

## **Théorie et Modèle II**

*Maurício V. Kritz,<sup>1</sup> Jean-Yves Béziau<sup>2</sup>*

**Abstract:** In the first part of this work, the concepts of model and theory were analysed and discussed from an abstract standpoint, clarifying relations between both. This second part addresses the use of the terms “model” and “theory” and the associated concepts in scientific disciplines. Particular attention is given to the establishment of a relation between a natural phenomenon and any symbolic description of its behavior.

**Keywords:** Theory, Model, Science.

*“Which question we ask, and from what perspective we photograph ‘objective reality’ – these are themselves at bottom subjective in nature”  
Samuelson (1974)*

### **Introduction**

Toute la science est basée sur des perceptions concernant des régularités que l’on remarque parmi les apparences d’un objet d’étude qui sont observées, mais quelques unes de ces perceptions ne sont pas utilisables du point de vue scientifique. Pour qu’une perception soit utilisée comme base dans une construction scientifique, pour qu’elle soit un fait scientifique (Hanson, 1958), il faut respecter quelques règles méthodologiques mais, surtout, il faut qu’elle soit communicable à la communauté scientifique par le moyen des langages scientifiques usuels. Le but d’une discipline scientifique est de *comprendre* son sujet d’étude (Craik, 1976; Feynman, 1985; Deutsch, 1997) ou, pour mieux dire, les apparences perçues, en présentant des *explications*. Pour y arriver, nous organisons nos observations et nos idées en cadres conceptuels (modèles) et utilisons notre imagination et notre raisonnement sur ces idées et concepts pour approfondir notre compréhension, en développant des explications structurées et organisées (Gårding 1997), voire des théories T.1s. La discussion précédente, dans la section 5 de la première partie de ce travail, indique déjà que le développement de modèles et théories est plutôt indépendant; on trouve une bonne discussion sur l’élaboration de modèles scientifiques en science chez Rosenblueth et Wiener (1946).

Nous essayerons d’examiner ci-dessous comment les termes théorie et modèle sont utilisés dans les activités de recherche, dans les sciences tant mathématiques qu’empiriques, mathématisées ou non. On tiendra compte que ces processus de construction de théories et modèles évoluent, mais heureusement de manière toujours très bien définie, même si variable. On peut classer ces activités en quatre grands domaines: observation, argumentation, représentation (plutôt abstraite et symbolique) et

---

<sup>1</sup> Pesquisador do Laboratório Nacional de Computação Científica, Petrópolis, RJ.

<sup>2</sup> Professor Adjunto do Departamento de Filosofia da UFRJ

manipulation symbolique des ces représentations. Elles reposent souvent sur des présuppositions métaphysiques, principalement dans le cas des sciences nouvelles qui cherchent à s'établir, et aussi sur notre connaissance accumulée (Rosenblueth et Wiener, 1946).

### 1. Modeles et Theories dans les Sciences

Pour mieux comprendre le rôle de ces termes dans les processus scientifiques, il nous semble utile de faire quelques remarques sur les définitions ci-dessus et d'introduire une analogie, dont le but est d'organiser la discussion qui suivra. La définition de modèle laisse déjà clairement comprendre qu'un modèle est une représentation, mais que pas toute représentation est un modèle. De plus, **A** peut être un modèle pour/de **B** selon quelqu'un mais pas selon une autre personne ou l'être dans un domaine de discours et pas dans un autre. Alors on ferait bien de souligner cette dépendance (Minsky 1965):

M.1 - *On dit que A est un modèle scientifique de/pour B par rapport à C, si A est une représentation de B, selon la définition M.0, qui sert aux buts de connaissance scientifique de C sur B.*

Remarquons encore qu'un même modèle scientifique, toujours abstrait, peut être exprimé de *plusieurs* manières et à l'aide de différents moyens: symboles, formules, 'tokens', figures, diagrammes, maquettes, appareillage physique, etc. Il nous faut insister sur le fait que les trois sens du mot modèle délimités dans la première partie sont fréquemment utilisés dans les sciences, et que le but d'un modèle **A** est toujours de capturer *l'essentiel* de **B** selon les *priorités et intérêts* de **C**.

En ce qui concerne la notion de théorie nous observons qu'il nous faut nous en reporter en fait à quatre concepts de théorie plus ou moins proches: celui du logicien (T.0), celui du mathématicien (T.0m) et les deux définis ci-dessus (T.1 et T.1s). Au-delà des observations déjà faites, remarquons encore que *l'ensemble des propositions* qui forment l'ensemble d'une théorie scientifique dans le langage lié aux phénomènes qu'elle cherche à expliquer n'est pas fixé d'avance, comme le suggère la définition T.1s ou le sens formel du terme, mais c'est une *entité dynamique*, qui évolue toujours. Les théories sont généralement obtenues à partir d'un noyau initial de propositions considérées ou supposées vraies selon des règles bien définies. (La discussion sur la "vérité" scientifique reste hors du cadre de ce travail. Pour une discussion concernant ce sujet voir da Costa (1997).) De plus, le langage et les modèles qui lui sont associés dans un domaine d'explication évoluent souvent en même temps qu'elle. Il est donc convenable de distinguer, parmi l'ensemble des propositions d'une Théorie, celles qui sont des hypothèses, initialement acceptées comme des lois "naturelles", de celles qui sont postérieurement dérivées.

L'analogie que nous allons ensuite utiliser comme cadre directeur, repose sur l'*idéalisation* suivante:

I.1 - "Faire" de la science c'est comme essayer *collectivement* de *dessiner* et *assembler* un imaginaire, donc le but est de construire (et *non* de reconstruire), l'image-matrice d'un puzzle avec les différences suivantes:

- 1 - la création des pièces fondamentales de l'assemblage est faite en même temps et comme partie du design et de la résolution;
- 2 - on peut assembler chaque sous-groupe de pièces examinées de plusieurs façons. On inclut ici des formes hiérarchiques d'assemblage, c'est-à-dire que les groupes déjà assemblés peuvent devenir des pièces pour d'autres assemblages.
- 3 - *l'image-matrice* n'est pas donnée d'avance et sa perception est toujours floue, changeant en fonction de l'action de joindre les pièces et d'étudier ses interrelations;
- 4 - modifications et réinterprétations de la perception déjà acquises peuvent invalider, en tout ou en partie, des assemblages déjà bien établis relatifs à n'importe quel sujet, parfois étranger au domaine des perceptions modifiées;
- 5 - l'élaboration des *méthodes* et techniques pour créer, recouper, et grouper ces pièces, aussi bien que pour examiner ses propriétés, les assemblages possibles et ses interrelations fait partie de ce jeu;
- 6 - les pièces sont donc obtenues à partir des *apparences* et non d'images complètes et définitives, avec le concours d'un débat, parfois très fort. Ainsi, le développement d'une Éthique d'argumentation, son respect, sont aussi parties de sa construction;
- 7 - puisque l'image-matrice repose sur des apparences, étant floue et changeante, la *consistance* et l'*élégance* des relations existantes parmi les pièces, ses assemblages partiels et ses propriétés dérivées - même chez celles que l'on croit complétées - sont une importante directive du jeu.

Il faut remarquer aussi que "l'image" ici n'est pas une image au sens commun, visuelle, puisqu'elle ne peut pas toujours et dans tous les cas être représentée d'une façon quelconque, mais elle fait partie de l'imaginaire scientifique. D'une manière intuitive, les sciences sont souvent associées à un énorme puzzle comme l'a remarqué Hofstadter (1985). Mais, à notre avis, l'association à laquelle se réfère Hofstadter est toujours prise au sens d'une collection de problèmes interrelationnés qui, une fois résolus, perdent leur charme, et non comme un jeu d'assemblage et une confection de pièces de l'imaginaire humain.

D'autre part, l'utilisation tant des modèles que des théories chez les sciences empiriques est distinguée par les étapes de «codification» et «décodification» qui mettent en rapport le phénomène étudié et leurs descriptions symboliques (Rosen, 1991, cap. 3)

## 2. Theories du Modele

Comme nous les envisageons ici, il y a plusieurs manières possibles d'assembler les pièces d'un même puzzle. Par contre, l'avaliation et l'acceptation d'une image dans cet imaginaire scientifique - qui est toujours en construction - ainsi qu'une bonne description de la réalité basée sur lui, transcendent le rationnel humain et appartiennent aux domaines de l'intuition et de l'Esthétique, en changeant aussi selon leur contexte historique et social et non seulement selon les apparences acceptées.

A.1 - A l'aide de l'idéalisation ci-dessus on peut faire les analogies suivantes:

i - Créer, recouper et assembler les pièces, en les justifiant, équivaut à créer et élaborer des modèles;

ii - Examiner comme on peut le mieux assembler diverses pièces, comment les pièces se relationnent, et étudier leurs propriétés et leurs détails inaperçus, équivaut à développer des théories;

iii - L'image-matrice est composée par l'ensemble des apparences et perceptions, aussi bien que par ses propriétés. C'est tous ce qu'on peut savoir de la Nature, d'un point de vue scientifique, et s'appelle *réalité* dans le cas des sciences empiriques. (La discussion sur l'existence actuelle d'une Réalité au-delà des apparences, et qui guide leur observation, appartient, à notre avis, à un discours méta-scientifique, et reste hors du cadre de ce travail.)

La création et l'élaboration de modèles dans ce processus présuppose une évaluation et une acceptation collective de leur adéquation aux apparences et aux perceptions qui délimitent le sujet d'étude. Elle est donc l'objet d'un long débat, en général très vif, donc la présentation est faite dans un langage courant et prend aussi la forme d'un ensemble de propositions. Elle diffère néanmoins d'une théorie propre, au sens formel de la définition T.1s, étant constituée de justifications et d'hypothèses plutôt que de conclusions, et n'a pas encore un domaine de discussion et un langage propre établis, s'effectuant dans un langage naturel quelconque. Normalement, elle ne "nous emporte pas au-delà de l'imagination et de l'intuition" mais cherche surtout à délimiter et préciser l'objet d'étude. Suivant Suppes (1960), nous appellerons le discours qui établit et justifie un modèle de *Théorie du Modèle* (T.2). Ce discours établit aussi la «codification» et une partie importante de la «décodification», au sens de Rosen (1991), d'un modèle.

Par contre, il n'est pas toujours possible de prendre un modèle scientifique au sens de Tarski, comme Suppes le propose, soit parce que l'on ne rencontre pas de théories au sens T.0 ou T.0m dans toutes domaines scientifiques, soit parce que le modèle en question n'a pas une structure axiomatisée adéquate (cf. Krause, Béziau et Bueno 1997). Plutôt, ces trois entités se développent le plus souvent simultanément et peu à peu. Donc, on ne peut pas considérer, pendant la période de leur développement, les modèles comme structures vérifiant la vérité d'une théorie. Pour des raisons ontologiques, les modèles ont, dans le cas de certaines sciences empiriques, un objectif cognitif beaucoup plus fort que les théories qu'on peut éventuellement développer à leur sujet. Toutefois, le concept suggéré par M.1 est constant dans le cadre scientifique, ces distinctions étant bornées à l'usage (Suppes, 1960) et, nous devons ajouter, à la manière de les exprimer.

Considérons, pour prendre un exemple, la Théorie du Gaz Idéal, souvent utilisée en Physique et en Chimie. Le Gaz Idéal est vraiment une représentation (image) abstraite d'un gaz simplifié ou idéalisé - voir un **modèle** - et la *Théorie du Gaz Idéal*, n'est que sa justification, qui sert à l'établir (Harrison 1980). Elle est donc, selon la terminologie ci-dessus, la théorie T.2 de ce modèle. De même manière, on a la Théorie du Phlogistique de Stahl, la Théorie de l'Oxigène de Lavoisier qui l'a supplanté, ou encore la Théorie de l'Evolution de Darwin (Thagard 1992), dont le modèle n'est que faiblement précisé, sont des théories T.2.

Dans un livre sur la Théorie de l'Électromagnétisme Classique (Abraham, 1937) on trouve un bon exemple entre la relation étroite qui existe entre Théorie du Modèle,

Modèle et Théorie. Généralement, les premiers chapitres introduisent les outils mathématiques à utiliser, qui forment le langage (déjà développé dans le processus d'évolution historique de cette science), et les concepts de base de l'électromagnétisme. A ce point, l'auteur les justifie au moyen de descriptions d'expériences qui démontrent les phénomènes électromagnétiques et établissent des relations entre eux. En suite, le modèle même -les équations de Maxwell- est introduit et, seulement après cela, on trouve des théorèmes et l'analyse des conséquences de ces équations: comme, par exemple, la démonstration de l'existence des ondes électromagnétiques, la conservation d'énergie etc. Ce genre de présentation ne retrace leur développement historique que d'une manière très légère. Si on voit la Mécanique et la Mécanique Quantique selon ces perspectives historiques (Hanson, 1958; Gamov, 1985), il est clair qu'au début des recherches de ces théories, il n'y a que ce que nous proposons de considérer comme théorie du modèle et, seulement après un développement relativement important des modèles associés et d'un vocabulaire de base, les théories plus formalisées commencent à s'établir.

Cette distinction entre théorie du modèle, modèle et théorie ne signifie pas qu'il y a différence ou priorité de leur pouvoir d'explication des phénomènes, ou encore que l'un(e) vient après l'autre, chronologiquement parlant. Au contraire, ces trois entités sont liées entre elles, complémentaires et chacune est nécessaire dans une explication scientifique et, dans la plupart des disciplines, elles se développent simultanément. Les modèles et leurs théories évoluent lentement et, après un certain point de maturation, ces trois entités cohabitent l'imaginaire scientifique, selon son degré de développement.

### 3. Les Sciences

Parfois, on trouve des sciences qui n'ont que des modèles et des théories du modèle, où toutes explications des phénomènes sont remises à d'autres domaines scientifiques. C'est le cas de la Chimie d'aujourd'hui, et cela montre le pouvoir organisateur et explicatif que les modèles peuvent avoir. La chimie n'établit que des modèles pour les configurations de molécules et pour les réactions chimiques possibles entre diverses substances. Toute question théorique relative aux phénomènes concernant les réactions chimiques (valuation, vitesse de réaction etc.) est reportée à des théories de la Physique, à savoir: la Thermodynamique, la Mécanique Quantique et la Mécanique Statistique (Harrison, 1980).

Il faut noter que les théories du modèle n'établissent pas seulement les modèles mais, en même temps, ils établissent les langages dans lesquels les théories plus formalisées seront éventuellement décrites et développées. Donc, on devrait ajouter à A.1 les items suivants:

iv - L'argumentation nécessaire pour justifier un modèle est la *théorie du modèle* (T.2).

v - Les méthodes et techniques dont il est question en I.1.5, aussi bien que l'Éthique dont il est question en I.1.6, font partie de la Méthode Scientifique, qui règle tous les discours scientifiques et, ainsi cette Éthique et ces méthodes se développent en parallèle.

La Calculabilité et la Physique nous donnent encore d'autres exemples qui aident à clarifier ces points. Dans le cas de la Calculabilité la distinction de ces trois entités peut être tout à fait claire, on a la justification de l'emploi des machines à états finis comme modèle de processus de calcul effectif, la description de ces modèles proprement dits et les théories qui révèlent leurs propriétés, ainsi que les relations avec d'autres modèles, tels que les langages (réguliers, libres de contexte, etc.). Les travaux de Turing (1936) aussi bien que quelques livres de référence des années 50 et 60, par exemple Minsky (1967), nous présentent plutôt *ces modèles et les théories de ces modèles*. Ils justifient l'utilisation des *états finis* pour décrire le contenu des machines qui modélisent les processus de calcul, en les considérant parfois comme des "boîtes noir"; c'est-à-dire que l'on considère seulement la relation entrée-sortie. Par contre, la plupart des textes à partir des années 70 commencent avec la description de ces modèles et ne présentent essentiellement que des théories *basées sur* ces modèles (Eilenberg 1974). Les *théories T.2 de ces modèles* ne sont, toutefois, pas du tout obsolètes et la revitalisation de ces textes originaux nous offrent d'autres *perceptions* et élargissent notre compréhension des relations de ces modèles avec de nouveaux domaines de recherche.

Les théories de la Physique ont aussi ce caractère. On peut trouver au moins un livre au 20<sup>ème</sup> siècle traitant de la Thermodynamique qui commence par donner une liste d'*axiomes* sans aucune référence aux expériences qui les justifient (Sommerfeld, 1956). Par contre, au 19<sup>ème</sup> siècle on ne trouve que des théories du modèle des phénomènes thermiques. Dans le cas de la Physique Quantique, on trouve aussi plusieurs exemples. Le développement de l'Électrodynamique Quantique a fait ses débuts avec les travaux de Planck et d'Einstein et on a obtenu une théorie rendant compte des phénomènes observés vers 1930. Néanmoins, elle était insatisfaisante et c'est seulement dans les années 50 que l'Électrodynamique Quantique a atteint un état de plus grande maturité avec l'introduction d'un nouveau langage pour décrire les apparences des phénomènes, avec les diagrammes de Feynman (Feynman, 1985). Ici aussi nous trouvons le même type de développement selon un point de vue chronologique.

Les Sciences de la Vie utilisent aussi beaucoup de modèles, souvent bien établis par des théories T.2. Néanmoins, certaines distinctions sont nécessaires pour ces théories qui ne sont pas T.2. Tous les systèmes et entités biologiques reposent sur des structures moléculaires. Ils sont donc soumis aux lois de la Physique et de la Chimie. Pour les phénomènes biologiques de nature plutôt physico-chimique, il y a parfois des modèles  $M.\{0,1\}$  bien établis, ainsi que des théories  $T.\{0, 0m, 1\}$ . En ce qui concerne les phénomènes de nature biologique les plus remarquables, nous pouvons les classer en deux groupes, du moins en ce qui concerne les entités biologiques de faible complexité.

Dans le premier groupe, on a les phénomènes attachés aux organismes d'un point de vue individuel: ontodynamique, différenciation génétique, reproduction, physiologie, comportement relativement à l'environnement immédiat etc. Dans le deuxième groupe il y a des populations avec un grand nombre d'organismes similaires et leur comportement collectif. Dans le premier groupe, on ne trouve que de modèles en formation et théories T.2 (Papaverio, 1993), à l'exception possible de la Taxonomie Phylogénétique et de la Biogéographie (Papaverio et al., 1997). Par contre, dans le deuxième, on trouve aussi des modèles  $M.\{0,1\}$  et des théories du type  $T.\{0, 0m, 1\}$ —

comme, par exemple, dans l'Écologie (Hallam, 1998) et les systèmes cellulaires (Atlan, 1986). Elles sont basées essentiellement sur la loi des grands nombres et dérivent presque toujours de résultats de la Démographie - leur théories étant très proches, ou sinon elles correspondent à une relecture de théories sur des modèles (mathématiques) de la Démographie.

Cependant, les modèles sont souvent utilisés indépendamment des théories  $T.\{0,1\}$ , et de nombreuses explications proviennent seulement de modèles et de théories T.2. Dans ces cas là, les modèles sont employés d'une manière purement descriptive dans la majorité des cas ; ayant pour but de mettre en évidence l'essentiel de l'entité ou de la situation étudiée. Néanmoins les modèles ont ici un rôle beaucoup plus important que celui d'un simple instrument organisateur ou démonstratif. En Biochimie, par exemple, les modèles structurels contribuent fortement à la compréhension des processus chimiques, qui sont à la base de la phénoménologie de la vie. Ils nous ont donné parfois, comme dans le célèbre cas du DNA, la clef pour comprendre et expliquer plusieurs phénomènes associés aux réactions chimiques qui, semble-t-il, forment la base de la vie. Et, dans tout ces cas, ce qui est appelé théorie est vraiment une théorie T.2. Dans les cas où il y a de théories  $T.\{0,1\}$ , généralement concernant le comportement dynamique de ces structures, il y a seulement l'intervention de théories physiques ou de nature statistique, la chimie n'ayant pas à vrai dire de théories aux sens T.0 ou T.1 (Fontana et Buss 1996). Ce sont des exemples frappants de l'existence d'explications scientifiques qui n'ont pas nécessairement des théories  $T.\{0,1\}$  comme base.

Quand on monte vers des organismes plus complexes, notamment si l'action de l'homme intervient dans les situations étudiées, la distinction entre systèmes individuels et collectifs devient de plus en plus floue. Soit parce que les phénomènes collectifs commencent à être affectés d'une façon très significative par les actions individuelles, soit parce que nouveaux facteurs interviennent du fait de ces interactions entre différentes échelles, soit parce que les moteurs de la recherche sont dominés par des facteurs associés à l'action du contrôle humain ou à la nécessité d'un mode d'investigation multidisciplinaire. C'est la situation des études en Écologie, Ethologie, et Sciences de l'Environnement (Lambin 1994).

Dans le cas des Sciences Économiques et Sociales, on trouve aussi une importation de termes très élusifs et imprécis. Un *système économique* se réfère souvent à un ensemble de politiques ou règles de comportement établis et non à un système composé par des agents économiques. Ce dernier est plus souvent appelé *structure*. Une recherche plus profonde sur l'utilisation des termes dans ces sciences et de leur signification par rapport aux autres sciences est donc nécessaire avant de faire une comparaison avec les sens délimités ci-dessus. D'autre part, l'action motivée de l'individu humain ne permet pas d'établir une séparation en aspects collectifs et individuels. Rien n'empêche vraiment qu'on y trouve des modèles  $M.\{0, 1\}$  et théories  $T.\{0,1\}$  (Samuelson 1974), même si la majorité sont des théories T.2. La recherche sur les systèmes transbiologiques - ceux qui incluent des entités biologiques comme parties agissantes - sont toujours étudiés avec un mélange de modèles appartenant à diverses disciplines, dont l'intégration est plus ou moins développée. Du fait qu'ils contiennent des sous-systèmes parfois très connus et bien étudiés, ils contiennent certainement des théories de tous les types: T.0, T.1 et T.2. Pourtant, dans les cas où on les trouve, ces

théories n'affectent que des sous-parties du modèle et sont généralement empruntées à d'autres disciplines et réinterprétées.

#### 4. Conclusion

Même si cela devient difficile de les identifier dans l'étude des entités plus complexes, la classification donnée ici pour les termes *modèle* et *théorie*, aussi bien que l'analogie présentée nous semblent utiles pour comprendre leur rôle dans le processus de création et le développement de la Science. Il y a deux ou trois facteurs qui interviennent directement en ce qui concerne cette difficulté croissante. Ce sont la réification, l'utilisation doctrinaire de n'importe quelle idée et la difficulté de traiter comme objets d'étude les systèmes et organisation où l'homme est un acteur. À notre avis, les deux premières ne font pas partie du processus actuel de production scientifique et appartiennent au royaume de la psychologie humaine. Pour ce qui est de la dernière, il s'agit d'une difficulté épistémologique qui est au delà de l'objectif de ce travail. On peut même douter que les systèmes où l'homme intervient activement dans leur formation ou leur comportement peuvent être traités vraiment comme des objets naturels pour lesquels la méthodologie de la recherche actuelle s'applique (Atlan, 1986).

La réification consiste à identifier un modèle scientifique avec la Réalité elle-même. On la trouve dans toutes les sciences, y compris la Physique aussi, où elle ne pose pas des grandes difficultés. Néanmoins, dans les autres sciences, la réification nous fait souvent prendre une théorie T.2 comme T.1 et, simultanément, rend difficile l'identification du modèle associé et le développement de ces sciences. Les doctrines sont, à vrai dire, modèles. Elles ne sont pas tout à fait le résultat d'un débat ouvert. Aussi, une fois établies, elles ne changent pas; les discussions à leur sujet n'ont pour but que d'éclairer la position de son ou ses auteurs. L'utilisation doctrinaire des idées est quelque chose d'autre. Il ne s'agit pas d'un modèle ou d'une théorie, même si ces idées correspondent à un ensemble de propositions. Dans ce cas là, on ne veut pas du tout mettre en discussion la vérité de ces propositions et il s'agit donc d'une démarche anti-scientifique.

Étant un caractère de la nature psychologique humaine, on la trouve parfois chez les scientifiques et dans les affaires des sciences, avec des colorations plus ou moins fortes; y compris en Physique. L'Éthique scientifique est construite pour et cherche surtout à les identifier, les isoler, et les neutraliser pour faciliter l'avancement de la Science.

#### 5. Remerciements

Nous remercions N.C.A. da Costa, L.-H. Coutinho, A. Dominguez, W. Haage, I. Kerstenetzky (in memoriam), D. Krause, N. Papavero, C.M. Vianna pour une infinité de discussions relatives à ce travail.

#### 6. Bibliographie

- Adler, M.J. et Gibney, F.B. (eds.): 1980, *Encyclopædia Britannica 15<sup>th</sup> edition*, Encyclopædia Britannica, Inc., Chicago.
- Atlan, H.: 1986, *Entre le Cristal et la Fumée. Essay sur l'Organisation du Vivant*. Éditions du Seuil, Paris.
- Craik, K.J.W.: 1976, *The Nature of Explanation*, Cambridge Univ. Press, London.



- da Costa, N.C.A.: 1997, *O Conhecimento Científico*, Discurso Editorial, São Paulo.
- Deutsch, D.: 1997, *The Fabric of Reality*, The Penguin Press, London.
- Eilenberg, S.: 1974, *Automata, Languages and Machines*, vol. A. Academic Press, San Diego.
- Feynman, R.P.: 1985, *QED: The Strange Theory of Light and Matter*. Princeton University Press, Princeton.
- Fontana, W. et Buss, L.: 1996, “The barrier of objects: from dynamical systems to bounded organizations”, in *Boundaries and barriers: on the limits of scientific knowledge*, Casti, J.L. et Harlquist, A. (eds), Addison and Wesley, Reading, Mass.
- Gamov, G.: 1985, *Thirty Years that Shook Physics*, Dover, New-York.
- Gårding, L.: 1977, *Encounter with Mathematics*, Springer-Verlag, New-York.
- Hallam, T. G.: 1998, *Life at environments fringes : implications from models in physiological stress ecology*, mini-course, C3AD – Colloquia on High Performance Computing, Petrópolis, Brésil, 17-22 août, 1998.
- Hanson, N.R.:1958, *Patterns of Discovery*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Harrison, A.J.: 1980, “Chemistry”, in Adler, M.J. et Gibney, F.B. (eds.) 1980.
- Hofstadter, D.R.: 1985, *Metamathematical themes*, Penguin, Londres.
- Krause, D., Béziau, J.-Y. et Bueno, O.: 1997, “Estruturas em Ciência”, *Boletim da Sociedade Paranaense de Matemática*, 17, 91-111.
- Minsky, M.: 1965, *Matter, Mind and Models*. Proc. IFIP Congress, v. I. Spartan Books.
- Lambin, E.F.:1994, *Modelling Deforestation Processes: A Review*. TREES Series B Research Report n° 1, ECSC-EC-EAEC, Brussels.
- Papavero, N.:1993, *Communication personnelle*.
- Papavero, N., Llorente-Bousquets, J. et Abe, J.M.: 1997 *Fundamentos de Biología Comparada*, v. I. U.N.A.M., Mexico.
- Polya, G.: 1981, *Mathematical Discovery: On Understanding, Learning and Teaching Problem Solving, combined ed.* J. Wiley & Sons, New York.
- Rosen, R., “Life Itself: A Comprehensive Enquiry into the Nature, Origin, and Fabrication of Life”, *Complexity in Ecological Systems Series*, Columbia University Press, N. York, 1991
- Rosenblueth, A. et Wiener, N.: 1946, “The role of models in science”, *Philosophy of science*, 12, 316-321.
- Samuelson, P.A.: 1974, *Economics*, 9th ed. McGraw-Hill Kogakusha Ltda, Tokyo.
- Sommerfield, A.: 1956, *Thermodynamics and classical mechanics*, Academic Press, New-York.
- Suppes, P.: 1960, “A Comparison of the Meaning and Uses of Models in Mathematics and the Empirical Sciences”, in H. Freudenthal (ed.), *The Concept and the Role of the Model in Mathematics and the Natural Sciences and Social Sciences*, D.Reidel, Dordrecht, pp.
- Thagard, P.: 1992, *Conceptual Revolutions*. Princeton University Press, Princeton.

**Resumo:** Na primeira parte deste trabalho, os conceitos de modelo e teoria foram discutidos e analisados sob um ponto de vista abstrato. Esta segunda parte focaliza o uso dos termos “modelo” e “teoria” e os conceitos a eles associados nas disciplinas científicas. Focalizamos também a relação que deve existir entre um fenômeno natural e qualquer descrição simbólica de seu comportamento.

**Palavras-chave:** Teoria, Modelo, Ciência