

## **Perfil Semântico das Aulas de Termodinâmica com Estudantes de Graduação em Química**

*Semantic profile of Thermodynamics classes with undergraduate Chemistry students*

*Perfil semántico de las clases de Termodinámica con estudiantes de licenciatura en Química*

**Hislayne França dos Santos** (fhislayne@gmail.com)  
Universidade Federal de Sergipe  
<https://orcid.org/0000-0001-6942-4600>

**Danielle Guimarães de Andrade** (da-niiguimaraes@hotmail.com)  
Rede Nordeste de Ensino – RENOEN/UFS  
<https://orcid.org/0000-0003-1408-1908>

**Edson José Wartha** (ejwartha@academico.ufs.br)  
Rede Nordeste de Ensino – RENOEN/UFS  
<http://orcid.org/0000-0003-4919-3504>

### **Resumo**

Este estudo investigou o processo de introdução do conceito de interações eletrostáticas e gases reais utilizando a Teoria dos Códigos de Legitimação entre os estudantes de um curso superior de Química. O objetivo do estudo foi identificar o processo de circulação e legitimação do discurso científico através do perfil semântico da densidade e da gravidade semântica produzidos durante as aulas virtuais realizadas durante o período pandêmico. No modelo de análise empregado na construção dos perfis semânticos, incluímos os diferentes níveis do conhecimento químico (densidade) e da relação entre conceito e contexto (gravidade). A técnica de amostragem por conveniência foi utilizada para selecionar os participantes do estudo. A análise revelou diferentes variações nos perfis semânticos e a frequência de perfis semânticos com densidade alta e baixa gravidade, o que pode explicar, em parte, as dificuldades relatadas pelos estudantes durante a disciplina.

**Palavras-chave:** Termodinâmica. Perfil semântico. Teoria dos códigos de legitimação.

## Abstract

This study investigated the introduction of the concept of electrostatic interactions and real gases using the Legitimation Codes Theory among students of a higher education Chemistry course. The objective of the study was to identify the process of circulation and legitimization of scientific discourse through the semantic profile of density and semantic gravity produced during virtual classes held during the pandemic period. In the analysis model used to construct the semantic profiles, we included the different levels of chemical knowledge (density) and the relationship between concept and context (gravity). Convenience sampling technique was used to select study participants. The analysis revealed different variations in semantic profiles and the frequency of semantic profiles with high density and low severity, which may partly explain the difficulties reported by students during the course.

**Keywords:** Thermodynamics. Semantic profile. Legitimation Code Theory.

## Resumen

Este estudio investigó la introducción del concepto de interacciones electrostáticas y gases reales utilizando la Teoría de Códigos de Legitimación entre estudiantes de la carrera de Química de educación superior. El objetivo del estudio fue identificar el proceso de circulación y legitimación del discurso científico a través del perfil semántico de densidad y gravedad semántica producido durante las clases virtuales realizadas durante el período de pandemia. En el modelo de análisis utilizado para construir los perfiles semánticos incluimos los diferentes niveles de conocimiento químico (densidad) y la relación entre concepto y contexto (gravedad). Se utilizó la técnica de muestreo por conveniencia para seleccionar a los participantes del estudio. El análisis reveló diferentes variaciones en los perfiles semánticos y la frecuencia de perfiles semánticos con alta densidad y baja severidad, lo que puede explicar en parte las dificultades reportadas por los estudiantes durante el curso.

**Palabras clave:** Termodinámica. Perfil semántico. Teoría del código de legitimación.

## Introdução

A Termodinâmica trata dos aspectos da microfísica química dentro da área da Físico-química, que por sua vez tem por objeto de estudo a descrição dos sistemas materiais e de suas transformações, tanto do ponto de vista macroscópico ou externo, como do ponto de vista microscópico ou interno. Para Pilla (2019, p. 14) “a Físico-Química é um simples desenvolvimento da chamada Química Geral ou Teórica, que foi se

---

enriquecendo cada vez mais com as contribuições da Física ao entendimento da estrutura da matéria e da reação química”. A Físico-Química se constrói, portanto, com o material de duas ciências e realiza a sua síntese mediante um sistema comum de princípios, leis e teorias que se traduzem em linguagem matemática.

A Termodinâmica é um método em que predomina o pensamento dedutivo. Como dizia Pilla (2019, p. 16), todo o seu corpo de doutrina decorre de uns poucos conceitos e princípios gerais de natureza empírica, nos quais se destacam:

- a) a Primeira Lei ou Princípio da Conservação da Energia, que resulta da impossibilidade de construir um perpetuum mobile de primeira espécie, ou seja, uma máquina capaz de produzir energia às custas do nada;
- b) a Segunda Lei ou Princípio do Aumento de Entropia, que resulta da impossibilidade de construir um perpetuum mobile de segunda espécie, ou seja, uma máquina capaz de converter isotermicamente calor em trabalho.

Propriedades termodinâmicas dos sistemas materiais são grandezas gerais e macroscópicas suscetíveis de definição operacional e de medida direta ou indireta, tais como massa, volume, pressão, temperatura, composição etc. Importantes propriedades termodinâmicas são oriundas das duas leis fundamentais: a energia interna e a entalpia, da Primeira Lei; a entropia e a energia de Gibbs, da Segunda Lei.

No entanto, apesar de ser uma disciplina que possibilita uma abordagem de situações concretas a partir de fenômenos importantes do ponto de vista prático, seja científico ou tecnológico, esta disciplina é vista pela maioria dos estudantes como extremamente abstrata, complexa e de difícil compreensão, sendo aquelas em que há índices elevados de reprovação. Há vários estudos na literatura que mostram que muitos estudantes ao redor do mundo têm dificuldades em aprender conceitos relacionados à Termodinâmica. Há décadas pesquisadores escreveram sobre estas questões. Uma citação de Arnold Sommerfeld (Toyota, Lang & Muller, 2007) sobre o aprendizado da termodinâmica é uma boa representação desta questão:

A termodinâmica é um assunto engraçado. A primeira vez que você passa por isso, você não entende nada. A segunda vez que você passar por isso, você acha que entende, exceto por um ou dois pequenos pontos. A terceira vez você passa por isso, você sabe que não

entende, mas quando você está tão acostumado com isso, você já não se incomoda mais. (Toyota, Lang & Muller, 2007, p. 12).

A citação mostra que a Termodinâmica é difícil de entender, mesmo depois de passar pelo assunto várias vezes. Essa visão é apoiada por Hassan e Mat (2005) e Patron (1997), pois, mesmo após a instrução, estudantes retêm concepções alternativas sobre princípios termodinâmicos. De acordo com Patron (1997), Junglas (2006), Meltzer (2004) e Cotignola *et. al* (2002), muitos estudantes enfrentam dificuldades em entender conceitos básicos em termodinâmica. Os estudantes apresentam erros conceituais relacionados a termos como trabalho, calor, interno, energia, entalpia, entropia, primeira lei da termodinâmica e seu uso para aplicações concretas.

De uma forma geral, grande parte das disciplinas na área de química apresenta como característica uma linguagem essencialmente abstrata, o que em termos de codificação é muito desafiador. Para Santos e Mortimer (2019):

No ensino de Química a incompreensão ou mesmo a rejeição por parte dos estudantes a essa disciplina frequentemente estão associadas a dificuldades com o domínio da linguagem dessa ciência. O pensamento abstrato da Química, seus intangíveis objetos de referência, seu simbolismo, entre outras características, constituem a origem de grande parte das dificuldades para sua aprendizagem. Além disso, o seu ensino, com muita frequência, é acusado de não representar coerentemente a sua natureza (Santos; Mortimer, 2019, p. 67).

Nos cursos de graduação em química, em particular as disciplinas que abordam temáticas da “*Físico-Química*” são caracterizadas como difíceis e complexas por diversas questões, entre elas o alto nível de abstração de seus conceitos e o uso de práticas pedagógicas padronizadas, que não exercitam o discurso dialético professor-estudante. Na maioria dos casos, são aulas descontextualizadas, abstratas e meramente simbólicas.

Portanto, avaliar como o conhecimento circula e é legitimado no contexto da sala de aula de uma disciplina de Termodinâmica, pode permitir que se compreenda a forma como se estabelecem as relações entre a dimensão epistêmica (relação entre o mundo material e o conhecimento científico) e a dimensão pedagógica (relação entre professor e os estudantes) e, deste modo, buscar abordagens metodológicas mais eficazes no processo de ensino desta disciplina.

A Teoria dos Códigos de Legitimação (TCL), desenvolvida por Karl Maton, fornece um meio para conceitualizar e analisar os princípios que estruturam e fundamentam os campos intelectuais, permitindo a acumulação de conhecimento ao longo do tempo. Maton (2013, 2014a) desenvolveu esta teoria com base nas noções de discurso e estruturas de conhecimento de Bernstein (1999), na qual são estabelecidas diferenças entre formas de estruturação do conhecimento (científico e cotidiano) e, na obra de Pierre Bourdieu, a qual caracteriza a relação dos atores sociais (chamados de conhecedores pela TCL) com o conhecimento, como uma luta por poder e recursos.

### ***Teoria dos Códigos de Legitimação***

De acordo com Maton (2013), a Teoria dos Códigos de Legitimação (TCL) estuda práticas pedagógicas em diversas áreas do ensino, caracterizando-se como instrumentos sociológicos e analíticos que permitem a análise e discussão das bases da prática pedagógica e das relações estabelecidas no ensino-aprendizagem. A TCL apresenta quatro dimensões de legitimação, sendo elas: Semântica, Especialização, Temporalidade, e Autonomia. Como este trabalho visa analisar o discurso do conhecimento físico-químico em sala de aula, utilizou-se a dimensão semântica da teoria, sendo que esta dimensão se fundamenta nos conceitos de densidade e de gravidade semântica.

Maton (2011, 2013, 2014b) procura mensurar a dependência do conceito em relação ao contexto (gravidade semântica) e a relação entre o significado das palavras em determinadas práticas socioculturais (densidade semântica). Ele defende a prática discursiva em uma aula no sentido de uma onda (perfis semânticos), ou seja, de acordo com a variação da gravidade semântica e da densidade semântica em uma prática discursiva durante uma abordagem conceitual, tais variações permitem traçar um perfil semântico e moldar a estrutura de abordagem de conceitos em sala de aula. A semântica, então, estuda o ensino de termodinâmica com base na gravidade semântica (relação de dependência contextual) e a densidade semântica (relação de complexidade do conceito).

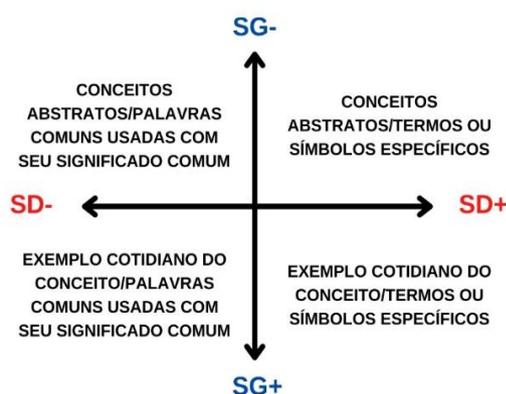
Para Maton (2014b), a ideia de "ondas semânticas" permite analisar o processo de condensação e simplificação de significados e do quanto o conceito é ou não dependente do contexto. A semântica se relaciona com a dimensão contextual do conhecimento e

busca responder a duas perguntas: até que ponto o conhecimento se relaciona com o contexto e até que ponto está condensado em símbolos, modelos e teorias?

Maton (2014) caracterizou a gravidade semântica (GS) como o nível epistêmico entre o conceito e o contexto. Sendo assim, os parâmetros de força da gravidade semântica estão relacionados à concretude ou abstração de um conceito. Seguindo esta analogia, um conceito com gravidade forte significa um menor grau de abstração e é simbolizado por GS+. Em contrapartida, um conceito com alto grau de abstração possui uma gravidade semântica fraca, que é simbolizada por GS-. Por outro lado, quando a densidade semântica é mais forte (DS+), os termos utilizados (símbolos, modelos, teorias, por exemplo) têm mais significados condensados dentro deles; quando a densidade semântica é mais fraca (DS-), os termos condensam menos significado.

Santos e Mortimer (2019) descrevem que o ponto chave para determinar a força da densidade semântica é quantas relações um determinado item ou conceito estabelece com outros. Por outro lado, a gravidade semântica é determinada por sua dependência em relação ao contexto. Mas a gravidade e a densidade semântica são independentes, ou seja, podemos ter um nível de gravidade semântica alto e um nível de densidade semântica baixo. Estas relações podem ser representadas em um plano cartesiano (Figura 1).

**Figura 1:** Códigos semânticos no plano cartesiano



Fonte: Adaptado de Cranwell e Whiteside (2020).

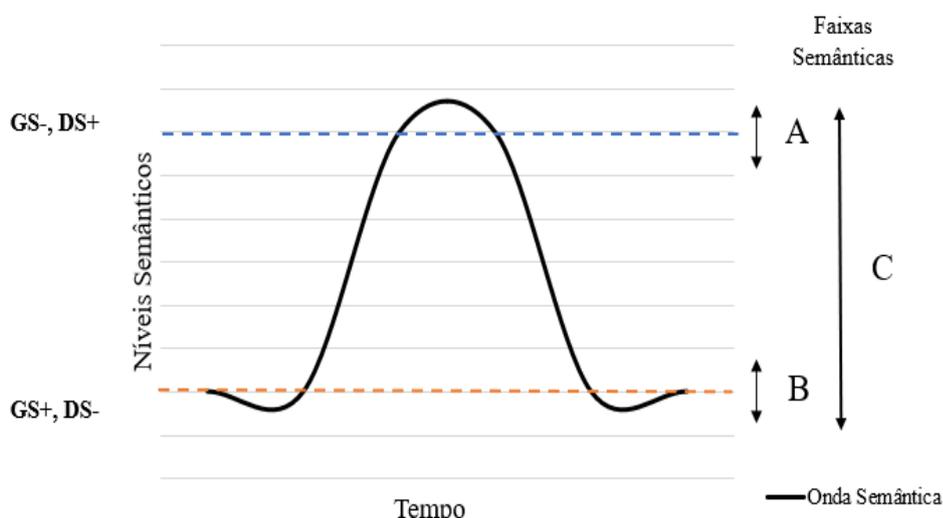
Neste modelo cartesiano, de acordo com segundo Cranwell e Whiteside (2020):

Há a formação de combinações diferentes gerando quatro modalidades possíveis: códigos rizomáticos (GS-, DS +), códigos prosaicos (GS +, DS-), códigos mundanos (GS +, DS +) e códigos rarefeitos (GS-, DS-). Os códigos rizomáticos (quadrante superior direito)

requerem o nível mais avançado de aplicação por parte do aluno. Onde os eixos se cruzam pode mudar conforme a pessoa se torna mais especialista. Por exemplo, se um conceito é abstrato ou requer que os alunos vinculem duas ou três teorias (SG-), mas a linguagem usada para descrevê-lo não é necessariamente complexa (SD-), a designação seria (SG-, SD-). O discurso seria categorizado como “código rarefeito”. Outro exemplo seria o uso de linguagem complexa (SD +) para descrever um fenômeno relativamente simples (SG +). Nesse caso, o discurso residiria no quadrante “código mundano” (Cranwell & Whiteside, 2020).

Para Maton (2014b), os perfis semânticos demonstram o fluxo do discurso pedagógico e podem ser explicados por meio da construção de perfis semânticas organizadas com base em níveis semânticos (eixo y) e variação de tempo (eixo x), como mostra a Figura 2:

**Figura 2:** Representação de um perfil semântico.



Fonte: Santos e Mortimer (2019).

Em relação à gravidade semântica, na linha inferior vemos que ela está em um nível mais forte (GS+), inferindo-se que, neste ponto, a assimilação do conceito está mais dependente do contexto ao qual está inserido. O contrário acontece quando a gravidade é mais fraca (GS-), simbolizando menos dependência do contexto e mais dependência do conceito. Em relação à densidade semântica, suas forças variam conforme sua relação com outros conceitos. Ela é considerada fraca na parte inferior da imagem, pois está menos condensada de significados e há pouca reação com outros conceitos (DS-). Já na parte superior da imagem, ela é considerada forte (DS+), e é apresentada de forma descontextualizada e mais próxima a generalização do conceito.

### ***Abordagem metodológica***

O *corpus* utilizado neste estudo é constituído por um total de 4 aulas de 60 minutos de Termodinâmica, do 7º semestre do curso de Licenciatura em Química, gravadas no *google.meet* durante o período de isolamento e distanciamento social, em que as aulas eram desenvolvidas na forma remota, no período letivo de 2021.2. Optou-se por recolher o *corpus* em aulas de Termodinâmica, pois regularmente as atividades desenvolvidas nesta disciplina são consideradas pela maioria dos estudantes como complexas e abstratas, com altos índices de retenção e reprovação. Após a disponibilização do material gravado, as aulas foram transcritas manualmente, analisadas e quantificadas para posterior elaboração do gráfico dos perfis semânticos, que leva em conta os níveis de densidade e gravidade semântica apresentados x tempo. O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa sob o n. 4.860.816 na Plataforma Brasil.

A partir da transcrição das aulas, selecionaram-se os episódios para a análise. Foram considerados para a seleção dos episódios, aqueles momentos nos quais o professor introduzia uma nova ideia, um novo conceito ou a apresentação de algum exemplo na abordagem da temática em sala de aula. Nos episódios, são levados em consideração aqueles momentos de interação no qual os níveis de abstração poderiam se refletir no discurso. Para este artigo são apresentados e discutidos os episódios da aula 1, no qual é realizado a introdução do conceito.

Para a organização dos dados e sua posterior análise, foram criados dois dispositivos de tradução relacionando a densidade e a gravidade semântica. Os dispositivos de tradução são ferramentas que permitem identificar o grau de abstração e de relação com o contexto presentes em cada passagem transcrita ou verbalizada das aulas e o processo de empacotamento ou de desempacotamento de um conceito. Para a construção dos dispositivos de tradução, fizemos uso dos dispositivos de tradução que foram usados na pesquisa de Santos e Mortimer (2019) e Dorfling, Wolff e Akdogan (2019). O dispositivo de tradução para a análise da densidade elaborado para este estudo está exposto no Quadro 1 e o dispositivo de tradução para a gravidade semântica está exposto no Quadro 2.

**Quadro 1.** Níveis de densidade semântica para o conhecimento químico universitário.

Densidade Semântica	Nível	Forma	Descrição	Exemplo
<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Forte</div> <div style="margin: 0 10px;">↑</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-top: 10px;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Fraca</div> <div style="margin: 0 10px;">↓</div> </div>	8	Abstrata	Lei, princípio, regra ou condição	Enunciado da primeira lei da Termodinâmica.
	7	Equacional	Explicação do fenômeno/conceito por meio de cálculos, equações e um conjunto de deduções matemáticas atrelados a um conjunto de vários símbolos	Descrição de um gás real por meio da dedução da equação de Van der Waals e seus coeficientes.
	6	Simbólica	Explicação de termos e fenômenos representando-os por símbolos químicos	Associação de energia interna à soma de $q$ e $w$ , que simbolizam calor e trabalho.
	5	Representativa	Explicação do fenômeno presa a representação de esquemas, gráficos, desenhos, figuras, modelos e slides	Explicação da polaridade das moléculas por meio de imagens, slides e vetores;
	4	Conceitual submicroscópica	Requer a compreensão da teoria corpuscular para a explicação do fenômeno	Associação entre a energia cinética de um gás e suas propriedades moleculares e forças intermoleculares.
	3	Submicroscópica	Surgimento de um novo termo submicroscópico que requer uma explicação	Primeira menção acerca de forças atrativas e repulsivas.
	2	Conceitual macroscópica	Relaciona conceitos científicos com aspectos macroscópicos do fenômeno	Associação entre as ligações de hidrogênio e o meio biológico.
	1	Macroscópica	Relaciona conceitos empregados na linguagem cotidiana com o fenômeno	Associação entre a capacidade calorífica e a observação deste fenômeno; Associação entre reservas de energia e reserva financeira.

Fonte: Construído com base em Santos e Mortimer (2019) e Dorfling; Wolff e Akdogan (2019).

O dispositivo elaborado para o estudo da gravidade semântica é composto por 5 níveis, que categorizam a relação entre o contexto e o conceito.

**Quadro 2.** Níveis de gravidade semântica para o conhecimento químico universitário

Gravidade Semântica	Nível	Forma	Descrição	Exemplo
<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Fraca</div> <div style="margin: 0 10px;">↑</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-top: 10px;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Forte</div> <div style="margin: 0 10px;">↓</div> </div>	5	Abstração	Representa as leis e princípios, além do uso de equações e deduções matemáticas para explicação um fenômeno/conceito.	Dedução da equação do virial para explicar a natureza dos gases e enunciado das leis da termodinâmica.
	4	Representação	Explicação de termos e fenômenos por meio de símbolos químicos, esquemas, gráficos, desenhos, figuras, modelos e slides.	Uso de modelos ilustrados para a explicar a variação de volume dos gases; Descrição da simbologia dos coeficientes de uma equação.
	3	Conceituação	Apresenta uma descrição conceitual do assunto abordado por meio de uma linguagem essencialmente científica.	Descrição do conceito de entalpia e forças intermoleculares.
	2	Explicação	Descreve ou desenvolve o comportamento de uma classe de referentes.	Relação entre as propriedades dos gases e o comportamento observável destes.
	1	Correlação	Relação de um referente químico específico com algo real do cotidiano ou explicação por meio de uma linguagem menos técnica.	Associação entre um sistema a volume constante e uma panela de pressão.

Fonte: Construído com base em Santos e Mortimer (2019) e Dorfling; Wolff e Akdogan (2019).

A informação copilada se organiza em um gráfico definido como a variação da gravidade e da densidade semântica ao longo do tempo de um episódio de aula, no qual

o tempo (eixo x) é avaliado em relação às variações da gravidade ou da densidade que ocorrem durante os episódios (eixo y). Com base nestes dois dispositivos de tradução é que serão construídos os gráficos com os perfis semânticos para cada episódio de aula desenvolvido. Os gráficos podem se apresentar de diferentes formas, sendo um deles na forma de ondas, como mostrado na figura 2. Também, é possível verificar perfis semânticos na forma de escadas ou elevadores (no qual há apenas uma parte da onda (ascendente ou descendente), bem como uma reta (sem variação nos níveis semânticos). Para cada perfil semântico é possível inferir um diferente no processo de legitimação e circulação do discurso em uma aula.

### **Resultados dos perfis semânticos**

Para a descrição da formação dos perfis semânticos dos episódios selecionados, primeiro se dará conta de informações sobre os temas e as atividades que foram realizadas em cada um dos momentos selecionados.

Aula 01: a primeira aula utilizada como objeto de estudo tem como temática conceitual as interações eletrostáticas e os gases reais. Esta aula teve duração de 48 minutos. A análise inicia-se em 6 minutos e 43 segundos, pois os minutos anteriores foram utilizados para avisos, organização do material a ser utilizado durante a aula, bem como testes de som e vídeo. Os gráficos apresentados na Figura 3 representam o movimento semântico do discurso pedagógico realizado pelo professor durante o episódio de fala selecionado (6:43 min ao 16:27min), como apresentado no Quadro 3.

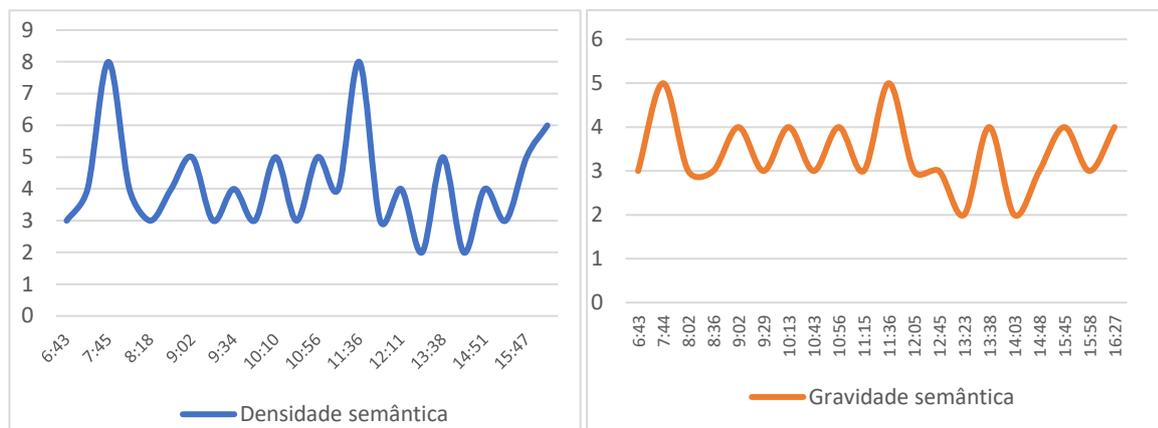
#### **Quadro 3. Episódios de fala do professor durante a aula.**

FRAÇÃO	TEMPO/TRANSCRIÇÃO
F1	<i>(06:43) Gases reais começam exatamente quando a gente fala de interações entre moléculas ou intermoleculares.</i>
F2	<i>(06:50) São forças que funcionam basicamente através de interação eletrostáticas, interações de carga, envolvendo aí moléculas diferentes que podem ser da mesma espécie ou não [...]</i>
F3	<i>(07:45) Sempre que temos uma ligação entre o hidrogênio e os 5 elementos mais eletronegativos, nitrogênio, oxigênio, cloro, bromo e flúor nós temos uma ligação do tipo hidrogênio.</i>
F4	<i>(10:56) Por exemplo, esse carbono vai atrair mais fortemente os elétrons da ligação, ele deveria ficar com carga negativa concentrada só que a mesma coisa acontece na direção oposta [...]</i>

F5	<i>(13:23) A gente viu que as ligações de hidrogênio, elas têm uma importância muito grande no meio biológico, elas são pontos fundamentais da existência da vida, mas também são importantes em outras situações.</i>
----	--

Em F1, o professor inicia a aula com uma explicação acerca de gases reais. Por introduzir termos submicroscópicos em uma linguagem científica, que requer uma posterior explicação, o trecho foi classificado como nível 3 de densidade e gravidade semânticos. Quando ele introduz mais termos científicos e abstratos na explicação (F2) e traz regras conceituais (F3), seus níveis de densidade e gravidade aumentam para 8 e 5, respectivamente. Isso mostra que o professor, ao abordar o assunto, está intimamente ligado ao conceito e à linguagem científica, o que explica o baixo nível de gravidade semântica. O código (GS-, DS+) é um código de abstração, localizado no quadrante superior direito do plano cartesiano da TCL, que corresponde ao código rizomático, que requer o domínio da linguagem científica por parte do estudante. Em F4, o nível de gravidade semântica continua fraco (GS-), e a densidade foi caracterizada como nível 5, pois o professor fica preso a slides e desenhos representativos para sustentar a sua explicação. Na fração F6, ele faz o movimento inverso, aumenta a gravidade semântica e diminui a densidade, gerando nesta passagem o código prosaico (GS+, DS-) e uma dependência maior do contexto ao qual a explicação está inserida. Apesar de o professor passar a maior parte deste intervalo variando entre os níveis mais abstratos, é possível inferir que o professor conseguiu, em termos de movimentos ondulatórios, alcançar 6 dos 8 níveis de densidade semântica e 4 dos 5 níveis de gravidade semântica propostos pelo dispositivo de tradução criado, o que caracteriza um bom fluxo do discurso pedagógico, como pode ser observado na Figura 3.

**Figura 3:** Densidade e gravidade semânticas observadas no intervalo I.



Fonte: Autores (2022)

Nos dois gráficos da Figura 3 é possível verificar que houve variações de amplitudes durante toda esta passagem de tempo, o que caracteriza o movimento e a formação de ondas. Tanto para a densidade, como para a gravidade, os níveis mais recorrentes foram o 3 e o 4. Além disso, nota-se que há uma maior variação da densidade do que da gravidade semântica, o que infere que o professor, durante este intervalo, preocupa-se mais com a linguagem conceitual a ser trabalhada do que com a sua dependência do contexto. As ondas semânticas, neste episódio, indicam que o discurso pedagógico varia entre o submicroscópico e o abstrato. O professor alcança níveis de densidade e gravidade semântica alto duas vezes, caracterizando o código rizomático (GS-, DS+). No quadro 4 estão transcritos alguns momentos deste período.

O segundo episódio, analisado na aula 1, inicia-se no minuto 16:27 e se estende até os 25:05 minutos.

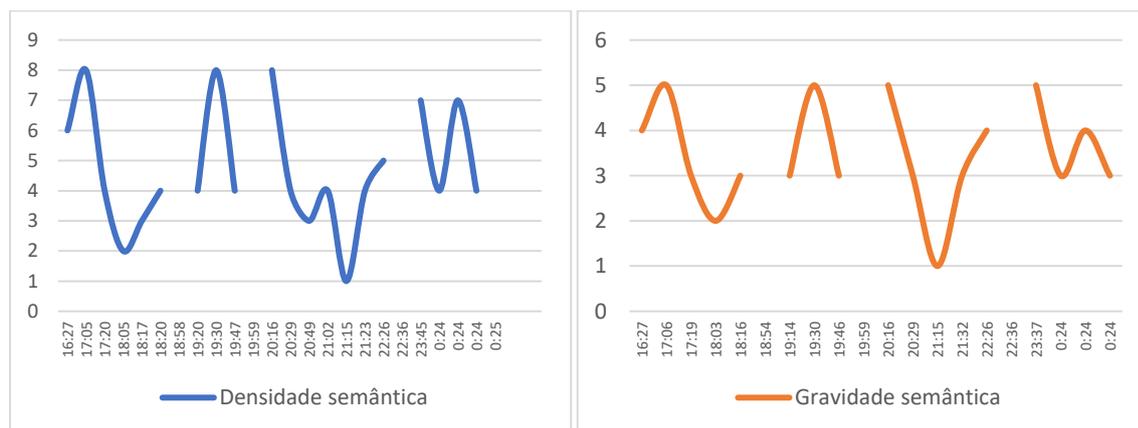
**Quadro 4.** Episódios de fala do professor durante o segundo parte da aula.

Fração	Tempo/transcrição
F6	(16:27) Professor: <i>Como as eletrosferas apresentam cargas negativas a tendência é que haja uma repulsão, que vai fazer com que as moléculas ou átomos se afastem. Isso dá origem ao que a gente chama de potencial atrativo-repulsivo, que é o potencial que rege a interação eletrostática gasosa. A gente viu que para podermos medir o nível de realidade de um gás, o quanto o gás real foge do comportamento ideal, a gente tem o que chamamos de fator de compressibilidade, que nada mais é do que a relação entre o volume molar de um gás real e o volume molar de um gás perfeito. À medida que esses dois volumes molares se aproximam um do outro o Z tende a 1.</i>
F7	(17:05) Professor: <i>Então eu tenho um gás real se comportando como um gás perfeito quando o Z for igual a 1. Toda vida que o fator de compressibilidade fugir de 1, seja de forma positiva ou negativa, a gente vai ter o gás se comportando mais longe da idealidade. O que isso significa? Aluno 1 – É que no caso quando se distancia de 1 ele tem um comportamento diferente de um gás ideal, seria basicamente isso.</i>

	<p><i>Aluno 2 – Pra completar a fala do aluno 1, também não sei a respeito, mas quando se diferencia de 1, seja aumentando ou diminuindo, seria aumentando as repulsões ou as atrações e vice-versa também ou não?</i></p>
F8	<p><i>(18:05) Professor: Exatamente. Quando a gente considera um gás ideal a gente considera que as eletrosferas não existem, elas são esferas perfeitas, como essas bolinhas de pingue-pongue que estão na minha mão. Então eles só vão se sentir no momento do choque. Se vocês têm um sistema com a pressão tendendo a zero, o volume vai tender à infinito. A gente já viu que a pressão é inversamente proporcional ao volume. Se o volume tende à infinito as moléculas tendem a ficar mais distantes umas das outras e se elas estiverem bem longe uma das outras não vai se desenvolver nem interações atrativas nem repulsivas logo, o gás vai se comportar mais próximo da idealidade tá? Então, basicamente é um misto do que o aluno 1 e o aluno 2 falaram, cada um colocou uma parte da explicação.</i></p>
F09	<p><i>(19:20) Professor: Agora vamos falar das duas equações que regem o comportamento de um gás real. A gente tem dois tratamentos aí para poder aplicar para estudarmos gases reais, tá? Se a minha pressão é muito, muito, muito, muito próxima de 0, ou seja, você tem uma pressão extremamente baixa, eu posso usar a equação do estado de um gás perfeito para tratar o meu sistema, pois o comportamento dele vai ser muito próximo do comportamento de um gás ideal.</i></p>
F10	<p><i>(21:02) Professor: Mas quanto maior for a pressão do sistema, menos ideal é esse gás, ou seja, mais interações atrativas e repulsivas a gente vai ter. Tem duas formas de a gente fazer isso, pela equação do virial e pela equação de Van der Walls. São dois tratamentos completamente distintos, e distintos na sua essência. Por exemplo, a equação do virial ela é mais matemática e a equação de van der Walls é mais físico-química. A equação do virial vai ter uma resposta cada vez melhor ao passo em que você for introduzindo termos a esta equação, eu explico já isso. A equação de van der Walls ela é uma boa representação da realidade, mas ela depende de dois coeficientes que são obtidos empiricamente, ou seja, medidos em laboratório.</i></p>
F11	<p><i>(21:15) Professor: Se esses coeficientes foram bem obtidos, você vai ter uma boa descrição do comportamento real do seu gás, tá? Se vocês me perguntarem, qual que você prefere? Mesmo sendo a do virial de maior poder de previsão, eu gosto mais da equação de van der Walls, e eu vou explicar a vocês por quê. Porque a equação de van der Walls ela é deduzida, e nós vamos fazer aqui juntos, ela é deduzida do ponto de vista físico-químico molecular. A equação do virial é um artifício matemático que a gente utiliza, então praticamente não tem química ali atrás. O que têm aí é uma ferramenta matemática que se aplica a um monte de coisa. Vocês já devem ter ouvido falar em expansão em séries de Taylor.</i></p>
F12	<p><i>(21:15) Professor: A volume constante seria o equivalente a gente ter um sistema fechado, um sistema onde eu não tenho perda de matéria. A volume não constante seria um sistema aberto. Volume constante: uma panela de pressão no fogão aquecendo. Volume não constante: uma panela aquecendo no fogo só que sem tampa. Então vamos entender aí o que acontece. A volume não constante, ou seja, à medida que eu aumento a temperatura, as moléculas do gás ganham cada vez mais energia cinética, elas vão se distanciar cada vez mais umas das outras, isso vai dificultar que surjam interações atrativas ou repulsivas então ele vai se aproximar do comportamento ideal. Mais ideal se torna o gás à medida que a temperatura tende a infinito.</i></p>
F13	<p><i>(22:26) Professor: Se o sistema for fechado, ou seja, a volume constante, à medida que eu aumento a temperatura eu aumento a energia cinética, vou aumentar a frequência e a intensidade dos choques, eu vou aumentar a pressão do sistema. Se eu vou aumentar a pressão do sistema eu caio nesse caso daqui, ou seja, menos semelhante ao gás ideal (o professor fica preso ao slide e representa a afirmativa por meio de um modelo/figura).</i></p>
F14	<p><i>(23:45) Professor: Agora vamos falar das duas equações que regem o comportamento de um gás real. A gente tem dois tratamentos aí para poder aplicar para estudarmos gases reais, tá? Se a minha pressão é muito, muito, muito, muito próxima de 0, ou seja, você tem uma pressão extremamente baixa, eu posso usar a equação do estado de um gás perfeito para tratar o meu sistema, pois o comportamento dele vai ser muito próximo do comportamento de um gás ideal.</i></p>
F15	<p><i>(24:01) Professor: Mas quanto maior for a pressão do sistema, menos ideal é esse gás, ou seja, mais interações atrativas e repulsivas a gente vai ter. Tem duas formas de a gente fazer isso, pela equação do virial e pela equação de Van der Walls. São dois tratamentos completamente distintos, e distintos na sua essência. Por exemplo, a equação do virial ela é mais matemática e a equação de van der Walls é mais físico-química. A equação do virial vai ter uma resposta cada vez melhor ao passo em que você for introduzindo termos a esta equação, eu explico já isso. A equação de van der Walls ela é uma boa representação da realidade, mas ela depende de dois coeficientes que são obtidos empiricamente, ou seja, medidos em laboratório.</i></p>
F16	<p><i>(24:18) Professor: Se esses coeficientes foram bem obtidos, você vai ter uma boa descrição do comportamento real do seu gás, tá? Se vocês me perguntarem, qual que você prefere? Mesmo sendo a do virial de maior poder de previsão, eu gosto mais da equação de van der Walls, e eu vou explicar a vocês por quê. Porque a equação de van der Walls ela é deduzida, e nós vamos fazer aqui juntos, ela é deduzida do ponto de vista físico-químico molecular. A equação do virial é um artifício matemático que a gente utiliza, então praticamente não tem química ali atrás. O que têm aí é uma ferramenta matemática que se aplica a um monte de coisa. Vocês já devem ter ouvido falar em expansão em séries de Taylor.</i></p>

Neste episódio, há algumas quebras no gráfico, que simbolizam que os trechos ditos naqueles momentos não se enquadram em nenhum dos níveis do dispositivo proposto. Além disso, neste intervalo, o professor atinge os níveis mais baixos, tanto da gravidade, quanto da densidade semânticas, o que confere a este momento o código o código prosaico GS+, DS-, como exposto na Figura 4.

**Figura 4:** Densidade e gravidade semânticas observadas no intervalo II.



Fonte: Autores (2022)

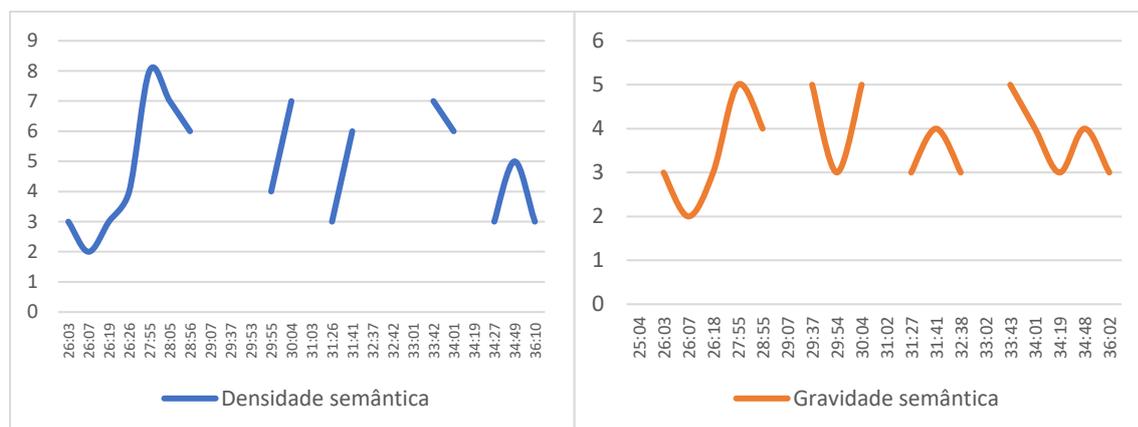
Na maior parte do intervalo deste episódio, assim como no anterior, a aula varia dos níveis 4 e 8 da densidade semântica, o que caracteriza uma densidade forte, com uso de uma linguagem mais robusta cientificamente. Em termos de gravidade, ela varia dos níveis 1 ao 5, conferindo uma variação de uma gravidade forte para uma gravidade fraca, ou seja, menos dependente do contexto ao qual está inserida. No minuto 21:15, o discurso atinge o nível 1, tanto da gravidade, quanto da densidade semântica, o que confere uma correlação macroscópica e cotidiana do fenômeno químico (aumento da gravidade) e o uso de uma linguagem menos técnica (queda da densidade), no momento em que o professor traz o exemplo da panela de pressão para abordar a relação entre volume e pressão.

Ao associar as variações de volume a exemplos do nosso cotidiano, o professor realiza um movimento de desempacotamento de ideias, uma vez que a relação com o contexto se torna muito mais forte do que a linguagem química e conceitual propriamente utilizada. Esse código (GS+, DS-) está localizado no quadrante inferior esquerdo do plano

cartesiano da TCL e caracteriza o uso de uma linguagem menos abstrata e relacionada ao contexto.

O intervalo III inicia-se aos 25:05 minutos e se estende aos 36:10 minutos. Assim como no intervalo II, este contém quebras nas ondas dos gráficos, que consistem em situações não categorizadas (que podem ser de falas que não têm relação com o tema que está sendo abordado). O perfil deste intervalo segue o dos anteriores, uma vez que, tanto a densidade, quanto a gravidade, se concentram nos níveis altos de densidade e gravidade, o que caracteriza uma densidade forte e uma gravidade fraca (GS-, DS+), assim como uma maior dependência do conceito que do contexto, o que chamamos de empacotamento do conhecimento, como apresentado na Figura 5.

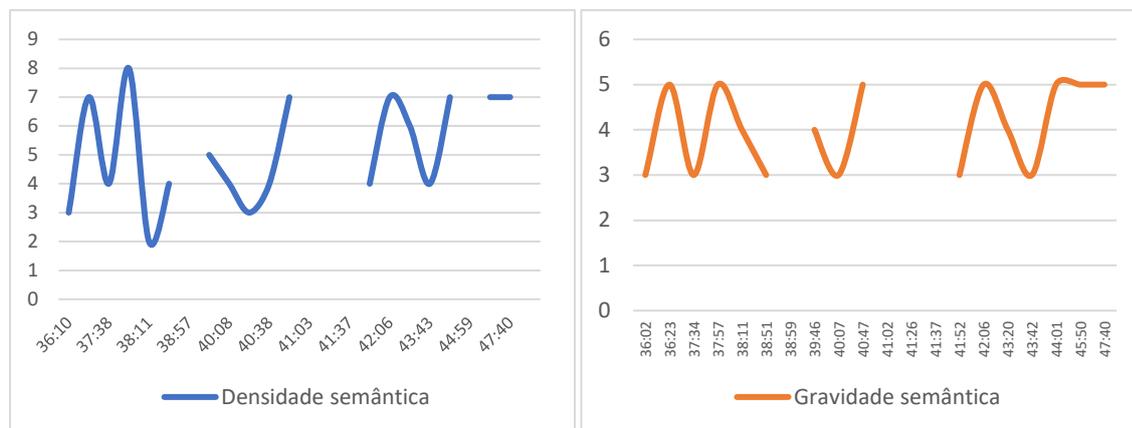
**Figura 5:** Densidade e gravidade semânticas observadas no intervalo III.



Fonte: Autores (2022)

O último intervalo desta aula, o intervalo IV, inicia no minuto 36:10 e se estende até o fim da aula, no minuto 47:40. De imediato, observando o gráfico da gravidade, nota-se que em nenhum momento deste intervalo o professor atingiu os níveis baixos e fortes da gravidade semântica, conforme exposto na Figura 6.

**Figura 6:** Densidade e gravida semânticas observadas no intervalo IV.



Fonte: Autores (2022)

Em termos de densidade, durante a maior parte da aula, o professor oscila entre os níveis 4 e 8, que são os mais fortes desta modalidade. A linguagem utilizada neste trecho é bastante simbólica e abstrata, o que explica a baixa gravidade observada. Neste episódio, o professor realiza um movimento de empacotamento do conhecimento, uma vez que há uma predominância de códigos rizomáticos (GS-, DS+) e da linguagem científica.

Nas Figuras 3, 4, 5 e 6 é verificada a formação de ondas semânticas, umas com maior amplitude e outras com menor amplitude. Tais movimentos podem ser interpretados como processos nos quais o professor possibilita aos estudantes ir de uma gravidade alta (relação forte com o contexto) para uma gravidade baixa (pouca relação com o contexto), bem como o caminho inverso. Também é possível identificar, por meio da densidade semântica, movimentos de variação entre conceitos com níveis elevados de abstração para níveis mínimos de abstração. Em relação à densidade é possível verificar, na formação das ondas semânticas, processos nos quais o professor permite aos estudantes irem compreendendo um conceito em partes (desempacotamento), no qual se vai de uma densidade alta para uma densidade baixa e, também, pode ocorrer o caminho inverso (empacotamento).

## Considerações

A dimensão semântica tem sido analisada em aulas de química (Santos; Mortimer, 2019; Cutrera *et al.*, 2021; Chinaka, 2021; Cranwell & Whiteside, 2020; Barreto *et al.*,

2020), para analisar o processo de legitimação e circulação do discurso em diferentes conceitos da área de química. Para os propósitos deste estudo, utilizamos a gravidade semântica e a densidade semântica para analisar as variações entre a intensidade da gravidade e da densidade em uma aula de Termodinâmica, durante a abordagem do conceito de gases reais e de suas interações intermoleculares. A visão sobre o comportamento dos gases, restrita ao formalismo matemático e de suas representações simbólicas, sem estabelecer relações com o contexto, pode levar os estudantes a não compreenderem conceitos importantes.

O processo de mediação para a compreensão e o uso de uma linguagem científica requer que os estudantes compreendam a forma abstrata e descontextualizada da Termodinâmica de ver e comunicar sua interpretação dos fenômenos a partir de uma tradição científica. Por outro lado, devemos levar em consideração que os professores não são formados, além de considerar a importância de seu discurso para a aprendizagem, nem têm consciência dos perfis semânticos que são desenvolvidos em suas aulas.

Nos episódios analisados, mesmo o professor não tendo a formação descrita acima, foi possível identificar variações, tanto na densidade, como na gravidade semântica. Este fato evidenciou um movimento ondulatório de baixa amplitude, isto é, as variações se davam com maior frequência entre os níveis 3 e 8 da densidade semântica. Este tipo de variação indica que a abordagem do professor se deu na maior parte nos níveis maiores de abstração, variando do nível submicroscópico para o nível simbólico e equacional. Assim, o discurso científico circula apenas com o uso de termos técnicos, expressões matemáticas e representações simbólicas para entes submicroscópicos. Por outro lado, a visualização das variações entre a intensidade da gravidade semântica apresenta movimentos ondulatórios com baixa amplitude, ficando entre os níveis 3 e 5, o que evidencia que o discurso se concentra em maior grau nos conceitos e na abstração destes. Durante a aula, nos diferentes episódios, apenas uma vez o professor faz um movimento de gravidade alta, quando usa um termo do contexto dos estudantes para explicar a relação entre pressão, volume e temperatura na equação geral dos gases. Deste modo, a aula de Termodinâmica pode ser classificada como uma aula de densidade alta e

com gravidade baixa, na qual os conceitos são abordados preferencialmente de forma abstrata e sem considerar a importância do contexto na abordagem destes conceitos.

Maton (2013) nos coloca a importância de se considerar a relação entre o contexto e o conceito para possibilitar a formação de ondas semânticas com amplitudes que permitam a circulação do discurso entre os diferentes níveis e, conseqüentemente, permitir aos estudantes uma maior compreensão e legitimação destes conceitos em situações do seu cotidiano, visto que todo conceito é um processo de abstração de um fato e fenômeno retirado do contexto.

A TCL traz como principal objetivo que os professores, ao tomarem consciência destas variações semânticas, possam mover-se conscientemente de uma maior densidade semântica para uma menor densidade semântica e vice-versa, e subsequentemente, de gravidade semântica mais fraca para gravidade semântica mais forte e vice-versa. Este processo é reiterado várias vezes, à medida que diferentes exemplos são discutidos. No caso específico da aula de Termodinâmica analisada neste estudo, foi verificada a presença destas variações. No entanto, é necessário aumentar a amplitude destas variações para reduzir a abstração e a complexidade ao introduzir novas ideias, palavras, exemplos e conceitos.

Assim, pode-se concluir que o ensino eficaz da Termodinâmica depende de práticas eficazes de construção de conhecimento que preencham com sucesso a lacuna entre Gravidade Semântica (a capacidade de compreender conceitos abstratos) e Densidade Semântica (a capacidade de se comunicar dentro de linguagens científicas específicas). Isso depende tanto do fortalecimento, quanto do enfraquecimento da gravidade semântica (dependência do contexto). Por fim, os professores de química precisam estar conscientes sobre o processo de construção de ondas semânticas durante as aulas. Os conceitos químicos são em sua grande maioria abstratos e complexos. Um único conceito abstrato de alto nível, como a equação geral dos gases, requer a incorporação de várias vertentes de diferentes de conhecimento. A progressão do estudo deve ser caracterizada por movimentos iterativos da densidade semântica mais alta para a densidade semântica mais baixa e, posteriormente, da gravidade semântica mais fraca para a gravidade semântica mais forte e vice-versa.

---

Por fim, podemos concluir que os perfis semânticos podem ser uma ferramenta útil para visualizar a dificuldade que existe no processo de circulação e legitimação do discurso científico em uma sala de aula, e da necessidade de se levar em consideração os processos de descontextualização e contextualização do discurso científico, ou seja, levar em consideração a importância de aspectos relacionados à linguagem no processo de elaboração conceitual.

## Referências

- Abu-Mulaweh, H.I. (2004). Portable Experimental Apparatus for Demonstrating Thermodynamics Principles, *Int. J. of Mechanical Engineering Education*, 32, (3) 223231.
- Anderson, R.R.; Taraban, R. & Sharma, M.P. (2005). Implementing and assessing computer-based active learning materials in introductory thermodynamics. *Int. J. of Engineering Education*, 21, (6) 11681176.
- Barreto, L.P., Rodrigues, A.A.D., de Oliveira, G.C. *et al.* (2020). The Use of Different Translation Devices to Analyze Knowledge-Building in a University Chemistry Classroom. *Res Sci Educ* 51, 135–152 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11165-020-09969-z>
- Bernstein B. (1996) *A Estrutura do Discurso Pedagógico: Classe, códigos e controle*. Petrópolis: Vozes. 302 p.
- Bourdieu P. (1996) *Razões práticas: sobre a teoria da ação*. Tradução de Mariza Corrêa. Campinas: Papirus. 230p.
- Chinaka, T. W. (2021). Introducing the second law of thermodynamics using Legitimation Code Theory among first year chemistry students. *Cypriot Journal of Educational Sciences*, 16(3), 981-994. <https://www.cceol.com/search/article-detail?id=965687>
- Cotignola, M.I.; Bordogna, C.; Punte, G, & Cappannini, O.M. (2002). Difficulties in learning thermodynamic concepts: are they linked to the historical development of this field? *Science & Education*, 11, 279291.
- Cranwell, P. B., & Whiteside, K. L. (2020). Investigation into the semantic density and semantic gravity wave profile of teachers when discussing electrophilic aromatic substitution (SEAr). *Journal of chemical education*, 97(10), 3540-3550. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00571>
- Cutrera, G.; Massa, M. & Stipcich, S. (2021). Nominalización en procesos de condensación de significados en la enseñanza de solución saturada: un estudio de caso en una escuela secundaria. *Ciencia & Educação*, v. 27, e21028, 2021. <https://doi.org/10.1590/1516-731320210028>.

- Hassan, O. & Mat, R. (2005). A Comparative Study of Two Different Approaches in Teaching Thermodynamics. 2005 Regional Conference on Engineering Education. Johor.
- Junglas, P. (2006). Simulation programs for teaching thermodynamics, *Global J. of Engineering Education*, 10, (2) 175180.
- Maton K. (2011) *Theories and things: The semantics of disciplinarity* (p. 62–86). In: Christie F. & Maton K. (Eds). *Disciplinarity: Functional linguistic and sociological perspectives*. London: Continuum. 272 p.
- Maton K. (2013) Making semantic waves: A key to cumulative knowledge-building. *Linguistics and Education*, 24(1): 8–22. <http://dx.doi.org/10.1016/j.linged.2012.11.005>
- Maton K. (2014a) A tall order? Legitimation Code Theory for academic language and learning. *Journal of Academic Language & Learning*, 8(3): A34–A48. <http://journal.aall.org.au/index.php/jall/article/viewArticle/348>
- Maton K. (2014b) *Knowledge and knowers: Towards a realist sociology of education*. London: Routledge. 256 p.
- Maton K. (2016) *Legitimation code theory: building knowledge about knowledge-building* (p. 1– 22). In: Maton K., Hood S. & Shay S. (Eds). *Knowledge-building: educational studies in legitimation code theory*. New York: Routledge. 282 p
- Meltzer, D.E. (2004). Investigation of students' reasoning regarding heat, work, and the first law of thermodynamics in an introductory calculus-based general physics course, *Am. J. Phys.* 72 (11) 14321446.
- Patron, F. (1997). *Conceptual understanding of thermodynamics: A Study of undergraduate and graduate students*. Ph.D Thesis, Purdue University.
- Pilla, L. (2019). *Físico-química I: termodinâmica química e equilíbrio químico*. 3. ed. revista e atualizada por José Schifino. – Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2019. 520p.
- Santos, B. F. & Mortimer, E. F. Ondas semânticas e a dimensão epistêmica do discurso na sala de aula de Química. *Investigações em Ensino de Ciências* (online), v. 24, p. 62-80, 2019. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2019v24n1p62>
- Toyota, N., Lang, M., & Müller, J. (2007). *Low-dimensional molecular metals* (Vol. 154). *Springer Science & Business Media*.

**Submetido em:** 24/10/2022

**Aceito em:** 20/12/2023

**Publicado em:** 20/12/2023