

# WebQuests como recurso instruccional e avaliativo em Física baseado na teoria da aprendizagem significativa<sup>1</sup>

WebQuests as an instructional and evaluative resource in Physics based on the theory of meaningful learning

Olavo Leopoldino Silva Filho <sup>1</sup>, Marcello Ferreira <sup>1\*</sup>.

<sup>1</sup> Universidade de Brasília, Instituto de Física, Centro Internacional de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física.

\*E-mail: [marcellof@unb.br](mailto:marcellof@unb.br)

Recibido el 14 de marzo de 2023 | Aceptado el 10 de mayo 2023

## Resumo

Reiteradas constatações desenvolvidas em pesquisas acadêmicas e em evidências empíricas de professores e organizações avaliativas acerca do estado do ensino de física no Brasil tem-no colocado como objeto de preocupação epistemológica, teórica e metodológica. Neste artigo, buscamos expressar uma reflexão e oferecer uma alternativa de ação instrucional a partir de uma interpretação da Teoria da Aprendizagem Significativa, fundamentação abundante na área, neste recorte associada ao uso de *WebQuests*, estratégia didática e avaliativa aderente aos estudos contemporâneos acerca da cognição e à interatividade com tecnologias digitais da informação e da comunicação. Evidenciando as etapas de levantamento de subsunçores, organização avançada, diferenciação progressiva e reconciliação integrativa, documentamos as bases e exploramos uma implementação computacional que concretiza o amálgama referido e ilustra possibilidades de desenvolvimento de metodologias de ensino articuladas a tecnologias digitais interativas.

**Palavras chave:** *WebQuests*; Teoria da aprendizagem significativa; Ensino de física; Interatividade

## Abstract

In the face of repeated findings in academic research and in empirical evidence from teachers and evaluative organizations, the teaching of physics in Brazil has been an object of epistemological, theoretical and methodological concern. In this article, we seek to express a reflection and offer an alternative instructional action based on an interpretation of the Theory of Meaningful Learning, abundant foundation in the area, associated with the use of *WebQuests*, a didactic and evaluative strategy adherent to contemporary studies on cognition and interactivity with digital information and communication technologies. Evidencing steps of surveying subsumers, advanced organization, progressive differentiation and integrative reconciliation, we document the bases and explore a computational implementation that mimics the aforementioned amalgam and illustrates possibilities for the development of teaching methodologies articulated with interactive digital technologies.

**Keywords:** *WebQuests*; Meaningful learning theory; Physics teaching; Interactivity

<sup>1</sup> Este texto corresponde a uma versão revista e ampliada de Silva Filho e Ferreira (2022c) e Silva Filha e Ferreira (2022d).

## I. INTRODUÇÃO

No contexto do ensino de física em escolas brasileiras e, em particular, naquele de formação continuada levada a cabo por iniciativas como o Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), tem-se evidenciado forte penetração das ideias de David Ausubel e de sua Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS). As justificativas para isso perpassam o traço típico das políticas curriculares brasileiras, a arquitetura da formação inicial de professores na área e as influências das correntes de pesquisa que deram origem e continuam influenciando a Pós-Graduação em ensino de física e em educação científica de forma mais ampla.

Entretanto, são muitas as críticas que se fazem sobre a eventual *correção* no que concerne ao uso desse referencial teórico (Silva Filho e Ferreira, 2018; Silva Filho *et al.*, 2021; Ferreira *et al.*, 2021a; Ferreira *et al.*, 2021 e Moreira, 2022). Para ficar apenas em uma delas, é possível encontrar o questionamento sobre se a etapa de levantamento de subsunçores (Silva Filho e Ferreira, 2022), que o próprio Ausubel afirmava ser o cerne de sua abordagem, seria, de fato, realizada e, principalmente, de maneira adequada. Outra questão de *implementação metodológica* do referencial teórico da TAS refere-se ao cumprimento de todas as suas etapas constitutivas.

Para além desses elementos, é interessante considerar que a TAS, como veremos, se adequa de maneira especialmente plástica à noção de *personalização do ensino* a um amplo conjunto de disciplinas escolares, em particular no contexto de turmas com vinte ou mais estudantes, podendo representar avanço significativo nessa questão, se for possível encontrar um mecanismo de *automação* dos elementos envolvidos. Assim, ganha-se tanto na perspectiva eminentemente teórica, ao se fazer uma implementação adequada de um referencial significativo, ao mesmo tempo que se aborda uma questão relevante para o ensino, que é aquela de sua personalização. Tais questões ganham ainda mais relevo em um contexto do ensino de física, sabidamente uma disciplina que traz, de modo geral, dificuldades aos estudantes, não raro por questões relacionadas aos seus conhecimentos prévios, à sua epistemologia complexa e às suas teorias e metodologias empíricas (dedutivas, em geral), proposicionais, modeladas, representacionais e abstratas.

O presente trabalho tem por objetivo apresentar um modelo de implementação de todas as etapas da TAS a partir da adoção das *WebQuests* – tipologia de desenho instrucional e avaliativo que será detalhado à frente. Objetiva, ainda, apresentar a maneira como tal implementação pode ser automatizada e, com isso, incorporar os elementos de personalização do ensino desejados.

Na segunda seção, apresentamos os principais elementos, relevantes para este trabalho, da TAS. Na terceira seção, apresentamos o modelo geral de uma *WebQuest* e seus principais conceitos estruturantes. A seção quatro é destinada à correlação teórica entre o modelo geral de *WebQuest* e os princípios diretores da TAS. Na quinta seção, explicitamos a maneira como a correlação entre TAS e *WebQuest* pode ser efetivada de maneira mais concreta, fazendo tal correlação assentar sobre tipos de itens que podem ser adotados em tal desenho instrucional e avaliativo. A seção VI apresenta os rudimentos da implementação computacional do sistema e, na seção VII, por fim, desenvolvemos nossas considerações finais.

## II. ELEMENTOS DA TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Esta seção tem por objetivo descrever, sucintamente, a Teoria da Aprendizagem Significativa, voltando-se para os principais elementos relacionados aos interesses precípuos deste trabalho.

De maneira geral, o conceito mais fundamental na TAS, uma abordagem que se insere no âmbito de uma Teoria de Aprendizagem de característica cognitivista, é aquele de *estrutura cognitiva*. Assim, os estudantes são modelados como possuindo uma estrutura cognitiva capaz de *assimilar* novos conhecimentos. Essa assimilação, entretanto, depende de algumas condições para que se possa considerá-la *significativa*. Assim, inicialmente, é crucial que a estrutura cognitiva do estudante contenha elementos que possam *ancorar* os novos conhecimentos. Tais *conhecimentos prévios* são chamados de *subsunçores* e a eles é atribuída a função de servir de âncoras cognitivas para o novo conhecimento – note que esse elemento da TAS se refere de modo especialmente importante à questão do ensino personalizado, uma vez que as estruturas cognitivas dos estudantes poderão, e, no mais das vezes, irão se diferenciar significativamente. De modo geral, entretanto, os estudantes possuem ideias difusas sobre aquilo que se deseja ensinar a eles, ou seja, os subsunçores estão ainda desorganizados. Assim, para que haja uma assimilação significativa do conhecimento novo, faz-se necessário, na maioria mais das vezes, que os subsunçores dos estudantes passem por uma etapa de *organização avançada*, com vistas a prepará-los para que possam ancorar os conhecimentos novos com efetividade. Uma vez tendo levantado os subsunçores de cada estudante e havendo-se organizado tais subsunçores, passa-se, portanto, ao ensino dos novos conceitos. Esse ensino, como preconiza a TAS, envolve tanto uma etapa analítica, em que cada conceito envolvido é considerado em si mesmo, em suas especificidades, dando a esta etapa o nome de diferenciação progressiva, quanto uma etapa sintética, em que os conceitos, já devidamente

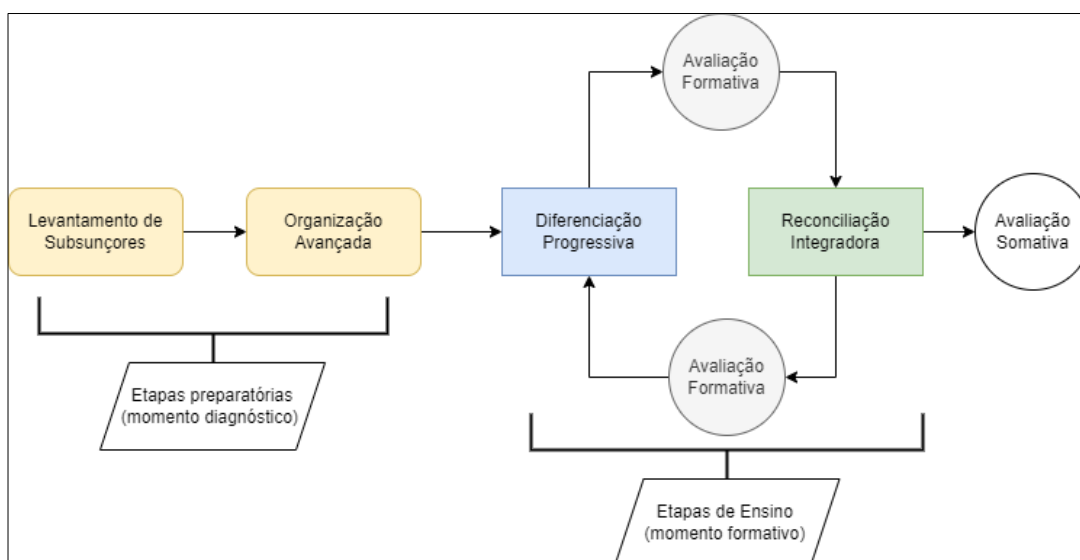
considerados do ponto de vista analítico, são agora feitos interagir com os demais conceitos para a construção de uma visão o mais conceitualmente conectada possível.

A TAS reconhece que entre a aprendizagem significativa, que segue os elementos acima apresentados, e uma aprendizagem essencialmente mecânica, voltada para a mera memorização (de fórmulas, conceitos etc.), há um *continuum* ou uma gradação que dependerá, essencialmente, da disponibilidade dos subsunçores nas estruturas cognitivas dos estudantes.

Assim, como dissemos anteriormente, de maneira resumida, a TAS preconiza quatro etapas que não podem ser olvidadas no processo de ensino, sob o risco de não se ter dela uma correta implementação. Tais etapas são:

- a) o levantamento de subsunçores sobre o tema que se está tentando ensinar, que podem ou não estar presentes na estrutura cognitiva do indivíduo;
- b) a organização avançada desses subsunçores, no sentido de direcionar esse conteúdo mental para favorecer o aprendizado dos conceitos que se deseja ensinar;
- c) a diferenciação progressiva dos conceitos a ensinar, para que uma primeira apresentação genérica do tema possa sofrer um processo de análise e especificação de significados e interrelações conceituais; e
- d) a reconciliação integrativa dos conceitos a ensinar, que se presta a um processo de síntese conceitual, de modo a viabilizar o retorno à apresentação mais genérica inicial, desta feita com conteúdo mais preciso dos conceitos envolvidos e, portanto, em abordagem mais profunda.

A figura 1, a seguir, apresenta graficamente o encadeamento dessas etapas.



**FIGURA 1.** Momentos da Teoria da Aprendizagem Significativa. Fonte: elaboração própria (2022).

Além disso, a TAS, por suas características, apresenta maior correlação com processos diagnósticos (momento a primeira etapa) e formativos de ensino (segunda etapa), ainda que também possa se apresentar segundo processos somativos. O viés formativo é uma característica que se encaixa com o modelo de ensino das *WebQuests* à perfeição, como veremos a seguir.

### III. ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DAS WEBQUESTS

A estrutura de uma *WebQuest* implementa um formato de atividade por recursos da internet, orientado para a investigação, que visa ao engajamento do pensamento crítico, reflexivo e criativo por meio de cinco componentes elementares:

1) Introdução: está associada à ativação do interesse do estudante e pode ser usada para fins de contextualização do tema a ser abordado, eventualmente já indicando a importância do que o estudante irá realizar. Em função desses elementos, ela fornece um horizonte de articulação conceitual, ainda que inicialmente genérico, importante para garantir o engajamento do estudante a partir de sua orientação. Nesse sentido, é um elemento importante da relação que as *WebQuests* efetivam com a TAS, uma vez que uma das estratégias de ensino preconizadas pela TAS é justamente a apresentação, em termos gerais, daquilo que se deseja ensinar/aprender;

2) Tarefa: essa parte da *WebQuest* está voltada para a construção do produto cognitivo visado, cuja importância foi identificada na introdução. Nela são dadas as especificações gerais daquilo que se espera obter com a realização

bem-sucedida da *WebQuest*. É importante, portanto, que a tarefa esteja adequadamente correlacionada com a introdução, uma vez que estabelecerá uma primeira especificação desta. De modo geral, a Tarefa é a parte da *WebQuest* que estabelece os objetivos a serem perseguidos na sua realização;

3) Processo: nesta parte são especificados os procedimentos que o estudante deve seguir e os recursos disponíveis para a realização da tarefa. Uma vez que uma *WebQuest* é uma realização *guiada* de uma tarefa por meio de recursos disponíveis na Web, esta etapa funciona a partir de um processo de *curadoria* dos conhecimentos disponíveis na Web, seja na forma de áudios (podcasts etc.), vídeos (YouTube etc.), reportagens e outras formas de apresentação. Em um contexto de aprendizagem hipertextual, esse elemento é *estruturante* das *WebQuests*, pois dá condições (ainda que não garanta) que o estudante poderá encontrar referências confiáveis e com todo o conteúdo necessário para a realização da Tarefa;

4) Avaliação: nesta etapa, são apresentados os instrumentos e indicadores de desempenho, que servirão ao estudante de guia para a compreensão de sua própria evolução no tema, e na consecução da Tarefa, à medida que progride na efetiva resolução dos itens da *WebQuest*. Além disso, fornece um critério de importância relativa de cada um dos itens presentes na *WebQuest* para a compreensão dos conceitos a ensinar, que é o objetivo primário. Além disso, do ponto de vista da automação e da personalização do ensino, esse elemento é crucial, uma vez que constitui uma rede de referenciamentos à Web que, de modo geral, será percorrida de diferentes maneiras, por diferentes estudantes, em função de suas estruturas cognitivas particulares;

5) Conclusão: é a etapa em que é feita a retomada, síntese, reflexão e ampliação dos conhecimentos visados. Tem por função mostrar que aquilo que se realizou, basicamente a Tarefa, é uma pequena parte do que há no campo de estudo, e que conquistas mais profundas e relevantes podem ser ainda almejadas (Ferreira *et al.*, 2022). Deve sempre levar em consideração aquilo que é apresentado na introdução, uma vez que visa apresentar uma curadoria, ainda que breve, de sites e recursos Web que, a partir do que foi feito na *WebQuest*, podem conduzir o estudante a uma apreensão mais profícua do que foi estudado. Aqui, portanto, também é crucial o elemento de curadoria.

Assim, como elemento principal, em uma *WebQuest*, os conhecimentos necessários para a realização da tarefa estão sempre fornecidos como links para conteúdo *online* disponível aos estudantes. Nesse sentido, a *WebQuest* intenta fornecer aos estudantes um processo formativo em que as fontes relevantes são a eles apresentadas em sua própria estrutura, sendo, pois, um processo de investigação guiado (em geral pelo professor) via Web. Com isso, uma vez que se consiga concretizar as etapas da TAS com o formato *WebQuest*, torna-se possível desenvolver um processo de ensino e aprendizagem significativo que leva em consideração a nova forma de conexão dos estudantes com as informações acerca do mundo, que é do tipo hipertexto, cuja principal característica é a sua não-linearidade do tipo rede conceitual.

É importante assinalar que a implementação que aqui se faz das *WebQuests* difere em alguma medida da sua forma tradicional, em particular com vistas à questão da personalização do ensino por meio da automação dos processos envolvidos na realização dessas *WebQuests*. De fato, de modo geral, uma *WebQuest* é um *problema aberto*, ainda que guiado, para a solução de uma Tarefa. Espera-se, pois, que os resultados sejam apresentados na forma textual (portanto aberta, no que concerne à característica de itens). Ainda que seja possível fazer-se automação de respostas textuais, esta é muito mais complexa e envolve recursos computacionais consideráveis. A aplicação de uma Teoria de Resposta ao Item, a ser feita nas etapas de ensino, portanto, ficaria dificultada, para não dizer das etapas iniciais, preparatórias, em que o conhecimento é ainda difuso e produziria uma textualidade de difícil avaliação automatizada.

Assim, neste trabalho, e para fins de automação – cuja importância para a personalização do ensino não se pode olvidar – optou-se por implementar as *WebQuests* a partir de itens *fechados*. Entretanto, não são usados apenas itens de múltipla escolha, mas toda uma vasta gama de tipos de itens que se adequam de maneira melhor a cada etapa preconizada pela TAS, como veremos mais adiante, na seção V.

#### IV. RELAÇÃO ENTRE A TAS E AS WEBQUESTS

Entretanto, como se afirmou, é preciso que as *WebQuests* sejam capazes de concretizar as etapas preconizadas pela TAS e, como se pode deduzir da caracterização que fizemos de tais etapas, a forma com que cada uma lida com o conhecimento e com o aprendizado pode diferir essencialmente da forma que o fazem as demais etapas.

Seria, pois, bem-vinda uma abordagem computacional que visasse implementar as etapas da TAS a partir do modelo das *WebQuests* de maneira controlada e teoricamente referenciada, garantindo, pois, sua adequação.

Como já dissemos, uma característica importante nem sempre ressaltada relativamente à TAS é que a centralidade da noção de *estrutura cognitiva de cada estudante* aponta para uma perspectiva de ensino fortemente fundamentada na ideia de personalização do ensino, ainda que esta não seja a única possibilidade. De fato, as diferentes estruturas cognitivas dos estudantes, relativamente aos subsunçores que cada um apresenta, indicam diferentes possibilidades

de se proceder à sua organização avançada e, em menor intensidade, na forma de se aplicar a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa (a partir da ideia de que a organização avançada estabeleceu um pano de fundo relativamente equitativo para a aproximação dos subsunçores aos conceitos a ensinar). Isso, por sua vez, impõe desafios para o ensino segundo esse referencial teórico, se pensarmos em turmas numerosas, com trinta a quarenta estudantes, tipicamente. Assim, um sistema computacional que possa implementar estratégias *automatizadas* de levantamento de subsunçores e de sua organização avançada, além de fazê-lo, igualmente, mas com diferentes métodos, para as etapas propriamente de ensino, podem ser de grande importância. O caráter hipertextual das *WebQuests* se adequa de maneira natural a essa questão, uma vez que permite que diferentes caminhos possam ser trilhados por diferentes estruturas cognitivas, em função de sua constituição no momento da realização da Tarefa, algo que é praticamente impossível de ser realizado em uma turma presencial usual. Mais ainda, a fundamentação teórica das *WebQuests* aponta inexoravelmente para um modelo de ensino formativo, ele mesmo característico das etapas da TAS.

Portanto, dentro de uma perspectiva que dá centralidade às *etapas* da TAS e sua concretização por intermédio de um sistema computacional, verificou-se que *diferentes tipos de itens serviriam a diferentes etapas*.

A seguir, abordamos as etapas da TAS que desejamos focar neste artigo (etapas preparatórias de subsunção e organização avançada) e já as correlacionamos com o tipo de item e as estratégias de avaliação adotadas. Abordagens aprofundadas e seminais acerca das relações entre os operadores conceituais da TAS e sua utilização em *WebQuests* para ensino e avaliação digital em física na educação básica podem ser encontradas em Silva Filho e Ferreira (2018; 2022b), Silva Filho *et al.* (2021), Ferreira *et al.* (2021a), Ferreira *et al.* (2021b) e, principalmente, Ferreira *et al.* (2022).

## V. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA: ETAPAS DA TAS E TIPOS DE ITENS ASSOCIADOS A UMA *WEBQUEST*

### A. Etapa de Levantamento de Subsunçores

A etapa de levantamento de subsunçores não é voltada para a explicitação de conhecimentos bem estruturados na estrutura cognitiva do aprendiz, relacionados com o tema a ser ensinado. Ao contrário, ela visa atingir uma estrutura mental ainda *difusa*, na qual os conceitos podem guardar maior ou menor *distância conceitual* para aqueles conceitos que se deseja ensinar. Para se concretizar uma etapa com tais características, não se pode lançar mão de estruturas usuais de testagem, em que o estudante apresenta sua resposta como um sim ou não a alguma alternativa ou seleciona alguma entre outras (múltipla escolha). Daqui resta claro que esquemas de testagem relacionados à Teoria de Resposta ao Item (TRI) ou sua implementação automática na Testagem Auxiliada por Computadores (CAT da sigla em inglês) não são aplicáveis, pois visam a abordagem de conceitos já (supostamente) desenvolvidos e sedimentados na estrutura cognitiva do estudante.

O caráter difuso da maioria dos conceitos que o estudante usualmente possui nessa etapa deve ser contemplado por uma maneira adequada de acesso a ele. Com base nessas considerações, foi desenvolvido um método de levantamento de subsunçores baseado nos conceitos da Lógica Difusa (Silva Filho e Ferreira, 2022a), justamente para se apropriar da difusividade da própria estrutura cognitiva do estudante de maneira adequada.

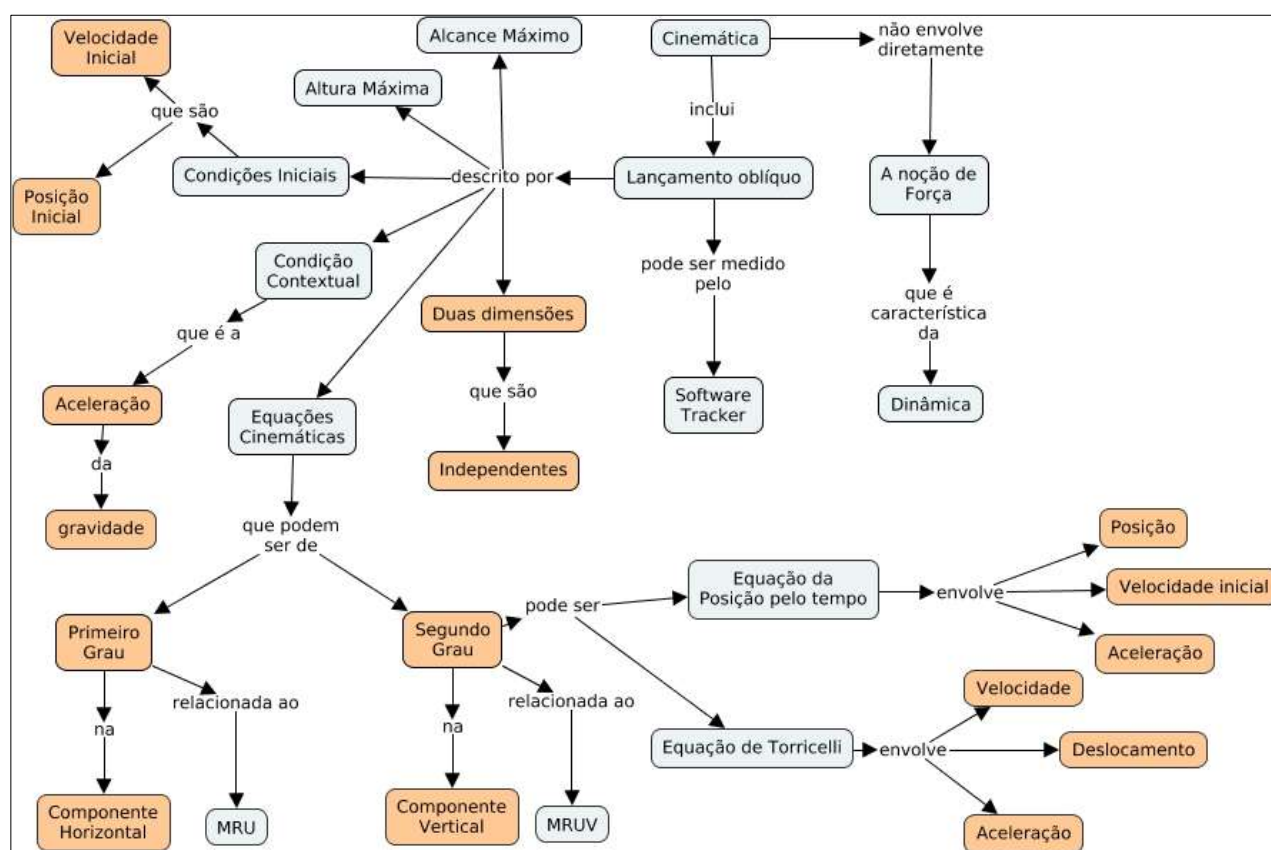
Nessa perspectiva, os professores desenvolvem, inicialmente, um mapa conceitual relacionado com conceitos e vínculos conceituais (predicativos) que *desejam ensinar*. A partir deste mapa, criam um mapa conceitual dos subsunçores respondendo à pergunta: quais conceitos os estudantes *devem ter* para que eu possa ensinar, *significativamente*, os conceitos que eu quero ensinar? Um exemplo desse procedimento está apresentado, a seguir, nas figuras 2 e 3.

Nesse exemplo, escolheu-se o tema do lançamento oblíquo. Assim, foram elencados os principais conceitos que aparecem nesse campo conceitual. Por exemplo, sua caracterização é possível de ser feita a partir das noções de *alcance máximo*, *altura máxima*, além das *condições iniciais*, que são dadas na forma de uma velocidade (vetorial) inicial e de uma posição. O lançamento oblíquo também é caracterizado por uma situação contextual descrita pela *gravidade* (contextual no sentido de variar de contexto a contexto, como, por exemplo, diferentes planetas), que está relacionada ao conceito de *aceleração*. Essa caracterização termina por efetivar a explicitação do modelo matemático do lançamento oblíquo em termos de duas direções (caráter vetorial e de componentes) segundo as quais diferentes equações (primeira e segunda ordem) estarão em vigência. Em uma delas se dará o movimento retilíneo uniforme (MRU) e na outra o movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV). Matematicamente, disso resulta que o movimento como um todo é descrito por uma equação linear e uma equação de segundo grau. A partir dessas equações, outras equações podem ser derivadas, como a equação de Torricelli, ou a própria equação que relaciona as posições (no tempo) nos dois eixos (independentes) para mostrar que o movimento se dá segundo uma parábola etc.



Ora, da descrição, ainda que parcial, que fizemos do mapa dos conceitos a ensinar, resta claro que uma aprendizagem *significativa* desses elementos só se dará em um contexto em que os estudantes apresentem os subsunçores devidamente organizados para a sua compreensão. Assim, por exemplo, os estudantes deverão chegar às etapas de ensino dos conceitos de lançamento oblíquo com a devida noção do que seja uma equação de primeiro grau e suas propriedades, de equações de segundo grau e suas propriedades e caracterizações, do que significa uma quantidade vetorial e sua relação com a independência da descrição nos dois eixos, das noções de velocidade, posição e aceleração, que estão presentes na descrição física do lançamento oblíquo etc.

É nesse sentido que o mapa, que chamamos aqui de mapa dos *subsunçores* é, na verdade, do ponto de vista do conteúdo, um *mapa dos pré-requisitos* para a compreensão dos conceitos a ensinar. Ele se torna um mapa dos subsunçores a partir do momento em que se cria um instrumento de avaliação, que busca justamente apresentar os vínculos proposicionais existentes no mapa, e é *preenchido por um estudante* (da forma que iremos descrever mais adiante). A partir daí, e uma vez que o sistema analise (com lógica difusa) tal preenchimento, há a representação computacional da estrutura cognitiva do estudante, ainda que em termos difusos do tipo: péssimo, ruim, bom, ótimo, excelente subsunçor, com vistas ao processo, personalizado, de sua organização avançada. O mapa dos pré-requisitos, transformado em mapa dos subsunçores, portanto individualizado, fornece, via sistema computacional, as forças cognitivas de cada vínculo proposicional existente no mapa.

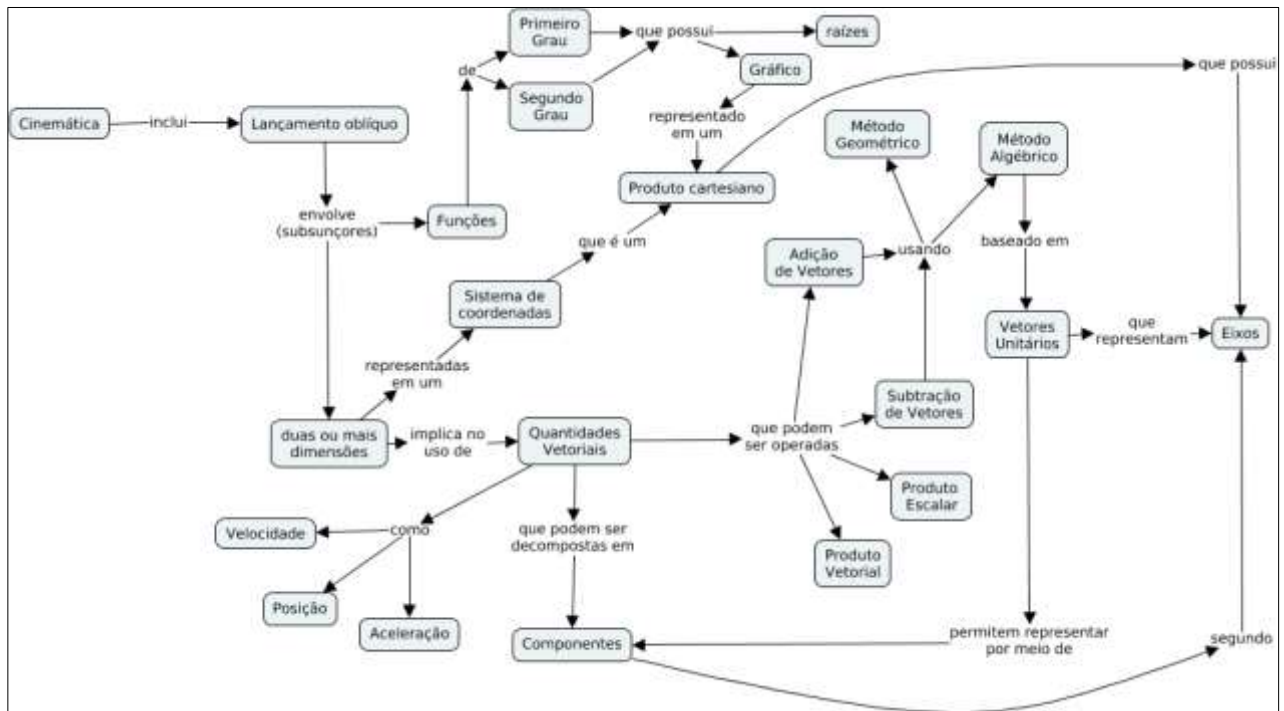


**FIGURA 2.** Mapa conceitual dos conceitos que se deseja ensinar relacionados ao tema do Lançamento Oblíquo. Os principais conceitos estão apresentados em vermelho, enquanto os conceitos subsidiários ou marginais, estão apresentados em azul. Esta classificação, evidentemente, é subjetiva e decorre da perspectiva e objetivos do professor. Fonte: elaboração própria (2022).

Essa abordagem para o levantamento de subsunçores se distingue de uma abordagem usualmente realizada (por meio de instrumentos constituídos de questões abertas) em que o tema é proposto e o estudante é deixado livre para estabelecer certas associações a ele relacionadas. Neste caso, a investigação da estrutura cognitiva do estudante quanto aos seus conceitos prévios é feita de *modo guiado*, tendo por referência os conceitos que se deseja ensinar.

Ora, não se espera, pois, que todos os conceitos apresentados na figura 3, os conceitos subsunçores, se apresentem de forma bem estruturada em cada estudante. Certo estudante pode ter bem desenvolvido o conceito de funções de segundo grau, o seu gráfico, como se obtém suas raízes e seus pontos de máximo ou mínimo, mas ter pouca proficiência na representação vetorial de quantidades como a posição (em duas dimensões), a velocidade e a

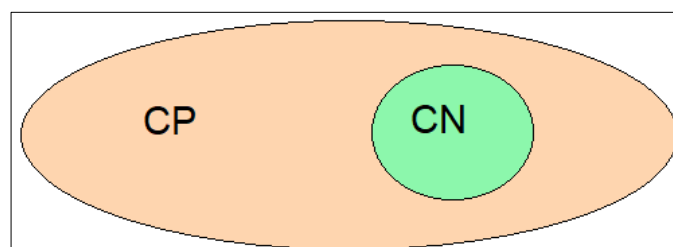
aceleração. De modo geral, as estruturas cognitivas dos diversos estudantes variarão consideravelmente entre eles, de modo que a abordagem já aponta para uma perspectiva de personalização do ensino, como já ressaltamos.



**FIGURA 3.** Mapa conceitual dos conceitos subsunçores. De fato, este mapa apresenta os pré-requisitos (relação com o conteúdo), enquanto sua concretização pela implementação em um questionário e a marcação específica de um aluno fornece sua dimensão subsunçora. Fonte: elaboração própria (2022).

Considerando as noções de “bem desenvolvido” e “pouca proficiência” (ou suas contrafações) como formas difusas de expressão, buscou-se a modelagem do processo de subsunção da seguinte maneira: para cada vínculo proposicional presente no mapa dos conceitos subsunçores, cria-se uma entrada em um questionário (que pode ser verdadeira ou falsa). O professor reconhece que os diversos subsunçores não possuem sempre a *mesma importância para o ensino almejado*, de modo que, a cada entrada do questionário, o professor associa uma *Importância da Alternativa (IA)*, sendo esta uma primeira variável difusa do sistema. O estudante, por sua vez, ao marcar a alternativa como verdadeira ou falsa, irá fazê-lo a partir das incertezas que perpassam sua estrutura cognitiva, ou seja, apresentando a “força cognitiva” com que o vínculo predicativo se apresenta *para ele*; esta é, pois, a segunda variável difusa, chamada *Marcação do Estudante (ME)*.

A abordagem, realizada por meio do instrumento de avaliação, perfaz uma *modelagem conceitual* para cada vínculo predicativo a partir não apenas da apresentação de vínculos *corretos*, mas de vínculos *incorretos*, de modo a verificar a possível existência de equívocos ou má formação conceitual. Assim, um vínculo predicativo é sempre concebido na forma mostrada na figura 4. O que o vínculo predicativo é se apresenta como o elemento nuclear do vínculo e se realiza no modelo formal como a variável CN (conceito nuclear), enquanto aquilo que o vínculo predicativo *não é* se apresenta como elemento periférico deste vínculo e se realiza como a variável CP (conceito periférico) – evidentemente, a questão do que o vínculo não é está relacionada àquela da *relevância* relativa ao que se deseja ensinar, visto que algo não é de infinitas formas diferentes.



**FIGURA 4.** A concepção de um vínculo predicativo a partir do que ele é (CN) e do que ele não é (CP). Fonte: elaboração própria (2022).

Assim, o modelo, claramente de caráter qualitativo, mantém a dimensão subjetiva (e difusa) das avaliações realizáveis nessa etapa (tanto na classificação da importância da alternativa, por parte do professor, quanto na força cognitiva da marcação do estudante, feita por cada um dos estudantes).

Como as alternativas do instrumento de avaliação podem estar corretas ou incorretas, a variável IA percorre o intervalo [-100, +100], sendo que [-100,0] indica a importância de uma alternativa que avalia elementos periféricos, enquanto [0, +100] indica a importância de uma alternativa que avalia elementos nucleares. Assim, por exemplo, uma alternativa marcada com IA = 95 está indicando que o professor considera a presença daquele conceito nuclear na estrutura cognitiva de cada aluno como muito importante para o que ele pretende ensinar. Por outro lado, um IA = -87 indica que o professor considera a presença daquele conceito *periférico* também como muito importante para o que ele vai ensinar (ou seja, equívocos do tipo apresentado na alternativa serão uma barreira para o ensino do tema selecionado).

A marcação do estudante, ME, por sua vez, também pode variar no intervalo [-100, +100], indicando a força cognitiva (o grau de certeza subjetiva) que um estudante possui na marcação que faz de uma alternativa. Assim, por exemplo, ME = -70 indica que o aluno tem razoável certeza de que a alternativa se relaciona a um conceito periférico (ou seja, algo que não é), enquanto um valor ME = +90 indica alto grau de certeza de que a alternativa se relaciona a um conceito nuclear (ou seja, algo que é). Evidentemente, o professor pode marcar um valor “alto positivo” para IA e o aluno marcá-lo como “alto negativo”, indicando que ele tem uma compreensão “muito baixa” do que a alternativa veicula (o vínculo proposicional em questão). Essa é uma relação entre antecedentes e consequentes que é implementada, no processo de levantamento de subsunçores via lógica difusa, a partir das chamadas *regras semânticas*.

Assim, o modelo funciona a partir de *regras semânticas* do tipo “se, então”, que vinculam as variáveis semânticas IA e ME à presença mais ou menos “forte” do conceito nuclear (CN) ou periférico (CP) na estrutura cognitiva do estudante. Alguns exemplos de regras semânticas, e suas traduções, estão mostradas a seguir:

- AP(ME) & |AP(IA)| → |MA(CN): se a marcação do estudante é alta positiva (e.g. ME = 0.8) e a importância da alternativa é alta positiva (e.g. IA = 0.9), então o conceito nuclear (CN) está presente na estrutura cognitiva do estudante com força cognitiva muito alta (MA(CN));
- MP(ME) & |AP(IA)| → |A(CN): se a marcação do estudante é média positiva (e.g. ME = 0.6) e a importância da alternativa é alta positiva (e.g. IA = 0.85), então o conceito nuclear (CN) está presente na estrutura cognitiva do estudante com força “alta” (A(CN)).

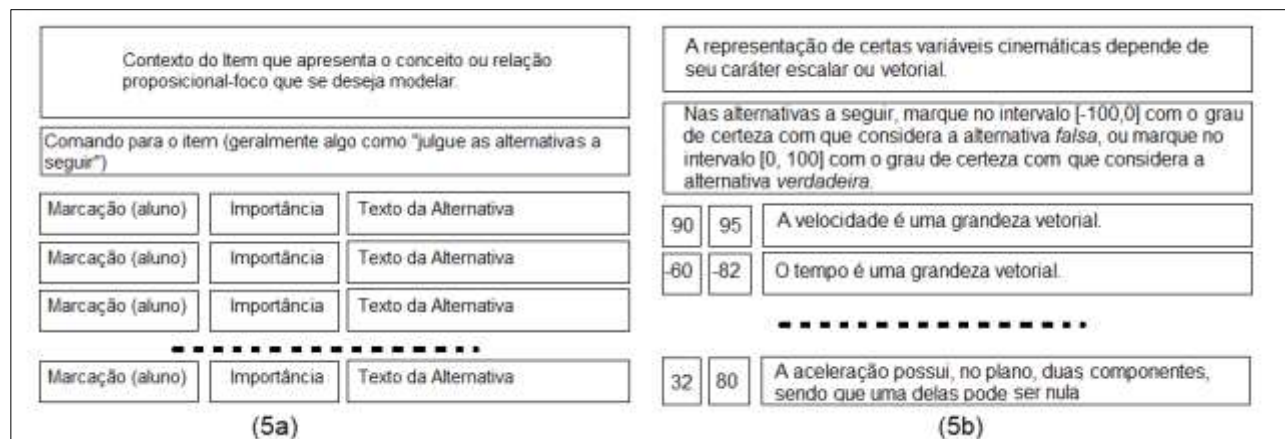
Assim, são as regras semânticas que levarão à compreensão da força cognitiva de certos vínculos predicativos relacionados ao que se deseja ensinar. Vínculos predicativos que tenham alto valor de IA e alto valor de ME (em módulo, ou seja, como CN ou CP) são os candidatos naturais para funcionar como *âncoras cognitivas* do processo que se segue ao levantamento de subsunçores, ou seja, a etapa de organização avançada, de que falaremos mais adiante. Ao final, o professor tem um mapeamento da força cognitiva, na estrutura cognitiva de cada estudante, para cada vínculo predicativo presente no mapa de subsunçores, sendo esta uma avaliação que: não é de caráter comparativo (como o é a TRI) e possui caráter qualitativo (diferentemente da TRI), além de uma característica difusa, já que o resultado é dado em termos de conceitos como “muito alta”, “alta”, “baixa” etc. Para uma compreensão mais profunda do modelo computacional utilizado, assim como de sua implementação concreta, recomenda-se a referência (Silva Filho e Ferreira, 2022a), em que tal modelo é apresentado, assim como a descrição teórica do funcionamento da Lógica Difusa. O que aqui se deseja apresentar é como esses elementos podem ser concretizados a partir de itens objetivos (fechados) específicos, uma vez que serão eles a estar presentes no modelo de *WebQuest* adotado.

O instrumento de avaliação para o levantamento de subsunçores tem, tipicamente, a forma apresentada na figura 5a, sendo que um exemplo concreto, baseado no mapa da figura 3, é também apresentado na figura 5b. No contexto das *WebQuests*, essa estrutura de itens deve fazer parte de uma *WebQuest* com todas as características já mencionadas.

Essa metodologia de levantamento de subsunçores foi implementada em uma plataforma Web em que já se relaciona com o formato *WebQuest*. Assim, está pronta para poder ser usada para o levantamento *automático* de subsunçores por essa plataforma<sup>2</sup>, que é uma das ações que já estão em curso atualmente em pesquisas dos autores.

<sup>2</sup> Plataforma *Webquest*, disponível em: <https://thewebquest.net/thewebquest/>. Acesso em 10 jan. 2023.





**FIGURA 5.** (a) Estrutura geral de um item com alternativas (Certo ou Errado) para levantamento de subsunçores, e (b) um excerto de questionário desenvolvido a partir do mapa da figura 3. Fonte: elaboração própria (2022).

Uma vez tendo sido realizado o levantamento dos subsunçores, deve-se passar, segundo a TAS, para sua organização avançada.

## B. Etapa de organização avançada dos subsunçores

Essa etapa visa aproximar os conceitos subsunçores daqueles que se deseja, efetivamente, ensinar. Assim, devem-se usar metodologias que façam a mediação dessa aproximação, e não a verificação de um aprendizado solidificado – nesta etapa, ainda sequer se está considerando, como foco do ensino, os conceitos a ensinar, mas sim a *interrelação* entre os conceitos subsunçores e os conceitos a ensinar. Nesse sentido, são de vital importância os conceitos, apresentados em cores na figura 3, que fazem essa mediação.

A etapa de organização avançada se vincula imediatamente com aquela do levantamento de subsunçores e visa dois desdobramentos principais: (a) fortalecer aqueles subsunçores considerados, pelo professor, mais importantes (IA alto, ME alto); (b) “aproximar” os subsunçores (já fortalecidos) dos conceitos que se deseja ensinar, de modo que funcionem como âncoras não arbitrárias para estes.

O foco dessa etapa, portanto, não se direciona nem aos conceitos subsunçores, nem aos conceitos a ensinar, mas na interrelação entre eles. Nesse sentido, os itens devem ter uma estrutura tal que favoreça a aproximação conceitual já mencionada.

No contexto da aproximação dos subsunçores aos conceitos a ensinar, dois tipos de itens são particularmente importantes para se proceder à organização avançada: os itens de preenchimento de lacunas textuais e os itens de relacionamento entre colunas.

A importância dos itens de preenchimento de lacunas textuais está, precisamente, no fato de que o elaborador do item pode induzir o processo de aproximação estabelecendo marcas textuais que permitam ao estudante estabelecer os vínculos conceituais que efetivam tal aproximação (lembrando, sempre, que o modelo *WebQuest* também fornece o material necessário para que o estudante possa fazer tal preenchimento, desde que faça uma pesquisa adequada desse material). Esses itens têm uma estrutura como a apresentada na figura 6. Note que há, no texto, diversas lacunas que devem ser preenchidas com os elementos conceituais (palavras) apresentadas a seguir (como gabarito). A formação do texto deve ter como resultado, ela mesma, a aproximação conceitual almejada.

Como exemplo, considere que se os mapas conceituais apresentados nas figuras 2 e 3, em particular nos conceitos ali apresentados em cores. Suponhamos que os conceitos subsunçores já foram fortalecidos na estrutura cognitiva dos estudantes, sendo necessário, agora, fazer a aproximação destes com os conceitos a ensinar. Note que não se deseja ensinar, de fato, nada relacionado à aceleração da gravidade; apenas usar certas características suas que são relevantes na descrição do lançamento oblíquo. A aceleração, como mostra o mapa da figura 3, é um conceito subsunçor; como mostra o mapa da figura 2, é também um conceito que permite a mediação entre subsunçores e conceitos a ensinar. Na figura 6 apresentamos um exemplo de item de preencher lacunas que poderia realizar a aproximação mencionada.

O conceito de \_\_\_\_ é importante para o fenômeno do \_\_\_\_ oblíquo, uma vez que, neste lançamento, a gravidade atua na direção \_\_\_\_\_. A direção \_\_\_\_\_ da aceleração da gravidade garante que seu efeito não se faz notar no \_\_\_\_\_ horizontal, uma vez que a direção vertical e a direção \_\_\_\_\_ são \_\_\_\_\_. Assim, o movimento na direção vertical é do tipo \_\_\_\_\_, enquanto o movimento na direção horizontal se dá com \_\_\_\_\_ constante.

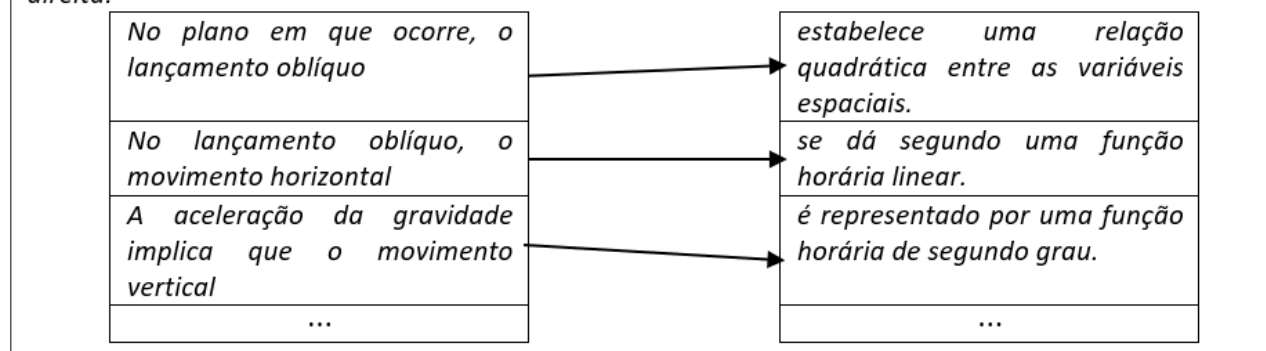
**Substituições corretas (na ordem):** aceleração da gravidade; lançamento; vertical; vetorial; movimento; horizontal, independentes; acelerado; velocidade.

**FIGURA 6.** Exemplificação de um item de física na etapa de levantamento de subsunçores (tipo: preenchimento de lacunas). Fonte: elaboração própria (2022).

Na apresentação do item ao estudante, evidentemente, as substituições são mostradas em ordem randomizada. Entretanto, do exemplo é fácil notar o que entendemos por dicas associadas a marcas textuais. Mais ainda, é importante lembrar que, seguindo o modelo de *WebQuest*, o item anterior vem acompanhado de um conjunto de links considerados pelo elaborador relevantes para o desenvolvimento e a aprendizagem dos conceitos ali existentes.

Outro tipo de item que pode ser proficuamente utilizado na etapa de organização avançada de subsunçores é aquele de relacionar colunas. Assim como naquele item de preenchimento de lacunas, neste também se apresentam marcas textuais que servem de guia para a aproximação pretendida. Diferentemente do tipo anterior de item, neste é possível discernir, na coluna da direita, os conceitos subsunçores, enquanto na coluna da esquerda podem ser colocados os conceitos aos quais se deseja aproximar (e vice-versa). Um exemplo de item de relacionamento de colunas com o mesmo tema do item de preenchimento de lacunas previamente apresentado é dado na figura 7.

Com respeito ao conceito de força e sua interrelação com as noções cinemática, em particular relacionadas ao lançamento oblíquo, relacione, a seguir, as colunas da esquerda com as colunas da direita.



**FIGURA 7.** Exemplificação de um item de física na etapa de levantamento de subsunçores (tipo: relacionamento de colunas). Fonte: elaboração própria (2022).

Na figura 7, a apresentação do item aos estudantes, evidentemente, fixa a ordem das alternativas na coluna da esquerda segundo o processo original de elaboração e randomiza as linhas da coluna à direita.

Em ambos os casos, ficam claras as marcas textuais capazes de induzir o processo de organização avançada.

### C. Etapas de Diferenciação Progressiva e Reconciliação Integrativa

Essas etapas, como dito anteriormente, são basicamente as etapas de ensino. É importante notar que não há um ordenamento necessário entre elas. Ao contrário, é importante que as etapas de diferenciação progressiva se façam seguir por etapas de reconciliação integrativa e vice-versa, em um processo de análise e síntese que fornece os elementos verdadeiramente significativos da aprendizagem. Nessas etapas, o que se busca é o aprendizado efetivo (significativo) dos conceitos que se deseja ensinar. Assim, esses são o foco da investigação. A abordagem ainda pode ser formativa (inicialmente deve sê-lo, mas pode ser consumada com elementos somativos).

Nessas etapas pode-se utilizar dois tipos básicos de itens. O tipo de múltipla escolha (com cinco alternativas) e o tipo de resposta numérica. Para estes, agora que se trata dos conhecimentos efetivos almejados, pode-se construir uma estrutura automática de aplicação das *WebQuests* na forma de uma Testagem Auxiliada por Computadores (CAT, na sigla em inglês), com itens parametrizados, relacionados a habilidades e competências (que, no presente trabalho, são aquelas da BNCC). Esses tipos de itens são bastante conhecidos e não aprofundaremos a discussão sobre eles aqui.

## VI. IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL

O sistema computacional que visa implementar as etapas da TAS de maneira consistente e teoricamente referenciada vem sendo construído há alguns anos e já se encontra em fase avançada de desenvolvimento, podendo ser encontrado no sítio: <https://thewebquest.net/thewebquest>. Resumidamente, sua estrutura se volta para a realização *colaborativa* de seqüências didáticas baseadas no formato *WebQuest* e em sua perspectiva formativa, tendo por horizonte a Teoria da Aprendizagem Significativa. Cada etapa, portanto, conta com *WebQuests* de subsunção, *WebQuests* de organização avançada e *WebQuests* de ensino, que podem ser de diferenciação progressiva ou de reconciliação integrativa, seguindo o fluxo apresentado na **!Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

O sistema é organizado em torno de diversas funções: Elaborador; Gerente; Secretário; Juiz; Professor e Estudante, cada qual com sua área específica para desenvolvimento de suas ações. Assim, as funções estabelecidas cobrem todas as etapas de construção, validação e apresentação das seqüências didáticas. Uma visão simplificada do fluxo de trabalho imposto pelo sistema computacional está apresentado na figura 8, a seguir.

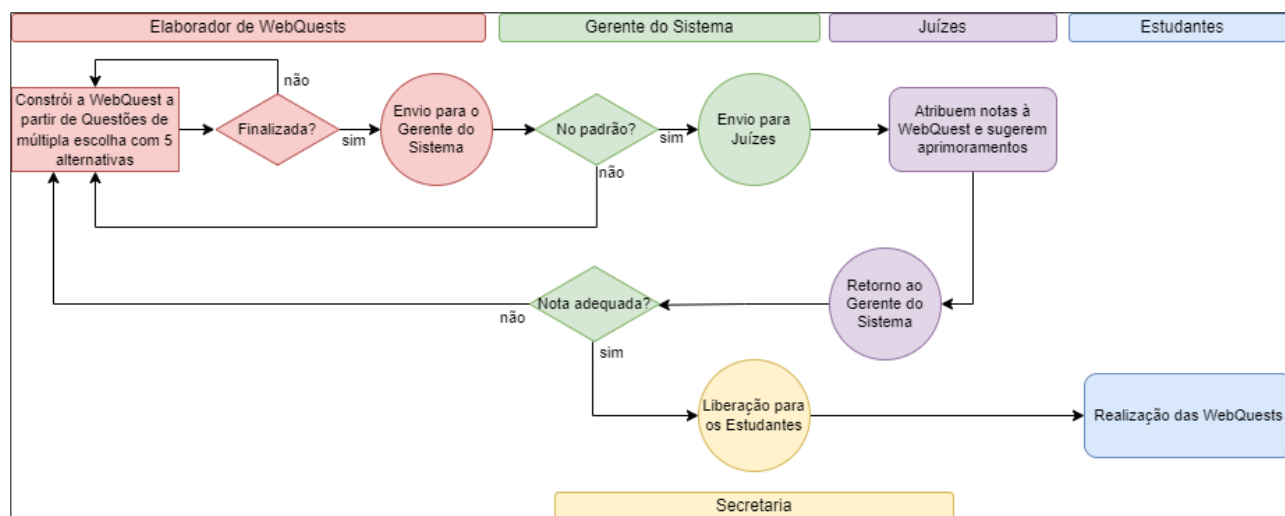


FIGURA 8. Fluxo de trabalho imposto pela Plataforma *WebQuest*. Fonte: elaboração própria (2022).

Em Silva Filho e Ferreira (2022b), fazem uma discussão específica e mais detalhada acerca do uso de métodos computacionais na solução não-analítica de problemas físicos. Embora não seja o foco da discussão aqui engendrada, as compreensões e possibilidades levantadas naquele trabalho ajudam a refletir acerca da eleição de sistemas ilustrativos mais abstratos e simplificados permite a introdução de métodos gerais de solução. Em contrapartida, os modelos (mormente algébricos) de tais soluções inibem o acesso a problemas mais contextualizados, em geral estruturados em muitas condições de contorno (ou com condições de contorno próximas àquelas observadas em empiria usual) e, portanto, contíguos a situações concretas. Essa discussão é paralela, mas se incorpora ao modelo da TAS de levantamento de subsunçores, organização avançada, diferenciação progressiva e reconciliação integrativa, o que pode ser favorecido pela análise não-analítica.

## VII. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na breve discussão encaminhada neste texto, endossamos reiteradas constatações em pesquisas acadêmicas, bem como evidências empíricas de professores e organizações avaliativas, acerca da importância e da necessidade de análise crítica e proposição contundente de ações qualificadas para o ensino de física no Brasil (Moreira, 2012; Silva Filho e Ferreira, 2018; Silva Filho *et al.*, 2021; Ferreira *et al.*, 2021a e Ferreira *et al.*, 2021b; Silva Filho e Ferreira, 2022a).

Para isso, buscamos expressar uma reflexão e oferecer uma alternativa de ação instrucional a partir de uma interpretação da TAS, fundamentação abundante na área, associada ao uso de *WebQuests*, estratégia didática e avaliativa aderente aos estudos contemporâneos acerca da cognição e da interação.

Evidenciando etapas de levantamento de subsunçores, organização avançada, diferenciação progressiva e reconciliação integrativa, documentamos as bases teórico-metodológicas e exploramos uma implementação computacional que mimetiza o amálgama referido e ilustra possibilidades de desenvolvimento de metodologias de ensino articuladas a tecnologias digitais interativas. Complementamos referenciado uma discussão específica em que

o uso de métodos computacionais com interatividade pode corresponder à demanda pelo acesso a soluções não-analíticas de problemas físicos. Certamente uma das demandas e das possíveis consequências da associação da TAS a modelos instrucionais e avaliativos como o da *WebQuest*.

Este texto tem pretensões limitadas a compartilhar desenvolvimentos em pesquisa com uma comunidade de pares interessados, abrindo possibilidades para críticas, sugestões e eventuais colaborações. A pesquisa de que faz parte esse recorte tem objetivos mais audaciosos e que se direcionam à consolidação de um modelo didático e de uma estrutura avaliativa capaz de vincular preceitos da TAS à tecnologia educacional da *WebQuest*, apresentando abordagens consistentes e coerentes à pluralidade de enfoques epistemológicos, modelos curriculares e intencionalidades didáticas associadas a uma produção educacional em física a partir de forte apelo às tecnologias digitais da informação e da comunicação para o desenvolvimento de uma perspectiva formativa de avaliação mediada, como descrição, por uma teoria de aprendizagem cunho significativo e, como norma, por uma didática interativa e orientada pelo modelo de *WebQuests*.

Finalmente, um modelo do tipo descrito neste trabalho, que tenha sido efetivamente implementado em todas as etapas, servirá de substrato de construção de sequências didáticas estrutural e adequadamente fundamentadas na Teoria da Aprendizagem Significativa, garantindo sua correta implementação em processos de ensino e aprendizagem, com componentes de avaliação digital, em física na educação básica. Como resultado subsidiário, mas importante, tal abordagem permitirá ao professor uma ferramenta para uma adequada personalização do ensino. Em seu conjunto, portanto, a implementação computacional – e, pois, a automação das etapas e processos aqui descritos –, permitirá um processo referenciado de personalização do ensino e de aprendizagem mediada por tecnologias digitais com base na TAS.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do Centro de Políticas Públicas e Avaliação da Educação da Universidade Federal de Juiz de Fora (CAEd/UFJF), do Instituto de Física e do Centro Internacional de Física da Universidade de Brasília (UnB), da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Distrito Federal (FAPDF).

## REFERÊNCIAS

- Ferreira, M., Couto, R. V. L., Silva Filho, O. L., Paulucci, L. e Monteiro, F. F. (2021b). Ensino de astronomia: uma abordagem didática a partir da Teoria da Relatividade Geral. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 43, 1-13. doi: 10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0157.
- Ferreira, M., Nogueira, D. X. P., Silva Filho, O. L., Costa, M. R. M. e Soares Neto, J. J. (2022). A WebQuest como proposta de avaliação digital no contexto da aprendizagem significativa crítica em ciências para o ensino médio. *Pesquisa e Debate em Educação*, 12(1), 1-32. doi: 10.34019/2237-9444.2022.v12.35023.
- Ferreira, M., Silva Filho, O. L., Moreira, M. A., Franz, G. B., Portugal, K. O. e Nogueira, D. X. N. (2021a). Unidade de Ensino Potencialmente Significativa sobre óptica geométrica apoiada por vídeos, aplicativos e jogos para smartphones. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 42(1), 1-13. doi: 10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0057
- Moreira, M. A. (2022). *Teorias de Aprendizagem*. São Paulo: E.D.U
- Silva Filho, O. L. e Ferreira, M. (2018). Teorias da Aprendizagem e da Educação como Referenciais em Práticas de Ensino: Ausubel e Lipman. *Revista do Professor de Física*, 2(2), 104-125. doi: 10.26512/rpf.v2i2.12315.
- Silva Filho, O. L. e Ferreira, M. (2022a). Modelo teórico para levantamento e organização de subsunçores no âmbito da Aprendizagem Significativa. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 44, 1-13. doi: 10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0339
- Silva Filho, O. L. e Ferreira, M. (2022b). Resolução não-analítica de problemas de movimento em um loop de Montanha Russa na presença de atrito. *A Física na Escola*, 20(1), 1-5.

Silva Filho, O. L. e Ferreira, M. (2022c). O uso de WebQuests no contexto da Teoria Da Aprendizagem Significativa como recurso instrucional. In: Ferreira, M., Andrade, V. C., Silva Filho, O. L., de Paulo, I. J. C., e Moreira, Marco A. *Fundamentos, Pesquisas, Contemporaneidades e Tendências do Ensino de Física do Brasil*. São Paulo: Livraria da Física, 2022.

Silva Filho, O. L. E Ferreira, M. (2022d). O uso de WebQuests no contexto da Teoria da Aprendizagem Significativa como recurso instrucional. *Revista do Professor de Física*, 6(Especial), 1–9. doi: 10.26512/rpf.v1i1.45922.

Silva Filho, O. L., Ferreira, M., Polito, A. M. M. e Coelho, A. L. M. de B. (2021). Normatividade e descritividade em referenciais teóricos na área de ensino de Física. *Pesquisa e Debate em Educação*, 11(1), 1-33. doi: 10.34019/2237-9444.2021.v11.32564.