

O PENSAMENTO COMPLEXO NA EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

COMPLEX THINKING IN TECHNOLOGICAL AND SCIENTIFIC EDUCATION

Iara Maitê Campestrini Binder

Professora, Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Doutoranda em Educação Científica e Tecnológica pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus Jaraguá do Sul-Rau, Rua dos Imigrantes, 445, Rau, Jaraguá do Sul, SC, CEP: 89254-430, (47) 3276-9600. E-mail: iara.campestrini@ifsc.edu.br

Walter Antonio Bazzo

Professor Titular, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Doutor em Educação, Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lina, s/nº, Trindade, Florianópolis, SC, CEP: 88040-900, (48) 3721-9000. E-mail: walter.bazzo@ufsc.br

Resumo

A educação científica e tecnológica insere-se em um contexto onde as articulações com as esferas social, política, econômica, ambiental, etc., se fazem cada vez mais necessárias e urgentes, de modo a auxiliar a compreensão da complexidade do processo civilizatório. Tem-se, portanto, como pressuposto que a educação científica e tecnológica necessita indubitavelmente da compreensão da complexidade do ser humano enquanto indivíduo, espécie e sociedade, para além de uma compreensão tecnicista dos conceitos, leis e princípios. A construção deste ensaio teórico parte da indagação: como os conhecimentos científicos e tecnológicos podem se articular de modo a auxiliar na formação do pensamento complexo? Para isso, a obra de Edgar Morin inspira a buscar uma nova forma de olhar para os conceitos, leis e princípios comumente abordados na educação científica e tecnológica, tirando-os das caixinhas disciplinares, compartimentadas e desunidas. Tal pensamento encontra respaldo em autores como Harari, Georgescu-Roegen e Rees, confluindo com estudiosos da educação em ciências e tecnologia, especialmente Bazzo e a equação civilizatória. O resultado é um ensaio onde os estudos especializados da Ciência e da Tecnologia são articulados e compreendidos de modo interdisciplinar, oferecendo subsídios ao entendimento da complexidade e da construção do conhecimento pertinente, num exercício constante de pensar o específico na articulação com seu contexto. Outrossim, este ensaio se constitui um material a ser explorado e trabalhado em sala de aula.

Palavras-chave: Formação do pensamento complexo; Equação civilizatória; Educação científica e tecnológica.

Abstract

Scientific and technological education is part of a context where articulations with the social, political, economic, environmental, etc. spheres are increasingly necessary and urgent, in order to help in the understanding of the civilizing process complexity. Therefore, it is assumed that scientific and technological education undoubtedly needs an understanding of the complexity of the human being as an individual, species and society, in addition to a technical understanding of concepts, laws and principles. The construction of this theoretical essay starts from the question: how can scientific and technological knowledge be articulated in order to assist in the formation of complex thinking? This is why the work of Edgar Morin inspires the seek for a new way of looking at the concepts, laws and principles commonly addressed in scientific and technological education, taking them out of disciplinary, compartmentalized and disjointed boxes. Such thinking is supported by authors such as

Harari, Georgescu-Roegen and Rees, converging with scholars of science and technology education, especially Bazzo and the civilizing equation. The result is an essay in which the specialized studies of Science and Technology are articulated and understood in an interdisciplinary way, offering subsidies to the understanding of the complexity and construction of relevant knowledge, in a constant exercise of thinking about the specific in the articulation with its context. Furthermore, this essay constitutes a material to be explored and worked on in the classroom.

Keywords: Complex thinking formation; Civilization equation; Scientific and technological education.

1. INTRODUÇÃO

O vislumbrar de uma educação em ciências e tecnologia que seja feita de forma diferente é a motivação para a escrita deste ensaio teórico. Almeja-se, neste sentido, uma educação tal que supere o paradigma cartesiano, determinante de uma dupla visão de mundo, que separa o sujeito do objeto. De um lado estão os sujeitos que se questionam sobre problemas de existência, comunicação, consciência e destino; de outro lado, estão os objetos, submetidos à observação, experimentação e manipulação (Morin, 2011). O que há é uma não separação de sujeito que ora é objeto e de objeto que outrora é protagonista, numa via de muitas avenidas (Morin, 2019).

Ao refletir sobre as possibilidades desta educação feita de forma diferenciada, a obra de Edgar Morin, “*Os sete saberes necessários à educação do futuro*”, apresenta questões instigadoras e provocativas. Seu texto instiga à reflexão do ensinar sobre as cegueiras do conhecimento, sobre a condição humana, sobre a identidade terrena, sobre enfrentar as incertezas e sobre a ética do gênero humano. É também uma obra provocativa ao desenvolvimento de saberes que visem à construção do conhecimento pertinente. Este conhecimento trata de uma nova forma de olhar para os conceitos, leis e princípios comumente abordados na educação científica e tecnológica, tirando-os das caixinhas disciplinares, compartimentadas e desunidas.

Por isso, a compreensão dos sete saberes necessários à educação do futuro, propostos por Morin, é o fio condutor que motiva a pensar uma educação científica e tecnológica cujas muralhas disciplinares são quebradas. Uma educação na qual é permitido e necessário um olhar para além de tais muralhas, um olhar que seja dado por cima, sem perder de vista o olhar de dentro. Tomando este fio condutor, intenciona-se pensar no que, para Morin, “está tecido junto”, ou seja, o que dá o significado ao *complexus*, à complexidade que existe quando “elementos diferentes são inseparáveis constitutivos do todo [...] e há um tecido

interdependente, interativo e inter-retroativo entre o objeto de conhecimento e seu contexto, as partes e o todo, o todo e as partes, as partes entre si” (Morin, 2011, p.36). Neste sentido, ao definir a complexidade como a união entre a unidade e a multiplicidade, Morin (2011, p. 36) faz um alerta ao afirmar que “os desenvolvimentos próprios à nossa era planetária nos confrontam cada vez mais e de maneira cada vez mais inelutável com os desafios da complexidade”.

Morin (2011) defende que o enfrentamento à complexidade é um dever do conhecimento pertinente. Ou seja, a compreensão entre a unidade e a multiplicidade demanda uma articulação de conhecimentos de modo interdisciplinar. Tal exercício de articulação promove a construção do conhecimento pertinente o qual, por sua vez, contribui para a formação do pensamento complexo. Frente à motivação e ao desafio de contribuir para tal formação, este ensaio apresenta estudos e posicionamentos de autores como o historiador Harari, o matemático Georgescu-Roegen e o físico Rees, os quais contribuem para o entendimento das ciências e da tecnologia no processo construtivo e evolutivo das sociedades e da humanidade. Além destes autores, pesquisadores da área da educação científica e tecnológica dedicam seu tempo aos estudos sobre o que, como e para que abordar questões contemporâneas e sociais na inter-relação com os conceitos, leis e princípios científicos e tecnológicos, no âmbito da sala de aula e em todos os níveis de ensino, num olhar interdisciplinar.

Em particular e, em especial, vislumbrando um entendimento e uma aproximação com o que Morin (2011) define como aquilo que está tecido junto, emergem, no contexto da educação científica e tecnológica, as variáveis contemporâneas contempladas na equação civilizatória definida por Bazzo (2019). Segundo o autor, a equação civilizatória “poderia ser a 'panaceia' para reunir as mais diferentes variáveis que surgem a todo instante em uma civilização que está vulnerável às mais aceleradas mutações em seu comportamento cotidiano” (2019, p. 21). O termo equação é muito familiar aos estudantes e profissionais das ciências da natureza, da matemática e das engenharias, representando uma interdependência entre variáveis conectadas por operações matemáticas. Assim, abordar as variáveis contemporâneas no bojo da equação civilizatória é chamar a atenção para questões eminentemente humanas imbricadas na relação entre a ciência, a tecnologia e a sociedade.

Da exposição da motivação surge o questionamento: como os conhecimentos científicos e tecnológicos podem se articular de modo a auxiliar na formação do pensamento

complexo? A partir dessa questão, este estudo tem como finalidade identificar alguns conhecimentos das ciências da natureza, da matemática e suas tecnologias, relacionando-os interdisciplinarmente, de modo a oferecer subsídios para a construção do conhecimento pertinente.

A partir da indagação norteadora, este estudo é apresentado na forma de um ensaio teórico. Segundo a Universidade do Vale do Itajaí (2011), algumas das características próprias deste gênero podem ser pontuadas e justificam seu uso, a saber: a atualidade do tema discutido; a pretensão de não ser exaustivo, representando “a totalidade da experiência do pensamento como atividade humana, contra a ideologia de que o conhecimento é construído por um rigor metodológico e pela concepção de verdade como algo acabado” (Ibidem, p.84), ou seja, revela uma forma de pensar a partir da elaboração de reflexões sobre o objeto de estudo sem, portanto, impor posições ou mesmo esgotar o tema. De forma complementar, no ensaio, os autores-pesquisadores “tem maior liberdade para defender determinada posição, pois não precisa se apoiar no rigoroso e objetivo aparato de documentação empírica e bibliográfica, como é feito em outros tipos de trabalho científico” (Silveira, 1991, p. 35).

Na intenção de construir possíveis caminhos para responder à questão norteadora, este ensaio apresenta seções organizadas a fim de explorar como os estudos científicos e tecnológicos vêm ao encontro da construção do conhecimento pertinente. Por isso, a seção 2 lança um olhar para o cosmos, na busca pela compreensão da condição humana, da origem e do lugar da espécie humana. Na seção 3, a busca é pela compreensão deste lugar, porém lançando um olhar para a história e a evolução social desprendida pela atividade do *Homo sapiens*. Na seção 4, são compreendidas as dimensões do ser humano enquanto *unitas multiplex*. Na seção 5, considerações são tecidas acerca da formação do pensamento complexo na e para a educação em ciências e tecnologia. Na seção que finaliza este ensaio, algumas considerações são construídas a fim de que outras articulações possam ser formuladas a partir da experiência de cada leitor.

2. UM OLHAR PARA O COSMOS: NOSSA ORIGEM E NOSSO LUGAR

Na contemporaneidade, os compromissos e rotinas diárias acabam afastando os indivíduos da percepção de quem são e do lugar onde vivem, ou seja, esquecem-se de que pertencem à espécie *Homo sapiens* e de que vivem nessa esfera azul chamada Terra. Ao lançar um olhar para o cosmos, esta seção busca evidenciar estudos científicos e tecnológicos

que auxiliem na compreensão da origem da espécie humana e que ajudem no entendimento acerca da dimensão do lugar onde o *Homo sapiens* vive. Com isso, o ensinar a condição humana é um dos saberes necessários à educação do futuro a ser explorado e enfatizado.

Ao questionar seu leitor sobre qual é a sua obra, Cortella (2017) declara a Física quântica a ciência a ser usada para casos crônicos da falta de humildade. Ou seja, partindo do micro e indo ao macro, o autor evidencia a ciência e as tecnologias como responsáveis por expandir os olhares para além dos limites do visível humano. Tal abordagem contribui para eliminar a falta de humildade das pessoas em reconhecer que vivem em um “planetinha que gira em torno de uma estrelinha, que é uma entre 250 trilhões de estrelas que compõem uma galáxia, que é uma entre outras 2 trilhões de galáxias num dos universos possíveis e que vai desaparecer” (Cortella, 2017, p. 24).

Enquanto a galáxia de que se fala é a Via Láctea, a estrelinha é o Sol e o planetinha é a terceira massa planetária sem luz que se coloca em movimento ordenado ao redor do Sol: a Terra, lugar único onde a ciência calcula que “haja mais de trinta milhões de espécies de vida, mas que até agora só classificou por volta de três milhões de espécies” (Cortella, 2017, p. 25). Uma das espécies classificadas é a do *Homo sapiens*, com uma representatividade que em 2021 chegava a 7,88 bilhões de 'homens que sabem'.

O cenário apresentado por Cortella (2017) é também a perspectiva a partir da qual Rees (2021) infere sobre o futuro da humanidade. A partir dessa perspectiva cósmica, o autor anuncia a importância da astronomia como a ciência antiga que vem agregando novas descobertas graças ao desenvolvimento de melhores e maiores tecnologias. Tais tecnologias possibilitam uma melhor observação, aferição, detecção e também o transporte extraterreno. O autor cita como exemplo as sondas robóticas, enviadas a outros planetas, o que possibilitou a captação de imagens de paisagens desconhecidas, ou ainda os modernos telescópios que 'ampliaram os horizontes cósmicos'.

Olhando para o céu, para o cosmos, a origem das espécies é revelada. Um universo em expansão há 13,8 milhões de anos a partir de um “big bang” e de onde emergem todas as partículas básicas da natureza. Ao desvendar os mistérios das estrelas, verifica-se que elas “obtem sua energia da fusão de hidrogênio em hélio, e de hélio em carbono, oxigênio, fósforo, ferro e outros elementos da tabela periódica” (Rees, 2021, p. 121). Ao morrer de uma estrela, o material resultante do processo de fusão nuclear é expelido ao espaço interestelar sendo que parte dele pode originar outras estrelas, dentre elas o Sol, por exemplo.

Nas palavras de Rees (2021, p.122), “somos literalmente cinzas de estrelas mortas há muito tempo”. Ao vagar pelo espaço interestelar, o átomo de carbono pode ter se condensado ao protossistema solar e com a jovem Terra, fazer parte do ciclo de formação da sua biosfera, crosta, oceanos. Do estudo do macro ao micro, da astronomia à física quântica e química, pode-se constatar a condição biológica das espécies. Essa constatação conecta a espécie humana ao cosmos, ampliando a compreensão sobre sua constituição e sobre o lugar onde vive.

Pode-se perceber uma aproximação dos autores com o princípio hologramático da complexidade, proposto por Morin (2011). Esse princípio informa que, em um só tempo, “trazemos, no seio da nossa singularidade, não somente toda a humanidade e toda a vida, mas também quase todo o cosmos, incluindo seu mistério, que, sem dúvida, jaz no fundo da natureza humana” (MORIN, 2011, p.47). Além disso, Cortella e Rees contribuem na construção do conhecimento pertinente pois convergem para o ensinar a condição humana, um dos saberes necessários à educação do futuro, listados por Morin (2011). Para o autor, “conhecer o humano é, antes de tudo, situá-lo no universo, e não separá-lo dele [...] [e] interrogar [a] condição humana implica questionar primeiro [a] posição no mundo” (Morin, 2011, p.43).

3. UM OLHAR PARA NOSSA HISTÓRIA: NOSSO LUGAR E NOSSA EVOLUÇÃO SOCIAL

Cada vez mais, a investigação astronômica permite que novas partículas sejam descobertas, esperando que teorias sejam formuladas ou que seja feita a comprovação experimental de alguma teoria previamente formulada. Essas investigações ampliam os horizontes da física quântica. É uma viagem do macro ao micro! Neste ínterim, há o planeta Terra. Rees (2021, p. 120), ao citar Carl Sagan, escreve que a Terra “é a nossa casa. [...] todos que você ama, todos que conhece, todos de quem já tenha ouvido falar, cada ser humano que já existiu, viveram suas vidas. [...] A Terra é o único mundo até então conhecido a abrigar vida. [...] que marcamos nossa posição”.

É neste planeta que, há 3,8 milhões de anos, se originaram as primeiras estruturas grandes e complexas a partir de certas moléculas e átomos, como visto, provenientes de rejeitos de explosões estelares. E onde, há 70 mil anos, “organismos pertencentes à espécie

Homo sapiens começaram a formar estruturas ainda mais elaboradas chamadas culturas [cujo] desenvolvimento subsequente [...] é denominado história” (Harari, 2017, p.11).

Nesse caminho histórico, Harari (2017) explica como os seres humanos e demais organismos foram afetados por três revoluções: a Cognitiva, a Agrícola e a Científica. A primeira é caracterizada pelo desenvolvimento da linguagem. O autor sintetiza essa revolução quanto ao desenvolvimento de novas habilidades, como sendo a capacidade do *Homo sapiens* de transmitir maiores quantidades de informação sobre o mundo a sua volta, sobre suas relações sociais e sobre coisas que não existem de fato. Exemplos destas últimas seriam criações como espíritos tribais, nações, direitos humanos. Essas novas habilidades permitiram um melhor planejamento e realização de ações complexas, como de defesa e de caça, assim como a formação de grupos maiores e coesos, com a cooperação entre um número grande de estranhos com rápida inovação do comportamento social.

A linguagem possibilitou comunicação e a expansão do universo criativo dos seres humanos, como a própria Revolução Cognitiva, assim como as revoluções Agrícola e Científica indicam. Segundo Morin (2011), desde as maneiras de realizar operações cotidianas à estruturação de organizações sociais, a linguagem tornou-se fundamental para a criação das culturas, de modo que se não dispusesse plenamente de cultura, o homem, enquanto ser plenamente biológico, seria um primata do mais baixo nível. A cultura, por sua vez, “acumula em si o que é conservado, transmitido, aprendido e comporta normas e princípios de aquisição” (Morin, 2011, p. 47). É por meio da cultura que o convívio em sociedade é permitido aos seres humanos, não os limitando à perspectiva biológica, física e/ou cósmica.

A comunicação e a organização em comunidades estabelecem marcos. Assim, a revolução agrícola, ocorrida há 12 mil anos, acelerou a história e mudou a maneira como os seres humanos viviam. Para Schwab (2016), essa revolução foi possível devido à domesticação dos animais, cuja força associada à força dos seres humanos foi usada na produção, no transporte e na comunicação. Porém, Harari (2017) é categórico ao afirmar que, na Revolução Agrícola, foram as plantas – ou os animais, como cita Schwab (2016) – que domesticaram os seres humanos, tendo em vista que até o momento, os *Homo sapiens* viviam como caçadores-coletores, livres na busca por alimentos. Ao se tornarem agricultores, eles passaram o dia todo semeando e pastoreando, acreditando que com isso teriam a seu dispor mais frutas, carne e grãos.

Aprofundando seu entendimento, Harari (2017) utiliza como exemplo o cultivo do trigo. Homens e mulheres passaram a cuidar de uma única cultura, a limpar terrenos para serem adequados ao cultivo (o trigo não gosta nem de rochas nem de pedregulhos), a construir canais de irrigação, a vigiar as plantações e construir cercas, protegendo contra pragas e outros animais. O esforço em permanecer muitas horas nas tarefas agrícolas, para as quais não estavam acostumados, forçou os agricultores a se instalarem permanentemente próximos dos campos. Daí a origem de “domesticar”, do latim *domus* significa “casa”, ou seja, foram as plantas que domesticaram os seres humanos. As colocações de Harari (2017) reforçam o que Schwab (2016) apresenta sobre a força desprendida pelos seres humanos na revolução agrícola.

Iniciada há apenas 500 anos, a terceira revolução apontada por Harari (2017) foi a Revolução Científica. Segundo o autor, esta foi considerada uma revolução pois “até por volta de 1500, os humanos do mundo inteiro duvidavam de sua aptidão para adquirir novas capacidades médicas, militares e econômicas” (Harari, 2017, p. 259). Quando a pesquisa científica representou um aumento das capacidades humanas, a volta ao mundo tornou-se possível, micro-organismos puderam ser descobertos e usados na medicina e na indústria, o homem pisou na Lua! Quanto mais descobertas iam acontecendo, mais investimentos eram destinados às pesquisas, demonstrando uma íntima relação de retroalimentação entre a ciência, economia e política: as instituições políticas e econômicas fornecem recursos para a ciência que, progredindo – empírica, tecnológica e teoricamente, retorna fornecendo novas capacidades às instituições mencionadas que se converte em mais recursos.

Episódios da história da ciência exemplificam a retroalimentação entre ciência, economia e política. Harari (2017) traz como exemplo o investimento dos Estados Unidos aos estudos da física nuclear, a fim de fornecer uma fonte de energia barata para as indústrias estadunidenses, que por sua vez pagam impostos ao governo, tal que parte se converte em mais investimento para as pesquisas. Outro exemplo é o estudo realizado por Silva e Errobidart (2019), que descreve o episódio histórico da evolução da máquina a vapor e a evolução dos conceitos da termodinâmica imbricada no contexto social, econômico e político da época. Esse estudo destaca o setor econômico da sociedade como propulsor do investimento de tempo e técnica para a elaboração e construção de tais máquinas, conduzindo a um estudo dos conceitos teóricos que cercam o seu funcionamento e o aumento de eficácia, a ocasião da primeira revolução industrial.

Tais exemplos ilustram, portanto, a multidimensionalidade dos seres humanos, os quais são colocados em uma dinâmica social por sua capacidade para o desenvolvimento científico e tecnológico. Nesse contexto, Morin (2011) chama a atenção para o fato de que devido à cultura, à mente e à consciência, os seres humanos se tornam estranhos ao cosmos que lhes deu origem, à natureza que os projetou e à vida que os constituiu. Ou seja, a consciência e a mente que permitiram a construção do conhecimento científico e tecnológico acerca do mundo, dos seres, dos objetos materiais e imateriais, também provocam o afastamento do ser humano deste mundo.

O resgate da multidimensionalidade humana, da sua condição cósmica, física, terrestre e humana, por meio da história e da sua evolução social, como apresentado nesta seção, pode ser um caminho para a aproximação deste ser humano ao mundo. Uma aproximação que não o coloca em posição superior à natureza, à fauna e a outros seres, mas que, ao contrário, lhe permite assumir uma posição de humildade diante das implicações que suas ações provocam nas culturas e na sociedade. Pode-se compreender essa posição de humildade como um caminho para a formação do pensamento complexo, no qual o ser humano assume ser *unitas multiplex*, como será abordado na seção 4.

4. UM OLHAR PARA O PENSAMENTO COMPLEXO: NOSSO *UNITAS MULTIPLEX*

O que foi exposto até o momento, com referências trazidas da história, da astronomia, da biologia, da sociologia, representa uma amostra sobre quem é e onde vive o ser humano. Com o desenvolvimento das ciências e das técnicas, os seres humanos também desenvolveram múltiplas capacidades que permitiram ir mais ao longe, mais ao interno de si mesmos, em suas células e mentes, e muito mais ao externo do que seus olhos enxergam, em outras culturas e povos, em outras galáxias, nebulosas, buracos negros. A partir de um olhar atento à grandeza da humanidade, Morin (2011) provoca para a compreensão humana do humano. A condição humana se relaciona com a cósmica, física e terrena, onde, a um só tempo, o ser humano é cérebro, mente e cultura – este aparelho biológico com capacidade de consciência e pensamento que, na interação com a cultura, cria a mente humana, retroagindo com o funcionamento cerebral. Mas não é só.

A formação histórica deste cérebro humano o dota da capacidade de, a um só tempo, ser pulsão, afetividade e razão, ou seja, de estar submetido à agressividade, às emoções e às

aptidões analíticas. Além das tríades cérebro-mente-cultura e pulsão-afeto-razão, há uma terceira: a indivíduo-sociedade-espécie, segundo a qual

As interações entre indivíduos produzem a sociedade, que testemunha o surgimento da cultura e que retroage sobre os indivíduos pela cultura. [...] a sociedade vive para o indivíduo, o qual vive para a sociedade; a sociedade e o indivíduo vivem para a espécie, que vive para o indivíduo e para a sociedade. Cada um destes termos é, ao mesmo tempo, meio e fim: é a cultura e a sociedade que garantem a realização dos indivíduos, e são as interações entre indivíduos que permitem a perpetuação da cultura e a auto-organização da sociedade. [...] A complexidade humana não poderia ser compreendida dissociada dos elementos que a constituem: **todo desenvolvimento verdadeiramente humano significa o desenvolvimento conjunto das autonomias individuais, das participações comunitárias e do sentimento de pertencer à espécie humana.** (Morin, 2017, p.49)

O destaque que o próprio autor faz reforça que as tríades também estão em retroalimentação. Ao mesmo tempo em que se banha de cultura, o indivíduo a produz. Da mesma forma como é influenciado pelos aspectos sociais, o indivíduo tem a capacidade de influenciar. Ao expressar-se em emoções, pulsões e construções de racionalidade, o indivíduo demonstra pertencer realmente à espécie *Homo sapiens*. As tríades levam ao entendimento da unidade e da diversidade humana, ou seja, ao *unitas multiplex*.

O ser humano é, ao mesmo tempo, único e múltiplo. É único em sua individualidade, ao pertencimento à espécie *Homo sapiens*, em sua cultura. Nesta unidade há, porém, a diversidade genética, cerebral, mental, psicológica, afetiva, intelectual, subjetiva, assim como a diversidade de línguas, de organizações sociais e de culturas, cada qual sendo, por si só, únicas. Há diversidade na unidade e unidade na diversidade, tal que “cabe à educação do futuro cuidar para que a ideia de unidade da espécie humana não apague a ideia de diversidade, e que a da sua diversidade não apague a da unidade” (Morin, 2011, p.50).

Tal posicionamento é complementado quando o autor faz um alerta quanto ao erro e à ilusão que o conhecimento pode conduzir: “nosso pensamento e nossa consciência fazem-nos conhecer o mundo físico e distanciam-nos dele. O próprio fato de considerar racional e cientificamente o universo separa-nos dele” (Morin, 2011, p. 47). Trata-se de separação que fica evidente nas investigações científicas hiperespecializadas e no desenvolvimento das técnicas e das tecnologias, conferindo ao *Homo sapiens* a capacidade de domínio sobre a natureza, sobre outras espécies da fauna e da flora, deixando de se perceber enquanto integrante desta natureza. Abre-se espaço a uma ciência sem consciência, onde prevalecem os mitos da razão toda-poderosa e do progresso garantido, numa atitude reducionista, determinista e simplificadora (Morin, 2019).

Somam-se aos mitos supracitados, aqueles denunciados por Auler e Delizoicov (2001), a saber: a superioridade do modelo de decisões tecnocráticas, a perspectiva salvacionista da ciência e da tecnologia e o determinismo tecnológico. O primeiro mito se relaciona à transferência aos especialistas ou técnicos da responsabilidade por decisões sociais, que abrangem toda uma população, de modo neutro; o segundo mito é aquele que conduz à ideia de progresso, onde os problemas da humanidade são resolvidos pelo desenvolvimento da ciência e da tecnologia. Caso este venha a ter algum efeito colateral, a única opção seria a de aguardar por outra solução salvadora, científica e/ou tecnológica. Quanto ao terceiro mito, os autores reforçam a relação que uma mudança tecnológica é causa de uma mudança social e, por outro lado, a tecnologia é autônoma e independente das influências sociais. Todos os mitos contribuem, portanto, para uma noção de progresso linear, cumulativo e melhor, voltado à racionalidade, à ordem e à organização, onde um desenvolvimento científico e tecnológico se encontra alinhado a um crescimento econômico, refletindo num aumento do desenvolvimento social e humano (Morin, 2019).

Harari (2017) alerta que a revolução Científica não foi uma revolução do conhecimento, mas da ignorância. Isso porque a grande descoberta foi “de que os humanos não têm as respostas para suas perguntas mais importantes” (Harari, 2017, p. 261). Soma-se a tal alerta, aquele no qual a percepção de que o desenvolvimento científico e tecnológico pode não empreender um aumento da qualidade de vida, gerando mais prejuízo do que bem-estar, com subprodutos que tendem a se tornar produtos principais (Morin, 2019). É chegada a hora em que a noção de progresso deve ser reconsiderada com vistas a noção de regressão e que o *Homo sapiens*, tendo suas capacidades desenvolvidas a partir da linguagem, sinta-se pertencente ao planeta Terra, o qual compreende uma dimensão cósmica e celular, macro e micro.

A busca pela compreensão da multidimensionalidade do *Homo sapiens* e pelo aflorar do sentimento de pertencimento deve ser uma constante da Educação. Os olhares dos autores deste ensaio voltam-se especialmente à educação científica e tecnológica. Por suas formações acadêmicas terem sido pautadas por leis, princípios e conceitos da área das ciências da natureza, da matemática e das engenharias, percebe-se a urgente necessidade de vencer a hiperespecialização e a fragmentação dos conhecimentos. Neste sentido, Morin (2015, p.100) afirma que a educação é um caminho para “efetivar a ligação entre as partes e as totalidades e

deve ceder lugar a um modo de conhecimento capaz de conceber os objetos em seus contextos, em seus complexos, em seus conjuntos”.

5. O PENSAMENTO COMPLEXO NA E PARA A EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

Para a reconstrução da noção de progresso, para a junção do que parece estar desunido, para a conscientização de que a soma das partes pode ser igual, maior ou menor que o todo, é ponto fulcral que a educação abarque a compreensão daquilo que, no dizer de Morin (2019), está tecido junto. Em especial, a educação em ciências e tecnologia vem contribuir para tal intento na busca de respostas para perguntas mais importantes: quem somos? Qual é a nossa relação com o que está ao nosso redor? Qual poderá ser nosso fim? Perguntas cuja busca pelas respostas requer um método: o método da complexidade, que

[...] pede para pensarmos nos conceitos, sem nunca dá-los por concluídos, para quebrarmos as esferas fechadas, para restabelecemos as articulações entre o que foi separado, para tentarmos compreender a multidimensionalidade, para pensarmos na singularidade com a localidade, com a temporalidade, para nunca esquecermos as totalidades integradoras. (Morin, 2019, p.192)

Como afirma Morin (2019), a complexidade é difícil, pois consiste 'na junção de conceitos que lutam entre si' e envolve a construção de um pensamento multidimensional, dialógico, coerente, um pensamento de organização que inclua a relação auto-eco-organizadora, ou seja, que inclua a relação profunda e íntima com o meio ambiente, a relação hologramática entre as partes e o todo e o princípio da recursividade. No entanto, a dificuldade não impede que a complexidade seja estudada, compreendida e inserida nos contextos escolares, e o pensamento complexo se torne, antes de tudo, uma atitude.

Desta forma, com vistas à superação dos mitos apontados pelos estudos de Auler e Delizoicov (2001), pesquisadores têm se dedicado a compreender o ensino de ciências numa perspectiva ampliada, como sugerem os estudiosos supracitados em relação à Alfabetização Científica e Tecnológica (ACT). Sob essa perspectiva ampliada, os conteúdos são “meios para a compreensão de temas socialmente relevantes” (Auler & Delizoicov, p. 127) e para o desenvolvimento da autoconsciência crítica, não se limitando a conteúdos científicos fechados em si mesmos e orientados para o entendimento de artefatos tecnológicos do ponto de vista técnico.

Corroborando com tal perspectiva ampliada, encontram-se as pesquisas desenvolvidas por Watanabe (2021), incorporando a complexidade nas dimensões e ênfases que remetem à

construção do conhecimento escolar. Para a autora, “as Dimensões referem-se aos espaços nos quais a complexidade deve ser abarcada para promover uma formação mais crítica e reflexiva” (Watanabe, 2021, p.2), sendo classificadas em Dimensão educacional, Dimensão ensino-aprendizagem e Dimensão epistemológica. Por sua vez, as Ênfases “voltam-se às possíveis abordagens de atividades que articulam esses espaços (as dimensões) no contexto escolar” (Ibidem), sendo elas a dinâmica, temporal, entrópica e das inter-relações.

Ressalta-se nesta pesquisa o planejamento de cinco momentos de aulas, dos quais não se eximiu do estudo dos conceitos, leis e princípios, no caso específico, na disciplina de Física. No entanto, estes estavam relacionados a um contexto inicialmente tomando como referência o local, a realidade dos estudantes, para *a posteriori* realizar as investigações próprias do fazer científico, mas não se limitando à análise técnica. A compreensão do multidimensional se expande quando se incorporam às discussões outros pontos de vistas, das esferas política, econômica, social, ambiental, cultural, etc. No último momento, a relação entre o Ser e o Ter dentro da problemática desta sequência de aulas, assim como o Aquecimento Global são os tópicos de discussão. Assim, a casa Terra foi explorada como “um sistema complexo, dinâmico e sujeito a muitas variáveis interdependentes, com história e evolução temporal na escala dos milhões de anos” (Watanabe, 2021, p.6), além de discutida a intervenção humana, por meio das ações de degradação local e global.

Apesar da problemática socioambiental ser emergente no contexto escolar, especialmente quando visto pelo viés da complexidade, tal preocupação já data de meados da década de 1970, com os estudos de Nicholas Georgescu-Roegen (G-R), em que a natureza entrópica do processo econômico é analisada. A fim de chamar a atenção para o mito de que a ciência pode eliminar todas as limitações dos seres humanos, assim como para o fato de economistas não conectarem a análise do processo econômico com as limitações do ambiente material, G-R afirma que “não é de admirar que ninguém tenha se dado conta de que não podemos produzir refrigeradores, automóveis ou aviões 'melhores e maiores' sem produzir também resíduos 'melhores e maiores’” (G-R, 2012, p. 65). Assim, das transformações de energia-matéria de baixa para alta entropia relacionadas às transformações de recursos naturais de valor para resíduos sem valor, tem-se uma conexão entre a Ciência, por meio das Leis da Termodinâmica, e a Economia, num esforço de quebrar esferas fechadas e pensar sobre a finitude da nossa casa, o planeta Terra.

É inevitável pensar na importância de G-R para a Educação em ciências e tecnologia e nas contribuições para a formação do pensamento complexo. Tal pensar está retratado por Binder e Souza (2021) num estudo que busca uma abordagem da Termodinâmica diferente, cuja “importância ultrapassa os aspectos técnicos e o usufruir das benesses tecnológicas, envolve também uma reflexão sobre o estar no mundo, as interferências do ser humano no mundo e o produto dessa relação [...] nos instrumentalizando para mudar uma visão reducionista de ciência ao discutir a finitude do planeta” (Binder & Souza, p.11). Trata-se de um posicionamento que corrobora com Watanabe (2021), quando um olhar complexo implica repensar a educação sob a perspectiva da complexidade e da reflexividade, de forma que ações, leituras, interpretações por parte dos sujeitos da educação conduzam ao aumento das capacidades “de lidar com as incertezas e os distintos olhares produzidos pela própria ciência” (Watanabe, 2021, p. 1).

Do exposto, a formação do pensamento complexo pode se relacionar com as preocupações do campo de estudos Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS). Segundo Bazzo et al. (2003), esses estudos buscam compreender tanto como os fatores de natureza social, política e econômica modulam a mudança científico-tecnológica, quanto como essas mudanças repercutem de forma ética, ambiental e cultural. Os autores destacam ainda que a abordagem CTS no campo educacional, no ensino superior das engenharias, tecnologias e ciências naturais, surge com o objetivo de proporcionar uma formação humanística básica, desenvolvendo uma sensibilidade crítica acerca dos impactos sociais e ambientais derivados do desenvolvimento científico e tecnológico.

No entanto, essa abordagem pode ser expandida para todos os níveis de ensino e para todos os envolvidos no processo educativo, de modo que [...] desenvolvam uma consciência acurada da imbricação existente entre tecnologia, sociedade e conhecimento. Que discernam entre utilizar a ciência e a tecnologia para o bem-estar humano de modo geral, e não apenas para pequenos grupos dominantes [...]” (Bazzo, 2020, p. 245). São reflexões de compreender com profundidade o que faz, como faz e por que faz, reportando-se para o nível de entendimento social, ambiental e humano e não apenas para a execução de tarefas, numa linha de produção, por exemplo.

Resgatando o que representou o movimento CTS na sua origem, Bazzo (2016) destaca que este movimento ofereceu “forte crítica ao modelo de desenvolvimento científico e tecnológico vigente por não ser condizente aos interesses do bem-viver de todas as pessoas

pertencentes a diferentes classes sociais, nacionalidades, etnias, idades etárias e culturas” (Bazzo, p.79). Porém, por meio de suas leituras e pesquisas, o autor aponta uma “insuficiência da ideia CTS para compreender e resolver as questões sociais derivadas das relações indissociáveis entre a ciência, a tecnologia e a sociedade” (Bazzo, 2016, p.78-79), e cita alguns exemplos como as guerras, as inundações, a fome, e ainda, de forma ilustrada, a desigualdade social, a questão energética, a mobilidade humana, a contaminação ambiental, o consumo exacerbado, etc. Tais aspectos passam a ser denominados de variáveis contemporâneas e surgem a todo momento e de diferentes maneiras. Além de depender de contextos dos espaços e tempos, cada vez mais estreitam sua relação com o desenvolvimento da ciência e da tecnologia.

Ao processo de extensão da ideia CTS, a fim de abarcar as variáveis contemporâneas enfatizando a complexidade das relações, Bazzo (2016) propõe a equação civilizatória. O pesquisador percebeu que o arcabouço de discussões envolvendo CTS não dava conta das múltiplas variáveis que se apresentam a cada momento, derivadas do desenvolvimento da ciência e da tecnologia e que tem implicações sobre o planeta Terra, sobre tudo e todos que nele se encontram – todas as espécies animais e vegetais. Ainda conforme Bazzo (2016), a diversidade de relações que foram surgindo no bojo compreendido pelos estudos CTS, abarcando sufixos como CTS+A, referenciando o ambiente, CTS+PP, fazendo referência a políticas públicas, CTS+X, CTS+Y, etc., constituiu um ponto de ruptura para a necessidade de uma compreensão mais ampla das relações entre as diferentes variáveis contemporâneas que surgem a todo momento. Por esse motivo, a equação civilizatória emerge como uma possibilidade de se pensar neste todo, com suas múltiplas variáveis sociais, políticas, econômicas, ambientais. As espécies passam a ser vistas não apenas sob a perspectiva biológica, mas também sob as relações estabelecidas entre os integrantes de uma mesma espécie, entre as diferentes espécies, entre elas e o local onde habitam.

Como consequência, a equação civilizatória e as variáveis contemporâneas são temas que passaram a fazer parte das pesquisas, discussões e compreensões dos integrantes do Núcleo de Estudos e Pesquisas em Educação Tecnológica (NEPET). Nesse sentido, Civiero e Bazzo (no prelo) refletem com um olhar mais aguçado e crítico acerca da importância do trabalho a ser desenvolvido com a Equação civilizatória e as múltiplas variáveis contemporâneas. Fruto de uma pesquisa pós-doutoral, o estudo supracitado busca compreender, a partir de uma perspectiva histórica, as origens do termo equação civilizatória,

o qual vem ganhando cada vez mais espaços nas discussões especialmente quando abarcadas na e para a Educação em ciências e tecnologia, na perspectiva de que métodos sejam ensinados a fim de “que permitam perceber as relações mútuas e as influências recíprocas entre partes e todo em um mundo complexo” (Morin, 2015, p. 101)

Sob essa perspectiva, o que se vê é a equação civilizatória vindo ao encontro da formação do pensamento complexo. A denominação inicial de equação foi intencionalmente concebida por estar relacionada a um conceito da área técnica e tecnológica. Ao serem apresentados a tal familiaridade, estudantes e professores dessa área do conhecimento são instigados a refletir sobre as questões sociais, ambientais, políticas, econômicas e as múltiplas variáveis contemporâneas imbricados no desenvolvimento científico e tecnológico.

No entanto, o amadurecimento epistemológico faz Civiero e Bazzo (no prelo) definirem a equação civilizatória como ferramenta de análise do real, que abarca mais do que a relação entre a ciência, a tecnologia e a sociedade. Uma ferramenta que pode possibilitar ir além de compreender as implicações sociais da ciência e da tecnologia, mas de identificar as causas ou o que gera estas implicações. O NEPET procura entender esta nova compreensão do que seja a equação civilizatória. No entanto, sob a perspectiva do pensamento complexo, o presente ensaio sugere considerá-la uma ferramenta de análise que permita entender o *complexus*, ou seja, “o que foi tecido junto” (Morin, 2011, p. 36).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fome, a desigualdade social, o clima, o desequilíbrio do uso de recursos e energia naturais e de resíduos são alguns exemplos de questões contemporâneas que não podem ser mais separadas do desenvolvimento científico e tecnológico. Por esse motivo, a Educação em ciências e tecnologia é um espaço frutífero para diálogos e para a problematização do *complexus*, ou seja, daquilo que está tecido junto: a Educação, em geral, por responsabilizar-se pela formação humana, cidadã e planetária, e a Educação em ciências e tecnologia, em especial, por tratar conceitos, leis e princípios científicos e tecnológicos os quais podem nos ajudar a entender a origem do ser humano, o lugar onde vive e sua história no processo evolutivo biológico e social, na perspectiva da construção do conhecimento pertinente.

Dessa forma, a ECT não pode se fechar em si mesma, formando ilhas disciplinares sem conexão com outras áreas do conhecimento, como as ciências exatas e as ciências humanas. É preciso que ela seja capaz de entender a sua importância no contexto local e

global e que permita o encontro dos conhecimentos construídos. Os responsáveis por tal intento são os formadores de professores, de engenheiros, de cientistas, de sociólogos, etc., cuja contribuição para a formação do pensamento complexo necessita de um exercício constante de pensar o específico na articulação com seu contexto. A busca pela compreensão da parte na interação com outras partes para assim entender o todo é uma postura primeiramente individual, para em seguida envolver, por exemplo, estudantes de qualquer área do conhecimento. Trata-se de um exercício coletivo para o bem viver e para a cidadania, tendo em vista que “cada vez mais poderosa e influente, a tendência tecno-econômica tende a reduzir a educação à aquisição de competências socioprofissionais, em detrimento das competências existenciais que uma regeneração da cultura existencial e a introdução de temas vitais no ensino podem promover” (Morin, 2015, p. 27).

Por esse motivo, o ensaio ora apresentado buscou reunir os escritos do astrônomo Rees, do matemático G-R, do filósofo Cortella, do historiador Harari, do engenheiro e economista Schwab, a fim de trazer os diferentes olhares para questões contemporâneas que norteiam os rumos da humanidade. São autores que não estão diretamente vinculados à educação, nem mesmo constituem leituras comumente trabalhadas nos espaços escolares. Seus posicionamentos e pesquisas, entretanto, podem fazer com que os professores de ciências da natureza, reflitam sobre os conteúdos explorados em suas aulas e sobre que intersecções entre ciência, tecnologia e sociedade são possíveis construir. Nessa perspectiva, este ensaio se constitui um material a ser explorado e trabalhado em sala de aula, de modo a apresentar uma articulação dos conhecimentos científicos e tecnológicos e, com isso, possibilitar a construção do conhecimento pertinente.

Pesquisadores como Watanabe, Bazzo e Civiero, professores, respectivamente das ciências da natureza, da engenharia e da matemática, preocupados incansavelmente com a formação de sujeitos críticos, vêm somar nas discussões propostas. Watanabe, ao compreender as Dimensões e Ênfases da complexidade no ensino de física. Bazzo e Civiero, ao construírem histórica e epistemologicamente compreensões sobre a Equação civilizatória e as variáveis contemporâneas. Todos os estudos, contudo, direta ou indiretamente, fazem tessituras com os sete saberes necessários à educação do futuro.

Portanto, o objetivo fulcral deste ensaio foi provocar um olhar para além das muralhas disciplinares, para a compreensão de quem são os seres humanos – seres *unitas complexus*, do

lugar onde vivem – local, global, planetário, cósmico, assim como para o pensar a complexidade imbricada nas questões técnicas, científicas e humanas.

REFERÊNCIAS

- Auler, D. & Delizoicov, D. (2001). Alfabetização científica-tecnológica para quê?. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, 3 (2), 122-134.
- Bazzo, W. A., Linsingen, I. V. & Pereira, L. T. V. (2003). *Introdução aos estudos CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade)*. Madrid, Espanha: OEI (Organização dos Estados Ibero-americanos).
- Bazzo, W. A. (2016). Ponto de Ruptura Civilizatória: a Pertinência de uma Educação “Desobediente”. *Rev. iberoam. cienc. tecnol. soc.*, 11(33), 73-91.
- Bazzo, W. A. (2019). *De técnico e de humano: questões contemporâneas*. Florianópolis, SC: Ed. UFSC.
- Bazzo, W. A. (2020). *Ciência, tecnologia e sociedade: e o contexto da educação tecnológica*. Florianópolis, SC: Ed. da UFSC.
- Binder, I. M. & Souza, A. P. G. de (2021). Contribuições do pensamento de Georgescu-Roegen e Hans Jonas para a educação em ciências e tecnologia. In: Anais, I Seminário Regional Sul de Educação Profissional e Tecnológica – SEPT 2021. Blumenau(SC): IFC.
- Civiero, P. A. G. & Bazzo, W. A. (No prelo). Equação civilizatória: gênese e estrutura. Revista Dinamys.
- Cortella, M. S. (2017) *Qual é a tua obra?: inquietações propositivas sobre gestão, liderança e ética*. Petrópolis, RJ: Vozes.
- Georgescu-Roegen, N. (2012). *O decrescimento: entropia, ecologia, economia*. São Paulo: SENAC.
- Harari, Y. N. (2017). *Sapiens: uma breve história da humanidade*. Porto Alegre, RS: L&PM.
- Morin, E. (2011). *Os sete saberes necessários à educação do futuro*. São Paulo: Cortez; Brasília, DF: UNESCO.
- Morin, E. (2015). *Ensinar a viver: manifesto para mudar a educação*. Porto Alegre: Sulina.
- Morin, E. (2019). *Ciência com consciência*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- Rees, M. (2021). *Sobre a futuro: perspectivas para a humanidade*. Rio de Janeiro: Alta Books.
- Schwab, K. (2016). *A quarta revolução industrial*. São Paulo: Edipro.

Silva, G. R. da, & Errobidart, N. C. G. (2019). Termodinâmica e Revolução Industrial: uma abordagem por meio da História Cultural da Ciência. *História da Ciência e Ensino: construindo interfaces*, (19), 71-97.

Silveira, R. C. P. da (1991). Uma contribuição para o estudo do ensaio científico avaliativo. *Letras*, (2), 33-42.

Universidade do Vale do Itajaí. (2011). Produção acadêmico-científica: a pesquisa e o ensaio. Cadernos de ensino. Formação continuada. Ensino Superior, 7, (9). Itajaí, SC: UNIVALI. Disponível em: <https://www.univali.br/vida-no-campus/biblioteca/trabalhos-academico-cientificos/Documents/Produ%C3%A7%C3%A3o%20Acad%C3%AAmico-Cient%C3%ADfica%20-%20A%20Pesquisa%20e%20o%20Ensaio.pdf>.

Watanabe, G. (2021). As contribuições dos aspectos da complexidade para um ensino de física mais crítico. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 43(Suppl 1), e20200416-1–e20200416-12.