

Pesquisa em Ensino de Física

Análise de vizinhança: uma nova abordagem para avaliar a rede proposicional de mapas conceituais*

(*Neighborhood analysis: a new approach to evaluate concept maps' propositional network*)

Camila Aparecida Tolentino Cicuto¹ e Paulo Rogério Miranda Correia²

¹Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil

²Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil

Recebido em 20/5/2011; Aceito em 7/12/2011; Publicado em 27/2/2011

A análise detalhada de Mapas Conceituais (MCs) pode revelar informações latentes que não são percebidas a partir da mera leitura do seu conjunto de proposições. O presente trabalho tem como objetivo propor a Análise de Vizinhança (AViz) como uma forma inovadora de avaliar os MCs obtidos em sala de aula. A seleção de um Conceito Obrigatório (CO) permite ao professor verificar como os alunos o relacionam com outros conceitos, os quais são classificados como Conceitos Vizinhos (CVs). As proposições estabelecidas entre o CO e os CVs são suficientes para indicar o nível de compreensão do aluno sobre o tema mapeado. MCs ($n = 69$) sobre mudanças climáticas formam o primeiro conjunto de dados empíricos que ratifica o potencial da AViz. O CO selecionado foi dispersão, a fim de avaliar se os alunos conseguem relacionar esse fenômeno físico com o caráter global desse problema ambiental. Os padrões identificados a partir da AViz sugerem que, apesar de serem submetidos a uma mesma sequência didática, nem todos os alunos conseguiram utilizar o CO de forma adequada. Isso pode ser explicado a partir da Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, que destaca o papel fundamental dos conhecimentos prévios no processo de assimilação de novas informações.

Palavras-chave: análise de vizinhança, conceito obrigatório, conceito vizinho, dispersão, ensino de ciências, ensino superior, mapas conceituais, mudanças climáticas.

The deep analysis of Concept Maps (Cmaps) may reveal latent information that is not perceived from the simple reading of its propositional network. This paper proposes the Neighborhood Analysis (NeAn) as an innovative way to assess the Cmaps obtained in a classroom. The selection of a Compulsory Concept (CC) allows teachers to evaluate how the students relate it to other concepts, which are classified as Neighbor Concepts (NCs). The propositions established between the CC, and the NCs are enough to indicate the students' level of understanding on the mapped subject. Cmaps ($n = 69$) about climate change are the first set of empirical data that confirms the potential of NeAn. Dispersion was selected as CC in order to check whether students can relate this physical phenomenon with the global perspective of climate change. The patterns found from the NeAn suggest that, despite being exposed to the same didactic activities, some students could not use the CC properly. This may be explained from David Ausubel's learning theory, which stresses the critical role of prior knowledge in the assimilation process of new information.

Keywords: climate change, compulsory concept, concept maps, dispersion, higher education, neighbor concept, neighborhood analysis, science teaching.

1. Introdução

O mapeamento conceitual foi desenvolvido pelo grupo de pesquisa do Dr. Joseph D. Novak, em 1972, na Universidade de Cornell. Naquela oportunidade, os Mapas Conceituais (MCs) foram utilizados para representar as relações conceituais estabelecidas por alunos sobre temas científicos ao longo da escolarização básica, resultando num estudo longitudinal de 12 anos sobre mu-

danças conceituais [1]. O áudio das entrevistas gravadas com os alunos constituía-se na fonte primária de dados empíricos e, devido a dificuldades de transcrever todo o material obtido, os MCs foram utilizados para representar parcialmente a estrutura cognitiva dos alunos, organizando os conceitos de forma hierárquica e a partir do estabelecimento de proposições. Essa forma de representação esquemática do conteúdo das entrevistas permitiu aos pesquisadores observar com maior

²E-mail: prmc@usp.br.

*Parte desse trabalho foi apresentado oralmente durante a 14th Biennial Conference of the European Association for Research on Learning and Instruction (EARLI), realizada em Exeter (Reino Unido) entre os dias 30 de agosto e 3 de setembro de 2011.

detalhamento e precisão as mudanças conceituais que ocorriam na estrutura cognitiva dos alunos [1-3].

As proposições são as estruturas fundamentais dos MCs e elas são formadas pela união de 2 conceitos, por meio de um termo de ligação que expressa de forma clara como eles se relacionam. Além disso, as proposições têm um sentido de leitura definido, expresso através de uma seta (Fig. 1). A obrigação de incluir um termo de ligação é o principal diferencial dos MCs, em comparação com outras ferramentas de representação gráfica da informação e do conhecimento. O conteúdo dos MCs é apresentado com alto grau de clareza, permitindo detectar rapidamente Estruturas Proposicionais Inapropriadas ou Limitadas (LIPHs, do inglês *Limited or Inappropriate Propositional Hierachies*) [4].



Figura 1 - Os elementos constituintes das proposições de um mapa conceitual. Destaque para a inclusão obrigatória de um termo de ligação, que explica a relação entre os conceitos. A seta indica o sentido de leitura da proposição, que deve possuir um elevado grau de clareza semântica.

Os MCs são uma forma esquemática de representar as idiossincrasias presentes na estrutura cognitiva de um indivíduo. Atividades relacionadas com o mapeamento conceitual estimulam a aprendizagem significativa, em detrimento da aprendizagem mecânica [4,5]. A Teoria da Aprendizagem Significativa foi desenvolvida por David Ausubel em meados da década de 60 e propõe uma descrição do processo cognitivo de assimilação de novos conhecimentos, por meio da obliteração entre as novas informações e os conhecimentos já existentes na memória de longo prazo. Há três condições fundamentais a serem observadas para que se verifique a aprendizagem significativa: os conhecimentos prévios do aluno devem ser considerados como o ponto de partida para a nova aprendizagem, o material instrucional deve ser potencialmente significativo, e o aluno deve optar deliberadamente por aprender significativamente [6].

Ausubel descreve o processo de aprendizagem usando um *continuum* entre 2 extremos, caracterizados pela aprendizagem significativa e mecânica. A diferença fundamental entre elas está na forma de relacionar as novas informações com os aspectos relevantes preexistentes na estrutura cognitiva de cada indivíduo. A aprendizagem pode ser considerada significativa se tais relações forem estabelecidas de forma não arbitrária e não literal, o que exige um esforço por parte do aluno em relacionar o que ele já sabe com as novas informações. A aprendizagem é considerada mecânica quando as relações são estabelecidas de forma arbitrária e literal, sem que o aluno tenha que conferir sentido entre o que ele já sabe e a nova informação [5-8].

A evolução histórica do mapeamento conceitual pode ser representada por uma linha do tempo que se inicia na década de 60 (Fig. 2). Uma análise retrospec-

tiva permite a identificação de 3 fases sequenciais nesse período, que se inicia em 1963 com a proposição da Teoria da Aprendizagem Significativa por David Ausubel e se estende até os dias atuais.

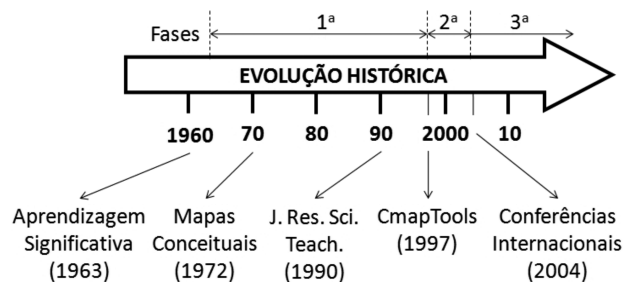


Figura 2 - Evolução histórica do mapeamento conceitual desde a década de 60 até os dias atuais.

A primeira fase durou quase 30 anos, caracterizando-se pela criação dos MCs (1972) e pela disseminação do uso de MCs manuscritos durante o processo de ensino-aprendizagem, sobretudo de temas relacionados com o ensino de ciências. A dificuldade em revisar e reelaborar tais MCs restringia o potencial da técnica, visto que a recursividade não é plenamente explorada pelos mapeadores. Mesmo assim, o reconhecimento do mapeamento conceitual como uma estratégia relevante para o ensino de ciências se confirmou com a publicação de um fascículo especial sobre o tema no periódico *Journal of Research in Science Teaching* em 1990 [9-11].

O desenvolvimento de um programa dedicado à elaboração de MCs digitais pode ser considerado como o fato responsável pela ampliação das possibilidades de uso do mapeamento conceitual. A parceria entre Joseph Novak e Alberto Cañas resultou no programa CmapTools (1997), que é desenvolvido até hoje pelo Institute for Human and Machine Cognition (IHMC). O aumento do acesso à Internet e a possibilidade de utilizar o CmapTools gratuitamente potencializaram o uso dos MCs para finalidades que extrapolam os interesses educacionais. Além da possibilidade de revisar os MCs com maior facilidade, a colaboração síncrona e assíncrona tornou-se uma realidade e o mapeamento conceitual passou a ser utilizado também no âmbito corporativo [12], visto que a aprendizagem colaborativa (*collaborative learning*) e por toda a vida (*lifelong learning*) não se limitam mais à educação formal presencial [13-21].

A realização sistemática de conferências internacionais sobre mapeamento conceitual se estabelece a partir de 2004 e, desde então, a comunidade científica que se dedica ao tema se reúne a cada 2 anos. O aumento da troca de informações entre os especialistas consolidou os MCs como uma ferramenta de representação gráfica da informação que pode ser utilizada em qualquer área do conhecimento. É nesse contexto que as pesquisas mais recentes sobre mapeamento conceitual se desenvolvem [4,22-35].

A avaliação de MCs é o tema que mais mereceu a atenção do nosso grupo de pesquisa nos últimos anos [29-33]. A hipótese de que há informações latentes nos MCs nos levou a desenvolver estratégias inovadoras na tentativa de explicitar aquilo que não pode ser extraído somente a partir da leitura das proposições. Além da análise estrutural [31] e proposicional [32], a Análise de Vizinhança (AViz) pode ser útil para avaliar a compreensão dos alunos sobre o tema a ser mapeado. A AViz está baseada na elaboração de um MC a partir de uma pergunta focal e de um Conceito Obrigatório (CO), que são intencionalmente escolhidos para gerar uma demanda cognitiva que extrapola a memorização de fatos e dados.

2. Análise de vizinhança

A análise de vizinhança (AViz) é uma forma inovadora de utilizar o mapeamento conceitual para avaliar comparativamente um conjunto de MCs sobre um mesmo assunto. A estratégia instrucional que subjaz a AViz consiste em exigir que o mapeador utilize um Conceito Obrigatório (CO) ao construir seu MC, por meio da elaboração de proposições que o utilizem como conceito inicial ou final. Quando o CO é selecionado criteriosamente pelo professor, o esforço cognitivo im-

posto aos alunos é mais sofisticado do que aquele que é usualmente necessário para obter bom desempenho em provas tradicionais. De acordo com a versão revisada da taxonomia de Bloom, é possível prever que a elaboração de MCs associada a um CO envolve, além de conhecimentos conceituais e procedimentais, processos cognitivos relacionados com análise, avaliação/seleção e criação [36]. Considerando que as condições para a ocorrência da aprendizagem significativa sejam satisfeitas, a avaliação da aprendizagem explorando os MCs e o uso de um CO pode reforçar para os alunos a intenção do professor em valorizar esse tipo de aprendizagem, em detrimento da aprendizagem mecânica [6,37].

A AViz utiliza o CO como um ponto privilegiado para analisar as proposições do MC. A partir do CO, todos os conceitos utilizados são classificados em Conceitos Vizinhos (CV), os quais estão diretamente relacionados com o CO, ou Conceitos Complementares (CC), os quais não estão diretamente relacionados com o CO (Fig. 3). Esta classificação permite, por exemplo, avaliar a relevância que o mapeador confere ao CO, a partir da estrutura da rede proposicional do MC. O interesse em extrair informações a partir da avaliação estrutural de MCs já produziu resultados interessantes [28,31,38], mas nenhum trabalho da literatura se baseou na utilização de um CO, nem na decorrente classificação dos conceitos do MC em CV ou CC.

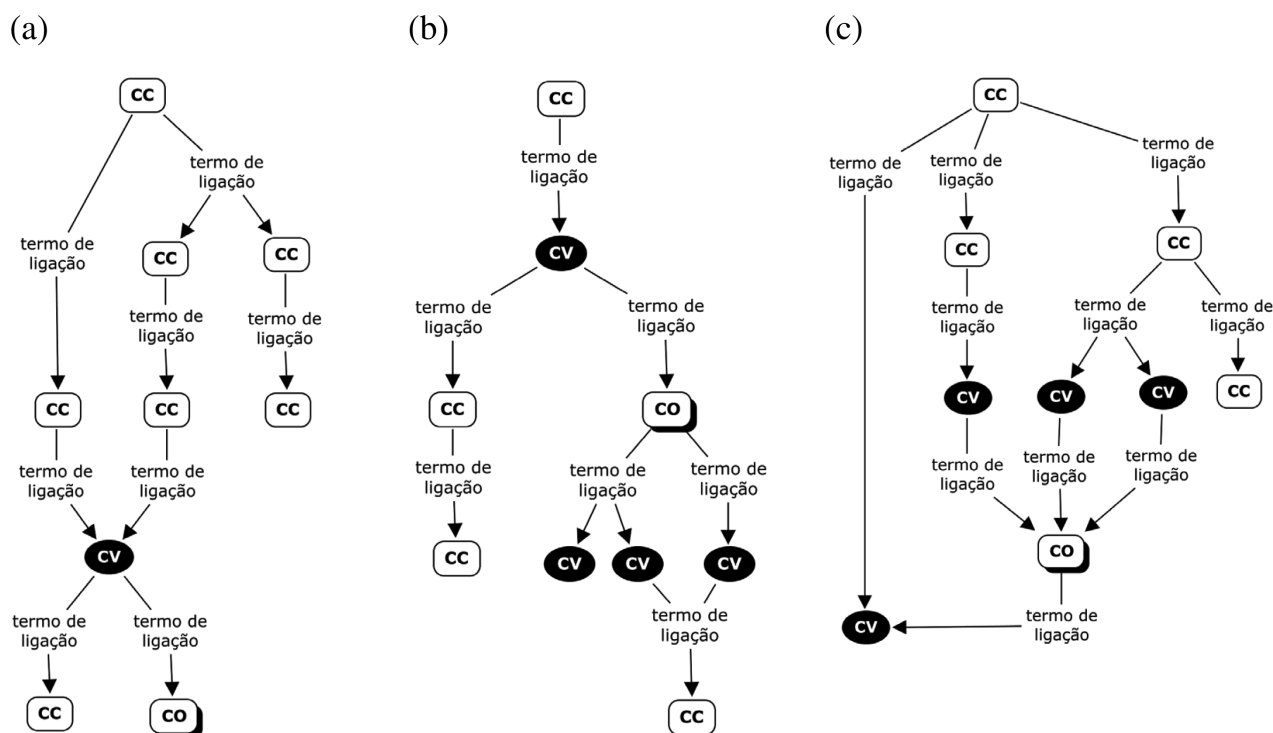


Figura 3 - Classificação dos conceitos de um MC para a Análise de Vizinhança (AViz): Conceito Obrigatório (CO, retângulo sombreado), Conceitos Vizinhos (CV, círculo preto) e Conceitos Complementares (CC, retângulos sem sombra).

É plausível admitir que a relevância atribuída ao CO pelo mapeador é diretamente proporcional ao número de proposições que o incluem: poucas proposições (Fig. 3a) indicam pouca relevância atribuída ao CO; muitas proposições indicam muita relevância (Fig. 3b-3c). Nos casos em que o CO é relevante, ainda é possível verificar como ele ajuda o mapeador a expressar seu conhecimento: se como um conceito superordenado em relação aos CVs (Fig. 3b), ou se como um conceito subordinado em relação aos CVs (Fig. 3c). A relação entre CO e seus vizinhos (CVs) pode indicar se a utilização do CO favoreceu processos de diferenciação progressiva (Fig. 3b) e/ou de reconciliação integrativa (Fig. 3c).

Estas são algumas das possíveis inferências que podem ser feitas a partir da AViz, o que justifica a necessidade de ela ser contemplada por todos que se interessam pelo uso do mapeamento conceitual como ferramenta de representação visual do conhecimento e da informação.

Esse trabalho tem como objetivo propor a Análise de Vizinhança (AViz) como uma forma de avaliar MCs. Além disso, os primeiros resultados empíricos são apresentados para ilustrar o potencial dessa abordagem, a partir de MCs obtidos em sala de aula.

3. Procedimentos de pesquisa

3.1. Coleta de dados

A coleta de dados empíricos foi feita considerando-se os MCs produzidos individualmente por 69 alunos que cursaram a disciplina Ciências da Natureza (CN), a partir da mesma pergunta focal: “Como o desenvolvimento científico-tecnológico se relaciona com as mudanças climáticas?”. O número máximo de conceitos a serem utilizados por cada aluno foi igual a 9 e o conceito “dispersão” deveria ser utilizado obrigatoriamente. Essa atividade fez parte da 2ª avaliação da disciplina (P2), que ocorreu na aula 10 (Fig. 4). Um período de treinamento sobre mapeamento conceitual foi oferecido aos alunos durante parte do tempo destinado às aulas 1-4 (Fig. 4), conforme procedimento já descrito na literatura [33]. As aulas da disciplina CN foram ministradas ao longo do 1º semestre de 2010 por um dos autores desse trabalho (P.R.M.C.).

As atividades propostas para a discussão envolvendo as mudanças climáticas estão descritas na Tabela 1. A relevância do conceito “dispersão” para compreensão dos aspectos espaciais da dinâmica atmosférica foi especialmente reforçada, a fim de que os alunos percebessem que ações locais podem ter consequências globais [39-40]. Leituras preparatórias [41], notícias da mídia e imagens de satélite foram os recursos didáticos selecionados para as aulas 6-9.

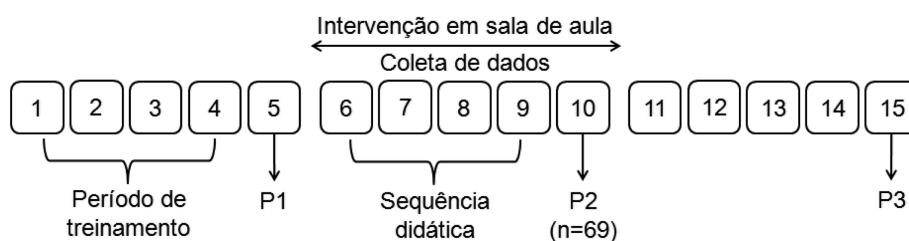


Figura 4 - Organização geral da disciplina Ciências da Natureza (CN), com destaque para o período de intervenção na sala de aula (aulas 6-10).

Tabela 1 - Atividades didáticas sobre mudanças climáticas, desenvolvidas entre as aulas 6-10.

Aula	Material utilizado	Atividades e objetivos
6	Texto “Meio ambiente: ciência e tecnologia”, por Ibsen Gusmão de Câmara [41]	- Aula expositiva dialogada sobre o texto - Análise das relações existente entre a ciência, a tecnologia e os problemas ambientais globais
7	Texto “Meio ambiente: energia”, por José Goldemberg [41]	- Aula expositiva dialogada sobre o texto - Análise dos atuais padrões de consumo de energia e do aumento da demanda por combustíveis fósseis - Integração dos conceitos das aulas 6 e 7 por meio da discussão das mudanças climáticas
8	Notícias disponíveis na Internet sobre mudanças climáticas, selecionadas pelos alunos	- Trabalho em pequenos grupos de alunos - Identificação de trechos das notícias que indicam relações entre ciência/tecnologia, ciência/sociedade e tecnologia/sociedade - Discussão sobre como as mudanças climáticas são apresentadas na mídia
9	Imagens de satélite que representam a dinâmica atmosférica	- Exibição de animações que mostram o caráter dinâmico dos processos atmosféricos [42,43] - Discussão sobre a relação entre ações locais e efeitos globais devido à dispersão de poluentes gasosos na atmosfera
10	Avaliação a partir da elaboração de um MC (P2)	- Elaboração individual de MC, sendo obrigatório o uso do conceito dispersão

A utilização de animações, produzidas a partir de imagens de satélite, foi a estratégia selecionada para enfatizar o papel da dispersão de poluentes gasosos como forma de explicar cientificamente os motivos pelos quais a poluição atmosférica não fica circunscrita ao local responsável pela sua emissão. Dois vídeos foram exibidos durante a aula 9. Um deles, produzido pelo serviço de meteorologia do Reino Unido (*Met Office*), mostrou a dispersão das cinzas vulcânicas emitidas na Islândia, que comprometeu o tráfego aéreo no norte da Europa em meados de 2010 [42]. O outro, produzido pelo órgão americano responsável pelo monitoramento dos oceanos e da atmosfera (*National Oceanic and Atmospheric Administration*, NOAA), apresentou o satélite geostacionário dedicado a medidas de relevância ambiental (*Geostationary Operational Environmental Satellite*, GOES) [43].

3.2. Tratamento de dados

3.2.1. Análise dos conceitos

Todos os MCs ($n = 69$) foram analisados considerando-se apenas as proposições ($n = 175$) que continham o Conceito Obrigatório (CO). O primeiro tratamento feito a partir dos MCs considerou o número de Conceitos Vizinhos (CVs) associados ao CO (dispersão). Esse aspecto quantitativo foi representado na forma de um gráfico de frequência.

O segundo tratamento teve como objetivo identificar quais foram os conceitos mais utilizados como CVs ao CO. Para isso, utilizou-se a nuvem de palavras criadas pelo programa Wordle (wordle.net), que representa com letras maiores as palavras (conceitos) mais frequentes [44]. Uma lista contendo todos os CVs ($n = 175$) identificados nos MCs ($n = 69$) foi o dado primário para a geração da nuvem de palavras.

3.2.2. Análise das proposições

As proposições ($n = 175$) que utilizaram o CO foram categorizadas a partir do seu conteúdo semântico. Para isso, uma planilha contendo todas as proposições foi elaborada para que 3 pessoas do nosso grupo de pesquisa sugerissem potenciais categorias para agrupar as proposições, de acordo com a semelhança em termos do conteúdo da sua mensagem (Tabela 2). Após essa etapa, os categorizadores desenvolveram um conjunto consensual e negociado de categorias, o qual foi utilizado para categorizar todas as proposições. Todos os envolvidos categorizam novamente as proposições e calculou-se o índice de discrepância entre eles (ela é

identificada quando categorias diferentes são atribuídas a uma mesma proposição).

O índice de discrepância pode ser calculado a partir da equação 1, onde QPD significa Quantidade de Proposições Discrepantes e QPC significa Quantidade de Proposições Consensuais. Deve-se notar que o denominador equivale ao conjunto total de proposições submetidas ao processo de categorização ($n = 175$). Com base na nossa experiência, foi estabelecido que valores menores que 0,1 para o ID são aceitáveis e indicam que as categorias propostas são adequadas para descrever o conteúdo semântico das proposições. Quando essa situação se verifica, os categorizadores se reúnem para solucionar as últimas discrepâncias observadas durante o processo de categorização. Por outro lado, valores maiores que 0,1 para o ID indicam que o conjunto de categorias deve ser revisado para diminuir a discrepância observada quando indivíduos diferentes atribuem categorias diferentes a uma mesma proposição [30].

$$ID = QPD \div (QPD + QPC) \quad (1)$$

Após a conclusão do processo de categorização das proposições, foi feita uma avaliação de cada MC, considerando o número de CVs e as categorias atribuídas às respectivas proposições que vinculam cada CV ao CO (dispersão).

4. Resultados e discussão

4.1. A escolha do Conceito Obrigatório (CO)

A escolha do Conceito Obrigatório (CO) é uma etapa crítica para que a Análise de Vizinhança (AViz) revele o entendimento que os mapeadores têm sobre o tema. O professor é a melhor pessoa para selecionar o CO, visto que ele tem a responsabilidade de selecionar o conteúdo, os materiais instrucionais e os métodos de ensino a serem utilizados durante as aulas. Por esses motivos, os autores desse trabalho elaboraram um MC com o propósito de identificar o conceito relacionado às mudanças climáticas que melhor poderia ser utilizado como CO, considerando as características já descritas da disciplina CN (Fig. 4 e Tabela 1). Após várias revisões do MC (Fig. 5), nós optamos por utilizar o conceito dispersão como CO, tendo em vista a possibilidade de relacioná-lo com a ciência, os fenômenos atmosféricos, os efeitos globais e as ações locais. A partir dessa decisão, as opções instrucionais do professor da disciplina (P.R.M.C.) foram feitas para enfatizar essas relações conceituais.

Tabela 2 - Organização das proposições que contêm o CO para o processo de categorização em termos do seu conteúdo semântico. As proposições (P) indicadas nessa tabela foram extraídas do MC apresentado na Fig. 5. As colunas Cat1, Cat2 e Cat3 são utilizadas para consolidar e comparar os resultados obtidos a partir de diferentes categorizadores.

P	Conceito inicial	Termo de ligação	Conceito final	Cat1	Cat2	Cat3
1	dispersão	é um conceito oriundo da	ciência			
2	ações locais	requerem a compreensão do conceito de	dispersão			
3	efeitos globais	requerem a compreensão do conceito de	dispersão			
4	fenômenos atmosféricos	requerem a compreensão do conceito de	dispersão			

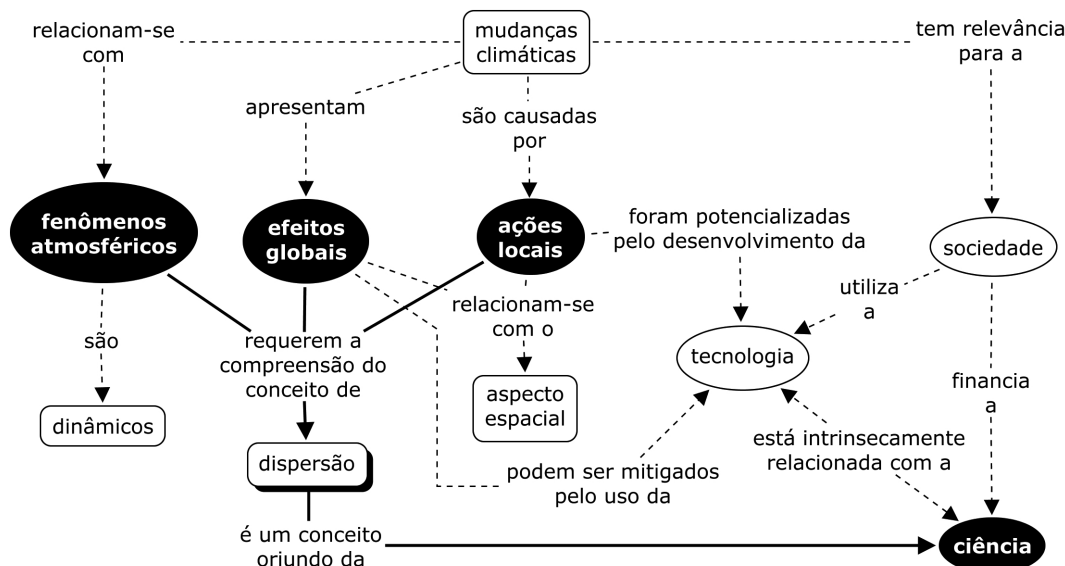


Figura 5 - MC elaborado pelos autores deste trabalho para selecionar o CO a ser utilizado na P2 da disciplina CN. Legenda: dispersão, Conceito Obrigatório (CO, retângulo sombreado), Conceitos Vizinhos (CV, círculo preto) e Conceitos Complementares (CC, retângulos sem sombra). Setas tracejadas indicam proposições que não contêm o CO; setas contínuas indicam proposições que contêm o CO.

4.2. Análise dos Conceitos Vizinhos (CV)

A avaliação quantitativa dos CVs ligados ao CO (dispersão) permite verificar a quantidade de vizinhos que os alunos utilizaram para expressar seus conhecimentos no MC. Dispersão esteve presente em 175 proposições, sendo que ele foi utilizado como o conceito final em 60% (n = 102) dos casos. Dois ou três CVs estavam ligados ao conceito “dispersão” em 73% dos MCs (Fig. 6). Apesar das instruções, 2 alunos não utilizaram o conceito dispersão (CO) na elaboração dos seus MCs.

A análise da Fig. 6 revela um MC contendo um número elevado e atípico de CVs. O autor do MC conseguiu estabelecer 9 proposições com o CO utilizando para isso 7 CVs, apesar da limitação imposta quanto à utilização de 9 conceitos para a elaboração da prova. Deve-se ressaltar que esta avaliação quantitativa não considera a qualidade das proposições dos MCs, nem se ela apresenta imprecisões conceituais.

A frequência dos conceitos utilizados nas proposições que contêm o CO (dispersão) foi estimada usando a nuvem de palavras obtida em Wordle (Fig. 7). Os conceitos mais frequentes (mudanças climáticas, gases, efeito estufa e poluição) estão em fontes grandes, enquanto os menos frequentes (ambiente, ciência

e tecnologia) estão em fontes pequenas. Deve-se ressaltar que os conceitos frequentes nem sempre foram utilizados pelos alunos para expressar ideias corretas pelo entendimento científico atual sobre as mudanças climáticas.

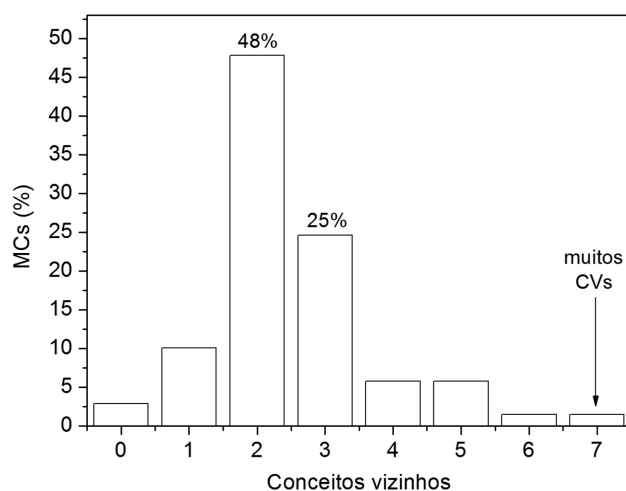


Figura 6 - Gráfico de frequência representando número de Conceitos Vizinhos (CVs) ao CO (dispersão).



Figura 7 - Nuvem de palavras obtida a partir dos Conceitos Vizinhos (CVs) utilizados pelos alunos para expressar seu entendimento sobre a dispersão (wordle.net).

Todos os conceitos que estão representados na nuvem de palavras são relevantes para explicar as mudanças climáticas, considerando-se o atual conhecimento científico relacionado com a dinâmica atmosférica e a dispersão de poluentes [39,40]. Por outro lado, somente com a análise do conteúdo semântico expresso pelas proposições, é possível verificar se os alunos compreendem de forma adequada as relações entre estes conceitos científicos. Uma vantagem associada ao uso do mapeamento conceitual é a possibilidade de identificar as estruturas proposicionais limitadas ou inapropriadas (LIPHs), lembrando sempre de que um bom MC pode apresentar imprecisões conceituais passíveis de revisão [4].

4.3. Análise das proposições

A categorização foi realizada somente para as proposições que apresentavam o CO (dispersão). O objetivo desta análise foi verificar o conteúdo semântico das proposições, classificá-las em categorias e identificar erros conceituais. As categorias propostas estão relacionadas com a abordagem utilizada durante a disciplina CN, que valoriza as relações mútuas entre a ciência, a

tecnologia, a sociedade e o ambiente (CTSA). Foi necessária a utilização da categoria ciência e tecnologia, pois alguns alunos estabeleceram a relação entre elas e a dispersão de poluentes em uma única proposição (Tabela 3). O uso do CO impôs aos alunos o desafio de incluir um fenômeno físico-químico (dispersão) no repertório de argumentos para responder à pergunta focal “Como o desenvolvimento científico-tecnológico se relaciona com as mudanças climáticas?”. A inclusão da dispersão deve aumentar a chance de os alunos estabelecerem argumentos válidos para justificar o fato de ações locais resultarem em problemas globais.

Dois categorias de análise (sem sentido e erro conceitual) foram definidas a priori (Tabela 3). A categoria sem sentido identifica as proposições que não podem ser compreendidas pela sua leitura, devido à falta de clareza semântica ao expressar a relação entre 2 conceitos, por conta da má escolha do termo de ligação (ex.: dispersão - de → massa de ar). A categoria erro conceitual tem como objetivo classificar as proposições em que o conceito dispersão foi utilizado inadequadamente, considerando-se o conhecimento científico vigente (ex.: dispersão - causa → aquecimento da Terra).

Tabela 3 - Resultado do processo de categorização do conteúdo semântico das proposições elaboradas pelos alunos, em função da quantidade de Conceitos Vizinhos (CVs).

Categorias	Quantidade de proposições						
	1	2	3	4	5	6	9
1. Ambiente	5	41	33	11	9	-	-
2. Sociedade	-	2	1	2	-	-	-
3. Ciência e tecnologia	-	1	1	-	3	-	-
4. Ciência	-	1	1	-	1	-	-
5. Tecnologia	-	3	2	1	-	-	-
6. Erro conceitual	2	11	11	2	3	3	2
7. Sem sentido	0	7	2	0	4	3	7

A Tabela 3 mostra que a categoria predominante das proposições foi ambiente para MCs que apresentaram de 1 a 5 Conceitos Vizinhos (CVs). Os alunos que usaram 2 ou 3 CVs apresentaram um entendimento aceitável sobre o CO, relacionando de forma correta a dispersão com os outros conceitos (CVs). Cabe destacar que os MCs que continham as maiores quantidades de CVs (Fig. 6) apresentaram proposições sem sentido, conceitualmente erradas e ingênuas ao relacionar o CO com seus vizinhos. Isso reforça a desvinculação entre quantidade e qualidade das proposições que um MC pode apresentar.

A análise das proposições indicou que quase 70% do conjunto analisado se encaixou nas categorias relacionadas com a abordagem CTSA, sendo que mais de 50% das proposições foram classificadas na categoria ambiente (Tabela 3). Observa-se que menos de 20% das pro-

posições apresentaram erro conceitual e que o índice de proposições com baixa clareza semântica (sem sentido) foi menor do que 15%. Isso sugere o efeito positivo do período de treinamento sobre mapeamento conceitual, oferecido aos alunos entre as aulas 1-4 (Fig. 4).

4.4. Mapas Conceituais dos alunos

A fim de destacar como o CO (dispersão) foi relacionado com os CVs presentes na rede proposicional foram selecionados 4 MCs produzidos pelos alunos para ilustrar os padrões típicos identificados com a Análise de Vizinhaça (Fig. 8). Dois padrões chamaram de forma especial a nossa atenção: MCs com elevado número de proposições que estabeleceram relações com o CO (Fig. 8a-8b) e MCs com reduzido número de proposições com o CO (Fig. 8c-8d).

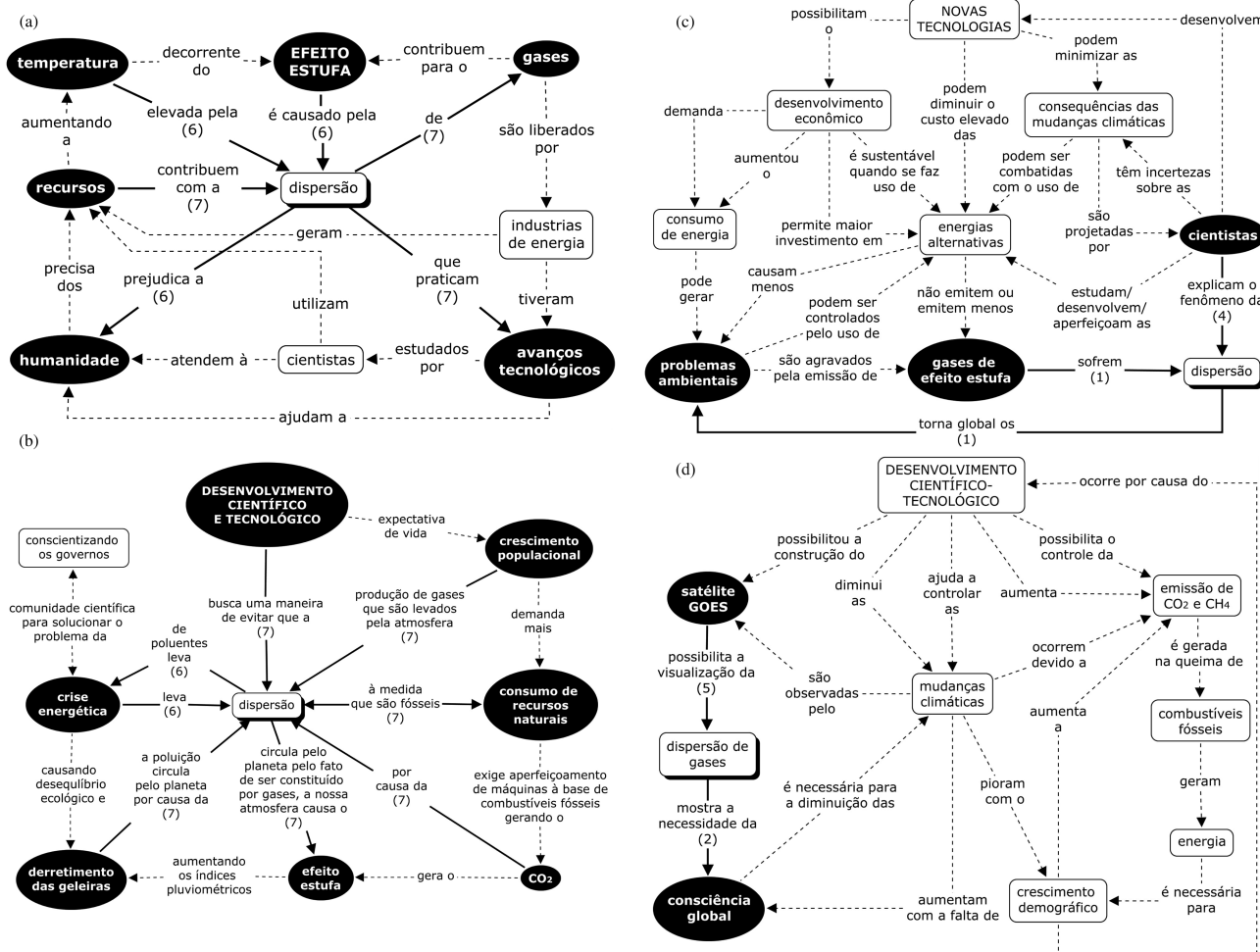


Figura 8 - MCs produzidos pelos alunos, que ilustram os 2 padrões identificados. A numeração das proposições indica a sua classificação nas categorias estabelecida para a análise (Tabela 3). As Figs. 8a-8b mostram o uso inadequado do CO e as Figs. 8c-8d representam o uso adequado do CO. Setas tracejadas indicam proposições que não contêm o CO; setas contínuas indicam proposições que contêm o CO.

No MC da Fig. 8a, o aluno utilizou 6 proposições ligadas ao conceito dispersão (CO). Este MC apresenta 3 proposições sem sentido, indicando falta de clareza

semântica (ex.: dispersão - de → gases) e 3 proposições com erros conceituais, sugerindo que também não compreendeu o conceito dispersão (ex.: efeito estufa- cau-

sado pela \rightarrow dispersão). Já a Fig. 8b mostra que o aluno utilizou 9 proposições ligadas ao CO, acionando 7 CVs. Os conceitos “crise energética” e “consumo de recursos naturais” foram utilizados como conceito inicial e final no mesmo MC. Este MC apresenta 7 proposições sem sentido e 2 proposições contendo erros conceituais, fatos que atestam a falta clareza semântica (ex.: dispersão - na medida em que são fósseis \rightarrow consumo de recursos naturais) e a não compreensão do CO (ex.: crise energética - leva \rightarrow dispersão), respectivamente.

O MC da Fig. 8c apresenta proposições classificadas nas categorias ambiente (ex.: gases de efeito estufa - sofrem \rightarrow dispersão) e ciência (ex.: cientistas - explicam o fenômeno da \rightarrow dispersão). O MC da Fig. 8d apresenta proposições classificadas nas categorias sociedade (ex.: dispersão de gases - mostra a necessidade da \rightarrow consciência global) e tecnologia (ex.: satélite GOES - possibilita a visualização da \rightarrow dispersão de gases). Ambos os MCs (Fig. 8c-8d) ilustram como os alunos relacionaram o conceito “dispersão” de forma aceitável, ou seja, sem cometer erros conceituais e expressando claramente suas ideias por meio de proposições.

Os alunos que apresentaram um bom entendimento sobre dispersão elaboraram MCs com proposições classificadas majoritariamente nas categorias de 1 até 5 (CTSA). Por outro lado, os alunos que não compreenderam o papel da dispersão de poluentes para explicar as mudanças climáticas elaboraram MCs com proposições classificadas majoritariamente nas categorias 6 e 7. De forma geral, a Tabela 3 mostra o predomínio de MCs com proposições relacionadas à categoria ambiente para expressar as relações do conceito dispersão dentro do contexto das mudanças climáticas, indicando que a maioria dos alunos compreende a importância da “dispersão” para explicar o caráter global das mudanças climáticas.

A apreciação conjunta das Fig.8a-8d nos permite concluir que a quantidade de CVs e de proposições estabelecidas a partir do CO não tem relação direta com o nível de entendimento sobre o tema mapeado. Certamente, há espaço na literatura para a aplicação da AViz em outros contextos educacionais para verificar a robustez da conclusão obtida a partir dos MCs considerados nessa oportunidade.

5. Considerações finais

Mapas Conceituais (MCs) contêm informações latentes que não são reveladas a partir da leitura da rede proposicional. Considerando esta hipótese como verdadeira, o desenvolvimento de procedimentos inovadores de análise de MCs é bem-vindo para disseminar o uso desta técnica de representação gráfica da informação e do conhecimento. A Análise de Vizinhança (AViz), proposta neste trabalho, é uma forma inovadora de se avaliar MCs elaborados por alunos durante o processo de ensino-aprendizagem. Ela se vincula com as estratégias

instrucionais do professor, visto que ele deve selecionar um Conceito Obrigatório (CO) para, a partir dele, classificar os demais Conceitos do MC em Vizinhos (CV) ou Complementares (CC). Quando selecionado de forma criteriosa, as proposições estabelecidas entre o CO e os CVs revelam o nível de compreensão que o mapeador possui sobre o tema abordado. A identificação de relações conceituais ingênuas pode ser uma forma de o professor diagnosticar a presença de estruturas hierárquicas limitadas ou inapropriadas (LIPHs), permitindo uma orientação de estudo mais precisa para os alunos.

A primeira aplicação da AViz foi feita com MCs sobre mudanças climáticas. Dispersão foi selecionada como Conceito Obrigatório (CO) e, a partir dele, se verificou as proposições que os alunos estabeleceram com outros conceitos (CVs). A utilização de animações produzidas a partir de imagens de satélite foi uma opção instrucional do professor da disciplina, a fim de enfatizar o papel central desse fenômeno físico-químico para a compreensão do caráter global desse problema ambiental. Apesar de serem submetidos à mesma sequência didática, os MCs produzidos pelos alunos revelaram diferentes níveis de compreensão sobre o conceito dispersão para explicar a relação entre o desenvolvimento científico-tecnológico e as mudanças climáticas.

A potencialidade do uso de MCs e da AViz extrapolam o tema das aulas apresentadas neste trabalho. A utilização dos procedimentos descritos também pode ser feita em situações disciplinares em diferentes níveis da educação formal (ensino fundamental, médio ou superior). Por outro lado, a análise de MCs obtidos a partir de temas interdisciplinares revela com maior intensidade todo o potencial que o mapeamento conceitual pode ter quando utilizado adequadamente ao longo do processo de ensino-aprendizagem.

Agradecimentos

Os autores agradecem às agências de fomento à pesquisa que financiam os trabalhos desenvolvidos pelo nosso grupo de pesquisa (CNPq-553710/2006-0, 486194/2011-6; CAPES-3555-09-7; FAPESP-2006/03083-0, 2008/04709-6). P.R.M.C. agradece à FAPESP (2011/09941-7) pelo apoio a sua participação na 14th Biennial Conference of the European Association for Research on Learning and Instruction (EARLI). Os autores também agradecem a participação de Joana Guilares de Aguiar no processo de categorização das proposições, e aos alunos responsáveis pelos MCs apresentados na Fig. 8.

Referências

- [1] J.D. Novak and D. Musonda, American Educational Research Journal **28**, 117 (1991).

- [2] J.D. Novak and A.J. Cañas, in: *Proceedings of the 4th International Conference on Concept Mapping*, Universidad de Chile, Santiago do Chile, v. 1, p. 1 (2010).
- [3] J.D. Novak and A.J. Cañas, *Information Visualization Journal* **5**, 175 (2006).
- [4] J.D. Novak, *Science Education* **86**, 548 (2002).
- [5] J.D. Novak, *Learning, Creating, and Using Knowledge: Concept Maps as Facilitative Tools in Schools and Corporations* (Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, 2010), 2a ed.
- [6] D.P. Ausubel, *The Acquisition and Retention of Knowledge: A Cognitive View* (Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2000).
- [7] M.A. Moreira, *Aprendizagem Significativa* (Editora da UnB, Brasília, 1998).
- [8] M.A. Moreira, *A Teoria da Aprendizagem Significativa e sua Implementação em Sala de Aula* (Editora da UnB, Brasília, 2006).
- [9] J.H. Wandersee, *Journal of Research in Science Teaching* **27**, 923 (1990).
- [10] J.D. Novak, *Journal of Research in Science Teaching* **27**, 937 (1990).
- [11] B.A. Beyerbach and J.M. Smith, *Journal of Research in Science Teaching* **27**, 961 (1990).
- [12] B. Moon, R.R. Hoffman, J.D. Novak and A.J. Cañas, *Applied Concept Mapping: Capturing, Analyzing, and Organizing Knowledge* (CRC Press, Boca Raton, 2011).
- [13] P.L. Torres and R.C.V. Marriott (eds), *Handbook of Research on Collaborative Learning Using Concept Mapping* (IGI Global, Hershey, 2009).
- [14] B.J. Daley, C.R. Shaw, T. Balistreri, K. Glasenapp and L. Piacentine, *Journal of Nursing Education* **38**, 42 (1999).
- [15] G. Maudsley and J. Strivens, *Medical Education* **34**, 535 (2000).
- [16] B.M. Mifflin, C.B. Campbell and D.A. Price, *Medical Education* **34**, 299 (2000).
- [17] M. Sharples, *Computers & Education* **34**, 177 (2000).
- [18] R.M. Epstein and E.M. Hundert, *Journal of the American Medical Association* **287**, 226 (2002).
- [19] S. Bolhuis, *Learning and Instruction* **13**, 327 (2003).
- [20] F.D. Duffy and E.S. Holmboe, *Journal of the American Medical Association* **296**, 1137 (2006).
- [21] T. Monahan, G. McArdle and M. Bertolotto, *Computers & Education* **50**, 1339 (2008).
- [22] Y. Yin, J. Vanides, M.A. Ruiz-Primo, C.C. Ayala and R.J. Shavelson, *Journal of Research in Science Teaching* **42**, 166 (2005).
- [23] F. Safayeni, N. Derbentseva and A.J. Cañas, *Journal of Research in Science Teaching* **42**, 741 (2005).
- [24] J.C. Nesbit and O.O. Adesope, *Review of Educational Research* **76**, 413 (2006).
- [25] T.S. Hilbert and A. Renkl, *Learning and Instruction* **12**, 213 (2007).
- [26] N. Derbentseva, F. Safayeni and A.J. Cañas, *Journal of Research in Science Teaching* **44**, 448 (2007).
- [27] V.O. Almeida e M.A. Moreira, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **30**, 4403 (2008).
- [28] D. Hay, I. Kinchin and S. Lygo-Baker, *Studies in Higher Education* **33**, 295 (2008).
- [29] P.R.M. Correia, A.C. Silva e J.G. Romano Jr, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **32**, 4402 (2010).
- [30] P.R.M. Correia, B.X. Valle, M. Dazzani and M.E. Infante-Malachias, *Journal of Cleaner Production* **18**, 678 (2010).
- [31] S.N. Silva Jr, J.G. Romano Jr and P.R.M. Correia, in: *Proceedings of the 4th International Conference on Concept Mapping*, Universidad de Chile, v. 1, p. 369 (2010).
- [32] J.G. Romano Jr and P.R.M. Correia, in: *Proceedings of the 4th International Conference on Concept Mapping*, Universidad de Chile, Santiago do Chile, v. 1, p. 49 (2010).
- [33] P.R.M. Correia, M.E. Infante-Malachias and C.E.C. Godoy, in: *Proceedings of the 3rd International Conference on Concept Mapping*, Ou Vali Press, Tallinn, v. 2, p. 414 (2008).
- [34] J.D. Karpicke and J.R. Blunt, *Science* **331**, 772 (2011).
- [35] P.R.M. Correia, *Analytical and Bioanalytical Chemistry* **402**, 1979 (2012).
- [36] D.R. Krathwohl, *Theory Into Practice* **41**, 212 (2002).
- [37] R.E. Mayer, *Theory Into Practice* **41**, 226 (2002).
- [38] I.M. Kinchin, D.B. Hay and A. Adams, *Educational Research* **42**, 43 (2000).
- [39] J. Fenger, *Atmospheric Environment* **43**, 13 (2009).
- [40] S. Ungar, *Public Understanding of Science* **9**, 297 (2000).
- [41] A.T. Mendes, *Meio Ambiente no Século XXI: 21 Especialistas Falam da Questão Ambiental as Suas Áreas de Conhecimento* (Sextante Rio de Janeiro, 2003).
- [42] http://www.metoffice.gov.uk/corporat2/pressoffice/2010/volcano/sat_animation/, Acessado em 20/4/11.
- [43] <http://www.nv1.noaa.gov/MediaDetail.php?MediaID=325&MediaTypeID=2>, Acessado em 29/11/11.
- [44] F.B. Viégas, M. Wattenberg and J. Feinberg, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* **15**, 1137 (2009).