VIDYA, v. 37, n. 1, p. 91-108, jan./jun., 2017 - Santa Maria, 2017. **ISSN** 2176-4603

TECNOLOGIA E OS MODELOS MATEMÁTICOS: REFLEXÕES CRÍTICO-ONTOLÓGICAS

TECHNOLOGY AND MATHEMATICAL MODELS: CRITICAL-ONTOLOGICAL REFLECTIONS

EVERALDO SILVEIRA*
GUILHERME WAGNER**

RESUMO

Pensar as relações entre a educação matemática e outras áreas do conhecimento demanda encontrar relações entre o campo da matemática e outros campos do saber. Após uma exposição da importância histórica sobre modelos matemáticos, discutimos de que maneira a modelagem matemática, enquanto prática científica, situa-se na produção e construção de conhecimentos tecnocientíficos. Desenvolveu-se, primeiramente, uma epistemologia materialista dos modelos matemáticos (BADIOU, 1972) cunhando as características de transferidores, construtores e possuidores de verdade. Em seguida, buscando responder a pergunta '*que verdade é essa?',* debatemos a importância dos modelos matemáticos, enquanto elementos científicos, para o estabelecimento de uma tecnologia. Desta relação mútua concluímos que uma Modelagem Matemática, enquanto concepção de educação, na perspectiva CTS, deve responder à articulação entre modelos matemáticos e condicionantes sociopolíticos, enquanto constituidores de um código técnico que regula o design tecnológico. Consequentemente, tal apreensão nos leva a discutir a necessidade de uma ressignificação da alfabetização matemática na perspectiva CTS.

Palavras-chave: Modelagem Matemática. Modelos Matemáticos. Perspectiva CTS. Teoria Crítica.

ABSTRACT

To think the relations between mathematical education and other areas of knowledge demands to find relations between the field of mathematics and other fields of knowledge. After an exposition of the historical importance of mathematical models, we discuss how mathematical modeling, as a scientific practice, is located in the production and construction of technoscientific knowledge. First, a materialist epistemology of mathematical models (BADIOU, 1972) was developed, combining the characteristics of transferers, constructors and possessors of truth. Then, seeking to answer the question 'what truth is this?', We debate the importance of mathematical models, as scientific elements, for the establishment of a technology. From this mutual relationship, we conclude that a Mathematical Modeling, as a conception of education, in the STS perspective, must be able to respond to the articulation between mathematical models and socio-political conditioners, while constituting a technical code that regulates technological design. Consequently, such apprehension leads us to discuss the need for a re-signification of mathematical literacy in the STS perspective.

Keywords: *Mathematical Modeling. Mathematical Models. STS perspective. Critical theory.*

* Doutor em Educação Científica e Tecnológica. Prof. Adjunto do Departamento de Metodologia de Ensino da Universidade Federal de Santa Catarina. derelst@hotmail.com.
** Mestrando em Educação Científica e Tecnológica pelo Programa de Pós-graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina. guilhermewagn@gmail.com.

INTRODUÇÃO

Buscar o envolvimento do ensino e da aprendizagem de matemática com outras áreas do conhecimento demanda encontrar relações entre o campo da matemática e outros campos do saber. Embora não seja nossa intenção supervalorizar a ciência matemática, apresentamos, de início, alguns casos em que a Matemática ofereceu contribuições para o desenvolvimento de algum tipo de Ciência e Tecnologia, mostrando aproximações e afinidades entre a Matemática e alguns campos do conhecimento.

Garding (1981) considera o conjunto dos números naturais como o mais simples modelo matemático já construído pelo homem. Esse modelo teria surgido de necessidades humanas para solucionar problemas relacionados à contagem de coleções de objetos do seu cotidiano. A ideia de empregar modelos matemáticos para explicar uma realidade vem sendo utilizada há muito tempo pelo homem. Embora não tenhamos a intenção de esgotar o assunto nesse texto, expomos a seguir alguns casos em que atores trabalharam no sentido de utilizar ferramentas matemáticas para auxiliar na compreensão de situações reais, ou criar novas ferramentas matemáticas que trouxessem resultados mais próximos dessas realidades.

Boyer (1996), afirma que os egípcios começaram a se interessar desde cedo pela astronomia e perceberam que esse conhecimento poderia auxiliar na previsão das inundações provocadas pelas águas do rio Nilo. Observando o céu, eles estabeleceram um calendário solar bastante preciso de 365 dias.

Segundo Vargas (1996), desde o princípio o homem já buscava criar e/ou utilizar alguma matemática para representar e explicar a sua realidade. Pitágoras (582-500 a.C.) e os Pitagóricos, cerca de meio milênio antes de Cristo, já falavam de proporções harmoniosas na natureza. Platão (427-347 a. C), com seus elementos representados por formas geométricas perfeitas, buscava em proporções matemáticas as explicações para a criação da natureza.

Durante o período helenístico, homens como Arquimedes (289-212 a.C.), considerado o maior matemático da antiguidade, deram origem à ideia da aplicação da geometria e da aritmética como ferramenta para o cálculo e descrição de fenômenos (CAJORI, 2007; BOYER, 1996). Arquimedes utilizou seus conhecimentos matemáticos para o desenvolvimento de instrumentos e equipamentos altamente sofisticados para a época (VARGAS, 1996). Eratóstenes (285-194 a.C.) utilizou-se do conhecimento geométrico para calcular o comprimento aproximado da circunferência da Terra e estimar as distâncias e tamanhos do Sol e da Lua (BOYER, 1996; VARGAS, 1996; CAJORI, 2007).

Boyer (1996), afirma que Cláudio Ptolomeu (87-151 d.C.) ofereceu a sua contribuição ao utilizar a Matemática para compreender os movimentos dos astros no céu. Outro cientista que também se preocupou com os movimentos dos corpos celestes foi Nicolau Copérnico (1473-1543), que "colocou" o Sol no centro do universo. Provém da ciência de Copérnico a noção absolutista de que "uma equação matemática deduzida teoricamente aqui na Terra, e tendo sua verdade sido estabelecida por experiências levadas a efeito pelos homens, vale em qualquer parte do universo por remota que seja." (VARGAS, 1996, p. 254).

Durante o período do Renascimento, Leonardo Da Vinci (1452-1519) utilizou a perspectiva e as proporções harmônicas para "elucidar", por meio da pintura, os segredos da natureza. É de Da Vinci, segundo Boyer (1996), a afirmação absolutista de que não existe nenhuma certeza onde não se possa aplicar uma das ciências matemáticas. Esse discurso atribui à Matemática o status de linguagem de poder, ou seja, a autoridade de conter o argumento definitivo em qualquer discussão (BORBA e SKOVSMOSE, 2001). Os mesmos autores conceituaram esse suposto "poder" do argumento matemático como "ideologia da certeza", conforme veremos mais adiante.

Kepler (1571 - 1630) desenvolveu três leis aplicáveis aos movimentos dos astros (BOYER, 1996). Seu contemporâneo, Galileu (1564-1642), segundo citação de Vargas (1996), na obra *Discursos e demonstrações matemáticas em torno de duas novas ciências*, publicada em 1638, apresenta a Matemática com uma nova função: instrumento para a análise dos fenômenos naturais. Pinheiro (2003, p. 23) afirma que "a Galileu deve-se a nova mecânica dos corpos em queda livre, o início da teoria da elasticidade, os fundamentos da dinâmica geral, o compasso de setores, o primeiro microscópio, o aperfeiçoamento do telescópio, entre outras descobertas", criações.

Para Vargas (1996), na obra *Princípios matemáticos da filosofia natural*, de 1687, Newton (1643-1727) teria mostrado "que qualquer fenômeno físico observado empiricamente corresponde exatamente a um modelo matemático deduzido de axiomas preestabelecidos como verdadeiros" (p. 256). Embora Garding (1981) afirme que o modelo e a teoria de Newton respondem a uma série de questões astronômicas, é importante salientar que, contrariamente à afirmação de Vargas (1996), um fenômeno físico pode ser representado não por apenas um, mas por vários modelos matemáticos, dependendo das variáveis consideradas ou não. Corroborando essa afirmação, Davis e Hersh (1986) afirmam que um modelo é algo temporário, "uma aproximação conveniente de um estado de coisas, em vez de ser expressão de verdade eterna" (p. 108).

Data dessa mesma época o desenvolvimento de outras várias aplicações para o cálculo infinitesimal, creditadas aos irmãos Bernoulli: Jacques (1654-1705) e Jean (1667-1748) juntamente com Leibniz (1646-1716), um dos criadores dessa ferramenta matemática. Os matemáticos do século XVIII utilizaram o cálculo diferencial segundo a notação de Leibniz para desenvolverem equações matemáticas as quais, na verdade, serviam de modelos para fenômenos físicos (VARGAS, 1996; BOYER, 1996).

Os cientistas Lagrange (1736-1813) e Laplace (1749-1827) também ofereceram grandes contribuições para a matematização da natureza, inclusive, tendo alguns deles utilizado elementos naturais para a criação do sistema de medidas fundamentado na base dez e utilizado nos dias atuais (SILVA, 2004). Para Vargas (1996), as obras de Lagrange e Laplace sobre mecânica analítica forneceram elementos fundamentais na tarefa da matematização da física. (VARGAS, 1996).

Com o desenvolvimento da Física e da Matemática proporcionado pelos estudos de Newton, Lagrange, Fourier (1768-1830), Cauchy (1789-1857), Gauss (1777-1855), dentre outros cientistas, possibilitou-se o florescimento da era industrial (PINHEIRO, 2003, p. 23).

Já a matematização do fenômeno da transformação da energia calorífica em energias de outras espécies aconteceu graças ao desenvolvimento dos estudos de Carnot (1796-1832) por parte de Clapeyron (1799-1864), aperfeiçoados por Clausius (1822-1888) (VARGAS, 1996).

Seria possível ainda descrever o trabalho de Josiah Willard Gibbs, no qual ele aborda matematicamente os fenômenos da natureza relacionados aos movimentos dispersos de partículas. Citam-se também Charles Augustin Coulomb, com a matematização dos fenômenos naturais relacionados à eletricidade e o magnetismo, André-Marie Ampère que analisou matematicamente a correlação entre corrente elétrica, campo magnético e movimento, James Clerk Maxwell, o grande responsável pela matematização dos fenômenos elétricos e magnéticos e Oliver Heavisides, cuja contribuição passou a ser fundamental para a solução de problemas de telegrafia e telefonia a longas distâncias, dentre diversos outros (VARGAS, 1996; BOYER, 1996).

Percebemos que as aplicações do conhecimento matemático foram importantes para o desenvolvimento de outros conhecimentos, em outros campos científicos, bem como a utilização desses novos conhecimentos, muito importantes para o desenvolvimento de instrumentos tecnológicos. Um bom exemplo disso seriam os estudos de Max Planck, publicados em 1900, sobre a natureza da energia. Esses estudos possibilitaram o desenvolvimento tecnológico em diversos campos da Física (VARGAS, 1996; FLEMING, 2001).

A utilização da Matemática, como uma das possibilidades para a compreensão de fenômenos naturais e para a fundamentação de intervenções antrópicas, ganhou impulso de grandes proporções quando os primeiros computadores entraram em atividade, em meados do século passado. Tais equipamentos trouxeram possibilidades para a resolução de equações que antes não eram resolvidas ou dependiam de grandes esforços.

Com o aperfeiçoamento dos computadores, passaram a ser possíveis simulações matemáticas de alto nível, que vieram a contribuir, em alguma medida, para a previsão de fenômenos naturais complexos, bem como auxiliar no desenvolvimento de outras ciências. Por outro lado, Davis e Hersh (1986) afirmam que os softwares, eles próprios, são um tipo de matemática. Ao concordarmos com essa afirmação podemos reconhecer que um novo software, além de exigir um amplo ferramental matemático em sua fabricação, também pode estar ligado à geração e funcionamento de tecnologias ainda mais avançadas.

Skovsmose (2007) relata algumas indicações de aplicações matemáticas nos dias de hoje, segundo apresentadas por Rousseau (2002). A autora destaca que:

> na área da saúde, onde "matemáticos e cardiologistas trabalham juntos para melhor compreenderem o mecanismo do coração"; aplicações em biologia molecular, onde "a teoria dos nós é usada para explicar as ações das enzimas"; otimização da forma, incluindo a forma da asa do avião, a forma de cascos de botes, a forma da coluna mais forte possível; pesquisa operacional, incluindo a otimização de uma cadeia de transportes e a otimização da distribuição de frequências de telefones celulares; reconhecimento de formas, incluindo leitura de códigos postais, leitura de cheques em um caixa automático de banco, reconhecimento de voz, de impressão digital; criptografia, onde a chave criptográfica comum demonstra novas aplicações dos resultados clássicos da teoria dos números; construção de sistema posicionai global, fornecendo posição na terra; compressão de imagem, onde a teoria dos fractais é aplicada; códigos que corrigem erros e que auxiliam a minimizar o número de erros no processo de decodificar "multiplicando" a informação original; o movimento de robôs, incluindo a construção de braços de robô, onde o cálculo da matriz conduziu ao insight de que são necessários 6 graus de liberdade (6 juntas) para obter um braço que pode ser operado livremente (SKOVSMOSE, 2007, p. 114).

Em vista do exposto, pensando em termos exemplificadores, temos condições de destacar a importância do conhecimento matemático para alguns campos do saber. Seu envolvimento com o contexto da ciência e da tecnologia pode ser compreendido como partes que se juntam para formar um todo e este mesmo todo influencia o desenvolvimento das partes, entre elas da própria matemática, podendo ser entendidas como os componentes de uma mistura homogênea estando dialeticamente relacionados. Ainda, segundo Skovsmose (2001),

> é impossível imaginar o desenvolvimento de uma sociedade do tipo que conhecemos sem que a tecnologia tenha um papel destacado, e com a matemática tendo um papel dominante na sua formação. Dessa forma, a matemática tem implicações

> importantes para o desenvolvimento e organização da sociedade - embora essas implicações sejam difíceis de identificar (p. 40).

É importante salientar, porém, que esse "papel destacado" da Tecnologia subsidiada pela Matemática pode assumir, segundo as intenções do financiador ou utilizador, contornos benéficos ou maléficos. Da mesma forma, quando se diz que "a Matemática tem implicações importantes para o desenvolvimento e organização da sociedade", é salutar reafirmar que essas implicações, em inúmeros casos, são de grande relevância social, mas em outros, podem ser desastrosas.

Davis e Hersh (1986) apontam algumas "contribuições" oferecidas pelos matemáticos para o desenvolvimento científico e tecnológico de aparatos para a guerra. Dentre esses aparatos, eles incluem melhorias no campo da aerodinâmica, hidrodinâmica e balística, o desenvolvimento de instrumentos essenciais no ar e no mar, como o radar e o sonar, o desenvolvimento da bomba atômica, desenvolvimento da criptografia e espionagem, a fotografia aérea, meteorologia, pesquisa operacional, o desenvolvimento e aperfeiçoamento de computadores, a econometria, a teoria dos foguetes, o desenvolvimento das teorias de controle e recontrole.

Embora Hardy (1967) tenha classificado a Matemática como ciência que, de maneira distante de qualquer atividade humana comum, poderia ser mantida "*gentle and clean*" (p. 121), Davis e Hersh (1986) afirmam que muitos matemáticos experimentaram, após o advento das bombas atômicas lançadas sobre o território japonês, "um sentimento de pecado" (p. 124). Eles se viram como possíveis responsáveis pela liberação de "monstros sobre o mundo". Afligiam-se em pensar como poderiam reconciliar tais ações com quaisquer visões filosóficas que tivessem na vida (DAVIS e HERSH, 1986). A Matemática, antes vista como uma doutrina "remota e olímpica", "apareceu subitamente como sendo capaz de causar danos físicos, sociais e psicológicos" (DAVIS e HERSH, 1986, p. 124).

Alguns matemáticos, dadas as consequências evidentes de seus esforços, elegeram como a grande vilã da história a "matemática aplicada de todos os tipos", eximindo a matemática pura, que para eles, quanto mais abstrata, melhor seria. Muitos matemáticos também abandonaram para sempre as aplicações. Norbert Wiener (1894-1964) foi um deles, quando desistiu da pesquisa que vinha desenvolvendo sob o apoio governamental e decidiu dedicar o resto de sua vida ao que chamou de "trabalho bom" em biofísica. Ele também se empenhou em fazer propaganda contra o uso desumano de seres humanos (DAVIS e HERSH, 1986).

Parece ter se constituído, ante aos olhos da população, uma ligação entre a Matemática e a guerra. Segundo Davis e Hersh (1986), em protestos contra a Guerra do Vietnam, ocorridos nos Estados Unidos, algumas instituições matemáticas, dentre às quais dois dos maiores centros de pesquisa em Matemática aplicada, a Universidade de Nova Iorque e a Universidade de Wisconsin sofreram ataques físicos, resultando na morte de um estudante de pós-graduação.

Chegou-se a dizer que uma possível Terceira Guerra Mundial seria uma guerra dos matemáticos. Evidenciou, naquele momento, que a Matemática, assim como qualquer outra atividade da mente humana, não está livre de problemas morais. Ela está entrelaçada no "tecido geral da vida" e não é, por si só, boa ou má. Isso dependerá do que se fizer com ela (DAVIS e HERSH, 1986).

As contribuições desses autores vêm apresentar a Matemática como um tipo de conhecimento com substanciais ligações com outros campos das ciências, bem como das tecnologias. Por outro lado, é importante se ter em mente que não é possível aplicar a Matemática em todo lugar, e obter resultados necessariamente melhores que aqueles obtidos sem ela. Ela pode sim, ser aplicada na resolução de problemas, mas somente se esses problemas forem "cortados" de forma que se adéquem à matemática. Dessa forma, ela se apresenta como "perfeita" apenas quando construímos um contexto suficientemente adequado para essa proposta (BORBA e SKOVSMOSE, 2001). Concordando com Borba e Skovsmose (2001, p. 133), "acreditamos que a Matemática poderia se tornar simplesmente uma maneira possível de olhar o fenômeno e não 'o caminho'".

Nesse sentido, Santos (1987) ao comentar sobre o rigor científico afirma que, por ser fundamentado em um rigor matemático, "é um rigor que quantifica e que, ao quantificar, desqualifica, um rigor que, ao objetivar os fenômenos, os objetualiza e os degrada, que, ao caracterizar os fenômenos, os caricaturiza" (p. 32).

Portanto, não se trata de negar o envolvimento e contribuição da Matemática com outras ciências e tecnologias, mas compreender que ela é parte integrante, e traz em si uma carga de responsabilidades. Além disso, oferece condições para que se aprimorem campos de conhecimento, para que se abram novas perspectivas, e se desenvolvam tecnologias que, embora sejam, em muitos casos, essenciais para a manutenção da vida humana no Planeta, em outros são nocivas e podem colocar em risco a sobrevivência da espécie humana. É nesse sentido que para sermos capazes de pensar criticamente com relação a matemática, e consequentemente seu ensino, devemos refletir criticamente sobre a tecnologia e a própria ciência, pois a Matemática supre e bebe das demandas desses campos da sociedade.

A PRIMAZIA DO ONTOLÓGICO NAS REFLEXÕES EPISTEMOLÓGICAS EM MODELAGEM MATEMÁTICA

Como é possível utilizar a Matemática no ato da criação de conhecimentos no campo das Ciências e da Tecnologia? Como se dá esse processo? Qual é o papel da Matemática, de fato, na constituição das Ciências Naturais e Sociais? Essas questões se colocam com urgência quando pensamos na Matemática como subsidiadora do desenvolvimento científico e tecnológico.

Segundo exposto na seção anterior, foram muitas as contribuições da matemática para o desenvolvimento científico (e tecnológico), em algumas áreas do conhecimento. Segundo Bassanezi (2004), ciências naturais como a Física, a Astrofísica e a Química estão amplamente matematizadas em seus aspectos teóricos. A Biologia, segundo o autor, está cada vez mais matematizada. Mecanismos que controlam dinâmicas populacionais, epidemiologia, ecologia, neurologia, genética e processos fisiológicos são algumas das frentes em que a Matemática tem apresentado algumas contribuições. Tais contribuições, quando se referem às ciências sociais (e porque não humanas), segundo o autor, já não são tão efetivas e significativas, mas não são completamente inexistentes.

Esse processo de matematização, ou seja, atividade em que a Matemática é utilizada como ferramental para oferecer *uma* compreensão de um fenômeno qualquer, é chamado de modelagem matemática[1]. Para Bassanezi (2004, p. 06) a atividade de modelar matematicamente consiste, essencialmente, "em transformar problemas da realidade em problemas matemáticos e resolvê-los, interpretando suas soluções na linguagem do mundo real".

O principal objetivo da ação de se modelar matematicamente é chegar a um modelo matemático. Esse modelo, segundo Bassanezi (2004), é "um conjunto de símbolos e relações matemáticas que representam de alguma forma o objeto estudado" (p. 20). Davis e Hersh (1986), ao se referirem a Aris, afirmam que um modelo matemático é qualquer conjunto de equações ou estruturas matemáticas, "completo e consistente, que é elaborado para responder a alguma outra entidade do seu

[1] Enfatizamos que neste capítulo estamos discutindo o ato de modelar matematicamente no campo da Matemática Aplicada. Dessa forma, a expressão "modelagem matemática" será utilizada com esse sentido.

protótipo" (p. 107). Esse protótipo, segundo os autores, poderá ser "uma entidade física, biológica, social, psicológica ou conceitual" (DAVIS e HERSH, 1986, p. 197). Poderia ser, inclusive, outro modelo matemático.

Os objetivos enumerados pelos autores, para que se construam modelos matemáticos são: 1) prever o que irá acontecer no mundo físico; 2) influenciar possíveis experimentações ou observações posteriores; 3) promover o progresso e a compreensão de conceitos; 4) auxiliar a axiomatização da situação física; 5) incentivar o desenvolvimento da matemática e da arte de construir modelos matemáticos. (DAVIS e HERSH, 1986).

Esses mesmos autores, porém, afirmam que o homem, maravilhado com a criação de uma variedade de configurações ou estruturas matemáticas, deliberadamente força vários aspectos físicos e sociais do universo, a fim de que se adaptem a esses modelos da melhor maneira possível. Caso o sapato se ajuste (como no caso da Cinderela), ou seja, caso o modelo ofereça uma boa resposta, temos um belo modelo matemático; "se não - e o mundo dos fatos concretos é mais semelhante à irmã feia; o sapato sempre aperta" (DAVIS e HERSH, 1986, p. 99), o modelo matemático não é tão bom, e volta-se à prancheta.

Então qual é a especificidade da prática de modelar matematicamente? Como visto anteriormente a Modelagem Matemática parte de um discurso de modelar provido pela matemática aplicada. Em geral, temos um determinado problema da realidade objetiva e queremos uma solução aproximada para esse problema, essa solução é aproximada, pois a totalidade concreta, ou seja, a realidade, é dinâmica e muda a todo momento; do outro lado, temos um recorte desse problema original de maneira que se possa encontrar um modelo matemático que o estruture, e com isso uma solução exata para o modelo que representa o problema recortado. Dessa forma, se coloca uma questão fundamental: até que ponto a solução exata encontrada para o recorte feito reflete a solução aproximada do problema original? Esta é a tarefa da discussão epistemológica em modelagem matemática.

Quando tratamos de discutir sobre os fenômenos que podem ser modelados, ou de que maneira eles possam ser modelados, estaremos sempre retomando a discussão sobre *realidade* e *problema matemático.* Cifuentes e Negrelli (2012) alertam para o fato de que usualmente trabalha-se a modelagem matemática sem fundamentar explicitamente que concepções estão envolvidas, e em sentido mais geral, no campo da modelagem matemática não são feitas análises de cunho epistemológico.

Cifuentes e Negrelli (2012), ao abordarem o discurso sobre *como* modelar matematicamente enquanto um discurso prescritivo/descritivo da modelação, tratam de adotar em cada fenômeno específico (social, biofísico ou epistêmico) do processo uma concepção diversa de realidade. Dessa forma, abordam as concepções de realidade vinculadas ao que chamam de realismo empírico, estruturalismo e platonismo. Em suma, para cada discurso metamatemático concebido epistemologicamente atrelam um estatuto ontológico a realidade abordada. Nesse sentido, tomam o caráter epistemológico como primário ao caráter ontológico da realidade matematizada. Assim, se adoto a compreensão epistemológica do realismo empírico, tudo o que existe é realidade e, portanto, objeto de modelação; se defendo a compreensão do estruturalismo o que modelamos são estruturas do exterior ao ser cognoscente, e essas estruturas se referem ao recorte do problema inicial, portanto, a realidade toma o estatuto ontológico de serem apenas as estruturas do que existe no exterior ao sujeito. Ao eleger o platonismo como teoria do conhecimento, de forma a conseguir modelar a própria matemática - teoria dos modelos -, os autores acabam por dar à matemática o estatuto ontológico puramente abstrato, apartado do mundo real (CIFUENTES&NEGRELLI, 2012). Portanto, são as concepções de teoria do conhecimento que estão definindo de que forma é a realidade e que 'parte' desta buscou-se aproximar.

Na discussão sobre o problema matemático e a realidade acreditamos na primazia do estatuto ontológico sobre o epistemológico, exatamente o contrário do exposto anteriormente. É a concepção de que é a realidade que deve guiar a discussão epistemológica em modelagem matemática. É com esse intuito que procuraremos elaborar algumas considerações importantes sobre Modelos Matemáticos e suas relações com a realidade objetiva.

Primeiramente, entendemos a realidade objetiva não somente como a natureza biofísica e social externa ao ser cognoscente, mas também compreende-se os próprios construtos conceituais científicos como partícipes desta. Os conceitos abstratos, enquanto produtos da mente humana, apenas o são de maneira a refletirem determinadas particularidades da realidade material de maneira homogênea (universalizante) frente á heterogeneidade da cotidianidade (as singularidades). Nesse sentido, trata-se de perceber as relações dialéticas entre o que se concebe como sendo universal, particular e singular.

O singular é sempre referente às manifestações da imediaticidade dos fenômenos, a cotidianidade. A universalidade se refere às leis e tendências abstratas que tratam de capturar características homogeneizantes da singularidade, por exemplo, da singularidade de uma cesta de cinco maçãs podemos abstrair o caráter universal do número cinco; no entanto, para particularizar o conceito cinco deveremos ter entrado em contato com outras singularidades de coletivos com cinco elementos, e isto somente é possível no movimento dinâmico da história. Entretanto, é necessário atentar para a não autonomização do universal frente ao singular, e vice-versa. Em outras palavras, são categorias que, para serem expressas enquanto características da realidade objetiva, necessitam sempre ser dialeticamente mediadas, este é o papel da particularidade (LUKÁCS, 1978).

A autonomização do universal acabará por mistificar a imediaticidade tratando de transformar o que é singular em universal, aquilo que Mészáros (2013, p. 58) chama de "culto direto da totalidade". Esse mito é extremamente perigoso, pois naturalizará o que é transitório e universalizará o que é particular. Uma de suas consequências históricas foi o nazismo que naturalizou o Estado Alemão e universalizou a "raça" ariana.

Por outro lado, ao autonomizar o singular nega-se a totalidade, *o todo,* mistificando a imediaticidade de maneira que a única coisa possível a ser apreendido são indivíduos fragmentários, culminando na "psicologia da insignificância de nossas ações, a rejeição cínica da atividade inspirada pela moral e a aceitação impotente de nossas condições" (MÉSZÁROS, 2013, p. 58). Portanto, se torna necessária a mediação dialética entre o Universal e o Singular a partir do Particular.

Essa forma de apreensão da realidade toma sempre como processo guiador a totalidade concreta e a gênese histórica. Já afirmavam Marx e Engels (2007) que a única ciência *de verdade* é a ciência da História. Por outro, lado ao tomar a totalidade concreta como *guia*, trata de tomar metodologicamente o ontológico em primazia ao epistemológico:

> O concreto é concreto, porque é a síntese de muitas determinações, isto é, unidade do diverso. Por isso, o concreto aparece no pensamento como o processo da síntese, como resultado, não como ponto de partida, embora seja o verdadeiro ponto de partida e, portanto, o ponto de partida também da intuição e da representação. No primeiro método, a representação plena volatiliza-se na determinação abstrata; no segundo, as determinações abstratas conduzem à reprodução do concreto por meio do pensamento (MARX, 2008, p. 258-259).

É aqui que se trata de compreender o processo da produção do conhecimento científico, e dos modelos matemáticos, enquanto práxis humana. O ponto de partida e de chegada é sempre o concreto, entretanto, na partida ele se apresenta, enquanto um concreto, caótico, contingente e a partir da sua abordagem histórica e vínculo com a totalidade são possíveis abstrair determinadas legalidades universais; é a *redução* do concreto ao abstrato (KOPNIN, 1978), o processo de análise do objeto (VYGOTSKY, 2001). Por conseguinte, quando se retorna ao concreto enquanto uma prática humana voltada para determinado objetivo, o ascenso do abstrato ao concreto, já trata-se do concreto pensado, a síntese (VYGOTSKY, 2001). Nesse sentido, os modelos matemáticos não se caracterizam enquanto uma possibilidade de *acesso* à realidade, como quer o realismo empírico, ou de uma *representação* estrutural do exterior, nem um mundo apartado da realidade objetiva, mas sim como uma mediação entre consciência e realidade.

Retomemos a prática da modelação matemática prescrita pela matemática aplicada. O singular se caracteriza pelo problema original da realidade (do concreto contingente). A mediação entre o problema original e a possibilidade de estabelecer um problema aproximado, recorte do original, capaz de ser modelado matemática, se caracteriza pelo estabelecimento de particularidades. A construção do modelo matemático vinculado a esse problema aproximado se caracteriza pelo universal. A solução desse modelo matemático deverá retornar ao problema original para ser então analisado, e utilizado como subsídio para uma prática com relação a essa problema original: nesse momento o concreto inicial abarca em si possibilidades de concreto pensado.

A adequação do modelo encontrado com relação ao problema original deverá ser entendido como um *campo de possibilidades.* Esse campo de possibilidades pode ser entendido, metaforicamente, com a escolha de acordes musicais para a escrita de uma música. Por exemplo, se estiver escrevendo uma música de *MPB* meu campo de possibilidades é determinado por esse estilo/tema musical, entretanto, a escolha dos acordes musicais podem ser feitas de distintas formas. Isto é, sempre delimita um campo de ação, ainda assim não é "exato". Como diria Skovsmose (1999) a matemática e a modelagem são atividades envoltas de incertezas.

Para elucidar de que maneira os modelos matemáticos se relacionam com as diferentes singularidades, faremos uma diferenciação - como unidade na diversidade (MARX, 2008)-, entre os modelos matemáticos como *transferência de verdade, construção da verdade* e *possuidores da verdade.*

Os modelos matemáticos como transferência da verdade

Historicamente, o positivismo lógico vai se consolidar como a principal referência epistemológica do século XX. Para essa corrente, especialmente nos trabalhos de Carnap e Quine, os modelos, mais precisamente os matemáticos estabelecidos sobre uma teoria conjuntista[2], serão aqueles capazes de representar o real-empírico-dado. Para além disso, se tornariam necessários dois movimentos de redução. O primeiro, reduzindo todas as ciências à Física, para então executar o segundo, que seria a Física ser reduzida à Matemática. Badiou (1972), tratará de explicitar que nessa perspectiva a categoria filosófica de modelo terá uma dupla significação. Uma como conceito científico intramatemático de formalização sintático/semântico da estrutura lógico-matemática; outra como noção ideológica de que esses modelos representam o real-empírico imediatamente dado, sendo para isso necessário a verificabilidade do modelo frente ao ambiente. Explica também, que a redução das ciências à Física,

[2] Mais recentemente se desenvolveu a Teoria das Categorias que generaliza a Teoria dos Conjuntos.

e desta à Matemática, é retroalimentada pela tentativa de reduzir toda a Matemática à aritmética recursiva, isto é, a Lógica.

Para além disso, se quisermos uma compreensão materialista de modelo, compreensão esta que coloca em primazia o ontológico frente o gnosiológico, Badiou (1972) afirma que, na análise epistemológica das ciências, o modelo não deve ser relacionado ao concreto que supostamente o representa, ou com a estrutura lógico-formal que lhe caracteriza, mas sim ser visto como mediador entre os dois campos:

> Modelo designa a rede intercruzada das retroacções e das antecipações que tecem essa história; isto é, aquilo que se designou, quanto à antecipação, como corte, quanto à retroacção, como refundição. [...] denomino por modelo o estatuto que tutela retrospectivamente às suas primeiras instâncias práticas a sua transformação experimental por um dispositivo formal definido. (p. 93)

Tomemos a lei da queda dos corpos de Galileu como exemplo. Sabemos que todos os corpos já caíam anteriormente, então o fato da queda já era uma prática existente antes do modelo que viria explicar essa queda. Consequentemente, após o desenvolvimento dessa lei a mesma promoveu a refundição da mesma prática, isto é, a reinventou. O modelo então tem essa característica no que concerne à epistemologia. Primeiro ele media a realidade objetiva (o fenômeno da queda) com a consciência (apreensão desse fenômeno em um recorte adequado), e depois ele fornece o processo histórico de construção da lei. Ele tem o DNA da história de sua construção, e consequentemente da retroação e refundição do fenômeno. Assim, o modelo tem uma dupla indicação, como mediação e como possuidora da historicidade da formalização (BADIOU, 1972).

Por outro lado, se o modelo é a mediação entre a consciência e a realidade, ele pode ser desenvolvido antes mesmo que se estabeleça uma prática experimental concreta sobre o que a teoria científica a qual ele pertence. A teoria da Relatividade é um exemplo, ela foi desenvolvida como modelo anteriormente aos experimentos "cruciais". Esse fenômeno epistêmico é que Badiou (1972) chama de *antecipação matemática.*

Observemos ainda que, se tomarmos o modelo como representante do real, como quer o positivismo lógico, acabaremos por dizer que esse modelo é o único capaz de determinar a verdadeira natureza da realidade, pois afasta mal-entendidos linguísticos devido a sua transparência de significados. Por outro lado, se tomarmos o modelo como estrutura lógico-formal criada subjetivamente para possibilitar um acesso da consciência à realidade no limite, poderemos afirmar que esse acesso não necessariamente nos leva a compreender algo da realidade. São dois extremos perigosos que podem levar, por um lado, à absolutização da ciência e ao cientificismo e, por outro, pode ocasionar o relativismo puro e o "vale-tudo" epistemológico.

Assim, o caso dos modelos matemáticos como transferência de verdade se vinculam a própria ideia de modelos e/ou teorias científicas. A partir de determinados enunciados e leis científicas, os modelos matemáticos são utilizados para transferir a *verdade contida* nesses princípios da lei para os casos particulares e singulares às quais o corpo teórico-científico tratará de mensurar, resolver, apreender ou precipitar. Em geral, os modelos matemáticos, se referem primeiro à consolidação de uma fórmula matemática (lei universal) e em seguida as diversas deduções lógicas (processos de mediação) alcançando os resultados singulares. Tratam-se de modelos para fenômenos sociais e biofísicos.

Os modelos matemáticos como construção da verdade

O caso dos modelos matemáticos como construção da verdade se referem aos fenômenos epistêmicos. Em geral, tratam de modelar um problema matemático a partir de outro ponto vista matemático: um isomorfismo de modelos matemáticos. Esta é uma prática recorrente em matemática, por exemplo, um problema geométrico ser resolvido algebricamente. Cifuentes e Negrelli (2012, p. 810) apresentam um exemplo interessante:

> Por exemplo, podemos escolher as operações de adição e multiplicação, ou a operação de sucessor, constituindo o que chamamos de *estrutura de Peano padrão*. Aqui, revela-se o momento estruturalista-construtivo do processo. A estrutura de Peano padrão é, então, um sistema da forma (N, s, 0) onde N = {0, 1, 2, ...} e s é a *função sucessor* definida por $s(n) = n + 1$ para cada n em N. Para essa estrutura, considerada como um recorte do mundo dos números naturais e, portanto, pensada como uma pseudo-realidade [problema aproximado do original] a ser modelada, é necessário elaborar uma teoria que sirva como modelo para descrevê-la. Teoria que, neste caso, consiste não de equações como na modelagem de muitas situações reais [externas], senão de sentenças que capturem as que consideramos como verdades essenciais desse sistema, os axiomas (embora as equações também sejam sentenças numa linguagem possivelmente mais aprimorada). Peano estabeleceu uma tal coleção de sentenças conhecidas hoje como os *axiomas de Peano*. Assim, os axiomas de Peano constituem um modelo da estrutura de Peano padrão a qual, pela sua vez, é um recorte do mundo natural da aritmética.

Para tanto, quando falamos de modelos matemáticos como construção da verdade falamos da prática da matemática pura. Nesse sentido, não há uma ruptura epistemológica[3], como queria Poincaré ao falar que matemática aplicada não era de fato matemática. Há em verdade, um corte epistemológico, pois a matemática aplicada, vista enquanto produtora de modelos, trata de possibilitar a evolução da matemática para novos caminhos e perspectivas.

Nesse sentido, Badiou (1972) afirmará que o conceito científico de modelo não remete ao empírico, mas ele é estritamente interno a matemática. Para remetê-lo ao concreto é necessário tomá-lo como noção ideológica, a exemplo do positivismo lógico que ideologicamente defendia o modelo como representação do real. Se o modelo é um conceito intramatemático deve, ao mesmo tempo, ser construído internamente à matemática.

Para a construção do conceito de modelo Badiou (1972) tratará da dimensão sintática - a teoria formal - que deverá fornecer uma base lógico-axiomática e uma dimensão semântica - estrutura de objetos - a qual a dimensão anterior deverá se corresponder de maneira consistente e coerente. Essa correlação é a correspondência semântica. A estrutura será um modelo com relação a teoria formal se a partir da correspondência semântica os axiomas válidos para a teoria formal valem também para a estrutura. Como cada modelo pressupõe, enquanto conceito científico, uma teoria formal, a prática sintática será vista por Badiou (1972) como os *meios de produção* da matemática e a prática semântica como *modos de produzir* a matemática, e consequentemente, a relação dialética dos meios e dos modos, da sintaxe e da semântica, produzirá o *modelo* enquanto conceito.

---

[3] Ruptura epistemológica se refere a uma ruptura que dará início a uma nova ciência. Consequentemente, corte epistemológico se refere a uma evolução específica e significativa dentro da própria ciência. (BACHELARD, 1999)

A sintaxe, metaforicamente percebida como meio de produção matemática, será transferidora de verdade dada a possibilidade de "controle (técnico) que o sistema formal permite inscrever sobre o modelo" (BADIOU, 1972, p. 74). Mas, percebamos que a própria dimensão sintática, que é a dimensão da Lógica, e a dimensão semântica - teoria dos conjuntos/das categorias-, são produções matemáticas. Pois, mesmo a lógica mais elementar que se estabelece sob base da aritmética primitiva recursiva requer fragmentos da teoria dos números inteiros que é modelo matematicamente estabelecido. O exemplo dado pelos autores Cifuentes e Negrelli (2012) anteriormente expresso demonstra isso.

Nesse sentido, a teoria dos modelos matemáticos, mais do que propriamente permitir que se perceba a produção matemática enquanto a dimensão sintática e semântica, permite ver que os próprios modelos são importantes para a reprodução das condições de produção matemática, pois tratam de contribuir para o aperfeiçoamento constante dos meios de produção sintáticos e da semântica.

No entanto, cabe destacar que nesse caso, o fato de analisarmos os modelos matemáticos como fenômenos epistêmicos não lhes retira o caráter material, de realidade objetiva e, consequentemente, de uma análise tomando como primazia o estatuto ontológico para guiar a análise. Para essa compreensão Badiou (1972) faz uma analogia interessante sobre produção matemática e uma máquina: "É ainda necessário compreender que a materialidade não se inicia com as máquinas 'propriamente ditas'. Um sistema-formal é uma máquina matemática, uma máquina *para* a produção matemática, e colocada no processo dessa produção." (grifos do autor, p. 75)

Modelos matemáticos como possuidores da verdade

Quando os modelos matemáticos se apresentam como possuidores de verdade tratam-se de tecnologias. Nesse aspecto, os modelos matemáticos em geral servem a determinados interesses ideológicos, pois apesar de serem possuidores da verdade, seu caráter homogeneizante precisa ser vinculado ao problema real que deve ser resolvido. Essa ligação será feita a partir de noções sobre o campo ao qual o modelo matemático deverá intervir. Essas noções que serão responsáveis pela ligação são de caráter ideológico, pois darão sentido à intervenção técnica do modelo. Em suma, o modelo matemático servirá de suporte para um objetivo finalista.

Tomemos o exemplo da modelação matemática praticada para a interpretação da margem de lucro de uma empresa, típico problema de microeconomia[4]. Em outras palavras, a atividade-fim voltada para aumentar tal margem, ou de compreender condições para que isso ocorra, dependerá de compreender as variáveis matemáticas atreladas (produção, salários, compras de matéria-prima, manutenção etc.) e então agir perante isso. O modelo matemático é que então *provém/determina* a Lei para o caso singular e, consequentemente, é uma tecnologia no âmbito da economia. Podemos encontrar outros exemplos em outras áreas sociais, como os algoritmos de risco de vida, de planos de saúde, etc. Aqui o modelo matemático se diferencia do caso do modelo científico, pois ele parte do caso singular enquanto um objetivo já definido de resolução, entretanto, para fazer esse processo de tradução do que se quer no objetivo final para a consolidação de um modelo matemático que promova esse objetivo são necessárias noções sobre o campo em questão, no caso do nosso exemplo, essas noções são do salário, lucro, manutenção, etc., e mais do que isso, são noções ideológicas que "*objectivam os objectivos de classe"* (BADIOU, 1972, p. 20).

Entretanto, nesse caso particular do modelo matemático visto enquanto uma tecnologia, Badiou (1972) nos alerta que sua construção ideológica se dá sobre uma determinada lei científica intrínseca.

[4] O problema é simples, entretanto os exemplos em economia são altamente desenvolvidos como, por exemplo, os métodos Monte-Carlo.

Isto é, a atividade-fim tida como objetivo ao qual o modelo matemático deve alcançar é em verdade o resultado de um processo ideológico que busca dar caráter científico a interesses político-sociais, no caso do nosso exemplo, o aumento da margem de lucro de uma empresa está vinculado aos interesses ideológicos do capitalista dono da empresa.

Nesse sentido, quando falamos de um modelo matemático enquanto possuidor da verdade, estamos tratando simultaneamente da transferência e da construção da verdade, pois congrega o caráter de modelo para outras ciências e para si mesmo. É nesse escopo que poderemos relacionar a Modelagem Matemática com o campo CTS[5], pois é na prática social que se vinculam os modelos matemáticos enquanto ciência e tecnologia. No entanto, para além desses modelos matemáticos serem vistos como tecnologia, os mesmos podem ser vistos como elementos constitutivos de uma tecnologia maior que agregue um campo maior de apreensões técnico-científicas, por exemplo, uma arma de guerra. No primeiro caso já adotamos a tese de que não há a possibilidade de neutralidade visto que a adequação do modelo ao campo de atuação é feita por noções determinadas ideologicamente. Por outro lado, o segundo caso também não é neutro, e é essa tese que procuraremos abordar agora.

OS MODELOS MATEMÁTICOS E A FILOSOFIA CRÍTICA DA TECNOLOGIA

Anteriormente já mencionamos o fato de que as três características particulares dos modelos matemáticos em sua inter-relação com a realidade objetiva (epistêmica, social e biofísica) formam uma unidade na diversidade. Em suma, isso representa dizer que toda expressão no que se refere à práxis humana, e na singularidade do trabalho intelectual matemático, é uma articulação dialética dessas três particularidades (transferência, construção e possessão de verdade). Assim, quando modelamos matematicamente o fazemos sempre em níveis epistêmicos, sociais e biofísicos, e nossos modelos são construções, transferidores e possuidores de verdade. A questão agora que cabe nos questionar é *que verdade é essa?*

No aspecto da sociedade atual, afirma Skovsmose (1999), a importância de uma educação matemática se volta para a formação de competências críticas e democráticas em uma sociedade *tecnologizada*[6]. Consequentemente, nossa discussão se volta para perscrutar os imbricamentos entre os modelos matemáticos e as tecnologias. Para tanto, não basta afirmarmos que a tecnologia atual é fortemente baseada em conhecimentos científicos (entre eles o matemático), que não existe neutralidade, das influências e das implicações sociais da C&T; é necessário mais se quisermos advogar uma proposta de educação matemática vinculada a interesses progressistas da ciência e tecnologia. Assim, nos voltamos a questionar e procurar responder *como* as tecnologias incorporam interesses sociais conciliando-os com elementos tecnocientíficos, e, *qual* a contribuição dos modelos matemáticos na estruturação de uma tecnologia?

Marcuse (1982) tratará de examinar as relações ideológicas entre o Ser social, manifestação do ente humano enquanto um ente social, e a tecnologia. Para o autor o capitalismo promoveu melhoras significativas ao proletariado mundial perante as condições de vida durante o século XIX, de maneira que os interesses dessa classe não se generalizariam mais ao ponto de destruírem o capital e edificarem uma nova sociedade. Entretanto, essas melhoras não são as principais causas para esse efeito *tranquilizante* do proletariado mundial em luta. Em verdade, o humano se tornou unidimensional a partir de uma racionalização tecnológica que promoveu, e continua a promover, a hegemonia da

[5] Ciência Tecnologia e Sociedade.

[6] Sociedade altamente tecnológica onde as tecnociências e as tecnologias hegemonizam a organização social.

classe capitalista frente as classes subalternas. Essa racionalização tecnológica acabaria por pressupor a separação entre proletários e gestores, entre trabalho manual e trabalho intelectual, como uma necessidade técnica para o desenvolvimento social (FEENBERG, 2012). Ela é a condensação entre elementos tecnocientíficos e condicionantes sociais.

Feenberg (2012) afirma que, na sociedade capitalista, o design tecnológico de uma tecnologia é determinado de acordo com a sua possibilidade de aumentar a autonomia operacional dos gestores perante os proletários. Autonomia operacional é a capacidade de um gestor poder escolher entre alternativas sem se preocupar com questões externas como as condições de trabalho, impactos sociais e ambientais, etc. (FEENBERG, 2012).

Entretanto, a obra marcusiana oferece uma possibilidade de demarcar geralmente as questões da técnica e da tecnologia enquanto produtoras e reprodutoras da hegemonia capitalista. E, como a unidimensionalidade humana não permite uma consciência crítica frente aos problemas tecnológicos da sociedade, esta se mostra incapaz de fornecer bases para uma perspectiva que se levante criticamente e contrariamente a hegemonia das classes capitalistas. Nesse sentido, no contexto mais específico, particular, deixa a desejar. É com essa perspectiva que os *regimes de verdade* da filosofia focaultiana possibilitam a Feenberg (2012) explicar que a tecnologia, enquanto possuidora de uma verdade, acaba por permitir o controle social de um grupo sobre outro. Entretanto, os regimes de verdade são inter-relações de poder e conhecimento, um campo de disputa a partir da qual se pode compreender seu desenvolvimento e formação enquanto um poder disciplinar, um poder utilizado por determinado grupo para dominar.

Entendendo que o design de uma tecnologia vem substancialmente definido por uma racionalidade tecnológica, a nível geral, e um regime de verdade, a nível local, Feenberg (2012) explicitará que todo design de uma tecnologia é regulada, legitimada e formatada por um *código técnico* que se expressa enquanto racionalidade tecnológica ou regime de verdade. Isto é, uma tecnologia não é neutra, pois serve a um regime de verdade.

Tal código técnico é formado pela consubstanciação de funcionalidades tecnocientíficas e sociais, de forma que seu regime de verdade é estabelecido de, um lado, pelo conhecimento e, de outro, pelos interesses de grupos/classes sociais em disputa.

É na tecnologia que o conhecimento tecnocientífico se transforma em uma forma de poder e não somente em uma ferramenta nas mãos de quem detém o poder, mas "sem perder sua característica de ser conhecimento" (FEENBERG, 2012, p. 124). O código técnico, na sociedade capitalista, é aquele que rege as formas de escolher as técnicas a fim de manter a autonomia operacional dos gestores capitalistas, e seu discurso legitimador se baseia na eficiência técnica. Por regular o desenvolvimento tecnológico em uma sociedade unidimensional o código técnico tem caráter ontológico perante o ser social, isto é, ele é partícipe categorial da essência humana enquanto pertencente a uma sociedade.

Os modelos matemáticos, no desenvolvimento do design tecnológico, se caracterizam sempre como um conhecimento tecnocientífico. Dessa forma, em uma *tecnologia individual*, como os modelos matemáticos, enquanto elementos científicos, se comportam? Já sabemos que a tecnologia designa um regime de verdade a partir do estabelecimento de seu código técnico, entretanto, de que maneira um elemento científico (matemático) possibilita a construção do regime de verdade?

Feenberg (2012) caracteriza que o elemento científico (modelo matemático) é relativamente neutro. Essa neutralidade relativa somente é possível se *desmundializarmos* o mesmo, isto é, o abstrairmos, de maneira que se torne ambíguo, em um processo de *análise*. Essa ambiguidade do elemento científico perante a tecnologia somente é possível de ser compreendida após o código técnico ter sido estabelecido, e seu estabelecimento enquanto complexo regulamentador é um movimento da realidade, consequentemente, um processo concreto (FEENBERG, 2010). Assim, a desmundialização do elemento científico é apenas uma abstração que possibilita compreender a ambiguidade relativa desta com relação às demais, entretanto, sua história desvela seu caráter social.

No que se refere aos modelos matemáticos essa discussão já foi feita nas sessões anteriores. O modelo é uma categoria que possibilita compreender a história material do sistema formal ao qual o modelo se estrutura, ao mesmo tempo em que permite estabelecer que tipo de mediação ele realiza entre consciência e realidade objetiva. Por exemplo, ao utilizarmos a equação das raízes de um polinômio de grau 2, podemos calcular pontos de máximo e mínimo, pontos de equilíbrio, e a estruturar como parte de uma tecnologia. Se a tomarmos desmundializada, isto é, como equação algébrica, de fato sua neutralidade é explícita, mas é também explicitamente relativa. Relativa, pois se analisarmos seu desenvolvimento histórico a perceberemos como produto de necessidades da prática humana. Por outro lado, se a relacionarmos com outros elementos tecnocientíficos ou condicionantes sociais o seu *movimento concreto* demonstrará que ela exerce influência sobre diferentes fenômenos (biofísicos, sociais ou epistêmicos). Assim, falarmos em neutralidade de um modelo somente é possível se tomarmos como referencial uma ontologia irracionalista e antirrealista.

Para além disso, essa característica de neutralidade relativa apenas caracteriza o duplo aspecto do elemento científico na racionalidade tecnológica, sua ambiguidade. Isto é, quanto mais adentramos ao campo elementar da tecnologia mais percebemos seu caráter ambíguo e da necessidade de um código técnico para enlaçar os objetivos de hegemonia capitalista, considerando que a neutralidade relativa dos elementos técnicos e científicos permitem que eles sejam ordenados de distintas formas (FEENBERG, 2012).

Dessa forma, por mais que os elementos técnicos e científicos sejam ambíguos, apenas o são desmundializados, tomados como entidades puramente abstratas. Em verdade, sua caracterização enquanto conhecimento apenas é possível quando estes adentram ao campo concreto. Assim, afirmar sua neutralidade somente *seria uma possibilidade real* se esses elementos não fossem partícipes do movimento do real, ou melhor, se fossem categorias estáticas, absolutas sem conexão qualquer com aspectos fora de sua essência abstrata.

Essa ambiguidade, presente também em um modelo matemático, deve ser o foco de uma alfabetização matemática. Isto é, a alfabetização matemática deve tornar inteligível o caráter relativo dos modelos matemáticos perante o design tecnológico, especificando também, que o código técnico é um processo de disputa social e determina a maneira com a qual o modelo matemático se ordenará com outros elementos tecnocientíficos e com as condicionantes sociais, para então prover uma tecnologia reprodutora da hegemonia de classe na sociedade capitalista.

É nesse aspecto que a perspectiva CTS e a Modelagem Matemática possibilitam uma concepção de alfabetização matemática vinculada a outra sociabilidade e desenvolvimento tecnológico. No entanto, se a alfabetização matemática deverá procurar problematizar as tecnologias a partir da compreensão da funcionalidade de um código técnico, ela também deverá ser guiada por um estatuto ontológico. E além disto, a crítica do código técnico de determinada tecnologia é crítica à racionalidade tecnológica ou a um regime de verdade, é também crítica a própria sociedade capitalista, é em verdade, uma crítica ontológica, e toda crítica ontológica pressupõe uma alternativa ontológica, uma alternativa civilizatória, que deveria guiar uma ressignificação da alfabetização matemática.

Assim, para uma articulação entre Modelagem Matemática e a perspectiva CTS, a partir da categoria da alfabetização matemática, se faz necessária uma ressignificação desta última perante todo o processo educacional. Alfabetizar matematicamente é, portanto, evidenciar o caráter ambíguo da matemática enquanto modelos, em suas três variantes anteriormente expostas, que possibilitam diferentes formas de reorganizar a tecnologia, geral e individualmente, enquanto hegemonia e regime de verdade; é demonstrar a potencialidade emancipadora de uma atividade humana crítica perante a tecnologia, a técnica e a ciência.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao percorrermos o itinerário que explicita a importância cotidiana e histórica dos modelos matemáticos para a ciência e para a tecnologia, e consequentemente para a sociedade, tratamos de indicar que deveria existir uma possibilidade de inter-relacionamento entre os modelos matemáticos e as questões CTS. Essa compreensão somente é possível se tomarmos o ontológico em primazia ao gnosiológico, pois é o estatuto do real que deve guiar e possibilitar a reflexão entre os imbricamentos CTS com os modelos matemáticos. Da mesma forma, a primazia do ontológico demonstrou a possibilidade de construir uma epistemologia dos modelos matemáticos que fosse além da matemática aplicada, e demonstrasse sua potencialidade na compreensão do próprio conhecimento matemático.

Essa compreensão, a partir das três variantes de verdade - tomadas como unidades na/da diversidade - possibilitaram uma aproximação onto-epistemológica da modelagem matemática (como ciência) com a questão CTS (como questão social). Isso possibilitou compreender de que maneira os modelos matemáticos influenciam nas questões CTS, mapeando em que sentido uma alfabetização matemática (e científica) deve ser guiada: em direção a uma problematização dos elementos tecnocientíficos (matemáticos) em sua ambiguidade, frente a construção e disputa do código técnico.

Assim, fica estabelecido que a ressignificação da alfabetização matemática e científica deve ser guiada por uma abordagem ontológica voltada para o caráter potencializador que a problematização do código técnico tem em uma perspectiva de emancipação humana. E essa ressignificação é tarefa futura para uma coerência e consistência da Modelagem Matemática na perspectiva CTS.

REFERÊNCIAS

BADIOU, A. **Sobre o conceito de modelo**: introdução a uma epistemologia materialista das matemáticas. Lisboa: Estampa, 1972.

BASSANEZI, R. C. **Ensino-aprendizagem com Modelagem Matemática**. São Paulo: Contexto, 2004.

BORBA, M. C.; SKOVSMOSE, O. A ideologia da certeza em educação matemática. In: SKOVSMOSE, O. **Educação matemática crítica**: a questão da democracia. Campinas: Papirus, 2001. p. 127-148.

BOYER, C. **História da Matemática**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1996.

CAJORI, F. **Uma história da matemática.** Rio de Janeiro: Editora ciência moderna, 2007.

CIFUENTES, J. C.; NEGRELLI, L. G. Uma interpretação Epistemológica do Processo de Modelagem Matemática. **Bolema**, Rio Claro, v. 26, p. 19-44, 2012.

DAVIS, P. J. , HERSH, R. **A experiência matemática**. Rio de janeiro: Francisco Alves, 1986.

FEENBERG, A. **Racionalização subversiva: tecnologia, poder e democracia. A teoria crítica de Andrew Feenberg**: racionalização democrática poder e tecnologia, v. 1, p. 67-95, 2010.

FEENBERG, A. **Transformar la tecnología**. Una nueva visita a la teoría crítica. Bernal, UNQ, 2012.

FLEMING, H. Max Planck e a Idéia do Quantum de Energia. In: HUSSEIN, M.; SALINAS, S. (Orgs.). **100 anos de física quântica**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2001. p. 10.

GARDING, L. **Encontro com a Matemática**. Tradução: Célia W. Alvarenga, Maria Manuela V. Marques Alvarenga. Brasília: Ed. da UnB, 1981.

HARDY, G. H. **A mathematician's apology**. Cambridge: Cambridge University Press, 1967.

KOPNIN, P. V. **A dialética como lógica e teoria do conhecimento**. Civilização Brasileira, 1978.

LUKÁCS, G. **Introdução a uma estética marxista sobre a categoria da particularidade**. Civilização Brasileira, 1978.

MARCUSE, H. **A ideologia da sociedade industrial**: o homem unidimensional. 6. ed. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1982.

MARX, K. **Contribuição à crítica da Economia Política**. São Paulo: Expressão popular, 2008.

MARX, K.; ENGELS, F.. **A ideologia alemã**: crítica da mais recente filosofia alemã em seus representantes Feuerbach, B. Bauer e Stirner, e do socialismo alemão em seus diferentes profetas (1845-1846). São Paulo: Boitempo, 2007.

MÉSZÁROS, I. **O conceito de dialética em Lukács**. São Paulo: Boitempo, 2013.

PINHEIRO, N. A. M. Uma reflexão sobre a importância do conhecimento matemático para a Ciência, para Tecnologia e para Sociedade. **Publicatio UEPG**. Ciências Humanas, Ciências Sociais Aplicadas, Lingüística, Letras e Artes, Ponta Grossa, v. 1, p. 21-31, 2003.

ROUSSEAU, C. Mathematics, a living discipline within science and technology. In: SIMMT, E. & DAVIS, B. (Orgs.). **Proceedings: 2001 Annual Meeting**. Canadian Mathematics Education Study Group, University of Alberta, Alberta. 2002.

SANTOS, B. S. **Um discurso sobre as ciências**. Porto: Edições Afrontamento, 2001.

SILVA, I. **História dos pesos e medidas**. São Paulo: EdUFSCar, 2004.

SKOVSMOSE, O. **Educação Crítica: incerteza**, matemática, responsabilidade. São Paulo: Cortez, 2007.

SKOVSMOSE, O. **Educação Matemática crítica**: a questão da democracia. Campinas, São Paulo: Papirus, 2001.

SKOVSMOSE, Ole. **Hacia una filosofía de la educación matemática crítica**. Bogotá: Una empresa docente, 1999.

VARGAS, M. A história da matematização da natureza. **Estudos Avançados**, v. 10, n. 28, p. 249-276, 1996.

VYGOTSKY, L. S. **A construção do pensamento e da linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

RECEBIDO EM: 31 maio 2017.
CONCLUÍDO EM: 19 ago. 2017.