O Tema “Vidro Plano (*Tecnologia Float*)” para a Educação Científica e Tecnológica

André R. Toquetto

Este artigo procura contribuir para a educação científica e tecnológica de docentes e estudantes dos ensinos médio e tecnológico médio, por meio do tema “Vidro Plano (*Tecnologia Float*)”. A *tecnologia float* é uma importante fonte de estudo para o tema “Vidro Plano”, pois, mediante este processo, podem ser estudados os fatores históricos, sociais, econômicos, tecnológicos, científicos e ambientais relacionados à produção deste material. Para isso, a abordagem da *tecnologia float* neste trabalho encontra-se dividida em seis tópicos, a saber: *Um Pouco da História da Ciência e da Tecnologia Química; Composição da Mistura Vitrificável; Processo de Fusão da Mistura Vitrificável; Arquitetura do Forno e Transformações Químicas; Moldagem do Vidro Float; e Galeria de Recozimento*. Na sequência, são abordados os fatores socioambientais e socioeconômicos promovidos pela extração de areia na região do Vale do Paraíba (SP) e pela reciclagem de vidro.

► vidro plano, educação CTS, material didático ◀

Recebido em 26/10/2015, aceito em 16/09/2016

153

A abordagem temática tem sido amplamente defendida pelos educadores como forma de preparar o cidadão para a vida (FREIRE, 1975; SANTOS; SCHNETZLER, 2003). A fim de alcançar este objetivo, a educação denominada Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) pode se tornar uma forte aliada. Essa tríade pode proporcionar uma educação de grande significado ao preparar o educando para participar da vida pública sobre questões ambientais, científicas, tecnológicas, econômicas e sociais tão presentes no nosso cotidiano.

Assim sendo, como consta nas “Orientações Curriculares para o Ensino Médio – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias” (BRASIL, 2006), “espera-se a contextualização referenciada nos aspectos socioculturais, bem como a explicitação das inter-relações entre a Química, a tecnologia, a sociedade e o meio ambiente [...]” (p. 122). Entre outros fatores, a excelência no Ensino de Química pode ser alcançada a partir de uma abordagem que leve em consideração as questões anteriormente supracitadas. Contudo, este é um grande desafio na prática pedagógica, pois, para que

seja bem sucedido, é necessário que existam “estratégias de ensino muito bem estruturadas e organizadas” (SANTOS; SCHNETZLER, 2003, p. 113).

A importância do tema “*Materiais*” para a educação científica e tecnológica é assim retratada:

Não resta dúvida de que os materiais são essenciais para o bem-estar humano, mas a grande maioria dos cursos de graduação em química e das disciplinas de química do nível

médio não abordam este assunto de maneira específica. Muitas vezes estão dispersos em um curso ou em disciplinas de química sem que seja dada a devida ênfase à sua importância (PAOLI, 2001, p. 3).

É nessa direção que segue este artigo, procurando ser um material didático alternativo para os docentes dos ensinos médio e tecnológico médio ao promover o estudo da *tecnologia float* atrelado à conceituação científica e aos fatores socioambientais e socioeconômicos decorrentes das atividades antropogênicas para a produção do vidro plano.

É nessa direção que segue este artigo, procurando ser um material didático alternativo para os docentes dos ensinos médio e tecnológico médio ao promover o estudo da tecnologia float atrelado à conceituação científica e aos fatores socioambientais e socioeconômicos decorrentes das atividades antropogênicas para a produção do vidro plano.

Sobre a conceituação científica, alguns conceitos químicos, como: *sais inorgânicos, óxidos com características básicas, transformações químicas* (reações de combustão, decomposição de carbonatos e formação de silicatos), *reações exotérmicas* (calores molares de combustão), *reações endotérmicas* (reações de decomposição/calores molares de formação) e *propriedades físicas do estanho*, são abordados, tendo o tema “vidro plano” como centro de estudo, procurando, assim, vencer o ensino tradicional de Química. Ou melhor, romper com a “visão linear, alienada e alienante da Química e do seu ensino, na medida em que os estudantes são interativamente envolvidos em discussões teóricas relativas a situações reais” (BRASIL, 2006, p. 124). Dessa forma, o artigo aqui proposto converge para a seguinte citação:

Nas considerações que fazem esses educadores [FREIRE, 1975; SNYDERS, 1988], a **conceituação científica que deve ser abordada no processo educativo é subordinada tanto às temáticas significativas como à estrutura do conhecimento científico**, das quais se selecionam os conceitos científicos que compõem os conteúdos programáticos escolares (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2011, p. 190, negrito meu).

Outros focos são os estudos dos impactos sociais e ambientais gerados pela extração de recursos naturais, especificamente a extração de areia no Vale do Paraíba, no estado de São Paulo. E, ainda, apontar os benefícios socioeconômicos e socioambientais provenientes da reciclagem de vidros na fabricação do vidro plano. A inclusão de fatores socioambientais é incentivada, atendendo às orientações de que “as propostas pedagógicas das escolas sejam organizadas [...], em torno da abordagem de aspectos sociocientíficos associados a temas sociais, preferencialmente relacionados a temáticas ambientais [...]” (BRASIL, 2006, p. 121).

Um pouco da História da Ciência e da Tecnologia Química (HCTQ)

Chegou o século XVII e a França criou um processo para fabricar vidro plano, que logo fez sucesso, pois permitiu que fossem produzidas placas grandes desse material, com dois metros de comprimento e um metro e meio de largura!

Para obtê-las, era preciso apenas despejar o vidro fundido numa superfície metálica e achatá-lo com um rolo feito de metal. [...]

Porém, apesar do progresso obtido com as máquinas, nem sempre o vidro fabricado era perfeito. Às vezes, quem olhasse por ele, via as imagens distorcidas. Isso ocorria quando as faces do vidro não estavam paralelas. Isto é, quando não havia a mesma distância entre elas. Para fazer com que as faces do vidro tivessem a mesma distância entre si, era preciso esfregar sobre elas certos materiais que iam desgastando a

superfície do vidro e, assim, tornavam as suas faces paralelas. No entanto, como era arranhado, o vidro perdia a transparência. Então sua superfície também precisava ser polida.

Essas duas operações eram demoradas e exigiam muita mão de obra. Resultado: faziam com que o vidro plano de boa qualidade ficasse muito caro.[...]

A solução capaz de reduzir os custos de produção do vidro surgiu por acaso. Um inglês, chamado sir Alastair Pilkington, estava ajudando sua esposa a lavar a louça quando percebeu que a gordura solidificava na superfície da água dentro da pia, formando uma camada. Nesse momento, ele teve uma ideia: pensou que poderia fabricar uma lâmina de vidro ao fazer com que o vidro fundido flutuasse sobre algum líquido (MAIA, 2003a, p. 20-21).

A abordagem da HCTQ, de acordo com os PCNs+ *Ensino Médio - Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais* (BRASIL, 2002), pode ser uma fonte profícua em “reconhecer e compreender a ciência e a tecnologia química como criação humana, portanto, inseridas na história e na sociedade em diferentes épocas [...]” (p. 92). E mais, a importância da História da Ciência no processo de ensino-aprendizagem é retratada por Porto (2011): “se o que se pretende é formar estudantes críticos, capazes de compreender as complexidades da atividade científica, então a nova historiografia da Ciência [e da Tecnologia Química] tem muito a contribuir nesse processo” (p. 165).

Outra observação reside no fato de que a tecnologia química, algumas vezes, está relacionada à busca de soluções de entraves vivenciados no ambiente industrial. Kuhn (2013) ressalta a determinação do homem que procura a resolução de um desafio tecnológico: “Contudo, o homem que luta para resolver um problema definido pelo conhecimento e pela técnica existentes não se limita simplesmente a olhar à sua volta. Sabe o que quer alcançar: concebe seus instrumentos e dirige seus pensamentos de acordo com seus objetivos” (p. 183).

Assim, sir Alastair Pilkington tinha um problema a ser solucionado, apesar da resolução do desafio tecnológico ter surgido do acaso, seus pensamentos encontravam-se orientados. Surgiu, então, o vidro *float*, assim definido, pois após a fusão da mistura vitrificável, esse é encaminhado para um tanque de flutuação com estanho líquido, possibilitando a moldagem e a obtenção de chapas de vidro com excelente transparência. O estanho foi o metal escolhido devido às suas propriedades físicas, propícias para a moldagem do vidro.

A *tecnologia float* foi desenvolvida e patenteada por Pilkington Brothers Co., em 1959, sendo considerada um grande avanço, considerando que não há necessidade de polimento das chapas de vidro, pois, ao sair do tanque de flutuação, ambos os lados da folha de vidro estão com as faces paralelas.

No Brasil, a produção de vidro plano concentra-se, basicamente, no eixo Rio - São Paulo, porém, nos últimos anos,

outras fábricas têm sido instaladas em diferentes regiões, como no sul do país, na cidade de Barra Velha (SC), e no nordeste. A tecnologia supracitada pode, ainda, ser de grande importância no processo de ensino-aprendizagem, já que este processo industrial é largamente utilizado em escala mundial:

Utilizado hoje como principal sistema de produção de vidro plano (representando 90% da produção mundial), é possível produzir, de maneira contínua e eficiente, placas de vidro com diversas espessuras e com graus mínimos de imperfeição. O vidro do tipo *float* tem a alta qualidade necessária para a utilização desse material no revestimento de edifícios e na construção de janelas e para-brisas de carros (BASTOS; MONTANO, 2013, p. 267).

Outro fator importante é que o *processo float* é contínuo, permitindo que a produção de vidro plano seja de 200 a 900 toneladas/dia, classificando esta tecnologia como altamente produtiva e largamente difundida em todo o mundo.

Composição da Mistura Vitrificável

A sílica, SiO_2 , também conhecida como dióxido de silício, na sua forma pura, apresenta elevado ponto de fusão, exatos 1 725 °C. No vidro, é o componente em maior percentagem, 72%, e, na produção do vidro *float*, apresenta elevada pureza, 99.7%. A sua fonte é a areia, contudo esta é beneficiada a fim de se adequar à condição de pureza citada anteriormente. Outro fator importante é que o “teor de ferro da areia deve ser mantido o mais baixo possível para fabricação de vidro incolor, o ferro dá uma coloração verde ao vidro” (MAIA, 2003b, p. 44). Posteriormente, ainda neste artigo, são discutidos os impactos sociais e ambientais gerados pela extração de areia no Vale do Paraíba (SP).

A barrilha é o principal *fundente* e tem nome químico de carbonato de sódio, Na_2CO_3 , cuja função é diminuir a temperatura de fusão da mistura vitrificável para valores próximos de 1 600 °C. No vidro, o carbonato de sódio produz o óxido de sódio, Na_2O , e representa 14% na composição. Outro *fundente* utilizado é o carbonato de cálcio, CaCO_3 , comercialmente conhecido como calcário, o qual produz o óxido de cálcio, CaO , representando 9.0%. A dolomita também é um *fundente* quimicamente conhecida como carbonato duplo de cálcio e magnésio, $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$, produzindo os óxidos de cálcio, CaO , e de magnésio, MgO , compondo 4.0% da mistura vitrificável. O óxido de cálcio proporciona resistência química contra os agentes atmosféricos, e o óxido de magnésio fornece resistência ao choque térmico. O feldspato é o aluminossilicato duplo de sódio ou potássio, $\text{K}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_8)_2$ ou $\text{Na}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_8)_2$, ou seja, de fórmula geral $\text{R}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$, na qual R_2O representa um óxido alcalino, K_2O , Na_2O ou mistura de ambos, ou ainda, CaO (MAIA, 2003b, p. 48). Assim, este mineral é a fonte de Al_2O_3 , K_2O , Na_2O ou CaO e constitui 1.0 % da mistura vitrificável.

Sobre a resistência química, Maia (2003b) a define como “a propriedade de os vidros resistirem mais ou menos à ação dos agentes naturais ou artificiais” (p. 146). Complementando, Maia (2003b) faz a seguinte observação: “podemos citar: agentes atmosféricos, como os gases da atmosfera, umidade do ar, água, etc., entre os segundos: os ácidos, álcalis, etc.” (p. 146).

Devido às decomposições térmicas dos carbonatos durante o processo de fusão, ocorre a produção do gás carbônico, CO_2 , o qual, por sua vez, produzirá bolhas no vidro fundido, tornando necessária, então, a adição de *agentes de refino*. Usualmente, é utilizado o sulfato de sódio, Na_2SO_4 , como *agente de refino*, o qual sofre decomposição térmica:

O gás, trióxido de enxofre, promove a formação de grandes bolhas, que na sua ascensão englobam as bolhas pequenas, dióxido de carbono, e como a densidade dos gases é menor do que a dos líquidos, ocorre a saída destas do vidro fundido. O processo ocorre na zona de refino, “nessa região que fica logo após a zona de máxima temperatura, as bolhas resultantes das reações químicas ocorridas na zona de fusão sobem até a superfície do vidro” (MAIA, 2003b, p. 61-62).

Por meio da *tecnologia float* também são produzidos vidros coloridos, como o verde. De acordo com Maia (2003b):

A coloração devida ao ferro é diferente se produzida pelo Fe^{2+} , ferro divalente ou pelo Fe^{3+} , ferro trivalente. No vidro o óxido ferroso, FeO , e o óxido férrico, Fe_2O_3 , estão em equilíbrio, com predominância de um ou outro, dependendo da relação $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ chamada de Fator Redox¹. O FeO produz no vidro uma cor azul esverdeada e o Fe_2O_3 , produz uma cor verde amarelada (p. 134).

Por sua vez, para a fabricação dos vidros fumê e bronze, são utilizados os óxidos de cobalto e selênio. As matérias-primas anteriormente citadas ficam acondicionadas em grandes silos e, depois de pesadas, são encaminhadas a um misturador, no qual se adiciona água para facilitar a homogeneização e a formação da mistura vitrificável. Na sequência, a mistura vitrificável é dirigida para uma correia transportadora, feita de borracha, concomitantemente, com os cacos de vidro provenientes dos silos. Assim, ambos são encaminhados pela correia transportadora para a enforadeira, que é um reservatório da mistura vitrificável/cacos de vidro. A função da enforadeira é alimentar constantemente o forno de fusão a fim de manter o nível do vidro constante.

Processo de Fusão da Mistura Vitrificável

A fusão da mistura vitrificável consiste em obter altas temperaturas, normalmente entre 1 500 °C e 1 600 °C, para a realização das reações químicas e mudanças do estado físico das matérias-primas. E, ainda, “para reduzir a viscosidade do

vidro fundido, a fim de que se liberte das bolhas num tempo comercialmente viável” (MAIA, 2003b, p. 59).

A energia calorífica necessária para ocasionar as transformações físicas e químicas é fornecida pela reação de combustão. Os combustíveis utilizados são: óleo pesado, óleo diesel, gás natural e GLP (Gás Liquefeito do Petróleo). O combustível comumente usado é o gás natural, que é puro quimicamente, ou melhor, não apresenta, em sua composição, nenhum sulfato e não contamina o vidro.

O gás natural é injetado no forno através de seis pórticos contendo cada um dois queimadores totalizando, assim, doze queimadores. O oxigênio molecular é levado ao forno por meio de ventiladores que succionam o ar atmosférico para os regeneradores e, desse, para os pórticos, onde acontece a reação desse com o gás natural. A reação de combustão produz gás carbônico e vapor d'água que são arrastados pela tiragem da chaminé.

O principal componente do gás natural é o gás metano e, assim, possibilita a abordagem da reação exotérmica e, especificamente, do calor molar de combustão do metano:

Desta forma, exemplifica-se a importância dos combustíveis fósseis, neste caso, o gás natural como fonte de energia calorífica no setor industrial.

Arquitetura do Forno e Transformações Químicas

Para a produção de vidro plano, numa constância diária acima de 200 toneladas, são utilizados fornos contínuos regenerativos laterais, assim intitulados devido às “câmaras de refratários [regeneradores] de seção retangular, cheias com empilhagens de tijolos refratários de alto a baixo, construídas de modo a deixar entre os tijolos canais para passagem dos gases” (MAIA, 2003b, p. 65). Ou seja, os tijolos refratários encontram-se empilhados desde a parte de baixo do regenerador até a parte de cima, deixando espaços entre estes permitindo a passagem do ar e dos gases resultantes da reação de combustão.

Neste momento, é possível indagar: *Por que esses fornos possuem esta forma de construção?* De acordo, com Maia (2003b):

A função dos regeneradores é aproveitar o conteúdo calórico dos gases de combustão para preaquecer o ar, que vai ser usado na combustão antes de serem jogados na atmosfera, através da chaminé.

Os regeneradores operam do seguinte modo: os gases resultantes da combustão arrastados pela tiragem da

chaminé, descem através da empilhagem de um dos regeneradores, trocando o seu calor com a mesma, enquanto isso, o ar [admitido por ventiladores] que vai alimentar a combustão entra pela parte inferior do outro regenerador, e no seu caminho ascendente vai se aquecendo em contato com os tijolos da empilhagem, que foram aquecidos no ciclo anterior. Depois de algum tempo, o queimador que estava sendo usado é apagado e aceso o outro queimador [ciclo de operação chamado de reversão]. Com isso, se inverte o caminho dos

gases da combustão [através da válvula *dumper*], que passam a descer pelo outro regenerador aquecendo sua empilhagem, e o ar frio sobe através do outro regenerador, se aquecendo em contato com os tijolos que foram aquecidos no ciclo anterior. Os ciclos de operação dos regeneradores variam de forno para forno, e, geralmente, são de vinte a trinta minutos (p. 65).

A fim de facilitar a visualização do forno regenerativo lateral apresenta-se a figura 1, na qual são apresentados os regeneradores, entrada de gás, queimador, tanque de vidro, a válvula *dumper*, ventilador e a chaminé.

Figura 1: Forno regenerativo de queima lateral.

As reações químicas que acontecem nos fornos para a produção do vidro plano iniciam-se por volta de 600°C, quando começa a ocorrer a decomposição do carbonato duplo de cálcio e magnésio, a equação termoquímica é expressa da seguinte forma:

Ainda, nessa faixa de temperatura a sílica começa a reagir com o carbonato de sódio, sendo que a reação é de estado sólido, formando o silicato de sódio e gás carbônico:

Por volta de 800 °C, começa a reação da decomposição do carbonato de cálcio, promovendo as formações dos óxidos de cálcio e do gás carbônico. A representação é feita pela seguinte equação termoquímica:

Na faixa de 850 °C, a sílica reage com parte do carbonato de sódio, desta vez com a formação de líquido, Na_2SiO_3 . A decomposição do sulfato de sódio acontece a seguir, em 880 °C, com a formação do óxido de sódio e do trióxido de enxofre.

A 900 °C acontece a decomposição completa do carbonato duplo de cálcio e magnésio, ou seja, ocorre a formação dos óxidos com características básicas, CaO e MgO. Estes, por sua vez, reagem com a sílica e o carbonato de sódio, formando os silicatos de sódio-cálcio/sódio-magnésio. As equações químicas estão, assim, representadas:

Nas temperaturas entre 900 °C e 1500 °C, ocorre a formação de outros silicatos de fase líquida, como: $\text{Na}_2\text{CaSi}_3\text{O}_8$, $\text{Na}_2\text{Ca}_2\text{Si}_3\text{O}_9$, $\text{Na}_4\text{MgSi}_3\text{O}_9$, entre outros.

Moldagem do Vidro *Float*

Depois de fundida, a massa vítrea é levada à área do refino, que tem como objetivos principais a retirada de bolhas, CO_2 , e o controle da temperatura. Ao sair dessa área, o vidro apresenta temperatura por volta de 1 100 °C, quando é encaminhado para ser moldado, no tanque de flutuação, contendo estanho no estado líquido.

Assim, pode ser feita a seguinte pergunta: ***Por que é utilizado estanho metálico e não outro metal para moldagem do vidro?*** A opção pelo estanho é devido a três propriedades físicas desse metal: o baixo ponto de fusão, 231,9 °C; o alto ponto de ebulição, 2 602,0 °C; e a densidade, 7,26 g/cm³, maior do que a do vidro, 2,70 g/cm³, permitindo que a folha de vidro flutue. Há, no entanto, um entrave: o estanho sofre oxidação em contato com oxigênio, tornando necessário que o banho de estanho fique enclosurado numa grande estrutura metálica, onde ocorre a injeção dos gases, nitrogênio (90% v/v) e hidrogênio (10% v/v), formando uma atmosfera inerte e, assim, impedindo a oxidação do estanho. Nessa enorme

Na continuidade do processo de produção, o vidro, então, é estirado por máquinas denominadas *top-rolls*, que possuem rodas com dentes segurando as bordas do vidro e rotação e ângulos variáveis, regulados por motores, formando, dessa maneira, uma larga lâmina de vidro, ou também, folha de vidro. A folha de vidro é puxada por um motor, localizado no setor denominado, *galeria de recozimento*, sendo a velocidade deste motor que determina a espessura do vidro.

estrutura metálica, há uma série de resistências elétricas que aquecem o estanho metálico para manter um perfil de temperatura propício para a moldagem do vidro.

Sobre como abordar os conteúdos relativos aos elementos químicos, os “Parâmetros Curriculares Nacionais - Ensino Médio” fazem a seguinte consideração:

Enfatiza-se por demais propriedades periódicas, tais como eletronegatividade, raio atômico, potencial de ionização, em detrimento de conteúdos mais significativos sobre os próprios elementos químicos, como a ocorrência, métodos de preparação, propriedades, aplicações e as correlações entre esses assuntos (BRASIL, 1999, p. 239).

Na continuidade do processo de produção, o vidro, então, é estirado por máquinas denominadas *top-rolls*, que possuem rodas com dentes segurando as bordas do vidro e rotação e ângulos variáveis, regulados por motores, formando, dessa maneira, uma larga lâmina de vidro, ou também, folha de vidro. A folha de vidro é puxada por um motor, localizado no setor denominado *galeria de recozimento*, sendo a velocidade deste motor que determina a espessura do vidro.

Ao sair do tanque de flutuação, a temperatura do vidro é de 600 °C. Chega-se a conclusão de que a folha de vidro teve um rápido decréscimo de temperatura, exatos 500 °C, e “um material formador de vidro, ao ser resfriado rapidamente, persiste como um líquido super-resfriado metaestável” (SHRIVER et al., 2008, p. 639). Ou melhor, o fator determinante que impede a formação dos cristais durante o processo de moldagem, tornando o vidro transparente, segundo SHRIVER et al. (2008), é proveniente “das velocidades de cristalização que são muito lentas para a maioria dos silicatos, fosfatos e boratos metálicos complexos e geralmente são esses compostos que formam vidros” (p. 639).

Galeria de Recozimento

A folha de vidro, após sair do tanque de flutuação, onde passou pelo processo de moldagem, adquirindo a largura bruta e espessura desejada, entra na *galeria de recozimento*, onde é resfriada controladamente, ocasionando, assim, um alívio de tensões. O recozimento é feito por meio da injeção de ar, aquecendo a placa a 540 °C e retirando as tensões permanentes nas zonas de pré-recozimento e recozimento, e a 480 °C, na zona de pós-recozimento, são retiradas as tensões residuais.

Depois de passar pela *galeria de recozimento*, a lâmina de vidro é cortada para formar as chapas de vidro as quais são, posteriormente, submetidas ao controle de qualidade através de

um *scanner* que emite um feixe de raio *laser* para identificar falhas. Por fim, as chapas de boa qualidade são empilhadas e estocadas em grandes armazéns.

A fim de possibilitar uma melhor visualização da *tecnologia float*, há na internet especificamente, no endereço eletrônico: www.youtube.com/watch?v=BsaHnZeM7oQ, um vídeo que pode ser utilizado durante o processo de ensino-aprendizagem facilitando o entendimento das etapas de produção do vidro *float*.

Reciclagem de Vidros na Fabricação do Vidro Plano

A reciclagem do vidro está relacionada a questões socioambientais e socioeconômicas, gerando economia de combustível. Vale enfatizar que “para produzir 1 kg de vidro novo são necessários 4500 kJ, enquanto que para produzir 1 kg de vidro reciclado necessita-se de 500 kJ!” (ALVES; GIMENEZ; MAZALI, 2001, p. 24). E mais, com a adição de caco no processo de fusão, há um decréscimo na temperatura de fusão, e a utilização de uma taxa de 10% de caco pode gerar um ganho energético de cerca de 5% e uma redução de 5% na emissão de gás carbônico e vapor d’água. A utilização de uma tonelada de cacos pode gerar uma economia por volta de 1,2 toneladas de matéria-prima. Dessa forma, é reduzido o consumo das matérias-primas, além de proporcionar a diminuição do uso de combustíveis fósseis.

A reciclagem do vidro, como se verifica, além de representar um importante aspecto ambiental também se torna um relevante fator socioeconômico na geração de empregos. No Brasil, pouquíssimos municípios, exatamente 32,3%, de acordo com a Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro (Abividro), possuem uma logística de coleta e transporte de materiais recicláveis. Para atingir um maior número de cidades, é necessário que os mais variados segmentos da sociedade se organizem, a partir de uma gestão pública que os oriente no sentido de aumentar a porcentagem de reciclagem de vidro no nosso País, já que somente 49% dos vidros foram reciclados em 2007, dados apresentados pela Abividro.

No entanto, cabe ressaltar que há duas fontes de cacos de vidro, “a resultante do próprio processo de fabricação, peças quebradas, peças defeituosas e devoluções e também o que é comprado de firmas especializadas na coleta e beneficiamento do caco dos lixões e de outros locais como: engarrafadoras, bares, clubes e residências” (MAIA, 2003b, p. 184).

Os cacos de vidro provenientes do próprio processo de fabricação normalmente não apresentam materiais estranhos e, assim, “a única operação necessária é a redução do tamanho dos cacos antes de retornar ao processo” (MAIA, 2003b, p. 184).

A reciclagem do vidro, como se verifica, além de representar um importante aspecto ambiental também se torna um relevante fator socioeconômico na geração de empregos. No Brasil, pouquíssimos municípios, exatamente 32,3%, de acordo com a Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro (Abividro), possuem uma logística de coleta e transporte de materiais recicláveis.

Por sua vez, o vidro recolhido em lixões e nos outros locais supracitados, encontra-se “acompanhado de todo tipo de impurezas², inorgânicas e orgânicas, e é necessário um tratamento rigoroso de seleção antes que possa ser usado” (MAIA, 2003b, p. 185). Assim, normalmente, “uma Cooperativa de Catadores de Materiais Recicláveis compra o caco sujo dos catadores e o revende para firmas especializadas fazerem seu beneficiamento, as quais então vendem o caco já tratado para as fábricas de vidro” (MAIA, 2003b, p. 185).

Extração de Areia - Impactos Socioambientais

A extração de areia é causadora de desequilíbrios ambientais, como na várzea do rio Paraíba do Sul (SP). O substancial impacto causado pelo extrativismo de areia no balanço hídrico do vale do Paraíba do Sul pode ser avaliado a partir da seguinte citação:

A análise das imagens de satélite [sensor TM do Landsat-5 e do sensor ETM+ do Landsat-7] indicou um crescimento da área das cavas de 192% no período analisado (1993 a 2003), enquanto a evaporação da lâmina d’água formada pela extração de areia em cava apresentou um crescimento na evaporação de 203%, no mesmo período. Essa diferença de 11% na proporção do crescimento entre a área das cavas e taxa de evaporação deve-se às variações climáticas ocorridas no período (REIS *et al.*, 2006, p. 395).

O crescimento da área das cavas pode ser visualizado nas figuras 2 e 3 - análise das imagens de satélite realizada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O crescimento de 203% na evaporação ocasionou “impactos nos diversos usos conflitivos, como o abastecimento urbano e o cultivo de arroz irrigado que é uma atividade tradicional na região” (REIS *et al.*, 2006, p. 392).

A grande degradação gerada pela extração de areia entre as cidades de Jacareí e Pindamonhangaba (SP) revelou-se num grave desequilíbrio hídrico, a saber: “a perda de água para a atmosfera em 2003 seria suficiente para abastecer [por um ano] uma cidade com 326.318 habitantes” (REIS *et al.*, 2006, p. 394).

Outro fato relevante reside na formação de crateras, alterando a paisagem da região, fazendo necessária a revegetação, a fim de proteger o solo das radiações ultra-violetas solares e das intempéries ou catástrofes pluviais. Estabelecendo um paralelo sobre os danos causados à natureza, a escritora e bióloga Rachel Carson (2010) descreve um fato de grande significado em que certo juiz cita o protesto de uma senhora idosa contra os planos de pulverização da artemísia, planta

Figura 2: Cavas de areia (em vermelho) - ano 1993. Fonte: INPE.

Figura 3: Cavas de areia (em vermelho) - ano 2003. Fonte: INPE.

medicinal, formulando a seguinte pergunta: “Entretanto, não era o direito dela de procurar um narciso ou um lírio-tigrino tão inalienável quanto o direito de um fazendeiro de procurar pastos, ou de um lenhador de reivindicar uma árvore?” (p. 72- 73). Rachel Carson (2010), ainda complementa: “Os valores estéticos da natureza são nossa herança tanto quanto as veias de cobre e ouro em nossas colinas e as florestas em nossas montanhas” (p. 73).

Nessa mesma direção, segundo Lima (2011):

Politizar a questão e a educação ambientais supõe, portanto, a consideração do educando como portador de direitos e deveres, a abordagem do meio ambiente como bem público e o tratamento do acesso a um ambiente saudável como um direito de cidadania. Contudo, esse processo de conscientização ficaria incompleto se não incorporasse e estimulasse a participação social como uma prática objetiva que

[...] os impactos socioambientais gerados pela extração da areia, como a redução do volume de água para abastecimento urbano/irrigação de plantações de arroz e a formação de crateras podem ser, sim, problematizados durante o processo de ensino-aprendizagem. Assim, as questões sociais e ambientais podem ser abordadas de maneira a favorecer uma visão mais ampla sobre os efeitos gerados pelas atividades antropogênicas, personificadas, neste caso, pelas mineradoras de areia atuantes no Vale do Paraíba.

transforma a consciência cidadã em ação social ou cidadania participante (p. 141).

Nesse sentido, torna-se evidente que a educação ambiental precisa impulsionar a participação cidadã sobre questões ambientais, e “para alcançar seus objetivos, a participação requer organização consciente dos interessados, motivação comunitária e mobilização contínua a fim de resistir aos arbítrios do poder dominante, defender os interesses em questão e o avanço dos direitos já conquistados” (LIMA, 2011, p. 141-142).

Ainda, sobre a formação das crateras, ressalta-se a responsabilidade das mineradoras pela recuperação das reservas minerais expressa pelo artigo 225, parágrafo 2 da Constituição Brasileira de 1988, que determina: “aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica pelo órgão público competente, na forma da lei” (BRASIL, 2015, p. 126).

Sobre a abordagem de questões socioambientais envolvendo a exploração de recursos minerais, Santos *et al.* (2011) fazem o seguinte apontamento:

Sendo assim, é importante que os educadores coerentes com os princípios do ensino de CTS e da EA [Educação Ambiental] propiciem a interpretação das questões socioambientais, tais como as necessidades e desejos na nossa sociedade de consumo; a insustentabilidade de um modelo de “desenvolvimento” que gera uma legião de excluídos, uma das piores faces da degradação ambiental; os conflitos e/ou confrontos que envolvam poderosos interesses econômicos em jogo, como a exploração de recursos minerais ou uso da água enquanto recurso finito e indispensável à vida (p. 146).

Desta forma, os impactos socioambientais gerados pela extração da areia, como a redução do volume de água para abastecimento urbano/irrigação de plantações de arroz e a formação de crateras podem ser, sim, problematizados durante o processo de ensino-aprendizagem. Assim, as questões sociais e ambientais podem ser abordadas de maneira a favorecer uma visão mais ampla sobre os efeitos gerados pelas atividades antropogênicas, personificadas, neste caso, pelas mineradoras de areia atuantes no Vale do Paraíba. Possibilitando estabelecer conexões com as componentes curriculares geografia e sociologia.

Tema Estruturador

A técnica didática para a abordagem do tema aqui exposto

refere-se ao “*Tema Estruturador*”³ destinado ao estudo da produção industrial de materiais. Para tal, os PCNs+ (BRASIL, 2002) apontam:

O estudo da produção industrial de algum material, como um projeto disciplinar, poder ser um exemplo interessante a ser trabalhado no desenvolvimento do **tema estruturador**, pois permite a **integração de vários conhecimentos** tratados nesse tema (p. 109-110, negrito meu).

O “*tema estruturador*” permite a convergência de conhecimentos químicos. Por exemplo, neste artigo, as reações de combustão, decomposição de carbonatos e formação de silicatos foram abordadas e, paralelamente, duas funções inorgânicas, a saber: sais inorgânicos e óxidos com características básicas. Os fatores energéticos foram abordados, possibilitando o estudo de conceitos químicos relacionados à termoquímica. E mais, inseridos num contexto tecnológico propiciando conhecimento químico sobre a produção de vidro plano.

Considerações finais

Um dos grandes desafios para a produção de materiais didáticos é apresentar uma abordagem que promova uma educação científica e tecnológica, contudo esta tarefa não é nada trivial. Concomitantemente, visualizou-se o impacto ambiental gerado pela extração de areia e, assim, no estudo das implicações sociais e ambientais na obtenção de materiais (vidros, metais, polímeros e papel), faz-se necessário analisar as etapas desde os processos de extração/beneficiamento das matérias-primas até os processos físico-químicos para transformação final. Sendo assim, os materiais didáticos podem orientar os docentes nas suas práticas pedagógicas por meio de textos que apresentem os processos químicos industriais e seus impactos sociais e ambientais concomitantemente, com a conceituação científica e a historicidade da ciência e da tecnologia química.

Outro enfoque urgente consiste na necessidade de proporcionar uma educação ambiental sólida, incentivando a interpretação de questões socioambientais. E, assim, proporcionar aos discentes uma leitura mais crítica do mundo que os cerca, especificamente sobre a exploração de recursos naturais.

Sobre a História da Ciência e da Tecnologia Química, torna-se imprescindível ressaltar no processo de

ensino-aprendizagem que as demandas sociais, técnicas e econômicas agem como molas propulsoras para o desenvolvimento da ciência dos materiais.

Agradecimento

Agradeço à CAPES pela bolsa concedida durante o período do mestrado.

Notas

¹ Sobre o Fator Redox, Maia (2003b) explica que o equilíbrio entre o FeO e o Fe₂O₃ pode ser representado pela seguinte equação:

Sendo que “o aumento da temperatura [no forno], os agentes redutores e maiores teores de SiO₂ fazem com que o equilíbrio se desloque para a direita” (p. 135).

² Quanto às impurezas orgânicas e inorgânicas, Maia (2003b) promove a seguinte observação: “Cada tipo de impureza está associada a uma dificuldade técnica na fabricação do vidro: as partículas refratárias (cerâmicas, porcelanas, minerais) diminuem a resistência mecânica do vidro, aumentando o índice de quebra em serviço; as substâncias orgânicas alteram o equilíbrio Redox do banho fundido, podendo causar grandes alterações no processo; os metais e ligas metálicas causam variação de cor e, em alguns casos, contribuem para aumentar o ataque dos refratários do forno” (p. 185).

³ De acordo com os PCNs+, “**tema estruturador** é uma maneira de selecionar e organizar os conteúdos a serem ensinados que permitem o desenvolvimento de um **conjunto de conhecimentos de forma articulada**, em torno de um eixo central com objetos de estudo, conceitos, linguagens, habilidades e procedimentos próprios. Tomando como foco de estudo as **transformações químicas** que ocorrem nos **processos naturais e tecnológicos**” (BRASIL, 2002, p. 93, negrito meu).

Este artigo foi apresentado em uma versão preliminar de onze páginas no XVII Encontro Nacional de Ensino de Química (XVII ENEQ), ocorrido nos dias 19 a 22 de agosto de 2014, em Ouro Preto (MG).

André Ricardo Toquetto (andretoquetto@hotmail.com), licenciado em Química pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre em Educação Científica e Tecnológica (PPGECT) da UFSC. Florianópolis, SC - BR.

Referências

- ALVES, O. L.; GIMENEZ, I. F.; MAZALI, I. O. Vidros. In: *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, vol. 2 - Novos Materiais, maio, 2001, p. 13-24.
- BASTOS, H. B.; MONTANO, P. F. A indústria de vidro plano: conjuntura atual e perspectivas. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 38, p. 265-290, set., 2013.
- BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação

Básica. *Orientações Curriculares para o Ensino Médio- Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Brasília, 2006.

_____. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio*, 1999.

_____. PCNs+ Ensino Médio: *Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais*. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Brasília, 2002.

_____. Constituição da República Federativa do Brasil: texto constitucional promulgado em 5 de outubro de 1988, com as alterações adotadas pelas Emendas constitucionais n.s 1/1992 a 84/2014, pelo Decreto Legislativo n. 186/2008 e pelas Emendas constitucionais de revisão n.s 1 a 6/1994. – 43. ed. – Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2015.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERAMBUCO, M. M. *Ensino de ciências: fundamentos e métodos*. 3. ed., São Paulo: Cortez, 2009.

CARSON, R. *Primavera silenciosa*. São Paulo: Gaia, 2010.

FREIRE, P. *Pedagogia do oprimido*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1975.

KUHN, T. S. *A estrutura das revoluções científicas*. Tradução Beatriz Vianna Boeira e Nelson Boeira. 12 ed. São Paulo: Perspectiva, 2013.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Coordenação Geral de Observação da Terra (OBT-DSR). Análise temporal da mineração na Várzea do Rio Paraíba do Sul - SP no período entre os anos de 1986 e 2003.

LIMA, G. F. C. Crise ambiental, educação e cidadania: os desafios da sustentabilidade emancipatória. In: LOUREIRO, C. F. B.; LAYRARGUES, P. P.; CASTRO, R. S., (orgs.). *Educação ambiental: repensando o espaço da cidadania*. 5. ed. São Paulo: Cortez, 2011, p. 115-148.

MAIA, S. B. *Vidrado na história do vidro*. Ciência Hoje das Crianças. Rio de Janeiro: SBPC, n. 139, p. 18-21, set., 2003a.

_____. *O vidro e sua fabricação*. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2003b.

PAOLI, M. A. Introdução à Química de Materiais. In: *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, vol. 2 – Novos Materiais, maio, 2001, p. 3-4.

PORTO, P. A. História e Filosofia da Ciência no Ensino de

Química: Em busca dos objetivos educacionais da atualidade. In: *Ensino de Química em foco*. SANTOS, W. L. P. (org.); MALDANER, O. A. (org.) Ijuí: Ed. Unijuí, 2011, p. 159-180.

REIS, B. J. et al. *A influência das cavas de extração de areia no balanço hídrico do vale do Paraíba do Sul*. REM: R. Escola de Minas, Ouro Preto, out./dez. 2006, p. 391-396.

SANTOS, W. L. P.; SCHNETZLER, R. P. *Educação em Química: compromisso com a cidadania*, Ijuí: Ed. da Unijuí, 2003.

SANTOS, W. L. P. et al. O Enfoque CTS e a Educação Ambiental: Possibilidade de “ambientalização” da sala de aula de Ciências. In: *Ensino de Química em foco*. SANTOS, W. L. P. (org.); MALDANER, O. A. (org.) Ijuí: Ed. Unijuí, 2011, p. 131-157.

SHRIVER, D. F. et al. *Química Inorgânica*. Tradução: FARIA, R. B. 4ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

SNYDERS, G. *A alegria na escola*. São Paulo: Manole, 1988.

Sites consultados

www.abividro.org.br>. Acesso: fev., 2015.

www.youtube.com/watch?v=BsaHnZeM7oQ. Acesso: outubro, 2015.

Para Saber Mais

ALVES, O. L.; GIMENEZ, I. F.; MAZALI, I. O. Vidros. In: *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, vol. 2 - Novos Materiais, maio, 2001, p. 13-24.

MAIA, S. B. *O vidro e sua fabricação*. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2003.

Abstract: The theme “Flat Glass (Float Technology)” for scientific and technological education. This article aims at contributing to scientific and technological education of middle and high school teachers and students on the theme “Flat Glass (Float Technology)”. The float technology is an important source of study for the subject flat glass since through this process can be studied the historical, social, economic, technological, scientific and environmental factors related to production of this material. The approach to the float technology in this paper is divided into six areas, namely: History of Science and Chemical Technology; Composition mix vitrifiable; Process mix vitrifiable Fusion; Oven Architecture and Chemical Transformation; Glass Molding; and Annealing Gallery. Environmental and socioeconomic factors promoted by sand extraction in the Paraíba Valley region (SP) and glass recycling are also addressed.

Keywords: flat glass, STS education, teaching materials.