

Análise de aspectos de natureza da ciência na minissérie Chernobyl e considerações sobre o uso da minissérie no ensino de ciências

Analysis of aspects of nature of science in the Chernobyl miniseries and considerations about the use of the miniseries in science teaching

Waldemar Victor Martins Silva | Universidade Federal de Viçosa

waldemar.silva@ufv.br

<https://orcid.org/0000-0002-7308-2989>

Eliriane Caroline da Silva | Universidade Federal de Viçosa

elirianecsilva@ufv.br

<https://orcid.org/0000-0002-2498-0491>

Poliana Flávia Maia | Universidade Federal de Viçosa

poliana.maia@ufv.br

<https://orcid.org/0000-0001-9778-4486>

Érica Cristina Gonçalves | Universidade Federal de Viçosa

erica.goncalves@ufv.br

<https://orcid.org/0000-0003-4675-0280>

RESUMO Este artigo apresenta uma análise da minissérie *Chernobyl*, em relação aos aspectos de natureza da ciência (NdC) retratados, discutindo a potencialidade dessa obra no ensino *sobre* ciências. Foi realizada a categorização das áreas e aspectos de NdC à luz do modelo MoCEC v.2, sendo identificadas as seis áreas do conhecimento e 250 aspectos de NdC, destacando a riqueza e o potencial da minissérie para introduzir a discussão desses aspectos no ensino de ciências. Por fim, esse trabalho discute a necessidade de uma alfabetização científica para as mídias na formação dos estudantes e da importância dos conhecimentos de NdC para a compreensão de como um conhecimento científico é desenvolvido e/ou utilizado.

Palavras-chave Chernobyl – natureza da ciência – educação científica para as mídias – acidente nuclear – caso histórico.

ABSTRACT *This article presents an analysis of the miniseries Chernobyl in respect to the aspects of the nature of science (NOS) portrayed, discussing the potential of this work in teaching science. The categorization of areas and aspects of NOS was carried out in the light of the MoCEC v.2 model, which identified six areas of knowledge and 250 aspects of NOS, highlighting the richness and potential of the miniseries to introduce the discussion of these aspects in science teaching. Finally, this work discusses the need for scientific literacy for the media in the training of students and the importance of NOS for understanding how scientific knowledge is developed and/or used.*

Keywords *Chernobyl – nature of science – science education for the media – nuclear accident – historical case.*

Introdução

Um dos mais importantes objetivos do ensino de ciências na atualidade é a promoção da alfabetização científica dos jovens, o que pressupõe o desenvolvimento da criticidade, da capacidade de pensar e se posicionar em situações problemas. Apesar de uma aparente falta de consenso sobre a definição do termo alfabetização científica¹ (Moura, Camel e Guerra, 2020), é possível identificar uma confluência sobre o que promover em termos de conhecimentos e habilidades no contexto do ensino (Ke et al., 2021; Roberts, 2007; Sasseron e Carvalho, 2011), destacando-se a necessidade de promover um ensino que permita a compreensão de como os conhecimentos científicos são construídos e/ou utilizados.

Nessa perspectiva, destaca-se a importância de que estudantes desenvolvam e mobilizem pensamentos críticos a partir de conhecimentos de ciências, tanto empregando conceitos científicos quanto conhecimentos de natureza da ciência (NdC) (Allchin, 2013). Propõe-se, ainda, que esses conhecimentos sejam abordados de forma contextualizada e explícita (Allchin, 2014; Santos, Maia e Justi, 2020), visando contribuir para que estudantes tenham uma visão de ciências como empreendimento humano, integrado e influenciado pela tecnologia e sociedade, fruto das complexas relações que são inerentes a um empreendimento que é social, que envolve “as atitudes e crenças desses cientistas, os processos que eles usam, a comunidade da ciência” (Irez, 2006, p. 1114). Nesse sentido, ao longo da próxima seção iremos apresentar uma discussão centrada nas abrangências de algumas teorias e modelos relacionados à inserção da NdC no ensino de ciências, bem como suas limitações teórico-práticas debatidas por alguns pesquisadores da área.

Para o desenvolvimento de conhecimentos de NdC dos estudantes, Allchin (2014) destaca a potencialidade do uso de casos históricos, especialmente quando eles estão associados a questões sociocientíficas, que demandam o emprego de conhecimentos relacionados à ciência de forma crítica, para analisar tais casos e tomar decisões (ou posicionamentos) pessoais e/ou sociais, de maneira consciente.

1 Nesse trabalho partilhamos das finalidades almejadas com a educação científica apresentadas por trabalhos que adotam as expressões “enculturação científica” e “letramento científico”, contudo, adotamos a expressão alfabetização científica por esta ser amplamente empregada nos artigos de pesquisa da área de educação em ciências e por considerarmos, em acordo com a perspectiva freiriana, o termo alfabetização em um sentido mais amplo de leitura e transformação do mundo (Sasseron e Carvalho, 2011).

A abordagem de casos históricos pode ser realizada a partir do uso de filmes, especialmente documentários, que retratam aspectos de empreendimentos científicos e contribuem para a discussão de aspectos de NdC (Kapucu, Cakmakci, Aydogdu, 2015; Stubna, Hostovecky, Tothova, 2014). Promovendo a reconstrução do passado, os filmes possibilitam revisitar os eventos ocorridos ou imaginados (Oliveira, 2005). A utilização de produções cinematográficas no ensino é também um meio de popularização da ciência, visto que tais produções levam o debate de assuntos científicos para além dos laboratórios e, em algumas obras, tratam de assuntos históricos que permitem a compreensão da construção destes conhecimentos. Devemos considerar, ainda, que a facilidade de acesso e, ao mesmo tempo, o interesse dos alunos em filmes é um ponto que deve ser considerado para explorar a potencialidade desse recurso para o ensino, dado o engajamento emocional que ele proporciona (Santos e Aquino, 2011). Em contrapartida, algumas limitações acerca do uso desse recurso demandam cautela, como é o caso das pseudo-histórias ligadas à ciência, ou seja, uma situação em que os fatos selecionados estão enviesados, conferindo ao caso histórico uma visão deturpada sobre a NdC (Allchin, 2003). Para Allchin, essa é uma situação em que normalmente as “histórias romantizam cientistas, inflam o drama de suas descobertas e simplificam demais o processo da ciência” (Allchin, 2004, p. 179).

Além disso, o uso de filmes no ensino de ciências pode contribuir para o que tem sido nomeado como educação científica para a mídia, a qual “ensina as pessoas sobre as condições institucionais, culturais e econômicas da mídia, para que elas possam escolher, compreender, avaliar e responder de forma eficaz às representações da ciência em diversos gêneros de mídia” (Reid e Norris, 2016, p. 148). De acordo com Reid e Norris (2016), a educação científica para a mídia² é um componente da alfabetização científica, pois o desenvolvimento dessa visão crítica sobre o retrato da ciência na mídia envolve conhecimentos de epistemologia da ciência e conhecimentos científicos em si.

Em acordo com a perspectiva apresentada, esse trabalho teve por objetivo identificar e discutir aspectos de NdC presentes implicitamente na minissérie *Chernobyl*, destacando os contextos sociais e políticos da época e outros aspectos relevantes sobre o próprio contexto da história do acidente, que podem subsidiar uma visão mais crítica para a abordagem do caso histórico no ensino de ciências (Chernobyl, 2019).

A escolha por trabalhar com a minissérie *Chernobyl* se justifica por essa produção ter sido bem recebida pela crítica mundial, contribuindo para divulgar o acidente no reator nuclear que ocorreu na Ucrânia, em 1986, em período histórico marcado pela Guerra Fria e pelo desenvolvimento do potencial nuclear de diversas nações, tanto no campo energético quanto bélico. A minissérie consiste em um drama que, apesar da liberdade de criação de uma mídia com principal função de entretenimento, apresenta uma narrativa que buscou reproduzir com fidelidade diversos eventos relacionados ao acidente, apoiada em relatos verídicos e livros com relatos históricos. O acidente de Chernobyl, considerado o maior em reatores nucleares, mudou os rumos do uso da energia nuclear no mundo e sua abordagem no ensino traz a oportunidade de reflexões que relacionam o conhecimento científico com aspectos sociais, políticos, econômicos,

2 A alfabetização midiática é destacada pela Unesco como um objetivo da educação global para a cidadania (Unesco, 2015). Na área de educação em ciências, diversos autores (como Hodson, 2014a e b; Höttecke e Allchin, 2020; Reid e Norris, 2016) destacam a necessidade de promover essa alfabetização midiática na área de ciências (*science media literacy*, que traduzimos aqui como alfabetização científica midiática), o que compreende o desenvolvimento do conhecimento de e sobre ciências, integrado ao desenvolvimento da criticidade para julgar as fontes e as informações que são disponibilizadas nas diversas mídias.

culturais e ambientais, o que pode contribuir de forma contextualizada para a alfabetização científica (Cross, Zatspein, Gavrilenko, 2000).

Assim, buscamos responder às seguintes questões de pesquisa: Quais aspectos de NdC podem ser identificados na minissérie *Chernobyl*? Como esses aspectos podem ser analisados no sentido de contribuir para o desenvolvimento da compreensão sobre a construção e aplicação do conhecimento científico? Como é possível abordar a minissérie *Chernobyl* de forma a contribuir para a alfabetização científica midiática?

A partir das respostas a essas questões, espera-se promover, além de uma análise da minissérie à luz de referenciais de NdC adotados nessa pesquisa (com foco nas potencialidades da obra para promover discussões no ensino), uma discussão sobre a alfabetização científica midiática, de forma a considerarmos criticamente o uso de produções midiáticas para o estudo de casos históricos relevantes na história das ciências e da sociedade. Logo, a intenção dessa pesquisa é proporcionar caminhos para que o professor possa se apropriar do uso da minissérie, com intuito de introduzir aspectos de NdC, conduzindo um processo de ensino que valorize o estabelecimento de visões mais amplas sobre ciências.

Natureza da ciência e o modelo de ciências para o ensino de ciências

Atualmente, pesquisadores de todo o mundo têm destacado a importância da inserção de conhecimentos de NdC no ensino (Allchin, 2011; 2014; 2017; Dagher e Erduran, 2016; Irzik e Nola, 2011; Lederman et al., 2002; Martins, 2015; Moura, 2014; Moura, Camel e Guerra, 2020; Peduzzi e Raicik, 2020; Santos, Maia e Justi, 2020). Mesmo com diferenças em relação à definição que esses autores assumem para NdC, e ainda, diferenças nos caminhos propostos para a promoção de sua aprendizagem, é consenso a importância de um ensino de ciências que possa favorecer uma melhor compreensão sobre os processos de construção, validação e comunicação do conhecimento científico. Muitos desses autores destacam, ainda, que NdC deve ser abordada de forma contextualizada e explícita, isto é, esse conhecimento deve ser abordado em seu contexto de produção, com abordagens que objetivem reflexões explícitas sobre os caminhos e processos da ciência (Allchin, 2011).

O desenvolvimento de conhecimentos de NdC, nessa perspectiva, tende a contribuir para a promoção da alfabetização científica dos estudantes à medida que pode levá-los a pensar criticamente sobre o processo de produção científica e suas diversas influências e relações com toda a sociedade e tecnologia. Para tanto, faz-se necessário compreender e investigar a NdC no contexto de ensino, contribuindo para a compreensão, sistematização e implementação dessa abordagem. Nesse sentido, alguns modelos teóricos têm sido propostos como, por exemplo, o modelo amplamente conhecido como visão consensual (VC), que tem sido o mais citado entre os trabalhos relacionados a NdC (Moura, Camel e Guerra, 2020), especialmente aqueles que têm como referência documentos educacionais norte-americanos (Martins, 2015). Mesmo tendo sido um modelo muito citado e usado como referencial em diversos trabalhos, cabe ressaltar que o mesmo também recebe diversas críticas sobre sua estrutura teórica e prática, quando comparado com os modelos mais atuais que apresentam uma visão mais ampla de ciências (Azevedo e Scarpa, 2017).

A VC baseia-se em um conjunto de afirmações, baseadas em consensos entre especialistas, que visam caracterizar a natureza do empreendimento científico, os quais podem ser abordados em diferentes níveis de profundidade e complexidade com os estudantes (Lederman et al., 2002). Tais afirmações subsidiaram a elaboração de diversos testes para avaliação do conhecimento de NdC de professores e estudantes. Contudo, a natureza declarativa dessas proposições e dessas avaliações, junto às limitações dos aspectos propostos, têm sido criticados por outros autores, como Allchin (2011) e Irzik and Nola (2011). Alguns dos pontos mais criticados nesse modelo é o reducionismo da visão da ciência expressa a partir apenas dessas afirmações, a limitação de caracterizar todas as ciências com esses mesmos princípios e, ainda, o fato de a VC não incluir o processo de investigação científica como um aspecto na caracterização da NdC (Martins, 2015).

Outros modelos teóricos têm sido desenvolvidos tentando considerar uma perspectiva mais ampla para a caracterização da ciência e seus processos. Um exemplo é o modelo de perfil de dimensões de confiabilidade da ciência (PDCC) (Allchin, 2011). Allchin (2011) e trabalhos posteriores (Allchin, 2012; 2013; 2017) apresentam categorias epistêmicas funcionais, não com o intuito de resumir os conhecimentos sobre ciências a uma lista de princípios, mas sistematizando um conjunto de dimensões sobre como a confiabilidade é alcançada na ciência e como o conhecimento científico se desenvolve. O objetivo deste modelo é proporcionar aos estudantes o desenvolvimento do conhecimento de práticas científicas, permitindo que eles utilizem o conhecimento científico para se posicionarem de forma crítica e reflexiva sobre questões pessoais, sociais, políticas e econômicas. A ideia desse modelo é que os estudantes compreendam como o conhecimento científico é construído, possibilitando que desenvolvam a percepção da ciência de forma integral, entendendo quais os fatores que influenciam no seu desenvolvimento, percebendo ainda que o conhecimento científico é um processo empírico, histórico, cultural, entre outros (Allchin, 2011).

Em outro modelo teórico, o modelo de semelhança de família, *family resemblance approach* (FRA) (Irzik e Nola, 2011), as características das ciências são comparadas às semelhanças que membros de uma família apresentam entre si, apesar de serem diferentes em outros aspectos. Tendo em vista essa ideia, as várias ciências individuais compartilham características entre si, que não são, porém, suficientes para uma definição e caracterização única da ciência. Assim, "se pensarmos nessas características como candidatas à definição de ciência, nenhuma definição necessária e suficiente estaria disponível" (Irzik e Nola, 2011, p. 596). Tal modelo permite abordar a estrutura da ciência e seus aspectos gerais, identificando características semelhantes e diferentes de cada área, promovendo uma visão ampla da ciência e de sua diversidade.

Mais recentemente foi publicado, por pesquisadores brasileiros, o modelo de ciências para o ensino de ciências v.2 (MoCEC v.2) (Santos, Maia e Justi, 2020). Esse modelo apresenta uma descrição da NdC baseada nas áreas de conhecimento a partir das quais é possível construir uma compreensão sobre a ciência. Tais áreas constituem diferentes formas de se olhar e analisar as ciências, de acordo com seus objetos de estudo. Ainda, dentro de cada área há o detalhamento de possíveis aspectos de NdC relacionados a cada uma delas. Esse modelo busca fornecer uma visão de integração entre as diferentes visões proporcionadas por cada uma das áreas, destacando a possibilidade de que sejam feitas várias leituras do conhecimento científico, a partir de uma determinada área ou a partir de uma combinação dessas visões, sem que exista uma estrutura rígida para analisar a ciência. Assim, é possível lançar múltiplos olhares sobre o conhecimento científico, o que possibilita visualizar diferentes aspectos de sua construção.

Além de buscar proporcionar certa flexibilidade e, ao mesmo tempo, uma integração de diferentes visões para a compreensão da construção do conhecimento científico, o MoCEC v.2 vem contribuir para a discussão sobre “como” inserir os conhecimentos de NdC nos contextos de ensino, pois esse modelo apresenta orientações e descritores que subsidiam a prática docente na compreensão e abordagem de aspectos da NdC. As descrições das áreas e aspectos das ciências são apresentadas de forma clara e didática, o que contribui para a compreensão mesmo de pessoas que não conhecem com profundidade a epistemologia da ciência.

No MoCEC v.2, seis grandes áreas de conhecimento (a saber: filosofia, psicologia, antropologia, sociologia, economia, história) são apresentadas associadas, cada uma delas, a aspectos dessas áreas, totalizando seis áreas, com 37 aspectos, ao todo, com a possibilidade de reconhecimento de novas áreas. Por exemplo, a área filosofia da ciência, apresenta os aspectos: (i) epistemologia do conhecimento, que considera uma metanálise dos processos gerais de investigação; (ii) ética, relacionada aos valores éticos e morais envolvidos no processo de produção e uso do conhecimento científico; e (iii) lógica, que envolve os caminhos de pensamento próprios da ciência.

Dessa forma, cada uma das áreas apresentadas permite a análise da ciência e/ou seu contexto de produção sob diferentes perspectivas, podendo ser abordados um ou diversos aspectos, de uma ou mais áreas, no contexto de ensino. Dessa forma, o modelo pode auxiliar o planejamento de ensino por orientar em relação às diversas características e olhares sobre a ciência, ao mesmo tempo em que não precisa ser exaustivo.

Mesmo considerando que os modelos PDCC (Allchin, 2011) e FRA (Irzik e Nola, 2011) são bastante amplos em relação à caracterização da NdC, esse trabalho foi orientado a partir do MoCEC v.2, escolha essa que ocorreu especialmente pela clareza de descrição do modelo, dos aspectos apresentados nele e, especialmente, por esse modelo buscar uma perspectiva mais didática para ser usado na formação de professores. Além disso, ele constitui uma ferramenta que pode ser empregada no processo de análise de manifestações relacionadas a NdC (Santos, Maia e Justi, 2020).

O caso histórico³ de Chernobyl

O período da Guerra Fria foi marcado por uma intensa disputa entre duas superpotências, de um lado os Estados Unidos da América comandavam o bloco capitalista, do outro a União das Repúblicas Socialistas Soviéticas liderava o bloco socialista. O conflito se desenvolveu nas mais diversas áreas, como na militar, econômica, cultural e científica. Foi nesse mesmo contexto de polarização entre essas grandes potências que ocorreu o acidente de Chernobyl.

A Usina Atômica Vladimir Ilyich Lênin, mais conhecida como Usina de Chernobyl, carrega consigo a aterrorizante história do maior acidente nuclear já registrado no mundo. Essa usina, que

3 O caso histórico é apresentado nesse trabalho com o propósito de situar o leitor em relação aos principais eventos antes, durante e após o acidente de Chernobyl, seguindo uma cronologia de dados e informações que a minissérie também apresenta. Buscando minimizar os possíveis vieses ao longo da elaboração do caso, também nos referenciamos em textos de autores russos e ucranianos (respectivamente, Aleksévitch, 2016; Ploky, 2018), uma vez que a narrativa ocidental do acidente, por vezes, apresenta estereótipos carregados de preconceitos em relação à antiga União Soviética ou seus membros. Ainda assim, a impossibilidade de acesso, seja pela língua ou pelo sigilo de documentos originais, agravam as limitações para a construção de uma narrativa neutra.

começou a ser construída em 1972, na Ucrânia, foi financiada por um investimento elevado do governo soviético, impulsionando uma revolução energética nos estados soviéticos. Construída paralelamente à usina de Chernobyl, a cidade Pripriyat foi construída a apenas 3 quilômetros dessa, sendo a nona Atomograd⁴ soviética, destinada a alojar os mais de 50 mil operadores e suas famílias, construtores e equipes auxiliares do projeto energético (Leatherbarrow, 2016). A localização de Chernobyl é estratégica em relação à proximidade dos rios Pripriyat e Dnieper (que forneciam água para o funcionamento da usina), proximidade com a linha férrea e pela distância da capital Kiev (considerada uma distância segura de aproximadamente 150 quilômetros).

Os reatores usados em Chernobyl consistiam em tecnologia totalmente soviética, denominados "Reaktor Bolshoy Moshchnosti Kanalnyy" (RBMK), ou seja, "Reatores de Alta Potência tipo Canal". O diretor do projeto dos reatores RBMK era o presidente da Academia de Ciências Soviética, Anatolii Aleksandrov, que afirmava de forma contundente que o reator RBMK era "tão seguro quanto uma chaleira" e que era "impossível de explodir" (Plokyh, 2018, posição 388). Associada à reafirmada segurança dos reatores RBMK, essa tecnologia era mais barata (para construir e operar) e produzia mais energia do que outros modelos usados à época.

Durante a construção de Chernobyl, inúmeros problemas ocorreram, como má qualidade da matéria-prima, materiais fora das especificações e até mesmo falta de materiais. Além desses problemas, o próprio projeto foi executado sem elementos de segurança, como o escudo metálico chamado vaso de pressão (praticamente inquebrável) e uma barreira com vários metros de espessura de aço ou concreto, conhecida como edifício hermético de contenção (que poderia conter vazamentos em caso de acidente) (Alekslévitch, 2016; Leatherbarrow, 2016).

A URSS era um dos doze membros da Agência Internacional de Energia Atômica, e desde 1957, era obrigada a comunicar qualquer acidente nuclear que ocorresse dentro de suas fronteiras. "Mas das dezenas de acidentes perigosos que ocorreram em complexos nucleares da URSS nas décadas seguintes, nenhum foi alguma vez reportado à IAEA" (Higginbotham, 2019, p. 47-48), inclusive um acidente que ocorreu na Unidade 1 de Chernobyl em 9 de setembro de 1982, quando houve um derretimento parcial do núcleo dessa unidade. Desta forma, ao longo de 30 anos, o mundo foi levado a acreditar que a URSS possuía a supremacia na indústria nuclear, considerando-a como a mais segura.

Na véspera do acidente (25 de abril de 1986), foi programado o teste de um dispositivo de segurança no reator 4 de Chernobyl, que simularia a capacidade do dispositivo em tornar a unidade autossuficiente em uma queda total de energia. Para isso, os funcionários do turno diurno seriam os responsáveis e estavam devidamente preparados para a sua execução. No entanto, os controladores da rede elétrica de Kiev pediram ao engenheiro-chefe da usina, Nikolai Fomin, que adiasse o teste até que passasse o horário de pico do consumo de energia elétrica. O atraso do teste foi o suficiente para que apenas os funcionários do turno noturno o fizessem, sem que esses tivessem sido informados ou orientados sobre os procedimentos necessários. O teste foi supervisionado pelo engenheiro-subchefe da usina, Anatoly Dyatlov, que orientava Aleksandr Akimov, chefe do turno da noite, e Leonid Toptunov, um engenheiro jovem com poucos meses de experiência na usina. No decorrer do teste o caos foi instaurado de maneira indiscriminada, vindo à tona uma série de erros técnico/operacionais que levaram ao funcionamento do reator em condições extremas de instabilidade, as quais foram impossíveis de serem controladas (Leatherbarrow, 2016, p. 59-76).

4 Atomograd é uma palavra russa que significa "cidade atômica".

Às 01:23:46, do dia 26 de abril, houve a ruptura do vaso do reator da Unidade 4 de Chernobyl, liberando quase sete toneladas de combustível de urânio, juntamente com pedaços das barras de comando, canais de zircônio e blocos de grafite que foram pulverizados e aspirados para a atmosfera, "formando uma mistura de gases e aerossóis com radioisótopos, incluindo iodo 131, neptúnio 239, cézio 137, estrôncio e plutônio 239" (Higginbotham, 2019, p. 88). Outras 25 a 30 toneladas de grafite altamente radioativos foram projetadas do núcleo e espalhadas pelos arredores da Unidade 4.

Na época, não existia um plano de emergência para a eventualidade de um acidente nuclear. A princípio, o acidente não foi identificado como o rompimento do núcleo do reator, e as pessoas de Pripjat seguiram sua rotina normalmente. A falta de comunicação e de um protocolo de segurança eficaz ocasionaram um atraso irreparável na contenção da contaminação e no reassentamento da população, que foi evacuada de Pripjat apenas dois dias depois do acidente (Leatherbarrow, 2016). Todas essas decisões foram tomadas após discussões da comissão especial do governo, que reunia personalidades importantes da comunidade científica e funcionários do partido comunista da URSS, com o único objetivo de traçar soluções para os problemas causados pelo acidente. As influências do governo sobre a comissão foram fortes, já que as ameaças pela KGB⁵ e a ideia do máximo acobertamento dos fatos eram recorrentes para com os membros da comissão, prejudicando significativamente na proposição de ações mais imediatas e eficazes.

É importante frisar que a atitude de não divulgar o vazamento radioativo precisa ser vista pela lente do contexto de conflito da Guerra Fria. Qualquer acidente seria amplamente utilizado pelos adversários na propaganda contra o governo soviético. Embora a URSS estivesse passando por um processo de abertura política e reformas econômicas conduzido por Mikhail Gorbachev desde sua chegada ao poder, em 1985, o clima da Guerra Fria ainda dava o tom nos ventos políticos do regime comunista (Lewin, 1991; 2007). Além disso, vazamentos em usinas nucleares ocorreram também em países do bloco capitalista, como em Three Mile Island, em 1979, nos Estados Unidos, sem a devida divulgação das causas e da dimensão do acidente (Leatherbarrow, 2016).

O acidente de Chernobyl foi devastador. Medidas de limpeza extremas tiveram que ser tomadas, como: aterrar e sepultar diversas vilas e florestas, matar animais silvestres e domésticos, lavar as ruas e carros no processo de evacuação, entre outras medidas que exigiram a participação de aproximadamente 840 mil homens, mulheres e militares (conhecidos à época como liquidadores) que se expuseram aos mais variados níveis de radiação, principalmente como biorrobôs na limpeza dos destroços de grafite no teto do reator da Unidade 4 (Higginbotham, 2019; Leatherbarrow, 2016). Além disso, a nuvem se estendeu por grande parte do continente europeu, chegando a ser detectada em países como Inglaterra e Finlândia.

Atualmente, a Unidade 4 de Chernobyl está coberta por um sarcófago metálico de confinamento, inaugurado em 2016. Anteriormente, logo após o acidente, o prédio foi envolvido por uma estrutura de concreto, que serviu de base para a instalação da estrutura atual. Ainda hoje a cidade de Pripjat é considerada uma zona de exclusão, possuindo altos níveis de radiação. Apesar de apenas dois funcionários terem morrido no dia do acidente, 28 funcionários e bombeiros morreram nos dias ou meses seguintes, em função da contaminação por radiação. O número estimado de pessoas atingidas pelo acidente chega a 2 milhões, sendo que mais de

5 Era o principal comitê de inteligência e organização de serviços secretos da União Soviética (URSS).

500 mil já morreram. Dos que participaram da limpeza, aproximadamente 35 mil morreram nos anos seguintes. Consequências à saúde, principalmente câncer de tireoide, ainda são identificadas e contabilizadas atualmente.

O acidente de Chernobyl, além de marcar a URSS politicamente,⁶ é ainda considerado o maior acidente, por falha humana, do uso de energia nuclear para fins pacíficos. Abordar esse acidente no contexto de ensino de ciências suscita grandes discussões sobre o uso dessa tecnologia, o desenvolvimento científico e tecnológico e a segurança e o meio ambiente. A minissérie Chernobyl retrata esse cenário controverso, repleto de momentos que explicitam como um conhecimento científico pode ser influenciado e utilizado em uma situação real, que neste caso, retrata um fato histórico.

Metodologia

Considerando o objetivo desse trabalho de identificar e categorizar os aspectos de NdC presentes na minissérie *Chernobyl*, inicialmente, todos os autores estudaram o referencial de análise, sendo discutidos os significados das áreas e dos aspectos do modelo MoCEC v.2 (Santos, Maia e Justi, 2020), que foram usados nesse trabalho como categorias e subcategorias de análise. O uso desse modelo como ferramenta de análise visa, ainda, viabilizar a interlocução com professores, em discussões sobre a introdução de aspectos de NdC no ensino, bem como com outras pesquisas que usem o mesmo referencial (Maia, Justi e Santos, 2021).

Após a discussão das categorias e subcategorias de análise a partir do MoCEC v.2, os autores iniciaram o processo de análise assistindo, separadamente, a toda a minissérie (cinco episódios de cerca de 60 minutos, cada), identificando momentos da mídia que evidenciavam elementos relacionados a NdC. Os tempos identificados para a análise seguiram o padrão dos episódios transmitidos pela HBO (produtora e emissora da minissérie), para que não houvesse nenhuma divergência quanto às demarcações de tempo. Os trechos identificados foram descritos e/ou transcritos para uma planilha única, sendo analisados individualmente por cada pesquisador, que categorizou cada um em termos de áreas e dos aspectos presentes, podendo haver mais de uma área e/ou aspecto em cada trecho analisado. Na sequência, em um processo de triangulação entre juízes (Cohen, Manion e Morrison, 2018), as análises individuais foram conferidas em conjunto e as divergências foram discutidas até o estabelecimento de consenso, à luz do referencial de análise. Sempre que necessário, os pesquisadores retornaram às cenas, buscando compreender o significado de cada trecho no contexto mais amplo da obra. Os trechos selecionados para a análise incluíram tanto eventos apresentados na minissérie e falas dos personagens, quanto elementos que compõem o contexto histórico do evento. Em outras palavras, a análise dos aspectos de NdC explícitos no relato foi complementada pela análise de aspectos implícitos, referentes a acontecimentos políticos e econômicos da época que eram necessários para a compreensão dos eventos apresentados na produção.

Ao final do processo de categorização dos trechos, a quantificação da análise foi apresentada em um gráfico (Figura 1), que permitiu avaliar a recorrência de determinadas áreas e aspectos, subsidiando a discussão sobre como a NdC é contemplada na minissérie. A próxima

6 O próprio chefe de Estado à época, Mikhail Gorbachev, afirmou que o acidente de Chernobyl foi a verdadeira causa do colapso da União Soviética cinco anos depois.

seção apresenta a análise geral do processo, de forma quantitativa, com discussão dos aspectos identificados na análise a partir da seleção de exemplos significativos, que visam favorecer uma melhor compreensão do processo de análise e das contribuições da minissérie para a abordagem de aspectos de NdC.

Discussão dos resultados

Foram selecionados 139 trechos para análise, que foram descritos e/ou transcritos (no caso de diálogos). Alguns dos trechos retratavam mais de um aspecto de NdC, o que implica na identificação de um maior número de aspectos do que de trechos.

Durante a categorização, quando mais de um evento apresentava a mesma informação (ou seja, quando um mesmo evento ou ideia era apresentado em mais de um trecho), o aspecto de NdC foi contabilizado apenas no primeiro evento. Por exemplo, se um cientista específico apresentava determinada característica da personalidade que interferiu no uso ou desenvolvimento do conhecimento científico em questão, o aspecto *personalidade*, da área psicologia, foi identificado apenas na primeira manifestação da minissérie.

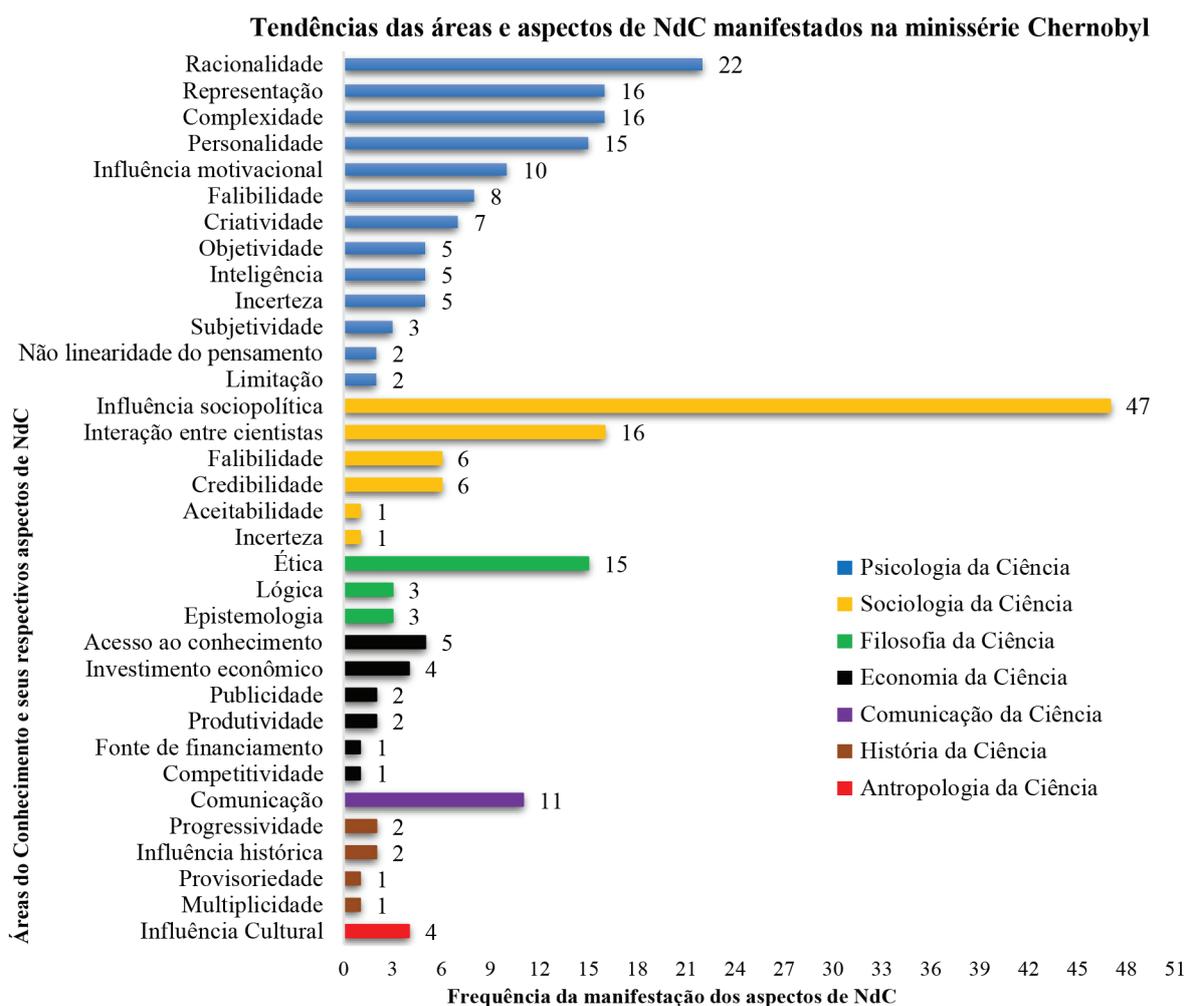


Figura 1: Áreas do conhecimento e aspectos de NdC manifestados na minissérie *Chernobyl*.

Elaborado pelos autores.

No total, foram identificadas 250 ocorrências de aspectos de NdC, sendo identificados 33 dos 37 aspectos descritos no MoCEC v.2, em todas as seis áreas de conhecimento. Além desses, esse trabalho identificou a presença de aspectos que podem ser classificados dentro de uma nova área de conhecimento, a qual denominamos “comunicação”. A indeclinável necessidade de fazer essa categorização será explicada mais adiante nessa discussão. Os aspectos estiveram distribuídos da seguinte forma: 116 da psicologia da ciência, 77 da sociologia da ciência, 21 da filosofia da ciência, 15 da economia da ciência, 11 da comunicação da ciência, 6 de história da ciência e 4 da antropologia da ciência. A Figura 1 apresenta a distribuição desses aspectos, de acordo com cada uma das áreas do MoCEC v.2 (Santos et al., 2020).

A identificação de aspectos nas seis áreas de conhecimento indica a riqueza da minissérie na abordagem do “fazer científico” e de suas relações com os contextos que permeiam essa construção. Assim, essa minissérie pode ser considerada de grande potencial para auxiliar na abordagem e discussão de aspectos diversos de NdC em contextos de ensino. Destaca-se na análise a recorrência do aspecto influência sociopolítica, o que está em acordo com o contexto de ocorrência da catástrofe, pela grande influência da Guerra Fria e pelo autoritarismo do Estado soviético, o que será discutido em relação à área sociologia da ciência.

A seguir, apresentamos a discussão dos principais aspectos identificados na análise, organizados de acordo com a frequência de ocorrência dos mesmos, por área. Em seguida, apresentamos uma apreciação sobre aspectos relativos a uma nova área que poderia ser inserida ao MoCEC v.2.

É importante considerar que a apresentação dos resultados foi organizada por áreas por acreditarmos que essa forma contribui para explicitar os critérios de análise e o sentido de cada categoria/aspecto do modelo empregado, contudo não é possível romper com as interlocuções entre as áreas e seus respectivos aspectos de NdC, previstos no MoCEC v.2. Como é explicitado no próprio modelo, os aspectos de NdC não ocorrem de forma isolada. Tais aspectos se apresentam, muitas vezes, intrinsecamente relacionados a outros, uma vez que um mesmo evento pode ser analisado à luz de várias áreas do conhecimento, ao mesmo tempo, de forma complementar, na perspectiva de promover uma visão mais ampla *sobre* ciência. Dessa forma, mesmo na discussão promovida dentro de cada área, esse artigo apresenta interlocuções entre diferentes áreas e aspectos de NdC, explicitando como um mesmo evento/acontecimento, representado na minissérie, pode estar associado a diferentes aspectos que, muitas vezes, ocorrem de forma imbricada e até indissociável.

Psicologia da ciência

Aspectos da área psicologia da ciência foram identificados com maior frequência (116 ocorrências). Essa área busca compreender como o cientista constrói relações cognitivas e atua durante os processos de produção e uso de conhecimentos científicos (Santos, Maia e Justi, 2020). Sob a lente do ensino de ciências, essa área contribui para que estudantes ressignifiquem o papel de cientistas nos processos de construção e/ou uso de conhecimentos científicos, visto que os aspectos que a constituem abordam, por exemplo: (i) as dificuldades, erros e limitações que um cientista pode vivenciar; (ii) as influências pessoais e externas que podem ou não motivá-lo; (iii) os caminhos que o cientista utiliza para pensar e agir com razão e raciocínio lógico;

(iv) os modos dos quais o cientista se apropria para apresentar e justificar suas hipóteses e conhecimentos produzidos; (v) as características intrapessoais que definem um cientista e que influenciam seu comportamento no exercício da ciência, ou seja, sua personalidade. A análise de alguns aspectos relativos a essa área traz interlocuções com outras áreas, como a filosofia da ciência. Por exemplo, ao analisar os caminhos que o cientista utiliza para pensar e agir com razão e raciocínio lógico, é indissociável a relação da dimensão cognitiva pessoal do cientista com a dimensão epistemológica da própria ciência, isto é, o conhecimento do cientista em relação aos conceitos, métodos e processos da ciência sustenta suas decisões pessoais durante o processo científico. Da mesma forma, os modos que o cientista emprega para apresentar e justificar suas hipóteses e conhecimentos produzidos, como ocorre no aspecto *representação* (da psicologia da ciência), são indissociáveis da dimensão sociológica, relacionada ao aspecto *aceitabilidade* (da sociologia da ciência), uma vez que, no processo de elucidação de suas ideias, o cientista objetiva que essas sejam validadas pelos pares. Ainda, o aspecto *representação* pode ser visto associado aos *investimentos econômicos* (aspecto da área economia da ciência), uma vez que o empreendimento científico demanda recursos financeiros e a apresentação de resultados interfere diretamente nesse processo.

Voltando o foco à psicologia da ciência, elementos que evidenciam aspectos dessa área do conhecimento podem favorecer uma visão ampla sobre a ciência e da influência de questões intrapessoais, desmistificando a ideia de um cientista gênio trabalhando sozinho (Araújo, Oliveira e Neto, 2021). Nessa minissérie, esses elementos são amplamente retratados pela determinação dos cientistas, representados principalmente pelos personagens Legasov⁷ e Ulana,⁸ as tensões que vivenciam, entre suas convicções e as limitações impostas pelo contexto político da época, seus momentos de dúvida e medo frente à complexidade da catástrofe, e o compromisso em se envolver com soluções para mitigar as consequências do acidente.

Dessa forma, a área da psicologia da ciência apresenta ferramentas que podem auxiliar os estudantes a perceber dimensões que são intrínsecas aos cientistas, que normalmente não fazem parte do contexto de ensino, o que se deve, aliás, às narrativas objetivas em relação aos produtos da ciência.

Nessa área, um aspecto identificado de forma mais recorrente é a *racionalidade*; identificada nos momentos em que os raciocínios empregados pelos cientistas e suas bases conceituais foram explicitados, demonstrando como o cientista pensa e baseia suas ações em um corpo de conhecimentos previamente estabelecido e com fundamento lógico.

O evento selecionado para representar a *racionalidade* surge no contexto da seguinte questão: como vamos apagar o fogo causado pela explosão do reator nuclear? Tal problema começa a ser solucionado quando o coronel-general Pikalov usa um dosímetro para medir os reais níveis de radiação que estavam sendo liberados após a explosão, identificando níveis de radiação eram extremamente elevados (equivalente à radiação emitida por duas bombas atômicas de Hiroshima a cada hora de exposição). Nesse momento, o professor Legasov é questionado pelo general Shcherbina (responsável pelo gerenciamento das ações para lidar com o acidente):

7 Valery Legasov foi um cientista físico-químico russo que participou da comissão para contenção do acidente de Chernobyl.

8 Ulana é uma personagem fictícia, criada para representar centenas de cientistas, homens e mulheres, que participaram da comissão responsável por lidar com as consequências do desastre. Na série, essa personagem possui grande determinação e conduz, em certo momento, investigações sobre acidentes nucleares anteriores e sobre o projeto de Chernobyl, sem o consentimento do Kremlin.

Shcherbina: Como podemos apagá-lo?

Pikalov: Usamos os helicópteros. Jogamos água, como na floresta.

Legasov: Não, você não entende. Isso não é um incêndio. É um núcleo de reator em fissão, queimando a uns dois mil graus. O calor vaporizará a água instantaneamente.

Shcherbina: E como apagamos?

Legasov: [...] Boro e areia. Vai criar outros problemas, mas não vejo outra opção. Vão ter que despejar milhares de vezes, porque não se pode sobrevoar diretamente o núcleo. Então a maioria vai errar.

Shcherbina: Quanta areia e boro?

Legasov: É difícil.

Shcherbina: Mais ou menos?

Legasov: Cinco mil toneladas. Obviamente temos que evacuar uma área enorme (Chernobyl, 2019, episódio 2, no tempo 29min42s).

Nesse diálogo a *racionalidade* é manifestada quando o professor discorda da proposta de Pikalov e utiliza de conhecimentos científicos específicos (propriedades físicas da água e conhecimentos sobre fissão nuclear) para justificar seus argumentos. Para além da *racionalidade*, também podemos utilizar a *subjetividade* para explicar que a escolha pelo boro e areia é feita diante de concepções e conhecimentos prévios que podem divergir das de outro indivíduo. Esse trecho evidencia como um cientista toma decisões conscientes diante de relações cognitivas que o fazem construir uma estrutura de pensamento racional e lógica, para explicar, justificar ou propor soluções no desenvolvimento e/ou uso de conhecimentos científicos. Ao mesmo tempo, pode-se identificar o aspecto *incerteza*, pois o cientista também apresenta dúvidas e inseguranças, especialmente diante de uma situação tão nova, complexa e de tão grandes proporções. Ademais, apesar dessa análise com foco na dimensão psicológica do indivíduo, não podemos eximir que a solução apresentada pelo cientista advém de suas concepções e valores, que evocam aspectos epistemológicos da ciência, por exemplo, o que enfatiza a indisociabilidade da filosofia da ciência.

Um outro aspecto muito frequente foi a *representação*, devido à explicitação do uso de modelos, explicações e esquemas que permitissem que os cientistas se fizessem entender. Um evento marcante na minissérie, que evidenciou esse aspecto, ocorre quando o Legasov, no momento do seu depoimento no julgamento (Chernobyl, 2019, episódio 5), apresenta o funcionamento do reator nuclear de Chernobyl e as causas do acidente, se apropriando de vários cartões azuis (representando os processos de abaixamento da reatividade) e vermelhos (representando os processos de aumento da radioatividade), para expressar os principais fatores que levaram às condições críticas de funcionamento do reator 4 da usina de Chernobyl. Uma interlocução com a área da sociologia da ciência pode ser estabelecida nesse trecho, pois além de representar suas ideias, conhecimentos e principalmente os eventos acontecidos no acidente, houve a imprescindível necessidade de convencer e promover a *aceitabilidade* de todos seus argumentos, pois Legasov, como um cientista, estava em uma posição de depoente diante de um júri composto por membros do governo soviético e de cientistas da Agência Internacional de Energia Atômica, presentes no julgamento. Tal posição representa a importância que a validação de um conhecimento científico possui entre os pares para que o mesmo seja aceito e compartilhado.

Nesse evento, a representação demonstra o quão importante é a forma com a qual um cientista expressa o desenvolvimento e/ou uso de conhecimentos científicos para uma comunidade,

utilizando modos que facilitam a compreensão e comunicação do que é produzido pela ciência. No contexto do ensino de ciências, a discussão de tal aspecto permite que estudantes percebam a importância, por exemplo, do papel de modelos científicos e de modelos de ensino na compreensão de um fenômeno ou conhecimento da ciência. O uso dos modelos para esse fim contribui para que estudantes estabeleçam relações significativas com suas funções no contexto da ciência, entendendo que as limitações e abrangências desses modelos são caminhos e práticas comuns empregados pelos cientistas para alcançar a produção ou fazer a comunicação de um conhecimento (Gilbert e Justi, 2016).

Sociologia da ciência

No decorrer de toda a minissérie foi possível perceber as raízes fortemente instauradas da sociologia da ciência. Essa área é caracterizada, de acordo com Santos, Maia e Justi (2020), como sendo responsável por entender como os processos envolvidos na construção do conhecimento científico se desenvolvem sob a lente das interações entre os cientistas como indivíduos pertencentes a uma sociedade, ou seja, ela destaca a dimensão social do conhecimento científico. Esta área traz contribuições em potencial para o ensino de ciências, visto que os estudantes têm a oportunidade, por exemplo, de (i) entender como grupos de cientistas estabelecem as limitações e abrangências de um determinado conhecimento científico; (ii) identificar as etapas que eles utilizam para delinear e determinar a validade do conhecimento científico, bem como sua credibilidade diante da comunidade científica; (iii) compreender que a ciência não é um empreendimento privado, ou seja, isolado e distante da esfera social; (iv) que um cientista não trabalha sozinho, mas em colaboração com outros membros da comunidade de cientistas, (v) entender como aspectos de dimensão social e política influenciam e interferem na produção e uso de conhecimentos científicos.

Nessa área foram categorizados eventos relacionados a todos os seus respectivos aspectos de NdC (*aceitabilidade, credibilidade, falibilidade, incerteza, influência sociopolítica e interação entre cientistas*). Dentre estes, o aspecto que apresentou maior frequência em toda a minissérie foi a *influência sociopolítica*, sendo identificado 47 vezes. De acordo com o MoCEC v.2, o aspecto *influência sociopolítica* discute como a política (local, regional e/ou global) pode impactar na sociedade, durante o processo de produção e aplicação do conhecimento científico no qual os cientistas estão inseridos. Um dos episódios em que isso fica evidente é o que retrata o processo de retirada dos pedaços de grafite do telhado do reator. Nesse momento, diferentes níveis do telhado foram classificados de acordo com a radiação que era emitida, sendo denominados de Nina, Katya e Masha. Na primeira tentativa de limpeza do telhado com rovers lunares, ocorre o diálogo entre o general Shcherbina e o diretor da usina Boris:

General: Este estava no armazenamento, podem construir mais dois. Devem cobrir o Nina e o Katya.

Boris: E o Masha?

General: O comitê central me informou que pode ter algo que funcione, do exterior.

Boris: Americano?

General: Não. É um robô da polícia alemã. Mas do lado Oeste. Como pode imaginar não foi uma conversa fácil (Chernobyl, 2019, episódio 4, no tempo 20min53s).

Tal trecho mostra como o contexto da Guerra Fria influenciou na utilização de uma determinada tecnologia produzida por um país com tensões políticas com a União Soviética. Assim, a decisão de usar uma tecnologia oriunda de um inimigo do governo soviético poderia representar fraqueza política ou perda de sua supremacia nos âmbitos da ciência, tecnologia e economia. Diante disso, ainda podemos considerar uma interlocução com a área da economia da ciência, ao analisarmos o trecho pelo aspecto *aplicabilidade*, considerando o interesse do governo soviético na utilização de produtos científicos (robôs) de outras instituições (governo alemão) para realizarem a descontaminação do teto do reator da usina.

Outro aspecto muito frequente na minissérie é a *interação entre cientistas*, com 16 ocorrências. De acordo com o MoCEC v.2, tal aspecto relaciona os diversos modos pelos quais os cientistas podem interagir entre si, tanto em parcerias, contribuições, discordâncias e até mesmo disputas durante o processo de construção do conhecimento científico. Um dos trechos que exemplifica isso envolve um diálogo entre os dois cientistas: Legasov e Ulana.

Legasov: Acha que o combustível vai derreter através do cimento?

Ulana: Não sei, talvez 40% de probabilidade?

Legasov: Eu disse 50%. De qualquer forma os números significam o mesmo, talvez.

Legasov: Talvez o núcleo se infiltre na água subterrânea. Talvez os mineradores salvem milhões de vidas. Talvez estejam sendo mortos por nada.

Ulana: Não quero mais fazer isso. Quero parar, mas não posso (Chernobyl, 2019, episódio 3, no tempo 52min20s).

No diálogo, ambos levantam hipóteses sobre possíveis consequências do superaquecimento do núcleo do reator após a explosão, o que causaria danos severos aos recursos hídricos da região, pois haveria uma contaminação em grandes extensões causada pelo vazamento de material radioativo do reator nuclear. Além da interação entre cientistas, esse trecho apresenta também o aspecto *incerteza*, na dimensão social, pois mostra como um grupo de cientistas pode vivenciar situações em que operem com dúvidas, e ainda assim, precisam tomar decisões para solucionar determinados problemas que requerem a produção e/ou uso de conhecimento científico. É possível extrair desse mesmo diálogo uma possível interlocução com a psicologia da ciência, quando a personagem Ulana mantém-se perseverante na busca por respostas que expliquem a causa do acidente, mesmo diante de tantas represálias e limitações que enfrentou por parte das instituições políticas da URSS. Essa característica pode ser representada pelo aspecto da *influência motivacional*, uma vez que o objetivo de conseguir respostas para a causa do acidente a motivaram a persistir na investigação.

Um fato interessante na minissérie é que a personagem Ulana representa dezenas de cientistas que trabalharam incansavelmente em Chernobyl. Essa personagem de destaque na minissérie foi uma forma que o produtor encontrou para representar e, ao mesmo tempo, honrar tais cientistas, pela sua dedicação e pelos serviços que prestaram à humanidade. Dessa forma, apesar de o aspecto *interação entre cientistas* ter sido identificado em apenas 16 eventos, deve-se considerar que essa interação foi muito mais intensa, frequente e, ainda, envolveu muito mais cientistas do que retratado na minissérie.

A *falibilidade* é outro aspecto da sociologia da ciência que foi identificado em seis momentos da minissérie, estando associada aos erros no processo de produção do conhecimento científico

e a como os cientistas identificam e lidam com os mesmos. Um trecho que destacamos para exemplificar tal aspecto é o que mostra como a União Soviética tenta usar robôs para limpar os destroços do desastre nuclear no telhado (Chernobyl, 2019, episódio 4, no tempo 37min08s). Nesse momento, Joker (robô alemão), chega à usina para ser usado no nível Masha do telhado. Contudo, como os níveis de radiação eram muito altos, Joker não funcionou como previsto. Dessa forma, a solução que foi pensada inicialmente pelos cientistas falhou, o que mostra que o erro faz parte da prática científica. A partir disso, os cientistas também tiveram de lidar com o problema e propor nova solução que, nesse caso, foi o uso de biorrobôs (isto é, pessoas!). Esse contexto de tomada de novas decisões também está relacionado ao aspecto da *limitação* (da psicologia da ciência), visto que ao enfrentar alguma limitação interna ou externa o cientista precisa buscar novos caminhos ou até mesmo encerrar determinado processo ou escolha devido às impossibilidades apresentadas.

A análise dos aspectos da sociologia da ciência identificados na minissérie favorece a compreensão de como a sociedade influencia e é influenciada pela ciência, principalmente sob a perspectiva da dimensão política (local, regional e/ou global), em exemplos relacionados a como as decisões políticas podem impactar no desenvolvimento e/ou uso de conhecimentos científicos. Por isso entendemos que a abordagem de tais aspectos no ensino podem contribuir para a compreensão de que a ciência não é estática às necessidades da sociedade, ao contrário, está atenta às demandas e aos problemas de interesse da mesma.

Filosofia da ciência

A filosofia da ciência é uma área do conhecimento que pode ser considerada como uma das mais abrangentes, sendo também incluída no MoCEC v.2 como uma “base filosófica”, que confere sustentação para o entendimento das outras áreas, pois pode proporcionar um olhar para a constituição de cada área em si, ou seja, uma perspectiva epistemológica voltada para as áreas (Santos et al., 2020).

Ao considerarmos as contribuições que essa área fornece ao ensino de ciências, observamos que a mesma (i) permite que os estudantes ampliem sua visão em relação aos processos inerentes à ciência, desenvolvendo seus conhecimentos sobre as práticas científicas e/ou epistêmicas; (ii) aborda questões éticas que orientam as práticas científicas; e (iii) aborda o pensamento racional e lógico dos cientistas.

Na análise da série foram identificados todos os aspectos associados à área da filosofia da ciência, a saber: *ética*, *epistemologia* e *lógica*. Dentre estes, o aspecto que apresentou maior frequência em toda a minissérie foi a *ética*, com 15 recorrências. Esse aspecto pode ser visto como um elemento-chave no desenrolar da catástrofe de Chernobyl, pois ele se relaciona de forma intrínseca a outros aspectos de diferentes áreas do conhecimento como, por exemplo, a *influência sociopolítica* (da sociologia da ciência), quando membros do governo soviético, em diversos momentos, tomaram decisões inapeláveis e contraditórias aos valores éticos, principalmente em relação à população local, usurpando os seus direitos a uma comunicação clara e verídica dos fatos ou à evacuação imediata, logo que tiveram ciência dos impactos severos do acidente.

Um outro exemplo da abrangência da filosofia da ciência em outras áreas do conhecimento se relaciona à *epistemologia*, que se caracteriza pela compreensão de todos os processos e etapas

que concretizam o desenvolvimento da ciência. O olhar sob a perspectiva epistemológica se faz importante para a compreensão da NdC, por exemplo, associado à (i) psicologia da ciência, no entendimento das motivações dos cientistas na luta por convencer o governo soviético sobre a necessidade das evacuações e sobre a tomada de medidas drásticas de limpeza, devido aos efeitos catastróficos do acidente; (ii) sociologia da ciência, no reconhecimento das influências políticas e econômicas que levaram à ausência de comunicação entre os operadores da usina, com a população local e/ou global, e com a comunidade científica, que já havia identificado problemas no projeto dos reatores RBMK; e (iii) economia da ciência, utilizando de recursos financeiros, parcerias internas (os mineradores e os civis que foram chamados de liquidadores) e externas (robôs alemães para a limpeza dos pedaços de grafite no teto do reator da usina) para mitigar as consequências do acidente.

O trecho do episódio 2 (Chernobyl, 2019, no tempo 2min54s) apresenta um segundo aspecto da filosofia da ciência, a *lógica*, que é representada na cena em que a medida de 8 miliroentgen chega ao Instituto Bielo-Russo de Energia Nuclear, em Minsk. Logo após um medidor de radiação ionizante soar um alarme, a física nuclear Ulana Khomyuk percebe que a radiação vinha de fora, coleta resíduos da janela, analisa e identifica urânio empobrecido na amostra. Após a interpretação dos dados, ela reconhece imediatamente que se trata de combustível de um reator nuclear. Podemos perceber, na descrição desse trecho da minissérie, que as ações imediatas da cientista mostram os caminhos que ela realiza para compreender as possíveis causas do alerta de níveis elevados de radiação no ar, bem como o uso lógico dos conhecimentos e experiências prévias, com o emprego dos equipamentos e na interpretação dos dados coletados. Isso demonstra as diligências no raciocínio lógico que um cientista precisa estabelecer durante um processo científico, seja na solução ou interpretação de algum fenômeno.

Nesse mesmo contexto, podemos fazer uma interlocução com a *racionalidade* (da psicologia da ciência), pois quando a cientista utiliza a *lógica* para realizar os procedimentos experimentais ela está munida de conhecimentos em sua rede cognitiva que a fazem “pensar e agir em conformidade com a razão, isto é, como ela pode relacionar pensamentos seguindo alguma lógica” (Santos, Maia e Justi, 2020, p. 597).

Economia da ciência

De acordo com Santos, Maia e Justi (2020), a área economia da ciência estuda a influência dos fatores econômicos no comportamento dos cientistas, a distribuição dos recursos financeiros destinados às ciências, e as operações financeiras praticadas pelas instituições científicas (Santos, Maia e Justi, 2020).

Na minissérie, foram identificados diversos eventos que evidenciam interferências do contexto econômico na construção, divulgação e aplicação de conhecimentos científicos. Aspectos desta área foram identificados 15 vezes, sendo o mais frequente o *acesso ao conhecimento*. Tal aspecto é evidenciado no primeiro episódio, a notícia do acidente foi divulgada exclusivamente para pessoas ligadas à elite governamental, ou seja, a pessoas que possuíam valor monetário agregado ou *status* social, e que poderiam usufruir diretamente dos conhecimentos científicos divulgados na época quanto às normas de segurança para a população que habitavam localidades próximas à usina. Enquanto as informações circulavam nesse pequeno

grupo, cidadãos comuns tentavam combater os danos causados ou presenciavam, à distância, os fenômenos causados pelo acidente, se expondo à energia radioativa liberada já nas primeiras horas pós desastre. Nesse sentido, ainda há uma relação direta desse trecho com a filosofia da ciência, pois um processo que envolve tomadas de decisões frente a um determinado conhecimento científico, sendo elas de desenvolvimento ou de aplicação do mesmo, envolve a dimensão *ética* em todas as escolhas, pois tanto quem produz quanto quem recebe tal conhecimento precisa estar amparado, por exemplo, quanto às ações e/ou intenções que afetam outro indivíduo ou grupo de pessoas.

A discussão desses momentos do filme corrobora as ideias de Hodson (2014a e b) a respeito da construção do conhecimento científico e sua divulgação frente a interesses. Dessa forma, tal contexto explicita que tais interesses podem influenciar a maneira como os dados são coletados, manipulados e apresentados, assim como os resultados das pesquisas tornadas públicas e a maneira pela qual o impacto de dados adversos é minimizado, marginalizado, ocultado ou ignorado em função dos interesses de uma elite que tem acesso e controle do conhecimento.

Outro aspecto identificado foi o *investimento econômico*, que fica evidente no julgamento de Viktor Bryukhanov, Nikolai Fomin e Anatoly Dyatlov.⁹ Ao ser questionado pelo juiz sobre o uso de pontas de grafite nas hastes de boro no tanque dos reatores RBMK, o cientista Legasov diz:

Pelo mesmo motivo que os reatores não têm redomas de contenção. Pelo motivo por que não usamos combustível enriquecido no núcleo. Pelo motivo que somos a única nação que constrói reatores moderados por grafite e refrigerados por água, com um coeficiente de vazio positivo. É mais barato (Chernobyl, 2019, episódio 5, no tempo 50min9s).

Este trecho evidencia que as falhas mecânicas ocorridas no acidente podem ser associadas à falta de investimento nas instalações da usina. Bem mais que uma falha humana, o acidente mostrou que, naquela época, a produção de energia nuclear era lucrativa, mas pouco era investido em pesquisas e aperfeiçoamento de equipamentos, bem como nas estratégias de segurança de sistemas operacionais (Leatherbarrow, 2016). O lucro era o objetivo principal, o quantitativo se sobressaía ao qualitativo e ao humano. O termo privatização pode parecer conflitante com a perspectiva de um estado socialista, como era a Ucrânia em 1986, mas a ideia aqui referida é a de que os conhecimentos não são devidamente disponibilizados ou divulgados, ficando restrito a grupos seletos que estão em posição de poder. Isto posto, existe uma relação direta com a *influência sociopolítica* (da sociologia da ciência), pois todas as decisões foram determinadas por membros e comissões governamentais, que decidiram seguir pelo caminho mais favorável em termos econômicos e políticos, que direta ou indiretamente trouxeram consequências conflitantes no percurso do acidente.

Neste mesmo episódio, identificamos o aspecto *publicidade*, quando Charcov, diretor da KGB, conversa com o cientista Legasov. No diálogo, Charcov assume que Legasov estava sendo vigiado e, caso sustentasse, no julgamento, a mentira sobre o acidente ter sido causado exclusivamente por inabilidade dos operadores da usina, receberia um prêmio de honra e uma promoção a diretor do Instituto de Kirchatov. A partir dessa passagem, com uma proposta

9 Viktor Bryukhanov, Nikolai Fomin e Anatoly Dyatlov foram sentenciados a 10 anos de prisão, considerados responsáveis pelo acidente de Chernobyl. Eles ocupavam os cargos de diretor da usina, engenheiro-chefe e vice-engenheiro-chefe, respectivamente, quando o acidente ocorreu.

que sugere suborno, é possível perceber o interesse das instituições que estão envolvidas nos processos de produção, desenvolvimento, aplicação e divulgação do conhecimento científico. Na minissérie, o reconhecimento deste aspecto possui uma visão negativa, principalmente quando avaliamos que o objetivo era manter informações falsas em um júri, para benefício do estado soviético.

Esta passagem permite uma relação com a perspectiva apresentada por Hodson (2014b), ao afirmar que uma das características mais perturbadoras da ciência contemporânea é a privatização efetiva do conhecimento, uma vez que a ciência é conduzida a portas fechadas, por interesses econômicos. Todo esse olhar também integra uma nova área do conhecimento, que trataremos mais a frente, a comunicação da ciência, por ser entendida como fundamental para que os conhecimentos científicos sejam consolidados pelos seus empreendedores, os cientistas. Não distante disso, no contexto do diálogo anterior, a comunicação da ciência proporciona um olhar específico para o papel da comunicação no processo científico, em relação ao controle do que será dito, com quem será compartilhado e sob que circunstâncias as informações serão liberadas para o público em geral diante das influências econômicas que direcionaram as tomadas de decisão.

No ensino, discussões sobre a economia da ciência são importantes para que o estudante possa compreender que o desenvolvimento de conhecimentos científicos depende diretamente de investimento financeiro e que seu progresso demanda custos. Neste sentido, indagações quanto às instituições que financiam a pesquisa, seus interesses neste desenvolvimento e o contexto mundial, relacionado ao poder de mercado, a posicionamentos políticos e ao direcionamento financeiro, podem proporcionar momentos de reflexão e discussão que podem favorecer a compreensão da produção de conhecimentos científicos com um olhar a partir da economia.

História da ciência

Inicialmente, deve-se considerar que a minissérie em si relata um caso histórico, apresentando em detalhes o contexto cultural, econômico, político e social da época em que o desastre ocorreu. Assim, a história foi pano de fundo de toda a narrativa e, com isso, aspectos da área história da ciência estiveram presentes em todo o contexto dos acontecimentos, imbricados em outros aspectos de NdC.

Para a identificação de aspectos da história da ciência na minissérie, houve necessidade de situá-la em seu contexto temporal, para possibilitar a identificação de aspectos históricos que influenciavam as decisões dentro da perspectiva da época retratada. Com isso, quatro dos cinco aspectos desta área foram identificados (*provisoriedade*, *progressividade*, *multiplicidade* e *influência histórica*) e a maioria com uma única ocorrência. A identificação de apenas seis ocorrências de aspectos históricos pode parecer contraditória com o fato de a minissérie relatar um episódio da história da ciência, contudo, apesar de sempre presente, o contexto histórico não trouxe aspectos novos ou diferenciados, o que levou à categorização única de aspectos relativos a tal contexto (sem repetição na análise).

Um momento em que o aspecto *progressividade* foi evidenciado na minissérie foi no episódio 3, quando Ulana e Legasov discutem sobre a causa da explosão do reator em Chernobyl.

Legasov: Acredite quando digo que não sabia que podia provocar uma explosão. Em 1975, em um reator RBMK em Leningrado, um cano de combustível rompeu. Os operadores acionaram o AZ-5, mas em vez de diminuir a energia, por um breve momento ela subiu.

Ulana: Como isso é possível?

Legasov: Essa é a questão colocada por um colega meu chamado Volkov. Os reatores RBMK a baixa potência são instáveis, suscetíveis a alterações de reatividade. Normalmente as barras de controle podem compensar.

Ulana: A equipe de Chernobyl paralisou o reator durante o teste. Puxaram as barras de controle para repor a energia.

Legasov: Isso foi o que Volkov descobriu em Leningrado. Se as barras de controle de boro forem completamente retiradas do reator, quando voltam a colocá-las, o que entra primeiro não é boro, é grafite. As barras de controle têm pontas de grafite, que deslocam água e vapor. Então, a reatividade não desce, sobe drasticamente (Chernobyl, 2019, episódio 3, no tempo 54min 20s).

A partir dessa passagem é possível discutir como um determinado conhecimento pode subsidiar a construção de novos conhecimentos, de forma que a ciência sempre se desenvolve a partir de modelos e teorias anteriores, ressaltando o aspecto *progressividade*. Além desse olhar pela história da ciência, podemos ampliar nossa visão ao relacionarmos esse trecho com a sociologia da ciência, no que diz respeito ao aspecto *credibilidade*. Isso pode ser identificado quando Legasov menciona o nome do cientista Volkov, por esse ter desenvolvido trabalhos atrelados aos reatores RBMK e, portanto, apresentar certo *status* dentro da área científica. Com isso, Legasov conferia maior confiabilidade às ideias que apresentava, pois estas estavam suportadas por estudos anteriores realizados por Volkov. Ademais, observamos que a *progressividade* da ciência se constrói mediante a *credibilidade* e *aceitabilidade* de trabalhos já produzidos em determinado período da história.

A abordagem da história da ciência no ensino de ciências influencia diretamente no desenvolvimento cultural do estudante, pois a partir de certos episódios históricos é possível acompanhar a construção de conhecimentos, suas relações com os contextos cultural, político e social da época, promovendo uma visão mais ampla que tende a favorecer a compreensão da ciência no passado, bem como a da sua construção no presente (Allchin, Anderse e Nielsen, 2014).

Além de retratar com grande fidelidade os fatos ocorridos na época do acidente, a minissérie *Chernobyl* também retrata as consequências da utilização da energia nuclear, trazendo uma questão sociocientífica importante (Solbes e Torres, 2018) que, por sua vez, promove reflexões que envolvem a ciência, o social, a economia e a política, que podem levar estudantes a momentos de posicionamento e reavaliações, promovendo o desenvolvimento da cidadania e de habilidades críticas.

Antropologia da ciência

Quando buscamos compreender o homem em sua totalidade e suas relações com o conhecimento científico, entramos no âmbito da antropologia da ciência. Ao longo da análise, foi possível a identificação de quatro eventos classificados como *influência cultural*. Tal aspecto pode ser compreendido como as influências que o ambiente cultural sofre e/ou exerce sobre

os processos envolvendo o desenvolvimento científico ou o uso de seus conhecimentos, possibilitando que as interpretações para um determinado fenômeno sejam direcionadas pela cultura que um indivíduo possui. A manifestação desse aspecto pode ser representada pelo episódio 2 (Chernobyl, 2019, no tempo 21min50s), quando o secretário adjunto Garanin recebe Ulana em seu escritório, e diz: “É por isso que ninguém gosta de cientistas. Quando há uma doença para curar, onde estão? No laboratório, com o nariz nos livros. E a vovó morre. Mas quando não há problema, ficam espalhando medo”. Ulana diz saber que o núcleo da usina está total ou parcialmente exposto, afirmando “que se não distribuírem pílulas de iodo agora e evacuarem a cidade, centenas de milhares de pessoas terão câncer e só Deus sabe quantas mais morrerão”. Ulana afirma saber sobre o que está dizendo, entretanto o secretário diz preferir sua própria opinião. Em seguida Ulana diz ser física nuclear, buscando maior credibilidade no discurso. Nesse momento, fica clara a postura preconceituosa quanto ao exercício da ciência, ao machismo elevado no discurso do secretário ao não atribuir credibilidade a Ulana (mesmo sendo uma cientista), bem como o negacionismo implícito nas falas apresentadas. Esse trecho ilustra como as influências culturais ditaram o rumo das decisões em não agir conforme os dados e as interpretações científicas apresentados sobre o acidente. Além disso, todo o discurso gira em torno da ausência de *credibilidade* (da sociologia da ciência), quando um membro da comunidade científica (Ulana), mesmo tendo suas credenciais e sendo reconhecida por elas, não consegue aprovação ou aceitação (por parte do secretário) quanto aos problemas devastadores que viriam a ocorrer.

Uma área emergente: a comunicação da ciência

No contexto atual é notório o grande número de informações disponíveis, existindo em diversos modos de acesso. Entretanto, isso não confere importância, utilidade ou mesmo credibilidade a tais informações (Höttecke e Allchin, 2020). Na verdade, tais aspectos exigem das pessoas a capacidade não apenas de acessá-las, mas também de analisá-las. Isso é necessário especialmente no enfrentamento de situações que demandam distinguir entre afirmações científicas e “afirmações de conhecimentos que apenas pretendem ser científicas” (Van Dijk, 2011, p. 1094). De acordo com Van Dijk (2011), é essencial que o público em geral compreenda a diferença existente entre as ciências e as pseudociências, que se polarizam, principalmente quanto à credibilidade e confiabilidade de ambas. Logo, não se pode eximir o papel da comunicação das relações sociais, muito menos de sua manutenção no desenvolvimento e uso do conhecimento científico.

Trazendo a discussão para o contexto do acidente nuclear em Chernobyl, Crick (2021) faz um resumo de características de confiabilidade de informações científicas de modo a evidenciar a importância delas na comunicação de risco de radiação para o público. Muitos dos efeitos (distúrbios psicológicos severos, danos à saúde física e problemas sociais e econômicos permanentes) causados pelo acidente “foram reconhecidos como falta de informação pública” (Crick, 2021, p. 1). Nessa perspectiva, entendemos que o ensino de ciências pode trazer algumas alternativas para solucionar problemas ligados a essa comunicação e, com isso, contribuir para o desenvolvimento da alfabetização científica. Para isso, uma das condições necessárias é que as pessoas tenham uma visão mais ampla sobre ciência, ou seja, que compreendam NdC (Allchin, 2011; Nielsen, 2013; Santos, Maia e Justi, 2020; Van Dijk, 2011). A importância disso é reforçada

pelo elevado *status* que a ciência possui na sociedade atual, principalmente associada a um discurso de autoridade, o qual é muitas vezes usado com vieses.

A comunicação científica é uma dimensão da ciência que estrutura toda a existência das diferentes comunidades científicas e que entre si mantêm a permanência do fluxo de produção, informação, credibilidade e confiabilidade dos conhecimentos que são produzidos pelos cientistas (Nielsen, 2013). Conforme afirmado por Abelson (1980): “o elemento-chave na construção e preservação deste edifício maravilhoso (ciência) é a comunicação. Sem comunicação não haveria ciência” (Abelson, 1980, p. 60). Dessa forma, a comunicação científica é uma base essencial para a manutenção e funcionamento da ciência.

Partindo dessas reflexões, entendemos como necessária a inclusão da comunicação da ciência como uma área do conhecimento no MoCEC v.2 (Santos, Maia e Justi, 2020), aspecto também discutido por algumas de suas autoras em outro trabalho (Justi, Santos, Elyseu, 2021) e coerente com a proposta de inclusão de outras áreas da ciência que o próprio modelo prevê. Essa área abrangeria tanto a comunicação entre cientistas quanto a comunicação destes com a sociedade, seja de forma direta ou intermediada.

Na análise da minissérie *Chernobyl*, foram identificados 11 momentos em que a comunicação da ciência é manifestada. Tais momentos englobam tanto a limitada (ou ausente) comunicação entre governo e público e como isso causou impactos severos na resolução dos problemas atrelados à explosão do reator 4, bem como os procedimentos de controle de danos durante e após o acidente.

Um dos momentos destacados foi o não reconhecimento da gravidade do acidente pela população, ocasionado pela ausência de informação e comunicação por parte das autoridades locais e científicas. Além disso, a imputabilidade na implementação de um protocolo de segurança se destaca como principal ponto de discussão sobre a importância da comunicação na prevenção e/ou redução da extensão do acidente. Essa mesma observação foi feita por Leatherbarrow (2016, p. 79), ao mencionar a fala de um dos bombeiros que trabalhou no combate ao incêndio do reator: “Não sabíamos muito sobre radiação. Mesmo os que trabalhavam lá não tinham a menor ideia”. Neste momento, podemos estabelecer uma interlocução com a *influência sociopolítica* (da sociologia da ciência), pois o contexto sociopolítico à época comandava as decisões que o governo soviético precisava realizar, visto que, aos olhos do mundo ocidental, a URSS seria uma superpotência promissora no desenvolvimento energético, no que diz respeito às usinas nucleares.

Um segundo momento de destaque está associado à censura de documentos (artigos científicos, relatórios, projetos etc.) ligados a acidentes anteriores, ocorridos em usinas nucleares da União Soviética, haja vista que na maioria desses acidentes estava envolvido o sistema de reatores do tipo RBMK, idênticos ao de Chernobyl. Assim, a imprudência e a violação dos protocolos de segurança pelos responsáveis (Dyatlov, Fomin e Bryakunov) foram significativas, mas nenhum deles, nem mesmo os operadores daquela noite, sabiam de possíveis limitações existentes no projeto daquele tipo de reator. Tais informações, baseadas em conhecimentos científicos desenvolvidos por Volkov,¹⁰ um cientista que detectou o problema 10 anos antes do acidente ocorrer, foram ocultadas pela KGB.

10 Vladimir Volkov, que era chefe de pesquisa de segurança do RBMK do Instituto Kurchatov, já havia alertado diretamente o governo e publicado um artigo, em 1976, sobre problemas de segurança e defeitos críticos do projeto dos reatores RBMK (Leatherbarrow, 2016).

Considerando esses apontamentos, reconhecemos a necessidade de que aspectos relacionados à comunicação da ciência sejam discutidos em contextos de ensino, para que estudantes tenham ferramentas e recursos para gerenciar adequadamente as informações e se certifiquem quanto à sua credibilidade. A importância dessas discussões se torna evidente quando constatamos que tais aspectos afetam nossas vidas em todas as suas dimensões no mundo atual. Estar atualizado em termos de informações significa ser capaz não apenas de recebê-las, mas de avaliá-las em virtude das diversas fontes que as produzem. Portanto, a importância do pensamento crítico é fundamental para que saibamos (i) acessar informações de maneira crítica e competente; (ii) avaliar informações de maneira eficiente e eficaz e (iii) usar informações com precisão, criatividade e ética (Höttecke e Allchin, 2020).

Considerações sobre o uso da minissérie Chernobyl no ensino de NdC

Apesar de apresentar reconhecido potencial para explorar o caso histórico do acidente da usina nuclear em Chernobyl, é preciso reconhecer as limitações que essa mídia pode apresentar em termos da presença de vieses e incorreções, sendo tal reconhecimento considerado parte do processo de alfabetização midiática (Reid e Norris, 2016). Nesse sentido, por mais que uma produção cinematográfica busque ser fiel aos fatos na narrativa da realidade, esta envolve a seleção de elementos, bem como recortes temporais necessários; além da reconstrução de elementos da história que são inacessíveis por qualquer registro produzido à época (como diálogos, por exemplo). Os processos de seleção e reconstrução dos eventos passam pelas lentes, concepções e criatividade de diretores e produtores. Assim, os expectadores devem estar cientes de que a produção e, conseqüentemente, a visão construída pelo próprio expectador a partir dessa produção, estarão associadas a esses vieses.

A minissérie *Chernobyl* foi produzida conjuntamente por duas empresas de televisão: uma norte-americana e uma ucraniana, sendo o criador da minissérie, Craig Mazin, norte-americano. Considerando que o acidente de Chernobyl ocorreu com um pano de fundo histórico marcado pela Guerra Fria, e que a oposição política entre Estados Unidos e União Soviética marcava a construção de estereótipos e julgamentos de uma nação contra a outra, um expectador alfabetizado midiaticamente não pode se furtar de reconhecer a possibilidade de existência de vieses nacionalistas, não apenas dos criadores da minissérie, mas construídos historicamente por esses dois países. Nesse sentido, existem alguns relatos, até mesmo de pessoas que viviam na região, de pontos que são retratados na minissérie que não condizem com a realidade; por exemplo, a ideia de que os cidadãos soviéticos agiam todo o tempo sob a ameaça velada da KGB (Ploky, 2018). Outro ponto é a apresentação de pessoas de mais alto escalão na usina (como é o encarregado da usina Chernobyl na hora do acidente, Anatoly Dyatlov, o diretor de Chernobyl, Viktor Bryukhanov e o engenheiro-chefe, Nikolai Fomin) como vilões e/ou incompetentes, como se tivessem chegado ao cargo exclusivamente por laços políticos, sem competência técnica para tal. A minissérie veicula, por exemplo, a ideia de que Anatoly Dyatlov tenha insistido em prosseguir o teste do reator, mesmo sem que o sistema atendesse às condições requeridas, por uma motivação pessoal, possivelmente associada a uma promoção. Contudo, existem muitos outros elementos que podem ter levado a essa decisão, incluindo uma forte crença, previamente difundida na União Soviética, de que era impossível que o reator presente na usina de

Chernobyl (do tipo RBMK) explodisse (Leatherbarrow, 2016). Nesse sentido, o conhecimento da história permite compreender um outro aspecto da NdC que não faz parte do relato do filme, mas pode ter implicado sobremaneira na ocorrência do evento: a propaganda soviética sobre a inabalável segurança dos reatores RBMK, amplamente difundida pela figura do presidente da Academia de Ciências Soviética, Anatolli Aleksandrov (também responsável por coordenar o projeto de desenvolvimento dos reatores RBMK) (Ploky, 2018). Considerando ainda a influência política de Aleksandrov, evidenciam-se aspectos relacionados à sociologia (por seu *status* de autoridade como presidente da Academia de Ciências) e, ao mesmo tempo, à comunicação da ciência (pela ampla difusão dessa ideia). Além disso, devido aos recortes, há limitações sobre o que a minissérie mostra, como, por exemplo, a formação e experiência na área de chefes da usina e operadores, o que garantia a eles a *expertise* necessária para ocupar seus cargos. Por exemplo, os principais operadores representados na minissérie na hora da explosão, Aleksandr Akimov e Leonid Toptunov, apesar de jovens e sem preparação para a condução do teste na usina naquela noite, eram engenheiros, sendo Toptunov graduado em engenharia nuclear (Leatherbarrow, 2016; Ploky, 2018).

Além disso, a demora dos trabalhadores de Chernobyl (em especial aqueles de postos mais elevados) em acreditar que o acidente envolvia o reator nuclear (que não seria apenas um incêndio comum) não é, necessariamente, indício de falta de competência técnica ou de incapacidade de analisar as evidências que se apresentavam no momento do acidente, pois pode envolver aspectos psicológicos associados ao fenômeno de negação que ocorre em momentos de crises (como é o caso de grandes catástrofes) (Lochard, 1996).

Há ainda a dificuldade de compreender alguns aspectos da própria cultura soviética retratada na minissérie, o que está associado não apenas a limitações da produção, mas, principalmente, a diferenças em relação à cultura do próprio expectador. Dessa forma, eventos como a evacuação pacífica da cidade de Pripriyat, o respeito a hierarquias políticas, a atuação sem protestos de trabalhadores que corriam claro risco de morte, podem ter mais relação com uma questão cultural do que propriamente com o medo por possíveis punições (Higginbotham, 2019).

O intuito dessa discussão não é apresentar todos os pontos em que a minissérie diverge da realidade, mas destacar que é necessário desenvolver uma criticidade em relação à concepção do evento histórico a partir da minissérie, sendo necessário que professores de ciências promovam essa discussão para a promoção da alfabetização científica midiática.

Considerações finais

Revisitando os objetivos dessa pesquisa, buscamos apresentar as potencialidades do uso da minissérie *Chernobyl* na manifestação de conhecimentos de NdC nos contextos de ensino, a partir da análise orientada pelo MoCEC v.2 na identificação e caracterização das áreas e aspectos de NdC. Assim, algumas questões surgiram ao longo da pesquisa: como contribuir para que professores promovam atividades de ensino que mobilizam conhecimentos sobre ciências em salas de aula? Como podemos motivar os estudantes a quererem aprender ciências e sobre ciências? Quais as consequências desse processo para a promoção de uma alfabetização científica? Tais questionamentos foram propulsores para que conduzíssemos as reflexões apresentadas nas seções anteriores.

A análise evidenciou a riqueza da minissérie *Chernobyl* em relação à abordagem de aspectos de NdC, que podem ser levados para discussões nas aulas de ciências. A minissérie *Chernobyl* apresentou todas as áreas do conhecimento descritas no MoCEC v.2 e quase todos os aspectos caracterizados no modelo (33 aspectos dos 37 descritos pelo modelo) (Figura 1). Dentre as áreas mais evidentes, destacaram-se aspectos relacionados à sociologia da ciência, psicologia da ciência, economia da ciência e história da ciência. A apresentação de trechos relacionados a cada uma das áreas permite fomentar discussões que contemplem o desenvolvimento de visões sobre como o conhecimento científico é construído, validado, comunicado e aplicado à resolução de problemas. A abordagem dos aspectos a partir das áreas tende a contribuir para a compreensão de como é possível lançar luz sobre diferentes aspectos do empreendimento científico e suas relações com a sociedade, sem engessar ou exaurir as perspectivas de análise.

Dentre as discussões enfatizadas nesse artigo, é importante observar como os diferentes olhares a partir das interrelações das áreas se completam na análise do contexto retratado na minissérie. Por exemplo, os aspectos da economia da ciência contribuíram para a compreensão sobre como os recursos financeiros comprometeram a usina de Chernobyl. Junto dessa, a área história da ciência estabelece contexto e contribui para a compreensão de todo o cenário que justifica e induz a uma série de eventos que levam à catástrofe maior. Assim, não é reconhecer a catástrofe em si, mas analisar os múltiplos fatores, de naturezas diversas, que se conectam (mas não se encerram) no desfecho trágico do acidente.

Mesmo que o professor deva estar atento aos vieses possíveis na produção da série, deve-se considerar que ela é rica para conhecer os fatos históricos, que representam com grande fidelidade a cronologia dos eventos do acidente. A partir disso, é possível promover ricas discussões tanto sobre o que é apresentado na série, quanto sobre “o que está por detrás” dessa.

Promover discussões dos aspectos de NdC a partir da minissérie pode ser um importante ponto de partida para o ensino explícito e contextualizado *sobre* ciência (Allchin, 2011; Allchin, Andersen e Nielson, 2014; Hodson, 2014a e b; Justi e Erduran, 2015; Santos, Maia e Justi, 2020).

Pela lente desses resultados, a minissérie proporciona discussões que contribuem para que estudantes sejam capazes de ressignificarem suas visões, muitas vezes limitadas, a respeito: (i) do funcionamento das ciências; (ii) do papel dos cientistas nesse empreendimento; (iii) das interferências sociopolíticas, socioeconômicas, socioculturais; e (iv) do papel da comunicação no desenvolvimento científico (Nielsen, 2013; Van Dijk, 2011). Através dessas e de outras dimensões inerentes da ciência, uma abordagem de ensino que envolva tais características auxilia no desenvolvimento de uma alfabetização científica para a formação crítica e reflexiva dos estudantes (Sasseron e Carvalho, 2011).

Com relação ao potencial do caso histórico retratado pela minissérie *Chernobyl*, destaca-se a possibilidade de evidenciar parâmetros para que os estudantes identifiquem questões epistêmicas em escala humana, favorecendo uma compreensão de que a ciência é um empreendimento humano. Conseqüentemente, auxilia na obtenção de visões mais sofisticadas quanto aos papéis representativos que o caso histórico pode promover, por exemplo, nas intervenções envolvendo os conflitos de interesses políticos e econômicos; dos papéis que a crítica e o debate tiveram durante e após o acidente; da credibilidade e colaboração dos cientistas envolvidos (Allchin, Andersen, Nielsen, 2014).

Além disso, por se tratar de um caso que envolve principalmente o fenômeno da radioatividade, considera-se também os impactos positivos que a minissérie atribui ao planejamento dos

professores quanto ao desenvolvimento de conhecimentos científicos curriculares agregados, por exemplo, (i) compreender as reações nucleares e o seu papel na produção de energia elétrica; (ii) compreender os impactos gerados quanto aos resíduos obtidos dos processos nucleares; (iii) se informar sobre o fenômeno sem se prender aos discursos dominantes; (iv) saber avaliar a credibilidades das informações com argumentos sólidos; e (v) se apropriar das interseções de outras disciplinas do currículo que ajudam no entendimento do fenômeno (Solbes e Torres, 2018).

Com relação à análise feita à luz do MoCEC v.2, ressaltamos que suas funções teóricas e práticas foram significativas, por trazerem subsídios importantes que tornam o processo mais dinâmico, não exaustivo e explícito na caracterização das áreas e aspectos de NdC na minissérie *Chernobyl*. Ao passo em que os dados foram sendo coletados, analisados e discutidos, firmamos as expectativas iniciais de Santos, Maia e Justi (2020) quanto ao seu (i) papel didático em nossa orientação como professores e pesquisadores na identificação das áreas e aspectos de NdC; (ii) na facilidade de compreendermos sua natureza por estar representado visualmente mostrando as relações diretas entre as áreas do conhecimento; e (iii) a naturalidade com que percebemos a multiplicidade da ciência. Esses pontos destacados corroboram o uso do MoCEC v.2 na análise de dados, como foi empregado em Maia, Justi e Santos (2021). Outro ponto importante está diretamente ligado ao fato de que o modelo não vem como uma proposta de ser utilizado para ensinar os conhecimentos de NdC como um conteúdo curricular, entretanto, vem com o propósito de facilitar o planejamento, execução e avaliação de uma abordagem que potencialize a inserção de NdC.

É importante salientar que esse trabalho apresentou, em um contexto de aplicação prática do MoCEC v.2, a perspectiva de que uma visão específica a partir da área comunicação da ciência pode enriquecer e direcionar o conhecimento de NdC, corroborando a proposta teórica de Justi, Santos e Elyseu (2021). Essa área foi identificada com uma frequência de 11 manifestações ao longo da minissérie, caracterizando uma dimensão importante a ser considerada – principalmente no contexto do acidente, que demonstra claramente a ausência de comunicação científica pública – como área emergente que deve ser incluída ao MoCEC v.2. Outros trabalhos (Abelson, 1980; Nielsen, 2013; Van Dijk, 2011) reforçam o papel da comunicação da ciência como parte essencial do processo epistêmico de construção, manutenção e promulgação da confiabilidade dos conhecimentos produzidos pela ciência. Além disso, a minissérie *Chernobyl* suscita, de forma expressiva, discussões sobre a ausência da comunicação como uma das dimensões que levaram a inúmeros caminhos tortuosos nas tomadas de decisão antes, durante e após o acidente (Higginbotham, 2019; Leatherbarrow, 2016; Plokhy, 2018), principalmente para a população local, que pouco ou nada tinha de conhecimento sobre o funcionamento da usina nuclear, dos riscos que a radiação poderia causar caso houvesse um acidente e até mesmo de treinamentos e da existência de um protocolo de segurança eficaz.

A partir da minissérie e das discussões que ela pode promover, tem-se um grande potencial para que professores contribuam para a alfabetização científica midiática dos estudantes, de forma que esses possam refletir com mais profundidade sobre suas avaliações em relação à construção da ciência, suas relações com os diversos contextos da sociedade e, principalmente, sobre a confiabilidade das alegações científicas públicas.

Referências bibliográficas

- ABELSON, P. Scientific communication. *Science*, v. 209, n. 4452, p. 60-62, 1980. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.7280664>.
- ALEKSLÉVITCH, S. *Vozes de Tchernóbil: a história oral do desastre nuclear*. São Paulo: Companhia das Letras, 2016.
- ALLCHIN, D. Scientific myth-conceptions. *Science Education*, v. 87, n. 3, p. 329-351, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1002/sce.10055>.
- ALLCHIN, D. Pseudohistory and pseudoscience. *Science & Education*, v. 13, n. 3, p. 179-195, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1023/B:SCED.0000025563.35883.e9>.
- ALLCHIN, D. Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. *Science Education*, v. 95, n. 3, p. 518-542, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1002/sce.20432>.
- ALLCHIN, D. Toward clarity on whole science and knows. *Science Education*, v. 96, n. 4, p. 693-700, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1002/sce.21017>.
- ALLCHIN, D. *Teaching the nature of science: perspectives and resources*. St. Paul: SHiPS Education Press, 2013.
- ALLCHIN, D. From science studies to scientific literacy: a view from the classroom. *Science & Education*, v. 23, n. 9, p. 1911-1932, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11191-013-9672-8>.
- ALLCHIN, D. Beyond the consensus view: whole science. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, v. 17, n. 1, p. 18-26, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/14926156.2016.1271921>.
- ALLCHIN, D.; ANDERSEN, H.M.; NIELSEN, K. Complementary approaches to teaching nature of science: integrating student inquiry, historical cases, and contemporary cases in classroom practice. *Science Education*, v. 98, n. 3, p. 461-486, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1002/sce.21111>.
- ARAÚJO, R.F.R.; OLIVEIRA, F.S.; NETO, J.P.P. Análise das concepções alternativas sobre a natureza do conhecimento científico na disciplina de química do ensino médio. *Scientia Naturalis*, v. 3, n. 2, p. 523-535, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufac.br/index.php/SciNat/article/view/5661>. Acesso em: 2 out. 2022.
- AZEVEDO, N.H.; SCARPA, D.L. Revisão sistemática de trabalhos sobre concepções de natureza da ciência no ensino de ciências. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 17, n. 2, p. 579-679, 2017. DOI: <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2017172579>.
- CHERNOBYL. Direção: Johan Renck. Produção: Carolyn Strauss; Craig Mazin; Johan Renck; Chris Fry; Jane Featherstone; Sanne Wohlenberg. Roteiro: Craig Mazin. Estados Unidos da América: streaming HBO Max, 2019. 1 temporada, 5 episódios (328 min), on-line, color.
- COHEN, L.; MANION, L.; MORRISON, K. *Research methods in education*. 8ª ed. New York: Routledge, 2018. Disponível em: <https://www.routledge.com/Research-Methods-in-Education/Cohen-Manion-Morrison/p/book/9781138209886>. Acesso em: 2 out. 2022.
- CRICK, M.J. The importance of trustworthy sources of scientific information in risk communication with the public. *Journal of Radiation Research*, v. 62, supl. 1, p. i1-i6, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1093/jrr/rraa143>.
- CROSS, R.; ZATSEPIN, V.; GAVRILENKO, I. Preparing future citizens for post 'Chernobyl' Ukraine: a national calamity brings about reform of science education. *Melbourne Studies in Education*, v. 41, n. 2, p. 179-187, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1080/17508480009556370>.
- DAGHER, Z.R.; ERDURAN, S. Reconceptualizing the nature of science for science education. *Science & Education*, v. 25, n. 1, p. 147-164, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11191-015-9800-8>.
- GILBERT, J.K.; JUSTI, R. *Modelling-based teaching in science education*. Cham: Springer, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-29039-3>.
- HIGGINBOTHAM, A. *Midnight in Chernobyl: the untold story of the world's greatest nuclear disaster*. New York: Penguin Random House, 2019.

- HODSON, D. Learning science, learning about science, doing science: different goals demand different learning methods. *International Journal of Science Education*, v. 36, n. 15, p. 2534-2553, 2014a. DOI: <https://doi.org/10.1080/09500693.2014.899722>.
- HODSON, D. Nature of science in the science curriculum: origin, development, implications and shifting emphases. In: MATTHEWS, M.R. (ed.). *International handbook of research in history, philosophy and science teaching*. Dordrecht: Springer, 2014b. p. 911-970. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-007-7654-8_28.
- HÖTTECKE, D.; ALLCHIN, D. Reconceptualizing nature-of-science education in the age of social media. *Science Education*, v. 104, n. 4, p. 641-666, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/sce.21575>.
- IREZ, S. Are we prepared? An assessment of preservice science teacher educators' beliefs about nature of science. *Science Education*, v. 90, n. 6, p. 1113-1143, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1002/sce.20156>.
- IRZIK, G.; NOLA, R. A family resemblance approach to the nature of science for science education. *Science & Education*, v. 20, n. 7, p. 591-607, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9293-4>.
- JUSTI, R.; ERDURAN, S. Characterizing nature of science: a supporting model for teachers. In: Conference of the International History, Philosophy, and Science Teaching Group, 2015, Rio de Janeiro. *Proceedings...* Rio de Janeiro: IHPST, 2015.
- JUSTI, R.; SANTOS, M.; ELYSEU, G. Relating science communication to nature of science. In: Conference of the European Science Education Research Association, 14., 2021, Braga. *Proceeding...* Braga: ESRA, 2021.
- KAPUCU, M.S.; CAKMAKCI, G.; AYDOGDU, C. The influence of documentary films on 8th grade students' views about nature of science. *Educational Sciences: Theory & Practice*, v. 15, n. 3, p. 797-808, 2015. DOI: <https://doi.org/10.12738/estp.2015.3.2186>.
- KE, L.; SADLER, T.D.; ZANGORI, L.; FRIEDRICHSEN, P.J. Developing and using multiple models to promote scientific literacy in the context of socio-scientific issues. *Science & Education*, v. 30, n. 3, p. 589-607, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00206-1>.
- LEATHERBARROW, A. *Chernobyl 01:23:40: the incredible true story of the world's worst nuclear disaster*. [s.l.]: Andrew Leatherbarrow, 2016.
- LEDERMAN, N.G.; ABD-EL-KHALICK, F.; BELL, R.L.; SCHWARTZ, R.S. Views of nature of science questionnaire: toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 39, n. 6, p. 497-521, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1002/tea.10034>.
- LEWIN, M. *The Gorbachev phenomenon: a historical interpretation*. Berkeley: University of California Press, 1991.
- LEWIN, M. *O século soviético*. São Paulo: Record, 2007.
- LOCHARD, J. *Psychological and social impacts of post-accident situations: lessons from the Chernobyl accident*. Austria: Berger, 1996. Disponível em: http://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:27066487. Acesso em: 2 out. 2022.
- MAIA, P.; JUSTI, R.; SANTOS, M. Aspects about science in the context of production and communication of knowledge of Covid-19. *Science & Education*, v. 30, n. 5, p. 1075-1098, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00229-8>.
- MARTINS, A.F.P. Natureza da ciência no ensino de ciências: uma proposta baseada em "temas" e "questões". *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 32, n. 3, p. 703-737, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2015v32n3p703>.
- MOURA, B.A. O que é natureza da ciência e qual sua relação com a história e filosofia da ciência? *Revista Brasileira de História da Ciência*, v. 7, n. 1, p. 32-46, 2014. DOI: <https://doi.org/10.53727/rbhc.v7i1.237>.
- MOURA, C.; CAMEL, T.; GUERRA, A. A natureza da ciência pelas lentes do currículo: normatividade curricular, contextualização e os sentidos de ensinar sobre ciências. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 22, e15631, p. 1-27, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21172020210114>.
- NIELSEN, K.H. Scientific communication and the nature of science. *Science & Education*, v. 22, n. 9, p. 2067-2086,

2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9475-3>.

OLIVEIRA, B.J. História da ciência no cinema. In: GOMES, A.C.V.; CARVALHO, E.B. (org.). *História da ciência no cinema* 5. Belo Horizonte: Fino Traço, 2005. p. 189-189.

PEDUZZI, L.; RAICIK, A. Sobre a natureza da ciência: asserções comentadas para uma articulação com a história da ciência. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 25, n. 2, p. 19-55, 2020. DOI: <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2020v25n2p19>.

PLOKHY, S. *Chernobyl: the history of a nuclear catastrophe*. London: Hachette, 2018.

REID, G.; NORRIS, S.P. Scientific media education in the classroom and beyond: a research agenda for the next decade. *Cultural Studies of Science Education*, v. 11, n. 1, p. 147-166, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11422-015-9709-1>.

ROBERTS, D.A. Scientific literacy/science literacy. In: ABELL, S.K.; APPLETON, K. (eds.). *Handbook of research on science education*. New York: Routledge, 2007. p. 729-780. DOI: <https://doi.org/10.4324/9780203824696>.

SANTOS, M.; MAIA, P.F.; JUSTI, R. Um modelo de ciências para fundamentar a introdução de aspectos de natureza da ciência em contextos de ensino e para analisar tais contextos. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 20, p. 581-616, 2020. DOI: <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2020u581616>.

SANTOS, P.N.; AQUINO, K.A.S. Utilização do cinema na sala de aula: aplicação da química dos perfumes no ensino de funções orgânicas oxigenadas e bioquímica. *Química Nova na Escola*, v. 33, n. 3, p. 160-167, 2011. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc33_3/160-RSA02910.pdf. Acesso em: 2 out. 2022.

SASSERON, L.H.; CARVALHO, A.M.P.d. Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 16, n. 1, p. 59-77, 2011. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/246>. Acesso em: 2 out. 2022.

SOLBES, J.; TORRES, N. Energía nuclear: una cuestión sociocientífica para el desarrollo del pensamiento crítico. In: CONRADO, D.M.; NUNES-NETO, N. (eds.). *Questões sociocientíficas: fundamentos, propostas de ensino e perspectivas para ações sociopolíticas*. Salvador: Edufba, 2018. p. 375-394. DOI: <https://doi.org/10.7476/9788523220174.0019>.

STUBNA, J.; HOSTOVECKY, M.; TOTHOVA, D. Documentary movies as a motivation in science subjects. In: IEEE International Conference on Emerging Elearning Technologies and Applications, 12., 2014, Vysoké Tatry. *Anais...* Vysoké Tatry: IEEE Xplore, 2014. p. 169-174. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICETA.2014.7107579>.

UNESCO. *Educação para a cidadania global: preparando alunos para os desafios do século XXI*. Brasília: Unesco, 2015. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000234311>. Acesso em: 2 out. 2022.

VAN DIJK, E.M. Portraying real science in science communication. *Science Education*, v. 95, n. 6, p. 1086-1100, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1002/sce.20458>.

Recebido em maio de 2022

Aceito em setembro de 2022