
DIFICULDADES SEMIÓTICAS NA CONSTRUÇÃO DE GRÁFICOS CARTESIANOS EM CINEMÁTICA⁺*

Paulo Sérgio de Camargo Filho

Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática – UEL

Carlos Eduardo Laburu

Departamento de Física – UEL

Londrina – PR

Marcelo Alves de Barros

Instituto de Física de São Carlos – USP

São Carlos – SP

Resumo

Este trabalho relata um quadro teórico de análise para a investigação do desempenho de estudantes na produção manual de gráficos cartesianos a partir de tabelas, combinando a perspectiva dos registros de representação semiótica de Raymond Duval e os níveis de processamento da informação gráfica de Postigo e Pozo. Com base no referencial analítico, um estudo de caso foi realizado, considerando para tal fim as produções escritas e entrevistas complementares de estudantes de licenciatura e bacharelado em Física. A análise se deu por etapas de produção do gráfico cartesiano, que foram divididas em três grupos de ações associadas às atividades cognitivas semióticas respectivas a cada uma delas. Os resultados permitiram classificar de uma maneira inovadora o domínio semiótico da representação gráfica dos estudantes com

⁺ Semiotic difficulties on the construction of Cartesian graphs in kinematics

^{*} *Recebido: junho de 2011.
Aceito: outubro de 2011.*

um grau de refinamento analítico superior aos propostos pelos últimos autores.

Palavras-chave: *Ensino de Física. Gráficos Cartesianos. Representação Semiótica. Graduação em Física.*

Abstract

This paper presents a theoretical framework of analysis to investigate the students performance in the manual production of Cartesian graphs from tables, combining the perspective of semiotic registers of representation of Raymond Duval and levels of processing of graphic information of Postigo Pozo. Based on the analytical framework, a case study was performed, considering for this purpose the additional interviews and written production of undergraduated Physics students. The analysis took place in stages of production of the Cartesian graphs and they were divided into three groups of actions associated with respective semiotic cognitive activities to them. The results allowed us to classify in a new way the semiotic domain of the graphic representation of students with a better degree of analytical refinement than those proposed by latter authors.

Keywords: *Physics Teaching. Cartesian Graphs. Semiotic Representation. Undergraduate Physics.*

I. Introdução

A pesquisa aqui apresentada fez parte de um trabalho de mestrado, cujo objetivo foi acompanhar, por meio da construção manual de gráficos cartesianos e entrevistas complementares, os processos cognitivos de um grupo de estudantes da graduação em Física. Por meio de tal acompanhamento, buscamos identificar as dificuldades relacionadas à produção e à compreensão dos signos pertencentes aos gráficos cartesianos, aplicados no contexto da cinemática.

A primeira parte desse estudo consistiu em desenvolver um quadro teórico de análise de acordo com o referencial da semiótica, sob a luz da teoria dos registros de representação semiótica de Duval (2004) e dos níveis de processamento da informação gráfica de Postigo e Pozo (2000). Como veremos, o primeiro referen-

cial relaciona as atividades cognitivas às representações semióticas produzidas pelos estudantes, enquanto o segundo permite classificar o domínio da representação gráfica em termos dos níveis de elaboração e complexidade do gráfico produzido. A segunda parte consistiu na aplicação do quadro teórico de análise para a identificação e para o estudo das dificuldades apresentadas pelos estudantes, ao construírem a representação gráfica do tipo gráfico cartesiano. O desenvolvimento dessa segunda parte da pesquisa é descrito no presente trabalho.

De acordo com García e Palácios (2007), diversos pesquisadores reconhecem que as representações gráficas são importantes formas de comunicação científica e ferramentas úteis no campo das ciências experimentais, principalmente na análise de situações físicas nas disciplinas laboratoriais. Para eles, apesar do uso generalizado que se tem das representações gráficas cartesianas em livros-texto e nas aulas de ciências na Espanha, a compreensão que os estudantes têm a respeito dessas representações não é a mais adequada. Verificamos que situação semelhante ocorre em atividades de laboratório da referida graduação em Física, quando os estudantes não são capazes de desenvolver e interpretar gráficos cartesianos de forma satisfatória. Existe um campo de estudo consolidado a respeito da compreensão/interpretação das representações gráficas, do tipo tabela e gráfico cartesiano, usados no Ensino de Ciências (AGRELLO; GARG, 1999; POSTIGO; POZO, 2000; SHAH; ROEFNNER, 2002; ARAÚJO; VEIT; MOREIRA, 2004; WU; KRAJCIK, 2006; GARCÍA; PALÁCIOS, 2007; JULIO; VAZ; BORGES, 2008; BELLUCO; CARVALHO, 2009) e na Educação Matemática (TESTA *et al*, 2002; DUVAL, 2003; SHARMA, 2005; FLORES; MORETTI, 2006; MIRANDA; RADFORD; GÚZMAN, 2007). Tais estudos desenvolveram pesquisas relacionadas à forma como essas representações são interpretadas ou compreendidas pelos estudantes, no entanto, não se preocuparam em focar seus estudos no modo e nas dificuldades que se apresentam quando essas representações são produzidas.

II. Fundamentação Teórica

Na Física, as leis, as teorias, os conceitos, os modelos, os princípios, as propriedades, as estruturas e as relações são expressas de diferentes modos. Para o ensino dessa disciplina, precisamos levar em conta as diferentes formas de representação que um mesmo objeto pode assumir. Como em grande parte dessa ciência, assim como toda a comunicação matemática, tais objetos são abstratos e não são diretamente acessíveis à percepção, necessitando-se, para a sua apreensão, do uso de representações semióticas.

As representações semióticas são produções constituídas pelo emprego de signos, pertencentes a um sistema de referência ao qual está associado um conceito ou conjunto de conceitos. São exemplos de signos matemático-científicos a escrita algébrica, os gráficos cartesianos, as tabelas, as figuras geométricas, os quais têm suas dificuldades próprias de significado e de funcionamento (DUVAL, 2004). Tais representações são externas e conscientes ao indivíduo, e realizam de maneira indissociável as funções de objetivação e tratamento (*Ibid*, p. 35).

Um dos papéis desempenhados pelas representações semióticas é o da comunicação, ou seja, o de exteriorizar as representações mentais (*Ibid*, p. 36), tornando-as acessíveis às outras pessoas. Assim, o modo como o aluno elabora ou lida com uma representação semiótica revela, de alguma forma, como ele representou essa informação internamente. Saber interpretar a representação produzida por ele pode ajudar o professor a realizar intervenções mais adequadas no seu processo de construção do conhecimento.

As representações semióticas, além de estabelecerem a comunicação científica, são necessárias também para as atividades cognitivas humanas, ou seja, sem as representações semióticas não é possível efetuar certas funções cognitivas essenciais de pensamento. O autor (*Ibid*, p. 35-37) enfatiza três atividades cognitivas fundamentais ligadas à apreensão ou produção de uma representação: a formação de uma representação identificável, o tratamento e a conversão.

A formação de uma representação identificável depende de regras que garantam o reconhecimento das unidades de representações, das suas composições ou de como podem ser combinadas de forma a gerar as regras de tratamento. Para a formação de uma representação, pode-se lançar mão da língua materna, de desenhos, figuras ou fórmulas com signos próprios de uma ciência. Um gráfico cartesiano, por exemplo, é identificado, primeiramente, pela presença de eixos cartesianos ortogonais.

A operação de tratamento é atividade cognitiva cuja transformação da representação ocorre dentro do próprio sistema de registro onde foi formada, como, por exemplo, resolver um sistema de equações. As regras de tratamento consideram a transformação da representação no interior do mesmo sistema de registro que pertence ao sistema semiótico, mobilizando apenas um só registro de representação. Existem regras de tratamentos próprias a cada registro e elas variam de um tipo de registro a outro diferente. Os tratamentos são ligados à forma (o representante) e não ao significado do conteúdo propriamente dito do objeto matemático-científico (o representado), como a próxima operação deixará mais claro.

A operação de conversão de uma representação para outra é a atividade cognitiva de transformação de um registro em outro diferente, com regras de for-

mação e tratamento distintos, mas conservando os mesmos objetos denotados. Por exemplo, passar da língua natural à escrita algébrica, ou passar do registro de representação “tabela” ao registro de representação “gráfico” são registros totalmente diferentes que conduzem ao mesmo conceito, porém, tendo desempenhos e facilidades cognitivas relativas distintas. A conversão deve compreender a transformação de uma dada representação em outro sistema semiótico, conservando a totalidade ou parte do objeto da representação inicial, sendo necessária a coordenação pelo sujeito que a efetua. Para Duval (2004), a atividade de conversão não deve ser considerada como um processo de simples codificação. A atividade de conversão exige uma apreensão global e qualitativa, que não é possibilitada pela atividade de simples codificação. É essa condição que torna possível relacionar os valores estabelecidos em uma tabela com os pontos de interseção com os eixos ou com a inclinação do gráfico, no caso de uma reta representada no plano cartesiano. Quando essa relação fica estabelecida, significa que as variáveis cognitivas específicas do funcionamento de cada um dos registros estão sendo articuladas de maneira coordenada. Isso implica que ambos os registros de representação devem estar sendo compreendidos no que diz respeito às unidades de significado.

A atividade cognitiva de conversão também intervém de forma que o registro no qual os tratamentos a serem efetuados se tornem mais econômicos, mais potentes (DUVAL, 2003, p. 16), de sorte que um complemente o outro. Duval ainda explica que a conversão não tem nenhum papel intrínseco nos processos de justificação ou prova, porque eles se fazem com base nas propriedades e nos tratamentos efetuados em um determinado registro semiótico. Do ponto de vista cognitivo, é a conversão que aparece como atividade de transformação fundamental, pois ela “conduz aos mecanismos subjacentes à compreensão” (*Ibid.*).

Em coerência com o citado referencial, Postigo e Pozo (2000) centraram-se no estudo das dificuldades que se estabelecem na interpretação das representações gráficas. Embora existam diversas representações da informação quantitativa (tabelas, gráficos de setores, barras, linhas...), em termos gerais, os gráficos são representações que apresentam relação numérica entre duas ou mais variáveis por meio de distintos elementos espaciais (células, pontos, barras, linhas...). Segundo os autores, a investigação da aprendizagem de tais representações seria mais bem tratada, se considerássemos os níveis de processamento da informação gráfica, com graus de elaboração e profundidade crescentes, incluindo componentes sintáticos e semânticos que transcendem uma mera distinção entre informação local e global.

O modelo teórico proposto por Postigo e Pozo (*Ibid.*) foi baseado na teoria do processamento da informação, a qual busca compreender e qualificar as capaci-

dades intelectuais do ser humano, com base no estudo das funções que permitem aos seres humanos assimilar e transformar as informações que recebem do meio ambiente. Para Eysenck e Keane (2007), os vários estímulos sensoriais recebidos do ambiente são organizados de maneira ativa por vários sistemas perceptivos do cérebro, de maneira a constituir um padrão coerente. Assim, aquilo que chamamos de percepção não é o que os órgãos sensoriais identificaram inicialmente, mas a organização das representações mentais que passam a fazer sentido. Dembo (1994) menciona que os psicólogos cognitivos desenvolveram modelos de processamento da informação não só para identificar como os seres humanos obtêm, transformam, armazenam e aplicam essa informação, mas também para explicar o papel das estratégias de aprendizagem na aquisição, na retenção e na utilização do conhecimento. Tal referencial vem se integrando aos estudos da educação científica por meio de abordagens como a Postigo e Pozo (2000), os quais analisaram a interpretação de gráficos por estudantes e sua relação com fatores que intervêm na sua aprendizagem, com o objetivo de compreender os processos, as estratégias e o domínio dessas representações, quando os mesmos desenvolvem tais atividades. Para esses autores, desde a leitura direta de um dado até uma tarefa de resolução de problemas, podem-se distinguir três diferentes níveis de processamento da informação, ao construir ou interpretar um gráfico. O primeiro nível de processamento da informação é o explícito, sendo o nível mais superficial de construção de um gráfico e está centrado na produção dos elementos básicos da estrutura gráfica. Por sua vez, a informação implícita pressupõe um nível de processamento que identifica padrões e tendências por meio do estabelecimento de relações entre as variáveis, resultando em procedimentos de maior complexidade que o do nível anterior. A informação conceitual é o terceiro nível de processamento da informação gráfica que se encontra centrada no estabelecimento de relações conceituais a partir de uma análise global da estrutura do gráfico. Ela requer ir além da informação contida nos níveis anteriores e associa-se a outros conhecimentos disponíveis relacionados com o conteúdo representado para realizar interpretações, explicações ou previsões a respeito do fenômeno representado no gráfico.

III. Quadro teórico de análise

Dentro do que foi colocado, procuramos relacionar algumas características gerais e particulares dos gráficos cartesianos com o desempenho que apresentam os estudantes, quando realizam a construção dessas representações, classificados de acordo com o nível de processamento da informação gráfica proposto por Postigo e Pozo (2000). Para tais autores, conforme visto, o exame da construção

gráfica está baseado nos níveis de processamento da informação explícita, implícita e conceitual, que depende não somente da habilidade do sujeito em decodificar a sintaxe gráfica e de seus conhecimentos da situação representada, mas também das características intrínsecas da forma gráfica e das ações que permeiam sua construção. Entre esses fatores da atividade de construção/interpretação de um gráfico pelo sujeito, destacamos três grupos de ações, as quais são responsáveis pela elaboração da estrutura gráfica, numérica e conceitual. Esses conjuntos de ações são tratados separadamente para melhor entendimento da sua atuação, entretanto, eles ocorrem simultaneamente na elaboração gráfica, não existindo tal divisão no momento de sua execução.

A estrutura gráfica é formada por ações que produzem elementos básicos de um gráfico. Tal estrutura está relacionada com o nível de compreensão explícito que é o grau mais superficial de elaboração dessa representação. Nesse nível, as ações que os estudantes realizam são responsáveis por produzir signos que formam a estrutura inicial do gráfico cartesiano e convertem elementos da representação na forma de tabela para a representação gráfica, que corresponde, respectivamente, às atividades cognitivas de formação e conversão, que resulta, por sua vez, na estrutura gráfica que possibilita a elaboração de estruturas superiores. Inclui-se nas atividades de formação do nível de processamento da informação explícita a ação básica de produção dos eixos coordenados e do título do gráfico, sendo que os eixos devem ser destacados dos demais traços presentes no gráfico e o título deve informar a relação de dependência entre as variáveis. Por meio das atividades de conversão, estabelecem-se a escala, as variáveis envolvidas e a localização do par de coordenadas no gráfico cartesiano, com o objetivo de promover a proporcionalidade entre os eixos, auxiliar na leitura do gráfico e estabelecer os pontos coordenados no gráfico, a partir dos dados inicialmente representados na tabela.

A estrutura numérica do gráfico cartesiano é estabelecida por ações que acrescentam novas informações internas ao gráfico por meio da identificação de padrões e tendências entre os signos presentes nessa representação. Tal estrutura relaciona-se com o nível de processamento implícito, que tem um grau de elaboração e complexidade maior que o nível explícito. As ações do nível de processamento da informação implícita são caracterizadas por possibilitar transformações internas ao gráfico cartesiano, correspondendo, portanto, à atividade cognitiva de tratamento. Compete às ações internas a esse registro semiótico a determinação do comportamento da curva e da taxa de variação dos dados, assim como o estabelecimento de novos pontos coordenados.

A estrutura conceitual do gráfico cartesiano é especificada por ações feitas pelo estudante, ao generalizar as relações expressas graficamente, com o uso arti-

culado do conteúdo semântico a outras formas representacionais acessórias ao gráfico cartesiano, como a linguagem escrita e formal. Tal estrutura relaciona-se com o nível de processamento da informação conceitual, que é o nível mais profundo e complexo da elaboração gráfica. As ações desse nível são caracterizadas por transformar o conteúdo semântico em outras representações semióticas, tal como a escrita literal ou formal, sendo que tal transformação corresponde à atividade cognitiva de conversão. Correspondem às ações da estrutura conceitual a elaboração de legenda, a descrição formal do fenômeno físico e a formulação de explicações por meio de entrevista, as quais explicitem as relações e convenções usadas para a construção do gráfico cartesiano, além de expressar o domínio semântico do conteúdo abordado por essa representação semiótica.

Para uma análise mais minuciosa dos níveis de processamento da informação gráfica e com o objetivo de qualificar as dificuldades implicadas no processo de construção da representação gráfica, relacionamos os níveis de processamento da informação gráfica às atividades cognitivas semióticas. Com isso, pudemos estabelecer um referencial capaz de acompanhar as atividades cognitivas semióticas na realização da representação investigada com os seus respectivos níveis de processamento da informação, e também evidenciar dificuldades na sua produção, caracterizando a natureza semiótica das mesmas. Inspirados nos referenciais discutidos para a análise do nível de processamento da informação explícita, deve-se recorrer às atividades cognitivas semióticas de formação e conversão, com as ações dos estudantes voltadas para elaboração da estrutura gráfica. Para análise do nível de processamento da informação implícita, recorre-se às atividades cognitivas de tratamento, com as ações centradas no estabelecimento da estrutura numérica. Para o nível de processamento da informação conceitual, recorre-se às atividades cognitivas de conversão, com as ações dos estudantes voltadas para determinação da estrutura conceitual, responsável por evidenciar o domínio semântico do fenômeno físico representado graficamente.

No quadro seguinte, sintetizamos a relação dos níveis de processamento da informação e as correspondentes atividades cognitivas semióticas que caracterizam as ações de construção da estrutura gráfica, numérica e conceitual.

IV. Procedimentos metodológicos

Para investigar a articulação entre a representação gráfica da tabela e a do gráfico cartesiano, considerou-se a produção escrita e as entrevistas complementares de estudantes de Licenciatura e Bacharelado em Física, de uma universidade estadual pública do norte do estado do Paraná. A pesquisa contou com a participa-

ção voluntária de cinco estudantes do terceiro e quarto anos da referida graduação. Os participantes foram selecionados tendo em conta que já haviam sido aprovados em disciplinas da graduação, tais como Física Básica, Laboratório de Física I e II, para as quais era requisito a aprendizagem da construção manual de gráficos cartesianos de cinemática como parte dos conteúdos curriculares das referidas disciplinas.

Quadro 1 – Quadro Teórico de Análise dos níveis de processamento da informação/atividades cognitivas semióticas e ações construtivas correspondentes.

Nível de Processamento	Atividade Cognitiva Semiótica	Ações de Construção/Interpretação do Gráfico Cartesiano
Informação Explícita	Formação	Eixos Cartesianos Ortogonais
		Título
	Conversão	Variáveis Envolvidas
		Escala
		Par de Coordenadas
Informação Implícita	Tratamento	Comportamento da Curva
		Taxa de Variação
		Novos Pares Coordenados
Informação Conceitual	Conversão	Legenda
		Descrição Formal do Fenômeno
		Elaborar Explicações

A investigação envolveu o estudo profundo e exaustivo das atividades que permearam a construção de gráficos cartesianos em cinemática, permitindo um amplo e detalhado conhecimento de tal objeto de estudo (BOGDAN; BIKLEN, 1994). As produções escritas dos estudantes que analisamos resultaram da construção manual de gráficos cartesianos em papel milimetrado a partir das tabelas de dados experimentais. Os estudantes desenvolveram as mesmas atividades, variando as tabelas de referência, com a finalidade de identificar as dificuldades na articulação entre as referidas representações semióticas.

Para as atividades da produção escrita e da construção dos gráficos cartesianos, foram empregadas tabelas de dados experimentais relativas à descrição da posição, da velocidade e da aceleração de uma partícula, tomados em distintos

intervalos de tempo e escolhidas especialmente para essa investigação. Teve-se como objetivo observar o domínio dos signos específicos relacionados às tabelas e sua transformação em signos próprios aos gráficos cartesianos, conforme estruturado no Quadro 1. Complementar a essas atividades, os estudantes responderam a uma entrevista semi-estruturada, com o tema voltado para a representação produzida pelos mesmos e com o objetivo de obter mais informações sobre o domínio dessa representação semiótica.

A análise dos dados foi desenvolvida com base no Quadro 1 proposto teoricamente e cada amostra foi tratada individualmente. Cada participante foi denominado respectivamente de E1, E2, E3, E4 e E5. Investigamos separadamente cada uma das ações de construção gráfica orientadas pelos níveis de processamento da informação e atividade cognitiva semiótica correspondente, por meio da produção escrita e entrevistas delineadas metodologicamente, as quais foram respondidas por cada estudante investigado.

Durante a análise dos dados, acompanhamos as atividades cognitivas semióticas responsáveis pelas ações de construção/interpretação da estrutura gráfica, numérica e conceitual. Ressalta-se a importância de conhecer previamente o domínio que os estudantes possuem a respeito dos signos pertencentes às tabelas, para compreender a conversão desses signos para o gráfico cartesiano que foi realizado posteriormente. Dessa forma, fomos capazes de analisar como os estudantes convertem os signos presentes na tabela para a formação das estruturas que compõem o gráfico cartesiano.

V. Discussão dos resultados

Nesta seção, discutimos as dificuldades semióticas apresentadas pelos estudantes na construção manual de gráficos cartesianos de cinemática, por meio do acompanhamento das atividades cognitivas semióticas delineadas nas seções anteriores. Além do mais, verificamos as dificuldades de realização das ações de construção da estrutura gráfica, numérica e conceitual.

Para compreendermos como os estudantes procederam à elaboração do gráfico cartesiano, centramos os estudos, em princípio, na compreensão que os mesmos possuem dos elementos da tabela, que posteriormente foram convertidos no gráfico cartesiano. Para isso, cada participante preencheu a lacuna referente à variável independente e dependente de cada tabela proposta (A, B e C). Os resultados mostram que os cinco sujeitos da pesquisa, nos itens relativos à compreensão das tabelas de referência, não possuem dificuldades em identificar e classificar as

variáveis e unidades de medidas presentes nas mesmas, conforme é mostrado, em seguida, no Quadro 2.

Quadro 2 – Resultado da atividade a respeito da compreensão dos elementos da tabela.

TABELA	VARIÁVEL INDEPENDENTE	VARIÁVEL DEPENDENTE
A	Tempo (s)	Posição (m)
B	Tempo (s)	Velocidade (m/s)
C	Tempo (s)	Aceleração (m/s ²)

Todos os estudantes demonstraram domínio dos signos específicos da representação investigada, ao associarem corretamente a relação de dependência entre as variáveis e as unidades de medida às quais pertencem.

No nível de processamento da informação explícita, estudada por meio das atividades cognitivas de formação, as dificuldades apresentadas pelos estudantes estão relacionadas à elaboração do título, ao traço dos eixos cartesianos e à indicação da origem dos pontos. Ao elaborar o título, E3 demonstrou uma dificuldade conceitual relativa ao fenômeno estudado quando não distinguiu posição e distância, os quais possuem significados científicos distintos. Os estudantes E2, E3, E4 e E5 utilizaram as margens do papel milimetrado fornecido como referência aos eixos cartesianos, em vez de destacá-los com um traço, de acordo com as regras de formação. Ressaltamos que, apesar de não se apresentar como uma dificuldade de produção de um gráfico, a ausência do traçado dos eixos revela que tais estudantes não processam da forma mais adequada as regras básicas de formação gráfica. Relacionamos, no Quadro 03, as dificuldades apresentadas por cada estudante no nível de processamento da informação explícita nas atividades cognitivas de formação.

No nível de processamento da informação explícita, estudadas por meio das atividades cognitivas de conversão, as dificuldades apresentadas pelos estudantes estiveram relacionadas com a escala, os fatores de escala, valores principais da escala, indicação do crescimento dos dados, as variáveis envolvidas e a transformação de valores das células da tabela em pares ordenados no gráfico cartesiano. O estudante 03 não foi capaz de processar a análise de cada coluna da tabela para sua transformação em uma escala adequada ao espaço escolhido para a elaboração do gráfico cartesiano. Os estudantes 02, 03, 04 e 05 não colocaram os valores principais da escala e nenhum dos estudantes pesquisados articulou coordenadamente

os fatores de escala com os eixos cartesianos, sendo assim, a produção desses elementos isolados dos demais no gráfico cartesiano evidenciou uma dificuldade dos estudantes em dar sentido a esse signo específico. Os estudantes 03 e 04 não indicaram o crescimento dos dados por meio da seta indicativa nos eixos cartesianos. E3 não converteu adequadamente as informações da tabela em pontos coordenados, pois os mesmos foram feitos com uma espessura que não condiz com o tipo de escala adotado, resultando em uma imprecisão dos valores do gráfico. E2 não processou a informação do elemento gráfico que permite associar corretamente a variável dependente e independente aos cartesianos aos eixos cartesianos horizontais e verticais. Tal transformação resultou em um gráfico que não possui equivalência física nos estudos da cinemática, pois representa a dependência do tempo com relação ao espaço. Relacionamos, no Quadro 04, as dificuldades apresentadas por cada estudante no nível de processamento da informação explícita nas atividades cognitivas de conversão.

Quadro 03 - Dificuldades semióticas relativas ao nível de processamento da informação explícita e atividades cognitivas de formação.

NÍVEL DE PROCESSAMENTO DA INFORMAÇÃO EXPLÍCITA ATIVIDADE COGNITIVA DE FORMAÇÃO			
ESTUDANTE	TÍTULO	EIXOS CARTESIANOS	INDICAÇÃO DA ORIGEM
01			
02		X	
03	X	X	X
04		X	X
05		X	X

No nível de processamento da informação implícita, estudadas por meio da atividade cognitiva de tratamento, as dificuldades estão centradas no traço da reta média e na determinação da velocidade média. Com relação à determinação da reta média, verifica-se que todos os estudantes buscaram traçar a reta distribuindo-a regularmente em torno dos pares ordenados, mas o traçado da reta média de E2 e E3 não foi processado da forma mais adequada, sendo o traço de E2 não contínuo e o traço de E3 muito espesso com relação à escala adotada. Na determinação da velocidade média E2, E3 e E5 apresentaram distintas dificuldades. E2 não foi capaz de processar tal informação, pois, no cálculo da inclinação da reta média, os valores estavam invertidos e não apresentaram resultados coerentes. A dificuldade

que impossibilitou a determinação da reta média está relacionada com a inversão dos eixos cartesianos. Dessa forma, a designação correta dos eixos mostrou-se fundamental para a elaboração de níveis superiores da estrutura do gráfico cartesiano. E3 e E5 escolheram valores da tabela para calcular a velocidade média, assim, a escolha de pontos pertencentes à tabela para determinar uma propriedade científica do fenômeno demonstra que os estudantes não articulam as novas informações evidenciadas pela reta média com as demais estruturas anteriores. Eles compreendem a reta média como a variação regular do fenômeno, o que permitiu aos mesmos chegarem a conclusões posteriores a respeito do conteúdo representado, porém não demonstram coordenar os signos da representação do gráfico cartesiano, para o cálculo da velocidade média. Relacionamos, no Quadro 05, as dificuldades apresentadas por cada estudante no nível de processamento da informação implícita nas atividades cognitivas de tratamento.

Quadro 04 - Dificuldades semióticas relativas ao nível de processamento da informação explícita e atividades cognitivas de conversão.

NÍVEL DE PROCESSAMENTO DA INFORMAÇÃO EXPLÍCITA ATIVIDADE COGNITIVA DE CONVERSÃO						
ESTUDANTE	ESCALA	FATOR DE ESCALA	VALORES PRINCIPAIS	INDICAÇÃO DO CRESCIMENTO	VARIAVEIS	PARES ORDENADOS
01		X				
02		X	X	X	X	
03	X	X	X	X	X	X
04		X	X	X		
05		X	X			

No nível de processamento da informação conceitual, estudada por meio da atividade cognitiva de conversão, as dificuldades estão relacionadas com a produção da legenda. O estudo das ações relacionadas com a generalização das relações conceituais apontadas pelo gráfico cartesiano mostrou que os estudantes são capazes de articular outras representações semióticas com o fenômeno físico representado graficamente.

A conversão para a escrita literal do comportamento regular apresentado pelo fenômeno no gráfico cartesiano dos estudantes 01, 02, 03 e 05 não foi a mais

completa. A falta de sofisticação das legendas produzidas por tais estudantes não permitiu que fosse investigado o domínio dos signos pertencentes ao gráfico cartesiano, como a explicação da reta média.

Quadro 05 - Dificuldades semióticas relativas ao nível de processamento da informação implícita e atividades cognitivas de transformação.

NÍVEL DE PROCESSAMENTO DA INFORMAÇÃO IMPLÍCITA ATIVIDADE COGNITIVA DE TRATAMENTO		
ESTUDANTE	RETA MÉDIA	INCLINAÇÃO DA RETA
01		
02	X	
03	X	X
04		X
05		X

Por ocasião da entrevista, posteriormente realizada, os estudantes 01, 02 e 03 atribuíram significados distintos para a reta média. E1 declarou que “representa a velocidade de um objeto”, E2 que “*representa o movimento uniforme*” e E3 que “*variação da velocidade em função do tempo, como a distância está variando em função do tempo*”.

A entrevista evidenciou que os estudantes atribuem o significado científico à reta média produzida no gráfico cartesiano. Isso é possível mediante a análise do nível de processamento da informação conceitual por meio da entrevista. Dessa forma, a explicação do significado da reta média foi satisfatória, pois os estudantes conseguiram ir além da explicação do elemento gráfico da reta e relacionaram as variáveis físicas que por meio do gráfico se expressa.

Conforme observado pelos Quadros 03, 04, 05 e 06, os estudantes apresentaram problemas em todos os níveis de elaboração gráfica. No entanto, os principais estão relacionados à estrutura gráfica, que é a responsável pela formação da base que permite a elaboração de níveis superiores. A estrutura gráfica também produz os elementos que favorecem a clareza na comunicação das informações relativas ao fenômeno representado, por meio das variáveis em cada eixo, da escala adequada, dos fatores de escala, entre outros elementos.

Quadro 06 - Dificuldades semióticas relativas ao nível de processamento da informação conceitual e atividades cognitivas de conversão.

NÍVEL DE PROCESSAMENTO DA INFORMAÇÃO CONCEITUAL ATIVIDADE COGNITIVA DE CONVERSÃO	
ESTUDANTE	ELABORAÇÃO DA LEGENDA
01	X
02	X
03	X
04	
05	X

VI. Considerações finais

O uso do referencial analítico proposto permitiu que fossem acompanhadas as atividades cognitivas do estudante na conversão da tabela em gráfico cartesiano, aportados pelo referencial da semiótica. Por meio de tal referencial, foi possível verificar o domínio da representação gráfica acompanhada pelas etapas de formação e transformação, podendo categorizá-las em níveis de processamento da informação gráfica, crescentes e mais complexos. Além do mais, no processo de análise, revelaram-se dificuldades que dificilmente seriam evidenciadas, se não fosse solicitada a produção de legendas e entrevistas, através das quais se passa a conhecer os significados dados pelos estudantes aos signos presente no gráfico cartesiano.

Igualmente, pôde-se diagnosticar as convergências entre as linhas de pesquisa da Psicologia Cognitiva de Duval e de Postigo e Pozo, as quais resultaram na constituição do quadro teórico de análise. Assim, fomos capazes de compreender o processo de construção do gráfico cartesiano em sua totalidade, pois cada elemento gráfico estava englobado em um todo maior e ilustrava as relações entre todos os níveis de processamento da informação gráfica por meio das atividades cognitivas semióticas.

As representações de natureza semiótica, tais como a língua escrita para a descrição de uma legenda, assim como a linguagem formal, não foram importantes apenas para complementar o gráfico cartesiano, mas são, sobretudo, importantes para a análise das dificuldades semióticas inerentes ao funcionamento do pensamento e ao desenvolvimento de conhecimentos científicos. Esse desenvolvimento

só se torna possível com a diferenciação progressiva de outros registros de representação diferentes da linguagem gráfica.

As atividades cognitivas de formação e conversão da tabela para o gráfico cartesiano no nível de processamento da informação explícita apresentaram-se eficazes para examinar o domínio das ações responsáveis pela construção da estrutura gráfica realizada pelos estudantes e pôde-se evidenciar dificuldades comuns a todos os sujeitos da pesquisa, tais como o uso dos fatores de escala e a presença dos valores principais da escala.

As atividades cognitivas de tratamento, as quais permearam as ações de construção da estrutura numérica no nível de processamento da informação implícita, proporcionaram uma ponte entre a estrutura gráfica e a estrutura conceitual, ao determinarem a relação entre as variáveis presentes no gráfico cartesiano. Verificamos, por meio desta, dificuldades de articulação entre o signo da reta média e o cálculo da velocidade escalar média, no qual os estudantes recorriam aos valores da tabela para fazer tal operação.

As ações relacionadas com a compreensão de signos próprios da representação gráfica possibilitaram não apenas evidenciar o domínio do conteúdo científico, mas também o seu modo de produção. Dessa forma, podemos concluir que as dificuldades se centraram no registro de representação e não no fenômeno físico, características essencialmente semióticas, ou seja, estão relacionadas com o modo com que os estudantes constroem e dão sentido aos signos presentes no gráfico cartesiano.

Os aspectos semióticos das dificuldades dos estudantes que apresentamos nos quadros deste trabalho mostram o sentido atribuído aos signos do gráfico cartesiano, que constituiu um avanço nas investigações a respeito dessa representação e permitiu compreender outros aspectos relativos ao seu modo de produção. Tal modo de produção está relacionado ao domínio das estruturas que compõem o gráfico cartesiano e está vinculado a exigências cognitivas da situação de cada ação construtiva.

As representações de natureza semiótica, tais como a língua escrita para a descrição de uma legenda, assim como a linguagem formal, não foram importantes apenas para complementar o gráfico cartesiano, mas são, sobretudo, importantes para a análise das dificuldades semióticas inerentes ao funcionamento do pensamento e ao desenvolvimento de conhecimentos científicos.

Por fim, o quadro teórico de análise que apresentamos não tem a pretensão de ser o único instrumento de análise de gráficos cartesianos, pois ainda há questões importantes que englobam o processo de ensino-aprendizagem de tais representações que não foram foco nesta pesquisa, tais como a validade do quadro

proposto para a aplicação em outros conteúdos diferentes da cinemática, como gráficos cartesianos de termodinâmica ou eletromagnetismo e o contexto em que os gráficos cartesianos são ensinados na graduação em Física e mesmo sua potencialidade para ser estendida aos estudantes do Ensino Básico.

Referências Bibliográficas

AGRELLO, D. A.; GARG, R. Compreensão de gráficos em cinemática em física introdutória. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 21, n. 4, 1999.

ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A.; MOREIRA, M. A. Atividades de modelagem computacional no auxílio à interpretação de gráficos da Cinemática. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n. 2, p. 179-184, 2004.

BELLUCO A.; CARVALHO A. M. Construindo a linguagem gráfica em uma aula experimental de Física. **Ciência & Educação**, v.15, n.1, p. 61-84, 2009.

BOGDAN, R. C.; BIKLEN, S. K. **Investigação Qualitativa em Educação Matemática**: uma introdução à teoria e aos métodos. Lisboa: Porto Editora, 1994.

DEMBO, M. H. **Applying educational psychology**. 5. ed. Nova Iorque: Longman, 1994.

DUVAL, R. Registros de representações semióticas e funcionamento cognitivo da compreensão em matemática. In: Machado, S. A (Org.). **Aprendizagem em matemática**: registros de representação semiótica. Campinas: Papiros, 2003.

DUVAL, R. **Semiosis y pensamiento humano**. Registros semióticos y Aprendizajes Intelectuales. Cali, Colômbia: Merlin, I.D. Título do original: Sémiosis et pensée humaine. Registres sémiotiques et apprentissages intellectuels, 2004.

DUVAL, R. Comment analyser Le fonctionnement reoresetationnel dès tableaux et leur diversité? **SPIRALE - Revue de Recherches en Éducation**, Faculdade de Ciências da Educação da Universidade Charles de Gaulle, Lille-3, n. 23, 2003.

EYSENK, M. W.; KEANE, M. T. **Manual de psicologia cognitiva**. 5. ed. Tradução de Magda França Lopes. Porto Alegre: Artmed, 2007.

FLORES C. R.; MORETTI, M. T. O funcionamento cognitivo e semiótico das Representações gráficas: ponto de análise para a aprendizagem matemática. *GT: Educação Matemática/n.19*, 2006. Disponível em: <http://www.ufrj.br/emanped/paginas/conteudo_producoes/docs_28/funcionamento.pdf> Acesso em: 20 maio 2010.

GARCÍA, J. J. G.; PALACIOS F. J. P. ¿Comprenden los estudiantes las gráficas cartesianas usadas en los textos de ciencias? *Enseñanza de Las Ciencias*, Revista de investigación y experiencias didácticas, Barcelona, v. 25, n. 1, p. 107-132, 2007.

JULIO, J.; VAZ, A.; BORGES T. Construção de gráficos em atividade de investigação: microanálise de aulas de física. In: XI ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 2008, Curitiba. *Atas...*

MIRANDA, L.; RADFORD, L.; GÚZMAN, J. Interpretación de gráficas cartesianas sobre el movimiento desde el punto de vista de la teoría de la objetivación. *Educación Matemática*, v. 19, n. 3, 2007.

POSTIGO, Y.; POZO, J. I. Cuando una gráfica vale más que 1.000 datos: la interpretación de gráficas por alumnos adolescentes. *Infancia y Aprendizaje*, Salamanca, v. 90, p. 89-110, 2000.

SHAH, P; HOEFNNER, J. Review of Graph Comprehension Research: Implications for Instruction. *Educational Psychology Review*, v. 14, n. 1, 2002.

SHARMA, S. High School students interpreting tables and graphs: implications for research. *International Journal of Science and Mathematics Education*, v. 4, p. 241-168, 2005.

TESTA, I.; MONROY, G.; SASSI, E. Students' reading images in kinematics: the case of real-time graphs. *International Journal of Science Education*, v. 24, p. 235-256, 2002.

WU, H.; KRAJCIK, J. S. Inscriptional practices in two inquiry-based classrooms: a case study of seventh graders' use of data tables and graphs. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 43, n. 1, p. 63-95, 2006.