



Reflexões sobre o uso de mapas conceituais
no Ensino Superior a partir da Teoria da Carga Cognitiva

Paulo Rogério Miranda Correia

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ARTES, CIÊNCIAS E HUMANIDADES

Reflexões sobre o uso de mapas conceituais
no Ensino Superior a partir da Teoria da Carga Cognitiva

Paulo Rogério Miranda Correia

São Paulo
Agosto | 2020

Tese apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para o concurso de Livre Docência, conforme Edital EACH/ ATAc 024/2020.

[Para Melissa e Julia](#)

*Full moon and empty arms,
The moon is there for us to share,
But where are you?
A night like this could weave a memory,
And every kiss could start a dream for two.*

*Full moon and empty arms,
Tonight I'll use the magic moon to wish upon,
And next full moon,
If my one wish comes true,
My empty arms will be filled with you.*

Para Tânia, Germano e Caio

*Ó mar salgado, quanto do teu sal
São lágrimas de Portugal!
Por te cruzarmos, quantas mães choraram,
Quantos filhos em vão rezaram!
Quantas noivas ficaram por casar
Para que fosses nosso, ó mar!*

*Valeu a pena? Tudo vale a pena
Se a alma não é pequena.
Quem quer passar além do Bojador
Tem que passar além da dor.
Deus ao mar o perigo e o abismo deu,
Mas nele é que espelhou o céu.*

Dedicatória

Essa tese é dedicada, na justa proporção, a todas as pessoas que, em algum momento da sua trajetória, confiaram na minha orientação e que acreditaram que ela contribuiu ou continua a contribuir de forma significativa para o seu crescimento. Todas elas, igualmente na justa proporção, também me fizeram crescer.

Agradecimentos

À Melissa e a Julia, por darem sentido a tudo.

A meus pais e irmão pelo amor e apoio concedidos de forma incondicional.

Aos familiares e amigos, que de uma forma ou de outra, estão aqui nessas páginas.

A meus orientandos, pessoas queridas que me ensinaram muito, a profunda gratidão pelo brilho nos olhos.

À Universidade de São Paulo, onde cresci e me preparei para a vida acadêmica.

À Escola de Artes, Ciências e Humanidades, espaço interdisciplinar onde encontrei a liberdade necessária para mudar meus interesses de pesquisa.

A meus professores, todos eles.

Às agências financiadoras que apoiaram as pesquisas que resultaram nessa tese.

Circunstâncias

O vazio e a tristeza causados pela pandemia de COVID-19.



*Imagens para não nos esquecermos das dificuldades vividas em 2020.
Fotos feitas por Luciano Piccoli,
responsável pela Assistência Técnica de Infraestrutura da EACH/USP.*

RESUMO

A visualização das transformações que as estruturas de conhecimento sofrem durante o processo de aprendizagem facilita as interações entre alunos e entre o professor e seus alunos. Os mapas conceituais, propostos por Joseph Novak, se apresentam como o melhor organizador gráfico para representar as relações conceituais presentes nos modelos mentais. Apesar disso, os mapas conceituais não são utilizados rotineiramente pelos professores que desejam estimular a aprendizagem significativa, em detrimento da memorização de fatos e informações isoladas. A literatura da área mostra que as crenças epistemológicas dos professores podem não estar alinhadas com a perspectiva construtivista oferecida pela elaboração de mapas conceituais. Soma-se a isso a necessidade dos professores seguirem um currículo conteudista, que supervaloriza a organização sequencial daquilo que os alunos supostamente devem aprender ao longo do tempo. Esses elementos configuram um contexto desfavorável à utilização sistemática dos mapas conceituais para estimular a aprendizagem significativa. O objetivo dessa tese é incluir o planejamento instrucional como um obstáculo adicional aqueles já descritos na literatura. Para isso, o panorama teórico que fundamenta o mapeamento conceitual precisa ser expandido para incluir novos argumentos que informam o ensino. A Teoria da Carga Cognitiva foi associada à Teoria da Aprendizagem Significativa para inserir a sobrecarga cognitiva como condição que impede a manipulação e a construção de esquemas conceituais, que são atividades mentais intimamente relacionadas com a aprendizagem significativa. Uma seleção de resultados de pesquisa foi interpretada à luz da Teoria da Carga Cognitiva para caracterizar a importância do planejamento instrucional para o uso consistente e rotineiro dos mapas conceituais. A expansão teórica apresentada nessa tese confirma a necessidade de valorizar o planejamento instrucional no processo de construção de arquiteturas pedagógicas que respondam adequadamente aos desafios formativos que a sociedade do conhecimento apresenta ao Ensino Superior.

ABSTRACT

Visualization of the transformations that knowledge structures undergo during the learning process facilitates interactions between students and between the teacher and his/her students. Concept maps, created by Joseph Novak, are the preferred graphic organizer to represent conceptual relationships present in mental models. Despite this favorable account, concept maps are not routinely used by teachers who wish to foster meaningful learning, instead of the memorization of isolated facts and information. The academic literature shows that teachers' epistemological beliefs may not be aligned with the constructivist perspective offered by the elaboration of concept maps. The need to follow a curriculum that overestimates the sequential organization of what students are supposed to learn over time is also an obstacle. In combination, these aspects form an unfavorable context for the systematic use of concept maps to foster meaningful learning. The purpose of this thesis is to include instructional design as an additional obstacle to those already described in the literature. The theoretical framework that underlies concept mapping needs to be expanded to include new arguments that inform the effects of instructional design on teaching. The Cognitive Load Theory was associated with the Assimilation Theory in Meaningful Learning and Retention Processes to insert cognitive overload as a condition that prevents the manipulation and construction of conceptual schemes, which are mental activities closely related to meaningful learning. A selection of research results was interpreted in light of the Cognitive Load Theory to characterize the importance of instructional design for the consistent and routine use of concept maps. The theoretical expansion presented in this thesis confirms the need to value instructional design in the process of building pedagogical architectures that adequately respond to the challenges that the knowledge societies present to Higher Education.

Sumário

Dedicatória	4
Agradecimentos.....	5
Circunstâncias.....	6
RESUMO.....	7
ABSTRACT	8
APRESENTAÇÃO.....	12
PARTE 1 A APRENDIZAGEM E OS MAPAS CONCEITUAIS.....	16
Capítulo 1 Os desafios do Ensino Superior.....	17
1.1 Os desafios num cenário de rápidas mudanças.....	17
1.2 As mudanças que ocorrem durante a aprendizagem.....	21
Capítulo 2 Os mapas conceituais.....	23
2.1 Um breve histórico dos mapas conceituais.....	23
2.2 Os mapas conceituais.....	26
2.3 A literatura da área e uma possibilidade de investigação	33
2.4 A inquietação que gerou o objetivo da tese	37
2.5 Pergunta de pesquisa	40
Capítulo 3 Fundamentos teóricos do mapeamento conceitual.....	41
3.1 A Teoria da Aprendizagem Significativa	41
3.1.1 Joseph Novak expande a aprendizagem significativa	42
3.1.2 A aprendizagem significativa crítica de Moreira	46
3.2 A Teoria da Carga Cognitiva.....	49
3.2.1 O processamento da informação pela memória.....	50
3.2.2 As cargas cognitivas impostas à memória de trabalho.....	55
3.2.3 A importância do planejamento instrucional.....	58
3.2.4 Interfaces com a Teoria Ausubeliana	61
3.2.5 Atividades baseadas em mapas conceituais	63
PARTE 2 RESULTADOS DE PESQUISAS.....	65
Capítulo 4 O treinamento na técnica de mapeamento conceitual.....	68
4.1 O que a análise estrutural diz sobre a proficiência na técnica?.....	68
4.2 A análise estrutural de mapas conceituais.....	69
4.2.1 A proficiência do mapeador e a morfologia do mapa conceitual.....	70
4.2.2 Procedimentos de coleta de dados.....	72
4.2.3 Procedimentos de análise de dados.....	73
4.2.4 A correlação entre os parâmetros estruturais dos mapas conceituais	74
4.2.5 Os padrões estruturais dos mapas conceituais	75

	10
4.2.6 A modificação dos padrões estruturais ao longo da disciplina	76
4.2.7 Casos mais frequentes ilustrados a partir de mapas feitos pelos alunos	78
4.2.8 Casos especiais ilustrados a partir de mapas feitos pelos alunos	80
4.2.9 Limitações e perspectivas da análise estrutural	82
4.3 Perspectivas didáticas para o treinamento na técnica	83
4.3.1 A importância da proficiência na técnica de mapeamento conceitual	83
4.3.2 O primeiro curso online aberto e massivo sobre mapeamento conceitual	84
4.3.3 Automatização da análise estrutural dos mapas conceituais	88
4.3.4 As limitações da análise estrutural	91
Capítulo 5 Mapas individuais avaliados pelo professor	93
5.1 A importância da forma e do conteúdo	93
5.2 O que revelam os mapas dos meus alunos?	94
5.2.1 Procedimentos de coleta de dados	97
5.2.2 Procedimentos de análise de dados	99
5.2.3 A análise do questionário	102
5.2.4 A análise dos mapas conceituais	103
5.2.5 Casos de destaque ilustrados a partir de mapas feitos pelos alunos	106
5.3 Perspectivas didáticas para a avaliação da aprendizagem	110
Capítulo 6 Elaboração colaborativa de mapas conceituais	111
6.1 Mapeando colaborativamente temas amplos	111
6.2 Utilizando modelos de conhecimento para mapear temas amplos	112
6.2.1 Mapas conceituais e modelos de conhecimento	113
6.2.2 Aprendizagem colaborativa com mapas conceituais: aportes teóricos	116
6.2.3 Construção do conhecimento colaborativo como modelo de colaboração	118
6.2.4 Procedimentos de coleta e análise de dados	122
6.2.5 Resultados e discussão	126
6.2.6 Conclusões a partir dos resultados apresentados	132
Capítulo 7 Materiais de estudo feitos com mapas conceituais	133
7.1 O professor como mapeador	133
7.2 A utilização de dicas gráficas nos mapas conceituais feitos pelo professor	134
7.2.1 Procedimentos de coleta de dados	134
7.2.2 Procedimentos de análise de dados	140
7.2.3 Eficiência da instrução com mapas conceituais e o conhecimento factual	144
7.2.4 Respostas às questões dissertativas e o conhecimento conceitual	148
7.2.5 Conclusões a partir dos resultados apresentados	150
Capítulo 8 Mapas com erros na avaliação	152

	11
8.1 A avaliação usando mapas conceituais feitos pelo professor	152
8.2 Atividades baseadas nos mapas conceituais com erros.....	153
8.2.1 Procedimentos de coleta de dados.....	155
8.2.2 Análise do desempenho dos alunos nos testes de múltipla escolha	162
8.2.3 Comparação entre as condições experimentais.....	164
8.2.4 Percepções dos alunos quanto ao uso das devolutivas no reestudo dirigido.	166
8.2.5 Conclusões a partir dos resultados apresentados.....	168
Capítulo 9 Considerações finais.....	169
9.1 Por que não estamos todos usando os mapas conceituais?.....	169
9.2 Quem deve ser o mapeador?.....	170
9.2.1 Diversificação das atividades baseadas no mapa do professor	171
9.3 Limitações do trabalho desenvolvido até o momento.....	175
9.4 Perspectivas futuras.....	176
REFERÊNCIAS	178

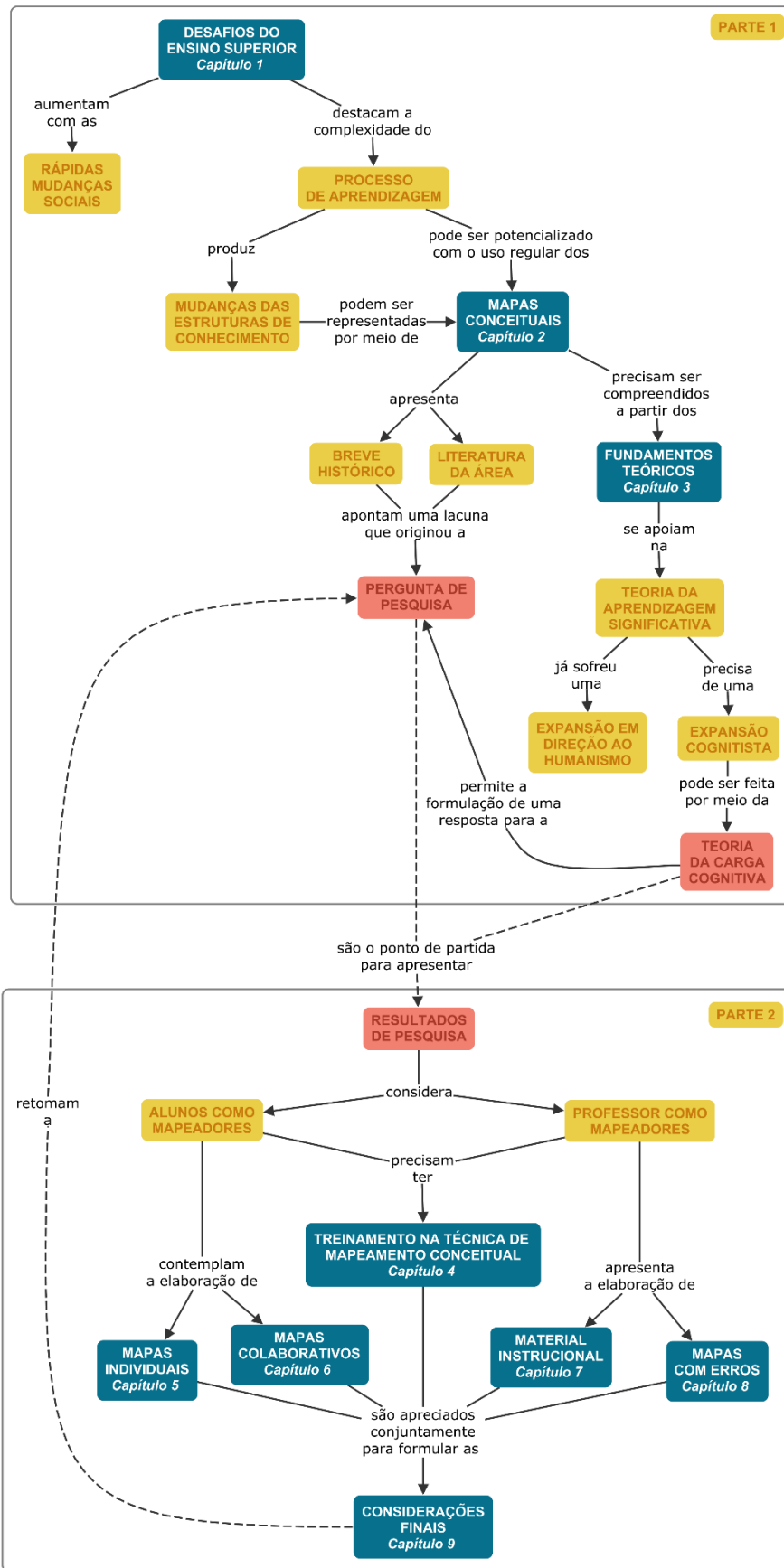
APRESENTAÇÃO

Essa tese de livre docência consolida meus 15 anos como docente da Escola de Artes, Ciências e Humanidades (EACH-USP). Marcarda por ser uma unidade inovadora, transformadora, plural e interdisciplinar, a EACH-USP¹ foi o espaço ideal para que eu deixasse de ser Químico Analítico e enveredasse pelo campo educacional. Tal mudança requer a superação do vale que separa as duas culturas acadêmicas descritas por C. P. Snow: as ciências naturais e as humanidades estão separadas por um vale e comunicam muito menos do que seria desejável para compreender os complexos problemas da sociedade contemporânea.

Construí uma ponte para cruzar o vale e chegar às Humanidades. O percurso foi sinuoso e cheio de descobertas inesperadas. A análise retrospectiva imposta pela elaboração dessa tese foi um momento de reflexão sobre várias paradas importantes dessa viagem. Sem dúvida o reencontro com os mapas conceituais, que me foram apresentados rapidamente durante as aulas da licenciatura, foi o momento mais decisivo. Identifiquei a oportunidade de criar um grupo de pesquisa dedicado à técnica de mapeamento conceitual e investigar a sua utilização como uma forma de representar a informação e o conhecimento. Essa ênfase nos mapas raramente é alcançada por pesquisadores que tem seus interesses principais associados a outros temas de investigação, tais como o ensino de ciência, a avaliação da aprendizagem e a formação de professores. Nessas situações, os mapas conceituais aparecem como coadjuvantes e não são tomados como objetos de pesquisa.

O esforço feito para compreender melhor o mapeamento conceitual está consolidado nas páginas a seguir. O texto, organizado em duas partes e nove capítulos defende a utilização da Teoria da Carga Cognitiva (TCC) para desvendar os obstáculos que impedem a ampla disseminação dos mapas conceituais nos ambientes de aprendizagem. Ela oferece elementos teóricos indispensáveis para incluir aspectos instrucionais aos obstáculos já caracterizados na literatura (Kinchin, 2001). O mapa conceitual apresentado a seguir revela a estrutura geral do texto para que o leitor tenha uma expectativa mais precisa das minhas pretensões. A Parte 1 insere a tese no contexto da aprendizagem no Ensino Superior (Capítulo 1), destacando o complexo sistema de atores que interferem direta ou indiretamente no processo de ensino-aprendizagem.

¹ [Clique aqui](#) e veja o vídeo institucional comemorativo dos 15 anos da EACH-USP.



Um mapa conceitual para representar a organização geral do texto da tese. Os capítulos (azul) se distribuem em duas partes que se relacionam por meio das setas tracejadas (conceitos vermelhos).

O Capítulo 2 apresenta os principais eventos associados à criação e disseminação dos mapas conceituais. Uma revisão da literatura complementa essa perspectiva histórica e alguns trabalhos especialmente importantes são selecionados para caracterizar a pergunta de pesquisa que orientou a formulação dessa tese.

A Teoria da Aprendizagem Significativa, proposta por David Ausubel, influenciou Joseph Novak na criação dos mapas conceituais. Com viés cognitivista, essa teoria ainda hoje mostra seu valor para interpretar os processos internos subjacentes à aprendizagem. As ideias originais de Ausubel foram expandidas em direção ao Humanismo por Novak e Moreira ao proporem o construtivismo humano e a aprendizagem significativa crítica, respectivamente. O Capítulo 3 mostra esses aportes e inclui uma expansão adicional em direção à TCC. Essa ampliação teórica é uma contribuição original dessa tese, sobretudo ao aplicá-la para explicar os resultados das pesquisas que utilizam os mapas conceituais em sala de aula.

A Parte 2 da tese foi organizada considerando que alunos e professores podem (e devem) elaborar mapas conceituais. As expectativas que cercam o uso dos mapas somente se confirmam quando os alunos são treinados na técnica de mapeamento conceitual. Esse aspecto, negligenciado por muitos professores e pesquisadores, é um obstáculo à elaboração de bons mapas conceituais, *i.e.*, mapas que representam de forma fidedigna as estruturas conceituais existentes nos modelos mentais. Eles precisam mostrar o que o mapeador sabe, as relações conceituais inadequadas e as incompletudes que podem ser objeto das próximas etapas do processo de aprendizagem. A ausência de um treinamento sistemático leva a mapas ruins, que tem pouca utilidade para informar o professor sobre o entendimento que o aluno tem sobre o tema de estudo. O Capítulo 4 apresenta resultados de pesquisa que relacionam a proficiência do mapeador com a estrutura da rede proposicional, confirmando os efeitos positivos de um treinamento sistemático sobre os fundamentos dos mapas conceituais. O primeiro curso online aberto e massivo sobre mapas conceituais foi desenvolvido a partir desses resultados, no âmbito da parceria entre USP e Coursera.

O Capítulo 5 discute como os mapas individuais de alunos podem ser úteis para caracterizar o nível de entendimento que eles possuem sobre o tema de estudo. A identificação de grupos de alunos com dificuldades similares facilita a formulação de devolutivas por parte do professor.

O Capítulo 6 apresenta uma experiência colaborativa para desenvolver um modelo de conhecimento, que é um hipertexto contendo vários mapas conceituais e recursos

digitais associados. As relações entre seis disciplinas oferecidas pela EACH-USP foram explicitadas a partir da perspectiva dos alunos, que identificaram o conceito “*sociedade*” como principal eixo articulador das referidas disciplinas.

O professor pode elaborar seus mapas conceituais para utilizá-lo como material de estudo. Nesse caso, é importante evitar a desorientação que estruturas em rede podem ocasionar, visto que o leitor precisa escolher o sentido de leitura. O Capítulo 7 mostra o efeito do uso de dicas gráficas para reduzir a desorientação dos alunos. A utilização de cores, como eu fiz no mapa que apresenta a organização geral da tese, reduziu a desorientação e aumentou a eficiência instrucional do material de estudo. Esse aprimoramento instrucional no uso dos mapas somente ocorreu por conta dos conceitos aportados pela TCC.

Os mapas conceituais com erros são apresentados no Capítulo 8 como uma forma inovadora de utilizar os mapas do professor no processo de aprendizagem. Os erros são incluídos intencionalmente no mapa para que os alunos identifiquem e expliquem aquilo que não está de acordo com o conhecimento de referência. Somente os alunos que compreenderam as relações conceituais do tema serão capazes de cumprir essa tarefa. Os resultados mostram que os mapas com erros devem ser mais um instrumento avaliativo do repertório metodológico dos professores.

As considerações finais do Capítulo 9 retomam à pergunta de pesquisa a partir dos resultados apresentados na Parte 2. O valor da TCC como forma de expandir o arcabouço original do mapeamento conceitual se confirma e mostra como é importante considerar o planejamento instrucional para que os mapas conceituais sejam utilizados de forma rotineira e consistente nos ambientes de aprendizagem.

Espero que o leitor aproveite as páginas seguintes para refletir sobre algumas questões teóricas e práticas que envolvem o uso do mapeamento conceitual no Ensino Superior.

PARTE 1 | A APRENDIZAGEM E OS MAPAS CONCEITUAIS

Há um dom acima de todos os outros que torna o homem único entre os animais [...] o imenso prazer de exercer e aprimorar a sua habilidade [...] A descoberta é uma dupla relação de análise e síntese juntas. Como análise, ela sonda à procura do que já existe [...] Como síntese, une as partes de maneira que a mente criativa transcenda o esqueleto simples fornecido pela natureza.

Jacob Bronowski

Capítulo 1 | Os desafios do Ensino Superior

1.1 Os desafios num cenário de rápidas mudanças

O sistema de ensino superior está se reinventando. Atualmente, ele opera numa sociedade forjada a partir da explosão do conhecimento e do desenvolvimento das tecnologias da informação e comunicação. A sociedade do conhecimento emerge como resultado das transformações iniciadas na metade final do século XX, que tornaram obsoletos os paradigmas da sociedade industrial (Friedman, 2007).

Enquanto a sociedade industrial era baseada no trabalho e fabricação de bens, a sociedade do conhecimento está centrada na criatividade e na produção de serviços na forma de símbolos, informações, valores e estética (De Masi, 2001). O poder na sociedade industrial dependia da posse de recursos de fabricação (por exemplo, fábricas). Por outro lado, o poder na sociedade do conhecimento depende da posse de recursos de ideação, como laboratórios de pesquisa e informações (por exemplo, meios de comunicação em massa). Espaço e tempo ganharam novos significados no mundo contemporâneo como decorrência da globalização. A crescente importância da ciência, da tecnologia e da inovação demanda novas formas de criar e disseminar o conhecimento.

Aprender a aprender e aprender por toda a vida são essenciais para que os egressos do Ensino Superior exerçam de forma competente e responsável suas funções na sociedade. A universidade que funcionou adequadamente na sociedade industrial não atende a essas demandas, o que justifica buscar novos caminhos (UNESCO, 2005). As instituições de ensino superior estão desafiadas a propor soluções para formar cidadãos e profissionais que sejam capazes de não só de aplicar tecnicamente o conhecimento específico, mas também de criar soluções inovadoras que respondam a problemas presentes e futuros numa sociedade cada vez mais complexa.

Os novos desafios apresentados pela sociedade do conhecimento são consequências do desenvolvimento científico-tecnológico e da globalização. Máquinas e sistemas automatizados podem realizar tarefas repetitivas, rotineiras e brutas com maior eficiência do que os seres humanos. Portanto, os atributos da força de trabalho do século XXI são diferentes daqueles que foram vigentes durante a sociedade industrial. Uma revisão do sistema educacional está ocorrendo para atender às novas demandas do mercado de trabalho e preparar cidadãos capazes de lidar com as rápidas mudanças de cenário que acontecem na contemporaneidade.

As expectativas sociais relacionadas ao Ensino Superior diferem daquelas depositadas sobre a educação básica. Além da idade e da formação dos alunos, o Ensino Superior está envolvido com a produção de novos conhecimentos que podem ter impactos transformadores na cultura, na economia e na política. A Educação Superior ocorre lado a lado com a produção de conhecimentos, o que aumenta a importância das universidades na sociedade do conhecimento.

Institutions of higher education are destined to play a fundamental role in knowledge societies, based on radical changes in the traditional patterns of knowledge production, diffusion and application. Over the past 50 years, these institutions – modelled for the most part on the European university – have experienced an explosive growth in student numbers, described by some as a “massification” of higher education. (UNESCO, 2005, p. 87)

A intensificação da produção de conhecimentos amplia as possibilidades de ação na sociedade contemporânea. Por esse motivo, a democratização do acesso às fontes de produção e disseminação do conhecimento é um elemento decisivo para combater desigualdades culturais, sociais e econômicas.

In the emerging knowledge societies, exponential growth in the quantity of knowledge produces a growing gap between those who have access to knowledge and culture, and learn to master them, and those who are deprived of such access. (UNESCO, 2005, p. 96)

Além do conhecimento que os sujeitos possuem, o acesso às recentes tecnologias de informação e comunicação é outro aspecto que pode acentuar diferenças entre pessoas e países. A Internet exerce uma importância sem precedentes no processo de produção e disseminação do conhecimento. Não ter acesso a esse repositório de informação e ao Ensino Superior são formas de exclusão na sociedade do conhecimento. A democratização do acesso precisa ser discutida nesses termos, a fim de oferecer condições iguais a todos os cidadãos de participar criticamente das decisões que impactam a vida cotidiana e os rumos da sociedade.

As circunstâncias impostas pela pandemia de COVID-19 motivaram a aceleração do uso de ambientes virtuais de aprendizagem, como forma de reduzir os impactos causados pelo isolamento social. As questões de acesso formam parte do desafio, visto que professores e alunos tiveram que se adaptar rapidamente a um contexto novo e

desafiador. O processo de ensino-aprendizagem foi transformado durante as aulas, sem tempo para maiores reflexões sobre as melhores saídas para lidar com a pandemia.

A aprendizagem é o evento central de todo o sistema educacional. As interações entre professor e alunos traduzem em efeitos concretos os planos, desejos e ideais previstos por governantes, especialistas e gestores que fazem parte de um amplo e complexo sistema. A Figura 1.1 apresenta uma descrição esquemática das relações de interferência mútua entre os principais atores do sistema educacional. A aprendizagem ocorre por conta/apesar de atores que não participam diretamente do processo de ensino, condicionando as possibilidades de trabalho que professores e alunos dispõem para agir concretamente na realidade.

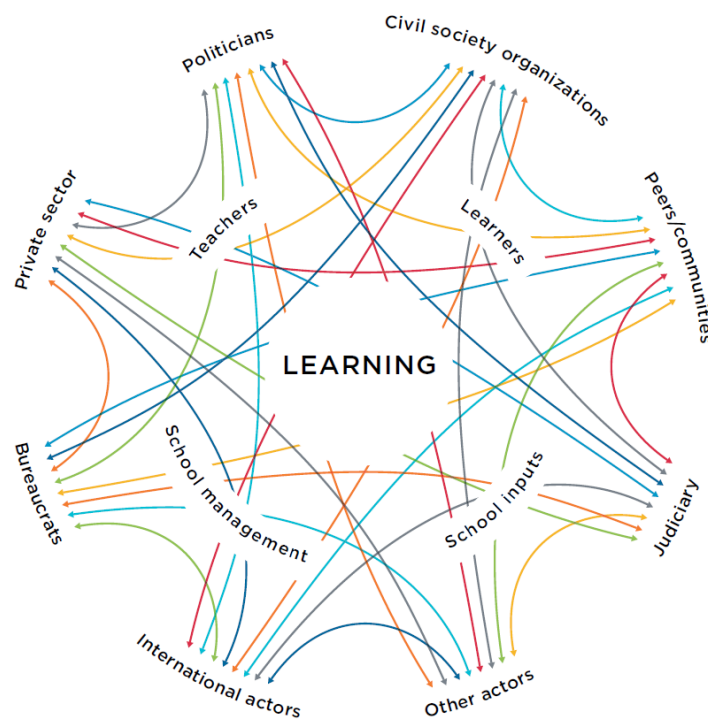


Figura 1.1. É mais complicado do que parece: as pessoas agem em relação às escolhas dos outros através do sistema. Fonte: BANCO MUNDIAL, 2018, p. 21.

Em contraste com as profundas mudanças sociais que marcaram a transição para a sociedade do conhecimento, a maioria das escolas não mudou e a educação concebida para atender à sociedade industrial ainda é predominante. Elas se assemelham a uma fábrica industrial com salas de aulas iguais, nas quais os professores apresentam um discurso padronizado, na expectativa de que todos os alunos respondam às mesmas questões da mesma forma (Menezes, 2000). Tal padronização, uma das principais marcas da sociedade industrial, afetou o sistema educacional, resultando em apenas um modelo para satisfazer as diversas expectativas de professores e alunos. Mais do que isso, esse modelo não atende às demandas formativas da sociedade do conhecimento. Esse

descompasso é bem caracterizado por Joseph Novak, responsável pela criação dos mapas conceituais

Education should lead to a constructive change in a person's ability to cope with experience... Too many students at the school and tertiary level are swimming in a sea of meaninglessness when they should be helped to grasp the meanings of what they are studying and experience the satisfaction and motivation that come with this. (Novak, 2010, p. 38)

Além transmitir o conhecimento conceitual e procedimental das mais diferentes áreas, a educação contemporânea requer o desenvolvimento de habilidades relacionadas à aprendizagem por toda a vida, ao trabalho em grupo e ao pensamento criativo. A combinação dessas habilidades cognitivas e comunicacionais com a confiança, que se relaciona com os aspectos emocionais, estimula o engrandecimento dos alunos nos ambientes de aprendizagem. Qualquer mudança metodológica nas atividades de ensino com vistas a atender às necessidades da sociedade do conhecimento deve privilegiar o estabelecimento de um ambiente colaborativo e engrandecedor. A lição mais importante a ser ensinada aos alunos é aprender a aprender (Novak, 1984).

A Figura 1.2 apresenta uma representação esquemática dos elementos principais de qualquer arquitetura pedagógica que pretende responder às demandas da sociedade do conhecimento. A autoavaliação, a motivação, a criatividade, e a metacognição são os blocos pedagógicos que formam os pilares dessa arquitetura: aprendizagem por toda a vida (metacognição + autoavaliação), confiança (autoavaliação + motivação), trabalho em grupo (motivação + criatividade) e pensamento criativo (criatividade + metacognição). A combinação desses elementos resulta num ambiente colaborativo e engrandecedor que se estabelece pelas interações entre os alunos e entre o professor e seus alunos.

Ainda que seja relativamente fácil apontar as mudanças que precisam ser feitas na educação, os seus possíveis efeitos podem ser ameaçadores. Novak aponta que o engrandecimento dos cidadãos (alunos) é arriscado.

This empowers the learner to become autonomous and in charge of his or her destiny. Needless to say, education for empowerment is often a risky business. It also tends to threaten the status quo. Too often in schools and other organizations, people and/or ideas that are innovative are threatening, resulting in a coalescence of forces to quiet or remove the threat. (Novak, 2010, p. 39)

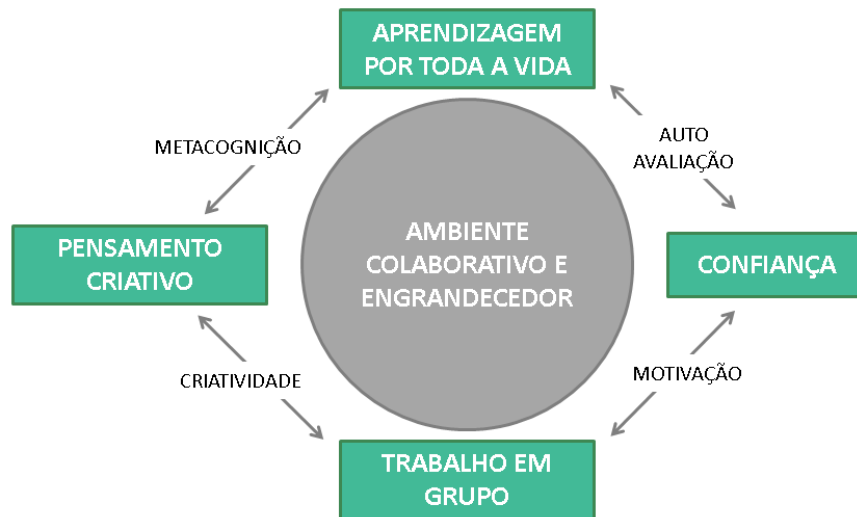


Figura 1.2. Principais características dos ambientes de aprendizagem da sociedade do conhecimento (verde) com os elementos pedagógicos associados (setas).

1.2 As mudanças que ocorrem durante a aprendizagem

Uma das formas de explicar o processo de ensino-aprendizagem é a utilização de um modelo baseado nas mudanças de estrutura de conhecimento em dois ciclos possíveis, que remetem à aprendizagem superficial e profunda (Figura 1.3).

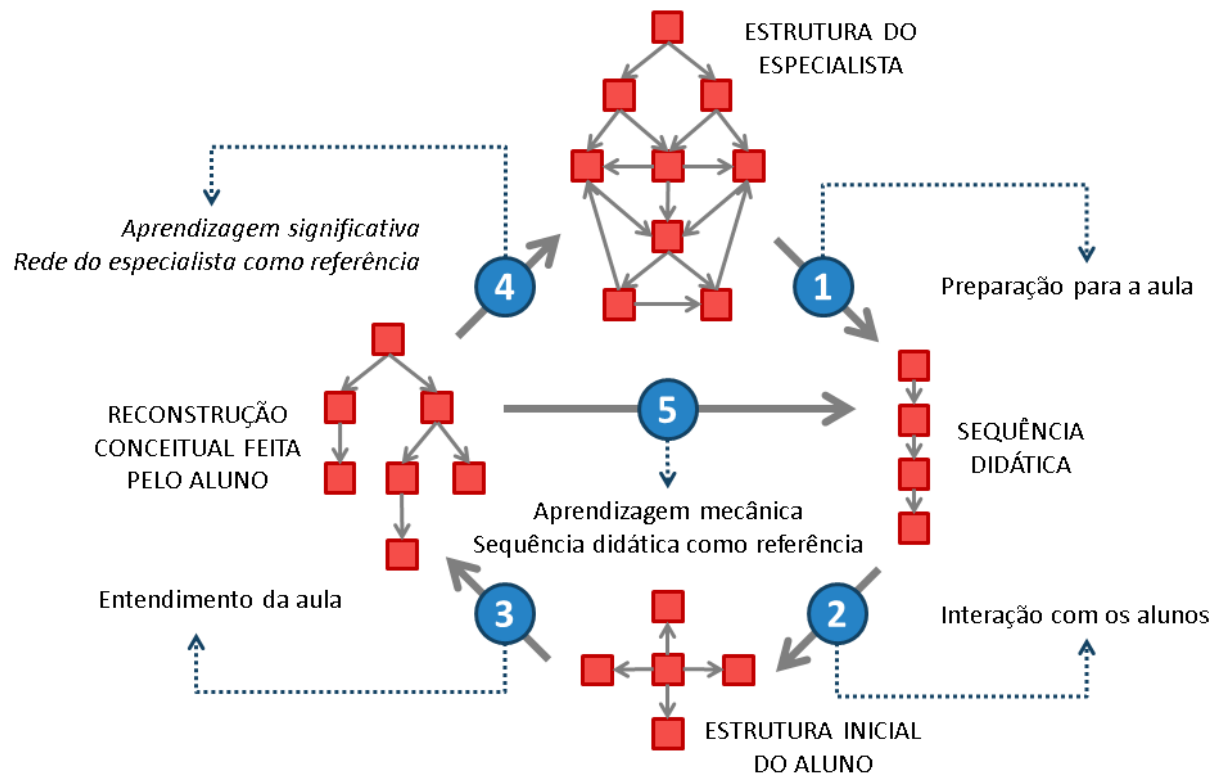


Figura 1.3. Ciclos de aprendizagem significativa e mecânica descritos a partir das transformações da estrutura do conhecimento. As setas 1-3 indicam transformações no conhecimento. As setas 4-5 se relacionam com a avaliação da aprendizagem que tem como referência a rede do especialista e a sequência didática, respectivamente. Destaca-se a aprendizagem mecânica como um atalho do ciclo da aprendizagem significativa.

A primeira transformação do conhecimento acontece quando o professor, utilizando sua rede de conhecimento, prepara sua aula a partir da seleção dos conceitos a serem abordados (1 na Figura 1.3). O encadeamento conceitual obtido reflete uma estratégia orientada à consecução de um objetivo, qual seja, o de facilitar o aprendizado dos alunos. Iniciantes no tema de estudo, os alunos apresentam uma estrutura conceitual tipicamente radial. A realização das aulas permite a interação entre os conhecimentos dos alunos com a sequência didática elaborada pelo professor (2 na Figura 1.3). A partir do entendimento da aula, os alunos podem reconstruir suas estruturas conceituais (3 na Figura 1.3) para que, progressivamente, comecem a emergir o conhecimento especializado. Dois tipos de aprendizagem podem ocorrer durante esse processo, de acordo com as devolutivas oferecidas pelo professor. Se, durante o processo de avaliação da aprendizagem, o professor adotar como referência a sequência didática (estrutura linear), a aprendizagem mecânica será favorecida (5 na Figura 1.3) porque os alunos não têm acesso à estrutura de conhecimento do especialista: a interação professor-aluno se mantém a partir da sequência didática, que é uma versão parcial e simplificada do conhecimento especializado. Se, por outro lado, o professor utilizar como referência a sua rede de conhecimentos, a aprendizagem significativa será favorecida. Nesse caso, a regulação do processo de ensino-aprendizagem extrapola a organização conceitual das aulas e explora o entendimento do especialista (4 na Figura 1.3). A interação professor-aluno se mantém a partir da complexidade do conhecimento do especialista, criando oportunidades para que os iniciantes alcancem tal patamar mais avançado durante o decorrer da disciplina.

Os mapas conceituais tornam visíveis essas estruturas de conhecimento, bem como a sua transformação ao longo do tempo. Com isso, o professor é capaz de interagir com seus alunos, considerando o atual nível de entendimento que eles têm sobre os temas de estudo. Essa regulação da aprendizagem, por meio de devolutivas precisas e constantes, é importante para sustentar a opção dos alunos pela aprendizagem significativa ao longo durante todas as aulas.

A possibilidade de visualizar a construção do conhecimento, potencializar a aprendizagem significativa e fornecer devolutivas precisas e frequentes são os argumentos que mostram como os mapas conceituais podem contribuir com a construção de arquiteturas pedagógicas (Figura 1.2) compatíveis com as demandas da sociedade do conhecimento.

Capítulo 2 | Os mapas conceituais

2.1 Um breve histórico dos mapas conceituais

Essa seção apresenta alguns dos principais eventos do desenvolvimento dos mapas conceituais no mundo e no Brasil (Figura 2.1). Torna-se importante destacar que a técnica de mapeamento conceitual, na iminência de completar 50 anos, já é conhecida mundialmente com um grande poder de penetração nos currículos escolares de vários países. Merece destaque o fato dos mapas conceituais apresentarem uma sólida fundamentação teórica, a partir da contribuição que Ausubel fez para compreender a aprendizagem por meio da Teoria da Assimilação através da Aprendizagem e da Retenção Significativas². Essa vinculação teórica dá consistência à utilização dos mapas conceituais no âmbito do processo de ensino-aprendizagem. Ao longo do tempo, o mapeamento conceitual extrapolou suas origens Ausubelianas para ser explorado a partir de outras teorias de aprendizagem³.

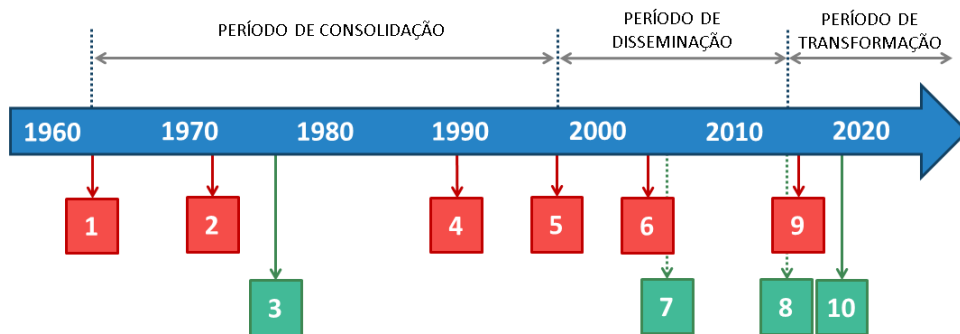


Figura 2.1. Principais eventos do desenvolvimento do mapeamento conceitual no mundo (vermelho) e no Brasil (verde). **(1)** 1963: Formulação da Teoria da Aprendizagem Significativa por David Ausubel. **(2)** 1972: Criação dos mapas conceituais por Joseph Novak. **(3)** 1977: Doutorado do Professor Marco Antônio Moreira, orientado por Joseph Novak na Universidade de Cornell. **(4)** 1990: Lançamento de um número especial do *Journal of Research in Science Teaching* sobre o mapeamento conceitual. **(5)** 1997: Lançamento do programa CmapTools, desenvolvido pela equipe do Florida Institute of Human and Machine Cognition, liderada por Alberto Cañas e Joseph Novak. **(6)** 2004: Primeira conferência internacional sobre mapeamento conceitual, realizada em Pamplona (Espanha). **(7)** 2005: Primeiro Encontro Nacional de Aprendizagem Significativa, realizado em Campo Grande/MS. **(8)** 2014: Sexta conferência internacional sobre mapeamento conceitual, realizada em Santos/SP. **(9)** 2016: Utilização dos mapas conceituais para além do processo de ensino-aprendizagem por Ian Kinchin. **(10)** 2019: Lançamento do primeiro MOOC sobre mapas conceituais por meio da parceria USP-Coursera.

² A Teoria da Aprendizagem Significativa é uma forma mais curta para se referir às contribuições de David Ausubel.

³ A principal vinculação teórica entre a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel e os mapas conceituais de Novak tem caráter epistemológico. Ambos concordam que o conhecimento é formado por proposições organizadas hierarquicamente. A possível relação entre os mapas conceituais e a aprendizagem significativa não é a justificativa dessa vinculação teórica, ainda que a maioria das pessoas faça isso. O uso dos mapas conceituais associados a outras teorias de aprendizagem é desejável e não compromete a vinculação teórica epistemológica que marcou a criação da técnica de mapeamento conceitual.

Na década de 1960, o grupo de pesquisa liderado pelo Professor Joseph Novak⁴ investigava o processo de aprendizagem de crianças sobre conceitos de ciências. Esse estudo longitudinal acompanhou os alunos por um período de 12 anos, avaliando as alterações da compreensão conceitual que ocorriam com os mesmos (Novak e Musonda, 1991). Entretanto, devido à grande quantidade de informações geradas pelo estudo, foi necessário desenvolver um método rápido para sistematizar a contínua reconstrução conceitual dos alunos (Novak e Cañas, 2006). A partir desse contexto, o mapa conceitual foi criado como uma ferramenta de auxílio à pesquisa em 1972 (Figura 2.1).

Novak utilizou a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel para fundamentar a ideia do mapeamento conceitual como representação dos modelos mentais dos alunos. A ideia central é que a aprendizagem de novos conceitos de forma significativa, ou seja, de forma não-arbitrária e não-literal, precisa ser feita pela conexão com algum conceito já aprendido anteriormente, denominado subsunçor (Novak, 2010). O mapeamento conceitual é uma forma de representação de como os novos conceitos se ligam com conceitos já conhecidos, mostrando se essas relações construídas estão sendo feitas conforme o conhecimento científico que serve de referência.

Vendo as potencialidades de uma ferramenta para a representação dos modelos mentais dos alunos, Novak aprimora seu uso para ser utilizado como uma ferramenta metacognitiva⁵. O Professor Novak desenvolve um curso na Universidade de Cornell sobre metaprendizagem e passa a apresentar a técnica de mapeamento conceitual para o estudo de diferentes conteúdos. Em 1984, Joseph Novak aprimora o curso e, junto com D. Bob Gowin, publica o livro *Lerning how to Learn* que apresenta o V de Gowin além do mapa conceitual (Novak e Gowin, 1984).

Aluno de doutorado sob a orientação de Novak, o Professor Marco Antônio Moreira participou do grupo de pesquisa na época de criação e desenvolvimento da técnica. Ele voltou ao Brasil e disseminou o uso dos mapas conceituais e da teoria Ausubeliana no nosso país (Figura 2.1). Moreira, formado em Física e pesquisador na área de ensino de ciências, publicou vários artigos e livros tratando da técnica em língua portuguesa, ajudando a consolidar o mapeamento conceitual como uma das ferramentas no ensino de ciências (*e.g.*, Moreira, 1999, 2006, 2011).

⁴ [Clique aqui](#) para acessar a autobiografia de Joseph Novak, conteúdo imperdível para quem quer conhecer melhor a história do criador dos mapas conceituais.

⁵ A metacognição é um campo de estudos relacionado à consciência e ao automonitoramento do ato cognitivo. Ela consiste na capacidade de monitorar e autorregular os próprios processos cognitivos.

Em 1987, Joseph Novak vai trabalhar no *Florida Institute for Human and Machine Cognition* (IHMC) para desenvolver o programa CmapTools⁶, que se tornou o principal programa computacional para o desenvolvimento de mapas conceituais (Novak e Cañas, 2006). O CmapTools tem como características a simplicidade e acessibilidade que ajudaram ainda mais na popularização da técnica (Figura 2.2). O desenvolvimento de um programa dedicado à elaboração de mapas digitais pode ser considerado como o fato responsável pela ampliação das possibilidades de uso do mapeamento conceitual.

O CmapTools é desenvolvido até hoje pelo IHMC. O aumento do acesso à Internet e a possibilidade de utilizar o CmapTools gratuitamente potencializaram o uso dos mapas conceituais para finalidades que extrapolam os interesses educacionais. Além da possibilidade de revisar os mapas digitais com maior facilidade, a colaboração síncrona e assíncrona tornou-se uma realidade e o mapeamento conceitual passou a ser utilizado no ambiente corporativo, como forma de representar, compartilhar e preservar informações relevantes (Coffey, Hoffman e Cañas, 2006; Moon et al., 2011; Novak, 2010).

A partir de 2004, começam a ser realizadas as Conferências sobre Mapeamento Conceitual⁷. A primeira edição foi sediada na cidade de Pamplona (Espanha) e a partir de então se tornou um evento internacional de periodicidade bienal que agrega os principais pesquisadores da área (Figura 2.1).

A sexta edição da conferência foi realizada em 2014 na cidade de Santos com a chancela da USP. A organização do evento foi feita pelo nosso grupo de pesquisa, em parceria com o IHMC. Esse evento foi de grande importância para a comunidade de mapeadores do Brasil, pois facilitou o diálogo entre os pesquisadores nacionais com as maiores referências da área. Além disso, foi a única das conferências que teve o português como uma das línguas oficiais, o que potencializou a participação do público nacional.

Pode-se perceber que o desenvolvimento do mapeamento conceitual tem características peculiares uma vez que esteve fortemente associado a uma teoria de aprendizagem, a um pesquisador e a um programa computacional. Os mapas conceituais vêm se disseminando com o passar dos anos, podendo ser utilizados em qualquer área do conhecimento. Mesmo assim, Novak e Cañas (2010) deixaram um convite em aberto na plenária de abertura da 4ª Conferência Internacional sobre Mapeamento Conceitual, em Viña del Mar. Eles reconhecem que ainda há muito esforço a ser feito para ampliar o número de pessoas que pode se beneficiar com os mapas conceituais.

⁶ [Clique aqui](#) para acessar o site do CmapTools e o CmapCloud, a versão na nuvem do programa de elaboração de mapas conceituais.

⁷ [Clique aqui](#) para acessar o site com informações das conferências sobre mapeamento conceitual.

Considering the humble beginnings for the use of this tool to monitor changes in children's understanding of basic science concepts to the many application we report here, one could conclude that great progress has been made. However, when one looks at all the human activities that deal with knowledge that could benefit from the use of this tool, the percentage of the world population employing the tools is small. There is much work to be done to "spread the word" and we invite all readers to join in this effort. (Novak e Cañas, 2010, p. 7)

Atualmente, é possível identificar que os mapas conceituais extrapolaram as suas origens teóricas, visto que eles são aplicados a partir de outras teorias de aprendizagem. Recentemente, eles passaram a ser explorados em áreas educacionais que vão além do processo de ensino-aprendizagem, iniciando o período de transformação. Kinchin (2016) mostra como os mapas conceituais podem ser úteis para desafiar o discurso dominante na área educacional, se eles forem utilizados a partir de teorias contemporâneas da Psicologia e da Sociologia Educacional.

However, it has been suggested more recently that academics should challenge the dominant discourses in education through the application of concept mapping by integrating the tool with contemporary educational theories from both the psychology and the sociology of education. This third phase (transformation) is likely to see concept mapping studies that upset the status quo and ask awkward questions about issues that seem to be taken for granted within university curricula. (Kinchin, 2016, p. 88)

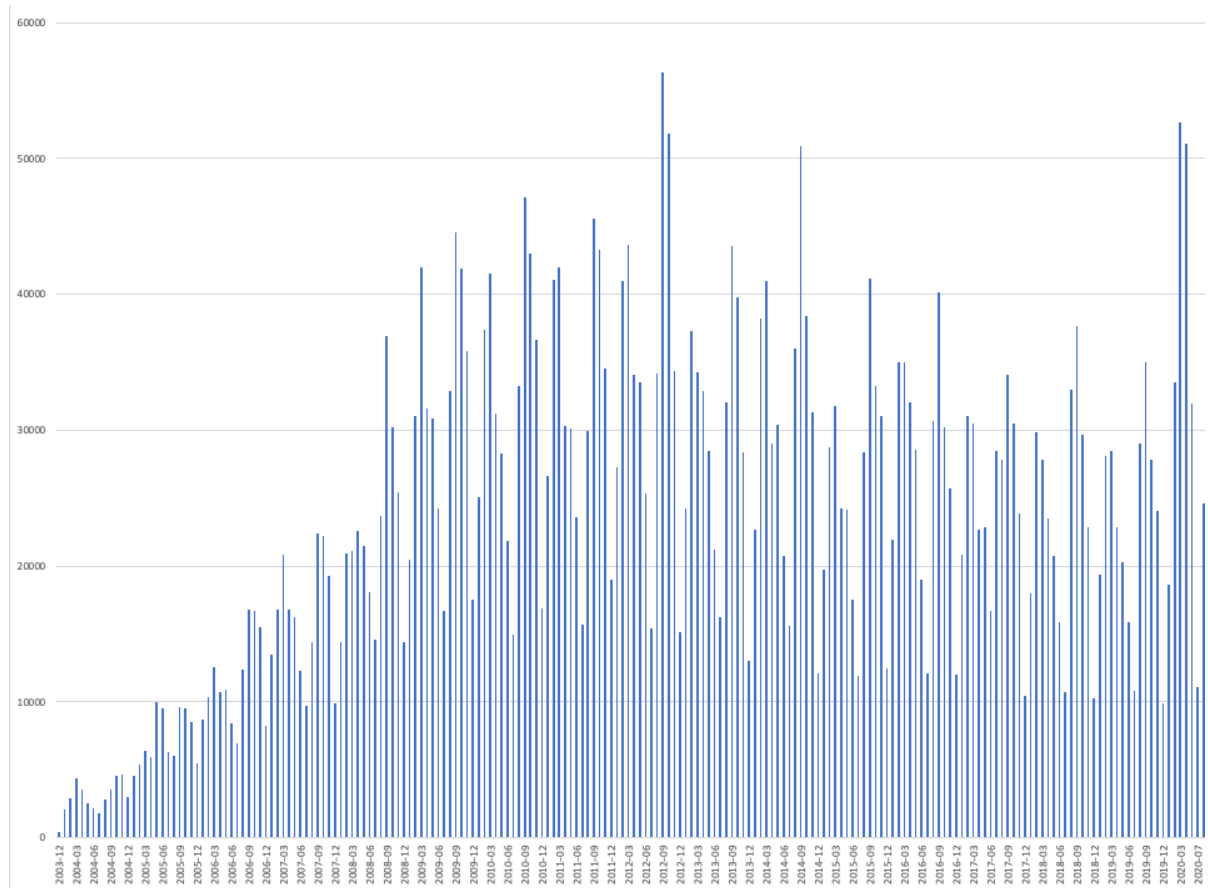
São exemplos desse esforço os dois trabalhos publicados em 2020 que exploram os mapas conceituais a partir de uma nova perspectiva filosófica (Kinchin e Gravett, 2020) e incluem as contribuições de Bernstein e Maton, no campo da sociologia da educação, nas discussões sobre o engajamento dos alunos durante a aprendizagem (Kinchin, Winstone e Medland, 2020).

2.2 Os mapas conceituais

Mapa conceitual é um organizador gráfico de conhecimento que pode representar uma grande quantidade de informação de forma visual e verbal. O potencial dos organizadores gráficos reside no fato deles utilizarem, ao mesmo tempo, dois canais de comunicação. Segundo a Teoria da Dupla Codificação (Paivio, 1990), o uso de dois canais de comunicação é uma vantagem, pois o processamento das informações poderia ocorrer

de forma conjunta na memória de trabalho sem aumentar a quantidade de recursos utilizados.

(a)



(b)

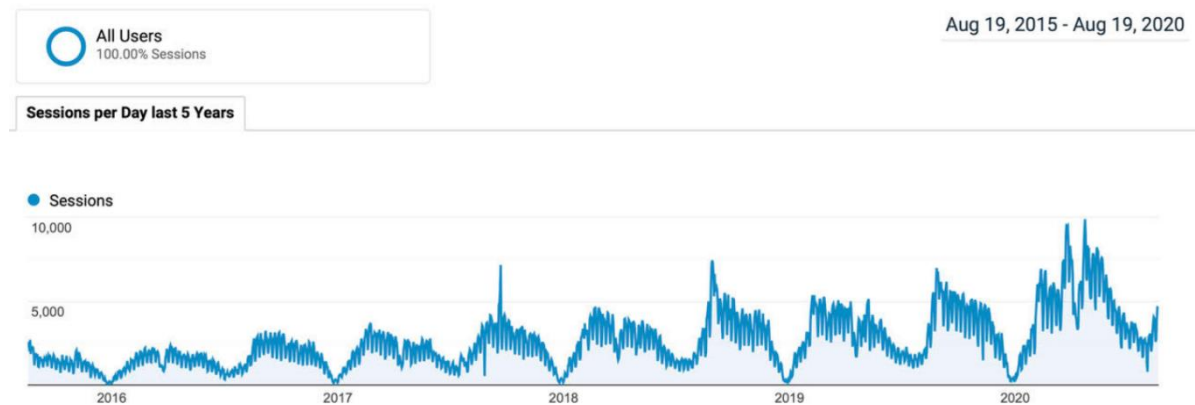


Figura 2.2. A utilização do programa de elaboração de mapas conceituais: (a) quantidade de downloads do CmapTools no site oficial até julho de 2020 (b) quantidade de acessos à plataforma CmapCloud entre 19/08/2005 e 19/08/2020. Informações gentilmente cedida por Alberto Cañas.

Existem outros organizadores gráficos além do mapa conceitual (Davies, 2011), porém a primeira característica que o distingue dos demais é a presença dos conceitos delimitados por caixas e os termos de ligação sobre as setas. Além desses constituintes, o

mapa conceitual é caracterizado pela presença de cinco elementos fundamentais apresentados a seguir (Figura 2.3).

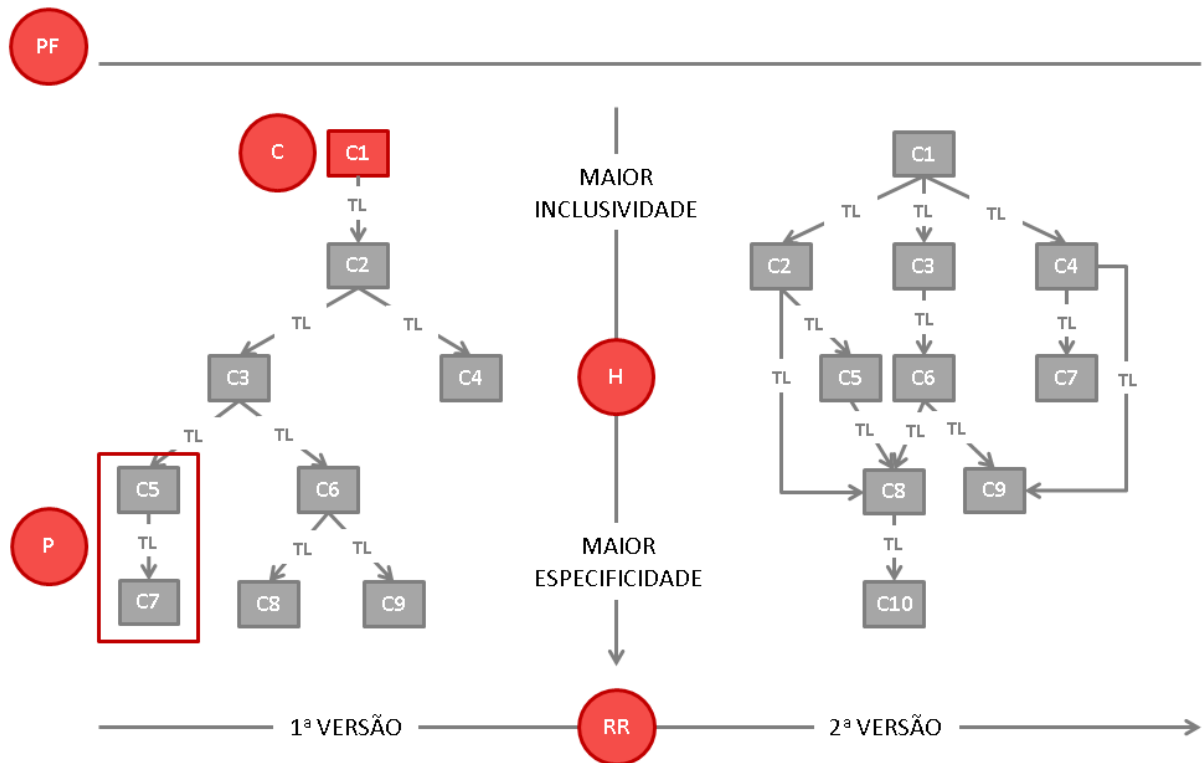


Figura 2.3. Os cinco elementos constituintes dos mapas conceituais: conceitos (C), proposições (P), pergunta focal (PF), hierarquia (H) e revisão recursiva (RR).

1. Conceitos: regularidades ou padrões percebidos em eventos/objetos, ou registros de eventos/objetos, designados por um rótulo.
2. Proposições: são a menor unidade de sentido presente em um mapa conceitual. Ela é construída a partir da união de dois conceitos por meio de um termo de ligação que explicita a relação entre eles.
3. Pergunta Focal: é a pergunta que o mapa conceitual tenta responder, ou seja, é o objetivo pelo qual o mapa conceitual é elaborado.
4. Hierarquia: é a separação visual dos conceitos em níveis, facilitando a distinção entre os conceitos mais gerais (parte superior do mapa) e mais específicos (parte inferior do mapa). Esse recurso auxilia na organização do conhecimento, pois facilita a diferenciação progressiva, que é o mecanismo preferencial da assimilação de novas informações.
5. Revisão recursiva: é um elemento não explícito visualmente, mas que se expressa na contínua reformulação do mapa conceitual. Nada mais é do que a capacidade que o mapeador tem de modificar continuamente o mapa conceitual para cada vez mais ir se adaptando ao seu modelo mental sobre um dado tema. Essa revisão acontece naturalmente pela passagem do tempo, pois o mapeador muda sua forma de pensar. O mapa conceitual é uma representação do conhecimento e se o conhecimento muda o mapa conceitual também deve mudar. Além disso, as mudanças nos esquemas do sujeito podem ser aceleradas pela contínua discussão com especialistas do tema.

As proposições são as estruturas fundamentais dos mapas conceituais e elas são formadas pela união de dois 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. O termo de ligação explicita, de forma clara e precisa, a relação entre os conceitos, conferindo clareza semântica à proposição.

Um mapa conceitual pode ser entendido como um conjunto interconectado de proposições que contém mensagens inteligíveis com o objetivo de expressar relações conceituais. As Figuras 2.4 e 2.5 mostram duas estruturas para destacar o papel central do termo de ligação na representação do conhecimento por meio de relações conceituais. A primeira estrutura (Figura 2.3) não revela as relações entre os conceitos, se limitando a associá-los. Por exemplo, os conceitos “clareza” e “comunicação” estão associados entre si, mas não há nenhuma indicação sobre como se dá a relação conceitual entre eles. A Figura 2.5, por sua vez, apresenta termos de ligação em todas as setas que ligam os conceitos, evidenciando com precisão as relações conceituais. Nesse caso, é possível compreender que a “clareza” favorece a “comunicação” (Figura 2.5, proposição 11).

Inúmeras relações conceituais podem ser estabelecidas entre dois conceitos. O uso do termo de ligação, contendo um verbo, permite distinguir o conteúdo semântico das proposições e julgar a correção conceitual de cada uma delas. Pense, por um instante, como você relaciona os conceitos “USP” e “cursos de graduação”. Agora, veja a Tabela 2.1 e oito formas de relacionar esses conceitos (as duas primeiras não são consideradas proposições). Note como pequenas alterações no termo de ligação produzem grandes transformações no significado da relação conceitual. É fácil identificar proposições inapropriadas (conceitualmente erradas) e proposições apropriadas (conceitualmente corretas) quando o conteúdo semântico é expresso com clareza. Por exemplo, podemos assumir que “USP – ofereceu → cursos de graduação” é uma proposição inapropriada porque ela ainda oferece cursos de graduação (o tempo verbal não está bem ajustado e compromete a fidelidade do conteúdo semântico). A proposição “USP – oferece → cursos de graduação” revela-se apropriada por conta da alteração do tempo verbal (feita a partir da remoção do morfema “u”, transformando ofereceu em oferece). A inclusão de um adjetivo no termo de ligação (“USP – oferece bons → cursos de graduação”) mantém a correção conceitual, mas aumenta a precisão da mensagem comunicada. Em síntese, a clareza semântica é fundamental para que seja possível avaliar a correção conceitual e a adequação das proposições de um mapa conceitual.

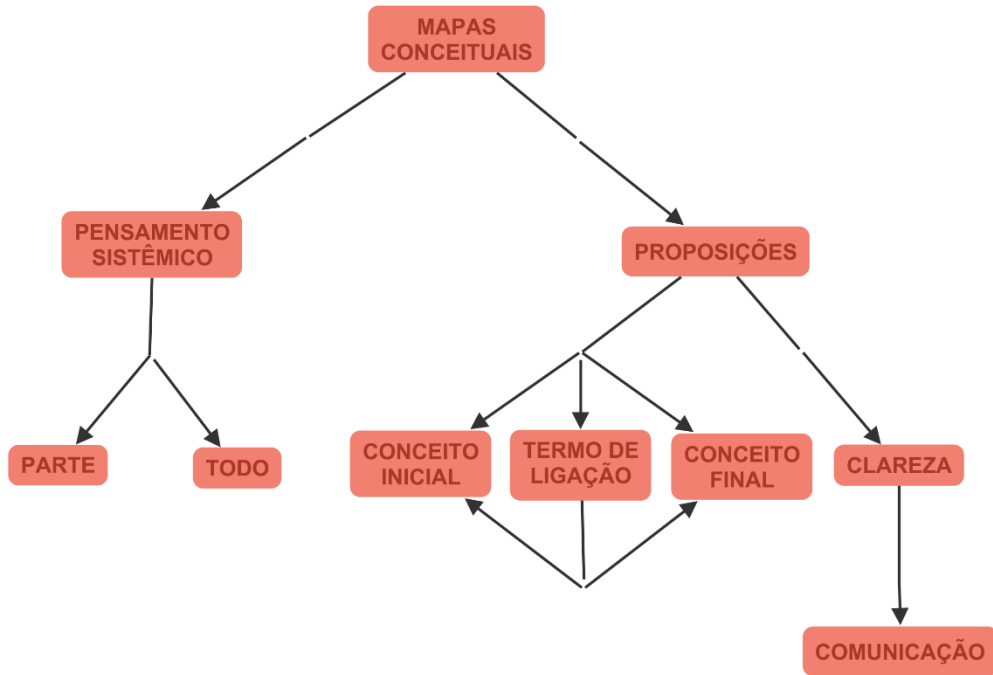


Figura 2.4. Conjunto de conceitos que respondem “Como os mapas conceituais ajudam na comunicação?”. Essa estrutura não apresenta proposições e releva somente a associação entre os conceitos.

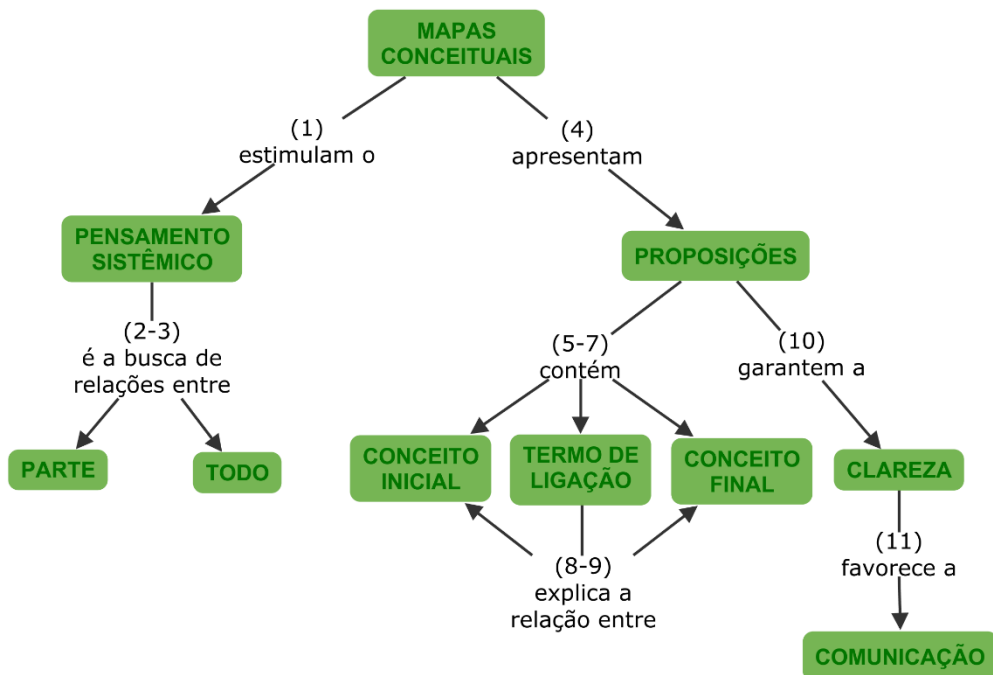


Figura 2.5. Conjunto de proposições que respondem “Como os mapas conceituais ajudam na comunicação?”. A rede proposicional amplia o conteúdo semântico e confere precisão às relações conceituais.

Tabela 2.1. Comparação do conteúdo semântico de várias proposições envolvendo os conceitos USP (inicial) e cursos de graduação (final).

Proposição	Está clara?	Está correta?	Comentários
USP – ??? → cursos de graduação	Não	Não sei	<i>Ausência do termo de ligação. Os conceitos estão associados, mas nada pode ser dito sobre a relação conceitual. Essa estrutura não é uma proposição.</i>
USP – e → cursos de graduação	Não	Não sei	<i>Ausência de verbo no termo de ligação. A associação aditiva dos conceitos gera um novo conceito único que remete aos “cursos de graduação da USP”. Não há relação dele com outro conceito. Essa estrutura é uma proposição mal formulada por causa da ausência de verbo no termo de ligação.</i>
USP – oferece → cursos de graduação	Sim	Sim	<i>O termo de ligação contém verbo e o conteúdo semântico é expresso de forma clara e precisa. É possível julgar a correção conceitual da relação proposta. Nesse caso, a escolha do verbo “oferecer” no presente do indicativo é adequada.</i>
USP – ofereceu → cursos de graduação	Sim	Não	<i>O uso do verbo “oferecer” no pretérito perfeito não compromete a clareza do conteúdo semântico, visto que é possível julgar a correção conceitual. Todavia, nesse caso, o tempo verbal torna inválida a proposição, uma vez que a USP ainda oferece cursos de graduação.</i>
USP – oferecerá → cursos de graduação	Sim	Não	<i>O uso do verbo “oferecer” no futuro do presente não compromete a clareza do conteúdo semântico, mas torna a proposição inválida porque a USP já oferece cursos de graduação.</i>
USP – não oferece → cursos de graduação	Sim	Não	<i>A inclusão de advérbios não compromete a clareza da proposição, mas altera drasticamente o seu conteúdo semântico. A inclusão do “não” invalida a proposição porque a USP oferece cursos de graduação.</i>
USP – oferece muitos → cursos de graduação	Sim	Sim	<i>A inclusão de adjetivos pode conferir maior precisão ao conteúdo semântico, ao qualificar o conceito final. A adição de “muitos” torna a proposição adequada ainda mais precisa e exata.</i>
USP – oferece bons → cursos de graduação	Sim	Sim	<i>O adjetivo “bom” aumenta a precisão do conteúdo semântico. A adequação da proposição pode ser avaliada e uma discussão sobre a sua exatidão pode ser feita. Os cursos de graduação da USP são bons, ótimos ou excelentes?</i>

Os elementos mostrados anteriormente são essenciais na elaboração dos mapas conceituais e todo bom mapeador deve entender cada um deles em profundidade. Entretanto, para se utilizar os mapas conceituais em sala de aula é necessário conhecer outros elementos além do mapeamento conceitual. Neste caso deve-se ter um foco especial no treinamento na técnica de mapeamento conceitual e no formato da atividade a ser desenvolvida com os mapas.

O treinamento é a sequência de atividades aplicada a um grupo de indivíduos para que eles dominem os cinco elementos fundamentais⁸ do mapa conceitual. Em geral, deve-se seguir uma sequência lógica que se inicia em reconhecer a proposição como a unidade fundamental do mapa conceitual. A não aplicação correta dessa atividade pode levar a um entendimento equivocado de que os mapas conceituais construídos pelos alunos são uma boa representação dos seus modelos mentais.

Há várias formas de se configurar as atividades que utilizam os mapas conceituais em sala de aula. Ao contrário do que se encontra comumente, a demanda não se restringe ao mapa conceitual sobre um tema livre para que o aluno escreva o que entende sobre o conteúdo (Figura 2.6). Há vários fatores que podem interferir nessa demanda:

- Tempo disponível para a tarefa.
- Número de conceitos e/ou proposições.
- Presença de conceito obrigatório.
- Disponibilidade de materiais para a consulta.
- Presença de pergunta focal estabelecida a priori.
- Estrutura hierárquica definida.

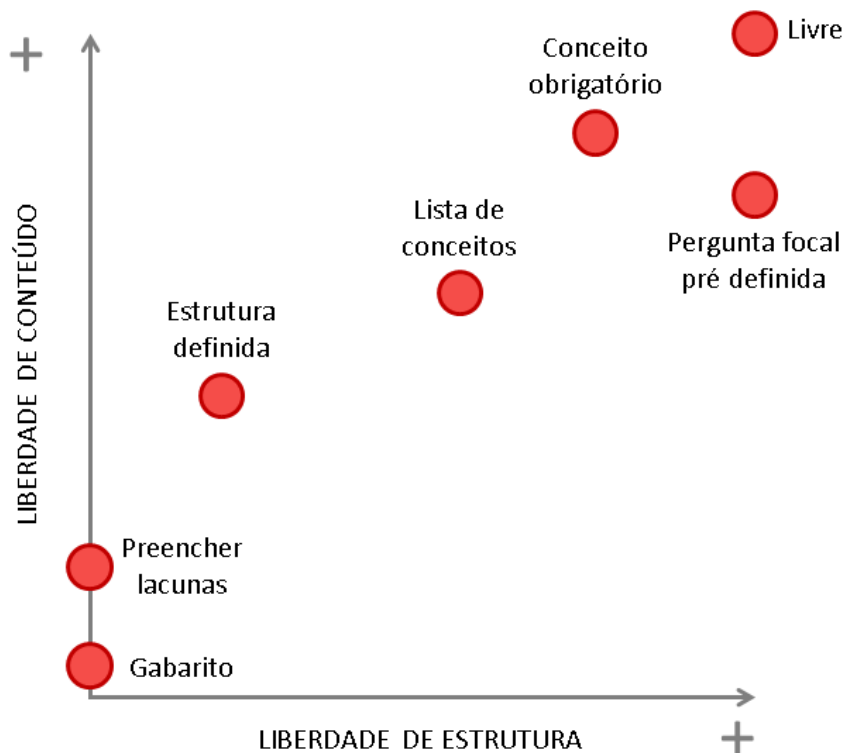


Figura 2.6. Impacto da liberdade de estrutura e de conteúdo sobre a produção de mapas conceituais. Destaque para os extremos inferior/sem liberdade (memorize um mapa conceitual preparado pelo professor) e superior/liberdade total (faça um mapa conceitual sem restrição alguma). Imagem adaptada de Cañas, Novak e Reiska, (2012).

⁸ Conforme apresentado na Figura 2.3, os elementos fundamentais são os conceitos, as proposições, a pergunta focal, a hierarquia e a revisão recursiva.

Chama-se a atenção para essas questões do mapeamento conceitual em sala de aula, pois são tópicos, em geral, negligenciados. Muitos são os trabalhos na literatura que declaram pequenos tempos de treinamento na técnica ou atividades restritas a demonstração de mapas conceituais já feitos, sem que o aluno entenda seus elementos constituintes (Karpicke e Blunt, 2011). Muitos professores acreditam que a simplicidade visual dos mapas conceituais e dos programas de elaboração deles permitem que eles sejam aplicados em sala de aula sem a necessidade de dedicação ao treinamento na técnica.

O treinamento na técnica é um tópico negligenciado pelos professores, porém o planejamento da demanda é ainda mais negligenciado. Muitas das propostas educacionais que utilizam os mapas conceituais utilizam demandas altamente antagônicas: de um lado temos as demandas que pedem o mapa conceitual do tema “xis” sem qualquer limitação das condições, ou temos as demandas do tipo complete as lacunas na qual existe uma estrutura previamente elaborada por outro mapeador (geralmente o especialista), cabendo ao aluno completar os espaços em branco de conceitos ou de termos de ligação. Não é que essas demandas só apresentem problemas, mas não se pode limitar toda a diversidade de mapas conceituais a essas duas condições. Além disso, o mais importante para um professor é manter sua coerência instrucional entre a forma como se ensina e as demandas feitas na avaliação da aprendizagem. É certo dizer que nem sempre o mapa livre será coerente com a forma como se foi ensinado.

2.3 A literatura da área e uma possibilidade de investigação

Uma apreciação da literatura envolvendo os mapas conceituais é apresentada nessa seção para dar ao leitor uma visão panorâmica da evolução desse tema no ambiente acadêmico. A plataforma *Web of Science (Clarivate Analytics)* foi escolhida para essa finalidade e uma busca com o unitermo “*concept map**” para o campo “*assunto*” foi realizada em todas as suas bases de dados⁹, incluindo o SciELO. É importante destacar que as informações a seguir não constituem uma revisão sistemática da literatura, o que exigiria maior detalhamento e extensão para uma análise mais pormenorizada dos artigos científicos. De qualquer maneira, algumas tendências são apontadas a partir do olhar particular do autor da tese. A proposta é utilizar dados quantitativos para uma análise

⁹ As bases de dados consideradas na busca foram: *Web of Science Core Collection, Current Contents Collection, Derwent Innovations Index, KCI-Korean Journal Database, Russian Science Citation Index, SciELO Citation Index (2002 até o presente), Zoological Record.*

qualitativa de aspectos relevantes para contextualizar a tese dentro do cenário de investigações sobre o mapeamento conceitual.

A Figura 2.7 apresenta como os 4.810 resultados do levantamento se distribuem ao longo dos últimos 25 anos. O interesse pelos mapas conceituais mostra um crescimento contínuo até 2017, quando são publicadas 417 produções científicas. É interessante destacar a ocorrência de dois eventos relevantes nesse período (Figura 2.1): o lançamento do programa CmapTools (1997) e a realização da primeira conferência internacional sobre mapeamento conceitual (2004). É provável que o CmapTools e as conferências tenham atuado sinergicamente para explicar, ainda que parcialmente, o aumento do interesse dos pesquisadores acadêmicos. A quantidade de publicações é estável entre 2017-2020, considerando-se que o último ano em questão está incompleto.

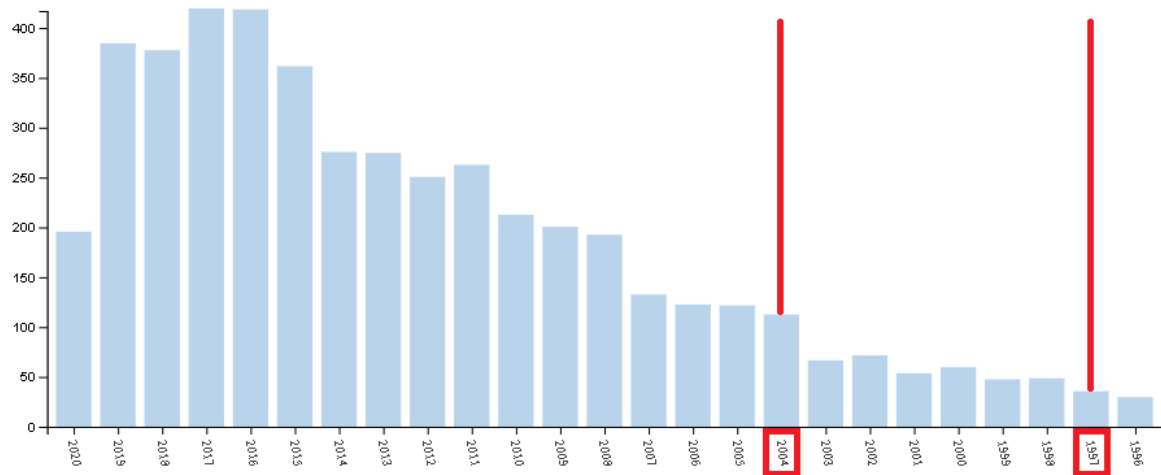


Figura 2.7. Quantidade de publicações por ano entre 1996-2020. Aparecem em estaque o ano de lançamento do CmapTools (1997) e o ano da primeira conferência internacional sobre mapeamento conceitual (2004). Levantamento feito em 08-08-2020.

A distribuição dos resultados por periódicos (Figura 2.8) mostra uma prevalência das áreas de ensino de ciências (*e.g.*, *Journal of Research in Science Teaching*, *International Journal of Science Education*, *Science Education*) e das ciências da computação (*e.g.*, *Lectures Notes in Computer Science*, *Computers & Education*, *Communications in Computer Information Science*). A utilização dos mapas conceituais tem finalidades diferentes nessas áreas. O uso no campo educacional está mais relacionado com a aplicação dos mapas para representar o conhecimento a ser ensinado, avaliar a aprendizagem dos alunos e facilitar a ocorrência da aprendizagem significativa. Essa utilização se aproxima com os objetivos dessa tese de livre docência.

Os trabalhos da área computacional exploram formas de extrair informações de textos por meio do desenvolvimento de ontologias e algoritmos baseados em inteligência artificial. O objetivo desse esforço reside em facilitar o processamento das informações

textuais pelas máquinas, para que elas troquem informações entre si e respondam aos nossos questionamentos a partir de uma base de dados ampla. Ainda que esse tipo de utilização responda por uma parcela relevante das produções localizadas nesse levantamento, tais trabalhos não merecerão maior atenção porque seu escopo se distancia da natureza dessa tese. De qualquer forma, essa produção computacional sugere que há um terreno fértil a ser explorado na intersecção entre educação e ciências da computação. Na EACH/USP isso pode se traduzir em colaborações interdisciplinares envolvendo pesquisadores dos cursos de Licenciatura em Ciências da Natureza e Sistemas de Informação.

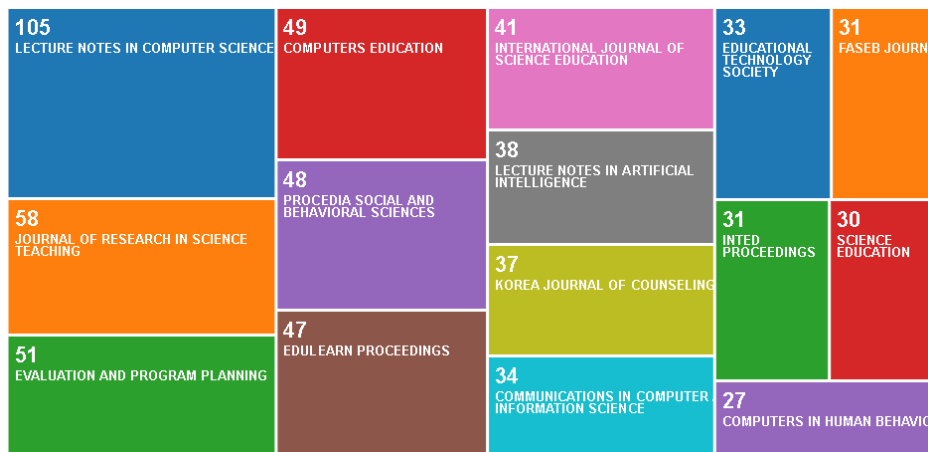


Figura 2.8. Relação dos 15 periódicos indexados à base de dados consultada que receberam mais publicações. Levantamento feito em 08-08-2020.

A participação dos países nas 4.810 produções científicas identificadas nesse levantamento está apresentada na Figura 2.9. O Brasil aparece como 10º país com maior número de publicações, respondendo por 2,9% do total. A comparação das principais áreas de conhecimento dos trabalhos internacionais (Figura 2.10a) e brasileiros (Figura 2.10b) mostra uma diferença interessante.

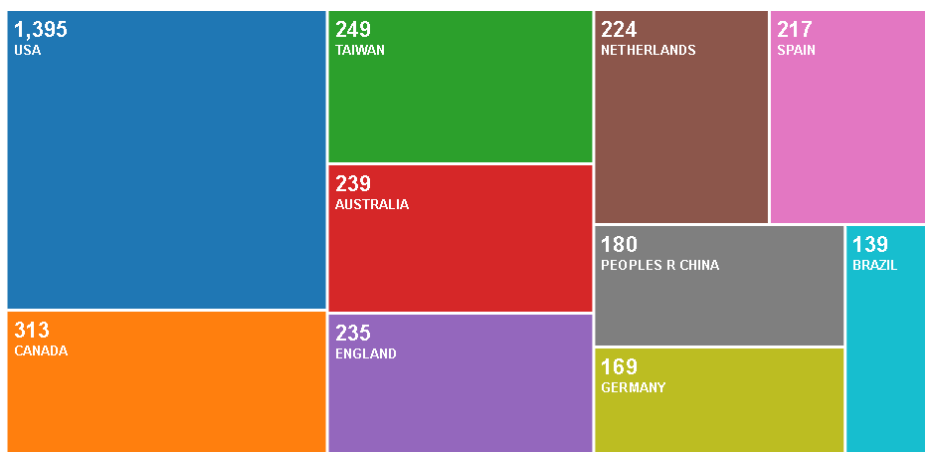
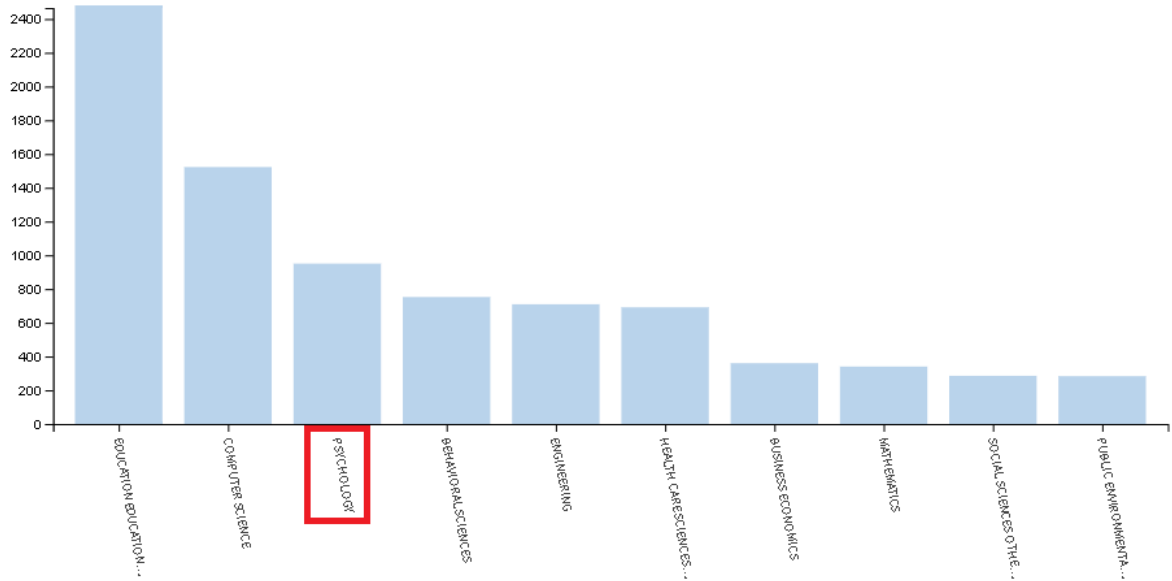


Figura 2.9. Relação dos 10 países com mais publicações sobre mapas conceituais. Levantamento feito em 08-08-2020.

(a)



(b)

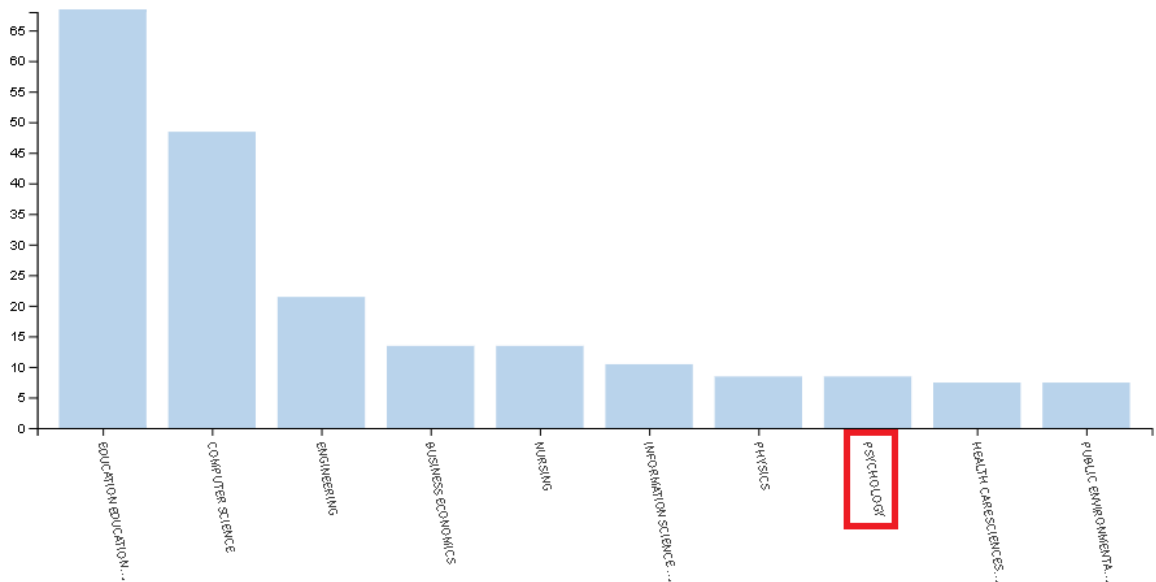


Figura 2.10. Quantidade de publicações por área de pesquisa no contexto internacional (a) e brasileiro (b). Destaque para a diferença observada para a Psicologia (internacional: 19,5%, $n = 935$; Brasil: 5,8%, $n = 8$). Levantamento feito em 08-08-2020.

A área de Psicologia responde por 19,5% dos trabalhos internacionais ($n = 935$) e somente por 5,8% ($n = 8$) dos trabalhos no Brasil. Esse dado sugere que há um amplo espaço para pesquisadores brasileiros trabalharem com os mapas conceituais a partir da Psicologia Cognitiva. A existência de associações acadêmicas internacionais, como a *European Association for Research on Learning and Instruction* (EARLI¹⁰) e a *International Society of the Learning Sciences* (ISLS¹¹), são sinais de amadurecimento da interface entre Educação e Psicologia Cognitiva que ainda não estão presentes no Brasil.

¹⁰ [Clique aqui](#) para acessar o site da EARLI.

¹¹ [Clique aqui](#) para acessar o site da ISLS.

Uma avaliação restrita aos trabalhos brasileiros (n = 139) pode ser feita a partir da Figura 2.11. A USP responde por 28% desses trabalhos e o restante se distribui por instituições de vários estados do Brasil. As regiões Sul e Sudeste concentram 66% das produções acadêmicas, o que reflete a desigualdade sócio-econômica que ainda marca o nosso país. Nesse contexto, os centros mais desenvolvidos precisam ampliar as ações dentro do próprio território nacional para fortalecer centros de pesquisa nas regiões norte, nordeste e centro-oeste. A criação de uma rede de pesquisadores brasileiros interessados pela técnica de mapeamento conceitual é uma iniciativa nessa direção e a realização da conferência internacional em Santos/SP foi um primeiro passo importante (Figura 2.1).



Figura 2.11. Publicações brasileiras organizadas por instituição. As regiões Sul e Sudeste concentram quase dois terços das produções. Levantamento feito em 08-08-2020.

2.4 A inquietação que gerou o objetivo da tese

A utilização dos mapas conceituais para representar, compartilhar e modelar o conhecimento de forma ampla e disseminada sempre me pareceu uma oportunidade ainda não descoberta pela maioria das pessoas. Essa percepção ganhou ainda mais força com as possibilidades apontadas por Novak e Cañas na conferência sobre mapeamento conceitual em 2010 (ver p. 22). A minha experiência como pesquisador e professor mostrava que a inclusão dos mapas conceituais na rotina de sala de aula encontrava obstáculos pouco discutidos na literatura da área.

Naquela época, eu me deparei com um trabalho escrito por Kinchin (2001) que iluminava a pouca utilização dos mapas pelos professores. Intitulado *"If concept mapping*

is so helpful to learning biology, why aren't we all doing it?"¹², o autor discute que há dois obstáculos principais para a adoção em larga escala dos mapas conceituais.

The two main barriers to the extensive adoption of concept mapping as an integral component of typical classroom strategies are seen as the epistemological beliefs of classroom teachers and the underlying philosophy of the curriculum that they are asked to deliver. In conclusion, concept mapping is seen as a tool that may support learning within an appropriate teaching ecology. Such an ecological perspective may require, for some, a re-conceptualization of the teacher's role in which teaching, learning and change are seen as integrated components of effective teaching. (Kinchin, 2001, p.1257)

As crenças epistemológicas dos professores podem não estar alinhadas com a perspectiva construtivista que a elaboração dos mapas conceituais oferece ao processo de ensino-aprendizagem. Soma-se a isso a necessidade de eles obedecerem a um currículo conteudista, que supervaloriza a organização sequencial daquilo que os alunos supostamente devem aprender ao longo do tempo. Esses elementos formatam um contexto desfavorável à utilização sistemática dos mapas conceituais para que seja possível estimular a aprendizagem significativa.

Os argumentos apresentados por Kinchin são consistentes com o cenário tipicamente encontrado na maioria dos ambientes de aprendizagem. O mapeamento conceitual é usado de forma esporádica, como uma mera inovação metodológica para diversificar as estratégias do professor. O objetivo maior nesses casos é alterar a rotina do processo de ensino-aprendizagem, para manter (ou aumentar) a motivação dos alunos.

A combinação das minhas experiências como professor e pesquisador me levou a identificar que, apesar de coerentes, os obstáculos apontados na literatura não eram suficientes para justificar a não utilização em larga escala dos mapas conceituais. Os desafios instrucionais para treinar os alunos e desenvolver as atividades de ensino usando mapas conceituais são raramente mencionados na literatura. E, nessa tese, eu proponho a inclusão dos desafios instrucionais como um componente adicional da *ecologia de ensino*¹³ mencionada por Kinchin (2001).

¹² Uma análise retrospectiva me fez perceber que esse trabalho foi responsável por direcionar as pesquisas que desenvolvi a partir de 2010, com ênfase no treinamento de pessoas interessadas na técnica de mapeamento conceitual. Esse viés investigativo foi responsável pela contribuição mais original que eu fiz até o momento: compreender a elaboração de mapas conceituais a partir da TCC.

¹³ Kinchin define a "ecologia de ensino" como o ambiente de ensino na sua totalidade. Ele se forma a partir da preparação dos professores, da motivação dos alunos e das condições nas quais professores e alunos se comunicam como parceiros dentro de uma comunidade de aprendizagem.

A aparente facilidade¹⁴ com que os mapas conceituais podem ser elaborados os torna atraentes para os iniciantes na técnica. Por outro lado, o uso ingênuo do mapeamento conceitual produz poucos (ou nenhum) dos benefícios esperados, limitando essas experiências a momentos divertidos. Cañas e Novak (2006) mostraram que muitas das dificuldades observadas ao se utilizar os mapas conceituais surgem pelo uso inadequado da técnica, pela falta de treinamento dos mapeadores e pelo não reconhecimento dos fundamentos teóricos subjacentes ao mapeamento conceitual.

There are today many different applications for what we call concept maps, and many of these applications are substantially different from the uses when this tool was first developed in 1972... Many of the difficulties we observe with the use of concept maps derive at least in part from inappropriate use of the tool, lack of adequate training for users and trainers, and a general failure to recognize the importance of the theoretical foundations for the tool. (Cañas e Novak, 2006, p. 247)

As circunstâncias encontradas nas salas de aula impõem várias restrições às ações profissionais dos professores. Além disso, a falta de formação teórica, planejamento metodológico e entendimento sobre a técnica de mapeamento conceitual levam a um ciclo de eventos indesejáveis apresentado na Figura 2.12.

- Busca por inovação: o professor usa os mapas conceituais para mudar a dinâmica de interações na sala de aula.
- Euforia dos alunos: os alunos produzem vários mapas em um curto período de tempo (poucas aulas) porque aderem à novidade e gostam da dinâmica proporcionada pela elaboração dos mapas. A euforia é amplificada se as atividades de elaboração dos mapas forem desenvolvidas em grupos.
- Sobrecarga de trabalho: o professor tem dificuldade em lidar com a grande quantidade de mapas produzida pelos alunos. Diferente dos exercícios numéricos e dos testes de múltipla escolha, não há um gabarito único para facilitar a correção dos mapas conceituais.
- Devolutiva insatisfatória: o professor não consegue oferecer uma devolutiva adequada para os alunos e a avaliação se limita à verificação de quem fez os mapas conceituais. Isso frustra a todos, pois a devolutiva do professor é fundamental para a mediação do processo de ensino-aprendizagem.
- Avaliação de prós e contras: o professor não percebe os benefícios que os mapas conceituais poderiam trazer para a aprendizagem dos seus alunos. Ele fica com uma percepção negativa sobre o mapeamento conceitual e evita utilizá-los novamente na sua rotina profissional.

¹⁴ Programas como o CmapTools geram uma falsa impressão de que é fácil elaborar mapas conceituais por conta da rapidez com que aprendemos a utilizar seus recursos. Uma analogia com o uso de editores de texto explicita o meu ponto de vista: a elaboração de um texto bem escrito tem pouca relação com a proficiência no uso das funcionalidades do programa.

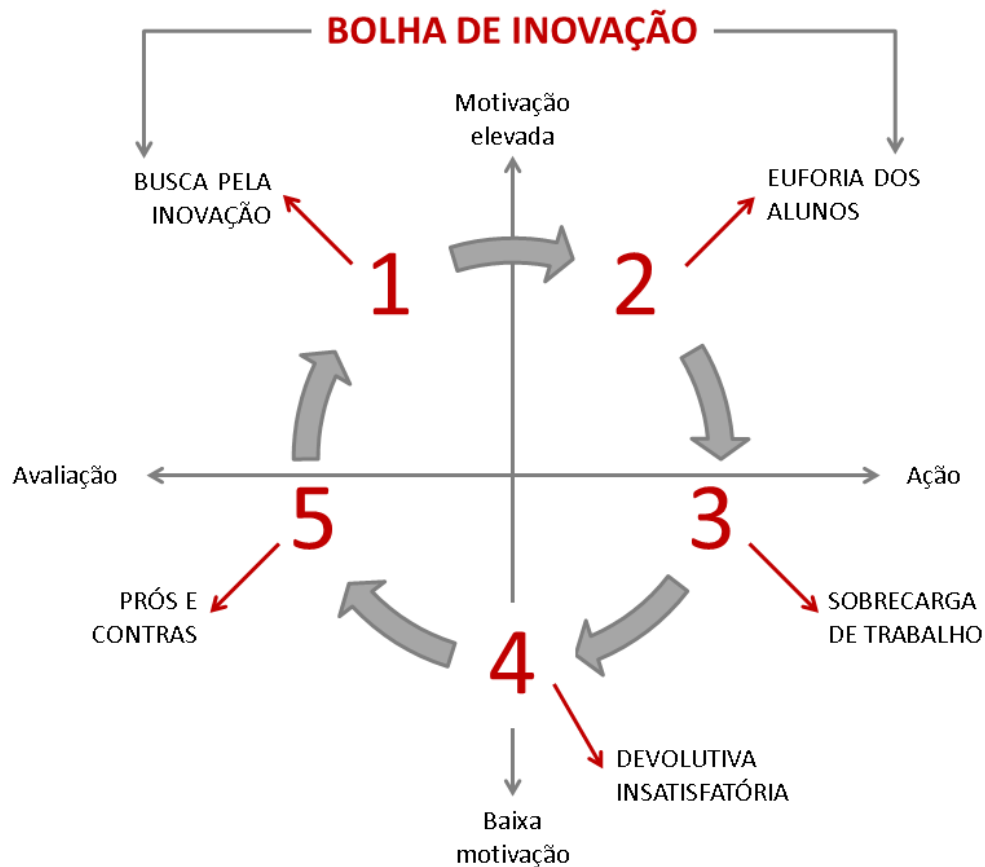


Figura 2.12. Por que os mapas conceituais não são utilizados com frequência nas salas de aula? Um ciclo de cinco eventos para descrever uma resposta que destaca os desafios instrucionais.

A “bolha de inovação” é proposta para caracterizar uma fase crítica do ciclo. Semelhante às bolhas econômicas, a “bolha de inovação” é caracterizada por altas expectativas por parte dos atores (professores e alunos), sem que existam fundamentos consistentes para justificá-las (o entendimento teórico e prático para enfrentar os desafios instrucionais relacionados à utilização dos mapas conceituais em sala de aula).

O objetivo dessa tese é mostrar que a superação desse ciclo de eventos indesejável envolve os obstáculos apontados por Kinchin (2001) e aspectos de ordem prática que estão relacionados ao planejamento instrucional. Para isso, a TCC será utilizada para refletir sobre o uso dos mapas conceituais no Ensino Superior, a partir das pesquisas desenvolvidas ao longo dos últimos 15 anos.

2.5 Pergunta de pesquisa

A pergunta de pesquisa que norteia essa tese pode ser formulada nos seguintes termos: *A TCC é útil para descrever os desafios instrucionais associados ao uso dos mapas conceituais no Ensino Superior?*

Capítulo 3 | Fundamentos teóricos do mapeamento conceitual

3.1 A Teoria da Aprendizagem Significativa

A Teoria da Aprendizagem Significativa foi formulada por David Ausubel em 1963 e propõe uma descrição do processo cognitivo de assimilação de novos conhecimentos, por meio da obliteração de novas informações aos conhecimentos já existentes na memória de longo prazo (Ausubel, 2000). Há três condições fundamentais que devem ser observadas para que se verifique a aprendizagem significativa.

1. Os conhecimentos prévios do aluno devem ser considerados como o ponto de partida para a nova aprendizagem.
2. O material instrucional deve ser potencialmente significativo, ou seja, relacionável de forma não arbitrária e não literal aos conhecimentos prévios dos alunos.
3. O aluno deve optar deliberadamente por aprender significativamente, em detrimento da aprendizagem memorística.

Ausubel descreve o processo de aprendizagem usando um *continuum* entre dois 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. Isso exige um esforço cognitivo 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 (Ausubel, 2000; Moreira, 1999, 2011).

A Figura 3.1 apresenta uma descrição esquemática do processo cognitivo de assimilação de novos conhecimentos segundo a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel. Na etapa de processamento, os conhecimentos prévios de um indivíduo sobre determinado assunto (A) funcionam como “*pontos de ancoragem*” às novas informações que ele recebe durante o período de estudo (a). A memória de trabalho processa esses elementos na tentativa de criar novos significados, gerando um produto interacional (Aa). O grau de dissociação entre Aa determina como a nova informação será armazenada na memória de longo prazo durante a etapa de retenção.

O alto grau de dissociação do produto interacional (Aa) tem como consequência a aprendizagem mecânica. Nessa situação, a nova informação é armazenada isoladamente na memória de longo prazo (a), sem alterar os conhecimentos prévios (A). O esquecimento é o resultado obtido na etapa de retenção porque é difícil recuperar

pequenos pedaços isolados de informação a partir da memória de longo prazo. Essa é a principal característica da aprendizagem mecânica.

A busca por relações não arbitrárias e não literais entre o conhecimento prévio (A) e as novas informações (a) altera o primeiro por conta do segundo. Esse esforço para criar novos significados reduz o grau de dissociação do produto interacional Aa, produzindo uma modificação permanente no conhecimento prévio (A). O conhecimento prévio transformando (A') é o resultado da obliteração que incorpora a nova informação (a) no rol dos conhecimentos preexistentes. A etapa de retenção marca a transferência de A' para a memória de longo prazo, o que evita o esquecimento porque a nova informação está contida numa estrutura de conhecimento já manipulada pelo sujeito. Como decorrência, a nova informação é lembrada por longo período após a etapa de estudo e ela pode ser aplicada em contextos diferentes daquele em que ocorreu a aprendizagem. Essas são características da ocorrência da aprendizagem significativa.

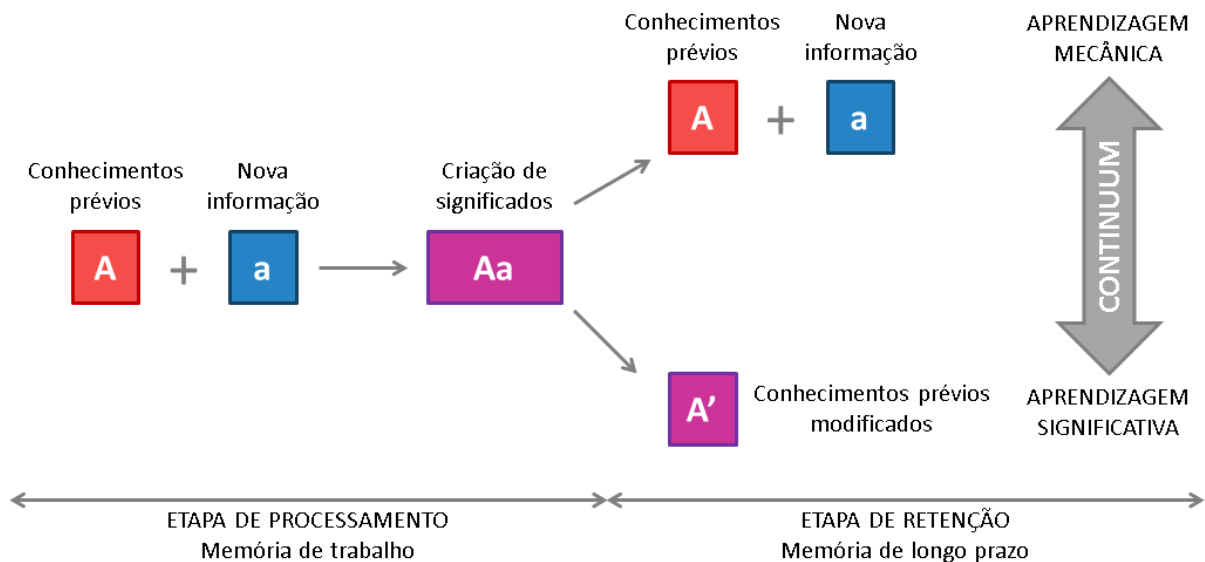


Figura 3.1. Comparação entre aprendizagem mecânica e significativa, com destaque para os conteúdos a serem armazenados na memória de longo prazo.

3.1.1 Joseph Novak expande a aprendizagem significativa

Joseph Novak contribuiu decisivamente para o desenvolvimento da Teoria da Aprendizagem Significativa, incluindo elementos humanistas à perspectiva cognitivista delineada por David Ausubel (Novak, 1993, 2010). Segundo Novak, a produção de significados é um evento humano por excelência e ele está presente tanto na aprendizagem, quanto na produção de conhecimento. O construtivismo humano, conforme denomina Novak, consiste na produção de significados a partir da construção ou modificação de conceitos e relações conceituais.

Human constructivism, as I have tried to describe it, is an effort to integrate the psychology of human learning and the epistemology of knowledge production. I place emphasis on the idea that both psychologists and epistemologists should focus on the process of meaning making that involves the acquisition or modification of concepts and concept relationships. (Novak, 1993, p. 184)

Essa perspectiva inclui o processo de construção do conhecimento às ideias Ausubelianas, harmonizando argumentos psicológicos e epistemológicos. Novak vai mais além e amplia a definição original da aprendizagem significativa para descrever a produção de significados como a integração do pensar, do sentir e do agir.

Meaningful learning underlies the constructive integration of thinking, feeling, and acting leading to empowerment for commitment and responsibility. (Novak, 2010, p. 18)

Essa integração do pensar, do sentir e do agir produz os significados das experiências vivenciadas por nós. No caso das experiências educacionais, Novak identifica cinco elementos fundamentais para compreendê-las:

- Professor
- Aluno
- Conhecimento
- Avaliação
- Contexto

A interação desses elementos é percebida pelos participantes (alunos e professores) que produzem significados a partir das suas idiossincrasias. Para isso, são acionados o pensamento, os sentimentos e as ações. Quando o resultado remete à aprendizagem significativa, os participantes têm a percepção de uma experiência engrandecedora. Por outro lado, se o resultado remete à memorização mecânica dos saberes (aprendizagem mecânica), os participantes têm a percepção de uma experiência que não é engrandecedora.

O papel dos conhecimentos prévios é fundamental para direcionar a experiência educacional para a aprendizagem significativa. Quando não existem conhecimentos prévios relevantes, a aprendizagem mecânica é a única alternativa (Figura 3.3). Nesse ponto, aprender significativamente é muito mais desgastante do que memorizar mecanicamente a nova informação. Por isso, a aprendizagem significativa é uma “cruz” sempre que começamos a explorar novos conhecimentos.

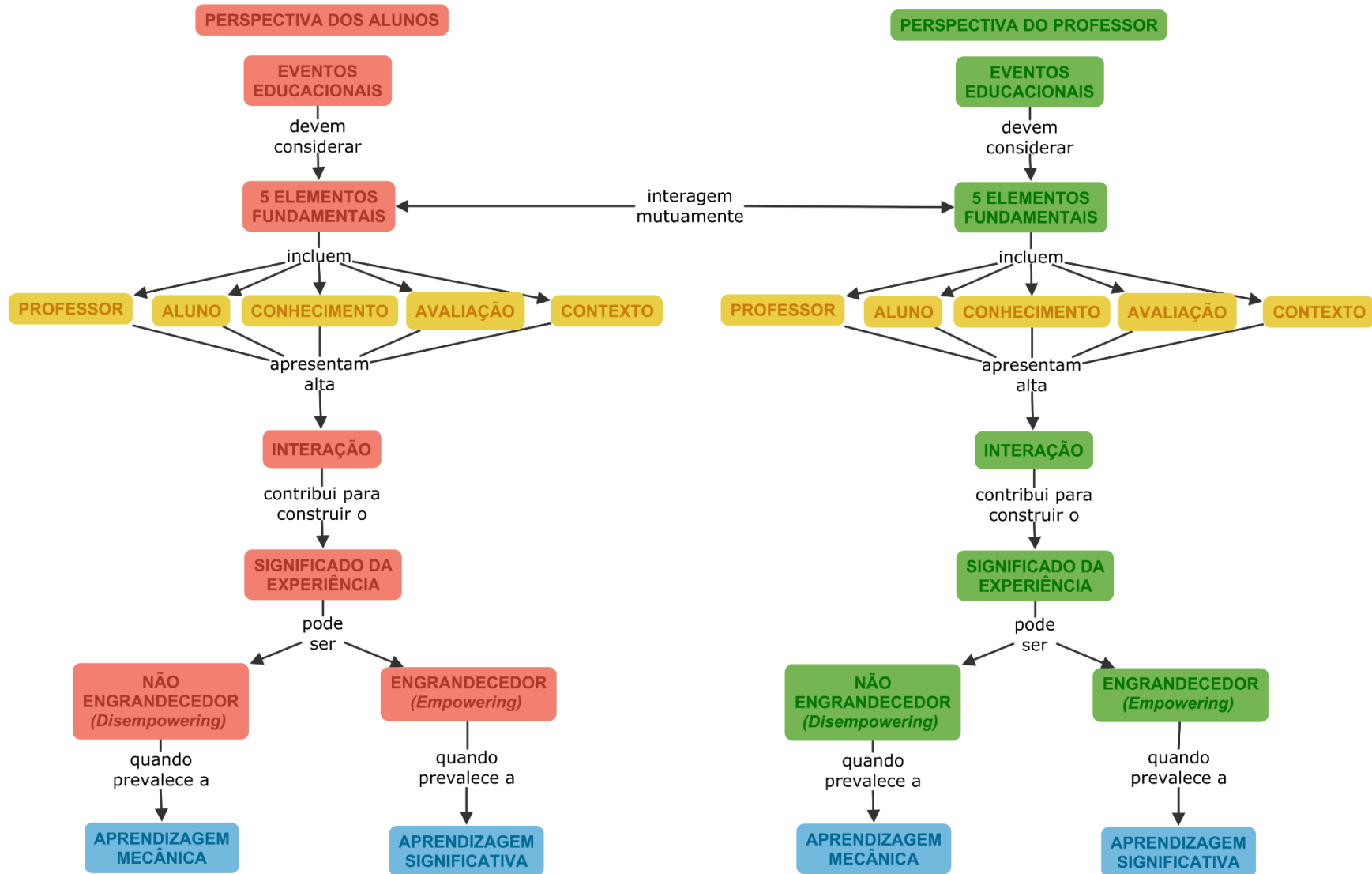


Figura 3.2. Mapas conceituais que representam as perspectivas dos alunos (vermelho à esquerda) e do professor (verde à direita) sobre os eventos educativos, a partir dos cinco elementos fundamentais (amarelo). O significado da experiência se relaciona com o tipo de aprendizagem (azul) percebida pelos participantes.

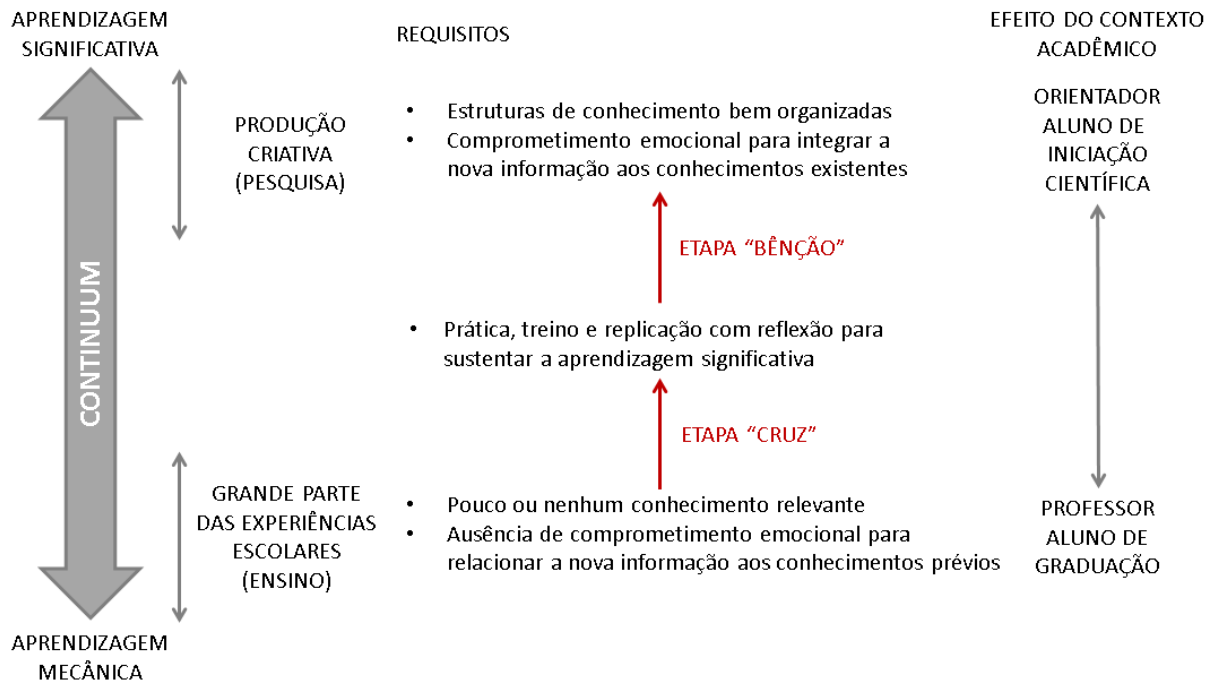


Figura 3.3. A transição entre a aprendizagem mecânica e significativa descrita por meio das etapas de cruz e bênção. O contexto acadêmico (ensino de graduação ou pesquisa) pode direcionar o resultado da aprendizagem, ainda que os participantes envolvidos sejam os mesmos.

Por outro lado, o aprofundamento de temas que já dominamos é facilitado pelos conhecimentos relevantes existentes. Nesse caso, a aprendizagem significativa não é desgastante e memorizar mecanicamente a nova informação é algo fora de cogitação. Por isso, os especialistas tendem a perceber a aprendizagem significativa como uma “*bênção*” (Figura 3.3). Edmondson e Novak (1993) apontaram, com precisão, a relação de dependência entre a aprendizagem significativa e os conhecimentos prévios, caracterizando como aprendizagem fraudulenta o resultado obtido quando a memorização é uma opção prolongada por parte dos alunos.

The dependence of meaningful learning on the adequacy of our prior relevant knowledge is both a blessing and a curse. The more we learn and organize knowledge in a given domain, the easier it is to acquire and use new knowledge in that domain. The curse is that when we try to learn new knowledge in a domain where we know little, and/or what we know is poorly organized, meaningful learning is difficult, usually timeconsuming and tiring. Too often we may escape the challenge by resorting to rote learning, even though we know that what we learn will soon be forgotten and it will not be of value in future learning. Such fraudulent learning may allow us to pass school exams, but contributes little or nothing to future learning or acting. (Novak, 2010, p. 30)

A compreensão do dualismo “*cruz-bênção*” exige que professor e alunos interajam de formas distintas durante o andamento do processo de aprendizagem. As interferências do professor são, inicialmente, mais frequentes e detalhadas para que os alunos mantenham o engajamento para aprender significativamente durante a etapa “*cruz*”. Após algum tempo, o professor medeia o processo interferindo menos e orientando os alunos sobre as próximas etapas da aprendizagem, pois eles já estão na etapa “*bênção*” (Figura 3.3).

A importância que Novak atribui ao conhecimento prévio e ao contexto dos alunos fica evidente quando ele menciona o trabalho que Paulo Freire desenvolveu para alfabetizar adultos. O uso de palavras geradoras, obtidas a partir da realidade daqueles que seriam alfabetizados, amplia a possibilidade da aprendizagem significativa porque há conhecimentos prévios que podem ser utilizados. Desta forma, a etapa “*cruz*” é evitada e, progressivamente, a quantidade de palavras a serem utilizadas vai aumentando na medida em que os conhecimentos prévios também se ampliam. O processo de alfabetização é percebido como uma experiência engrandecedora (Figura 3.2), que aumenta a autoconfiança e o poder político.

Paulo Freire, in his work with illiterate adult peasants in Latin countries, developed a pedagogical strategy beginning instruction in language with a few words that had important meaning in the day-to-day lives of the people. These generative words, as he called them, could then be used as language building blocks and gradually the people gained control over reading and writing their own language. The acquisition of literacy led to both increased self-confidence and increased political power. (Novak, 2010, p. 38)

3.1.2 A aprendizagem significativa crítica de Moreira

As rápidas mudanças que marcam os dias atuais foram responsáveis por mais uma mudança nas ideias da teoria Ausubeliana. Moreira propõe que a aprendizagem seja subversivamente significativa, como estratégia necessária à sobrevivência na sociedade contemporânea (Moreira, 2007).

A perspectiva crítica incluída por Moreira à aprendizagem significativa permite ao sujeito fazer parte da sua cultura e, ao mesmo tempo, estar fora dela. Esse olhar antropológico em relação às atividades do grupo social permite ao indivíduo participar das atividades, sem perder a capacidade de reconhecer quando a realidade está se afastando tanto que não está mais sendo captada pelo grupo. É através da aprendizagem

significativa crítica que o aluno poderá fazer parte de sua cultura, sem ser subjulgado pelos seus ritos, mitos e ideologias (Moreira, 2007).

Também dentro de uma óptica contemporânea, é importante que a aprendizagem significativa seja também crítica, subversiva, antropológica. Quer dizer, na sociedade contemporânea não basta adquirir novos conhecimentos de maneira significativa, é preciso adquiri-los criticamente. Ao mesmo tempo que é preciso viver nessa sociedade, integrar-se a ela, é necessário também ser crítico dela, distanciar-se dela e de seus conhecimentos quando ela está perdendo rumo. (Moreira, 2007, p. 11)

É através dessa aprendizagem que o aluno poderá lidar construtivamente com a mudança sem deixar-se dominar por ela, manejar a informação sem sentir-se impotente frente a sua grande disponibilidade e velocidade de fluxo, usufruir e desenvolver a tecnologia sem tornar-se tecnófilo. Por meio dela, poderá trabalhar com a incerteza, a relatividade, a não-causalidade, a probabilidade, a não-dicotomização das diferenças, com a idéia de que o conhecimento é construção (ou invenção) nossa, que apenas representamos o mundo e nunca o captamos diretamente (Moreira, 2007).

A Tabela 3.1 apresenta os princípios facilitadores da aprendizagem significativa crítica. A sua implementação nos ambientes de aprendizagem subverte o que normalmente ocorre durante o processo de ensino-aprendizagem.

Tabela 3.1. Princípios facilitadores da aprendizagem significativa crítica.

Princípio	Detalhamento
Princípio do conhecimento prévio	Para ser crítico de algum conhecimento, de algum conceito, de algum enunciado, primeiramente o sujeito tem que aprendê-lo significativamente e, para isso, seu conhecimento prévio é, isoladamente, a variável mais importante.
Princípio da interação social e do questionamento	A interação social é indispensável para a concretização de um episódio de ensino. O compartilhar significados resulta da negociação de significados entre aluno e professor. Essa negociação deve envolver uma permanente troca de perguntas ao invés de respostas.
Princípio da não centralidade do livro texto	Professores e alunos se apóiam em demasia no livro de texto, tão estimulador da aprendizagem mecânica, tão transmissor de verdades, certezas, entidades isoladas em capítulos, tão “seguro” para professores e alunos. Não se trata, propriamente, de banir da escola o livro didático, mas de considerá-lo apenas um dentre vários materiais educativos.

(continuação)

Princípio	Detalhamento
Princípio do aprendiz como perceptor/representador	Moreira, parafraseando Ausubel, diz que, se fosse possível isolar um único fator como o que mais influencia a percepção, dir-se-ia que seria a percepção prévia. Em outras palavras, o perceptor decide como representar em sua mente um objeto ou um estado de coisas do mundo e toma essa decisão baseado naquilo que sua experiência passada (<i>i.e.</i> , percepções anteriores) sugere que irá “funcionar” para ele.
Princípio do conhecimento como linguagem	Aprender um conteúdo de maneira significativa é aprender sua linguagem. Aprender a linguagem de maneira crítica é perceber essa nova linguagem como uma nova maneira de perceber o mundo. A linguagem é a mediadora de toda a percepção humana. O que percebemos é inseparável de como falamos sobre o que abstraímos.
Princípio da coerência semântica	O significado está nas pessoas, não nas palavras. Sejam quais forem os significados que tenham as palavras, eles foram atribuídos a elas pelas pessoas. O mundo está permanentemente mudando, mas a utilização de nomes para as coisas, tende a “fixar” o que é nomeado. Quer dizer, a linguagem tem um certo efeito fotográfico.
Princípio da aprendizagem pelo erro	O conhecimento humano é limitado e construído através da superação do erro. Buscar sistematicamente o erro é pensar criticamente, é aprender a aprender, é aprender criticamente rejeitando certezas, encarando o erro como natural e aprendendo através de sua superação.
Princípio da desaprendizagem	Na medida em que o conhecimento prévio nos impede de captar os significados do novo conhecimento, estamos diante de um caso no qual é necessária uma desaprendizagem (esquecimento seletivo). Aprender a desaprender, é aprender a distinguir entre o relevante e o irrelevante no conhecimento prévio e libertar-se do irrelevante.
Princípio da incerteza do conhecimento	Nossa visão de mundo é construída primordialmente com as definições que criamos, com as perguntas que formulamos e com as metáforas que utilizamos. Naturalmente, estes três elementos estão inter-relacionados na linguagem humana.
Princípio da não utilização do quadro-de-giz, da participação ativa do aluno, da diversidade de estratégias de ensino	O uso de distintas estratégias instrucionais que impliquem participação ativa do aluno e, de fato, promovam um ensino centralizado no aluno é fundamental para facilitar a aprendizagem significativa crítica.
Princípio do abandono da narrativa, de deixar o aluno falar	Ensino centrado no aluno tendo o professor como mediador é ensino em que o aluno fala mais e o professor fala menos. Deixar o aluno falar implica usar estratégias nas quais os alunos possam discutir, negociar significados entre si, apresentar oralmente ao grande grupo o produto de suas atividades colaborativas, receber e fazer críticas. O aluno tem que aprender a interpretar, a negociar significados, tem que aprender a ser crítico e a aceitar a crítica.

Os princípios facilitadores da aprendizagem significativa crítica lançam mudanças ao ambiente de aprendizagem que incluem decisões instrucionais. As reflexões sobre o planejamento do ensino ficam mais sofisticadas e não são plenamente contempladas pela

teoria Ausubeliana, que se limita a destacar a importância do material potencialmente significativo. As ideias de Novak, que expandiram à Teoria da Aprendizagem Significativa em direção ao Humanismo precisam ser complementadas por uma teoria cognitivista que promova uma expansão análoga.

A proposta apresentada nessa tese considera a TCC, desenvolvida por John Sweller, como forma de ampliar a teoria Ausubeliana (Figura 3.4). Ela apresenta elementos mais detalhados sobre o processamento da informação pela memória e inclui desdobramentos relevantes que informam o planejamento instrucional. A sua inclusão complementa a expansão humanista feita por Novak e amplia o espaço teórico para se chegar de forma mais plena às pretensões subversivas de Moreira.

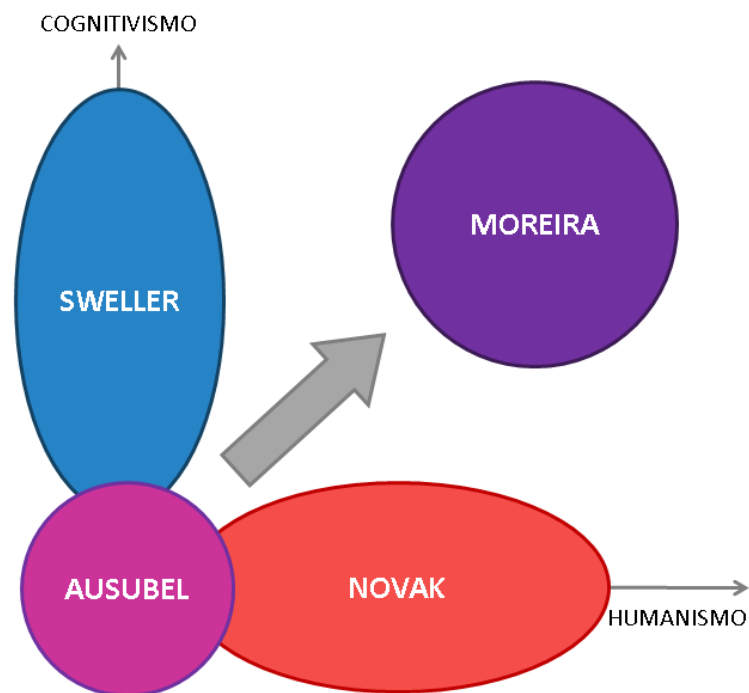


Figura 3.4. O espaço teórico em torno da teoria Ausubeliana (roxo) precisa ser expandido para chegarmos à Aprendizagem Significativa Crítica (Moreira). A expansão humanista, já promovida por Novak (vermelho), precisa se somar a uma expansão cognitivista (azul). Essa tese propõe a TCC para cumprir esse papel.

3.2 A Teoria da Carga Cognitiva

Ao contrário das teorias comportamentalistas, as teorias cognitivistas colocam mais ênfase nos fatores internos que levam à aprendizagem do que nos fatores externos (ambientais) ao qual os aprendizes estão sujeitos. Essas teorias buscam explicar o desenvolvimento das estruturas cognitivas, o processo de aquisição de informação e os métodos de mediação entre instrução e aprendizagem. Nesse sentido, alguns pressupostos norteiam a perspectiva cognitivista, como, por exemplo, o papel do aprendiz como um participante ativo do processo de aprendizagem, o qual constrói o significado a

partir da instrução (sendo, portanto, um pressuposto compatível com a perspectiva construtivista de aprendizagem). Além disso, as teorias cognitivistas buscam explicar a aprendizagem em termos de processos cognitivos, baseadas em uma arquitetura cognitiva humana e seus sistemas de memórias.

3.2.1 O processamento da informação pela memória

A TCC, proposta por John Sweller no final da década de 1980 (Sweller, 1988), vem sendo adotada como um panorama para a investigação sobre os processos cognitivos durante a aprendizagem e princípios instrucionais para elaboração de materiais de ensino (Sweller, 1989, 1994; de Jong, 2010; Mayer, 2010; Moreno, 2010). A TCC considera que a arquitetura cognitiva humana é formada por três sistemas de memória (sensorial, de trabalho e longo prazo) que atuam em conjunto durante o processamento, aquisição e recuperação de informação (Figura 3.5).

A memória sensorial (MS) é definida como um conjunto de cinco subsistemas de memórias que processam, simultaneamente, os principais estímulos provenientes do ambiente, capturados pela visão, audição, tato, olfato e gustação. Esses estímulos são, então, transferidos à memória de trabalho.

A memória de trabalho (MT) é definida como o local onde ocorre o processo cognitivo consciente, ou seja, a memória de curto prazo. Ela é limitada, pois sozinha permite apenas o processamento de informações triviais e mais importantes durante a aquisição de informação. Segundo Miller (1956), a MT só é capaz de reter de cinco a nove elementos de informação¹⁵ e não mais do que dois a quatro elementos simultaneamente (coincidindo com o conhecido “*número mágico*” de Miller 7 ± 2).

¹⁵ Os elementos de informação (em inglês *bits*), são estímulos sensoriais provenientes do ambiente, que após seleção pela MS são transferidos à MT. Na MT, esses *bits* se combinam para formar *chunks* de informação (*i.e.*, agrupamento de *bits*). Se esses *chunks* forem codificados (*i.e.*, receberem um significado), são transferidos à MLP em um esquema (Kleinberg e Kaufman, 1971). Por exemplo, os números de telefone. Associar aleatoriamente nove dígitos não tem nenhum significado. Nesse caso, cada dígito é um *bit* de informação que se processado separadamente custará muito para ser aprendido (possivelmente ele será decorado e esquecido rapidamente). Mas, ao associar nove dígitos para formar o seu número de telefone, teremos um *chunk* de informação, o qual, tendo um significado para você, será guardado na MLP. Ao perguntarem o seu número você automaticamente “recita” ele em uma cadência e não aleatoriamente. Um outro exemplo é ao olhar para um carro passando na rua. Nesse caso, não é possível processar todas as informações disponíveis no ambiente. Apenas alguns *bits* de informação serão capturados pela MS e transferidos à MT, tais como a cor, o modelo, as características do passageiro e a velocidade. Outros *bits* serão simplesmente ignorados por uma atenção seletiva, tais como, a placa do carro, a presença de uma lâmpada queimada, a marca dos pneus. Se você, por exemplo, estiver interessado em comprar aquele carro é possível que você seja capaz de vê-lo mais vezes na rua, uma vez que a sua atenção está voltada a esse objeto devido à sua motivação.

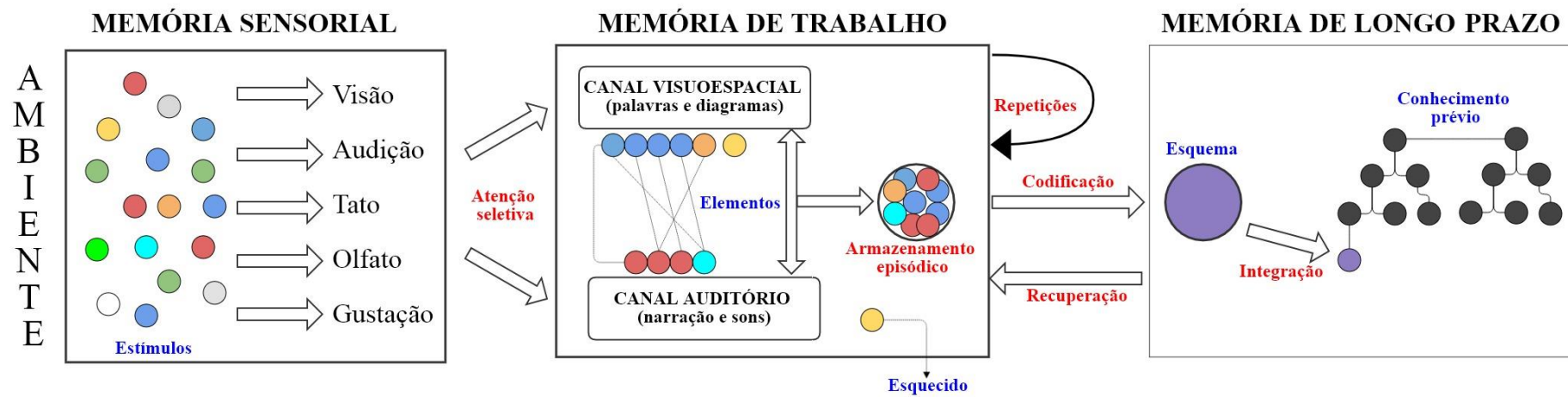


Figura 3.5. Três sistemas de memória (MS, MT e MLP) que compõem a arquitetura cognitiva humana responsáveis pelo processamento, aquisição e recuperação de informações.

Isso ocorre, pois, quando se trata de uma nova informação, o número de elementos que devem ser organizados na MT aumenta linearmente, bem como o número de interações e combinações possíveis aumenta exponencialmente. Portanto, a MT tem capacidade insuficiente para suportar a explosão combinatória sobre a interatividade entre elementos. Durante uma tarefa ou resolução de um problema, a atenção do sujeito é seletiva, ou seja, captura estímulos relevantes para aquela situação, de modo a minimizar o impacto de múltiplas informações em uma MT limitada em espaço e tempo.

Segundo o modelo de processamento de informação proposto por Baddeley (1988), a MT é formada por multicomponentes capazes de processar informações múltiplas e simultâneas. Baseado na Teoria da Dupla Codificação (Paivio, 1990), a MT é formada por dois subsistemas que processam, simultaneamente, as informações visuoespaciais (*e.g.*, textos e diagramas) e as informações fonológicas (*e.g.*, sons e narração). O armazenamento episódico conecta as informações visuais, espaciais e verbais processadas por esses dois subsistemas guardando-os momentaneamente na MT. Se os múltiplos elementos dessa nova informação se combinarem formando um único elemento cognitivo (*i.e.*, a codificação), diz-se que houve a construção de um esquema, o qual é transferido à memória de longo prazo (Sweller, Ayres e Kalyuga, 2011).

A memória de longo prazo (MLP) é definida como o repositório dos incontáveis esquemas transferidos da MT. Ela é virtualmente ilimitada em tamanho, espaço e tempo (Paas, Renkl e Sweller, 2004), ou seja, armazena múltiplos esquemas quase permanentemente, criando uma espécie de rede que os interconecta. Essa rede, que é altamente organizada e hierárquica, é também conhecida como o conhecimento prévio que um sujeito possui sobre determinado assunto.

A Teoria do Esquema, proposta muitos anos antes da TCC, já explicava o processo de aquisição de informação por meio da construção de esquemas (*e.g.*, Piaget, 1928; Bartlett, 1932). Os esquemas são feitos de importantes atributos, propósitos e regras, os quais definem o uso de unidades conceituais (*i.e.*, conceitos). Por exemplo, o conceito “*manga*” pode estar presente tanto nos esquemas mentais que um sujeito possui sobre “*frutas*” como sobre “*roupas*”, porém, esses esquemas terão características totalmente distintas, o que faz com que um mesmo conceito represente entidades (nesse caso, concretas) com propósitos diferentes e que só podem ser usados mediante determinada regra.

Na MLP, as unidades conceituais são organizadas na forma de uma rede semântica, a qual representa a estrutura cognitiva de um sujeito sobre um determinado assunto. Essa

estrutura é formada pela combinação de vários modelos mentais (*i.e.*, representações da realidade) e esquemas (*i.e.*, conceitos e suas conexões). Como os conceitos estão hierarquicamente organizados nos modelos mentais, a rede semântica também o será. Por exemplo, o conceito “cachorro” é diferente do conceito “lobo”, bem como suas conexões – cachorro pode se conectar com casa, doméstico, bravo, segurança, já lobo pode se conectar com floresta, silvestre, matilha, caça. Os esquemas mentais (imagens, sons, cheiros associados a esses conceitos) que um sujeito tem sobre ambos os conceitos também serão diferentes, porém, como eles possuem características e atributos semelhantes (*e.g.*, ambos são animais, peludos, com cauda, tem olfato aguçado, etc.) é possível que uma criança que ainda esteja aprendendo sobre mamíferos, acione o conceito de cachorro para se referir a um lobo. Além disso, os conceitos de lobo e cachorro estarão dentro de uma mesma rede semântica, hierarquicamente organizada em, por exemplo, Animais → Mamíferos → Quadrúpedes → Carnívoros → Espécie Canina¹⁶. Tanto a capacidade de conexão entre conceitos, como o acionamento dos esquemas e modelos mentais mais adequados para determinado momento serão definidos pelos elementos presentes na rede de conhecimento prévio do sujeito (*i.e.*, na sua estrutura cognitiva).

Diante de uma nova tarefa, o sujeito recupera da MLP para a MT os esquemas necessários para solucionar o problema ou lidar com a própria tarefa (*i.e.*, lidar com conteúdo e com o formato da instrução). Em um primeiro momento, há um custo ou carga cognitiva imposta tanto para a recuperação desses esquemas como para promover a interação e integração desse conhecimento prévio com a nova informação na MT. Após múltiplas repetições, é possível dizer que houve uma automação ou automatização dos esquemas, ou seja, os recursos cognitivos da MT não são mais utilizados para recuperar tais esquemas da MLP.

Esquemas automatizados implicam em maiores chances de aprendizagem significativa uma vez que há mais recursos disponíveis para codificar novas informações a partir do acionamento de conhecimentos prévios. Para a TCC, a diferença entre um novato e um especialista é que o último é capaz de acessar rapidamente e sem custo os esquemas mais relevantes para solucionar um problema.

Segundo Paas (1992), o processamento de informações que leva à construção e automação de esquemas na MT pode ser entendido como o próprio processo de

¹⁶ Taxonomicamente, os cães domésticos pertencem ao Reino *Animalia*, Filo *Chordata*, Classe *Mammalia*, Ordem *Carnivora*, Família *Canidae*, Gênero *Canis*, Espécie *Canis lupus*, Subespécie *Canis lupus familiaris*. Já os lobos pertencem ao mesmo Reino, Filo, Classe, Ordem e Família dos cães, se diferenciando apenas nas espécies e subespécies.

aprendizagem, o qual leva à retenção e/ou à transferência. A retenção da informação ocorre quando o sujeito é capaz de manipular os esquemas recuperados da MLP na MT para lidar com uma tarefa semelhante àquela em que ocorreu a aprendizagem, indicando que houve uma efetiva integração dos novos esquemas sobre o assunto em questão à rede de conhecimento prévio. Já a transferência ocorre quando o sujeito é capaz de recuperar e manipular um esquema específico para lidar com uma tarefa diferente daquela em que ocorreu a aprendizagem, indicado por maior habilidade e desempenho na tarefa, mesmo que após longos períodos de tempo.

Pressupostos semelhantes podem também ser encontrados na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (2000). Segundo Ausubel, o conhecimento é hierarquicamente organizado na estrutura cognitiva do aprendiz por meio de conceitos e proposições. Os conceitos são objetos, acontecimentos, situações ou propriedades que possuem atributos específicos e que são designados pelo mesmo signo ou rótulo. Já as proposições são as conexões entre esses conceitos, hierarquicamente estabelecidas (*i.e.*, um conceito sempre se conecta a outros conceitos superordenados ou subordinados a ele).

Para Ausubel, o processo de aprendizagem se encontra entre dois extremos: a aprendizagem mecânica ou memorização e a aprendizagem significativa (Figura 3.1). A aprendizagem mecânica é caracterizada pelo estabelecimento de relações arbitrárias e literais entre os conhecimentos prévios e a nova informação. Havendo pouco esforço para criar sentido ao relacioná-los, a nova informação pode ser esquecida após curto período de tempo, sendo difícil utilizá-la em um novo contexto (*i.e.*, não há retenção do conhecimento). A aprendizagem significativa ocorre quando o sujeito age intencionalmente para criar significado entre o conhecimento prévio e a nova informação, transformando a estrutura de conhecimento inicial. Essa transformação causada pela nova informação é conhecida como obliteração (*i.e.*, construção de esquemas na TCC) e leva à retenção do conhecimento. A aprendizagem significativa leva à transferência do conhecimento, ou seja, na sua aplicação em outros contextos, mesmo após um longo período de tempo (Moreira, 1999; Mayer, 2002).

Além disso, Ausubel defende o uso de organizadores prévios como um mecanismo pedagógico que medeia a implementação desses princípios na prática, estabelecendo uma ligação entre o que o aprendiz já sabe e aquilo que ele precisa saber (Moreira, 2006). Esse organizador possui conceitos gerais e conexões que são relevantes para o desempenho da tarefa (*i.e.*, subsunçores) ao mesmo tempo em que fornecem subsídios para que os alunos

recuperem conceitos prévios (*i.e.*, ideias “*ancoradas*” na estrutura cognitiva prévia do aprendiz).

3.2.2 *As cargas cognitivas impostas à memória de trabalho*

A TCC distingue dois tipos de cargas cognitivas capazes de interferir no processamento de informações pela MT durante a aprendizagem (Sweller, Ayres, e Kalyuga, 2011): a carga cognitiva intrínseca e a carga cognitiva extrínseca.

A carga intrínseca se refere à natureza, complexidade e dificuldade do conteúdo ao qual o aluno precisa lidar durante a tarefa de aprendizagem. Ela é definida em função da quantidade de elementos (poucos ou muitos) a serem processados na memória de trabalho e a interatividade entre eles (baixa ou alta). Quanto maior a quantidade de elementos e maior a interatividade entre eles, mais complexo e difícil é considerado o conteúdo. Por exemplo, na tarefa de ensinar uma segunda língua, a aprendizagem de conceitos em um dicionário é considerada de baixa complexidade, pois aprende-se uma palavra por vez isoladamente. Já a tarefa de aprender a gramática dessa língua é considerada de alta complexidade, pois é necessário combinar sujeito + ação + complemento, sendo que eles podem ser substantivos, pronomes, verbos, adjetivos, advérbios etc., que colocados em uma certa ordem comunicam uma mensagem.

A carga extrínseca se refere ao formato da instrução. Quanto mais inadequado for o formato da instrução maior a carga extrínseca. De acordo com a TCC, essa carga prejudica o processo de aprendizagem, devendo ser manipulada de modo a minimizá-la. Por exemplo, na tarefa de aprender o que é um quadrado, ao fornecer uma instrução apenas verbal resultaria em um aumento da carga extrínseca, uma vez que o aluno deve construir mentalmente a imagem de um quadrado enquanto processa a explicação no canal fonológico. Já oferecer a imagem de um quadrado associada à informação verbal deverá diminuir essa carga e potencializar o processo de aquisição de informação.

Em pesquisa conduzida por Carlson, Chandler e Sweller (2003), os autores manipulam ambas as cargas durante a tarefa de construção de modelos moleculares (Figura 3.6), mostrando como a combinação entre as cargas intrínseca e extrínseca influencia diretamente na compreensão dos alunos sobre o assunto e, conseqüentemente, no seu desempenho nos testes de retenção e transferência. Eles manipularam a carga intrínseca solicitando que os alunos construíssem modelos com baixa ou alta interatividade entre elementos. No caso, a construção do modelo do ácido clorídrico apresentava baixa carga intrínseca uma vez que há apenas dois átomos e uma só possível

combinação entre esses elementos. Já a construção do modelo do ácido carbônico apresentava alta carga intrínseca, pois requeria a manipulação de seis átomos de três elementos químicos diferentes, em uma combinação específica com ligações simples ou duplas e geometria definida. Eles também manipularam a carga extrínseca, alterando o formato da instrução da tarefa. No caso, poderia ser feita via textual ou diagramática.

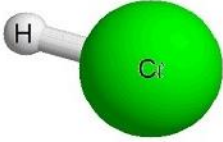
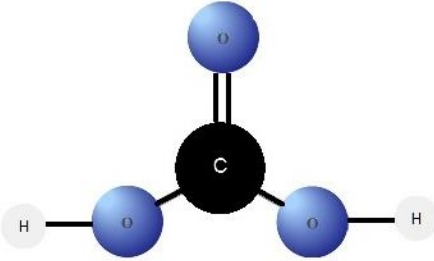
	MENOR CARGA INTRÍNSECA	MAIOR CARGA INTRÍNSECA
MENOR CARGA EXTRÍNSECA	<p>FAÇA O MODELO DO HCl</p>  <p>Esse é o modelo para a molécula de ácido clorídrico</p>	<p>FAÇA O MODELO DO H₂CO₃</p>  <p>Esse é o modelo para a molécula de ácido carbônico</p>
MAIOR CARGA EXTRÍNSECA	<p>FAÇA O MODELO DO HCl</p> <p>Junte uma esfera branca pequena de hidrogênio com uma esfera verde de cloro usando uma haste branca fixa.</p> <p>Esse é o modelo para a molécula de ácido clorídrico</p>	<p>FAÇA O MODELO DO H₂CO₃</p> <p>Junte uma esfera azul de oxigênio com uma esfera preta de carbono usando uma haste branca reta. Na mesma esfera preta, junte outra esfera azul de oxigênio com uma haste branca reta. Una outra esfera azul de oxigênio com a esfera preta de carbono usando agora duas hastes brancas curvas. Selecione uma das esferas azuis de oxigênio que só tem uma haste branca ligada a ela. Ligue-a com uma esfera branca pequena de hidrogênio utilizando uma haste branca fixa. Por fim, ligue a outra esfera azul de oxigênio que também só tem uma haste branca ligada a ela e junte com a esfera branca pequena de hidrogênio utilizando a haste branca reta.</p> <p>Esse é o modelo para a molécula de ácido carbônico</p>

Figura 3.6. Exemplo de como as cargas cognitivas associadas a um material instrucional variam em função da interatividade entre elementos (baixa no modelo HCl e alta no modelo H₂CO₃) e do formato de instrução (inadequado de forma textual e adequado de forma diagramática).

No primeiro experimento (coleta de dados em condições controladas), eles mostraram que o formato de instrução diagramático só auxiliou nos casos em que havia alta interatividade entre elementos. No segundo experimento (coleta de dados em condições de sala de aula), eles mostraram que o desempenho dos alunos que receberam a instrução diagramática só foi significativamente maior apenas nos aspectos que envolviam alta interatividade entre elementos. Em outras palavras, ao aumentar a carga intrínseca não sobrou recursos cognitivos para os alunos lidarem com a carga extrínseca,

passando a ser prejudicial ao processo de aprendizagem. Já nos casos em que a carga intrínseca era baixa, os alunos foram capazes de lidar com um formato de instrução inadequado, ou seja, com uma carga extrínseca alta.

Se considerarmos puramente os pressupostos da TCC (Sweller, Ayres e Kalyuga, 2011), é possível incluir uma terceira carga imposta à memória de trabalho durante a aprendizagem, denominada carga pertinente ou relevante. Para eles, essa é a carga imposta para a condução do próprio processo de construção de esquemas. Entretanto, estudos que criticam alguns aspectos teóricos, metodológicos e práticos da TCC (*e.g.*, de Jong, 2010; Moreno, 2010) afirmam que não se trata de uma carga e sim de um processamento generativo, ou seja, de que a construção de esquemas é o resultado de processos cognitivos generativos, tais como interpretação, exemplificação, classificação, diferenciação e organização que levam à aprendizagem efetiva.

Nessa tese considerarei essa perspectiva, que pressupõe a existência de apenas duas cargas cognitivas, uma relativa ao conteúdo e outra relativa ao formato da instrução. Essa visão modifica ainda a forma como entendemos o processo de sobrecarga cognitiva da memória de trabalho¹⁷. De acordo com os pesquisadores que criticam a TCC, ambas as cargas intrínseca e extrínseca são aditivas e, ao se somarem, não podem ultrapassar a capacidade limitada da memória de trabalho. Quando essa capacidade é ultrapassada, afirma-se que o sujeito entrou em sobrecarga, ou seja, não sobram recursos cognitivos disponíveis na memória de trabalho para ocorrência dos processamentos generativos (Figura 3.7a). Consequentemente, o sujeito não é capaz de construir ou rever seus esquemas mentais durante a tarefa. A gestão de carga intrínseca (Figura 3.7b) e a redução da carga extrínseca (Figura 3.7c) são duas manipulações instrucionais que permitem aumentar a disponibilidade de recursos cognitivos na memória de trabalho que podem

¹⁷ A TCC considera que a carga intrínseca se soma à carga pertinente e, ambas, contribuem para a aprendizagem. Enquanto isso, a carga extrínseca prejudica a aprendizagem e deve ser minimizada. Se a carga extrínseca for baixa, sobram recursos na memória de trabalho para lidar com as duas cargas associadas à aprendizagem, resultando em bons desempenhos na tarefa. Alguns conflitos são encontrados na literatura que comprometem esse paradigma. Por exemplo, segundo a TCC, a carga pertinente sempre auxilia no processo de aprendizagem, porém, relatos da literatura indicam que se os processos cognitivos durante a aprendizagem forem muito maiores dos recursos disponíveis do aluno (alunos com baixo conhecimento prévio), essa carga pode ser tão alta que prejudica a aprendizagem. Os críticos afirmam então que, nesse caso, a carga pertinente se transformou em carga extrínseca, mostrando que há um conflito teórico não resolvido. Outro problema que existe, por exemplo, é que dependendo do nível de conhecimento prévio dos sujeitos, alguns formatos de instrução podem gerar tanto carga extrínseca quanto carga pertinente. Novamente, parece não haver uma definição clara sobre como reconhecer (e medir experimentalmente) cada uma dessas cargas. Isso foi resolvido, propondo-se que só existem duas cargas, uma relativa ao conteúdo e outra relativa ao formato da instrução. O sujeito precisa lidar com ambas durante a tarefa e o balanço entre elas definirá se há espaço para os processamentos generativos ou não.

ser utilizados no processamento generativo. O maior indicativo da ocorrência da sobrecarga cognitiva são os baixos desempenhos nos testes de retenção e transferência.

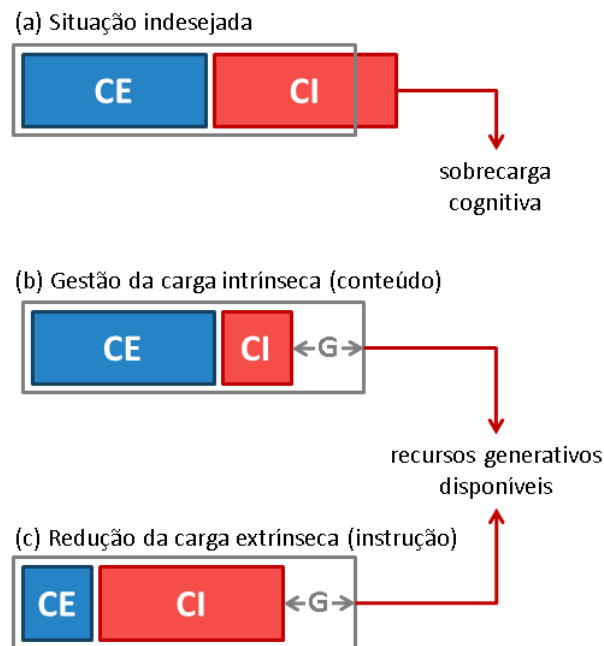


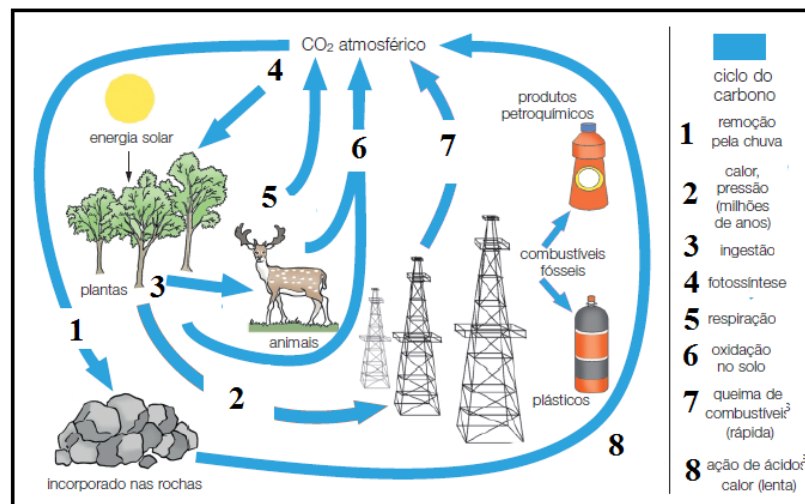
Figura 3.7. Propriedade aditiva das cargas extrínseca (CE) e intrínseca (CI) que consomem os recursos da memória de trabalho. Quando as cargas excedem a capacidade da memória de trabalho ocorre a sobrecarga cognitiva (a). Ela pode ser evitada por meio de estratégias que impliquem na gestão da CI (b) e/ou redução da CE (c). Em ambos os casos, espera-se que o processamento generativo (G) seja otimizado, melhorando os resultados de aprendizagem.

3.2.3 A importância do planejamento instrucional

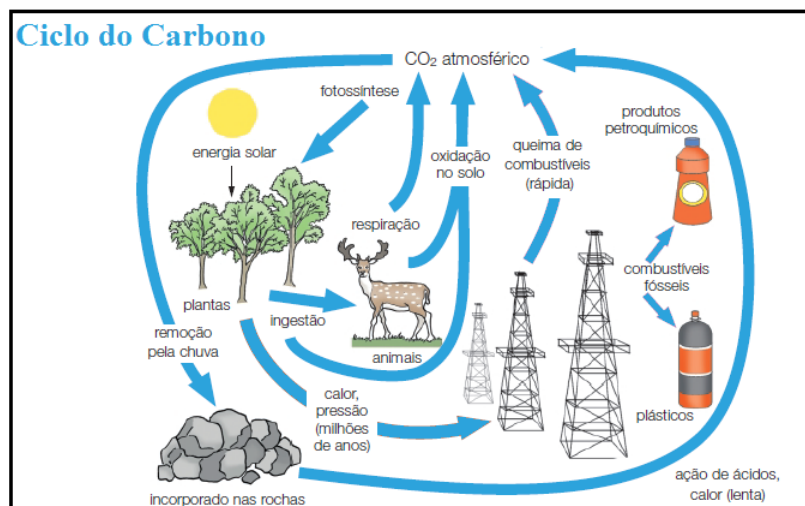
O planejamento instrucional se refere ao “processo sistemático e reflexivo de transpor princípios da aprendizagem e instrução durante o planejamento de materiais de ensino, atividades, recursos e avaliação” (Smith e Ragan, 1999, p.2). Esse planejamento pode ser feito considerando diferentes teorias da aprendizagem e instrução, bem como diferentes modelos, metodologias e procedimentos.

Ao considerar os pressupostos da TCC, o planejamento instrucional deverá seguir três princípios gerais, baseados na gestão da carga intrínseca, redução da carga extrínseca e otimização dos processamentos generativos, sempre com o objetivo de evitar situações de sobrecarga cognitiva e garantir os melhores resultados de aprendizagem. Os procedimentos de instrução (*i.e.*, como o material instrucional deverá ser elaborado) gerados pela TCC partem de uma demonstração experimental que traz evidências empíricas de que o procedimento baseado nos princípios da teoria de fato facilita a aprendizagem ou a resolução de problemas quando comparado a um procedimento mais tradicional. Esses procedimentos baseados em dados empíricos são denominados efeitos de carga cognitiva. Por exemplo, uma das diretrizes indicadas pela TCC é o efeito da

atenção dividida (do inglês, *split-attention effect*). Esse efeito recomenda que múltiplas fontes de informação espalhadas pelo material, no espaço e/ou tempo, sejam integradas como um único elemento (veja exemplo com uma representação do ciclo do carbono na Figura 3.8). A integração dessas informações é relatada na literatura como capaz de reduzir a carga extrínseca, uma vez que o sujeito não precisa integrá-las na memória de trabalho durante a tarefa (Kalyuga, Chandler e Sweller, 1999).



Material instrucional não-integrado
(Alta CG extrínseca devido ao efeito da atenção dividida)



Material instrucional integrado
(Menor CG extrínseca, pois evitou o efeito da atenção dividida)

Figura 3.8. Dois materiais instrucionais iguais elaborados sobre o ciclo do carbono. O material da direita evitou o efeito da atenção dividida ao integrar imagem e texto, diminuindo a carga extrínseca em relação ao material não integrado. Fonte: adaptada de Usberco e Salvado (2002, p.455).

A Tabela 3.2 descreve e exemplifica algumas outras estratégias instrucionais, descritas na literatura, que são eficazes para a redução da carga extrínseca, a gestão da carga intrínseca e a otimização dos processamentos generativos.

Tabela 3.2. Descrição e exemplo de alguns efeitos baseados na TCC que guiam estratégias instrucionais para diminuir a carga extrínseca, fazer a gestão da carga intrínseca e otimizar processamentos generativos.

Estratégias instrucionais	Descrição	Exemplo aplicado à Química
<i>Redução da carga extrínseca</i>		
Efeito do objetivo livre (<i>Goal-free effect</i>)	Substitua tarefas convencionais por aquelas que requerem dos alunos um objetivo amplo e não específico.	Pergunte aos alunos “Por favor, liste tantas evidências quanto possível que possam estar relacionadas a essas reações químicas”, em vez de perguntar “Qual é a reação química que está ocorrendo quando há esse tipo de evidência?”
Efeito do exemplo trabalhado (<i>Worked-example effect</i>)	Substitua tarefas convencionais por exemplos trabalhados que fornecem uma solução completa onde os alunos devam estudar cuidadosamente os passos para resolução.	Deixe os alunos criticarem um relatório experimental pronto, em vez de fazê-los gerar de maneira independente um relatório.
<i>Gestão da carga intrínseca</i>		
Efeito do simples-ao-complexo (<i>Simple-to-complex effect</i>)	Substitua uma série de tarefas convencionais por aquelas que apresente primeiro apenas elementos isolados e, depois, gradualmente aumente até a totalidade de sua complexidade.	Dê aos alunos tarefas que exijam a aplicação de princípios básicos de proporção e porcentagem antes de dar-lhes exercícios de estequiometria.
Efeito da baixa-a-alta fidelidade (<i>Low-to-high fidelity effect</i>)	Substitua uma série de tarefas convencionais por tarefas que são executadas pela primeira vez em um ambiente de baixa fidelidade (baixa interatividade dos elementos) e, em seguida, ambientes cada vez mais fidelizados.	Ao ensinar aos alunos sobre pH, comece com descrições textuais sobre ácidos e bases, depois faça testes com simulações digitais, continue com práticas de laboratório e termine com casos reais e verídicos.
<i>Otimizar processamentos generativos</i>		
Efeito da auto-explicação (<i>Self-explanation effect</i>)	Substitua exemplos trabalhados por tarefas enriquecidas contendo instruções onde se pergunte aos alunos para autoexplicarem a informação fornecida ao resolver o problema.	Para os alunos que estão aprendendo como determinar a voltagem de uma pilha eletroquímica, apresente uma animação e peça que eles expliquem os componentes (semicelas, eletrodos, ponte salina), os processos (de fluxo de elétrons e íons) e as semirreações.
Efeito da variabilidade (<i>Variability effect</i>)	Substitua uma série de tarefas com características superficiais e semelhantes por uma série de tarefas que diferem umas das outras onde a variabilidade ocorra em todas as dimensões do mundo real.	Ao descrever os efeitos da radioatividade no corpo humano, enriqueça os exemplos variando as características dos acidentes, as pessoas, os locais, o tempo de exposição.

3.2.4 Interfaces com a Teoria Ausubeliana

A Figura 3.9 apresenta um mapa conceitual elaborado para destacar as principais interfaces conceituais entre a Teoria da Aprendizagem Significativa e a TCC. Elas justificam a expansão cognitivista apresentada na Figura 3.4, complementando a expansão em direção ao humanismo por meio dos trabalhos de Novak e Moreira. Esse segundo movimento expansionista é indispensável para lidar com os desafios instrucionais relacionados com a utilização dos mapas conceituais no âmbito do processo de ensino-aprendizagem.

A manipulação e a construção de esquemas é uma interface que vincula essas teorias. A aprendizagem significativa Ausubeliana é o resultado esperado quando novos esquemas são construídos a partir dos conhecimentos prévios. A obliteração (Figura 3.1) é o mecanismo que explica a formação dos *chunks* de informação na memória de trabalho. A codificação dos *chunks* de informação ocorre quando eles recebem um significado, a partir dos conhecimentos prévios. Esse evento é responsável pela redução do grau de dissociação do produto interacional (Aa), favorecendo a modificação do conhecimento preexistente (A').

Outra interface importante é identificada ao redor do conceito “*atividades de ensino*”. Nota-se que há uma grande expansão a partir da teoria Ausubeliana que permite a inclusão das cargas intrínseca (relacionada ao conteúdo) e extrínseca (relacionada ao formato da instrução) para descrever como os materiais potencialmente significativos devem ser inseridos nas atividades de ensino. A potencialidade dos materiais é prejudicada quando os alunos estão em sobrecarga cognitiva, por conta da elevada carga extrínseca imposta por atividades mal planejadas. Essa preocupação com o planejamento instrucional amplifica as ideias de Ausubel e melhora o panorama teórico para explicar os desafios instrucionais que são enfrentados nos ambientes de aprendizagem.

A noção de esquemas automatizados é outra interface digna de nota. Diferente do que parece à primeira vista, a automatização de esquemas está relacionada com a aprendizagem significativa. A TCC prevê que a utilização frequente dos esquemas facilita a transferência deles da memória de longo prazo para a memória de trabalho. Esse fato ocorre com especialistas que conseguem discutir, com desenvoltura, os assuntos relacionados com a sua especialidade. Isso se explica, em parte, pela capacidade de acionamento automático de grandes esquemas sobre o tema em discussão. Isso não ocorre com os iniciantes, pois eles ainda precisam construir esses esquemas por meio da aprendizagem significativa.

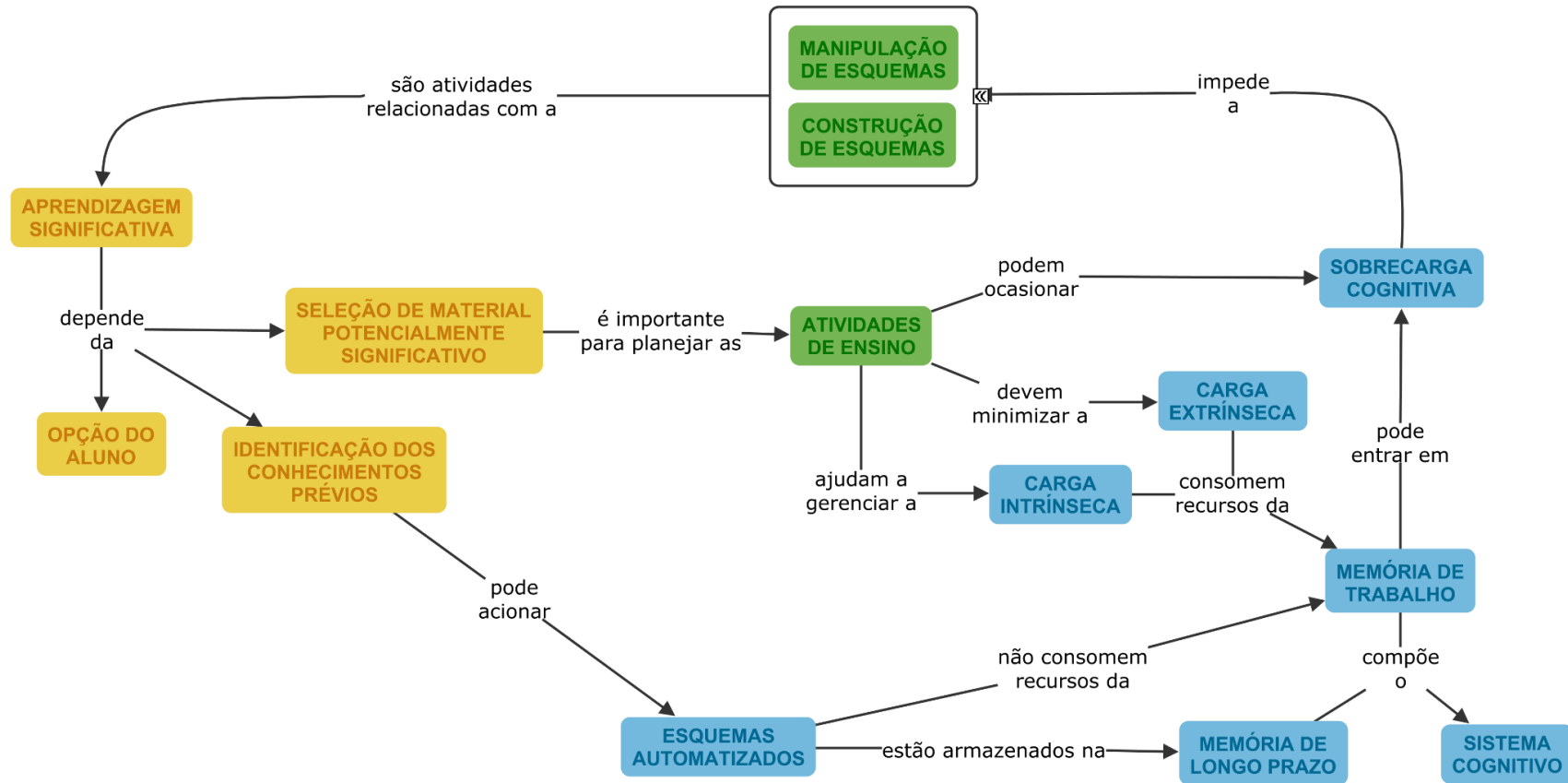


Figura 3.9. Quais são as principais interfaces (verde) entre a Teoria da Aprendizagem Significativa (amarelo) e a Teoria da Carga Cognitiva (azul)?

3.2.5 Atividades baseadas em mapas conceituais

A expansão cognitivista produzida pela TCC é útil para caracterizar o efeito do planejamento de atividades de ensino que usam mapas conceituais. A Figura 3.10 descreve quatro situações que são caracterizadas a partir das cargas intrínseca e extrínseca associadas à tarefa.

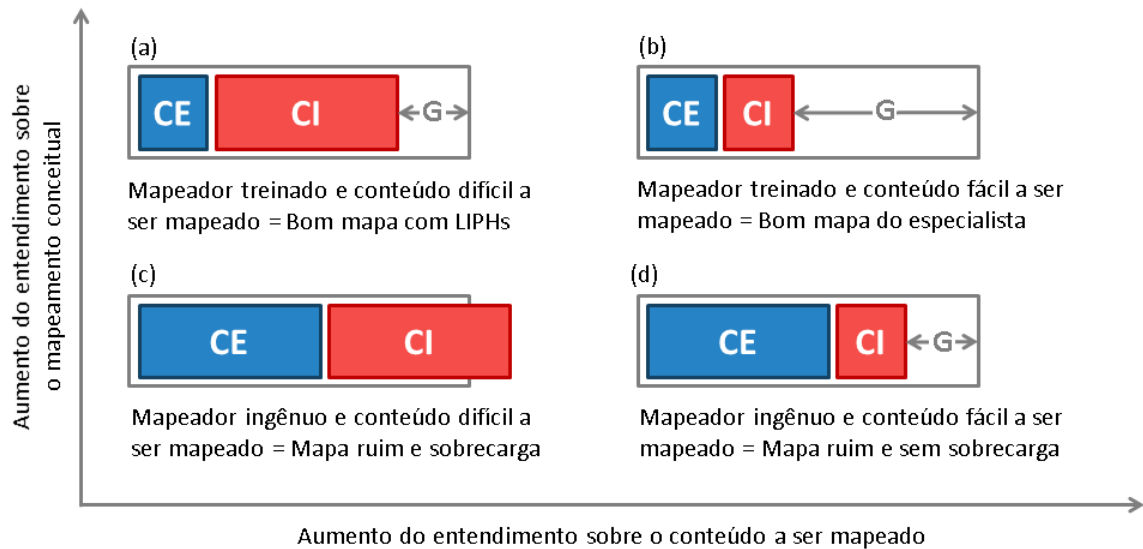


Figura 3.10. Quatro situações possíveis quando se analisa as atividades de ensino que usam mapas conceituais a partir das cargas extrínseca (CE, azul) e intrínseca (CI, vermelho). O entendimento sobre o mapeamento conceitual reduz a carga extrínseca e favorece a construção/manipulação de esquemas por conta da existência de recursos generativos (G).

A elaboração de mapas conceituais constitui uma tarefa de alta demanda cognitiva, sobretudo para os iniciantes nessa técnica de representação do conhecimento. A resposta que os alunos oferecem à tarefa pode ser analisada a partir de duas variáveis importantes: o conhecimento prévio dos alunos sobre o conteúdo a ser mapeado e o conhecimento prévio que os alunos possuem sobre a técnica de mapeamento conceitual. Essas variáveis afetam as cargas intrínseca e extrínseca, respectivamente, e devem ser consideradas para evitar a sobrecarga da memória de trabalho.

O treinamento dos alunos na elaboração de mapas conceituais reduz a carga extrínseca (Figura 3.10a-b). A habilidade de criar mapas é crítica para a consecução da tarefa, que estabelece uma forma específica de externalização dos conhecimentos sobre o tema de estudo. Nesses casos, os alunos produzem bons mapas conceituais¹⁸ a partir dos seus conhecimentos, pois há recursos generativos disponíveis para a manipulação e construção de esquemas. Mapas sobre temas difíceis (Figura 3.10a) podem apresentar

¹⁸ O bom mapa conceitual é aquele que representa, com alta fidelidade, as relações conceituais que o mapeador quer externalizar. Essa qualificação não tem relação com a existência de erros ou imprecisões conceituais, identificadas a partir do conhecimento de referência (aceito como adequado).

maior incidência de erros ou limitações conceituais, por conta da carga intrínseca elevada. Novak (2002) aponta que a identificação de hierarquias proposicionais limitadas ou inapropriadas¹⁹ pode ser o ponto de partida para a aprendizagem significativa. Ao ficarem visíveis nos mapas dos alunos, os professores têm condições de oferecer devolutivas específicas para lidar com as lacunas conceituais reveladas pelos mapas. O mapeamento de temas fáceis, como aqueles que os alunos já estudam há algum tempo, produzirão bons mapas sem tais hierarquias proposicionais (Figura 3.10b).

Os alunos que não recebem treinamento adequado sobre como elaborar bons mapas conceituais se deparam com uma elevada carga extrínseca (Figuras 3.10c-d). Os problemas relacionados com o formato da tarefa são responsáveis pela elaboração de mapas conceituais ruins, sem proposições ou com proposições sem clareza semântica. A baixa qualidade desses mapas não revela a estrutura de conhecimento dos alunos de forma adequada, impedindo que o professor tenha acesso aos modelos mentais dos alunos. Esses mapas são ruins porque eles não são representações externas fidedignas das representações internas que estão na estrutura de conhecimento. Na ausência de treinamento, os mapas são ruins independente da complexidade do tema a ser representado. A diferença é a presença (Figura 3.10c) ou ausência (Figura 3.10d) de sobrecarga cognitiva. Mesmo compreendendo o tema, os alunos não conseguem expressar o seu entendimento no formato especificado pela tarefa. Nesses casos, é melhor solicitar aos alunos que escrevam um texto, ao invés de elaborar mapas conceituais. Essa alteração na tarefa reduz a carga extrínseca e permite que o aluno externalize o que sabe num formato mais familiar.

A importância do treinamento na técnica de mapeamento conceitual fica melhor caracterizada a partir da inclusão da TCC nos fundamentos teóricos originais que se vinculam aos mapas conceituais. Os próximos capítulos apresentam resultados de pesquisa que são interpretados a partir dos conceitos de carga intrínseca, carga extrínseca, recursos generativos e sobrecarga cognitiva. No seu conjunto, eles demonstram os desafios instrucionais que estão presentes quando os mapas conceituais são utilizados no processo de ensino-aprendizagem.

¹⁹ Novak descreve o processo de mudança conceitual por meio das hierarquias proposicionais limitadas ou inapropriadas (*Limited or Innapropriate Propositional Hierarchies*, LIPHs). Ele mostra como a visualização das LIPHs pode ser útil para promover a aprendizagem significativa.

PARTE 2 | RESULTADOS DE PESQUISAS

Não sei de que modo o mundo me vê, mas a mim mesmo pareço ter sido apenas um menino brincando na praia, entretendo-me com encontrar de quando em quando um seixo mais liso ou uma concha mais bela do que o ordinário enquanto todo o vasto oceano da verdade jazia inexplorado diante de mim.

Issac Newton

Os resultados de pesquisa a serem apresentados nos capítulos a seguir envolveram a coleta de dados em sala de aula onde eu atuei como professor de disciplinas do Ciclo Básico da EACH/USP.

Fundada em 2005 como o campus leste da USP na cidade de São Paulo, a EACH/USP é o resultado de diversos interesses, como a pressão de movimentos sociais que demandavam a presença da universidade pública na região leste da cidade de São Paulo, oportunidades políticas, análises demográficas, urbanísticas e econômicas. Os primeiros cursos de Graduação da USP na Zona Leste de São Paulo foram implantados a partir de 27 de fevereiro de 2005, com oferta anual de 1.020 vagas. O projeto de expansão da USP priorizou a formação de recursos humanos voltados para os atuais desafios da sociedade brasileira, como o crescimento sustentável, o envelhecimento populacional, o uso das novas tecnologias de informação, a necessidade de ampliação dos direitos à saúde, à cultura, ao lazer e ao esporte e à atividade física, o aperfeiçoamento na formação de professores e a gestão das políticas públicas.

A EACH/USP desde sua criação está comprometida com a formação humanizadora, estando pautada nos valores democráticos numa perspectiva interdisciplinar²⁰. A interdisciplinaridade foi elencada como o princípio estruturante do projeto acadêmico da EACH, que se traduziu na ausência de departamentos em sua estrutura administrativa.

O projeto pedagógico da EACH é norteado pela busca da interdisciplinaridade, a fim de privilegiar uma maior integração entre as ciências, as artes e as humanidades. A existência de um Ciclo Básico, oferecido ao longo da graduação a todos os ingressantes da EACH e a preferência por métodos ativos de aprendizagem são as opções para que os egressos sejam protagonistas na sociedade contemporânea.

O Ciclo Básico da EACH foi idealizado para promover, simultaneamente, uma iniciação acadêmica dos novos alunos em propostas interdisciplinares, que estejam implicadas criticamente com a realidade da sociedade. Essa proposta acadêmica enfatiza a heterogeneidade de saberes docentes e discentes e as possibilidades da análise ampliada do contexto social a partir da composição de múltiplos olhares disciplinares, com vistas à construção de um ambiente acadêmico dinâmico, participativo e constantemente oxigenado pelo debate e reflexão coletivos. Desse modo, o projeto pedagógico da EACH, destacando os princípios do Ciclo Básico, assume o compromisso de oferecer uma formação acadêmica e profissional sólida aos seus alunos, estimulando o estreitamento das relações entre comunidades e universidade, fomentando uma relação

²⁰ [Clique aqui](#) para acessar o Projeto Acadêmico Institucional da EACH/USP.

de ensino-aprendizagem propositiva e a produção de conhecimento de excelência, que caracteriza a tradição da Universidade de São Paulo.

Espera-se que os alunos tenham a oportunidade de enfrentar os desafios de seus campos profissionais com uma visão mais complexa da sociedade, da cultura e da ciência, a partir das experiências interdisciplinares e teoricamente abrangentes do Ciclo Básico e do seu aprofundamento nas temáticas de seus cursos específicos. Dessa forma, estarão melhor preparados para viver no mundo contemporâneo que cobra dos profissionais a especialização do conhecimento, mas, também, sua inserção em redes de conhecimento e de relações com a cultura e a sociedade.

Para atingir tais propósitos, a estrutura do Ciclo Básico organiza-se em três áreas centrais.

1. Formação introdutória no campo específico de conhecimentos de cada curso: tem como objetivo levar os alunos a tomarem contato com as bases conceituais do curso, permitindo que comecem a conhecer o campo profissional que escolheram desde o início de seus estudos.
2. Formação geral: o objetivo desse eixo é oferecer aos alunos da EACH uma formação geral ampla, que aponte a complexidade dos fenômenos naturais, sociais e culturais. Para tanto, está planejada uma formação integrada nas áreas de ciências naturais, das humanidades e das artes, com ênfase em aspectos teóricos e metodológicos, fundamentados nas bases filosóficas do conhecimento científico, das relações sociedade-natureza, dos aspectos socioculturais contemporâneos, com noções sobre direitos humanos e cidadania e outros mais.
3. Formação científica por meio da resolução de problemas: um objetivo central do Ciclo Básico, com base na tradição da USP de promover e incentivar a iniciação e formação científica dos alunos, é o trabalho com resolução de problemas.

Dessa estrutura central deriva um conjunto de três eixos que articulam Disciplinas Específicas, Disciplinas Gerais (multi e interdisciplinares), Estudos Diversificados e Resolução de Problemas. O espaço investigativo das minhas investigações privilegiou a disciplina Ciências da Natureza e os Estudos Diversificados. Maiores detalhes a partir dessa visão geral do contexto de pesquisa serão oferecidos nos capítulos a seguir.

Capítulo 4 | O treinamento na técnica de mapeamento conceitual²¹

4.1 O que a análise estrutural diz sobre a proficiência na técnica?

Os mapas conceituais são organizadores gráficos que permitem representar o conhecimento e promover a aprendizagem significativa. A utilização adequada da técnica em sala de aula depende do treinamento dos alunos. Este capítulo apresenta resultados referentes à avaliação e acompanhamento da proficiência dos alunos a partir da análise da estrutura da rede proposicional dos mapas. Para isso foi proposto o uso da análise estrutural de 434 mapas produzidos pelos alunos durante a disciplina Ciências da Natureza na EACH/USP nas 1^a, 5^a e 15^a aulas. A partir de análises estatísticas univariada e multivariada dos dados foi possível inferir que a densidade proposicional e a quantidade de conceitos múltiplos iniciais e finais são parâmetros suficientes para determinar a proficiência dos alunos na técnica de mapeamento, a qual foi estabelecida à medida que as tarefas de treinamento e elaboração dos mapas foram acontecendo durante as 15 aulas da disciplina.

As atividades de treinamento dos alunos na técnica de mapeamento conceitual diminuíram a carga extrínseca associada à elaboração de mapas. Com o passar do tempo, as estruturas das redes proposicionais foram se tornando maiores e mais complexas (Figura 4.1). Isso é um indício de que os recursos generativos existentes foram utilizados para a manipulação e construção de esquemas conceituais. Os resultados desse capítulo impulsionaram a criação de um curso online para treinar interessados pelos mapas conceituais.

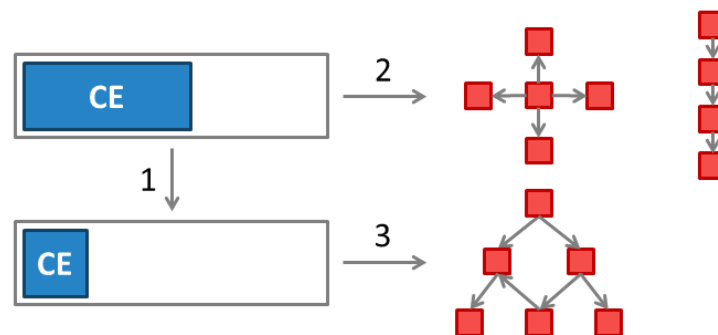


Figura 4.1. O treinamento dos alunos na técnica de mapeamento conceitual reduz a carga extrínseca (1) associada às tarefas de elaboração de mapas. A estrutura da rede proposicional se complexifica na medida em que os alunos se familiarizam com a técnica. Mapas inicialmente radiais e lineares (2) se tornam mapas em rede (3).

²¹ Esse capítulo apresenta uma síntese dos resultados publicados por Ciência & Educação em 2017 no artigo intitulado [“Avaliação da proficiência em mapeamento conceitual a partir da análise estrutural da rede proposicional”](#).

4.2 A análise estrutural de mapas conceituais

Os mapas conceituais revelam explicitamente a relação entre os conceitos (aspecto semântico), ao mesmo tempo em que organizam a informação de forma diagramática (aspecto visuoespacial). Isso potencializa o processamento do conteúdo pela memória de trabalho, visto que ela é capaz de lidar simultaneamente com estímulos verbais e imagéticos. Considerando a escassez de recursos cognitivos da memória de trabalho, o uso dos mapas auxilia a aprendizagem ativa e, conseqüentemente, a aprendizagem significativa (Novak, 2010; Sweller, Ayres e Kalyuga, 2011; Vekiri, 2002). Nesse contexto, o mapeamento conceitual é repetidamente descrito na literatura como potencial ferramenta de ensino para a promoção da aprendizagem dos alunos sobre conceitos científicos (*e.g.*, Hay, Kinchin e Lygo-Baker, 2008; Nesbit e Adesope, 2006; Novak, 1990; Ruiz-Primo e Shavelson, 1996).

Apesar de ser uma técnica bem estabelecida e amplamente utilizada no âmbito educacional, alguns obstáculos ainda precisam ser superados para que os mapas sejam adotados de forma mais consistente e regular pelos professores. A aparente facilidade na elaboração dos mapas conceituais explica sua popularidade, ainda que, o seu uso ingênuo produza poucos (ou nenhum) dos benefícios descritos na literatura (Correia, Infante-Malachias e Godoy, 2008). Alguns trabalhos mostram que muitas das dificuldades encontradas para plena adoção dos mapas derivam, pelo menos em parte, do uso inadequado da técnica, do treinamento ineficaz ou inexistente de alunos e professores, e da pouca importância dada aos fundamentos teóricos subjacentes ao mapeamento conceitual como, por exemplo, o entendimento sobre as proposições como unidade semântica, a organização hierárquica dos conceitos e a assimilação por meio da aprendizagem significativa (Aguiar e Correia, 2013; Cañas e Novak, 2006; Conradt e Bogner, 2010; Hilbert e Renkl, 2008).

Um período de treinamento na técnica pode evitar o uso ingênuo dos mapas conceituais em sala de aula. Nesses casos, verifica-se o estímulo à aprendizagem significativa e aos processos colaborativos como principais dividendos capazes de mudar a dinâmica social em sala de aula. Trabalhos recentes confirmam que há espaço na literatura para pesquisas mais aprofundadas sobre os efeitos de treinamento e estratégias de capacitação de usuários iniciantes, assim como, o desenvolvimento de critérios de avaliação desse processo. Por exemplo, Karpicke e Blunt (2011) destacam essa necessidade de pesquisa quando mencionam em artigo publicado na Science que

We cannot find any studies that manipulated training to examine whether it enhances the effectiveness of concept mapping. Given the importance of identifying the best ways to implement effective strategies, it is surprising that the role of training in concept mapping has not been rigorously examined. (Karpicke e Blunt, 2011, p. 453-d).

4.2.1 A proficiência do mapeador e a morfologia do mapa conceitual

Existem, na literatura, trabalhos importantes que descrevem formas de analisar a morfologia da rede proposicional dos mapas (*e.g.*, Gerstner e Bogner, 2009; Kinchin e Alias, 2005). Dentre eles, Kinchin, Hay e Adams (2000) propõem uma abordagem qualitativa para a análise estrutural dos mapas conceituais. Os três padrões identificados pelos autores (radial, linear e rede) guardam estreita relação com a compreensão do aluno sobre o conteúdo do mapa – quanto maior o grau de interconexões entre as proposições, maior o conhecimento do aluno sobre o conteúdo mapeado (Figura 4.2). Cañas et al. (2006) propõem uma taxonomia topológica que classifica os MCs em seis possíveis categorias em termos de suas características estruturais e semânticas. Nesse caso, tais categorias indicam um aumento progressivo na complexidade e qualidade dos MCs, que pode ser obtido a partir do domínio gradual da técnica e do conteúdo em estudo.

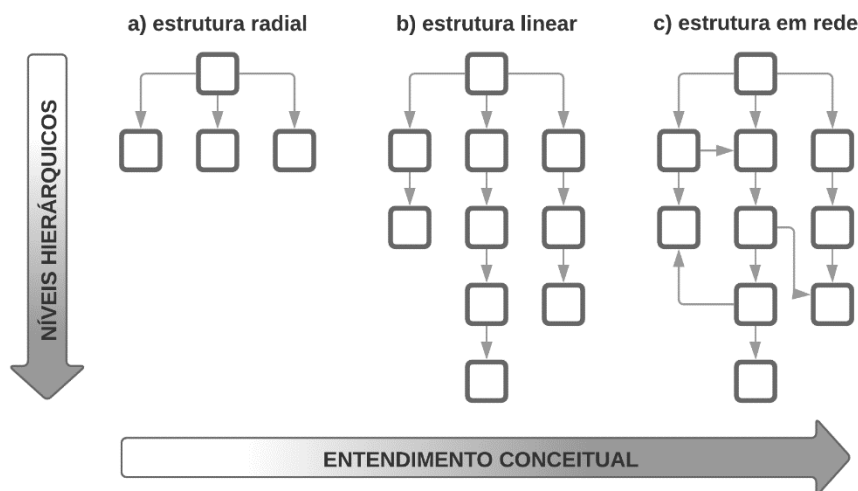


Figura 4.2. Morfologias dos mapas conceituais e sua relação com a progressão do entendimento conceitual.

Dois trabalhos merecem destaque quando o assunto é a morfologia dos mapas conceituais. O primeiro apresenta a aplicação do programa computacional CmapAnalysis, que permite uma detalhada análise quantitativa, automatizada e personalizada de diversos parâmetros estruturais dos MCs (Cañas, Bunch e Reiska, 2010). Apesar de ser uma proposta promissora, o programa não é de simples manipulação e os dados de saída

não são interpretados facilmente. O segundo artigo faz uma extensa discussão sobre o efeito de se manipular a liberdade/restrrição de estrutura e conteúdo para a elaboração e, conseqüentemente, qualidade dos MCs (Cañas, Novak e Reiska, 2015).

Inspirados pela literatura, o nosso grupo de pesquisa desenvolveu uma análise estrutural quantitativa para capturar características morfológicas da rede proposicional dos mapas conceituais (Silva Júnior, Romano Júnior e Correia, 2010). A análise estrutural proposta contém oito parâmetros facilmente contabilizados a partir da quantidade de proposições e conceitos. A Figura 4.3 traz um mapa genérico para exemplificar a análise estrutural e a Tabela 4.2 explica a análise em detalhes. Observe que todos os parâmetros são calculados em função da razão da quantidade total de conceitos do MC (C_T). Isso garante parâmetros com valores relativos que independem do tamanho do MC elaborado.

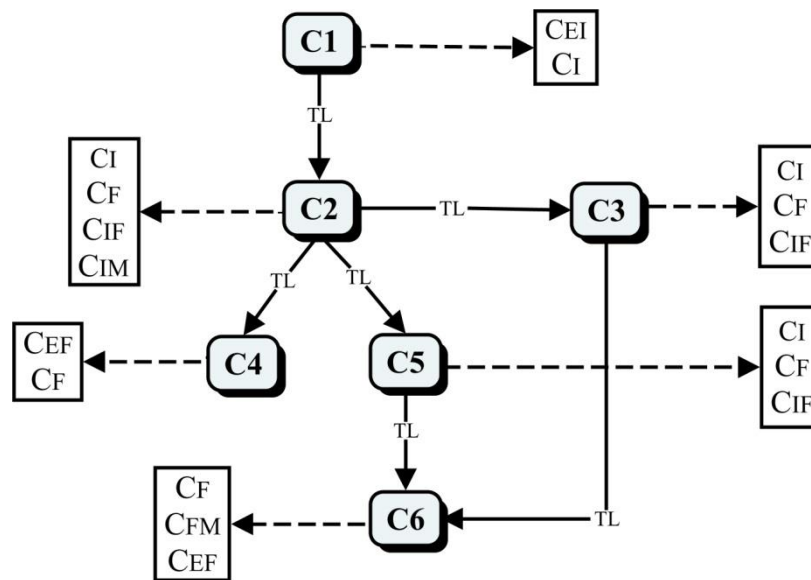


Figura 4.3. Representação esquemática de um mapa conceitual contendo seis conceitos (C1-C6) e seis proposições. A classificação dos conceitos segundo a Análise Estrutural está indicada nos retângulos. Acrônimos e exemplos são descritos na Tabela 4.1. TL indica termo de ligação.

No trabalho de Silva Júnior, Romano Júnior e Correia (2010), os autores inferem que os parâmetros de densidade proposicional (DP), conceitos iniciais múltiplos (CIM) e conceitos finais múltiplos (CFM) são bons indicadores do nível de proficiência dos alunos na elaboração dos mapas. Esse capítulo mostra como a análise estrutural pode ser utilizada para avaliar e monitorar a proficiência dos alunos na técnica de mapeamento conceitual a partir destes três parâmetros estruturais da rede proposicional. A hipótese de trabalho considera que a estrutura do mapa conceitual revela a evolução dos alunos durante o processo de treinamento, permitindo monitorar a proficiência ao longo de uma disciplina sobre Ciências.

Tabela 4.1. Descrição dos parâmetros da Análise Estrutural dos mapas conceituais²².

Parâmetro	Simbologia	Descrição	Exemplo
Densidade Proposicional	DP = P/C _T	Razão entre a quantidade de proposições (P) e a quantidade total de conceitos (C _T) no MC.	$\frac{P}{C_T} = \frac{6}{6} = 1,00$
Conceitos Iniciais	C _I = C _I /C _T	C _I : apresentam uma ou mais setas saindo da caixa do conceito, podendo apresentar seta(s) chegando à caixa do conceito.	$\frac{C_I}{C_T} = \frac{4}{6} = 0,67$
Conceitos Iniciais Múltiplos	C _{IM} = C _{IM} /C _T	C _{IM} : apresentam mais de uma seta saindo da caixa do conceito, podendo apresentar seta(s) chegando à caixa do conceito.	$\frac{C_{IM}}{C_T} = \frac{1}{6} = 0,17$
Conceitos Finais	C _F = C _F /C _T	C _F : apresentam uma ou mais setas chegando à caixa do conceito, podendo apresentar seta(s) saindo da caixa do conceito.	$\frac{C_F}{C_T} = \frac{5}{6} = 0,83$
Conceitos Finais Múltiplos	C _{FM} = C _{FM} /C _T	C _{FM} : apresentam mais de uma seta chegando à caixa do conceito, podendo apresentar seta(s) saindo da caixa do conceito.	$\frac{C_{FM}}{C_T} = \frac{1}{6} = 0,17$
Conceitos Iniciais e Finais	C _{IF} = C _{IF} /C _T	C _{IF} : apresentam uma ou mais seta(s) saindo e uma ou mais seta(s) chegando à caixa do conceito.	$\frac{C_{IF}}{C_T} = \frac{3}{6} = 0,50$
Conceitos Exclusivamente Iniciais	C _{EI} = C _{EI} /C _T	C _{EI} : apresentam somente uma ou mais seta(s) saindo da caixa do conceito, sem apresentar seta(s) chegando à caixa do conceito.	$\frac{C_{EI}}{C_T} = \frac{1}{6} = 0,17$
Conceitos Exclusivamente Finais	C _{EF} = C _{EF} /C _T	C _{EF} : apresentam uma ou mais seta(s) chegando à caixa do conceito, sem apresentar seta(s) saindo da caixa do conceito.	$\frac{C_{EF}}{C_T} = \frac{2}{6} = 0,34$

4.2.2 Procedimentos de coleta de dados

Os dados foram coletados nos primeiros semestres letivos de 2009, 2010 e 2011, durante a disciplina Ciências da Natureza (CN). Os mapas coletados para análise (n = 434) foram produzidos pelos alunos durante a 1^a (MC1), a 5^a (MC5) e a 15^a (MC15) aulas da disciplina. As atividades da disciplina CN (Figura 4.4) contemplam a produção do MC1 colaborativo em trios sobre um assunto familiar aos alunos ingressantes no ensino superior (a dificuldade de ingressar na USP). Em seguida, eles passam por um período de treinamento de quatro aulas na técnica de mapeamento conceitual, abordando aspectos descritos e discutidos com detalhes na literatura (Aguiar, Cicuto e Correia, 2014; Aguiar e Correia, 2013). Os MC5 e MC15 foram elaborados individualmente em dois momentos

²² Os valores dados como exemplos consideraram o mapa conceitual apresentado na Figura 1. Acrônimos para os valores absolutos estão com o subscrito (p. ex. C_{IM}). Acrônimos para os valores relativos, calculados em função do número de conceitos totais (C_T), estão sem subscrito (p. ex. CIM).

formais de avaliação da disciplina envolvendo os temas Universo e Bioética, respectivamente. Os alunos foram incentivados a produzir mapas conceituais manuscritos (usando papel e caneta) e digitais (usando o programa CmapTools) durante todas as 15 aulas da disciplina, estabelecendo, assim, um período de quatro meses de utilização sistemática da técnica.

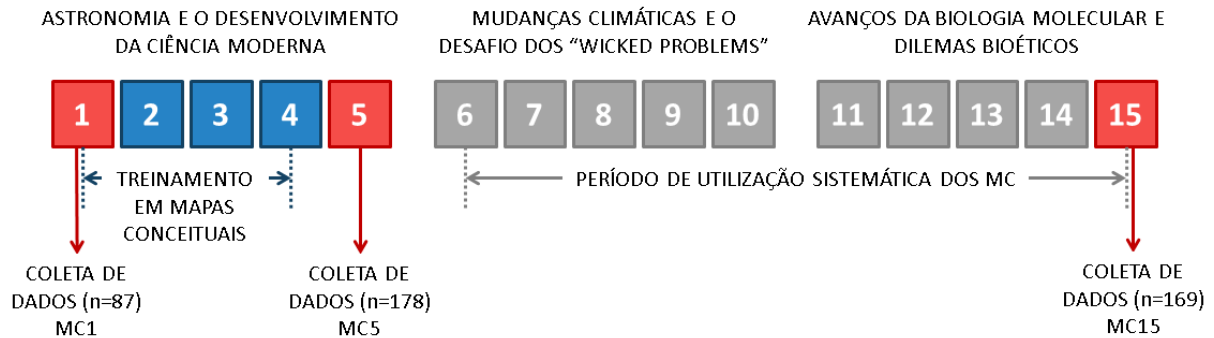


Figura 4.4. Momentos de coleta de dados (434 mapas conceituais) durante as aulas da disciplina CN (em vermelho, aulas 1, 5 e 15).

4.2.3 Procedimentos de análise de dados

Primeiramente, foi contabilizada a quantidade de proposições, conceitos totais, iniciais múltiplos, finais múltiplos para cada um dos 434 mapas produzidos durante a disciplina. Em seguida, os valores de DP, CIM e CFM foram determinados, conforme descrito na Tabela 4.1. Para avaliar a correlação entre os parâmetros estruturais, a soma CIM + CFM em função da DP foi representada em um gráfico de dispersão e a correlação linear de Person (r) foi calculada.

A partir das três variáveis da análise estrutural (AE), realizou-se uma Análise Hierárquica de Agrupamentos (AHA), que consiste em uma análise multivariada de caráter exploratório (Field, 2009) cujo principal propósito é reunir objetos (nesse caso, os mapas) por sua similaridade em função das variáveis analisadas (nesse caso, os parâmetros da AE). Para estabelecer os cálculos necessários à análise foi considerada a distância Euclidiana e o método Ward/Incremental de iteração, feitos com auxílio do programa computacional IBM SPSS Statistics versão 22.0 (IBM Corporation, Armonk, NY, EUA).

As médias e desvios-padrão dos parâmetros da AE foram utilizados para caracterizar o padrão estrutural dos mapas conceituais em cada grupo da AHA. Para observar como os mapas produzidos ao longo da disciplina têm suas características estruturais alteradas, determinou-se as frequências em porcentagem dos MC1, MC5 e MC15 presentes em cada um dos grupos, representadas através de um gráfico de barras.

4.2.4 A correlação entre os parâmetros estruturais dos mapas conceituais

O somatório dos conceitos múltiplos em função da densidade proposicional gerou o gráfico de dispersão apresentado na Figura 4.5, onde os pontos representam cada um dos 434 MCs produzidos durante a disciplina CN.

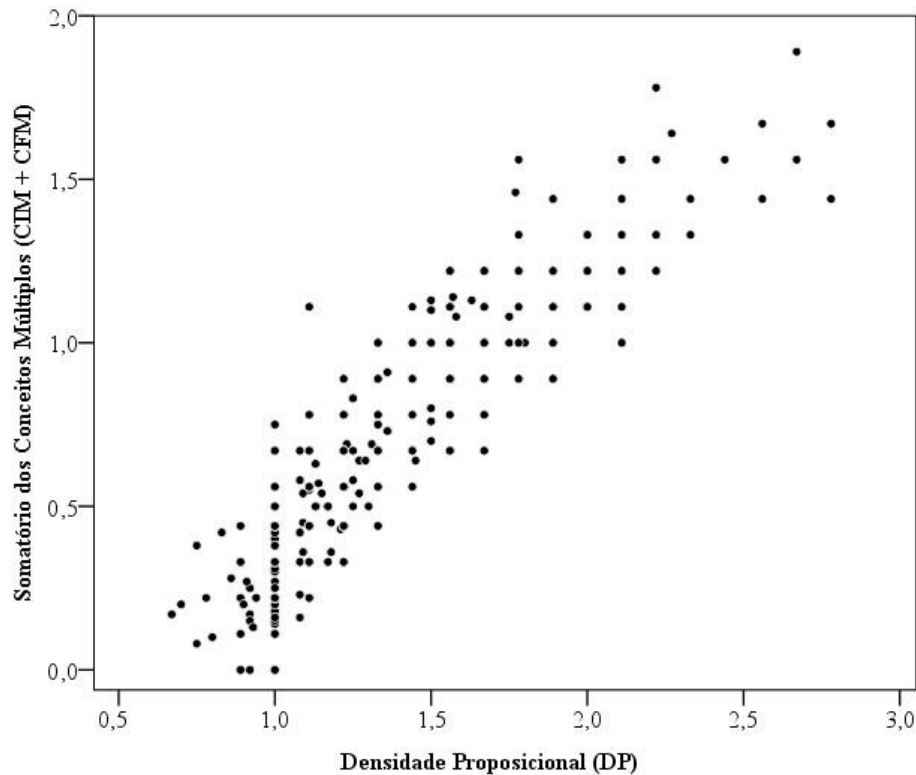


Figura 4.5. Correlação entre parâmetros da AE que estabelece um contínuo entre MCs produzidos por alunos ao longo da disciplina CN de 2009 a 2011 (correlação de Pearson, $r = 0,82$).

A Figura 4.5 mostra que a quantidade de conceitos múltiplos (CIM + CFM) está relacionada a DP, apresentando uma forte correlação linear de Pearson $r = 0,82$. Essa correlação pode ser explicada pelo efeito da restrição do número de conceitos do MC. Limitar a quantidade de conceitos totais para elaboração do MC exige que o aluno transforme conceitos a priori iniciais e/ou finais em conceitos múltiplos para gerar mais proposições. Isso implica no aumento do número de proposições sem aumentar o número de conceitos totais do MC. Como consequência aumenta-se proporcionalmente o número de CIM e CFM, como mostra o gráfico da Figura 4.5. Essa discussão ressalta a importância de se comparar mapas elaborados sob as mesmas condições conforme já descrito na literatura por Cañas, Novak e Reiska (2015). Assim, cabe destacar que os mapas elaborados durante os momentos de coleta apresentavam uma quantidade total de 9 conceitos, arbitrariamente definida pelo professor da disciplina que considerou o tempo disponível para a elaboração do MC (60 minutos) e o interesse em avaliar o poder de síntese dos alunos nas provas da disciplina.

4.2.5 Os padrões estruturais dos mapas conceituais

A aplicação da AHA para reunir os mapas conceituais em função dos seus parâmetros estruturais gerou um dendrograma que favorece a formação de quatro agrupamentos naturais (I–IV) com 71% de similaridade. Os valores médios com menores desvios-padrão indicam uma maior homogeneidade entre os mapas dentro de cada grupo. O número total de mapas, nos grupos de I a IV é 165, 174, 42 e 53, respectivamente. A análise de variância (ANOVA) indicou que os grupos formados são estatisticamente diferentes tanto para os valores de DP, $F(431,3) = 918,3$, $p = 0,00$, como para as quantidades de CIM e CFM, $F(431,3) = 535,6$, $p = 0,00$ e $F(431,3) = 457,06$, $p = 0,00$, respectivamente. A caracterização e diferenciação dos grupos podem ser observadas no gráfico da Figura 4.6.

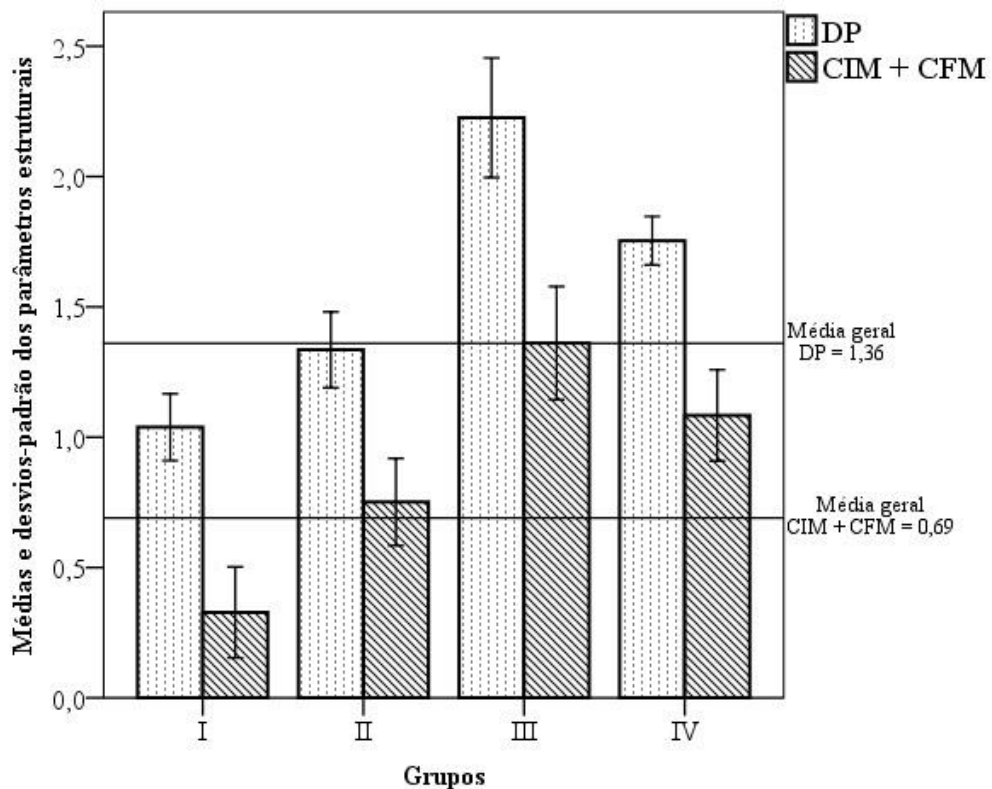


Figura 4.6. Caracterização dos agrupamentos I-IV em função da média e desvios-padrão dos parâmetros estruturais dos MCs contidos em cada grupo.

Cada agrupamento (I–IV) apresenta mapas com características estruturais nitidamente distintas. O grupo I apresenta a média dos parâmetros estruturais DP, CIM + CFM muito abaixo da média geral, indicando que esses mapas são pouco densos e articulados (38% do total). Os mapas desse grupo apresentam uma proposição para cada conceito, sendo que dos nove conceitos, dois ou três são múltiplos. Já os mapas do grupo II (40%) apresentam características em torno na média geral confirmando uma densidade

ligeiramente maior que a do grupo I. Para cada três conceitos há aproximadamente quatro proposições sendo formadas e dos nove conceitos, ao menos, seis deles são classificados como múltiplos (finais ou iniciais). Os grupos III e IV apresentam mapas com parâmetros estruturais muito acima da média geral. O grupo III é formado por 12% de mapas extremamente densos e com conceitos exclusivamente múltiplos. Nesse caso, os mapas apresentam em média duas proposições para cada conceito, sendo que, no mínimo, sete conceitos são ao mesmo tempo múltiplos iniciais e finais. Por fim, os mapas do grupo IV (10%) são um pouco menos densos, configurando-se em uma estrutura que tem em média quinze proposições e nove conceitos múltiplos (iniciais ou finais).

4.2.6 A modificação dos padrões estruturais ao longo da disciplina

Para entender como o padrão estrutural dos mapas conceituais sofre alterações ao longo da disciplina e, conseqüentemente, compreender de que modo as atividades promovidas em sala de aula contribuíram para a aquisição de habilidades na técnica de mapeamento conceitual, a Figura 4.7 apresenta um gráfico de barras que indica a porcentagem relativa de cada grupo de mapas (MC1, MC5 e MC15) em relação ao total de mapas produzidos naquela aula em cada grupo formado pela AHA.

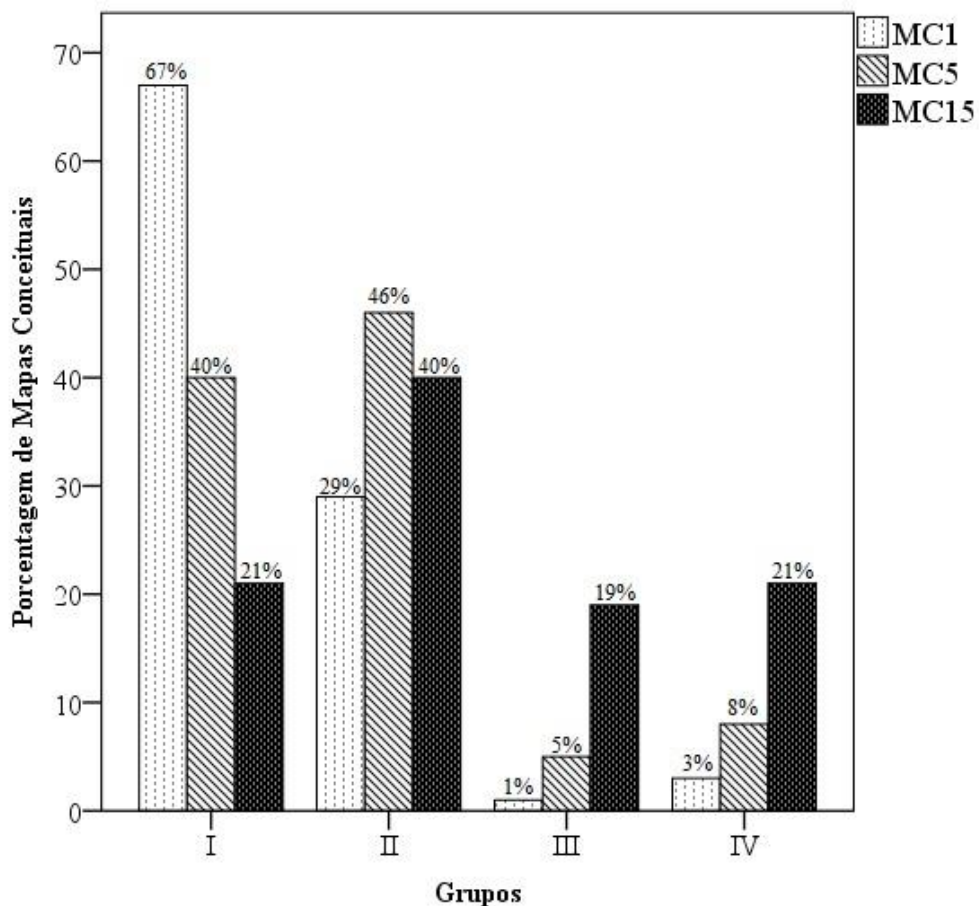


Figura 4.7. Porcentagem relativa de mapas produzidos nas aulas 1, 5 e 15 em cada grupo (I-IV).

De acordo com os dados apresentados na Figura 4.7, os mapas produzidos na primeira aula da disciplina (MC1) estão predominantemente no grupo I (67%). Esses mapas, elaborados no primeiro contato com a técnica, apresentam quantidade reduzida de proposições, que formam uma estrutura parecida com um texto. As quatro aulas seguintes da disciplina CN foram destinadas às leituras e discussões científicas acerca do tema Universo, seguida de uma avaliação formal e individual na 5ª aula da disciplina (MC5). Concomitantemente, atividades de treinamento foram propostas como forma de garantir que os alunos compreendam os parâmetros de referência para elaborar bons mapas (Aguiar e Correia, 2013). Conforme o gráfico da Figura 4.7, os MC5 estão distribuídos quase que exclusivamente entre os grupos I (40%) e II (46%). A diminuição na proporção de mapas presentes no grupo I seguido do aumento no grupo II, quando comparados ao MC1, demonstra que o período de treinamento oferece aos alunos meios de modificar a estrutura dos seus mapas, agora, com mais proposições que articulam conceitos.

Nas 10 aulas seguintes da disciplina o professor propõe diversas tarefas de elaboração de mapas individuais e colaborativos, a fim de que os alunos se preparem para discutir desdobramentos sociais, ambientais, políticos e econômicos referentes aos temas Mudanças Climáticas e Bioética. Na última aula da disciplina o aluno realiza a terceira avaliação formal e individual sobre o tema Bioética (MC15). A Figura 4.7 indica que esses mapas estão distribuídos entre os quatro grupos, sendo com maior predominância no grupo II (40%) e igualmente entre os grupos I e IV (21%). A utilização sistemática do mapeamento conceitual em sala de aula tornou possível a elaboração de mapas com uma grande quantidade de proposições feitas a partir de conceitos amplamente articulados (grupo IV), o que pouco ocorreu no MC1 (apenas 3%).

Se observarmos apenas os mapas com características estruturais muito acima da média geral (grupos III e IV) é possível perceber que somam apenas 4% de MC1, progredindo para 13% de MC5, e aumentando para 40% de MC15. Esses dados confirmam que as tarefas de treinamento ao longo da disciplina permitem aos alunos elaborar mapas cada vez mais densos e articulados. Na prática, pode-se dizer que os alunos se tornam capazes de lidar com a tarefa de elaboração dos mapas, ao mesmo tempo em que expressam melhor seus conhecimentos no tema abordado.

4.2.7 Casos mais frequentes ilustrados a partir de mapas feitos pelos alunos

Para ilustrar a mudança na estrutura ao longo da disciplina, um MC1 do grupo I (Figura 4.8a), um MC5 do grupo II (Figura 4.8b) e um MC15 característico do grupo IV (Figura 4.8c) são mostrados a seguir. Os termos de ligação foram suprimidos uma vez que a estrutura da rede proposicional, *i.e.*, a densidade e a articulação entre os conceitos, é o que interessa discutir nesse momento.

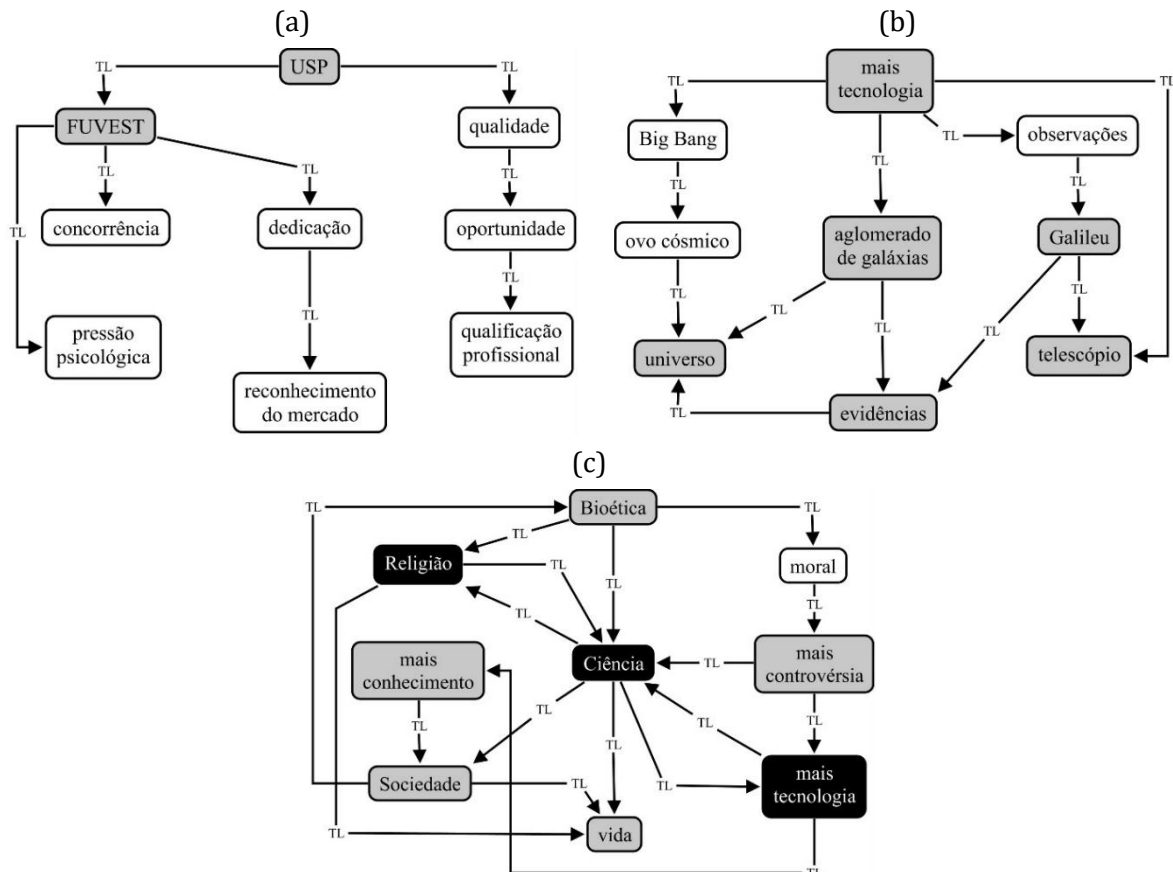


Figura 4.8. Mapas conceituais com nove conceitos e pergunta focal pré-definida produzidos por alunos durante a disciplina CN: (a) MC1 do grupo I (tema: a dificuldade de ingresso na USP); (b) MC5 do grupo II (tema: Universo); (c) MC15 do grupo IV (tema: Bioética). Legenda: fundo branco – conceito ordinário; fundo cinza – conceito múltiplo inicial ou final; fundo preto – conceito múltiplo inicial e final; TL – termo de ligação.

Ao observarmos os mapas dos alunos (Figura 4.8) é possível perceber visualmente que as estruturas das redes proposicionais são diferentes. Todos possuem a mesma quantidade de conceitos totais (nove), porém, o aluno que elaborou o MC1 (Figura 4.8a) utilizou apenas oito proposições para responder à pergunta focal ($DP = 0,89$), enquanto os alunos que elaboraram os MC5 (Figura 4.8b) e MC15 (Figura 4.8c) utilizaram 12 ($DP = 1,34$) e 17 ($DP = 1,89$) proposições, respectivamente. O aumento da DP ao longo da disciplina poderia ser explicado pelo maior entendimento no conteúdo. Porém, o assunto abordado na 1ª aula (MC1) e nas duas provas (MC5 e MC15) são completamente diferentes entre si. Esse aumento de DP deve-se a um maior entendimento da técnica e da

capacidade do aluno em estabelecer mais proposições para explicitar seu conhecimento no tema.

A integração da rede é dada pela maior conexão entre conceitos. No caso do MC1 (Figura 4.8a), o encadeamento de conceitos é semelhante a um texto, onde sete dos nove conceitos presentes no mapa estão ligados diretamente a apenas outro conceito subordinado a ele. Com isso os parâmetros relativos aos conceitos múltiplos são muito baixos ($CIM + CFM = 0,22$), o que caracteriza os mapas do grupo I. Apesar do tema mapeado ser extremamente familiar a esse aluno, o mapa se revela pouco denso e articulado. Isso pode ser explicado porque o aluno teve que lidar cognitivamente com duas demandas, sendo uma relativa ao conteúdo (recuperar informações relativas ao seu conhecimento) e outra relativa à forma (se expressar utilizando um organizador gráfico desconhecido).

No caso do MC5 (Figura 4.8b), o conceito inicial (Mais tecnologia) expande a rede proposicional através da sua conexão com quatro conceitos diretamente subordinados a ele (Big Bang, Aglomerado de Galáxias, Observações e Telescópio). A diferença do MC5 para o MC1 (Figura 4.8a) é a presença de alguns conceitos que agora podem servir de conexão entre diferentes níveis de conhecimento. Por exemplo, os conceitos Big Bang e Ovo Cósmico remetem à criação do Universo, enquanto, os conceitos Galileu e Telescópio remetem aos avanços científico-tecnológicos que permitiram uma maior observação do Universo. No caso, o aluno não explicitou qualquer ligação direta esses conceitos, porém, utilizou um conceito em comum (Evidências) para isso. Essa manipulação faz com que a quantidade de proposições ($DP = 1,34$) e conceitos múltiplos ($CIM + CFM = 0,66$) aumente mais em relação a um mapa conceitual essencialmente linear, como é o caso do MC1.

A organização conceitual hierárquica é considerada um ponto crítico para elaboração de bons mapas. No caso do MC5, a capacidade do aluno em escolher conceitos relacionados ao tema e dispô-los espacialmente para formular proposições, já demonstra familiaridade com a técnica de mapeamento conceitual. Durante a sua elaboração, o aluno não conseguiu usufruir do seu poder de escolha dos conceitos, nem da proximidade espacial provida pelo organizador gráfico. Como consequência, a rede proposicional se apresenta ainda pouco densa e pouco articulada entre si, característica central dos mapas do grupo II.

Por fim, o MC15 (Figura 4.8c) pode ser classificado propriamente como uma rede de conceitos onde sua hierarquia é menos óbvia uma vez que oito dos nove conceitos estão ligados a outros dois ou mais conceitos. Isso significa que, para aumentar a

integração da rede de proposições sem alterar o número de conceitos, o aluno precisou elaborar muitas proposições utilizando os mesmos conceitos, atribuindo a estes a característica de serem múltiplos (iniciais ou finais). Como consequência, os parâmetros da AE se tornaram relativamente altos ($DP = 1,89$; $CIM + CFM = 1,13$), característica essencial dos mapas do grupo IV. O aluno que elaborou o MC15 foi capaz de escolher conceitos-chave sobre o tema (*e.g.*, Bioética, Ciência, Moral e Sociedade), dispô-los espacialmente da melhor forma possível, perceber e realizar as conexões necessárias entre diferentes níveis de conhecimento (*e.g.*, Religião e Moral interligada à Sociedade e Vida por meio da Ciência e Bioética). Essa manipulação do organizador gráfico só é possível quando o aluno é proficiente na técnica de mapeamento conceitual e conhece razoavelmente o tema mapeado.

Vale destacar que o senso comum que reveste as discussões sobre temas controversos como a criação, expansão e estudo do Universo (tema do MC5) ou sobre como a ética, moral e religião influenciam o estudo da clonagem e terapia gênica (tema do MC15), podem dar base para um aluno proficiente na técnica elaborar um mapa ingênuo. Porém, os mapas vistos nas Figuras 4.8b e 4.8c não poderiam ter sido elaborados por especialistas nos temas que desconhecem os princípios da técnica de mapeamento. Em outras palavras, o treinamento na técnica é necessário até mesmo para que um especialista (professor) possa expressar conhecimento organizado na forma de mapas.

4.2.8 Casos especiais ilustrados a partir de mapas feitos pelos alunos

Além dos mapas apresentados na seção anterior, oferecemos ainda dois casos particulares: um MC15 do grupo I (Figura 4.9a) e um MC5 do grupo III (Figura 4.9b). Nessa seção os termos de ligação são oferecidos para permitir uma segunda dimensão de análise desses mapas, a análise de conteúdo ou correção conceitual.

Na Figura 4.9a é possível visualizar um MC15 pouco denso ($DP = 1,00$) e com poucas articulações entre os conceitos ($CIM + CFM = 0,33$), ilustrando o caso particular de um aluno que passou pelo período de treinamento e pelas 14 aulas da disciplina com tarefas para elaboração de mapas acompanhada de discussões sobre os conteúdos científicos relativos ao Universo, Mudanças Climáticas e Bioética. Analisando esse mapa, percebe-se que há presença de clareza semântica nas proposições (*p.ex.*, inovações – geram → mais controvérsia). Mesmo havendo pertinência dos conceitos escolhidos (Bioética, Clonagem e Transgenia), as proposições guardam certa ingenuidade (*p.ex.*, genética – é uma área da → Ciência e bioética – considera o → ético), nos levando a inferir

que esse aluno sabe expressar seu conhecimento na forma de mapa, porém, não compreendeu com profundidade as discussões relativas ao tema Bioética.

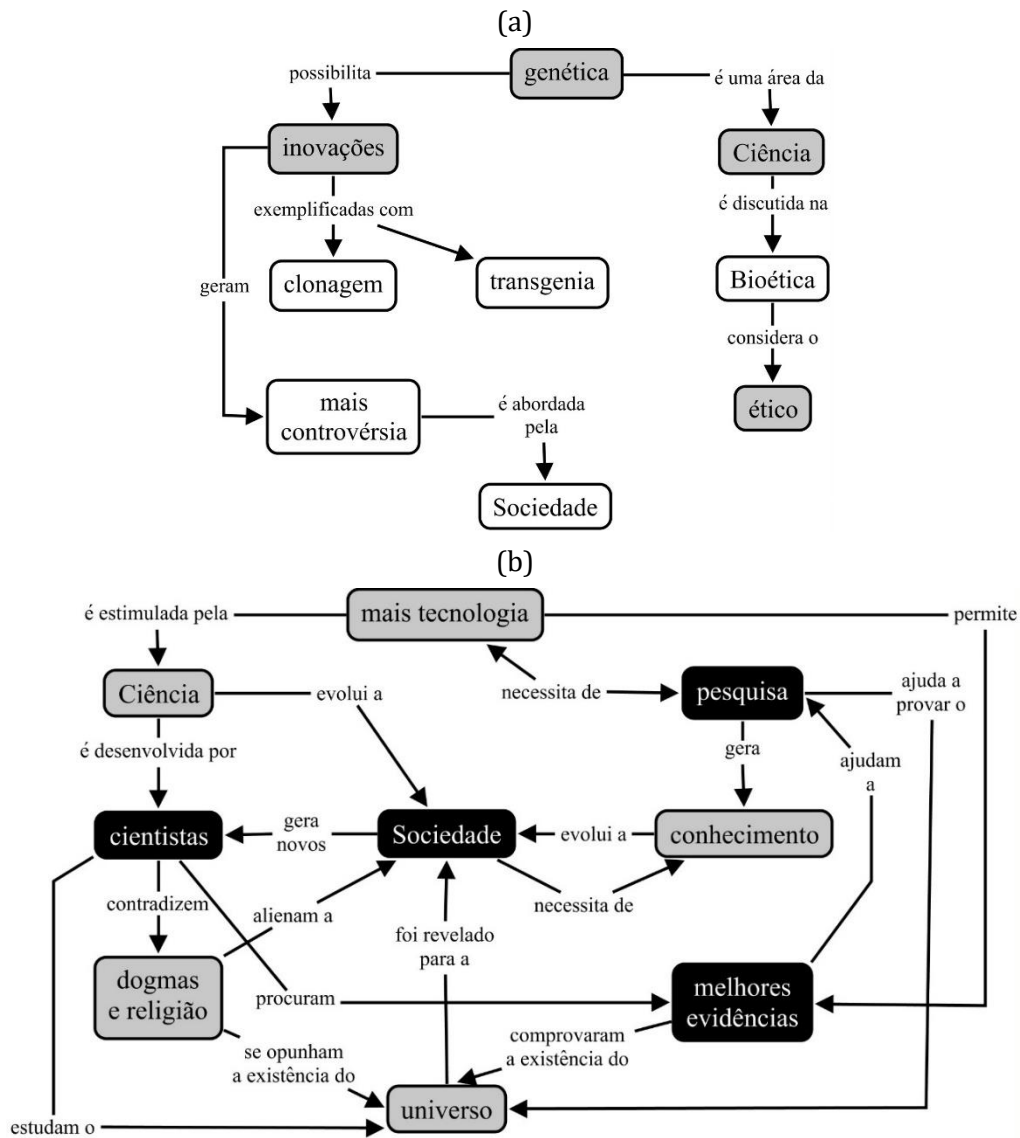


Figura 4.9. Mapas com nove conceitos, pergunta focal e estrutura pré-definida produzidos por alunos durante a disciplina CN: (a) MC15 do grupo I (tema: Bioética); (b) MC5 do grupo III (tema: Universo). Legenda de cores: fundo branco – conceito ordinário; fundo cinza – conceito múltiplo inicial ou final; fundo preto – conceito múltiplo inicial e final.

No caso da Figura 4.9b é apresentado um MC5 extremamente denso (DP = 2,11) e integrado (CIM + CFM = 1,56), ilustrando outro caso especial de um aluno que apresenta total domínio sobre a técnica de mapeamento conceitual após o período de treinamento de quatro aulas concomitante às discussões em sala sobre o tema Universo. Analisando esse mapa, percebe-se que as proposições têm clareza semântica (*p.ex.*, sociedade – gera → novos cientistas), os conceitos escolhidos são pertinentes (*p.ex.*, Ciência, Sociedade, pesquisa, universo) e não há proposições ingênuas no mapa. É possível que esse aluno já possuísse conhecimento prévio sobre o tema e, com isso, os recursos cognitivos

disponíveis na sua memória de trabalho foram alocados para lidar com a tarefa de elaboração do mapa.

Garantir a proficiência do aluno na construção de mapa abre espaço para que o professor identifique proposições que revelam limitações e/ou erros conceituais (Novak, 2002). Por exemplo, na proposição *“dogmas e religião – se opunham a existência do → Universo”*, o professor pode mencionar ao aluno que a Igreja e seus dogmas não se opõem à existência do Universo. A explicação religiosa sobre a origem e a evolução do Universo difere da científica, mas nenhuma delas nega tal existência. De forma análoga, a proposição *“pesquisa – ajuda a provar o → Universo”*, abre espaço para discutir a concepção do aluno sobre o significado de que *“provar”* leva eventualmente a uma verdade absoluta, o que não condiz com a compreensão adequada do conhecimento produzido cientificamente, que deve ser aceito e validado dentro de um contexto histórico.

4.2.9 Limitações e perspectivas da análise estrutural

Expressar o conhecimento científico na forma de mapa requer claro entendimento da técnica de mapeamento conceitual. Tal entendimento torna possível a construção de mapas com alta densidade de proposições (DP) e conceitos articulados entre si (CIM + CFM) para representar o conhecimento e suas relações conceituais.

A partir dos resultados apresentados foi possível concluir que esses três parâmetros estruturais (DP, CIM e CFM) foram capazes de descrever o aumento progressivo de capacitação na técnica ao longo da disciplina CN. O período de treinamento de quatro aulas e a utilização sistemática da técnica por mais onze aulas foram fatores críticos para garantir os bons resultados apresentados.

É importante realçar que a AE não revela o grau de entendimento conceitual que o aluno tem a respeito do tema e, por isso, a leitura e interpretação das proposições do mapa complementa a análise descrita nesse trabalho. Entretanto, entendemos que a capacitação na técnica de mapeamento conceitual permite revelar de modo mais fidedigno as representações mentais dos alunos sobre um determinado conteúdo e, portanto, uma análise de correção, pertinência e validade conceitual das proposições do mapa tende a ser favorecida se garantido o prévio treinamento na técnica. A leitura da rede proposicional deve ser feita no sentido de:

1. contemplar a leitura de cada proposição e o julgamento quanto a sua clareza semântica, pertinência e validade conceitual frente aos conteúdos tratados durante a disciplina;

2. observar se a rede proposicional como um todo é suficientemente capaz de responder à pergunta focal estabelecida pelo professor; e
3. julgar se a hierarquia conceitual foi estabelecida pelo aluno e, em caso positivo, se a mesma auxiliou na organização e articulação do conteúdo de forma eficiente e correta.

A partir dos resultados apresentados, podemos vislumbrar a possibilidade de elaboração de um modelo algorítmico capaz de determinar o nível de proficiência do mapeador a partir da combinação univariada ou multivariada dos parâmetros estruturais do mapa. Com esse modelo esperamos atingir maior autonomia, otimização e agilidade nessa análise estrutural prévia, auxiliando tanto no ensino presencial como à distância no que diz respeito ao uso deste recurso.

4.3 Perspectivas didáticas para o treinamento na técnica²³

O MOOC²⁴ “*Mapas conceituais para aprender e colaborar*” foi lançado em 15 de abril de 2019 para treinar e certificar os interessados em utilizar adequadamente a técnica de mapeamento conceitual. As atividades são remotas e a plataforma Coursera tem os requisitos para atender a alta demanda que deve se apresentar ao longo dos próximos anos. Essa iniciativa explicita a interface entre pesquisa e extensão, estabelecida a partir dos resultados das investigações sobre os mapas conceituais. A avaliação da proficiência dos cursistas na elaboração de mapas conceituais passa pela análise semântica e estrutural do mapa, sendo que esta última pode ser feita de forma automatizada por meio de recursos computacionais. Serão exibidos mapas conceituais ilustrativos que mostram a evolução da proficiência na técnica de mapeamento conceitual com base na análise estrutural.

4.3.1 A importância da proficiência na técnica de mapeamento conceitual

A clareza semântica é um dos requisitos importantes para que os mapas conceituais cumpram adequadamente a função de representar o conhecimento do mapeador (*e.g.*, Aguiar e Correia, 2013; Novak, 2010). Pode-se, por exemplo, relacionar os conceitos “ciência” e “humanidade” de três formas distintas:

²³ Essa seção apresenta uma síntese dos resultados publicados por Caminhos da Educação Matemática em Revista em 2020 no artigo intitulado [“Curso online para treinamento e certificação na técnica de mapeamento conceitual”](#).

²⁴ MOOC, do inglês Massive Open Online Course, significa curso online aberto e massivo, oferecido normalmente em ambientes virtuais de aprendizagem.

1. A relação “*ciência* → *humanidade*” nada diz a respeito sobre como esses conceitos se relacionam.
2. A relação “*ciência* – *com* → *humanidade*” traz um termo de ligação que diz alguma coisa a respeito da relação entre os conceitos, porém de forma imprecisa, ou seja, não se pode afirmar ou negar a proposição formulada.
3. Já a relação “*ciência* – *beneficia a* → *humanidade*” produz uma mensagem precisa e inteligível. Esta relação conceitual pode ser prontamente discutida, pois o termo de ligação “*beneficia a*” confere significado à relação entre “*ciência*” e “*humanidade*”. Pode-se entender claramente que a ciência proporciona benefícios à humanidade, permitindo uma argumentação objetiva a respeito da afirmação.

A falta de proficiência na técnica de mapeamento conceitual pode prejudicar a clareza e a precisão da representação. Quando se é especialista no tema e proficiente na técnica de mapeamento conceitual, a representação é clara e correta. O aluno proficiente na técnica de mapeamento conceitual é capaz de representar claramente partes da sua estrutura de conhecimento através de um mapa. Isso permite ao professor avaliar o entendimento do aluno sobre o tema de forma assertiva, identificando estruturas proposicionais hierárquicas inapropriadas ou limitadas que impedem a ocorrência da aprendizagem significativa (Cicuto e Correia, 2013; Novak, 2002).

A eficiência do uso dos mapas em sala de aula depende das habilidades dos mapeadores em formular proposições com clareza semântica. Portanto, é necessário que os alunos sejam treinados na técnica de mapeamento conceitual. Este treinamento pode ser ministrado pelo próprio professor durante as aulas, consumindo parte do tempo destinado aos conteúdos curriculares.

O uso das tecnologias da informação e da comunicação para o desenvolvimento de um ambiente que permita o aprendizado autônomo dos alunos é uma alternativa interessante para solucionar esse problema. Os cursos online abertos e massivos se destacam nesse contexto por apresentarem potencial para promover educação em larga escala, incorporando soluções instrucionais sofisticadas, tais como a detecção de plágio, avaliação por pares e a certificação do aluno (Cooper e Sahami, 2013).

4.3.2 O primeiro curso online aberto e massivo sobre mapeamento conceitual

O MOOC “*Mapas conceituais para aprender e colaborar*” é uma alternativa para treinar usuários iniciantes na técnica de mapeamento conceitual, sem comprometer o tempo do professor em sala de aula. Fruto da experiência adquirida nos últimos 15 anos pelo nosso grupo de pesquisa, este curso é oferecido pela Universidade de São Paulo na

plataforma Coursera²⁵. Sessões privadas são criadas mensalmente para os interessados que desejam participar do curso gratuitamente²⁶. Vale destacar que o planejamento e desenvolvimento deste curso online foi realizado fazendo uso de mapas conceituais, confirmando que o uso dessa técnica de representação do conhecimento extrapola as aplicações mais frequentes que se concentram no processo de ensino-aprendizagem (Correia, Aguiar e Santos Neto, 2018).

O curso online tem como objetivo trabalhar os fundamentos do mapeamento conceitual (Aguiar e Correia, 2013; Novak, 2010), a partir de conteúdos teóricos (textos e vídeos) e atividades práticas (elaboração e avaliação de mapas conceituais). A Figura 4.10 mostra o modelo de processo que representa as cinco semanas de duração do curso online, destacando conteúdos teóricos (*Entenda os mapas*), atividades práticas (*Faça mapas*), momentos de reflexão (*Boas-vindas, formatura*) e textos extras para estudo (*Onde aprender mais*). O progresso dos alunos é monitorado através de avaliações semanais e por uma avaliação final que ocorre na última semana do curso.

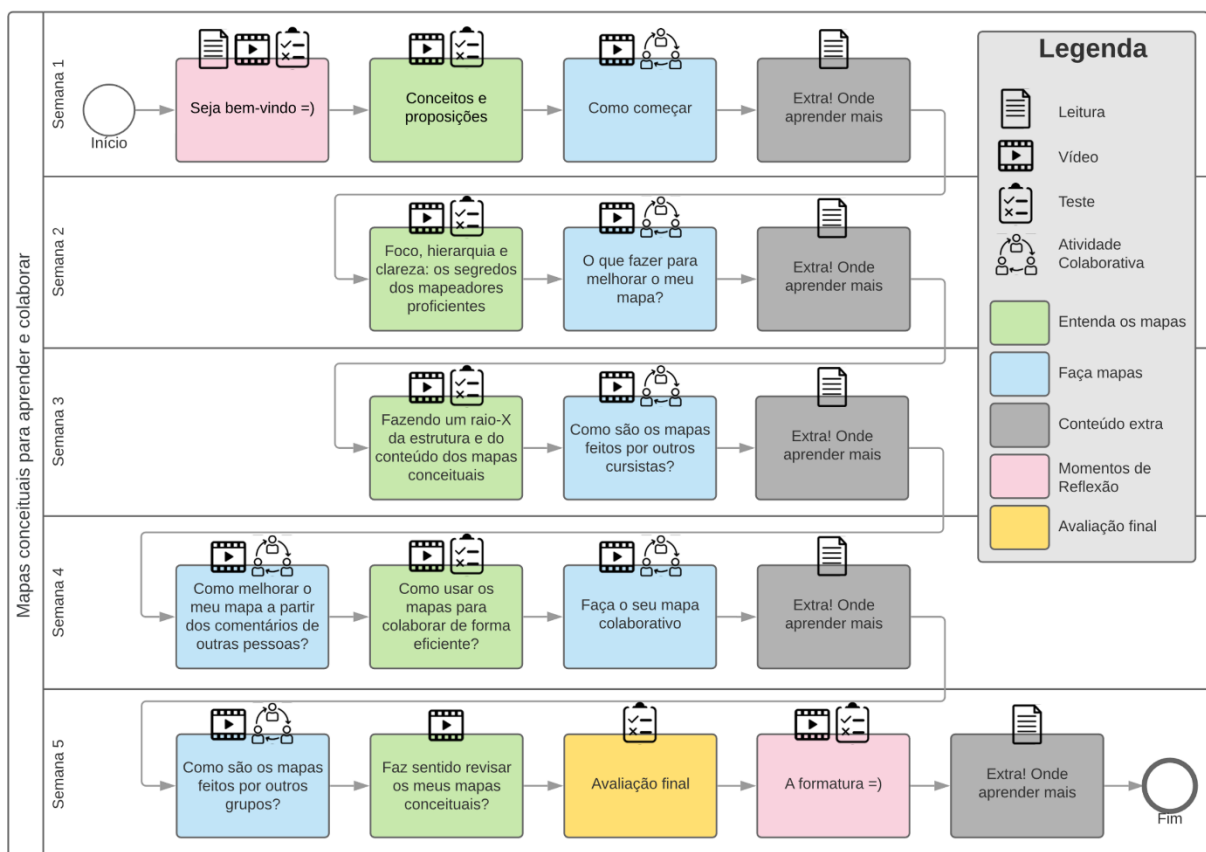


Figura 4.10. Organização das principais atividades do curso online.

²⁵ [Clique aqui](#) para acessar o MOOC sobre mapas conceituais hospedado no Coursera.

²⁶ [Clique aqui](#) para acessar a página de confirmação de interesse nas turmas de convidados do Paulo, que são oferecidas gratuitamente.

A atividade “*Entenda os mapas*” (verde) apresenta os fundamentos do mapeamento conceitual através de vídeos interrompidos por avaliações formativas usando testes de múltipla escolha. Ao final de cada atividade teórica, o aluno faz uma avaliação com teste de múltipla escolha sobre o conteúdo da aula. Após cada teste de múltipla escolha, é apresentado ao aluno o resultado do mesmo, o qual autonomamente pode revisar o conteúdo anterior caso não tenha acertado o teste. A “*Avaliação final*”, que contempla um conjunto de testes de múltipla escolha mais extenso sobre todo o conteúdo do curso, comporá a nota final do aluno conjuntamente com os testes realizados em cada uma das aulas teóricas e as avaliações feitas por pares. A Tabela 4.2 descreve os conteúdos das cinco semanas do curso.

Tabela 4.2. Descrição sumária dos conteúdos abordados nas cinco semanas do curso.

Semana	Conteúdos
1	<p>Não é tudo a mesma coisa: mapas conceituais são diferentes!</p> <ul style="list-style-type: none"> • Como o curso está organizado. • O que diferencia os mapas conceituais dos outros “<i>esquemas</i>”. • As proposições enquanto unidades semânticas. • O aluno faz o seu primeiro mapa conceitual usando a ferramenta CmapTools.
2	<p>Meu mapa ficou enorme. Como eu organizo ele?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Importância da clareza das proposições, da hierarquia conceitual e da pergunta focal para a organização dos mapas. • Elaboração de uma nova versão do mapa conceitual feito na semana anterior.
3	<p>Você é capaz de reconhecer um bom mapa?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Como reconhecer um bom mapa conceitual a partir da estrutura e do conteúdo. • Avaliação dos mapas conceituais feitos por outros cursistas (avaliação por pares), utilizando um formulário especialmente desenvolvido para isso.
4	<p>Vale a pena fazer mapas conceituais com outras pessoas?</p> <ul style="list-style-type: none"> • A importância da colaboração. • Elaboração de uma nova versão revisada do mapa conceitual individual, a partir da colaboração. • Discussão sobre como os mapas conceituais aumentam a eficiência de processos colaborativos. • Criação de um mapa conceitual colaborativo.
5	<p>Como melhorar o meu mapa colaborativo?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Avaliação por pares dos mapas conceituais colaborativos. • Discussão sobre novas formas de uso dos mapas conceituais.

As atividades “*Faça mapas*” (azul) têm caráter aplicado e valorizam a criação de um portfólio eletrônico de mapas conceituais. Dois projetos de construção de mapas são propostos por meio de vídeos, sendo que o primeiro projeto é direcionado à criação de

mapas individuais e o segundo ao desenvolvimento de mapas colaborativos. Em ambos os casos, os mapas conceituais são avaliados por pares para que os participantes vejam os mapas criados por outros cursistas. A Tabela 4.3 descreve como os projetos são desenvolvidos durante as cinco semanas do curso.

Tabela 4.3. Desenvolvimento semanal dos projetos dos alunos durante as atividades “Faça mapas”.

Semana	Elaboração e avaliação semântica dos mapas conceituais
1	<p>O participante recebe informações para instalar a ferramenta CmapTools, vencer a tela em branco e construir o mapa conceitual preliminar do Projeto 1. Em seguida, ele faz as seguintes tarefas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elaboração do seu primeiro mapa conceitual individual usando o CmapTools abordando um dos seguintes temas: (a) alimentação, (b) atividade física, ou (c) equilíbrio mental para uma vida saudável. • Avaliação dos mapas conceituais enviados por outros alunos, verificando se os arquivos foram postados conforme solicitado na tarefa.
2	<p>O participante recebe informações sobre como fazer a revisão de um mapa conceitual com destaque para a clareza semântica, hierarquia e pergunta focal. Em seguida, ele faz as seguintes tarefas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elaboração da versão final do mapa individual feito na semana anterior revisado segundo os critérios aprendidos. • Inclusão de um novo conceito sugerido pelo professor ao mapa conceitual individual, com a oportunidade de revisar a qualidade das proposições e a estrutura do mapa conceitual.
3	<p>O participante recebe informações sobre como avaliar um mapa conceitual, valorizando a qualidade das proposições e a pergunta focal que deve ser respondida. Em seguida, ele faz a seguinte tarefa:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Avaliação dos mapas conceituais enviados por outros cursistas, a partir de formulário desenvolvido especificamente para essa finalidade.
4	<p>O participante recebe informações sobre como elaborar um mapa conceitual colaborativo (Projeto 2 do curso). Em seguida, ele faz as seguintes tarefas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elaboração de um mapa conceitual colaborativo, a partir dos mapas individuais criados no Projeto 1. • Avaliação dos mapas conceituais enviados por outros alunos, verificando se os arquivos foram postados conforme solicitado na tarefa.
5	<p>O participante recebe informações sobre a importância da revisão recursiva dos mapas conceituais. Em seguida, ele faz a seguinte tarefa:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Avaliação dos mapas conceituais colaborativos, a partir de formulário desenvolvido especificamente para essa finalidade.

Os participantes que são aprovados no curso recebem um certificado emitido pelo Coursera e cancelado pela USP. Esses mapeadores certificados²⁷ são convidados a integrar a Academia Brasileira de Mapeadores Conceituais (ABMC)²⁸, que se pretende estabelecer como local de discussão e reflexão sobre o uso de mapas conceituais.

²⁷ [Clique aqui](#) para acessar a relação atualizada de mapeadores certificados.

²⁸ [Clique aqui](#) para acessar a ABMC no Facebook.

4.3.3 *Automatização da análise estrutural dos mapas conceituais*

A avaliação de mapas é realizada sob os aspectos descritos a seguir.

1. Aspecto semântico, que é manual e lento, pois cada uma das proposições deve ser lida e avaliada segundo sua clareza semântica e aderência à pergunta focal do mapa conceitual. No curso online, esse tipo de avaliação é viabilizado através da avaliação por pares.
2. Aspecto estrutural, que também é lento quando feito manualmente, pois envolve a identificação e análise numérica de estruturas encontradas nos mapas, entretanto, pode ser rápida se automatizada através de recursos computacionais. A avaliação estrutural fornece indícios a respeito da proficiência do mapeador.

As avaliações semântica e estrutural dos mapas são fundamentais na determinação da proficiência de mapeadores. Devido à escalabilidade característica dos cursos online abertos e massivos, tais avaliações só são viáveis se feitas colaborativamente por pares. No caso específico da avaliação estrutural, recursos computacionais podem ser usados para automatizar a análise da estrutura dos mapas conceituais. No curso, todas as avaliações de atividades são realizadas colaborativamente. Os alunos compõem os mapas de seus portfólios eletrônicos e submetem os mesmos à plataforma do MOOC para que sejam avaliados por outros alunos.

A Figura 4.11 mostra os mapas conceituais construídos por um aluno durante a semana 1 (Figura 4.11a) e semana 4 (Figura 4.11b) do curso online. Comparando com as estruturas canônicas, o mapa conceitual da semana 1 (Figura 4.11a) assemelha-se à estrutura radial, com um conceito inicial e a maioria dos demais conceitos presentes no primeiro nível hierárquico. Um segundo nível hierárquico está presente, porém com poucos conceitos em relação ao primeiro, além de uma única conexão entre os níveis hierárquicos. O mapa conceitual da semana 4 (Figura 4.11b), por outro lado, apresenta quatro níveis hierárquicos e algumas conexões entre os níveis, mostrando uma maior articulação entre os conceitos e uma semelhança com a estrutura canônica em rede.

Os parâmetros estruturais do mapa da semana 1 (Figura 4.11a) são coerentes com um cursista em início de treinamento, com baixa densidade proposicional e baixa densidade de conceitos múltiplos. Já o mapa da semana 4 (Figura 4.11b) mostra uma clara evolução dos parâmetros estruturais, com aumento da densidade proposicional e da densidade de conceitos múltiplos, indicando uma evolução na técnica de mapeamento conceitual.

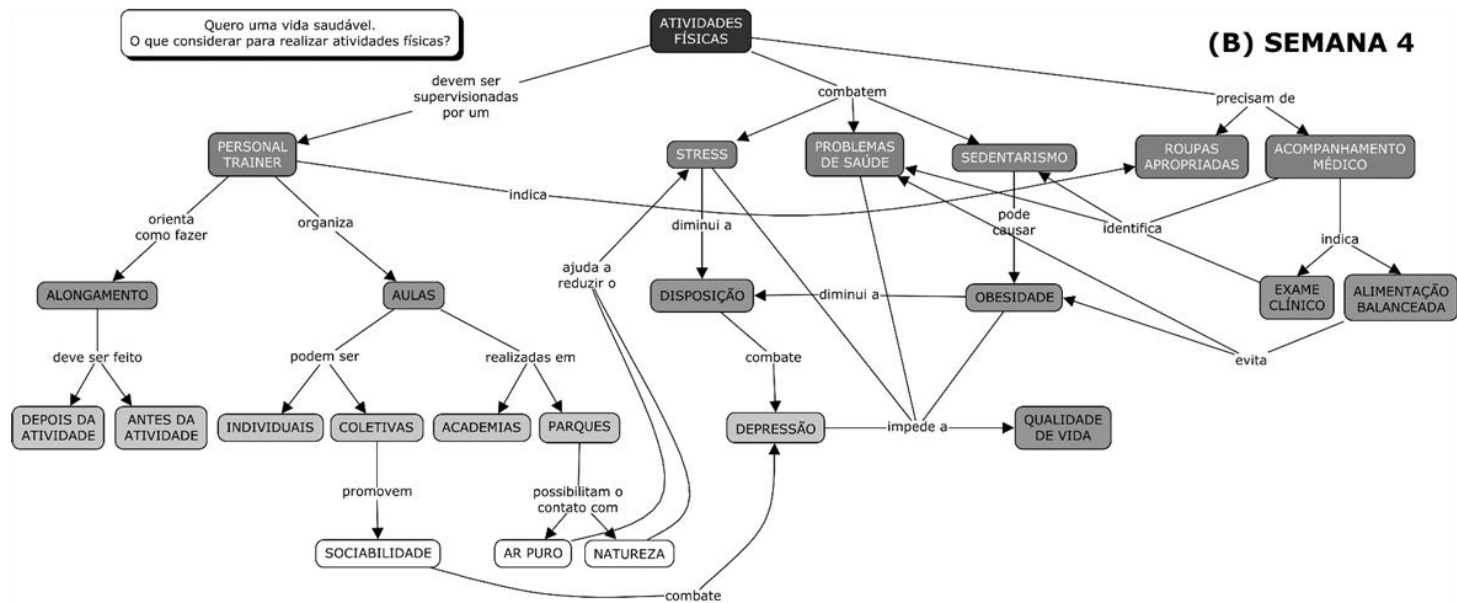
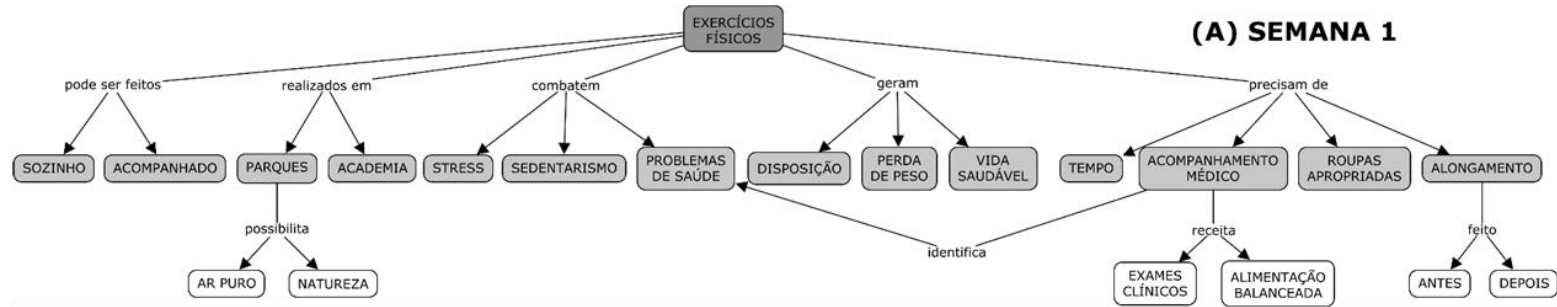


Figura 4.11. Mapas conceituais feitos por um participante do curso online nas semanas 1 e 4. Parâmetros estruturais: DP = 1,00; DCMI = 0,19; DCMF = 0,05 (Semana 1) e DP = 1,54; DCMI = 0,42; DCMF = 0,33 (Semana 4).

Sob o aspecto semântico, a presença de uma pergunta focal no mapa da semana 4 (ausente no da semana 1) e a aderência das proposições à pergunta focal também é um sinal de aumento de proficiência. Nota-se ainda uma maior clareza semântica nas proposições do mapa da semana 4 em relação ao da semana 1, além de termos de ligação mais bem elaborados. Essa melhoria do aspecto semântico também é indicativa de maior domínio da técnica de mapeamento conceitual.

Dependendo da quantidade de mapas conceituais a serem avaliados, a análise estrutural torna-se uma tarefa árdua e repetitiva, podendo até ser inviável para o tempo disponível do professor. A análise estrutural pode ser feita de forma automatizada através de um recurso computacional que toma como entrada um mapa conceitual e retorna os parâmetros estruturais e uma avaliação da proficiência do mapeador²⁹. As Figuras 4.12 e 4.13 mostram os resultados da análise estrutural dos mapas conceituais da Figura 4.11 feita de forma automatizada. Além dos parâmetros calculados, também é fornecida uma devolutiva para o mapeador sobre a sua proficiência na técnica de mapeamento conceitual e sobre a importância da presença da pergunta focal, caso ela não esteja presente.

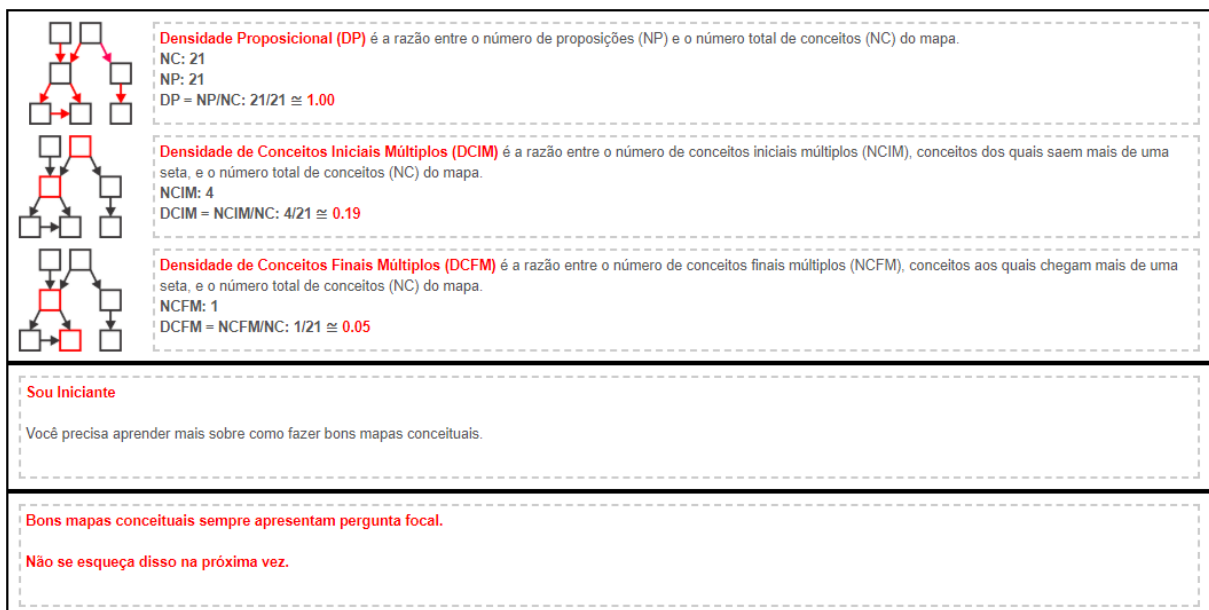


Figura 4.12. Resultado da análise estrutural do mapa da semana 1 feita automaticamente.

Os parâmetros estruturais do mapa conceitual da semana 1 (Figura 4.12) indicam um mapa pouco articulado e com poucos níveis hierárquicos, assemelhando-se à estrutura canônica radial. Além disso, o aluno não incluiu a pergunta focal do mapa. Tais características são indicativas de um mapeador iniciante. A devolutiva da ferramenta

²⁹ [Clique aqui](#) para acessar a página que realiza a análise estrutural automática.

computacional de análise estrutural destaca o nível de proficiência do mapeador (“*Sou Iniciante*”) e também a ausência da pergunta focal.

Conforme o cursista aprende a técnica de mapeamento conceitual, seus mapas tornam-se mais semelhantes à estrutura canônica em rede: verifica-se o aprofundamento dos níveis hierárquicos e o aumento da articulação conceitual. Os parâmetros estruturais do mapa da semana 4 (Figura 4.13) indicam que o participante já demonstra um maior domínio da técnica de mapeamento conceitual. Nesse caso, a ferramenta de análise estrutural inclui na devolutiva a pergunta focal do mapa e um nível de proficiência superior ao mapa da semana 1 (“*Estou Aprendendo*”).

Pergunta Focal: Quero uma vida saudável. O que considerar para realizar atividades físicas?

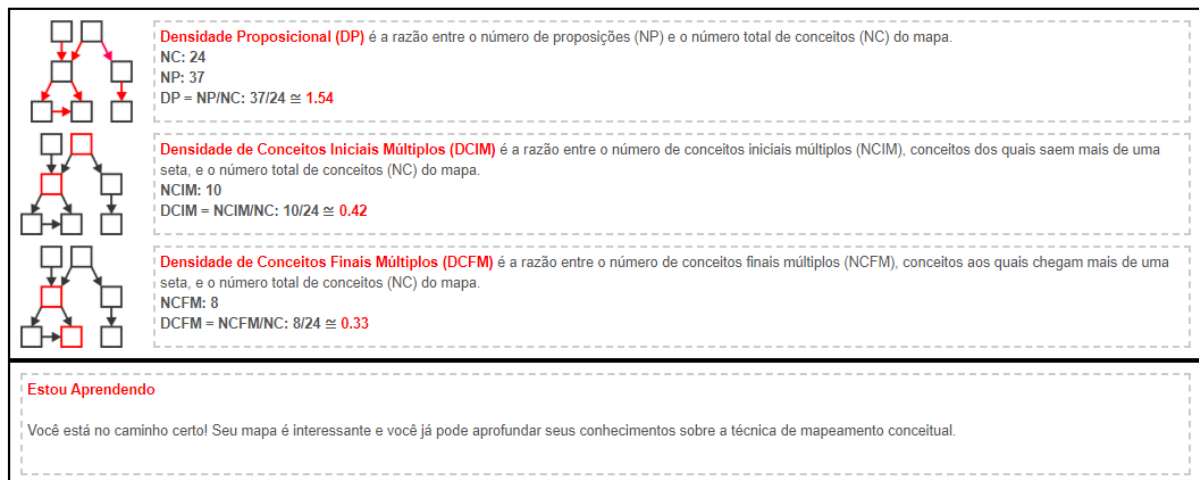


Figura 4.13. Resultado da análise estrutural do mapa da semana 4 feita automaticamente.

4.3.4 As limitações da análise estrutural

É importante ressaltar que a análise estrutural avalia apenas a estrutura do mapa, ou seja, ela não avalia a semântica das proposições. As Figuras 4.14 e 4.15 deixam isso evidente ao comparar mapas conceituais com e sem termos de ligação. Ambos possuem os mesmos parâmetros estruturais.

Sendo assim, a avaliação semântica é indispensável para verificar o entendimento conceitual que o mapeador tem sobre o tema representado. A clareza semântica das proposições não pode ser considerada na análise estrutural automatizada. No caso de treinamentos presenciais, a avaliação semântica feita por pares é uma forma eficiente que poupa o tempo do professor. No caso dos cursos online abertos e massivos, a avaliação semântica por pares é mandatória, tendo em vista a escalabilidade, cuja ordem de grandeza pode chegar a centenas de cursistas.

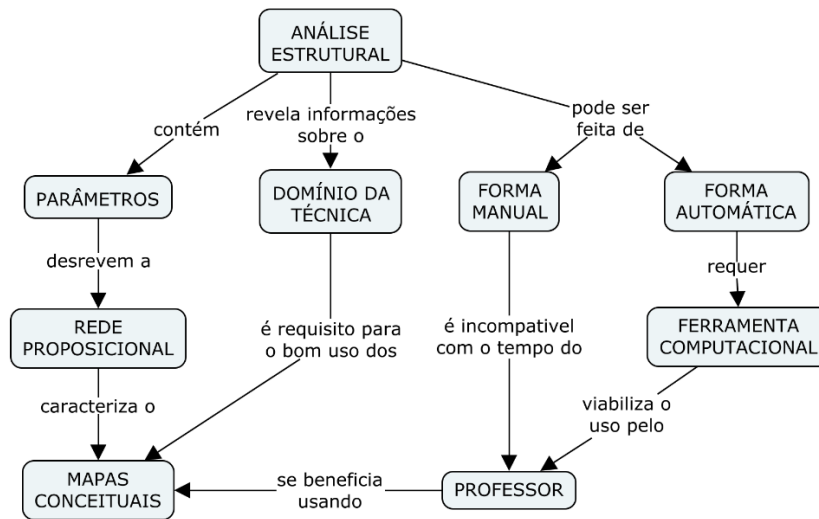


Figura 4.14. Análise estrutural de mapa conceitual com termos de ligação ($DP = 11/9 = 1,22$; $DCMI = 1/9 = 0,11$; $DCMF = 2/9 = 0,22$).

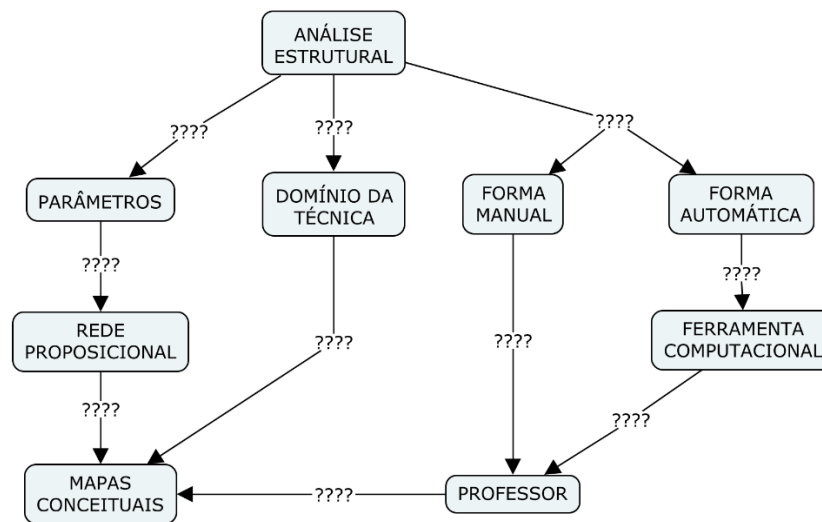


Figura 4.15. Análise estrutural de mapa conceitual sem termos de ligação ($DP = 11/9 = 1,22$; $DCMI = 1/9 = 0,11$; $DCMF = 2/9 = 0,22$).

Capítulo 5 | Mapas individuais avaliados pelo professor³⁰

5.1 A importância da forma e do conteúdo

O uso de mapas conceituais na avaliação da aprendizagem apresenta dois aspectos importantes: o planejamento da tarefa a ser oferecida aos alunos e a forma de avaliação dos mapas. Quando bem planejados, as devolutivas do professor são oferecidas rapidamente, contribuindo para o comprometimento dos alunos na revisão dos conteúdos a partir de problemas revelados pelos mapas conceituais. Nesse capítulo, serão mostrados mapas conceituais que foram avaliados comparativamente para identificar padrões de similaridade que caracterizem os níveis de conhecimento declarativo apresentados pelos alunos sobre a “*Astronomia e o desenvolvimento da ciência moderna*”. A avaliação envolveu um questionário e tarefa de mapeamento conceitual. As respostas revelaram cinco grupos com diferentes níveis de conhecimento conceitual e a análise dos mapas indicou que a proporção entre conceitos associados à astronomia clássica e à astronomia moderna, e a presença de conceitos finais múltiplos são indicadores do nível de conhecimento declarativo.

É importante destacar a etapa de treinamento na técnica de mapeamento conceitual, que ocorreu antes da realização da coleta dos mapas utilizados nos resultados da pesquisa. O treinamento foi indispensável para evitar a sobrecarga cognitiva por conta de uma elevada carga extrínseca (Figura 5.1). Nesse contexto, os alunos foram capazes de produzir bons mapas conceituais, que guardam relação com os seus esquemas conceituais. O professor tem condições adequadas de identificar hierarquias proposicionais limitadas ou inapropriadas e de oferecer devolutivas adequadas para cada aluno, em função do conhecimento representado.

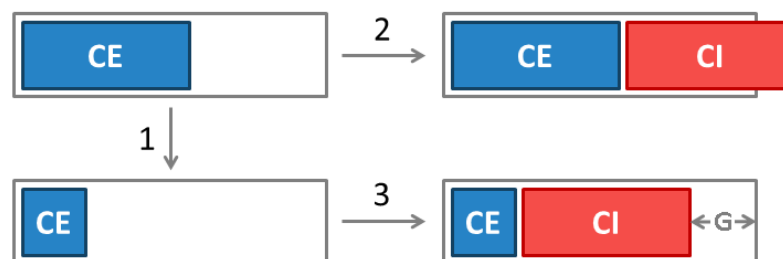


Figura 5.1. O treinamento na técnica de mapeamento conceitual reduz a carga extrínseca (1) e evita a sobrecarga cognitiva (2). Os recursos generativos precisam estar disponíveis para viabilizar a manipulação e a construção de esquemas (3), o que pode levar à aprendizagem significativa.

³⁰ Esse capítulo apresenta uma síntese dos resultados publicados por Ciência & Educação em 2019 no artigo intitulado “[O que revelam os mapas conceituais dos meus alunos? Avaliando o conhecimento declarativo sobre a evolução do universo](#)”.

5.2 O que revelam os mapas dos meus alunos?

Os mapas conceituais são redes de proposições (conceito inicial – termo de ligação → conceito final), que expressam com clareza as relações conceituais. Isso permite julgar se tais relações estão de acordo com o conhecimento de referência e, se necessário, avaliar quais são as alterações que podem ser feitas para adequar o conteúdo expresso no mapa. Tornar visíveis as estruturas de conhecimento permite ao professor caracterizar o entendimento conceitual dos alunos sobre o tema em estudo, bem como acompanhar as alterações que elas sofrem ao longo do processo de ensino-aprendizagem (Kinchin, Hay e Adams, 2000; Novak, 2010). Por esse motivo, o mapeamento conceitual vem sendo explorado cada vez mais por professores que buscam inovar a sua prática docente, sobretudo para desenvolver atividades relacionadas com a avaliação do conhecimento declarativo dos alunos (*e.g.*, Correia et al, 2016; Kinchin, 2016; Salmon e Kelly, 2015).

O uso dos mapas conceituais para fins avaliativos apresenta dois aspectos que não podem ser negligenciados: o planejamento da tarefa a ser oferecida aos alunos e a forma de avaliação dos mapas. A habilidade na técnica de mapeamento conceitual é desenvolvida com a prática e isso requer tempo. Portanto, é importante verificar se os alunos a serem avaliados compreendem os princípios fundamentais desse organizador gráfico. Nosso grupo de pesquisa já desenvolveu atividades de treinamento para que iniciantes na técnica se tornem bons mapeadores (Aguiar, Cicuto e Correia, 2014; Aguiar e Correia, 2013). A TCC (Aguiar e Correia, 2017; Sweller, Ayres e Kalyuga, 2011) nos oferece um panorama teórico para compreender melhor os desafios que são impostos aos alunos quando solicitamos que eles façam seus mapas.

1. Domínio da técnica de mapeamento conceitual, que é uma exigência relacionada com o formato da tarefa definida pelo professor. Uma carga extrínseca é imposta à memória de trabalho para lidar com as exigências relacionadas ao formato da tarefa.
2. Domínio dos conceitos e das relações conceituais associadas ao tema em estudo, que é uma exigência relacionada com o conteúdo da disciplina. Uma carga intrínseca é imposta à memória de trabalho para lidar com as exigências relacionadas com o conteúdo propriamente dito.

Os recursos cognitivos da memória de trabalho são limitados e eles precisam ser suficientes para lidar com as cargas extrínseca e intrínseca, que são aditivas. Tarefas bem planejadas permitem aos alunos lidar com ambas as cargas e utilizar os recursos excedentes da memória de trabalho em atividades de manipulação e construção de esquemas conceituais (esses recursos são denominados recursos generativos). Nessas condições, a ocorrência da aprendizagem significativa é possível pois os esquemas

conceituais prévios são alterados pelo aluno de forma profunda. Por outro lado, tarefas mal planejadas podem colocar os alunos em sobrecarga cognitiva, que ocorre quando os recursos da memória de trabalho são insuficientes para lidar com a tarefa (cargas extrínseca e intrínseca). Nesse caso, não sobram recursos da memória de trabalho para manipular/construir esquemas conceituais e os alunos cumprem a tarefa mecanicamente. O treinamento dos alunos na técnica de mapeamento conceitual ajuda a reduzir a carga extrínseca associada à tarefa, diminuindo a chance de eles entrarem em sobrecarga cognitiva (Aguiar e Correia, 2017; Correia e Aguiar, 2014).

O planejamento da tarefa também deve considerar a obtenção de mapas conceituais em condições similares, para que seja possível avaliá-los de forma comparativa. Cañas e colaboradores mostram que as tarefas de construção de mapas podem apresentar diferentes graus de liberdade considerando a estrutura e o conteúdo (Cañas, Novak e Reiska, 2012). Eles mostram que o compromisso entre liberdade e restrição do formato da tarefa pode ser variado entre em um continuum que prevê a liberdade total num extremo (faça um mapa sobre o que quiser, como quiser) e ausência de liberdade no outro extremo (decore o mapa feito pelo professor). O estabelecimento dos parâmetros de elaboração dos mapas durante a avaliação (*e.g.*, tempo, quantidade de conceitos, tema, etc.) é importante para que os alunos trabalhem sob condições semelhantes, ainda que isso restrinja um pouco a liberdade dos mapeadores em termos de conteúdo e estrutura. A comparação de mapas conceituais construídos a partir de temas genéricos (faça um MC sobre o universo) permite variações no tempo de elaboração, na quantidade de conceitos e no escopo dos mapas (vários subtemas podem ser explorados a partir do “*universo*”), dificultando qualquer tipo de comparação entre o desempenho dos alunos.

A forma de avaliação dos mapas é outro desafio a ser considerado pelo professor. Diferente do que acontece com as questões fechadas e os exercícios que envolvem cálculos, a correção de mapas feitos por alunos consome tempo porque não é possível criar um gabarito único contendo a resposta certa (McClure, Sonak e Suen, 1999; Ruiz-Primo e Shavelson, 1996). A riqueza contida nos mapas impõe o seu preço e é preciso investir tempo para extrair informações relevantes, úteis para o professor formular a sua correção comentada. Idealmente, a leitura atenta de toda rede proposicional do mapa deve ser feita para identificar as:

1. Proposições corretas, que são conceitualmente aceitáveis.
2. Proposições incorretas, que precisam ser corrigidas (geralmente ajustando-se o termo de ligação).

3. Proposições imprecisas, que precisam ser melhoradas porque não apresentam clareza (não é possível avaliá-las quanto à correção conceitual).
4. Proposições desnecessárias, que fogem à pergunta focal do mapa conceitual.

Ainda que forneça a maior quantidade possível de informações, a leitura completa de todos os mapas requer um tempo considerável que o professor pode não ter disponível dentro da sua rotina de trabalho (Correia, Cabral e Aguiar, 2016). A análise da estrutura da rede proposicional (Correia e Aguiar, 2017; Kinchin, Hay, Adams, 2000) e dos conceitos utilizados pelos alunos são formas mais rápidas de avaliar os mapas, ainda que não se produza tantas informações. Por outro lado, a devolutiva do professor pode ser oferecida rapidamente (entre uma aula e outra) aos alunos, contribuindo para que eles se comprometam a revisar os conteúdos estudados para melhorar seus mapas. Nesse contexto, aumentam as chances de os alunos aprenderem significativamente (Correia, Cabral e Aguiar, 2016). A Figura 5.2 apresenta um mapa que organiza os principais argumentos apresentados até aqui, destacando o papel das devolutivas do professor no processo de avaliação do conhecimento conceitual.

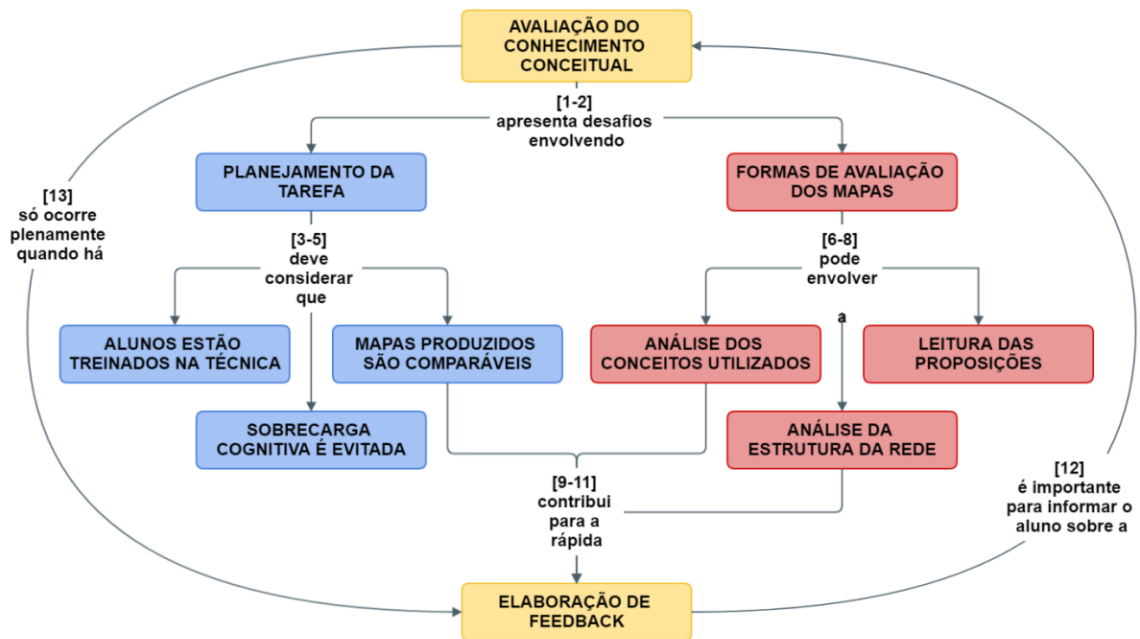


Figura 5.2. Mapa conceitual elaborado para responder “O que é preciso considerar para utilizar o mapeamento conceitual para fins avaliativos?”.

Mostrarei como a avaliação de mapas conceituais pode ser feita para identificar padrões de similaridade que caracterizem os diferentes níveis de conhecimento declarativo apresentados pelos alunos. Para isso, a avaliação envolveu um questionário de múltipla escolha além da tarefa de mapeamento conceitual.

5.2.1 Procedimentos de coleta de dados

Os dados (mapas conceituais e questionários) foram coletados durante as aulas da disciplina Ciências da Natureza (CN), ministrada aos alunos ingressantes (25 ± 7 anos) na EACH/USP no 1º semestre de 2013. Quinze aulas de 100 minutos são organizadas em três blocos temáticos:

1. Astronomia e o desenvolvimento da ciência moderna;
2. Mudanças climáticas e o desafio dos “wicked problems” e
3. Avanços da biologia molecular e dilemas bioéticos.

A Figura 5.3 apresenta esquematicamente a organização geral da disciplina CN, destacando que as aulas iniciais contemplam um período de treinamento na técnica de mapeamento conceitual. É indispensável introduzir os alunos aos mapas conceituais, sem supor que eles já compreendam adequadamente os fundamentos desse organizador gráfico (Aguiar, Cicuto e Correia, 2014; Aguiar e Correia, 2013; Correia e Aguiar, 2017). A coleta de dados ocorreu durante a 1ª avaliação formal da disciplina (aula 5), quando os alunos produziram mapas individualmente e responderam a um questionário (Q). A Tabela 5.1 relaciona os materiais de estudo que foram considerados nas aulas 1-4 da disciplina CN.

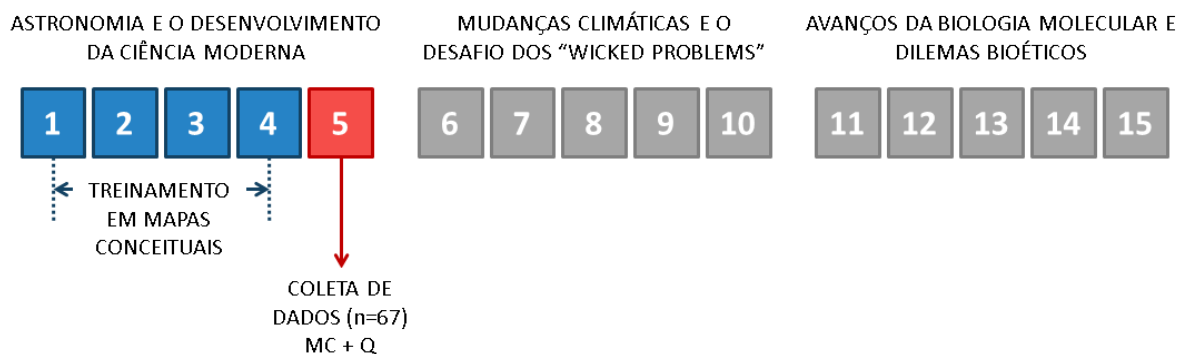


Figura 5.3. Organização geral da disciplina CN, com destaque para o treinamento em mapas conceituais (em azul, aulas 1-4) e a coleta de dados durante a 1ª prova da disciplina (em vermelho, aula 5).

Um questionário (alfa de Cronbach = 0,896) contendo 34 afirmações relacionadas aos temas estudados foi apresentado aos alunos. As afirmações se distribuíam da seguinte forma:

1. 11 afirmações sobre o “pensamento científico” (Cat-I), relacionadas com as discussões introdutórias sobre a Ciência e a sua forma de funcionamento.
2. 13 afirmações sobre a “astronomia clássica” (Cat-II), relacionadas com a evolução histórica da Astronomia, desde a revolução científica até meados do século XIX, reunindo conteúdos frequentemente discutidos no Ensino Médio.

3. 10 afirmações sobre a “astronomia moderna” (Cat-III), relacionadas com as descobertas astronômicas feitas a partir do final do século XIX, reunindo conteúdos raramente discutidos no Ensino Médio.

Tabela 5.1. Materiais de estudo utilizados durante o bloco temático sobre astronomia e o desenvolvimento da ciência moderna.

Material de estudo	Foco conceitual	Formato		Aula	Categoria
		Texto	Vídeo		
<i>Boas e más razões para acreditar</i> ³¹	Introdução ao pensamento científico	X		2	Cat-I
<i>A Terra imóvel</i> ³²	Revolução científica a partir de eventos do século XVI	X		3	Cat-II
<i>O nascimento da ciência</i> ³³	Contexto social da época em que ocorre a revolução científica		X	3	Cat-II
<i>Uma nova astronomia</i> ⁵	Contribuições de Kepler e Brahe para o avanço da Astronomia		X	3	Cat-II
<i>O Ovo Cósmico</i> ⁴	A evolução da nossa compreensão sobre o universo até os dias atuais	X		4	Cat-III
<i>O Big Bang</i> ⁵	As relações entre os cientistas e o caso de Ralph Alpher		X	4	Cat-III

Afirmações conceitualmente corretas e incorretas compuseram o questionário, conforme ilustram os exemplos a seguir.

Exemplos de afirmações corretas

1. O universo é composto por aglomerados de galáxias.
2. A mídia ajudou na divulgação do Big Bang para a população em geral.

Exemplos de afirmações incorretas

3. Segundo os cientistas, a idade aproximada do universo é de poucos milhares de anos.
4. Os cientistas não têm evidências da ocorrência do Big Bang.

Os alunos deveriam expressar seu julgamento sobre cada afirmação assinalando uma das seguintes opções: discordo totalmente; discordo, mas só um pouco; concordo, mas só um pouco ou concordo totalmente. Uma 5ª opção (não sei, não quero responder) foi incluída para evitar respostas aleatórias.

³¹ R. Dawkins, *O Capelão do Diabo*. São Paulo: Companhia das letras, 2005.

³² D.E. Brody and A.R. Brody, *As sete maiores descobertas científicas da história e seus autores*. São Paulo: Companhia das letras, 1999.

³³ [Clique aqui](#) para acessar os vídeos do programa Poeira das Estrelas.

A Figura 5.4 reproduz a folha de prova que os alunos receberam para elaborar seus mapas. Eles tiveram 60 minutos para construir um mapa contendo 9 conceitos para responder a seguinte pergunta focal: “Como a ciência e a tecnologia influenciaram a compreensão da sociedade sobre o universo?”. O conceito inicial do mapa (mais tecnologia) foi definido pelo professor e seu uso era obrigatório. Os demais retângulos foram disponibilizados para a inclusão de oito conceitos de livre escolha dos alunos. Os círculos vermelhos foram reservados para os alunos vincularem os conceitos aos materiais de estudo utilizados durante as aulas 1-4, utilizando as letras A-F.

PERGUNTA FOCAL & INSTRUÇÕES	
Como a ciência e a tecnologia influenciaram a compreensão da sociedade sobre o universo?	
1 O retângulo pontilhado indica o conceito inicial do MC. 2 “MAIS TECNOLOGIA” deve ser o conceito inicial do seu mapa. 3 Numere as proposições, sugerindo uma sequência de leitura das proposições. 4 Indique a vinculação entre os conceitos e os materiais de estudo utilizando as letras A-F .	
A - “Boas e más razões para acreditar” (Texto, Dawkins)	B - “A Terra imóvel” (Texto, Brody & Brody)
C - “O nascimento da ciência” (Vídeo)	D - “Uma nova astronomia” (Vídeo)
E - “O ovo cósmico” (Texto, Brody & Brody)	F - “O big bang” (Vídeo)

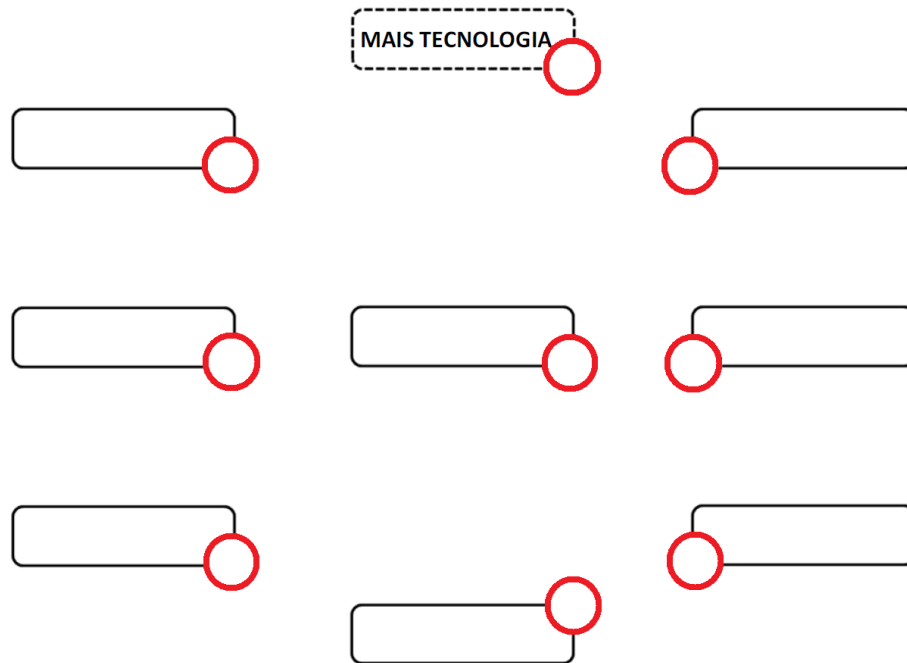


Figura 5.4. Instruções 1-4 (em verde) para a elaboração do MC, considerando a pergunta focal (em amarelo) definida pelo professor. Apesar de restringir a quantidade de conceitos ($n = 9$), os alunos tinham liberdade para estabelecer livremente as proposições (setas ligando as caixas de conceitos). A vinculação entre os conceitos e os materiais de estudo foi indicada nos círculos vermelhos utilizando letras (A-F).

5.2.2 Procedimentos de análise de dados

A Tabela 5.2 apresenta o sistema de pontuação adotado para calcular o desempenho dos alunos no questionário. A equação (1) foi utilizada para calcular a nota no questionário (Nota Q), expressa entre 0 e 10. O denominador representa a pontuação máxima que pode ser obtida por um aluno quando $n = 34$.

Tabela 5.2. Sistema de pontuação utilizado para calcular o desempenho dos alunos no questionário.

Resposta	Pontuação	
	Afirmações conceitualmente corretas	Afirmações conceitualmente incorretas
Não sei, não quero responder	0	0
Discordo totalmente	-1	2
Discordo, mas só um pouco	-0,5	1
Concordo, mas só um pouco	1	-0,5
Concordo totalmente	2	-1

$$Nota Q = \frac{Total\ de\ pontos}{2 \times n} \times 10 \quad \text{Equação (1)}$$

Além da Nota Q, calculou-se as notas Cat-I (n = 11), Cat-II (n = 13) e Cat-III (n = 10), alterando-se o denominador da equação (1) de acordo com a quantidade de afirmações existentes em cada caso. Essas variáveis, que refletem o desempenho dos alunos por categoria de conhecimento (Tabela 5.1), foram utilizadas para realizar a Análise Hierárquica de Agrupamentos (AHA) a partir de uma matriz 67 x 3. A AHA é uma análise multivariada de caráter exploratório (Field, 2009) cujo principal propósito é reunir objetos (nesse caso, os alunos) por sua similaridade em função das variáveis analisadas (nesse caso, as notas Cat-I, Cat-II e Cat-III). Para estabelecer os cálculos necessários à análise foram considerados a distância Euclidiana e o método Ward/Incremental de iteração. Todas as análises foram feitas com auxílio do programa computacional Pirouette versão 4.5 (Infometrix Inc., Bothell, WA, EUA). A análise de variância (ANOVA) e o teste post-hoc de Tukey foram utilizados para comparar os valores médios dos grupos, a fim de identificar a existência de diferenças significativas entre eles (Field, 2009). Nesse caso, o programa IBM SPSS Statistics versão 22.0 (IBM Corporation, Armonk, NY, EUA) foi utilizado.

A Figura 5.5 mostra as estruturas típicas que os mapas podem apresentar: radial, linear e rede (Correia et al, 2016; Kinchin, Hay e Adams, 2000). Ainda que esses exemplos sejam canônicos, a análise estrutural desenvolvida pelo nosso grupo de pesquisa permite avaliar os mapas conceituais que apresentam características intermediárias entre esses tipos morfológicos (Correia e Aguiar, 2017). Por esse motivo, a avaliação da morfologia da rede proposicional dos mapas elaborados pelos alunos foi feita a partir de 8 parâmetros estruturais: densidade proposicional (DP), conceitos iniciais (CI), conceitos iniciais múltiplos (CIM), conceitos finais (CF), conceitos finais múltiplos (CFM), conceitos iniciais e finais (CIF), conceitos exclusivamente iniciais (CEI) e conceitos exclusivamente

finais (CEF). Os valores expressos nos resultados são relativos à quantidade de conceitos totais (C_T) existentes nos mapas ($C_T = 9$)³⁴. Os valores médios para os parâmetros da análise morfológica da rede proposicional foram calculados para os grupos identificados por AHA. A comparação das médias seguiu o procedimento descrito para os questionários.

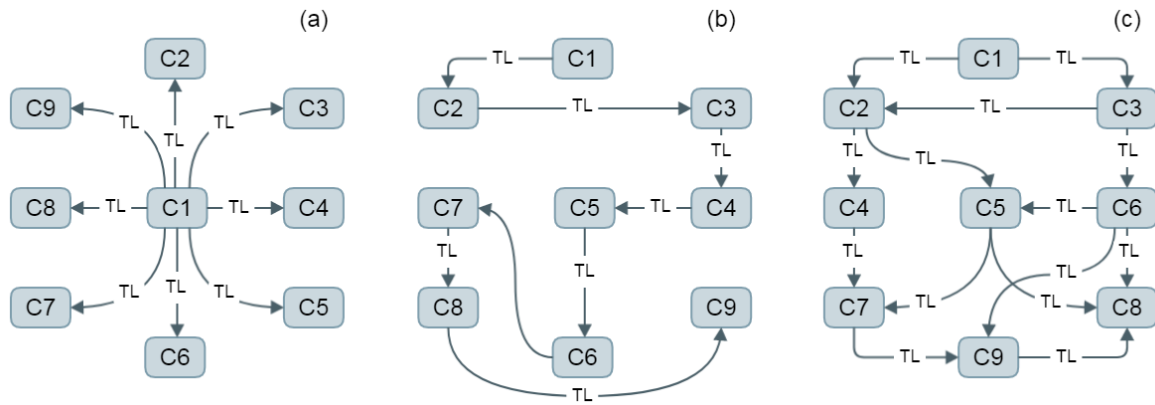


Figura 5.5. Estruturas típicas que os MCs podem apresentar: (a) radial, (b) linear e (c) rede. Os exemplos a seguir consideraram as especificidades da tarefa apresentada aos alunos (9 conceitos com distribuição espacial pré-definida). C_N : rótulos dos conceitos; TL: termo de ligação entre dois conceitos.

A análise dos conceitos que os alunos selecionaram para elaborar seus mapas considerou o foco conceitual dos materiais de estudo. Todos os conceitos utilizados pelos alunos foram organizados numa lista e posteriormente classificados, de acordo com as categorias Cat-I, Cat-II e Cat-III (Tabela 5.1). Cada mapa foi descrito a partir da proporção entre conceitos das categorias Cat-I, Cat-II e Cat-III. A Tabela 5.3 mostra os valores obtidos para mapas hipotéticos, considerando que o número total de conceitos é igual a 9 ($C_T = 9$) nas condições do nosso estudo. Vale a pena destacar que essa análise permite identificar alunos que acionam preferencialmente esquemas conceituais vinculados aos conteúdos do Ensino Médio (A e B, na Tabela 5.3) e alunos que conseguem incluir conceitos relacionados à astronomia moderna (C, na Tabela 5.3). Os valores médios para os parâmetros da análise dos conceitos selecionados pelos alunos ($Cat-I/C_T$, $Cat-II/C_T$ e $Cat-III/C_T$) foram calculados para os grupos identificados por AHA. A comparação das médias seguiu o procedimento descrito para os questionários.

³⁴ O Capítulo 7 apresenta uma descrição mais pormenorizada da análise estrutural, no contexto da avaliação da proficiência dos mapeadores.

Tabela 5.3. Valores para as variáveis que descrevem a análise dos conceitos selecionados pelos alunos, calculados para três mapas hipotéticos contendo 9 conceitos ($CT = 9$).

MC	Conceitos (Cat-I)	I	Cat-I/ C_T	Conceitos (Cat-II)	II	Cat-II/ C_T	Conceitos (Cat-III)	III	Cat-III/ C_T
A	3		0,33	6		0,67	0		0,00
B	2		0,22	3		0,33	4		0,44
C	1		0,11	5		0,56	3		0,33

5.2.3 A análise do questionário

Os resultados da AHA indicaram a existência de cinco agrupamentos naturais de alunos (G1-G5), a partir das respostas dadas às afirmações do questionário. A Tabela 5.4 apresenta o valor médio para o desempenho dos alunos dos grupos G1-G5, considerando as afirmações relacionadas às categorias pensamento científico (Cat-I), astronomia clássica (Cat-II) e astronomia moderna (Cat-III). A comparação das médias permitiu a identificação de diferenças significativas entre os grupos, que foram representadas a partir de subgrupos nomeados com as letras A, B e C. A partir dessas informações, os grupos G1-G5 foram qualitativamente caracterizados da seguinte forma:

- G1: Alunos que se destacaram nessa tarefa.
- G2: Alunos que foram bem, mas com pequena queda de desempenho na parte sobre pensamento científico e queda de desempenho na parte sobre astronomia moderna.
- G3: Alunos que foram bem, mas com queda acentuada de desempenho na parte sobre astronomia moderna.
- G4: Alunos que foram bem, mas com queda acentuada de desempenho na parte sobre astronomia clássica.
- G5: Alunos que foram mal, com desempenho abaixo da média nas três partes do questionário.

Tabela 5.4. Caracterização dos grupos G1-G5 identificados por AHA, a partir do desempenho dos alunos ao julgar as afirmações sobre pensamento científico (Cat-I), astronomia clássica (Cat-II) e astronomia moderna (Cat-III).

Categoria	G1 (n = 5)	G2 (n = 29)	G3 (n = 16)	G4 (n = 9)	G5 (n = 8)	Todos (n = 67)
Cat-I	7,8±0,5	6,7±0,8	8,0±0,9	7,5±0,8	5,0±0,5	7,0±1,2
<i>Subgrupo Cat-I</i>	A	B	A	A	C	-
Cat-II	9,7±0,3	8,9±0,7	8,7±0,8	6,7±0,5	6,9±2,1	8,4±1,3
<i>Subgrupo Cat-II</i>	A	A	A	B	B	-
Cat-III	8,7±0,4	6,6±0,8	5,0±0,8	6,7±0,9	4,2±0,8	6,1±1,4
<i>Subgrupo Cat-III</i>	A	B	C	B	C	-
Nota Q	8,8±0,3	7,5±0,5	7,4±0,6	7,0±0,5	5,5±0,9	7,3±1,0
<i>Subgrupo Nota Q</i>	A	B	B	B	C	-

É interessante notar que os alunos G1 (n = 5) apresentam desempenho bem acima da média e boa compreensão dos temas discutidos nessa parte da disciplina. Por outro lado, a maioria dos alunos teve dificuldades com os conceitos sobre astronomia moderna (G2, n = 29; G3, n = 16). O grupo G4 (n = 9) representa um caso curioso porque esses alunos tiveram dificuldades com os conceitos sobre astronomia clássica, frequentemente abordados no Ensino Médio. O grupo G5 (n = 8) é formado por alunos que apresentaram o pior desempenho, merecendo atenção especial por parte do professor.

5.2.4 A análise dos mapas conceituais

A Tabela 5.5 apresenta os resultados da análise da morfologia da rede proposicional e dos conceitos selecionados pelos alunos ao elaborar seus mapas. A comparação dos valores médios não indicou diferenças estatisticamente significativas entre os grupos e, portanto, não foi possível identificar subgrupos como no caso dos resultados para o questionário (Tabela 5.4). Mesmo assim, algumas tendências podem ser apontadas a partir das características dos grupos G1-G5.

Tabela 5.5. Resultados da análise dos mapas conceituais organizados em função dos grupos G1-G5 identificados por AHA.

Análise	Variável	G1 (n = 5)	G2 (n = 29)	G3 (n = 16)	G4 (n = 9)	G5 (n = 8)	Todos (n = 67)
<i>Morfologia da rede proposicional</i>	DP	1,4±0,2	1,4±0,3	1,3±0,3	1,3±0,3	1,3±0,3	1,3±0,3
	CI	0,9±0,1	0,8±0,1	0,8±0,1	0,8±0,1	0,8±0,1	0,8±0,1
	CIM	0,4±0,1	0,4±0,1	0,3±0,1	0,3±0,2	0,3±0,2	0,3±0,2
	CF	0,9±0,1	0,9±0,1	0,9±0,1	0,9±0,1	0,9±0,1	0,9±0,1
	CFM	0,3±0,1	0,3±0,2	0,3±0,2	0,3±0,3	0,2±0,2	0,3±0,2
	CIF	0,8±0,1	0,7±0,1	0,7±0,1	0,7±0,1	0,7±0,2	0,7±0,1
	CEI	0,1±0,1	0,1±0,1	0,1±0,1	0,1±0,1	0,1±0,1	0,1±0,1
	CEF	0,1±0,1	0,2±0,1	0,2±0,1	0,2±0,1	0,2±0,1	0,2±0,1
<i>Categoria do conceito</i>	Cat-I	0,2±0,1	0,2±0,2	0,1±0,1	0,2±0,2	0,2±0,1	0,2±0,1
	Cat-II	0,4±0,1	0,5±0,1	0,5±0,1	0,5±0,2	0,6±0,2	0,5±0,2
	Cat-III	0,4±0,1	0,3±0,2	0,4±0,2	0,3±0,2	0,2±0,2	0,3±0,2

A densidade proposicional (DP) dos grupos com melhor desempenho no questionário (G1 e G2) é um pouco maior quando comparada aos demais grupos. Isso sugere que esses alunos se sentiram seguros para produzir mais proposições a partir dos 9 conceitos do que os seus colegas dos grupos G3-G5. Devemos nos lembrar de que esse

mapa foi elaborado durante a avaliação formal da disciplina e de que o risco de cometer erros conceituais cresce com o aumento de proposições declaradas pelo mapeador.

O grupo G5, que teve o pior desempenho no questionário, apresentou o menor valor para os conceitos finais múltiplos (CFM). Isso sugere que a articulação de vários conceitos iniciais com um mesmo conceito final depende do nível de entendimento do conteúdo a ser mapeado. Esse fato é coerente com a teoria da assimilação através da Aprendizagem e da Retenção Significativas proposta por Ausubel (Ausubel, 2000; Moreira, 2011; Novak, 2010). A reconciliação integrativa, que consiste na identificação de pontos comuns entre vários conceitos levando à formulação de proposições que apontam para um conceito integrador, é uma das formas pela qual a aprendizagem significativa pode ocorrer. Geralmente, ela sucede uma etapa inicial marcada predominantemente pela diferenciação progressiva, onde conceitos gerais são progressivamente detalhados em conceitos cada vez mais específicos.

A avaliação dos mapas mostrou que a morfologia da rede proposicional sofreu pouco impacto, mesmo com as diferenças de entendimento sobre o tema apresentadas pelos grupos G1-G5. As restrições impostas pela tarefa podem explicar, ainda que parcialmente, a ausência de variação nas estruturas dos mapas. No contexto dessa pesquisa, a elaboração do mapa restringiu a possibilidade de os alunos escolherem a pergunta focal, a quantidade de conceitos, o conceito inicial e a distribuição espacial de conceitos (Figura 5.4). Isso tornou os mapas comparáveis entre si, o que é fundamental para viabilizar um estudo como esse. Por outro lado, tais restrições geraram uma “padronização” na estrutura dos mapas que contém 9 conceitos, respondem a mesma pergunta focal, possuem o mesmo conceito inicial e apresentam a mesma distribuição espacial de conceitos. O efeito global dessa padronização foi capturado pela nossa análise estrutural, por meio de valores médios que não apresentaram diferenças estatisticamente significativas. Estudos futuros podem aumentar a liberdade dos alunos, permitindo que eles escolham a quantidade de conceitos, a pergunta focal e/ou a distribuição espacial dos conceitos, para verificar se haverá diferenças na morfologia das redes proposicionais dos mapas produzidos.

A análise dos conceitos selecionados pelos alunos mostrou que a categoria associada ao pensamento científico (Cat-I) foi a menos acionada por todos os grupos (entre 10-20%). Esse fato pode ser explicado a partir da pergunta focal estabelecida pelo professor (Figura 5.4), que colocava mais ênfase na evolução da astronomia e nos seus efeitos sobre o nosso entendimento sobre o funcionamento do universo. Por outro lado, a

proporção de conceitos Cat-II (astronomia clássica) e Cat-III (astronomia moderna) sugere algumas tendências, ainda que não tenham sido encontradas diferenças estatisticamente significativas entre as médias para os grupos.

A quantidade média de conceitos Cat-II aumenta para os grupos que apresentaram os piores desempenhos no questionário (Tabela 5.5). Enquanto os alunos do grupo G1 utilizaram 40% de Cat-II, os alunos G5 usaram 60% de conceitos relacionados à astronomia clássica. Esses conceitos são frequentemente abordados no Ensino Médio e, portanto, já fazem parte dos esquemas conceituais dos alunos. Se os conceitos novos da disciplina não foram assimilados adequadamente, os alunos podem optar por utilizar seus esquemas conceituais estáveis, formados durante o Ensino Médio. Essa opção foi exercida em menor grau pelos alunos dos grupos G2-G4 e em maior grau pelos alunos do grupo G5 (60% de conceitos Cat-II).

Os conceitos sobre astronomia moderna (Cat-III) foram apresentados na aula 4 da disciplina (Tabela 5.1), uma semana antes da prova. Ainda que a abordagem da disciplina seja qualitativa, os alunos tinham que incluir esses conceitos nos seus esquemas. A superação desse desafio pode ser verificada pela quantidade de conceitos Cat-III que os alunos utilizaram ao elaborar seus mapas. Os alunos com melhor desempenho no questionário (G1) utilizaram 40% de Cat-III nos seus mapas; já os alunos G5 usaram somente 20%. A maior utilização de conceitos como *“radiação cósmica de fundo”*, *“Big Bang”* e *“expansão do universo”* sinaliza que o mapeador teve segurança suficiente para incluir o conteúdo das discussões sobre astronomia moderna como parte da rede proposicional do seu mapa. O desempenho no questionário confirma que essa segurança, no caso do G1, se justifica pelo entendimento do tema.

O grupo G3 apresentou um resultado curioso: o uso de Cat-III foi elevado (40%), apesar de esses alunos terem um desempenho abaixo da média para astronomia moderna (Tabela 5.5). Uma explicação para esse fato é a possibilidade de a aprendizagem significativa ser conceitualmente incorreta. Em outras palavras, os alunos provavelmente estudaram os novos conceitos e se esforçaram para integrá-los aos seus esquemas. Ainda que tudo tenha feito sentido para eles, as relações conceituais estavam incorretas (fato verificado a partir do questionário). A segurança de ter entendido bem o tema levou esses alunos a utilizar os conceitos Cat-III no mapa (fato verificado a partir da análise dos conceitos selecionados pelos alunos), sem receio de cometer equívocos ao estabelecer as proposições.

A interpretação dos resultados para o grupo G3 é importante para destacar dois aspectos, sendo um teórico e outro prático. Do ponto de vista teórico, é fundamental compreender que a ocorrência da aprendizagem significativa não implica em aprender corretamente. É possível que os alunos aprendam significativamente relações conceituais inapropriadas, que fazem sentido para eles, mas estão incorretas a partir do ponto de vista do conhecimento de referência (Ausubel, 2000; Moreira, 2011; Novak, 2002, 2010). A partir disso, decorre o aspecto prático: o professor precisa utilizar os instrumentos avaliativos para detectar a ocorrência de situações desse tipo, a fim de fazer as intervenções necessárias para confirmar se há alunos que possuem relações conceituais inapropriadas incorporadas significativamente nos seus esquemas conceituais. Uma atividade específica com os alunos G3 pode ser elaborada pelo professor, para verificar como eles compreendem as relações entre os conceitos envolvidos nas discussões sobre a astronomia moderna.

5.2.5 Casos de destaque ilustrados a partir de mapas feitos pelos alunos

As Figuras 5.6-5.7 apresentam mapas elaborados pelos alunos para ilustrar padrões que merecem ser destacados. O mapa da Figura 5.6 é de um aluno do grupo G5, que apresentou o pior desempenho no questionário (Tabela 5.4).

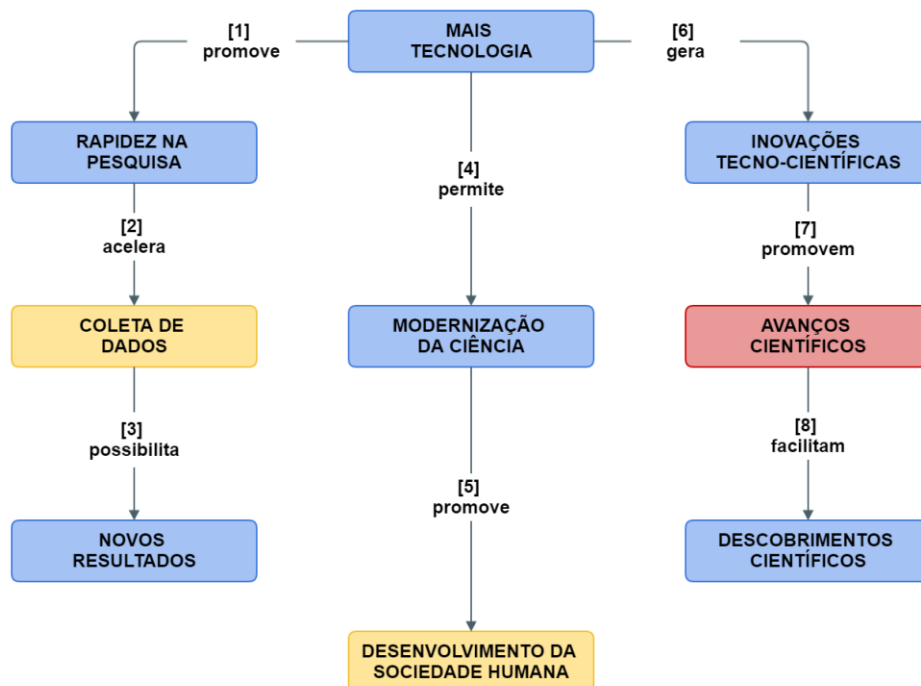


Figura 5.6. Mapa conceitual de um aluno do grupo G5. Morfologia da rede proposicional: $DP = 0,88$; $CFM = 0$. Conceitos selecionados pelo aluno: Cat-I = 2 (amarelo); Cat-II = 6 (azul); Cat-III = 1 (vermelho).

Esse mapa revela um entendimento superficial do conteúdo discutido nas aulas 1-4 da disciplina CN, pois os conceitos selecionados são genéricos (ex. “*rapidez na pesquisa*”, “*descobrimientos científicos*” e “*desenvolvimento da sociedade humana*”) e pouco exploram a evolução da astronomia que foi abordada nos materiais de estudo. Os conceitos só sofrem diferenciações, ou seja, eles são progressivamente detalhados a partir do conceito inicial “*mais tecnologia*”. Não há nenhuma reconciliação, ou seja, não há nenhum conceito no mapa com múltiplas setas apontando para ele. O resultado final é um mapa com discurso simples, que o aluno poderia ter elaborado sem assistir às aulas da disciplina. A sequência de proposições 1-3 ilustra bem esse fato: “*mais tecnologia – promove → rapidez na pesquisa*”, “*rapidez na pesquisa – acelera → coleta de dados*” e “*coleta de dados – possibilita → novos resultados*”. Os esquemas conceituais que esse aluno construiu durante o Ensino Médio não foram alterados pelos materiais de estudo e pelas discussões feitas em sala de aula.

A Figura 5.7 apresenta um mapa que foi feito por um aluno do grupo G2, que concentra 43% dos alunos que participaram desse estudo. Esse MC apresenta 19 proposições, o que sinaliza o desejo desse aluno em representar tudo o que ele sabe sobre o tema da avaliação.

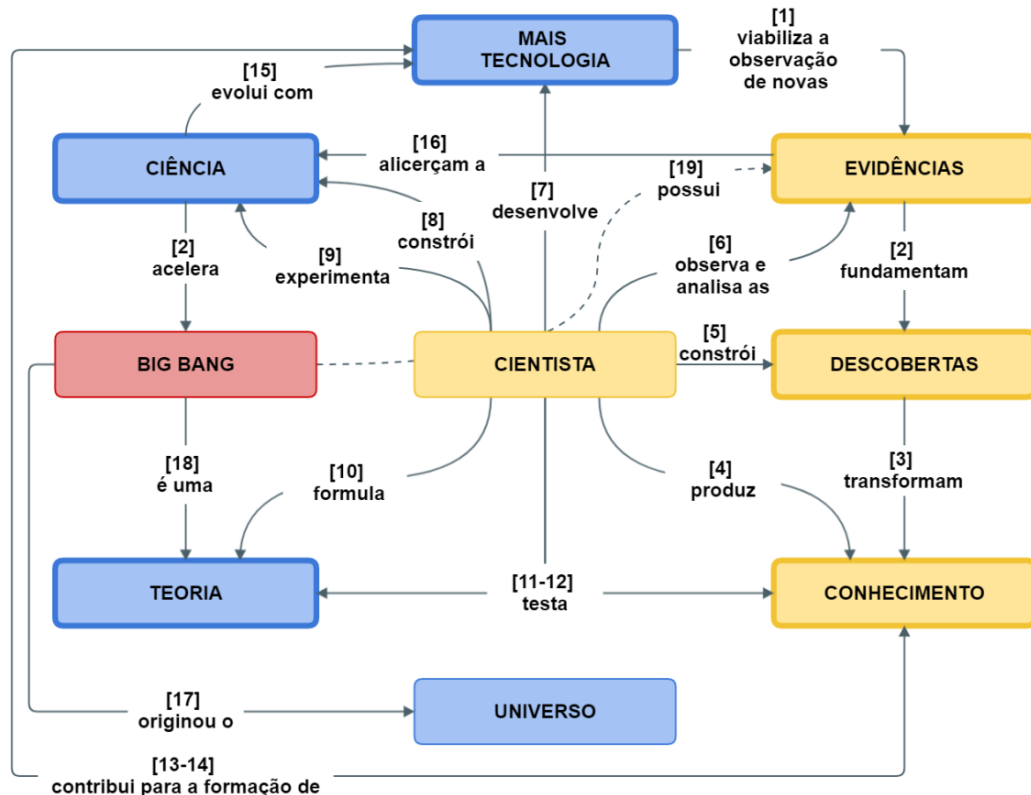


Figura 5.7. Mapa conceitual de um aluno do grupo G2. Morfologia da rede proposicional: DP = 2,11; CFM = 6 (caixas com linhas grossas). Conceitos selecionados pelo aluno: Cat-I = 4 (amarelo); Cat-II = 4 (azul); Cat-III = 1 (vermelho).

Apesar de ser algo positivo, o mapeador mostra uma falta de seletividade que fica evidente para o professor: nem todas as 19 proposições são relevantes para responder à pergunta focal. Por exemplo, a proposição 2 (*“Ciência – acelera → Big Bang”*) está incorreta e a proposição 9 (*“cientista – experimenta → Ciência”*) está mal formulada – a relação entre esses conceitos não se expressa claramente com o uso do verbo experimentar. Há três conceitos finais múltiplos, que reconciliam vários outros conceitos do mapa. É importante destacar que o mapa da Figura 5.6 não apresentava conceitos finais múltiplos, que caracterizam a reconciliação integrativa. É interessante notar que esses conceitos (*“teoria”, “Ciência” e “mais tecnologia”*) foram introduzidos na disciplina durante as aulas que abordaram a astronomia clássica (Cat-II).

O conceito *“Big Bang”*, que se relaciona com os conteúdos sobre astronomia moderna (Cat-III), aparece no mapa. Porém, ele foi pouco explorado pelo aluno, visto que a proposição 2 está incorreta e a proposição 18 (*“Big Bang – é uma → teoria”*) é ingênua frente às discussões da aula 4 da disciplina. Além disso, a proposição 19 (*“Big Bang – possui → evidências”*) sugere a existência de evidências, não mencionadas pelo aluno apesar de elas terem sido apresentadas e discutidas durante a aula 4 (Tabela 5.1). No seu conjunto, esse mapa mostra que o aluno foi capaz de construir relações conceituais a partir dos conteúdos da disciplina, ainda que os aportes principais estejam vinculados aos conteúdos sobre astronomia clássica (aulas 1-3). Tais conteúdos são frequentemente abordados no Ensino Médio e o aprofundamento conferido pela disciplina pode ser incorporado aos esquemas existentes (a prova ocorreu duas semanas após o término dessas discussões). Vale a pena destacar que algumas proposições podem servir como ponto de partida para a revisão de relações conceituais que não foram bem formuladas. Os verbos das proposições 2 e 9 podem ser questionados pelo professor, que também pode perguntar sobre a equivalência das proposições 11 (*“cientista – testa → teoria”*) e 12 (*“cientista – testa → conhecimento”*) – qual seria a diferença que esse aluno percebe entre *“teoria”* e *“conhecimento”*?

O mapa da Figura 5.8 foi elaborado por um aluno do grupo G1, que apresentou o melhor desempenho no questionário (Tabela 5.4). Ele é menor do que o mapa da Figura 5.7, sugerindo que esse aluno pode ter sido mais criterioso ao escolher as 11 proposições para responder à pergunta focal. Há quatro conceitos relacionados com a astronomia moderna (Cat-III), sendo que três deles (*“expansão do universo”, “Big Bang” e “universo”*) são pontos de reconciliação. Esse aluno mostra uma compreensão mais completa sobre o Big Bang e as suas evidências para explicar a origem do universo. A partir do conceito

“evidências”, temos as proposições 4-5 (“evidências – podem ser → expansão do universo / radiação cósmica de fundo”), 6-7 (“expansão do universo / radiação cósmica de fundo – comprovam a teoria do → Big Bang”) e 10-11 (“Big Bang / gravidade – teorias mais aceitas para explicar o funcionamento do → universo”). O processo de reformulação dos esquemas conceituais combinou conceitos da astronomia clássica (discutidos no Ensino Médio, em azul na Figura 5.8) e conceitos da astronomia moderna (em vermelho na Figura 5.8). A proposição 2 (“telescópio – ajudou a observar a → expansão do universo”) ilustra o acoplamento entre conceitos Cat-II e Cat-III.

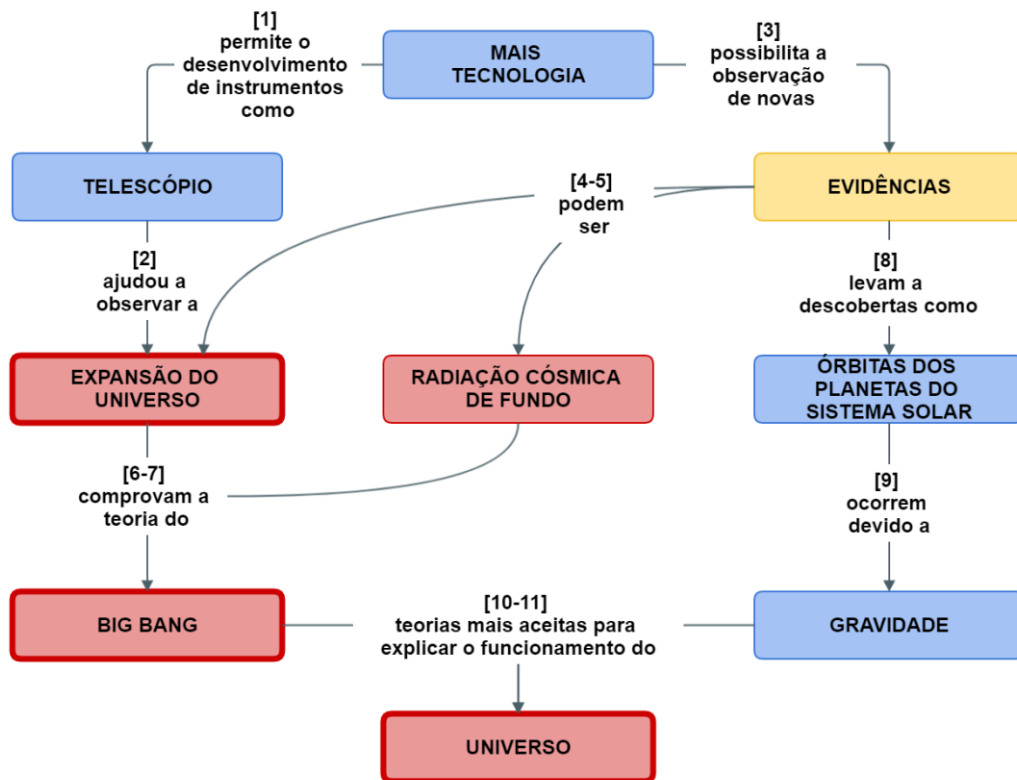


Figura 5.8. Mapa conceitual de um aluno do grupo G1. Morfologia da rede proposicional: DP = 1,22; CFM = 3 (caixas com linhas grossas). Conceitos selecionados pelo aluno: Cat-I = 1 (amarelo); Cat-II = 4 (azul); Cat-III = 4 (vermelho).

Comparado com os mapas anteriores (Figuras 5.6-5.7), esse mapa mostra relações conceituais construídas a partir dos conteúdos da disciplina, incluindo conceitos relacionados com a astronomia moderna (aula 4). Nesse processo de aprendizagem, equívocos ocorrem e devem ser julgados frente ao conjunto de informações revelado pelo mapa. Por exemplo, o conceito “gravidade” não se aplica adequadamente às proposições 9 (“órbitas dos planetas do Sistema Solar – ocorrem devido a → gravidade”) e 11 (“gravidade – teorias mais aceitas para explicar o funcionamento do → universo”). Uma discussão para diferenciar a “gravidade” da “Lei da Gravitação Universal” é oportuna considerando o nível de entendimento conceitual demonstrado por esse aluno, que pode

atuar como mediador numa atividade colaborativa para ajudar outros alunos que ainda apresentam dificuldades com o conteúdo.

5.3 Perspectivas didáticas para a avaliação da aprendizagem

A avaliação do conhecimento conceitual combinando um questionário e uma atividade com mapas produziu informações interessantes para subsidiar as decisões que o professor precisa tomar durante o processo de ensino. As respostas do questionário revelaram grupos de alunos com diferentes níveis de entendimento conceitual sobre o tema estudado, que orientaram a avaliação comparativa da morfologia da rede proposicional e dos conceitos selecionados pelos alunos. Ainda que a configuração da tarefa tenha padronizado os mapas produzidos pelos alunos, foi possível observar que a relação de conceitos sobre astronomia clássica (Cat-II) e astronomia moderna (Cat-III) refletiu o desempenho que os alunos tiveram no questionário. Os melhores alunos utilizaram tais conceitos na proporção 1:1, enquanto os alunos com pior desempenho no questionário usaram, em média, três vezes mais conceitos Cat-II do que Cat-III.

A leitura da rede proposicional de mapas representativos de cada grupo gerou informações complementares sobre a natureza das relações conceituais expressas pelas proposições. Os exemplos apresentados no capítulo confirmaram a tendência observada a partir da análise da morfologia da rede proposicional e da categoria dos conceitos que os alunos selecionaram. A presença de conceitos finais múltiplos, que são pontos de reconciliação integrativa, só foi observada para alunos que apresentaram bom entendimento conceitual sobre astronomia clássica ou moderna (G1 e G4). Discussões específicas podem e devem ser feitas a partir do nível de entendimento revelado pelo mapeador, a fim de promover continuamente a aprendizagem significativa. A avaliação do conhecimento conceitual tem papel central nesse processo, desde que ela forneça informações sobre o que os alunos já aprenderam e aonde estão os obstáculos de aprendizagem. Ciente disso, o professor terá melhores condições para adaptar as atividades da sua disciplina, mesmo durante o semestre letivo. Atividades colaborativas, envolvendo alunos com diferentes níveis de entendimento sobre o conteúdo, são estratégias poderosas que devem ser exploradas a partir de grupos montados intencionalmente para facilitar o papel mediador dos alunos que já compreenderam o conteúdo, os quais podem discutir com seus colegas as respostas do questionário e os mapas elaborados.

Capítulo 6 | Elaboração colaborativa de mapas conceituais³⁵

6.1 Mapeando colaborativamente temas amplos

Os mapas conceituais e o reducionismo hierárquico foram combinados para criar uma nova arquitetura pedagógica para abordar temas amplos nas salas de aula. Essa estratégia considera o desafio epistemológico de gerenciar uma quantidade substancial de informações de diversos campos disciplinares e a necessidade de envolver os alunos no trabalho colaborativo de forma produtiva, a fim de se obter o efeito sinérgico da combinação de olhares idiossincráticos. O resultado das discussões entre os alunos pode ser representado por meio de um modelo de conhecimento, ou seja, uma estrutura hipertextual que contém uma coleção de mapas com recursos digitais de qualquer natureza (*e.g.*, textos, imagens, áudios e vídeos). Os alunos criam seu próprio hipertexto e o usam como recurso visual de informações para navegar pela complexidade do tema em estudo. Após discutir os fundamentos teóricos subjacentes ao desenho instrucional, um estudo de caso envolvendo a elaboração de um modelo de conhecimento para mostrar as relações entre os conteúdos de seis disciplinas do Ciclo Básico da EACH/USP será apresentado. Os alunos ($n = 52$) trabalharam de forma colaborativa para mapear as conexões entre os conteúdos disciplinares e os resultados revelaram uma perspectiva interessante. A abordagem estruturada que foi adotada para organizar o processo de construção colaborativa do conhecimento permitiu que os alunos explicitassem diversas informações latentes sobre as disciplinas do Ciclo Básico. A possibilidade de evitar a sobrecarga cognitiva explica por que a combinação dos mapas conceituais e do reducionismo hierárquico é útil para compreender temas amplos (Figura 6.1).

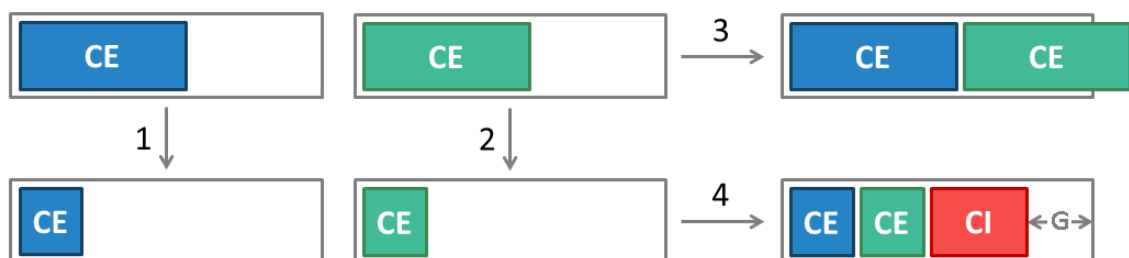


Figura 6.1. O treinamento na técnica de mapeamento conceitual (1) e a estruturação da colaboração (2) evitaram a sobrecarga cognitiva (3) e permitiram a gestão da carga intrínseca (4) por meio do reducionismo hierárquico. Desta forma, foi possível explorar um tema amplo.

³⁵ Esse capítulo apresenta uma síntese dos resultados publicados no Digital Knowledge Maps in Education: Technology-Enhanced Support for Teachers and Learners em 2016: [“Using Novakian concept maps to foster peer collaboration in Higher Education”](#).

6.2 Utilizando modelos de conhecimento para mapear temas amplos

Os problemas da sociedade contemporânea são altamente complexos e abordá-los na sala de aula é desafiador por vários motivos. As estratégias instrucionais devem ser planejadas para incluir esses problemas nas rotinas de ensino, pois contemplar a complexidade permite aos alunos desenvolver habilidades para resolver problemas, trabalhar em equipe e pensar de forma criativa. Além disso, as discussões sobre problemas do mundo situam o conteúdo disciplinar num contexto amplo e relevante, facilitando a aplicação do conhecimento acadêmico em situações reais. Nossa experiência mostra que os seguintes obstáculos devem ser considerados ao promover discussões sobre questões complexas no Ensino Superior:

- o desafio epistemológico de gerenciar uma quantidade substancial de informações de diversos campos disciplinares, relacionado à carga intrínseca (CI), e
- a necessidade de envolver os alunos no trabalho colaborativo de forma produtiva, a fim de se obter o efeito sinérgico da combinação de olhares idiossincráticos, relacionado à carga extrínseca (CE).

Este capítulo apresenta uma possível solução para esses desafios, combinando a elaboração colaborativa de mapas conceituais para desenvolver modelos de conhecimento, organizando as informações a partir do reducionismo hierárquico proposto por Dawkins (1996).

A complexidade pode levar à sobrecarga cognitiva devido à quantidade e diversidade de informações que devemos processar. Esse problema é especialmente crítico para as pessoas que estão acostumadas a lidar com questões disciplinares bem definidas. Esse desafio epistemológico pode ser enfrentado usando o reducionismo hierárquico, que é uma forma de produzir boas respostas para assuntos complexos (Dawkins, 1996). A idéia principal é descrever esses temas usando um sistema hierarquizado, onde cada nível hierárquico é descrito apenas em termos de objetos (conceitos) contidos no nível imediatamente inferior. Essa estratégia garante que todas as explicações sobre o tema sejam elaboradas “*passo a passo*”, contendo um número gerenciável de elementos (conceitos) a serem processados. Nesse contexto, é mais fácil identificar a necessidade de se aprofundar em explicações sobre partes específicas do tema sem perder a visão de conjunto. O pensamento sistêmico é estimulado porque torna-se possível relacionar as partes com todo durante o período de estudo. Em resumo, o

reducionismo hierárquico é uma abordagem interessante de organizar informações sobre assuntos complexos (*problematiques*³⁶) no Ensino Superior.

Os mapas conceituais são organizadores gráficos úteis para representar informação e conhecimento empregando o reducionismo hierárquico. Os mapas tornam visíveis todo o conteúdo representado, que fica disponível para todos os participantes que precisam debater questões relativas à complexidade dos assuntos em discussão. A colaboração é favorecida porque todos podem contribuir a partir de um ponto de partida comum (o mapa conceitual colaborativo). Cada participante pode apresentar sua perspectiva particular e alterar a representação visual compartilhada em tempo real.

6.2.1 Mapas conceituais e modelos de conhecimento

Os mapas conceituais são formados por proposições contendo dois conceitos conectados por um termo de ligação (Figura 6.2a) que declara explicitamente a relação conceitual entre eles. A ausência do termo de ligação dificulta o entendimento da relação conceitual (Figura 6.2b), produzindo diagramas que se limitam a associar conceitos, como os mapas mentais (Davies, 2011). A falta de clareza prejudica o processo de organização do modelo mental e, principalmente, a comunicação das próprias idéias. Essa situação é a mesma quando os termos de ligação não contêm verbos (Figura 6.2c), porque não há uma afirmação clara sobre os conceitos da proposição.

É interessante destacar o efeito que pequenas alterações no termo de ligação têm no significado da proposição. Por exemplo, podemos considerar que estamos lendo este capítulo antes de Dawkins propor reducionismo hierárquico (Figura 6.2d), no presente (a Figura 6.2e expressa com precisão as nossas idéias) e no futuro (a Figura 6.2g supõe que algo melhor do que o reducionismo hierárquico será inventado). A Figura 6.2f mostra a transformação do sentido da proposição com a inclusão de uma pequena palavra ao termo de ligação (“*não*”). Esse conjunto de proposições destaca o papel crítico dos termos de ligação para conferir clareza e precisão às idéias que o mapeador deseja representar. Por fim, a Figura 6.2 explora a relação entre as proposições, os mapas e os modelos de conhecimento, a partir do reducionismo hierárquico. Eles podem ser descritos estruturalmente em termos de construtos que estão no nível hierárquico imediatamente anterior (linhas vermelhas). As proposições são as unidades fundamentais dos mapas conceituais, que são as unidades fundamentais dos modelos de conhecimento.

³⁶ “*Problematiques*” é um conceito proposto pelo Clube de Roma como uma forma de caracterizar problemas altamente complexos com impactos globais de longo prazo (Club of Rome, 1970).

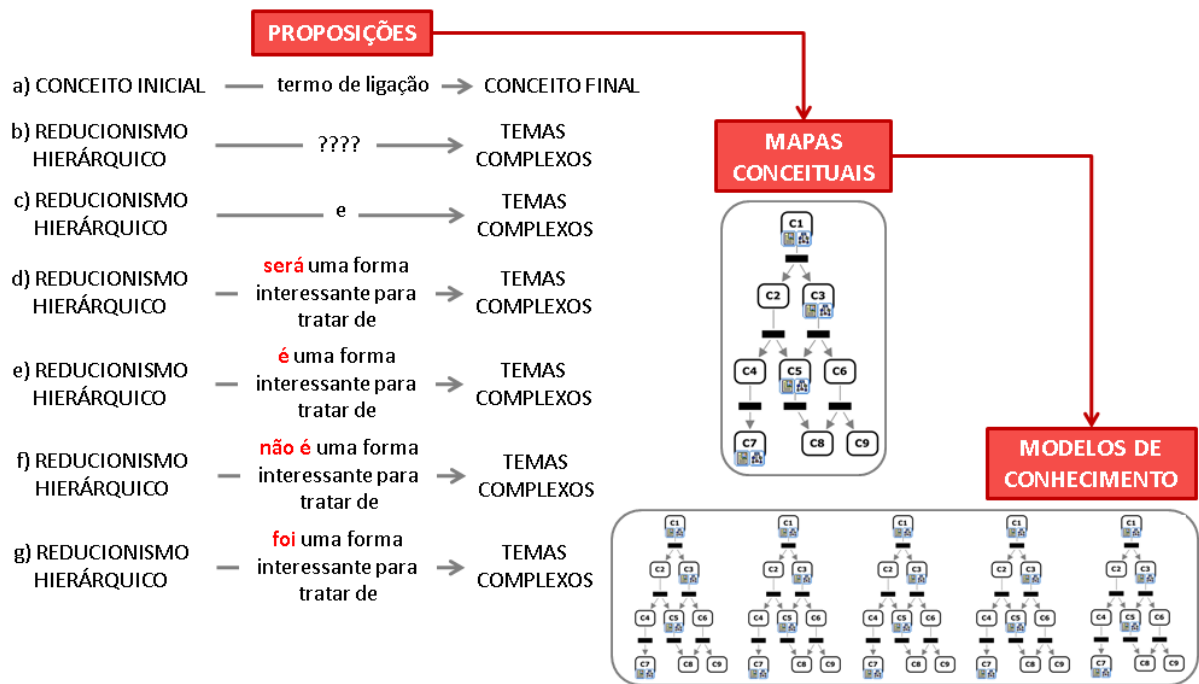


Figura 6.2. A estrutura geral das proposições (a), alguns exemplos (b-f) e a relação estrutural entre proposições, mapas conceituais e modelos de conhecimento (em vermelho).

Por muitos anos, os mapas conceituais foram elaborados à mão. As revisões dos mapas manuscritos são demoradas, pois é preciso apagar e incluir alterações na folha de papel. O uso de post-its pode facilitar a alteração dos mapas manuscritos, sobretudo quando eles são elaborados em grupo. A possibilidade de criar mapas conceituais digitais alterou esse panorama. O CmapTools, desenvolvido pelo *Institute for Human and Machine Cognition*, é um programa dedicado à elaboração de mapas conceituais (Cañas et al., 2004). Ele foi responsável pela disseminação da técnica de mapeamento conceitual que hoje está presente em ambientes educacionais e corporativos (Moon et al. 2011).

A elaboração de mapas digitais usando o CmapTools permite ir além da criação de vários mapas isolados. Os modelos de conhecimento são estruturas hipertextuais que contém uma coleção de mapas interligados entre si. Os conceitos desses mapas ainda recebem *links* para recursos digitais de qualquer natureza (*e.g.*, textos, imagens, áudios e vídeos) para ampliar o conteúdo representado (Figura 6.3). A estrutura de hipertexto resultante é semelhante a um *website*, facilitando a navegação mesmo para usuários iniciantes. Os modelos de conhecimento podem ser explorados a partir de *links* que aparecem na parte inferior das caixas de conceitos (Figura 6.3)^{37,38}.

³⁷ [Clique aqui](#) para acessar o modelo de conhecimento da Sexta Conferência Internacional sobre Mapas Conceituais (CMC 2014), realizada em Santos/SP com o apoio da USP e das agências financiadoras (FAPESP, CNPq e CAPES). Há mapas conceituais que traduzem esse conteúdo para o espanhol e inglês, bem como no conceito "Edições anteriores".

³⁸ [Clique aqui](#) para acessar o modelo de conhecimento que apresenta o programa CmapTools.

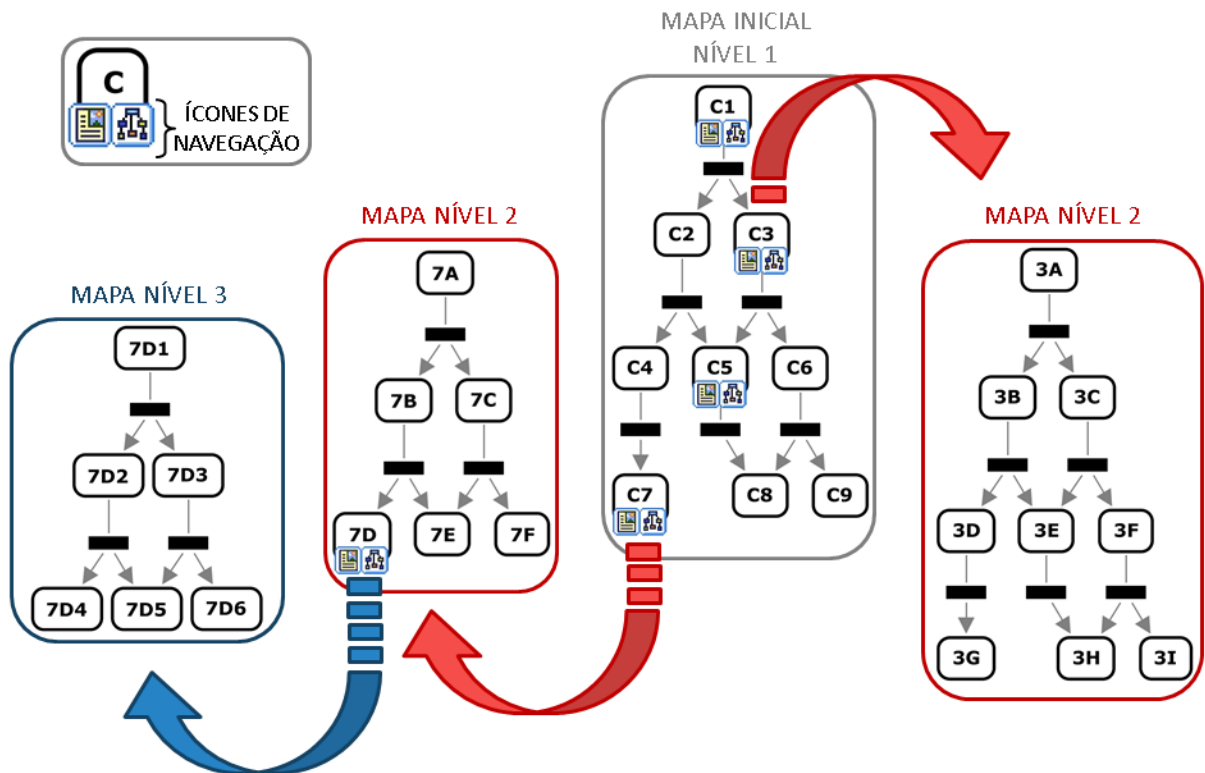


Figura 6.3. Representação esquemática de um modelo de conhecimento contendo quatro mapas conceituais e três níveis hierárquicos.

Os modelos de conhecimento apresentam uma organização hierárquica bem definida. Eles podem ser construídos pelos alunos durante o período de estudo sobre assuntos complexos (*problematiques*). Os modelos de conhecimento também estimulam a utilização do reducionismo hierárquico como forma de lidar com grandes quantidades de informação.

A organização dos mapas nos modelos de conhecimento segue o padrão hierárquico apresentado na Figura 6.3. O *mapa inicial* contém os conceitos mais abrangentes, ajudando o leitor a criar uma visão de conjunto sobre o tema representado. A partir dele, mapas cada vez mais específicos detalham alguns dos aspectos mais relevantes do tema.

O *mapa inicial* da Figura 6.3 ilustra uma visão mais ampla sobre o tópico, e os conceitos C3 e C7 são críticos para capturar toda a complexidade envolvida. Esses conceitos são detalhados nos *mapas nível 2*, preservando a organização geral do modelo de conhecimento (note que o *mapa inicial* não foi ampliado para conter esses detalhes). Essa mesma lógica pode justificar a criação de *mapas nível 3*, detalhando conceitos introduzidos nos *mapas nível 2*. O reducionismo hierárquico é facilmente aplicado e mapas de outros níveis podem ser inseridos no modelo de conhecimento para detalhar, cada vez mais, aspectos relevantes para a compreensão do tema.

A natureza dinâmica da colaboração e da elaboração de mapas conceituais faz com que as revisões sejam constantes ao longo do processo. A revisão recursiva dos mapas é um dos elementos centrais para a adequada utilização dessa técnica de representação do conhecimento (Aguilar e Correia, 2013). A organização hierárquica do modelo de conhecimento permite que os participantes façam aprimoramentos considerando a visão sistêmica sobre o conteúdo em discussão.

O objetivo desse capítulo é introduzir o arcabouço teórico que fundamenta o uso dos modelos de conhecimento para promover a colaboração entre os alunos. Um estudo de caso será apresentado, a partir dos modelos de conhecimento que alunos ingressantes criaram para caracterizar as conexões entre seis disciplinas que compõe o Ciclo Básico da EACH/USP.

6.2.2 Aprendizagem colaborativa com mapas conceituais: aportes teóricos

A discussão de temas interdisciplinares e complexos em sala de aula é um desafio que precisa ser enfrentado com estratégias de ensino diferenciadas, que fogem à rotina das aulas expositivas. Atividades colaborativas precisam ser planejadas para que os participantes aproveitem a sinergia que pode ser estabelecida nos grupos. Conforme observado por Mayer (2010), o planejamento instrucional deve ser guiado por teorias que explicam como a instrução afeta o aprendizado. A TCC tem sido uma tentativa de vincular demandas instrucionais e resultados de aprendizagem, considerando a utilização dos limitados recursos cognitivos da memória de trabalho (Sweller, Ayres e Kalyuga, 2011). Essa teoria propõe, em linhas gerais, minimizar a carga extrínseca (otimização do formato da atividade) para disponibilizar mais recursos cognitivos para processar o material instrucional (carga intrínseca) e desenvolver esquemas (recursos generativos).

As teorias que orientam o uso dos modelos de conhecimento para organizar atividades colaborativas são apresentadas na Figura 6.4. A premissa principal que sustenta os argumentos teóricos está baseada no auxílio que as ferramentas de visualização (mapas conceituais) oferecem para organizar as interações entre os participantes de atividades colaborativas (Fischer et al., 2002; Vekiri, 2002). Essas ferramentas permitem aos participantes visualizar, discutir e modelar informações durante todo o processo colaborativo, facilitando a discussão de questões complexas usando o reducionismo hierárquico (Dawkins, 1996). A Teoria da Dupla Codificação explica porque os organizadores visuais para a representação do conhecimento podem otimizar o uso de recursos da memória de curto prazo. Esses diagramas, como o mapa

conceitual apresentado a seguir, contém imagens e informações textuais que são processadas simultaneamente sem aumentar a carga cognitiva sobre a memória de trabalho (Paivio, 1990).

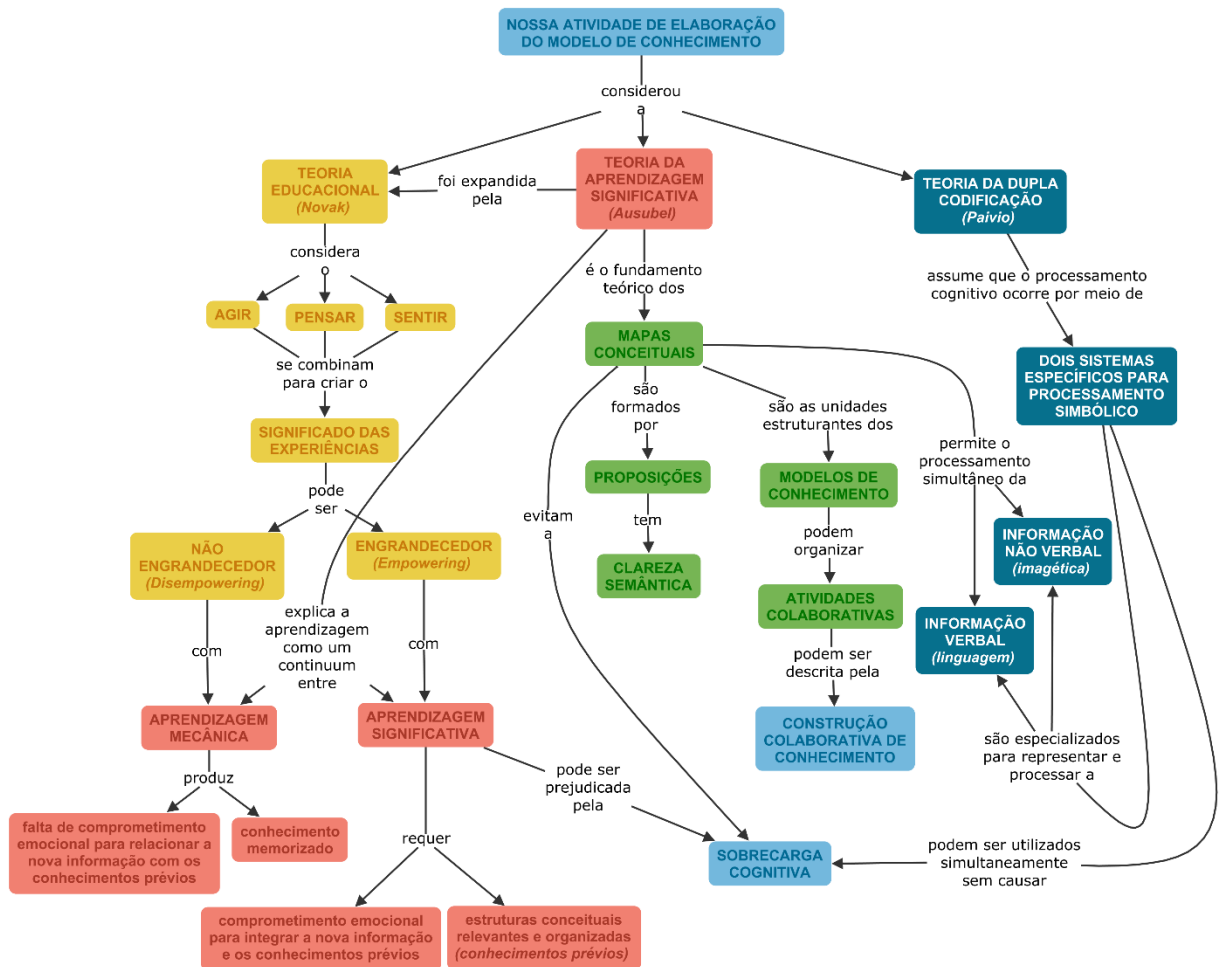


Figura 6.4. Mapa conceitual que organiza as teorias que fundamentam a atividade colaborativa para a elaboração de modelos de conhecimento. Pergunta focal: “Qual é o arcabouço teórico que guia o uso dos modelos de conhecimento para promover a colaboração entre os alunos?”. Legenda de cores: azul claro (conceitos principais), amarelo (Teoria Educacional de Novak), vermelho (Teoria da Aprendizagem Significativa) e azul escuro (Teoria da Dupla Codificação, verde (mapas conceituais).

A articulação teórica desse capítulo inclui a Teoria Educacional de Novak, que expande a perspectiva cognitivista de Ausubel em direção ao humanismo (Novak, 2010)³⁹. As interações sociais são indispensáveis para compartilhar o significado das experiências educacionais. Elas podem envolver somente os alunos e o professor com os seus alunos. A aprendizagem significativa (Ausubel, 2000) pode ser potencializada nesse ambiente de criação de significados. O professor pode oferecer, continuamente, os requisitos conceituais, procedimentais e afetivos para que os alunos optem por aprender

³⁹ Além de criar os mapas conceituais, Joseph Novak deixa mais essa contribuição para todos que se interessam em refletir sobre o processo educacional. A Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica, proposta pelo Professor Marco Antônio Moreira, é outra expansão humanista às ideias de Ausubel.

significativamente. Nesse contexto, experiências engrandecedoras se configuram e elas devem ser o objetivo maior das ações educacionais. As atividades colaborativas mediadas por mapas conceituais podem levar a esse tipo de experiência, desde que o planejamento instrucional seja feito para evitar a sobrecarga cognitiva. A dupla tarefa de representar o conhecimento na forma de mapas conceituais e de colaborar durante o processo de mapeamento é exigente do ponto de vista cognitivo, podendo comprometer o resultado final da aprendizagem se as tarefas não forem bem dimensionadas.

6.2.3 Construção do conhecimento colaborativo como modelo de colaboração

As atividades colaborativas são importantes para permitir interações sociais durante o processo de aprendizagem. Na sala de aula, as interações podem envolver os alunos (colaboração entre pares) e o professor com os seus alunos. O conceito de zona de desenvolvimento proximal de Vygostky (1978) pode ser utilizado para diferenciar essas interações. Os alunos apresentam níveis similares de entendimento sobre o tópico em discussão. A colaboração é facilitada porque eles possuem uma linguagem parecida para explicar os conteúdos envolvidos. A assimetria entre eles é pequena, favorecendo a troca de significados. O professor, na condição de especialista sobre o tópico, tem maior entendimento e se expressa a partir dos jargões da sua área de conhecimento. Nesse caso, a assimetria aumenta, porque o professor está numa zona de desenvolvimento proximal diferente daquela em que os seus alunos estão.

Correia e Infante-Malachias (2009) representaram três tipos diferentes de interações sociais que podem ocorrer durante o processo de aprendizagem a partir da assimetria de poder e da diferença entre as zonas de desenvolvimento proximal. As colaborações verticais, horizontais e diagonais são representadas esquematicamente na Figura 6.5.

A colaboração vertical ocorre entre o professor e seus alunos. Tipicamente, os papéis dos participantes estão bem definidos: o primeiro transmite o conhecimento e os últimos recebem o conhecimento transmitido. A assimetria de poder e a diferença entre as zonas de desenvolvimento proximal são elevadas. Por outro lado, a colaboração horizontal é observada quando os alunos interagem com seus colegas. Nesse caso, a assimetria de poder é pequena e os alunos estão em zonas de desenvolvimento proximal similares. A negociação de significados é diferente em cada uma dessas situações e não se deve menosprezar o potencial da colaboração horizontal no processo de aprendizagem (Cañas e Novak, 2006, Vygotsky, 1978).

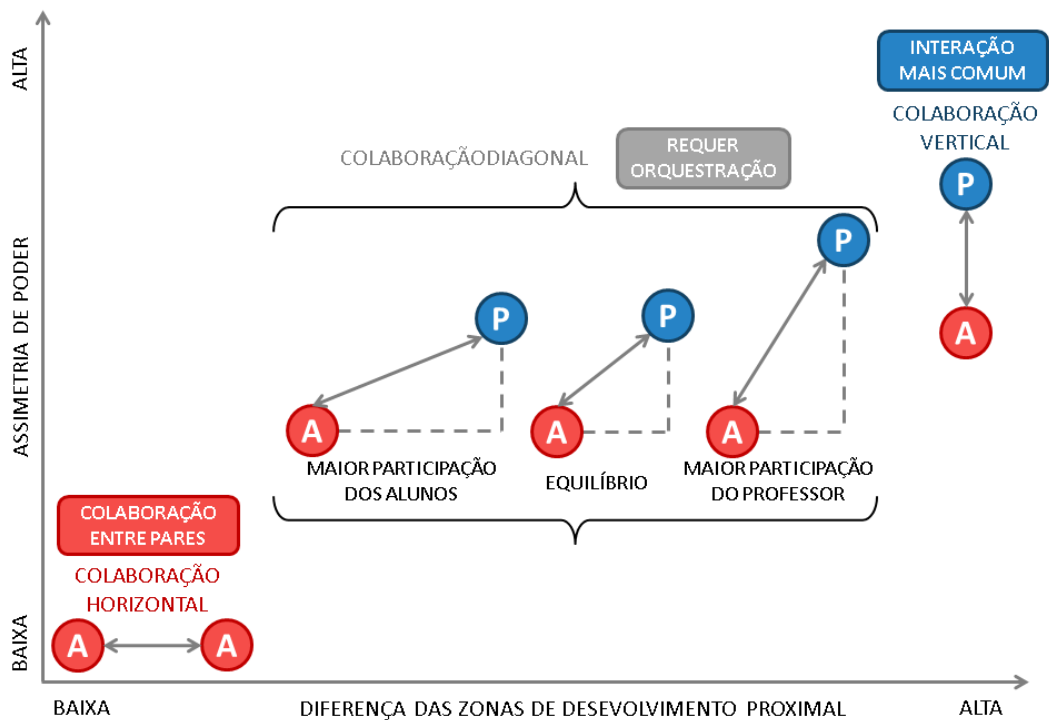


Figura 6.5. Tipos de interações colaborativas que podem ocorrer durante o processo de aprendizagem. Legenda: A (alunos); P (professor).

A colaboração diagonal pode ser considerada a resultante da combinação de interações verticais (professor-aluno) e horizontais (aluno-aluno). Ela amplia as possibilidades que podem ser consideradas durante o planejamento de atividades colaborativas. O nível de participação do professor e dos alunos deve variar de acordo com os objetivos da tarefa de momento. O professor pode ter momentos de exposição dialogada (colaboração diagonal mais verticalizada), intercaladas com momentos onde os alunos trabalham em grupos sob a sua supervisão (colaboração diagonal mais horizontalizada). A elaboração colaborativa de modelos de conhecimento foi planejada para privilegiar o protagonismo dos alunos (colaboração diagonal horizontalizada).

Existem várias maneiras de descrever os processos colaborativos que ocorrem durante a aprendizagem. A construção colaborativa do conhecimento (Fischer et al., 2002) é conveniente porque ela destaca o importante papel desempenhado pelas ferramentas de visualização (mapas conceituais). A construção colaborativa de conhecimento pode ser entendida como a sucessão de três etapas (Figura 6.6):

- Externalização, quando os conhecimentos prévios relevantes são recuperados a partir da memória de longo prazo.
- Elicitação, quando a interação social entre os participantes produz intensa negociação de significados.
- Busca por consenso, que pode ser orientada por integração ou conflito cognitivo.

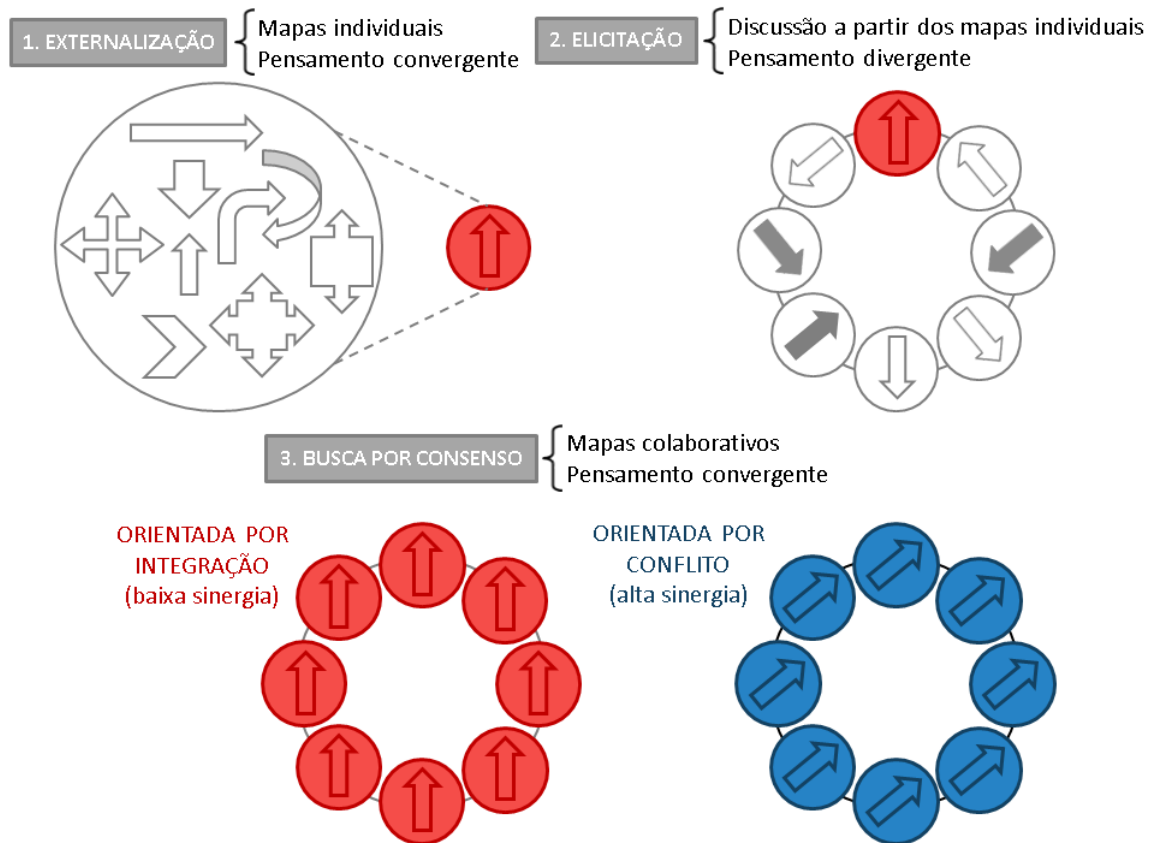


Figura 6.6. Representação esquemática das etapas de construção colaborativa do conhecimento.

A externalização dos conhecimentos prévios relevantes é um esforço individual para recuperar e organizar os modelos mentais que estão na estrutura cognitiva e que podem contribuir para a realização da atividade colaborativa (veja a importância de selecionar somente o que é relevante na Figura 6.6). O entendimento, as percepções e os sentimentos de cada participante aparecem como idiosincrasias que configuram o produto da externalização, que pode ser um mapa conceitual individual sobre o tema a ser discutido colaborativamente. Esse mapa é um registro do pensamento convergente feito durante a externalização. A preparação individual é crítica para que a atividade colaborativa seja produtiva. A elaboração de mapas individuais é uma forma interessante para que os alunos recuperem e organizem seus conhecimentos prévios.

A elicitação inicia as interações sociais e é marcada por uma dinâmica discursiva marcada por um jogo de perguntas e respostas. Os mapas individuais dos alunos servem como ponto de partida para as discussões. As idiosincrasias dos participantes são compartilhadas rapidamente com todo o grupo por meio da leitura da rede proposicional (veja a diversidade de entendimentos possíveis sobre o tema da colaboração na Figura 6.6). Após a leitura dos mapas, os alunos podem identificar rapidamente as semelhanças, diferenças e dúvidas sobre as perspectivas dos demais. As boas perguntas, que fazem o

grupo refletir e avançar no entendimento do tema e na consecução da tarefa, são potencializadas quando a elicitación é apoiada pelos mapas individuais. Além disso, os alunos ficam concentrados nas discussões sobre os conteúdos mapeados, evitando a dispersão e conversas que não contribuem com o trabalho em grupo. O tempo que o professor destina à elicitación é empregado de forma produtiva pelos alunos.

Os alunos podem ter boas ideias e *insights* criativos durante a elicitación, marcada pelo pensamento divergente. Esses momentos especiais são evidências da eficiência da colaboração diagonal horizontalizada durante as atividades desenvolvidas em sala de aula. O papel do professor fica restrito a apoiar o trabalho dos grupos, de acordo com as demandas que os alunos apresentam durante as discussões. Nesse contexto, a criação de significados está sob a responsabilidade dos alunos, que atuam entre pares com baixa assimetria de poder e zonas de desenvolvimento proximal similares (colaboração horizontal).

A construção de consenso é desafiadora porque ela encerra uma animada sessão de pensamento divergente (elicitación). Nesse momento, o grupo precisa migrar para o pensamento convergente, a fim de encaminhar uma resposta à atividade colaborativa. Geramente, os líderes dos grupos são responsáveis por mudar as interações discursivas na direção da busca por consenso. O objetivo do grupo passa a ser a construção de um produto final que expresse a riqueza das discussões, mesclando as contribuições de todos. A elaboração de mapas colaborativos é uma forma interessante de promover a construção de consensos, exigindo que os participantes selecionem as melhores ideias para compor uma única rede proposicional.

Em condições não ideais de funcionamento, o grupo vai chegar ao consenso por integração. As perspectivas individuais são justapostas para integrar o produto final da colaboração. Essa solução releva uma atividade colaborativa superficial, que evita os conflitos cognitivos. O produto final é comparável a um mosaico, no qual todos os fragmentos têm uma autoria identificável e a maioria é de um mesmo participante que influencia os demais (veja as setas vermelhas representando um aluno que comandou o processo de busca por consenso orientada por integração na Figura 6.6). Nesse caso, a sinergia do grupo é baixa e há uma tendência de os alunos chegarem a um consenso ilusório (Fischer et al., 2002), sugerindo uma finalização burocrática da atividade em grupo.

A busca por consenso orientada por conflito cognitivo é o caminho escolhido pelos grupos que tem alta sinergia. Nessa situação, é difícil individualizar a autoria do produto

final (consulte as setas diagonais azuis que representam o produto sinérgico obtido a partir da visão compartilhada pelo grupo na Figura 6.6). As habilidades de trabalho em equipe são essenciais para garantir a alta sinergia dos grupos. Elas devem ser desenvolvidas ao longo do Ensino Superior para que os egressos tenham condições adequadas de atuar nas organizações que aprendem (Senge, 1994).

6.2.4 Procedimentos de coleta e análise de dados

A EACH/USP oferece um Ciclo Básico aos seus ingressantes. O objetivo é preparar os alunos para enfrentar os desafios da sociedade contemporânea, combinando os conhecimentos especializados dos cursos de graduação com disciplinas de caráter geral que ampliam a visão de mundo (Tabela 6.1). Durante o 1º ano, todos os alunos da EACH/USP têm⁴⁰:

- 8 horas de aulas introdutórias por semana em suas áreas de conhecimento, com disciplinas específicas definidas pelos cursos de graduação⁴¹.
- 12 horas dedicadas a temas complexos da sociedade contemporânea (*problematiques*), por meio de disciplinas oferecidas pelo Ciclo Básico.
 - 6 horas são destinadas às *Disciplinas Gerais*, que promovem discussões interdisciplinares sobre questões relevantes envolvendo democracia, desigualdade, cidadania, ciência e tecnologia, meio ambiente, multiculturalismo, artes e cultura brasileira.
 - 4 horas são destinadas à *Resolução de Problemas*, ministrada a partir dos princípios norteadores da aprendizagem baseada em problemas.
 - 2 horas são destinadas aos *Estudos Diversificados*, que desenvolvem habilidades que os alunos adquiriram parcialmente durante o Ensino Médio.

A coleta de dados foi realizada durante a disciplina *Estudos Diversificados*, que abordou a “*Gestão do conhecimento com mapas conceituais para aprender a aprender*” durante o 2º semestre de 2011. As conexões interdisciplinares entre as seis *Disciplinas gerais* oferecidos aos alunos foram utilizadas para introduzi-los ao reducionismo hierárquico como forma de lidar com grandes quantidades de informações. A Tabela 6.2 apresenta uma breve descrição dos principais tópicos abordados pelas *Disciplinas gerais* para que o leitor tenha uma noção das possíveis relações que se pode encontrar entre seus

⁴⁰ Essa é a configuração original do Ciclo Básico da EACH/USP, vigente na época em que a coleta de dados foi realizada. Desde então, o Ciclo Básico foi alterado e as suas disciplinas passaram a se distribuir ao longo dos quatro anos dos cursos de graduação.

⁴¹ Os cursos de graduação da EACH/USP são: Biotecnologia, Educação Física e Saúde, Gerontologia, Gestão Ambiental, Gestão de Políticas Públicas, Lazer e Turismo, Licenciatura em Ciências da Natureza, Marketing, Obstetrícia, Sistemas de Informação, Têxtil e Moda.

conteúdos. A colaboração horizontal (entre alunos) norteou o trabalho de construção dos modelos de conhecimento que representam o Ciclo Básico da EACH/USP.

Tabela 6.1. Horário típico de um aluno ingressante na EACH/USP, que tem cursos nos períodos matutino (MAT), vespertino (VES) e noturno (NOT). A coleta de dados ocorreu durante a disciplina Estudos Diversificados (em vermelho).

Horário	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
MAT: 8:00-9:45 VES: 14:00-15:45 NOT: 19:00-20:45	Disciplinas específicas	Disciplinas gerais	Disciplinas gerais	Resolução de problemas	Disciplinas específicas
<i>Intervalo</i>					
MAT: 10:15-12:00 VES: 16:15-18:00 NOT: 21:00-22:45	Disciplinas específicas	Disciplinas gerais	<i>Estudos diversificados</i>	Resolução de problemas	Disciplinas específicas

Tabela 6.2. Breve descrição das Disciplinas Gerais do Ciclo Básico da EACH/USP.

Disciplina	Principais tópicos
Primeiro semestre	
Ciências da natureza ⁴² (D1)	<i>Origem, organização e evolução do Universo, da Terra e da vida. Relações mútuas entre ciência, tecnologia e sociedade no século XXI. Desafios ambientais, avanços na biologia molecular e necessidade de bioética.</i>
Tratamento e análise de dados/informação ⁴³ (D2)	<i>Conceitos introdutórios de metodologia estatística e pensamento científico. Múltiplos métodos de coleta de informações sobre dados sociais, culturais e científicos. Várias possibilidades de leitura, interpretação e análise de dados.</i>
Sociedade, multiculturalismo e direitos ⁴⁴ (D3)	<i>Estudo de sociedades modernas e contemporâneas sob as abordagens da antropologia e da sociologia. Análise de sociedades complexas diferenciadas, desiguais, multirraciais e multiétnicas que se formaram na modernidade.</i>
Segundo semestre	
Psicologia, educação e temas contemporâneos ⁴⁵ (D4)	<i>Papel da psicologia no estudo de questões contemporâneas relacionadas ao nosso estilo de vida, tais como a violência, a sexualidade, a saúde, a qualidade de vida e outras questões interferem nas relações humanas presentes nas instituições sociais.</i>
Sociedade, meio ambiente e cidadania ⁴⁶ (D5)	<i>Questões contemporâneas que permeiam a sociedade e suas relações com o meio ambiente e a cidadania.</i>
Arte, cultura e literatura no Brasil ⁴⁷ (D6)	<i>Formação da cultura brasileira a partir do estudo de linguagens estéticas e artísticas e suas interrelações.</i>

⁴² [Clique aqui](#) para acessar a ementa da disciplina ACH0011.

⁴³ [Clique aqui](#) para acessar a ementa da disciplina ACH0021.

⁴⁴ [Clique aqui](#) para acessar a ementa da disciplina ACH0031.

⁴⁵ [Clique aqui](#) para acessar a ementa da disciplina ACH0012.

⁴⁶ [Clique aqui](#) para acessar a ementa da disciplina ACH0022.

⁴⁷ [Clique aqui](#) para acessar a ementa da disciplina ACH0032.

Cinquenta e dois alunos do 1º ano participaram do desenvolvimento dos modelos de conhecimento para caracterizar os vínculos interdisciplinares a partir de suas próprias perspectivas. A estrutura geral criada para esses modelos de conhecimento utilizou um mapa conceitual nível 1 para apresentar uma visão panorâmica sobre o Ciclo Básico, associado a outros seis mapas conceituais que detalham os conteúdos das *Disciplinas gerais* (Figura 6.7).

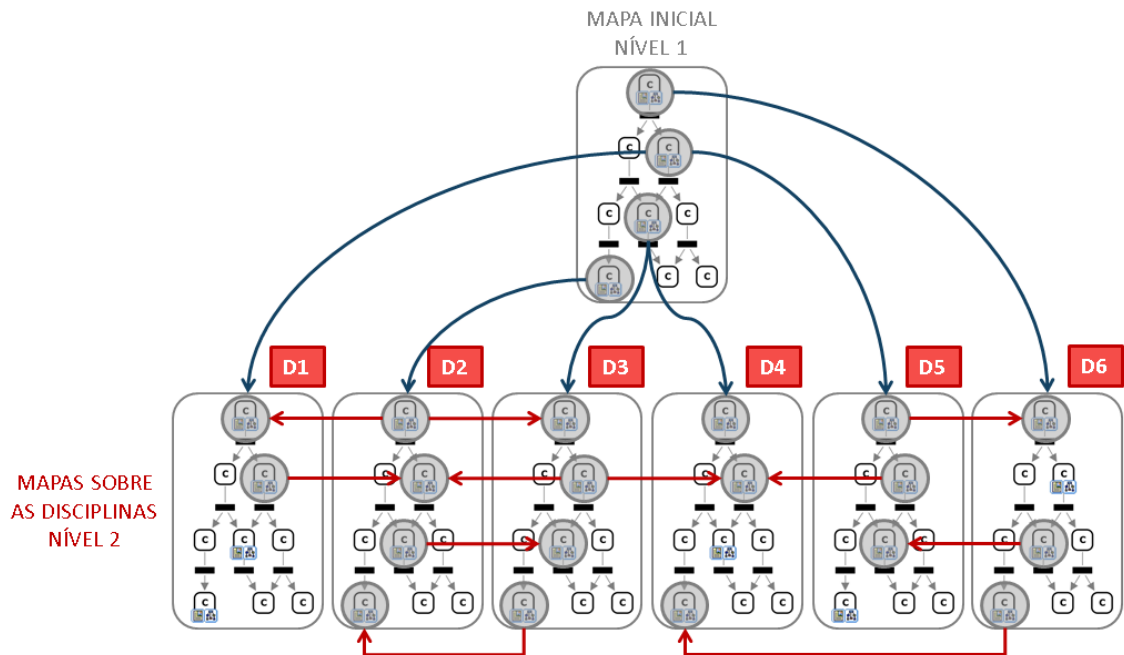


Figura 6.7. Estrutura geral do modelo de conhecimento que representa conexões interdisciplinares entre as seis Disciplinas gerais do Ciclo Básico (D1-D6). Legenda: links horizontais (vermelho) e links verticais (azul).

Cada mapa não pode ter mais de 25 conceitos para não prejudicar a leitura da rede proposicional (não houve restrições relacionadas à quantidade de proposições e *links*). Os *links* entre os mapas conceituais podem ser classificados em vertical e horizontal, considerando o nível dos mapas envolvidos:

- Os *links* verticais envolvem mapas de diferentes níveis (nível 1 e nível 2), revelando a estrutura geral do Ciclo Básico.
- Os *links* horizontais envolvem mapas de um mesmo nível (nível 2), revelando as relações conceituais entre as *Disciplinas gerais*.

As relações interdisciplinares do Ciclo Básico podem se tornar visíveis para os alunos por meio dos *links* horizontais que eles incluíram nos modelos de conhecimento. Essa é uma maneira prática para determinar as relações entre as disciplinas a partir dos conteúdos abordados. Esses subsídios formam um ponto de partida interessante para discussões produtivas sobre currículos interdisciplinares envolvendo alunos e professores.

A Tabela 6.3 descreve o procedimento que foi utilizado para desenvolver os modelos de conhecimento por meio da colaboração entre os alunos. Essa atividade colaborativa se estendeu por sete semanas e incluiu uma a duas horas semanais de trabalhos extraclasse. O programa CmapTools foi utilizado na criação e revisão dos mapas conceituais. As revisões ocorreram durante a aula em discussões com os alunos organizados em pequenos grupos.

Tabela 6.3. Procedimento utilizado para a elaboração dos modelos de conhecimento sobre as Disciplinas Gerais do Ciclo Básico da EACH/USP. As etapas 1, 3 e 5 foram extraclasse.

Etapa	Descrição das tarefas
1. Preparação do mapa individual (nível 1): visão geral	Elaborar um mapa individual para responder à seguinte pergunta focal: “O que é o Ciclo Básico?”. Utilizar até 25 conceitos abrangentes (inclusivos) para expressar a sua visão geral sobre o Ciclo Básico. <ul style="list-style-type: none"> Objetivo: externalização. Recuperação e organização dos modelos mentais idiossincráticos (conhecimentos prévios).
2. Revisão colaborativa entre alunos dos mapas individuais (nível 1)	Elaborar um mapa colaborativo a partir dos mapas individuais (etapa 1) trabalhando em pequenos grupos (4 a 6 alunos). <ul style="list-style-type: none"> Objetivo: discussão e construção de consenso. Jogo de perguntas e respostas (elicitação) durante colaboração horizontal. Construção de consenso orientada por conflito (alta sinergia).
3. Preparação do mapa individual (nível 2): disciplinas gerais do 1º semestre	Elaborar um mapa individual para responder à seguinte pergunta focal: “O que é a disciplina X?”, onde X é D1, D2 ou D3. Cada aluno é responsável por mapear apenas uma disciplina. Utilizar até 25 conceitos específicos para expressar o conteúdo da disciplina. <ul style="list-style-type: none"> Objetivo: externalização, recuperação e organização dos modelos mentais idiossincráticos sobre as disciplinas do 1º semestre.
4. Revisão colaborativa entre alunos dos mapas individuais (nível 2): disciplinas gerais do 1º semestre	Elaborar um mapa colaborativo a partir dos mapas individuais (etapa 3) trabalhando em pequenos grupos (4 a 6 alunos), de acordo com a disciplina mapeada. <ul style="list-style-type: none"> Objetivo: discussão e construção de consenso. Jogo de perguntas e respostas (elicitação) durante colaboração horizontal. Construção de consenso orientada por conflito (alta sinergia).
5. Preparação do mapa individual (nível 2): disciplinas gerais do 2º semestre	Idem a etapa 3, considerando as disciplinas do 2º semestre (D4, D5 e D6).
6. Revisão colaborativa entre alunos dos mapas individuais (nível 2): disciplinas gerais do 2º semestre	Idem a etapa 4, considerando as disciplinas do 2º semestre (D4, D5 e D6).
7. Elaboração colaborativa dos modelos de conhecimento	Organizar um modelo de conhecimento a partir dos mapas colaborativos (etapas 2, 4 e 6). Incluir <i>links</i> entre os mapas, bem como recursos digitais que ampliam o conteúdo representado. <ul style="list-style-type: none"> Objetivo: reducionismo hierárquico e construção de consenso. Organização de uma grande quantidade de informações sobre as disciplinas elaborando um modelo de conhecimento.

Os modelos de conhecimento ($n = 3$) elaborados pelos alunos foram considerados os dados de pesquisa mais relevantes para avaliar como eles integraram as seis *Disciplinas gerais*. As três abordagens a seguir foram consideradas para extrair informações desses modelos de conhecimento:

- Uma descrição quantitativa (média e desvio-padrão) dos principais recursos dos modelos, incluindo conceitos, proposições e *links*.
- Uma descrição quantitativa (matriz de correlação) dos *links* horizontais, que relacionam os mapas nível 2, para verificar como os alunos relacionam os conteúdos das *Disciplinas gerais*.
- Uma descrição qualitativa (nuvem de palavras) dos conceitos e a maneira como eles foram usados para vincular as *Disciplinas gerais*. Uma lista contendo todos os conceitos que apresentavam *links* entre os cursos ($n = 117$) foi o dado de entrada para a criação da nuvem de palavras, criada com o auxílio do Wordle (Viégas, Wattenberg e Feinberg, 2009). As proposições feitas pelos alunos usando esses conceitos foram avaliadas para verificar a forma pela qual as *Disciplinas gerais* foram vinculadas.

6.2.5 Resultados e discussão

A média e o desvio-padrão para conceitos, proposições e *links* permitiram verificar as características estruturais dos modelos de conhecimento. A Tabela 6.4 apresenta os dados considerando o nível do mapa, diferenciando a visão geral sobre o Ciclo Básico (nível 1) e os detalhes específicos das *Disciplinas gerais* (nível 2).

Tabela 6.4. Dados quantitativos (médias e desvios-padrão) para conceitos, proposições e links dos modelos de conhecimento ($n = 3$).

	Mapa nível 1	Mapas nível 2					
		D1	D2	D3	D4	D5	D6
Conceitos	25±5	17±3	16±1	18±2	17±2	16±2	16±1
Proposições	40±6	22±2	21±2	22±3	22±7	22±4	22±5
<i>Links</i>	11±7	21±7	9±5	15±5	20±8	14±8	16±2

Os valores obtidos mostram que os mapas nível 1 apresentam a maior quantidade média de conceitos e proposições. No entanto, a média de *links* nesses mapas é menor do que nos mapas nível 2, exceto para a disciplina D2 (Tratamento e análise de dados/informação). Como os modelos de conhecimento foram desenvolvidos usando o reducionismo hierárquico, os mapas nível 1 são mais genéricos e abrangentes, facilitando a inclusão de conceitos e proposições. Ainda que seu tamanho seja maior do que os mapas nível 2, a quantidade de *links* é comparativamente menor.

Os mapas nível 2 são menos abrangentes porque lidam com os conteúdos das *Disciplinas gerais*. Isso exigiu uma seleção mais criteriosa de conceitos e proposições,

justificando o fato desses mapas serem menores do que os mapas nível 1. Por outro lado, a quantidade de *links* entre eles é comparativamente maior porque há seis mapas nesse nível do modelo que caracterizam o Ciclo Básico com o mesmo nível de profundidade.

A comparação dos mapas nível 2 revela que o número médio de conceitos e proposições de cada disciplina (D1-D6) variou discretamente. Esse padrão pode ser explicado pelas instruções oferecidas para a elaboração desses mapas (Tabela 6.3), que limitava a quantidade máxima de conceitos ($n = 25$). Ainda que a quantidade de proposições não tenha sido limitada, ela é diretamente influenciada pela quantidade de conceitos no mapa (mais conceitos, maior a possibilidade de estabelecer proposições).

Os valores médios para os *links* (recursos digitais) nos mapas nível 2 foram elevados, mostrando que os alunos responderam positivamente frente a chance de ampliar o significado do conteúdo representado no mapa com informações complementares. É interessante notar que os alunos preferiram incluir recursos digitais para detalhar conceitos dos mapas nível 2, mantendo o mapa nível 1 com poucos *links* (Tabela 6.4). A diferença na quantidade de *links* nos mapas nível 2 está relacionada com o conteúdo de cada *Disciplina geral*.

Os *links* horizontais representam todas as conexões que envolvem os conceitos dos mapas nível 2 (Figura 6.7). A partir dessa informação, foi possível verificar como os alunos relacionam o conteúdo das *Disciplinas gerais* usando uma matriz de correlação para cada modelo de conhecimento. A Tabela 6.5 mostra a soma das matrizes de correlação para os três modelos de conhecimento, representando todos os *links* horizontais criados pelos alunos.

Tabela 6.5. Links horizontais envolvendo os mapas nível 2 dos modelos de conhecimento (n = 3).

	D1	D2	D3	D4	D5	D6
D1	-	-	-	-	-	-
D2	9	-	-	-	-	-
D3	21	4	-	-	-	-
D4	3	1	8	-	-	-
D5	7	3	3	22	-	-
D6	2	1	4	19	11	-
Total	42	18	40	53	46	37
Cultura acadêmica ⁴⁸	CIE	CIE	HUM	HUM	HUM	HUM
Semestre letivo	1º	1º	1º	2º	2º	2º

⁴⁸ As Disciplinas gerais foram arbitrariamente vinculadas às duas culturas descritas por Snow (1998), de acordo com a ênfase dos seus conteúdos programáticos: cultura relacionada às ciências (CIE) e cultura relacionada às humanidades (HUM).

A disciplina com o menor número de *links* horizontais foi D2 (Tratamento e análise de dados/informação), revelando que seu conteúdo é diferente dos demais. Seu isolamento pode ser explicado não apenas pela quantidade de recursos digitais (Tabela 6.4), mas também pela pouca vinculação entre os seus conteúdos (Tabela 6.2) e os problemas discutidos pelas outras *Disciplinas gerais*. A Figura 6.8 mostra um dos mapas que os alunos elaboraram sobre a disciplina D2.

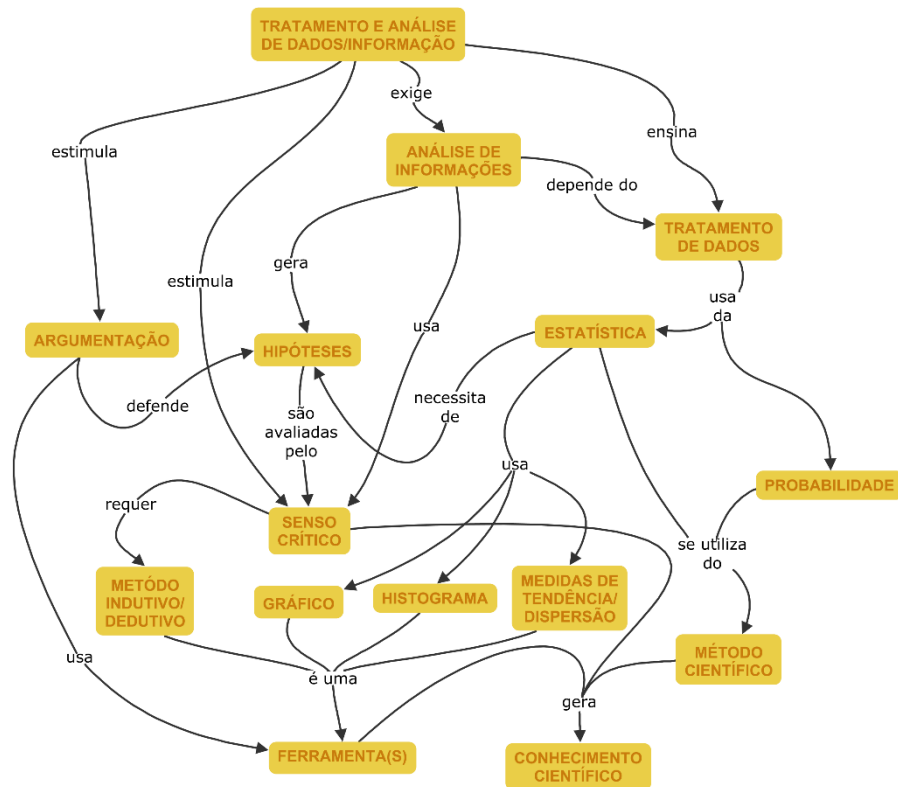


Figura 6.8. Mapa conceitual elaborado colaborativamente pelos alunos para responder à seguinte pergunta focal: “Como é a disciplina Tratamento e análise de dados/informação?”.

Uma quantidade elevada de *links* horizontais foi observada entre D1 (Ciências da natureza) e D3 (Sociedade, multiculturalismo e direitos). Esses *links* representam conexões entre as duas culturas acadêmicas descritas por Snow (1998). Enquanto D1 se relaciona com a cultura científica, D3 está associada às humanidades. Essas relações sinalizam uma busca pela interdisciplinaridade, a partir do entrelaçamento dessas duas culturas. As Figuras 6.9 e 6.10 apresentam mapas que os alunos elaboraram sobre as disciplinas D1 e D3, respectivamente. Elevadas quantidades de *links* horizontais também apareceram entre D4 (Psicologia, educação e temas contemporâneos) e D5 (Sociedade, meio ambiente e cidadania) ou D6 (Arte, cultura e literatura no Brasil).

Nesses dois casos, os acoplamentos ocorrem entre disciplinas que pertencem às humanidades. Apesar do isolamento de D2, ela tem o maior número de *links* horizontais

estabelecido com D1. Ambas pertencem à cultura científica, o que justifica a aproximação percebida pelos alunos.

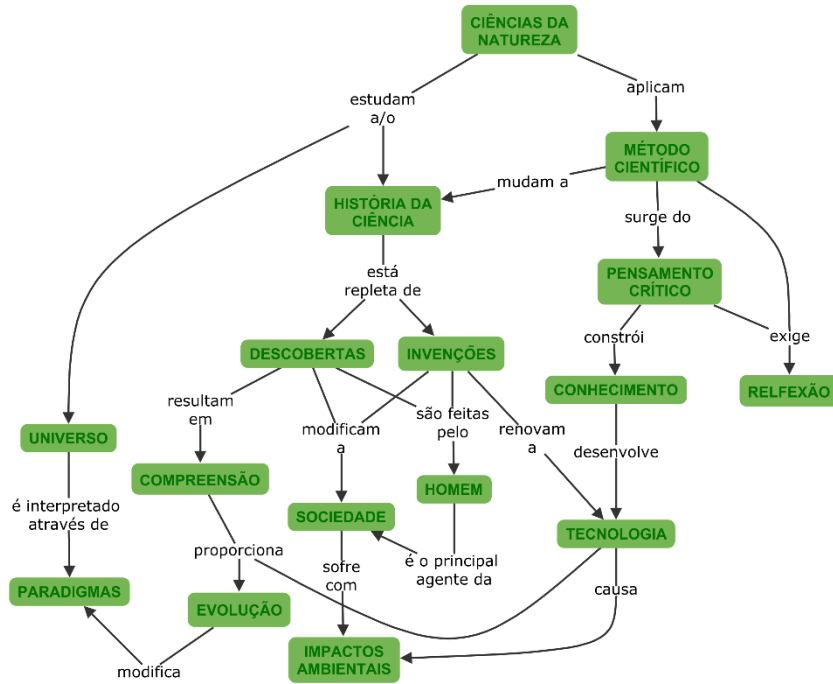


Figura 6.9. Mapa conceitual elaborado colaborativamente pelos alunos para responder à seguinte pergunta focal: “Como é a disciplina Ciências da natureza?”.

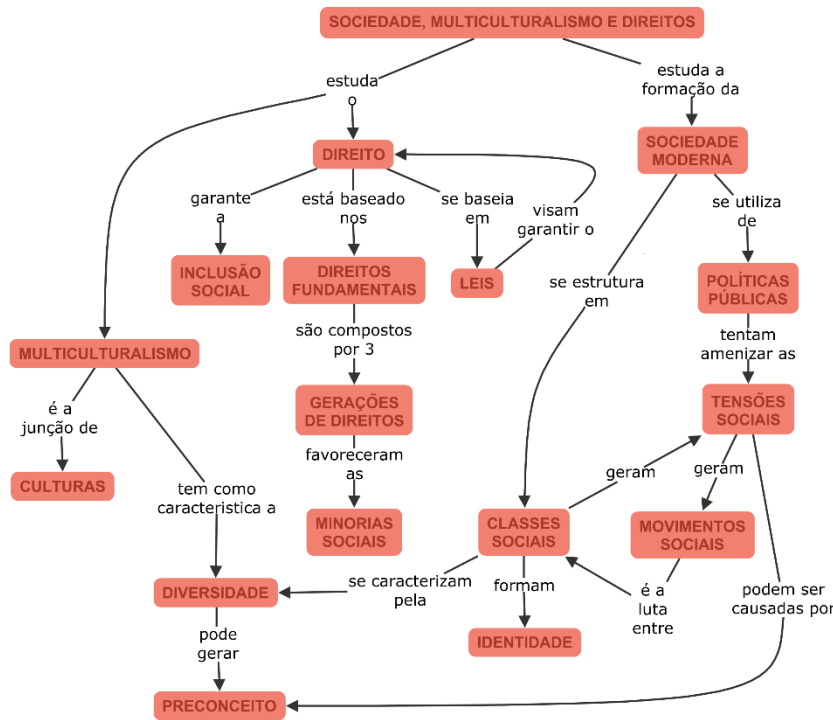


Figura 6.10. Mapa conceitual elaborado colaborativamente pelos alunos para responder à seguinte pergunta focal: “Como é a disciplina Sociedade, multiculturalismo e direitos?”.

O aspecto temporal foi outro fator que interferiu na associação das *Disciplinas gerais*. Os exemplos a seguir ilustram esse fato:

- Ciências da natureza (D1) com Sociedade, multiculturalismo e direitos (D3): 21 *links* horizontais, ambas ministradas no 1º semestre.
- Psicologia, educação e temas contemporâneos (D4) com Sociedade, meio ambiente e cidadania (D5): 22 *links* horizontais, ambas ministradas no 2º semestre.
- Psicologia, educação e temas contemporâneos (D4) com Arte, cultura e literatura no Brasil (D6): 19 *links* horizontais, ambas ministradas no 2º semestre.

Nesses três casos, as *Disciplinas gerais* envolvidas foram ministradas simultaneamente. A quantidade de *links* horizontais para disciplinas ministradas em semestres diferentes é comparativamente menor, mostrando que a simultaneidade das disciplinas é um fator importante para que os alunos percebam conexões disciplinares.

Exemplos:

- Ciências da natureza (D1) com Arte, cultura e literatura no Brasil (D6): 2 *links* horizontais.
- Tratamento e análise de dados/informação (D2) com Psicologia, educação e temas contemporâneos (D4): 1 *link* horizontal.
- Sociedade, multiculturalismo e direitos (D3) com Sociedade, meio ambiente e cidadania (D5): 3 *links* horizontais.

Em síntese, a análise dos *links* horizontais dos modelos de conhecimento revelou três aspectos que precisam ser considerados no desenvolvimento de currículos voltados para a interdisciplinaridade:

- O nível de detalhamento e o enfoque do conteúdo de cada disciplina.
- O alinhamento entre as culturas acadêmicas das disciplinas (científica ou humanística).
- A oferta simultânea das disciplinas.

A frequência de conceitos que participaram dos *links* horizontais foi qualitativamente representada por meio de uma nuvem de palavras (Figura 6.11). O tamanho das letras é proporcional à frequência dos conceitos.



Figura 6.11. Nuvem de palavras⁴⁹ obtida a partir dos conceitos que participam dos *links* entre as Disciplinas Gerais D1-D6 (wordle.net).

⁴⁹ Os conceitos em inglês foram utilizados para gerar a nuvem de palavras porque esse trabalho foi publicado no exterior. Infelizmente, os dados originais (conceitos em português) não foram localizados.

O conceito mais acionado para estabelecer os *links* horizontais foi “*sociedade*” (mais de 26% do total). Essa opção dos alunos revelou que esse conceito é um articulador das *Disciplinas gerais* que compõem o Ciclo Básico, voltado ao estudo das *problemáticas* que afetam a sociedade contemporânea. A partir dessa nuvem de palavras, foi possível verificar os mapas conceituais para avaliar como os alunos utilizaram o conceito “*sociedade*” nas proposições (Tabela 6.6).

Tabela 6.6. Média e desvio padrão de proposições usando “*sociedade*” como conceito nos mapas nível 2.

D1	D2	D3	D4	D5	D6
2,7±0,6	-	5±2	2,3±0,6	4±2	1±2

Sociedade, multiculturalismo e direitos (D3) e Sociedade, meio ambiente e cidadania (D5) apresentaram as médias mais elevadas. Essas *Disciplinas gerais* têm “*sociedade*” em seus nomes, reforçando sua importância como um dos principais tópicos dos seus conteúdos (consulte a Tabela 6.2). Ainda que os mapas dessas disciplinas apresentem um grande número de proposições, é possível perceber com clareza a diferença no enfoque das discussões envolvendo a “*sociedade*”:

- *sociedade* – *é formada pelo* → *multiculturalismo* (D3).
- *sociedade* – *possui uma* → *organização política* (D3).
- *sociedade* – *precisa de* → *cidadania* (D5).
- *sociedade* – *precisa de* → *desenvolvimento sustentável* (D5).

Valores intermediários para proposições usando “*sociedade*” foram encontrados em D1 (Ciências da natureza) e D4 (Psicologia, educação e temas contemporâneos), revelando que esse é um tópico secundário nessas *Disciplinas gerais* (ver Tabela 6.2). Os seguintes exemplos de proposições mostram o contexto no qual a “*sociedade*” é discutida:

- *sociedade* – *exige* → *ética* (D1).
- *tecnologia* – *ajuda a* → *sociedade* (D1).
- *indivíduos* – *compõem a* → *sociedade* (D4).
- *sociedade contemporânea* – *induz ao* → *individualismo* (D4).

A disciplina Arte, cultura e literatura no Brasil (D6) apresentou um baixo valor de proposições usando “*sociedade*”. Nesse caso, as discussões sobre aspectos sociais são percebidos superficialmente, tornando-o um conceito coadjuvante frente aos temas principais da disciplina. Esse resultado foi surpreendente, pois os alunos não explicitaram as relações existentes entre sociedade, arte, cultura e literatura. As proposições a seguir ilustram como os alunos representaram essas relações:

- *sociedade – gera a → indústria cultural (D6).*
- *sociedade – molda a → identidade nacional (D6).*

A ausência de proposições usando “*sociedade*” no caso da disciplina Tratamento e análise de dados/informação (D2) merece um destaque especial. As características peculiares dessa *Disciplina geral* explicam porque os alunos não percebem conexões entre o conteúdo e a sociedade. O isolamento de D2 é confirmado pelo fato do conceito “*sociedade*” ser o elemento integrador do Ciclo Básico. É preciso, portanto, repensar a ênfase e a organização dos conteúdos de D2 para aumentar a sua integração com as demais *Disciplinas gerais*. A primeira aproximação deveria ser com D1 (Ciências da natureza) pelo fato dessas disciplinas se vincularem à cultura científica.

6.2.6 Conclusões a partir dos resultados apresentados

Uma nova arquitetura pedagógica é proposta combinando os mapas conceituais e o reducionismo hierárquico. Essa combinação potencializa a colaboração diagonal horizontalizada para que os alunos elaborem modelos de conhecimento. Os desafios epistemológicos e colaborativos para lidar com grandes quantidades de informação podem ser superados a partir da proposta apresentada. O estudo de caso apresentou a elaboração de três modelos de conhecimento para representar as relações interdisciplinares entre seis *Disciplinas gerais* do Ciclo Básico da EACH/USP. Os resultados mostraram que os alunos conseguiram organizar e processar as informações sobre essas disciplinas evitando a sobrecarga cognitiva. As etapas de desenvolvimento dos modelos de conhecimento ajudaram os alunos a desenvolver as atividades, sem que o professor fornecesse pistas sobre como deveria ser a “*resposta certa*”.

Os aportes teóricos que fundamentaram essa proposta são úteis para expandir as possibilidades de utilização dos mapas conceituais associados ao reducionismo hierárquico, produzindo hipertextos sobre temas que exigem o entendimento de assuntos complexos por meio de um esforço colaborativo. A sociedade contemporânea apresenta esse desafio de forma recorrente, em ambientes que extrapolam a sala de aula. Profissionais que atuam em corporações podem aproveitar esse capítulo para refletir sobre *problematiques* de uma forma mais estruturada e eficiente. As ideias apresentadas podem ser facilmente adaptadas para atender outras áreas de conhecimento e contextos com especificidades diferentes sem comprometer os resultados a serem obtidos.

Capítulo 7 | Materiais de estudo feitos com mapas conceituais⁵⁰

7.1 O professor como mapeador

Habitualmente, os alunos são os elaboradores de mapas conceituais nos ambientes de aprendizagem. Porém, o professor também pode utilizar seus próprios mapas como materiais de estudo, estimulando a aprendizagem significativa daqueles que são iniciantes no tema. Nesse capítulo, apresentarei os resultados de uma pesquisa que procurou aprimorar os mapas como materiais de estudo. A inclusão de cores no mapa conceitual, para agrupar conceitos relacionados, apresentou alta eficiência instrucional. Esse fato pode ser explicado pela redução da desorientação que os mapas conceituais podem causar aos leitores que não dominam o tema representado.

A desorientação está relacionada com o formato do material de estudo e, portanto, ela está relacionada com a carga extrínseca da atividade (Figura 7.1). O uso de cores ajudou os alunos a explorarem o conteúdo do mapa porque reduziu a carga extrínseca e tornou disponíveis recursos generativos para a manipulação e construção de esquemas conceituais. A qualidade do material de estudo contribuiu para que o conteúdo seja potencialmente significativo (isso não acontece quando há sobrecarga cognitiva).

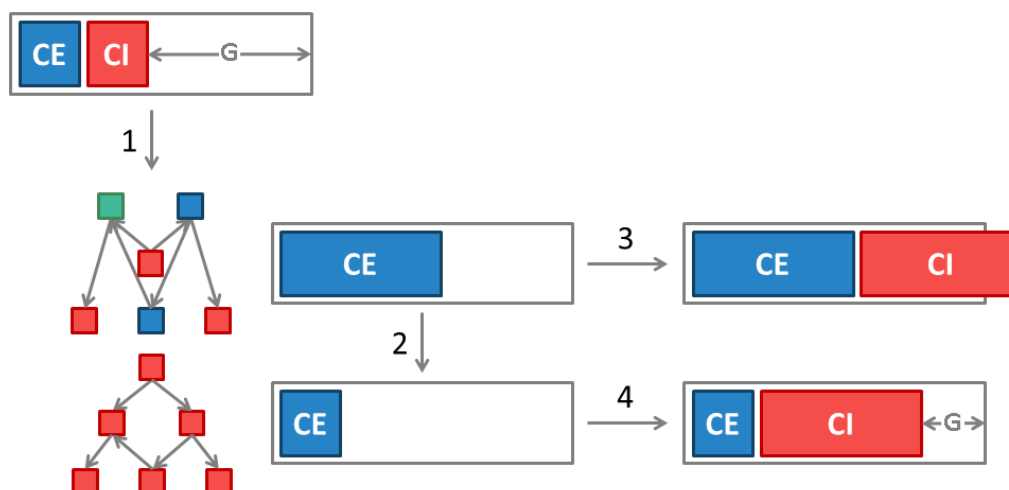


Figura 7.1. O professor como elaborador de mapas tem melhores condições de representar o conteúdo (1) porque as cargas extrínseca e intrínseca são reduzidas. A utilização de cores para agrupar conceitos relacionados potencializa o uso dos mapas como material de estudo. A carga extrínseca do leitor do mapa é reduzida, evitando a sobrecarga (3) e permitindo que os alunos explorem o conteúdo de forma significativa.

⁵⁰ Esse capítulo apresenta parte dos resultados da tese de doutorado intitulada [“Mapas conceituais como material instrucional de Química: estratégias que minimizam a desorientação do aluno e potencializam a aprendizagem de conceitos científicos”](#), defendida pela Professora Joana Aguiar em 2018. Alguns dos resultados da tese foram publicados por Chemistry Education Research and Practice em 2016 no artigo intitulado [“Using concept maps as instructional materials to foster the understanding of the atomic model and matter-energy interaction”](#).

7.2 A utilização de dicas gráficas nos mapas conceituais feitos pelo professor

Dicas gráficas são elementos visuais que introduzem ênfase nas informações contidas no material como um todo ou em parte dele. Baseado nos princípios da TCC e da Teoria da Aprendizagem Multimídia, argumenta-se que o uso de dica gráfica reduz a carga extrínseca (CE) e potencializa a aprendizagem devido a três motivos principais:

1. minimizar o processo de busca desnecessária para relacionar informações imagéticas e verbais (Jeung, Chandler e Sweller, 1997),
2. orientar a atenção para informações importantes para a tarefa (Lin e Atkinson, 2011) e
3. auxiliar na organização (de cima para baixo) e integração dos conteúdos presentes no material (Underwood e Foulsham, 2006).

Em revisão recente da literatura, Beege et al. (2017) reportaram um efeito positivo da dica gráfica ou sinalização do material (do inglês, *cueing effect* ou *signaling effect*) quando comparados aos materiais sem o uso desses elementos visuais. Dentro desse contexto, alguns estudos (Folker, Ritter, e Sichelschmidt, 2005) reportam um efeito positivo do uso de cores como dica gráfica (do inglês, *color-coding effect*). Por exemplo, em Ozcelik et al. (2009), as cores são usadas para orientar e direcionar a atenção dos alunos, facilitando a integração do conteúdo (texto e imagem) em um todo coerente. Como consequência, os alunos que estudaram com o material colorido tiveram melhores desempenhos nos testes de retenção e transferência em comparação aos alunos que estudaram o material em preto e branco. Ainda que seja uma prática comum na área da ciência instrucional, o uso de dicas gráficas associadas aos mapas conceituais ainda é pouco explorado na literatura.

O objetivo desse capítulo é avaliar o efeito da adição de dicas gráficas ao mapa conceitual nos resultados de aprendizagem e esforço mental durante a tarefa de compreensão do conteúdo químico (*i.e.*, causa das cores nos fogos de artifício). Duas dicas gráficas serão avaliadas: a atribuição da mesma cor aos conceitos para agrupar visualmente áreas de conhecimento similar e números nas proposições como forma de oferecer uma sequência de leitura.

7.2.1 Procedimentos de coleta de dados

A coleta de dados ocorreu no 1º semestre de 2014 e contou com a participação de 85 alunos ingressantes na EACH/USP matriculados na disciplina Ciências da Natureza (CN). O delineamento quase-experimental resultou em quatro condições diferentes (Figura 7.2), em que os alunos tiveram acesso a um mapa sem nenhum tipo de dica gráfica

(sem cor e sem número, SCSN), com um tipo de dica gráfica (sem cor e com número, SCCN) ou com cor e sem número, CCSN) ou com as duas dicas gráficas (com cor e com número, CCCN).

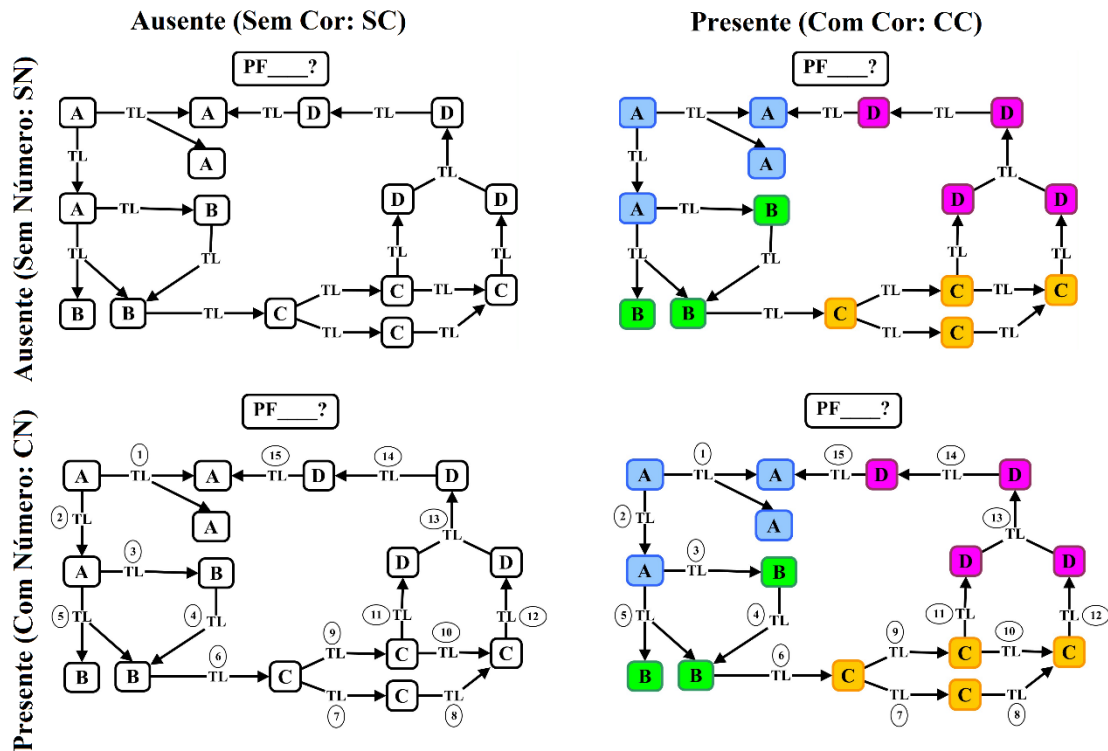


Figura 7.2. Planejamento quase-experimental resultando em quatro possíveis mapas conceituais a serem usados como material de estudo, com ou sem cor nos conceitos (horizontal) e com ou sem número nas proposições (vertical).

A coleta de dados foi realizada conforme procedimento esquematizado na Figura 7.3. O tempo total de coleta foi de aproximadamente 60 minutos e ocorreu em sala de aula.

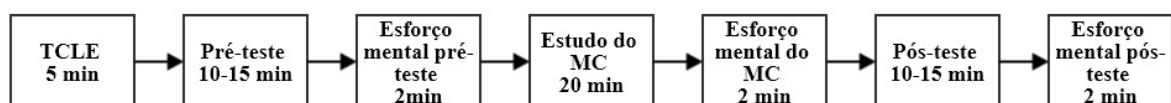


Figura 7.3. Procedimento de coleta de dados com os tempos despendidos em cada etapa.

- TCLE: 5 minutos para explicar o objetivo, a metodologia e os riscos da pesquisa. Os alunos leram e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE).
- Pré-teste: 10 a 15 minutos para que os alunos julgassem 30 afirmações em escala Likert 4-níveis (1 = discordo totalmente a 4 = concordo totalmente) e uma pergunta dissertativa. Ao final do pré-teste os alunos deveriam declarar o esforço mental para responder ao questionário usando escala Likert 7-níveis (1 = muito, muito baixo a 7 = muito, muito alto).
- Estudo do mapa conceitual: cada grupo experimental recebeu uma folha contendo instruções prévias e, no verso, o mapa conforme características apresentadas na Figura 7.2. Os alunos tiveram até 20 minutos para estudar o conteúdo do mapa.

- Pós-teste: 10 a 15 minutos para que os alunos julgassem 30 afirmações em escala Likert 4-níveis e respondessem a uma pergunta dissertativa. Ao final do pós-teste, os alunos deveriam declarar o esforço mental para compreender o conteúdo do mapa e responder ao questionário usando a escala Likert 7-níveis.

A Tabela 7.1 apresenta as 30 afirmações do questionário a ser aplicado como pré-teste. Uma pergunta dissertativa foi incluída como forma de complementar a avaliação do conhecimento conceitual do aluno sobre o tema. A pergunta definida foi *“Explique em poucas palavras – Qual é a diferença entre fogos de artifício de cor laranja e verde?”*. Algumas assertivas do pré-teste foram selecionadas, levemente modificadas e embaralhadas para compor o pós-teste (Tabela 7.2), contendo 30 afirmações a serem julgadas na escala Likert de 4-níveis (discordo totalmente a concordo totalmente) finalizado com a mesma pergunta dissertativa do pré-teste.

Utilizando o mesmo conteúdo científico do pré-teste e do pós-teste, um mapa conceitual foi elaborado como material instrucional. Ele apresenta estrutura cíclica contendo 30 conceitos e 35 proposições, que responde à pergunta focal *“Por que os fogos de artifício têm cores?”*. Essa estrutura remete a um processo sistêmico (Safayeni, Derbentseva e Cañas, 2005) que explica um fenômeno macroscópico (cor dos fogos de artifício) a partir dos modelos atômicos, da luminescência e incandescência. A produção dos mapas coloridos contemplou a adição da mesma cor às caixinhas de acordo com a proximidade visual de conceitos pertencentes à mesma área de conhecimento⁵¹:

- Os componentes dos fogos de artifício e o processo de queima (conceitos em azul).
- O modelo para estrutura atômica descrita por Rutherford-Böhr (conceitos em verde).
- A organização da eletrosfera em níveis e subníveis de energia além da possibilidade e absorção de energia quantizada (conceitos em amarelo).
- O espectro eletromagnético e os fenômenos de luminescência e incandescência que resultam em fogos de artifício com diferentes cores (conceitos em rosa).

⁵¹ O uso de cores para destacar a proximidade visual de conceitos foi pautado na Teoria Gestalt (Wertheimer, 1938, 1958). Essa teoria estuda os mecanismos da percepção visual e o uso de estímulos sensoriais (*e.g.*, similaridade, proximidade, cores) para auxiliar na seleção de elementos importantes. Essa teoria é amplamente aplicada no design, arquitetura, psicologia e educação. A numeração nas proposições obedeceu ao efeito do simples-ao-complexo descrito pela TCC (Sweller, Ayres e Kalyuga, 2011) para gestão da carga intrínseca (*i.e.*, partição da complexidade inerente ao conteúdo apresentado).

Tabela 7.1. Questionário aplicado como pré-teste. As afirmações grifadas em amarelo estão incorretas do ponto de vista científico.

Nome:	Idade:	Curso:			
INSTRUÇÕES					
Julgue as afirmações apresentadas a seguir de acordo com os seus conhecimentos atuais. Expresse sua opinião da forma mais sincera possível utilizando a seguinte escala: (0) Não sei. Não quero responder. (1) Discordo totalmente. (2) Discordo parcialmente. (3) Concordo parcialmente. (4) Concordo totalmente.					
AFIRMAÇÃO	0	1	2	3	4
1. Fogos de artifício apresentam cor devido à presença de corantes em sua composição					
2. A eletrosfera de um átomo é dividida em níveis de energia					
3. A incandescência ocorre quando o elemento químico é aquecido e emite luz no infravermelho					
4. A luminescência ocorre quando um elétron libera energia na forma de luz					
5. A quantidade de prótons de um átomo caracteriza o seu respectivo elemento químico					
6. Os prótons e os nêutrons são partículas subatômicas					
7. Os elementos químicos presentes nos Fogos de artifício são responsáveis por suas cores					
8. Cada substância apresentará uma cor específica quando submetido à chama					
9. Cada elemento químico possui a sua configuração eletrônica					
10. Cada nível de energia pode ser dividido em subníveis de energia					
11. De acordo com o modelo de Rutherford-Böhr, o átomo tem uma parte central chamada núcleo					
12. Os Fogos de artifício só apresentam cores quando queimados					
13. Os prótons e nêutrons são partículas subatômicas periféricas e os elétrons são nucleares					
14. Elétrons, quando retornam ao seu estado fundamental, liberam energia na forma de luz					
15. O modelo de Rutherford-Böhr diz que o átomo tem uma parte periférica chamada eletrosfera					
16. A absorção de energia quantizada leva o elétron a um estado fundamental de energia					
17. Um elemento químico é constituído por um conjunto de átomos com mesmo número atômico					
18. Elétrons podem absorver energia quantizada					
19. Fogos de artifício apresentam cor devido ao fenômeno da luminescência					
20. Não é possível prever a ordem energética de distribuição dos elétrons na eletrosfera					
21. A radiação eletromagnética na região do visível pode ser vista na forma de cores					
22. Fogos de artifício apresentam cor devido ao fenômeno da incandescência					
23. Fogos de artifício apresentam cor devido a uma ilusão de óptica					
24. Os Fogos de artifício apresentam em sua composição substâncias químicas explosivas					
25. Fogos de artifício apresentam cor, pois, a pólvora utilizada na sua composição é colorida					
26. Os níveis e subníveis de energia da eletrosfera possuem energia quantizada					
27. A emissão de luz na região do ultravioleta não pode ser vista na forma de cores					
28. Substâncias químicas são formadas por apenas um elemento químico					
29. Os elétrons são partículas com carga negativa e massa desprezível					
30. A Química não é capaz de explicar totalmente a causa das cores nos Fogos de artifício					
Sendo 1 = muito, muito baixo e 7 = muito, muito alto: Qual foi o seu esforço mental para responder a esse questionário? (por favor, escolha um número inteiro entre 1 e 7)					
Explique, em poucas palavras: Qual é a diferença entre Fogos de artifício de cor laranja e verde?					

Tabela 7.2. Questionário aplicado como pós-teste. As afirmações grifadas em amarelo estão incorretas do ponto de vista científico.

Nome:					
INSTRUÇÕES - PÓS TESTE					
Julgue as afirmações apresentadas a seguir de acordo com os seus conhecimentos atuais. Expresse sua opinião da forma mais sincera possível utilizando a seguinte escala: (0) Não sei. Não quero responder. (1) Discordo totalmente. (2) Discordo parcialmente. (3) Concordo parcialmente. (4) Concordo totalmente.					
AFIRMAÇÃO	0	1	2	3	4
1. A absorção de energia quantizada leva o elétron a um estado excitado de energia					
2. A eletrosfera de um átomo é dividida em níveis de energia					
3. A emissão de luz na região do ultravioleta não pode ser vista na forma de cores					
4. Fogos de artifício apresentam cor, pois a pólvora utilizada na sua composição é colorida					
5. Quando um elétron libera energia na forma de luz dizemos que ocorreu a luminescência					
6. A Química é capaz de explicar totalmente a causa das cores nos Fogos de artifício					
7. Substâncias formadas pelo mesmo elemento químico apresentará a mesma cor quando submetido à chama					
8. Os prótons e nêutrons são partículas presentes no núcleo e os elétrons na eletrosfera					
9. Cada nível de energia pode ser dividido em subníveis de energia					
10. De acordo com o modelo de Rutherford-Böhr, o átomo tem uma parte central chamada próton					
11. A incandescência ocorre quando uma substância é aquecida e emite luz no infravermelho					
12. As substâncias não explosivas recebem o calor gerado na queima dos Fogos de artifício					
13. A quantidade de prótons de um átomo caracteriza o seu respectivo elemento químico					
14. Os níveis de energia são organizados segundo uma ordem energética					
15. Substâncias químicas são formadas por apenas um elemento químico					
16. Fogos de artifício apresentam cor devido ao fenômeno da luminescência					
17. Elétrons podem absorver energia quantizada					
18. A distribuição dos elétrons na eletrosfera obedece à uma ordem energética específica					
19. A radiação eletromagnética na região do visível não pode ser vista na forma de cores					
20. O modelo de Rutherford-Böhr diz que o átomo tem uma parte periférica chamada núcleo					
21. Os elementos químicos presentes nos Fogos de artifício são responsáveis por suas cores					
22. Os elétrons são partículas com carga positiva e massa desprezível					
23. Os Fogos de artifício apresentam em sua composição substâncias químicas explosivas					
24. Os Fogos de artifício só apresentam cores quando queimados					
25. Os níveis e subníveis de energia da eletrosfera possuem energia quantizada					
26. O número atômico corresponde ao número de prótons de um átomo					
27. As partículas subatômicas são os prótons, nêutrons e elétrons					
28. Fogos de artifício apresentam cor devido ao fenômeno da incandescência					
29. Um elemento químico é constituído por um conjunto de átomos com mesmo número atômico					
Sendo 1 = muito, muito baixo e 7 = muito, muito alto, responda: Qual foi o seu esforço mental para compreender o conteúdo presente no mapa conceitual?					
Usando a mesma escala anterior, responda: Qual foi o seu esforço mental para responder a esse questionário?					
Explique, em poucas palavras: Qual é a diferença entre Fogos de artifício de cor laranja e verde?					

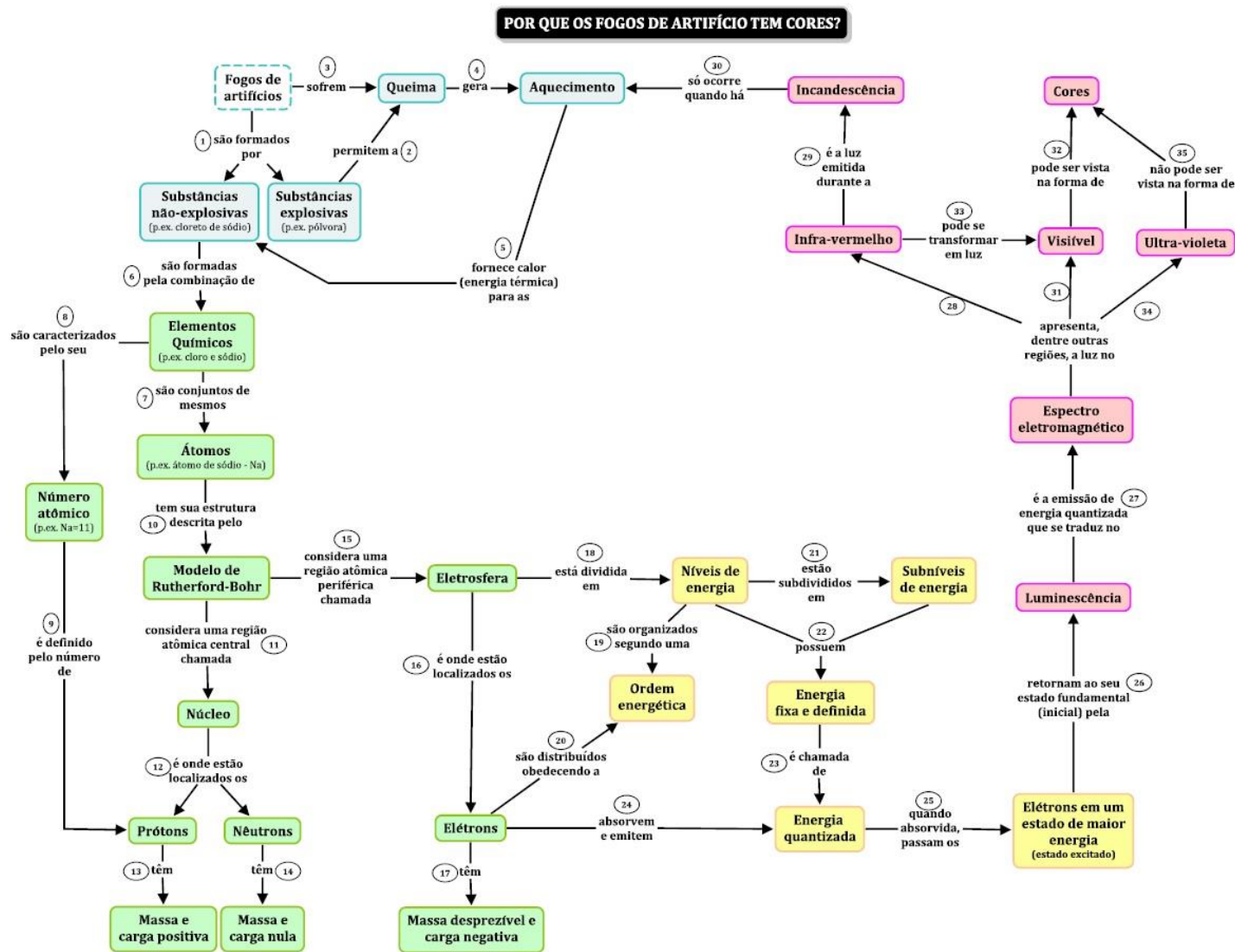


Figura 7.4. Mapa conceitual com cor e com número utilizado como material instrucional na condição experimental CCCN.

Nos mapas com numeração nas proposições, a sequência de leitura obedeceu a uma ordem que vai dos conceitos mais simples, gerais e que remetem ao nível macroscópico (queima), aos conceitos mais complexos, específicos e que remetem ao nível submicroscópico (espectro eletromagnético). Os mapas em preto e branco foram produzidos removendo a cor interna das caixinhas dos conceitos. O mapa com cor e com numeração das proposições, utilizado como material instrucional na condição experimental CCCN, é apresentado na Figura 7.4.

Desenvolvida, validada e aplicada por Paas (1992) e Paas, van Merriënboer e Adam (1994), a escala psicométrica convida os alunos a declararem o esforço mental subjetivo envolvido em determinada tarefa. Essa escala de classificação baseia-se na ideia de que o aluno pode efetivamente se autoavaliar e reportar quão persistentemente ele teve que “trabalhar” para atingir o seu nível de desempenho na tarefa. Algumas pesquisas mostram (e.g., Gopher e Braune, 1984; Paas e van Merriënboer, 1993; Tindall-Ford, Chadler, e Sweller, 1997) que os alunos podem facilmente atribuir valores numéricos ao seu esforço mental imposto durante a tarefa e que essa medida subjetiva se correlaciona com medidas objetivas de carga mental (através de medidas fisiológicas, tais como batimento cardíaco, quantidade de suor na palma da mão, dilatação das pupilas e rastreamento do olhar).

Nessa pesquisa, as medidas de esforço mental foram coletadas logo após a tarefa utilizando três perguntas:

1. Qual foi o seu esforço mental para responder a esse questionário [pré-teste]?
2. Qual foi o seu esforço mental para compreender o conteúdo presente no MC?
3. Qual foi o seu esforço mental para responder a esse questionário [pós-teste]?

Os alunos utilizaram uma escala de Likert 7-níveis projetada para traduzir o valor numérico ao esforço mental em cada uma das tarefas, sendo 1 = muito, muito baixo; 2 = muito baixo; 3 = baixo; 4 = nem baixo, nem alto; 5 = alto; 6 = muito alto; 7 = muito, muito alto.

7.2.2 Procedimentos de análise de dados

O conjunto de declarações do pré-teste e do pós-teste avaliou o conhecimento factual dos alunos. Para atribuição da nota, foi verificada a qualidade do julgamento dado pelo aluno. Por exemplo, a afirmação “Fogos de artifício apresentam cor devido à presença de corantes em sua composição” está incorreta. Se o aluno marcasse “discordo” (plenamente ou parcialmente) dessa afirmação, ele receberia pontos positivos por isso. Se ele marcou “discordo plenamente” ele recebeu +2 pontos e se ele marcou “discordo parcialmente” ele recebeu +1 ponto. Nesse caso, o aluno teria algum tipo de incerteza em

seu conhecimento factual que o impediu de declarar com confiança a incorreção nessa assertiva. Essa dúvida faz com que ele deixe de ganhar a pontuação máxima atribuída a essa afirmação.

De modo análogo, se na afirmação correta, "*Elétrons podem absorver energia quantizada*", o aluno assinalou "*discordo*" (parcialmente ou totalmente) ele foi penalizado por esse julgamento, sendo atribuído um valor negativo a essa afirmação. Se ele assinalou "*discordo totalmente*" ele foi penalizado em -2 pontos, enquanto para o "*discordo parcialmente*" o valor foi de -1 ponto. A alternativa "*não sei ou não quero responder*" não foi contabilizada para a nota total do questionário (*i.e.*, foi atribuído um valor zero). A soma dos valores de todos os julgamentos feitos pelo aluno gerou a sua nota no pré e pós-teste, variando na escala original de -15 a +15, transformados em uma escala de nota de 0 a 10.

A pergunta dissertativa "*Qual é a diferença entre os fogos de artifício de cor laranja e verde?*" avaliou o conhecimento conceitual dos alunos. Responder a esta pergunta corretamente exigiu uma combinação de informações apresentadas em todas as quatro áreas do conhecimento presentes no mapa conceitual (Figura 7.4).

As respostas dos alunos foram classificadas em categorias e subcategorias (Tabela 7.3), revelando um nível progressivo de compreensão sobre o fenômeno dos fogos de artifício, desde as respostas em branco, os erros conceituais, passando pelas respostas mais ingênuas (por causa da composição dos fogos) até as respostas mais complexas e elaboradas (por conta da emissão de luz correspondente às radiações no espectro visível). Segundo Wang e Barrow (2013), quando os alunos migram de um alto nível de conhecimento no tema para um baixo nível de conhecimento, a qualidade do poder explicativo fornecido em suas respostas entra em declínio. Por isso, espera-se que o sistema de categorização adotado para classificação das respostas seja capaz de revelar o nível de entendimento conceitual dos alunos sobre o tema em questão.

O ganho de conhecimento factual também foi determinado para cada grupo experimental dado pela diferença entre a nota no pós-teste e pré-teste. A média e o desvio-padrão do esforço mental percebido pelos alunos em cada tarefa também foram calculados e comparados entre os grupos.

Tabela 7.3. Categorias e subcategorias definidas e exemplificadas para análise das respostas dos alunos à questão dissertativa do pré-teste e do pós-teste.

Categoria	Subcategoria	Código	O aluno declara que a causa das cores nos fogos de artifício se deve:	Exemplo
Ausente	Em branco	EB	Resposta em branco.	-
	Não sei	NS	Não sabe a resposta.	<i>“Não tenho a mínima ideia”</i>
Erros Conceituais		EC	A algum fenômeno que não condiz com o conhecimento científico ou referente a uma declaração confusa.	<i>“Fogos de artifício é o mesmo que combustão de átomos químicos”</i>
Composição Química	Composição	CQ	À composição química ou a substância presente nos fogos.	<i>“A substância química que os compõe”</i>
	Elemento químico	EQ	Ao elemento químico presente nos fogos ou em sua composição.	<i>“A diferença está no uso de diferentes tipos de elementos químicos”</i>
Transição eletrônica	Nível de energia	NE	Aos níveis/subníveis de energia ou a diferença entre eles quando absorvem calor.	<i>“Os níveis de energia em que cada elétron estão antes e depois da queima”</i>
	Absorção/emissão de luz	EL	À absorção de energia e/ou emissão de luz, energia ou cor. Pode ou não haver menção sobre elétrons e energia quantizada.	<i>“Depende da energia quantizada liberada”</i>
	Espectro eletromagnético	EE	A algum fenômeno que envolva excitação eletrônica, luz emitida e sua correspondência ao espectro eletromagnético, podendo ou não mencionar o visível. Ao fenômeno da luminescência e/ou incandescência.	<i>“A energia emitida sob a forma de luz visível é diferente, assim a frequência e o comprimento de onda no espectro luminoso correspondem a uma cor diferente”</i>

Uma análise adicional foi conduzida combinando a média do desempenho (D) dos alunos considerando o ganho de conhecimento factual e a média do esforço mental (EM) para compreender o conteúdo do mapa, ambos transformados na escala normalizada Z⁵².

⁵² Para obter os valores de desempenho e esforço mental em escala Z (ou Z-score), procede-se a normalização dos dados, ou seja, cada valor da amostra é subtraído da média da população e dividido pelo desvio-padrão da população. Com isso é obtido um valor normalizado em função do comportamento da população, variando de -1 a +1.

Paas e van Mirrenböer (1993) definem essa abordagem como Eficiência da Instrução (E), sendo calculada conforme a equação a seguir:

$$E = \frac{D - EM_{MC}}{\sqrt{2}}$$

Esta abordagem assume uma hipotética condição de base em que cada unidade de esforço mental investido (EM) resulta em uma unidade de desempenho (D). Como pode ser observado a partir da fórmula, o valor de E pode ser positivo ou negativo dependendo da combinação entre D e EM. Se o desempenho for maior do que o esperado, com base nas medidas de esforço mental (*i.e.*, $D > EM$), o valor de E será positivo, o que significa que a condição de instrução avaliada tem uma eficiência relativamente alta. Por outro lado, se o esforço mental investido na tarefa for inferior ao esperado, considerando as medidas de desempenho (*i.e.*, $D < EM$), o valor de E será negativo, o que significa que a condição de instrução tem uma eficiência relativamente baixa. Os valores de E podem ser visualmente espalhados em torno de uma diagonal quadrada (*i.e.*, $\sqrt{2}$), levando em consideração as médias dos valores de D e EM como pontos cartesianos (x e y) em um gráfico.

A análise dos resultados combinou uma abordagem quantitativa (estatística) e qualitativa (categorização). Primeiramente, as médias e desvios-padrão foram obtidos para cada grupo experimental. Em seguida, conduziu-se a ANOVA de fator único com repetição de fator, seguida de testes-t independentes, com auxílio do programa SPSS 22.0 (IBM, EUA) e nível de significância 0,05. Foi analisado o impacto da adição de dicas gráficas no desempenho dos alunos no pós-teste (conhecimento factual), no ganho de conhecimento factual, nas medidas de esforço mental e de eficiência da instrução.

Em seguida, uma análise qualitativa foi realizada a partir da classificação às respostas dos alunos à pergunta dissertativa (conhecimento conceitual), tendo sido analisados:

- os principais erros e dificuldades conceituais dos alunos identificados no pré-teste (conhecimento prévio), e
- se o nível de compreensão sobre o fenômeno dos fogos de artifício diminuiu, se manteve ou aumentou após o período de estudo com os diferentes tipos de mapas.

As respostas de alguns alunos (identificados pela letra A e seu número sequencial dado pela ordem alfabética) são fornecidas para exemplificar os padrões encontrados, mantendo-se o anonimato dos participantes conforme orientações éticas para pesquisas com seres humanos.

7.2.3 Eficiência da instrução com mapas conceituais e o conhecimento factual

As medidas de desempenho e esforço mental para cada condição experimental estão reunidas na Tabela 7.4. O teste ANOVA de fator único mostrou que não houve diferença significativa quando se compara as condições experimentais tanto no desempenho dos alunos no pré-teste $F(3,77) = 1,06, p = 0,36$ como no pós-teste $F(3,77) = 0,38, p = 0,76$. Em relação ao ganho de conhecimento, a ANOVA mostra uma diferença marginal entre os grupos $F(3,77) = 2,78, p = 0,08$.

Tabela 7.4. Médias (desvio-padrão) do desempenho e esforço mental em cada condição experimental. A eficiência da instrução é calculada a partir da combinação do ganho de conhecimento e esforço mental em escala normalizada.

	Sem cor (SC)		Com cor (CC)	
	Sem número (SN)	Com número (CN)	Sem número (SN)	Com número (CN)
Participantes	21	20	22	22
Conhecimento factual				
Pré-teste	7,13 (1,24)	6,45 (1,30)	6,75 (1,28)	6,84 (1,33)
Pós-teste	8,65 (0,26)	8,59 (1,02)	8,87 (0,74)	8,64 (1,08)
Ganho de conhecimento	1,52 (0,98)	2,14 (1,06)	2,13 (1,08)	1,62 (1,36)
Esforço Mental				
Pré-teste	4,00 (1,34)	4,15 (0,67)	4,25 (0,97)	4,41 (0,96)
Pós-teste	3,20 (1,44)	3,75 (1,16)	3,33 (1,39)	3,67 (1,20)
Mapa conceitual	3,62 (1,63)	3,85 (1,49)	3,38 (1,32)	3,84 (1,34)
Eficiência da Instrução				
Desempenho	- 0,26	- 0,48	+ 0,72	- 0,02
Esforço Mental	+ 0,24	- 0,25	- 0,13	+ 0,19
Eficiência	- 0,35	- 0,16	+ 0,60	- 0,12

Também não houve diferença estatística significativa entre as condições experimentais no que diz respeito ao esforço mental percebido pelos alunos, tanto para responder ao questionário do pré-teste $F(3,77) = 0,61, p = 0,61$, como do pós-teste $F(3,77) = 0,83, ns$ ou mesmo para compreender o conteúdo do mapa conceitual, $F(3,77) = 0,48, ns$. Entretanto, ao realizar o teste-t pareado para comparação de médias entre variáveis dentro do mesmo grupo experimental, o esforço mental declarado para responder ao pré-teste foi significativamente maior do que para compreender o conteúdo do mapa $F(3,77) = 3,31, p < 0,001$ e para responder ao pós-teste $F(3,77) = 3,99, p < 0,001$. Isso mostra que a etapa de externalização dos conhecimentos prévios, solicitados na tarefa de pré-teste,

demanda um esforço cognitivo maior do que ler todo o conteúdo semântico organizado espacialmente (mapa) ou mesmo recuperar as informações após um curto prazo de tempo (pós-teste).

Para avaliar o efeito da adição de dicas gráficas ao mapa conceitual, foram realizados sucessivos testes-t independentes para comparar a média e os desvios-padrão entre os pares de condições experimentais considerando apenas o ganho de conhecimento factual. Quando se compara o mapa em preto e branco (SCSN) com aquele colorido (CCSN) percebe-se que os alunos apresentam melhor desempenho quando se adiciona ao mapa a dica gráfica “cor” $t(41) = 1,95, p < 0,05$. De modo análogo, quando comparado o mapa sem numeração (SCSN) àquele com a sugestão de sequência de leitura pela numeração (SCCN) é possível inferir que os alunos apresentam melhor desempenho quando se adiciona a dica gráfica “número” $t(39) = 1,94, p < 0,05$.

Por outro lado, quando as dicas gráficas “cor” e “número” são adicionadas simultaneamente ao material instrucional, o desempenho dos alunos fica prejudicado. Ao comparar as duas condições com mapas organizados por cor (CCSN x CCCN), os alunos apresentam maior ganho de conhecimento quando só há uma dica gráfica $t(42) = 1,39, p < 0,10$. Da mesma forma, ao comparar as duas condições dos mapas com número nas proposições (SCCN x CCCN) novamente os alunos têm melhor desempenho quando o mapa só apresenta uma dica gráfica, $t(40) = 1,37, p < 0,10$.

Com base em todos os dados apresentados, pode-se afirmar que, em termos de ganho de conhecimento, os piores cenários são aqueles em que se submete o aluno a estudar com um mapa sem qualquer dica gráfica (SCSN) ou com as duas dicas gráficas simultaneamente (CCCN), sendo essas condições igualmente ruins, $t(41) = 0,273, ns$. Enquanto isso, os melhores cenários são aqueles em que se oferece ao aluno um agrupamento espacial de conceitos similares utilizando cor (CCSN), ou uma sugestão de leitura numerando as proposições (SCCN), sendo esses estatisticamente iguais $t(40) = 0,02, ns$.

A análise da eficiência da instrução (E), visualizada no gráfico da Figura 7.5, nos permite incluir a segunda variável, esforço mental, à análise de desempenho dos alunos, interpretados segundo uma curva normal reduzida (curva Z), isto é, média 0 e desvio-padrão + 1.

Conforme discutido anteriormente, as condições de instrução CCSN e SCCN são igualmente boas. Entretanto, quando calculamos os valores de E, percebemos que a condição CCSN é a única que apresenta alta eficiência ($E > 0$, no caso $E = + 0,60$), ou seja,

os alunos apresentam $D \gg EM$ declarado. Já na condição SCCN os alunos também declaram um baixo EM, porém, não há ganho de conhecimento, ou seja, $EM > D$. Como consequência, a instrução apresenta baixa eficiência ($E < 0$, no caso, $E = -0,16$).

De modo similar, havia sido discutido que as condições SCSN (nenhuma dica gráfica) e CCCN (duas dicas gráficas) eram situações igualmente ruins. Ao incluir o esforço mental nessa análise, fica claro que submeter o aluno a um estudo com mapa sem nenhum tipo de dica gráfica é de fato a pior situação dentre àquelas em estudo. A mais baixa eficiência de instrução ($E = -0,35$) é verificada quando o aluno além de perceber um alto EM na tarefa ainda apresentará um baixo D, ou seja, $EM \gg D$. Já na condição CCCN, o esforço mental é ligeiramente menor e o aluno tem seu desempenho ao redor da média da população, ou seja, $EM > D$, pois $D \approx 0$. Durante a navegação do mapa sem qualquer dica aumenta a probabilidade de o aluno sofrer desorientação, levando ao problema de construção de um “caminho” pelas proposições simultaneamente à representação mental desse conteúdo (Cress e Knabel, 2003).

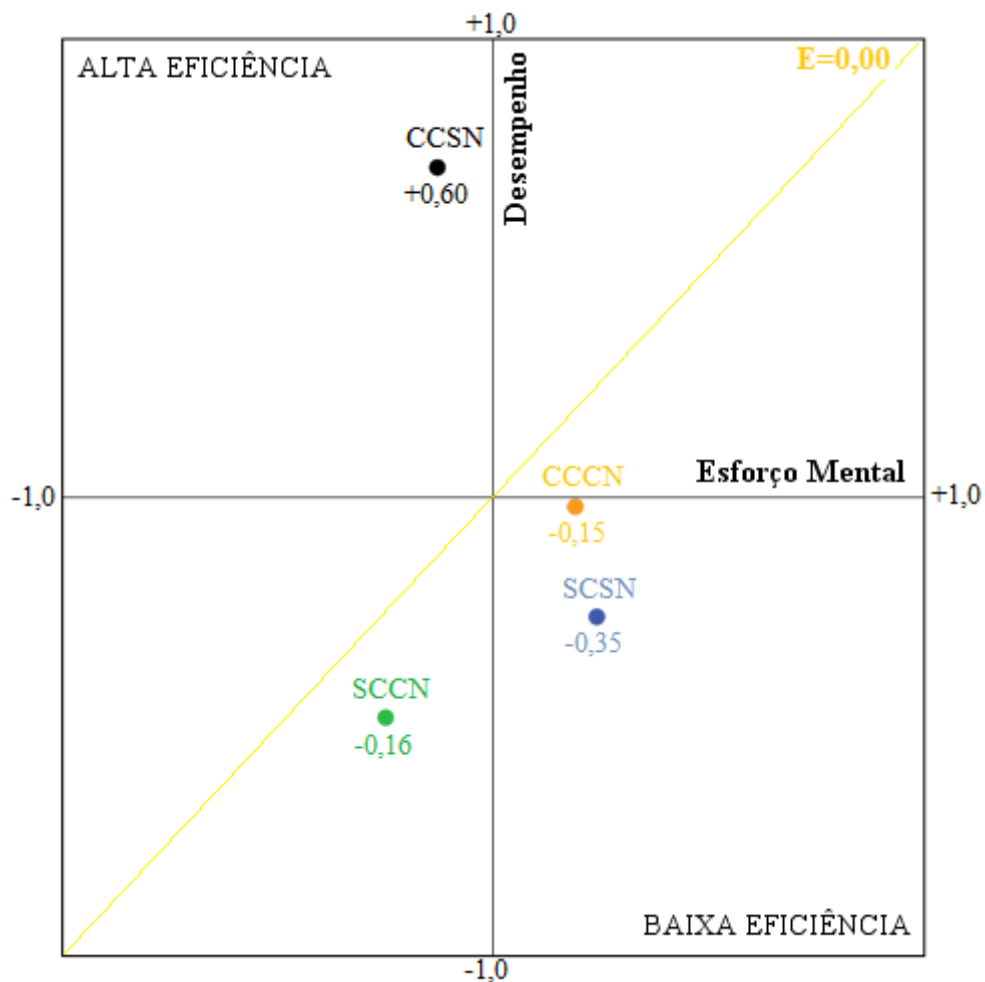


Figura 7.5. Gráfico de eficiência da instrução em função das médias normalizadas de desempenho e esforço mental. Apenas o mapa com cor e sem número (CCSN) teve uma eficiência positiva, i.e., gerou um alto ganho de conhecimento com baixo esforço mental.

O padrão de interação das duas variáveis sugere que a adição de cor, como forma de agrupar conceitos similares, aumenta a eficiência da instrução que utiliza mapas conceituais. Entretanto, esse aumento é extraordinariamente maior quando não há a superposição com a outra dica gráfica, isto é, a numeração das proposições usada como sugestão de ordem de leitura. Apesar de cor e número serem duas potenciais dicas gráficas de navegação, elas oferecem condições assimétricas para promover ganhos de conhecimento. Levantamos duas possíveis explicações para tal resultado.

A primeira explicação reside na Teoria da Dupla Codificação de Paivio (1990), a qual afirma que informações visuais e verbais são processadas de formas distintas pela memória de trabalho. O mapa conceitual apresenta informações verbais, de caráter semântico, em uma organização visual, diagramática. A adição de cor aos conceitos seria processada visualmente, sem comprometer os recursos da memória de trabalho destinados a processar o conteúdo a ser aprendido. Já os números precisariam ser processados sequencialmente junto com os conceitos e proposições, ocupando um espaço importante da memória de trabalho, comprometendo a aprendizagem e, portanto, prejudicando o desempenho dos alunos na tarefa.

Estudos com organizadores gráficos similares aos mapas conceituais encontraram resultados semelhantes. Hall e Sidio-Hall (1994a, 1994b) identificaram que alunos que estudaram um mapa conceitual com cor para indicar conceitos relacionados lembraram mais informação do que aqueles que estudaram o mapa preto e branco. Wallace et al. (1998) também demonstraram que incorporar princípios Gestalt (como proximidade e cor) durante a elaboração de um mapa conceitual auxiliou os alunos a recuperar mais informações após o período de aprendizagem.

A segunda explicação reside no efeito do simples-ao-complexo da TCC. O uso da cor permitiu que o aluno pudesse processar as informações de modo seriado, ou seja, há uma visão parcial do conteúdo em uma lógica que vai dos conteúdos mais simples ao mais complexo, sem perder de vista como essas partes estão inter-relacionadas para formar a visão do todo. A possibilidade de fazer uma gestão mais eficiente da carga intrínseca (CI) diminuiu a desorientação causada pelo mapa, permitindo maior integração do conteúdo. Pollock, Chandler e Sweller (2002) intencionalmente reduziram a complexidade de um material instrucional apresentando seu conteúdo como elementos isolados de informação. Essa pesquisa mostrou que os alunos aprenderam mais profundamente quando processaram a informação de modo seriado e sequencial do que simultaneamente e de uma só vez.

7.2.4 Respostas às questões dissertativas e o conhecimento conceitual

A partir da categorização das respostas dos alunos à questão dissertativa foi possível identificar como o padrão de respostas dos alunos mudou após o estudo com os mapas. Em um primeiro momento o que se percebe é que, independentemente da condição experimental, a frequência de alunos que deixaram respostas em branco (EB) ou que declararam não saber a resposta à pergunta dissertativa (NS) diminuiu de 21% para 7% após a intervenção. Vale ressaltar que dos 18 alunos que passaram a fornecer algum tipo de resposta no pós-teste (*i.e.*, migraram de um EB/NS para outra categoria), nenhum deles se configurou em um erro conceitual (EC).

Os EC que antes somavam 15% caíram para 6% pós-estudo com o mapa (independentemente da presença ou não de dicas gráficas). Analisando mais de perto as 13 concepções prévias errôneas dos alunos (EC no pré-teste) é possível inferir que:

- 39% dos alunos utilizam de modo incorreto os aspectos reacionais para explicar as diferentes cores nos fogos de artifício. Isso pode ser visto nas respostas dos alunos quando justificam que a diferença está:
 - A68: No elemento químico usado como combustível.
 - A21: Na composição diferente dos fogos que leva às reações de combustão diferentes.
 - A57: Nos elementos químicos que quando explodem apresentam cor.
- 23% atribuem à presença de corantes as diferenças nas cores. Por exemplo, nas respostas explícitas ou implícitas de, respectivamente:
 - A28: Os corantes na composição de cada um [dos diferentes tipos de fogos de artifício].
 - A75: Presumo que a pólvora utilizada contenha cores distintas.
- 23% relacionam erroneamente as diferenças das cores nos fogos de artifício com o nível/subnível de energia, como, por exemplo, se verifica na resposta de:
 - A47: A diferença está na velocidade com a qual se propaga a energia nos subníveis.
 - A61: Apresentam diferenças em suas eletrosferas.
- 8% justificam com algo que se relaciona à emissão de luz, porém, ainda de modo incorreto, como é o caso de:
 - A60: A diferença está na quantidade de luz infravermelha liberada.
- 8% utilizam o modelo incorreto para explicar o fenômeno. No caso desse aluno, há uma confusão entre o modelo de solvatação de cátions metálicos, onde a solução de cobre (contendo íons Cu^{2+}) é azul, e o modelo atômico de Bôhr e a excitação eletrônica do cobre, que gerariam cor esverdeada nos fogos de artifício.
 - A18: O elemento que compõe cada um deles define a sua cor (ex. íons cobre é azul).

De modo geral, pode-se dizer que os EC prévios à intervenção estão diretamente relacionados à aplicação incorreta do modelo atômico cientificamente aceito para explicar o fenômeno macroscópico, ou seja, o modelo de Böhr-quântico. A maioria dos alunos também atribui à substância a coloração e não aos elementos que a compõem em função da excitação eletrônica, corroborando com os resultados encontrados por outros autores, tais como Ben-Zvi, Eylon e Silberstein (1986), França, Marcondes e Carmo (2009), Taber (2013) e Melo e Lima Neto (2013).

Segundo Pozo e Crespo, (2006), quando os alunos migram de um baixo nível de conhecimento no tema (*i.e.*, ideias de senso comum) para um alto nível de conhecimento (*i.e.*, conhecimento científico), a qualidade do poder explicativo fornecido em suas respostas entra em ascensão. Por isso, era esperada que a complexidade das respostas dos alunos fosse aumentar após o estudo com mapa conceitual (devido a um aumento no conhecimento conceitual), fazendo migrar as explicações de concepções de senso comum (CQ), passando pelo conhecimento químico superficial (EQ) para concepções científicas mais elaboradas (NE), que envolvem a interação entre a luz e a matéria (EL) e sua relação com o espectro eletromagnético (EE). De modo geral, percebe-se que isso ocorre com todos os grupos, com exceção daquele sem dicas gráficas.

- Após o estudo com mapa CCCN, 77% dos alunos tiveram suas respostas categorizadas em um nível explicativo acima. Esse é o caso do aluno 37:
 - A37 (antes do estudo): A diferença entre os fogos está na composição química destes (CQ).
 - A37 (depois do estudo): As cores nos fogos de artifício podem ser diferenciadas pelos elementos químicos que geram um fenômeno de luminescência e incandescência (EL).
- No caso do mapa SCCN, 60% dos alunos tiveram suas respostas categorizadas em pelo menos um nível explicativo acima. Isso pode ser verificado na resposta do aluno 43:
 - A43 (antes do estudo): A diferença está na quantidade de energia fornecida para a excitação do elétron para que ele mude de nível (NE).
 - A43 (depois do estudo): A diferença está na energia absorvida pelos elétrons, pois essa energia pode fazer com que eles mudem de nível de energia, e, ao retornar, os elétrons a liberam em forma de luz, que, quando na região do visível, possuem cor (EE).
- Para o mapa CCSN, 36% dos alunos tiveram suas respostas categorizadas em pelo menos um nível explicativo acima, sendo que a maioria dos alunos, 59%, mantiveram o nível explicativo. Isso ocorreu de forma categórica com o aluno já mencionado 75:

- A75 (antes do estudo): Presumo que a pólvora utilizada contenha cores distintas (EC).
- A75 (depois do estudo): Fogos de cor laranja geram espectros eletromagnéticos na região do visível diferente daqueles que são de cor verde (EE).
- Um padrão diferente foi observado no grupo que estudou com o mapa SCSN. A maioria dos alunos manteve seu nível explicativo (57%) ou diminuiu de nível (29%). Esse é o caso do aluno 4:
 - A4 (antes do estudo): A diferença pode ser explicada pela liberação de energia em forma de luz (EL).
 - A4 (depois do estudo): A diferença é devido aos elementos químicos presentes em cada um dos fogos de artifício (EQ).

7.2.5 Conclusões a partir dos resultados apresentados

Com base nos resultados apresentados foi possível concluir que independentemente do tipo de mapa conceitual utilizado como material instrucional, todos os alunos tiveram um ganho de conhecimento factual e um aumento na capacidade de explicar o fenômeno das cores nos fogos de artifício. Porém, o mapa sem nenhuma dica gráfica gerou os menores ganhos de conhecimento com maior esforço mental quando comparado às demais condições experimentais.

A adição de cor aos conceitos do mapa como forma de agrupar visualmente a mesma área de conhecimento químico gerou um efeito positivo nos resultados de aprendizagem. Os alunos que estudaram os mapas coloridos tiveram maiores ganhos de conhecimento factual e conceitual do que os alunos que estudaram os mapas em preto e branco. De forma análoga, a adição de números nas proposições do mapa como forma de oferecer uma sequência de leitura gerou um efeito positivo nos resultados de aprendizagem. Os alunos que estudaram os mapas com proposições numeradas tiveram maiores ganhos de conhecimento factual e conceitual do que os alunos que estudaram os mapas sem a numeração. Assim como já constatado por Beege et al. (2017), o efeito da dica gráfica (*cueing effect*) foi positivo para os resultados de aprendizagem, mas sem efeito para as medidas de carga cognitiva (esforço mental).

Outras duas informações complementam os resultados obtidos. Igualmente ruim a não apresentar nenhuma dica gráfica, foi apresentar as duas dicas simultaneamente no mesmo mapa conceitual. Há evidências de que o uso de dicas gráficas (cor ou número) diminui a desorientação causada pelo mapa, melhorando os resultados de aprendizagem. Porém, quando uma dica gráfica está presente, a outra se faz desnecessária. Considerando a análise da eficiência da instrução, apenas a cor se mostrou com alta eficiência, ou seja,

gerou ganhos de conhecimento combinados ao baixo esforço mental, quando comparada às demais condições. A cor auxiliou os alunos na gestão da carga intrínseca (particionando o conteúdo) sem gerar um aumento de carga extrínseca (devido aos aspectos visuais). Em contrapartida, a numeração diminuiu a carga extrínseca ao oferecer um guia para navegação do conteúdo, mas aumentou a carga intrínseca devido à característica semântica do mesmo.

Capítulo 8 | Mapas com erros na avaliação⁵³

8.1 A avaliação usando mapas conceituais feitos pelo professor

Além de elaborar mapas a serem utilizados como materiais de estudo, o professor também pode criar atividades com a finalidade de avaliar o entendimento conceitual dos alunos. A inclusão intencional de erros no mapa oferece uma alternativa sofisticada para fugir dos exercícios que se limitam a preencher as lacunas (uma lista de conceitos é oferecida e os alunos completam a estrutura proposicional semipreenchida). As relações conceituais mais sofisticadas sobre o tema em estudo podem ser incluídas pelo professor para avaliar o entendimento dos alunos. Tal inclusão não é certa quando os alunos elaboram os mapas durante a avaliação, pois há uma tendência de se evitar os conteúdos mais difíceis para não correr o risco de penalização. A segurança dessa “*zona de conforto*” é rompida quando a avaliação considera o mapa conceitual do professor.

A identificação dos erros adicionados pelo professor somente será possível para os alunos que compreenderam com clareza as relações conceituais sobre o tema em estudo. Nesse caso, os erros poderão ser localizados e até explicado pelos alunos. O mesmo não acontecerá com os alunos que ainda não entenderam tais relações conceituais. O mapa com erros estará aparentemente correto e os erros serão localizados com maior dificuldade. Nesse capítulo, apresentaremos os resultados de uma pesquisa que utilizou os mapas com erros para distribuir as devolutivas do professor de forma imediata e personalizada, de acordo com os erros do mapa que não foram identificados pelos alunos. Um período de reestudo dirigido foi oferecido para que os alunos estudassem a partir das devolutivas. As mudanças de entendimento conceitual produzidas pelo reestudo mostram o efeito positivo dessa utilização dos mapas conceituais.

A Figura 8.1 destaca a redução da carga extrínseca da avaliação usando mapas com erros, em comparação com a elaboração de mapas conceituais. Essa alternativa é interessante quando o professor não tem tempo para treinar os alunos na técnica de mapeamento conceitual. Sem treinamento, os alunos entram em sobrecarga cognitiva ao elaborar seus próprios mapas conceituais. Isso prejudica a qualidade da representação que deixa de ser relacionável com as estruturas internas que compõe os esquemas presentes nos modelos mentais.

⁵³ Esse capítulo apresenta parte dos resultados da dissertação de mestrado intitulada “*Mapa conceitual com erros como atividade avaliativa: identificação das lacunas conceituais para a distribuição de devolutivas específicas*”, defendida pela Professora Marília Soares em 2020.

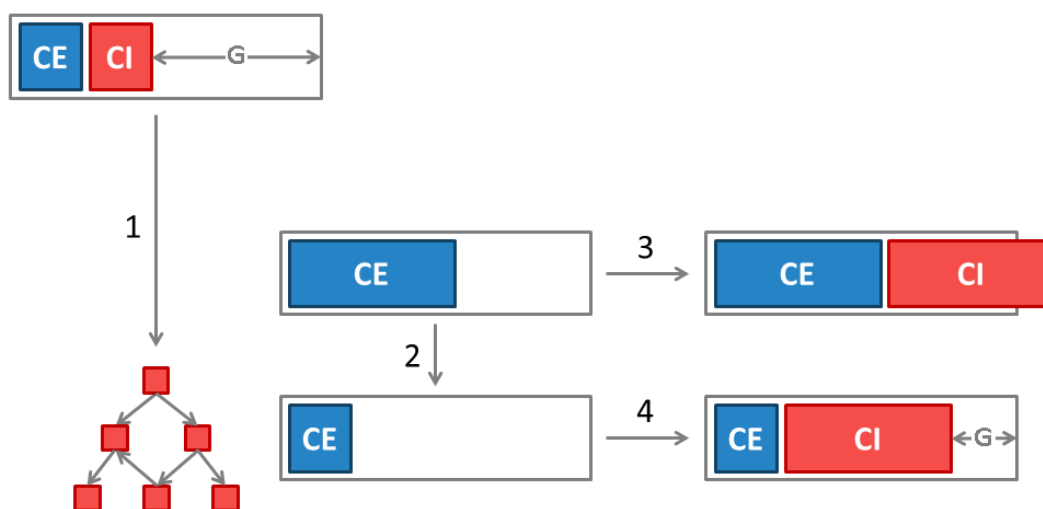


Figura 8.1. A elaboração de mapas pelo professor (1) acontece com baixas cargas extrínseca e intrínseca se ele for treinado na técnica. A inclusão de erros no mapa conceitual cria uma atividade de avaliação com menor carga extrínseca (2), evitando a sobrecarga dos alunos (3) porque eles não elaboram mapas. A atividade requer somente a leitura do mapa e a correção conceitual das proposições. A disponibilidade de recursos generativos (4) permite a manipulação de esquemas para o cumprimento dessa tarefa.

8.2 Atividades baseadas nos mapas conceituais com erros

A maioria dos trabalhos apresentados na literatura exploram os alunos como mapeadores, restando ao professor fazer a apreciação do conhecimento representado. Em termos práticos, essa opção tem limitado o acesso e a permanência dos mapas conceituais nos ambientes de aprendizagem. Por esse motivo, é preciso ampliar o leque de atividades pedagógicas que utilizam os mapas. Considerar o professor como um mapeador é uma possibilidade que precisa ser melhor explorada (Correia, Ballego e Nascimento, 2020; Correia, Cabral e Aguiar, 2016).

Considerando a avaliação da aprendizagem, os poucos trabalhos que apresentam tarefas baseadas em mapas conceituais feitos por professores exploram o formato “preencha as lacunas” em que um MC incompleto é oferecido aos alunos que, por sua vez, precisam incluir os conceitos que são apresentados na forma de uma lista. Alternativas mais interessantes podem ser consideradas quando buscamos formas criativas de planejar essas atividades.

Ruiz-Primo e Shavelson (1996), destacam que as atividades avaliativas usando mapas devem apresentar uma tarefa que convide o aluno a fornecer informações sobre a sua estrutura de conhecimento num domínio específico, um formato de resposta para a tarefa, e um sistema de pontuação para avaliar o desempenho dos alunos.

McClure, Sonak e Suen (1999) publicaram um trabalho relevante para discutir aspectos relacionados à praticidade operacional que dificulta o uso do mapeamento

conceitual nas condições usuais de trabalho dos professores (aulas em múltiplas turmas, dezenas de alunos por sala e pouco tempo disponível para desenvolver atividades com mapas durante as aulas). Reconhecendo essas dificuldades, o nosso grupo de pesquisa passou a desenvolver atividades utilizando mapas conceituais feitos pelo próprio professor. A Tabela 8.1 compara a praticidade de tarefas usando mapas conceituais, destacando a maior facilidade de implementação de atividades quando o professor atua como mapeador.

Tabela 8.1. Comparação da praticidade das atividades usando mapas conceituais, considerando alunos e professores como mapeadores. O tempo necessário para cada condição foi representado com uma escala entre 1-5, sendo 1 = pouco tempo e 5 = muito tempo.

Parâmetros da praticidade	Quem elabora os mapas conceituais?	
	Alunos	Professor
Tempo necessário para treinamento na técnica de mapeamento	<p>① ② ③ ④ ⑤</p> <p>Os mapas só refletem a estrutura de conhecimento dos alunos se eles dominarem a técnica de mapeamento.</p>	<p>① ② ③ ④ ⑤</p> <p>Só o professor deve ser treinado para fazer bons mapas (Aguiar e Correia, 2013). Os alunos precisam saber como se lê os mapas.</p>
Tempo necessário para elaborar os mapas conceituais	<p>① ② ③ ④ ⑤</p> <p>Preparar bons mapas requer tempo para selecionar os conceitos que respondem adequadamente à pergunta focal, organizá-los, tornar clara e correta as proposições (Aguiar e Correia, 2013).</p>	<p>① ② ③ ④ ⑤</p> <p>O professor pode preparar seus mapas com antecedência, sem comprometer o tempo das aulas. Os alunos participam das atividades usando os mapas durante as aulas, com a mediação do professor.</p>
Tempo necessário para avaliar o conhecimento do aluno	<p>① ② ③ ④ ⑤</p> <p>Cada mapa elaborado pelos alunos tem que ser lido e avaliado pelo professor através de um processo comparativo. Não há nenhum gabarito predefinido para orientar esse processo.</p>	<p>① ② ③ ④ ⑤</p> <p>As atividades criadas a partir do mapa feito pelo professor permitem a produção de um gabarito para orientar a correção. A avaliação das respostas se torna mais rápida e fácil. As devolutivas do professor podem ser discutidas com os alunos assim que a tarefa se encerra.</p>

Nosso grupo de pesquisa é pioneiro no desenvolvimento de tarefas baseadas no uso de mapas conceituais com erros (MCE). Nesse modelo de avaliação o professor é quem elabora o mapa conceitual e, ao fazer isso, insere intencionalmente proposições com erros conceituais. Nessa situação, a estrutura de conhecimento do aluno não é declarada por ele mesmo, mas poderá ser inferida a partir da identificação (ou não) destes erros, ou seja, a partir de seu desempenho na tarefa (Correia, Cabral e Aguiar, 2016; Nascimento, Soares e Correia, 2020).

Trabalhos recentes publicados na literatura (*e.g.*, Corrêa e Correia (2019); Correia et al, 2020) confirmam que o MCE é uma alternativa interessante para compor os possíveis métodos de avaliação a serem considerados pelos professores. A utilização de MCE permitiu a identificação dos conteúdos nos quais os alunos tinham maiores dificuldades, evidenciando o potencial dessa atividade para avaliar o conhecimento dos alunos de forma rápida e precisa (ver avaliação do ensino na Figura 8.2). O professor, a partir dos erros inseridos no MCE, pode elaborar devolutivas aos alunos para ajudá-los a superar equívocos conceituais que podem comprometer a aprendizagem significativa (Novak, 2002). Essa abordagem, que coloca o professor na condição de mapeador, será o tema principal a ser apresentado nas próximas páginas.

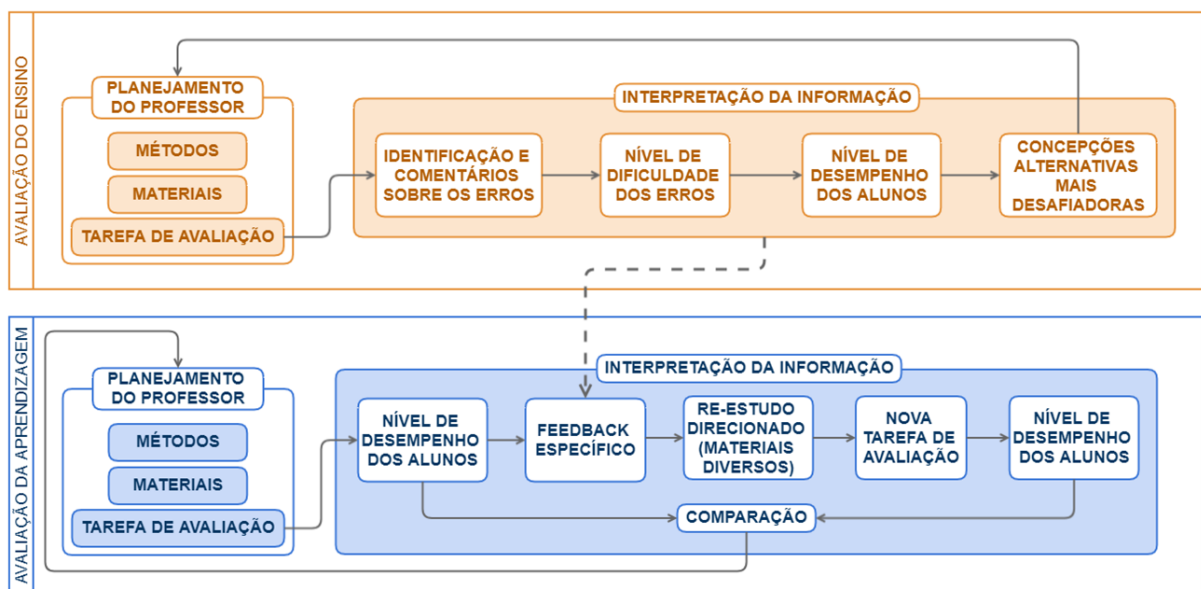


Figura 8.2. Utilização do MCE em dois tempos na disciplina CN. Primeiro, o objetivo foi identificar as concepções alternativas mais desafiadoras a partir de erros não identificados pelos alunos. Em seguida, o objetivo foi direcionar o período de reestudo a partir do MCE, fornecendo devolutivas específicas (DE) e inespecíficas (DI) com relação ao conteúdo da disciplina.

O objetivo deste capítulo é apresentar o MCE como ferramenta de avaliação no ensino de ciências, indicando maneiras de o professor explorar essa atividade em sua própria disciplina. Os resultados que serão apresentados pretendem avaliar o efeito das devolutivas específicas e também das devolutivas inespecíficas no desempenho dos alunos após o reestudo dirigido e captar a percepção deles quanto ao uso dessas devolutivas para compreender o conteúdo a partir dos próprios erros.

8.2.1 Procedimentos de coleta de dados

Oitenta e sete alunos da EACH/USP participaram da coleta de dados realizada durante a disciplina ACH 0131 Ciências da Natureza: Ciência, Cultura e Sociedade (CN) no

1º semestre de 2018. A dinâmica de trabalho da disciplina previa uma leitura preparatória para cada aula presencial, para informar os alunos sobre o tema a ser discutido. As aulas eram iniciadas com uma exposição dialogada sobre os principais pontos do texto e, eventualmente, trechos de um vídeo/documentário eram apresentados como forma de complementar esses pontos. A Tabela 8.2 apresenta os materiais de estudo utilizados durante as discussões sobre as mudanças climáticas.

Tabela 8.2. Materiais de estudo utilizados durante o bloco temático sobre mudanças climáticas.

Material de estudo	Foco conceitual	Formato		Aula
		Texto	Vídeo	
<i>Mudanças Climáticas e Desenvolvimento</i> ⁵⁴	Descrição do fenômeno atmosférico e discussão das possíveis consequências econômicas	X		6
<i>Carlos Nobre</i> ⁵⁵ <i>no Roda Viva, Bloco 1</i>	Entrevista com pesquisador integrante do IPCC		X	6
<i>COP15: Apontamentos de Campo</i> ⁵⁶	Comentários sobre a interferência política nas discussões sobre o clima	X		7
<i>Carlos Nobre no Roda Viva, Bloco 2</i>	Entrevista com pesquisador integrante do IPCC		X	7
<i>Cientistas sob ataque</i> ⁵⁷	Discussão sobre tentativas de desmoralizar o trabalho científico	X		8
<i>O homem do clima</i> ⁵⁸	Entrevista com o presidente do IPCC	X		8
<i>Carlos Nobre no Roda Viva, Bloco 3</i>	Entrevista com pesquisador integrante do IPCC		X	8
<i>Paulo Saldiva no TED x São Paulo</i> ⁵⁹	O racismo ambiental como forma de compreender o impacto da poluição na saúde das pessoas		X	8
<i>5 Tecnologias brasileiras que transformaram o agronegócio</i> ⁶⁰	O impacto do desenvolvimento tecnológico no aumento da produtividade agropecuária	X		9
<i>Carlos Nobre no Roda Viva, Bloco 4</i>	Entrevista com pesquisador integrante do IPCC		X	9

A coleta dos dados ocorreu em dois momentos presenciais da disciplina de CN, realizados no Laboratório de Informática da EACH/USP. O primeiro momento foi durante a Aula 10 com a realização da avaliação formal da disciplina, em maio de 2018. Essa avaliação continha dois MCE sobre as mudanças climáticas, com ênfase no

⁵⁴ [Clique aqui](#) para acessar o texto escrito pelo Professor José Goldemberg.

⁵⁵ [Clique aqui](#) para acessar a íntegra do programa Roda Viva.

⁵⁶ [Clique aqui](#) para acessar o texto escrito por Sérgio Abranches.

⁵⁷ [Clique aqui](#) para acessar o texto completo da matéria publicada na Revista FAPESP.

⁵⁸ [Clique aqui](#) para acessar o texto completo da matéria publicada na Revista FAPESP.

⁵⁹ [Clique aqui](#) para acessar a apresentação do Professor Paulo Saldiva no TEDxSP.

⁶⁰ [Clique aqui](#) para acessar o texto completo da matéria publicada na revista Exame.

desenvolvimento científico e tecnológico (Figura 8.3) e na sociedade (Figura 8.4). O outro momento da coleta foi realizado seis semanas depois da avaliação formal, quando houve um período de reestudo dirigido durante a prova substitutiva (SUB). Além dos MCE, testes de múltipla escolha (TME, n = 12) foram utilizados para a avaliação do entendimento conceitual dos alunos. A Figura 8.5 apresenta esquematicamente os momentos da coleta de dados em função das aulas da disciplina CN.

Os alunos tiveram 15 minutos para identificar os erros de cada um dos MCE. Mais 30 minutos foram disponibilizados para os alunos responderem aos TME. O controle do tempo de todas as atividades avaliativas foi feito diretamente no e-disciplinas, ambiente virtual de aprendizagem da USP baseado no Moodle.

O acesso às devolutivas aconteceu na aula 15 (Prova 3, no final do Bloco 3 sobre Bioética). Elas foram inseridas nos dois MCE da Prova 2, que serviram como meio de distribuição das devolutivas do professor. A estratégia de espaçar em algumas semanas a entrega das devolutivas foi com a intenção de exigir dos alunos a recuperação dos conceitos trabalhados ao longo das aulas sobre mudanças climáticas. A recuperação de conceitos após algumas semanas é um indício de aprendizagem significativa (Ausubel, 2000).

A distribuição das devolutivas ocorreu conforme da seguinte forma:

1. Condição A (n = 41): os alunos receberam devolutivas específicas referente ao conteúdo do MCE sobre o desenvolvimento científico e tecnológico e devolutivas inespecíficas referente ao conteúdo do MCE sobre a sociedade. No primeiro caso, a devolutiva sinalizou que houve um erro e direcionou os alunos para um material específico sobre o conteúdo tratado na proposição. Para o segundo caso, a devolutiva apresentou caráter mais genérico e não direcionou os alunos para material algum.
2. Condição B (n = 46): os alunos receberam devolutivas inespecíficas referente ao conteúdo do MCE sobre o desenvolvimento científico e tecnológico e devolutivas específicas referente ao conteúdo do MCE sobre a sociedade. No primeiro caso, a devolutiva apresentou caráter mais genérico e não direcionou os alunos para material algum. No segundo caso, além da indicação do erro cometido, os alunos foram direcionados para um material específico sobre o conteúdo tratado na proposição.

A Figura 8.6 mostra como foi realizada a entrega das devolutivas (específica e inespecífica) a partir do e-disciplinas, considerando as duas condições experimentais descritas acima. Esse exemplo refere-se à proposição P10 (*Painel Intergovernamental sobre mudanças climáticas – é formado por → políticos*), presente no MCE sobre o desenvolvimento científico e tecnológico (Figura 8.4).

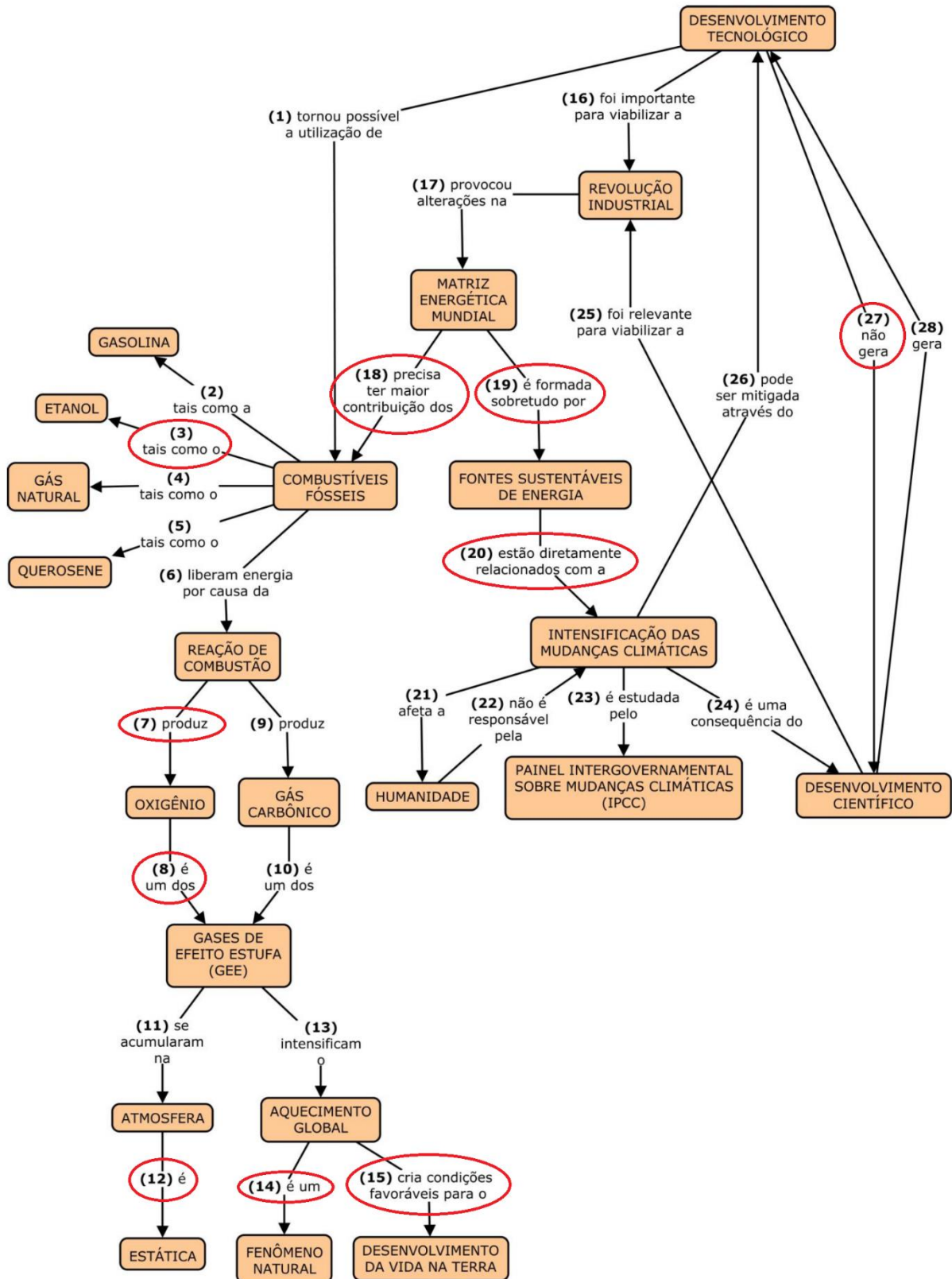


Figura 8.3. MCE sobre a sociedade, contendo 22 conceitos e 28 proposições. Os destaques em vermelho são os erros conceituais (n = 12) inseridos pelo professor. Pergunta focal: Como a sociedade contemporânea está respondendo a intensificação das mudanças climáticas?

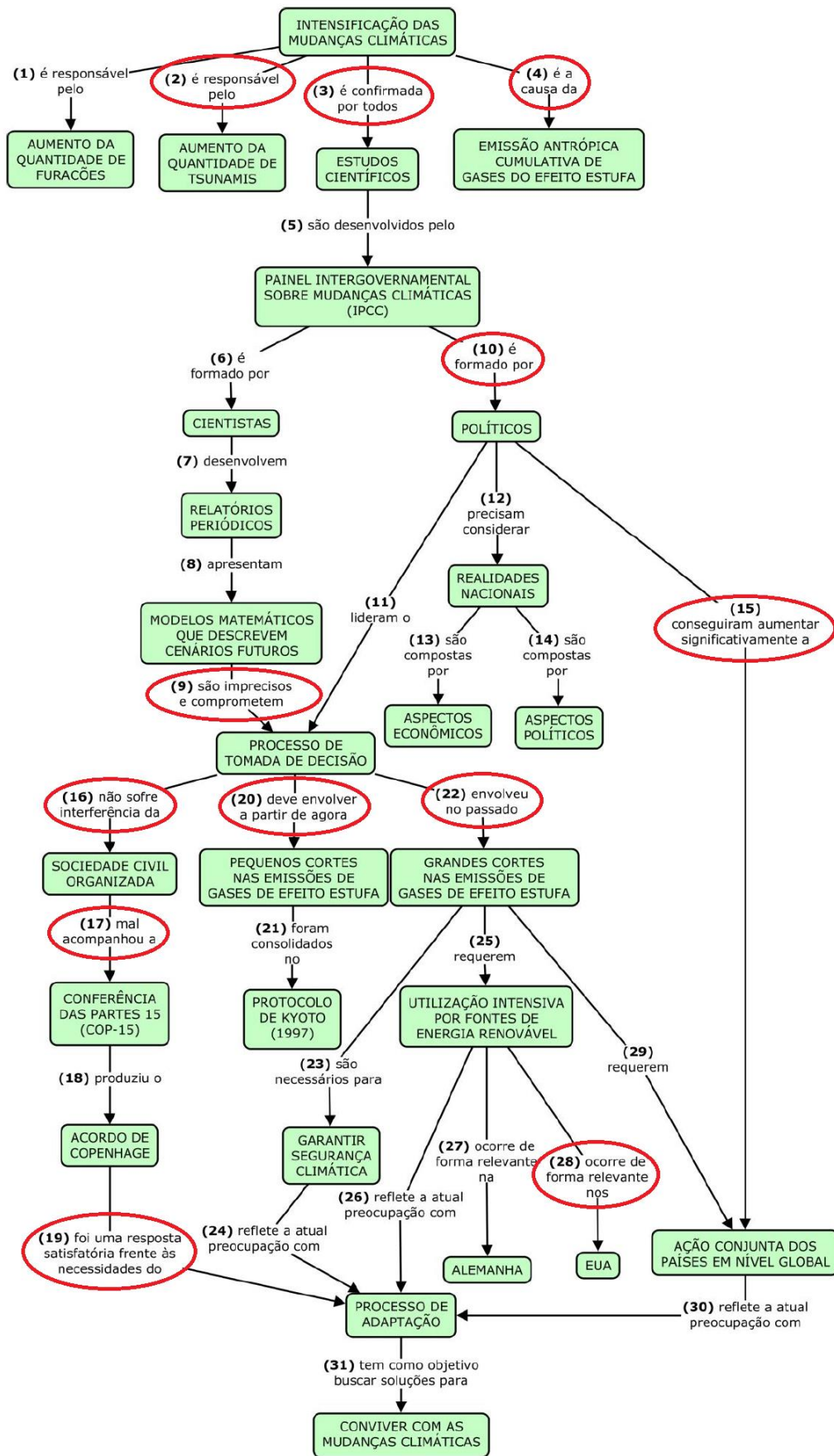


Figura 8.4. MCE sobre o desenvolvimento científico e tecnológico, contendo 27 conceitos e 31 proposições. Os destaques em vermelho são os erros conceituais (n = 10) inseridos pelo professor. Pergunta focal: Como o desenvolvimento científico-tecnológico está relacionado com as mudanças climáticas?

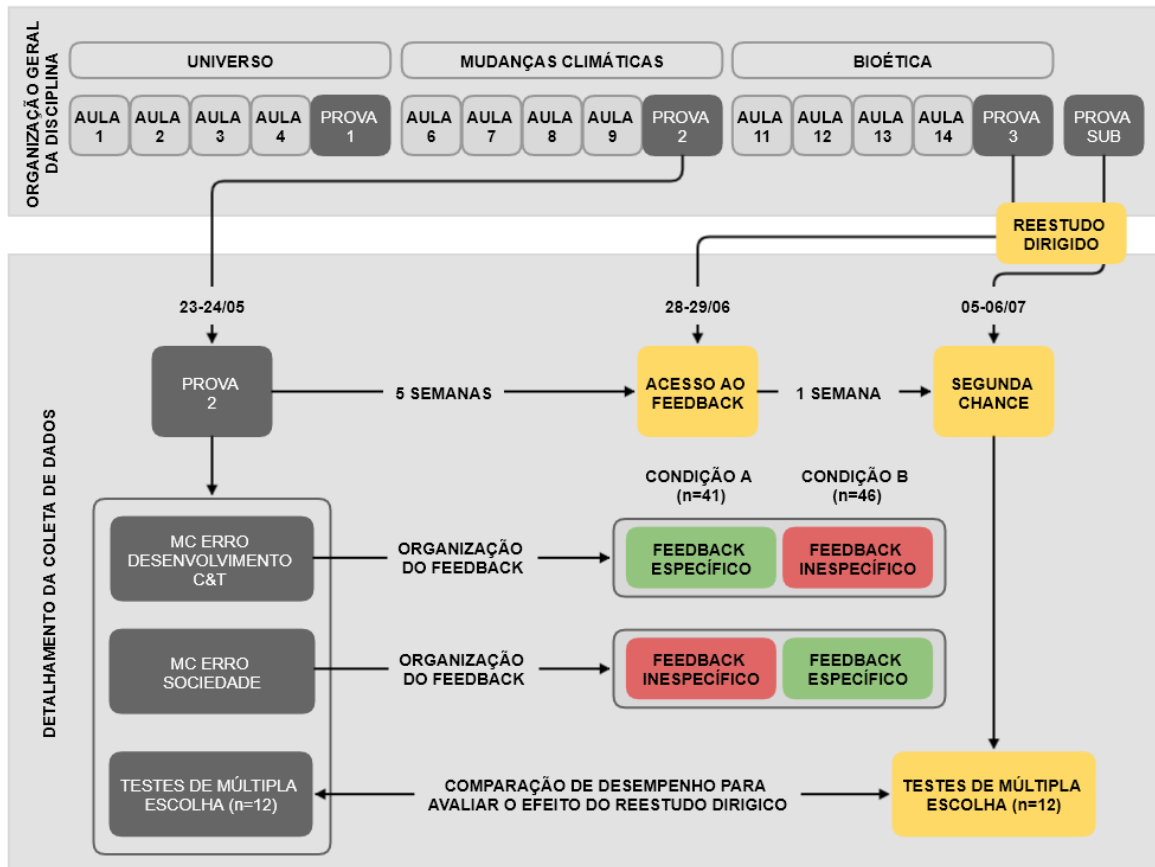


Figura 8.5. Organização da coleta de dados destacando a P2 e o período de reestudo dirigido, que começou com o acesso à devolutiva e terminou com a “segunda chance”.

A devolutiva inespecífica foi genérica e pouco informativa, tanto que nenhuma outra informação foi fornecida para apoiar a reflexão dos alunos acerca desse erro, além da mensagem “Essa proposição está errada”. A devolutiva específica teve uma mensagem mais direcionada ao conteúdo da proposição ao qual ela estava associada, pois sugeria aos alunos que revisassem um dos materiais já discutidos durante a disciplina de CN. No exemplo da Figura 8.6, a proposição trata da formação do IPCC, e neste caso, o conteúdo está errado, pois são pesquisadores e cientistas de diferentes áreas que o compõem a entidade e não políticos. Por isso, a devolutiva específica foi elaborada utilizando um excerto de texto com um trecho em destaque, para que os alunos pudessem tomar ciência dessa informação.

Os TME aplicados na Prova 2 e na “segunda chance” (Figura 8.5) apresentavam três afirmativas a serem julgadas pelos alunos como corretas ou incorretas. A alternativa “Prefiro não responder” foi incluída como uma forma de se evitar respostas aleatórias dos alunos. Esta alternativa, quando assinalada, não beneficiava nem prejudicava a pontuação do aluno na atividade. Para exemplificação, segue um TME com a alternativa correta sublinhada.

Figura 8.6. Tipos de devolutivas distribuídas aos alunos utilizando os MCE. Destaque para a diferença entre as devolutivas inespecífica e específica com relação ao conteúdo das proposições com erros.

Considere as seguintes afirmações:

I. A queima de combustíveis fósseis é apontada como a principal causa as mudanças climáticas.

II. Um carro movido a etanol não emite gás carbônico.

III. O IPCC é formado por políticos.

É correto o que se afirma apenas em:

a. I.

b. II.

c. III.

d. I e II.

e. II e III.

f. Prefiro não responder.

Após a realização da SUB, os alunos ainda puderam manifestar sua percepção quanto ao uso das devolutivas, respondendo a um questionário eletrônico que foi entregue via e-disciplinas. Este questionário continha 11 questões e os alunos deveriam julgar as afirmativas para avaliar quanto as devolutivas impactaram em seu desempenho após o reestudo dirigido. Para isso, foi utilizada uma escala Likert de 9 níveis, sendo 1 = Discordo totalmente, 5 = Não concordo, nem discordo e 9 = Concordo totalmente. Os demais valores representam situações intermediárias para discordar ou concordar. Para

fins de exemplificação, seguem duas questões que fizeram parte desse questionário eletrônico:

Eu achei os comentários genéricos "Essa proposição está errada" úteis para melhorar meu entendimento sobre o tema em estudo.

Indique sua resposta usando a escala numérica entre 1 - 9.

1 () 2 () 3 () 4 () 5 () 6 () 7 () 8 () 9 ()

Eu achei os comentários com conteúdos adicionais (textos, vídeos, áudios, etc.) úteis para melhorar meu entendimento sobre o tema em estudo.

Indique sua resposta usando a escala numérica entre 1 - 9.

1 () 2 () 3 () 4 () 5 () 6 () 7 () 8 () 9 ()

8.2.2 Análise do desempenho dos alunos nos testes de múltipla escolha

O desempenho dos alunos nos TME (Figura 8.5) foi comparado para verificar a existência de diferenças significativas entre a Prova 2 (P2, antes) e a "segunda chance" (SC, após o reestudo dirigido). Para isso, as seguintes variáveis foram consideradas:

1. Nota: desempenho nos testes de múltipla escolha (n=12) na escala entre 0-10.
2. Acertos: quantidade de testes com respostas certas. Os alunos receberam 1 ponto para cada acerto.
3. Erros: quantidade de testes com respostas erradas. Os alunos foram penalizados em 0,5 ponto para cada erro.
4. Sem resposta: quantidade de testes que os alunos assinalaram a alternativa "Prefiro não responder".

A Tabela 8.3 apresenta os resultados obtidos a partir do teste-t pareado. As comparações mostraram diferenças significativas para todas as variáveis, exceto para *Sem resposta*. No seu conjunto, os resultados confirmam uma melhora no desempenho dos alunos na SC, ocorrida após o período de reestudo dirigido.

Tabela 8.3. Resultados do teste-t pareado¹ para comparar o desempenho dos alunos (n=87) ao responder os testes de múltipla escolha (n=12).

Variável	Média	Valor de t²	Sig. (bicaudal)³
Nota (P2)	2,21±2,09	-5,46	0,000*
Nota (SC)	3,86±2,31		
Acertos (P2)	5,23±1,88	-5,27	0,000*
Acertos (SC)	6,62±2,13		
Erros (P2)	5,17±1,67	4,89	0,000*
Erros (SC)	4,01±1,61		
Sem resposta (P2)	1,60±1,51	1,30	0,20
Sem resposta (SC)	1,37±1,50		

¹O software SPSS foi utilizado para realizar o teste-t pareado. ²Graus de liberdade = 86. ³As médias são significativamente diferentes(*) quando Sig. <0,05.

A existência de padrões considerando o desempenho dos alunos foi verificada a partir da análise de agrupamentos hierárquicos e de componentes principais, realizadas através do software Pirouette. Para isso, utilizou-se uma matriz contendo 87 linhas (alunos) e seis colunas (variáveis). As variáveis *Sem resposta* da P2 e da SC foram excluídas porque elas pouco contribuem para explicar a variância do conjunto de dados. A Figura 8.7 apresenta visualmente os quatro grupos de alunos (G1-G4) que foram identificados. Eles se distribuem em três eixos (componentes principais) que explicam 99,6% da variância do conjunto de dados. A Tabela 8.4 apresenta o valor médio para o desempenho dos alunos dos grupos G1-G4. A comparação das médias permitiu a identificação de diferenças significativas entre os grupos, representadas a partir de subgrupos nomeados com letras (A-D). Com base nessas informações, os grupos G1-G4 foram caracterizados da seguinte forma:

1. G1: alunos apresentam baixo desempenho na P2 e SC.
2. G2: alunos apresentam desempenho pior na SC do que na P2.
3. G3: alunos apresentam desempenho melhor na SC do que na P2.
4. G4: alunos apresentam desempenho muito melhor na SC do que na P2.

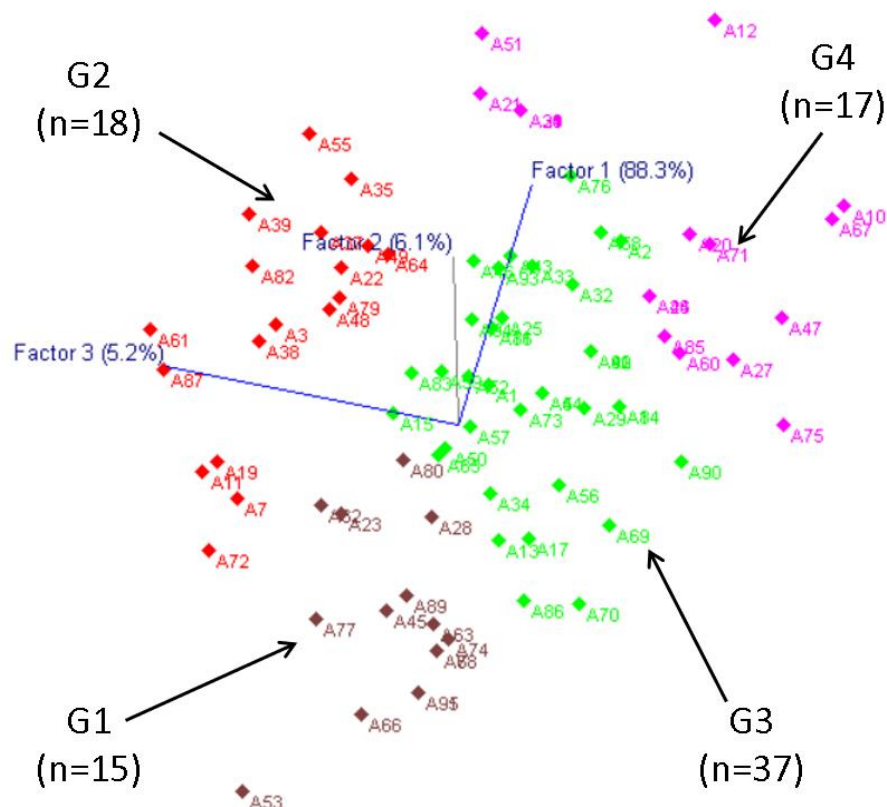


Figura 8.7. Gráfico das três componentes principais que melhor explicam as diferenças entre os grupos de alunos (G1-G4).

Tabela 8.4. Resultados da ANOVA de um fator¹ para comparar as médias dos grupos G1-G4.

Variável ²	G1 (n=15)	G2 (n=18)	G3 (n=37)	G4 (n=17)	Todos (n=87)
Nota (P2)	0,11(1,25)	4,55(1,27)	1,70(1,40)	2,71(2,23)	2,21(2,09)
Subgrupos	C	A	B	B	-
Nota (SC)	1,15(0,92)	2,14(1,56)	4,32(1,06)	7,07(1,05)	3,86(2,31)
Subgrupos	C	C	B	A	-
Acertos (P2)	3,07(1,22)	7,17(1,10)	4,89(1,29)	5,82(1,88)	5,23(1,88)
Subgrupos	C	A	B	B	-
Acertos (SC)	4,07(1,10)	5,17(1,47)	7,05(1,08)	9,47(0,87)	6,62(2,13)
Subgrupos	D	C	B	A	-
Erros (P2)	5,87(0,99)	3,44(1,34)	5,73(1,45)	5,18(1,74)	5,17(1,67)
Subgrupos	B	A	B	B	-
Erros (SC)	5,40(1,30)	5,22(1,40)	3,76(0,86)	2,06(1,03)	4,01(1,61)
Subgrupos	C	C	B	A	-
Sem resposta (P2)	3,07(1,28)	1,39(1,29)	1,38(1,59)	1,00(0,87)	1,60(1,51)
Subgrupos	B	A	A	A	-
Sem resposta (SC)	2,53(1,96)	1,61(1,58)	1,19(1,20)	0,47(0,80)	1,37(1,50)
Subgrupos	B	A,B	A	A	-

¹O software SPSS foi utilizado para realizar a ANOVA de um fator. ²Os subgrupos representam diferenças significativas entre as médias (Sig. < 0,05) obtidas a partir do teste Post Hoc de Tukey. A letra A indica o subgrupo com melhor desempenho e as letras B-D desempenhos cada vez piores.

Os resultados indicaram que o período de reestudo dirigido foi útil para 62% dos alunos (G3 e G4, n=54). Por outro lado, 21% (G2, n=18) dos alunos tiveram um desempenho pior na SC do que na P2 e 17% (G1, n=15) não foram impactados pelo período de reestudo.

8.2.3 Comparação entre as condições experimentais

A Tabela 8.5 apresenta os resultados para o teste-t independente que compara as médias para as condições experimentais A e B, que se diferenciam pelo tipo de devolutiva utilizada nos MCE (Figuras 8.3 e 8.4). O objetivo foi verificar a existência de diferenças entre os alunos das condições A e B.

Os alunos da condição B apresentam desempenho melhor na P2 do que os alunos da condição A. Esse fato pode ter ocorrido porque os alunos dessas condições são de turmas diferentes: os alunos da condição A tiveram aula no período vespertino, enquanto os alunos da condição B frequentaram aulas no matutino. É interessante notar que as diferenças da P2 não se verificaram na SC, sugerindo que o período de reestudo dirigido atuou como um equalizador dos desempenhos dos alunos. Vale a pena destacar que

1. as condições A e B apresentaram desempenho melhor na SC do que na P2, e
2. a variável *Sem resposta* não apresentou diferenças significativas na P2 e SC.

Tabela 8.5. Resultados do teste-t independente¹ para comparar o desempenho dos alunos das condições experimentais..

Variável	Média		Valor de t ²	Sig. (bicaudal) ³
	A (n=41)	B (n=46)		
Nota (P2)	1,66±1,94	2,83±2,11	-2,69	0,009*
Nota (SC)	3,46±2,46	4,31±2,06	-1,74	0,09
Acertos (P2)	4,74±1,93	5,78±1,70	-2,66	0,009*
Acertos (SC)	6,24±2,25	7,05±1,91	-1,80	0,08
Erros (P2)	5,52±1,30	4,78±1,96	2,06	0,043*
Erros (SC)	4,22±1,66	3,78±1,54	1,27	0,21
Sem resposta (P2)	1,74±1,68	1,44±1,29	0,94	0,35
Sem resposta (SC)	1,54±1,49	1,17±1,51	1,16	0,25

¹O software SPSS foi utilizado para realizar o teste-t pareado. ²Graus de liberdade = 86. ³As médias são significativamente diferentes(*) quando Sig. <0,05.

As Tabelas 8.6 e 8.7 apresentam os resultados para o teste-t pareado que compara as médias obtidas antes e após o período de reestudo para as condições experimentais A e B. O objetivo foi verificar o impacto das devolutivas para os alunos das condições A e B.

Tabela 8.6. Resultados do teste-t pareado¹ para comparar o desempenho dos alunos da condição A (n=46), antes e após o período de reestudo.

Variável	Média	Valor de t ²	Sig. (bicaudal) ³
Nota (P2)	1,66± 1,94	-4,41	0,000*
Nota (SC)	3,46±2,46		
Acertos (P2)	4,74±1,93	-4,13	0,000*
Acertos (SC)	6,24±2,25		
Erros (P2)	5,52±1,30	4,06	0,000*
Erros (SC)	4,22±1,66		
Sem resposta (P2)	1,74±1,68	0,71	,48
Sem resposta (SC)	1,54±1,49		

¹O software SPSS foi utilizado para realizar o teste-t pareado. ²Graus de liberdade = 86. ³As médias são significativamente diferentes quando Sig. <0,05.

Os resultados indicaram que o período de reestudo gerou melhoria do desempenho dos alunos nas duas condições (A e B) que apresentaram devolutivas inespecíficas e específicas para os MCE (Figura 8.5).

Tabela 8.7. Resultados do teste-t pareado¹ para comparar o desempenho dos alunos da condição B (n=41), antes e após o período de reestudo.

Variável	Média	Valor de t ²	Sig. (bicaudal) ³
Nota (P2)	2,83±2,11	-3,27	0,002*
Nota (SC)	4,31±2,06		
Acertos (P2)	5,78±1,70	-3,27	0,002*
Acertos (SC)	7,05±1,91		
Erros (P2)	4,78±1,96	2,82	0,007*
Erros (SC)	3,78±1,54		
Sem resposta (P2)	1,44±1,29	1,21	0,23
Sem resposta (SC)	1,17±1,51		

¹O software SPSS foi utilizado para realizar o teste-t pareado. ²Graus de liberdade = 86. ³As médias são significativamente diferentes quando Sig. <0,05.

8.2.4 Percepções dos alunos quanto ao uso das devolutivas no reestudo dirigido

A partir do questionário eletrônico com escala Likert foi possível obter 72 respostas (83% do total de alunos que realizaram as atividades avaliativas) que apresentaram evidências do quanto os alunos concordaram ou discordaram das afirmativas que trataram da importância do uso das devolutivas, bem como o melhor tipo de devolutiva (específica ou inespecífica) para apoiar o reestudo dirigido.

A Tabela 8.8 mostra as afirmações usadas no questionário e os percentuais médios obtidos para a discordância parcial/total (1-4), a neutralidade (5) e a concordância parcial/total (6-9) para cada uma delas.

O percentual de concordância entre os alunos com relação ao uso das devolutivas foi maior quando se analisou as afirmativas que trataram das devolutivas específicas, afirmação 1 (88%) e afirmação 2 (94%). Essas, fizeram menção ao uso dos comentários com materiais adicionais inseridos pelo professor. Para as afirmativas que trataram das devolutivas inespecíficas, a maioria dos alunos também sinalizou que o seu uso foi positivo, afirmações 3 e 5 (53% cada). Apenas 26% dos alunos, concordaram que as devolutivas inespecíficas foram mais úteis do que as devolutivas específicas (afirmativa 4), o que sinaliza uma preferência da maioria por comentários do professor que retomam partes do conteúdo já discutido na disciplina.

De um modo geral, a maioria dos alunos (85%) concordou que as devolutivas foram úteis para rever partes do conteúdo (afirmação 6). Os alunos ainda sinalizaram que gostariam de receber comentários sempre que realizassem alguma atividade usando MCE (92%) e/ou TME (94%), afirmações 7 e 8, respectivamente. Por outro lado, apenas 7%

dos alunos concordou que os comentários não ajudaram a estudar a partir dos próprios erros (afirmação 9), e o mesmo percentual concordou que só a nota obtida na atividade foi suficiente para ajudar a estudar a partir dos próprios erros (afirmação 10).

Tabela 8.8. Percepções dos alunos quanto ao uso das devolutivas inseridas nos MCE.

Afirmações do questionário	Discordância parcial/total (Likert 1-4)	Neutralidade (Likert 5)	Concordância parcial/total (Likert 6-9)
1. Eu achei os comentários com conteúdo adicional (textos, vídeos, áudios etc.) úteis para melhorar meu entendimento sobre o tema em estudo.	5%	7%	88%
2. Os comentários com conteúdo adicional (textos, vídeos, áudios etc.) ajudam os alunos a estudarem a partir dos seus próprios erros.	3%	3%	94%
3. Eu achei os comentários genéricos “ <i>Essa proposição está errada</i> ” úteis para melhorar meu entendimento sobre o tema em estudo.	32%	15%	53%
4. Os comentários genéricos “ <i>Essa proposição está errada</i> ” foram mais úteis do que os comentários com conteúdo (textos, vídeos, áudios etc.).	67%	7%	26%
5. Os comentários genéricos “ <i>Essa proposição está errada</i> ” ajudam os alunos a estudarem a partir dos seus próprios erros.	32%	15%	53%
6. Os comentários que eu recebi foram úteis para rever partes específicas da matéria.	4%	11%	85%
7. Eu gostaria de receber comentários sempre que fizer uma atividade usando MCE.	3%	5%	92%
8. Eu gostaria de receber comentários sempre que fizer testes de múltipla escolha.	2%	4%	94%
9. Os comentários dos professores NÃO ajudam os alunos a estudarem a partir dos seus próprios erros.	88%	5%	7%
10. Somente a nota na atividade é suficiente para ajudar os alunos a estudarem a partir dos seus próprios erros.	82%	11%	7%

De acordo com a percepção dos alunos, ficou evidente que as devolutivas (inespecíficas e específicas) foram bem recebidas, pois elas ajudaram a melhorar a

compreensão do assunto abordado e contribuíram para que eles estudassem a partir dos próprios erros. As devolutivas específicas foram as preferidas pelos alunos, pois facilitaram a compreensão do conteúdo específico tratado nas proposições do MCE.

8.2.5 Conclusões a partir dos resultados apresentados

A apreciação conjunta dos resultados desse capítulo produz quatro conclusões sobre a utilização dos MCE:

1. O desempenho médio dos alunos melhorou após o período de reestudo dirigido com as devolutivas oferecidas pelo professor através dos mapas com erro.
2. O efeito do reestudo dirigido não foi igual para todos os alunos. A maioria apresentou melhora no desempenho, mas houve alunos com piora no desempenho na SC e com desempenho ruim (na P2 e na SC).
3. O tipo de devolutiva (específico e inespecífico) para diferentes conteúdos mapeados (Figuras 8.3 e 8.4) produziram melhora no desempenho dos alunos de forma similar (sem diferenças significativas).
4. Os alunos consideraram a devolutiva útil para organizar o período de reestudo dirigido. A utilidade percebida para as devolutivas específicas foi maior do que para as devolutivas inespecíficas (*“Essa proposição está errada”*).

Capítulo 9 | Considerações finais

9.1 Por que não estamos todos usando os mapas conceituais?

A motivação dessa tese nasceu da pergunta-título do artigo publicado por Kinchin (2001)⁶¹. Se o mapeamento conceitual é tão útil quanto parece, porque a sua utilização ainda não é frequente na maioria dos ambientes de aprendizagem? As crenças epistemológicas dos professores e o currículo conteudista contrariam a perspectiva construtivista do mapeamento conceitual. Porém, há desafios instrucionais que se somam a esses obstáculos, como ficou demonstrado a partir dos resultados de pesquisa que foram apresentados na Parte 2.

A inclusão da TCC ao espaço teórico que expande a Teoria da Aprendizagem Significativa (Figura 3.4) melhorou a capacidade descritiva dos desafios instrucionais em torno das atividades que usam mapas conceituais. O tempo para treinar os alunos e para fornecer uma devolutiva adequada, a partir dos conteúdos representados nos mapas, não é considerado pelos professores que se entusiasmam pelas promessas feitas na literatura da área. A aprendizagem significativa somente é estimulada pelo mapeamento conceitual quando a carga extrínseca é minimizada, garantindo a existência de recursos generativos para a manipulação e construção de esquemas. O treinamento na técnica é indispensável para que esse cenário se viabilize, rompendo a inclusão pontual e fugaz dos mapas conceituais no processo de ensino-aprendizagem. Por tudo isso, a pergunta de pesquisa (*A TCC é útil para descrever os desafios instrucionais associados ao uso dos mapas conceituais no Ensino Superior?*) é respondida de forma afirmativa. Os limites da Teoria da Aprendizagem Significativa não são suficientes para iluminar a discussão sobre os desafios instrucionais, que também merecem ser contemplados por professores e pesquisadores que se interessam por essa técnica de representação do conhecimento.

Kinchin (2001) propõe um ciclo formado por mudança, ensino e aprendizagem para representar a ecologia de ensino adequada (Figura 9.1). Ele ressalta as relações mútuas entre esses elementos, que podem ser lidos em qualquer direção no ciclo que apresenta a reflexão sobre a prática como elemento central. Os desafios instrucionais e o planejamento a ser feito para superá-los, precisam ser inseridos para descrever a ecologia de ensino adequada com mais precisão. A Figura 9.2 apresenta uma proposta de modificação do ciclo original, incluindo o planejamento instrucional como um elemento

⁶¹ If concept mapping is so helpful to learning biology, why aren't we all doing it?

que faz a conexão entre o ensino e a aprendizagem significativa. Deve-se ressaltar que os ciclos das Figuras 9.1 e 9.2 extrapolam as discussões que, nessa tese, foram centradas no uso dos mapas conceituais no Ensino Superior.

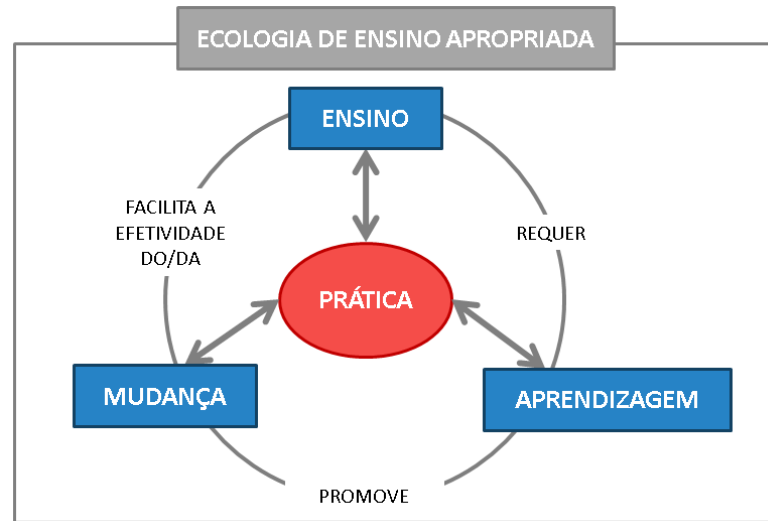


Figura 9.1. Ciclo de mudança, ensino e aprendizagem proposto por Kinchin (2001).

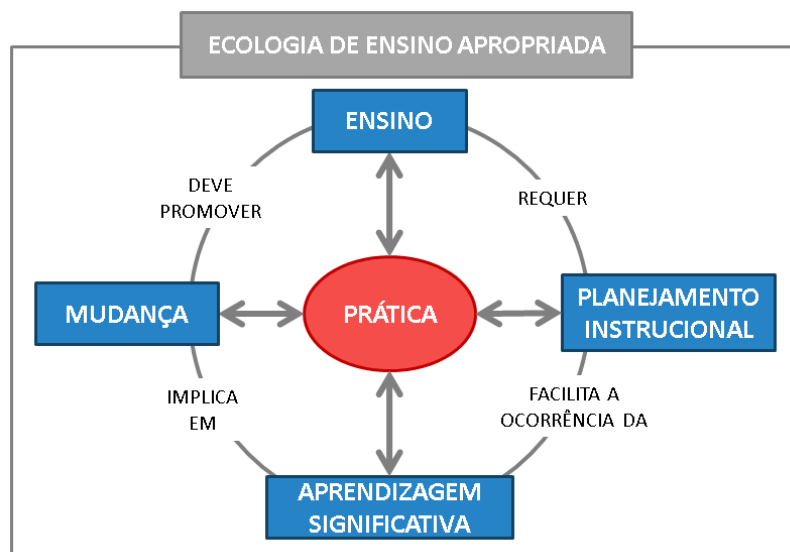


Figura 9.2. Releitura do ciclo de mudança, ensino e aprendizagem para contemplar o planejamento instrucional. As relações se iniciam em ensino, levando à aprendizagem significativa.

9.2 Quem deve ser o mapeador?

O princípio da diversidade de estratégias de ensino (Tabela 3.1) se soma aos argumentos relacionados ao planejamento instrucional para propor que professor e alunos devem atuar como elaboradores dos mapas conceituais nos ambientes de aprendizagem. A prevalência de atividades que colocam os alunos na condição de mapeadores precisa ser revisada (Correia, Ballego e Nascimento, 2020). O professor, especialista no tema de estudo, tem condições melhores de elaborar mapas conceituais

evitando a sobrecarga cognitiva. A partir desses mapas, uma série de atividades podem ser desenvolvidas para potencializar a negociação de significados entre os alunos.

A Figura 9.3 apresenta esquematicamente uma sequência de atividades baseada nos mapas conceituais que pode ser desenvolvida ao longo de qualquer disciplina. Um período inicial de treinamento na técnica é necessário para reduzir a carga extrínseca dos alunos, antes que eles assumam o papel de mapeadores. Por esse motivo, os mapas elaborados pelo professor podem ser utilizados nas atividades iniciais (A1-A4), como forma de aproximar os alunos dos fundamentos dos mapas conceituais. O conteúdo específico da disciplina é trabalhado nessas atividades, sem que se comprometa o tempo destinado aos conteúdos que precisam ser trabalhados.

As atividades após o período de treinamento (An) podem contemplar os alunos e o professor como mapeadores, ampliando o leque de possibilidades de inserção dos mapas conceituais nos ambientes de aprendizagem. No caso dos alunos, mapas individuais e colaborativos podem ser solicitados. A avaliação entre pares é uma forma de intensificar as discussões sobre os conceitos e as suas relações, favorecendo a colaboração horizontalizada (Figura 5.5). O professor pode investir tempo para fazer uma avaliação pormenorizada do mapa final que é resultado das interações entre os alunos.

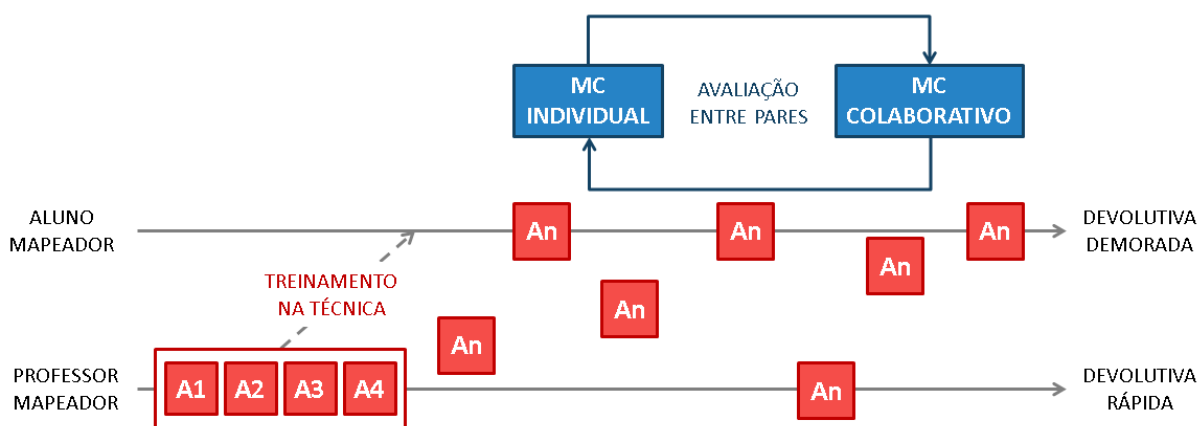


Figura 9.3. Representação esquemática de uma sequência de atividades (A) baseadas nos mapas conceituais que podem ser desenvolvidas ao longo de uma disciplina. Os responsáveis pela elaboração do mapa se alternam após um período inicial de treinamento dos alunos na técnica de mapeamento conceitual.

9.2.1 Diversificação das atividades baseadas no mapa do professor

As atividades que utilizam mapas elaborados pelo professor também permitem várias possibilidades de acionamento dos alunos. Além do mapa com erros, já apresentada com detalhes na tese, outras atividades podem ser criadas a partir do mapa do professor. A Figura 9.4 apresenta um mapa conceitual elaborado pelo autor da tese, para representar as principais relações conceituais dos conteúdos trabalhados em quatro

aulas sequenciais sobre o universo. Note que a rede proposicional, contendo 23 conceitos e 26 proposições, foi desenvolvida com a finalidade de responder à pergunta focal “O que sabemos sobre o universo após as aulas da disciplina?”. O processo de elaboração e revisão do mapa é uma oportunidade para o professor:

1. desenvolver uma visão sistêmica sobre os conteúdos dessas aulas,
2. identificar quais são os conceitos mais relevantes para a compreensão do tema,
3. localizar onde estão os principais obstáculos de aprendizagem a serem superados pelos alunos, e
4. avaliar a adequação dos materiais de estudo escolhidos, bem como definir a melhor organização sequencial dos conteúdos ao longo das aulas.

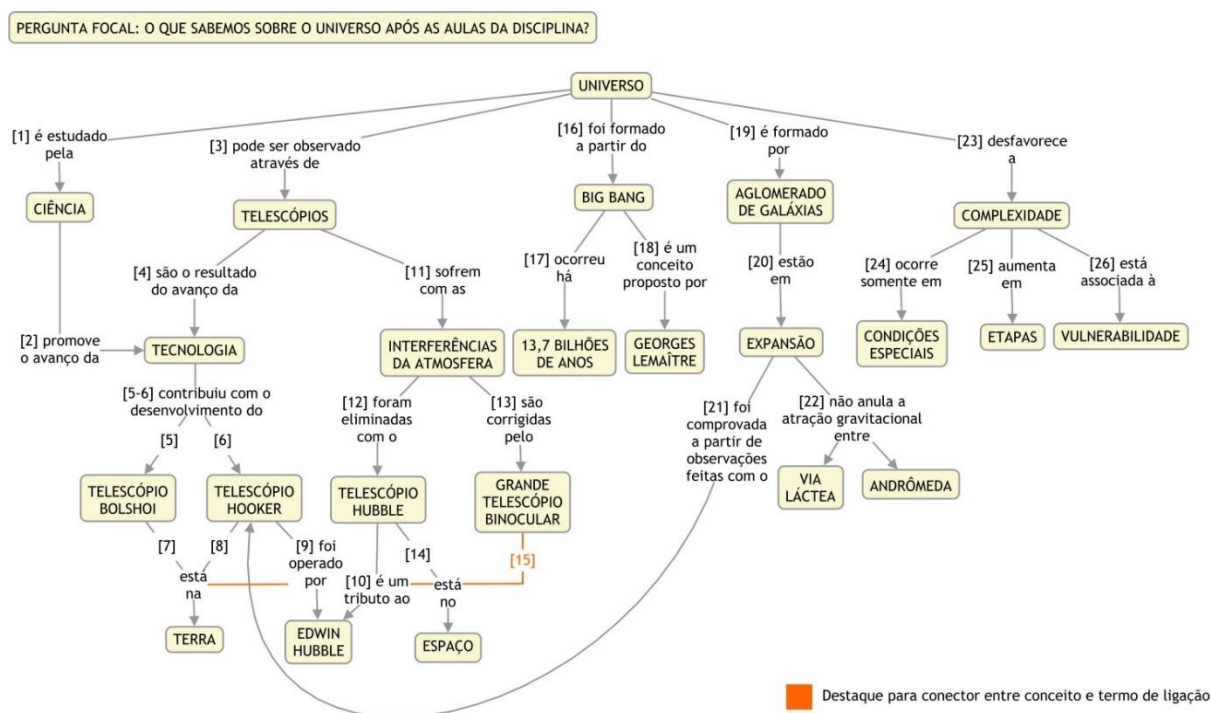


Figura 9.4. Mapa conceitual elaborado pelo autor da tese para representar de forma sistêmica os conteúdos de quatro aulas da disciplina Ciências da Natureza.

Esse mapa pode ser levado à sala de aula e apresentado aos alunos, numa atividade de fechamento desse bloco temático. O professor pode projetar o mapa e discutir as relações conceituais para sistematizar o conteúdo das aulas. Outra possibilidade é desenvolver um organizador prévio, a ser utilizado logo no início de uma sequência de aulas. Nesse caso, o objetivo é preparar os alunos para os conteúdos que serão apresentados, destacando os conceitos mais centrais e abrangentes que sustentam as discussões subsequentes. Em outras palavras, o professor cria um “plano de voo” geral para o bloco temático, sem detalhar o que será visto em cada uma delas. O uso de organizadores prévios foi proposto por Ausubel para gerar uma ponte cognitiva entre os novos conhecimentos e os conhecimentos prévios já existentes na estrutura cognitiva dos

alunos (Ausubel, 2000; Moreira, 2016). O professor pode utilizar o mapa da Figura 9.4 como ponto de partida para a criação de um organizador prévio (Figura 9.5), que apresenta somente os conceitos mais centrais e abrangentes sobre o conteúdo.

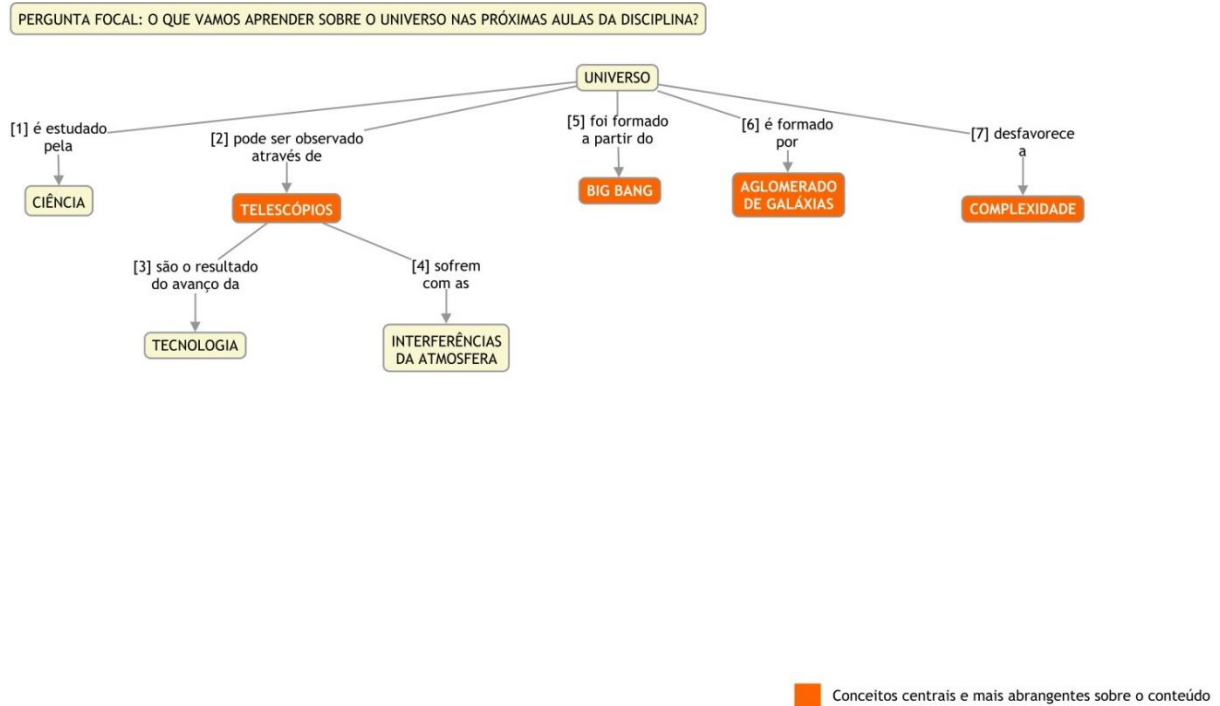


Figura 9.5. Exemplo de organizador prévio na forma de mapa conceitual, desenvolvido a partir do mapa do professor. Várias proposições foram removidas e a pergunta focal foi modificada.

Atividades de elaboração de mapas conceituais pelos alunos podem ser subsidiadas por estruturas parcialmente desenvolvidas, como a apresentada na Figura 9.6. Esse mapa foi criado a partir de uma simplificação do mapa do professor (Figura 9.4) e sua rede proposicional contém 12 conceitos e 11 proposições. Os conceitos retirados ($n=11$) formam um banco que pode (ou não) ser disponibilizado aos alunos. As atividades a serem desenvolvidas a partir desse mapa conceitual podem valorizar:

1. cada aluno trabalhando individualmente na expansão da rede proposicional,
2. a formação de pequenos grupos para estimular as discussões entre os alunos, e
3. a participação do professor mediando a construção do mapa conceitual com a turma toda.

O mapa conceitual parcialmente desenvolvido facilita a participação dos alunos como mapeadores, porque ele fornece um ponto de partida para a inclusão de novos conceitos que orienta a atividade. Ela é mais simples do que construir um mapa por completo, a partir de uma folha em branco. Além disso, a mediação do professor pode ser feita durante a aula para que as contribuições apresentadas pelos alunos se aproximem das relações conceitualmente corretas. Esses aspectos reduzem a necessidade de treinar os alunos na técnica de mapeamento conceitual. Quando o treinamento for indispensável,

o professor pode explorar as atividades baseadas nos mapas parcialmente desenvolvidos como um dos exercícios a serem apresentados aos iniciantes.

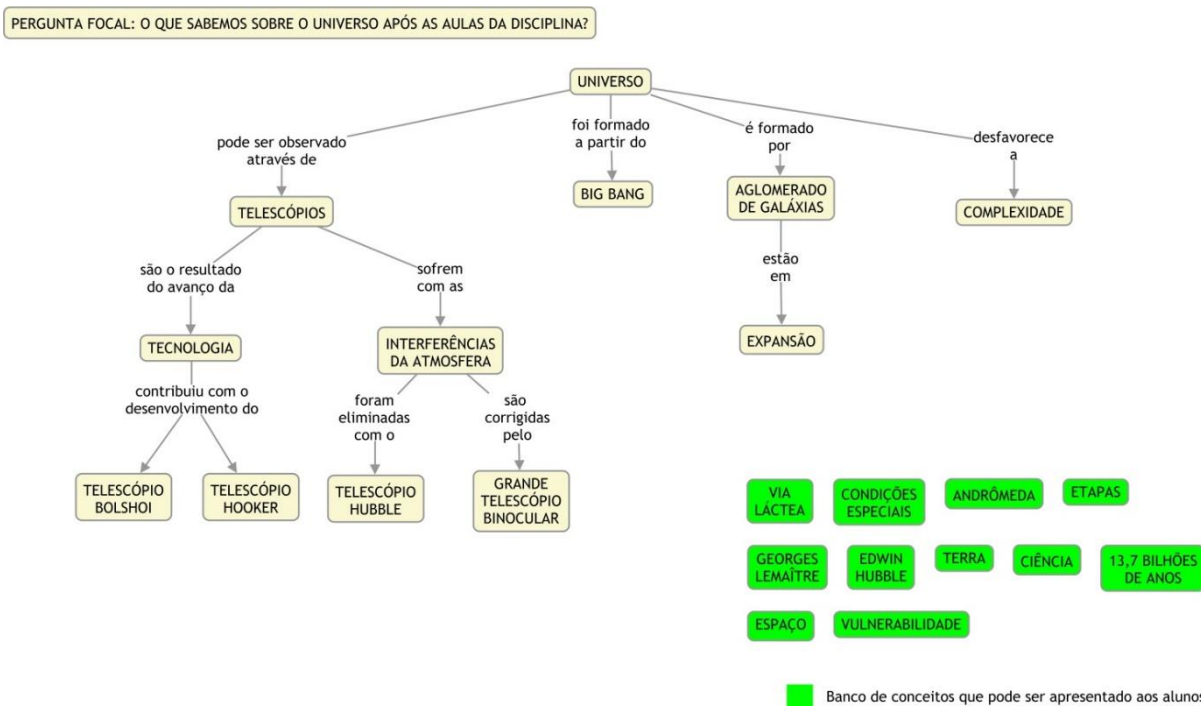


Figura 9.6. Mapa conceitual parcialmente desenvolvido a ser utilizado em atividades elaborativas na sala de aula. O banco de conceitos pode (ou não) ser oferecido, dependendo dos objetivos a serem atingidos pelo professor.

A articulação entre diferentes materiais de estudo pode ser importante para a compreensão dos conteúdos trabalhados em aula. Nesse caso, os alunos devem explorar textos, vídeos, exercícios e o que mais foi oferecido pelo professor para chegar em uma síntese que vincule os conceitos em um quadro coerente. Uma forma rápida de verificar o engajamento dos alunos com os materiais de estudo é a partir do mapa do professor (Figura 9.4), que conhece *a priori* a fonte das relações conceituais incluídas na rede proposicional. A atividade proposta aos alunos consiste na identificação dos materiais de estudo que originaram os conceitos ($n=23$) e as proposições ($n=26$) do mapa, utilizando cores específicas para representar cada material de interesse. As respostas dos alunos podem ser rapidamente comparadas com o mapa da Figura 9.7, organizado em cores que indicam os vídeos e o texto que foram utilizados nas aulas sobre o universo. O professor pode avaliar se há algum material que não foi devidamente explorado pelos alunos para, em seguida, alertá-los sobre a necessidade de estudá-lo.

Nossa experiência com essa atividade mostrou que os alunos da disciplina fizeram uma boa identificação dos conceitos relacionados ao documentário *“Gigantes da Engenharia: Telescópios”* (amarelo) e ao texto *“O ovo cósmico”* (laranja). O professor teve indícios de que os conteúdos desses materiais foram adequadamente trabalhados. Por

outro lado, os conceitos referentes ao vídeo “A história do universo em 18 minutos” (verde) não foram relacionados com esse material pela maioria dos alunos. Esse padrão destoante foi explicado pelo professor, que havia recomendado esse vídeo como tarefa extraclasse. As evidências obtidas com essa atividade revelaram que poucos alunos assistiram ao vídeo, conforme a solicitação do professor. A identificação dos materiais de estudo se mostrou uma atividade rápida (aproximadamente 20 minutos), que pôde ser desenvolvida pelos alunos de forma individual e em pequenos grupos, capaz de gerar informações precisas para que o professor avalie o engajamento dos alunos com os materiais da disciplina.

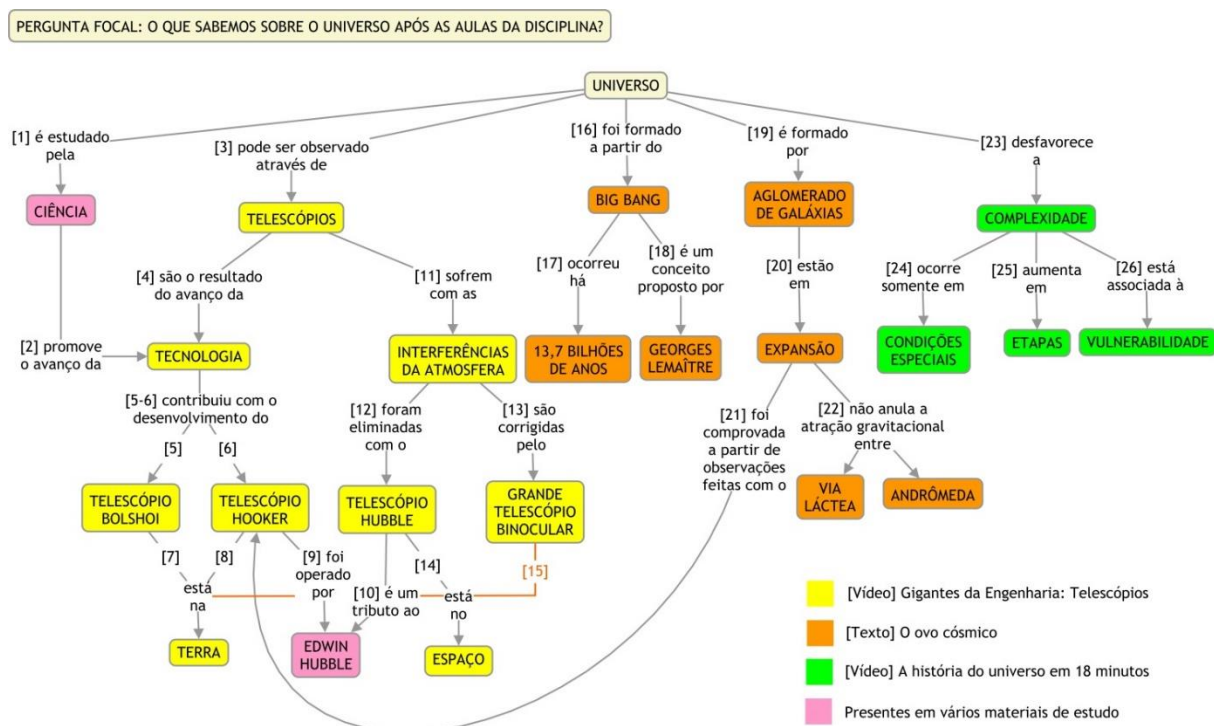


Figura 9.7. Mapa conceitual elaborado pelo professor para relacionar o conteúdo mapeado com os materiais de estudo utilizados na disciplina. Essa atividade permite verificar se os alunos trabalharam adequadamente com todos os materiais..

9.3 Limitações do trabalho desenvolvido até o momento

Ainda que o conjunto de pesquisas ofereça indícios consistentes sobre o valor da TCC para expandir o panorama teórico associado aos mapas conceituais, alguns aspectos merecem ser destacados como limitações.

1. Os dados apresentados foram coletados em contextos de pesquisa similares, sempre a partir da intervenção de um mesmo professor.
2. O conhecimento vinculado às ciências naturais predominou nos estudos investigativos.
3. As intervenções relacionadas com a avaliação da aprendizagem não contemplaram a comparação de mapas conceituais obtidos ao longo da disciplina. As inferências que podem ser feitas a partir de um único mapa conceitual se limitam a considerações sobre o entendimento conceitual dos alunos. Infelizmente, não foi

possível coletar evidências relacionadas com ocorrência da aprendizagem significativa. Para isso, pelo menos dois mapas conceituais precisam ser coletados em momentos distintos do período de estudo.

4. O protagonismo dos mapas conceituais restringiu a sua utilização combinada com outros instrumentos para a avaliação da aprendizagem. Desta forma, não se verificou como os mapas conceituais podem ser associados a outras atividades que avaliem o conhecimento procedimental, por exemplo.

9.4 Perspectivas futuras

As perspectivas futuras das pesquisas relacionadas com os mapas conceituais devem contemplar as limitações apontadas na seção anterior.

1. Outros contextos de pesquisa devem ser abordados para verificar como diferentes professores implementam os mapas conceituais nos seus ambientes de aprendizagem.
2. Disciplinas envolvendo conhecimentos que extrapolam às ciências naturais devem ser consideradas. As humanidades tendem a apresentar o conhecimento organizado em redes, diferente do que acontece com as disciplinas científicas que tem um conhecimento mais hierarquizado.
3. A utilização de mapas conceituais na avaliação da aprendizagem deve ocorrer em combinação com outros instrumentos avaliativos. Em situações reais é preciso avaliar os conhecimentos procedimentais e atitudinais por meio de outras alternativas, como solução de casos e trabalho empírico.

Além desses aspectos, as atuais pesquisas em desenvolvimento contemplam a utilização dos mapas conceituais para mediar entrevistas. Essa utilização é promissora para facilitar a elicitación de conhecimento. Os seguintes projetos ilustram como o mapeamento conceitual pode ser útil em trabalhos que extrapolam as aplicações apresentadas que valorizam as ocorrências imediatas do processo de ensino-aprendizagem.

1. Caracterização das concepções de professores sobre o papel da experimentação e avaliação.
2. Identificação de conceitos portais associados ao evolucionismo.

A crescente utilização de plataformas para o ensino não presencial estimulou o desenvolvimento de projetos de pesquisa para trabalhar os dados de acesso dos alunos aos conteúdos das disciplinas. A mineração de dados e de processos são novas abordagens que se combinam com o planejamento instrucional para fornecer ao professor um leque maior de informações sobre o andamento das suas aulas. Algoritmos sofisticados são utilizados para identificar padrões que são interpretados a partir do campo educacional. Os seguintes projetos ilustram essa nova linha de pesquisa, que é desenvolvida em parceria com os Professores Marcelo Fantinato e Sarajane Marques Peres, que coordenam o Grupo de Mineração de Processos na EACH-USP.

1. Avaliação da sala de aula invertida para verificar se os alunos se prepararam para as aulas antes das discussões presenciais.
2. Avaliação do engajamento dos alunos durante as aulas da disciplina Ciências da Natureza (2020), para verificar o impacto causado pelas mudanças impostas pela pandemia de COVID-2019.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, J.G.; CICUTO, C.A.T.; CORREIA, P.R.M. HOW CAN WE PREPARE EFFECTIVE CONCEPT MAPS? TRAINING PROCEDURES AND ASSESSMENT TOOLS TO EVALUATE MAPPERS' PROFICIENCY. *JOURNAL OF SCIENCE EDUCATION*, 15(1), 14-19, 2014. [LINK](#)

AGUIAR, J.G.; CORREIA, P.R.M. COMO FAZER BONS MAPAS CONCEITUAIS? ESTABELECENDO PARÂMETROS DE REFERÊNCIAS E PROPONDO ATIVIDADES DE TREINAMENTO. *REVISTA BRASILEIRA DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS*, 13(2), 141-157, 2013. [LINK](#)

AGUIAR, J.G.; CORREIA, P. R. M. FROM REPRESENTING TO MODELLING KNOWLEDGE: PROPOSING A TWO-STEP TRAINING FOR EXCELLENCE IN CONCEPT MAPPING. *KNOWLEDGE MANAGEMENT & E-LEARNING*, 9(3), 366-379, 2017. [DOI](#)

AUSUBEL, D.P. *THE ACQUISITION AND RETENTION OF KNOWLEDGE: A COGNITIVE VIEW*. DORDRECHT: KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, 2000.

BADDELEY, A. *HUMAN MEMORY*. BOSTON: ALLYN & BACON, 1998.

BANCO MUNDIAL. *WORLD DEVELOPMENT REPORT: LEARNING TO REALIZE EDUCATION'S PROMISE*. WASHINGTON: THE WORLD BANK, 2018. [LINK](#)

BARTLETT, F. *REMEMBERING: A STUDY IN EXPERIMENTAL AND SOCIAL PSYCHOLOGY*. NEW YORK: CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 1932.

BEEGE, M.; SCHNEIDER, S.; NEBEL, S.; GÜNTHER, D.R. A META-ANALYTIC REVIEW OF SIGNALING EFFECTS ON COGNITION AND LEARNING. IN *PROCEEDINGS OF 17TH EUROPEAN ASSOCIATION FOR RESEARCH ON LEARNING AND INSTRUCTION BIENNIAL CONFERENCE*, TAMPERE: UNIVERSITY OF TAMPERE, 2017. [DOI](#)

BEM-ZVI, R.; EYLON, B.-S.; SILBERSTEIN, J. IS AN ATOM OF COPPER MALLEABLE? *JOURNAL OF CHEMICAL EDUCATION*, 63(1), 64-66, 1986. [DOI](#)

CAÑAS, A.J.; BUNCH, L.; REISKA, P. CMAPANALYSIS: AN EXTENSIBLE CONCEPT MAP ANALYSIS TOOL. IN: *FOURTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCEPT MAPPING, CHILE, 2010*. A. J. CAÑAS; J. D. NOVAK; J. SANCHEZ (EDS.). *PROCEEDINGS OF THE FOURTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCEPT MAPPING*, v. 1, p. 73-83, SANTIAGO: UNIVERSIDAD DE SANTIAGO, 2010. [LINK](#)

CAÑAS, A.J.; HILL, G.; CARFF, R.; SURI, N.; LOTT, J.; GÓMEZ, G.; ESKRIDGE, T.C.; ARROYO, M.; CARVAJAL, R. CMAPTOOLS: A KNOWLEDGE MODELING AND SHARING ENVIRONMENT. IN A. J. CAÑAS, J. D. NOVAK & F. M. GONZÁLEZ (EDS.), *PROCEEDINGS OF THE FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCEPT MAPPING*. v. 1, p. 283-291, PAMPLONA: UNIVERSIDAD PÚBLICA DE NAVARRA, 2004. [LINK](#)

CAÑAS, A.J., ET AL. CONFIABILIDAD DE UNA TAXONOMÍA TOPOLÓGICA PARA MAPAS CONCEPTUALES. IN: A. J. CAÑAS; J. D. NOVAK (EDS.), *PROCEEDINGS OF THE SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCEPT MAPPING*, v. 1, p. 233-241, SAN JOSE, COSTA RICA: UNIVERSIDAD DE COSTA RICA, 2006. [LINK](#)

CAÑAS, A.J.; NOVAK, J.D. RE-EXAMINING THE FOUNDATIONS FOR EFFECTIVE USE OF CONCEPT MAPS. IN: A. J. CAÑAS; J. D. NOVAK (Eds.), PROCEEDINGS OF THE SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCEPT MAPPING, v. 1, p. 247-255, SAN JOSE: UNIVERSIDAD COSTA RICA, 2006. [LINK](#)

CAÑAS, A.J.; NOVAK, J.D.; REISKA, P. FREEDOM VS. RESTRICTION OF CONTENT AND STRUCTURE DURING CONCEPT MAPPING: POSSIBILITIES AND LIMITATIONS FOR CONSTRUCTION AND ASSESSMENT. IN: A. J. CAÑAS ET AL. (Eds.). PROCEEDINGS OF THE FIFTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCEPT MAPPING. VALLETTA: UNIVERSITY OF MALTA, 2012, v. 2, p. 192-202. [LINK](#)

CAÑAS, A.J.; NOVAK, J.D.; REISKA, P. HOW GOOD IS MY CONCEPT MAP? AM I A GOOD CMAPPER? KNOWLEDGE MANAGEMENT & E-LEARNING, 7(1), 6-19, 2015. [DOI](#)

CARLSON, R.; CHANDLER, P.; SWELLER, J. LEARNING AND UNDERSTANDING SCIENCE INSTRUCTIONAL MATERIAL. JOURNAL OF EDUCATIONAL PSYCHOLOGY, 95(3), 629-640, 2003. [DOI](#)

CICUTO, C.A.T.; CORREIA, P.R.M. ESTRUTURAS HIERÁRQUICAS INAPROPRIADAS OU LIMITADAS EM MAPAS CONCEITUAIS: UM PONTO DE PARTIDA PARA PROMOVER A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA. APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA EM REVISTA, 3(1), 1-11, 2013. [LINK](#)

CLUB OF ROME. THE PREDICAMENT OF MANKIND: QUEST FOR STRUCTURED RESPONSES TO GROWING WORLDWIDE COMPLEXITIES AND UNCERTAINTIES, A PROPOSAL. TECHNICAL REPORT. ROMA: THE CLUB OF ROME, 1970. [LINK](#)

COFFEY, J.W; HOFFMAN, R.; CAÑAS, A.J. CONCEPT MAP-BASED KNOWLEDGE MODELING: PERSPECTIVES FROM INFORMATION AND KNOWLEDGE VISUALIZATION. INFORMATION VISUALIZATION JOURNAL, 5(3), 192-201, 2006. [DOI](#)

CONRADTY, C.; BOGNER, F.X. IMPLEMENTATION OF CONCEPT MAPPING TO NOVICES: REASONS FOR ERRORS, A MATTER OF TECHNIQUE OR CONTENT? EDUCATIONAL STUDIES, 36(1), 47-58, 2010. [DOI](#)

COOPER, S.; SAHAMI, M. REFLECTIONS ON STANFORD'S MOOCs: NEW POSSIBILITIES IN ONLINE EDUCATION CREATE NEW CHALLENGES. COMMUNICATIONS OF THE ACM, 56(2), 28-30, 2013. [DOI](#)

CORRÊA, R.R.; CORREIA, P.R.M. MAPA CONCEITUAL COM PROPOSIÇÕES INCORRETAS: UMA NOVA PROPOSTA DE INSTRUMENTO AVALIATIVO. CAMINHOS DA EDUCAÇÃO MATEMÁTICA EM REVISTA, 9(4), 143-164, 2019. [LINK](#)

CORREIA, P.R.M.; AGUIAR, J.G. CONCEPT MAPPING INFORMED BY COGNITIVE LOAD THEORY: IMPLICATIONS FOR TASKS INVOLVING LEARNER-GENERATED CMAPS. IN: A. J. CAÑAS ET AL. (Eds.). PROCEEDINGS OF THE SIXTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCEPT MAPPING. SANTOS: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2014, v. 1, p.150-157. [LINK](#)

CORREIA, P.R.M.; AGUIAR, J.G. AVALIAÇÃO DA PROFICIÊNCIA EM MAPEAMENTO CONCEITUAL A PARTIR DA ANÁLISE ESTRUTURAL DA REDE PROPOSICIONAL. CIÊNCIA & EDUCAÇÃO, 23(1), 71-90, 2017. [DOI](#)

CORREIA, P.R.M.; AGUIAR, J.G.; SANTOS NETO, J.F. THE MULTIPLE USES OF CONCEPT MAPS FOR PLANNING AND DEVELOPING A MOOC ON CONCEPT MAPPING. IN: A. J. CAÑAS ET AL. (Eds.) PROCEEDINGS OF THE EITGH INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCEPT MAPPING. MEDELLÍN: UNIVERSIDAD EAFIT, 2018. [LINK](#)

CORREIA, P.R.M.; AGUIAR, J.G.; VIANA, A.D.; CABRAL, G.C.P. POR QUE VALE A PENA USAR MAPAS CONCEITUAIS NO ENSINO SUPERIOR? REVISTA DE GRADUAÇÃO USP, 1(1), 41-52, 2016. [DOI](#)

CORREIA, P.R.M.; BALLEGO, R.S.; NASCIMENTO, T.S. OS PROFESSORES PODEM FAZER MAPAS CONCEITUAIS? SIM, ELES DEVEM! REVISTA DE GRADUAÇÃO USP, 4(1), 49-59, 2020. [DOI](#)

CORREIA, P.R.M.; CABRAL, G.; AGUIAR, J.G. CMAPS WITH ERRORS: WHY NOT? COMPARING TWO CMAP-BASED ASSESSMENT TASK TO EVALUATE CONCEPTUAL UNDERSTANDING. IN: CAÑAS A. ET AL. (ED.). COMMUNICATIONS IN COMPUTER AND INFORMATION SCIENCE, CHAM: SPRINGER, v. 635, p. 1-15, 2016. [DOI](#)

CORREIA, P.R.M.; INFANTE-MALACHIAS, M.E. EXPANDED COLLABORATIVE LEARNING AND CONCEPT MAPPING: A ROAD TO EMPOWERING STUDENTS IN CLASSROOM. IN: P. L. TORRES; R. C. V. MARRIOTT (EDS.). HANDBOOK OF RESEARCH ON COLLABORATIVE LEARNING USING CONCEPT MAPPING, p. 283-300, HERSHEY: INFORMATION SCIENCE REFERENCE, 2009. [DOI](#)

CORREIA, P.R.M.; INFANTE-MALACHIAS, M.E.; GODOY, C.E.C. FROM THEORY TO PRACTICE: THE FOUNDATIONS FOR TRAINING STUDENTS TO MAKE COLLABORATIVE CONCEPT MAPS. IN: A. J. CAÑAS; J. D. NOVAK; P. REISKA; M. K. AHLBERG (EDS.). PROCEEDINGS OF THE THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCEPT MAPPING, v. 2, p. 146-153, ESTONIA: OÜ VALI PRESS, 2008. [LINK](#)

CRESS, U.; KNABEL, O.B. PREVIEWS IN HYPERTEXTS: EFFECTS ON NAVIGATION AND KNOWLEDGE ACQUISITION. JOURNAL OF COMPUTER ASSISTED LEARNING, 19(4), 517-527, 2003. [DOI](#)

DAVIES, M. CONCEPT MAPPING, MIND MAPPING AND ARGUMENT MAPPING: WHAT ARE THE DIFFERENCES AND DO THEY MATTER? HIGHER EDUCATION, 62(3), 279-301, 2011. [DOI](#)

DAWKINS, R. THE BLIND WATCHMAKER: WHY THE EVIDENCE OF EVOLUTION REVEALS A UNIVERSE WITHOUT DESIGN. NEW YORK: W. W. NORTON & COMPANY, INC, 1996.

DE JONG, T. COGNITIVE LOAD THEORY, EDUCATIONAL RESEARCH, AND INSTRUCTIONAL DESIGN: SOME FOOD FOR THOUGHT. INSTRUCTIONAL SCIENCE, 38(2), 105-134, 2010. [DOI](#)

DE MASI, D. O ÓCIO CRIATIVO. RIO DE JANEIRO: SEXTANTE, 2001.

EDMONDSON, K.M.; NOVAK, J.D. THE INTERPLAY OF SCIENTIFIC EPISTEMOLOGICAL VIEWS, LEARNING STRATEGIES, AND ATTITUDES OF COLLEGE STUDENTS. JOURNAL OF RESEARCH IN SCIENCE TEACHING, 32(6), 547-559, 1993. [DOI](#)

FIELD, A. DESCOBRINDO A ESTATÍSTICA UTILIZANDO O SPSS. SÃO PAULO: ARTMED, 2. ED, 2009.

FISCHER, F.; BRUHN, J.; GRASEL, C.; MANDL, H. FOSTERING COLLABORATIVE KNOWLEDGE CONSTRUCTION WITH VISUALIZATION TOOLS. LEARNING AND INSTRUCTION, 12(2), 213-232, 2002. [DOI](#)

FOLKER, S.; RITTER, H.; SICHELSCHMIDT, L. PROCESSING AND INTEGRATING MULTIMODAL MATERIAL – THE INFLUENCE OF COLOR-CODING. IN B. G. BUCCIARELLI & G. SALVENDY (EDS.), PROC. OF THE 27TH ANNUAL CONFERENCE OF THE COGNITIVE SCIENCE SOCIETY, 2005, p. 690-695. [LINK](#)

FRANÇA, A.C.G.; MARCONDES, M.E.R.; CARMO, M.P. ESTRUTURA ATÔMICA E FORMAÇÃO DE ÍONS: UMA ANÁLISE DAS IDEIAS DOS ALUNOS DO 3º ANO DO ENSINO MÉDIO. QUÍMICA NOVA NA ESCOLA, 31(4), 275-282, 2009. [LINK](#)

FRIEDMAN, T.L. O MUNDO É PLANO: UMA BREVE HISTÓRIA DO SÉCULO XXI. RIO DE JANEIRO: OBJETIVA, 2007.

GERSTNER S.; BOGNER, F. CONCEPT MAP STRUCTURE, GENDER AND TEACHING METHODS: AN INVESTIGATION OF STUDENTS' SCIENCE LEARNING. EDUCATIONAL RESEARCH, 51(4) 425-438, 2009. [DOI](#)

GOPHER, D.; BRAUNE, R. ON THE PSYCHOPHYSICS OF WORKLOAD: WHY BOTHER WITH SUBJECTIVE MEASURES? HUMAN FACTORS, 26(5) 519-532, 1984. [DOI](#)

HALL, R.H.; SIDIO-HALL, M.A. THE EFFECT OF COLOR ENHANCEMENT ON KNOWLEDGE MAP PROCESSING. JOURNAL OF EXPERIMENTAL EDUCATION, 62(3), 209-217, 1994A. [DOI](#)

HALL, R.H.; SIDIO-HALL, M.A. THE EFFECT OF STUDENT COLOR CODING OF KNOWLEDGE MAPS AND TEST ANXIETY ON STUDENT LEARNING. JOURNAL OF EXPERIMENTAL EDUCATION, 62(4), 291-302, 1994B. [DOI](#)

HAY, D.; KINCHIN, I.; LYGO-BAKER, S. MAKING LEARNING VISIBLE: THE ROLE OF CONCEPT MAPPING IN HIGHER EDUCATION. STUDIES IN HIGHER EDUCATION, 33(3), 295-311, 2008. [DOI](#)

HILBERT, T.S.; RENKL, A. CONCEPT MAPPING AS A FOLLOW-UP STRATEGY TO LEARNING FROM TEXTS: WHAT CHARACTERIZES GOOD AND POOR MAPPERS? INSTRUCTIONAL SCIENCE, 36(1), 53-73, 2008. [DOI](#)

JEUNG, H.J.; CHANDLER, P.; SWELLER, J. THE ROLE OF VISUAL INDICATORS IN DUAL SENSORY MODE INSTRUCTION? EDUCATIONAL PSYCHOLOGY, 17(3), 329-343, 1997. [DOI](#)

KALYUGA, S.; CHANDLER, P.; SWELLER, J. MANAGING SPLIT-ATTENTION AND REDUNDANCY IN MULTIMEDIA INSTRUCTION. APPLIED COGNITIVE PSYCHOLOGY, 13(4), 351-371, 1999. [DOI](#)

KARPICKE, J.D.; BLUNT, J.R. RESPONSE TO COMMENT ON "RETRIEVAL PRACTICE PRODUCES MORE LEARNING THAN ELABORATIVE STUDYING WITH CONCEPT MAPPING". SCIENCE, 334(453), 453-D, 2011. [DOI](#)

KINCHIN, I.M. IF CONCEPT MAPPING IS SO HELPFUL TO LEARNING BIOLOGY, WHY AREN'T WE ALL DOING IT?. INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENCE EDUCATION, 23(12), 1257-1269, 2001. [DOI](#)

KINCHIN, I.M. VISUALISING POWERFUL KNOWLEDGE TO DEVELOP THE EXPERT STUDENT. ROTTERDAM: SENSE PUBLISHERS, 2016.

KINCHIN, I.M.; ALIAS, M. EXPLOITING VARIATIONS IN CONCEPT MAP MORPHOLOGY AS A LESSON-PLANNING TOOL FOR TRAINEE TEACHERS IN HIGHER EDUCATION. JOURNAL OF IN-SERVICE EDUCATION, 31(3), 569-92, 2005. [LINK](#)

KINCHIN, I.M.; GRAVETT, K. CONCEPT MAPPING IN THE AGE OF DELEUZE: FRESH PERSPECTIVES AND NEW CHALLENGES. EDUCATIONAL SCIENCES, 10(3), 82, 2020. [DOI](#)

KINCHIN, I.M.; HAY, D.B.; ADAMS, A. HOW A QUALITATIVE APPROACH TO CONCEPT MAP ANALYSIS CAN BE USED TO AID LEARNING BY ILLUSTRATING PATTERNS OF CONCEPTUAL DEVELOPMENT. EDUCATIONAL RESEARCH, 42(1), 43-57, 2000. [DOI](#)

KINCHIN, I.M.; WINSTONE, N.E.; MEDLAND, E. CONSIDERING THE CONCEPT OF RECIPIENCE IN STUDENT LEARNING FROM A MODIFIED BERNSTEINIAN PERSPECTIVE. STUDIES IN HIGHER EDUCATION, 2020. [DOI](#)

KLEINBERG, J.; KAUFMAN, H. CONSTANCY IN SHORT-TERM MEMORY: BITS AND CHUNKS. JOURNAL OF EXPERIMENTAL PSYCHOLOGY, 90(2), 326-33, 1971. [DOI](#)

LIN, L.; ATKINSON, R.K. USING ANIMATIONS AND VISUAL CUEING TO SUPPORT LEARNING OF SCIENTIFIC CONCEPTS AND PROCESSES. COMPUTERS & EDUCATION, 56(3), 650-658, 2011. [DOI](#)

MAYER, R.E. ROTE VERSUS MEANINGFUL LEARNING. THEORY INTO PRACTICE, 41(4), 226-232, 2002. [DOI](#)

MAYER, R.E. SEEKING A SCIENCE OF INSTRUCTION. INSTRUCTIONAL SCIENCE, 38(2), 143-145, 2010. [DOI](#)

McCLURE, J.R.; SONAK, B.; SUEN, H.K. CONCEPT MAP ASSESSMENT OF CLASSROOM LEARNING: RELIABILITY, VALIDITY, AND LOGISTICAL PRACTICALITY. JOURNAL OF RESEARCH IN SCIENCE TEACHING, 36(4), 475-492, 1999. [DOI](#)

MELO, M.R.; LIMA-NETO, E.G. DIFICULDADES DE ENSINO E APRENDIZAGEM DOS MODELOS ATÔMICOS. QUÍMICA NOVA NA ESCOLA, 35(2), 112-122, 2013. [LINK](#)

MENEZES, L.C. ENSINAR CIÊNCIAS NO PRÓXIMO SÉCULO. IN: E.W. HAMBURGUER & C. MATOS (Eds.). O DESAFIO DE ENSINAR CIÊNCIAS NO SÉCULO XXI. o. 48-54. SÃO PAULO, EDUSP.

MILLER, G.A. THE MAGICAL NUMBER SEVEN, PLUS OR MINUS TWO: SOME LIMITS ON OUR CAPACITY FOR PROCESSING INFORMATION. PSYCHOLOGICAL REVIEW, 63(2), 81-97, 1956. [DOI](#)

MOON, B.M.; HOFFMAN, R.R.; NOVAK, J.D.; CAÑAS, A.J. APPLIED CONCEPT MAPPING: CAPTURING, ANALYZING, AND ORGANIZING KNOWLEDGE. BOCA RATON: CRC PRESS, 2011.

MOREIRA, M.A. A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA. BRASÍLIA: EDITORA DA UNB, 1999.

MOREIRA, M.A. A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA E SUA IMPLEMENTAÇÃO EM SALA DE AULA. BRASÍLIA: EDITORA DA UNB, 2006.

MOREIRA, M.A. APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA: DA VISÃO CLÁSSICA À VISÃO CRÍTICA, 2007. [LINK](#)

MOREIRA, M.A. APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA: A TEORIA E TEXTOS COMPLEMENTARES. SÃO PAULO: LIVRARIA DA FÍSICA, 2011.

MORENO, R. COGNITIVE LOAD THEORY: MORE FOOD FOR THOUGHT. INSTRUCTIONAL SCIENCE, 38(2), 135-141, 2010. [DOI](#)

NASCIMENTO, T.S.; SOARES, M.; CORREIA, P.R.M. O USO DE MAPAS CONCEITUAIS COM ERROS COMO FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO NO ENSINO DE CIÊNCIAS. CAMINHOS DA EDUCAÇÃO MATEMÁTICA EM REVISTA, 10(1), 147-159, 2020. [LINK](#)

NESBIT, J.C.; ADESOPE, O.O. LEARNING WITH CONCEPT AND KNOWLEDGE MAPS: A META-ANALYSIS. REVIEW OF EDUCATIONAL RESEARCH, 76(3), 413-448, 2006. [DOI](#)

NOVAK, J.D. CONCEPT MAPPING: A USEFUL TOOL FOR SCIENCE EDUCATION. JOURNAL OF RESEARCH IN SCIENCE TEACHING, 27(10), 937-949, 1990. [DOI](#)

NOVAK, J.D. HUMAN CONSTRUCTIVISM: A UNIFICATION OF PSYCHOLOGICAL AND EPISTEMOLOGICAL PHENOMENA IN MEANING MAKING. INTERNATIONAL JOURNAL OF PERSONAL CONSTRUCT PSYCHOLOGY, 6(2), 167-193, 1993. [DOI](#)

NOVAK, J.D. MEANINGFUL LEARNING: THE ESSENTIAL FACTOR FOR CONCEPTUAL CHANGE IN LIMITED OR INAPPROPRIATE PROPOSITIONAL HIERARCHIES LEADING TO EMPOWERMENT OF LEARNERS. SCIENCE EDUCATION, 86(4), 548-571, 2002. [DOI](#)

NOVAK, J.D. LEARNING, CREATING, AND USING KNOWLEDGE: CONCEPT MAPS AS FACILITATIVE TOOLS IN SCHOOLS AND CORPORATIONS. 2. ED. NEW YORK: ROUTLEDGE, 2010.

NOVAK, J.D.; CAÑAS, A.J. THE ORIGINS OF THE CONCEPT MAPPING TOOL AND THE CONTINUING EVOLUTION OF THE TOOL. INFORMATION VISUALIZATION JOURNAL, 5(3), 175-184, 2006. [DOI](#)

NOVAK, J.D.; CAÑAS, A.J. THE UNIVERSALITY AND UBIQUITOUSNESS OF CONCEPT MAPS. IN: FOURTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCEPT MAPPING, CHILE, 2010. A. J. CAÑAS; J. D. NOVAK; J. SANCHEZ (EDS.). PROCEEDINGS OF THE FOURTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCEPT MAPPING, V. 1, P. 1-10, SANTIAGO: UNIVERSIDAD DE SANTIAGO, 2010. [LINK](#)

NOVAK, J.D.; GOWIN, D.B. LEARNING HOW TO LEARN. NEW YORK: CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 1984. [DOI](#)

NOVAK, J.D.; MUSONDA, D. TWELVE-YEAR LONGITUDINAL STUDY OF SCIENCE CONCEPT LEARNING. AMERICAN EDUCATIONAL RESEARCH JOURNAL, 28(1), 117-157, 1991. [DOI](#)

OZCELIK, E.; KARAKUS, T.; KURSUN, E.; CAGILTAY, K. AN EYE-TRACKING STUDY OF HOW COLOR CODING AFFECTS MULTIMEDIA LEARNING. COMPUTERS & EDUCATION, 53(2), 445-453, 2009. [DOI](#)

PAAS, F.G.W.C. AN TRAINING STRATEGIES FOR ATTAINING TRANSFER OF PROBLEM-SOLVING SKILL IN STATISTICS: A COGNITIVE-LOAD APPROACH. JOURNAL OF EDUCATIONAL PSYCHOLOGY, 84(4), 429-434, 1992. [DOI](#)

PAAS, F.G.W.C.; RENKL, A.; SWELLER, J. COGNITIVE LOAD THEORY: INSTRUCTIONAL IMPLICATIONS OF THE INTERACTION BETWEEN INFORMATION STRUCTURES AND COGNITIVE ARCHITECTURE. INSTRUCTIONAL SCIENCE, 32, 1-8, 2004. [DOI](#)

PAAS, F.G.W.C.; VAN MERRIENBÖER, J.J.G. THE EFFICIENCY OF INSTRUCTIONAL CONDITIONS: AN APPROACH TO COMBINE MENTAL EFFORT AND PERFORMANCE MEASURES. HUMAN FACTORS, 35(4), 737-743, 1993. [DOI](#)

PAAS, F.G.W.C.; VAN MERRIENBÖER, J.J.G.; ADAM, J.J. MEASUREMENT OF COGNITIVE LOAD IN INSTRUCTIONAL RESEARCH. PERCEPTUAL AND MOTOR SKILLS, 79(1), 419-430, 1994. [DOI](#)

PAIVIO, A. MENTAL REPRESENTATIONS: A DUAL CODING APPROACH. OXFORD: OXFORD UNIVERSITY PRESS, 1990.

PIAGET, J. JUDGEMENT AND REASONING IN THE CHILD. NEW YORK: HARCOURT, 1928.

POLLOCK, E.; CHANDLER, P.; SWELLER, J. ASSIMILATING COMPLEX INFORMATION. LEARNING AND INSTRUCTION, 12(1), 61-86, 2002. [DOI](#)

POZO, J.I.; CRESPO, M.A.G. A APRENDIZAGEM E O ENSINO DE CIÊNCIAS: DO CONHECIMENTO COTIDIANO AO CONHECIMENTO CIENTÍFICO. 5. ED. PORTO ALEGRE: ARTMED, 2006.

RUIZ-PRIMO, M.A.; SHAVELSON, R.J. PROBLEMS AND ISSUES IN THE USE OF CONCEPT MAPS IN SCIENCE ASSESSMENT. JOURNAL OF RESEARCH IN SCIENCE TEACHING, 33(6), 569-600, 1996. [DOI](#)

SAFAYENI, F.; DERBENTSEVA, N.; CAÑAS, A.J. A THEORETICAL NOTE ON CONCEPT MAPS AND THE NEED FOR CYCLIC CONCEPT MAPS. JOURNAL OF RESEARCH IN SCIENCE TEACHING, 42(7), 741-766, 2005. [DOI](#)

SALMON, D.; KELLY, M. USING CONCEPT MAPPING TO FOSTER ADAPTIVE EXPERTISE: ENHANCING TEACHER METACOGNITIVE LEARNING TO IMPROVE STUDENT ACADEMIC PERFORMANCE. NEW YORK: PETER LANG PUBLISHING, 2015.

SENGE, P.M. THE FIFTH DISCIPLINE: THE ART & PRACTICE OF THE LEARNING ORGANIZATION. NEW YORK: DOUBLEDAY BUSINESS, 1994.

SILVA JR.; S.N.; ROMANO JR., J.G.; CORREIA, P.R.M. STRUCTURAL ANALYSIS OF CONCEPT MAPS TO EVALUATE THE STUDENTS' PROFICIENCY AS MAPPERS. IN: A. J. CAÑAS; J. D. NOVAK; J. SANCHEZ (Eds.). PROCEEDINGS OF THE FOURTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCEPT MAPPING, v. 1, p. 369-376, CHILE: UNIVERSIDAD DE SANTIAGO, 2010. [LINK](#)

SMITH, P.L.; RAGAN, T.J. INSTRUCTIONAL DESIGN. NEW YORK: JOHN WILEY & SONS, 1999.

SNOW, C.P. THE TWO CULTURES AND A SECOND LOOK: AN EXPANDED VERSION OF THE TWO CULTURES AND THE SCIENTIFIC REVOLUTION. CAMBRIDGE: CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 1998.

SWELLER, J. COGNITIVE LOAD DURING PROBLEM SOLVING: EFFECTS ON LEARNING. COGNITIVE SCIENCE, 12(2), 257-285, 1988. [DOI](#)

SWELLER, J. COGNITIVE TECHNOLOGY: SOME PROCEDURES FOR FACILITATING LEARNING AND PROBLEM SOLVING IN MATHEMATICS AND SCIENCE. JOURNAL OF EDUCATIONAL PSYCHOLOGY, 81(4), 457-466, 1989. [DOI](#)

SWELLER, J. COGNITIVE LOAD THEORY, LEARNING DIFFICULTY, AND INSTRUCTIONAL DESIGN. LEARNING AND INSTRUCTION, 4(4), 295-312, 1994. [DOI](#)

SWELLER, J.; AYRES, P.; KALYUGA, S. COGNITIVE LOAD THEORY. NEW YORK: SPRINGER, 2011.

TABER, K.S. UPPER SECONDARY STUDENTS' UNDERSTANDING OF THE BASIC PHYSICAL INTERACTIONS IN ANALOGOUS ATOMIC AND SOLAR SYSTEMS. *RESEARCH IN SCIENCE EDUCATION*, 43(4), 1377-1406, 2013. [DOI](#)

TINDALL-FORD, S.; CHANDLER, P.; SWELLER, J. WHEN TWO SENSORY MODES ARE BETTER THAN ONE. *JOURNAL OF EXPERIMENTAL PSYCHOLOGY: APPLIED*, 3(4), 257-287, 1997. [DOI](#)

UNDERWOOD, G.; FOULSHAM, T. VISUAL SALIENCY AND SEMANTIC INCONGRUENCY INFLUENCE EYE MOVEMENTS WHEN INSPECTING PICTURES. *QUARTERLY JOURNAL OF EXPERIMENTAL PSYCHOLOGY (Hove)*, 59(11), 1931-1949, 2006. [DOI](#)

UNESCO. TOWARDS KNOWLEDGE SOCIETIES: UNESCO WORLD REPORT. PARIS: UNESCO PUBLISHING, 2005. [LINK](#)

USBERCO, J.; SALVADOR, E. QUÍMICA. 5A ED. SÃO PAULO: SARAIVA, 2002.

VEKIRI, I. WHAT IS THE VALUE OF GRAPHICAL DISPLAYS IN LEARNING? *EDUCATIONAL PSYCHOLOGY REVIEW*, 14(3), 261-312, 2002. [DOI](#)

VIÉGAS, F.B.; WATTENBERG, M.; FEINBERG, J. PARTICIPATORY VISUALIZATION WITH WORDLE. *IEEE TRANSACTIONS ON VISUALIZATION AND COMPUTER GRAPHICS*, 15(6), 1137-1144, 2009. [DOI](#)

VYGOTSKY, L.S. MIND IN SOCIETY: THE DEVELOPMENT OF HIGHER PSYCHOLOGICAL PROCESSES. CAMBRIDGE: HARVARD UNIVERSITY PRESS, 1978.

WALLACE, D.S.; WEST, S.W.C.; WARE, A.; DANSEREAU, D.F. THE EFFECT OF KNOWLEDGE MAPS THAT INCORPORATE GESTALT PRINCIPLES OF LEARNING. *JOURNAL OF EXPERIMENTAL EDUCATION*, 67(1), 5-16, 1998. [DOI](#)

WANG, C.; BARROW, L.H. EXPLORING CONCEPTUAL FRAMEWORKS OF MODELS OF ATOMIC STRUCTURES AND PERIODIC VARIATIONS, CHEMICAL BONDING, AND MOLECULAR SHAPE AND POLARITY: A COMPARISON OF UNDERGRADUATE GENERAL CHEMISTRY STUDENTS WITH HIGH AND LOW LEVELS OF CONTENT KNOWLEDGE. *CHEMISTRY EDUCATION RESEARCH AND PRACTICE*, 14(1), 130-146, 2013. [DOI](#)

WERTHEIMER, M. LAWS OF ORGANIZATION IN PERCEPTUAL FORMS. IN W. ELLIS. A SOURCE BOOK OF GESTALT PSYCHOLOGY. LONDRES: ROUTLEDGE & KEGAN PAUL, 1938, p. 71-88.

WERTHEIMER, M. PRINCIPLES OF PERCEPTUAL ORGANIZATION. IN D. C. BEARDSLEE & M. WERTHEIMER (EDS.), READINGS IN PERCEPTION. PRINCETON: VAN NOSTRAND, 1958, p. 115-135.