de 2.800m e temperaturas de 80 °C no Campo Pampo, posicionado a quase 100 quilômetros da costa do Rio de Janeiro. Para estudo dos materiais, foram colhidas amostras de água e óleo em recipientes de vidro lacrados para posterior cultivo em vários meios.

O reservatório de petróleo é um ambiente anaeróbio (CRUZ, SANMATOS NETO e MARSAIOLI, 2009), porém as pesquisas demonstram a presença dos dois tipos de bactérias, as aeróbicas e as anaeróbicas. Isto se deve a presença de microambientes, onde há produção de oxigênio através da penetração de água no interior das jazidas ou através de reações químicas.

---

<sup>16</sup> EMBRAPA. Aquecimento Global e a Nova Geografia da Produção Agrícola no Brasil. Publicação produzida a partir do estudo “Aquecimento Global e Cenários Futuros da Agricultura Brasileira, coordenado pelos pesquisadores Eduardo Assad (Embrapa Agropecuária) e Hilton Silveira Pinto (Cepagri, Unicamp), São Paulo, agosto de 2008.

Foram identificadas 29 bactérias dos dois tipos e as pesquisas demonstraram a tendência a biodegradação do petróleo pela maioria das bactérias analisadas.<sup>17</sup>

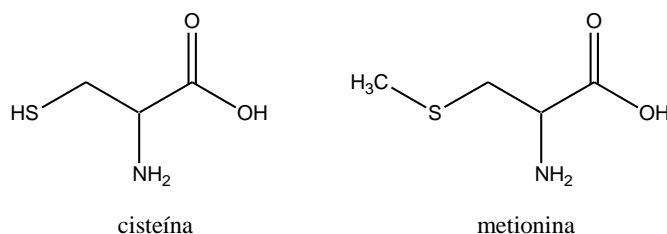
## 4.2 Ciclo do Enxofre

Vimos, anteriormente, que o Carbono é um dos elementos presentes nos ciclos biogeoquímicos. A presença desse elemento químico na atmosfera, hidrosfera, litosfera e biosfera da Terra – em processos de formação, transformação e decomposição – contribuiu para a origem do petróleo.

Outro elemento químico que participa do ciclo atmosfera – crosta terrestre é o enxofre.

Presente em rochas sedimentares e no ar (queima de combustíveis fósseis), o enxofre pode ser recuperado de sedimentos mais profundos pela ação de microorganismos que realizam reações químicas de oxidação e redução. O carvão contém de 1 a 9% de enxofre, dependendo da área geográfica de onde é extraído, e cerca de 1 a 0,5% da massa de carvão sólido, na forma de pirita ( $\text{FeS}_2$ ). Processos biológicos e químicos podem ser empregados na separação física, como lavagem a quente com soluções de soda ou potassa cáusticas e, até mesmo, culturas de bactérias que “consomem” o enxofre orgânico.

O enxofre está presente como íons sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), em ambientes aquáticos, o qual é reduzido pelas plantas autotróficas que o incorporam às proteínas. O enxofre é um constituinte essencial de certos aminoácidos, como a cisteína e a metionina (figura36).



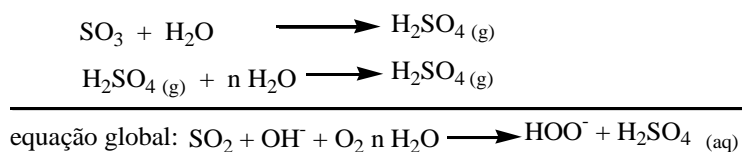
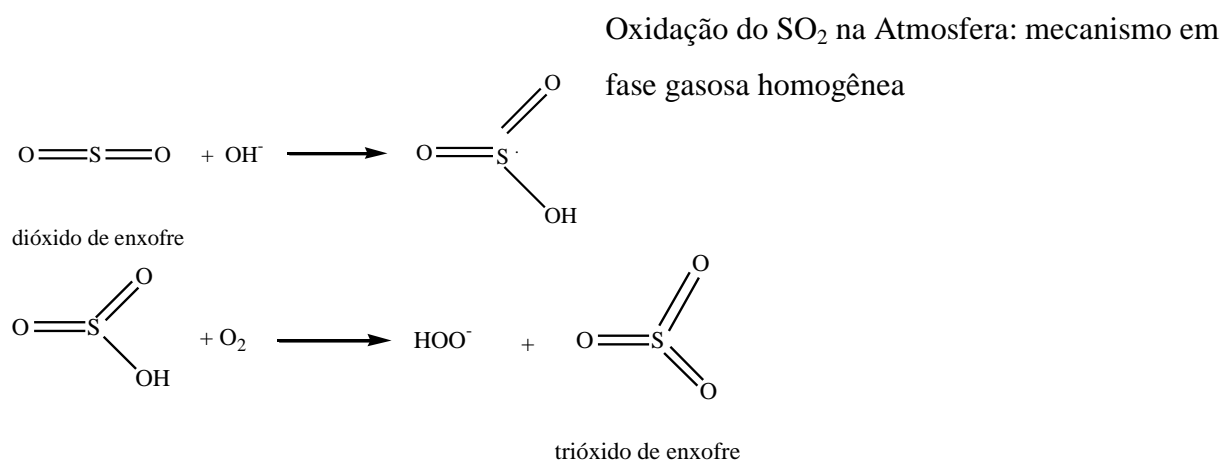
**Figura 36**

<sup>17</sup>Cruz, Georgiana F. da; Santos Neto, E.V.; Marsaioli, A.J. Petroleum degradation by aerobic microbiota from the Pampo Sul Oil Field, Campos Basin, Brazil. *Organic Geochemistry*. v. 39 p. 1.204-1.209, 2008. *Revista Pesquisa Fapesp*, n. 159, maio 2009.

#### 4.2.1 Material Particulado e Poluição Atmosférica

A principal fonte de partículas atmosféricas à base de carbono são os veículos, especialmente os movidos a diesel. A fumaça negra que emana desses veículos é a forma mais evidente de poluição do ar por particulados – partículas finas de sólidos ou líquidos, de diferentes tamanhos e composição química, que se encontram suspensas no ar – em geral invisíveis, individualmente, a olho nu. Coletivamente, formam uma neblina que restringe a visibilidade e são conhecidas como aerossóis. Substâncias inorgânicas de enxofre e nitrogênio como  $\text{SO}_2$  e  $\text{NO}_x$  produzidas tanto por fontes naturais, como os vulcões, ou pela poluição de veículos, sofrem oxidação, originando ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) e ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) no ar. Os ácidos são transportados como aerossóis de gotículas finas, devido a sua enorme afinidade com as moléculas de água.

Por serem ácidos fortes e muito solúveis em água são responsáveis por toda a acidez da chuva. O esquema 15 a seguir mostra as etapas da oxidação do  $\text{SO}_2$  na atmosfera.



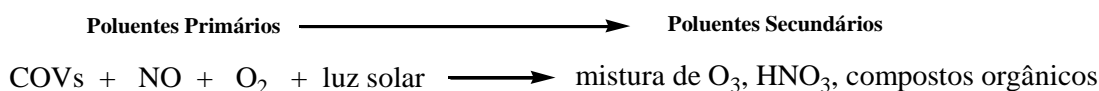
**Esquema 15**

Fonte: BAIRD, Colin, *Química Ambiental*, p.172, 2002

A adição do radical  $\text{OH}^\cdot$ , presente no ar relativamente puro, à molécula de dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), cria condições para a formação do trióxido de enxofre ( $\text{SO}_3$ ) que, ao combinar-se com uma molécula de água gasosa, irá formar ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).

Altas concentrações de matéria particulada e dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) ou seus produtos de oxidação, são responsáveis por problemas sérios de saúde. As doenças pulmonares são os principais efeitos dos poluentes do ar sobre a saúde humana.

Reações que envolvem diversas substâncias químicas são responsáveis pelo fenômeno conhecido como *smog* fotoquímico, pois ocorrem no ar, induzidas pela luz solar. Tais reações formam uma espécie de neblina e são causadas, principalmente, por óxido nítrico (NO), e compostos orgânicos voláteis (Hidrocarbonetos), provenientes da queima incompleta dos motores de combustão interna e de outras fontes.



### 4.3 Ciclo do Nitrogênio

O ciclo do nitrogênio é do tipo gasoso e ocorre na biosfera por mecanismos biológicos e não biológicos, através de processos de desnitrificação e fixação de nitrogênio do ar atmosférico. Estes processos podem ser naturais ou provocados pela ação do homem. Os processos naturais envolvem microorganismos, como algumas espécies de bactérias que vivem no solo e algas azuis (cianobactérias) que existem em campos alagados.

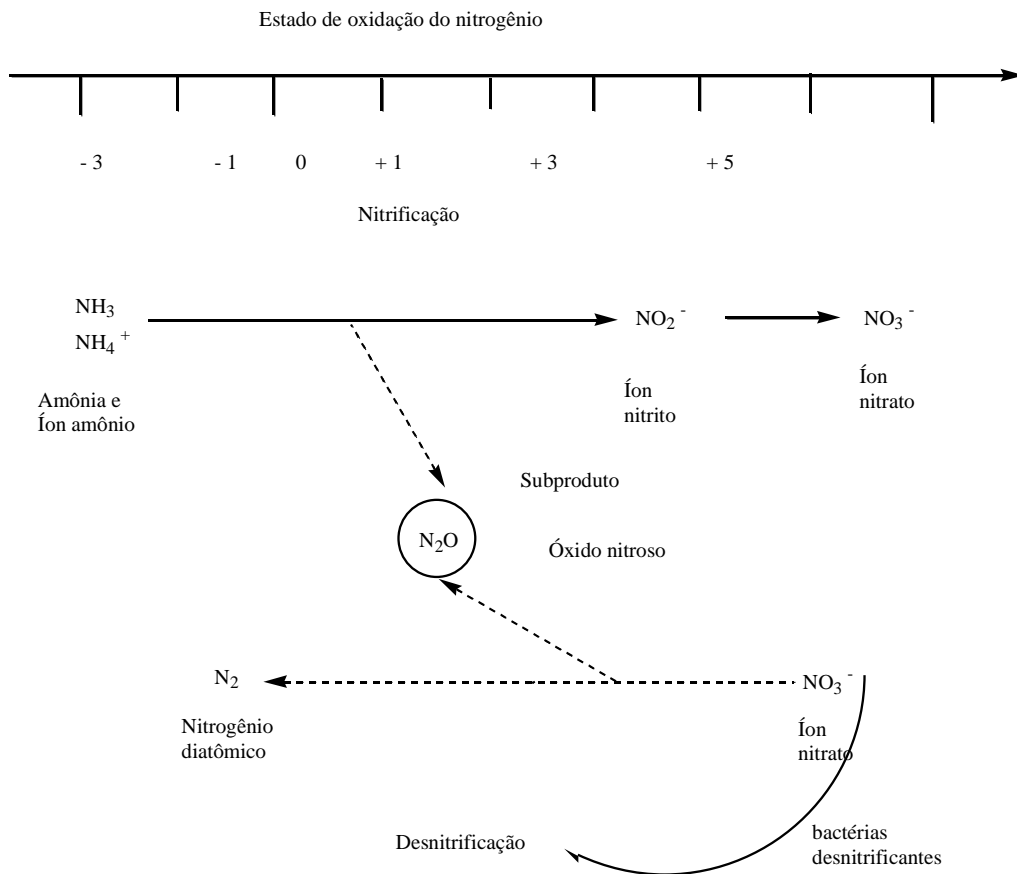
A fixação de nitrogênio no ecossistema terrestre é cerca de 90-130 Tg/ano (Tg = 10<sup>12</sup>g N/ano), em ecossistemas marinhos, entre 40-200 x 10<sup>12</sup>g N/ano. (Química Nova na Escola, n° 28, maio/2008).

A composição em volume de gases nitrogênio e oxigênio na atmosfera são, aproximadamente, 78% de N<sub>2</sub> e 21% de O<sub>2</sub>. Em relação ao nitrogênio, somente 0,02% está disponível para os organismos. É necessário que ocorra a fixação do nitrogênio para que ele possa ligar-se a outros elementos químicos (C, H ou O), originando compostos mais acessíveis à vida, como: o íon amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>); os nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>); a uréia ((NH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>CO), conforme representado no esquema 16.

A perda de nitrogênio para a atmosfera na forma de  $N_2$ , realizada por microorganismos anaeróbicos é um processo conhecido como denitrificação.

Na denitrificação, o nitrogênio retorna à atmosfera pela ação de bactérias denitrificantes em meio anaeróbico que, na falta de  $O_2$  como receptor de elétrons, utilizam o nitrogênio na forma de  $NHO_3^-$  como o receptor final de elétrons de sua atividade respiratória. Este processo ocorre preferencialmente em ecossistemas terrestres alagados e em oceanos mais profundos.

A queima de combustíveis fósseis assim como o emprego de fertilizantes para fins agrícolas contribuem com a maioria das emissões antropogênicas de óxido nitroso.



Fonte: Baird, C. Química Ambiental, p.223, 2002.

Esquema 16



## Sugestão para o professor

Os ciclos biogeoquímicos estão incluídos na categoria de temas químicos socio-ambientais. Caracterizado como o ensino que possui a informação química aliada aos aspectos sociais e ambientais, temas como: mudanças climáticas, efeito estufa, chuva ácida e poluição ambiental poderão ser contextualizados e inseridos em tópicos interdisciplinares.

### 4.4 Questões Ambientais

#### 4.4.1 Efeito Estufa

“O aquecimento do sistema climático é inequívoco”<sup>18</sup>, concluiu o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), grupo que reúne centenas dos principais cientistas que estudam a Terra. Em seu Quarto Relatório de Avaliação, de 2007, o IPCC declarou que, nos últimos anos, mais de 90% do aquecimento do planeta é causado por gases associados ao efeito estufa, sobretudo o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

O efeito estufa é um fenômeno natural. Ocorre da seguinte forma: a cada segundo uma quantidade relativamente constante de radiação solar atinge o planeta. Essa energia é absorvida e refletida pela atmosfera e pela Terra. Cerca de 70% da energia absorvida vai para os continentes, os oceanos e a atmosfera. Os outros 30% são irradiados pela Terra de volta para o espaço. Mas alguns gases – como vapor d’água, CO<sub>2</sub> e metano – retêm parte dessa energia. E o calor que deveria ser irradiado de volta ao espaço fica retido na atmosfera terrestre. Esse fenômeno é chamado de efeito estufa. E o vapor d’água, o CO<sub>2</sub>, o metano e os outros gases que impedem a irradiação do calor de volta para o espaço são chamados de gases do efeito estufa.

Atividades humanas, entre as quais a queima de combustíveis fósseis, aumentaram a concentração de gases associados ao efeito estufa, mantendo os níveis de CO<sub>2</sub> 36% mais altos

---

<sup>18</sup> Segundo Kevin Trenberth, responsável pela seção de análise climática no Centro Nacional de Pesquisa Atmosférica, dos Estados Unidos, e um dos principais autores do Quarto Relatório de Avaliação do IPCC.

do que eram no século 18, quando ocorreu a Revolução Industrial. No Quarto Relatório de Avaliação do IPCC, divulgado em 2007, o nível de CO<sub>2</sub> na atmosfera chegou a 384 ppm.

#### 4.4.1.1 Situação no Brasil

O Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT, 2006) elaborou um inventário nacional das emissões anuais de gases de efeito estufa por fontes móveis, nas categorias de veículos leves e veículos pesados, incluindo o transporte aéreo.

No Brasil, entre 1990 e 1994, os principais gases de efeito estufa, analisados segundo Diretrizes Revisadas de 1996 do IPCC, para o setor de energia são: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), metano (CH<sub>4</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), e compostos orgânicos voláteis não metânicos (NMVOC), provenientes da queima de combustíveis, e as emissões evaporativas nos veículos.<sup>19</sup>

Embora, as emissões variem segundo o modelo do veículo, o ano de fabricação, a potência do motor, o tipo de manutenção dada, as condições de utilização e a quilometragem rodada, os parâmetros utilizados para a medição das emissões de gases do efeito estufa foram: a frota nacional circulante, a distância média percorrida e os fatores de emissão.

A frota brasileira de veículos leves, para o ano de 1994, emitiu 21.940 Gg de CO<sub>2</sub>, 4.610 Gg de CO, 5,7 Gg de CH<sub>4</sub>, 237 Gg de NO<sub>x</sub>, 1,04 Gg de N<sub>2</sub>O e 861 Gg de NMVOC. Os modelos mais recentes – com maior eficiência na queima de combustíveis – e a adição de álcool anidro na mistura da gasolina nacional ajudaram a reduzir as emissões líquidas de CO<sub>2</sub>.

Para os veículos pesados (automóveis, caminhões, ônibus), movidos a diesel, as emissões no mesmo ano foram: 58.207 Gg de CO<sub>2</sub>, 1.276 Gg de CO, 3,8 Gg de CH<sub>4</sub>, 1640 Gg de NO<sub>x</sub>, 0,454 Gg de N<sub>2</sub>O e 316 Gg de MNVOC<sup>20</sup>.

---

<sup>19</sup> As emissões evaporativas são constituídas de compostos orgânicos voláteis não metânicos (NMVOC)

<sup>20</sup> A unidade Gg (greenhouse gas) indica a taxa de emissão de gases de efeito estufa por unidade de energia gasta com combustíveis.

Os resultados do estudo indicam que os veículos automotores, constituem uma fonte importante e crescente de gases de efeito estufa. Para veículos novos – com maior eficiência na queima de combustíveis – uma menor quantidade de gases são gerados na queima incompleta, porém, mais CO<sub>2</sub> é liberado para a atmosfera.

Para o transporte aéreo, o Brasil consumiu 1.433 mil m<sup>3</sup> de querosene de aviação, no ano de 1995. As emissões foram estimadas utilizando-se o método detalhado (Tier 2), que se baseia no número de operações de decolagem/aterrissagem e no consumo de combustíveis. A seguir, na Tabela 7 estão descritas as emissões totais de gases de efeito estufa do transporte aéreo.

1995	Emissões (Gg)					
	CO <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	NO <sub>x</sub>	N <sub>2</sub> O	NMVOC
Vôos Domésticos	3.563	13,18	0,32	10,75	0,12	3,28
Vôos Internacionais	5.674	10,95	0,09	23,26	0,18	5,31

**Tabela 7**

Fonte: Emissões de Gases de Efeito Estufa por Fontes Móveis, no Setor Energético – Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa – Relatórios de Referência. (Ministério da Ciência e Tecnologia, 2006)

Das emissões brasileiras de gases de efeito estufa, 80% são resultantes direta ou indiretamente da agricultura (incluindo o desmatamento), e apenas 17% são provenientes da queima de petróleo, carvão e gás natural.

#### 4.4.2 Mudanças Climáticas

O Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) define mudança climática como qualquer alteração do clima que ocorra ao longo do tempo em decorrência da variabilidade natural ou da atividade humana. Já a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima considera que o conceito “se refere a uma mudança do clima que possa ser atribuída direta ou indiretamente à atividade humana e que altere a composição da atmosfera global, sendo adicional à variabilidade climática natural observada ao longo de períodos comparáveis de tempo”.<sup>21</sup>

<sup>21</sup> Parcerias Estratégicas, Brasília- DF, CGEE, n° 27, dez. 2008.

O aquecimento do planeta pela interferência humana, apesar de incerto quanto a sua magnitude, tornou-se um fato aceito pela comunidade científica. Por ser global, o problema une a todos na busca por caminhos e soluções que permitam que a civilização continue a prosperar em sua trajetória futura.

O quarto relatório do IPCC 2007 analisou os processos climáticos e as estimativas da mudança climática projetada para o futuro. Foram analisados os seguintes aspectos: mudanças na temperatura; mudanças generalizadas na quantidade de gelo do Ártico; na salinidade do oceano; nos padrões de vento e na ocorrência mais acentuada de eventos climáticos extremos – como secas, precipitação forte, ondas de calor e ciclones tropicais de maior intensidade.

Embora o Brasil não tenha responsabilidades históricas com relação ao acúmulo de gases de efeito estufa, como os países desenvolvidos, tem buscado soluções que aliem o crescimento econômico com medidas que, direta e indiretamente, são favoráveis ao clima.

Algumas das medidas visam fomentar o desenvolvimento de pesquisas científicas que procurem identificar os impactos ambientais decorrentes da mudança do clima e que possam traçar estratégias que minimizem os custos sócio-econômicos de adaptação do país.

O Brasil, através do uso de energia renovável tem contribuído para melhorar a qualidade do ar e para diminuir o uso de fontes fósseis no sistema de transportes. Atualmente a matriz energética conta com uma participação de 45,8% de renováveis enquanto a média mundial é de 12,9%.<sup>22</sup>

O texto IV a seguir, apresenta o produto da inovação tecnológica na fabricação de automóveis, hoje conhecidos como "carros conceitos" (*Concept Car*). Obtidos atualmente pela rota petroquímica, os polímeros sintéticos causam graves problemas ambientais, decorrentes do aumento de resíduos sólidos. Por sua vez, os combustíveis fósseis são altamente poluentes e contribuem com o aumento dos gases estufa.

---

<sup>22</sup> BRASIL. Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima, Decreto nº 6.263, 21 nov. 2004. Disponível em <<http://www.mma.gov.br>> Acesso 27 jun.2009.

Pesquisas inovadoras, tecnologicamente viáveis e de baixo custo contribuirão para caminharmos em direção a sustentabilidade do planeta.

#### TEXTO IV

### EVOLUÇÃO ECOLÓGICA

Carros conceitos são como laboratórios de pesquisas de novas tecnologias e futuras tendências de design. Inovações que hoje estão no mercado muitas vezes foram implantadas primeiro nos protótipos para depois entrar na linha de montagem.

O FCC II (Fiat Concept Car), o Bugster, conceito da Fiat com motor elétrico e materiais reciclados desenvolvido pela marca aqui no Brasil, tem a proposta clara de aliar sustentabilidade com diversão ao dirigir.

Este “bugão” foi construído com componentes ecologicamente corretos, como carroceria de fibras naturais de fontes renováveis e algumas peças, como discos de freios, molas e montantes de suspensão, com revestimentos de organometálicos isentos de metais pesados. Dentro

do veículo também há indícios de preocupação ambiental. O revestimento dos bancos tem 30% de sua composição de poliéster de óleo de soja reciclado. E, para fechar o pacote com chave de ouro, o FCC II possui motor elétrico alimentado por 93 baterias, que podem ser carregadas em qualquer tomada de 220 volts.

Segundo a montadora, o modelo tem uma autonomia de 100 Km, desenvolve 80,2 cv de potência e atinge a máxima de 120 Km/h, limitada eletronicamente. Os comandos do câmbio Dualogic (automatizado) ficam no lugar onde estaria o rádio de um carro comum. Em movimento, o único ruído que emite é um quase imperceptível zunido – que promete ser cada vez mais comum no futuro.



**Figura 37**

Revista MOTOR SHOW, texto de Rafael A. Freire, com adaptações.  
Janeiro de 2009, nº 310.

### Sugestão de Atividades

O texto extraído de uma revista de grande circulação, encontrada facilmente em bancas de jornal, pode servir de abordagem temática para iniciar conteúdos de Química em interação com a Física como, por exemplo - eletroquímica; polímeros e a reciclagem de plásticos; substâncias organo-metálicas; dentre outros - de forma a valorizar a inovação tecnológica, promover a interdisciplinaridade e incentivar a sustentabilidade.

## FONTES DE CONSULTA

Caro professor, para a confecção deste módulo didático, várias fontes foram consultadas, como: revistas, livros didáticos de graduação, manuais sobre a matriz energética brasileira, informações extraídas da *web* e de órgãos do governo, centros de pesquisa científica e acadêmica.

Todo o conhecimento adquirido por meio destas fontes foi organizado sequencialmente concomitante aos conteúdos de química a eles relacionados. As atividades foram sugeridas como recurso didático em consonância com o tema de pesquisa abordado e os conceitos químicos apresentados. A interação com outras disciplinas se dá por meio da abordagem de conceitos e questões interdisciplinares com ênfase nas relações entre a ciência, a tecnologia, o meio ambiente e a sociedade.

São as seguintes as fontes mais utilizadas:

### REVISTAS

Da Revista Pesquisa FAPESP, alguns artigos envolvendo tecnologias inovadoras com combustíveis fósseis e alternativos foram adaptados e, intercalados aos conteúdos de Química, como sugestão aos professores para uma abordagem temática baseada nas pesquisas científicas.

- ✚ CARDOSO, Dilson Cardoso (coord.) **Menos Desperdício**: Dois estudos resultam em catalisadores que podem tornar a produção de biodiesel mais eficiente e limpa. Revista Pesquisa Fapesp, São Paulo, n. 153, Nov.2008.

- ✚ CORTEZ, L.A.B. , **Transformação da Palha da Cana em Bioóleo, Carvão Siderúrgico, Carvão de Silício e, Etanol.** Ciência e Tecnologia no Brasil, Revista Pesquisa Fapesp, n. 154, dez. 2008.
- ✚ VARGAS, M.; **Técnica, Tecnologia e Ciência,** Revista Fapesp. Jan./Fev. 1999. Disponível em: <<http://www.revistapesquisa.fapesp.br/index>>. Acesso em: 22 jun. 2008.

Revista Química Nova e Química Nova na Escola, fonte vasta e relevante de consulta, tanto para professores de Química, quanto para outros professores que procuram enriquecer suas aulas com questões interdisciplinares. Foram consultadas as revistas que traziam artigos relacionados aos combustíveis.

- ✚ CARDOSO, A.A. (coord.) **Biocombustível**, o Mito do Combustível Limpo, nº 28, maio 2008.
- ✚ GERIS, R.; SANTOS, N. A.; AMARAL, B.; MAIA, I.; CASTRO, V.; CARVALHO, **Biodiesel de Soja** – Reação de Transesterificação para aulas práticas de Química Orgânica, Instituto de Química, Universidade Federal da Bahia, Salvador – BA, Química Nova, vol. 30, n. 5, 1369-1373, 2007.
- ✚ GIORDAN, M.; KOSMINSKY, L.; **Visões de Ciências e sobre Cientista entre Estudantes do Ensino Médio.** Revista Química Nova na Escola, n.15, maio 2.
- ✚ SANTA MARIA, LUIZ CLAUDIO (coord.) **Petróleo:** Um tema para o ensino de Química, Revista Química Nova na Escola, n.15, maio 2002.
- ✚ SUAREZ, P. A. Z.; MENEGHETTI, S. M P.; WOLF, C R., **Transformação de Triglicerídeos em Combustíveis, Materiais Poliméricos e Insumos Químicos:** Algumas Aplicações da Catálise na Oleoquímica, Revista Química Nova, vol.30, n.3,p.667,2007.  
 \_\_\_\_\_ **70<sup>o</sup> Aniversário do Biodiesel em 2007:** Evolução Histórica e Situação Atual no Brasil, Química Nova, vol.30, n.8, p.2068, 2007.
- ✚ SUAREZ, P.A.Z.; SANTOS, W.L.P.; OLIVEIRA, F.C.C. **Biodiesel:** Possibilidades e Desafios, Revista Química Nova na Escola, n.28, p. 3 – 8 , maio 2008.

- ✚ SUAREZ, P.A.Z. (coord.), **Biocombustíveis a partir de óleos e gorduras: desafios tecnológicos para viabilizá-los**. Revista Química Nova, vol. 32, n.3, São Paulo, 2009.

A Revista de circulação científica como a Scientific American - Brasil divulga o desenvolvimento de pesquisas científicas, nacionais e internacionais, com uma linguagem firme e concisa dirigida aos profissionais de diferentes áreas. Pode ser útil a professores e estudantes, que vêm na leitura uma fonte de conhecimentos.

- ✚ ASSUNÇÃO, J.V., **Procura-se um ar mais limpo**. Revista Scientific American – Brasil, n. 160, jun. 2009.
- ✚ LEITE, Rogério Cezar de Cerqueira. **Etanol, o melhor dos biocombustíveis**. Revista Scientific American – Brasil, n. 19, p. 53 – 57, edição especial, 2008
- ✚ WALD, Matthew L. **O Charme e o Poder das Renováveis**. Revista Scientific American Brasil. Edição Especial n.32, p. 08 – 13 ed. especial, 2008/2009.

## LIVROS

Os livros consultados são os de graduação na área de Química, Biologia, Biotecnologia e Ensino de Ciências, os quais serviram de apoio para a contextualização dos programas de ensino inseridos no contexto das pesquisas científicas abordadas na forma de textos do saber.

- BAIRD, Colin. **Química Ambiental** – 2 ed. – Porto Alegre: Bookman, 2002
- BROWN, T.L.; LE MAY, H.E.Jr.; BURSTEN, B.E.; BURDGE, J.R. **Química, A Ciência Central**. Traduzido por Robson Matos; consultores técnicos: André Fernando de Oliveira e Astréa F. de Souza Silva. – São Paulo: Pearson Practice Hall, 2005.




- DAINTITH, John. A **Dictionary of Chemistry**, 3 ed. Oxford, New York, Oxford University Press, 1996.
- GERPEN, J.V.; KRAHL, J.; RAMOS, L.P., **Manual de Biodiesel**. Ed. Edgard Blücher, 2008.
- NEIVA, J. **Conheça o Petróleo**. Assessoria técnica: Gilberto Dantas Veiga. 6.<sup>a</sup> ed., Rio de Janeiro, Expressão e Cultura, 1993.
- ODUM, E. P. **Ecologia**. Trad. Christopher J. Tribe. Rio de Janeiro, Guanabara, 1983.

VOLLHARDT, K. P. C.; SCHORE, N.E. **Organic Chemistry: Structure and Function**, 3.ed. New York, W. H. Freeman and Company, 1999.

## CENPES

Centro de excelência na pesquisa de combustíveis da Petrobrás. As inovações tecnológicas desenvolvidas em parceria com universidades, como a UFRJ e a UNICAMP, contribuem para o aperfeiçoamento de futuros profissionais nas áreas de ciências da natureza. A transposição didática dos resultados dessas pesquisas para o ensino de ciências poderá despertar nos estudantes o interesse pela área da Química.

Todo processo de produção e obtenção do petróleo e derivados, bem como as tecnologias mais recentes são publicadas no boletim técnico da Petrobras – revista de publicação trimestral – podendo ser consultada também através da *web*. As informações são muito relevantes e servirão para atualização dos professores que também venham se aventurar nesta busca.

 GOMES, H.O.; FILHO, J.F.O. **Metodologia de Avaliação da Lubricidade do óleo diesel**. Pesquisa e Desenvolvimento de Abastecimento, Combustíveis, Centro de Pesquisas (Cenpes). Boletim Técnico da Petrobrás, Rio de Janeiro, 48, (1/2): 37-52, jan./jun. 2005. Disponível em <<http://www2petrobras.com.br>>. Acesso em 25 maio 2008.

- Correção da lubricidade do óleo diesel metropolitano através do método HFRR (vibração sob alta frequência)

IORIO, S. M.B.M; GUIMARÃES, R.C.L. **Ocorrência de Compostos Aromáticos e Petróleos das Bacias Brasileiras**. Boletim Técnico da Petrobrás, Rio de Janeiro, 44 (1/4): 53-59, jan./dez. 2001. Disponível em <<http://www2petrobras.com.br>>. Acesso em: 12 Jun.2007

- A exploração de petróleo nas diversas bacias sedimentares dá origem a óleos com composição química variável. A pesquisa tem por objetivo analisar os percentuais de hidrocarbonetos aromáticos e benzeno em petróleos brasileiros, e que devido a questões de ordem toxicológica venham a causar impactos ao meio ambiente.
- ✚ KHALIL, C. N.; **As Tecnologias de Produção de Biodiesel**. Centro de Pesquisas da Petrobrás, dez. 2006. Disponível em: <<http://www2.petrobras.gov.br>>. Acesso em: 06/02/2009.
- ✚ PARENTE, E.J.S.; **Biodiesel no Plural**. Tecbio, Centro de pesquisa da Petrobrás, 2006.
- ZÍLIO, E. L.; PINTO, E.B. **Identificação e Distribuição dos Principais Grupos de Compostos Presentes nos Petróleos Brasileiros**. Pesquisa, Desenvolvimento e Abastecimento, Avaliação de Petróleos, Centros de Pesquisas (CENPES). Boletim Técnico Petrobrás, Rio de Janeiro, 45 (1): 21-25, jan./mar., 2002. Disponível em:< <http://www2petrobras.com.br> > . Acesso em: Jun./2007
  - O objetivo da pesquisa é demonstrar os resultados experimentais da aplicação conjunta de técnicas de cromatografia de fluido supercrítico (SFC) e cromatografia líquida de média pressão (MPLC) associada a procedimentos prévios de separação, na identificação dos principais componentes de petróleos e seus derivados.

## LMC

O Laboratório de Materiais e Combustíveis da UnB tem como referência a pesquisa de combustíveis alternativos aos derivados de petróleo. Os biocombustíveis são obtidos a partir de oleaginosas ou gordura animal, e são produzidos por meio de reações de transesterificação e craqueamento.

- ✚ SUAREZ, P. A Z.; SANTOS, A. F., **Óleos e Gorduras: Obtenção e fabricação de Combustíveis Alternativos**, Laboratório de Materiais e Combustíveis, Instituto de Química, Universidade de Brasília – UnB, 2007.

## MME

A Secretaria de Petróleo, Gás natural e Combustíveis Renováveis (SPG), vinculada ao Ministério das Minas e Energia apresenta publicações periódicas sobre petróleo e biocombustíveis, por meio de análise sobre a evolução e a eficiência dos motores automotivos. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/spg/menu/publicações.htm>>. Acesso em 13/08/2009.

- ✚ BRASIL. **Boletim Mensal do Gás Natural**. Ministério das Minas e Energia, MME, ANP, dez. 2008
- ✚ BRASIL. **Boletim Mensal da Qualidade dos Combustíveis Líquidos Automotivos Brasileiros**. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP. Superintendência de Biocombustíveis e de Qualidade de Produtos – SBQ, abril 2009.
- ✚ BRASIL. **Balço Energético Nacional – BEN** – Empresa de Pesquisa Energética- EPE, 2008, Ministério das Minas e Energia, MME. Disponível e <<http://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 5 jan.2009.
- ✚ BRASIL. **Panorama Atual da Indústria Brasileira de Álcool Combustível**. Superintendência de Comercialização e Movimentação de Petróleo, seus Derivados e Gás Natural. ANP, jun. 2007. Disponível em <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em 20 jun.2009.
- ✚ BRASIL. **Petróleo e Derivados** – Esquema de Produção. ANP, MME. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/petro/refino-esquema-produção.asp>> Acesso em: 21 ago. 2009.

## MMA

O Ministério do Meio Ambiente por meio da CEMA (Coordenação de Energia e Meio Ambiente) desenvolve estudos e projetos de apoio ao uso de alternativas energéticas, ambientalmente adequadas e socialmente justas.

- ✚ BRASIL. Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima, Decreto nº 6.263, 21 nov. 2004. Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acesso em: 27 jan. 2009.
- ✚ IPCC, 2007: **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon S., Z. Chen, D. Qin, M. Manning, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- ✚ BRASIL. **Qualidade Ambiental nas Cidades**. Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos automotores. PROCONVE. Ministério do Meio Ambiente, 2008.

## MCT

O Ministério da Ciência e Tecnologia por meio do INT (Instituto Nacional de Tecnologia) atua na pesquisa de gás natural e petróleo para fins energéticos, e no desenvolvimento tecnológico e inovação no uso de biocombustíveis.

- ✚ BRASIL. **A visão da Área de biocombustíveis por parte de Produtores e Traders**, I Painel Setorial INMETRO sobre Biocombustíveis. Programa Brasileiro em Certificação em Biocombustíveis: A perspectiva do setor produtivo - 23 jun. 2007. Petrobrás.
- ✚ BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Alternativas Tecnológicas Sustentáveis no Processamento de óleos vegetais** – EQE 706 – Centro de Gestão de Estudos Estratégicos, Brasília, 2005.
- BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Aspectos Tecnológicos do biodiesel**. Grupo de Trabalho Interministerial-Biodiesel. Brasília, 2005. Disponível em: < <https://www.biodiesel.gov.br>>. Acesso em: 10 jul. 2008.
- BRASIL. **Parcerias Estratégicas – Mudança do Clima no Brasil: Vulnerabilidade, Impactos e Adaptação**, n. 27, dez. 2008, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), Brasília, DF, p. 1- 360, Ministério da Ciência e Tecnologia, MCT

## MAPA

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, por meio do Plano Nacional de Agroenergia tem como um dos objetivos: apoiar a mudança da matriz energética, com vista em sua sustentabilidade.

- ✚ BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Produção e Agroenergia. **Plano Nacional de Agroenergia 2006 – 2011** 2.<sup>a</sup> ed. revisada, Brasília, DF.
- ✚ BRASIL. **Guia do Combustível Renovável**. Agroenergia para um Mundo Sustentável. Ministério da Agricultura. MAPA, jun. 2009.
- ✚ EMBRAPA. Aquecimento Global e a Nova Geografia da Produção Agrícola no Brasil. Publicação produzida a partir do estudo “Aquecimento Global e Cenários Futuros da Agricultura Brasileira, coordenado pelos pesquisadores Eduardo Assad (Embrapa Agropecuária) e Hilton Silveira Pinto (Cepagri, Unicamp), São Paulo, agosto de 2008.
  - Os pesquisadores avaliam como o aquecimento global poderá alterar a atual configuração agrícola do país. As culturas pesquisadas são: café, algodão, arroz, cana-de-açúcar, girassol, feijão, soja etc. A avaliação foi feita com base na tecnologia de zoneamento de riscos climáticos desenvolvida pelo Ministério da Agricultura e Desenvolvimento Agrário em cooperação com a Embrapa, Unicamp e outras instituições científicas.

### Sugestões de sites na *Web*

- ✚ Associação de Combustíveis Renováveis. O Etanol Celulósico. Disponível em: < <http://www.ethanorfa.org/resource/cellulosic>>. Acesso em: 11 març. 2009
- ✚ Mudanças Climáticas. Disponível em: < <http://www.bioclimatic.com.br>> Acesso em: 2 mai. 2009.

✚ II Simpósio Nacional sobre Biocombustível. Disponível em: < <http://www.abq.org.br/biocom/>> Acesso em: 18 abr. 2008.

✚ O Novo Combustível do Brasil. Disponível em < <http://www.biodiesel.gov.br/>>

Tudo sobre biodiesel. Disponível em: < <http://www.biodiesel.com>>

## ANEXO 1

### **ARTIGO CIENTÍFICO**

BIOCOMBUSTÍVEIS A PARTIR DE ÓLEOS E GORDURAS: DESAFIOS  
TECNOLÓGICOS PARA VIABILIZÁ-LOS

## TEXTO VI

### BIOCOMBUSTÍVEIS A PARTIR DE ÓLEOS E GORDURAS: DESAFIOS TECNOLÓGICOS PARA VIABILIZÁ-LOS.

#### INTRODUÇÃO

A crise do petróleo que se instaurou nas últimas décadas, aliada ao aumento da demanda por combustíveis e à crescente preocupação com o meio ambiente, preconizou a busca por fontes alternativas de energia no Brasil e no mundo.<sup>1,2</sup> As pesquisas têm se concentrado no desenvolvimento de novos insumos básicos, de caráter renovável, para a produção de combustíveis que possam substituir os derivados de petróleo, o que coloca a biomassa em um papel de destaque, em razão da sua natureza renovável, ampla disponibilidade, biodegradabilidade e baixo custo.<sup>3</sup>

Além do desenvolvimento científico e tecnológico, uma questão que permeia a utilização de biomassa para produzir combustível é o dilema entre a segurança alimentar e energética. Se, por um lado, Brasil e Estados Unidos incentivam a produção dos biocombustíveis chamados de primeira geração, tais como álcool e biodiesel, por outro lado diversos países e organismos internacionais mostram a preocupação no aumento da crise mundial dos alimentos, argumentando que ela foi agravada pelo deslocamento das áreas tradicionalmente utilizadas para o cultivo de alimentos para a produção de insumos destinados à indústria dos biocombustíveis.

No atual estado da arte é provável que em muitos países ocorra o deslocamento das áreas destinadas à produção de alimentos para que se possa produzir biocombustíveis, mas no Brasil há várias opções viáveis para que não haja tal problema. Por exemplo, pastagens já abandonadas pela agropecuária no Centro-oeste ou áreas degradadas da Amazônia poderiam servir, respectivamente, de terras para o plantio de cana-de-açúcar e palmáceas oleaginosas destinadas à produção dos biocombustíveis, sem prejudicar a produção de alimentos. Vale ressaltar, ainda, que o Brasil detém tecnologia altamente eficiente para a produção de etanol a partir da cana-de-açúcar. Segundo estimativa do IBGE, em 2008 todo o complexo da cana-de-açúcar ocupou apenas 13,35% da área utilizada para agricultura no Brasil,<sup>4</sup> sendo suficiente para produzir o açúcar para abastecer o nosso consumo interno e exportação e suprir a nossa demanda crescente por etanol combustível.

Em suma, a realidade brasileira garante alguma tranquilidade no que diz respeito à disponibilidade de áreas para o cultivo de matérias-primas dos biocombustíveis para abastecer o mercado local, mas a maioria dos países apresenta problemas potenciais

de impacto na produção de alimentos. Esta conjuntura torna imperativo o desenvolvimento de novas tecnologias e a busca por matérias-primas alternativas no sentido de melhorar a produção energética e o potencial econômico em relação ao biodiesel ou ao álcool, dentro de um modelo sustentável e capaz de suprir a demanda por alimentos. Há um esforço mundial neste sentido que é compartilhado pelo Brasil porque, apesar de não haver aparente risco de segurança alimentar, o avanço tecnológico poderá permitir ao nosso país se firmar como um dos líderes mundiais na produção de biocombustíveis sem prejudicar a nossa produção de alimentos.

No que diz respeito às matérias-primas para a produção dos biocombustíveis de primeira geração (biodiesel e álcool), uma primeira idéia foi utilizar resíduos domésticos e agroindustriais de baixo valor agregado. As primeiras rotas alternativas a serem exploradas no Brasil, e que já estão em funcionamento comercial, foram o uso de óleos residuais de frituras<sup>5</sup> e a esterificação de ácidos graxos,<sup>6</sup> que permitem a produção de biodiesel utilizando passivos ambientais de residências ou restaurantes e das indústrias de processamento de óleos e gorduras. Menos adiantadas, existem também diversas pesquisas para obtenção de álcool a partir de resíduos celulósicos, principalmente utilizando bagaços e palhas oriundos do setor agroindustrial. Mais recentemente, diversos estudos têm reportado, na mídia e literatura especializada, o potencial de fontes oleaginosas não usuais, não raro consorciando oleaginosas perenes, como a macaúba e o pinhão-manso, com produção de gado e grãos, ou, ainda, o desenvolvimento de biorreatores para a produção de óleos a partir de algas.

As rotas de obtenção dos chamados biocombustíveis de segunda geração, tais como a produção de hidrocarbonetos a partir de materiais graxos, também têm sido investigadas. Os processos alternativos mais discutidos atualmente no Brasil são o craqueamento, o hidrocraqueamento (H-Bio) e o eletrocraqueamento. Estas rotas têm a vantagem de permitir o uso de insumos residuais de baixa pureza e baixo custo.

Neste trabalho pretende-se abordar questões relacionadas às tecnologias que estão sendo estudadas no sentido de produzir combustíveis alternativos passíveis de serem utilizados como substituto: diesel utilizando como matérias-primas ácidos graxos e seus derivados.

#### Matérias-Primas Alternativas

Conforme o que foi discutido até aqui, há hoje um interessante debate sobre biocombustíveis sendo travado. De um lado, países como o Brasil e os

Estados Unidos incentivam a produção destes em larga escala, defendendo a tese de que poderia ser esta uma alternativa economicamente viável de



substituição dos combustíveis fósseis, além de minimizar problemas ambientais. Em contraponto, países como Cuba e Venezuela questionam se o aumento da produção de biocombustíveis não deslocaria a produção de áreas cultiváveis para a produção de alimentos, aumentando problemas sociais de fome na América Latina e outras regiões pobres do planeta. Portanto, um dos grandes desafios dos processos de produção de biocombustíveis é dispor de matérias-primas capazes de atender às expectativas dos programas energéticos sem impactar de forma significativa a produção de alimentos.

Na Tabela 1 existe um quadro comparativo entre as produtividades, por hectare, de diversas fontes de óleos e gorduras tradicionais e também de algas.<sup>7</sup> Evidentemente, os dados relatados na ref. 7 e apresentados na Tabela 1 representam valores médios aceitos na literatura e não são absolutos, pois a produtividade de culturas agrícolas depende de inúmeros fatores, como clima, nutrientes no solo, irrigação, entre outros. Percebe-se claramente a partir desses dados que a soja possui uma produtividade muito baixa em lipídeos, demandando enormes quantidades de terra para suprir os mercados de biocombustíveis. No entanto, a soja corresponde hoje a aproximadamente 90% da produção brasileira de óleos,<sup>8</sup> o que faz com que seja a matéria-prima preferencial da indústria de biodiesel. Conforme o Ministério das Minas e Energia, a participação do óleo de soja na produção de biodiesel no país cresceu em 2008 de 78% em janeiro para 85% em novembro.<sup>9,10</sup> No entanto, fica claro que o aumento na demanda por óleos para produção de biocombustíveis dificilmente poderá ser atendido pela soja ou outros cereais como milho ou canola, uma vez que demandaria uma larga extensão de terra agriculturável. Uma produtividade melhor é alcançada com o uso de palmáceas, tidas por muitos especialistas em produção agrícola como as únicas viáveis hoje para atender programas de biodiesel em larga escala com baixo impacto na produção de alimentos.

Dentre as alternativas para produção de óleos e gorduras a partir da agricultura, tem-se dado um destaque especial à família *Jatropha*, especialmente ao gênero *Curcas*, conhecido no Brasil como pinhão-manso.<sup>11</sup> Esta planta, assim como outras espécies da família *Jatropha*, é ainda pouco conhecida, mas pelo fato de ser perene e de se adaptar muito bem em regiões semi-áridas tem sido apontada como ideal para a produção de óleos no nordeste brasileiro, utilizando a agricultura familiar.<sup>11</sup> Apesar de ser ainda bastante controversa a produtividade destas espécies devido ao pouco estudo científico, vários pesquisadores garantem que se pode obter por hectare até 2200 litros de óleo ao ano.<sup>12</sup>

O cultivo de microalgas também é promissor para a produção de biocombustíveis. Além da alta produtividade (Tabela 1), inúmeras outras vantagens podem ser apontadas,<sup>7,13</sup> tais como, um ciclo de vida de poucos dias, permitindo colheitas contínuas e diminuindo as necessidades de logística de armazenagem necessárias para o caso de culturas anuais e, a possibilidade de utilizar como insumo para

a fotossíntese das algas o CO<sub>2</sub> oriundo de empresas poluidoras, o que colabora para a diminuição das emissões que contribuem para o efeito estufa. No entanto, a produção industrial de óleos a partir de microalgas ainda apresenta uma série de problemas tecnológicos:<sup>13</sup> existe sempre a possibilidade de ataque de cepas de algas ou outros micro-organismos selvagens não produtores de óleos, ou que o produzem em menor quantidade ou com composição indesejada; necessidade de se manter constante os diversos parâmetros de processo, tais como temperatura, pH e concentração dos nutrientes, pois a alteração desses parâmetros pode levar a uma queda acentuada na produção e mesmo a uma morte total do cultivo; os nutrientes necessários para o crescimento das algas, além do CO<sub>2</sub>, são bastante caros; após o crescimento das algas, deve-se proceder à colheita, que significa separar esses organismos unicelulares e microscópicos do meio de cultura, não havendo ainda tecnologia adequada disponível para realizar essa operação em larga escala; após isolar as algas se deve extrair o óleo, sendo para isso necessário romper a parede celular das mesmas, não sendo possível utilizar os processos industriais usuais de extração; e, finalmente, o óleo produzido tem alto teor de água e de ácidos graxos livres, o que impede o seu uso direto em processos alcalinos tradicionais de obtenção de biodiesel (veja discussão sobre produção de biodiesel). Tais dificuldades fazem com que o custo de produção de óleo a partir do cultivo de algas seja hoje até 20 vezes superior ao custo a partir da soja, não havendo previsão para que nos próximos anos esta tecnologia possa ser usada em larga escala.<sup>13</sup> Ou seja, ainda falta muita pesquisa e desenvolvimento para viabilizar o processo de obtenção de óleo a partir de algas para abastecer a indústria de biodiesel.

Outras matérias-primas que têm sido apontadas para a obtenção de biodiesel são os materiais graxos residuais, tanto de origem doméstica quanto industrial. As gorduras animais resultantes, principalmente, do abate de gado, aves e suínos são matérias-primas mais disponíveis hoje e estão sendo usadas para a produção de biodiesel em escala comercial no Brasil.<sup>9,10</sup> Essas gorduras são uma alternativa para o problema de equilíbrio entre a produção de alimentos e energia, e apresentam um custo mais competitivo do biocombustível em relação aos combustíveis fósseis. No Brasil sobram por ano cerca de 500 mil toneladas de gorduras provenientes do abate de animais.<sup>14</sup> Deve-se destacar que muitas dessas gorduras não têm um fim comercial, resultando em um enorme passivo ambiental para os frigoríficos que a produzem. Outro exemplo são as gorduras residuais de fritura,<sup>5</sup> de origem doméstica ou restaurantes e indústrias de alimentos, e esgotos domésticos, cujas maiores limitações são organizar sistemas eficientes de coleta e purificação.

**Tabela 1.** Comparação de algumas fontes de matéria-prima para a produção de biodiesel. Adaptada da ref. 7

Fonte de biodiesel	Produtividade de óleo (L ha <sup>-1</sup> )	Área necessária (Mha) <sup>a</sup>
Milho	172	1540
Soja	446	594
Canola	1190	223
Coco	2689	99
Óleo de palma	5950	45
Microalga <sup>b</sup>	136900	2
Microalga <sup>c</sup>	58700	4,5

<sup>a</sup>Área suficiente para atender a 50% da demanda de combustível nos EUA; <sup>b</sup>variedades com 70% óleo (por peso) na biomassa; <sup>c</sup>variedades com 30% óleo (por peso) na biomassa.

Diante das diversas fontes de óleos e gorduras com potencial para produzir um combustível que venha a substituir parcial ou totalmente o diesel fóssil, deve-se ter clareza que três aspectos possam ser atendidos: viabilidade técnica e econômica para a produção e obtenção do óleo ou gordura em escala suficiente para atender à demanda pelo biocombustível; viabilidade técnica e econômica para transformá-lo em biocombustível; e, garantias de que a qualidade do biocombustível produzido será compatível com o seu uso em motores veiculares ou estacionários. Caso um desses três aspectos não seja contemplado, certamente não se deve considerar a fonte como matéria-prima potencial para programas energéticos.

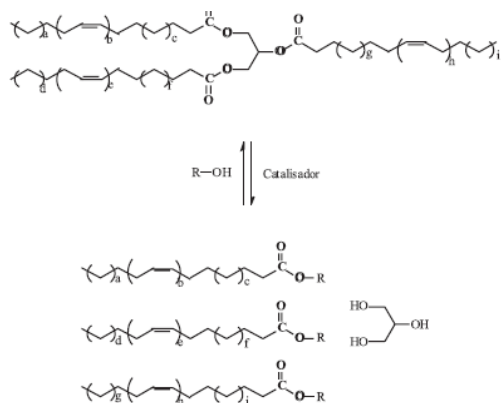
Os principais componentes de óleos e gorduras são os ácidos graxos que podem estar livres ou esterificados com glicerol nas formas de mono-, di- ou triacilglicerídeos. Também podem ser encontrados fosfatídeos, que são ésteres mistos de glicerina com ácidos graxos e o ácido fosfórico. Além dos compostos ácidos graxos e seus derivados, outros em menor quantidade, como esteróis, ceras, antioxidantes, vitaminas, também estão presentes, tornando os óleos e gorduras uma mistura bastante complexa.<sup>15</sup> Obviamente, as propriedades físico-químicas e a reatividade dessas misturas variam enormemente em função da sua composição, o que irá definir a viabilidade técnica e econômica do seu uso como matéria-prima para a produção de um biocombustível e o uso do mesmo.

O uso da mamona, por exemplo, foi largamente incentivado no Brasil para a produção de biodiesel. Porém, após ocorrer um grande incentivo para a produção desta oleaginosa, o que levou agricultores de todas as regiões do país a iniciar o cultivo, viu-se que tanto o processo de produção do biodiesel era difícil quanto a qualidade do combustível obtido não era adequada, sendo praticamente abandonado seu uso industrial no Brasil.<sup>9</sup> Esta característica se deve

porque o óleo de mamona apresenta um grupo hidroxila na cadeia carbônica do ácido ricinoléico, que compõe cerca de 90% do óleo de mamona. Tal característica química promove uma maior

viscosidade e densidade ao óleo e ao biodiesel, não atendendo às propriedades desejadas do biocombustível.<sup>16</sup> Por outro lado, óleos ou gorduras muito insaturados (por exemplo, o óleo de tungue) ou pouco insaturados (por exemplo, o sebo de boi) também levam à produção de biodiesel com problemas de qualidade. No primeiro caso, o excesso de duplas ligações pode levar à polimerização pelo contato com o ar ou, quando aquecidos, à polimerização oxidativa do biodiesel, durante seu armazenamento ou uso. Já o excesso de cadeias completamente saturadas aumenta o ponto de fusão do combustível, o que limita o seu uso em regiões de clima temperado e frio. Cabe destacar que estes problemas muitas vezes podem ser contornados com o uso de aditivos, por exemplo, antioxidantes,<sup>17</sup> ou utilização de misturas de duas ou mais matérias-primas de forma a obter misturas com propriedades que melhoram tanto o seu processamento para gerar o biocombustível<sup>18</sup> quanto as propriedades finais do mesmo.<sup>19</sup>

Outros exemplos que corroboram a necessidade de se avaliar a viabilidade técnica e econômica e a qualidade do biocombustível obtido são os insumos produzidos a partir de palmáceas, *Jatropha*, algas e gorduras residuais, os quais possuem alto teor de ácidos graxos livres. Estes altos teores ácidos impedem o seu uso direto em processos alcalinos tradicionais de obtenção de biodiesel (veja discussão sobre produção de biodiesel), necessitando processos prévios de purificação, o que pode muitas vezes inviabilizar economicamente o seu uso.



**Figura 1.** Reação de transesterificação ou alcoólise de triacilglicerídeos. Observações: (i) esta reação ocorre em sucessivas etapas onde di- e monoacilglicerídeos são formados, as quais foram omitidas para simplificar a figura; (ii) dependendo da fonte do óleo ou da gordura existe variação no número de carbonos, que geralmente é um número par, e de insaturações

## ALTERNATIVAS DE PROCESSO

### Processos de obtenção de ésteres metílicos e etílicos de ácidos graxos: biodiesel

A principal tecnologia para obtenção de biodiesel no Brasil e no mundo é a transesterificação (ou alcoólise) alcalina homogênea de óleos e gorduras. Nessa reação, o óleo ou gordura, que são compostos basicamente de triésteres da glicerina com ácidos graxos, é misturado a metanol ou etanol e, na presença de um catalisador, dá origem a uma mistura de ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos e glicerina, conforme ilustrado na Figura 1.<sup>20</sup> Essa mistura de ésteres metílicos ou etílicos é o que hoje se conhece como biodiesel. A reação de transesterificação é bem estudada e estabelecida principalmente utilizando-se catalisadores ácidos ou básicos de Bronsted. Os catalisadores básicos, principalmente soda cáustica ou outras bases fortes, tornaram-se dominantes principalmente devido aos seus baixos custos e rapidez do processo.<sup>21,22</sup>

Porém, o processo de transesterificação alcalina homogênea requer matérias-primas de alta pureza, praticamente isentas de ácidos graxos livres, fosfatídeos e água, o que significa uma limitação e pode comprometer o futuro da hegemonia dessa tecnologia. De fato, os ácidos graxos e fosfatídeos reagem rapidamente com catalisadores básicos tradicionais levando à formação de sabões e ao consumo de parte do catalisador. Para garantir uma eficiência catalítica torna-se necessário um excesso deste, contudo permanece a dificuldade da separação da glicerina e do biodiesel ao final do processo.<sup>23,24</sup> Essa separação pode até mesmo ser inviabilizada ou tornada mais onerosa devido à lavagem e purificação. Por outro lado, a presença de água favorece também a reação de hidrólise dos ésteres presentes e dos glicerídeos formando ácidos graxos que, por sua vez, consomem catalisador e formam mais sabão.<sup>3</sup> Como existem no processo diversas reações reversíveis em equilíbrio,<sup>25</sup> uma solução para este problema seria a adição de grandes excessos de álcool e catalisadores, porém isto só é possível para teores não muito altos de impurezas, além de encarecer o processo de produção de biodiesel.<sup>3</sup> Assim, o uso de óleos e gorduras brutas ou álcool hidratado, algo extremamente desejável a fim de

tornar o processo mais barato, torna-se impossível pela rota alcalina tradicional, pois seria muito difícil obter um biodiesel em conformidade com as especificações exigidas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP.<sup>26</sup>

Por estas razões, nas últimas duas décadas intensificaram-se os estudos no sentido de encontrar catalisadores alternativos, que possibilitem aperfeiçoar os processos industriais de alcoólise de triacilglicerídeos.<sup>27</sup> O principal objetivo desses estudos é encontrar um processo onde as espécies cataliticamente ativas possuam menor sensibilidade à presença de ácidos graxos livres e água, facilitando a separação e purificação dos produtos no final da reação e possibilitando a recuperação e reutilização dos catalisadores. Como alternativa aos catalisadores básicos tradicionais, diversas novas classes foram propostas, tais como enzimas, bases orgânicas, complexos metálicos, aluminossilicatos e óxidos metálicos, sendo estes estudos recentemente discutidos em artigo de revisão.<sup>3</sup> A principal vantagem destas novas classes de catalisadores é o fato deles não formarem sabões na presença de ácidos graxos livres e fosfolipídios, o que facilita a separação dos produtos no final da alcoólise. Alguns deles ainda são facilmente recuperáveis e reutilizáveis.

Outra proposta para transformar matérias-primas com altos teores de ácidos graxos em biodiesel é utilizar a reação de esterificação destes ácidos com metanol ou etanol, conforme representado na Figura 2.<sup>28</sup> Diversos trabalhos da literatura descrevem sistemas para a esterificação de ácidos graxos baseados em precursores catalíticos ácidos de Bronsted ou de Lewis em condições homogêneas, bifásicas e heterogêneas.<sup>23,24,28-35</sup> Os catalisadores homogêneos, geralmente ácidos minerais fortes, estão associados a problemas de corrosão de equipamentos e a dificuldades de separação dos produtos. Já os catalisadores heterogêneos possuem baixa performance por restrições no processo de transferência de fase. Tais limitações impulsionam a pesquisa e o desenvolvimento de sistemas catalíticos que possuam alta

atividade, fácil recuperação e evitem a corrosão dos equipamentos.

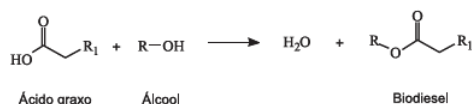


Figura 2. Reação de esterificação de ácidos graxos

No Brasil, a esterificação é utilizada em escala industrial em um processo desenvolvido pela empresa Agropalma em parceria com a Universidade Federal do Rio de Janeiro. Este processo utiliza catalisadores sólidos com acidez de Bronsted e Lewis, como zeólitas e materiais com zircônio e alumínio, para obtenção de biodiesel a partir de resíduos de baixo valor.<sup>6</sup> Os catalisadores mostraram-se ativos para a esterificação de uma mistura obtida após o refino do óleo de palma contendo 80% de ácido graxo livre. Industrialmente é utilizado óxido de nióbio hidratado como catalisador. O processo está representado na Figura 3.

Entretanto, se por um lado há uma desvantagem em converter um substrato rico em ácidos graxos via transesterificação devido à formação de emulsões, por outro este mesmo substrato também não é ideal para a esterificação direta, agora pela presença dos triacilglicerídeos. Cabe ressaltar que a transesterificação promovida por catalisadores ácidos de Bronsted é mais lenta que a de esterificação. Assim, o produto final do processo contém altos teores de triglicerídeos, sendo necessário destilar a mistura à baixa pressão e alta temperatura, para purificar o biodiesel.

Uma alternativa para este tipo de substrato é promover previamente uma reação de hidrólise seguida pela esterificação dos ácidos graxos obtidos. O processo de hidroesterificação, hidrólise seguida de esterificação, favorece a utilização de matérias-primas de qualquer teor de ácidos graxos e umidade: óleos de plantas oleaginosas, resíduos gordurosos industriais, óleos de frituras, subprodutos de refino de óleos vegetais. Tradicionalmente, os ácidos graxos são obtidos pela saponificação de óleos ou gorduras com hidróxidos de sódio ou potássio, seguida pela acidificação com ácido mineral, usualmente ácido sulfúrico.

A reação de hidrólise acontece na fase orgânica por meio de três etapas consecutivas e reversíveis, nas quais são formados diacilglicerídeos e monoacilglicerídeos como intermediários, resultando em uma molécula de ácido graxo em cada etapa. Na indústria, existem dois procedimentos mais difundidos, os quais utilizam catalisadores ácidos. O primeiro é realizado em autoclave ou em reator tubular contínuo, no qual se utilizam pressões em torno de 100-7000 kPa e temperaturas de 100 a 360 °C, sendo necessário catalisadores como os óxidos de zinco e cálcio quando a temperatura é inferior a 200 °C.<sup>36</sup> Já o segundo, processo Twitchell, ocorre à temperatura de 100 °C, pressão atmosférica, meio ácido e um catalisador de transferência de fase como os ácidos alqui-aryl-sulfônicos ou cicloalifático-sulfônicos.<sup>36-38</sup> Algumas melhorias para acelerar o processo Twitchell têm sido relatadas, como o uso diretamente de catalisadores de transferência de fase, tanto em meio ácido como básico, ou o uso destes com aplicação de ultrassom.<sup>39,40</sup>

Trabalhos mais recentes revelaram que a hidrólise de óleos e gorduras pode ser catalisada por enzimas, mais especificamente por lipases.<sup>41-43</sup> Ting *et al.* demonstraram que essas enzimas apresentam atividades tanto se colocadas livres no meio reacional como imobilizadas em algum polímero ou gel e não há a necessidade de altas temperaturas e nem de altas pressões.<sup>43</sup> Também tem sido estudada a hidrólise em condições supercríticas. A água em estado supercrítico apresentou bons resultados, além de ser considerada uma rota limpa, pois não utiliza solvente nem catalisadores que podem ser nocivos ao meio ambiente.<sup>44,45</sup> Foi ainda reportado o uso de CO<sub>2</sub> supercrítico como solvente, sendo observado que este possui as mesmas vantagens da água supercrítica e ainda facilita o processo de separação dos ácidos graxos dos outros produtos.<sup>46</sup>

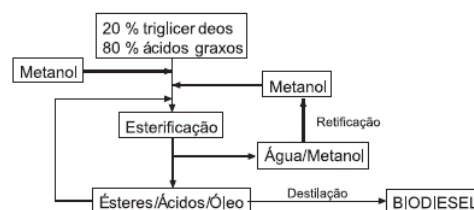


Figura 3. Processo comercial de obtenção de biodiesel por esterificação de um coproduto ácido gerado durante a neutralização de óleo de palma

### Processos de obtenção de hidrocarbonetos: bio-óleo

A reação de craqueamento de triacilglicerídeos consiste na quebra de ligações envolvendo os grupos funcionais éster e, em menor grau, as cadeias carbônicas dos triésteres componentes dos óleos e gorduras formando uma mistura de compostos constituída principalmente de hidrocarbonetos e, em menor quantidade, compostos oxigenados.<sup>3</sup> A Figura 4 mostra um esquema geral da reação de craqueamento de óleos e gorduras.

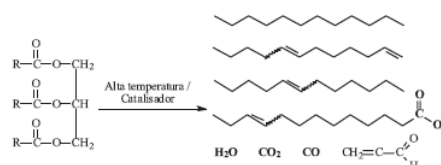
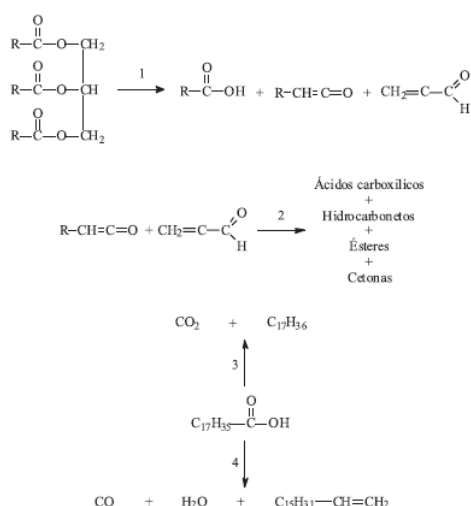


Figura 4. Reação de craqueamento de triacilglicerídeos. Note que devido à complexidade das reações foram colocados apenas exemplos ilustrativos, sendo ilustrados os principais produtos obtidos

A reação de craqueamento ocorre a temperaturas superiores a 350 °C, na presença ou ausência de catalisadores, em diversas etapas distintas e consecutivas.<sup>47-49</sup> Na primeira etapa, mostrada na reação 1 da Figura 5, que é chamada craqueamento primário, são formadas duas moléculas de ácidos carboxílicos, uma molécula de ceteno e acroleína. A mistura formada é extremamente instável nas condições reacionais e reage rapidamente, conforme mostrado na reação 2 da Figura 5, formando novos ácidos carboxílicos, hidrocarbonetos,

aldeídos e cetonas. Numa segunda etapa de craqueamento, chamada de craqueamento secundário, verifica-se a desoxigenação dos produtos formados no craqueamento primário, principalmente os ácidos carboxílicos. De fato, os ácidos carboxílicos formados durante o craqueamento primário e reações de rearranjo são desoxigenados no craqueamento secundário, que pode ocorrer por duas rotas distintas: descarboxilação e descarbonilação, conforme mostrado nas reações 3 e 4 da Figura 5.<sup>50</sup> Posteriormente, podem ocorrer inúmeras reações consecutivas, tais como rearranjos, craqueamento das cadeias carbonílicas, acoplamentos radiculares, entre outras. Existem trabalhos na literatura que demonstram que os produtos finais do craqueamento dependem de diversos fatores, tais como a composição química da matéria-prima utilizada, temperatura do processo, tempo de residência, presença e de catalisadores e vapor.<sup>51,52</sup>



**Figura 5.** Algumas reações que ocorrem durante o processo de craqueamento. Note que devido à complexidade das reações foram colocados apenas exemplos ilustrativos, pois mais de 500 produtos podem ser formados durante o craqueamento de um triglicerídeo simples

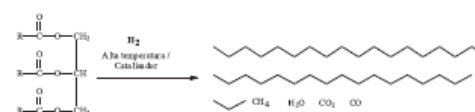
Recentemente, foi mostrado que apenas com destilação dos produtos obtidos pelo craqueamento térmico, sem uso de catalisadores, é possível isolar um biocombustível que satisfaz os parâmetros exigidos para o diesel de petróleo, mostrando que o produto craqueado poderia ser utilizado diretamente nos motores, sem a necessidade de modificações.<sup>53</sup> Posteriormente, diversos estudos foram realizados com este combustível de forma a analisar outras propriedades não especificadas pela ANP, como poder calorífico,<sup>54</sup> lubrificidade,<sup>55</sup> tensão superficial,<sup>56</sup> estabilidade térmica e química,<sup>57</sup> poder tensoativo, sendo observado que ele possui propriedades semelhantes às do diesel fóssil. No entanto, o produto formado apresenta uma alta acidez devido à presença de ácidos graxos. Apesar da corrosividade ao cobre não superar à do diesel nos testes realizados,<sup>57</sup> testes de longo prazo em motores são ainda necessários para se definir se o produto pode ou não ser usado em máquinas convencionais.

No sentido de alterar a seletividade dos produtos do craqueamento de óleos e gorduras, além da variação de temperatura, diferentes estratégias têm sido adotadas, como o uso de vapor de água ou de catalisadores

heterogêneos. Durante o craqueamento de óleo de canola na presença de vapor de água, foi verificado que a hidrólise dos triacilglicerídeos para a formação de ácidos graxos foi facilitada,<sup>19</sup> mas ocorreu também uma inibição na etapa de decomposição destes para a formação de hidrocarbonetos. Por outro lado, a estratégia do uso de catalisadores heterogêneos vem demonstrando que catalisadores sólidos que apresentam acidez de Lewis, como aluminossilicatos e óxidos, são eficientes para promover a desoxigenação dos produtos, sendo a seletividade dos produtos dependente da natureza do sólido utilizado. Por exemplo, a desoxigenação dos produtos da decomposição térmica de óleo de soja é favorecida quando a reação é realizada na presença de diferentes zeólitas,<sup>58-60</sup> sendo também observado que reações de craqueamento da cadeia dos hidrocarbonetos formados, ciclizações e aromatização levam à formação de um produto próximo à faixa da gasolina (8-10 carbonos). Já aluminossilicatos não estruturados e ( $\gamma$ -alumina)<sup>61,62</sup> são também eficientes na desoxigenação dos produtos formados, diminuindo as reações de craqueamento da cadeia carbônica e de ciclização e aromatização, gerando um biocombustível com perfil de destilação próximo ao do diesel. Por outro lado, foi relatado que alguns catalisadores, como óxidos básicos MgO e CaO<sup>59</sup> ou Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub><sup>63</sup> e alguns derivados,<sup>64</sup> estabilizam os ácidos carboxílicos formados levando a produtos com acidez superior à verificada no craqueamento térmico.

No Brasil, uma miniusina para craqueamento de óleos e gorduras em pequena escala foi desenvolvida visando a autossuficiência energética de fazendas e comunidades isoladas.<sup>65</sup> Nesta usina óleos ou gorduras são craqueados e posteriormente destilados em regime contínuo, gerando produtos que atendem às especificações do diesel de petróleo.

O processo de obtenção de hidrocarbonetos a partir de óleos e gorduras sob altas pressões de hidrogênio e na presença de catalisadores é chamado de hidrocrackeamento. Um esquema da reação de hidrocrackeamento de óleos e gorduras é mostrado na Figura 6. O hidrocrackeamento de óleos vegetais ainda é pouco estudado e praticamente não existem trabalhos na literatura aberta com estudos detalhados deste processo. Um dos poucos artigos disponíveis refere-se a um estudo do hidrocrackeamento de óleos de babaçu e de soja na presença de Ni/SiO<sub>2</sub> e sulfetos de Ni-Mo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.<sup>50</sup> Nesse trabalho, além de serem feitos diversos estudos termodinâmicos da reação, concluiu-se que o hidrocrackeamento de óleos pode ser uma alternativa viável para a produção de combustíveis sucedâneos ao petróleo, pois que a pirólise dos óleos de babaçu e de soja na presença de hidrogênio molecular levou à formação quase que exclusiva de hidrocarbonetos.



**Figura 6.** Reação de hidrocrackeamento de triacilglicerídeos. Note que devido à complexidade das reações foram colocados apenas exemplos ilustrativos, sendo ilustrados os principais produtos obtidos

Devido à grande similaridade do hidrocrackeamento com a dessulfurização de diesel utilizado nas refinarias de petróleo, a Petrobras desenvolveu o processo H-BIO.<sup>66</sup>

Este processo consiste basicamente na mistura de óleos ou gorduras com correntes de diesel que passam pelo reator de dessulfurização, formando um diesel de excelente qualidade.

Outro processo alternativo, passível de ser empregado com o intuito de viabilizar a utilização de óleos e gorduras como insumos combustíveis, baseia-se em uma reação conhecida como descarboxilação anódica de triacilglicerídeos e derivados ou eletrocrackeamento. Esta reação, muitas vezes chamada apenas eletrólise de Kolbe, é muito estudada e conhecida em eletrossíntese orgânica, porém pouco empregada para fins tecnológicos, em especial na obtenção de substitutos aos hidrocarbonetos fósseis como fontes alternativas de energia. Apesar de Faraday haver realizado a eletrólise de soluções aquosas de acetatos em 1834, foi Kolbe, em 1849, quem reconheceu a reação e a aplicou à síntese de uma série de hidrocarbonetos.<sup>67</sup> Esta reação é um método eficiente na geração de radicais para fins sintéticos e bastante utilizada em síntese orgânica.<sup>68</sup> A eletrólise de Kolbe é definida como a oxidação eletroquímica de um elétron de íons carboxilatos, que podem ser obtidos a partir de ácidos carboxílicos ou ésteres, com subsequente descarboxilação,<sup>69</sup> levando a radicais que se dimerizam em produtos de homoacoplamento, de acordo com a Figura 7.

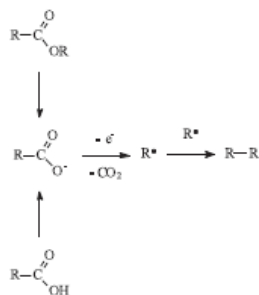


Figura 7. Esquema da eletrólise de Kolbe. Note que devido à complexidade das reações foram colocados apenas exemplos ilustrativos, sendo ilustrados

Em relação aos ácidos graxos e seus derivados, sabe-se que é possível descarboxilá-los por meio da oxidação anódica. Para tal, podem ser usados óleos ou gorduras, que devem ser previamente saponificados, ou resíduos (borras) ácidos ou básicos obtidos em processos agroindustriais. Na Figura 8 apresenta-se um esquema do eletrocrackeamento de um triacilglicerídeo com ácidos graxos usuais com 18 carbonos em sua cadeia. Nota-se que a oxidação dos íons carboxilato derivados desse triacilglicerídeo irá formar radicais com 17 carbonos, os quais irão se acoplar levando a hidrocarbonetos com 34 carbonos, com ou sem insaturações. Se for considerado que óleos e gorduras naturais são misturas complexas contendo ácidos graxos com cadeias alquílicas na faixa entre 12 a 24 carbonos, conclui-se que os dímeros formados terão entre 22 e 46 átomos de carbono na cadeia. Assim, a reação acaba fornecendo como produtos misturas de hidrocarbonetos sólidas à temperatura ambiente, que não podem ser utilizadas diretamente em motores à combustão, sendo necessários posteriores processos de craqueamento e destilação para se obter um biocombustível líquido que possa substituir o diesel fóssil.

Contudo, para evitar a necessidade de craqueamento dos produtos formados, pode-se efetuar a eletrólise de Kolbe na presença de outras espécies que possam ser oxidadas, como acetatos (Figura 9). Assim, serão formados radicais com tamanhos diferentes, levando a uma mistura de produtos com tamanhos de cadeia pequenos, médios e longos. A formação de produtos com cadeias longas pode ser regulada pela presença de um excesso de acetatos no meio reacional, para suprimir a formação de tais espécies químicas. Assim, pode-se obter uma mistura com propriedades físico-químicas muito próximas às do diesel, podendo ser utilizadas diretamente como biocombustível em motores convencionais.

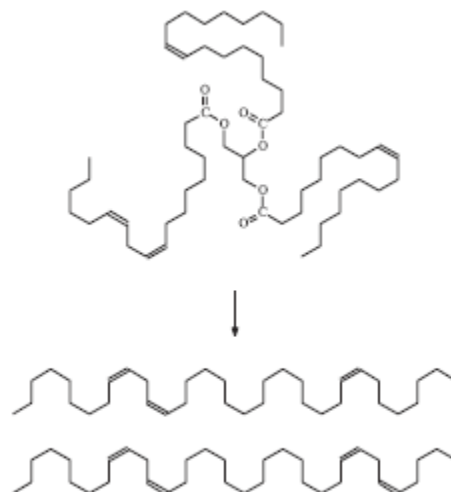


Figura 8. Produtos da reação direta de Kolbe de triacilglicerídeos. Note que devido à complexidade das reações foram colocados apenas exemplos ilustrativos, sendo ilustrados os principais produtos obtidos

### Considerações Finais

Suprir o mercado de combustíveis com matérias-primas de origem biológica é um importante desafio para aumentar a presença de biocombustíveis na matriz energética mundial. No que diz respeito a biocombustíveis produzidos a partir de ácidos graxos e derivados este desafio é ainda maior, tendo em vista a baixa produtividade que as culturas oleaginosas tradicionais possuem. No entanto, diversas alternativas tanto de produção dos óleos e gorduras como de processamento dos mesmos estão sendo hoje estudadas, as quais apontam que provavelmente não haverá uma solução energética única, mas que deverá haver uma diversidade tanto de matérias-primas quanto de processos e de combustíveis.

Os processos de obtenção de hidrocarbonetos a partir de materiais graxos parecem ser extremamente atraentes, pois demandam poucos insumos e podem ser realizados a partir de materiais residuais de baixo valor agregado e mesmo de passivos ambientais da agroindústria. No entanto, ainda existem entraves para a comercialização desses biocombustíveis, já que não existe atualmente no Brasil especificação para os hidrocarbonetos obtidos a partir de biomassa. De fato, a ANP restringe o uso de hidrocarbonetos para aqueles que sejam obtidos a partir do petróleo ou gás natural, proibindo a comercialização daqueles obtidos a partir de outras fontes, mesmo que possuam composição química semelhante ou idêntica àquela obtida a partir de uma matéria-prima fóssil.<sup>70</sup> Porém, isso não impede que num futuro próximo estes

combustíveis entrem na matriz energética brasileira. Há grandes pressões mundiais para que novas tecnologias sejam incluídas na produção de biocombustíveis, e expectativas para que essas tecnologias possam vir a substituir os chamados biocombustíveis de Primeira Geração.

Artigo I. **Figura 1.** Reação de transesterificação ou alcoólise de triacilglicerídeos. Observações: (i) esta reação ocorre em sucessivas etapas onde di- e mono-acilglicerídeos são formados, as quais foram omitidas para simplificar a figura; (ii) dependendo da fonte do óleo ou da gordura existe variação no número de carbonos, que geralmente é um número par, e de insaturações das cadeias alquílicas. iocombustíveis a partir de óleos e gorduras: desafios tecnológicos para viabilizá-los 771 Vol. 32, No. 3

Artigo II. **Figura 2.** Reação de esterificação de ácidos graxos

**Figura 3.** Processo comercial de obtenção de biodiesel por esterificação de um coproduto ácido gerado durante a neutralização de óleo de palma Suarez et al. 772 Quim. Nova

Artigo III. **Figura 4.** Reação de craqueamento de triacilglicerídeos. Note que devido à complexidade das reações foram colocados apenas exemplos ilustrativos, sendo ilustrados os principais produtos obtidos

Artigo IV. **Figura 5.** Algumas reações que ocorrem durante o processo de craqueamento. Note que devido à complexidade das reações foram colocados apenas exemplos ilustrativos, pois mais de 500 produtos podem ser formados durante o craqueamento de um triglicerídeo simples

Artigo V. **Figura 6.** Reação de hidrocraqueamento de triacilglicerídeos. Note que devido à complexidade das reações foram colocados apenas exemplos ilustrativos, sendo ilustrados os principais produtos obtidos. Biocombustíveis a partir de óleos e gorduras: desafios tecnológicos para viabilizá-los 773 Vol. 32, No. 3

Artigo VI. **Figura 8.** Produtos da reação direta de Kolbe de triacilglicerídeos. Note que devido à complexidade das reações foram colocados apenas exemplos ilustrativos, sendo ilustrados os principais produtos obtidos

Artigo VII. **Figura 7.** Esquema da eletrólise de Kolbe. Note que devido à complexidade das reações foram colocados apenas exemplos ilustrativos, sendo ilustrados os principais produtos obtidos

**Figura 9.** Representação esquemática da eletrólise de Kolbe de uma mistura de acetato e oleato. Note que devido à complexidade das reações foram colocados

**Paulo A. Z. Suarez\*, André L. F. Santos,  
Juliana P. Rodrigues E Melquizedeque B.  
Alves**

Instituto de Química, Universidade de Brasília,  
CP 4478, 70910-970 Brasília – DF, Brasil

## **ANEXO 2**

### **PLANÍLHA PARA AVALIAÇÃO DE LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA**

SANTOS, Sandra Maria de Oliveira, 2006



### PLANILHA PARA AVALIAÇÃO DE LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA (PLANLDQ)

Escreva na linha abaixo o nome do livro e do(s) autor(es):

Antes que você entre na avaliação propriamente dita de cada obra, é importante que você atribua a importância dos grupos de critérios que serão analisados, em função de sua concepção de ensino e do projeto político pedagógico de sua escola.

Para isso, atribua os seguintes valores numéricos para a importância de cada grupo:

- 3 – Muito relevante
- 2 – Relevante
- 1 – Irrelevante
- 0 – Não se aplica

GRUPO DE CRITÉRIOS	RELEVÂNCIA
1. Aspectos visuais – ilustrações (fotografias, esquemas, gráficos etc.)	
2. Aspectos gráficos e editoriais (organização da obra)	
3. Linguagem dos textos	
4. Livro do professor (fundamentação da obra e informações complementares)	
5. Atividades experimentais (existência e viabilidade)	
6. Aspectos históricos da construção do conhecimento químico	
7. Aspectos sociais	
8. Abordagem e contextualização (Ciência Tecnologia e Sociedade -CTS)	
9. Conteúdo químico (precisão e atualização)	

De acordo com sua avaliação, atribua os seguintes valores para cada item a seguir:

0 = não se aplica; 1 = não; 2 = parcialmente; 3 = sim.

<b>1. Aspectos visuais - Ilustrações ( fotografias, esquemas, imagens, gráficos, mapas, etc)</b>	
1.1 As ilustrações apresentam tamanho e resolução adequados	
1.2 As ilustrações são inseridas nas páginas de modo a valorizar o texto(diagramação)	
1.3 Há um equilíbrio entre a quantidade de ilustrações e o texto	
1.4 As ilustrações respeitam as diferentes etnias, gêneros, classes sociais, evitando criar estereótipos e preconceitos	
1.5 As ilustrações favorecem a compreensão do texto	
1.6 As ilustrações apresentam precisão conceitual	
1.7 As ilustrações estão bem distribuídas no LDQ (Livro Didático de Química)	
1.8 As ilustrações apresentam legenda, créditos ou fonte de referência que favoreçam a compreensão do texto	
<b>Nota do critério</b>	-
<b>2. Aspectos gráficos e editoriais</b>	
2.1 O LDQ apresenta boa legibilidade (tamanho da letra, contraste de cores, espaçamento etc.)	
2.2 O LDQ apresenta sumário ou índice com subitens	
2.3 O texto é organizado hierarquicamente (títulos e subtítulos)	
2.4 O LDQ apresenta: 2.4.1 Glossário	
2.4.2 Referências bibliográficas	
2.4.3 Apêndices	
2.4.4 Índice geral	
2.4.5 Índice remissível	
<b>Nota do critério</b>	-
<b>3. Linguagem</b>	
3.1 A linguagem do livro é clara e precisa	
3.2 A linguagem é adequada aos alunos do ensino médio	
3.3 A linguagem favorece a compreensão dos conceitos científicos apresentados	
3.4 Há utilização de linguagem diversificada (textos jornalísticos, letras de músicas, poemas etc)	
<b>Nota do critério</b>	-
<b>4. Livro do professor – LP</b>	
4.1 O LP indica com clareza os fundamentos teóricos-metodológicos da obra	
4.2 Há coerência entre os fundamentos explicitados no LP e o livro do aluno	
4.3 O LP articula os conteúdos com outras áreas do conhecimento	
4.4 O LP apresenta orientações metodológicas para o trabalho com o LDQ	
4.5 O LP sugere atividades diversificadas (projetos, pesquisas, atividades experimentais etc)	
4.6 O LP sugere atividades experimentais alternativas ao livro do aluno	
4.7 O LP aborda o processo de avaliação da aprendizagem	
4.8 O LP fornece subsídios para a correção das atividades e exercícios propostos	
4.9 O LP fornece subsídios para formação pedagógica do professor	
4.10 O LP indica fonte de consulta para a formação do professor	
4.11 O LP orienta sobre o gerenciamento de resíduos químicos das atividades experimentais	
4.12 O LP fornece orientações quanto à segurança em atividades experimentais	
4.13 O LP apresenta bibliografia utilizada pelos autores	
4.14 O LP sugere leituras complementares	
<b>Nota do critério</b>	-