



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica

Centro de Ciências Físicas e Matemáticas

Centro de Ciências da Educação

Centro de Ciências Biológicas

**O ENSINO DE CTS ATRAVÉS DE REVISTAS
DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA**

Dissertação submetida ao Colegiado do
Curso de mestrado em Educação Científica
e Tecnológica em cumprimento parcial para
a obtenção do título de Mestre em Educação
Científica e Tecnológica.

Márcio José Da Silva

Orientadora: Prof^a. Dr^a Sônia Maria S. C. De Souza Cruz

Florianópolis – SC

Março de 2005

Para minha mãe, por todos os ensinamentos e por fazer, de mim, a razão de sua existência.

Para minha madrinha, por todo carinho e por todos os conselhos oferecidos ao longo de minha vida.

Para minha avó, por seus 78 anos de vida.

Para meu pai, pelos momentos felizes que me proporcionou, durante o pouco tempo que estive ao meu lado (em memória).

AGRADECIMENTOS

À Prof.^a Dr.^a. Sônia Maria S. C. de Souza Cruz, pela orientação e pela paciência diante de todas as dificuldades que enfrentamos.

Ao Prof. Dr. José de Pinho Alves Filho, pelo incentivo e pelos ensinamentos. E também por todas as broncas, sempre proferidas em momentos oportunos.

À Sandra Mara C. Gonçalves, ex-secretária do PPGET, por todo carinho e pelo excelente atendimento.

Ao colega Marco Antônio Simas Alvetti, por todas as colaborações prestadas.

À Luiza Santa-Helena, pela ajuda prestada durante a conclusão deste trabalho e, principalmente, por todo amor, carinho e dedicação.

RESUMO

Esta pesquisa foi realizada com o intuito de construir um instrumento de análise capaz de facilitar a identificação de aspectos presentes num artigo de divulgação científica que fossem relevantes para o ensino de CTS no Ensino Médio. Para a construção deste instrumento, articulei fundamentos teóricos do enfoque CTS e da Divulgação Científica com determinações curriculares e recomendações didáticas apresentadas por documentos oficiais (Constituição Federal, LDB, DCNEM e PCNs).

Após estruturar a primeira versão deste instrumento de análise, esta foi aplicada a três artigos e, a partir dos aspectos observados durante a análise dos mesmos, apresento uma versão mais elaborada para o instrumento. O fechamento do trabalho é feito com a apresentação de algumas orientações que o professor poderá seguir ao articular a utilização do instrumento com a organização e o desenvolvimento de uma estratégia didática para o ensino de CTS através de revistas de divulgação científica.

PALAVRAS-CHAVE:

CTS; Ensino de Ciências; Divulgação científica

ABSTRACT

The aim of this work is to make a tool for analysis of different aspects in scientific divulgation papers that should be useful for the STS teaching in middle school. As a framework, we considered, from one side the curriculum and didactical recommendations presented on the official documents (Federal constitution, LDB, DCNEM, and PCNs).

First we present the results of an essay using a first version of the analysis tool. From this analysis we made a second and more elaborate version. This second version and the orientations for its use, were presented in the final part of this work. The main aim of those orientations is to guide teachers so that they can organize and devise didactical strategies to use divulgations papers on the STS teaching.

KEY WORDS:

STS ; Sciences Teaching; Scientific divulgation

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	7
CAPÍTULO 1 – FUNDAMENTAÇÃO LEGAL DA PESQUISA.....	13
1.1 Os Documentos Oficiais: a LDB, as DCNEM e os PCNs.....	13
1.1.1 Os PCNs/EM para a Área de Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias.....	16
1.2 Critérios Legais para a Estruturação de uma Estratégia Didática.....	21
CAPÍTULO 2 – O ENFOQUE CTS (CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE).....	25
2.1 Origens, Metas e Repercussões do Movimento CTS.....	25
2.2 O Movimento CTS no Campo Educacional.....	27
2.3 Considerações Sobre a Estrutura Conceitual dos Currículos CTS.....	29
2.3.1 Dimensão Científica.....	30
2.3.2 Dimensão Tecnológica.....	32
2.3.4 Dimensão Social.....	34
2.3.5 Interações C-T-S.....	36
2.4 Considerações Sobre as Estratégias de Ensino CTS.....	37
CAPÍTULO 3 – A DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA E O ENSINO DE CIÊNCIAS.....	41
3.1 O Quadro Conceitual da Comunicação Científica.....	41
3.2 A Gênese da Comunicação Científica.....	44
3.3 O Advento da Revista Científica.....	45
3.4 A Democratização do Conhecimento Científico.....	46
3.5 A Utilização das RDCs para o Ensino de Ciências.....	51
CAPÍTULO 4 – CONSTRUINDO A PROPOSTA.....	53
4.1 A Escolha do Tema.....	53
4.2 A Definição do Material a ser Utilizado.....	55
4.3 Caracterizando o Instrumento de Análise.....	56
4.4 A Estruturação Inicial do Instrumento de Análise.....	60

4.5 A Aplicação da Versão Inicial.....	62
4.5.1 Texto 1: Lixo no Paraíso.....	63
4.5.1.1 Dimensão Científica.....	63
4.5.1.2 Dimensão Tecnológica.....	65
4.5.1.3 Dimensão Social.....	69
4.5.1.4 Interações C-T-S.....	70
4.5.1.5 Comentários Sobre o Texto 1.....	71
4.5.2 Texto 2: Uma Radiografia de Angra 2: o resultado da aposta nuclear brasileira.....	73
4.5.2.1 Dimensão Científica.....	73
4.5.2.2 Dimensão Tecnológica.....	75
4.5.2.3 Dimensão Social.....	77
4.5.2.4 Interações C-T-S.....	77
4.5.2.5 Comentários Sobre o Texto 2.....	78
4.5.3 Texto 3: A um Passo da Clonagem.....	80
4.5.3.1 Dimensão Científica.....	80
4.5.3.2 Dimensão Tecnológica.....	85
4.5.3.3 Dimensão Social.....	87
4.5.3.4 Interações C-T-S.....	90
4.5.3.5 Comentários Sobre o Texto 3.....	91
4.6 A Reformulação do Instrumento de Análise.....	93
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	104
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109
ANEXOS.....	116
ANEXO I – Textos Analisados na Pesquisa.....	118
ANEXO II – Extratos de Outros Artigos.....	143

INTRODUÇÃO

Atualmente, a regulamentação do Ensino Médio brasileiro é ditada pela Lei de Diretrizes e bases da Educação Nacional (LDB), de 20 de dezembro de 1996. Outros documentos oficiais aprovados pelo Conselho Nacional de educação (CNE), como os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) e as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (DCNEM), apresentam recomendações de ordem organizacional e metodológica que apontam para uma formação geral voltada ao mundo do trabalho e ao exercício da cidadania.

Esses documentos tratam o Ensino Médio como um segmento da educação básica e propõem uma estrutura curricular que considere particularidades locais e regionais, conferindo autonomia para cada comunidade escolar. As diversas considerações apresentadas nesses documentos apontam para estratégias didáticas que se organizem em torno de temas interdisciplinares, valorizem elementos cotidianos e abordem os temas de forma contextualizada, visando a apropriação de valores e a construção de competências e habilidades úteis ao educando.

As diversas competências a serem trabalhadas no Ensino Médio estão organizadas em três categorias: representação e comunicação; investigação e compreensão; contextualização sócio-cultural e histórica. De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNs/EM), estas categorias estão respectivamente relacionadas às seguintes áreas do saber: *Linguagens, Códigos e suas Tecnologias*; *Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*; *Ciências Humanas e suas Tecnologias*. Esta forma de organização por áreas do saber, procura reunir aqueles conhecimentos que compartilham objetos de estudo, criando condições para que a prática escolar se desenvolva numa perspectiva interdisciplinar.

Para todas as áreas e suas tecnologias, os objetivos educacionais devem combinar conhecimentos práticos voltados às necessidades da vida contemporânea, com conhecimentos mais amplos e específicos, que correspondam a uma cultura geral e a uma visão crítica do mundo. Cada disciplina deve promover competências e habilidades que tornem o educando capaz de intervenções e julgamentos práticos, o que caracteriza uma visão de educação

voltada para a cidadania. Na área de Ciências da Natureza e Matemática, isso significa, dentre outros, a leitura e a interpretação de textos científicos, a compreensão do funcionamento de equipamentos, o conhecimento de procedimentos técnicos para a obtenção e análise de informações e a capacidade de avaliar riscos e benefícios em processos tecnológicos.

Entretanto, em minha prática como professor de Física nas três séries do ensino médio, desde 1998, tenho observado que, principalmente no caso das disciplinas científicas, os conteúdos são trabalhados isoladamente, com ênfase na resolução de problemas e aplicação de fórmulas que, na maioria das vezes, são “impostas” aos alunos. As possíveis aplicações dos conteúdos são superficialmente citadas pelo professor ou ficam por conta do aluno através de uma leitura complementar contida no livro texto. Existe uma preocupação quase exclusiva com o conteúdo programático específico de cada disciplina e, de modo geral, esse enfoque não fornece subsídios suficientes para que o aluno possa estabelecer relações entre as diversas áreas do conhecimento e, muito menos, usar este conhecimento para entender situações cotidianas e resolver problemas reais.

Possivelmente, uma das grandes dificuldades encontradas na implementação de práticas educacionais capazes de promover essa formação para o trabalho e para o exercício da cidadania recomendada pelos documentos oficiais esteja na própria fragmentação das atividades escolares, sendo que dificilmente tem-se tempo e espaço disponíveis para discutir temas interdisciplinares de maneira consistente e trabalhar o desenvolvimento de habilidades práticas. No cotidiano escolar, raramente ocorrem atividades que envolvam vários professores simultaneamente discutindo com os alunos temas/eventos de interesse coletivo. A prática mais comum é dividir o dia letivo em cinco aulas, onde cada professor é responsável por “ensinar” tópicos do conteúdo programático relativo a sua disciplina.

O Conselho Nacional de Educação fornece abertura para que se possa promover uma educação mais ampla, estabelecendo que: *“Os currículos do ensino fundamental e médio devem ter uma base nacional comum a ser complementada, em cada sistema de ensino escolar, por uma parte diversificada, exigida pelas características regionais e locais da sociedade, da cultura, da economia e da clientela”* (Artigo 26 da Lei nº 9.394, de 20/12/1996). Esse artigo confere uma certa autonomia para cada instituição de ensino e indica que a grade curricular de cada instituição de ensino pode ser estruturada de forma que os

professores tenham tempo e espaço para desenvolver uma prática interdisciplinar de forma efetiva.

Novas propostas de ensino, balizadas pelos Parâmetros Curriculares Nacionais, têm enfatizado tanto a realização de atividades interdisciplinares para promover uma maior integração entre os conteúdos escolares e as situações cotidianas, quanto a valorização de fontes de informação diversificadas que permitam, entre outras coisas, a discussão de temas polêmicos atuais. No contexto da pesquisa em educação científica, essas preocupações tornam-se evidentes em diversos trabalhos, dentre os quais cabe destacar alguns preocupados com a *inserção do enfoque CTS no ensino formal* (Auler & Bazzo, 2001; Angotti & Auth, 2001; Auler, 1998; Souza Cruz & Zylbersztajn, 2001) e outros que visam viabilizar a *utilização de materiais de divulgação científica como fonte de informação nas aulas de disciplinas científicas* (Almeida, 1998; Almeida & Rincon, 1993; Almeida & Silva, 1998; Kawamura & Salém, 1998).

Meu interesse por tais trabalhos, particularmente aqueles que compõem o segundo grupo destacado, surgiu como resposta aos diversos questionamentos de natureza interdisciplinar sobre ciência e tecnologia que os alunos têm levado à sala de aula a partir da leitura de Revistas de Divulgação Científica (RDCs), os quais geralmente mostram-se significativos para o planejamento e o desenvolvimento das atividades. Na leitura desses trabalhos percebi que, apesar de caracterizarem duas linhas distintas de pesquisa, as propostas apresentadas forneciam indicativos de uma visão de ensino em consonância com a perspectiva preconizada pelos PCNs. O estudo de um artigo onde os autores analisaram o processo de reelaboração discursiva de um texto de divulgação científica para um texto didático (MARTINS, 2001) remeteu-me aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Fundamental, especificamente à parte referente aos terceiro e quarto ciclos deste segmento de ensino. Nesses documentos encontrei sugestões de estratégias didáticas que valorizam o contato dos alunos com textos de natureza diferenciada em relação ao livro didático.

“Além do livro didático, outras fontes oferecem textos informativos: enciclopédias, livros para-didáticos, artigos de jornais e revistas, folhetos e campanhas de saúde, de museus, textos da mídia informativa, etc. É importante que o aluno possa ter acesso a uma diversidade de textos informativos, pois cada um deles tem estrutura e finalidades próprias” (BRASIL, 2000, p.124, grifo meu).

Entretanto, os diversos trabalhos voltados para a utilização das RDCs no ensino formal de disciplinas científicas com os quais tive contato, apresentavam propostas onde estas RDCs caracterizavam-se apenas como recurso didático para o estudo de um conteúdo ou conceito específico da área científica. Na maioria das propostas, percebi pouca preocupação em trabalhar os temas valorizando elementos de contextualização e interdisciplinaridade; mas, segundo o referencial estabelecido pelos documentos oficiais (LDB, PCNs e DCNEM), esses dois elementos devem constituir os dois eixos norteadores para a organização de estratégias de ensino e a ausência dos mesmos dificulta a apropriação de valores e o desenvolvimento de competências e habilidades práticas.

Segundo Almeida (1998), o texto de divulgação deve ser apresentado de maneira diferente do conteúdo tradicional, e a simples substituição de textos de um tipo por outros de natureza diferenciada pode não mudar a qualidade da atividade pedagógica. Em outras palavras, apresentar aos alunos novas fontes de informação não é suficiente, faz-se necessária a busca por novas estratégias de ensino. Neste sentido, decidi por pesquisar uma alternativa que viabilize a utilização das RDCs para discutir, no Ensino Médio, temas/eventos vinculados ao enfoque CTS .

No desenvolvimento desta pesquisa, busquei articular as diversas determinações e recomendações feitas pelos documentos oficiais com fundamentos teóricos das duas linhas de pesquisa citadas anteriormente, para construir um instrumento de análise capaz de identificar, nos artigos de Revistas de Divulgação Científica, elementos que possam subsidiar a elaboração de estratégias didáticas a serem desenvolvidas na perspectiva da educação CTS.

As diversas considerações feitas ao longo do trabalho apontam para a construção de uma proposta que contemple o ensino de CTS em seu sentido mais amplo, ou seja, não apenas como um artifício a ser inserido no conteúdo programático para complementar o estudo de conteúdos puramente científicos. Minha proposta é que o estudo de um determinado tema, a ser definido a partir de critérios que apresentarei ao longo do trabalho, possa proporcionar ao educando uma ampla compreensão das diversas inter-relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade e que, conseqüentemente, tal estudo possa promover o desenvolvimento de algumas das competências e habilidades objetivadas pelos Parâmetros Curriculares Nacionais para a área de Ciências Naturais, Matemática e suas Tecnologias.

A necessidade deste instrumento de análise justifica-se pelo fato de que os diversos artigos publicados em RDCs não são elaborados com fins didáticos. Sendo assim, a utilização desses artigos para o desenvolvimento de uma estratégia de ensino requer uma análise prévia a ser feita pelo professor, visando identificar tais elementos e prever as possíveis articulações entre eles. Para apresentar o processo de construção do mesmo, estruturei esta dissertação em quatro capítulos.

No primeiro capítulo, destacarei as finalidades gerais estabelecidas pela LDB para o Ensino Médio e algumas recomendações feitas pelas DCNEM e pelos PCNs para o ensino de Ciência e Tecnologia neste segmento da Educação Básica, constituindo uma fundamentação legal para a pesquisa e apresentando, a partir desta, um conjunto de diretrizes a serem seguidas durante a organização e o desenvolvimento de uma estratégia didática.

Para constituir um referencial teórico a partir do qual fundamentei a estruturação do instrumento de análise, elaborei dois capítulos distintos e complementares entre si. Primeiramente, apresentarei os principais fundamentos teóricos do movimento CTS, destacando suas origens, metas e repercussões sociais, sobretudo no campo educacional. Além disso, serão apresentadas considerações sobre a estrutura curricular e as diversas estratégias didáticas adotadas para o ensino de CTS, estabelecendo articulações entre esta perspectiva educacional e a proposta apresentada pelos documentos oficiais. No capítulo seguinte, apresentarei uma fundamentação teórica sobre a comunicação científica, onde serão destacados alguns aspectos históricos e os principais elementos da terminologia que permeia esta atividade e discutidas diversas questões relativas às funções da divulgação científica e à utilização das RDCs no ensino de ciências.

A partir das diversas considerações destacadas durante a constituição do referencial teórico, estruturei o último capítulo da dissertação, onde descrevo o processo de construção do instrumento de análise. Nesse capítulo, serão apresentados critérios para a escolha de um tema em torno do qual o professor organizará sua estratégia didática, as justificativas e os critérios adotados na definição do material a ser utilizado e a caracterização geral do instrumento a partir do referencial teórico adotado nesta pesquisa. Após definir a estrutura inicial deste instrumento, descreverei o processo de aplicação-análise-reformulação que conduziu a uma versão mais elaborada do mesmo.

Após apresentar uma segunda versão do instrumento de análise e definir as condições para sua utilização, faço o fechamento do trabalho com a sistematização de algumas orientações para que o professor possa organizar e desenvolver uma estratégia didática CTS, utilizando-se deste instrumento.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTAÇÃO LEGAL DA PESQUISA

1.1 Os Documentos Oficiais: a LDB, as DCNEM e os PCNs

Atualmente, a regulamentação do Ensino brasileiro, em seus diversos níveis, é ditada pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB). Em 1999, o Ministério da Educação e Cultura (MEC) divulgou os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCN/EM), documentos produzidos para subsidiar a reforma do Ensino Médio, um processo iniciado em 1997 e que se destina a transformar a face deste segmento do ensino brasileiro. Segundo Manhães (1998), a necessidade de uma reformulação para a estrutura e o funcionamento do sistema educacional brasileiro, sobretudo em nível de educação básica, surgiu por inúmeros fatores, dentre eles, a expansão da rede pública de ensino e as diversas mudanças políticas, econômicas e tecnológicas que vêm ocorrendo em nosso país.

A formulação de novas propostas curriculares buscou, segundo seus autores, uma nova concepção de Ensino Médio, considerando, entre outros aspectos, as desigualdades regionais e as particularidades de cada comunidade escolar. Para tanto, *“durante o processo de elaboração, o Ministério da Educação contou com a participação de professores universitários, representantes das secretarias estaduais de educação e a equipe técnica de coordenação do projeto, além de debates realizados nos Estados”* (RICARDO, 2001, p.19).

A proposta de reforma foi aprovada com o parecer nº 15/98, da Câmara de Educação Básica (CEB), que integra o Conselho Nacional de Educação (CNE). A resolução CEB/CNE nº 03/98 estabeleceu as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (DCNEM), tendo como principal referência legal a Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996 – Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB). Esta Lei, além de estabelecer uma reorientação para o Ensino Médio, indicando diretrizes para sua organização curricular, define os objetivos formativos para este nível de ensino:

Art. 35 – O ensino médio, etapa final da educação básica, com duração mínima de três anos, terá como finalidades:

I – a consolidação e o aprofundamento dos conhecimentos adquiridos no ensino fundamental, possibilitando o prosseguimento de estudos;

II – a preparação básica para o trabalho e a cidadania do educando, para continuar aprendendo, de modo a ser capaz de se adaptar com flexibilidade a novas condições de ocupação ou aperfeiçoamentos posteriores;

III – o aprimoramento do educando como pessoa humana, incluindo a formação ética e o desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico;

IV – a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina.

Os aspectos destacados neste artigo indicam que a Lei 9.394/96, além de caracterizar o Ensino Médio como parte integrante da educação básica, busca vincular a escola com o trabalho e com a prática social, para a formação de indivíduos humanos, socialmente responsáveis e preparados tanto para a vida profissional quanto para o exercício da cidadania. Estas finalidades definidas pela LDB estão ancoradas na Constituição Federal aprovada em 05 de outubro de 1988, pois o Artigo 205 deste documento estabelece que a educação constitua-se num direito de todo cidadão, sendo dever do Estado e da família, promovê-la e incentivá-la com a colaboração da sociedade, visando o pleno desenvolvimento da pessoa, seu preparo para o exercício da cidadania e sua qualificação para o trabalho.

A LDB enfatiza que a educação deve ser entendida como um processo humano articulado ao desenvolvimento social e que, diante das novas exigências tecnológicas e sociais, o papel da educação formal não é mais o de ‘formatar’ o indivíduo ao mercado de trabalho, mas de inseri-lo no processo produtivo, buscando corresponder às competências necessárias ao exercício da cidadania e às atividades produtivas. Neste sentido, o documento reforça a necessidade de que sejam revistas algumas práticas tradicionais baseadas na fragmentação, memorização e imposição de modelos, buscando-se a construção de um Ensino Médio que expresse contemporaneidade em sua proposta curricular.

Para a implementação desta nova concepção de Ensino Médio, o Conselho Nacional de Educação estabelece a divisão do conhecimento escolar em três áreas: Linguagens, Códigos e suas Tecnologias; Ciências Humanas e suas Tecnologias; Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. A idéia subjacente a esta organização do currículo por áreas é promover a reunião daqueles conhecimentos que compartilham objetos de estudo e, portanto,

mais facilmente se comunicam, criando condições para que a prática escolar se desenvolva numa perspectiva interdisciplinar.

De acordo com os PCNs, em todas essas áreas os objetivos educacionais devem combinar conhecimentos práticos voltados para as necessidades da vida contemporânea, com conhecimentos mais universais e específicos que correspondam a uma cultura geral e a uma visão crítica do mundo; cada disciplina deve promover competências e habilidades que tornem o educando capaz de intervenções e julgamentos práticos.

Sobre a estruturação do currículo para o Ensino Médio, o artigo 26 da LDB estabelece que a organização dos Ensinos Fundamental e Médio constará de uma *Base Nacional Comum* (BNC) a ser complementada por uma *Parte Diversificada* (PD) que deve ser definida a partir das particularidades regionais e locais da comunidade escolar. A BNC deve ser organizada com o intuito de preparar o educando para o prosseguimento de estudos e para o trabalho, ocupando no mínimo 75% da carga horária curricular estabelecida para o Ensino Médio; A PD poderá ocupar até 25% da carga horária de acordo com as necessidades de cada sistema de ensino, o que lhes confere um certo grau de autonomia na construção de sua estrutura curricular.

As Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (DCNEM), instituídas pela resolução nº 03/98 da CEB, esclarecem que a identidade de etapa final da Educação Básica atribuída ao Ensino Médio pretende acabar com a dualidade presente nesse nível de ensino: preparação para o ensino superior e habilitação para o exercício de uma profissão técnica. Sendo assim, a preparação geral para o trabalho, fundamentada no Artigo 35 da LDB, deve permear todos os conteúdos do currículo, promovendo uma formação ampla que leve em consideração, entre outros, aspectos estéticos e éticos. As DCNEM alertam ainda que esta formação para o trabalho não deve priorizar uma formação técnica específica, pois, se assim fosse, descaracterizaria a formação geral que se pretende para o Ensino Médio.

De acordo com estas diretrizes, a estrutura curricular deve pautar-se pela construção de competências e habilidades e não pela quantidade de informações; além disso, alertam que as metodologias de ensino devem ser organizadas a partir de dois eixos norteadores: a *contextualização* e a *interdisciplinaridade*. A contextualização deve ser um instrumento capaz de tornar o conteúdo escolar significativo e facilitar a postura ativa do educando frente ao

processo de ensino-aprendizagem. A interdisciplinaridade é entendida não como uma simples justaposição de conteúdos disciplinares, mas como um constante círculo de interações entre as diversas áreas do conhecimento, respeitando especificidades de cada disciplina.

Sobre os mecanismos de avaliação, as DCNEM estabelecem que estes devem extrapolar o aspecto burocrático e permitir o acompanhamento dos resultados alcançados, disponibilizando-se as informações obtidas na avaliação a todos os seguimentos envolvidos no processo, a fim de que possam contribuir para o aperfeiçoamento do mesmo e usá-las em suas decisões e ações. Neste sentido, os Parâmetros Curriculares alertam que o processo de ensino-aprendizagem deve ser construído coletivamente, com a participação da comunidade, num espaço de diálogo a ser propiciado pela escola, incluindo neste processo a contínua avaliação e o aperfeiçoamento do sistema escolar. Para tanto, consideram que um dos pontos de partida é tratar elementos do domínio vivencial dos educandos, da escola e de sua comunidade imediata como conteúdo do aprendizado.

As DCNEM e os PCNs destacam que o currículo do Ensino Médio deve priorizar os conteúdos significativos, unindo teoria e prática através de metodologias comprometidas com a nova identidade pretendida para este segmento do ensino, de modo a proporcionar a construção de valores e atitudes associados a competências e habilidades que sejam úteis ao educando no trabalho e na vida social. Segundo estes documentos, os conteúdos escolares não devem ser tratados como blocos de conhecimento com fim em si mesmos, mas como meio para o cumprimento de tais objetivos. Neste sentido, os PCNs apresentam em três volumes distintos, orientações metodológicas que caracterizam especificidades sobre o sentido do aprendizado em cada uma das áreas e, além disso, definem as diversas competências e habilidades a serem objetivadas para cada uma delas, tanto em âmbito global quanto no domínio de cada disciplina.

1.1.1 Os PCNs/EM para a Área de Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias

A parte III dos PCNs/EM, fundamentada na LDB e em outros documentos oficiais produzidos pela Secretaria de Educação Média e Tecnológica (SEMTEC), apresenta uma proposta para o Ensino Médio na área de Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. A proposta constitui-se num referencial para a organização e o direcionamento do ensino das disciplinas que compõem esta área do saber escolar, em associação com as

tecnologias correlatas a cada uma delas, “*no sentido de produzir um conhecimento efetivo, de significado próprio, não somente propedêutico*” (BRASIL, 1999, p.10).

Na perspectiva dos Parâmetros Curriculares, o ensino de Ciência e Tecnologia deve considerar o contexto sócio-cultural em que estas atividades se desenvolvem. Estes documentos propõem a valorização de temas interdisciplinares, como as questões sócio-ambientais e os processos de produção, alertando que o estudo de tais temas deve contemplar não apenas aspectos científico-tecnológicos, mas também históricos, sociais e econômicos. Neste sentido, assumem o saber matemático, científico e tecnológico como condição para o exercício da cidadania e não como prerrogativa de especialistas.

De acordo com a proposta dos PCNs, os conteúdos e conceitos específicos das disciplinas científicas devem ser articulados numa perspectiva interdisciplinar com conhecimentos das outras áreas e suas tecnologias, buscando-se a construção de valores, competências e habilidades que possibilitem uma formação geral para o trabalho e o exercício da cidadania através de intervenções e julgamentos práticos. Isso significa, entre outros, a leitura e a interpretação de textos científicos, a compreensão do funcionamento de equipamentos, o conhecimento de procedimentos técnicos para a obtenção e análise de informações e a capacidade de avaliar riscos e benefícios em processos tecnológicos. Entretanto, os autores consideram que “*a interdisciplinaridade do aprendizado científico e matemático não dissolve nem cancela a indiscutível disciplinaridade do conhecimento*” (BRASIL, 1999, p.10).

O aprendizado dos alunos e dos professores é visto como um processo que deve ser construído e aperfeiçoado coletivamente, num espaço de diálogo promovido pelo sistema escolar e com a participação da comunidade. Para tanto, os PCNs sugerem que elementos presentes no cotidiano dos educandos, da escola e de sua comunidade imediata sejam tratados como conteúdo do aprendizado. Além disso, alertam para a necessidade de se incorporar elementos da ciência contemporânea como conteúdo do aprendizado, não apenas por conta de sua importância instrumental utilitária, mas sim com o intuito de fornecer condições para o desenvolvimento de uma visão de mundo atualizada.

De acordo com a proposta dos Parâmetros curriculares, cada disciplina deve ser vista numa perspectiva que ultrapasse seus limites. Estes documentos esclarecem que uma

compreensão atualizada de conceitos como energia, modelos atômicos e moléculas, por exemplo, deve ser construída considerando-se que estes não pertencem somente ao campo da Física, mas também da Química e da biologia molecular. Da mesma forma, o princípio físico da conservação da energia, assim como os processos de fermentação, combustão, condensação, evaporação e outros, são objeto tanto da Física quanto da Química e da Biologia. Ressaltam que a influência humana nos ciclos da água e na fotossíntese, situa-nos como partícipes de processos naturais, enfatizando a importância destes para a compreensão dos ciclos materiais e energéticos, como o uso da eletricidade e da biomassa, o que evidencia também o sentido tecnológico de tais processos, associado à economia e à organização social.

Sobre os objetivos explicitamente atribuídos a área de Ciências da Natureza e Matemática, a proposta considera importante, entre outros, que o educando possa “*compreender as ciências da natureza como construções humanas e a relação entre conhecimento científico-tecnológico e a vida social e produtiva...*” (BRASIL, 1999, p.212). Os diversos objetivos, de acordo com os PCNs, convergem para uma articulação com as outras duas áreas do conhecimento, na busca pela formação de valores e atitudes que, associados às Competências e Habilidades a serem desenvolvidas, conferem unidade ao ensino das diferentes disciplinas científicas. As diversas competências e habilidades a serem objetivadas para esta área foram organizadas em três categorias: *investigação e compreensão; representação e comunicação; contextualização sócio-cultural*.

Visando garantir esta articulação, as competências de caráter mais específico estão reunidas na categoria *investigação e compreensão* científica e tecnológica; Aquelas competências que apresentam certa proximidade com a área de Linguagens e Códigos situam-se numa segunda categoria denominada *representação e comunicação* em Ciência e Tecnologia e, finalmente, aquelas relacionadas com a compreensão das ciências como construções humanas foram agrupadas na terceira categoria, que está associada com a área de ciências humanas e denomina-se *contextualização sócio-cultural* da Ciência e da Tecnologia.

Em seguida, transcrevo¹ as Competências e Habilidades a serem objetivadas para a área de Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, segundo a proposta apresentada pelos PCNs:

¹ Adotei formatação diferente daquela utilizada nos documentos oficiais.

Representação e comunicação – visam desenvolver a capacidade de comunicação.

- Ler e interpretar textos de interesse científico e tecnológico.
- Interpretar e utilizar diferentes formas de representação (tabelas, gráficos, expressões, ícones...).
- Expressar-se oralmente com correção e clareza, usando a terminologia correta.
- Produzir textos adequados para relatar experiências, formular dúvidas ou apresentar conclusões.
- Utilizar as tecnologias básicas de redação e informação, como computadores.
- Identificar variáveis relevantes e selecionar os procedimentos necessários para a produção, análise e interpretação de resultados de processos e experimentos científicos e tecnológicos.
- Identificar, representar e utilizar o conhecimento geométrico para aperfeiçoamento da leitura, da compreensão e da ação sobre a realidade.
- Identificar, analisar e aplicar conhecimentos sobre valores de variáveis representados em gráficos, diagramas ou expressões algébricas, realizando previsão de tendências, extrapolações e interpretações.
- Analisar qualitativamente dados quantitativos representados gráfica ou algebricamente, relacionados a contextos socioeconômicos, científicos ou cotidianos.

Investigação e compreensão – visam desenvolver a capacidade de questionar processos naturais e tecnológicos, identificando regularidades, apresentando interpretações e prevendo evoluções. desenvolver o raciocínio e a capacidade de aprender.

- Formular questões a partir de situações reais e compreender aquelas já enunciadas.
- Desenvolver modelos explicativos para sistemas tecnológicos e naturais.
- Utilizar instrumentos de medição e de cálculo.
- Procurar e sistematizar informações relevantes para a compreensão da situação-problema.
- Formular hipóteses e prever resultados.
- Elaborar estratégias de enfrentamento das questões.
- Interpretar e criticar resultados a partir de experimentos e demonstrações.

- Articular o conhecimento científico e tecnológico numa perspectiva interdisciplinar.
- Entender e aplicar métodos e procedimentos próprios das Ciências Naturais.
- Compreender o caráter aleatório e não determinístico dos fenômenos naturais e sociais e utilizar instrumentos adequados para medidas, determinação de amostras e cálculo de probabilidades.
- Fazer uso dos conhecimentos da Física, da Química e da Biologia para explicar o mundo natural e para planejar, executar e avaliar intervenções práticas.
- Aplicar as tecnologias associadas às Ciências Naturais na escola, no trabalho e em outros contextos relevantes para sua vida.

Contextualização sócio-cultural – visam compreender e utilizar a ciência, como elemento de interpretação e intervenção, e a tecnologia como conhecimento sistemático de sentido prático.

- Utilizar elementos e conhecimentos científicos e tecnológicos para diagnosticar e equacionar questões sociais e ambientais.
- Associar conhecimentos e métodos científicos com a tecnologia do sistema produtivo e dos serviços.
- Reconhecer o sentido histórico da ciência e da tecnologia, percebendo seu papel na vida humana em diferentes épocas e na capacidade humana de transformar o meio.
- Compreender as ciências como construções humanas, entendendo como elas se desenvolvem por acumulação, continuidade ou ruptura de paradigmas, relacionando o desenvolvimento científico com a transformação da sociedade.
- Entender a relação entre o desenvolvimento de ciências naturais e o desenvolvimento tecnológico e associar as diferentes tecnologias aos problemas que se propõem solucionar.
- Entender o impacto das tecnologias associadas às ciências naturais, na sua vida pessoal, nos processos de produção, no desenvolvimento do conhecimento e na vida social.

O terceiro volume dos PCNs apresenta também algumas orientações e sugestões de temas que a proposta considera relevantes para cada disciplina desta área (Biologia, Física, Química e Matemática, respectivamente) e ainda, as competências e habilidades específicas para cada uma delas, a fim de orientar o trabalho dos professores na construção coletiva do projeto pedagógico da escola e na elaboração de suas estratégias de ensino.

Considero que uma proposta atual para a abordagem de temas científico-tecnológicos no Ensino Médio deve garantir o cumprimento das finalidades estabelecidas pela LDB para o Ensino Médio e ser organizada a partir das recomendações feitas pelas DCNEM e pelos PCNs, pautando-se pela construção de, pelo menos, algumas das competências e habilidades definidas por estes documentos oficiais; no entanto, não estou excluindo a possibilidade de se estabelecer objetivos que extrapolem os aspectos considerados na LDB, promovendo valores e atitudes que se articulem com competências e habilidades não contempladas nos PCNs.

1.2 Critérios Legais para a Estruturação de uma Estratégia Didática

As diversas recomendações apresentadas pelas DCNEM e pelos PCNs, articuladas com elementos de ordem organizacional estabelecidos pela LDB, constituem um referencial legal para a estruturação de estratégias didáticas voltadas ao ensino de Ciência e Tecnologia no Ensino Médio. Destacarei nesta seção alguns aspectos que, após a leitura e interpretação deste referencial legal, considero como critérios fundamentais para a estruturação de qualquer estratégia didática que se proponha a seguir as recomendações feitas por estes documentos.

Primeiramente, a proposta deve ter em vista o cumprimento das seguintes finalidades:

- Promover a formação geral para o trabalho e o exercício da cidadania.
- Desenvolver o pensamento crítico e a autonomia intelectual dos educandos.
- Consolidar conhecimentos adquiridos anteriormente pelos educandos.
- Fornecer os conhecimentos necessários ao prosseguimento de estudos.
- Promover a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos.
- Desenvolver valores, competências e habilidades úteis ao educando.

A organização da estratégia didática e os diversos procedimentos a serem tomados no desenvolvimento desta, constituem um processo que deve conduzir ao cumprimento de tais finalidades. Em outras palavras, o cumprimento destas finalidades dependerá da forma como o professor organizar sua estratégia de ensino e sobretudo, da forma como este conduzir suas práticas. Assim, considero que o professor deve levar em conta os seguintes critérios:

- 1) Pautar-se pela construção de competências e habilidades;
- 2) Considerar particularidades locais e regionais da comunidade;
- 3) Priorizar temas interdisciplinares.

Estes critérios são as diretrizes gerais que devem nortear a organização da proposta. O primeiro critério deve servir de pilar para todas as etapas seguintes e justifica-se pelo fato de que, segundo as recomendações apresentadas pelos documentos oficiais, deve-se pensar todo o processo de ensino-aprendizagem a partir de competências e habilidades a serem desenvolvidas pelos educandos. Os outros dois visam, entre outros, auxiliar o professor na escolha do tema a partir do qual desenvolverá sua estratégia de ensino, de modo a garantir a *contextualização* e a *interdisciplinaridade* propostas pelas DCNEM e pelos PCNs. Mesmo que esta escolha seja feita com a participação dos alunos, cabe ao professor analisar as possibilidades pedagógicas de cada tema proposto e decidir de forma criteriosa por aquele que será trabalhado.

Dentre as competências e habilidades propostas pelos PCNs para a área de Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, destacarei em seguida algumas que, de modo geral, são trabalhadas de forma pouco consistente quando o ensino de disciplinas científicas organiza-se a partir de metodologias tradicionais que divergem da visão de ensino preconizada por estes documentos.

- Ler e interpretar textos de interesse científico e tecnológico.
- Fazer uso dos conhecimentos da Física, da Química e da Biologia para explicar o mundo natural e para planejar, executar e avaliar intervenções práticas.
- Aplicar as tecnologias associadas às Ciências Naturais na escola, no trabalho e em outros contextos relevantes para sua vida.
- Utilizar elementos e conhecimentos científicos e tecnológicos para diagnosticar e equacionar questões sociais e ambientais.
- Reconhecer o sentido histórico da ciência e da tecnologia, percebendo seu papel na vida humana em diferentes épocas e na capacidade humana de transformar o meio.
- Entender o impacto das tecnologias associadas às ciências naturais, na sua vida pessoal, nos processos de produção, no desenvolvimento do conhecimento e na vida social.

A primeira competência destacada está situada na categoria *representação e comunicação* e articula-se com minha proposta de utilização de RDCs, favorecendo o desenvolvimento da autonomia intelectual dos educandos e do pensamento crítico. O destaque dado a esta competência justifica-se tanto pela importância de se promover condições para a leitura e análise crítica dos diversos artigos publicados nestas revistas, uma vez que este tipo de material faz parte do domínio vivencial da maioria dos educandos, quanto pelo fato de que os Parâmetros Curriculares Nacionais incluem, já no ensino fundamental, sugestões de estratégias didáticas que valorizem o contato dos educandos com fontes de informação diferenciadas em relação ao livro didático.

“Além do livro didático, outras fontes oferecem textos informativos: enciclopédias, livros para-didáticos, artigos de jornais e revistas, folhetos e campanhas de saúde, de museus, textos da mídia informativa, etc. É importante que o aluno possa ter acesso a uma diversidade de textos informativos, pois cada um deles tem estrutura e finalidades próprias” (BRASIL, 2000, p. 124, grifo meu).

A segunda e a terceira competência situam-se na categoria de *investigação e compreensão* e estão relacionadas diretamente com a *compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos*. Além disso, apontam para o cumprimento das finalidades de *formação geral para o trabalho e o exercício da cidadania* e de *desenvolvimento da autonomia intelectual e pensamento crítico dos educandos*. Ao pautar-se por estas competências o professor estará ainda, contemplando diversas recomendações apresentadas pelos documentos oficiais, dentre elas, a valorização do aspecto interdisciplinar, a realização de intervenções e julgamentos práticos e a promoção de uma visão de mundo atualizada por meio de elementos da tecnologia associada à ciência contemporânea.

As três últimas competências que destaquei estão situadas na categoria de contextualização sócio-cultural e visam primeiramente, nortear a estratégia didática no sentido da contextualização recomendada pelas DCNEM. Além disso, podem ser associadas a diversos aspectos destacados anteriormente, como a articulação entre elementos teóricos e práticos, a compreensão das ciências como construções humanas e a valorização de elementos históricos, sociais e econômicos no desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia. Estas competências apontam ainda para o estudo das diversas interações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade numa perspectiva interdisciplinar integrada ao mundo do trabalho.

Para orientar o professor durante o desenvolvimento de sua estratégia, de modo a promover a construção dessas competências e habilidades e garantir o cumprimento daquelas finalidades que foram estabelecidas anteriormente, defini algumas ações a serem desenvolvidas ao longo do processo de ensino-aprendizagem. As diversas recomendações apresentadas pelas DCNEM e pelos PCNs apontam para os seguintes direcionamentos:

- Vincular as atividades educacionais com o trabalho e com a vida social.
- Combinar conhecimentos práticos e teóricos.
- Envolver os diversos segmentos da comunidade escolar na construção e na avaliação do processo de ensino-aprendizagem.
- Considerar aspectos estéticos e éticos na formação para o trabalho.
- Valorizar a totalidade em detrimento da fragmentação do conhecimento.
- Adotar fontes de informação diferenciadas em relação ao livro didático.
- Tratar elementos do domínio vivencial dos educandos, da escola e da comunidade como conteúdo do aprendizado.
- Considerar o contexto social, cultural e econômico da Ciência e da Tecnologia.
- Articular os conhecimentos matemáticos, científicos e tecnológicos com as outras áreas do conhecimento escolar.

Este conjunto de procedimentos não deve ser pensado isoladamente, mas sim como meios facilitadores para o desenvolvimento da estratégia didática. A articulação entre os diversos elementos que foram destacados constitui-se num processo a ser organizado pelo professor e desenvolvido coletivamente, com a colaboração de todos os envolvidos. Neste processo, as diversas decisões e ações devem ser pensadas visando ao desenvolvimento de competências úteis ao educando e ao cumprimento das finalidades definidas inicialmente.

CAPÍTULO 2

O ENFOQUE CTS (CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE)

Os diversos aspectos levantados no capítulo anterior apontam para uma visão de ensino contemporânea, voltada a uma formação ampla que privilegie articulações entre conhecimentos teóricos e práticos para a construção de competências e habilidades que possibilitem, entre outros, a preparação para o trabalho e o exercício da cidadania através de intervenções sociais. Neste capítulo apresentarei os principais fundamentos teóricos do movimento CTS, destacando suas origens, metas e repercussões sociais, sobretudo no campo educacional e, além disso, farei considerações sobre a estrutura curricular e sobre as diversas estratégias didáticas adotadas para o ensino de CTS, estabelecendo articulações entre esta perspectiva educacional e a proposta apresentada pelos documentos oficiais.

2.1 Origens, Metas e Repercussões do Movimento CTS

A preocupação sistemática com as diversas interações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade não é recente, tendo se acentuado na década de 80. O movimento conhecido como STS (Science and Technology Studies), a princípio, teve destaque em dois países, Inglaterra e Estados Unidos. Posteriormente, conquistou adeptos em todo o mundo, inclusive nos países latinos, onde o enfoque tornou-se conhecido por CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade). A origem do enfoque nestes dois países guarda alguns pontos em comum, principalmente a forte ligação do mesmo com movimentos sociais que passam a questionar as conseqüências das aplicações da Ciência e da Tecnologia.

Referindo-se às origens do movimento CTS, González, Lopes e Luján (1996) destacam que:

“A tradição européia nas suas origens partiu para a institucionalização acadêmica na Europa; promoveu a ênfase aos fatores sociais antecedentes; deu atenção primordial à ciência e, secundariamente, à tecnologia; assumiu, preferencialmente, um caráter teórico e descritivo; e o seu marco explicativo se configurou nas ciências sociais - sociologia, psicologia, antropologia. A tradição americana nas suas origens partiu para a institucionalização administrativa e acadêmica nos Estados Unidos; sempre deu ênfase às conseqüências sociais da ciência e da tecnologia; ao contrário da tradição

européia, deu atenção primordial à tecnologia e, secundariamente, à ciência; o caráter prático e valorativo é o preferencial nesta tradição; e, finalmente, o seu marco de avaliação se prende à ética, à teoria da educação, entre outras.”
(GONZÁLEZ, LOPES E LUJÁN, 1996, p.25)

Apesar de ter destacado aqui a existência de duas tradições, hoje há um consenso de que esta classificação geográfica só se apresentou realmente significativa durante as duas primeiras décadas dos estudos em CTS. Segundo Cerezo (1998), atualmente, considera-se que os estudos CTS constituem uma diversidade de programas de colaboração multidisciplinar os quais, enfatizando a dimensão social da ciência e da tecnologia, compartilham de um certo núcleo comum:

- O rechaço da imagem de ciência como uma atividade pura e neutra;
- A crítica à concepção de tecnologia como ciência aplicada e neutra;
- A promoção da participação pública na tomada de decisões.

Segundo González, Lopes e Luján (1996), o movimento CTS propõe um novo direcionamento para a atividade tecnológica, contrapondo-se à idéia de que desenvolvendo mais Ciência e Tecnologia, necessariamente, pode-se mais facilmente resolver problemas ambientais, sociais e econômicos. Estes autores consideram que um dos objetivos centrais desse movimento consiste em reivindicar uma maior participação pública nas decisões políticas sobre Ciência e Tecnologia.

Os estudos e programas CTS, desde seu início, têm sido elaborados em três direções (Waks, 1990; Cerezo, 1998; Osório, 2002):

- **No campo da investigação:** os estudos CTS têm promovido uma visão socialmente mais contextualizada da ciência e da tecnologia;
- **No campo das políticas públicas:** os estudos CTS têm defendido a criação de diversos mecanismos democráticos que facilitem a participação pública em processos de tomada de decisões sobre questões relativas às políticas em C&T;
- **No campo educacional:** o ensino de ciências na perspectiva da educação CTS, tanto em nível secundário quanto universitário, visa a alfabetização científica e tecnológica

dos cidadãos promovendo uma percepção mais ampla da ciência e da tecnologia, a partir das relações mútuas entre estas atividades e o contexto social em que estão inseridas.

Auler (2002) ressalta que esses três campos, mesmo não se confundindo, estão relacionados e se influenciam mutuamente. Na continuidade, tratarei de aspectos relacionados especificamente às influências do movimento CTS no campo educacional.

2.2 O Movimento CTS no Campo Educacional

Existem diversas concepções de ensino fundamentadas no enfoque CTS, desde a idéia de contemplar interações entre Ciência-Tecnologia-Sociedade apenas como fator de motivação no ensino de ciências, até propostas que postulam como fator essencial, a compreensão dessas interações e não os conteúdos científicos em si, fazendo com que estes desempenhem um papel secundário no processo de ensino-aprendizagem.

Ziman (1985) considera que a educação CTS não deve limitar-se a emitir opiniões favoráveis ou contrárias à ciência, à indústria, ao governo, ao capitalismo, ao socialismo, ao povo ou à paz; pois, segundo este autor, o principal defeito da educação científica convencional reside em oferecer uma impressão unilateral da ciência e da tecnologia. Assim, o principal empenho do movimento CTS consiste em opor-se ao cientificismo e à tecnocracia e rechaçar qualquer estreita fórmula semelhante que pretenda responder a todas as perguntas e a todos os problemas de nosso tempo. Entretanto, Ziman (1985) alerta que ao trabalhar numa perspectiva CTS, o professor deve ter uma *visão global* sobre o tema selecionado; sem esta visão global, “*todo o tema CTS se fragmenta em um conjunto desconexo de temas acadêmicos especializados, exercícios pedagógicos e doutrinas ideológicas*” (ZIMAN, 1985, p.150).

Em nível de educação secundária, os diferentes programas CTS apresentam-se, predominantemente, sob três modalidades de implementação (Waks, 1990; Osório, 2002):

1. *Projetos através de “Enxertos” CTS*: consiste em apresentar conteúdos de ciência de modo usual e fazer alguns acréscimos CTS. Pode-se mencionar conteúdos CTS para tornar mais interessantes os temas puramente científicos ou para complementar os conteúdos científicos com breves estudos CTS específicos. Exemplifica este grupo o Projeto SATIS (Science and Technology in Society – Inglaterra).

2. *Projetos de Ciência e Tecnologia através de CTS*: nesta modalidade os conteúdos das disciplinas científicas são estruturados segundo as coordenadas CTS. Esta estruturação pode ser levada a cabo através de disciplinas isoladas, bem como por meio de cursos científicos multidisciplinares. A estruturação, através de disciplinas isoladas, pode ser ilustrada pelo projeto holandês PLON, destinado ao ensino de Física na escola secundária.

3. *Programas CTS puros*: significa estudar os temas CTS oferecendo pouca ênfase aos conteúdos científicos. Em alguns casos, o conteúdo científico é utilizado apenas para enriquecer a explicação dos conteúdos CTS. Em outros, as referências aos temas científicos ou tecnológicos são mencionados, mas não explicados. O programa mais representativo de CTS puro é *SISCON na escola*, uma adaptação para a educação secundária do programa universitário britânico SISCON (Science in a Social Context).

Segundo Caamaño (1995), independentemente da forma de implementação, o ensino de ciências ao ser organizado numa perspectiva CTS, cumpre três objetivos básicos;

- *Promover o interesse dos estudantes por conectar a ciência com suas aplicações tecnológicas e os fenômenos da vida cotidiana e abordar o estudo daqueles fatos e aplicações científicas que tenham uma maior relevância social;*
- *Abordar as implicações sociais e éticas do uso da tecnologia;*
- *Adquirir uma compreensão da natureza da ciência e do trabalho científico.*

(CAAMAÑO, 1995, p.4).

Este autor considera que o ensino de ciências na perspectiva CTS favorece o desenvolvimento de diversas habilidades de investigação e comunicação, tais como: leitura e interpretação de textos científicos; busca e análise de informações; discussão e confronto de idéias; tomada de decisões individuais e coletivas para a resolução de problemas reais. Além disso, esta perspectiva valoriza o trabalho em grupo e promove um amplo entendimento sobre a natureza das atividades científica e tecnológica e sobre as implicações sociais da ciência e da tecnologia.

Hofstein, Aikenhead e Riquarts (1988), ao resumirem os objetivos dos currículos CTS, identificam o desenvolvimento das seguintes habilidades e conhecimentos pelos estudantes: *“a auto-estima, comunicação escrita e oral, pensamento lógico e racional para*

solucionar problemas, tomada de decisão, aprendizado colaborativo/ cooperativo, responsabilidade social, exercício da cidadania, flexibilidade cognitiva e interesse por atuar em questões sociais” (HOFSTEIN, AIKENHEAD e RIQUARTS, 1988, p.359).

Rubba e Wiesenmayer (1988), consideram que ensinar ciências buscando a integração entre Ciência-Tecnologia-Sociedade representa uma tentativa de formar cidadãos científica e tecnologicamente alfabetizados, capazes de tomar decisões socialmente responsáveis. Outro objetivo a ser considerado consiste em “*favorecer o desenvolvimento de pensamento crítico e independência intelectual*” (AIKENHEAD, 1987, apud IGLESIA, 1995, p.9).

Os diversos aspectos destacados revelam que o ensino de ciências na perspectiva CTS apresenta objetivos que apontam para uma formação ampla, comprometida com a participação pública nas tomadas de decisões e não apenas com a apropriação de conhecimentos científicos. Percebe-se que existe uma preocupação em promover uma visão mais ampla sobre estas atividades humanas e garantir o exercício da cidadania pelos diversos segmentos da sociedade. Tais objetivos, associados às diversas competências e habilidades que foram levantadas, indicam que uma estratégia didática orientada na perspectiva CTS pode contemplar os critérios definidos por mim no primeiro capítulo, conduzindo ao cumprimento das finalidades estabelecidas em nosso referencial legal e ao desenvolvimento das competências e habilidades que foram destacadas a partir dos PCNs.

Contudo, para a organização de uma estratégia didática a ser desenvolvida segundo esta perspectiva de ensino, faz-se necessário um melhor entendimento dos diversos aspectos relativos à estrutura conceitual dos currículos CTS; dentre eles, a visão de Ciência e Tecnologia preconizada por este enfoque, temas e conteúdos considerados relevantes e critérios adotados na escolha dos mesmos, o tratamento dado às interações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade e aos diversos elementos conceituais de cada dimensão (científica, tecnológica e social). Para tanto, apresentarei na próxima seção algumas considerações relativas a estes aspectos.

2.3 Considerações Sobre a Estrutura Conceitual dos Currículos CTS

De modo geral, percebe-se que um dos aspectos básicos das propostas educacionais orientadas segundo o enfoque CTS (Ramsay, 1993; Palácios, 1996 e outros) consiste na

organização do currículo a partir de conteúdos científicos e tecnológicos articulados em torno de questões problemáticas do ponto de vista social, particularmente problemas locais que afetam a comunidade dos estudantes.

Bybee (1987) considera que a estrutura conceitual dos cursos CTS organiza-se a partir de temáticas que contemplam três aspectos básicos:

- a) Conceitos científicos e tecnológicos;
- b) Processos de investigação;
- c) Interações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade.

A aquisição de conhecimentos científicos e tecnológicos deve enfatizar aspectos relacionados ao interesse pessoal, à preocupação cívica e às perspectivas culturais. O entendimento dos processos de investigação científica e tecnológica promove a participação ativa dos alunos na obtenção de informações, solução de problemas e tomada de decisões. O estudo das interações entre ciência, tecnologia e sociedade proporciona a construção de valores por meio do estudo de temas locais, políticas públicas e temas globais.

As considerações apresentadas acima indicam que, ao trabalhar um tema na perspectiva da educação CTS, deve-se levar em conta não só aspectos relativos às três dimensões específicas (científica, tecnológica e social), mas também elementos que permitam caracterizar as diversas interações entre elas. Em seguida, apresentarei uma discussão sobre como estes elementos são abordados nos diversos currículos CTS.

2.3.1 Dimensão Científica

Diversos trabalhos (Aikenhead, 1985; Ramsay, 1993; Bingle e Gaskell, 1994; Stiefel, 1995) têm destacado a importância de se discutir aspectos relativos à natureza da ciência, sobretudo na educação secundária, para que os alunos possam entender as relações entre a atividade científica, o desenvolvimento tecnológico e suas implicações sociais. Solomon (1988) propõe que os cursos CTS deveriam apontar para o caráter provisório e incerto das teorias científicas, contribuindo para que os alunos possam avaliar as aplicações da ciência, levando em conta as opiniões controversas dos especialistas.

Rosenthal (1989) considera que os conteúdos científicos presentes nos currículos CTS incluem, além de aspectos vinculados a questões internas à comunidade científica, relacionadas à sua epistemologia e filosofia, outros aspectos relativos a estudos políticos de ciência, mais voltados para questões externas e chamados por ele de ‘aspectos sociais da ciência’. Estes aspectos sociais da ciência referem-se a questões que podem ser organizadas em seis categorias:

1. *filosófica* – inclui aspectos éticos da atividade científica, o impacto das descobertas científicas sobre a sociedade, a responsabilidade social dos cientistas e outros.

2. *sociológica* – inclui discussões relativas a diversos aspectos sociais da ciência, dentre eles, a organização da comunidade científica; influências da ciência e da tecnologia sobre a sociedade e da sociedade sobre o desenvolvimento científico-tecnológico; possibilidades e limitações do uso da ciência e da tecnologia para a solução de problemas sociais.

3. *histórica* – inclui o estudo de história da ciência e da tecnologia; discussões relativas às influências de determinados eventos históricos sobre o desenvolvimento científico e tecnológico e o estudo do papel da ciência e da tecnologia na história da humanidade.

4. *política* – refere-se ao estudo das relações que as atividades científica e tecnológica estabelecem com o público e com os sistemas de governo, bem como questões legais relativas ao desenvolvimento dessas atividades e à circulação de seus produtos na sociedade. A tomada de decisões públicas em ciência e tecnologia, o uso político da ciência e da tecnologia, as políticas globais e a defesa nacional também podem ser incluídas.

5. *econômica* – trata-se de estudar as interações entre condições econômicas e as atividades científica e tecnológica; as contribuições da ciência e da tecnologia para o desenvolvimento econômico e industrial; o consumo de produtos científicos tecnológicos; as possibilidades de trabalho e geração de renda nas diversas áreas de ciência e tecnologia.

6. *humanística* – consiste em estudar aspectos estéticos, criativos e culturais das atividades científica e tecnológica; além disso, pode-se incluir o estudo de possíveis influências da ciência e da tecnologia na literatura e nas artes;

As diversas possibilidades que destaquei indicam que os conteúdos dos currículos CTS apresentam uma abordagem de ciência em sua dimensão ampla, considerando o estudo de muitos outros aspectos além da natureza da investigação científica e do significado dos conceitos científicos. *“Esta abordagem proporciona uma formação mais sólida para aqueles que pretendem ingressar na carreira científica e exige uma visão cada vez mais multidisciplinar e reflexiva das ciências”* (SANTOS E MORTIMER, 2000, p.142).

Segundo Santos e Mortimer (2000), a perspectiva de ensino CTS não se limita a nomear e classificar cientificamente as diferentes espécies de animais e vegetais, produtos químicos e processos físicos envolvidos no funcionamento dos aparelhos eletro-eletrônicos, que são atividades características daquele que chamamos *ensino do cotidiano*. Em consonância com estes autores, considero que a perspectiva de ensino CTS valoriza as situações do cotidiano ao abordar problemas reais da comunidade na qual estão inseridos os educandos.

2.3.2 Dimensão Tecnológica

Segundo Vargas (1994), a tecnologia consiste em um conjunto de atividades humanas, associadas a sistemas de símbolos, instrumentos e máquinas, visando a construção de obras e a fabricação de produtos por meio de conhecimento sistematizado. *“Atualmente a tecnologia está associada diretamente ao conhecimento científico, de forma que hoje tecnologia e ciência são termos indissociáveis”* (SANTOS E MORTIMER, 2000, p.143).

A tecnologia pode ser entendida como um sistema composto por diversos elementos de natureza técnica, cultural ou organizacional. O universo das complexas inter-relações entre estes diversos elementos define o que Pacey (1990) denomina de *prática tecnológica*. Segundo este autor, a prática tecnológica organiza-se a partir de três aspectos centrais:

1) *aspecto técnico*: inclui conhecimentos específicos; instrumentos, ferramentas e máquinas; matérias-primas, produtos obtidos e resíduos; recursos humanos e materiais.

2) *aspecto organizacional*: inclui, entre outros, elementos que caracterizam a tecnologia enquanto atividade econômica e industrial; a atividade dos profissionais (engenheiros, técnicos e outros) no gerenciamento da atividade tecnológica e na manipulação de equipamentos; sindicatos, usuários e consumidores.

3) *aspecto cultural*: está relacionado com os objetivos; o sistema de valores e os códigos éticos que permeiam esta atividade; os hábitos e as crenças sobre o progresso, consciência, criatividade, estética, beleza, etc.

Osório (2002) destaca que, em 1999, Pacey² propôs um quarto elemento central da prática tecnológica, que se apresenta de forma latente e serve de subsolo para os outros três. Este aspecto foi denominado de ‘*experiência pessoal*’ e constitui o elemento participativo do sistema, isto é, a incorporação das pessoas, partindo de que suas respostas à tecnologia são diferentes, assim como o sentido social da tecnologia que coexiste com as respostas pessoais. Segundo Osório (2002), este elemento participativo é também a possibilidade de incorporar a natureza em um sentido dinâmico e criativo, na busca de soluções tecnológicas que dêem conta dela. Assim, trata-se de uma visão de tecnologia mais centrada nas pessoas e no ‘ambiente’ em que esta atividade se desenvolve.

De modo geral, percebe-se que o entendimento público sobre tecnologia fica reduzido apenas ao seu aspecto técnico. Neste sentido, “*a alfabetização tecnológica na perspectiva CTS inclui a compreensão de todos esses aspectos da prática tecnológica*” (Acevedo Días, 1996, p.36). Santos e Mortimer (2000) afirmam que a identificação dos outros aspectos presentes na prática tecnológica permite compreender como ela é dependente dos sistemas político-sociais e dos valores e ideologias da cultura em que se insere. A partir desse entendimento, “*o cidadão consegue perceber as interferências que a tecnologia tem em sua vida e como ele pode interferir nessa atividade*” (SANTOS E MORTIMER, 2000, p. 144).

Santos e Mortimer (2000) consideram ainda que a educação tecnológica no ensino médio deve contemplar não apenas a explicação técnica do funcionamento de determinados artefatos e a preparação do indivíduo para lidar com os diversos equipamentos tecnológicos, pois esta perspectiva de educação tecnológica é alienante, favorecendo a manutenção do processo de dominação do homem pelos ideais de lucro a qualquer preço e não contribuindo para a busca de um desenvolvimento sustentável. Segundo estes autores, a alfabetização tecnológica na perspectiva CTS busca a formação de um cidadão que possa compreender como a tecnologia tem influenciado o comportamento humano e desenvolver atitudes em prol de um desenvolvimento sustentável.

² Ver referência em Osório (2002).

Segundo Fleming (1989), uma pessoa capaz de compreender os diversos aspectos envolvidos na prática tecnológica possui competências que lhe permitem examinar e posicionar-se frente a questões tecnológicas socialmente relevantes, como as idéias de progresso por meio da tecnologia, a escolha por tecnologias apropriadas nos processos de produção, os benefícios e custos do desenvolvimento tecnológico, os modelos econômicos envolvendo tecnologia, as decisões tomadas pelos gerenciadores da tecnologia, bem como as decisões pessoais envolvendo o consumo de produtos tecnológicos.

2.3.3 Dimensão Social

Esta dimensão está relacionada diretamente com a contextualização das atividades científica e tecnológica. Os diversos contextos (social; cultural; histórico; político-econômico; geográfico) definem um ‘ambiente’ constituído de inúmeros elementos físicos e humanos, no qual a Ciência e a Tecnologia estão inseridas. No enfoque CTS busca-se, entre outros estudar as influências recíprocas entre este ambiente e as atividades científica e tecnológica.

Ramsay (1993) considera que, para possibilitar o estudo dessas influências, os currículos CTS se articulam em torno de temas científicos ou tecnológicos que são potencialmente problemáticos do ponto de vista social. Segundo este autor, um tema social relativo à ciência e tecnologia deveria ter sua origem nessas atividades e envolver um problema em torno do qual existam diferentes possibilidades associadas a diferentes conjuntos de crenças e valores. Além disso, diversos autores (Lopes e Cerezo, 1996; Solomon, 1988; Ramsay, 1993) destacam a importância de se estimular os alunos a participar democraticamente da sociedade por meio da expressão de suas opiniões.

Ramsay (1993) apresenta três critérios para identificar um tema social relativo à ciência: (1) se é, de fato, um problema de natureza controvertida, ou seja, se existem opiniões diferentes a seu respeito; (2) se o tema tem significado social e (3) se o tema, em alguma dimensão, é relativo à ciência e à tecnologia.

Marrifield (1991), defende a inclusão de temas globais nos currículos escolares. Tais temas são caracterizados por afetar a vida das pessoas em várias partes do mundo e por não serem passíveis de compreensão ou tratamento adequado somente em contextos local ou nacional. Este autor apresenta os seguintes exemplos de temas globais: (1) temas ambientais;

(2) saúde e população; (3) questões econômicas; (4) transporte e comunicação; (5) alimentos e fome; (6) energia e (7) questões militares.

Quanto à seleção de temas globais ou regionais, Ramsay (1993) considera que a questão central está no grau de problematização social do tema. Numa perspectiva mais ampla, que não se restringe somente à educação científica e tecnológica, Freire (1996) sugere que se parta de situações locais para a análise de problemas regionais e nacionais.

Santos e Mortimer (2000) propõem uma abordagem a partir de problemas locais que se articulem com a dimensão global. Estes autores indicam os principais temas que geralmente são abordados nos currículos CTS e fazem uma projeção para o contexto brasileiro, apontando alguns temas que apresentam um forte componente científico-tecnológico e que, segundo eles, poderiam ser explorados numa abordagem interdisciplinar junto com a geografia e outras disciplinas. Os temas são os seguintes:

1. Exploração mineral e desenvolvimento científico, tecnológico e social: nesse tema incluem-se questões como a exploração mineral por empresas multinacionais, a privatização da Companhia Vale do Rio Doce, as propostas de privatização da Petrobrás e outras.

2. Ocupação humana e poluição ambiental, na qual seriam discutidos os problemas de ocupação desordenada dos grandes centros urbanos, o saneamento básico, a poluição da atmosfera e dos rios, a saúde pública, a diversidade regional que provoca o êxodo de populações, a questão agrária, etc.

3. O destino do lixo e o impacto sobre o ambiente, o que envolveria reflexões sobre os hábitos de consumo na sociedade tecnológica.

4. Controle de qualidade dos produtos químicos comercializados, envolvendo os direitos do consumidor, os riscos para a saúde, as estratégias de marketing usadas pelas empresas e outros.

5. A fome e a produção de alimentos, incluindo programas de combate à fome e questões polêmicas como a dos alimentos transgênicos.

6. *O desenvolvimento da agroindústria*, onde estão incluídos os problemas da distribuição de terras no meio rural e movimentos sociais como o MST, custos sociais e ambientais da monocultura e outros.

7. *O processo de desenvolvimento industrial brasileiro e a dependência num mundo globalizado*, juntamente com os processos de importação e exportação de matéria-prima e produtos industrializados.

8. *As fontes de energia no Brasil*, considerando seus efeitos ambientais, custos e aspectos políticos.

9. *A preservação ambiental*, onde estão incluídas as políticas de meio ambiente, a degradação das espécies animais e vegetais, atividades irregulares de caça e pesca, invasão às áreas de preservação permanente e a ação dos órgãos fiscalizadores.

2.3.4 Interações Ciência -Tecnologia - Sociedade

Segundo Acevedo (1998), a Ciência e a Tecnologia são saberes organizados e sistematizados, construídos a partir de interações sociais, constituindo um legado cultural em constante construção e reconstrução; estes saberes se influenciam mutuamente, exercem influência sobre a sociedade na qual se estabelecem e, reciprocamente, sofrem a influência de fatores sociais característicos deste contexto em que estão inseridos.

Ramsay (1993) destaca que nos currículos de CTS procura-se evidenciar como os diversos contextos (social, cultural e ambiental) nos quais se situam as atividades científica e tecnológica, influenciam a condução e o conteúdo das mesmas; como estas atividades, por sua vez, modificam aqueles contextos e, finalmente, como Ciência e Tecnologia se influenciam mutuamente através de inter-relações que variam de época para época e de lugar para lugar.

Segundo Santos e Mortimer (2000), os currículos CTS contemplam temas interdisciplinares onde os conceitos são sempre abordados numa perspectiva relacional, de maneira a evidenciar as diferentes dimensões do tema estudado, sobretudo as interações entre ciência, tecnologia e sociedade. Estes autores afirmam que “*o estudo das aplicações da ciência e tecnologia, sem explorar suas dimensões sociais, pode gerar*

uma visão deturpada sobre a natureza desses conhecimentos e, conseqüentemente, propiciar uma falsa impressão de que o aluno compreende o que é ciência e tecnologia” (SANTOS e MORTIMER,2000, p.148).

De modo geral, pode-se considerar que o estudo das *interações C-T-S*³ possibilita uma visão contextualizada sobre as atividades científica e tecnológica. Assim, “*quando não são introduzidas tais interações, pode-se observar que os estudantes têm uma visão de ciência que é deslocada do mundo no qual eles vivem e desenvolvem pouco conhecimento sobre as relações mútuas entre ciência, tecnologia e os ambientes naturais e sociais nos quais eles estão inseridos*” (SOLBES e VILCHES, 1997, p.377, tradução minha).

2.4 Considerações Sobre as Estratégias de Ensino CTS

Os diversos esclarecimentos que apresentei sobre a estrutura conceitual dos currículos CTS constituem um referencial que visa subsidiar a organização de uma estratégia didática. Para que se possa operacionalizá-la, apresentarei nesta seção algumas abordagens possíveis para o desenvolvimento da mesma, um conjunto de procedimentos a serem adotados pelo professor e algumas atividades que normalmente são realizadas para o ensino de CTS.

Segundo Ziman (1985), existem muitas possibilidades para se desenvolver o ensino de ciências na perspectiva CTS. Este autor considera que, independentemente do tema selecionado, as diversas estratégias didáticas organizadas para o ensino de CTS, podem ser orientadas a partir de alguns enfoques distintos e complementares entre si:

- *Aplicação da ciência válida*: é o enfoque mais comum no ensino convencional; busca-se estabelecer relações entre os conhecimentos científicos (leis e teorias) e suas aplicações práticas no mundo do trabalho e na vida cotidiana. Porém, na perspectiva da educação CTS, é necessário avançar além das questões puramente técnicas, considerando seus aspectos econômicos e políticos, suas implicações sociais e ambientais, etc.

- *Enfoque vocacional*: justifica-se principalmente para estudantes que seguirão carreiras vinculadas às ciências (medicina, enfermagem, engenharias e outras); Este enfoque

³ O termo *interações C-T-S* refere-se a uma das dimensões a ser contemplada dentro do enfoque CTS.

discute questões relativas aos direitos e responsabilidades pessoais e ao lugar da ciência na cultura moderna.

- *Enfoque histórico*: este enfoque vislumbra uma abordagem contextualizada da Ciência e da Tecnologia, tratando-as como atividades em constante transformação, assim como a própria sociedade. Entretanto, este autor alerta que, apesar de a investigação científica ser um processo predominantemente histórico, os objetivos da educação CTS não serão alcançados se o estudo de história da ciência ocorrer de forma isolada.

- *Enfoque filosófico*: visa questionar aspectos fundamentais da atividade científica e, entre outras coisas, discutir o que faz um conhecimento ser aceito como cientificamente válido. Este enfoque enfatiza um dos principais objetivos da educação CTS: o combate ao cientificismo.

- *Enfoque sociológico*: consiste em discutir questões sociais, econômicas e políticas que estejam relacionadas com Ciência e Tecnologia: dilemas éticos, o papel da sociedade na tomada de decisões e na regulamentação da Ciência e da Tecnologia, além de outros aspectos humanísticos vinculados a estas atividades.

- *Enfoque do ponto de vista dos problemas*: este enfoque presta-se principalmente para discutir o papel social da ciência e justifica-se principalmente pelo fato de o mundo atual estar repleto de problemas: fome, contaminação ambiental, guerras, crises de energias, esgotamento dos recursos naturais e outros. Ziman (1985) afirma que este enfoque tem a seu favor aspectos emocionais que podem sensibilizar os estudantes e dar significado concreto ao aprendizado.

A educação CTS possui em sua essência, um caráter interdisciplinar. Este aspecto está presente em todos os enfoques citados anteriormente e, mesmo apresentando características particulares, “nenhum deles é necessariamente excludente dos demais. Na prática, estes temas puramente teóricos se superpõem e combinam intrinsecamente” (Ziman, 1985, p.186). Em consonância com este autor, considero que não existe um enfoque ideal ou o melhor enfoque para a educação CTS; cada um dos enfoques destacados anteriormente, assim como outras possibilidades não apresentadas neste trabalho, têm sua própria justificativa convincente, suas vantagens pedagógicas próprias, seu âmbito característico de validade e obstáculos a serem superados.

Ao ensinar ciência numa perspectiva CTS, deve-se organizar a estratégia didática e selecionar os conteúdos de acordo com o público a que se destina, levando em conta os objetivos específicos do grupo com que se está trabalhando; em outras palavras, “*é necessário relacionar o conteúdo e o enfoque de cada curso com o futuro provável dos estudantes interessados*” (Ziman, 1985, p. 187). Sendo assim, não é necessário que se adote um único enfoque, pode-se apresentar aos estudantes as diversas possibilidades, dando indicativos de quais os aspectos que seriam mais valorizados em cada enfoque e, a partir desta exposição inicial, negociar com eles qual o melhor caminho a seguir.

Uma grande parte dos materiais didáticos destinados ao ensino de CTS, tem sua estruturação baseada na proposta de Aikenhead (1994), onde o estudo de um determinado tema é orientado a partir de alguns passos:

- 1) Introdução de uma problemática social;
- 2) Levantamento da tecnologia relacionada ao tema;
- 3) Estudo dos conteúdos científicos, que são definidos em função do tema e da tecnologia relacionada a ele;
- 4) Estudo da tecnologia correlata em função dos conteúdos científicos;
- 5) Discussão da problemática social original.

Um exemplo deste tipo de material é o livro, *Química na Sociedade* (Mol e Santos, 2000). Esta obra é um livro didático que busca sistematizar uma estratégia de ensino onde o conteúdo disciplinar de Química é trabalhado a partir de um tema socialmente relevante apresentado por meio de um texto gerador.

Descrevendo em linhas gerais, esta estratégia consiste em gerar um momento inicial de problematização a partir do texto, fazer um levantamento de alternativas para a solução da problemática tratada no mesmo e construir coletivamente uma solução viável. O enfrentamento do problema na busca pela solução constitui-se num processo desenvolvido a partir do estudo dos conteúdos científicos, das tecnologias correlatas e das conseqüências sociais vinculadas ao tema. Segundo estes autores, o estudo de temas por meio desta estratégia didática permite a discussão de problemas sociais pelos alunos, favorecendo o desenvolvimento de habilidades para tomadas de decisão.

Para o desenvolvimento das diversas estratégias didáticas voltadas ao ensino de CTS, Hofstein, Aikenhead e Riquarts (1988) sugerem inúmeras atividades onde, em geral, os educandos participam ativamente do processo de ensino-aprendizagem, dentre elas: palestras, demonstrações, sessões de discussão, jogos de simulação e desempenho de papéis, fóruns e debates, projetos individuais e coletivos, redação de cartas a autoridades, pesquisa de campo e ação comunitária. Outros autores destacam atividades como a construção de modelos de artefatos tecnológicos pelos alunos (Solomon, 1993), discussões em grupo a partir de vídeos e textos sobre fatos da história da ciência e questões polêmicas relativas à ciência e tecnologia (SOLOMON, 1989, 1993).

Segundo Santos e Mortimer (2000), todas essas sugestões metodológicas contribuem para que os alunos desenvolvam habilidades e atitudes necessárias à tomada de decisões, mas é fundamental que os estudantes discutam problemas da vida real. Estes autores consideram que a abordagem de temas locais vinculados à comunidade dos estudantes torna a discussão mais próxima, possibilitando o confronto de idéias e a construção coletiva de propostas para a solução destes problemas.

CAPÍTULO 3

A DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA E O ENSINO DE CIÊNCIAS

Conforme destaquei no primeiro capítulo, os Parâmetros Curriculares Nacionais sugerem a inclusão de estratégias didáticas que valorizem o contato dos alunos com diferentes tipos de textos, dentre eles, artigos de jornais e revistas. A proposta de ensinar CTS a partir de artigos das RDCs pode ser complementar em relação àquela apresentada por Mól e Santos (2000), uma vez que, diferentemente dos textos utilizados por estes autores, *“os textos de divulgação científica são produzidos para fazer parte do nosso universo cultural de leitura, juntamente com romances, contos, poesias, jornais e revistas mesmo quando o sujeito não se encontra inserido no contexto do ensino formal de ciências”*(ALMEIDA e SILVA,1998,p. 1).

Entretanto, este tipo de material não é produzido com fins didáticos, o que indica a necessidade de uma análise criteriosa por parte do professor durante a seleção dos artigos. Para a construção de um instrumento capaz de subsidiar tal análise, estarei apresentando neste capítulo uma fundamentação teórica sobre a comunicação científica, onde serão destacados alguns aspectos históricos e os principais elementos da terminologia que permeia esta atividade e também discutidas diversas questões relativas às funções da divulgação científica e à utilização das RDCs no ensino de ciências.

3.1 O Quadro Conceitual da Comunicação Científica

Segundo Hernandez-Cañadas (1987), o ato de comunicar constitui-se de quatro elementos básicos: Fonte (quem comunica), Mensagem (o que se comunica), o Canal (de que forma se comunica) e o Receptor (para quem se comunica). No caso da comunicação científica, a informação pode ser transmitida através de diversos canais, divididos em canais informais ou canais formais de comunicação, onde os receptores podem ser outros cientistas ou pessoas de fora da comunidade científica; por assim dizer, o público em geral.

O subsistema informal de comunicação da ciência se inicia quando o cientista define uma idéia de pesquisa, *“que depois de amadurecida, é comunicada aos seus pares, com intuito de receber críticas, sugestões, principalmente no que se refere a aspectos metodológicos, apoio e encorajamento para seguir a diante em sua investigação”*

(HERNANDES-CAÑADAS, 1987, p.17). Consiste numa informação de circulação restrita, direcionada a pequenos grupos, sem regras nem padronizações, onde sua divulgação se dá a critério do cientista. Ainda fazem parte desse subsistema, as conversas entre pares, cartas e comunicações em conferências.

Por outro lado, no subsistema da comunicação formal, a informação é dirigida a um universo mais amplo, que compreende indivíduos situados dentro e fora da comunidade científica. Neste subsistema, a transmissão das informações obedece a regras e padrões de apresentação, onde o artigo de periódicos constitui-se no principal canal utilizado.

A fase em que o cientista elabora sua pré-publicação para avaliação e publicação num periódico é a fase que demarca a fronteira entre os domínios informal e formal da comunicação científica. Caso seja aceita para publicação, o seu conteúdo torna-se de domínio público, não sendo mais o autor quem vai disseminar a informação ali contida. Assim sendo, *“a informação veiculada num artigo de periódico poderá ser utilizada pelos leitores de diversas maneiras, tais como: fonte de informação, pesquisa, catalogação e banco de dados”* (HERNANDES-CAÑADAS, 1987, p.18).

Segundo Bueno (1985), o uso indiscriminado do termo jornalismo científico tem contribuído para legitimar algumas imprecisões e ambigüidades conceituais. Para este autor, o quadro teórico da comunicação científica é composto por três elementos distintos: disseminação, divulgação e difusão; sendo que o jornalismo científico constitui-se, em última instância, num caso particular da difusão científica.

O processo de disseminação da ciência e da tecnologia pressupõe a transferência de informações, transcritas através de códigos especializados, a um público seletivo, formado por especialistas; a disseminação da ciência e da tecnologia comporta dois níveis: 1. disseminação intrapares e 2. disseminação extrapares.

A *disseminação intrapares* refere-se à circulação de informações científicas entre especialistas da mesma área do conhecimento ou áreas afins. Revistas de física, de bioquímica ou geologia são exemplos desse tipo de material. Além disso, congressos e reuniões específicas de cada área são atividades vinculadas ao processo de disseminação intrapares. Esta modalidade de disseminação dificilmente se realiza através dos meios eletrônicos de

comunicação em massa ou da imprensa de informação geral, uma vez que caracteriza-se por: (1) público especializado; (2) conteúdo específico e (3) código fechado.

A *disseminação extrapares*, refere-se à circulação de informações científicas para especialistas situados fora da área-objeto da disseminação. Nesta modalidade, temos ainda um público especializado, embora não necessariamente naquele domínio específico. Uma revista de economia política ou de ciências sociais poderia ser um exemplo, pois pode ser lida por diferentes especialistas, e não só por cientistas políticos ou sociólogos.

A divulgação científica, muitas vezes denominada de popularização ou vulgarização científica, compreende a utilização de recursos, técnicas e processos para veicular as informações da ciência e tecnologia para o público não especialista.

Para Bueno, a divulgação científica pressupõe um processo de recodificação, isto é, a transposição de uma linguagem especializada para uma linguagem não especializada, com o objetivo de tornar o conteúdo acessível a uma vasta audiência.

Ao analisar as diferenças entre o jornalismo científico e a divulgação científica, Bueno (1985) considera que, na prática, o que distingue as duas atividades não é o objetivo do comunicador ou mesmo o tipo de veículo utilizado, mas, sobretudo, as características particulares do código utilizado e do profissional que o manipula. Neste sentido, o autor destaca que a divulgação científica consiste numa atividade mais ampla. Para ele:

“a divulgação científica não se restringe ao campo da imprensa. Inclui os jornais e revistas, mas também os livros didáticos, as aulas de ciências do segundo grau, os cursos de extensão para não especialistas, as estórias em quadrinhos, os suplementos infantis, muitos dos folhetos utilizados na prática de extensão rural ou em campanhas de educação voltadas, por exemplo, para as áreas de higiene e saúde, os fascículos produzidos por grandes editoras, documentários, programas especiais de rádio, e televisão, etc” (BUENO, 1985; p.1422).

Já o termo difusão científica, segundo ele, refere-se a todo e qualquer processo ou recurso utilizado para a veiculação de informações científicas e tecnológicas. O autor considera que a difusão científica abrange periódicos especializados, bancos de dados, os sistemas de informação acoplados aos institutos e centros de pesquisa, os serviços de alerta das bibliotecas, as reuniões científicas (congressos, simpósios e seminários), as seções especializadas das publicações de caráter geral, as páginas de jornal e revistas destinadas à

ciência e tecnologia, os programas de televisão e documentários dedicados à ciência e à tecnologia e outros.

A difusão científica, vista desta forma, incorpora a divulgação científica, a disseminação científica e o próprio jornalismo científico, podendo dividir-se em dois níveis, segundo a linguagem em que as informações são escritas e segundo o público a que se destinam: (1) difusão para especialistas e (2) difusão para o público em geral. No primeiro caso, a difusão confunde-se com a disseminação da ciência; no segundo, refere-se, exatamente à divulgação científica.

3.2 A Gênese da Comunicação Científica

Os gregos utilizavam-se tanto da fala quanto da escrita para comunicar os resultados de suas pesquisas. Podemos considerar que *“nossas discussões ‘acadêmicas’ remontam à Academia, o lugar na periferia de Atenas onde as pessoas se reuniam nos séculos V e IV aC para debater questões filosóficas. Igualmente, o ‘simpósio’ original era uma festa dos gregos em que debates e bebidas circulavam livremente (...)”* (MEADOWS, 1999, p.4).

Com relação à tradição da pesquisa comunicada na forma escrita, este autor considera que a maior contribuição tenha sido dada pelas obras de Aristóteles; seus debates influenciaram primeiro a cultura árabe e depois a Europa ocidental. A introdução da imprensa na Europa, no século XV, proporcionou uma maior disponibilidade de textos impressos e, apesar de a maior parte das obras não ter nada a ver com ciência, o advento da imprensa contribuiu, inquestionavelmente, para a transmissão dos resultados das pesquisas científicas.

No século XVI, o transporte de correspondências particulares, que desde muito tempo vinha sendo feito juntamente com correspondências oficiais do Estado, começou a assumir um caráter cada vez mais formal, surgindo o que hoje entendemos como sistemas postais. Logo depois da tipografia ter surgido na Europa, começaram a ser produzidos folhetos com notícias locais, posteriormente este sistema imbricou-se com esquemas já existentes de difusão de notícias manuscritas pela Europa e, com o aumento da demanda por este tipo de informação, tornou-se mais vantajoso fazer a difusão de notícias por meio de textos impressos ao invés de manuscritos, ao mesmo tempo em que as publicações esporádicas tornaram-se mais regulares. Meadows (1999) considera que a publicação

resultante dessas iniciativas foi o ancestral do jornal moderno, que também serviu de modelo para o surgimento da revista científica.

3.3 O Advento da Revista Científica

Para falar deste fato, Meadows (1999) reporta-se a Londres do século XVII, onde a restauração da monarquia em 1660 fez com que se pusesse fim a quase 20 anos de guerra civil e governo parlamentar. Durante este período, pequenos grupos cujos membros eram geralmente os mesmos, reuniam-se para debater questões filosóficas, tomando cuidado para deixar de lado temas altamente polêmicos como os de natureza política e teológica. Isso levou em 1662 à formação da *Royal Society*, assim denominada porque Carlos II concordara em conceder-lhe seu patrocínio.

Desde o início, a *Royal Society* interessou-se pela comunicação. “A difusão de informações científicas ocorria predominantemente por meio de correspondência e através da leitura dessas correspondências nas reuniões da *Royal Society*, nasceu em março de 1665, o ‘*Philosophical Transactions*’, um dos primeiros jornais científicos” (REIS, 1972, p. 131).

O título completo do periódico da *Royal Society* – *Philosophical Transactions: giving some Account of the present Undertakings, studies and Labours of the Ingenious in many considerable parts of the World* – sugere uma ampla cobertura; no entanto, “continuavam prevalecendo as limitações anteriores acerca de certos temas como os de natureza política e religiosa: a *Royal Society* alegava que somente se interessava por estudos ‘*experimentais*’” (MEADOWS, 1999, p.6). Neste sentido, pode-se considerar que as *Philosophical Transactions* constituem uma iniciativa propulsora do moderno periódico científico. Meadows (1999) considera que o surgimento dos periódicos científicos acarretou uma formalização do processo de comunicação científica, tornando-a disponível, por longos períodos de tempo, para um público amplo.

Segundo Hernandez-Cañadas (1987), o periódico científico surgiu como forma mais rápida de disseminação das descobertas científicas, economicamente mais viável, permitindo a publicação de trabalhos de muitos autores ao mesmo tempo. A partir dos periódicos científicos modernos, surgem as publicações periódicas voltadas para a difusão de informações científicas à sociedade em geral. Este tipo de periódico chamado de *divulgação*

científica, apresenta uma linguagem mais acessível para um público não especialista, onde a sociedade como um todo pode informar-se dos acontecimentos do mundo científico.

3.4. A Democratização do Conhecimento Científico

Alvetti (1999) considera que, assim como no ensino de ciências, na área da comunicação científica, sobretudo na atividade de divulgação, também existe a preocupação em colocar a sociedade a par dos acontecimentos da ciência, fornecendo subsídios para que o cidadão possa participar criticamente das decisões governamentais.

Segundo López (2004), atualmente, cientistas, educadores e divulgadores assumem a necessidade de que toda população possa conhecer e interagir com a ciência e a tecnologia desenvolvida pelos especialistas; as diversas justificativas para essa necessidade podem ser de natureza:

1. *cultural* – uma vez que o conhecimento científico é parte integrante de nossa cultura, todos os cidadãos deveriam ser capazes de compreendê-lo e apreciá-lo como um produto cultural.

4. *social* – relacionada com o alto grau de especialização e a natureza técnica da ciência, sendo que este aspecto provoca uma fragmentação social entre cientistas e cidadãos comuns. A princípio, a melhoria da compreensão pública sobre a ciência produzirá uma maior simpatia e, conseqüentemente, uma corrente favorável ao apoio e a subvenção da investigação.

3. *pragmática* – relacionada a questões de utilidade, uma vez que ao terem melhor entendimento sobre a ciência e a tecnologia presentes na vida moderna os cidadãos estariam melhor preparados para tomar decisões sobre dietas, saúde, segurança e outras coisas, avaliando melhor as mensagens publicitárias e fazendo melhores eleições enquanto consumidores.

Petrucci (1989) considera que o desenvolvimento científico, da maneira como vem ocorrendo, provoca várias transformações nos diversos segmentos da sociedade, permeando as decisões de caráter político; considera ainda que estas transformações estão presentes no

dia-a-dia da população, influenciando seu hábitos e pensamentos, inclusive no que diz respeito ao físico, afetivo, profissional e cultural. Neste sentido:

“A forma e o grau de intensidade de participação da população no processo de desenvolvimento e de transformações que vêm ocorrendo na sociedade, assim como a possibilidade de usufruir e de se apropriar dos resultados e avanços da ciência e tecnologia depende, em grande parte, do grau de informação que o Estado, os pesquisadores, a classe política, professores, profissionais da comunicação, trabalhadores em geral, e demais segmentos da sociedade tenham sobre o processo científico e tecnológico” (PETRUCCI, 1989, p.1).

Segundo Almeida (1984), existem três argumentos que justificam a divulgação dos conhecimentos científicos para o público em geral: o progresso da ciência, a complexidade dos problemas sociais e, por último, uma questão de justiça.

O primeiro argumento justifica-se pelo fato de que quanto mais pesquisadores tiverem contato com as pesquisas desenvolvidas em outras áreas, maior será o intercâmbio de idéias, processo fundamental para o desenvolvimento de novas áreas de conhecimento. O segundo refere-se ao fato de que problemas sociais podem ser mais bem entendidos e resolvidos com maior eficácia através da colaboração de um número maior de cientistas. O terceiro, mais voltado para o público em geral, justifica-se pelo fato de que o cientista que recebe dinheiro público para suas pesquisas, por uma questão de justiça, deve dar o retorno em termos de informação para a sociedade.

Ziman (1979) considera que a obrigação do pesquisador não se resume em acrescentar volumes aos arquivos bibliográficos, mas ao contrário, contribuir com sua pesquisa para a estruturação da ciência e transformar a informação em conhecimento público. Apesar disso, Ziman (1985) afirma que os conhecimentos científicos recentes tornam-se públicos principalmente através dos meios de comunicação em massa e, de modo geral, “a comunidade científica não toma iniciativas ou responsabilidades quanto à popularização da ciência. (...) raras vezes existe comunicação direta e espontânea, procedente da escrita ou da voz do cientista, à vista ou ao ouvido do cidadão” (ZIMAN, 1985, p.122).

Calvo Hernando (1977, p. 81) admite como objetivos do jornalismo científico: 1. criação de uma consciência nacional e continental de apoio e estímulo à investigação científica; 2. divulgação dos novos conhecimentos e técnicas, possibilitando o seu desfrute

pela população; 3. preocupação com o sistema educacional que fornece recursos humanos qualificados para desempenhar a tarefa de investigação; 4. estabelecimento de uma infraestrutura de comunicação e consideração das novas tecnologias e conhecimentos como bens culturais que possam estar disponíveis para toda a população; e 5. incremento da comunicação entre investigadores.

Bueno (1985) considera que o jornalismo científico cumpre seis funções básicas: 1. informativa; 2. educativa; 3. social; 4. cultural; 5. econômica; 6. político-ideológica.

A *função informativa* refere-se à divulgação de fatos e informações de natureza científica e tecnológica, permitindo ao cidadão comum interagir-se das novas descobertas da ciência e de suas implicações políticas, econômicas e sócio-culturais.

Sobre a *função educativa*, Acuña (1974), citado em Bueno (1985), destaca que o jornalismo científico tem um papel educativo importante ao discutir a ética científica, podendo servir para fundamentar idéias e ‘condutas da coletividade’.

Calvo Hernando (1977), afirma que as atividades de vulgarização (divulgação) científica e do ensino são complementares, visto que ambas pressupõem uma intenção pedagógica; mas, no ensino, o processo de realimentação está sempre presente. Bueno (1985) discorda desta consideração citando Paulo Freire para alertar que a relação professor-aluno nem sempre é dialógica e, desta forma, não podemos considerar a ocorrência de uma plena realimentação.

Bueno (1985) afirma ainda que o jornalismo enquanto prática educativa apresenta alguns problemas, tais como: 1. almanaquismo, ou seja, tendência a reduzir a informação científica a uma curiosidade, registro de recordes, piadas, etc; 2. ausência de uma mensagem didática e positiva; 3. falta de rigor científico; 4. tendência ao sensacionalismo; e 5. superficialidade, causada pela falta de fontes seguras de informação.

A *função social* está associada ao processo de humanização da ciência e responde pela intermediação entre a ciência (e o cientista) e a sociedade. Bueno considera que ciência e sociedade devem ficar mais próximas uma da outra.

A divulgação de informações científicas e tecnológicas representa também uma atividade cultural, relacionada com o exercício de uma *função cultural*. Mas Bueno alerta que:

“Esta função não se reduz, no entanto, à mera difusão das novas descobertas científicas e das novas aplicações tecnológicas.(...) a função cultural do jornalismo científico extrapola os limites da mera transmissão de fatos e resultados da ciência para contemplar uma visão crítica de sua difusão por diferentes ambientes culturais” (BUENO, 1985, p.1426).

A *função econômica* diz respeito à relação entre o desenvolvimento da ciência (e sua divulgação) e o setor produtivo, ou seja, o jornalismo científico pode despertar os homens de negócios para as novas tecnologias e, no caso dos países subdesenvolvidos, esta atividade pode servir também para conscientizar os empresários sobre o valor da investigação e a relação custo-benefício subjacente ao investimento em pesquisas.

Sobre a *função político-ideológica*, Bueno afirma que esta tem sido a mais ausente na prática do jornalismo científico nos países subdesenvolvidos e responde pelo seu caráter alienante. Para ele, *“os compromissos político-ideológicos da ciência e da tecnologia devem estar presentes na consciência do jornalismo científico, evitando que ele funcione como mero reprodutor”* (BUENO, 1985, p.1426).

Segundo Melo (1982), o jornalismo contemporâneo tem uma ideologia própria, que se manifesta através de duas características básicas: (a) *sensacionalismo*, que consiste num recurso utilizado pelos autores e editores para vender a notícia é preciso despertar as emoções do público e (b) *atomização*, caracterizada principalmente pela fragmentação do conteúdo em blocos de assuntos (política, economia, esportes, ciência, etc), o que dificulta uma compreensão unificada da realidade. Para este autor, o jornalismo científico é produto típico dessa ideologia do jornalismo na sociedade capitalista e, por encontrar-se limitado, moldado e conduzido por tais diretrizes ideológicas, o jornalismo científico apresenta algumas características funcionais, dentre elas:

1. *mitologia da ciência* – reforça a concepção de que os resultados de pesquisa, muitas vezes tratados como simples ‘descobertas’, são verdades válidas em qualquer situação e que os responsáveis por estas descobertas são dotados de uma inteligência acima do normal. Neste sentido, atua em função do poder científico, contribuindo muito mais para reforçar as

estruturas de poder na ciência (e na sociedade) e quase nada para democratizar o conhecimento;

2. *neutralidade da ciência* – ao manejar fatos e não processos, alimenta a idéia de neutralidade da ciência. A ciência aparece como uma atividade autônoma, independente das demais instâncias da sociedade. Ao noticiar fatos isolados, deixa de mostrar que as decisões para a sua existência foram políticas;

3. *preconceito da ciência* – enfatiza fatos ligados às ciências básicas: física, química, biologia, e às ciências aplicadas: engenharia, medicina, agronomia, deixando em segundo plano as ciências humanas. Para o autor, é quase residual o interesse pelos fatos gerados no âmbito da Sociologia, Antropologia, História e outras ciências humanas.

Melo (1982) afirma ainda que o jornalismo científico não tem sido uma atividade voltada para a democratização do conhecimento, para a divulgação daqueles processos de produção do conhecimento novo, capaz de adquirir relevância social. Tal como vem sendo concebido e praticado pelos jornalistas, este converteu-se em instrumento de: a) *transferência tecnológica* – fazendo circular em nossa sociedade o conhecimento produzido nos países metropolitanos, o que reforça e agrava a dependência nacional; b) *manutenção do poder* – mitificando a ciência e *glamourizando* os cientistas mais destacados; assim, tem funcionado como alavanca para a ascensão de cientistas proeminentes e, em certa medida, tem influenciado no direcionamento dos recursos destinados a pesquisa científica.

Convém destacar também a posição adotada por José Reis (1964). Para ele, a divulgação científica realiza duas funções que se completam: primeiramente, a função de ensinar, suprimindo ou ampliando a função da própria escola; em segundo, a de fomentar o ensino, sendo que esta segunda função desdobra-se em várias outras como “*despertar o interesse público pela ciência e assim forçar, mediante as pressões pelas quais normalmente se exerce a vontade popular nas democracias; a elevação do nível didático das escolas; despertar vocações e orientá-las; criar entre os jovens o espírito associativo em torno da ciência; estimular o amadorismo científico (...)*” (REIS, 1964; p.352).

3.5. A Utilização das RDCs para o Ensino de Ciências

Levando em conta as diversas características do jornalismo científico, apontadas por Melo (1982) e as considerações feitas por Bueno (1985) acerca dos problemas presentes no jornalismo enquanto prática educativa, considero que a atividade de divulgação científica, incluindo-se o jornalismo científico, não cumprem plenamente o papel de ensinar e/ou educar seu público, uma vez que este tipo de atividade, em sua essência, não possui um caráter formativo.

De modo geral, as informações contidas nos os diversos produtos da divulgação científica, são superficiais e insuficientes para que os leitores, sobretudo os leigos, possam apropriar-se adequadamente dos conceitos científicos e utilizar as informações contidas neste tipo de material para a resolução de problemas reais.

Neste sentido, os diversos materiais produzidos pela divulgação científica, particularmente as RDCs, podem ser utilizados pelo professor não só para ensinar conceitos científicos, mas também para discutir aspectos relativos ao processo de produção do conhecimento científico e tecnológico, suas relações com o contexto político-econômico e sócio-cultural em que as atividades científica e tecnológica estão inseridas e até mesmo os interesses envolvidos na difusão destes conhecimentos.

López (2004), afirma que tanto a educação científica como a divulgação científica, constituem uma interface entre a sociedade e as atividades da ciência e da tecnologia e que ambos os meios compartilham a finalidade de levar informações sobre ciência e tecnologia aos cidadãos. Assim, o autor propõe a existência de relações mútuas entre estes meios e, a partir desta proposição, analisa três possibilidades para a utilização de meios e produtos da divulgação científica no ensino de ciências, sendo que cada uma dessas possibilidades responde a objetivos próprios : (a) como recurso didático; (b) como fonte de aprendizagem; e (c) como objeto de estudo.

A primeira possibilidade, que segundo ele já é bastante comum na prática do ensino de ciências, favorece uma maior conexão entre muitos dos conteúdos estudados nas aulas de ciências e a realidade conhecida e vivida pelos alunos fora do ambiente escolar.

A segunda possibilidade está relacionada com as concepções e idéias que os alunos levam para a sala de aula, uma vez que muitas delas são originadas a partir do contato com os diversos meios de divulgação da ciência e, sendo assim, estas concepções e idéias, que deverão ser modificadas ao longo do processo de ensino-aprendizagem, podem ser identificadas a partir de textos contidos nas RDC, em notícias de jornais, documentários e outros.

A terceira possibilidade surge quando se estabelece a capacitação dos alunos para compreender e interagir com os produtos da divulgação científica como um objetivo do ensino de ciências.

A utilização de artigos selecionados das RDCs para a construção de uma estratégia didática orientada na perspectiva da educação CTS pode contemplar estas três possibilidades. Além de discutir conceitos presentes no texto e buscar a análise e reestruturação das concepções dos educandos acerca dos diversos aspectos estudados, o professor pode orientar sua estratégia didática de modo a desenvolver nos educandos habilidades de julgamento que lhes permitam interagir criticamente com este tipo de material.

Estas habilidades conferem ao educando a autonomia intelectual preconizada pelos PCNs e, além disso, podem incorporar-se ao seu cotidiano, tornando-se um hábito comum mesmo após sua passagem pelo ensino formal; assim, *“bom leitor, o estudante continuará mais tarde, já fora da escola, a buscar informações necessárias à vida de um cidadão, a checar notícias, a estudar, a se aprofundar num tema, ou, simplesmente, a se dedicar à leitura pelo prazer de ler”* (RINCON E ALMEIDA, 1991, p.9).

CAPÍTULO 4

CONSTRUINDO A PROPOSTA

Os diversos aspectos discutidos nos capítulos anteriores indicam a possibilidade de se organizar uma estratégia didática para ensinar CTS a partir de artigos das RDCs e, ao mesmo tempo, revelam que apesar de existirem muitas justificativas favoráveis à utilização destas revistas para fins didáticos, a divulgação científica apresenta inúmeras características que sugerem a necessidade de uma análise criteriosa deste material por parte do professor; a partir desta análise ele poderá identificar os diversos elementos de CTS presentes no artigo que pretende utilizar, vislumbrar possíveis abordagens para o tema tratado neste artigo e organizar sua estratégia didática em torno do mesmo.

Neste capítulo descreverei o processo de construção de um instrumento capaz de subsidiar tal análise. Primeiramente, serão apresentados critérios para a escolha de um tema em torno do qual o professor organizará sua estratégia didática, as justificativas e os critérios adotados na definição do material a ser utilizado e a caracterização geral do instrumento a partir do referencial teórico adotado nesta pesquisa. Em seguida, apresentarei uma estruturação inicial para este instrumento e descreverei o processo de aplicação-análise-reformulação que conduziu a uma versão mais elaborada do mesmo.

4.1 A Escolha do Tema

No primeiro capítulo apresentei um conjunto de diretrizes para auxiliar o professor na elaboração de uma estratégia didática que possa atender as recomendações feitas pelos documentos oficiais (LDB, DCNEM e PCNs). Destaquei, entre outros, a importância de se considerar particularidades locais e regionais da comunidade escolar e de se priorizar temas interdisciplinares. Analisando as diversas considerações feitas no referencial teórico, defini alguns critérios que podem nortear a seleção de um tema para se trabalhar CTS a partir de um artigo de divulgação científica.

Primeiramente, o tema abordado deverá contemplar elementos que possibilitem não apenas o estudo de aspectos específicos de cada dimensão (científica, tecnológica e social), mas também articulações entre elas, de modo a promover um amplo entendimento das

interações C-T-S. Para uma melhor visualização deste critério, apresentamos a seguir um quadro-resumo.

Dimensão Científica	Explicitação de conceitos científicos e aspectos relativos à estruturação da atividade científica.
Dimensão Tecnológica	Indicativos sobre os diversos aspectos da prática tecnológica.
Dimensão Social	Elementos que permitam contextualizar as atividades científica e tecnológica.
Interações C-T-S	Explicitação de aspectos relacionais entre as três dimensões.

Além disso, considero que o tema deverá obedecer outros dois critérios:

1. *Ser relevante dentro do contexto em que os educandos estão inseridos*: este critério está relacionado à necessidade de se considerar particularidades locais e regionais da comunidade escolar. Em consonância com Waks (1990), Ramsay (1993) e Santos e Mortimer (2000), considero conveniente que esse tema esteja relacionado com alguma questão problemática que afete diretamente a comunidade dos alunos.

2. *Ser de natureza controvertida*: significa um tema que possibilite a análise de diferentes abordagens e interpretações pelos diversos segmentos da sociedade. Este critério aponta para a escolha de temas polêmicos do ponto de vista social, ou seja, que não fiquem restritos a aspectos técnicos e funcionais específicos das dimensões científica e tecnológica. No segundo capítulo, apresentei alguns temas que compõem os diversos currículos CTS e que podem satisfazer tanto este critério quanto o anterior.

Em consonância com Ziman (1985), considero que, além dos critérios definidos acima, deve-se levar em conta os objetivos educacionais específicos do grupo de estudantes, relacionando os conteúdos que serão trabalhados a partir do tema escolhido com o futuro provável destes educandos, sobretudo no contexto da educação profissionalizante. Além disso, Ziman (1985) alerta que para trabalhar na perspectiva da educação CTS o professor deve ter uma visão global sobre o tema eleito, dominando minimamente aspectos relativos às diversas áreas do conhecimento que apresentam algum tipo de ligação com o mesmo.

Esta visão global confere ao professor maior autonomia para negociar com os alunos diferentes rumos a serem dados no desenvolvimento das atividades e proporciona subsídios para que este possa indicar aos alunos fontes de informações com diferentes abordagens e interpretações, a fim de contemplar uma discussão mais ampla. Para tanto, o professor deve buscar informações relativas ao tema não só em revistas científicas mas também em jornais, documentários, panfletos e explicativos de campanhas governamentais, comerciais de TV, livros didáticos e para-didáticos, outdoors e outros.

4.2 A Definição do Material a Ser Utilizado

Como estamos vendo, existem muitas possibilidades para que, tanto os professores quanto os alunos, possam se apropriar de informações sobre o tema a ser trabalhado. Bueno (1985) considera que todas estas possibilidades podem ser caracterizadas como materiais de divulgação científica; entretanto, *“as informações científicas, ao serem veiculadas nos diversos canais, apresentam diferentes formas de abordagem e níveis de aprofundamento que são aspectos definidos pelo emissor da mensagem em função do público que este pretende atingir”* (HERNANDES-CAÑADAS, 1987, p.16). Por isso, vejo a necessidade de justificar porque estou sugerindo a utilização de revistas de divulgação científica e não outro tipo de material.

De modo geral, percebe-se que nos materiais de caráter não científico (telejornais; panfletos e explicativos de campanhas governamentais; etc) o tratamento dado às informações não contempla minimamente a dimensão científica relacionada ao assunto e, na maior parte deles, a dimensão tecnológica fica reduzida a seu aspecto técnico. Assim, considero que estas características podem dificultar o desenvolvimento de algumas das habilidades destacadas inicialmente.

Os livros de divulgação e até mesmo os livros para-didáticos geralmente apresentam textos muito longos, o que considero como um fator que dificulta a leitura por parte dos alunos. Além disso, a maioria destes livros não contempla diferentes abordagens, pois são escritos por especialistas. Assim, o tema acaba sendo tratado a partir de uma visão unilateral, sem valorizar as possíveis interpretações de outros segmentos da sociedade. Esta característica contrapõe-se aos critérios estabelecidos anteriormente; por este motivo, estou desconsiderando a possibilidade de utilização deste tipo de material.

Existem muitas revistas de difusão científica em nosso país (incluindo disseminação intrapares, disseminação extrapares e a divulgação ou popularização da ciência). Entretanto, as revistas de disseminação (intrapares e extrapares) “constituem um tipo de texto dotado de algumas estruturas gramaticais e léxicas que colocam dificuldades para os não especialistas” (MARTINS, 2001, p.23). Assim, revistas acadêmicas específicas das diversas áreas (geofísica, bioquímica, biofísica, etc) “estão dirigidas para um público especializado” (BUENO, 1985, p. 1421); por isso estou considerando-as como inadequadas para a utilização no Ensino Médio.

Tendo em vista as diversas considerações apresentadas acima, decidi por analisar apenas revistas de divulgação ou popularização científica propriamente ditas, como a Galileu e a Superinteressante, por exemplo. De modo geral, os conteúdos deste tipo de material “são elaborados numa linguagem simples, voltada para o público não especialista” (BUENO, 1985, p.1421). Em consonância com esta afirmação, convém destacar que, “no que diz respeito à linguagem empregada, tanto o texto de divulgação quanto o texto didático estão organizados a partir de pressupostos acerca do público-alvo, seus interesses, necessidades e competências enquanto leitores” (MARTINS, 2001, p.23). Tais pressupostos conferem, a este tipo de material, características que possibilitam sua utilização no ensino Médio.

Existe uma grande variedade de RDCs circulando em nosso país, o que indica a possibilidade de se encontrar diferentes abordagens para um determinado tema. Assim, após definir um tema em torno do qual será desenvolvida a estratégia didática, faz-se necessária uma análise dos diversos artigos que tratem sobre o tema. Esta análise deve identificar elementos que permitam caracterizar a estrutura e o conteúdo do texto, apontando aspectos relevantes para o desenvolvimento da estratégia didática. A partir de uma discussão em torno do referencial teórico adotado nesta pesquisa, destacarei em seguida alguns destes elementos.

4.3 Caracterizando o Instrumento de Análise

Quanto à dimensão científica, deve-se primeiramente considerar que o movimento CTS visa, entre outros, rechaçar a imagem de ciência como atividade pura e neutra (ver Cerezo, 1998). Neste sentido, fazem-se necessários elementos capazes de identificar a concepção de ciência predominante no artigo em estudo para que se possa discutir questões desta natureza.

Caamaño (1995) alerta para a necessidade de orientar os educandos no sentido de uma maior compreensão dos *aspectos relativos à natureza da atividade científica* e, além disso *conectar a ciência com suas aplicações tecnológicas e os fenômenos da vida cotidiana*. Vimos ainda que outros autores (Bybee, 1987, Rosenthal, 1989) valorizam a discussão de *conceitos científicos*, uma vez que o estudo destes conceitos pode proporcionar uma formação mais consistente, na qual os educandos poderão encontrar subsídios para fundamentar suas opiniões e decisões, tanto no plano individual quanto no coletivo.

Discutindo questões referentes aos três elementos destacados acima de forma integrada, pode-se caracterizar a dimensão científica de forma bastante ampla. Assim como diversos autores (Aikenhead, 1985; Ramsay, 1993; Tsay, 2001; Rosenthal, 1989), considero que discutir conceitos científicos sem levar em conta os diversos aspectos relativos à natureza da ciência e suas possíveis aplicações torna a aprendizagem descontextualizada e pouco consistente. Esta abordagem integrada pode proporcionar um melhor entendimento dos *processos de investigação*, aspecto que Bybe (1987) considera fundamental na estruturação dos currículos CTS e, conseqüentemente, colabora para a *compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos*, que consiste numa das finalidades estabelecidas para o Ensino Médio pela LDB.

Além dos elementos destacados acima, Solomom (1988) alerta que as discussões relativas à natureza da ciência devem apontar para o caráter provisório e incerto das teorias científicas, contribuindo para que os educandos possam avaliar as aplicações da ciência, levando em conta as opiniões controvertidas dos especialistas. Neste sentido, pode-se considerar que as *diferentes opiniões de especialistas*, sejam elas divergentes ou não, constituem um elemento significativo para uma compreensão mais ampla da dimensão científica relativa ao tema e para uma melhor fundamentação de suas idéias.

Fundamentado em Pacey (1990) e Osório (2002), considero que para caracterizar a dimensão tecnológica deve-se buscar no artigo em estudo elementos que contemplem minimamente seus quatro aspectos fundamentais (técnico, organizacional, cultural e pessoal). Como vimos no segundo capítulo, a alfabetização tecnológica na perspectiva da educação CTS inclui a compreensão de todos esses aspectos (ver Acevedo Dias, 1996); além disso, quero alertar para a importância de se levar em conta linguagens e formas de representação gráfica utilizadas na caracterização da Tecnologia enquanto atividade humana.

Ao falar em linguagens e formas de representação gráfica, estou me referindo, dentre outros elementos, a *siglas* utilizadas na abreviação de termos técnicos, *tabelas e gráficos* utilizados na representação quantitativa de variáveis relacionadas com o funcionamento de sistemas tecnológicos e com as modificações ocorridas nestes sistemas e na sociedade ao longo do tempo. Dentre as diversas possibilidades, um histograma relativo ao consumo de determinado produto ao longo de um período ou uma tabela comparando características de diferentes produtos ou sistemas tecnológicos (como diferentes tipos de lâmpadas ou usinas de geração de energia elétrica) podem exemplificar esta forma de representação.

Outro elemento que pode auxiliar na caracterização da dimensão tecnológica, particularmente de seu aspecto técnico, é o levantamento de detalhes a respeito dos equipamentos e sistemas tecnológicos a serem tratados no estudo do tema em questão. Estes detalhes podem ser resumidos a partir de *especificações técnicas destes equipamentos*, sendo que estas especificações podem inclusive auxiliar no estudo de determinados conceitos científicos relacionados ao tema. Além disso, Pacey (1990) considera que a caracterização do aspecto técnico inclui outros elementos como os *produtos, dejetos e resíduos obtidos a partir da prática tecnológica*. Estes elementos permitem caracterizar de forma mais ampla a atividade tecnológica, uma vez que evidenciam possíveis argumentos contrários à visão linear de progresso, na qual desenvolvimento científico gera desenvolvimento tecnológico e este por sua vez proporciona, necessariamente, maior bem-estar social.

Quanto ao aspecto organizacional, Pacey (1990) considera que este inclui, entre outros, elementos que possam caracterizar *a tecnologia enquanto atividade econômica e industrial e a atividade dos profissionais* no gerenciamento da atividade tecnológica e na manipulação de equipamentos. Além destes, deve-se buscar elementos relacionados com a *regulamentação da atividade tecnológica*, uma vez que, segundo Rosenthal (1989), eles podem subsidiar discussões sobre o funcionamento da prática tecnológica enquanto atividade que se desenvolve moldada a partir de leis, normas e padrões de qualidade, bem como outras referentes à circulação de seus produtos na sociedade e à tomada de decisões públicas em ciência e tecnologia. Rosenthal (1989) considera que estes aspectos são relevantes para a caracterização da dimensão tecnológica e também da científica.

No segundo capítulo, destaquei que, segundo Caamaño (1995), um dos objetivos básicos da educação CTS é abordar as implicações sociais e éticas do uso da tecnologia. Além disso, segundo Pacey (1990), o aspecto cultural da prática tecnológica pode ser caracterizado por diversos elementos, dentre eles, *o sistema de valores e os códigos éticos que permeiam esta atividade*. Quanto às *crenças sobre o progresso, consciência e criatividade*, apontadas por este autor, como outro elemento capaz de caracterizar o aspecto cultural da atividade tecnológica, considero que estas são estabelecidas culturalmente a partir deste sistema de valores. Neste sentido, estou considerando que tais crenças, assim como *a concepção de beleza* e os diversos *elementos estéticos* utilizados no cotidiano da atividade tecnológica, correspondem a aspectos constituintes do sistema de valores.

Segundo Osório (2002), o quarto aspecto da prática tecnológica, relacionado com as diferentes respostas pessoais ao uso da tecnologia, constitui-se de elementos cuja abrangência transcende especificidades da dimensão tecnológica. A caracterização deste quarto aspecto inclui, além de possíveis *problemas sociais oriundos das atividades científica e tecnológica* e as *opiniões de diferentes grupos sociais* sobre as repercussões da ciência e da tecnologia, os quais estão relacionados mais diretamente com a dimensão social, outros elementos mais abrangentes que podem auxiliar na caracterização da categoria *interações C-T-S*. *Alguns deles são: os impactos ambientais da prática tecnológica, os possíveis reflexos dos diversos produtos tecnológicos sobre a saúde e o comportamento humano* e questões referentes aos *recursos públicos e privados destinados às pesquisas em Ciência e Tecnologia*.

Rosenthal (1989) considera de fundamental importância que, durante o processo de ensino-aprendizagem, discutam-se questões relativas a aspectos sociais, como a tomada de decisões públicas em Ciência e Tecnologia, as políticas globais e de defesa nacional e o uso político da ciência e da tecnologia. Estes aspectos apontam para a necessidade de outro elemento que auxilie na caracterização da dimensão social. Os diversos aspectos relativos ao uso político da tecnologia podem ser caracterizados a partir de indicativos sobre o *público alvo*, ou seja, os maiores interessados na temática tratada pelo artigo.

O destaque dado por Fleming (1989) para questões relativas aos benefícios e custos do desenvolvimento tecnológico aponta para a necessidade de elementos relacionais entre *custos, desenvolvimento científico-tecnológico e bem estar social* na caracterização das interações C-T-S. Este autor destaca ainda a importância de se discutir os *modelos*

econômicos envolvendo tecnologia e as decisões pessoais sobre o consumo de produtos tecnológicos. Entretanto, estou considerando que, a princípio, estes elementos encontram-se de alguma forma incluídos naqueles destacados anteriormente e, por isso, não serão destacados explicitamente na primeira versão do instrumento de análise. Esta versão preliminar será apresentada na seção seguinte.

4.4 A Estruturação Inicial do Instrumento de Análise

Os diversos elementos destacados na seção anterior definem um conjunto de atributos que deverão estar contemplados num artigo para que se possa, a partir dele, organizar uma estratégia didática na perspectiva CTS. Estes atributos consistem em indicativos sobre os diversos *aspectos considerados importantes para o ensino de CTS e recursos utilizados na elaboração do texto* para torná-lo mais atrativo e facilitar a compreensão por parte dos leitores.

Tais atributos prestam-se para orientar o estudo do tema tratado no artigo e, conseqüentemente, favorecer o desenvolvimento das competências e habilidades que destaquei no primeiro capítulo. Nesta seção estou apresentando a primeira versão de um instrumento de análise que visa auxiliar o professor na identificação destes aspectos. Estruturei esta primeira versão do instrumento através de um quadro onde os diversos atributos estão distribuídos em quatro categorias: 1) dimensão científica; 2) dimensão tecnológica; 3) dimensão social e 4) interações entre C-T-S.

Estes atributos foram classificados e agrupados de acordo com a natureza de seu conteúdo específico. Na categoria *Dimensão Científica*, estão agrupados alguns atributos de caráter científico que apontam para o estudo de conceitos e conteúdos disciplinares e outros que, de alguma forma, podem expressar a concepção de ciência transmitida no artigo, fornecendo subsídios para discussões relativas à natureza da ciência. Na categoria *Dimensão Tecnológica*, estão agrupados aqueles atributos relacionados aos três primeiros aspectos da prática tecnológica. Os atributos de caráter social, que auxiliam na caracterização das diferentes respostas pessoais frente à ciência e à tecnologia, estão reunidos na categoria *Dimensão Social*. E, finalmente, a categoria *Interações C-T-S* contempla aqueles atributos que estabelecem vínculos com as três dimensões específicas e podem orientar o estudo de relações entre ciência, tecnologia e sociedade.

Dimensão	Atributos
Científica	<p>C₁⇒ Conceitos científicos.</p> <p>C₂⇒ Aspectos relativos à natureza da ciência.</p> <p>C₃⇒ Possíveis aplicações da ciência.</p> <p>C₄⇒ Opiniões de diferentes especialistas.</p>
Tecnológica	<p>T₁⇒ Siglas, Códigos, Tabelas e outras formas de representação quantitativa.</p> <p>T₂⇒ Aspectos da tecnologia enquanto atividade econômica e industrial.</p> <p>T₃⇒ Especificações técnicas sobre o funcionamento de equipamentos.</p> <p>T₄⇒ Papel dos profissionais no gerenciamento da atividade tecnológica e na manipulação dos diversos equipamentos.</p> <p>T₅⇒ Aspectos legais sobre a regulamentação e padrões de qualidade relacionados com a temática tratada no artigo.</p> <p>T₆⇒ Valores e os Códigos Éticos da atividade tecnológica.</p> <p>T₇⇒ Produtos, Dejetos e Resíduos obtidos a partir da prática tecnológica.</p>
Social	<p>S₁⇒ Público alvo, ou seja, os maiores interessados na temática que está sendo tratada ou nos resultados de pesquisas que estão sendo divulgados.</p> <p>S₂⇒ Problemas sociais oriundos das atividades científica e tecnológica.</p> <p>S₃⇒ Opiniões de diferentes grupos sociais.</p>
Interações C-T-S	<p>I₁⇒ Recursos públicos ou privados aplicados no desenvolvimento de pesquisas em ciência e tecnologia.</p> <p>I₂⇒ Aspectos da relação custo / benefício social das atividades científica e tecnológica.</p> <p>I₃⇒ Possíveis impactos ambientais da prática tecnológica.</p> <p>I₄⇒ Indicativos sobre a relação entre desenvolvimento científico-tecnológico e bem-estar-social.</p> <p>I₅⇒ Possíveis reflexos dos diversos produtos tecnológicos sobre a saúde e o comportamento humano.</p>

4.5 A Aplicação da Versão Inicial

O quadro apresentado anteriormente é apenas uma versão preliminar. Após definir este quadro inicial de atributos, selecionei três artigos nos quais busquei localizar as diversas passagens em que estes aspectos fossem destacados explicitamente e outras onde tais aspectos aparecem de forma latente. Dois destes artigos abordam questões relativas ao funcionamento de uma usina nuclear (a usina de Angra 2) e o terceiro, relativas à clonagem.

Para fazer a escolha dos temas adotei os critérios que foram apresentados no início deste capítulo. Quanto à relevância dos temas, considero que ambos são potencialmente polêmicos dentro do contexto nacional e, por isso, independentemente do contexto local em que estejam inseridos, podem ser significativos aos educandos. Além disso, ambos possuem um forte componente interdisciplinar, o que possibilita um amplo entendimento do mesmo e, por se tratarem de temas polêmicos do ponto de vista social, podem ser considerados como temas de natureza controvertida.

Em seguida, apresentarei o processo de identificação dos atributos em cada um dos três artigos. Transcreverei as diversas passagens referentes a cada atributo destacado no quadro inicial, fazendo alguns pequenos comentários em determinados momentos e uma análise final dos elementos identificados em cada artigo, onde serão indicados alguns aspectos que não se enquadraram no conjunto de atributos, mas que julguei significativos; alguns por possibilitarem uma complementação ao estudo do tema e outros por apontarem necessidades de redefinição e reestruturação do quadro inicial.

Utilizei a sigla (ANCE), que significa *atributo não contemplado explicitamente*, para designar a ausência, no artigo, de elementos explícitos que permitam caracterizar um determinado atributo. Quero alertar para a possibilidade de haver determinados elementos que tenham permanecido latentes sob minha análise, mas que podem revelar-se explicitamente para outro leitor.

4.5.1 Texto 1: Lixo No Paraíso

Autor: Esteves, Bernardo

Publicação: Superinteressante, 14 (6): 50 – 54

Editora Abril, São Paulo, jun/2000

4.5.1.1 Dimensão Científica

1. Quanto aos conceitos científicos:

Transcreverei aquelas passagens do texto onde um determinado conceito científico pode ser identificado de forma explícita e destacarei este conceito sublinhando as palavras-chave correspondentes. Para cada passagem indicarei, se for necessário, outros conceitos e termos técnicos que apresentam relação direta com este primeiro e que foram localizados ao longo do texto. Em alguns casos, estarei sugerindo assuntos ou conceitos derivados deste primeiro que podem ser trabalhados de acordo com o interesse dos alunos, mesmo sem aparecerem explicitamente no artigo:

a) “O reator de angral já produziu 6491 tonéis de dejetos de baixa radioatividade e 681 cilindros de concreto com lixo de média radioatividade” (p.50).

Localizei outras passagens onde aparecem termos relacionados diretamente com este conceito. São eles: resíduos radioativos (p.50), vazamento radioativo (p.53), lixo atômico (p.51), blindagem radiobiológica (p.53) e meia-vida (p.51). A partir destes conceitos pode-se ainda discutir outros como por exemplo: decaimento radioativo, detectores de radiação, datação por carbono 14, interação das radiações com a matéria.

b) “Um dos produtos da reação de fissão do urânio é o altamente radioativo plutônio-239” (p.51).

Localizei ainda uma outra passagem onde o termo energia nuclear é citado explicitamente: “Em 1999, apenas quatro usinas novas foram ligadas no globo. Nos tempos áureos da energia nuclear, (...)” (p.54).

A partir destes conceitos, pode-se ainda discutir, entre outros, as reações de fusão nuclear, o próprio conceito de energia, o princípio de conservação da energia e as diversas formas de ‘produção’ de energia elétrica.

c) “no interior do edifício, a pressão é menor que a atmosférica”(p.53).

Além do conceito geral de pressão, pode-se trabalhar a influência da pressão atmosférica nos diversos fenômenos físicos e o comportamento dos fluidos.

d) “Quando estiver funcionando a plena capacidade, Angra 2 deve gerar 1309 megawatts(...)” (p.51).

O termo destacado corresponde a uma unidade de potência, que é uma definição amplamente estudada na física.

e) “As pastilhas de dióxido de urânio, (...). Agüentam até 1400 graus Celsius” (p.53).

O primeiro termo destacado refere-se a uma função inorgânica bastante importante no estudo da Química e o segundo termo corresponde a um valor de temperatura, especificamente uma temperatura de fusão, a partir da qual pode-se discutir os processos de mudança de estado físico.

f) “Para armazenar o lixo, escolhem-se locais de pouca densidade demográfica, baixo índice pluviométrico, e livres de lençóis freáticos” (p.51).

Estes termos destacados, poderiam ser estudados juntamente com disciplinas da área de ciências humanas como a disciplina de geografia, por exemplo.

2. Quanto aos aspectos relativos à natureza da ciência: (ANCE).

3. Quanto às aplicações da ciência: (ANCE).

4. Quanto às opiniões de diferentes especialistas:

a) “O lixo atômico é o grande abacaxi que estamos deixando para as próximas gerações. (...), alerta o geólogo Ruy de Góes, coordenador da campanha antinuclear do Geenpeace” (p.51).

b) “*Mas quem disse que os motoristas vão se aventurar em uma região onde houve um acidente nuclear?*”, questiona o físico Luiz Pinguelli Rosa da Universidade Federal do Rio de Janeiro” (p.53).

c) “*Prometer fechar reatores daqui a alguns anos será fácil, porque a existência útil deles terá terminado*”, refuta Luiz Henrique Gonçalves de Moraes, superintendente de apoio técnico à operação da Eletronuclear. ‘*Quero ver o que esses países vão fazer depois. As opções de energia são limitadas*’” (p.54).

d) “*Deveríamos, sim, era tentar vender os equipamentos de Angra 3*”, afirma o físico da Universidade de São Paulo e ex-ministro do meio ambiente, José Goldemberg” (p.54).

Nestas passagens podemos perceber que as diversas opiniões sobre o assunto convergem para uma posição contrária ao funcionamento da usina. Cabe ao professor alertar os educandos para a busca de informações que possam ampliar sua visão sobre o tema e a partir destas, levantar argumentos favoráveis e contrários ao funcionamento de Angra 2.

4.5.1.2 Dimensão Tecnológica

1. Quanto a siglas, códigos e gráficos:

a) “*Seu reator é do tipo PWR, que usa água pressurizada, ...*” (p.53).

Aqui temos o tipo de reator utilizado na usina de angra sendo citado através de uma sigla (PWR). Esta sigla, que corresponde a uma abreviação do termo (pressurized water reactor ou reator a água pressurizada), pode também servir de subsídio para discussões sobre aspectos técnicos do funcionamento deste produto tecnológico. Assim, podemos considerar que esta passagem contempla não só o atributo T_1 como também T_3 .

b) “*infográfico da página 53.*”.

Esta forma de representação permite uma visão mais ampla de diversos aspectos (localização geográfica, por exemplo) e torna o artigo visualmente mais atrativo para os alunos. Além deste, temos na página 54 dois diagramas (gráficos) que auxiliam na quantificação de alguns aspectos técnicos importantes. Além de analisar estes diagramas, pode-se ainda propor novas formas de representação gráficas para estes mesmos aspectos, o que proporcionaria uma compreensão mais ampla da linguagem matemática.

2. Aspectos da tecnologia enquanto atividade econômica e industrial:

a) *“Dois membros do G7(grupo dos países mais ricos do mundo) investem pesado em energia nuclear...”* (p.54).

b) *“Enquanto isso, o Brasil fala, já, em construir uma terceira usina. (...) muitos equipamentos já foram importados e se gastou 1,4 bilhão de dólares com essa aparelhagem, boa parte em juros. O custo adicional para construir a usina é de mais 1,5 bilhão. No final ela acabaria saindo por uns 3 bilhões de dólares. Só que uma reator novinho de 1300 megawatts pode ser comprado por 1,5 bilhão no mercado”*(p.54).

Estes fragmentos fornecem subsídios para uma discussão sobre como o desenvolvimento de pesquisas na área de ciência e tecnologia está, de alguma forma, vinculado a interesses políticos e econômicos. Podemos ainda nos remeter a questões vinculadas a políticas nacionais de investimento em ciência e tecnologia, contemplando elementos do atributo I₁.

3. Quanto a especificações técnicas:

Além daquela passagem que foi destacada no item 1, localizei outras:

a) *“Quando estiver funcionando a plena capacidade, Angra 2 deve gerar 1309 megawatts (...)”* (p.51).

Nesta frase temos uma informação sobre a potência a ser gerada pelo reator da usina.

b) *“As pastilhas de dióxido de urânio, que é o combustível do reator (...) são embutidas em varetas feitas de uma liga de zircônio e estanho (...). Agüentam até 1400 graus Celsius”*(p.53).

O fragmento acima apresenta informações sobre o tipo de elemento químico utilizado como combustível e uma propriedade física das varetas onde são embutidas as pastilhas.

c) *“O software que comanda a usina controla 2600 quilômetros de cabos e um milhão de conexões elétricas.”*(p.53).

Esta informação não corresponde exatamente a uma especificação técnica, mas fornece subsídios para discussões relativas ao grau de complexidade do sistema de funcionamento de uma usina.

Destacarei em seguida quatro passagens onde são apresentadas informações técnicas sobre a estrutura física da usina. Estas especificações estão mais relacionadas com o sistema de proteção construído em torno do reator nuclear, que é o produto tecnológico em questão:

d) “O reator de angra 2 tem seis barreiras de proteção para conter um eventual vazamento” (p.52).

e) “O vaso de pressão do reator tem paredes de aço de 25 centímetros de espessura” (p.53).

f) “O vaso de contenção de aço estanque tem 3 centímetros de espessura e 56 metros de diâmetro” (p.53).

g) “um edifício com paredes de concreto armado de 60 cm de espessura protege o reator contra choques externos” (p.53).

4. Quanto ao papel dos profissionais no gerenciamento da atividade tecnológica e na manipulação de equipamentos:

a) “O reator continua funcionando mesmo que haja algum percalço numa peça. A estepe entra em ação’, assegura o engenheiro electricista Humberto Werdine Jr., chefe da usina.” (p.52).

b) “Os técnicos de Angra se orgulham da segurança da usina” (p.53).

Os fragmentos acima, apesar de não explicitarem o papel destes técnicos no funcionamento da usina, fornecem um indicativo de que os profissionais envolvidos são qualificados e que utilizam conhecimentos específicos para desempenhar suas funções.

5. Quanto aos aspectos legais sobre a regulamentação e padrões de qualidade:

a) “Cabe aos deputados federais votar um projeto de lei regulamentando a estocagem dos rejeitos. Não por acaso, a medida tramita na casa há nove anos. Nenhum parlamentar que assumir o ônus de definir onde depositar um entulho que ninguém em sã consciência desejaria ter perto de casa” (p.51).

A partir deste fragmento do texto, pode-se discutir ainda diversos aspectos relativos ao papel do cidadão comum na tomada de decisões de interesse público. Outros dois fragmentos que fornecem indicativos deste aspecto são os seguintes, onde o autor justifica a redução no número de reatores em funcionamento nos diversos países:

b) “A redução se deve principalmente à pressão da opinião pública, que não aceita mais correr os riscos acarretados pelas usinas.” (p.54).

c) “Após o acidente de Chernobyl, a população escolheu num plebiscito fechar seus quatro reatores.” (p.54).

6. Quanto aos valores e códigos éticos da prática tecnológica: (ANCE).

7. Quanto aos produtos, dejetos e resíduos da atividade tecnológica:

Localizei diversas passagens referentes a este aspecto. A presença explícita deste elemento possibilita uma ampla discussão acerca dos resíduos oriundos da prática tecnológica, não apenas no caso das usinas nucleares, mas também em diversos outros sistemas de produção. Esta discussão favorece, entre outros, o cumprimento de uma das finalidades estabelecidas pela LDB para o ensino médio (Art.35 – IV).

a) “Mas a usina Angra 2, (...), será inaugurada ainda sem uma solução para o problema de onde guardar os resíduos radioativos” (p.50).

b) “em 2003, ele (o depósito provisório) estará entupido e lotado para esses rejeitos de baixa radioatividade, uma das três categorias de lixo atômico produzido em angra” (p.50).

c) “Os tonéis de aço contêm lixo de baixa radioatividade, como luvas, pinças, filtros e embalagens contaminadas” (p.50).

d) “O reator de angral já produziu 6491 tonéis de dejetos de baixa radioatividade e 681 cilindros de concreto com lixo de média radioatividade” (p.50).

e) “Um dos produtos da reação de fissão do urânio é o altamente radioativo plutônio-239, (...)” (p.51).

f) “Em angra 2, as sobras de combustível usado – que constituem o temido lixo de alta radioatividade – serão armazenadas por enquanto em uma piscina revestida de aço inoxidável, dentro do edifício do reator” (p.51).

g) “Quando estiver funcionando a plena capacidade, Angra 2 deve gerar(...) – além, é claro, de dezenas de toneladas anuais de novos rejeitos. Onde colocá-los?” (p.51).

h) “Além do lixo atômico, outro perigo ronda os 433 reatores em operação no mundo: o vazamento radioativo” (p.53).

4.5.1.3 Dimensão Social

1. Quanto ao público alvo: (ANCE).

2. Quanto aos problemas sociais oriundos da prática tecnológica:

a) *“O lixo atômico é o grande abacaxi que estamos deixando para as próximas gerações. Sobrará para elas encontrar uma maneira eficaz de lidar com essa herança’, (...)”* (p.51).

b) *“A central de Angra ocupou a bela praia de Itaorna. Como diz a canção Bye Bye Brasil, de Chico Buarque de Holanda, ‘botaram uma usina no mar, talvez fique ruim para pescar’”* (p.51).

c) Sobre o plano de emergência, no caso de um acidente: *“na prática, existem sérios riscos de só provocar o pânico e o caos. A usina está a 18 quilômetros em linha reta dos 10000 habitantes da cidade de angra dos Reis”* (p.53).

Certamente estes problemas destacados pelo autor não são os únicos, mas servem como ponto de partida para uma discussão mais ampla sobre este aspecto. Além disso, estas passagens fornecem um indicativo de que determinados problemas influenciam não somente aqueles que têm contato direto com o contexto atual, mas também as novas gerações.

3. Quanto à posição de diferentes grupos sociais:

Localizei três passagens que caracterizam muito bem este aspecto da dimensão social. Nelas pode-se perceber tanto opiniões favoráveis, quanto contrárias ao funcionamento da usina, o que confirma a natureza controversa deste tema:

a) *“O lixo atômico é o grande abacaxi que estamos deixando para as próximas gerações. Sobrará para elas encontrar uma maneira eficaz de lidar com essa herança’, (...), alerta o geólogo Ruy de Góes, coordenador da campanha antinuclear do Greenpeace”* (p.51).

b) Sobre a possibilidade de um vazamento radioativo: *“O risco é mínimo, garantem os defensores da energia nuclear”* (p.53).

c) *“Segundo o deputado Fernando Gabeira (PV-RJ), esse sistema é incapaz de informar a população flutuante de turistas que frequenta Angra dos Reis”* (p.53).

4.5.1.4 Interações C-T-S

1. Quanto aos recursos públicos ou privados destinados à Ciência e à Tecnologia:

a) *“O canteiro de obras já existe desde os anos 70, mas espera uma decisão – e verbas – do governo federal. Muitos equipamentos já foram importados e se gastou 1,4 bilhão de dólares com essa aparelhagem, boa parte em juros. O custo adicional para construir a usina é de mais 1,5 bilhão. No final ela acabaria saindo por uns 3 bilhões de dólares. (...)”* (p.54).

Além desta passagem, localizei outras duas onde, apesar de não serem explicitados valores relacionados com investimentos, são fornecidos indicativos sobre este aspecto. São elas:

b) *“Enquanto isso, o Brasil fala, já, em construir uma terceira usina”* (p.54).

c) *“O Brasil vai dar o segundo passo em seu programa nuclear, 24 anos depois do primeiro”* (p.50).

2. Quanto aos aspectos da relação custo / benefício social:

Estes aspectos não foram destacados explicitamente ao longo do texto. Entretanto, podemos estabelecer tal relação a partir de duas passagens distintas:

a) *“Quando estiver funcionando a plena capacidade, Angra 2 deve gerar 1309 megawatts (25% da energia elétrica consumida no estado do Rio de Janeiro) – além, é claro, de dezenas de toneladas de novos rejeitos”* (p.51).

b) *“Enquanto isso, o Brasil fala, já, em construir uma terceira usina. Ela ficaria ao lado de angra 2 (...) Muitos equipamentos já foram importados e se gastou 1,4 bilhão de dólares com essa aparelhagem, boa parte em juros. O custo adicional para construir a usina é de mais 1,5 bilhão. No final ela acabaria saindo por uns 3 bilhões de dólares”* (p.54).

3. Quanto aos possíveis impactos ambientais da prática tecnológica:

a) *“(...) o segundo reator nuclear brasileiro já começou a funcionar. Ambos ficam lado a lado em um dos mais belos trechos da costa brasileira, (...), por enquanto, ainda merecem o título de paraíso tropical. Seu futuro, porém, sofre uma ameaça”* (p.51).

b) “A central de Angra ocupou a bela praia de Itaorna. Como diz a canção *Bye Bye Brasil*, de Chico Buarque de Holanda, ‘botaram uma usina no mar, talvez fique ruim para pescar’” (p.51).

Apesar de não contemplarem explicitamente todos os possíveis impactos ambientais oriundos do funcionamento desta usina, estas passagens servem como ponto de partida para uma discussão mais ampla em torno deste aspecto. A segunda passagem fornece um indicativo de que a preocupação com este aspecto pode manifestar-se também a partir das diversas formas de expressão artística.

4. Quanto às relações entre desenvolvimento científico-tecnológico e bem-estar social: (ANCE).

5. Quanto aos reflexos dos produtos tecnológicos sobre a saúde e o comportamento humano:

a) “Ninguém esquece dos 31 mortos e das centenas de milhares de pessoas contaminadas pela explosão em Chernobyl, na Ucrânia, em 1986” (p.53).

b) “(...) um vazamento do líquido de resfriamento do reator contaminou oito funcionários” (p.54).

4.5.1.5 Comentários Sobre o Texto 1

Primeiramente, percebi que os conceitos científicos destacados neste artigo são mais restritos aos campos da Física e da Química. Além disso, não foram localizadas passagens que contemplassem explicitamente os diversos aspectos relativos à natureza da atividade científica e às possíveis aplicações da ciência. Entretanto, o autor faz uma abordagem essencialmente política sobre o tema, o que permite o levantamento de alguns pontos para discussões que remetem a estes aspectos, dentre eles, o papel de órgãos públicos e privados no gerenciamento das atividades científica e tecnológica e as influências dos sistemas políticos e econômicos sobre elas.

Localizei passagens onde o autor resgata a ocorrência de um acidente a partir da prática tecnológica que se desenvolvia numa geração passada. Tais passagens indicam que, a partir deste acidente, fez-se necessário um melhor entendimento sobre o assunto

por parte dos profissionais da área para que se estruturasse novos sistemas de segurança. Assim, pode ser significativo destacar elementos que permitam caracterizar acontecimentos marcantes que tenham influenciado o ritmo do desenvolvimento científico e tecnológico numa determinada área do conhecimento.

Noutra passagem, o autor faz referência a uma música de Chico Buarque de Holanda para criticar o fato de a usina localizar-se próxima a uma praia, sugerindo que esta afetaria o ecossistema local e dificultaria a atividade pesqueira na praia. Esta passagem aponta para a relevância de um novo atributo, a explicitação de *possíveis influências da ciência e da tecnologia sobre as diversas formas de expressão artística* (música, artes plásticas, literatura, etc.).

A partir da abordagem feita no texto sobre os diversos rejeitos radioativos, percebi que além de “destacar produtos, dejetos e resíduos obtidos a partir da prática tecnológica”, devemos conhecer os cuidados e procedimentos necessários para lidar com este tipo de material, o que remete à necessidade de uma complementação a ser feita com o estudo de outros conceitos relacionados a este aspecto.

Neste artigo, localizei passagens onde são destacados os recursos utilizados na construção da usina e situei estes elementos na caracterização do atributo I_1 (destacar recursos públicos ou privados aplicados no desenvolvimento de pesquisas em ciência e tecnologia), entretanto, a forma como este aspecto foi abordado no artigo não está diretamente relacionada com uma pesquisa científica. Estas passagens indicam que a questão dos investimentos em ciência e tecnologia pode abranger, além da atividade de pesquisa nessas áreas, diversas outras dimensões, como projetos sociais e educacionais voltados para o incentivo à carreira científica e à divulgação da ciência, a construção de novos espaços onde estas atividades se desenvolvem, etc.

Outro ponto importante a ser destacado é que, no contexto deste artigo, o atributo I_3 (destacar possíveis impactos ambientais da prática tecnológica) mostrou-se como um aspecto incluído no atributo S_2 (destacar problemas sociais oriundos das atividades científica e tecnológica). Analisarei como estes aspectos se apresentam em outros artigos e, se necessário, farei uma reclassificação dos mesmos.

4.5.2 Texto 2: Uma Radiografia de Angra 2: o resultado da aposta nuclear brasileira

Autor: Arantes, José Tadeu

Publicação: Galileu, 9(108): 74 – 79

Editora Globo, São Paulo, jul/2000

4.5.2.1 Dimensão Científica

1. Quanto aos conceitos científicos:

Adotei os mesmos procedimentos utilizados para a análise do texto 1.

a) “O U_{235} é o mais instável e, portanto, o mais propenso à fissão” (p.77).

Em outras passagens, localizei termos relacionados diretamente com o conceito de fissão nuclear; são eles: reação em cadeia (p.76 e 77), Nêutron ativador (p.76) e radioatividade (p.78, 79).

b) “O urânio natural tem três formas ou isótopos” (p.77).

Em outras passagens foram localizados os seguintes termos: enriquecimento de urânio (p.76), elementos transurânicos (79) e combustível nuclear (p.77). Além desses termos, pode-se discutir, entre outros, o processo de decaimento radioativo e a meia-vida dos elementos radioativos.

c) “A energia é liberada em proporção altíssima, regida pela equação de Einstein $E = m.c^2$, (...)” (p.76).

A equação destacada possibilita discutir o conceito de energia, o seu significado e suas aplicações.

d) “O gerador de Angra 2 gira a 1800 rotações por minuto (rpm), gerando uma tensão de 25 mil volts (v) e uma potência bruta de 1309 megawatts (Mw)” (p.77). O termo rotações por minuto refere-se a uma unidade de frequência.

e) “A expansão do vapor produz a pressão que faz girar as pás da turbina, transformando o calor em energia mecânica (movimento)” (p.77).

Estes fragmentos sugerem, entre outras, a possibilidade de se estudar os processos de transformação de calor em trabalho mecânico e de energia mecânica em energia elétrica.

f) “A água alcança 320 °C, mas não se evapora, pois é mantida líquida por uma pressão de 157 atmosferas” (p.76).

Nesta passagem, temos não só a explicitação de conceitos científicos como também a influência de uma variável (a pressão) sobre a ocorrência de um fenômeno físico (a ebulição da água), o que pode sugerir um estudo mais detalhado deste aspecto.

2. Quanto aos aspectos relativos à natureza da ciência:

a) “A energia é liberada em proporção altíssima, regida pela equação de Einstein $E = m.c^2$, (...)” (p.76).

A partir desta passagem pode-se também discutir toda a teoria que fundamenta a equação destacada, o contexto em que esta teoria foi elaborada, sua validade e suas limitações.

3. Quanto às aplicações da ciência: (ANCE).

4. Quanto às opiniões de diferentes especialistas:

a) “‘Graças à mobilização da opinião pública, a tecnologia de segurança passou por inegável desenvolvimento’, reconhece o físico Ennio Candotti, ex-presidente da SBPC” (p.76).

b) “‘Uma usina a gás, com mesma potência de Angra 2, poderia ser construída por US\$ 650 milhões e uma hidrelétrica por 2 a 3 bilhões’, diz o engenheiro nuclear Ildo Sauer, da USP” (p.78).

c) “Mas críticos, como o físico Luiz Pinguelli Rosa, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, questionam a redução do raio de exclusão e a ausência das forças armadas nas brigadas de emergência” (p.78).

d) “‘Há vários anos se discute a reforma dessa estrada e nada acontece’, acusa o físico Luis Henrique Gonçalves de Moraes, superintendente das usinas” (p.79).

e) “Como diz o engenheiro nuclear Ildo Sauer, do Instituto de Eletrotécnica e energia da USP, ‘esse lixo é uma herança maldita que a geração atual está deixando para a posteridade’” (p.79).

Temos, acima, opiniões sobre diversos aspectos relacionados diretamente com o funcionamento da usina: a influência da opinião pública, os gastos com sua construção, o sistema de segurança da usina e os impactos dela sobre a sociedade.

4.5.2.2 Dimensão Tecnológica

1. Quanto a siglas, códigos e gráficos:

Com relação a este atributo, localizei apenas uma passagem onde o autor refere-se ao tipo de reator usado no funcionamento da usina a partir de uma sigla:

a) *“Esse sistema, o PWR (pressurized water reactor ou reator a água pressurizada), ainda é a opção tecnológica mais inteligente e segura disponível na área nuclear” (p.78).*

2. Aspectos da tecnologia enquanto atividade econômica e industrial:

a) *“O Brasil possui a sexta reserva mundial de urânio, (...). Mas não domina o processo de enriquecimento, (...). este é feito na Alemanha e na Holanda, pelo consórcio europeu Urenco.” (p.76).*

O processo de enriquecimento do urânio consiste num processo industrial que é feito a partir de um acordo internacional e, portanto, trata-se de um aspecto relevante na caracterização da tecnologia enquanto atividade econômica. Assim, considero que a passagem anterior caracteriza adequadamente este atributo.

3. Quanto às especificações técnicas:

a) *“Feitas de zircaloy, uma liga de zircônio, essas varetas suportam temperaturas até 1800 °C” (p.77).*

b) *“O gerador de Angra 2 gira a 1800 rotações por minuto (rpm), gerando uma tensão de 25 mil volts (v) e uma potência bruta de 1309 megawatts (Mw)” (p.77).*

c) *“O combustível usado em Angra 2 possui, na média, 2,46% de urânio 235” (p.77).*

4. Quanto ao papel dos profissionais no gerenciamento da atividade tecnológica e na manipulação de equipamentos:

a) *“Angra possui um projeto mais velho do que o das modernas usinas alemãs’, admite Roland Schoellhorn, engenheiro e físico nuclear da Siemens (...) e um dos instrutores alemães que estão treinando os operadores brasileiros” (p.78).*

b) *“A usina inteira é monitorada a partir de uma sala computadorizada, onde equipes de quatro operadores, licenciados pela CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear), revezam-se em turnos de 8 horas, cobrindo as 24 horas do dia e os 7 dias da semana” (p.78).*

c) *“O reator possui quatro sistemas de proteção independentes. Bastam dois para fazer frente a qualquer emergência’, afirma o engenheiro Anselmo Luis Barbosa Carvalho, supervisor de uma das equipes.” (p.78-79).*

Assim como no primeiro artigo, este mostra-nos que a manipulação de sistemas complexos como o caso de uma usina nuclear só é possível para profissionais especializados, treinados para o exercício de funções específicas.

5. Quanto aos aspectos legais sobre a regulamentação e padrões de qualidade: (ANCE).

6. Quanto aos valores e códigos éticos da prática tecnológica: (ANCE).

7. Quanto aos produtos, dejetos e resíduos da atividade tecnológica:

a) *“Parte do lixo atômico ficará ativa por milhares de anos” (p.78).*

b) *“Esses rejeitos não dispõem de estocagem definitivas e, conforme seu grau de atividade , são guardados em galpões provisórios , ou em piscinas localizadas nas áreas de contenção das usinas” (p.79).*

c) *“A operação de Angra 1 já produziu 6 mil tambores de rejeitos de baixa e média atividade e, até o final do funcionamento das usinas (...), haverá de 4mil a 6 mil conjuntos de combustível, de alta atividade, estocadas nas piscinas” (p.79).*

d) *“Um dos materiais gerados no processo, o plutônio 239, permanece ativo por 24.384 anos” (p.79).*

O artigo apresenta ainda, na página 79, uma tabela onde são classificados os diversos rejeitos provenientes da operação da usina, indicando sua origem e o destino dado aos mesmos.

4.5.2.3 Dimensão Social

1. Quanto ao público alvo: (ANCE).
2. Quanto aos problemas sociais oriundos da prática tecnológica:

a) *“Como diz o engenheiro nuclear Ildo Sauer, do Instituto de Eletrotécnica e energia da USP, ‘esse lixo é uma herança maldita que a geração atual está deixando para a posteridade’”* (p.79).

A passagem acima fornece indicativos sobre a importância de se ter consciência dos diversos problemas oriundos da prática tecnológica, não só para termos uma melhor qualidade de vida como também para garantir isto às novas gerações.

3. Quanto à posição de diferentes grupos sociais: (ANCE).

4.5.2.4 Interações C-T-S

1. Quanto aos recursos públicos ou privados destinados à ciência e à tecnologia:

a) *“Os US\$ 10 bilhões gastos em angra 2 se devem, principalmente, ao tempo da construção. Em função dos juros, o investimento previsto aumentou 2,5 vezes”* (p.78).

Esta passagem permite questionar, entre outros, a preocupação com a forma como são administrados os recursos públicos direcionados ao desenvolvimento de projetos na área de Ciência e Tecnologia.

2. Quanto aos aspectos da relação custo / benefício social:

Estes aspectos não foram explicitados ao longo do texto. Entretanto, pode-se estabelecer tal relação a partir de duas passagens distintas, juntamente com aquela destacada no ítem anterior.

a) “*Uma usina a gás, com mesma potencia de Angra 2, poderia ser construída por US\$ 650 milhões e uma hidrelétrica por 2 a 3 bilhões*”, diz o engenheiro nuclear Ildo Sauer, da USP” (p.78).

b) “*Depois de 23 anos de construção, quase US\$ 10 bilhões de gastos, uma comissão parlamentar de inquérito e um interminável confronto entre os a favor e os contra, angra 2, (...), chega finalmente à fase de operação. Com angra 1, ela deve atender a 40% do consumo do Estado do Rio*” (p.75).

3. Quanto aos possíveis impactos ambientais da prática tecnológica:

a) “*A água de refrigeração volta ao oceano. Ela não carrega material radioativo, mas pode causar impacto ambiental pelo aumento da temperatura marinha na região de descarga*” (p.77).

A passagem destacada acima contempla este atributo em seu sentido mais restrito, uma vez que trata apenas de um possível problema local, mas fornece indicativos para uma discussão mais ampla sobre este aspecto.

4. Quanto às relações entre desenvolvimento científico-tecnológico e bem-estar social: (ANCE).

5. Quanto aos reflexos dos produtos tecnológicos sobre a saúde e o comportamento humano: (ANCE).

4.5.2.5 Comentários Sobre o Texto 2

O primeiro aspecto relevante a ser comentado é que o artigo destaca ao longo do texto uma equação ($E = m.c^2$). A partir dessa passagem percebi que este tipo de representação simbólica pode auxiliar o estudo de aspectos relativos à dimensão científica, uma vez que estas equações sintetizam um conjunto de idéias e permitem o entendimento de diversos aspectos conceituais. Além destas equações, a presença de siglas, gráficos, tabelas e outras formas de representação constitui-se num atributo que pode auxiliar na caracterização tanto da dimensão tecnológica, quanto das dimensões científica e social. Este aspecto aponta para a necessidade de agrupar o termo ‘gráficos’ juntamente com ‘tabelas’, localizando-os em um atributo distinto daquele em que está incluído este primeiro atualmente.

Apesar de não explicitar passagens relativas à natureza da ciência e às suas aplicações, o artigo reserva duas páginas para explicar, em linhas gerais, o funcionamento da

usina, o que podemos considerar como um conjunto de conhecimentos obtidos a partir de pesquisas científicas. Neste sentido, o estudo destes aspectos remete a discussões sobre as aplicações da ciência e sobre a forma como esta atividade se desenvolve. Além disso, o processo de enriquecimento do urânio e a produção das pastilhas de combustível, citados no texto, podem ser considerados como aplicações da ciência, uma vez que esses processos só tornaram-se possíveis, a partir de um maior conhecimento sobre as propriedades físicas e químicas do urânio.

A passagem que destaquei para caracterizar a tecnologia enquanto atividade econômica e industrial fornece indicativos de relações políticas e econômicas entre o Brasil e outros países na área de ciência e tecnologia. Talvez este aspecto poderia ser tomado como um atributo relevante na caracterização das interações entre ciência, tecnologia e sociedade ou ser incorporado de forma complementar a este mesmo atributo.

Este artigo oferece um destaque à necessidade de uma formação específica para aqueles que operam diretamente com o sistema tecnológico em questão, o que enfatiza a relevância do atributo referente ao papel dos profissionais no gerenciamento da atividade tecnológica e na manipulação de equipamentos e permite uma melhor caracterização do mesmo.

Assim, como o primeiro artigo analisado, este destaca recursos públicos aplicados na construção da usina; em ambos, percebe-se que estes recursos não foram destinados diretamente a pesquisas científicas, mas certamente representam um investimento na área de ciência e tecnologia e, portanto, trata-se de um aspecto relevante no âmbito da educação CTS. Tal consideração aponta para a possibilidade de uma compreensão mais ampla a partir deste aspecto, reforçando a necessidade de uma redefinição para o atributo referente aos recursos destinados a pesquisas em ciência e tecnologia, de modo que sua abrangência passe a contemplar outras formas de investimento.

Percebi ainda que, assim como no artigo anterior, o atributo referente aos possíveis impactos ambientais da prática tecnológica representa um problema social que pode ser tratado a partir de uma abordagem local ou global. Esta constatação aponta para a possibilidade de que estes *possíveis impactos ambientais* sejam incorporados ao atributo S₂, fornecendo-lhe um significado mais amplo e complementando a compreensão do mesmo.

4.5.3 Texto 3: A um Passo da Clonagem Humana

Autor: Diegues, Flávio

Publicação: Galileu 11(123) 41 – 52

Editora Globo, São Paulo, out/2001

4.5.3.1 Dimensão Científica

1. Quanto aos conceitos científicos:

a) *“Há quatro anos, pesquisadores escoceses fizeram pela primeira vez na história o anúncio da clonagem de um mamífero a partir de células não-reprodutivas. Antes disso, cientistas haviam conseguido obter apenas réplicas de embriões”* (p.41).

A passagem acima aponta conceitos que possibilitam, entre outros, o aprofundamento de estudos para uma compreensão mais ampla sobre quais fatores caracterizam uma célula reprodutiva e como uma célula não reprodutiva pode transformar-se num embrião a partir da clonagem.

b) *“Ian Wilmut, (...) queria criar ovelhas transgênicas, nas quais se introduziria um gene capaz de fabricar drogas contra hemofilia”* (p.42).

Sabe-se que a maior parte das pessoas associa o termo ‘transgênico’ apenas a alimentos. A partir desta passagem pode-se discutir o significado do termo ‘transgênico’ em seu sentido mais amplo.

c) *“Durante a fecundação, o óvulo e o espermatozóide se unem e somam seus genes, de modo que a célula resultante passa a ter dois conjuntos de DNA. Daí para frente, ela se multiplica, dividindo-se sucessivamente, e se transforma num embrião”* (p.42).

Nesta passagem vemos um destaque não só para determinados conceitos científicos como também para um processo biológico.

d) *“As espantosas células-tronco, que podem se transformar em qualquer parte do corpo, abrem caminho para fabricar órgãos para transplantes e cura de muitas doenças”* (p.46).

A passagem acima pode servir como ponto de partida para uma discussão sobre como seriam feitos estes ‘transplantes’ e qual a importância deste processo de ‘fabricação’ de

órgãos ao qual se refere o autor. Numa perspectiva mais ampla, caberia uma discussão sobre as implicações sociais de um possível ‘comércio de órgãos’.

Além desses conceitos, o autor fornece uma explicação sobre como acontece o processo de reprodução em alguns microorganismos e plantas sobre e como este processo é diferente para organismos onde o processo de reprodução ocorre através de fecundação. A partir do estudo do tema, os educandos poderiam inclusive utilizar os conhecimentos adquiridos, para analisar criticamente a explicação oferecida pelo autor do artigo.

Apresenta também três ilustrações acompanhadas de pequenos textos explicativos. A primeira (p.42-43) explica como se desenvolveu o processo de clonagem que deu origem à ovelha Dolly; a segunda (p.46-47) mostra como ocorrem as divisões celulares até a fase em que se dá a formação da região embrionária, de onde seriam retiradas células-tronco para a produção artificial de órgãos; numa terceira (p.48-49), o autor explica como é possível obter um embrião a partir da fusão de uma célula comum com um óvulo, ou seja, sem a necessidade do gameta masculino. Estas formas de representação, que denominarei de diagramas explicativos, apontam para a possibilidade de um novo atributo, mais relacionado com questões lingüísticas e cognitivas da estrutura do artigo. Sua abrangência não se limitaria a uma única dimensão dentre aquelas que foram definidas inicialmente, o que indicaria a necessidade de enquadrá-lo em uma nova categoria, relacionada com elementos lingüísticos e cognitivos presentes na estrutura do texto.

2. Quanto aos aspectos relativos à natureza da ciência:

a) *“É difícil explicar por que foi preciso esperar tanto tempo, até meados dos anos 90, para que a realidade dos clones fosse comprovada. E, mesmo assim, a proeza acabou sendo realizada por um veterinário inglês, cuja preocupação central não eram os grandes mistérios da biologia, mas um simples problema prático. Ian Wilmut, (...) queria criar ovelhas transgênicas, nas quais se introduziria um gene capaz de fabricar drogas contra hemofilia”* (p.42).

Nesta passagem, vemos um aspecto bastante interessante onde o autor destaca a clonagem como um tipo de ‘descoberta ao acaso’ e, a partir desta, pode-se discutir vários aspectos relativos ao processo de construção do conhecimento científico.

b) *“O que teria desestimulado os cientistas a enfrentar há mais tempo a tarefa de demonstrar a possibilidade da clonagem? O motivo, provavelmente, foi o*

temor de trazer à tona um tema tão polêmico, que ainda hoje provoca debate” (p.42).

A passagem acima fornece indicativos de que a atividade científica não acontece alheia aos interesses sociais e seu desenvolvimento pode sofrer influências diretas ou indiretas dos mais diversos segmentos da sociedade. A partir dela, pode-se ainda fazer um resgate histórico para discutir estas influências em outras áreas do conhecimento científico.

c) “a clonagem de uma célula comum só seria possível se, de alguma maneira, se descobrisse um meio de reativar todos os seus genes, revertendo as mudanças genéticas impostas à célula no desenvolvimento do organismo. Era o que pensavam muitos teóricos no final do século 19 – e daí para frente, inúmeras experiências só fizeram confirmar essa convicção” (p.43).

Nesta passagem temos evidências de uma concepção empirista da ciência. Tal passagem pode servir como ponto de partida para uma discussão mais ampla sobre a natureza do conhecimento científico.

d) “Apesar disso, muito poucos se interessaram seriamente em investigar se a clonagem seria mesmo possível. A maioria dos cientistas considerou que as evidências disponíveis eram insuficientes para decidir, e pelo menos um pesquisador importante, Davor Solter, declarou com todas as letras que ‘a clonagem de um mamífero é biologicamente impossível’. Em vista disso, é bem provável que, se não fosse a mentalidade prática de Wilmut, ainda teríamos que esperar muitas décadas para fazer uma das descobertas mais importantes da história do conhecimento” (p.43).

A partir do fragmento acima, pode-se discutir diversos aspectos relativos à natureza da ciência, dentre eles, a forma como cientistas renomados podem influenciar o trabalho de outros e a concepção de ciência que está sendo transmitida pelo autor ao tratar a clonagem como uma descoberta ao acaso.

e) “Nas palavras de Gearhart: ‘Os dados que estamos obtendo prometem revolucionar o que sabemos sobre a biologia e a medicina’, diz. ‘mas ainda há décadas de trabalho à frente até entendermos como as células-tronco funcionam e como usá-las com segurança’” (p.47).

f) “De fato, Steptoe e Edwards já haviam feito as primeiras tentativas de fecundação artificial em 1969 – ou seja, na mesma época em que a clonagem começava a se desenhar como uma possibilidade concreta. Na virada dos anos 70, a dupla inglesa já havia conseguido não só realizar fecundação em laboratório como, em seguida, manter o embrião vivo durante alguns dias.” (p.48).

Nestes fragmentos, temos indicativos sobre dois aspectos importantes em relação à natureza da ciência: o fato de que muitas áreas se desenvolvem paralelamente em coletivos de pesquisa distintos e, além disso, pode-se tomar estas passagens como ponto de partida para discutir, entre outros aspectos, concepções sobre a construção do conhecimento científico.

g) “Ele evitou mencionar as palavras clone e ou clonagem no título do texto em que relatou a sua experiência histórica, publicado pela revista inglesa Nature, e no resto do artigo não há explicação sobre as conseqüências imensas de seu trabalho” (p.42).

Temos nesta passagem um ponto de partida para a realização de estudos sobre a forma como é feita a divulgação de resultados de pesquisas.

h) “Portanto, a grande pergunta que os cientistas queriam responder era: por que as células comuns, na maior parte das espécies, não podem gerar um novo ser? (...) O que as impede de disparar a formação de um novo ser? O que se imagina é que dentro delas, só alguns genes estão realmente funcionando. O resto é desligado durante a gestação. Imagine: à medida que o embrião cresce, suas células se transformam para formar os diversos órgãos do corpo e, enquanto isso acontece, os genes vão sendo desligados” (p.42-43).

No fragmento acima, temos uma hipótese feita para se explicar um problema de pesquisa. Com isso, podemos discutir, entre outros aspectos, a idéia de que o conhecimento científico não é algo definitivo e livre de contestações.

3. Quanto às aplicações da ciência:

Destacarei algumas aplicações que aparecem explicitamente no texto. Um professor que domine com maior profundidade esta área certamente poderia levantar outras que seriam relevantes para o estudo desta temática.

a) Ian Wilmut, (...) queria criar ovelhas transgênicas, nas quais se introduziria um gene capaz de fabricar drogas contra hemofilia” (p.42).

Nesta passagem, temos uma possível aplicação para a atividade científica que vinha sendo desenvolvida: o tratamento de uma doença. Na passagem seguinte, temos outra aplicação da ciência que pode servir como ponto de partida para uma discussão mais ampla sobre as diversas implicações sociais da clonagem; dentre elas, a possibilidade de comercialização de órgãos, por exemplo.

b) *“As espantosas células-tronco, que podem se transformar em qualquer parte do corpo, abrem caminho para fabricar órgãos para transplantes e a cura de muitas doenças. (...)”* (p.46).

O autor discute ainda técnicas de fecundação artificial, cujos estudos possibilitaram o nascimento de bebês de proveta, e uma nova técnica desenvolvida por uma pesquisadora australiana, na qual o embrião pode ser obtido sem a necessidade de um espermatozóide. *“Seja como for, essa técnica deve ampliar ainda mais a pressão a favor das pesquisas com clonagem. Por um motivo muito simples: com esse método, os casais inférteis poderão não só ter filhos, mas também garantir que eles terão seus genes”* (p.49). E, além desta, o autor discute outra técnica onde se conseguiu a produção de óvulos artificiais, o que possibilita a geração de bebês de proveta com as mesmas características genéticas do casal mesmo quando a mulher for infértil.

Além destas passagens que identifiquei ao longo do texto, o autor apresenta um quadro mostrando diversos tratamentos que podem surgir a partir das pesquisas com células-tronco. Neste quadro o autor afirma que *“doenças causadas por problemas celulares podem ser curadas por injeções de células-tronco, que passam a fazer a função de suas colegas defeituosas”*.

4. Quanto às opiniões de diferentes especialistas:

Localizei, ao longo do texto, algumas passagens onde o autor destaca opiniões e alguns receios de diversos especialistas na área. Estas colocações podem servir como ponto de partida para reflexões sobre diversos aspectos, dentre eles, as inúmeras implicações sociais da clonagem.

a) *“Haldane argumentou que a clonagem era possível e, segundo pensava, benéfica para a humanidade. Afirmação parecida se ouviria, três anos mais tarde, do geneticista americano Joshua Lederberg, um dos criadores da engenharia genética, segundo o qual ‘a primeira clonagem de seres humanos não vai demorar muito’. Em 1971, o Congresso dos estados Unidos ouviu a mesma opinião do bioquímico James Watson, descobridor da estrutura da molécula do DNA: ‘a situação está madura para que haja tentativas legais ou ilegais de clonar humanos’ ”* (p.43).

b) *“Apesar disso, muito poucos se interessaram seriamente em investigar se a clonagem seria mesmo possível. A maioria dos cientistas considerou que as evidências disponíveis eram insuficientes para decidir, e pelo menos um*

pesquisador importante, Davor Solter, declarou com todas as letras que ‘a clonagem de um mamífero é biologicamente impossível’ (p.43).

c) “A saída, segundo Gaylin, foi discutir um tema científico que realmente abalasse as convicções das pessoas: a clonagem. ‘Ela desperta nossos medos mais profundos’, disse à época. ‘Foi o que atraiu a atenção do público para o instituto’, confirma Callahan” (p.44).

d) “‘A idéia de conviver com milhares de cópiaas da mesma pessoa é um pesadelo’, pondera stendet. E conclui: ‘não é fácil imaginar uma única alma habitando milhares de corpos idênticos’” (p.45).

e) “‘O uso de embriões será cedo ou tarde uma necessidade’, diz Marcos Segre, presidente da sociedade brasileira de Bioética. ‘Mas não há pressa’, salienta Esper Cavalheiro, presidente da Comissão Técnica Nacional de Biossegurança, a CTNBio, que veta pesquisas com embriões” (p.47).

f) “‘A decisão do presidente é um bom ponto de partida, mas tem limitações’, disse John Gearhart, da Universidade Johns Hopkins, que identificou células-tronco em fetos humanos, em 1998. (...) Nas palavras de Gearhart: ‘Os dados que estamos obtendo prometem revolucionar o que sabemos sobre a biologia e a medicina...’” (p.47).

g) “De nada adianta ridicularizar a pressa e o estrelismo dessas equipes. ‘Elas têm competência para tentar uma clonagem bem-sucedida’, afirma o médico Gregory Stock, da Universidade da Califórnia em Los Angeles, que é pessoalmente contra a clonagem” (p.51).

Além dessas passagens que destaquei, o artigo é finalizado com um texto de Lygia da Veiga Pereira, geneticista e pesquisadora do departamento de Biologia do Instituto de Biociências da USP. Neste texto, ela questiona o fato de acreditarmos que um clone possa realmente ser idêntico ao organismo que lhe deu origem. Segundo ela, alguns fatores da personalidade de um ser humano são definidos a partir de suas interações com o meio e não por herança genética.

4.5.3.2 Dimensão Tecnológica

1. Quanto às siglas, códigos e gráficos:

Quanto a este atributo, localizei somente duas passagens: uma delas está mais relacionada com a dimensão científica e a outra foi empregada para designar uma técnica utilizada para realizar fertilização artificial:

a) “Durante a fecundação, o óvulo e o espermatozóide se unem e somam seus genes, de modo que a célula resultante passa a ter dois conjuntos de DNA. Daí para frente, ela se multiplica, dividindo-se sucessivamente, e se transforma num embrião” (p.42).

b) Em 1997: “começa a ser empregada a técnica conhecida por ICSI, com a qual é possível usar espermatozoides imaturos, ou espermátides, para realizar a fertilização artificial” (p.49).

Nestes fragmentos, destacam-se duas siglas que não estão sendo utilizadas para caracterizar aspectos da dimensão tecnológica. Elas estão designando, respectivamente, um elemento conceitual do campo da biologia e uma técnica utilizada tanto no contexto da atividade tecnológica quanto da científica.

2. Aspectos da tecnologia enquanto atividade econômica e industrial: (ANCE).

3. Quanto às especificações técnicas: (ANCE).

4. Quanto ao papel dos profissionais no gerenciamento da atividade tecnológica e na manipulação de equipamentos: (ANCE).

5. Quanto aos aspectos legais sobre a regulamentação e padrões de qualidade:

a) “Só uma legislação rigorosa, portanto, poderá impedir que a clonagem seja utilizada sem o devido cuidado” (p.44).

b) “Os governos procuram agir com bom senso. (...) Desse modo, as atitudes dos governos refletem a necessidade de criar leis ponderadas, que ponham limites nas pesquisas e no uso da clonagem, mas sem gerar descontentamento político indesejável. Como o assunto é espinhoso, a solução tem sido ganhar tempo. Como fez, neste ano, o presidente dos Estados Unidos, George Bush: ele proibiu as pesquisas, mas não por completo.” (p.44).

c) “a parte mais moderada da população oscila entre o temor e o bom senso. Mesmo assustada, admite que a clonagem, depois de melhor compreendida e regulamentada, poderá trazer benefícios para a humanidade” (p.45).

d) “As pesquisas com células-tronco estão suspensas em boa parte dos laboratórios do mundo e, mesmo nos países em que elas são permitidas, como na Inglaterra ou em Israel, a situação é de expectativa. Onde não há legislação específica, como no Brasil, EUA, Alemanha ou França, a recomendação é aguardar” (p.47).

As passagens destacadas acima, apesar de não apresentarem artigos específicos que regulamentem as diversas atividades desenvolvidas em torno da temática, apontam para a necessidade dessa regulamentação e fornecem indicativos sobre a forma como este aspecto tem relação direta com o desenvolvimento das atividades científica e tecnológica.

6. Quanto aos valores e códigos éticos da atividade tecnológica:

a) *“A oposição mais radical vem dos grupos conservadores, que incluem algumas igrejas, mas também cientistas e leigos, como as associações antiaborto. Um argumento fundamental para essas correntes é que a reprodução só é aceitável moralmente se for feita pela união natural de um óvulo e um espermatozóide. Muitos consideram que, como o filho é uma mistura de genes dos pais, não seria ético reproduzir apenas um deles por meios artificiais”* (p.44-45).

Além do fragmento acima, o autor destaca, numa outra passagem, uma frase do editorial do *Journal of the American Medical Association*, publicada no início dos anos 70:

b) *“Certamente um dia seremos capazes de reproduzir um indivíduo em todos os seus detalhes, mas será que isso constitui uma meta desejável?”* (p.45).

Na continuação do texto, são explicitadas diversas outras opiniões:

c) Gunter Stendt (biólogo): *“a clonagem poderia propiciar o nascimento de crianças mais saudáveis, inteligentes, e bonitas – modeladas em personagens como o filósofo alemão Immanuel Kant ou a atriz Marilyn Monroe. ‘A idéia de conviver com milhares de cópias da mesma pessoa é um pesadelo’, pondera stendedt. E conclui: ‘Não é fácil imaginar uma única alma habitando milhares de corpos idênticos’*”(p.45).

d) opinião de grupos conservadores: *“Tomando como princípio que a clonagem é um desrespeito à vida, não esperam que algo de bom possa sair dela”* (p.45).

e) opinião de dois deputados norte-americanos: *“Não queremos a manufatura de embriões científicos”* e *“Se aceitarmos a clonagem, estaremos abrindo caminho para fazendas de embriões, onde eles serão estocados como mercadoria e comercializados em massa”* (p.45).

f) Sobre as primeiras experiências com inseminação artificial: *“Houve quem denunciasse o que parecia um ‘desrespeito’ com o óvulo e com o espermatozóide, ao serem ‘forçados contra a vontade’ a se unir num tubo de ensaio. É como ‘um casamento arranjado’, disse o teólogo Moshe Tendler, professor de ética médica da Universidade Yeshiva”* (p.48).

Os diversos fragmentos destacados acima podem servir como ponto de partida para uma ampla discussão acerca dos diversos aspectos éticos que influenciam não apenas a atividade tecnológica, mas também a científica. Neste sentido, tais fragmentos apontam para a necessidade de uma redefinição deste atributo para que ele possa contemplar também a dimensão científica.

7. Quanto aos produtos, dejetos e resíduos da prática tecnológica: (ANCE).

4.5.3.3 Dimensão Social

1. Quanto ao público alvo:

a) *“O clone anunciado – a ovelha Dolly – tornou-se símbolo de nova perspectiva: a de gerar cópias geneticamente idênticas de seres humanos. Mas a proeza atizou pessoas dispostas a romper barreiras: empresários, e pesquisadores que querem clonar humanos”* (p.42).

b) *“Os governos procuram agir com bom senso. Mas sua preocupação é mais ampla, porque precisam levar em conta diversos interesses: os das pessoas, das universidades, das clínicas de fertilização assistida, das igrejas e da sociedade civil, entre outras instituições”* (p.44).

Sobre as células tronco:

c) *“Nas vítimas de enfarte, elas poderão chegar até a área afetada e remendar estragos no coração. Fazer os paralíticos andar já não será promessa exclusiva dos santos...”* (p.46).

Quanto ao nascimento do primeiro bebê de proveta:

d) *“o nascimento de Louise Brow acabou sendo considerado uma conquista histórica da ciência. Nos dez anos seguintes, nada menos que 25 mil casais já haviam tido filhos sem problema algum em clínicas de fertilização assistida”* (p.48).

Sobre a técnica de fertilização artificial desenvolvida pela médica Orly Lacham-Kaplan:

e) *“com esse método, os casais inférteis poderão não só ter filhos, mas também garantir que eles terão seus genes”* (p.49).

Afirmação feita pela pessoa responsável por uma clínica de fertilização:

f) *“Mais de cem casais estéreis, diz ela, já estariam inscritos no programa de reprodução da Clonaid, esperando a vez de ter os primeiros filhos copiados da história”* (p.50).

Os diversos fragmentos destacados acima indicam que o desenvolvimento científico-tecnológico e até mesmo os resultados de pesquisas podem influenciar não só a vida daqueles que trabalham diretamente com Ciência e Tecnologia, mas também de indivíduos pertencentes aos mais diversos segmentos da sociedade.

2. Quanto aos problemas sociais oriundos das atividades científica e tecnológica:

a) *“Será que a clonagem levará à produção de gente em massa, a comercialização de bebês ou a uma ‘raça de elite’, à la Hitler?”* (p.45).

b) *“Se aceitarmos a clonagem, estaremos abrindo caminho para fazendas de embriões, onde eles serão estocados como mercadoria e comercializados em massa”* (p.45).

Estas passagens não tratam especificamente de um problema que de fato tenha ocorrido ou esteja ocorrendo, mas podem servir de *start* para uma discussão em torno destas possibilidades, desenvolvendo juntamente com os educandos, entre outras atividades, uma reflexão sobre como seria uma sociedade composta por milhares de clones.

3. Quanto à posição de diferentes grupos sociais:

a) *“A oposição mais radical vem dos grupos conservadores, que incluem algumas igrejas, mas também cientistas e leigos, como as associações antiaborto. Um argumento fundamental para essas correntes é que a reprodução só é aceitável moralmente se for feita pela união natural de um óvulo e um espermatozóide. Muitos consideram que, como o filho é uma mistura de genes dos pais, não seria ético reproduzir apenas um deles por meios artificiais”* (p.44-45).

b) *“Para os conservadores, porém, não há meios-termos. Tomando como princípio que a clonagem é um desrespeito à vida, não esperam que algo de bom possa sair dela”* (p.45).

c) Sobre as pesquisas com células-tronco: *“Embora os embriões acabem sendo destruídos durante a extração das células-tronco, até religiosos e oponentes do aborto, adversários dos clones, concordam que elas devem continuar sendo estudadas. Pesquisas feitas este ano nos EUA mostram que 72% dos católicos e 57% dos contrários à interrupção da gravidez defendem esse ponto de vista. Seu argumento geral é que há uma diferença muito grande entre a clonagem*

reprodutiva realizada para gerar uma criança, e a clonagem terapêutica, empregada na produção de células-tronco. (...)” (p.46).

Além dessas passagens localizadas ao longo do texto, o artigo apresenta outros pontos que caracterizam este aspecto: uma foto onde são mostrados alguns ativistas antiaborto pregando a proibição da clonagem com o uso de embriões humanos nos EUA; um quadro onde são apresentadas a posição dos governos, das Igrejas e de Cientistas contrários a clonagem com o uso de embriões humanos; um outro trecho separado do texto principal, onde são apresentadas as principais idéias e a posição, em relação a esta temática, de um grupo religioso, os raelianos.

4.5.3.4 Interações C-T-S:

1. Quanto aos recursos públicos ou privados destinados à ciência e tecnologia: (ANCE).

2. Quanto aos aspectos da relação custo/benefício social: (ANCE).

3. Quanto aos possíveis impactos ambientais da prática tecnológica: (ANCE).

4. Quanto às relações entre desenvolvimento científico-tecnológico e bem-estar-social:

a) “com a clonagem terapêutica – apesar de não ressuscitarmos ninguém – melhoraremos a qualidade de vida de todos nós!” (p.52).

Esta passagem fornece indicativos para reflexões em torno das possibilidades de tratamento que se desenvolveriam a partir da clonagem terapêutica, o que teria reflexos sobre a sociedade em geral, como a possível variação da expectativa de vida e a ampliação de possibilidades de transplantes de órgãos, o que diminuiria a espera por parte daqueles que são portadores de alguma deficiência física ou funcional.

5. Quanto aos reflexos dos produtos tecnológicos sobre a saúde e o comportamento humano:

a) “Os vaidosos, por exemplo, podem querer filhos idênticos a si e acabar gerando crianças infelizes, já que elas podem enfrentar preconceito por serem clones. (...)” (p.44).

Sobre a posição das igrejas em relação à liberação da clonagem de seres humanos:

b) “Algumas só aceitam filhos naturais; outras admitem as técnicas de fecundação artificial mas não a clonagem, por achar que ela transformaria bebês em bens de consumo” (p.45)

c) “Essa visão simplista da clonagem vem suscitando idéias fantasiosas de ressurreição de pessoas ‘interessantes’ (para alguns, Mozart; para outros, Hitler), ou mesmo um filho querido já morto” (p.52).

Estes fragmentos evidenciam que nossos hábitos estão sujeitos às diversas possibilidades de escolha oferecidas pela Ciência e pela Tecnologia. A partir destes fragmentos, pode-se estabelecer comparações entre hábitos comuns e divergentes das sociedades, tomando como parâmetro o grau de industrialização e o acesso da população aos diferentes conhecimentos e produtos tecnológicos.

4.5.3.5 Comentários Sobre o Texto 3

Neste artigo, localizei passagens nas quais o autor apresenta explicações para alguns processos biológicos. Este tipo de explicação poderia constituir um atributo para a caracterização da dimensão científica ou ser incorporado como um aspecto complementar àquele que se refere aos conceitos científicos.

Localizei também uma passagem onde o autor destaca o nascimento do primeiro bebê de proveta como um fato marcante para a história da ciência, fato este que teria impulsionado o desenvolvimento de pesquisas na área de embriologia e a busca por novas técnicas de fertilização artificial. A presença desta passagem reforça a consideração feita na análise do texto 1, onde indiquei a relevância de elementos que permitam caracterizar a *influência de fatos marcantes sobre o desenvolvimento científico-tecnológico*.

Além disso, o autor apresenta um tipo de representação cronológica onde são destacados os principais fatos relacionados com a clonagem. Este tipo de representação constitui-se num recurso utilizado pelo autor para destacar cronologicamente elementos históricos e fatos relevantes para a contextualização do tema, sem tornar maçante o texto principal. Dentre os elementos destacados a partir deste tipo de representação, estão

alguns avanços científicos e lançamento de obras literárias e artísticas que se articulam em torno do tema.

O artigo apresenta um quadro como título “O que resta explicar” (p.51) onde são explicitadas algumas *questões científicas em aberto*. A presença deste elemento, onde tais questões são apresentadas de forma explícita, indica a possibilidade de um novo atributo que serviria para complementar os aspectos relativos à natureza da ciência e também fornecer indicativos sobre possíveis aplicações científicas.

As siglas que identifiquei neste artigo não se referem somente a elementos específicos da dimensão tecnológica. Esta constatação indica que as ‘siglas’, assim como ‘gráficos’ e ‘tabelas’, podem representar aspectos relevante para a caracterização de todas as dimensões e não apenas da tecnológica, conforme já havia percebido ao analisar o artigo anterior. Da mesma forma que as siglas, a questão dos valores e princípios éticos mostrou-se relacionada também com a dimensão científica e não apenas com a tecnológica, como foi considerado inicialmente, o que indica a necessidade de uma redefinição deste atributo.

Quanto às opiniões de diferentes grupos sociais, as quais defini como um aspecto relevante para a caracterização da dimensão social, localizei neste artigo opiniões de representantes de diversos segmentos da sociedade, como políticos, por exemplo. Neste sentido, percebe-se que este atributo abrange outros aspectos além daqueles que considerei inicialmente e, sendo assim, estarei redefinindo o mesmo para que ele possa melhor caracterizar a dimensão social. Paralelamente a este aspecto, percebi a necessidade de esclarecer que atributo referente ao público alvo deve ser entendido não apenas a partir dos interesses particulares daqueles que estabelecem relações diretas com a Ciência e a Tecnologia mas sim como um elemento de ampla abrangência, que contempla interesses individuais e coletivos dos diversos segmentos sociais.

Quanto aos aspectos da relação custo/benefício social (atributo I_2), percebi que este pode ser contemplado a partir da articulação entre elementos relativos aos investimentos em Ciência e Tecnologia (atributo I_1) e aspectos presentes nas relações entre desenvolvimento científico-tecnológico e bem-estar-social (atributo I_4). Esta constatação indica a possibilidade de uma redefinição destes atributos, incorporando-se os elementos da relação custo/benefício social aos outros dois.

Neste artigo, o autor utiliza-se de *diagramas explicativos*. Estes diagramas são ilustrações acompanhadas de textos explicativos e caracterizam um recurso utilizado pelo autor tanto para facilitar a compreensão de aspectos mais complexos, que não poderiam ser explicados somente através da linguagem escrita, quanto para tornar o artigo visualmente mais atrativo e mais dinâmico do ponto de vista da leitura. A presença destes diagramas está relacionada com a estruturação do artigo e pode caracterizar um atributo lingüístico capaz de facilitar a compreensão do texto pelos leitores e de auxiliar na caracterização de diversos aspectos.

Quanto as possíveis influências da ciência e da tecnologia sobre as diferentes formas de expressão artística, um aspecto destacado na análise do primeiro artigo, foram também localizadas passagens desta natureza. O autor destaca uma obra literária publicada, segundo ele, sob a influência de questões relacionadas com a clonagem. Vou destacá-la abaixo:

“Em 1970: *O economista americano Alvin Toffler publica o livro Choque do futuro, no qual descreve a possibilidade de alguém usar a clonagem para produzir um exercito de hitlers, todos idênticos uns aos outros. Essa idéia é usada pelo romancista americano Ira Levin no livro Os Meninos do Brasil, transformado em filme em 1978*” (p.45).

4.6 A Reformulação do Instrumento de Análise

Na seção anterior, descrevi o processo utilizado para a identificação dos atributos considerados na versão inicial do instrumento. A análise dos diversos aspectos observados em cada artigo indicou a necessidade de uma reformulação do quadro de atributos. Nesta seção, farei uma análise mais ampla destes aspectos, fundamentando as mudanças que foram feitas no quadro inicial e estruturando uma versão mais elaborada deste instrumento, que será apresentada ao final da seção.

Quanto à dimensão científica, todos os atributos que considerei inicialmente foram localizados em algum dos textos. A análise dos artigos identificou a possibilidade de caracterização dos atributos referentes aos conceitos científicos e às aplicações da ciência a partir de passagens onde o autor apresenta explicações sobre um determinado processo ou a partir de princípios e leis científicas presentes no texto.

Além daqueles atributos iniciais, considerei o destaque para questões ainda não respondidas pela ciência como um novo elemento significativo para a caracterização desta dimensão específica. Inicialmente, este elemento foi considerado como complementar na caracterização do atributo referente à natureza da ciência; mas, como ele foi localizado de forma explícita ao longo de um dos textos analisados, decidi por considerá-lo separadamente. Este aspecto, apesar de não ter sido considerado de forma explícita na primeira versão do quadro de atributos, contempla a recomendação de Solomon (1988) para que os currículos CTS valorizem o caráter provisório e incerto das teorias científicas.

O estudo destas questões ainda não respondidas pela ciência pode auxiliar no entendimento dos diversos aspectos relativos à natureza da ciência, dentre eles, a abrangência de modelos e teorias científicas. Além disso, tais questões podem mobilizar os educandos na busca pelas respostas a estas questões e apontando-se possibilidades para novas aplicações da ciência e também implicações sociais e ambientais das mesmas.

Com relação à dimensão tecnológica, alguns dos atributos definidos inicialmente mostraram-se significativos também para a caracterização de outras dimensões; por isso estarei redefinindo-os e situando-os numa nova categoria. Esta nova categoria, que denominei como *lingüístico-cognitiva*, pretende agrupar atributos que permitem caracterizar diferentes formas de representação utilizadas pelos autores na construção dos artigos como recurso para facilitar a compreensão de aspectos diversos, que podem estar relacionados com todas as dimensões e não só com a dimensão tecnológica. São eles: 1) *siglas, equações e códigos* relacionados com conceitos ou procedimentos científicos e tecnológicos; 2) *gráficos, tabelas e outras formas de representação quantitativa*; 3) *fotos, figuras e diagramas explicativos*.

O primeiro atributo é essencialmente de caráter lingüístico. O termo 'siglas' refere-se a abreviações que normalmente são usadas para definir, dentre outros, conceitos científicos e especificações de equipamentos. O termo 'equações' refere-se não só a fórmulas do tipo $E = m.c^2$, mas também a equações utilizadas para a representação de reações químicas e outras. Já o termo 'códigos' refere-se a formas de representação onde o autor utiliza-se de analogias para explicar determinados conceitos ou processos científicos e tecnológicos de forma mais acessível ao público leigo.

O segundo atributo desta nova categoria consiste em diferentes formas de representação quantitativa. Inicialmente considerei a presença de gráficos e tabelas como um elemento restrito à dimensão tecnológica, mas após a análise dos artigos percebi a possibilidade de se utilizar este tipo de representação para destacar também o comportamento de variáveis científicas e sociais. Para constatar tal possibilidade, busquei elementos desta natureza em artigos distintos daqueles destacados anteriormente e alguns destes elementos estão apresentados em anexo, ao final do trabalho.

O terceiro atributo refere-se a representações gráficas que, assim como os 'códigos', são elementos lingüísticos utilizados para auxiliar a explicação de determinados conceitos ou procedimentos científicos e tecnológicos; mas este tipo de representação geralmente não ocorre mediante analogias. Dentre estes elementos estão fotos, figuras e diagramas explicativos, que são esquemas onde pequenos textos encontram-se associados à ilustrações que permitem a visualização de alguns detalhes cuja simples descrição por meio da linguagem escrita seria inadequada e tornaria a leitura menos agradável. Em alguns casos, pode-se ainda encontrar este tipo de representação gráfica desprovida de linguagem escrita, ou seja, apenas uma foto ou ilustração onde é possível entender determinados aspectos relevantes sem a necessidade da linguagem escrita.

Em relação aos aspectos da tecnologia enquanto atividade econômica e industrial, percebi que estes podem apresentar-se de forma diferente daquela que considerei inicialmente. Além da explicitação de informações sobre os diferentes sistemas de produção, transporte e comercialização dos produtos tecnológicos, este atributo pode ser caracterizado a partir de relações comerciais entre os países e empresas em geral, incluindo acordos internacionais (como a ALCA por exemplo), sistemas internacionais de empréstimos para países em desenvolvimento, programas nacionais de investimento na formação de novos empreendedores, políticas públicas relativas a impostos e sistemas de créditos para pequenas empresas e outros.

Quanto aos dejetos e resíduos da prática tecnológica, os dois primeiros artigos apresentaram passagens que caracterizaram muito bem este aspecto. Além disso, localizei indicativos sobre o destino dado para este tipo de material no caso da usina de Angra 2 e percebi que este aspecto é bastante significativo no contexto da educação CTS, uma vez que se pretende desenvolver junto aos educandos habilidades relativas à tomada de decisões.

Neste sentido, decidi por complementar a definição deste atributo, incluindo o destaque a ser dado aos procedimentos necessários para lidar com este tipo de material.

Durante a leitura dos dois primeiros artigos, identifiquei passagens que destacavam elementos relativos à evolução do sistema de construção da usina. São elas:

“Seu reator é do tipo PWR, que usa água pressurizada, o mais empregado no mundo, e nunca registrou um acidente fatal. Não é, digamos, uma BMW, mas trata-se de uma máquina simples e regular, um Volkswagen da indústria nuclear. Chernobyl, que nos ensinou a prever sempre o pior, era um Ford bigode comunista, uma geringonça instável” (Texto 1, p.53).

“Por um lado, Angra 2 é incomparavelmente mais segura do que Chernobyl e também supera Three Mile Island.. ‘Graças à mobilização da opinião pública, a tecnologia de segurança dos reatores passou por inegável desenvolvimento’, reconhece o físico Enio Candotti” (Texto 2, p.76).

Além destes, o artigo que trata sobre a clonagem também apresentou elementos implícitos referente a evolução das técnicas de fertilização artificial. A presença destes elementos evidencia a necessidade de um novo atributo que contemple *elementos relativos à evolução de técnicas, produtos e sistemas tecnológicos*. Este atributo refere-se a elementos que possam caracterizar as diversas transformações e aperfeiçoamentos proporcionados pela Ciência e pela Tecnologia aos produtos e sistemas com os quais interagimos durante a realização de todas as nossas ações, inclusive os cientistas ao desenvolverem suas atividades profissionais.

Esta evolução proporciona também novas técnicas de trabalho não só para cientistas como foi destacado no artigo sobre clonagem, mas também para profissionais dos mais diversos ramos, inclusive do meio artístico. Existem inúmeros exemplos práticos que confirmam a relevância destes elementos, dentre eles, o surgimento de novos remédios; o aperfeiçoamento das técnicas agrícolas e agropecuárias ao longo da história; a melhoria de técnicas e sistemas de áudio e vídeo utilizados nas produções artísticas como cinema e outros; as modificações dos diversos produtos comercializados ao longo do tempo, como lâmpadas, relógios, computadores, máquinas fotográficas e até mesmo as RDCs, as quais modificam

continuamente sua estrutura e apresentação graças aos recursos oferecidos por novas tecnologias.

Muitos destes produtos constituem elementos do domínio vivencial dos educandos e podem ser usados como objeto de estudo, relacionado-se conteúdos teóricos ao princípio de funcionamento dos mesmos, analisando-se vantagens e desvantagens de novos equipamentos em relação aos antigos, resgatando-se historicamente artefatos que hoje são considerados obsoletos e muitas outras possibilidades. O estudo destes diversos aspectos pode auxiliar não apenas na caracterização da dimensão tecnológica como também da científica e social.

Entretanto, estarei situando o referido atributo na dimensão tecnológica por se tratar de um elemento que evidencia o sentido dinâmico desta atividade, complementando a caracterização da mesma. Este atributo pode apresentar-se nos artigos não só ao longo do texto, como destaquei anteriormente, mas também na forma de diagramas explicativos e outras representações cronológicas semelhantes àquela que se utiliza para citar fatos e eventos importantes a respeito do tema.

O atributo definido para caracterizar os aspectos legais e os padrões de qualidade relacionados com a temática tratada no artigo foi inicialmente enquadrado na dimensão tecnológica, mas a análise dos diversos artigos proporcionou uma visão mais ampla sobre este aspecto, evidenciando que ele está diretamente relacionado com o contexto em que se desenvolvem as atividades científica e tecnológica. Neste sentido, não devemos relacionar estes aspectos apenas com a dimensão tecnológica e, tendo em vista que estes aspectos legais e padrões de qualidade são definidos a partir da interação humana com os diversos produtos tecnológicos, decidi por localizá-lo na categoria *Interações C-T-S*.

Vale lembrar que estes aspectos legais são definidos, algumas vezes, sob a influência de valores e princípios éticos a partir dos quais se estrutura a conduta dos indivíduos (inclusive dos cientistas) dentro de uma sociedade organizada, mas estas influências vão além das questões legais e, por isso, estes valores e princípios éticos permanecem destacados num atributo à parte. Entretanto, este foi deslocado da dimensão tecnológica por apresentar-se mais amplo e capaz de caracterizar também a dimensão científica. Tendo em vista que todo sistema de valores e os diversos princípios éticos são construídos culturalmente, estes

aspectos estão mais relacionados com o contexto em que se desenvolvem as atividades científica e tecnológica; por isso, enquadrei este atributo na dimensão social.

Quanto aos problemas sociais oriundos das atividades científica e tecnológica, considerei que estes aspectos, além de possibilitarem uma visão mais ampla sobre o desenvolvimento das atividades científica e tecnológica, alertam para transformações que estas atividades podem promover no meio ambiente e também no contexto social em que estão inseridas. Neste sentido, decidi por incorporar os possíveis impactos ambientais da prática tecnológica a este atributo, uma vez que estes impactos constituem muitas vezes problemas sociais que atingem proporções globais e, portanto, podem exercer influência sobre toda a estrutura social.

Ainda com relação aos aspectos relevantes para a contextualização das atividades científica e tecnológica, localizei passagens onde foram explicitados alguns *atos marcantes que influenciaram o desenvolvimento científico-tecnológico*. Neste sentido, considerei que estes podem constituir um atributo auxiliar na caracterização da dimensão social. É importante ressaltar que estes fatos marcantes caracterizam mudanças no ‘ambiente’ da Ciência e da Tecnologia e podem influenciar o desenvolvimento científico e tecnológico de diversas formas, tanto impulsionando novas pesquisas quanto trazendo à tona questões polêmicas que desaceleram a atividade dos pesquisadores, muitas vezes pressionados pela opinião pública e por outros fatores sociais.

Rosenthal (1989) destaca este aspecto como um elemento de natureza histórica presente nos currículos CTS; quanto às possíveis formas de se trabalhar estas questões, pode-se orientar a abordagem delas a partir do enfoque histórico proposto por Ziman (1985). Os diversos elementos que caracterizam este atributo podem apresentar-se de inúmeras formas no corpo do artigo: ao longo do texto, sob forma de narrativa, de forma destacada em representações cronológicas similares àquela que localizei no artigo sobre clonagem, etc.

Ao analisar os artigos, localizei algumas passagens onde foram destacadas opiniões de políticos em relação à temática tratada no artigo. Considerei tais opiniões como um aspecto complementar ao atributo referente às opiniões de grupos sociais diversos, uma vez que estes políticos representam os interesses dos diversos segmentos da sociedade. Assim, decidi por ampliar o significado deste atributo, considerando que o termo ‘grupos sociais’

refere-se não só a organizações não governamentais, mas também a igrejas, sindicatos e outros, além de governantes e políticos em geral. Além disso, quero alertar para a possibilidade de passagens que destaquem, entre outros, representantes de grupos sociais emitindo opiniões pessoais, restritas ao domínio de sua vida particular.

O primeiro atributo referente às interações C-T-S foi definido, inicialmente, considerando-se o termo *'recursos públicos ou privados aplicados no desenvolvimento de pesquisas em ciência e tecnologia'*, mas a análise dos diversos artigos possibilitou uma visão mais ampla em relação a este atributo. Percebi que ele pode incluir muitas formas de investimento nos diversos segmentos relacionados com ciência e tecnologia e não somente as pesquisas. Um destaque dado para iniciativas voltadas à construção de novos espaços culturais e de divulgação científica, projetos de incentivo à carreira científica e a promoção de eventos relacionados com a área de ciência e tecnologia são exemplos de aspectos que podem caracterizar este atributo em seu sentido mais amplo.

No quadro inicial, defini um atributo relacionado com a relação custo/benefício social das atividades científica e tecnológica, mas, a partir da análise de diversos artigos percebi que este aspecto pode ser considerado como um elemento complementar ao atributo referente às relações entre desenvolvimento científico-tecnológico e bem-estar-social. Sendo assim, este segundo atributo deve ser observado de forma mais ampla levando-se em conta também aspectos político-econômicos destas relações. Estas relações podem aparecer nos diversos artigos sob forma de comentários acerca da qualidade de vida, questionamentos sobre a importância dos avanços científicos e tecnológicos para nossa vida e outros.

Além dessas reestruturações apontadas acima, percebi a necessidade de se definir dois novos atributos relacionados com as interações C-T-S: a) influências da tecnologia no desenvolvimento da atividade científica e vice-versa; b) influências da ciência e da tecnologia sobre as diversas formas de expressão artística.

O primeiro refere-se às relações diretas entre ciência e tecnologia, uma vez que algumas delas se estabelecem de forma independente do 'ambiente' em estas atividades se desenvolvem e justifica-se pela importância dada a estas relações nos diversos currículos CTS, conforme destaca Ramsay (1993). Este atributo contempla, dentre outros elementos, as possíveis contribuições da tecnologia para o aprimoramento nas técnicas de obtenção e

análise de dados científicos, a influência dos novos meios de comunicação sobre a divulgação de trabalhos científicos e a utilização de resultados de pesquisas científicas para a fabricação de novos produtos tecnológicos.

O segundo atributo refere-se às diversas influências da Ciência e da Tecnologia sobre as várias formas de expressão artística, não apenas do ponto de vista humanístico, como destaca Rosenthal (1989), mas também do técnico, pois os diversos produtos e meios utilizados nestas formas de expressão apresentam algum tipo de relação com a Tecnologia. Além disso, este atributo pode apontar elementos para a caracterização do aspecto cultural presente na prática tecnológica que, segundo Pacey (1990), inclui crenças e hábitos relativos a diversos aspectos como criatividade, estética e beleza.

A caracterização deste atributo pode contemplar não só as possibilidades destacadas nos artigos que foram analisados, mas também aspectos relativos às novas técnicas e aos novos meios de produção e divulgação artística, viabilizados a partir das tecnologias na área de comunicação (como a computação gráfica e a elaboração de sites eletrônicos). Além disso, outras influências, como o surgimento de novos materiais (como novas substâncias, filmes e aparelhos fotográficos de alta resolução) e a utilização de materiais recicláveis na produção de artefatos, ampliam as possibilidades em torno deste atributo.

As diversas considerações discutidas acima estão fundamentadas tanto no referencial teórico que foi estabelecido nos capítulos anteriores, quanto nas constatações feitas a partir da aplicação da versão inicial do instrumento de análise. Estas considerações subsidiaram a conclusão do processo de aplicação-análise-reformulação da versão inicial do instrumento de análise.

Esta reformulação incluiu a criação de uma nova categoria, a definição de novos atributos, a complementação de alguns que já haviam sido considerados na versão inicial, a redistribuição destes nas categorias e a incorporação de alguns atributos como elementos constituintes de outros que, devido a esta incorporação, passaram a ter significado mais amplo.

Mostrarei, em seguida, uma versão mais elaborada deste instrumento de análise. Assim como a primeira versão, esta segunda está estruturada na forma de um quadro, mas o novo quadro é constituído de cinco categorias e não apenas quatro, como na versão inicial.

Além das categorias consideradas inicialmente, esta nova versão do quadro de atributos contempla uma nova categoria que denominei Lingüístico-cognitiva, onde estão situados aqueles atributos relacionados com a estrutura do artigo. Estes atributos, além de tornarem o artigo mais atrativo para os educandos e auxiliarem na compreensão do mesmo, podem indicar diversos aspectos complementares para a caracterização das outras categorias e favorecer articulações com conhecimentos da área de Códigos e Linguagens.

Dimensão	Atributos
Lingüístico-Cognitiva	<p>L₁⇒ Siglas, equações e códigos.</p> <p>L₂⇒ Gráficos, tabelas e outras formas de representação quantitativa.</p> <p>L₃⇒ Fotos, figuras e diagramas explicativos.</p>
Científica	<p>C₁⇒ Conceitos científicos.</p> <p>C₂⇒ Aspectos relativos à natureza da ciência.</p> <p>C₃⇒ Possíveis aplicações da ciência.</p> <p>C₄⇒ Opiniões de diferentes especialistas.</p> <p>C₅⇒ Questões ainda não respondidas pela ciência.</p>
Tecnológica	<p>T₁⇒ Aspectos da tecnologia enquanto atividade econômica e industrial.</p> <p>T₂⇒ Especificações técnicas sobre o funcionamento de equipamentos.</p> <p>T₃⇒ Importância dos profissionais no gerenciamento da atividade tecnológica e na manipulação dos diversos equipamentos.</p> <p>T₄⇒ Produtos, dejetos e resíduos obtidos a partir da prática tecnológica, bem como procedimentos necessários para lidar com este tipo de material.</p> <p>T₅⇒ Aspectos relativos à evolução de técnicas, produtos e sistemas tecnológicos.</p>
Social	<p>S₁⇒ Possíveis interessados na temática que está sendo tratada ou nos resultados de pesquisas que estão sendo divulgados.</p> <p>S₂⇒ Problemas sociais oriundos das atividades científica e tecnológica.</p> <p>S₃⇒ Opiniões de grupos sociais e representantes dos diversos segmentos da sociedade.</p> <p>S₄⇒ Valores e princípios éticos que influenciam a Ciência e a Tecnologia.</p> <p>S₅⇒ Fatos marcantes e suas influências sobre a Ciência e a Tecnologia.</p>
Interações C-T-S	<p>I₁⇒ Investimentos públicos ou privados na área de ciência e tecnologia.</p> <p>I₂⇒ Contribuições da Tecnologia para o desenvolvimento da atividade científica e vice-versa.</p> <p>I₃⇒ Relações entre desenvolvimento científico-tecnológico e bem-estar-social.</p> <p>I₄⇒ Aspectos legais e padrões de qualidade relacionados com a temática.</p> <p>I₅⇒ Possíveis reflexos dos produtos tecnológicos sobre a saúde e o comportamento humano.</p> <p>I₆⇒ Influências da ciência e da tecnologia sobre as diversas formas de expressão artística.</p>

Quero ressaltar que a estruturação deste quadro deve ser entendida como algo flexível, sujeita a alterações em função da natureza do texto ao qual for aplicada, ou seja, é possível que, ao analisar artigos de natureza diferenciada em relação àqueles que utilizei nesta pesquisa, o leitor identifique elementos que não conseguirá enquadrar perfeitamente nos atributos considerados nesta versão. Dentre as possíveis variações, as mais prováveis são: a presença de elementos não contemplados neste quadro de atributos; a ausência de alguns destes atributos que destaquei e a possibilidade de uma nova distribuição para os atributos dentro das categorias.

É importante lembrar que os diversos atributos foram definidos para subsidiar a identificação de elementos relevantes ao ensino de CTS e se aplicam a artigos cujo tema tratado contemple os critérios apresentados no início deste capítulo. Além disso, estes artigos devem ser extraídos de RDCs que tenham características similares as que utilizei na pesquisa, ou seja, este instrumento de análise está dirigido a um universo restrito de revistas cuja escolha deve ser feita seguindo as considerações que apresentei na segunda seção deste capítulo. Assim, a aplicação deste instrumento de análise está condicionada por critérios de seleção referentes ao tema e ao tipo de material.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa foi realizada com o intuito de construir um instrumento de análise capaz de facilitar a identificação de aspectos presentes num artigo de divulgação científica que fossem relevantes para o ensino de CTS no Ensino Médio. A construção deste instrumento foi subsidiada pela constituição de um referencial legal e teórico. A primeira parte do referencial foi constituída a partir de determinações e recomendações feitas por documentos oficiais (Constituição Federal, LDB, DCNEM e PCNs) e, para constituir segunda parte, articulei fundamentos teóricos do enfoque CTS e da Divulgação Científica com aspectos relativos ao ensino de ciências e considerações feitas a partir da fundamentação legal.

Durante a constituição do referencial legal, apresentei critérios gerais para a estruturação de uma estratégia didática capaz de atender as determinações e recomendações feitas pelos documentos oficiais. No capítulo referente ao enfoque CTS, mostrei que a estrutura conceitual dos currículos orientados nesta perspectiva de ensino e as diversas estratégias didáticas utilizadas no desenvolvimento de projetos CTS apresentam características concordantes com tais determinações e recomendações.

No capítulo seguinte, apresentei as principais características dos materiais de divulgação científica, uma discussão sobre sua importância social e algumas possibilidades de utilização destes para fins didáticos. As diversas considerações feitas nesta apresentação revelaram que a possibilidade de se organizar uma estratégia didática para ensinar CTS a partir de artigos das RDCs estaria condicionada a uma análise criteriosa deste material por parte do professor, indicando a necessidade de um instrumento capaz de auxiliar a realização desta análise. No capítulo seguinte apresentei o processo de construção de tal instrumento, que foi o objeto desta pesquisa.

Este instrumento de análise visa direcionar a leitura do artigo para que, independentemente da área de formação, o professor possa identificar elementos relevantes a serem abordados durante o desenvolvimento da estratégia didática. Entretanto, as diversas considerações apresentadas ao longo deste trabalho revelam que apenas a identificação dos elementos contemplados no artigo não é suficiente para que se possa realizar este

desenvolvimento, ou seja, a utilização do instrumento de análise deve articular-se com a organização inicial da estratégia e com os diversos procedimentos a serem tomados durante o processo de ensino-aprendizagem.

Para concluir este trabalho, apresentarei em seguida algumas orientações que o professor poderá seguir para promover esta articulação entre a organização da estratégia, a utilização do instrumento e o desenvolvimento da mesma. São elas:

1. Definir finalidades que pretenda cumprir, além daquelas apresentadas no primeiro capítulo deste trabalho (ver p.21).

2. Observar os critérios gerais para a organização de uma estratégia didática, os quais foram apresentados anteriormente. Destacarei novamente estes critérios em seguida:

- Pautar-se pela construção de competências e habilidades;
- Considerar particularidades locais e regionais da comunidade;
- Priorizar temas interdisciplinares.

3. Relacionar as competências e habilidades a serem desenvolvidas pelos educandos, além daquelas que foram priorizadas no primeiro capítulo (ver p.22)

4. Definir um tema a ser trabalhado, seguindo não apenas os critérios gerais destacados acima, mas também aqueles que foram apresentados no quarto capítulo (seção 4.1). Na discussão sobre a estrutura conceitual dos currículos CTS, foram apresentadas sugestões de temas que contemplam estes critérios.

5. Procurar nas diversas RDCs, artigos referentes a este tema. Para fazer a localização destes artigos, o professor poderá utilizar, entre outros recursos, o banco de dados FISBIT⁴, disponível no endereço eletrônico: (www-sbi.if.usp.br/sbi/fisbit.html).

6. Fazer uma primeira leitura dos diversos artigos que encontrar. A partir desta leitura, o professor poderá ampliar sua visão sobre o tema e fazer uma pré-seleção dos artigos para definir aquele(s) que será(ão) submetido(s) à aplicação do instrumento de análise.

⁴ É um banco de referências de divulgação e atualização em Física, elaborado por Salém e Kawamura (1996).

7. Buscar informações sobre o tema em outras fontes de natureza diferenciada. Este contato com outras fontes de informação deve proporcionar ao professor uma visão global sobre o tema. Conforme alerta Ziman (1985), esta visão global é imprescindível para se trabalhar na perspectiva da educação CTS.

8. Aplicar o instrumento de análise e selecionar aquele(s) que será(ão) disponibilizado(s) aos educandos. Estou sugerindo que esta etapa seja feita somente após o contato com outras fontes de informação porque, dotado de uma visão global sobre o tema, o professor poderá mais facilmente detectar elementos que não estão contemplados nesta segunda versão do instrumento de análise apresentada anteriormente. Além disso, recomendo que os educandos possam ter contato com pelo menos dois artigos para que o estudo permita comparações entre eles, tanto do ponto de vista conceitual quanto em relação aos recursos utilizados na estruturação dos mesmos.

9. Relacionar as questões a serem abordadas para a caracterização dos diversos atributos localizados e as possíveis articulações entre eles. Para tanto, pode-se estruturar um organograma, onde se destacariam os principais elementos identificados no(s) artigo(s), as possíveis articulações entre eles e as novas questões que podem surgir durante as discussões. No segundo capítulo, destaquei alguns enfoques para a abordagem destes elementos (ver p. 37-38).

10. Relacionar as possíveis atividades a serem realizadas durante o desenvolvimento da estratégia didática, tendo em vista não apenas aspectos conceituais e as possíveis articulações levantadas no momento anterior, mas principalmente os valores, competências e habilidades definidas na organização inicial desta estratégia. Para auxiliar o professor nesta tarefa, apresentei, no terceiro capítulo, algumas atividades que geralmente são realizadas no desenvolvimento de estratégias de ensino CTS (ver p. 40).

11. Iniciar a aplicação da estratégia seguindo os passos propostos por Aikenhead (1994) que destaquei no terceiro capítulo (ver p.39) e levando em conta os direcionamentos que apresentei no capítulo 1(ver p.24).

12. Promover diversos momentos de avaliação ao longo do desenvolvimento da estratégia. Trata-se de uma avaliação processual, onde se deve verificar não apenas a apropriação de conteúdos por parte dos educandos, mas também o envolvimento dos mesmos

com as atividades e as habilidades reveladas por eles ao longo do processo. Esta avaliação contínua visa também, verificar os avanços feitos em direção ao cumprimento das finalidades e ao desenvolvimento das competências estabelecidas durante a organização da estratégia para que se possa ter em vista a necessidade de novos direcionamentos.

Para tornar estes momentos de avaliação mais dinâmicos e permitir que os educandos participem ativamente de todo o processo, o professor pode explicitar a eles tais finalidades e competências pretendidas. Ao ter consciência destes aspectos, cada educando poderá, com a mediação do professor, direcionar seus estudos e suas atitudes ao longo do processo e, ao final, fazer uma auto-avaliação. A avaliação final do processo, além de incluir uma auto-avaliação, pode ser feita a partir da análise de um “produto final” a ser organizado, construído e apresentado pelos educandos.

As diversas propostas de ensino CTS (Hofstein, Aikenhead e Riquarts, 1988; Solomon, 1989, 1993), indicam muitas atividades a serem realizadas para trabalhar nesta perspectiva, dentre as quais, indicarei algumas que podem caracterizar um ‘produto final’:

I. *Projetos de ação comunitária*. Estes projetos incluem, entre outros:

- a) intervenção direta para a solução de problemas reais da comunidade;
- b) elaboração de cartazes, panfletos e manuais a serem distribuídos pelos educandos na escola, na família e na comunidade;
- c) palestras, vídeos e encenações a serem apresentadas pelos educandos, não apenas entre os membros do grupo de estudo, mas para toda a comunidade escolar (funcionários da escola, outras turmas, familiares) e pessoas da comunidade externa.

II. *Produção de artefatos concretos*. Incluem o projeto e a construção de protótipos de equipamentos (ferramentas; instrumentos de observação e medição; utilitários em geral; etc), maquetes; páginas na internet e outros.

III. *Organização de portfólios*. São pastas a serem organizadas pelos educandos, onde estes inserem, em ordem cronológica, os textos redigidos por eles ao longo do processo, fotografias tiradas durante as saídas de campo e outras atividades, relatórios das atividades desenvolvidas, textos de auto-avaliação e outros documentos. Estes portfólios servem de registro pessoal e devem ser propostos pelo professor no início das atividades, para que os educandos possam registrar as datas de cada atividade e organizar seu material ao longo do

processo. Minha sugestão é que a organização destes portfólios seja proposta não como único produto final, mas como uma atividade complementar.

Quero finalizar, alertando que as diversas orientações apresentadas acima foram organizadas a partir de um referencial teórico, sendo que ainda não tive a oportunidade de aplicá-las e verificar se há uma necessidade de adaptações das mesmas, em função do tema ou do contexto educacional em que se aplica a estratégia didática. Neste sentido, tais orientações devem ser entendidas não como um algoritmo a ser seguido, mas como um conjunto de possibilidades a ser analisado e moldado de acordo com as particularidades do contexto no qual estiver sendo aplicado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEVEDO DÍAS, J. A. La tecnología en las relaciones CTS: una aproximación al tema. *Enseñanza de las ciencias*. V. 14, n. 1, pp. 35 – 44, 1969.
- ACEVEDO, G. R. Ciencia, Tecnología y Sociedad: una mirada desde la educación en tecnología. In: *Revista Iberoamericana de Educación*, nº 18 , p.107- 143, 1998.
- AIKENHEAD, G. S. Collective decision making in the social context of science. In: *Science education*. V.69, nº 4, p.453- 4575, 1985.
- AIKENHEAD, G. S. What is STS science teaching? In: SOLOMON, J., AIKENHEAD, G. *STS EDUCATION: International perspectives on reform*. New York: Teachers College Press, p. 47-59, 1994.
- ALMEIDA, G. Ciência para Todos. In: revista *Ciência e Cultura*. 36(9), p.1576 –1677, 1984.
- ALMEIDA, M. J. P. M. e RINCON, A. E. Divulgação científica e texto literário – Uma perspectiva cultural em aulas de física. In: *C.C.E.F.* 10(1), p. 7 – 13, 1993.
- ALMEIDA, M. J. P. M. e MOZENA, E. R. Leituras e linguagem comum no ensino do conhecimento de física. In: *Resumos do VI EPEF*. Florianópolis, 1998.
- ALMEIDA, M. J. P. M. e SILVA, H. C. O funcionamento de textos de divulgação científica: Gravitação no ensino médio. In: *atas do VI EPEF*. Florianópolis, p. 1 –11, 1998.
- ALMEIDA, M. J. P. M. O texto escrito na educação em física: enfoque na divulgação científica. In: *Linguagens, Leitura e Ensino da Ciência*. Mercado das Letras (Coleção leituras no Brasil), Campinas, 1998.
- ALVETTI, M. A. S. Ensino de física moderna e contemporânea e a revista ciência hoje. *Dissertação (Mestrado em Educação)*. UFSC–CED. Florianópolis, 1999.
- ANGOTTI, J. A. e AUTH, M. A. Ciência e Tecnologia: Implicações sociais e o papel da educação. In: revista *Ciência & Educação*, 7(1), p.18 – 30, 2001.

ANGOTTI, J. A. Fragmentos e Totalidades no Conhecimento Científico e no Ensino de Ciências. Tese (Doutorado em Educação). USP-São Paulo, 1991.

AULER, D. e BAZZO, W. A. Reflexões para a implementação do movimento CTS no contexto educacional brasileiro. In: revista Ciência & Educação, 7(1), p. 4 – 16, 2001.

AULER, D. Interações entre Ciência-Tecnologia-Sociedade no Contexto da Formação de Professores de Ciências. Tese (Doutorado em Educação). UFSC-Florianópolis, 2002.

AULER, D. Movimento Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS): modalidades problemas e perspectivas em sua implementação no ensino de física. In: Resumos do VI EPEF. Florianópolis, 1998.

BARDIN, L. Análise de conteúdo. Lisboa, edições 70, 1977.

BAZZO, W. A. Ciência, Tecnologia e Sociedade e o Contexto da Educação Tecnológica. ed. UFSC, Florianópolis 1998.

BINGLE, W. H. e GASKELL, P. J. Scientific Literacy for Decisionmaking and the social construction of scientific Knowledge. In: Science education 78(2), p.185-201, 1994.

BRASIL, MEC / SEF, Parâmetros Curriculares Nacionais: Terceiro e quarto ciclos do ensino fundamental. Brasília, 2000.

BRASIL, MEC / SEMTEC, Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Vol. 3. Brasília, 1999.

BRASIL, Senado Federal. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, 1988.

BUENO, W. C. Jornalismo Científico: conceito e funções. In: revista Ciência e Cultura, 37(9), p. 1420 – 1427, 1985.

BYBEE, R. W. Science education and the science-technology-society (STS) theme. In: Science education. V. 71, nº5, p. 667 – 683, 1987.

CAAMAÑO, A. La educación Ciencia-Tecnología-Sociedad: una necesidad en el diseño del nuevo currículum de Ciencias. In: ALAMBIQUE Didáctica de las Ciencias Experimentales, nº 3, p. 4-6, 1995.

CALVO HERNANDO, M. Periodismo Científico. Madrid. Ed. Paraninfo, 1977.

CEREZO, J. A. L. Ciência, Tecnologia y Sociedad: el estado de la cuestión en Europa y Estados Unidos. In: Revista Iberoamericana de Educación, nº18, p.1-25, 1998.

FLEMING, R. Literacy for a technological age. In: science Education. V. 73, n.4, p. 391- 404, 1989.

FREIRE MAIA, A. A imprensa e a divulgação científica. In: revista Ciência e Cultura, 42 (3/4), p. 211 – 212, 1990.

FREIRE, P. Educação como prática da liberdade. 22ª ed, Paz e Terra. Rio de Janeiro, 1996.

GONZÁLEZ, M. I. G., LÓPEZ, J. A. C. e LUJÁN, J. L. L. Ciencia, Tecnologia y sociedad – una introducción al estudio social de la ciencia y la tecnología. Ed. Tecnos. Madrid, 1996.

HALLIDAY, M. A. K. e MARTIN, J. R. Writing Science: Literacy and Discursive Power. University of Pittsburgh Press. Pittsburgh, 1993.

HERNÁNDEZ-CAÑADAS, P. L. Os periódicos “Ciencia Hoje e “Ciência e Cultura” e a divulgação da ciência no Brasil. Dissertação de mestrado. Rio de Janeiro, ECO/UFRJ, 1997.

HOFSTEIN, A., AIKENHEAD, G. e RIQUEARTS, K. Discussions over STS at the fourth symposium. In: International Journal of Science Education. V. 10, n 4, p. 357-366, 1988

HOSOUME, Y. et al. A física na reforma do ensino médio. In: Resumos do VI EPEF. Florianópolis, 1998.

IGLESIA, P. M. Ciencia-Tecnología-Sociedad en la enseñanza-aprendizaje de las Ciencias Experimentales. In: ALAMBIQUE Didáctica de las Ciencias Experimentales, nº 3, p. 7-11, 1995.

KAWAMURA, M. R. D. e SALÉM, S. Dimensões da divulgação científica e sua inserção no conteúdo curricular de física. In: Resumos do VI EPEF. Florianópolis, 1998.

LAYTON, D. Revaluating the T in STS. In: International Journal of Science Education. v. 10, n. 4, p. 367 – 378, 1988.

LÓPEZ, A. B. Relaciones entre la educación científica y la divulgación de la ciencia. In: revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias, 1 (2), p. 70 – 86, 2004.

LÓPEZ, J. L. L. e CERESO, J. A. L. Educación CTS en acción: enseñanza secundaria y universidad: una introducción al estudio social de la ciencia y la tecnología. Madrid: Editorial Tecnos S. A., 1996.

MANHÃES, L. C. L. Implantando a educação básica. UFSC / CED, Núcleo de Publicações. Florianópolis, 1998.

MARTINS, I. et al. Análise do processo de re-elaboração discursiva de um texto de divulgação científica para um texto didático. In: Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências; 1(3), p. 19 – 27, 2001.

MEADOWS, A. J. A Comunicação Científica. ed. Briquet de Lemos, Brasília, 1999.

MELO, J. M. Impasses do jornalismo científico. In: revista Comunicação e Sociedade. 4(7), p. 19-24, São Paulo, 1982.

MERRYFIELD, M. M. Science-Technology-Society and global perspectives. In: Theory into practice. V. 30, nº 4, p.288 – 293, 1991.

MÓL, G. de S. e SANTOS, W. L. P. (coords.) Química na Sociedade. 2ª ed. Editora da UnB. Brasília, 2000.

OSÓRIO, C. la educación científica y tecnológica desde el enfoque en ciencia, tecnología y sociedad. Aproximaciones y experiencias para la educación secundaria. In: Revista Iberoamericana de educación. N. 28, enero-abril, p. 61-81, 2002.

PACEY, A. La cultura de la tecnología. Cidade do México: Fondo de cultura económica. 1990.

PALACIOS, F. A., OTERO, G. F. e GARCIA, T. R. Ciencia, Tecnología y Sociedad. Ed. Laberinto, Madrid, 1996.

PETRUCCI, V. L. A Democratização do Conhecimento Científico e tecnológico – considerações. São Paulo, CPCT, 1989. (mimeo)

RAMSAY, J. The science education reform moviment: implications for social responsibility. In: Science Education. V. 77, nº 2, p. 235 – 258, 1993.

REIS, J. A Divulgação Científica e o Ensino. In: revista Ciência e Cultura, 16(4), p.352 – 353, 1964.

REIS, J. Ciência e Jornalismo. In: revista Ciência e Cultura, 24(2), p. 130 – 139, 1972.

RICARDO, E. R. As Ciências no Ensino Médio e os Parâmetros Curriculares Nacionais: da Proposta à Prática. Dissertação de Mestrado – UFSC/CED. Florianópolis, 2001.

RINCON, A. E. e ALMEIDA, M. J. P. M. Ensino da Física e Leitura. In: revista Leitura, Teoria e Prática, 10(18), p.7 – 16, 1991.

ROSENTHAL, D. B. Two approaches to science-technology-society (STS) education. In: Science education. V. 73, nº 5, p. 581 – 589, 1989.

RUBBA, P. A. e WIESENMAYER, R. L. Goals and competencies for precollege STS education: recommendations based upon recent literature in environmental education. In: Journal of environmental education, v. 19, n. 4. p 38-44, 1988.

SÁLEM, S. E KAWAMURA, M. R. D. Banco de Referências de Divulgação e Atualização em Física – FISBT. 1996. Disponível no endereço: (www-sbi.if.usp.br/sbi/fisbit.html).

SANTOS. L. P. e MORTIMER, E. F. O Ensino de CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade) no Contexto da educação Básica Brasileira. In: revista Ensaio. Belo Horizonte, p. 133 – 162, 2000.

SANTOS. L. P. e MORTIMER, E. F. Tomada de Decisão Para Ação Social Responsável no Ensino de Ciências. In: revista Ciência e Educação, 7(1), p.95-111, 2001.

SOLBES, J. e VILCHES, A. STS interactions and the teaching of physics and chemistry. In: Science education. V. 81, nº 4, p. 377 – 386, 1997.

SOLOMON, J. Science, Technology and Society courses: Tools for thinking about social issues. In: International Journal of Science Education. v. 10, n. 4, p. 379 – 387, 1988.

SOLOMON, J. Teaching science, Technology and Society. Buckingham: open university press. 1993.

SOLOMON, J. The social construction of school science. In: MILLAR, R. (Ed.) Doing Science: images of in science education. London, New york, Philadelphia: the falmer Press. p.126 – 136, 1989.

SOUZA CRUZ, S. M. S. C. e ZYLBERSZTAIN, A. O enfoque ciência, tecnologia e sociedade – CTS. In: Ensino de Física – conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Pietrocola, M. (org.). (p.171-196). Ed. UFSC, Florianópolis, 2001.

STIEFEL, B. M. La Naturaleza de la Ciencia en los enfoques CTS. Revista Alambique didáctica de las ciencias experimentales. v. 2, n. 3, p. 19-29., 1995.

TSAI, C. A Science Teacher's Reflections and Knowledge Growth about STS Instruction After Actual Implementation. In: International Journal of Science Education. v. 23, n. 1, pp. 23 – 41, 2001.

VARGAS, M. Para uma filosofia da tecnologia. Ed. Alfa Omega. São Paulo, 1994.

WAKS, L. J. Educación en ciencia, tecnología y sociedad: orígenes, desarrollos internacionales y desafíos actuales. In: MEDINA, M.; SANMARTÍN, J. (Eds). Ciencia, Tecnología Y Sociedad: Estudios Interdisciplinarios En La Universidad, En La Educación Y En La Gestión Pública. Barcelona: Anthropos / Leioa (Vizcaya): universidad del País Vasco, p. 42 – 75, 1990.

ZIMAN, J. Conhecimento Público. São Paulo. Ed. da USP (coleção O homem e a Ciência; v.8), 1979.

ZIMAN, J. Enseñansa y Aprendizaje sobre la Ciencia y la Sociedad. Fondo de Cultura Económica, México, 1985.

ANEXOS

ANEXO I – Textos Analisados na Pesquisa.....118

Anexo I.1 – Texto 1: Lixo No Paraíso.....119

Autor: Esteves, Bernardo

Publicação: Superinteressante, 14 (6): 50 – 54

Editora Abril, São Paulo, jun/2000

Anexo I.2 – Texto 2: Uma Radiografia de Angra 2: o resultado da aposta nuclear brasileira.....124

Autor: Arantes, José Tadeu

Publicação: Galileu, 9(108): 74 – 79

Editora Globo, São Paulo, jul/2000

Anexo I.3 – Texto 3: A um Passo da Clonagem Humana.....130

Autor: Diegues, Flávio

Publicação: Galileu 11(123) 41 – 52

Editora Globo, São Paulo, out/2001

ANEXO II – Extratos de Outros Artigos.....142

Anexo II.1 – Exemplos do Elemento “Códigos”, Pertencente ao Atributo L_1143

Figura II.1-A – Fonte: Revista Galileu 12(139), p.69, 2003.

Figura II.1-B – Fonte: Revista Scientific American 1(2), p.47, 2002.

Anexo II.2 – Exemplos de Elementos Característicos do Atributo L_2144

Figura II.2-A – Fonte: Revista Superinteressante 15(6), p.17, 2001.

Figura II.2-B – Fonte: Revista Superinteressante 11(9), p.28, 1997.

Figura II.2-C – Fonte: Revista Galileu 9(108), p.41, 2000.

Figura II.2-D – Fonte: Revista superinteressante 11(2), p.30, 1997.

Anexo II.3 – Exemplos do Elemento “Diagramas Explicativos”, Pertencente ao Atributo L₃.....	145
Figura II.3-A – Fonte: Revista Galileu 9(108), p.54, 2000.	
Figura II.3-B – Fonte: Revista Galileu 9(108), p.59, 2000.	
Figura II.3-C – Fonte: Revista Superinteressante 9(5), p.48 e 49, 1995.	
Figura II.3-D – Fonte: Revista Galileu 10(120), p.27, 2001.	
Anexo II.4 – Fragmentos de Elementos Característicos do Atributo T₅.....	146
Figura II.4-A – Fonte: Revista Galileu 10(120), p.48 e 49, 2001.	
Figura II.4-B – Fonte: Revista superinteressante 11(2), p.30, 31 e 35, 1997.	
Anexo II.5 – Fragmento Característico do Atributo I₄.....	147
Figura II.5-A – Fonte: Revista Galileu 12(148), p.43, 2003.	
Anexo II.6 – Fragmento Característico do Atributo I₆.....	147
Figura II.6-A – Fonte: Revista Galileu 12(139), p.73, 2003.	

ANEXO I

Textos Analisados na Pesquisa

Anexo I.1

ENERGIA

Lixo no paraíso

O Brasil vai dar o segundo passo em seu programa nuclear, 24 anos depois do primeiro. Mas a usina Angra 2, que já está funcionando em fase de testes, será inaugurada ainda sem uma solução para o problema de onde guardar os resíduos radioativos.

POR BERNARDO ESTEVES, DE ANGRA DOS REIS

O galpão tem uma aparência anódina, igual à de um depósito de tintas. De vez em quando, um caminhão encosta e descarrega grandes tambores verdes de aço. Eles contêm macacões de plástico amarelo, máscaras, sapatilhas, pinças e ferramentas utilizadas na manutenção do reator da usina nuclear Angra 1, que funciona desde 1981. Trata-se, portanto, de material radioativo, que precisa ser confinado para não contaminar ninguém. Desde que o reator entrou em operação, as empilhadeiras mecânicas já acumularam no galpão nada menos do que 6 000 tambores. Aos poucos, o espaço está se tornando exíguo. Em 2003, ele estará entupido e lotado para esses rejeitos de baixa radioatividade, uma das três categorias de lixo atômico (veja o quadro abaixo) produzido em Angra. A placa na entrada do edifício não deixa dúvidas: "depósito provisório".

E daí? O que fazer em 2003? En-



Os tonéis de aço contêm lixo de baixa radioatividade, como luvas, pinças, filtros e embalagens contaminadas

O reator de Angra 1 já produziu 6 491 toneladas de dejetos de baixa radioatividade e 681 cilindros de concreto com lixo de média radioatividade. Angra 2 terá um depósito no subsolo capaz de estocar 1 380 toneladas e 254 cilindros de concreto. Isso é suficiente apenas para quatro anos de operação.

quanto se adia a escolha de um local para o armazenamento definitivo do lixo, o segundo reator nuclear brasileiro já começou a funcionar. Ambos ficam lado a lado em um dos mais belos trechos da costa brasileira, pontuado de ilhas cheias de milionárias casas de veraneio que, por enquanto, ainda merecem o título de paraíso tropical. Seu futuro, porém, sofre uma ameaça. Quando estiver funcionando a plena capacidade, Angra 2 deve gerar 1.309 megawatts (25% da energia elétrica consumida no Estado do Rio de Janeiro) — além, é claro, de dezenas de toneladas anuais de novos rejeitos. Onde colocá-los?

Os perigos não podem ser substituídos. Para armazenar o lixo, escolhem-se locais de pouca densidade demográfica, baixo índice pluviométrico e livres de lençóis freáticos. Na França, na Suécia e nos Estados Unidos, ele é enterrado em depósitos subterrâneos e no mar e, na Alemanha, estocado em

minas de sal. São o calcanhar-de-aqui-les da energia nuclear, pois exigem vigilância por milhares de anos.

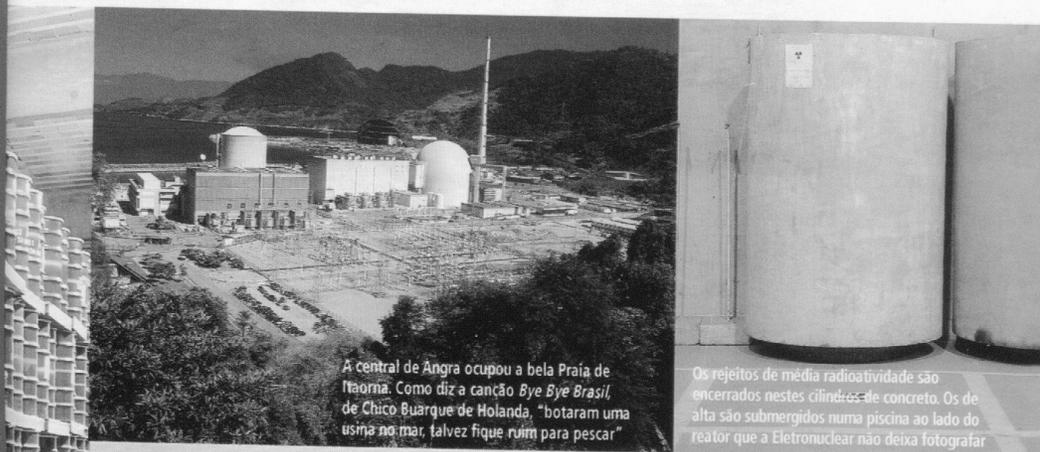
Um dos produtos da reação de fissão do urânio é o altamente radioativo plutônio-239, que tem uma meia-vida de 24 000 anos. Isso significa que esse tempo é o prazo que a substância leva para perder metade de sua radioatividade. “O lixo atômico é o grande abacaxi que estamos deixando para as próximas gerações. Sobrará para elas encontrar uma maneira eficaz de lidar com essa herança”, alerta o geólogo Ruy de Góes, coordenador da campanha antinuclear do Greenpeace.

Batata quente nuclear

Em Angra 2, as sobras do combustível usado — que constituem o temido lixo de alta radioatividade — serão armazenadas por enquanto em uma piscina revestida de aço inoxidável, dentro do edifício do reator. Ali pode-se estocar todas as 1 200 toneladas de com-

bustível irradiado que o reator produzirá durante seus quarenta anos de vida útil. É o tempo que a encrensa pode ser adiada. Já os rejeitos de média e baixa radioatividade ficarão guardados também em caráter provisório em tonéis em galpões no subsolo da usina. Esses locais comportarão o lixo produzido nos quatro primeiros anos de funcionamento do reator. Depois disso... bem, o mínimo que se espera é que o país já tenha encontrado uma solução definitiva para o problema.

A decisão sobre onde guardar permanentemente esse material é uma daquelas proverbiais batatas quentes nas mãos do Congresso Nacional. Cabe aos deputados federais votar um projeto de lei regulamentando a estocagem dos rejeitos. Não por acaso, a medida tramita na casa há nove anos. Nenhum parlamentar quer assumir o ônus de definir onde depositar um entulho que ninguém em sã consciência desejaria ter perto de casa.



A central de Angra ocupou a bela Praia de Itaipira. Como diz a canção *Bye Bye Brasil*, de Chico Buarque de Holanda, “botaram uma usina no mar, talvez fique ruim para pescar”

Os rejeitos de média radioatividade são encerrados nestes cilindros de concreto. Os de alta são submergidos numa piscina ao lado do reator que a Eletronuclear não deixa fotografar

Três tipos de veneno

Alta radioatividade — São os rejeitos mais perigosos, cerca de 5% do volume estocado. Consistem em pastilhas do urânio que foi queimado dentro de varetas metálicas de 3 metros de altura (veja o *infográfico na página 80*). Já existem 404 feixes, com 120 varetas cada um, estocados provisoriamente dentro de uma piscina junto ao reator de Angra 1. Contêm, entre outros elementos radioativos, o infernal plutônio-239, que leva 500 000 anos para se tornar inócuo.

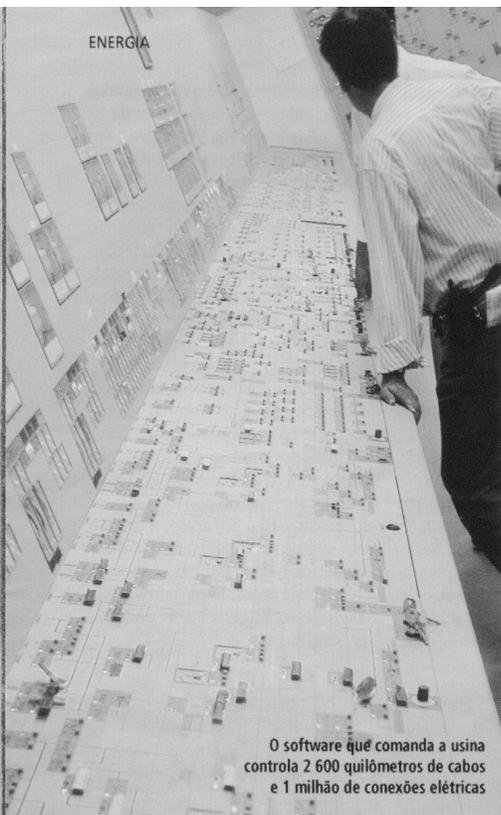
Média radioatividade — São os filtros e as resinas que retêm impurezas radioativas no circuito de circulação de água do reator. O elemento químico mais perigoso

encontrado nesses rejeitos é o céscio-137, que tem meia-vida de trinta anos e leva 600 para se tornar inócuo. Corresponde a 7% do total do volume de lixo. É acondicionado em cilindros de concreto.

Baixa radioatividade — Trata-se de compostos de roupas, sapatos, ferramentas, chapas metálicas, papéis e panos de limpeza que entraram em contato com material radioativo. Esses rejeitos, também contaminados, são estocados em tonéis de aço e respondem pela grande maioria (88%) do total do volume de lixo. Oferecem pouco perigo. Parte do material pode ser reaproveitada após algum tempo.

© Fotos Jesse de Pina

ENERGIA



O software que comanda a usina controla 2 600 quilômetros de cabos e 1 milhão de conexões elétricas

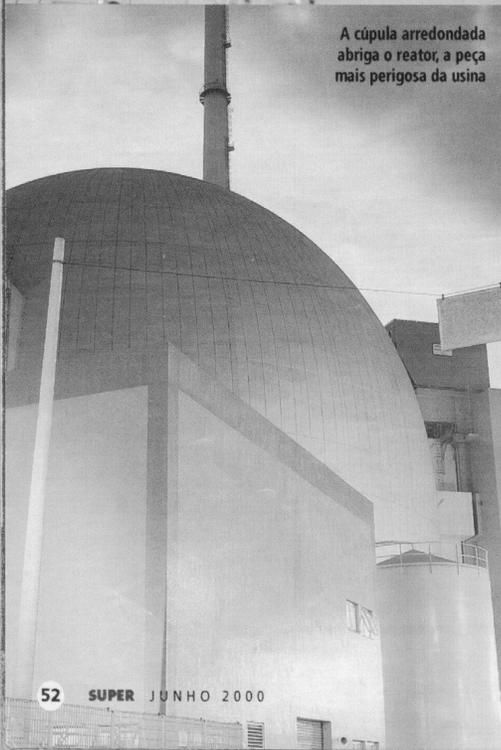
Peças sobressalentes

Inaugurada em 1985, Angra 1 ficou marcada pelo estigma da incompetência. Já permaneceu tanto tempo desligada que ganhou o maldoso apelido de vaga-lume. Mas Angra 2 não deve parar tanto quanto sua irmã mais velha. Embora o reator e as turbinas (o hardware da usina) sejam os mesmos, sua central de instrumentação (o software) foi adquirida em 1997. É bem moderna. Sediada em uma sala repleta de monitores, botões e mostradores, que mais lembram a cabine de comando de uma nave espacial (veja fotos à esquerda e abaixo), a central permite controlar com precisão o funcionamento da usina.

A segurança é reforçada pelo que o jargão técnico chama de "redundância quádrupla" em todo o equipamento. Isso quer dizer que existem quatro unidades de cada peça, duas em uso e duas de reserva. "O reator continua funcionando mesmo que haja algum percalço numa peça. A estepe entra em ação", assegura o engenheiro electricista Humberto Werdine Jr., chefe da usina. Segundo ele, o reator só deve ficar parado trinta dias por ano, o prazo normalmente previsto para que se substitua um terço de seu combustível.



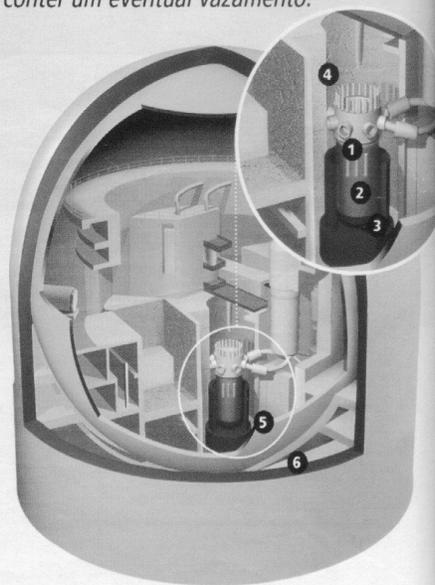
A sala de controle possui uma réplica, alternativa, instalada fora do prédio do reator



A cúpula arredondada abriga o reator, a peça mais perigosa da usina

Daqui não passa

O reator de Angra 2 tem seis barreiras de proteção para conter um eventual vazamento.



Vazamento é risco mínimo, mas assustador

Além do lixo atômico, outro perigo ronda os 433 reatores em operação no mundo: o vazamento radioativo. O risco é mínimo, garantem os defensores da energia nuclear. De fato, a chance de haver um vazamento é quase nula. É mais fácil um avião cair em cima da sua cabeça. Mas o risco existe, e seus efeitos podem alcançar uma escala enorme. Ninguém se esquece dos 31 mortos e das centenas de milhares de pessoas contaminadas pela explosão de Chernobyl, na Ucrânia, em 1986.

Em Angra 2, é improvável que algo parecido aconteça. O prédio do reator é envolto por uma redoma de aço de 56 metros de diâmetro e 3 centímetros de espessura que impede a passagem de material radioativo. Essa estrutura — o vaso de contenção — não existia em Chernobyl. E tem mais cinco camadas que protegem o combustível do reator (veja o infográfico abaixo).

Os técnicos de Angra se orgulham da segurança da usina. Seu reator é do tipo PWR, que usa água pressurizada, o mais empregado no mundo, e nunca registrou um acidente fatal. Não é, digamos, uma BMW, mas trata-se de uma máquina simples e regular, um Volkswagen da indústria nuclear. Chernobyl, que nos ensinou a prever sempre o pior, era um Ford bigode comunista, uma geringonça instável.

No caso de Angra, o pior significa o vazamento de material radioativo para a atmosfera — e não uma explosão nuclear, como alguns fantasiam. Reatores nucleares não explodem. Se a evasão ocorrer, entra em ação um plano de emergência para evitar que os vizinhos da Praia de Itaorna, onde ficam os reatores, sejam contaminados. O alerta prevê uma retirada ordeira e organizada. Na prática, existem sérios riscos de só provocar o pânico e o caos. A usina está a 18 quilômetros em linha reta dos 100 000 habitantes da cidade de Angra dos Reis.

Sirenes que tocam baixo demais, telefones que não funcionam e helicópteros ameaçados de não voar foram alguns dos problemas constata-

dos em uma simulação de acidente realizada no ano passado. Nesse ensaio houve até morte: um policial motociclista acidentou-se na sinuosa e es-corregadia BR-101, um dos pontos críticos do tal plano de emergência. A estrada está em condições precárias e é a única via de escoamento da região.

O plano prevê que estações locais de rádio e TV orientem os moradores. Segundo o deputado Fernando Gabeira (PV-RJ), esse sistema é incapaz de informar a população flutuante de turistas que freqüenta Angra dos Reis. "Se um acidente ocorrer, temos que torcer para que seja no inverno e no meio da semana, quando há bem menos visitantes", ironiza.

Outra fragilidade do plano de emergência é o sistema de transporte para a evacuação da população. Em princípio, ele será feito por empresas de ônibus particulares. "Mas quem disse que os motoristas vão se aventurar em uma região onde houve um acidente nuclear?", questiona o físico Luiz Pinguelli Rosa, da Universidade Federal do Rio de Janeiro. A Eletronuclear, empresa estatal responsável pelas usinas, está pagando para ver.

- 1 As pastilhas de dióxido de urânio, que é o combustível do reator, retêm a maioria dos produtos gerados pela fissão do urânio.
- 2 Elas são embutidas em varetas feitas de uma liga de zircônio e estanho, que resistem ao calor produzido pela reação em cadeia do urânio. Agüentam até 1 400 graus Celsius.
- 3 O vaso de pressão do reator tem paredes de aço de 25 centímetros de espessura.
- 4 Uma blindagem radiobiológica de concreto impede a liberação de substâncias radioativas.
- 5 O vaso de contenção de aço estanque tem 3 centímetros de espessura e 56 metros de diâmetro.
- 6 Um edifício com paredes de concreto armado de 60 centímetros de espessura protege o reator contra choques externos. No interior do edifício, a pressão é menor que a atmosférica.

Alerta vermelho, perspectiva negra

O plano de emergência trabalha com áreas de segurança em torno da Praia de Itaorna, onde fica a usina nuclear.

- 1 No caso de suspeita de vazamento radioativo na atmosfera, a população que mora em um raio de 3 quilômetros ao redor da usina deve ser evacuada e levada para abrigos (escolas, na maioria). Sirenes tocarão dando o alerta e estações de rádio e TV orientarão os moradores para evitar pânico.
- 2 Confirmando-se a suspeita, a evacuação será ampliada para um raio de 5 quilômetros. O plano prevê uma retirada em 4 horas. Ônibus farão o transporte da população até os abrigos a partir de pontos de embarque predeterminados.
- 3 Quem estiver entre 5 e 15 quilômetros da usina deve permanecer em casa ou no local de trabalho e aguardar instruções da Defesa Civil. Além dessa região, a Comissão Nacional de Energia Nuclear estima que não há risco de contaminação nem no pior caso de vazamento possível.

ENERGIA

O Brasil na contramão da História

A inauguração de Angra 2 coloca o Brasil em uma posição contrária à da maioria dos países do mundo. A energia nuclear está se expandindo no planeta, mas o número de reatores que entram em operação a cada ano está caindo (veja os gráficos abaixo). Em 1999, apenas quatro usinas novas foram ligadas no globo. Nos tempos áureos da energia nuclear, nos anos 80, mais de trinta eram abertas anualmente. Hoje, são 433 reatores funcionando em 31 países. Há três anos, eram 442, e o clube nuclear contava com 36 nações. A redução se deve principalmente à pressão da opinião pública, que não aceita mais correr os riscos acarretados pelas usinas.

Dois membros do G7 (grupo dos países mais ricos do mundo) investem pesado em energia nuclear. O Japão, iniciou a construção de duas usinas em 1999. O outro é a França, que tem três quartos de sua energia elétrica produzidos por reatores e conta com 59 cen-

trais atômicas funcionando — sem acidentes. Além da França, inauguraram reatores recentemente a Índia, a Eslováquia e a Coreia do Sul.

Os Estados Unidos, o país recordista mundial em número de usinas, com 104 em operação, pararam de construí-las depois do acidente na central de Three Mile Island, em 1979, quando um vazamento do líquido de resfriamento do reator contaminou oito funcionários. Países como Suécia, Alemanha, Bélgica, Holanda e Canadá decidiram fechar progressivamente suas usinas, ainda em operação. “Prometer fechar reatores daqui a alguns anos é fácil, porque a existência útil deles terá terminado”, refuta Luiz Henrique Gonçalves de Moraes, superintendente de apoio técnico à operação da Eletronuclear. “Quero ver o que esses países vão fazer depois. As opções de energia são limitadas.”

Em projeto, outra usina

A Itália não tem mais centrais nucleares. Após o acidente de Chernobyl, a população escolheu num plebiscito fechar seus quatro reatores. “Mas os italianos compram energia elétrica da França, produzida em usinas nucleares bem na sua fronteira”, lembra Mo-

rais. “Eles acabam correndo os mesmos riscos.”

Enquanto isso, o Brasil fala, já, em construir uma terceira usina. Ela ficaria ao lado de Angra 2, da qual seria uma cópia fiel, com o mesmo tipo de reator. O canteiro de obras já existe desde os anos 70, mas espera uma decisão — e verbas — do governo federal. Muitos equipamentos já foram importados e se gastou 1,4 bilhão de dólares com essa aparelhagem, boa parte em juros. O custo adicional para concluir a usina é de mais 1,5 bilhão. No final, ela acabaria saindo por uns 3 bilhões de dólares. Só que um reator novinho de 1 300 megawatts pode ser comprado por 1,5 bilhão no mercado. Se o projeto vingar, a nova usina pode entrar em operação em 2006. “Deveríamos, sim, era tentar vender os equipamentos de Angra 3”, afirma o físico da Universidade de São Paulo e ex-ministro do Meio Ambiente José Goldemberg. “O Brasil está na contramão da História. Já estava há 25 anos quando iniciou o seu programa nuclear.”

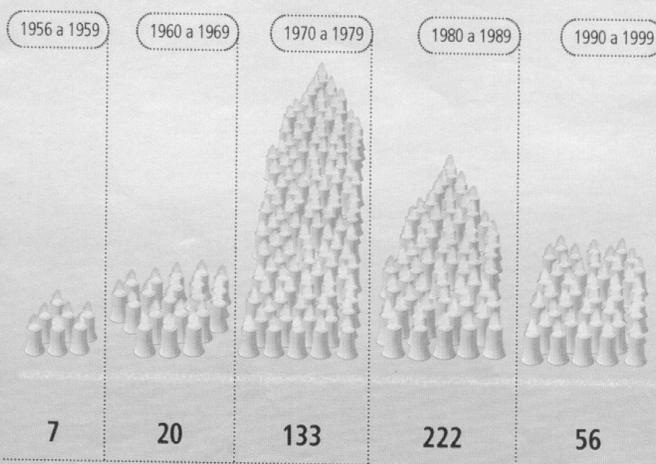
PARA SABER MAIS

<http://www.eletronuclear.gov.br>
<http://www.iaea.org/>

Fonte: Greenpeace

Ascensão e queda

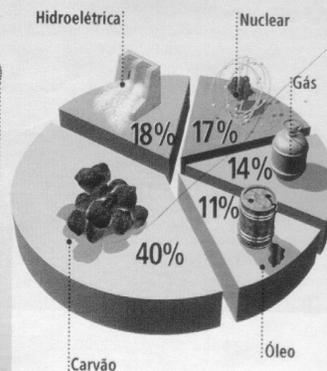
Após o boom dos anos 70 e 80, na última década caiu o número de reatores nucleares inaugurados no mundo.



54 SUPER JUNHO 2000

De onde vem a luz

Usinas atômicas produzem um sexto da energia elétrica gerada no mundo.



Fonte: Eletronuclear

WWW.SUPRINTERESSANTE.COM.BR

Veja na SUPER
ON-LINE o infográfico da
página 52 animado.

ABERTO PARA ASSINANTES DA SUPER OU DO UOL

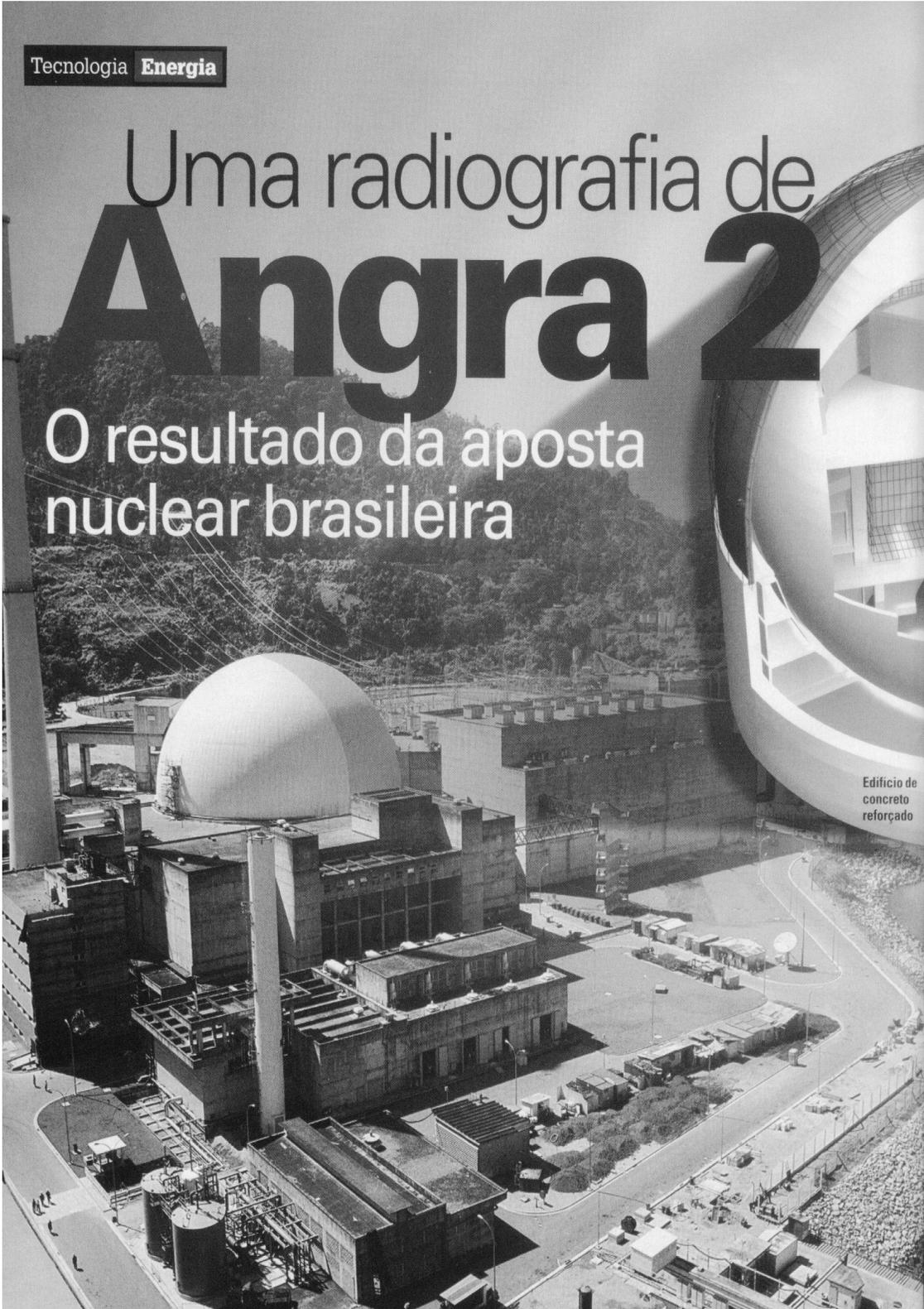
© Infográficos Newton Verlangerini

Anexo I.2

Tecnologia **Energia**

Uma radiografia de **Angra 2**

O resultado da aposta
nuclear brasileira



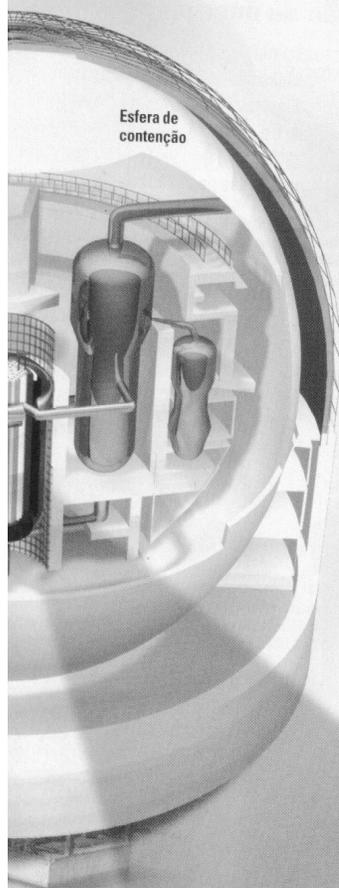
Edifício de
concreto
reforçado

Em meio a polêmicas, a segunda usina atômica do país chega à fase de operação

JOSÉ TADEU ARANTES
jtadeu@edglobo.com.br

Depois de 23 anos de construção, quase US\$ 10 bilhões de gastos, uma comissão parlamentar de inquérito e um interminável confronto entre os a favor e os contra, Angra 2, a segunda usina nuclear brasileira, chega finalmente à fase de operação. E chega provocando polêmica, mais uma vez. Com 1.309 megawatts de potência instalada (e a possibilidade de gerar comercialmente 1.229 MW), a central é uma das tábuas de salvação com que o país conta para enfrentar a demanda de energia elétrica no momento em que o governo diz temer o blecaute. Com Angra 1, ela deve atender a 40% do consumo do Estado do Rio. Mas é uma opção que já nasce envelhecida.

Na Alemanha, de onde veio o projeto, o patamar tecnológico de Angra 2 foi ultrapassado por uma nova geração de usinas. Além disso, a opção nuclear encontra-se lá com os dias contados, frente à decisão do governo de fechar todas as centrais até 2021. Três questões são particularmente críticas em relação a Angra 2. A primeira é o seu custo astronômico. A segunda é o destino dos rejeitos radioativos resultantes do processo (o chamado "lixo atômico") e finalmente o plano de emergência para acidentes.



Esfera de contenção



Vista geral das usinas (esq.), um esquema da área de contenção de Angra 2 (acima) e a montagem do reator (dir.)

Tecnologia **Energia**

A sensação é de Primeiro Mundo, mas o modelo da central já está ultrapassado

Quem visita Angra 2 sofre um baque ao ver a paisagem ser tomada por um conjunto de edifícios que trazem à memória os sinistros acidentes de Chernobyl (Ucrânia) e Three Mile Island (EUA). Superado o impacto, a usina transmite uma sensação de Primeiro Mundo, com seus sistemas de controle e instalações impecavelmente limpas. Porém, não se pode confiar demais nem em uma impressão nem na outra.

Por um lado, Angra 2 é incomparavelmente mais segura do que Chernobyl e também supera Three Mile Island. “Graças à mobilização da opinião pública, a tecnologia de segurança dos reatores passou por inegável desenvolvimento”, reconhece o físico Ennio Candotti, ex-presidente da SBPC (Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência). Por outro lado, o ar de modernidade de Angra 2 assemelha-se ao de uma balzaquiana que tenta passar por adolescente. Pois a usina já não representa mais o melhor em matéria de tecnologia. Seu modelo — o da usina de Grafenrheinfeld, ex-recordista em produção de energia na Alemanha — pode ser considerado antiquado no país de origem.

De onde vem o urânio

O Brasil possui a sexta reserva mundial de urânio, a maior parte nas jazidas de Caetité e Lagoa Real (BA). Mas não domina o processo de enriquecimento,

que aumenta a porcentagem do isótopo 235. Este é feito, na Alemanha e Holanda, pelo consórcio europeu Urenco. O material volta ao país como hexafluoreto de

urânio (UF_6). Com ele, as Indústrias Nucleares do Brasil fabricam, em Resende (RJ), as pastilhas de dióxido de urânio (UO_2), que abastecem o reator de Angra 2.

Como a usina funciona

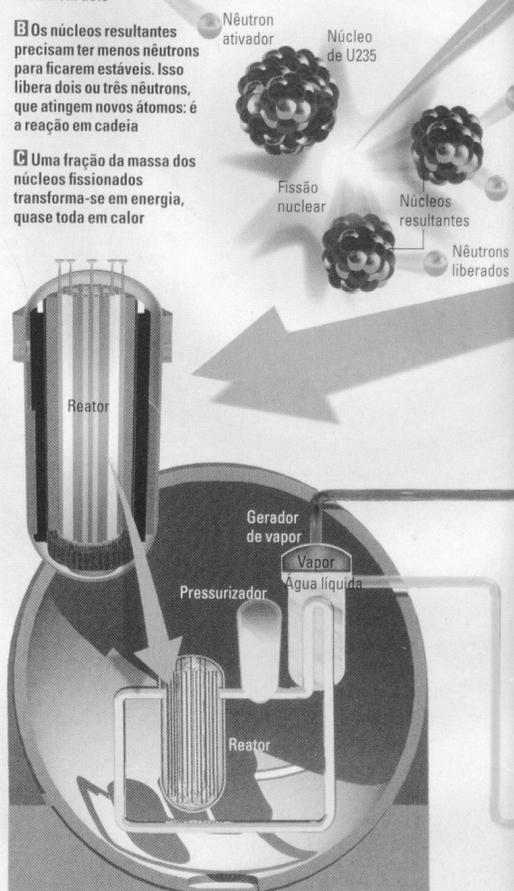
1. A liberação da energia do átomo

Um nêutron (emitido pelo elemento califórnio 252) é arremessado contra um núcleo atômico grande e instável. O impacto faz com que o núcleo se divida em dois

A energia é liberada em proporção altíssima, regida pela equação de Einstein $E = m.c^2$, onde E é a energia, m é a massa e c é a velocidade da luz (300.000 km/s). Isso faz a temperatura média das pastilhas chegar a 1.300 °C

Os núcleos resultantes precisam ter menos nêutrons para ficarem estáveis. Isso libera dois ou três nêutrons, que atingem novos átomos: é a reação em cadeia

Uma fração da massa dos núcleos fissionados transforma-se em energia, quase toda em calor



4. A água que transporta calor

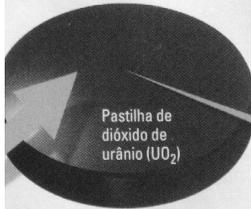
Um fluxo contínuo de água circula entre as varetas de combustível. A água alcança 320 °C, mas não evapora, pois é mantida líquida por uma pressão de 157 atmosferas. Esse fluxo é o circuito primário, que leva o calor para fora do reator

Ao captar calor, a água refrigera o núcleo, impedindo a explosão térmica do reator, o pior acidente possível

A água absorve parte dos nêutrons (que atravessam as varetas), mantendo a fissão sob controle

Ilustração: usina, Davidson França

2. O combustível nuclear



Pastilha de dióxido de urânio (UO₂)

☒ O U 235 é o mais instável e, portanto, mais propenso à fissão. O processo de enriquecimento aumenta sua porcentagem no combustível nuclear

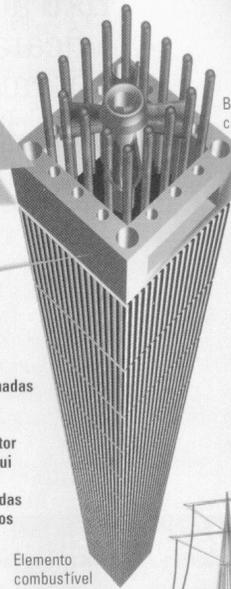
O combustível utilizado em Angra 2 possui, na média, 2,46% de U 235. Ele não é constituído de urânio puro, mas de um composto sintético desse elemento, o dióxido de urânio (UO₂)

☒ O urânio natural tem três formas ou isótopos (átomos do mesmo elemento químico, mas com diferentes números de nêutrons):

- U 238 (92 prótons + 146 nêutrons): 99,28% do total
- U 235 (92 prótons + 143 nêutrons): 0,71%
- U 234 (92 prótons + 142 nêutrons): 0,006%

3. O palco da reação em cadeia

☒ O UO₂ é compactado em pastilhas de 10 mm de diâmetro, acomodadas no interior de varetas hermeticamente fechadas. Feitas de zircaloy, uma liga de zircônio, essas varetas suportam temperaturas até 1.800 °C



Barras de controle

Barras de grafite, absorvedoras de nêutrons, deslizam para o núcleo do reator em situações de emergência, atenuando ou interrompendo o processo de fissão

☒ Conjuntos de 236 varetas são dispostos em estruturas chamadas "elementos combustíveis". O núcleo do reator de Angra 2 possui mais de 45 mil varetas, agrupadas em 193 elementos combustíveis

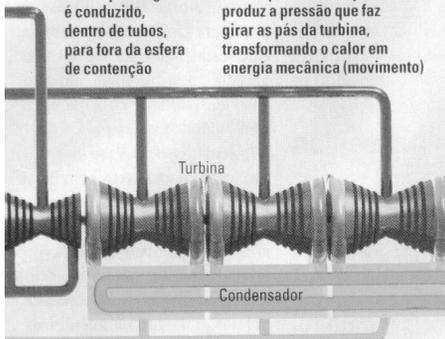
Elemento combustível

5. O vapor que gera movimento

☒ Por meio de serpentinhas hermeticamente fechadas, a água do circuito primário passa nos geradores de vapor, que aquecem a água do circuito secundário. Livre de poluentes, esta é vaporizada a 280,3 °C

☒ O vapor d'água é conduzido, dentro de tubos, para fora da esfera de contenção

☒ A expansão do vapor produz a pressão que faz girar as pás da turbina, transformando o calor em energia mecânica (movimento)



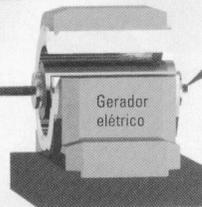
Turbina

Condensador

6. A produção de eletricidade

☒ A rotação do eixo da turbina aciona o gerador elétrico

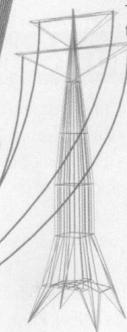
☒ O gerador converte a energia mecânica em energia elétrica



Gerador elétrico

O gerador de Angra 2 gira a 1.800 rotações por minuto (rpm), gerando uma tensão de 25 mil volts (V) e uma potência bruta de 1.309 megawatts (MW)

Torre de transmissão



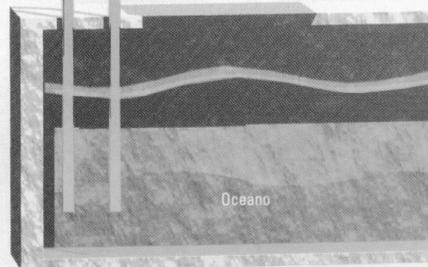
☒ Para que a energia elétrica seja transmitida com mais eficiência, transformadores elevam a tensão de saída, de 25 mil para 500 mil volts, reduzindo as perdas ao longo do percurso

7. A conclusão do ciclo

☒ Ao acionar a turbina, o vapor d'água do circuito secundário se expande e, portanto, esfria

☒ No condensador, o vapor fornece calor para a água de refrigeração bombeada do Oceano Atlântico e volta ao estado líquido. Essa água, do circuito secundário, é reconduzida aos geradores de vapor (item 5.A), fechando o ciclo

☒ A água de refrigeração volta ao oceano. Ela não carrega material radioativo, mas pode causar impacto ambiental pelo aumento da temperatura marinha na região de descarga



Oceano

Fluxos de água

- Circuito primário
- Circuito secundário
- Água de refrigeração

Tecnologia **Energia**

Parte do lixo atômico ficará ativa por milhares de anos

Por que a usina custou tão caro

Os US\$ 10 bilhões gastos em Angra 2 se devem, principalmente, ao tempo da construção. Em função dos juros, o investimento previsto aumentou 2,5 vezes. Na França, com juros de 6% ao ano, leva-se de 5 a 6 anos para fazer uma usina

nuclear. O Brasil, com 12%, levou 23 anos. "Uma usina a gás, com a mesma potência de Angra 2, poderia ser construída por US\$ 650 milhões e uma hidrelétrica, por 2 a 3 bilhões", diz o engenheiro nuclear Ildo Sauer, da USP.

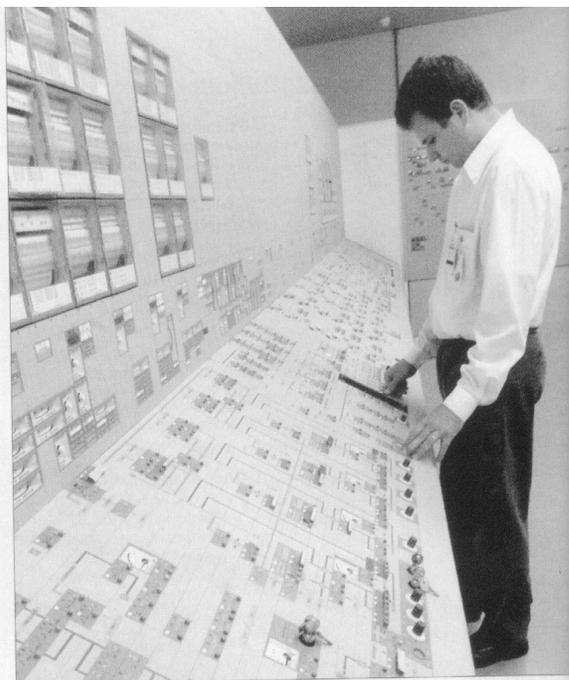
O plano de emergência

O plano de emergência de Angra 2 é motivo de polêmica. Ele previa, em caso de acidente, a evacuação da população num raio de 15 km. Mas o raio de exclusão foi reduzido para 5 km, por decisão da CNEN. Para executar o plano, Angra dos Reis dispõe da segunda defesa

civil do Estado do Rio. "Há 300 bombeiros em Angra; 64 no Frade, a 5 km da usina; e mais 64 em Mambucaba, a 10 km", informa Luís Henrique Gonçalves de Moraes. Mas críticos, como o físico Luiz Pinguelli Rosa, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, questionam a redução do raio de exclusão e a ausência das forças armadas nas brigadas de emergência.

A área alterada*

O raio de exclusão foi reduzido de 15 km para 5 km



A sala de controle, onde quatro operadores comandam toda a usina

"Angra possui um projeto mais velho do que o das modernas usinas alemãs", admite Roland Schoellhorn, engenheiro e físico nuclear da Siemens (a empresa que produziu o reator de Angra 2) e um dos instrutores alemães que estão treinando os operadores brasileiros.

As seis barreiras

O envelhecimento do projeto não compromete, porém, a atualidade do sistema de produção de energia adotado na usina. Esse sistema, o PWR (pressurized water reactor ou reator a água pressurizada), ainda é a opção tecnológica mais inteligente e segura disponível na área nuclear (veja o quadro da página anterior). O PWR opera com seis barreiras de defesa, que tornam remota a possibilidade

de escape de material radioativo para o meio ambiente. Isso porque seu combustível é comprimido em pastilhas que só fundem a mais de 2.800 °C; as pastilhas são postas em varetas que resistem a 1.800 °C e essas varetas distribuem-se em um vaso de pressão, com paredes de 25 cm de espessura.

Além disso, o vaso fica em um fosso de concreto com tampo de aço. Uma esfera de aço, de 3 cm de espessura, envolve a área e idealmente é capaz de reter o material que escape do reator. Se fracassarem todas as defesas, há ainda uma última barreira: o edifício de concreto, com 70 cm de espessura.

A usina inteira é monitorada a partir de uma sala computadorizada, onde equipes de quatro operadores, licenciados pela CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear), revezam-se em turnos de 8 horas, cobrindo as 24 horas do dia e os 7 dias da semana. "O reator possui quatro sistemas de proteção independentes. Bastam dois

para fazer frente a qualquer emergência”, afirma o engenheiro Anselmo Luís Barbosa Carvalho, supervisor de uma das equipes. Se tudo falhar, é possível acionar um comando manual que desarma o reator e desliga a usina. Mesmo assim, embora improvável, o risco de acidente nuclear não pode ser descartado. Nesse caso, as coisas se complicariam, porque a responsabilidade da Eletronuclear — a estatal que dirige Angra — se limita à proteção dos trabalhadores e seus familiares.

O “fator Brasil”

As populações afetadas da usina para fora ficariam sob a tutela da Secretaria de Defesa Civil do Estado e submetidas a um plano de emergência que esbarra no que pode ser chamado de “fator Brasil”: um descaso administrativo que mostra sua cara já nas péssimas condições da Rodovia BR-101. “Há vários anos se discute a reforma dessa estrada e nada acontece”, acusa o físico Luís Henrique Gonçalves de Moraes, superintendente das usinas. “O desconforto que isso causa à população motiva nossa briga com o DNER (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem).”

Se a viabilidade do plano de emergência preocupa, mais séria ainda é a questão dos rejeitos radioativos. Não se trata de um improvável acidente, mas da consequência inevitável da operação de uma central nuclear. Esses rejeitos não dispõem de áreas de estocagem definitivas e, conforme seu grau de atividade, são guardados em galpões provisórios, ou em piscinas localizadas nas áreas de contenção das usinas.

A operação de Angra 1 já produziu 6 mil tambores de re-

jeitos de baixa e média atividade. E, até o final do funcionamento das usinas (2025, no caso de Angra 1, e 2040, no de Angra 2), haverá de 4 mil a 6 mil conjuntos de varetas de combustível, de alta atividade, estocadas nas piscinas. Um dos materiais gerados no processo, o plutônio

239, permanece ativo por 24.384 anos — quatro vezes a idade das mais antigas civilizações. Como diz o engenheiro nuclear Ildo Sauer, do Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP, “esse lixo é uma herança maldita que a geração atual está deixando para a posteridade”. ☐

Anote

Internet

- <http://www.eletronuclear.gov.br>
- <http://www.cnen.gov.br>
- <http://www.worldwatch.org> (em search, digite nuclear)
- <http://www.epa.gov> (em search, digite nuclear)



A piscina
onde são guardados os rejeitos de Angra 1: beleza sinistra

Origem e destino dos rejeitos

Atividade	Materiais	Origem	Destino
Alta	Elementos transurânicos (urânio 237, plutônios 239, 240, 241 e 242, amerício, netúnio) e produtos de fissão (samário, xenônio, estrôncio, iodo, célio)	Criados quando o urânio 235 absorve nêutrons sem entrar em fissão (elementos transurânicos) ou pela fissão nuclear	Aglomerados, vitrificados e postos em recipientes fechados, no fundo de uma piscina, dentro da esfera de contenção. A água impede que o calor da radioatividade aqueça demais o material
Média	Resinas e filtros	Utilizados na limpeza das águas do circuito primário e da piscina	Guardados em tambores, estocados em galpões provisórios, na Praia de Itaorna
Baixa	Luvas, sapatilhas, roupas e ferramentas	Utilizadas no trabalho na área do reator	Estocados junto com os rejeitos de média atividade

Anexo I.3

O que é

Quem é contra

Células-tronco

Fertilização

O que falta fazer

DOSSIÊ

A um passo da clonagem humana

Explosivo e complexo, o tema divide opiniões de cientistas e de leigos, confunde a sociedade e assusta os governantes

Há quatro anos, pesquisadores escoceses fizeram pela primeira vez na História o anúncio da clonagem de um mamífero a partir de células não-reprodutivas. Antes disso, cientistas haviam conseguido obter apenas réplicas de embriões. O clone anunciado — a ovelha Dolly — tornou-se símbolo de uma nova perspectiva: a de gerar cópias geneticamente idênticas de seres humanos. Mas a proeza atçou pessoas dispostas a romper barreiras: empresários e pesquisadores que querem clonar humanos. Governantes, religiosos e também cientistas ergueram objeções morais, éticas e técnicas a esse propósito, com alguns diferenciando e defendendo o seu uso terapêutico. O debate está cada dia mais quente, e a perspectiva da clonagem humana cada vez mais próxima.

Ilustração: montagem de Ronaldo L. Teixeira sobre foto Getty Images

FLÁVIO DIEGUEZ

p. 41

O que é

Uma proeza esperada

Réplica a partir de célula adulta de mamífero só exige

A pesar do alvoroço que sua divulgação provocou, a clonagem foi uma das novidades mais esperadas da história da ciência. Desde a década de 50 havia indícios muito fortes de que seria possível produzir cópias genéticas dos organismos. É difícil explicar por que foi preciso esperar tanto tempo, até meados dos anos 90, para que a realidade dos clones fosse comprovada. E, mesmo assim, a proeza acabou sendo realizada por um veterinário inglês, cuja preocupação central não eram os grandes mistérios da biologia, mas um simples problema prático. Ian Wilmut, do Instituto Roslin, em Edimburgo, Escócia, queria criar ovelhas transgênicas, nas quais se introduziria um gene capaz de fabricar drogas contra a hemofilia.

O que teria desestimulado os cientistas a enfrentar há mais tempo a tarefa de demonstrar a possibilidade da clonagem? O motivo, provavelmente, foi o temor de trazer à tona um tema tão polêmico, que ainda hoje provoca debate. O próprio Wilmut foi muito cauteloso ao anunciar, em 1997, que havia criado o primeiro clone de um animal adulto — a ovelha Dolly. Ele evitou mencionar as palavras clone ou clonagem no título do texto em que relatou a sua experiência histórica, publicado pela revista inglesa *Nature*, e no resto do artigo não há explicação so-

bre as conseqüências imensas de seu trabalho.

Para entender o que estava em jogo, é importante lembrar que a clonagem é um método de reprodução normal para muitos seres, mas não para o resto dos organismos. Por que essa diferença? As bactérias, por exemplo, que têm uma célula só, se reproduzem por meio da clonagem. Toda bactéria nasce como um clone, ou seja, as filhas são cópias genéticas perfeitas das mães, que simplesmente duplicam o seu “corpo” e depois se dividem em duas. Algo parecido ocorre com algumas plantas, nas quais uma única célula da raiz pode se desenvolver até virar uma réplica da árvore-mãe.

Genes desligados

No resto dos organismos, porém, nenhuma célula do corpo é capaz de gerar um novo ser. Assim, a reprodução tem que ser feita por meio da fecundação, o que exige células muito especiais. São o óvulo e o espermatozóide. Inexistentes nos microorganismos ou nas plantas muito primitivas, essa dupla se distingue por ter apenas um conjunto de genes, enquanto todas as outras células carregam dois conjuntos iguais. Durante a fecundação, o óvulo e o espermatozóide se unem e somam os seus genes, de modo que a célula resultante passa a ter dois conjuntos de DNA. Daí para a frente, ela se multiplica, dividindo-se sucessivamente, e se transforma num embrião.

Portanto, a grande pergunta que os cientistas queriam responder era: por que as células comuns, na maior parte das espécies, não podem gerar um novo ser? Afinal, cada conjunto de genes,

“A clonagem do primeiro ser humano não vai demorar”

John Haldane, biólogo inglês, em 1963

A receita de Dolly

Doadora de óvulo (raça Scottish Blackface)

Ovelha a ser clonada (raça Finn Dorset)

A- Da ovelha a ser copiada, os cientistas retiram uma célula comum, cujo núcleo é, em seguida, extraído

Núcleo enxertado

B- O núcleo da célula é enxertado em um óvulo de outra ovelha (do qual foi também extraído o núcleo)

C- Para unir o óvulo ao núcleo inserido, é usada uma descarga elétrica. Com essa fusão, começa a se formar um embrião

Óvulo

Núcleo rejeitado





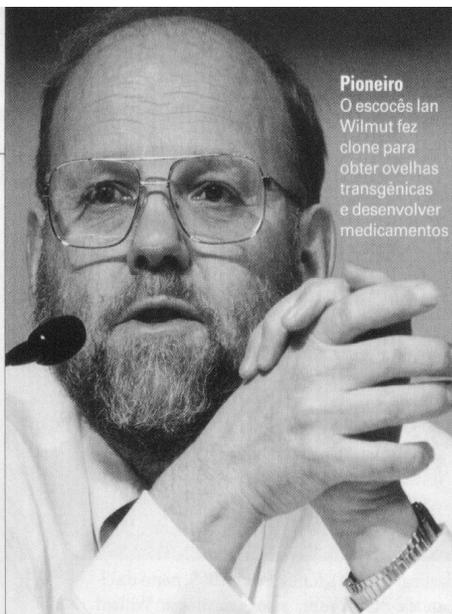
ontade e coragem

em seu interior, contém todas as informações bioquímicas necessárias para produzir um organismo completo. O que as impede de disparar a formação de um novo ser? O que se imagina é que, dentro delas, só alguns genes estão realmente funcionando. O resto é desligado durante a gestação. Imagine: à medida que o embrião cresce, suas células se transformam para formar os diversos órgãos do corpo e, enquanto isso acontece, os genes vão sendo desligados. Ficariam em ação apenas aqueles que cada célula utiliza para realizar sua função no órgão em que estão. As células do pulmão, por exemplo, desativariam os genes dos ossos ou do sangue; as do fígado desconectariam os genes dos rins ou dos olhos e assim por diante.

Passos otimistas

Resultado: a clonagem de uma célula comum só seria possível se, de alguma maneira, se descobrisse um meio de reativar todos os seus genes, revertendo as mudanças genéticas impostas à célula no desenvolvimento do organismo. Era o que pensavam muitos teóricos no final do século 19 — e daí para a frente, inúmeras experiências só fizeram reforçar essa convicção (veja cronologia).

Essa confiança aparece nas declarações de alguns dos maiores biólogos do século 20, como o inglês John Haldane, que, em 1963, deu uma palestra memorável sobre o futuro da ciência. Um dos primeiros a usar a palavra clone (que significa



Pioneiro

O escocês Ian Wilmut fez clone para obter ovelhas transgênicas e desenvolver medicamentos

“broto”, em grego), Haldane argumentou que a clonagem era possível e, segundo pensava, benéfica para a humanidade. Afirmção parecida se ouviria, três anos mais tarde, do geneticista americano Joshua Lederberg, um dos criadores da engenharia genética, segundo o qual “a primeira clonagem de seres humanos não vai demorar muito”. Em 1971, o Congresso dos EUA ouviu a mesma opinião do bioquímico James Watson, descobridor da estrutura da molécula de DNA: “A situação está madura para que haja tentativas legais ou ilegais de clonar humanos”.

Apesar disso, muito poucos se interessaram seriamente em investigar se a clonagem seria mesmo possível. A maioria dos cientistas considerou que as evidências disponíveis eram insuficientes para decidir, e pelo menos um pesquisador importante, Davor Solter, declarou com todas as letras que “a clonagem de um mamífero é biologicamente impossível”. Em vista disso, é bem provável que, se não fosse a mentalidade prática de Wilmut, ainda teríamos que esperar muitas décadas para fazer uma das descobertas mais importantes da história do conhecimento.



D- O embrião é implantado no útero de uma ovelha de aluguel

E- Nasce uma ovelha geneticamente igual àquela da qual foi extraído o núcleo de célula comum, apesar de o óvulo e a mãe de aluguel serem de outra raça

Clone
(Finn Dorset)

A evolução das técnicas

1902

O americano Hans Spemann divide em dois um embrião de salamandra. Foi uma semiclonação porque o embrião era muito pequeno. Spemann recebeu o Prêmio Nobel em 1935 por seu trabalho com embriões

1950

Realiza-se nos Estados Unidos a primeira experiência bem-sucedida de fertilização artificial em vacas

1952

Thomas J. King e Robert Briggs, do Instituto Carnegie, nos EUA, fazem a primeira clonagem de embrião para valer. Eles copiam rãs a partir das células de embrião bem maior que o de Spemann. Isso desencadeou uma série de experimentos com clonagem

1962

Nasce nos Estados Unidos o primeiro bezerro de proveta

1967

O biólogo inglês John B. Gurden cria o primeiro clone de um vertebrado adulto, mais especificamente de uma rã. O filhote de rã se desenvolveu a partir de uma célula comum, extraída do intestino de sua “mãe”. Mas há dúvida se a célula era mesmo “adulta”: apesar de estar em um organismo totalmente formado, ela poderia ser imatura, ou seja, semelhante às de um embrião

Quem é contra

O medo e a fascinação

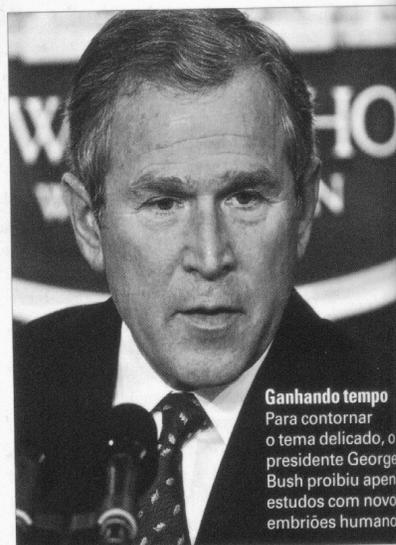
Nova técnica é rejeitada por fundamentalistas e até

O impacto da clonagem sobre a imaginação humana é tão grande que, mais de 20 anos antes de ser demonstrada, se transformou no motivo central para a criação de uma nova área da ciência, a bioética. Ela nasceu junto com o Instituto de Sociedade, Ética e Ciências da Vida (hoje Hastings Center), fundado em 1969, perto da cidade de Nova York, pelos psicólogos Willard Gaylin e Daniel Callahan. Seu objetivo mais amplo era analisar as questões filosóficas, religiosas e morais levantadas pela ciência e pela medicina. Como essa tarefa não parecia tão importante quanto hoje, "Gaylin estava sempre tendo de pedir doações", lembra o filósofo Arthur Caplan, diretor do Centro de Bioética da Universidade da Pensilvânia. A saída, segundo Gaylin, foi discutir um tema científico que realmente abalasse as convicções das pessoas: a clonagem. "Ela desperta os nossos medos mais profundos", disse à época. "Foi o que atraiu a atenção do público para o instituto", confirma Callahan.

De onde vem a fascinação e o terror de reproduzir geneticamente um indivíduo adulto? Depende de quem responde à pergunta. Os cidadãos de espírito aberto, mas não inocentes, alegam que todos podem cometer erros quando recebem da ciência um conhecimento novo e potencialmente perigoso. Só uma legislação rigorosa, portanto, poderá impedir que a clonagem seja utilizada sem o devido cuidado.

Os vaidosos, por exemplo, podem querer filhos idênticos a si e acabar gerando crianças infelizes, já que elas podem enfrentar preconceito por serem clones. Ilusão parecida prejudicaria os pais que não produzem óvulos ou espermatozoides e que, mesmo assim, gostariam de ter um bebê com seus próprios genes — em vez de usar células sexuais de terceiros, como hoje. Eles talvez recorram à clonagem antes que ela esteja segura, colocando em risco a vida da própria mãe ou do filho.

Os governos procuram agir com bom senso. Mas sua preocupação é mais ampla, porque pre-



Ganhando tempo
Para contornar o tema delicado, o presidente George Bush proibiu apenas estudos com novos embriões humanos

cisam levar em conta diversos interesses: os das pessoas, das universidades, das clínicas de fertilização assistida, das igrejas e da sociedade civil, entre outras instituições. Desse modo, as atitudes dos governos refletem a necessidade de criar leis ponderadas, que ponham limites nas pesquisas e no uso da clonagem, mas sem gerar descontentamento político indesejável. Como o assunto é espinhoso, a solução tem sido ganhar tempo. Como fez, neste ano, o presidente dos Estados Unidos, George Bush: ele proibiu as pesquisas, mas não por completo.

Interesses em conflito

A oposição mais radical vem dos grupos conservadores, que incluem algumas igrejas, mas também cientistas e leigos, como as associações antiaborto. Um argumento fundamental para essas correntes é que a reprodução só é aceitável moralmente se for feita pela união natural de um

“A clonagem desperta nossos medos mais profundos”

Willard Gaylin, psicólogo e bioeticista americano, em 1969



or cientistas

Em campanha

Ativistas antiaborto pregam a proibição da clonagem com o uso de embriões humanos nos EUA

óvulo e um espermatozóide. Muitos consideram que, como o filho é uma mistura de genes dos pais, não seria ético reproduzir apenas um deles por meios artificiais. Esse tipo de sentimento não é privilégio apenas dos conservadores: uma boa parcela da população se sente nervosa diante de algo que ainda não entende muito bem.

Será que a clonagem levará à produção de gente em massa, à comercialização de bebês ou

a uma “raça de elite”, à la Hitler? Esse dilema já estava no ar no início dos anos 70, quando o *Journal of the American Medical Association* o colocou em um editorial: “Certamente um dia seremos capazes de reproduzir um indivíduo em todos os seus detalhes, mas será que isso constitui uma meta desejável?” Dois anos mais tarde, o biólogo Gunther Stendt expressou bem a profundidade dessa angústia ao comentar a promessa de a clonagem propiciar o nascimento de crianças mais saudáveis, inteligentes e bonitas — modeladas em personagens como o filósofo alemão Immanuel Kant ou a atriz americana Marilyn Monroe. “A idéia de conviver com milhares de cópias da mesma pessoa é um pesadelo”, pondera Stendt. E conclui: “Não é fácil imaginar uma única alma habitando milhares de corpos idênticos”.

A diferença é que a parte mais moderada da população oscila entre o temor e o bom senso. Mesmo assustada, admite que a clonagem, depois de melhor compreendida e regulamentada, poderá trazer benefícios para a humanidade. Para os conservadores, porém, não há meios-termos. Tomando como princípio que a clonagem é um desrespeito à vida, não esperam que algo de bom possa sair dela. Como declarou este ano, taxativamente, o deputado que mais se opõe à clonagem no congresso norte-americano, Dave Weldon: “Não queremos a manufatura de embriões científicos”. Seu colega James Sensenbrenner concorda: “Se aceitarmos a clonagem, estaremos abrindo caminho para fazendas de embriões, onde eles serão estocados como mercadoria e comercializados em massa”.

Os opositores



Governos – Alegam que a clonagem não deve ser liberada até se encerrar o debate sobre sua segurança e aceitação do ponto de vista ético e moral. Poucos países, porém, proibiram explicitamente o seu uso para fins de reprodução.



Igrejas – Algumas só aceitam filhos naturais; outras admitem as técnicas de fecundação artificial mas não a clonagem, por achar que ela transformaria bebês em bens de consumo.



Cientistas – Argumentam que, como se sabe muito pouco sobre a clonagem, a sua aplicação pode trazer risco para as mães e levar ao nascimento de bebês defeituosos. Uma minoria é a favor da clonagem.

1969

Óvulos humanos começaram a ser fecundados em laboratório, na Inglaterra, mas ainda sem levar a uma gravidez

A bioética surge com a criação do Centro Hastings, perto de Nova York, tendo os clones como sua primeira preocupação

1970

O economista americano Alvin Toffler publica o livro *Choque do Futuro*, no qual descreve a possibilidade de alguém usar a clonagem para produzir um exército de hitlers, todos idênticos uns aos outros. Essa idéia é usada pelo romancista americano Ira Levin no livro *Os Meninos do Brasil*, transformado em filme em 1978

1972

A revista *Journal of the American Medical Association* lança em editorial advertência contra a clonagem: “Será que é isso mesmo que queremos?”

1973

Primeira demonstração de que é possível alterar os mecanismos químicos dos genes, fazendo-os trabalhar de um jeito ou de outro, conforme interessar mais. É o que se chama de engenharia genética. A primeira experiência bem-sucedida, nesse campo, é feita pelos bioquímicos americanos Stanley Cohen e Herbert Boyer

p. 46

Células-tronco

As 1001 aplicações e o

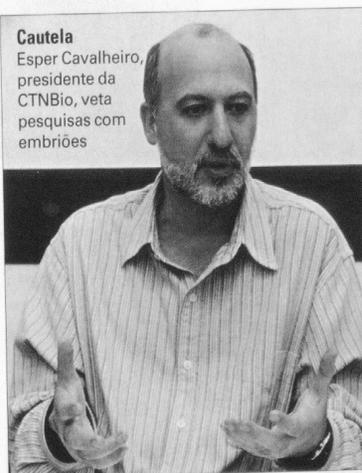
Mesmo com evidente utilidade terapêutica, pesquisas

As espantosas células-tronco, que podem se transformar em qualquer parte do corpo, abrem caminho para fabricar órgãos para transplantes e cura de muitas doenças. Se os seus neurônios não estão funcionando, por exemplo, as células-tronco talvez possam se instalar em seu cérebro, metamorfosear-se em neurônios novos e corrigir o problema. Nas vítimas de infarto, elas poderão chegar até a área afetada e remendar estragos no coração. Fazer os paráliticos andar já não será promessa exclusiva dos santos: as células-tronco também terão a habilidade de substituir os parafusos imperfeitos ou danificados da medula espinal e devolver os movimentos aos pacientes.

Como a lista de males possivelmente curáveis cresce a cada dia, é difícil dizer onde vão parar os benefícios médicos dessas incríveis peças de reposição naturais. Resultado: com essa descoberta, a ciência gerou uma pressão política enorme por uma decisão rápida sobre a clonagem. O motivo é que, para obter, estudar e utilizar as células-tronco, é preciso tirá-las de embriões muito jovens; de preferência logo após quatro dias de idade, quando o futuro bebê ainda é apenas uma esfera invisível a olho nu, formada por algo entre 50 e 300 células. E a melhor maneira de fazer isso, segundo especialistas, é produzir os embriões em laboratório, com a clonagem.

Embora os embriões acabem sendo destruídos durante a extração das células-tronco, até religiosos e oponentes do aborto, adversários dos clones, concordam que elas devem continuar

Cautela
Esper Cavalheiro,
presidente da
CTNBio, veta
pesquisas com
embriões



sendo estudadas. Pesquisas feitas este ano nos EUA mostram que 72% dos católicos e 57% dos contrários à interrupção da gravidez defendem esse ponto de vista. Seu argumento geral é que há uma diferença muito grande entre a clonagem reprodutiva, realizada com o objetivo de gerar uma criança, e a clonagem terapêutica, empregada na produção de células-tronco. Elas também distinguem os minúsculos embriões sacrificados em prol da medicina dos que são abortados e não chegam a nascer. "Simplesmente, não é a mesma coisa", diz Orrin Hatch, um militante anti-aborto americano.

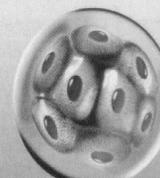
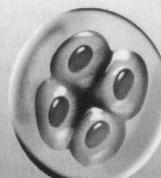
“Células-tronco vão revolucionar a medicina e a biologia”

John Gearhart,
embriologista americano

Fábricas de órgãos



A- O embrião no início é só uma célula — o ovo, união do óvulo com o espermatozóide — que lentamente se multiplica



B- Por volta dos 4 dias, o embrião tem cerca de 40 células formando duas esferas ocas, uma dentro da outra. A de fora vai gerar a placenta e a interna, o bebê

p.47

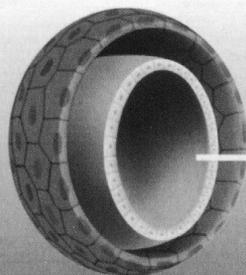
mpasse

fre restrições

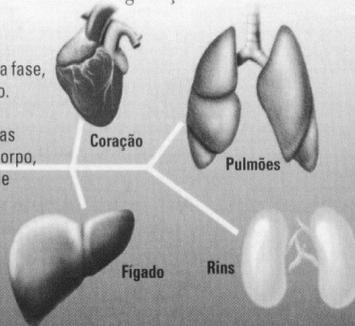
Isso não significa que a polêmica acabou. As pesquisas com células-tronco estão suspensas em boa parte dos laboratórios do mundo e, mesmo nos países em que elas são permitidas, como na Inglaterra ou em Israel, a situação é de expectativa. Onde não há ainda legislação específica, como no Brasil, EUA, Alemanha ou França, a recomendação é aguardar. "O uso de embriões será cedo ou tarde uma necessidade", diz Marcos Segre, presidente da Sociedade Brasileira de Bioética. "Mas não há pressa", salienta Esper Cavalheiro, presidente da Comissão Técnica Nacional de Biossegurança, a CTNBio, que veta pesquisas com embriões.

Pressão dos cientistas

Cavalheiro conta com a possibilidade futura de células-tronco maduras, encontradas no organismo de adultos. Isso eliminaria a necessidade de destruir embriões, mas não é tão simples quanto parece. O presidente Bush, dos EUA, também pensou que aliviaria a pressão ao anunciar, em agosto, que barraria o uso de novos embriões, liberando apenas pesquisas com células obtidas no passado e preservadas em laboratório. Mas os especialistas explicaram que isso não basta para estudar adequadamente o complicado processo da transformação das células-tronco em órgãos.



C- A bola interna, nessa fase, é feita de células-tronco. Extraídas do embrião, podem ser transformadas em qualquer órgão do corpo, com a mesma identidade genética do embrião



Tratamentos que podem surgir

Doenças causadas por problemas celulares podem ser curadas por injeções de células-tronco, que passam a fazer a função de suas colegas defeituosas. Veja alguns casos



Há nos laboratórios apenas 60 tipos de células disponíveis, o que é pouco, segundo os cientistas. Logo após seu anúncio, Bush recebeu uma carta, assinada por mais de 80 ganhadores do Nobel, alertando que a pesquisa médica nos EUA seria prejudicada se não pudesse usar embriões. "A decisão do presidente é um bom ponto de partida, mas tem limitações", disse John Gearhart, da Universidade Johns Hopkins, que identificou células-tronco em fetos humanos, em 1998.

A mensagem da ciência, nesse caso, é bem clara: se quiser os benefícios dessa descoberta, a humanidade terá de aceitar a clonagem de embriões para pesquisa. Nas palavras de Gearhart: "Os dados que estamos obtendo prometem revolucionar o que sabemos sobre a biologia e a medicina", diz. "Mas ainda há décadas de trabalho à frente até entendermos como as células-tronco funcionam e como usá-las com segurança."

1978

Os ingleses Patrick Steptoe e Robert Edwards anunciam o nascimento de Louise Brown, a primeira criança fecundada em laboratório. O primeiro bebê de proveta abriu o caminho para o desenvolvimento de técnicas de reprodução artificial. No mesmo ano, é lançado o livro *In His Image: The Cloning of Man*, de David Norvik. O livro contava a história de um homem solteiro que queria ter um filho igual a si

1981

G. Martin, M. Evans e M. Kaufman descobrem as células-tronco em embriões de ratos. Apesar da importância científica do achado, seriam necessários ainda quase duas décadas até que essas células fossem identificadas em embriões humanos

1984

Os embriologistas americanos Davor Solter e James McGrath realizam uma série de tentativas para clonar embriões de ratos transferindo os seus genes para dentro de um óvulo, técnica semelhante à que seria mais tarde usada por Ian Wilmut. Concluem, erradamente, que a clonagem de mamíferos dessa maneira é "biologicamente impossível"

1986

O veterinário americano Steed Willadsen retoma com sucesso o trabalho de Solter e McGrath



Fertilização

4. 48

O fim da esterilidade

Técnicas geram óvulos e espermatozoides a partir d

O estudo da reprodução fascina os biólogos desde o final do século 19, mas começou a se transformar num assunto espetacular em 1962, quando nasceram os primeiros bebês de proveta de vacas. Mesmo assim, a primeira criança gerada no laboratório ainda demoraria quase 20 anos para ver a luz. Louise Brown, o primeiro bebê de proveta da história, só nasceria em 1978, na Inglaterra, graças às experiências pioneiras dos médicos ingleses Patrick Steptoe e Robert Edwards. E o progresso foi demorado, em parte, porque enfrentou as indagações éticas semelhantes às que hoje nos assustam em relação aos clones.



Proveta pioneira
Louise Brown,
nascida em 1978,
na Inglaterra

Houve quem denunciasse o que parecia um “desrespeito” com o óvulo e com o espermatozóide, ao serem “forçados contra a vontade” a se unir num tubo de ensaio. É como “um casamento arranjado”, disse na época o teólogo Moshe Tendler, professor de ética médica da Universidade Yeshiva. De fato, Steptoe e Edwards já haviam feito as primeiras tentativas de fecundação artificial em 1969 — ou seja, na mesma época em que a clonagem começava a se desenhar como uma possibilidade concreta. Na virada dos anos 70, a dupla inglesa já havia conseguido não só realizar a fecundação em laboratório como, em seguida, manter o embrião vivo durante alguns dias, afirmando que estavam prontos para implantar esses candidatos a bebês artificiais na barriga de uma mãe de

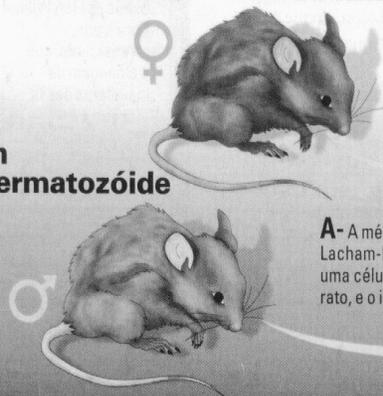
aluguel. Mesmo assim, embora esperassem que o primeiro bebê de proveta nascesse ainda em 1971, eles avançaram devagar, sob críticas e dúvidas de colegas, para os quais a implantação de um embrião em um útero de aluguel seria difícil, mais uma arte do que uma ciência.

No final das contas, o nascimento de Louise Brown acabou sendo considerado uma conquista histórica da ciência. Nos dez anos seguintes, nada menos que 25 mil casais já haviam tido filhos sem problema algum nas clínicas de fertilização assistida. Isso mostra como a opinião pública pode ser volúvel, mudando radicalmente, e em muito pou-

“A clonagem vai acontecer. Não a temo. Dou boas-vindas a ela”

Senator Tom Harkin,
Iowa, EUA (Democrata)

Sem espermatozóide



A- A médica australiana Orly Lacham-Kaplan tirou o núcleo de uma célula comum, da pele de um rato, e o injetou no óvulo de uma rata



Uma cópia de cada gene

B- O óvulo, como o espermatozóide, sempre tem só uma cópia de cada gene e todas as outras células, duas cópias

Célula comum

Duas cópias



Pesquisas

A australiana Orly Lacham-Kaplan criou um embrião de rato sem usar gametas



células comuns

co tempo, passando do susto diante das novidades para a satisfação de poder contar com suas vantagens. É preciso ter esse aspecto em mente no debate atual em torno da

clonagem, visto que as duas coisas, daqui para a frente, tendem a se misturar inevitavelmente. Prova disso foi o resultado divulgado este ano pela médica australiana Orly Lacham-Kaplan, da Universidade de Melbourne, que anunciou ter gerado um embrião de rato sem espermatozoides, utilizando uma técnica semelhante à que Ian Wilmut empregou para gerar Dolly.

Uso dos próprios genes

Orly fundiu um óvulo de uma fêmea com uma célula qualquer de outro roedor. Depois da fusão, a célula comum expeliu metade dos seus cromossomos, ficando apenas com uma cópia de cada gene — ou seja, ela se transformou em uma célula sexual, como o óvulo ou o espermatozoide. Isso é só o começo. Orly ainda está tendo dificuldade para implantar o embrião de rato na barriga de uma mãe e, mesmo depois disso, ainda terá que obter um parto bem-sucedido. Só então será possível pensar numa experiência com seres humanos.

Seja como for, essa técnica deve ampliar ainda mais a pressão a favor das pesquisas com a clonagem. Por um motivo muito simples: com

esse método, os casais inférteis poderão não só ter filhos, mas também garantir que eles terão seus genes. Hoje, muitos pais têm de se contentar com espermatozoides alheios, mantidos congelados em clínicas especializadas. Mas, se o sistema de Orly funcionar, a fertilização poderá ser feita com células quaisquer do homem no lugar de espermatozoides que ele não produz.

Algo parecido aconteceu nos Estados Unidos, onde o embriologista Gianpiero Palermo, da Universidade Cornell, anunciou este ano que a clonagem pode gerar óvulos artificiais. Se ficar comprovado que eles podem formar um embrião, mesmo as mulheres que não têm óvulos adequados poderão, no futuro, ter bebês de proveta com seus próprios genes. O que Palermo fez, de fato, foi tomar os genes de uma célula comum de uma mulher e inseri-los no óvulo de outra pessoa, repetindo muito de perto o processo de clonagem utilizado por Wilmut. Com isso, o óvulo passou a ter os cromossomos da primeira mulher. Assim, se ela tiver um bebê de proveta fecundado por seu marido, os genes da criança serão os de seus pais, como acontece com todos os meninos naturais.

C- Depois da injeção, porém, a célula da pele expulsou espontaneamente sua cópia extra, funcionou como um espermatozoide e fecundou o óvulo

Uma das cópias é eliminada

Embrião



1993

Os biólogos americanos Jerry Hall e Robert Stillman separaram todas as células de um embrião e conseguem fazer com que cada uma delas se transforme num novo embrião. Fazem, assim, 48 gêmeos de uma vez. Ou seja, eles realizaram de maneira artificial o processo que naturalmente leva ao nascimento de trigêmeos, quadrigêmeos e assim por diante

1994

O veterinário americano Neal First clona os primeiros embriões de vaca

1997

Semanas depois do anúncio de Dolly, cientistas do Centro Oregon de Pesquisas com Primatas faz uma clonagem de embriões de macacos rhesus

Começa a ser empregada a técnica conhecida por ICSI, com a qual é possível usar espermatozoides imaturos, ou espermátides, para realizar a fertilização artificial

1998

O americano Richard Seed desafia o governo americano, dizendo que fará clonagens humanas clandestinas

Separação de espermatozoides que têm o cromossomo Y dos que têm o X, de modo a poder usar um ou outro, conforme se queira, leva à possibilidade de escolher o sexo do bebê: se a fecundação foi feita com os que têm Y, nascerá menino, caso contrário, uma menina virá à luz

O que falta fazer

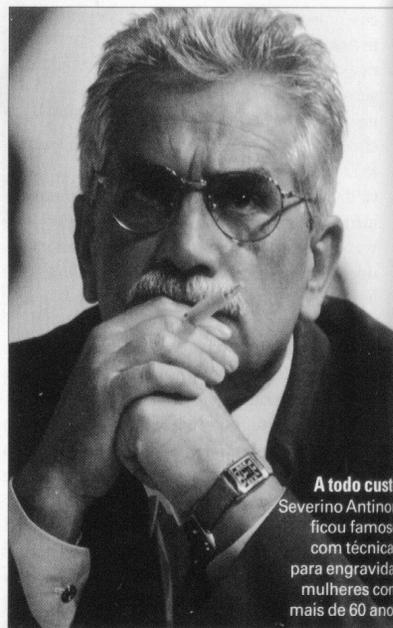
Para eles, não existem

Empreendedores rejeitam objeções éticas e técnicas

A discussão sobre a clonagem não está empacada apenas por questões de princípio, mas, sobretudo, devido à pressa com que clínicas de fertilização pretendem começar a produzir cópias de gente. Logo que Dolly nasceu, estava claro que seria assim. Dois anos depois, o físico desempregado norte-americano Richard Seed anunciou que, se essa técnica viesse a ser proibida nos EUA, burlaria a lei e atenderia casais inférteis que o procurassem. Ou seja, clandestinamente.

Seed foi tratado como um simples aventureiro em busca de celebridade, rótulo que ele talvez merecesse. Mas o problema, novamente, não é tão simples: nessa época, de acordo com o governo americano, mais de mil clínicas no país já haviam se reunido silenciosamente em grupos de pressão, ou lobbies, com o objetivo de defender a liberação da clonagem reprodutiva no Congresso.

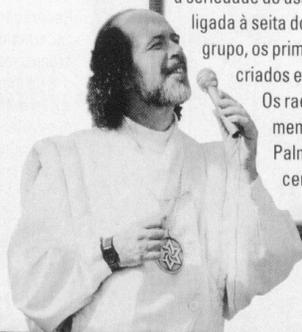
Em 2000, pelo menos três equipes especializadas e bem equipadas anunciaram que estavam prestes a gerar o primeiro clone humano da história. Uma delas era a do médico italiano Severino Antinori, que havia ficado famoso na Europa, em 1994, por ter criado uma técnica para dar filhos a mulheres de mais de 60 anos. O segredo consistia



A todo custo
Severino Antinori ficou famoso com técnicas para engravidar mulheres com mais de 60 anos

“Como correr o risco de clonar um bebê, se o resultado é imprevisível?”

Ian Wilmut,
veterinário inglês



A seita das cópias alienígenas

Entre os grupos dispostos a fazer a clonagem humana já, o que mais contribui para minar a seriedade do assunto é a empresa Clonaid, ligada à seita dos raelianos. Segundo esse grupo, os primeiros seres humanos foram criados em laboratório por alienígenas. Os raelianos dizem ter 55 mil membros, mas a socióloga Susan Palmer, dos EUA, diz que eles são cerca de 25 mil. O fundador do movimento, em 1973, foi um

ex-piloto de carros de corrida, o francês Raël (foto à esq.). Apesar dessas idéias, a Clonaid possui especialistas bem-sucedidos em diversas áreas de pesquisa. O planejamento da clonagem está a cargo da química francesa Brigitte Boisselier, que afirma ter montado uma clínica clandestina “em algum lugar dos EUA”. Mais de cem casais estéreis, diz ela, já estariam inscritos no programa de reprodução da Clonaid, esperando a vez de ter os primeiros filhos copiados da história.

Obstáculos

estão perto da clonagem

em eliminar os possíveis problemas para a gestante após detectá-los com uma seqüência de quase 200 testes genéticos no embrião. As outras duas equipes estavam ligadas, respectivamente, à empresa americana Clonaid, dirigida por uma seita exótica, a dos raelianos (veja quadro), e ao fisiologista Panos Zavos, da Universidade do Kentucky.

De nada adianta ridicularizar a pressa e o estresse dessas equipes. "Elas têm competência para tentar uma clonagem bem-sucedida", afirma o médico Gregory Stock, da Universidade da Califórnia em Los Angeles, que é pessoalmente contra a liberação da clonagem. O problema, dizem Stock e a imensa maioria dos cientistas, é que tentar não significa conseguir; e, o que é pior, se a experiência fracassar, pode ter conseqüências sérias para o bebê e a mãe. Este ano Zavos declarou ao Congresso americano que cuidados serão tomados e, caso se perceba algo de errado, a experiência será imediatamente interrompida. O uso dos testes genéticos pré-natais de Antinori, agora bem aprimorados, seria com certeza útil nesse controle.

Aberrações vivas

A lista das dificuldades na clonagem animal, no entanto, é tão impressionante que a maioria dos cientistas — mesmo os que não têm objeção à clonagem na fertilização artificial — acredita que não é hora ainda de atender os casais inférteis. Eles alegam que, mesmo entre os pouquíssimos animais que se conseguiu clonar até hoje, observam-se todos os tipos de defeitos. Uma das deformidades mais comuns é o crescimento anormal dos clones. Eles nascem com órgãos enormes, da língua ao coração, causando problemas à sua sobrevivência. "Alguns são tão deformados que o mais difícil é explicar como continuam vivos", diz o geneticista Michael Bishop, da empresa de engenharia genética Infigen.

Outras anormalidades são falta de oxigênio no sangue, defeito dos rins, bloqueio intestinal, deficiência imunológica, encurtamento dos tendões e

O que resta explicar

Os cientistas ainda não sabem por que a clonagem reprodutiva apresenta tantos problemas, como os seguintes:

1 — Proporcionalmente poucas células clonadas tornam-se embriões. A proporção das falhas oscila em várias experiências: no caso de Dolly, das 227 células utilizadas, só 27 se transformaram em embriões.

2 — Também há problemas com o desenvolvimento das células que viram embriões: uma grande parte deles morre poucas horas após o nascimento. É o que está sendo chamado de "síndrome das crias". A causa mais comum é um crescimento exagerado dos órgãos, a ponto de inviabilizar a sobrevivência dos filhotes. Também ocorre falência do sistema imunológico e outras disfunções.

3 — Em alguns casos, os defeitos do embrião também põem em risco a fêmea (geralmente uma mãe-de-aluguel) em cuja barriga ele se desenvolve. Um número pequeno delas morreu durante o parto.

4 — Calcula-se que, de todos os embriões clonados, apenas de 1% a 5% se tornam adultos saudáveis. Mesmo depois de crescidos, porém, alguns desses clones desenvolveram anormalidades que até então não tinham se manifestado.

diabetes, para citar apenas as mais freqüentes. Algumas mães de aluguel morreram no parto; alguns clones de vacas, que chegaram à idade reprodutiva, apresentaram placentas enormes, com quantidade de fluidos seis vezes acima do normal.

Aos poucos surgem as primeiras explicações para esses problemas: é possível que, durante a clonagem, alguns genes sejam danificados, gerando, mais tarde, efeitos deletérios no desenvolvimento dos animais. Também há estudos mostrando que o organismo humano seria mais resistente, geneticamente, e poderia suportar melhor a clonagem do que os animais. Ninguém sabe exatamente como surgem esses problemas, muito menos como resolvê-los. Vale, nesse caso, a advertência de Wilmot: "Como alguém se atreveria a correr o risco de clonar um bebê, quando o resultado é rigorosamente imprevisível?"

1998

Os americanos James Thomson e John Gearhart isolam as primeiras células-tronco de um embrião humano em estágio muito inicial de desenvolvimento

1999

Três equipes internacionais anunciam que estão prestes a trazer à luz o primeiro bebê de proveta por meio da clonagem

O americano John Gearhart encontra as primeiras células-tronco humanas

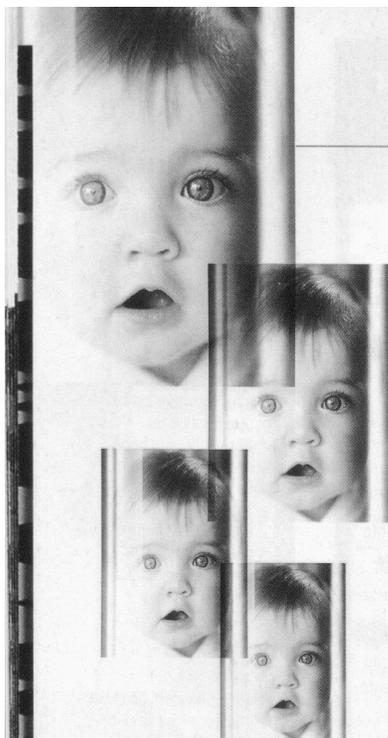
2000

John Gearhart, dos EUA, demonstra a capacidade de as células-tronco se transformarem em dez tipos diferentes de células comuns (há no corpo humano cerca de 220 variedades de células, seja em órgãos ou simples tecidos, como membranas e outras partes acessórias do organismo)

2001

Até agora, nenhum outro animal adulto, exceto a mãe de Dolly, foi clonado. Mas a clonagem de embriões se amplia rapidamente. Já inclui macacos, vacas, ovelhas, cabras, porcos, coelhos e ratos

O presidente Bush veta verbas federais para pesquisas com embriões, mas permite que estudos com células-tronco já existentes, retiradas de embriões que seriam desprezados, continuem



O clone será um "clone"?

LYGIA DA VEIGA PEREIRA*

Muito bem, então por meio da clonagem podemos criar uma cópia idêntica de qualquer pessoa! Essa visão simplista da clonagem vem suscitando idéias fantasiosas de ressurreição de pessoas "interessantes" (para alguns, Mozart; para outros, Hitler), ou mesmo de um filho querido já morto. E a reversão da morte é de fato uma coisa irresistível.

Mas o clone será exatamente um clone? Ele será uma cópia idêntica do clonado — de sua matriz? Terá o mesmo físico, o mesmo tipo de cabelo, cor de olhos, temperamento, inteligência, gostos, aptidões? Sim, não — não sei. Recapitulando: o clone possui exatamente os mesmos genes que sua matriz. Se os genes determinam todas as nossas características físicas e, quem sabe, até as psíquicas, o clone será, de fato, idêntico à matriz, certo? Errado. Estamos esquecendo de uns temperos muito importantes, que não estão escritos nos genes, mas que dão uma graça toda especial a cada um de nós: o meio ambiente, as nossas experiências de vida.

Muitas das nossas características são influenciadas também pelo ambiente. Um exemplo óbvio é a cor da pele. Irmãos gêmeos idênticos, clones naturais, possuem exatamente os mesmos genes de cor de pele. No entanto, dependendo do estilo de vida de cada um — se um ama pegar ondas e o outro prefere a leitura, por exemplo —, eles terão cores de pele bem diferentes. Da mesma maneira, a alimentação na primeira infância é um fator decisivo no desenvolvimento neurológico de um bebê, e terá

enorme influência no QI do indivíduo adulto. Essa alimentação estava escrita nos genes do bebê? Não.

Ainda é difícil estimar quanto a genética e o estilo de vida influenciam cada uma das nossas características. Mas mesmo diferenças sutis de condições e de experiências de vida são suficientes para imprimir características individuais em pessoas com genomas idênticos.

Assim, apesar de o clone ser uma cópia geneticamente idêntica do clonado, suas experiências de vida particulares influenciarão uma série de características de uma forma que não podemos prever. Pense apenas em todos os parentes, amigos, professores, enfim, todas as pessoas que passaram por sua vida. Tudo o que aconteceu perto de você e no mundo durante a sua vida. Eles deixaram diversas marcas, influenciando muito quem você é hoje em dia. Reproduzir a sua genética agora é fácil com a clonagem... Mas como reproduzir essa rede tão complexa de relações e experiências de vida?

Que decepção! Por um momento, pensamos que com a clonagem tínhamos finalmente conseguido driblar a cruel irreversibilidade da morte... Mas não faz mal — a clonagem com fins reprodutivos não é mesmo para ser feita. E por outro lado, com a clonagem terapêutica — apesar de não "ressuscitarmos" ninguém —, melhoraremos a qualidade de vida de todos nós!

* Genetista, pesquisadora do Departamento de Biologia do Instituto de Biociências da USP (Universidade de São Paulo).

Anote

Para navegar

■ Institutos Nacionais de Saúde
<http://www.nih.gov/news/stemcell/scireport.htm>

■ Fundação para a Clonagem Humana
<http://www.humancloning.org>

■ PhRma Genomics
<http://genomics.phrma.org/cloning.html>

■ Instituto Roslin
www.roslin.ac.uk

■ Projeto Genoma Humano
<http://www.ornl.gov/hgmis/elsi/cloning.html>

■ Comissão Nacional de Bioética
http://bioethics.gov/cgi-bin/bioeth_counter.pl

Para ler

■ *De Volta ao Éden*, Lee Silver. Mercuryo. São Paulo. 2001

■ *Clone*, Gina Kolata. Ed. Campus. Rio de Janeiro. 1998

■ *O Planeta Simbiótico*, Lynn Margulis. Ed. Rocco. Rio de Janeiro. 2001

ANEXO II

Extratos de Outros Artigos

Anexo II.1



Figura II.1-A

QUBITS SPINTRÔNICOS

Num computador convencional, todos os bits têm um valor definido, 0 ou 1. Uma série de oito bits pode representar qualquer número de 0 a 255, mas apenas um número de cada vez.

Elétrons, cujos spins se limitam a “para cima” e “para baixo”, podem ser usados como bits.

Bits quânticos, ou qubits, podem existir também como superposições de 0 e 1, sendo, na prática, os dois números ao mesmo tempo. Oito qubits podem representar qualquer número de 0 a 255 simultaneamente.

Os spins dos elétrons são qubits naturais: um elétron inclinado é uma superposição coerente de spins “para cima” e “para baixo” e é menos frágil que outros estados eletrônicos quânticos.

Os qubits são extremamente delicados. Interações ao acaso com suas vizinhanças degradam as superposições de forma extremamente rápida, normalmente convertendo-as aleatoriamente em bits comuns.

Novos progressos na direção de pro... pesquisadores com objetivos mais imedi...

Figura II.1-B

Anexo II.2

VANTAGENS E DESVANTAGENS
Compare as diversas maneiras de gerar eletricidade

Vários fatores influem na hora de optar por uma forma de gerar energia. Os principais são o custo de construção da usina e os gastos para mantê-la operando. O impacto ambiental também tem que ser considerado. Outro dado é o tempo real de operação, que mede a porcentagem do tempo que a central efetivamente produz energia, descontadas interrupções causadas, por exemplo, pela falta de gás, chuva ou sol

TIPO DE ENERGIA	CUSTO DE CONSTRUÇÃO (US\$/kWh)	CUSTO DE OPERAÇÃO (US\$/MWh)	IMPACTO AMBIENTAL	TEMPO REAL DE PRODUÇÃO
Hidrelétrica	de 1 000 a 1 500	de 25 a 40	destruição de ecossistemas, bloqueio nos rios	de 50% a 65%
Eólica	de 1 100 a 2 300	de 45 a 65	praticamente nenhum	25%
Solar	de 2 500 a 5 000	de 45 a 65	insignificante	15%
Termoelétrica a gás	de 400 a 600	de 50 a 80	poluição do ar, aquecimento do planeta	acima de 80%
Termoelétrica a carvão	de 800 a 1 000	de 50 a 65	poluição do ar, aquecimento global	acima de 80%
Nuclear	3 000	70	risco de acidentes graves, lixo atômico	de 40% a 50%

Figura II.2-A

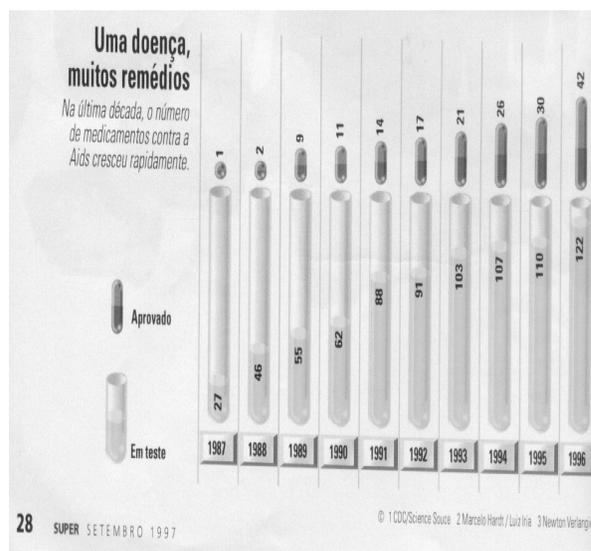


Figura II.2-B

Os herdeiros da epidemia
Orfandades causadas por HIV*

América do Norte	70.000
Caribe	83.000
América Latina	100.000
Europa Ocidental	9.000
Europa Oriental e Ásia Central	500
Ásia Oriental e Pacífico	5.600
África do Norte e Oriente Médio	15.000
África Subsaariana	10.700.000
Sul e Sudeste da Ásia	200.000
Austrália e Nova Zelândia	500
Total	11.183.600

Fonte: OMS/UNAIDS

*Número estimado de crianças até 15 anos que tiveram mãe, pai ou ambos mortos em decorrência de Aids até dezembro de 1999

Figura II.2-C

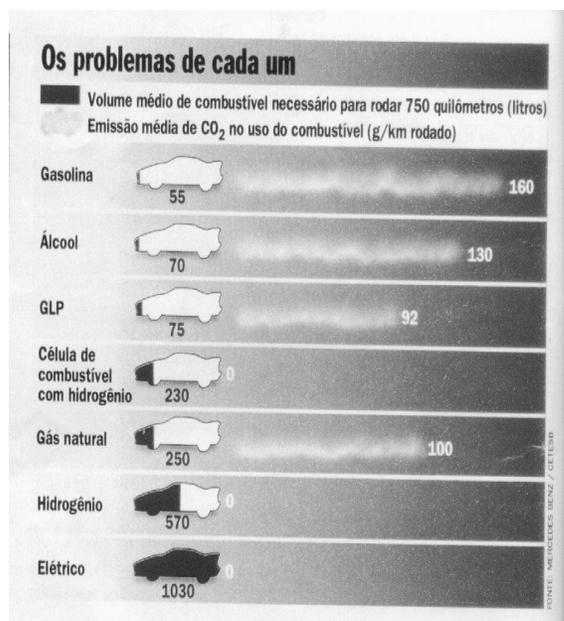


Figura II.2-D

Anexo II.3

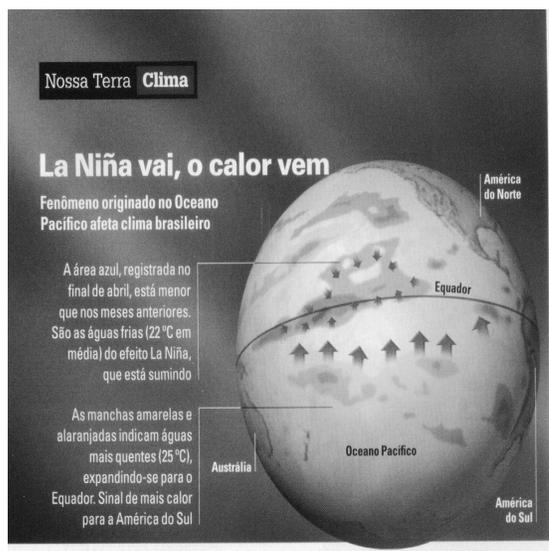


Figura II.3-A

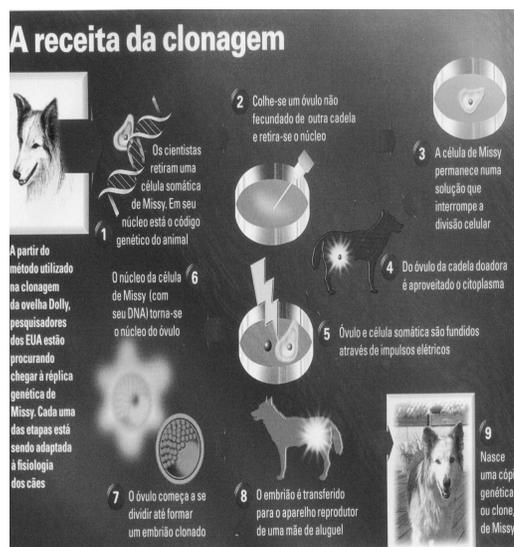


Figura II.3-B

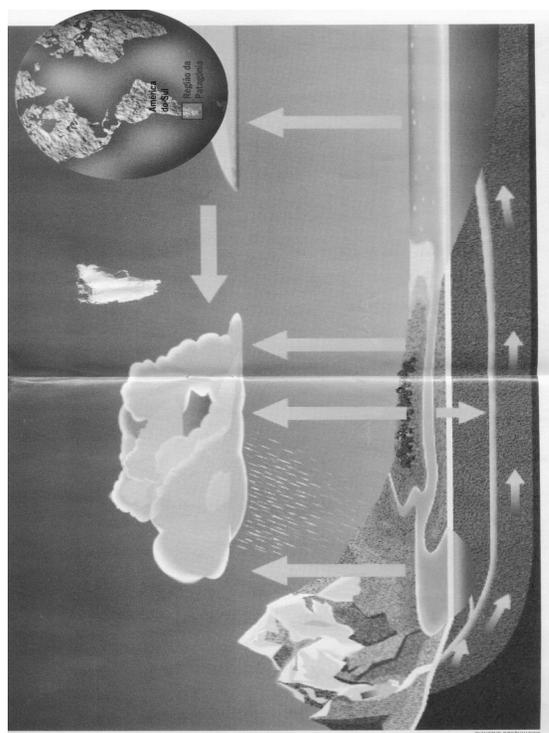


Figura II.3-C



Figura II.3-D

Anexo II.4

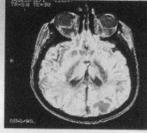
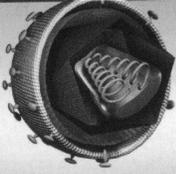
<p>1970</p> <p>Descoberto o primeiro oncogene viral (src), fator que dá início ao tumor, pelo cientista alemão Peter Duesberg e pelo japonês Hidesaburo Hanafusa</p>	<p>1972</p> <p>O aprimoramento das técnicas de diagnóstico por imagem (foto) permite métodos mais precisos de identificação de tumores</p> 	<p>1975</p> <p>O avanço da engenharia genética possibilita a criação de agentes que identificam células de tumor e ativam o sistema de defesa do organismo, chamados de anticorpos monoclonais</p>	<p>1978</p> <p>Estudos mostram que as metástases (o aparecimento de focos secundários e distantes) originam-se do primeiro tumor e viajam no corpo pelas veias (foto)</p>
	<p>São realizados estudos mostrando que o sistema de defesa do organismo pode ser usado contra o câncer. O pesquisador americano Robert Gallo mostra que um tipo de vírus chamado HTLV-1 (foto), da mesma família do HIV, pode causar leucemia</p> 	<p>Identificado o primeiro oncogene humano (gene associado ao aparecimento do câncer)</p>	<p>São identificadas mutações genéticas que podem dar origem a futuros casos de câncer de mama. A descoberta ajuda na prevenção</p>

Figura II.4-A

Pioneiros de uma tecnologia que pegou



No início, o vapor
O grego Homero (século VIII a.C.) e o italiano Leonardo da Vinci (1452-1519) chegaram a descrever o carro. Mas só em 1769, o francês Nicolas-Joseph Cugnot (1725-1804) fez um triciclo (foto) com o motor a vapor do escocês James Watt (1736-1819).



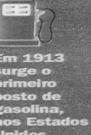
Ao gosto do freguês
Do grego *autós* (por si só) e do latim *mobilis* (móvel), surgiu na França, em 1875, a palavra *automóvel*. Ainda no século XIX criaram-se motores a gás de cozinha, a hidrogênio e elétrico, como o do Krieger 1847 (foto). Mas o vapor predominou até a chegada da gasolina.



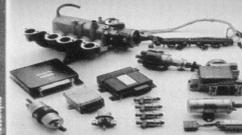
Reinvenção da roda
Em 1888, o escocês John B. Dunlop (1840-1921) inventou os pneus com câmara para bicicleta. Edouard Michelin (1859-1940), um francês, adaptou-os para carros em 1895 (na foto, uma réplica do primeiro a usá-los), mas eles estouravam a cada 150 quilômetros.



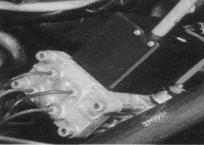
Professor Pardal
Com um motor francês, o paulistano Claudio Bonadei (na foto com a família) montou pela primeira vez um carro no Brasil. Quando ficou pronto, em 1905, o veículo não passava pela porta da garagem. Ela teve que ser alargada.



Em 1913 surge o primeiro posto de gasolina, nos Estados Unidos



Injeção de tecnologia
A injeção eletrônica, de 1977, tomou os carros mais econômicos e menos poluentes. Um microcomputador calcula a quantidade ideal de combustível a ser injetada no motor. No Brasil, o primeiro a ter o sistema (foto) foi o Gol GTI, em 1989.



Freio seguro
Última grande inovação adotada em carros de série, o ABS (foto) — sistema antibloqueador de freio, em inglês — já aparecia em carros europeus e americanos nos anos 70. No Brasil, chegou em 1990. Ele evita que as rodas travem quando se freia bruscamente.

Figura II.4-B

Anexo II.5

tempo e precaução antes de seu consumo.

“A biotecnologia saiu das mãos da comunidade científica e foi para as mãos do mercado, porque um dia ela tem de ser comercializada”, afirma Paola Cardarelli, do Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde da Fiocruz. “Mas não se sabe se todos os estudos foram feitos ou se mais poderiam ser conduzidos.”

Se há dúvidas quanto à liberação de transgênicos, elas deveriam ser sanadas pelo governo. “Cabe aos órgãos públicos analisar se os benefícios compensam o risco da introdução prematura dessa tecnologia”, avalia a bióloga Maria Alice Garcia, do Instituto de Biologia da Unicamp.

No Brasil, a Lei 8.974, de 1995, co-

nhecida como Lei da Biossegurança, normatiza o uso da engenharia genética e a liberação no meio ambiente de OGMs, além de autorizar a criação da CTNBio (Comissão Técnica Nacional de Biossegurança), que concede pareceres sobre culturas experimentais e comerciais.

Desde 1998, uma liminar proíbe o cultivo comercial de OGMs no país sem estudos prévios de impacto ambiental — exigência desrespeitada pelos produtores de soja no Sul (veja texto ao lado). Ainda assim, a legislação brasileira relacionada a transgênicos — especialmente a Lei de Biossegurança — é vista por muitos cientistas como uma das mais completas do mundo. Resta aplicá-la.

Figura II.5-A

Anexo II.6



Figura II.6-A