

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**LUANA APARECIDA TOMAZ**

**APRESENTAÇÃO DO CONCEITO DE ENTROPIA EM LIVROS DIDÁTICOS DE  
USO CORRENTE NO ENSINO MÉDIO**

**MEDIANEIRA**

**2022**

**LUANA APARECIDA TOMAZ**

**APRESENTAÇÃO DO CONCEITO DE ENTROPIA EM LIVROS DIDÁTICOS DE  
USO CORRENTE NO ENSINO MÉDIO**

**THE APRESENTATION OF THE ENTROPY CONCEPT IN HIGH SCHOOL  
TEXTBOOKS WHICH ARE COMMONLY USED NOWDAYS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Licenciado em Química, do Curso de Licenciatura em Química, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Emerson Luis Pires.

**MEDIANEIRA**

**2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**LUANA APARECIDA TOMAZ**

**APRESENTAÇÃO DO CONCEITO DE ENTROPIA EM LIVROS DIDÁTICOS DE  
USO CORRENTE NO ENSINO MÉDIO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título  
de Licenciado em Química da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 07/dezembro/2022.

---

Emerson Luis Pires  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Lairton Moacir Winter  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Juliane Maria Bergamin Bocardi  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**MEDIANEIRA  
2022**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha família por toda paciência e compreensão, por entenderem que apesar de querer, não poderia estar presente em todos os momentos.

Em especial ao professor Emerson por sempre estar disposto a sanar minhas dúvidas e incentivar a estudar e pesquisar sobre está grandeza “louca”. Obrigada por plantar em mim a sementinha do questionamento, que começou em uma aula, onde defendi o posicionamento que acreditava ser o certo, mas pude através deste trabalho concluir que ainda há muito o que ser mudado.

E também aos meus amigos, por compreenderem que algumas tarefas deveriam ser priorizadas.

E a Deus e Nossa Senhora, por serem meus alicerces e me manterem firme apesar das dificuldades e cansaço.

O meu muito obrigada a todos.

## RESUMO

Entropia é o número das possíveis combinações de partículas que compõe um sistema e que são compatíveis com o estado desse sistema. É um conteúdo que deveria ser apresentado ao aluno do Segundo ano do ensino médio e é um ramo da termodinâmica pouco explorado e que muitas vezes apresenta um conceito vago relacionados a parâmetros como ordem, desordem e aleatoriedade. Somando-se a isso, os professores buscam nos livros o conhecimento que será repassado a seus alunos através da transposição do conteúdo. O objetivo central do trabalho é analisar como os livros apresentam o conceito de entropia. Propõe-se, assim, analisar como os livros abordam tal conteúdo e como este é apresentado através de figuras e exemplos. Sob essa ótica, percebe-se que este conteúdo acaba sendo pouco explorado, sendo que tentam relacioná-lo ao cotidiano do aluno, mas sem empregar seu real sentido trazendo ideias incongruentes e errôneas.

Palavras-chave: entropia; espontaneidade; desordem; transposição didática.

## **ABSTRACT**

Entropy is the number of possible combinations of particles that make up a system and that are compatible with the state of that system. It's a subject that should be presented to the student in the second year of high school, which is a little explored branch of thermodynamics, and often presents a vague concept related to parameters such as order, disorder and randomness. In addition to it, teachers search for knowledge in the books, so that it will be transmitted to their students through the transposition of subject. The central objective of this project is to analyze how textbooks present the concept of entropy. It is proposed, therefore, to analyze how the books approach this content and how it is presented through pictures and examples. From this point of view, it can be seen that this subject ends up being little explored, and they try to relate it to the student's everyday life but without using its real meaning, bringing about incongruous and erroneous ideas.

Keywords: entropy; spontaneity; disorder; didactic transposition.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>8</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>10</b>
<b>2.1 Objetivo geral</b> .....	10
<b>2.2 Objetivos específicos</b> .....	10
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>11</b>
<b>3.1 Transposição didática</b> .....	11
3.1.1 A Entropia de Clausius .....	13
3.1.1.1 O Demônio de Maxwell .....	14
3.1.1.1.1 A entropia de Boltzmann .....	16
<b>4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	<b>18</b>
<b>4.1 Tipo de pesquisa</b> .....	18
<b>4.2 Instrumentos de coleta de dados</b> .....	18
<b>4.3 Análise dos dados</b> .....	19
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>19</b>
<b>5.1 Coleta de dados</b> .....	20
5.1.1 Abordagem da Entropia para o LV1 .....	22
5.1.2 Abordagem da Entropia para o LV2 .....	22
5.1.3 Abordagem da Entropia para o LV3 .....	23
<b>5.2 Discussões a respeito dos livros analisados</b> .....	24
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>27</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>29</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A área de conhecimento de Química é vista por muitos como algo difícil e incompreensível, pois ocorre no âmbito macro e microscópico, envolvendo átomos e moléculas, elementos que não são possíveis de ver ou sentir. Desse modo, para ser compreendida a química depende muito da abstração e interpretação do aluno.

Assim sendo, em busca de ajudar na compreensão dos diversos conceitos envolvidos nessa ciência, muitas vezes acabamos por fazer uso de definições incongruentes e até mesmo errôneas se comparadas ao que aborda a comunidade científica. Esse é o caso da entropia, conceito muito importante no ramo da Físico-Química e que está entrelaçada com os diversos modos pelos quais átomos e moléculas podem se dispor.

Por se tratar de um assunto complexo e de difícil compreensão, a definição de entropia acaba sendo muito relacionada a termos como “ordem” e “aleatoriedade” como forma de ajudar no entendimento de tal conteúdo. Tal fato pode ser comprovado tanto quanto observando-se o decorrer de aulas de disciplinas da área, nas quais professores e alunos empregam com frequência interpretações baseadas em ordem/desordem como forma de explicar a entropia de um sistema. De forma similar, diversos livros textos ou materiais paradidáticos fazem uso frequente de analogias incorretas, tornando assim, um problema que gera a compreensão inadequada sobre o tema.

Desse modo, este trabalho buscou analisar em livros e recursos didáticos como a entropia é apresentada, se são empregadas analogias e exemplos e como estes são ilustrados, além de analisar se são apresentados de modo que traga o real sentido. Somando-se a isso, analisou também as incongruências encontradas na transposição do conteúdo.

O ato de ensinar é baseado em passar o conhecimento científico para o saber prático, entretanto, ao tentar transpor esse conhecimento pode-se gerar incongruências e ideias errôneas que futuramente poderão interferir no saber. Cada pessoa compreende determinado assunto do seu modo, tirando suas próprias conclusões e buscando relacionar com definições que tornem a sua compreensão mais fácil, porém deve-se sempre estar atento para não ocorrerem distorções do real sentido do tema em questão.

A entropia é um assunto complexo e que gerou e ainda continua gerando compreensões equivocadas em pessoas que buscam relacioná-la com termos e expressões de uso mais corrente na tentativa de tornar sua compreensão mais fácil. Contudo, esta relação em geral acaba por gerar erros e confusões como, por exemplo, a relação entre Entropia com “ordem/desordem”.

Desse modo, esta ciência tão interessante não tem o seu real sentido científico apresentado, mas sim ideias baseadas apenas em parâmetros, como ordem, desordem e aleatoriedade.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Analisar como os livros didáticos do ensino médio apresentam o conceito de entropia, identificando possíveis incongruências na transposição didática.

### **2.2 Objetivos específicos**

- a) Analisar, segundo a ótica da transposição didática, como o conceito de entropia é apresentado;
- b) Apresentar os diferentes conceitos da entropia a partir de Clausius e Boltzmann e comparar com os conceitos passados atualmente;
- c) Abordar os erros encontrados na transposição da entropia.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Transposição didática

O conhecimento apresentado aos alunos teve origem há muito tempo com os estudos científicos. O conhecimento de várias áreas foi sendo moldado com o passar dos anos, tendo início com a comunidade científica que com a sua própria linguagem estruturou determinado estudo. Após, essa “versão científica” é moldada ao ponto de ser possível ser ensinada e então, ser passada aos alunos pelos professores. Assim, o saber precisa ser estudado e passar por todo um processo, até chegar as salas de aula. Presente neste processo está a Transposição Didática.

O estudo da transposição didática, foi introduzido por Michel Verret, em sua tese de doutorado em 1975, entretanto foi Yves Chevallard em 1985 quem desenvolveu a teoria no campo da matemática, afirmando que “o que transforma um objeto de saber em objeto de ensino é denominado de transposição didática” (CHEVELLARD, 2001, p.20), e este saber passará por transformações que o tornarão um objeto de ensino.

Desse modo, a transposição foi inicialmente abordada e estudada no campo da matemática, mas foi difundida para outras áreas visto que o conhecimento também teve sua origem com a ciência. Assim, a transposição didática é a relação entre o saber científico e o saber ensinado na escola pois o conhecimento tem origem com a comunidade científica, mas será transposto para a comunidade escolar (VALENTE, 2005). Desse modo temos que a comunidade científica detém a forma original do saber, com sua linguagem e seu modo de pensar que importam apenas para si.

Para a comunidade escolar que receberá este saber, a linguagem técnica original não será compreendida; ela precisa ser ensinada de modo que o aluno entenda o assunto. Então, para que um conteúdo chegue até o aluno, ele passa pelo processo de transposição didática, dividido em níveis. Inicialmente tem-se o saber científico, que está presente em matérias científicas. Este saber apresenta uma linguagem técnica como aborda Pais (2011, p. 21) “trata-se de um saber criado nas Universidades e nos Institutos de pesquisas, mas que não está necessariamente vinculado ao ensino básico”. Este conteúdo não deve ser visto como um saber

ensinado, pois não será compreendido. Entretanto, ao buscar transpor esse conteúdo de modo compreensível, distorções podem ocorrer, pois modificações serão feitas.

Ao buscar preparar as aulas os professores buscarão o conhecimento, em grande parte, em livros. Neste ponto, percebe-se grandes diferenças referente ao conteúdo. Como colocado por Alves Filho *et al.* (2001) o material didático destinado a professores do ensino médio difere do material destinado a professores de graduação. Segundo o mesmo, o material destinado a professores universitários passa de fato por uma transposição didática, enquanto o de professores do ensino médio passam por uma simplificação, em que a linguagem é mais compreensível.

Diante disto, é o professor quem direcionará o conhecimento, pois a transposição didática ocorre em duas etapas, uma externa ao sistema de ensino, realizada na noosfera e outra interna denominada Transposição Didática Interna, que é realizada pelos professores ao planejar suas aulas e que é o saber ensinado (CHEVALLARD, 1997).

Brito Menezes (2006, p.85) aborda que, “o que o professor faz na sala de aula não é traduzir fielmente o texto do livro didático para os alunos, mas, sim transformá-lo, ‘reescrevê-lo’, criando, conforme Chevallard (1991), um “metatexto”. Assim, pode-se afirmar que dificilmente os alunos terão acesso ao saber original, mas sim a sua adaptação. Este saber adaptado será regido pelos instrumentos normatizadores (Parâmetros e Diretrizes Curriculares, Projetos Pedagógicos, Planos de Curso), além dos livros didáticos e planejamentos de ensino.

Somando-se ao fato das diferentes transposições, do livro ou material didático, da transposição que o professor faz para ensinar o conteúdo, ainda se tem como o aluno recebe esse saber. Pais (2011, p. 22) cita que “não há garantia de que, no plano individual, o conteúdo aprendido pelo aluno corresponda exatamente ao conteúdo ensinado pelo professor”, ou seja, fica a dúvida se de fato o aluno absorveu o conteúdo de modo correto, pois como aborda Brito Menezes (2006), deve-se cuidar para que não ocorra uma “desconfiguração” entre o saber original e o saber adaptado que atrapalhem a aprendizagem.

Abordando ainda a questão da transposição interna, Luccas (2004) chama a atenção para as simplificações, que ocorrem devido formação precária dos responsáveis pela transposição didática.

Além da já citada transposição interna que é aquela na qual o saber científico é transposto para o saber presente em sala de aula, transposto pelos professores ainda até ser ensinado, tem-se também a transposição didática externa.

Para que o saber chegue as salas de aula, ele passa por diversas alterações para se tornar mais compreensível. Assim, a transposição externa será o marco inicial dessas alterações pois é nesta etapa que ocorrerá a transposição do saber científico para o saber que mais tarde será ensinado; (CHEVALLARD, 1997). Esta etapa foi nomeada “noosfera” (CHEVALLARD, 1997), onde há pouca interferência do professor, pois aqui estão envolvidos os responsáveis pelo processo educativo, como pedagogos, técnicos de instituições do Governo. São essas pessoas que irão “selecionar” o que será ensinado em sala de aula, pois serão os responsáveis pela elaboração de livros didáticos, programas direcionados ao ensino e diretrizes curriculares de modo geral (BESSA, 2004, p. 22).

### 3.1.1 A Entropia de Clausius

Em busca de maior rendimento e buscando substituir a madeira, o carvão tornou-se o novo material utilizado em máquinas térmicas, gerando uma grande revolução. Mesmo após já ser consolidada e muito utilizada, a máquina a vapor ainda requeria de uma explicação acadêmica sobre seu funcionamento. Conceitos como calor, voltavam a chamar a atenção para a busca de explicações. Pode-se dizer que com a revolução das máquinas a vapor, deu-se início aos estudos da ciência termodinâmica, e entre seus primórdios tem-se Nicolas Léonard Sadi Carnot que em 1824 publicaria seu estudo sobre o comportamento das máquinas térmicas.

Carnot buscava estabelecer como se dava o funcionamento de todas as máquinas térmicas, e para explicá-las dizia que a produção de movimento é o reestabelecimento do equilíbrio calórico, pois a produção de força motriz era resultante do transporte de calórico de um corpo mais quente para um mais frio (PASCOAL, 2016), assim as máquinas funcionavam devido ao calor (CARNOT, 1988, p 6-7). Neste ponto há uma relação com a Segunda Lei da Termodinâmica, pois aborda o reestabelecimento do equilíbrio térmico. Carnot, então começa a abordar a ideia de conservação do calórico.

Através dos estudos de Clapeyron e de Lord Kelvin, Clausius passa a ter conhecimento do trabalho de Carnot, e então em 1854 começa suas pesquisas relacionadas à conversão da energia.

Seus estudos iniciais apontavam que transformar calor em alta temperatura para calor em baixa temperatura poderia ser equivalente, então propôs que o calor flui do corpo mais quente para o mais frio, transformando calor em trabalho. Entretanto, deveria conservar trabalho em calor, onde o calor fluiria do corpo frio para o corpo quente (BASSALO; DE FARIAS, 2015). Desse modo, Clausius estabeleceu a distinção entre processos irreversíveis e reversíveis, através do que chamou de valor de equivalência que era a relação entre a quantidade de calor e a temperatura.

Ainda abordando seus estudos, Clausius estabelece que uma parte do calor recebido da fonte quente deve se transformar em trabalho e a outra acaba sendo “perdida” para a fonte fria, sendo que a quantidade perdida não é igual a absorvida pela parte quente (AURANI, 2018). Este é o teorema da equivalência das transformações. Mais tarde ele enuncia este teorema da seguinte forma:

Se a quantidade de calor  $Q$  da temperatura  $T$  é produzida a partir do trabalho, o valor equivalente dessa transformação é  $Q/T$ , e se a quantidade de calor  $Q$  passa de um corpo à temperatura  $T_1$  para um corpo à temperatura  $T_2$ , o valor equivalente da transformação é  $Q \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$  em que  $T$  é uma função da temperatura que é independente do tipo de processo por meio do qual a transformação é efetuada (CLAUSIUS *apud* AURANI, 2018).

Assim, representa uma máquina irreversível, com rendimento sempre menor do que uma reversível, a qual opera entre dois reservatórios, sendo  $T_1$  a fonte quente e  $T_2$  a fonte fria.

É a partir do teorema da equivalência das transformações que surge o conceito de entropia; assim, matematicamente se tem:

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$$

Em que  $S$  representa a entropia,  $T$  a temperatura (em Kelvin) e  $Q$  é a quantidade de calor fornecida irreversivelmente (BORGES, 2013, p. 263). Entretanto, foi apenas em 1865 que Clausius nomeou de entropia, que significa transformação e representado por  $S$  (SILVA, 2020).

### 3.1.1.1 O Demônio de Maxwell

Abordando aqui a Segunda Lei da Termodinâmica, esta diz que caso se tenha um sistema isolado e energia associada a cada uma das partes internas (desde que em contato direto), tende a ser espontaneamente compartilhada até que se tenha um equilíbrio térmico. Nesse sentido a entropia só pode se manter ou aumentar, mas nunca diminuir (MOURA, 2016).

Sabe-se que foi Clausius seguindo e modificando os estudos de Carnot que se teve a formulação da entropia, entretanto esta ainda não apresentava caráter probabilístico da Segunda Lei da Termodinâmica (TELES, 2010).

James Clerk Maxwell propôs em 1871 a teoria que mais tarde seria chamada de Demônio de Maxwell, a qual busca sugerir que a segunda lei seria verdadeira apenas estatisticamente. Além disso, esta teoria também marca a passagem entre a Termodinâmica Determinística e a Termodinâmica Estatística<sup>1</sup>.

Em carta a Peter Guthrie Tait, em 1867, buscando ajudar nas explicações da Termodinâmica, Maxwell propôs sua teoria que consiste em um ser hipotético capaz de acompanhar cada molécula de gás em seu curso, sendo que em temperatura uniforme, se movem com velocidades diferentes. Supondo que se tenha um recipiente e este divide-se nos lados A e B, sendo que entre os dois a uma “portinha controlada pelo serzinho”. Assim, analisando cada molécula, o “demoniozinho” permite que apenas as moléculas mais rápidas passem de A para B e apenas as moléculas mais lentas passem de B para A. (RAMALHO *et al.* 2003). Desse modo, sem exercer trabalho, o ser iria elevar a temperatura de B e diminuir a de A, o que contradiz a segunda Lei, pois não haverá o equilíbrio térmico, mas sim uma redução da entropia sem que haja trabalho.

Neste sentido, o demônio não consegue prever em nível macroscópico a velocidade de todas as moléculas juntas, então ele tem que analisar o comportamento de cada molécula de modo individual para então direcioná-la ao lado correto (DOS SANTOS, 2009).

Mais tarde após vários estudos, concluiu-se que o demônio não viola a Segunda Lei. Em 1951 Leon Nicolas Brillouin conclui que o que ocorre é que o Demônio estaria tendo a sua entropia aumentada, do lado de fora dos recipientes, pois geraria

---

<sup>1</sup> Termodinâmica Estatística é o número possível de lugares que os objetos que compõe determinado sistema podem ocupar.

calor ao registrar e armazenar as velocidades das moléculas, ao mesmo passo diminui a entropia no interior dos recipientes ao selecionar as moléculas. (BASSALO, 2019; BASSALO e DE FARIAS, 2015). Ao direcionar as moléculas de gás por sua velocidade, o demônio estaria diminuindo o número de arranjos possíveis do sistema, reduzindo, portanto, a sua entropia (ZOLNERKEVIC, 2017).

Entretanto, selecionar as moléculas ao armazenar as informações do sistema estaria diminuindo a entropia, mas ao descartar, apagar da sua mente estas informações ocorreria o aumento da entropia, pois geraria calor. Desse modo, a diminuição de entropia provocada pelo demônio seria compensada pelo aumento de entropia do seu processo de análise (ZOLNERKEVIC, 2017).

#### 3.1.1.1.1 A entropia de Boltzmann

A entropia adquire novos significados com Ludwig Boltzmann, que introduziu na Segunda Lei da Termodinâmica a interpretação probabilística (PEREIRA, 1997).

Inicialmente, ele apresentou a ideia de que “as partículas de um gás se moviam em órbitas periódicas, assim, a entropia dependia do período das partículas em suas órbitas, e que aumentava com o tempo” (BASSALO, 2019). Entretanto esta ideia foi muito criticada, inclusive por Clausius. Assim, ainda tendo como referência o sistema de partículas, Boltzmann passa a abordar a Entropia como “uma medida da distribuição das partículas em termos de posição espacial e quantidade de movimento”. (MARTINS, 1995, p. 81). Aqui surge a ideia de microestados, assim a energia das moléculas é constante e pode ser distribuída de diversas formas, ou seja, concluiu que um macroestado é o estado no qual certa molécula tem energia.

Assim, a Entropia ganha uma nova representação:

$$S_i = -k \log_2 P_i$$

Em que  $P_i$  é a probabilidade de uma determinada configuração macroscópica ocorrer;  $k$  é uma constante.

Desse modo, através das contribuições de Maxwell, que dizia que a energia cinética das moléculas se equaliza após elas se colidirem por várias vezes, Boltzmann afirma que após as moléculas se colidirem por diversas vezes, algumas adquirirão

maior velocidade e outras obterão menor velocidade. Após muitas colisões entre moléculas de um gás a energia cinética se equalizam Boltzmann esclarecia o paradoxo da irreversibilidade, até que a velocidade se distribua entre as moléculas de modo que novas colisões não irão alterar a velocidade das moléculas (BOLTZMANN, *apud* PEREIRA Jr., 1997, p.43).

Em função disso, Boltzmann afirmou que a crescimento da entropia poderia estar relacionado com a distribuição aleatória das energias das moléculas do mesmo sistema (MASON, 1964, p.406, *apud*. CAVOLAN, 2004, p. 15).

Portanto, para ele os estados mais prováveis são os de maior aleatoriedade, conseqüentemente, de maior entropia (GILBERT, 1982, p. 253, *apud*. COVOLAN, 2004, p.15).

## **4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

### **4.1 Tipo de pesquisa**

A metodologia utilizada é a pesquisa qualitativa, sendo que foi baseada em Bardin (2011) pois engloba uma pré análise, a exploração do material e por fim o tratamento dos resultados além da interferência e interpretação. É uma investigação de modo a tentar identificar erros e incongruências bem como determinado assunto é abordado, podendo ajudar a melhorar a construção do conhecimento. Desse modo, não é uma pesquisa que busca apenas o resultado final, mas sim, abordar como a elaboração do conteúdo se dá, já que para atingir o resultado final, que é o material didático pronto, passa por uma série de profissionais que usarão de seus conhecimentos para a elaboração.

### **4.2 Instrumentos de coleta de dados**

O saber ensinado em sala de aula é buscado pelos professores em grande parte nos livros didáticos, pois são eles que irão direcionar e orientar o ensino e os conteúdos que serão abordados pelos professores em sala de aula (BARROS e HOSOUME, 2008). Além disso, este recurso é muito importante pois garante a qualidade da educação e promove a inclusão social (BRASIL, 2007, p. 5). Sendo assim, por serem um importante recurso e que irão nortear a educação, estes recursos didáticos devem apresentar o conteúdo com o seu real sentido.

Deste modo, foram usados para a coleta e análise dos dados livros didáticos destinados aos professores do segundo ano do ensino médio que são chamados de Manual do professor. Foram analisados um total de 8 livros destinados ao professor, entretanto, destes, apenas três apresentavam a entropia, sendo que nos demais o conteúdo não foi citado.

O Quadro 1 apresenta os títulos com seus respectivos autores e que apresentaram o conceito entropia.

**Quadro 1- Livros didáticos selecionados para análise**

<b>Livro didático</b>	<b>Descrição</b>
LV 1	SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos; MÓL, Gérson de. Química Cidadã. 2. ed., 2 v, São Paulo: AJS, 2013.
LV 2	FONSECA, Martha Reis Marques da. Química. 2 v, São Paulo: Ática, 2013.
LV 3	MORTIMER, Eduardo Fleury; MACHADO, Andréa Horta. Química: ensino médio. 2. ed., 2 v, São Paulo: Scipione, 2013.

Fonte: Autoria própria (2022).

### 4.3 Análise dos dados

De modo a ficar mais claro e organizado as análises feitas neste trabalho, alguns direcionamentos foram seguidos.

Inicialmente, analisou-se se os livros abordam a termodinâmica, na análise foi considerado se são empregadas imagens e figuras e como esses são empregados. Se os exemplos apresentados explicam a termodinâmica de modo didático e coerente.

Abordando de fato o enfoque deste trabalho que é o conceito entropia, alguns aspectos são analisados com mais foco. De modo a ficar mais organizado e claro as ideias que foram analisadas e discutidas, primeiramente foram descritos como os livros explicam e enunciam a entropia e os exemplos que abordam para relacionar com a mesma e então, após a descrição, discute-se e compara-se essas ideias com o pensamento e estudos que autores que estudaram a entropia.

Para essa discussão, foi analisado como os autores definem a entropia, como a abordagem é feita, analisando se está relacionado a processos desordenados e espontâneos, se em algum momento microestados e distribuição das moléculas são citados; quanto aos exemplos, que estes são consistentes ou apenas são usados sem relação alguma com a entropia; se são utilizados imagens, figuras ou fotos que de fato expliquem corretamente o que está sendo analisado, e por fim, se Clausius e/ ou Boltzmann são citados e se sim, como.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 5.1 Coleta de dados

Este trabalho se baseou em avaliar de que maneira os livros didáticos abordam a questão da entropia. Inicialmente, foi estudado como o conceito de Termodinâmica é apresentada, pois para se entender e abordar a entropia é necessário, ter uma base sobre este conteúdo. Os livros em questão abordados, são livros destinados a professores, sendo que a partir destes é que o conteúdo será passado para o aluno.

O livro didático está presente tanto no aprendizado do aluno, como na busca de conteúdo pelo professor para montar a sua aula, sendo um material de apoio. Dante 1996, aborda que em muitas escolas, os recursos são limitados, sendo então o livro didático o material básico ou até então em alguns casos, a único recurso para o professor. Além disso, acrescenta que devido a outras atividades, até mesmo extracurriculares, o professor não consegue desenvolver e planejar atividades sem a ajuda dos livros. Por isso, é tão importante que este recurso traga o conhecimento de modo correto, pois como já citado, este pode ser a única fonte de conhecimento para a construção do saber.

Além disso, muitos professores seguem apenas o que está no livro didático, não buscando abordar outros conteúdos que estariam na ementa apenas por não estar no livro didático, dando uma rápida “pinceladinha”, sendo assim, o conhecimento do assunto não chega ao aluno em sala de aula. Os livros analisados por este trabalho são justamente os destinados ao professor, que recebem o nome de manual do professor.

Os livros analisados trazem inicialmente a abordagem sobre a termodinâmica.

O LV 1 dedica o capítulo 6 a Termoquímica. Até chegar a apresentação da entropia é percorrido todo um caminho, introduzindo inicialmente em pequenos quadros curiosidades sobre a termodinâmica, como por exemplo o surgimento da máquina a vapor.

Em seguida a termodinâmica é citada no princípio de Le Chatelier, até que no capítulo 6 são abordados os seus conceitos, definições, princípios, são abordadas as Leis da Termodinâmica, conceitos muito envolvidos como calor, capacidade calorífica, energia, sendo que estes conceitos são explicados no livro e relacionados ao cotidiano do aluno, através de experimentos práticos e simples e que podem ser realizados em sala de aula e até mesmo em casa.

Dando continuidade, é abordada a questão do funcionamento dos motores, também é dada uma “pincelada” relacionando a termodinâmica a entalpia<sup>2</sup> até que se chega a entropia, onde inicialmente são abordadas a 1° e 2° Lei da termodinâmica, reexplicando de modo não tão detalhado, pois já foram abordadas anteriormente, mas sempre as relacionando com a entropia e sempre explicadas, questionadas e relacionadas a situações do cotidiano. A Primeira lei, é questionada usando-se do exemplo de uma xícara de café com o ambiente externo e a Segunda Lei com dois recipientes de alumínio, água e isopor.

No LV 2 a termodinâmica é abordada no capítulo 9 em Reações exotérmicas e endotérmicas em um quadro com o título “Os três primeiros princípios da termodinâmica.” Inicialmente explica-se o que a termodinâmica estuda; conceitualizando sistema, fronteira, vizinhança, calor e trabalho. Após aborda os três princípios separadamente, usando de fórmulas e deduções matemáticas. Para sua explicação não foram usadas imagens ou experimentos práticos.

No LV 3 a termodinâmica inicialmente é abordada na Lei Zero da termodinâmica, introduzida através do questionamento de como um termômetro mede a temperatura de um corpo e como o gelo “resfria” a bebida. Seguindo aborda cada lei da termodinâmica, abordando conceitos como calor, energia e relacionando-os a situações do cotidiano do aluno. Dando continuidade são abordados os cálculos das leis termodinâmicas, relacionados também a reações endotérmicas e exotérmicas, no caso, entalpia.

Em seguida a termodinâmica é abordada novamente em um tópico que aborda sobre a entropia, sendo que vem acompanhado do seguinte questionamento “Como a termodinâmica explica a ocorrência desses processos espontâneos?”

Deste modo, todos os livros introduzem o que seria abordado, sendo que para se estudar a entropia, o aluno precisa ter o conhecimento de calor, sistema, energia, para que assim possa compreender o que está por vir.

O LV 1 é bem didático, apresentando bastantes imagens, figuras, exemplos e como realizar os experimentos, era como um livro destinado ao aluno. Os livros LV 2 e LV 3 também apresentam texto e figuras, sendo que o LV 3 traz tópicos de como o professor pode abordar o conteúdo exemplificando como as práticas podem ser feitas e as explicando.

---

<sup>2</sup> Entalpia é o calor envolvido na reação a pressão constante.

### 5.1.1 Abordagem da Entropia para o LV1

O LV 1 aborda a entropia em “Espontaneidade das transformações: Entropia.” Para introduzir o assunto começa da abordagem de uma xícara de café sobre uma mesa questionando se a mesma pode esquentar através da absorção de calor do ambiente, após explica que a xícara poderá liberar para o ambiente a energia na forma de calor, entretanto, sua energia permanecerá a mesma

Dando continuidade, aborda processos irreversíveis e espontaneidade, onde diz que esses ocorrem sem que haja a necessidade da ação externa. Para enfatizar esta ideia, cita Clausius afirmando que este disse que “É impossível haver transferência espontânea de calor de um objeto frio para outro quente.” Seguido da ideia de que fenômenos irreversíveis precisam de trabalho externo para ocorrer, assim, exemplificando espontaneidade e irreversibilidade com o uso das geleiras, quedas d’água e quebra de um copo respectivamente.

Após a abordar processos espontâneos, define em quadro entropia como medida de desordem, novamente citando Clausius como autor desta ideia.

Neste livro espontaneidade é relacionado ao aumento da entropia total do sistema e vizinhança.

### 5.1.2 Abordagem da Entropia para o LV2

O LV2 aborda a entropia no tópico “Conversa com o professor” com o título “Entropia”, onde inicialmente a relaciona com espontaneidade de uma reação e com o fato dela ser exotérmica, em seguida diz que foi Clausius quem “introduziu a ideia de que toda reação espontaneamente para um aumento de desordem no sistema”.

Após citar Clausius, o autor define o termo desordem, como sendo na Química algo que remeta ao fato da distribuição da matéria ou energia de um sistema serem mais homogêneas, então, define entropia como sendo a medida de desordem de um sistema.

Relaciona, então, o aumento da entropia com a foto de que para acontecer de modo espontâneo depende de “um estado de equilíbrio em termos de distribuição de matéria e/ ou energia.”

O LV2 aborda que a entropia da fase sólida é menor do que da fase líquida que por sinal ainda é menor do que da fase gasosa, mas explica apenas que isso se deve ao fato de que a capacidade desse sistema de realizar uma transformação espontânea diminui gradualmente.

Aborda então o que intitulou de terceiro princípio, que diz que a entropia não pode ser diretamente medida, sendo possível determinar sua variação através do seu estado final e inicial, sempre usando da relação de que se há um aumento de entropia na reação esta é mais espontânea e irreversível.

Neste momento, a autora relaciona o fato de a reação ser exotérmica o que chamou de entalpia mínima com a distribuição de matéria e energia, o que chamou de entropia máxima, no final do processo que no caso seria dos produtos com o fato de ser mais espontânea.

Para exemplificar a ideia citada acima, diz que processos não se reverterão por conta própria como é o caso de um sistema gás- vácuo separado por uma parede e duas chapas metálicas que atingem a mesma temperatura.

Após isso então, segue sua ideia de espontaneidade citando um cristal perfeito e a Energia Livre de Gibbs.

### 5.1.3 Abordagem da Entropia para o LV3

No LV3 inicialmente são feitos alguns questionamentos relacionados à energia envolvida em uma reação, de modo a saber como ela se dissipa, após estes questionamentos cita a ideia de espontaneidade relacionada a Segunda Lei da termodinâmica, abordando que objetos esfriam mas não se tornam quentes novamente espontaneamente e também exemplifica que cacos de uma xícara e de uma casca de ovo não voltam a ser o que eram, apesar de sua energia ser conservada sua possibilidade de uso diminui de maneira irreversível, pois esta é a direção em que as mudanças ocorrem.

Neste livro a entropia já é de início relacionada a desordem de um sistema e que esta aumenta quando um processo ocorre de modo espontâneo.

Ainda buscando exemplificar processos espontâneos, usa da ferrugem e do derretimento de cubos de gelo, relacionando-os ao fato de serem reações exotérmicas.

Neste momento, usa do exemplo do gás de um botijão, onde este gás se espalha por determinado cômodo, pois este é o “maior número possível de distribuições termodinamicamente equivalentes das moléculas.” Caso ele se concentre em determinada parte, que corresponde ao menor número de distribuições equivalentes entre as moléculas, sendo quase impossível de modo espontâneo, logo as moléculas começariam a colidir de modo a se espalharem novamente.

Isto significa, que a espontaneidade seria o estado de maior distribuição das moléculas na natureza de modo a existirem.

Após usar desta ideia, os autores abordam que o termo desordem não é o mais adequado e que espontaneidade relacionado ao aumento de entropia é na verdade a passagem para um maior número de configurações equivalentes entre as moléculas.

Após usa do exemplo de um sistema com dois compartimentos, separados por uma espécie de torneira e quatro moléculas de cores diferentes para explicar os estados, ou configurações possíveis para as moléculas, mostrando todos os arranjos possíveis e o mais provável de existir. A partir desta ideia, mostra o porquê da diferença entre a entropia nos estados sólido, líquido e gasoso e explicando o que seria a degradação da energia que é citada em livros didáticos.

## **5.2 Discussões a respeito dos livros analisados**

Inicialmente são abordados os exemplos empregados nas explicações. O LV 1 usa o exemplo da xícara com conteúdo quente, que é algo que faz parte do cotidiano do aluno e de fato está relacionado com a Segunda Lei, como aborda Lambert, 1999 ao dizer que a Segunda Lei pode ser resumida em exemplos simples do cotidiano ao citar “panelas quentes que esfriam”, pois estas tendem a dispersar energia de suas partículas ao entrar em contato com o ar mais frio.

Entretanto, nos três livros usa-se do exemplo de objetos quebrados e no LV 3 da casca de ovo para abordar processos irreversíveis, onde um objeto após quebrar não volta a ser o que era, ou seja, aqui quer relacionar com o fato de que não é possível a entropia aumentar sem que haja trabalho.

Mas aqui cabe alguns questionamentos como: O que é um processo irreversível? Comparando a casca do ovo e a xícara qual é o mais irreversível? E como se pode calcular a entropia da quebra de ambos? Portanto, não é possível

relacionar quebra de objetos e irreversibilidade com entropia, pois nem calor esses corpos liberam para uma possível analogia.

O LV3 usa do exemplo da casca de ovo quebrada ao relacionar com irreversibilidade, também da ferrugem, que não é possível estabelecer relação alguma com entropia e também do derretimento de cubos de gelo, ao citar exemplos do dia a dia, sendo que usa deste último para tentar relacionar entropia com processos exotérmicos.

Entretanto, mais adiante usa de exemplos que apresentam um contexto de acordo com a entropia, ao citar o exemplo do gás, onde introduz o real sentido da entropia estatística, abordando as possibilidades de distribuição das moléculas.

Neste exemplo o aumento da entropia está relacionado ao maior número possível de distribuição das moléculas, o que está relacionado a dispersão de energia, já que quanto mais níveis de energia são ocupados mais energia estará dispersa (CAVALTI et al, 2018, p. 169). Aqui não é abordado a palavra microestado para explicar a distribuição das moléculas pelo sistema, no lugar são usadas palavras como estado, alternativa, localização, o que de certo modo está correto, pois para um microestado precisaria informar com precisão a localização e momento de cada molécula e átomo (BAIERLEIN 1999, apud KOZLIAK, 2004).

Quanto ao uso de figuras e imagens, o LV1 não traz imagens relacionadas a entropia, apenas a queda d'água e a do copo quebrado; o LV 2 não traz imagens e o LV 3 traz as figuras ilustrativas na explicação da distribuição do gás, mostrando as distribuições e todos os arranjos possíveis para as moléculas. O exemplo do gás pode ajudar a compreender melhor e de modo correto a entropia.

Outro ponto a ser analisado, é o contexto por trás de desordem. Desordem é apenas uma palavra. Pode-se aqui citar o caso de uma estante com livros, esta estante estaria ordenada ou desordenada? A partir do momento que não é estabelecido o parâmetro de análise, esta estante pode ou não estar ordenada. O mesmo serve para o estado de uma molécula, afinal esta desordenada em relação ao que? Viard, 2005, questiona sobre a viabilidade de atribuir um significado físico a esta grandeza e ainda Lambert, 2006, aborda que a entropia não tem relação alguma com objetos bagunçados ou embaralhados, mas sim uma propriedade que tem por essência a energia (LAMBERT, 2002), adicionando-se a isso Cavalcanti et, al., (2018), diz que este termo leva os alunos a pensarem na desordem como bagunça.

Desse modo, a entropia apresentada nos livros acaba sendo relacionada a parâmetros e não a identificação de mudança na posição de uma molécula, por exemplo, como forma de alteração da entropia, pois apenas é analisado o que está fora da ordem humana.

Nos livros analisados, o LV2 define o que seria o termo desordem, enunciando que na Química o termo desordem significa que em um sistema há uma distribuição mais homogênea da “matéria e/ou energia”, entretanto não aborda o que seria o sistema e como as moléculas estariam dispostas.

Segundo Viard, 2005 a relação do conceito de entropia com o termo desordem “é um remédio que mata mais do que cura”, pois ao questionar o aluno ele apenas pensará em moléculas bagunçadas, fora do seu lugar, além disso TARSITANI; VICENTI, (1996, p.61) aborda que “Nenhuma fórmula estatística relacionando um conceito indefinido como entropia, com outro conceito indefinido como desordem irá ajudar em um melhor entendimento do conceito de “entropia”.

Desse modo, como aborda Lambert (1999), não se pode relacionar a entropia a objetos, pois não há troca de calor ou qualquer outra relação termodinâmica entre eles.

Seguindo com a análise, o LV 3 cita inicialmente a entropia atrelada a desordem, entretanto, no decorrer da apresentação do conteúdo usa do exemplo do botijão, onde o gás se espalha pela cozinha. Neste exemplo, a entropia ainda de certo modo está relacionada o termos, no entanto, já direcionando a explicação relacionando-a com moléculas e distribuição. Após abordar que a relação com o termo desordem não é o correto, os autores passam a abordar a entropia com o seu significado estatístico.

Com uma figura bem ilustrativa e explicação clara e objetiva, aborda todas as possíveis distribuições das moléculas, citando ainda que quanto maior as possibilidades de distribuição maior a entropia. Cavalcanti et, al., (2018) aborda que quanto maior for as possibilidades de distribuição das moléculas, maior será a dispersão da energia, assim quanto mais estados sendo ocupados, maior será a energia dispersa.

Concluindo as abordagens, Clausius é citado nos três livros, sendo relacionado a espontaneidade e como intitulado do termo desordem. No entanto, foi citado apenas para dar mais ênfase a ideia proposta, pois ao ser citado, não foi abordado mais sobre seus estudos.

Boltzmann não foi citado, em nenhum dos três livros estudados, além disso, sua famosa fórmula da entropia não apareceu nos livros, sendo apenas citado o  $S$  como a “grandeza que mede a entropia”.

Em todos os livros analisados a termodinâmica é citada, sendo no LV1 e no LV3 abordada com mais detalhes, dado que no LV1 é abordada desde a linha do tempo com a criação da máquina a vapor, portanto, a entropia não é apresentada sem um preparo inicial, são abordadas questões como calor, sistema e trocas de energia.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Pode-se concluir que o livro didático é uma importante ferramenta que irá nortear o trabalho do professor e para isso, precisa apresentar ideias coerentes com o que aborda a comunidade científica.

Esta análise evidenciou a quão temida a entropia é, sendo que muitos livros do segundo ano do ensino médio, escolaridade que deveria abordar está grandeza não a citam, apresentando somente até a entalpia. Além disso, em momento algum Boltzmann ou até mesmo Maxwell foram citados, e apenas no livro LV 3 a entropia apresenta a abordagem estatística.

Embora os conceitos de entropia não sejam apresentados com a clareza e a ênfase que merecem, ainda assim, a transposição didática ocorre nos manuais do professor, pois neste processo de aprendizagem há uma transposição do saber científico para o saber apresentado ao aluno. Entretanto, estes livros poderiam cumprir essa tarefa com maior relevo, a fim de garantir o suporte mínimo ao professor na aplicação de tão importante conteúdo, abordando com seu o real sentido e sem relação com parâmetros estipulados pela ordem ou desordem humana.

## REFERÊNCIAS

- ALVES FILHO, J. P.; PIETROCOLA, M., PINHEIRO, T. de F. **A eletrostática como exemplo de transposição didática**. In: Mauricio Pietrocola. (Org.). Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia em uma concepção integradora, p.77-99. Florianópolis: UFSC, 2001.
- AURANI, K. M. As ideias iniciais de Clausius sobre entropia e suas possíveis contribuições à formação de professores. **Revista Brasileira de História da Ciência**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 1, p. 155-163, jan / jun 2018.
- BARROS, P.R.P.; HOSOUME, Y. **Um olhar sobre as atividades experimentais nos livros didáticos de física**. In: XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. 2008. Curitiba. Anais. 2008, p. 1-12.
- BASSALO, J. M. Clausius, Kelvin, Maxwell, Loschmidt, Boltzmann e a Entropia. **Seara da Ciência**, 2019.
- BASSALO, J.M F. e DE FARIAS, R. Clausius: pequena história da entropia. **Revista Brasileira de Ensino de Química**, v. 10, n. 2, p. 95-100, jul./dez. 2015.
- BORGES, A. **Ciências da Natureza e suas tecnologias**. mod. 2, v.2. Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, 2013.
- BRASIL, Ministério da Educação. **Política Nacional de Educação Especial na Perspectiva da Educação Inclusiva**. Brasília: SEESP/MEC, 2007.
- BRITO MENEZES, A. P. A. **Contrato Didático e Transposição Didática: Inter-Relações entre os Fenômenos Didáticos na Iniciação à Álgebra na 6ª Série do Ensino Fundamental**. Tese. (Doutorado em Educação). Recife - UFPE, 2006.
- CATTANI, M; BASSALO, J. M. F. Entropia, reversibilidade, irreversibilidade, equação de transporte e teorema H de Boltzmann e o teorema do retorno de Poincaré. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 2, 2301, 2008.
- CAVALCANTI, H.L.B et al. As Muitas Interpretações da Entropia e a Criação de Um Material Didático para o Ensino da Interpretação Probabilística da Entropia. IN: **Química nova escola**, Vol. 40, no. 3, p. 169-177, agosto, 2018
- CHEVALLARD, Y. **La Transposition Didactique** – Del saber sabio al saber enseñado. AIQUE Grupo Editor, 1997.
- COVOLAN, S.C. T. **O conceito de entropia num curso destinado ao ensino médio a partir de concepções prévias dos estudantes e da história da ciência**. Dissertação de Mestrado - Campinas, SP: [s.n], 2004.
- CUNHA, J. A. R.; SANTOS, O. P.; QUEIROZ, J. R. O. **O ensino de entropia com enfoque da história da ciência**. Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação e Ciências – IX ENPEC, Novembro de 2013.

DE MENEZES, M. B **Investigando o Processo de Transposição Didática Interna: o caso dos quadriláteros.** Dissertação de Mestrado não publicada. Programa de Pós-graduação em Educação – Mestrado em Educação – UFPE-Pernambuco, 2004.

DOS SANTOS, Z. T. S. **Ensino de Entropia: um enfoque histórico e epistemológico.** Programa de Pós-graduação em educação. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte, 2009.

KOZLIAK, E. I. Introduction of Entropy via the Boltzmann Distribution in Undergraduate Physical Chemistry: A Molecular Approach, **Journal of Chemical Education**, v. 81, pp. 1595-1598, November 2004

LUCCAS, S. **Abordagem histórico-filosófica na educação matemática: apresentação de uma proposta pedagógica.** Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática). Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Brasil, 2004.

MARTINS, R. C. Sobre a atualidade de proposições de Ludwing Boltzmann. **Revista da SBHC**, São Paulo, n. 13, p.81-94, 1995.

MATOS FILHO, M. A. S. de; MENEZES, J. E.; QUEIROZ, S. M. **A transposição didática em Chevallard: as deformações/transformações sofridas pelo conceito de função em sala de aula.**

MOURA, M; **Entropia e a Segunda Lei da Termodinâmica.** Dissertação: Mestrado Profissional em Ensino de Física. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

MOURA, T. M. **A segunda lei da termodinâmica e o conceito de entropia: uma proposta de sequência didática potencialmente significativa.** Mossoró, 2017.

NEVES, K. C.R.; BARROS, R. M.O. **Diferentes olhares acerca da transposição didática.** Investigações em Ensino de Ciências – V16(1), p. 103-115, 2011.

PAIS, L. C. **Didática da Matemática: Uma análise da influência francesa.** 3ª ed. Belo Horizonte - MG: Autêntica, 2011.

PASCOAL, A, dos, S. **A evolução histórica da máquina térmica de Carnot como proposta para o Ensino da segunda lei da Termodinâmica.** 2016. 142f. Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2016.

PEREIRA, A. J., Irreversibilidade física e ordem temporal na tradição Boltzmanniana. Editora **UNESP**, 1 ed. São Paulo-SP, 1997.

RAMALHO, J. F.; NICOLAU, G. F. e TOLEDO, P. A. S. **Os fundamentos da física.** 8 ed. rev. e ampl. - São Paulo, Editora Moderna, 2003.

SILVA, T. de S. e. **Entropia e Termodinâmica Estatística**: uma proposta pra o Ensino de Química no Ensino Médio. Mestrado (Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco, 2020.

TELES, M. A. **Entropia e a Segunda Lei da Termodinâmica**: Uma abordagem alternativa para o ensino médio. Monografia de final de curso- Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro 2010.

VALENTE, W. R. (2005). **A matemática escolar: epistemologia e história**. Revista Educação em Questão, 23(9), p. 16-30.

ZOLNERKEVIC, I. Diabrura quântica: Grupo brasileiro controla o calor gerado por núcleos atômicos. **Revista Pesquisa Fapesp**, 251 ed. p. 62- 63, jan,2017.