

9 Um ensaio sobre a Complexidade, a Criatividade e as Representações Semióticas em uma atividade de Modelagem Matemática

Celia Finck Brandt

SciELO Books / SciELO Livros / SciELO Libros

BRANDT, C. F. Um ensaio sobre a Complexidade, a Criatividade e as Representações Semióticas em uma atividade de Modelagem Matemática. In: BRANDT, C. F., BURAK, D., and KLÜBER, T. E., orgs. *Modelagem matemática: perspectivas, experiências, reflexões e teorizações* [online]. 2nd ed. rev. and enl. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2016, pp. 163-181. ISBN 978-85-7798-232-5. Available from: doi: [10.7476/9788577982325.0010](https://doi.org/10.7476/9788577982325.0010). Also available in ePUB from: <http://books.scielo.org/id/b4zpq/epub/brandt-9788577982325.epub>.



All the contents of this work, except where otherwise noted, is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International license](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Todo o conteúdo deste trabalho, exceto quando houver ressalva, é publicado sob a licença [Creative Commons Atribuição 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Todo el contenido de esta obra, excepto donde se indique lo contrario, está bajo licencia de la licencia [Creative Commons Reconocimiento 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

9

Um ensaio sobre a Complexidade, a Criatividade e as Representações Semióticas em uma atividade de Modelagem Matemática

Celia Finck Brandt

1 Introdução

Neste capítulo propusemos reflexões teóricas sobre o pensamento complexo e a criatividade, além das possíveis relações entre uma teoria de conhecimento pautada em representações semióticas, quando se trata do par representação x conceitualização de objetos matemáticos.

As relações buscadas dizem respeito às articulações possíveis, dicotomias, convergências e/ou divergências, complementaridades, contribuições, entre outras. Todos esses aspectos serão contemplados em análises de atividades envolvendo a Modelagem Matemática. Procedendo dessa forma estaremos seguindo o eixo teórico dos trabalhos apresentados nesta coletânea, referente à metodologia da Modelagem Matemática na perspectiva de Dionísio Burak.

Uma organização será contemplada para a exposição do quadro teórico e das interseções buscadas: ideias sobre complexidade e criatividade na perspectiva de diversos autores, e, na sequência, os aspectos teóricos principais referentes à teoria de representações semióticas e a conceitualização de objetos matemáticos defendida por Raymond Duval. Para articular todos os aspectos abordados no capítulo, destacaremos a metodologia da Modelagem Matemática na perspectiva de Burak, evidenciando as manifestações e a importância desses aspectos para a aprendizagem da Matemática na escola.

2 Complexidade

Morin (2005) diz que a complexidade ficou marginalizada por muito tempo no pensamento científico ocidental e que ainda é desconsiderada por muitos pesquisadores. Por conseguinte, há a predominância de um pensamento reducionista – cartesiano.

Quando os cientistas se deparavam com a complexidade dos fenômenos estudados, deixavam-na de lado ou a ignoravam. Assim, instalou-se uma unilateralidade na forma de se fazer ciência e de se investigar. As multidimensões foram “esquecidas”, justamente porque sobre elas não era possível

exercer controle, conforme ocorria na atitude cartesiana, que objetivava o domínio, a manipulação.

Esse domínio tornava-se exequível através da separação do todo em partes cada vez menores e mais “simples”, ou seja, a aplicação do cogito cartesiano – “penso logo existo”. Essa atitude reducionista é chamada por Morin (2005) de “mutiladora”, pois para ele, ao separar a parte do todo, estuda-se outra coisa qualquer, um objeto diferente do objeto inicial, uma vez que não é possível somar as partes para recompor o todo.

Vários exemplos podem ser apontados, em contextos diferenciados, que tornam possível apontar as implicações desse reducionismo. Tomemos por exemplo o conceito de letramento: numa dada época, ser analfabeto constituía problema sério, da mesma forma que analfabetismo era alvo de políticas para o seu combate. As reais condições do alfabetizado em relação às suas competências e habilidades entram em cena num contexto que exige o uso social da escrita e da leitura para atender às intensas demandas sociais.

Hoje, em um outro contexto, em uma outra cultura, esses novos significados entram em cena colocando como exigência a capacidade de usar a leitura e escrita em uma prática social (ler ou escrever um bilhete simples). Mas cabe ressaltar que outras questões estão relacionadas ao entendimento do que possa ser letramento em países com níveis de desenvolvimento diferenciados, conforme nos alerta Soares (2001). Dentre elas, destaca-se a garantia de escolaridade e de sua qualidade, que se apresenta de formas diferenciadas em países desenvolvidos ou em desenvolvimento, refletindo-se nos níveis de letramento da população. E, igualmente, às questões que se referem aos tipos de uso da leitura e da escrita, interesses, formas de acesso e as suas relações com o envolvimento em práticas sociais.

Outro exemplo que pode ser citado refere-se ao dilema do determinismo referido por Willian James (1956, apud PRIGOGINE, 1996, p.9), que está presente na nossa relação com o mundo e com o tempo. Segundo o autor, nessa concepção algumas questões emergem, dentre as quais: “O futuro é dado ou está em perpétua construção? É uma ilusão a crença em nossa liberdade? É uma verdade que nos separa do mundo?” O autor também relata que esse dilema coloca o tempo na encruzilhada do problema da existência e do conhecimento, ao mesmo tempo em que o toma como ponto de partida da ciência ocidental, que para alguns constituiu o triunfo do pensamento humano e para outros se tornou a origem do problema que a forma “[...] como foi incorporado nas leis fundamentais da física, da dinâmica clássica newtoniana até a relatividade e a física quântica nenhuma distinção entre passado e futuro” (Ibidem, p.10).

Mais uma vez são constatadas separações (entre passado e futuro) que, segundo Prigogine (1996), significam que a flecha do tempo não poderia emergir de um mundo considerado pela física como apresentando uma simetria temporal, vindo a caracterizar o paradoxo do tempo que transpõe para a física o dilema do determinismo.

A complexidade não pode ser entendida como uma receita que oferece solução para todos os problemas, ou como a resposta para tudo, antes ela é um desafio e uma motivação para pensar. Nessa perspectiva, “Acreditamos que a complexidade deve ser um substituto eficaz da simplificação, mas que, como a simplificação, vai permitir programar e esclarecer” (MORIN, 2005, p. 176) [sic].

Ela também não pode ser entendida como sinônimo de completude, pois é justamente o contrário, ela traz em si o problema da incompletude do conhecimento. Trabalha com a questão da multidimensionalidade¹, respeitando todas as dimensões de um objeto de estudo e, por esse motivo, “[...] ao aspirar a multidimensionalidade o pensamento complexo comporta em seu interior um princípio de incompletude e de incerteza”. (Ibidem, p. 177).

A complexidade aceita antagonismos como: a ordem e a desordem para a organização; a universalidade e a particularidade; a complicação e a simplificação; a unidade e a multiplicidade; o princípio hologramático², as partes e o todo; conceitos claros/fechados e conceitos obscuros/abertos; autonomia e dependência; o quantitativo e o qualitativo; dentre outros.

Essas dicotomias aparentes não existem para Morin (2005), que considera os antagonismos como complementares, porque o pensamento complexo pretende encontrar um caminho para a multidimensionalidade, para que esses pares possam existir concomitantemente através do princípio da desordem organizadora.

O pensamento complexo foge da linearidade. Considera o externo e o interno, pensa em conjunto, não fragmenta, não divide e não mutila. “O pensamento complexo é aquele capaz de considerar todas as influências recebidas: internas e externas” (PETRAGLIA, 2005, p. 47).

Pressupõe o diálogo que é outra palavra-chave para o entendimento do pensamento complexo. Pois o diálogo, sob a ótica da complexidade,

¹ Segundo Morin (2007, p.38), “Unidades complexas, como o ser humano ou a sociedade, são multidimensionais: dessa forma, o ser humano é ao mesmo tempo biológico, psíquico, social, afetivo e racional. A sociedade comporta as dimensões histórica, econômica, sociológica, religiosa... O conhecimento pertinente deve reconhecer esse caráter multidimensional e nele inserir esses dados [...]”.

² Holograma é a imagem da física cujas qualidades de relevo, de cor e de presença são devidas ao fato de cada um dos seus pontos incluírem quase toda a informação do conjunto que ele representa [...] até mesmo a mais modesta célula da epiderme, contém a informação genética do ser global (MORIN, 2005, p.181).

permite que apareçam as contradições lógicas e empíricas. Se associado ao princípio hologramático, no qual, de certa maneira as partes estão no todo e o todo está nas partes, a complexidade ou as complexidades estarão contempladas. Por isso, não desconsidera as produções elaboradas na esfera da Ciência Moderna, como por exemplo, a física newtoniana, porém não pára aí, vai além, procurando as dimensões que foram excluídas do processo de construção científica.

Igualmente permite estabelecer relações diferenciadas entre partes e todo quando os conjuntos são ilimitados. Por exemplo: no conjunto dos números naturais que é infinito, temos o conjunto dos números pares que também é infinito. Algum desses conjuntos tem mais magnitude que o outro? Contudo, o conjunto dos pares está contido no conjunto dos naturais, confirmando que nem sempre a parte é menor que o todo.

A complexidade exige estratégia no que concerne às atividades humanas porque somente ela permite que se avance na incerteza e no aleatório. Essa estratégia, por sua vez, segundo Morin (2005) refere-se à capacidade de “[...] utilizar informações que aparecem na ação, de integrá-las, de formular esquemas de ação e de estar apto para reunir o máximo de certeza para enfrentar a incerteza”. (MORIN, 2005, p. 192).

A complexidade não tem método, mas pode ser um, no sentido de um “lembrete”.

O método da complexidade pede para pensarmos nos conceitos, sem nunca dá-los por concluídos, para quebrarmos as esferas fechadas, para restabelecer-mos 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 das totalidades integradoras (MORIN, 2005, p. 192).

Essa afirmação de Morin (2005) nos desafia a interpretar que a complexidade é o caminho na direção da busca do saber total, que comporta o antagonismo de saber sempre de forma incompleta, parcial. É a junção de conceitos que lutam entre si. Reclama pelo pensar de forma organizacional, o qual não se resume na ordem ou em algumas leis determinadas. Deve incluir a relação autoecoorganizadora, ou seja, a relação íntima e profunda do ser humano com o meio ambiente e a relação hologramática, que une as partes ao todo e o todo às partes, de forma muito diferente, a uma simples somatória das partes ao procurar recompor o todo.

3 Criatividade

A criatividade, nos enfoques atuais e por nós estudados recentemente, leva em consideração, na maioria das pesquisas, a dimensão cognitiva (ALENCAR, 2002). E, nesse âmbito, existem algumas características que são elucidadas acerca da criatividade dentre as quais: 1) a fluência; 2) a flexibilidade; 3) a originalidade; 4) a elaboração; e 5) a redefinição ou avaliação.

A *fluência* estaria relacionada à capacidade que a pessoa tem de se expressar bem diante de determinada situação, isso nas mais diversas formas, que podem ser desde a verbal, a escrita, a gestual, etc.

A *flexibilidade* estaria relacionada à aptidão para a mudança em situações difíceis que não são muito comuns e às vezes até embaraçosas. Dito de outro modo, a pessoa seria capaz de sair de uma linearidade, de uma rotina, para dar as respostas necessárias à situação.

Encontramos nesta característica a possibilidade de utilização de estratégias exigidas pela complexidade dos fenômenos que, por sua vez, leva as pessoas a avançarem na incerteza e no aleatório. Essa possibilidade está relacionada a uma aptidão que deve ser desenvolvida, pois não nascemos e sim nos tornamos criativos. Como consequência, poderemos lançar mão de estratégias que estão relacionadas com um maior ou menor grau de criatividade, determinando as formas diferenciadas por meio das quais podemos utilizar informações, integrá-las, formular esquemas de ação, métodos, articulações e estar aptos para reunir o máximo de certeza para enfrentar a incerteza, conforme apontado por Morin (2005), visto que são oriundas de nossa compreensão de multidimensionalidade e de nossas formas de pensar no singular sem desconsiderar o local e o temporal e a sua pertença às totalidades integradoras.

A *originalidade* seria entendida como um ato criador. Respostas novas e inusitadas, novos caminhos percorridos na resolução de um problema, caracterizam a criação de algo novo, portanto, original.

Os fenômenos sempre se apresentam a nós, de uma forma ou de outra, complexos e com muitas dimensões, com influências internas e externas recebidas, que dão origem a problemas diversos que para serem solucionados não podem lançar mão de uma receita que ofereceria uma solução comum a todos eles.

Essa característica da criatividade pode ser então considerada importante para buscar as soluções dos problemas e, ao mesmo tempo, lidar com todas as questões que se relacionam com as complexidades, contradições

lógicas e empíricas, antagonismos, incompletudes, multidimensionalidade, princípio da desordem organizadora, incertezas e aleatoriedade.

A *elaboração* estaria relacionada à habilidade de organizar o pensamento para expressar-se de maneira clara, por meio da escrita, da fala, de gestos e outras formas de comunicação. Considerando a dimensão linguística de uma teoria de representações, evidencia-se que essa característica colocará em jogo as relações entre significantes e significados, considerando uma estrutura diádica de representação e uma estrutura triádica, que inclui uma significação tendo por referência um conceito, ideia ou objeto de conhecimento. Uma teoria de representações semióticas considerará os diferentes sistemas semióticos, os diferentes registros de representação, colocando em cena operações cognitivas de formação, tratamento e conversão, bem como as questões referentes ao conteúdo e à forma.

E por fim temos a *redefinição* ou *avaliação*, que estaria relacionada ao processo de olhar para trás, de voltar-se, de ser crítico consigo mesmo, com a sua construção, criação, ou elaboração. Por essas características é considerada uma habilidade fundamental para a formação da autocrítica e crescimento pessoal. Esta característica da criatividade é que possibilita as conexões, validações, porém não voltadas somente para aspectos internalistas de uma determinada área de conhecimento, mas sim para aspectos externalistas que irão voltar-se para dimensões de natureza teleoaxiológica e, dessa forma, permitir o estabelecimento da relação autoecorregularizadora, anteriormente citada.

Outras características destacadas por Alencar (2002) são muito semelhantes às anteriores, quais sejam: associativas, habilidades analógicas, habilidades metafóricas, habilidades abstratas. As habilidades estariam relacionadas à facilidade de associar ideias distintas que aparentemente não teriam conexões imediatas.

As habilidades analógicas estariam relacionadas à capacidade de comparação de ideias com coisas, objetos que já fazem parte do cotidiano.

As habilidades metafóricas estariam relacionadas à capacidade de utilização de sistemas explicativos a partir de metáforas, aproximando-se da habilidade analógica.

As habilidades abstratas estariam relacionadas à capacidade de abstração de conceitos, teorias, explicações, desligando-se de aportes concretos, empíricos ou situações do cotidiano.

A criatividade também tem a ver com a personalidade de cada indivíduo. Alguns traços da personalidade como: a autonomia, a flexibilidade

pessoal; a abertura à experiência; a autoconfiança; a iniciativa e persistência; sensibilidade emocional; e bagagem de conhecimento, são fundamentais para o desenvolvimento da criatividade.

Porém, os traços sempre estão relacionados às condições sociais e antropológicas, ou seja, ao contexto em que estão inseridos. São inúmeras as formas de condicionamentos que podem causar a apatia, a insegurança, o medo do fracasso, o medo de parecer ridículo, sentimentos de inferioridade em relação aos outros, que acabam por constituir-se em empecilhos aos atos criadores. (ALENCAR, 2002).

Uma pessoa considerada criativa, segundo Alencar (2002), pode adotar quatro papéis distintos de acordo com os traços de sua personalidade:

- O explorador de ideias – que sempre irá em busca de novas situações que podem esclarecer suas dúvidas. Procura encontrar respostas para suas inquietações;
- O artista de ideias – que trata as ideias como arte, como algo que é visceral, que nasce de si, que refaz; enfim, que faz como um pintor que escolhe as melhores telas, tintas, luminosidade, etc;
- O juiz de ideias – capaz de julgar, quando as ideias são boas, errôneas, distorcidas e capaz de julgar as próprias criações; • Oguerreiro – entendido como persistente, sabendo que nem sempre as coisas ficam boas em um primeiro momento, mas que é fundamental ter a perseverança, lutando contra as limitações particulares e contra aquelas impostas pelas condições exteriores (nesse sentido, a complexidade dos fenômenos tem que ser admitida em relação às incompletudes e do conhecimento parcial sobre as coisas).

A partir do que foi explicitado anteriormente, fica claro que a criatividade é influenciada tanto pelas condições interiores como pelas exteriores ao sujeito. Não é inata, mas é construída em conjunto com as potencialidades e limitações que o ser humano tem em nível pessoal e em nível coletivo. É preciso, então, pôr em diálogo constante aquilo que o sujeito tem em sua “bagagem” hereditária, biológica, cognitiva e outras, bem como o que os ambientes sociais, culturais, econômicos e outros lhe oferecem. Somente a partir desse entendimento a criatividade poderá ser desenvolvida e “cultivada”.

4 Representações semióticas

A teoria das representações semióticas contempla a dimensão cognitiva da construção de conhecimentos, e para todas as áreas de conhecimento,

inclusive para o campo da matemática, ela é de capital importância, além de constituir uma abordagem caracterizada pela originalidade, conforme defendido por Duval (2003, p.1), para a conceitualização de objetos de conhecimento. No caso da matemática o autor afirma:

A originalidade de uma abordagem cognitiva está em procurar inicialmente descrever o funcionamento cognitivo que possibilite a um aluno compreender, efetuar e controlar ele próprio a diversidade de processos matemáticos que lhe são propostos em situação de ensino.

Segundo o mesmo autor, alguns conceitos das representações semióticas são fundamentais para a compreensão da aprendizagem em Matemática, dentre os quais destaca-se: 1) os tipos de registro de representação – os registros multifuncionais e os registros monofuncionais; 2) as transformações das representações “inter” e “intra” – registros possibilitados pelas operações cognitivas de formação, tratamento e conversão.

Fundamental, igualmente, será enfrentar o fenômeno da congruência semântica, oriunda da operação cognitiva de conversão que irá transformar um registro de representação pertencente a um sistema semiótico de representação para outro, pertencente a outro sistema semiótico.

Quanto aos tipos de registro de representação, os multifuncionais são formas de tratamentos não algoritmizáveis, subdivididos em dois grupos. 1) Registros multifuncionais de representação discursiva – representações em linguagem natural, com associações verbais (conceituais). Constituem-se de argumentações fundadas em observações, crenças e deduções validadas a partir de definição ou de teoremas. 2) Registros multifuncionais de representação não discursiva – formados por figuras geométricas planas ou em perspectivas (configurações em dimensão 0, 1, 2 ou 3), que se caracterizam por apresentarem apreensão operatória e não perceptiva e serem construídos com o auxílio de instrumentos.

Os registros monofuncionais, que são formas de tratamento algoritmizáveis, também são subdivididos em dois grupos de registros de representação: 1) discursivo – composto pelos sistemas de escrita: numéricas (binária, decimal, fracionária e outras), algébricas e simbólicas (línguas formais, enfim cálculo); e 2) não discursivo – composto pelas representações como os gráficos cartesianos, as mudanças de sistema de coordenadas, a interpolação e a extrapolação.

Segundo Duval (2003), a originalidade da atividade matemática se caracteriza pela possibilidade de trabalho simultâneo com ao menos dois

tipos de registros de representação ao mesmo tempo, ou ainda, pela possibilidade de se efetuarem trocas de registro a todo o momento.

Quanto às transformações das representações, ressaltamos que elas podem ser obtidas por meio da operação cognitiva de *tratamento* e ocorrem quando a transformação acontece no interior do mesmo sistema semiótico, como, por exemplo, ao se efetuar um cálculo permanecendo exclusivamente na representação numérica.

No entanto, a transformação pode também ser efetuada por meio da operação cognitiva de conversão e, nesse caso, os registros transformados mudam de sistema semiótico, como, por exemplo, na transformação de uma função em linguagem algébrica para a sua representação gráfica.

Em virtude dessas transformações possibilitadas, há que se levar em consideração a complexidade das representações, associando-as com as questões relativas à complexidade de expressão do significado de um conteúdo matemático e também à necessidade de aprendizagem do conteúdo do registro de representação. Assim, são os gráficos que se constituem de eixos, inclinação, plano cartesiano, representação de pontos no plano por meio de pares ordenados (conteúdo da representação gráfica) e também as funções escritas na forma algébrica, que possuem coeficientes, variáveis e outros conteúdos próprios de sua representação (conteúdos da escrita algébrica). Ambos se remetem ao mesmo conteúdo matemático, o de funções. Por isso Duval (2003, p.16) esclarece que “[...] passar de um registro de representação a outro, não é somente mudar de tratamento, é também explicar as propriedades ou os aspectos diferentes de um mesmo objeto”.

É necessário explicitar ainda, o fenômeno relacionado às variações de congruência semântica que ocorrem quando há atividade da conversão, destacando a manifestação da heterogeneidade dos sentidos de conversão.

A atividade de conversão, por enfrentar o fenômeno da congruência semântica, pode explicar, segundo Duval (1995), grande parte dos sucessos ou insucessos dos alunos em atividades de mudança de sistemas semióticos. Existem condições que caracterizam uma operação de conversão semanticamente congruente:

- correspondência semântica entre as unidades de significado;
- unicidade semântica terminal;
- conservação da ordem das unidades.

A atividade de conversão torna-se não congruente quando uma dessas três condições não for satisfeita. Nessa perspectiva, quando se invertem os registros de partida e de chegada, nem sempre se garante a congruência.

Há diferenças significativas entre o registro de partida e de chegada para a congruência semântica (DUVAL, 2003).

Tudo isso implica que a aprendizagem em matemática passe pelo diálogo com mais de um tipo de representação, necessitando de aprendizagens que se referem ao conteúdo do objeto matemático e ao conteúdo da representação em si.

5 Relacionando as teorias com a Educação Matemática

Em decorrência do exposto sobre as três teorias, procuramos tecer nessa seção algumas considerações ainda preliminares no tocante às possibilidades de interseções que venham a contribuir para a Educação Matemática. Faremos isso contemplando a metodologia da Modelagem Matemática para o desenvolvimento dos processos de ensino e de aprendizagem da Matemática na Educação Básica.

A teoria da complexidade é muito abrangente e, pelo explicitado no início desse ensaio, consideramos que ela pode abarcar as outras duas teorias, em virtude de que não tem preconceitos e dificuldades em aceitar as contribuições teóricas que muitas vezes até parecem antagônicas.

Uma interseção clara entre a complexidade e a criatividade está na consideração dos aspectos externos e internos. Nos aspectos externos podemos citar os sociais, os antropológicos, os culturais e os internos à hereditariedade, temperamento e fatores biológicos. Interpreta-se que, para o desenvolvimento da criatividade na Educação Matemática, faz-se necessário o diálogo com a complexidade dos fenômenos que vão muito além dos aspectos puramente cognitivos, ou seja, dependem do mundo e do contexto, assim como outras variáveis pessoais.

A falsa “simplicidade” ou “clareza” com que os conteúdos matemáticos são tratados pode ser superada por meio de uma teoria de representações semióticas na perspectiva de Raymond Duval. Essa simplicidade incita a não compreensão dos conteúdos matemáticos que são dados como prontos e acabados e abordados mecanicamente no processo de ensino. De acordo com Duval (1995), é necessário o domínio de pelo menos dois registros acerca do mesmo conteúdo para que ocorra a compreensão em Matemática. Não só o domínio, mas a transformação de um objeto de conhecimento realizada por meio da operação cognitiva de conversão.

Essa operação cognitiva vai exigir determinados procedimentos metodológicos para não ser caracterizada como uma simples decodificação. Nesse caso, deve-se proceder com alterações nas unidades significativas de

um registro e verificar se elas produzem alterações no seu registro associado, tendo por referência outro objeto matemático. Essa operação exige uma coordenação dos procedimentos pelo sujeito aprendiz.

Um exemplo citado por Brandt (2005) permite esclarecer esse encaminhamento metodológico: seja um número expresso por uma palavra ou por um numeral arábico. Enquanto palavra, identificamos as unidades significativas, que nesse caso são os sufixos e prefixos, articulados entre si por meio de operações de adição e subtração. Por exemplo: “doze” apresenta o prefixo “do”, que é uma deformação da palavra *dois* e o sufixo “ze” que é uma deformação da palavra *dez*. Nesse caso eles são articulados entre si por uma operação de adição: $2 + 10$. Já o numeral arábico possui como unidades significantes os algarismos (de 0 a 9) e é a posição por eles ocupada na representação arábica que vai representar potências crescentes de dez, da direita para a esquerda. Assim, o número 12 possui o algarismo “1” que, em virtude de sua posição, indica um grupo de dez, e o algarismo “2”, que, em virtude de sua posição, indica duas unidades. Eles são articulados pelas operações de adição e multiplicação: $12 = 1 \times 10 + 2$.

Para outros números teremos outras especificidades: $43 = 4 \times 10 + 3$ e na sua escrita, em língua materna, as palavras *quarenta* e *três* apresentam um prefixo “quar”, da palavra *quarenta*, que corresponde a uma deformação de *quatro*, e o sufixo “enta”, que representa uma deformação de *dez*. Eles são articulados entre si por operações de adição e multiplicação: *quarenta e três* = $4 \times 10 + 3$.

Pode-se observar nas transformações de um registro pertencente a um determinado sistema semiótico em outro fenômeno, o da não congruência, pois não se garante a mesma ordem das unidades nos dois registros, em determinados casos (*12* e *doze*); ou na não univocidade semântica terminal (como no caso do 43, que possui duas unidades significantes e a sua representação na língua materna possui quatro unidades significantes – o prefixo e o sufixo da palavra *quarenta*, o conectivo e a palavra *três*).

A nosso ver, a transição entre registros de representação se caracteriza como uma abertura à complexidade, haja vista que os modelos de representação não podem estar isolados uns dos outros, precisam dialogar e fazer sentido em um contexto mais amplo que apenas uma representação. Essa complexidade diz respeito igualmente ao fenômeno da congruência semântica colocada pelo sentido da conversão. Dois registros de representação podem ser congruentes em um sentido e não o serem no sentido inverso.

Para as atividades em Educação Matemática, a seguinte pergunta poderia ser feita: como propiciar a criatividade levando em consideração a

complexidade do conhecimento, favorecendo a aprendizagem em Matemática juntamente com atividades que contemplem as representações semióticas?

Essa questão nos instiga a pensarmos em alguma atividade relacionada à Modelagem Matemática, tendência em Educação Matemática que faz parte de nossa trajetória de pesquisa há mais de três anos.

Assim, podemos propor hipoteticamente uma atividade levando em consideração os aspectos da Modelagem conforme a perspectiva de Burak (1998, 2004) e sob a ótica da complexidade, buscando elementos que permitam considerá-la como facilitadora do processo criativo e destacando as contribuições da teoria das representações semióticas para a conceitualização dos objetos matemáticos. Entretanto, antes de adentrarmos na proposta de atividade, retomaremos o entendimento de Burak (1998, 2004) acerca da Modelagem, já contemplado nos textos apresentados nessa coletânea. Faremos isso para possibilitar a compreensão dessa leitura sem a necessidade da leitura dos textos anteriores.

6 Modelagem Matemática sob a ótica da complexidade e a contribuição da teoria das representações semióticas para o desenvolvimento da criatividade

Para o desenvolvimento de uma atividade com Modelagem Matemática Burak (1998, 2004) sugere cinco etapas: *1) escolha do tema; 2) pesquisa exploratória; 3) levantamento dos problemas; 4) resolução dos problemas e desenvolvimento do conteúdo matemática no contexto do tema; 5) análise crítica das soluções*. Essas etapas devem ser encaminhadas sempre levando-se em consideração os dois princípios propostos pelo autor: 1) o interesse do grupo; e 2) a obtenção de informações e dados do ambiente, onde se encontra o interesse do grupo.³ Durante todo o processo da Modelagem, a postura do professor é primordial, pois assume o papel de mediador.⁴

Essas etapas já foram explicitadas em um dos artigos desta coletânea e serão retomadas nas análises das relações contempladas neste ensaio.

³ Podem ser coisas próprias do ambiente próximo, ou externas, justamente por ser contextual. Assim, ambiente pode ser entendido como o contexto escolhido pelos alunos. Como por exemplo, temas televisivos, futebolísticos e outros.

⁴ O professor mediador não é no sentido de transmissão, como aquele que sabe os conteúdos e repassa aos alunos, apenas sendo uma “ponte” para os conteúdos. Mediador é tomado de forma interacional, ou seja, considera o que os alunos sabem e a partir do que ele, professor, sabe, estabelece um diálogo de aprendizagem.

No trabalho com a Modelagem faz-se um caminho inverso do usual, no qual os conteúdos determinam os problemas, ou seja, os problemas determinam os conteúdos.

No momento precedente à escolha do tema, na metodologia da Modelagem Matemática, acontece algo muito semelhante à uma técnica apresentada por Alencar (2002) para oportunizar o desenvolvimento da criatividade nos educandos. Esta se refere à tempestade de ideias, ou seja, os alunos são incentivados a expressarem os seus anseios e seus interesses, favorecendo a criação de discussões e possibilitando que sintam-se em plena liberdade para expressar suas ideias, uma vez que a liberdade é um dos fatores primordiais para o desenvolvimento da criatividade. Essas ideias devem ser valorizadas pelo fato de que podem favorecer o processo de criação.

De acordo com nosso entendimento, durante a *escolha do tema*, que é gerado pelo interesse do grupo, abre-se um caminho para a multidimensionalidade, característica fundamental do pensamento complexo, pois o conteúdo matemático a ser trabalhado posteriormente terá um contexto amplo, relacionado à dimensão histórica, econômica, geográfica, sociológica, dentre outras, conforme ensejado pelo tema durante o encaminhamento.

Suponhamos que os alunos tivessem interesse em investigar o tema denominado “música popular brasileira”. A quantidade de dados e informações sobre tal tema é imensa, bem como as possibilidades de busca em sites, revistas, jornais, são extensas, além de livros específicos sobre o assunto. Esse primeiro momento exige do professor e dos alunos a utilização de aspectos relacionados à criatividade, como, por exemplo, na avaliação e na capacidade associativa, para poderem “filtrar” as informações e escolherem àquelas que melhor servem para o tema escolhido. Professor e aluno devem elaborar estratégias de coleta de dados. Isso porque o tema como um todo não pode ser isolado de suas dimensões e ao mesmo tempo deve ser percebido em sua “[...] inter-retroação permanente com todas as outras dimensões humanas” (MORIN, 2007, p. 38).

Destaca-se que a complexidade do fenômeno exige a criatividade para o enfrentamento dos problemas, mas que não emerge por si só, por contemplação, e sim por desafios, tal como possibilitado pela metodologia da Modelagem Matemática.

No momento da *pesquisa exploratória*, que contempla a etapa de investigação acerca do tema, os alunos terão de coletar dados diversos e sistematizá-los, sendo responsabilidade do professor ajudá-los nesse processo. É uma etapa qualitativa que estimula o diálogo nas aulas de matemática, afastando-se dos moldes usuais de reprodução, que apenas se voltam para

o quantitativo e para a repetição de leis, padrões algoritmos, entre outros. Nessa etapa já podem surgir dados que tratem de matemática, mas sobre os quais os alunos ainda não conseguem fazer uma leitura e ter uma compreensão adequada.

Durante o *levantamento dos problemas*, acerca do tema “música popular brasileira”, os alunos poderiam, por exemplo, perguntar sobre a vendagem de discos de um determinado cantor. Esse problema ensejaria um estudo estatístico, uma leitura de gráficos, tabelas e o conhecimento do sistema monetário. Nesse momento, seria pertinente o tratamento dos conteúdos matemáticos sob os diversos registros de representação semiótica. As conceitualizações dos objetos matemáticos possibilitariam a leitura acerca dos significados “ocultos”, por trás dessa vendagem. Professor e educando colocam-se como agentes do processo de ensino e de aprendizagem, favorecendo mais uma vez a questão da multidimensionalidade e do diálogo reclamado pela teoria do pensamento complexo. Na elaboração dos problemas, professor e educando estarão desenvolvendo habilidades criativas como as associativas, as analógicas e as abstratas.

Quanto à *resolução dos problemas e o desenvolvimento do conteúdo matemático no contexto do tema*, destacamos tratar-se da etapa em que as representações semióticas podem fazer mais sentido para a atividade matemática.

O professor, de acordo com os problemas suscitados pelos estudantes, pode encontrar subsídios para a inserção de um conteúdo que dê conta das necessidades das situações-problema. Tomando o tema “música popular brasileira”, por exemplo, poderá ser conveniente o estudo de um gráfico que pode servir como ponto de partida para o ensino de um conteúdo como o de funções, isso na medida em que o professor oportunize ao educando a coordenação da operação cognitiva de conversão de registros de representação dos conteúdos contidos, por meio da explicitação dos significados das unidades de sentido presentes.

Esta coordenação vai exigir procedimentos metodológicos que incluam a alteração de unidades significantes num registro e a observação de que elas provocam alterações no registro associado, tendo por referência outro objeto matemático.

Nessa metodologia, a escolha de um registro não é engendrada como no livro didático que pressupõe a conversão de um registro para outro, mas não o executa visto que não exige a coordenação do sujeito aprendiz no momento da realização da operação cognitiva de conversão de registros. O registro de representação irá surgir no processo da Modelagem e o significado

do conteúdo matemático por ele representado exigirá o domínio de uma outra forma de representação para que se dê conta da interpretação do fenômeno estudado. Se este domínio não existir será necessário contemplar num primeiro momento a operação cognitiva de formação de registros. Essa operação cognitiva exercerá a função de expressão do objeto de conhecimento e deverá considerar a estrutura triádica presente nesse processo e que envolve o significado, os diversos significantes possibilitados e a significação pelo sujeito que carrega toda influência da cultura, história, contexto, etc.

Podemos exemplificar esse procedimento com a palavra *razão* (significante), utilizada como registro de representação, na língua materna, de um quociente entre duas grandezas de mesma natureza (significado). Essa palavra pode ser significada de formas distintas por sujeitos distintos: para um leigo pode significar “estar certo”, para um filósofo pode significar “racionalidade” e para o matemático ela pode expressar a relação quantitativa existente entre duas medidas. Caso seja elaborado um modelo matemático para a avaliação da situação-problema, o auxílio da linguagem matemática, sob diferentes registros de representação, permitirá aos alunos e professores terem maior entendimento do estudo que efetuam. Há aproximações com um pensamento qualitativo e quantitativo associados, pois a pergunta é qualitativa e o tratamento matemático quantitativo, comportando muitas vezes a desordem, a dúvida, as incertezas que fazem parte do trabalho.

O pensamento complexo torna-se requisitado para a resolução dos problemas, evidenciando um currículo não linear visto que estabelece conteúdos referentes aos problemas colocados pelos temas. Outra especificidade do currículo que se estabelece diz respeito aos aspectos considerados relativos aos conteúdos, contemplando, dessa forma, dimensões teleoaxiológicas no processo de ensino, ao considerar não somente aspectos internalistas, voltados para a matemática em si mesma, mas também para aspectos externalistas, voltados para fins e valores da formação matemática dos alunos. É o conjunto que se manifesta ao pensamento, não fragmentado e não mutilado.

A criação de um modelo pode ser entendida como um ato criativo, já que, partindo de conceitos que são apreendidos, podem “nascer” novas maneiras de escrever sobre determinado fenômeno ou ainda sobre determinada situação estudada. Seria o domínio do conhecimento que busca a totalidade, sem reduzir e sem mutilar, desde o tema à aprendizagem do conteúdo matemático contextualizado.

A *análise crítica das soluções* é a etapa que permitirá retornar aos pontos fracos que não foram devidamente esclarecidos nas etapas anteriores, além de enriquecer, complementar e aprofundar aspectos relativos ao

conhecimento abordado. Nessa etapa da Modelagem é evocada a *redefinição* ou *avaliação* mais uma característica da criatividade e a *incompletude* e *incerteza do conhecimento*, características do pensamento complexo. Esse pode favorecer o desenvolvimento da autocrítica e o crescimento pessoal tanto do professor como do estudante. É a etapa em que os antagonismos podem surgir não para serem superados, mas para serem compreendidos, uma vez que o objeto problematizado é multidimensional, e que, para serem admitidos, precisam ser entendidos como complementares em virtude das diversas dimensões do contexto e do sujeito conhecedor.

Esta redefinição (avaliação) surgirá por meio de um diálogo que emerge da interação entre sujeitos e objetos de conhecimento e dos sujeitos entre si. Esse tipo de diálogo, oriundo da interação, coloca em cena as contradições e as complexidades tanto do todo como das partes, considerando o princípio hologramático.

7 Considerações finais

Este ensaio procurou apresentar a nossa compreensão sobre a Modelagem Matemática sob a ótica da complexidade e como possibilitadora do desenvolvimento da criatividade, recebendo contribuições de uma teoria de representações semióticas para a conceitualização de objetos matemáticos. Essa discussão se insere no campo da Educação Matemática porque se preocupa com contribuições para o desenvolvimento de um processo de ensino voltado para uma formação matemática dos educandos, significativa e efetiva.

Apresentamos um exemplo hipotético visando esclarecer os momentos em que essas teorias encontram espaço no âmbito da Modelagem e como essa favorece o desenvolvimento da criatividade, sob a ótica da complexidade e com o auxílio das representações semióticas para o ensino da Matemática.

Assim procedemos visto que a construção do conhecimento, em específico do conhecimento matemático, tem que levar em conta a visão multidimensional, evitando a visão unidimensional que é abstrata e desfigura o real.

Apenas a simplificação não cabe mais para a interpretação do mundo e de seus fenômenos que influenciam a vida dos homens e são por eles influenciados.

Pensar em conhecimento significa pensar em um sujeito pensante imerso em uma totalidade e dela inseparável.

Na condução de um processo de ensino sob esta ótica, isto é, da complexidade e não de simplificação, há que se considerar necessárias metodologias condizentes com essas formas de pensar o todo e o sujeito do conhecimento.

Defendemos que a metodologia da Modelagem Matemática é capaz de levar em conta a complexidade da realidade na dimensão “[...] antropológico-social na sua microdimensão (o ser individual) e na sua macrodimensão (o conjunto planetário da Humanidade) [...]” (MORIN, 2003, p.19).

Os problemas levantados pelos temas abrem caminhos para trabalhar com as incertezas e contra elas, e também com o acaso. Isso porque esses temas são oriundos de acontecimentos, ações, determinações e acasos que constituem o mundo. As soluções buscadas devem perseguir tanto a ordem como a desordem, tanto o certo como o incerto, e devem considerar as ambiguidades, buscando não somente clarificar, distinguir e hierarquizar, mas desvendar todos os caracteres do fenômeno complexo. Isso exigirá considerar a vida tal como apontada por Morin (2004, p. 21): “[...] um fenômeno de auto-eco-organização extraordinariamente complexo que produz autonomia.”

A vida assim considerada permite compreender que qualquer fenômeno não pode ser ocultado e nem dissociado de fenômenos antropossociais, e que, por isso, devem obedecer a princípios de inteligibilidade complexos, tais como, os dos fenômenos naturais.

O que podemos levantar como questão para debate é que a proposição de temas permite uma visão sistêmica, contempla o desequilíbrio e supõe a existência de um sujeito no mundo, inseparável dos objetos de conhecimento.

A representação e a comunicação desses objetos têm que lançar mão de registros de representação para as conceitualizações necessárias para atingir o conhecimento objetivo. Essa questão nos remete à consideração de que uma teoria de representações semióticas é necessária para garantir essa visão sistêmica em que sujeito e objeto de conhecimento interagem.

Essas conceitualizações são necessárias para o alcance da autonomia que, segundo Morin (2005, p. 96):

[...] depende das condições culturais e sociais. Para sermos nós próprios, é-nos preciso aprender uma linguagem, uma cultura, um saber [...] esta autonomia alimenta-se de dependência; dependemos de uma educação, de uma linguagem, de uma cultura, de uma sociedade [...].

A autonomia, por sua vez, será alcançada se ao sujeito for oportunizado o diálogo que colocará em jogo as suas capacidades de se expressar e comunicar ideias, nas mais diversas formas, necessitando, portanto, de registros de representação semióticos, de modo flexível, em virtude da complexidade dos fenômenos, de sua multidimensionalidade e incompletudes. A metodologia da Modelagem Matemática possibilita esse diálogo e pode, por um lado, ser olhada sob a teoria da complexidade; e por outro, pode ser relacionada à teoria da criatividade por exigir elaborações, redefinições e por contemplar avaliações constantes, tanto do processo, como do produto.

A complexidade dos fenômenos e suas problematizações, com suas influências internas e externas, exigirão aptidões para o enfrentamento do inusitado, inesperado, não rotineiro, do incerto e do aleatório. Essas aptidões estão relacionadas com a criatividade do sujeito que determinará os diversos e diferentes caminhos possíveis para resolver os problemas utilizando informações articuladas, integradas às totalidades.

As soluções buscadas exigirão atos criadores, busca de caminhos próprios e originais, redefinições colocadas pela complexidade e avaliações das formas de proceder, dos resultados encontrados e das possibilidades de validações e generalizações.

A complexidade dos fenômenos e as problematizações, oportunizadas pela metodologia da Modelagem Matemática, colocam em cena o exercício de um novo papel por parte dos sujeitos, o daquele que busca, procura, julga e precisa ser persistente para enfrentar as incompletudes e as ignorâncias.

As discussões apresentadas neste trabalho são embrionárias, porém entendemos que podem contribuir para futuros aprofundamentos teóricos e práticos para o desenvolvimento de pesquisas em Educação Matemática com Modelagem Matemática, remetendo-se à complexidade, à criatividade e às representações semióticas.

Referências

ALENCAR, E. S. de. **Como desenvolver o potencial criador**: uma guia para a liberação da criatividade em sala de aula. Petrópolis: Vozes, 2002.

BRANDT, C. F. **Contribuições dos registros de representação semiótica na conceituação do sistema de numeração**. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) –Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

BURAK, D. **Modelagem matemática**: uma alternativa para o ensino de matemática na 5ª série. 1987. Dissertação (Mestrado em Educação Matemática) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1987.

_____. **Modelagem matemática**: ações e interações no processo de ensino-aprendizagem. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1992.

_____. Formação dos pensamentos algébricos e geométricos: uma experiência com modelagem matemática. **Pró-Mat**. – Paraná. Curitiba, v.1, n.1, p.32-41, 1998.

_____. A modelagem matemática e a sala de aula. In: Encontro Paranaense de Modelagem em Educação Matemática, 1, 2004. **Anais...** Londrina: UEL. p. 1-10.

CAPRA, Fritjof. **O tao da física**. São Paulo: Cultrix, 1983.

DUVAL, R. **Sémiósis et pensée humaine :registres sémiotiques et apprentissages intellectuels**. Suisse: Peter Lang, 1995.

_____. Registros de representação semióticas e funcionamento cognitivo da compreensão em matemática. In: **Aprendizagem em matemática: registros de representação semiótica**. (Organizadora Sílvia Dias Alcântara Machado). Campinas, SP: Papirus, 2003.

MORIN, E.. O desafio da Complexidade. In: _____. **Ciência com Consciência**. Tradução de Maria D. Alexandre e Maria Alice Sampaio Dória. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005, p. 175-195.

_____. **Os sete saberes necessários à Educação do Futuro**. Tradução de Catarina Eleonora F. da Silva e Jeanne Sawaya; revisão técnica s Edgard de Assis Carvalho. 12. ed. São Paulo: Cortez, Brasília, DF: UNESCO, 2007.

_____. **Introdução ao pensamento complexo**. 4 ed. São Paulo: Instituto Jean Piaget, 2003. tradução de Dulce Matos.

PETRAGLIA, I. C. **Edgar Morin**: A educação e a complexidade do ser e do saber. Petrópolis: Vozes, 2005.

PRIGOGINE, I. **O fim das certezas**: tempo, caos e as leis da natureza. São Paulo: Editora da Universidade Paulista, 1996.

SOARES, M. **Letramento docente**: um tema em três gêneros. Belo Horizonte: Autêntica Editora, 2001.