



Universidade Federal de São Carlos
Centro de Ciências e Tecnologias para a Sustentabilidade – CCTS
Departamento de Física, Química e Matemática – DFQM

MIRELA DE LIMA SABATINE

**ANÁLISE DE ANALOGIAS EM LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA ENVOLVENDO O
CONCEITO DE MODELOS ATÔMICOS**

Universidade Federal de São Carlos
Centro de Ciências e Tecnologias para a Sustentabilidade – CCTS
Departamento de Física, Química e Matemática – DFQM

MIRELA DE LIMA SABATINE

**ANÁLISE DE ANALOGIAS EM LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA ENVOLVENDO O
CONCEITO DE MODELOS ATÔMICOS**

Monografia apresentada ao Curso de
Graduação em Química, para obtenção do
título de Licenciado em Química.

Orientação: Prof. Dr. Edegar Benedetti Filho

Sorocaba
2021

FOLHA DE APROVAÇÃO

MIRELA DE LIMA SABATINE

**ANÁLISE DE ANALOGIAS EM LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA ENVOLVENDO O
CONCEITO DE MODELOS ATÔMICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências e Tecnologias para a Sustentabilidade da Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, como parte dos requisitos para a conclusão do curso superior de Licenciatura plena em Química.

Orientador: Prof. Dr. *Edemar Benedetti Filho*.

Orientador

Prof. Dr. Edemar Benedetti Filho

Universidade Federal de São Carlos, Campus Sorocaba

Examinador

Dr. Alexandre Donizeti Martins Cavagis

Universidade Federal de São Carlos, Campus Sorocaba

Examinador

Dr. João Batista dos Santos Junior

Universidade Federal de São Carlos, Campus Sorocaba

Examinador



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

COORDENAÇÃO DO CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA - CCQL-So/CCTS

Rod. João Leme dos Santos km 110 - SP-264, s/n - Bairro Itinga, Sorocaba/SP, CEP 18052-780

Telefone: (15) 32296128 - <http://www.ufscar.br>

DP-TCC-ADP nº 1/2021/CCQL-So/CCTS

Graduação: Defesa Pública de Trabalho de Conclusão de Curso

Ata da Defesa Pública (GDP-TCC-ADP)

Aos 17 dias do mês de março de 2021, por meio de videoconferência, realizou-se a defesa pública do Trabalho de Conclusão de Curso da estudante **Mirela de Lima Sabatine**, do Curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal de São Carlos – *campus* Sorocaba, devidamente matriculada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, perante a Banca Examinadora, composta pelos Professores **Edemar Benedetti Filho**, **João Batista dos Santos Junior** e **Alexandre Donizeti Martins Cavagis**, segundo o estabelecido nas Normas para apresentação do TCC.

Após a apresentação e arguições, a Banca deliberou, segundo os critérios estabelecidos nas normas supracitadas:

Nome do Docente	Função	Nota
Prof. Dr. Edemar Benedetti Filho	Orientador	10,0
Prof. Dr. João Batista dos Santos Junior	Membro 1 da Banca	10,0
Prof. Dr. Alexandre Donizeti Martins Cavagis	Membro 2 da Banca	10,0

Com isso, o Trabalho foi considerado aprovado, com nota final 10,0 (dez).

Sorocaba, 17 de março de 2021.



Documento assinado eletronicamente por **Edemar Benedetti Filho, Docente**, em 18/03/2021, às 14:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alexandre Donizeti Martins Cavagis, Docente**, em 22/03/2021, às 13:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **João Batista dos Santos Junior, Docente**, em 22/03/2021, às 15:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufscar.br/autenticacao>, informando o código verificador **0350845** e o código CRC **9D270395**.

Referência: Caso responda a este documento, indicar expressamente o Processo nº 23112.000540/2021-64

SEI nº 0350845



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

COORDENAÇÃO DO CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA - CCQL-So/CCTS

Rod. João Leme dos Santos km 110 - SP-264, s/n - Bairro Itinga, Sorocaba/SP, CEP 18052-780

Telefone: (15) 32296128 - <http://www.ufscar.br>

DP-TCC-FA nº 1/2021/CCQL-So/CCTS

Graduação: Defesa Pública de Trabalho de Conclusão de Curso

Folha Aprovação (GDP-TCC-FA)

FOLHA DE APROVAÇÃO

MIRELA DE LIMA SABATINE

ANÁLISE DE ANALOGIAS EM LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA ENVOLVENDO O CONCEITO DE MODELOS ATÔMICOS.

Trabalho de Conclusão de Curso

Universidade Federal de São Carlos – *campus* Sorocaba

Sorocaba, 17 de março de 2021

ASSINATURAS E CIÊNCIAS

Cargo/Função	Nome Completo
Orientador	Prof. Dr. Edegar Benedetti Filho
Membro 1 da Banca	Prof. Dr. João Batista dos Santos Junior
Membro 2 da Banca	Prof. Dr. Alexandre Donizeti Martins Cavagis



Documento assinado eletronicamente por **Edegar Benedetti Filho, Docente**, em 18/03/2021, às 14:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alexandre Donizeti Martins Cavagis, Docente**, em 22/03/2021, às 13:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **João Batista dos Santos Junior, Docente**, em 22/03/2021, às 15:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufscar.br/autenticacao>, informando o código verificador **0350847** e o código CRC **E16D30C7**.

Referência: Caso responda a este documento, indicar expressamente o Processo nº 23112.000540/2021-64

SEI nº 0350847

Modelo de Documento: Grad: Defesa TCC: Folha Aprovação, versão de 02/Agosto/2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu professor e orientador Prof. Dr. Edegar Benedetti Filho, por ter me guiado nesse trabalho e meus mais sinceros agradecimentos a todos aqueles que de alguma forma abriram mão de algo para que eu pudesse cursar a graduação, em especial a minha mãe, pois sem ela não teria chegado onde cheguei.

RESUMO

Este trabalho descreve uma pesquisa envolvendo a utilização de analogias relacionadas ao desenvolvimento científico e sua utilização em sala de aula com o intuito de aproximar os conceitos científicos dos estudantes através do seu conhecimento prévio. Seguindo a metodologia envolvendo as análises de analogias propostas por Curtis e Reigeluthe (1984) e ao modelo TWA (Teaching with Analogies) de Harrinson e Treagust (1993), analisaram-se as analogias, com enfoque em Modelos Atômicos e Periodicidade, presentes em cinco livros didáticos aprovados no Plano Nacional do Livro Didático para o triênio de 2018.

Palavras chave: Analogias, Modelos Atômicos, Periodicidade.

ABSTRACT

This work describes a research involving the use of analogies related to scientific development and its use in the classroom in order to approximate the scientific concepts of students through their previous knowledge. Following the methodology involving the analysis of analogies proposed by Curtis and Reigeluthe (1984) and the TWA model (Teaching with Analogies) by Harrinson and Treagust (1993), the analogies were analyzed, focusing on Atomic Models and Periodicity, presented in five textbooks adjusted in the National Textbook Plan for the 2018 triennium.

Keywords: Analogies, Atomic Models, Periodicity.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação de Analogias categorizadas por livro e por temática.

Tabela 2 - Levantamento das características da analogia

Tabela 3 - Levantamento das características da analogia sobre o modelo de Dalton

Tabela 4 - Comparação das características das analogias sobre o modelo de Thomson

Tabela 5 - Levantamento das características da analogia sobre o experimento de Thomson

Tabela 6 - Comparação das características das analogias sobre o modelo de Rutherford.

Tabela 7 - Semelhanças e Limitações das analogias sobre o modelo de Rutherford.

Tabela 8 - Comparação das características das analogias sobre o experimento de Rutherford.

Tabela 9 - Levantamento das características da analogia sobre proporcionalidade no Modelo de Rutherford.

Tabela 10 - Comparação das características das analogias sobre Organização Periódica e Fenômenos Periódicos.

Tabela 11 - Comparação das características das analogias sobre Nuvem Eletrônica e Mar de Elétrons

Tabela 12- Levantamento das características da analogia sobre proporções

Tabela 13 - Levantamento das características da analogia sobre Substância

SUMÁRIO

1. OBJETIVO.....	08
2. INTRODUÇÃO.....	09
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	10
4. METODOLOGIA.....	20
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41
7. ANEXOS.....	44

1 - OBJETIVO

O objetivo principal deste trabalho de conclusão de curso foi na análise, seguindo o modelo TWA, para as analogias presentes em cinco livros didáticos aprovados no PNLD do triênio de 2018. Outros objetivos secundários foram também propostos, tais como:

- Aprimoramento dos conteúdos didáticos presentes em sala de aula;
- Análise de discurso envolvendo analogias próprias no dia-a-dia;
- Verificar a importância que estudos didáticos e metodológicos na área de Ensino de Química contribuem para a formação docente;
- Aprimoramento na redação textual e de apresentação no âmbito do trabalho de conclusão de curso.

2 – INTRODUÇÃO

Não só a aprendizagem é tema discutido amplamente, mas também metodologias que impulsionam e freiam esse processo, uma delas, é a utilização de analogias. As analogias, segundo os autores (Curtis E Reigeluthe, 1984; Duit, 1991, Harrison, e Treagust, 1993; Nagem, 2001; entre outros) é uma ferramenta que quando utilizada com clareza e com preparo pode ser de grande auxílio para facilitar o aprendizado dos estudantes, principalmente de conteúdos abstratos e de difícil visualização, como no caso dos Modelos Atômicos.

Os Modelos Atômicos, por descreverem a natureza microscópica da matéria e por serem apresentados nos momentos iniciais do Ensino Médio, podem acabar se tornando um conteúdo de difícil visualização e compreensão desse diminuto mundo que os alunos agora adentraram, e sua compreensão é de suma importância, pois contribuirá para o entendimento de outros conteúdos mais adiante. Nesse quesito, as analogias tentam trazer esse conteúdo alvo mais próximo do aluno, utilizando um conceito análogo. Porém, como muitas outras ferramentas, essa também deve ser usada com cautela e com planejamento, pois pode causar o efeito contrário.

Desse modo, baseado na pesquisa de Curtis e Reigeluthe (1984) e no modelo TWA (Teaching with Analogies) de Harrinson e Treagust (1993), foram analisadas 23 analogias de cinco livros didáticos aprovados no Plano Nacional de Livro Didático (PNDL) 2018 sob a temática de Modelos atômicos e Propriedades periódicas.

3 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O que são Analogias?

A origem das analogias é imprecisa. Para Curtis e Reigeluth (1984), as analogias advêm da própria linguagem, por isso seus desenvolvimentos estão interligados. As analogias são utilizadas desde os gregos para facilitar aos pensadores e cientistas a exposição de suas ideias. Parmênides é considerado o introdutor do método analógico ao relacionar a concepção do Universo com a concepção do ser. (Carmo, 2006).

As analogias ocorrem quando existem dois objetos, que de alguma maneira possuem relações similares, ou quando há alguma conclusão sobre um fator desconhecido com base em algo conhecido (Curtis e Reigeluth, 1984), ao encontro dessa proposta está Duit (1991), que define as analogias como a comparação de estruturas entre dois domínios, podendo haver relações analógicas de diferentes níveis, por isso as analogias são parte importante da construção de conhecimentos, que gerarão esquemas adaptáveis aos conhecimento pré-existente.

Ainda seguindo essa linha de pensamento, Glynn (1994) propõe que uma analogia compara as semelhanças entre dois conceitos, onde um deles é familiar, denominado conceito *alvo* e transfere ideias para o conceito novo e não-familiar, denominado conceito *análogo*. Na nomenclatura de Duit (1991), o domínio familiar é o análogo e o domínio não-familiar é o alvo, e essa designação desponta como consenso entre os pesquisadores¹. (Duarte, 2005, apud Almeida, 2020).

Assim como as analogias, as metáforas também expressam comparações e enfatizam similaridades. São atribuídas a Aristóteles as primeiras teorias sobre metáforas, esse recurso era utilizado para facilitar o entendimento de assuntos difíceis, e o pensamento metafórico era idealizado como a marca dos “gênios”. As analogias e as metáforas tornaram-se artifícios essenciais para os teóricos da argumentação. (Duarte, 2005 apud Almeida, 2020).

A estrutura das analogias difere da estrutura das metáforas, pois a primeira enfatiza as similaridades de dois domínios de forma explícita, enquanto a metáfora enfatiza

¹ Os autores chamam o “análogo” de “veículo” e o “alvo” de “tópico” respectivamente, porém como a nomenclatura, “análogo” e “alvo” são as mais comumente utilizadas optou-se por estas.

características que não coincidem nos dois domínios de forma implícita. (Duit, 1991), Mol (1999) diferencia os dois termos pelo uso figurado das metáforas. (apud Almeida, 2020).

Outro ponto a ser levantado é a modelagem científica, assim como a analogia, é fonte para criação de modelos, já que o raciocínio analógico está centrado em processos cognitivos de modelagem (Mozzer e Justi apud Almeida, 2020). Carmo (2006) relembra a importância de compreender diversos tipos de modelos para a compreensão da Química, além do raciocínio abstrato e da linguagem científica. Por fim, Curtis e Reigeluthe (1984) já discutiam que as analogias fornecem experiências visuais e modelos mentais para o raciocínio abstrato que a Química demanda.

Como as analogias são utilizadas?

Como já discutido, as analogias são utilizadas desde a Grécia Antiga, e a História da Ciência possui diversos momentos onde os autores fizeram uso das analogias para expor suas teorias, Harisson e Treagust (2006) apontam exemplos desses casos históricos, e propõem que entre a proposta de uma teoria resultante de uma relação analógica proposta e sua aceitação há um longo tempo.

Na química, as analogias são utilizadas na apresentação dos modelos atômicos, tal como a “bola de bilhar” de Dalton, o “pudim de passas” de Thomson, o “Sistema Solar” de Rutherford e em seguida a formulação da Tabela Periódica, por isso são utilizadas largamente como ferramenta didática no ensino (Freitas, 2011).

Em sala de aula, por muitas vezes os professores utilizam as analogias de forma espontânea, pois os alunos demandam que o professor reúna pensamentos e conceitos e realize a explicação do conteúdo para sanar dúvidas, ocorrendo a necessidade de improvisação, levando-o a pensar em situações analógicas a fim de facilitar a compreensão do aluno, por isso, muitas vezes não é feita reflexão sobre o uso daquela analogia (Carmo, 2006).

Para a utilização desse mecanismo em aula, os alunos devem estar familiarizados com o domínio análogo, caso contrário a analogia será mal sucedida, porém familiaridade pode ser incerta, pois os alunos podem possuir conceitos equivocados, por isso pode ser um erro quando assume-se que o estudante possui o conceito análogo consolidado, além disso, para a analogia ter o efeito desejado é necessário perceber a relação entre o análogo e o alvo. (Duit, 1991).

Em sala de aula o aluno precisa conhecer a linguagem científica e conseguir fazer uso dela, no entanto, quando o conteúdo é apresentado de forma distante da linguagem cotidiana, a linguagem científica torna-se um empecilho a aprendizagem. As analogias permitem fazer uma ponte entre o saber científico e o saber escolar, desde que as adequações necessárias sejam feitas com máxima atenção e cuidado para que os estudantes não assumam a analogia como verdade ou como o próprio conceito (Carmo, 2006).

Embora a utilização das analogias possa ser benéfica e aproximar os alunos da ciência, ela sozinha deve ser utilizada conscientemente e de forma confiável, segundo Harrison e Treagust (1993), dessa forma, a analogia permitirá que os conceitos de um domínio já conhecido, auxiliem e estimulem a reconstrução do conhecimento dos alunos.

A utilização de uma analogia em aula pode se dar três formas, focando no professor, no aluno, ou nos dois. O modelo que coloca o professor como cerne, apenas considera as ações desenvolvidas pelo professor e seu papel em relação a utilização das analogias, como por exemplo o modelo Teaching with Analogies (TWA), de Glynn (1991) (Duarte e Fabião e Duarte 2006, apud Almeida, 2020). Os modelos centrados nos alunos atentam-se ao que os alunos trazem e como elaboram suas próprias analogias, um exemplo é a Metodologia de Ensino com Analogias (MECA), que foi desenvolvida por Nagem, Carvalhes e Dias (2001). Por fim, o modelo que foca tanto no professor quanto no aluno, este compreende que o ensino por meio de analogias depende das duas partes, Cachapuz propôs um modelo de ensino assistido por analogias em 1989. (Almeida, 2020).

Quais as vantagens e desvantagens da utilização das analogias em sala de aula?

Existem várias vantagens e desvantagens dependendo da abordagem escolhida ao utilizar as analogias em uma aula. Duit (1991) aponta que a analogia é um artefato precioso para aprendizado conceitual, causando efeito positivo no entendimento de conceitos abstratos, e ainda, pode cativar o interesse dos alunos, porém o professor deverá considerar o conhecimento dos alunos para aplicá-las. Durante o processo, a analogia poderá revelar equívocos e incompreensões de assuntos estudados anteriormente, esses equívocos devem ser tratados com clareza, porque se os alunos não tiverem sólido conhecimento do análogo, essa concepção errônea será transferida para o alvo, por isso, salienta o autor, sobre a necessidade da utilização de guias e do planejamento.

Caso alguns cuidados não forem tomados, como esclarecer as relações analógicas e as limitações entre o análogo e o alvo, as analogias podem criar barreiras conceituais, parte dela

é proveniente da bagagem que o aluno carrega, Bachelard (1996, apud Carmo 2006) compreende essas barreiras como obstáculos epistemológicos e a “bagagem” são os subsunçores. Outras desvantagens apontadas por Bachelard (1996) é a valorização do análogo sobre o alvo, o não reconhecimento de que se trata de uma analogia. Chassot (1995 apud Carmo, 2006) chama atenção para a diferença sociocultural entre os alunos da mesma turma, pois esse fator pode permitir que alguns alunos se aproximem mais do análogo do que outros. Todavia, essas situações de desvantagens acontecem, em maior parte, no uso espontâneo das analogias, e quando utilizadas de modo planejado, as analogias podem ser utilizadas como verificadoras dos subsunçores, a fim de atingir uma aprendizagem significativa, revelando-se uma ferramenta de resgate das relações já existentes da estrutura cognitiva do estudante e fazendo a ligação com os novos conceitos propostos; pode promover mudança conceitual dos alunos e proporcionar uma atmosfera lúdica e motivadora (Freitas, 2011).

O que dizem os autores?

Diversos autores trabalharam com Analogias, tais como, Curtis e Reigeluth (1984), Duit (1991), Glynn (1991), Harrison e Treagust (1993), para citar alguns, e a maior parte das propostas são centradas na atuação do professor (Carmo, 2006). Glynn (1991, apud Carmo 2006) foi responsável pela proposta inicial do Modelo *Teaching With Analogies* (TWA), baseando-se na análise de livros textos, propondo seis passos para a utilização de uma analogia: Introduzir o assunto-alvo, sugerir um análogo, identificar as principais características, identificar similaridades, indicar falhas e concluir. O autor ainda relata que a ordem dos passos pode ser modificada, contudo devem ser cumpridas para minimizar compreensões inadequadas (apud Almeida, 2020). Duit (1993) comenta que o modelo proposto é, sem dúvidas, de grande ajuda para ensinar utilizando analogias, porém é um guia estrutural inicial, uma sequência de passos essenciais, e que é necessário prestar atenção na necessidade do compartilhamento dos significados entre alunos e professor.

Em seguida, Harrison e Treagust (1993) propuseram uma adaptação do modelo para aplicá-lo em ciências. Nas pesquisas demonstram que as similaridades e as limitações são introduzidas pelo professor ao mesmo tempo, os passos não precisam ser seguidos na ordem proposta inicialmente, abrindo espaço para as adaptações necessárias, como rever mais de uma vez o conceito análogo, por exemplo. Os autores enfatizam a necessidade de estabelecer as similaridades claramente para os alunos, pois se não forem compreendidas apropriadamente a eficácia da analogia será imprecisa, onde os alunos poderão apresentar

concepções alternativas. Apesar de ser um modelo prático, o TWA requer prática para sua aplicação em aula.

Outra metodologia de ensino utilizando analogias, desenvolvida por pesquisadores brasileiros, Nagem, Carvalhaes e Dias (2001), denominada *Metodologia de Ensino com Analogias* (MECA), assim como TWA, consiste em uma sequência operacional, com o objetivo de trabalhar os conceitos abstratos e elaborar analogias e é fundamentada em nove passos. Inicialmente define-se a área do conhecimento, seguido do assunto a ser abordado e o público a quem esse assunto se dirige, o quarto passo é definir a analogia e em seguida o domínio que será explicado, com isso, têm-se o sexto passo que consiste na explicação da própria analogia, a apresentação das semelhanças e diferenças relevantes para a compreensão do assunto, e finalizando, faz-se reflexões acerca da validade das analogias e avalia-se a assimilação dos alunos (apud Almeida, 2020). Essa metodologia, diferente do TWA, é centrada no aluno, estimulando-os a participar ativamente em seu processo de aprendizagem.

Contudo, o sistema de classificação de analogias elaborado por Curtis e Reigeluthe (1984) ganhou destaque mundialmente devido ao seu pioneirismo, os autores analisaram 216 analogias retiradas de livros texto de ciências, e desde então vem sendo utilizada. O foco da pesquisa eram as analogias textuais, estas são compreendidas como uma estratégia cognitiva para melhorar a compreensão do aprendiz. As categorias elaboradas são:

- a. *Relação Analógica*: Existem três classificadores nessa categoria; estrutural, quando o análogo e o alvo apresentam aparência física correlata; funcional, quando a função de ambos é similar; e o terceiro Estrutural-Funcional, que combina os dois anteriores;
- b. *Formato de Apresentação*: A analogia pode ser apresentada apenas verbalmente, onde o leitor será responsável por criar sua própria visualização, ou pode incluir uma figura;
- c. *Condição*: Tanto o análogo quanto o tópico pode ser caracterizado como concreto ou abstrato, assim podemos ter analogias Concreto/concreto, abstrato/abstrato e concreto/abstrato. Os autores não consideram a classificação abstrato/concreto, pois se infere que o objetivo da analogia é facilitar o entendimento de um conteúdo complexo;
- d. *Posição*: A analogia pode ser apresentada em três momentos distintos, no início do conteúdo, como organizador prévio, ou durante a explicação, quando o alvo torna-se mais abstrato, como ativador embutido, requerendo que o aluno utilize essa estratégia cognitiva para facilitar o aprendizado e por fim, ao final da explicação, atuando como pós-sintetizador da informação que já foi apresentada;

- e. *Nível de Abstração*: Uma analogia será dita simples quando composta por conectores do tipo “é como” e “pode ser comparado com”. São utilizadas quando as similaridades são suficientemente óbvias, mas raramente utilizadas em textos porque requerem que o aprendiz pense sobre a relação analógica, o que pode ser uma tarefa difícil quando as semelhanças e diferenças não estão evidentes. Existem as Enriquecidas, essas mostram os motivos e as limitações entre o análogo e o alvo, e as Estendidas, que são mais raras, pois utilizam mais de um análogo para chegar ao mesmo alvo;
- f. *Orientação Pré-tópico*: Consiste na explicação do análogo, levando em conta que as analogias podem ser úteis para que o aprendiz compreenda um assunto novo e/ou complexo, desde que o análogo utilizado seja familiar e concreto, caso contrário pode causar confusão, na pesquisa observou-se que a maior parte dos livros não faziam descrição do veículo, já assumindo que são conhecidos pelos aprendizes, porém essa suposição pode estar incorreta muitas vezes. Quando o veículo for pouco conhecido, é válido explicá-lo, quando é conhecido, porém complexo, é válido revisá-lo;
- g. *Identificação da Analogia*: Ao identificar que se fará uma analogia, deixa claro ao leitor que haverá uma comparação entre um assunto familiar e outro não-familiar.

Como as analogias foram utilizadas no desenvolvimento dos Modelos Atômicos?

Em 1803, Dalton propôs um modelo atômico, baseado em seus interesses em meteorologia, e influenciado pela teoria corpuscular de Newton. De acordo com Newton, a matéria era constituída de diversos tipos de partículas hierarquicamente organizadas, e ainda, tentou aplicar as leis universais de movimento entre as partículas para explicar o comportamento dos gases, essa concepção, por sua vez foram influenciadas por Boyle, cuja teoria combinava os aspectos do atomismo antigo, partículas indivisíveis de Leucipo e Demócrito, bem como a teoria aristotélica, onde as pequenas partes mantêm as propriedades de massa.

Dalton continuou investigando a composição da atmosfera, chegando à conclusão que ela era homogênea, sem separação dos gases em camadas, avançou os estudos e elaborou o que viria a ser a primeira Lei de Dalton para misturas de gases e a Lei da Pressão Parcial, bem como a solubilidade de gases em água, com o apoio de Henry. Com essa trajetória, Dalton pode propor seu modelo atômico, pensando nas diferenças dos pesos atômicos, na combinação desses átomos e outros aspectos da teoria atômica (Viana e Porto, 2009). O

caminho trilhado por Dalton foi bem mais longo do que pode ser imaginado baseando-se na apresentação que é feita pelos livros didáticos, onde é descrito a proposta do átomo de Dalton como uma esfera indestrutível, indivisível e eletricamente neutra, a “bola de bilhar”. (Freitas, 2011)

Thomson propôs que o átomo continha elétrons, inicialmente chamados de corpúsculos, que estariam distribuídos uniformemente pela esfera positiva, e se movimentavam em anéis paralelos, girando em alta velocidade, e o número de corpúsculos variaria em cada anel. A distribuição dos anéis é dada de forma que mais próximo a superfície da esfera encontram-se os anéis mais populosos em corpúsculos, enquanto os anéis com menos corpúsculos estão mais internos.

Para explicar o arranjo desses anéis, Thomson utilizou uma analogia com ímãs flutuantes:

Ímãs pequenos flutuam em um vaso de água. (...) Os ímãs são colocados de modo que os polos positivos estejam todos para cima ou todos para baixo da superfície da água. Esses polos positivos, como os corpúsculos, repelem-se mutuamente com forças variando inversamente com a distância entre eles. A força atrativa é exercida por um polo negativo (se os pequenos ímãs estiverem com seus polos positivos acima da água) suspenso a alguma distância acima da superfície da água. Este polo irá exercer sobre os polos positivos dos pequenos ímãs flutuantes, uma força atrativa (...). Assim, a força no polo dos ímãs flutuantes será muito semelhante à força que atua no corpúsculo em nosso átomo hipotético. (...) a principal diferença é que os corpúsculos são livres para se mover em todas as direções, enquanto os polos dos ímãs flutuantes são limitados a mover-se em um plano paralelo à superfície da água (Thomson, 1904b, p. 144-145, Apud, Ramos e Mozzer 2018).

Como se pode perceber em sua analogia, o modelo atômico é dinâmico, onde os elétrons se movimentam, contudo, essa não foi à analogia popularizada. Os fundamentos utilizados por Thomson em sua analogia são contrastantes com a analogia do Pudim de Passas, analogia largamente utilizada, onde alguns livros didáticos até associam-na ao próprio Thomson, porém na verdade, indícios demonstram que a primeira ocorrência da analogia foi encontrada em notas de um diário publicado pela empresa Merck, escritas por um repórter anônimo por volta de 1906 (Ramos e Mozzer, 2018).

O pudim de passas descrito pelo repórter é uma sobremesa popular inglesa, composta por uma massa bastante densa, podendo conter passas e outras frutas secas; esse bolo lhe era um objeto familiar. Os livros didáticos tomaram posse dessa analogia para a divulgação do modelo proposto por Thomson, entretanto existem diversas dificuldades enfrentadas pelos

estudantes que se deparam com essa analogia, pois o análogo não lhes é familiar, e acabam imaginando um pudim tradicional brasileiro ou um manjar de ameixas (Ramos e Mozzer, 2018).

Assim como Dalton, Rutherford debruçava-se sobre outros assuntos quando propôs seu modelo atômico, começou seus estudos pelas emissões radioativas de urânio e pôde distinguir as emissões alfa e beta, elucidando características da radiação alfa, com seus contribuintes, testou curvas de decaimento e recuperação de rádio elementos e desenvolveu a teoria de transmutação desses elementos. Quando elaborou seu modelo atômico investigava a natureza das emissões alfa, devido a sua grande energia e velocidade.

Com o auxílio de Hans Geiger, concluiu que as emissões alfa eram originárias de átomos de hélio totalmente ionizados, com esse dado, estudou os átomos, admitindo que as emissões alfa tivessem natureza atômica. As observações de desvio de trajetória, em seu famoso experimento de bombardeamento de partículas o deixaram intrigado.

Para publicar seu modelo atômico, novamente foi amparado, primeiramente pelo artigo intitulado “Sobre a Reflexão Difusa das Partículas Alfa” (1909) e nos estudos do Físico Japonês Nagaoka (1904), que considerava o modelo atômico como um “sistema saturniano”, onde haveria uma partícula central carregada positivamente rodeada por anéis de elétrons girando ao seu redor com velocidade angular. (Marques e Caluzi, 2003). Nos livros didáticos esse modelo é apresentado como Modelo Planetário (Freitas, 2011).

Por fim, o último modelo abordado em muitos livros didáticos é o proposto por Bohr. Bohr trabalhou com Rutherford nas pesquisas com as partículas alfa, após ser recusado por Thomson. Em seu trabalho, Bohr descreve o átomo com um núcleo que representa a maior parte do átomo, denso e positivo, ao redor, os elétrons descrevem órbitas circulares. Com essa proposta, foi possível estabelecer que as emissões em séries de espectros acontecessem quando os elétrons mudavam de camada, a repercussão de sua teoria foi muito grande, Sommefeld participou ativamente, propondo cálculos. (Melze e Aires, 2015).

A construção de modelos análogos para teorias científicas demanda esforço e ocorre através de um processo de diálogo entre o análogo e o objeto e compartilhando significados (Oliva et al, 2003 apud Freitas 2011).

Como o aluno compreende os Modelos Atômicos?

As analogias estão presentes no desenrolar da Evolução da Ciência, e podem ser utilizadas como ferramentas importantes nas aulas de ciências, na forma de modificador dos

conhecimentos pré-existentes, buscando a aprendizagem significativa, que leva em consideração o conhecimento prévio do aluno a fim de utilizá-lo como ancoradouro para os novos conhecimentos a serem adquiridos. As analogias também influenciam no processo de construção dos conhecimentos, produzindo, incrementando e desenvolvendo esquemas mentais baseados nesses ancoradouros (subsunçores), buscando atingir mudança conceitual, internalizando conhecimento que venha a ser utilizado posteriormente para interpretar novas situações.

O estudo dos Modelos Atômicos causa grande impacto para os alunos, pois precisarão desenvolver capacidade de abstração para compreender o ‘micro’ e perceber as relações entre as interações que acontecem nesse mundo e como refletem ao mundo ‘macro’. Para os professores também pode ser difícil encontrar relações com o cotidiano. O professor pode optar por abordar a contextualização histórica delimitando os modelos e dando oportunidade para os alunos compreenderem a evolução do pensamento científico, a elaboração e melhoria de teorias (Mortimer, 1995).

Os alunos podem adquirir diversas perspectivas quando estudam os modelos atômicos; em seu estudo, Mortimer (1995) aponta algumas delas: há grande dificuldade na utilização de um modelo descontínuo que represente as transformações da matéria; dificuldade em conceber a existência de espaços vazios entre partículas; são deixados de fora aspectos como movimento das partículas e suas interações; a assimilação sobre conservação de massa também pode ser um empecilho, e por último, relacionar os modelos atômicos estudados com o comportamento dos materiais.

Mortimer (1995) realiza um experimento sobre dilatação de um gás, para entender quais as hipóteses dos alunos; a observação destes é que o aumento do volume é consequência da dilatação das próprias partículas. Essa concepção dos alunos é chamada de atomismo substancialista, pois as propriedades macroscópicas das substâncias são atribuídas aos átomos e moléculas, levando a crer que o atomismo é uma composição racional elaborada a partir de intuições sensoriais, demonstrando a dificuldade de aceitar que existem vazios nos átomos e moléculas.

O estudo dos modelos atômicos tem um propósito: auxiliar na explicação dos fenômenos e estabelecer relações com as propriedades da matéria, como por exemplo, não discutir aspectos, como a movimentação das partículas nos espaços vazios, pertencente ao modelo de Dalton, que era um conceito relevante para a explicação do experimento realizado na pesquisa de Mortimer (1995). Ao pressupor que os alunos já compreenderam esse aspecto, não se leva em conta que cada um deles fará suas próprias relações com o que ele entendeu;

como alternativa, propõe-se o paralelismo histórico, onde a superação dos modelos admite movimentação e explica a transformação dos materiais sem atribuir as propriedades macroscópicas.

Porém, a abordagem histórica muitas vezes acontece apenas na ordem cronológica dos acontecimentos, sem aprofundamentos e problematizações, essa perspectiva também contribui para gerar mais incompreensões, já que não se fundamentam na elaboração do modelo, utilizando-se de pesquisas, experimentos, cálculo, relações humanas, e não discorre sobre a validade desse modelo, levando os alunos a pensarem que o modelo quando é substituído por um novo, o anterior estava errado ou que não é mais útil. É preferível que o aluno compreenda primeiro o que é um modelo, qual sua utilidade e que ele representa o caráter dinâmico e evolutivo da ciência (Mortimer, 1995).

Mortimer ainda sugere que outro fator que corrobora com a consolidação dos conhecimentos sobre modelos atômicos são as analogias, pois o aluno pode trazer um modelo abstrato para a realidade macroscópica, estabelecendo relações analógicas deturpadas quanto aos limites da analogia, quando estes não são bem definidos.

4 – METODOLOGIA

Para a realização da pesquisa foram selecionados cinco livros a partir do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) de 2018, conforme descritos na tabela 1, vale salientar que os livros utilizados eram os Manuais do Professor, contendo as orientações ao docente. Foi contemplado o conteúdo de modelos atômicos e as propriedades periódicas a fim de encontrar analogias, devido ao grau de abstração necessário para a compreensão dos conceitos microscópicos.

Tabela 1 - Relação de livros analisados com base no PNLD 2018

IDENTIFICAÇÃO	LIVRO	AUTOR(ES)	EDITORA
01	Química	Ciscato, Moreira, Chemello e Protti.	Moderna
02	Química	Martha Reis	Ática
03	Vivá Química	Vera L. D. de Novais e Murilo T. Antunes	Positivo
04	Química Cidadã	Wildson Santos e Gérson Mol	AJS
05	Ser Protagonista	Lisboa, Bruna, Nery, Liegel e Aoki.	SM

Fonte: Autoria própria.

A partir da seleção das analogias, elas foram classificadas primeiramente em relação ao conteúdo alvo, em seguida foram analisadas a partir dos critérios de Curtis e Reigeluthe (1984), pois em seu trabalho focaram em analogias em texto. Segundo os autores, (Curtis e Reigeluthe, 1984) a análise é apoiada em sete pilares: Relação Analógica, Apresentação, Condição, Posição, Nível de Abstração, Orientação pré-tópico e a Identificação da Analogia, como descritos anteriormente e ainda foi acrescentado o tópico de limitações, baseado no Modelo TWA (Harrison and Treagust, 1993).

O levantamento de dados ocorreu através de uma pesquisa quantitativa seguindo as recomendações de Fonseca (2002), no qual estabelece:

“A pesquisa quantitativa se centra na objetividade. Influenciada pelo positivismo, considera que a realidade só pode ser compreendida com base na análise de dados brutos, recolhidos com o auxílio de instrumentos padronizados e neutros. A pesquisa quantitativa recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno, as relações entre variáveis etc.” (FONSECA, 2002, p. 20).

5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando os livros escolhidos a partir do PNDL 2018, foram encontradas 23 analogias nos capítulos da temática escolhida: Modelos atômicos e Propriedades periódicas. Para melhor análise, as analogias foram divididas por temática, relacionadas na Tabela 2. Identificou-se que o livro que mais continha mais analogias foi o Livro Vivá (Novais e Antunes, 2016), e a temática que mais continha analogias foi sobre Periodicidade, com oito analogias, seguido do Modelo Atômico de Rutherford com sete analogias. Os temas Modelo Atômico de Thomson, Nuvem Eletrônica e Mar de Elétrons, e Proporções continha apenas duas analogias cada. O Modelo Atômico de Dalton, Substância e Modelo, foram temáticas que apresentaram apenas uma cada, vale salientar que essas duas últimas temáticas foram selecionadas por fazerem parte dos capítulos escolhidos e por apresentarem analogias relevantes para o estudo.

Tabela 2 - Relação de Analogias categorizadas por livro e por temática

Analogia	Livros				
	1	2	3	4	5
Modelo Atômico de Dalton	0	0	0	1	0
Modelo Atômico de Thomson	0	0	0	2	1
Modelo atômico de Rutherford	1	2	3	1	0
Periodicidade	2	0	3	1	2
Nuvem Eletrônica	1	0	0	1	0
Mar de elétrons	1	0	0	1	0
Substância	0	0	1	0	0
Proporções	0	1	0	0	0
Modelo	0	0	1	0	0
Total por livro	3	3	8	6	3

Fonte: Autoria própria.

No livro 1 (Química - Cicato et al, 2016) e no livro 2 (Química - Reis, 2016) foram encontradas apenas três analogias cada, porém o enfoque dado é diferente, o primeiro livro traz uma analogia sobre o modelo atômico de Rutherford, duas sobre Periodicidade e uma

sobre Mar de Elétrons, enquanto o segundo livro apresenta duas analogias sobre o modelo atômico de Rutherford e uma analogia sobre Substância.

O terceiro livro analisado é o Vivá (Novais e Antunes, 2016), onde foram encontradas o maior número de analogias, três para explicar o Modelo de Rutherford, três para periodicidade e uma para substância e outra para utilização de modelos na ciência. O Livro 4 (Química Cidadã - Santos e Mol, 2016) utilizou 6 analogias nos capítulos abordados, foi o único que apresentou uma analogia para o modelo atômico de Dalton; duas analogias foram utilizadas para o Modelo de Thomson; o Modelo Atômico Rutherford, Periodicidade e Mar de Elétrons foram temas que continham uma analogia cada. Assim como o Livro 1 e 2, o Livro 5 (Ser Protagonista – Bruni et al, 2016) utilizou-se de três analogias, duas para o tema Periodicidade e uma para o modelo atômico de Thomson.

As analogias serão analisadas por grupos, primeiramente, baseados nos autores dos Modelos Atômicos, em seguida, as analogias sobre periodicidades também foram agrupadas de forma correlatas, e por fim, aquelas analogias que apareceram apenas uma vez, sem outra similar para comparação.

Análise das Analogias referente aos Modelos Atômicos

Antes de iniciar a discussão das analogias próprias dos Modelos Atômicos, é interessante trazer uma analogia presente no Livro 3 (Vivá, Novaes e Antunes, p. 92-93, 2016), que mostra aos alunos como os modelos e analogias devem ser encarados, não como uma verdade imutável, mas como um mecanismo para explicar os fenômenos, essa analogia é apresentada após todos os modelos já terem sido explorados nas páginas anteriores.

A analogia em si (ANEXO A), relaciona o comportamento dos átomos de gases com esferas de um globo de sorteio (bingo). Em resumo, a analogia sobre gases ainda relaciona o aumento na velocidade do globo com o aumento da temperatura nos gases, com isso, levando ao aumento da intensidade dos choques. E segue:

“Essa analogia, como qualquer outra, tem muitas limitações. Por exemplo, os choques entre as unidades que constituem um gás “não reduzem” a velocidade dessas partículas; o mesmo não ocorre com esferas que se chocam.” (Vivá, Novaes e Antunes, 2016, p92-93).

Finalizando, o texto explica como modelos podem ser substituídos e seu caráter provisório, e como não deve ser visto não é uma representação fiel, nem cópia do sistema em estudo. Apesar da analogia remeter ao estudo de gases, estava no capítulo denominado “Estrutura Atômica”, por isso foi selecionada para estudo, além disso, explica como analogias podem ser utilizadas nas ciências, salientando que não devem ser vistas como “cópias da realidade”. Essa analogia tem relação analógica estrutural, relacionando as moléculas com as esferas de um globo de sorteio (concreto) e a velocidade das partículas (átomos e esferas) aumentam quanto mais energia é fornecida, seja girando o globo, ou aumentando a temperatura, por isso, foi caracterizada, como Concreto-abstrata.

A analogia apresenta uma figura de uma senhora girando um globo de sorteio, o que auxilia na imaginação, caso algum aluno não tenha se lembrado prontamente ou nunca tenha visto um.

A analogia é utilizada como pós sintetizador para arrematar o tema dos Modelos atômicos, e apresenta limitações, tornando-a enriquecida e claramente a analogia foi identificada, já que esse era o intuito, mostrar como é feito seu uso nas ciências. A tabela 3 ilustra um resumo sobre as características analógicas.

Tabela 3 - Levantamento das características da analogia

Relação Analógica	Apresentação	Condição	Posição	Nível de Abstração	Orientação pré-tópico	Identificação da Analogia
Estrutural	Verbal-pictórica	Concreto-Abstrata	Pós-sintetizador	Enriquecida	Possui – Globo de Sorteio	Sim

Fonte: Própria da autora

Esse tipo de analogia, que possui o intuito de explicar propriamente a utilização desse mecanismo, somente foi encontrada no livro 3, que inclusive, percebeu-se ser o livro com a maior incidência do uso de analogias. A explicação feita na analogia é de grande relevância para os alunos que estão utilizando esse livro, já que muitas analogias são utilizadas nele, e quando o aluno está ciente que a analogia é uma representação e não um fato, ou o próprio conceito, a analogia torna-se mais eficaz para promover mudanças conceituais na estrutura cognitiva desse aluno. Além disso, a analogia proposta, sobre a agitação dos átomos, estabelece claramente semelhanças e limitações, e esse é um dos pontos principais para que uma analogia atinja seu objetivo. (Glynn 1991, apud Carmo 2006 e Almeida 2020).

Modelo Atômico de Dalton

Adentrando aos modelos atômicos, como mencionado, foi encontrada apenas uma analogia para o Modelo atômico de Dalton, que foi brevemente mencionada no parágrafo de explicação do modelo (Química Cidadã, Santos e Mol, p. 153, 2016): “*A partir dessa teoria, pôde-se idealizar um modelo para o átomo que, indestrutível, seria como uma bola maciça, como uma bola de bilhar.[...]*” (ANEXO B).

Pela teoria de Curtis e Reigeluthe (1984), essa analogia possui relação analógica estrutural e apresentação apenas verbal, sua condição é concreta-abstrata, já que relaciona um análogo conhecido do aluno, a bola de bilhar com o modelo atômico. A posição da analogia, foi considerada como ativador embutido, pois encontra-se quando a explicação se tornou mais complexa, mais abstrata. O nível de abstração é simples e a orientação pré-tópico é bastante ligeira, apenas menciona a característica maciça da bola de bilhar, e por fim, não identifica que é uma analogia. A tabela 4 ilustra as características analógicas encontradas.

Tabela 4 - Levantamento das características da analogia sobre o modelo de Dalton

Relação Analógica	Apresentação	Condição	Posição	Nível de Abstração	Orientação pré-tópico	Identificação da Analogia
Estrutural	Verbal	Concreto-Abstrata	Ativador Embutido	Simple	Não - Bola de Bilhar	Não

Fonte: Própria da autora

Essa analogia da bola de bilhar, não aponta limitações, entre elas podemos citar a movimentação das partículas e a diferença de tamanho entre os átomos de diferentes compostos (Viana e Porto, 2009), e não deixar as limitações claras podem causar barreiras conceituais proporcionando compreensões inadequadas do modelo. (Carmo, 2006)

Modelo atômico de Thomson

Cronologicamente, o Modelo de Thomson segue o Modelo de Dalton, e neste caso foram encontradas três analogias. A analogia 03 (ANEXO C) presente no Livro Química Cidadã (Santos e Mol, p.158, 2016), apresenta a imagem de um bolo inglês e na legenda é mencionado que é chamado de pudim de ameixas. Alguns momentos à frente, no texto, está escrito: “*Esse modelo teórico acabou sendo popularizado em livros didáticos com a*

denominação “*pudding de ameixas*”, em referência a um bolo inglês que nada se assemelha ao nosso *pudding de ameixas*.” O livro 5 (Química, Lisboa et al, p.81, 2016) também apresenta a analogia do pudim de passas (ANEXO D), porém dá as características do modelo antes de mencionar a analogia.

Tanto a analogia 03 quanto a analogia 04 apresentam relação analógica estrutural entre o conceito análogo e o alvo, em que as ameixas/passas seriam os elétrons dispersos na massa do bolo/pudim, a condição de ambas é abstrato-abstrato, conforme também observado por Amaral et al (2020), o conceito de pudim de ameixas ou de passas pode não ser familiar para a maioria dos alunos para considerá-lo concreto, já que o referido pudim, não se assemelha com os tradicionais pudins brasileiros, ou com os manjares de ameixa, dificultando a imaginação e associação com o Modelo de Thomson. Apesar da analogia 03 trazer uma imagem, o que contribui para a formulação mental de conceitos abstratos, não garante que o entendimento seja efetivo, nesse caso Amaral et al (2020), propõe que a descrição verbal contribuiria para melhor compreensão das relações analógicas.

As duas analogias foram classificadas, em relação ao nível de abstração, como simples, assim sendo, cabe aos alunos identificar as semelhanças e as limitações da analogia, o que seria mais um complicador já que se supõe que o análogo (pudding de ameixas) não é de conhecimento geral. Mais ainda, não apresentam orientação pré-tópico, mesmo na analogia 03, que foi considerada como organizador prévio, já que o capítulo é iniciado com a imagem, enquanto a analogia 04 foi considerada como pós-sintetizador por apresentar a analogia ao final de toda explicação.

Essa analogia permite perceber algumas correspondências, conforme apontado por Ramos e Mozzer (2017), onde as ameixas ou passas estão dispersas pela extensão do pudim/bolo inglês, onde encontram-se distribuídas uniformemente na massa, da mesma forma que a natureza positiva do átomo. Entretanto, não evidencia a dinamicidade do átomo, onde Thomson descreveu a movimentação dos elétrons em anéis, à vista disso nenhuma das analogias esclarece essa limitação, nem alguma outra. Por fim, também, nenhuma delas apresenta a identificação da analogia. A tabela 5 ilustra estas observações analógicas.

Tabela 5 - Comparação das características das analogias sobre o modelo de Thomson

ID²	Relação Analógica	Apresentação	Condição	Posição	Nível de Abstração	Orientação pré-tópico	Identificação da Analogia
03	Estrutural	Verbal- Pictórica	Abstrato- abstrato	Organizador prévio	Simples	Não – Bolo Inglês	Não
04	Estrutural	Verbal	Abstrato- abstrato	Pós- sintetizador	Simples	Não – Pudim de Passas	Não

Fonte: Própria da autora

Essas duas analogias possuem o mesmo intuito, descrever o modelo atômico proposto por Thomson, e são bastante similares (Tabela 5), onde estabelecem que o modelo ficou conhecido como Pudim de Passas, mas o motivo não é descrito claramente, assim as semelhanças do análogo e do alvo não são estabelecidas, ficando a cargo dos alunos desenvolverem modelos mentais para associar as características descritas acima, logo não houve compartilhamento de significados, assim não é possível estabelecer que a analogia cause algum efeito positivo na construção de um novo conhecimento.

Ainda, o análogo não pode ser considerado como de conhecimento geral, como a bola de bilhar, já que advém de uma sobremesa inglesa, incomum no Brasil, assim sendo, como também apresentado por Ramos e Mozzer (2017), a analogia do pudim de passas, quando apresentada dessa forma causa mais barreiras do que pontes, causando efeito contrário do que o esperado quando se escolhe uma analogia para explicar um conteúdo. Esse efeito poderia ser minimizado com uma orientação pré tópico, onde o bolo inglês seria claramente explicado e as relações analógicas delimitadas, bem como, as limitações, principalmente que os elétrons não estão estáticos como as passas.

Ainda sobre esse modelo, vem aparecer uma analogia (ANEXO E) no livro Química Cidadã (Santos e Mol, p.163, 2016), quando se explica o experimento de Rutherford, onde é descrita a dificuldade no desvio da trajetória das partículas alfa pelos elétrons.

Nessa analogia, a relação analógica pode ser descrita como funcional-estrutural; funcional, pois há semelhanças comportamentais entre a velocidade das partículas alfa e das bolas de gude, e estrutural, pois há semelhanças nas proporções das massas das partículas alfas e dos elétrons, em relação às bolas de canhão e as de gude, respectivamente (Amaral et al, 2020). A apresentação dessa analogia é verbal, porém há uma ilustração do próprio

² ID – Identificação da Analogia

experimento, que não deixa clara relação com a analogia, a condição foi considerada concreta-abstrata e assim como as outras duas analogias já descritas, o nível de abstração é simples e não são apresentadas as limitações da analogia, bem como sua identificação (Tabela 6).

Tabela 6 - Levantamento das características da analogia sobre o experimento de Thomson

ID	Relação Analógica	Apresentação	Condição	Posição	Nível de Abstração	Orientação pré-tópico	Identificação da Analogia
05	Funcional Estrutural	Verbal	Concreto- abstrato	Ativador Embutido	Simples	Não – Bola de Gude	Não

Essa analogia ficaria mais clara para o aluno se fosse feito o paralelo entre a Bola de Gude com os elétrons da folha de ouro, e a bola de canhão com as partículas alfa, pois sem essa orientação pré-tópico, a analogia pode ficar confusa para se entender a relação entre o análogo e o alvo, fora isso, a analogia utiliza-se de um análogo provavelmente conhecido pela maioria dos alunos, passo importante para estabelecer relações analógicas e promover construção de conhecimento, (Freitas, 2011) principalmente nesse caso, a utilização das bolas, que são concretas, para a explicação de um experimento microscópico e de difícil visualização pelos alunos.

Modelo de Rutherford

O modelo seguinte é o de Rutherford e este foi o que mais apresentou analogias nos livros. As analogias 06 (Química, Ciscato et al, p.89, 2016), 07 (Química, Reis, p. 150, 2016) e 08 (Química Cidadã, Santos e Mol, p. 164, 2016) (ANEXOS F, G e H), comparam este modelo a um sistema planetário, foram as mais presentes, há também as analogias sobre o experimento de Rutherford (ANEXO I, J e K)

Iniciando a análise por aquelas que fazem menção ao sistema planetário, a comparação entre elas pode ser vista na tabela 6, caracterizaram-se as analogias (06, 07 e 08), como estruturais, pois descrevem a disposição espacial dos planetas ao redor do Sol, analogamente à disposição dos elétrons ao redor do núcleo do átomo. Dessas três analogias, são utilizadas figuras nas analogias 07 e 08 (pictórico-verbal), contudo, na analogia 08, é apresentado um recorte do Sistema Solar, com os planetas alinhados, não demonstrando visão

completa, podendo causar equívocos na compreensão da analogia, e por fim, a analogia 06 é verbal. Sobre a condição todas as analogias foram caracterizadas como concreto-abstratas, mesmo o sistema solar sendo algo com enormes dimensões, é um conteúdo trabalhado largamente em livros didáticos e outras disciplinas desde o ensino fundamental, por esse motivo também é justificado a ausência de orientação pré-tópico.

Na categoria nível de abstração, a analogia 07 foi caracterizada como enriquecida, visto que cita as semelhanças (distribuição eletrônica ao redor de um núcleo), mas também cita limitações, onde o sistema planetário é regido por força gravitacional e o sistema atômico é regido por força elétrica. A analogia 08 também foi caracterizada como enriquecida, visto que salienta, de forma bastante clara, que comparações deste gênero são *“muito comuns nas Ciências, [mas] sempre devemos ter cuidado pois comparamos coisas diferentes.”* e ainda, enfatiza que o modelo de Rutherford não é uma cópia do Sistema Solar, e as dimensões, formatos e trajetórias, são limitações da analogia, porém como já mencionado, na imagem utilizada, os planetas aparecem em série, o que é discrepante com o Modelo Atômico proposto, pois as cargas negativas causariam repulsão entre eles, mas essa limitação não foi abordada, a comparação pode ser vista na Tabela 7.

A posição das três analogias é discrepante e por tanto utilizadas com funções diferentes, a analogia 07 é um organizador prévio, localizando-se no início do assunto, a analogia 06 é um ativador embutido, sendo inserida quando o tópico torna-se mais abstrato, e por fim, a analogia 08 é o um pós-sintetizador, sendo apresentada ao final do tópico como forma de conclusão. Concluindo a análise, a única analogia que apresenta identificação irrefutável é a analogia 08, mesmo que em seu texto diga que a analogia *“pouco contribui para entender o átomo”*.

Tabela 7 - Comparação das características das analogias sobre o modelo de Rutherford

ID	Relação Analógica	Apresentação	Condição	Posição	Nível de Abstração	Orientação pré-tópico	Identificação da Analogia
06	Estrutural	Verbal	Concreto-abstrato	Ativador Embutido	Simple	Não - Anéis de Saturno	Não
07	Estrutural	Verbal-Pictórica	Concreto-abstrato	Organizador prévio	Enriquecida	Não – Sistema Solar	Não

08	Estrutural	Verbal- Pictórica	Concreto- abstrato	Pós Sintetizador	Enriquecida	Não - Sistema Solar	Sim
-----------	------------	----------------------	-----------------------	---------------------	-------------	---------------------------	-----

Fonte: Própria da autora

Percebemos com a análise que a analogia pode ter o mesmo objetivo e ser utilizada em momentos diferentes. O Análogo dessa analogia é amplamente trabalhado em séries anteriores, logo, supõe-se que os alunos tenham a imagem do sistema solar em mente, essa suposição pode ser perigosa dependendo do análogo, pois os alunos podem possuir informações equivocadas sobre ele, entretanto, nesse caso, a imagem poderia ajudar a lembrar, porém é necessário tomar cuidado com a imagem utilizada também, pois como na imagem da analogia 08, pode apresentar inconsistências com alvo, que necessitam ser expressas para melhor compreensão. A tabela 8 ilustra estas relações encontradas.

Tabela 8 - Semelhanças e Limitações das analogias sobre o modelo de Rutherford.

ID	Semelhanças	Limitações
06	Não apresenta.	Não apresenta.
07	Distribuição eletrônica ao redor de um núcleo.	Sistema planetário é regido por força gravitacional e o sistema atômico é regido por força elétrica.
08	Trajetória do elétron ao redor do núcleo.	Thomson não é uma cópia do Sistema Solar, Dimensões, formatos e trajetórias.

Fonte: Própria da autora

Tanto a analogia 07 quanto a 08 apresenta semelhanças e/ou limitações, porém Nagem (et al, 2001) no modelo MECA, sugere cuidado ao salientar mais as limitações, como fez a analogia 08, em detrimento das semelhanças, para não fugir do objetivo da analogia, apesar disso as limitações levantadas demonstram que existem muitos mais conceitos influenciando a elaboração desse modelo, para que seja coerente. Na tabela 7, reuniram-se as semelhanças e limitações apresentadas pelas analogias. A Analogia 06 remete a influência do pesquisador Nagaoka no desenvolvimento do Modelo Atômico de Rutherford e sua caracterização das órbitas eletrônicas em comparação aos anéis de Saturno, porém essas semelhanças não estão descritas, cabe ao aluno imaginá-las, e não inclui limitações. A

Analogia 7 equilibra bem a apresentação de semelhanças e diferenças entre o alvo e o análogo, e sua utilização atinge os objetivos de uma boa analogia.

Em relação às analogias sobre o experimento realizado por Rutherford com as partículas alfa, na analogia 09, a autora (Química, Reis, p. 148, 2016) recorre a comparação da velocidade de um tiro de espingarda atravessando uma folha de papel, no lugar das partículas alfa atravessando a folha de ouro, por isso, é considerada funcional, por levar em consideração apenas a velocidade das partículas. (Amaral et al, 2020).

Nas analogias 10 e 11 (Vivá, Novais e Antunes, p.89-90, 2016), a relação analógica foi considerada como estrutural-funcional, porque além de descrever a velocidade das partículas (função), também menciona a característica da massa (estrutura). Assim como as analogias sobre o sistema planetário, as analogias sobre o experimento com as partículas alfa, também foram caracterizadas como concreto-abstratas. Concluindo essa seção, nessas três analogias, apenas a 09 foi caracterizada como pictórica-verbal e apenas a 11 identifica que está ocorrendo uma analogia no texto e assim como nas analogias referentes ao sistema planetário, não foi apresentada nenhuma orientação pré-tópico.

Tabela 9 - Comparação das características das analogias sobre o experimento de Rutherford.

ID	Relação Analógica	Apresentação	Condição	Posição	Nível de Abstração	Orientação pré-tópico	Identificação da Analogia
09	Funcional	Verbal-Pictórica	Concreto-abstrato	Ativador Embutido	Simple	Não – Bala de Espingarda	Não
10	Estrutural-Funcional	Verbal	Concreto-abstrato	Organizador prévio	Simple	Não – Granada de 15’’	Não
11	Estrutural-Funcional	Verbal	Concreto-abstrato	Pós Sintetizador	Simple	Não – Caminhão/Lata	Sim

Fonte: Própria da autora

Como pode ser observado na tabela 8, as três analogias apresentam posições diferentes, além disso, as analogias 9 e 11 se diferem da 10, pois o intuito das primeiras é explicar o fenômeno esperado no experimento, onde as partículas alfa, por serem maiores que os elétrons, atravessariam a folha de ouro, assim como faria a bala de espingarda, ou o caminhão com uma lata na pista, nesse caso a analogia 9, mesmo sendo bastante simples consegue facilitar o entendimento de um conceito abstrato utilizando-se de um fenômeno concreto, já a analogia 11 precisaria explicar melhor as relações analógicas, pois seu

entendimento poderia se tornar confuso quando deixado para o aluno fazê-las. A analogia 10, faz um paralelo com os resultados obtidos no experimento, pois além das partículas que atravessavam a folha de ouro, haviam algumas que retornavam a origem, e nesse caso a analogia da granada que atinge uma folha de papel e retorna faz sentido, mas também não apresenta limitações, já que óbvio seria que um granada ao atingir uma folha de papel caia no chão, e não retorne, para citar uma.

Esse modelo atômico é importantíssimo para compreender alguns itens apontados por Mortimer (1995) como os conceitos que os alunos mais têm dificuldade assimilar, como por exemplo, a descontinuidade da matéria e presença de vazio, e a analogia 12 poderiam ser muito úteis para a compreensão dessa característica se não fosse tão confusa.

A analogia 12 (ANEXO K), presente na obra Vivá (Novais e Antunes, p.90, 2016), estava na sequência da analogia 11, porém optou-se por analisá-la separadamente, porque essa analogia possui grande dificuldade de interpretação, conforme também descrito por Amaral et al (2020). Essa analogia é completamente verbais e como muitas outras, não foi identificada; a relação estrutural é exposta enfatizando que a eletrosfera é uma grande região vazia e de baixa densidade, e que essas eletrosferas pudessem ser removidas, uma enorme quantidade de petróleo (200 mil toneladas) ocuparia o espaço de uma gota. Mesmo com certa familiaridade com o domínio análogo, o depósito com 200 mil toneladas de petróleo, a maneira como foi utilizado na elaboração da analogia tornou-a confusa, quase abstrata (Tabela 10).

Tabela 10 - Levantamento das características da analogia sobre proporcionalidade no Modelo de Rutherford

ID	Relação Analógica	Apresentação	Condição	Posição	Nível de Abstração	Orientação pré-tópico	Identificação da Analogia
12	Estrutural	Verbal	Abstrata- Abstrata	Pós Sintetizador	Simples	Não	Não

Assim como as analogias do pudim de passas, a analogia 12 foi caracterizada como abstrata-abstrata por não atingir seu objetivo de tornar mais fácil a compreensão de um conceito abstrato, e não utilizando-se de uma explicação pré-tópico mais completa para o análogo escolhido.

Análise das analogias referentes a Periodicidade

Periodicidade foi um dos tópicos com maior presença de analogias, foram encontradas sete, em quatro das cinco obras analisadas.

Neste momento, relembro que os livros eram o Manual do Professor, importante nesse caso, pois a primeira analogia (analogia 13) encontrada sobre Periodicidade estava descrita nas anotações para o professor, onde, inicia sugerindo que este indague os alunos sobre como podem encontrar produtos em um supermercado (Química, Ciscato et al, p.98, 2016). No conteúdo que o aluno teria acesso, o parágrafo começa declarando que os químicos organizam os elementos químicos na tabela periódica, assim, se o professor fizer o questionamento sugerido, fará uma analogia. (ANEXO L)

A relação entre a organização do supermercado e a tabela periódica é a abertura do capítulo, por sua posição, caracteriza-se como organizador prévio. A orientação pré-tópico seria feita com a discussão, onde os alunos iriam expor como encontram produtos em um supermercado e o professor guiaria a discussão. A relação analógica entre a organização de um supermercado e a organização dos elementos químicos é funcional, já que nesse caso trata-se apenas dos critérios de organização, portanto, a condição é concreto-concreto, já que critérios de organização de objetos geralmente são conhecidos por estudantes; o nível de abstração é simples, além disso, a analogia é apresentada de forma verbal e apenas será identificada como analogia se assim o professor o fizer.

A analogia 14 (Vivá, Novaes e Antunes, p.100-101 2016) e 15 (Química, Lisboa et al, p. 100, 2016) (ANEXOS M e N, respectivamente), sobre a coleção de selos e organização de uma biblioteca, nessa ordem, assim como a analogia discutida anteriormente, estão relacionadas com os critérios de organização, porém encontram-se mais claramente descritas no texto. Tratam da necessidade desses critérios para melhor encontrar determinado objeto, a principal diferença é que na analogia 15, a organização está relacionada com as pesquisas em química e as tentativas de agrupamento dos elementos de acordo com alguma semelhança. Como a analogia 13, as analogias 14 e 15 possuem relação analógica Funcional, a apresentação é verbal, a condição é Concreto-concreto e o nível de abstração é simples, até mesmo a posição da analogia é a mesma, utilizadas como organizador prévio. Nas analogias 14 e 15, é feito brevemente uma explicação pré-tópico, demonstrando como os critérios de organização se aplicam no análogo, porém nenhuma delas identificam a analogia.

As três analogias podem ser bastante úteis para a explicação da organização periódica dos elementos, principalmente quando associadas com a contextualização histórica. Como visto, na analogia 13 o professor deve ter o cuidado de não fazer a analogia de forma

espontânea, caberá a ele garantir o compartilhamento de significados e estabelecer claramente as similaridades, já que no livro do aluno não está descrita a analogia. (Duit, 1993; Harrison e Treagust, 1993). A analogia 14, traz uma explicação pré-tópico bastante completa, porém não faz relação clara com o conteúdo alvo, seria interessante ao final do capítulo, ou ao final da explicação retomar o conceito análogo para que os alunos fixassem o conteúdo, conforme proposto no modelo TWA, pode ser importante retomar etapas, e caberia nessa analogia fazê-lo (Glynn 1991, apud Almeida 2020).

Nesse tópico também foi identificada uma analogia sobre fenômeno periódico, analogia 16 (Vivá, Novaes e Antunes, p. 111, 2016) (ANEXO O), que relaciona as propriedades periódicas dos elementos com eventos cotidianos, aqueles que ocorrem em intervalos de tempo pré-definidos, como as estações, aniversários, entre outros. Como todas as analogias desse tema, ela é verbal e apresenta relação analógica estrutural, a condição é concreto-abstrato, observando que os estudantes possuem domínio do análogo, porém a periodicidade dos elementos químicos não é palpável.

As analogias 17 (Química, Novaes e Antunes, p. 103, 2016) e 18 (Química, Lisboa et al, p. 101, 2016) (ANEXO P e Q, respectivamente) são de caráter simples, apesar de apresentar um análogo que talvez não seja de domínio geral. Essas analogias dizem respeito a proposta da Lei das Oitavas de Newlands, o análogo escolhido são as oitavas musicais, agrupamentos de oito, esse análogo é concreto, porém, muitos alunos podem não ter noções de música, levando a uma interpretação rasa ou até equivocada da analogia, por isso seria interessante fazer uma breve orientação pré-tópico, para garantir que o análogo seja de conhecimento dos leitores, assim a analogia poderia ser considerada concreto-concreto, conforme proposto por Chassot (1995), um cuidado a ser tomado na escolha do análogo é a diferença sociocultural dos alunos (apud Carmo, 2006).

As Analogias são apresentadas como pós sintetizadores nos dois casos, sendo mencionadas após a explicação. Por fim, a analogia 19 (Química, Ciscato et al, p.101, 2016) (ANEXO R), associa a tabela periódica a um calendário, não só na organização, mas também, na previsão de características periódicas, por isso caracterizou-se a relação analógica como Estrutural-funcional, onde tanto o análogo (calendário) quanto o alvo (tabela periódica) pertencem ao domínio concreto. A analogia não apresenta orientação pré-tópico, talvez devido ao análogo (calendário) ser de conhecimento geral, e vem posicionada como pós sintetizador, após a explicação do desenvolvimento da tabela periódica. A analogia apresenta nível de abstração simples, não demonstrando limitações, por exemplo, as propriedades físicas dos elementos não mudam de acordo com o país em que ele se encontra, como as

estações, outra limitação, seria que o mês de Janeiro é associado com o elemento Potássio, porém o aluno poderia imaginar que há “mini elementos” dentro do Potássio, da mesma forma que há os dias em Janeiro.

Tabela 11 - Comparação das características das analogias sobre Organização Periódica e Fenômenos Periódicos

ID	Relação Analógica	Apresentação	Condição	Posição	Nível de Abstração	Orientação pré-tópico	Identificação da Analogia
13	Funcional	Verbal	Concreto- Concreto	Organizador- Prévio	Simple	Não	Não
14	Funcional	Verbal	Concreto- Concreto	Organizador- Prévio	Simple	Sim	Não
15	Funcional	Verbal- Pictórica	Concreto- Concreto	Organizador- Prévio	Simple	Sim	Não
16	Estrutural	Verbal	Concreto- Abstrato	Pós- sintetizador	Simple	Não – Eventos Cotidianos	Não
17	Estrutural	Verbal	Concreto- Concreto	Pós- sintetizador	Simple	Não – Oitavas Musicais	Não
18	Estrutural	Verbal	Concreto- Concreto	Pós- sintetizador	Simple	Não – Oitavas Musicais	Não
19	Estrutural- Funcional	Verbal	Concreto- Concreto	Pós- sintetizador	Simple	Não - Calendário	Não

Fonte: Própria da autora

As características das analogias desse tema estão da Tabela 11, e podemos perceber que a maioria foca na função de ter os elementos organizados, ou na forma como eles foram organizados, apenas a analogia 19 relacionou a forma com a função da organização periódica. Também percebemos que a maioria não descrevem o análogo no pré-tópico, contudo, pode-se dizer que o supermercado, os eventos cotidianos e o calendário são amplamente conhecidos, o que não poderia ser assumido das oitavas musicais. Das analogias analisadas, percebemos que a posição entre elas se diferem de acordo com o intuito, pois as analogias 13, 14 e 15,

possuem um caráter mais introdutório de organização, dessa forma, sua utilização como organizador prévio é inadequado.

Análise de Analogias Gerais

Está contido nesse grupo as analogias que fazem menção ao “Mar de Elétrons”, Substância e Proporções. Em relação as analogias sobre “mar de elétrons” e “nuvem eletrônica”, para caracterizar os elétrons livres, foram encontradas duas analogias, presentes nas obras 1 e 4.

As duas analogias, 20 (Química, Ciscato et al, p.124, 2016) e 21 (Química Cidadã, Santos e Mol,p.246, 2016), (ANEXOS S e T, respectivamente) têm o intuito de esclarecer o tópico de elétrons livres em ligações metálicas. Observou-se que são caracterizadas da mesma forma, a relação analógica entre o análogo, nuvem/mar de elétrons, e o tópico, movimento desordenado dos elétrons livres, é estrutural, a condição é concreto-abstrato e o nível de abstração é simples, apesar de que na analogia 21 é apresentada uma limitação: “*no sentido de apenas de indicar a existência de uma grande quantidade de elétrons que se movimentam livremente*”, além de apresentarem os termos entre as aspas e mesmo salientando que são expressões, não é identificada a analogia.

Tabela 12 - Comparação das características das analogias sobre Nuvem Eletrônica e Mar de Elétrons

ID	Relação Analógica	Apresentação	Condição	Posição	Nível de Abstração	Orientação pré-tópico	Identificação da Analogia
20	Estrutural	Verbal	Concreto-Abstrato	Ativador Embutido	Simple	Não	Não
21	Estrutural	Verbal-Pictórica	Concreto-Abstrato	Ativador Embutido	Simple	Não	Não

Essas duas analogias são bastante ligeiras nos livros, e podem passar despercebidas. Na analogia 20, as anotações pede que o professor explique aos alunos que “nuvem eletrônica” é o nome dado ao modelo, porém do texto que o aluno teria acesso está escrito que “*Na ‘nuvem eletrônica’ o movimento dos elétrons e desordenado*” portanto, optou-se por caracterizar essa analogias como sem limitações. A analogia 21 inclui uma representação do modelo, onde os elétrons apresentam-se “livres” entre os átomos, o que pode contribuir a

imaginar o conceito como uma região em que os elétrons se movimentam, e não como propriamente uma nuvem.

Em outra analogia vê-se o conceito de proporção dos átomos, um conteúdo muito abstrato onde os alunos têm muita dificuldade para tomar consciência, para auxiliá-los, dois livros (Reis, 2016 e Novais e Antunes, 2016), apresentaram uma analogia cada. Analogia de número 12 do livro 3, Vivá (Novais e Antunes, 2016), foi incluída no Modelo atômico de Rutherford, pois contempla mais aspectos do que apenas a questão de proporcionalidade, restando a analogia 22 (ANEXO U), apresentada no Livro 2 (Química, Reis, p. 164, 2016), após todos os modelos atômicos já terem sido explicados, juntamente com as propriedades periódicas e tabelas periódicas, porém também não se encaixaram na categoria anterior por tratar do “tamanho do átomo”.

Essa analogia tem característica verbal e relaciona um análogo concreto, que seria a proporção palpável de uma esfera de um centímetro e a distância de 100 metros a um quilômetro; com o alvo abstrato, as proporções microscópicas do átomo. A intenção é que o aluno perceba a distância da eletrosfera em relação ao núcleo e sua baixa densidade, por esse motivo também, pode-se dizer que a relação analógica é estrutural. A analogia possui nível de abstração simples, já que a comparação é direta, e é utilizada após a explicação sobre a eletrosfera e a propriedades das partículas, por isso, sua posição é de pós-sintetizador. Como os alunos provavelmente tem domínio dessas unidades de medidas (centímetro, metro e quilômetro), não há orientação pré-tópico, porém caso os alunos sintam dificuldade, o professor pode auxiliá-los dando um ponto de referência na distância de 100 metros e 1 quilômetro.

Tabela 13 - Levantamento das características da analogia sobre proporções

ID	Relação Analógica	Apresentação	Condição	Posição	Nível de Abstração	Orientação pré-tópico	Identificação da Analogia
22	Estrutural	Verbal	Concreto- Abstrato	Pós Sintetizador	Simple	Não	Não

Essa analogia é muito importante para que os alunos percebam a descontinuidade do átomo e que é constituído por vazios, cumprindo esse papel muito melhor que a analogia 12.

A última analogia da pesquisa (Analogia 23, ANEXO V), sobre substância, foi única nessa seção, onde nenhum outro livro abordou o tema nos capítulos estudados. Essa analogia está presente no capítulo 2 do Livro Vivá (Novais e Antunes, p. 42, 2016), e por estar

localizada entre as teorias dos filósofos antigos, Leucipo e Demócrito e o Modelo Atômico de Dalton, foi selecionada.

Essa analogia associa “substância” com “essência”, para demonstrar que mesmo de formas diferentes, tanto a água, em seus diferentes estados, quanto as palavras ditas de maneiras distintas, continuam tendo a mesma natureza. Essa analogia se mostra funcional, associando o sentido das palavras “substância” e “essência” e é uma analogia verbal. Relaciona aspectos concretos, as palavras e como são ditas, com a substância química que é abstrato. É uma analogia com nível de abstração simples, deixando claro que será feito um “paralelo”, e foi utilizada como ativador embutido, pois já haviam sido explicados alguns aspectos sobre substâncias e no próximo capítulo, o assunto será continuado.

Tabela 13 - Levantamento das características da analogia sobre Substância

ID	Relação Analógica	Apresentação	Condição	Posição	Nível de Abstração	Orientação pré-tópico	Identificação da Analogia
23	Funcional	Verbal	Concreto- Abstrato	Ativador Embutido	Simples	Não	Não

Discussão geral das obras

Com os dados obtidos na análise é possível perceber que a maior parte das analogias possui relação analógica estrutural, podendo ser explicado visto que o tema escolhido possui grande dificuldade de visualização por parte dos alunos, das analogias analisadas, 61% possuem relação analógica estrutural, como pode ser observado no Gráfico 1 (ANEXO W). Também se observou quase a mesma proporção para a condição analógica (Gráfico 2 – ANEXO X), onde 61% das analogias apresentaram condição Concreto-Abstrato, o motivo provável é o objetivo de facilitar a apresentação de conceitos abstratos, relacionando-os com fenômenos macroscópicos, 13% das analogias selecionadas foram caracterizadas como abstrata-abstrata devido ao análogo estar distante da realidade do aluno no caso do pudim de passas para o modelo de Thomson, ou a analogia ter sido apresentada de maneira confusa, como no caso da analogia 12, sobre o modelo de Rutherford.

Outro ponto importante a ser levado em conta são as limitações da analogia, esse aspecto é importante para que o aluno compreenda que a analogia é um artifício para auxiliá-lo na compreensão do fenômeno e não o fenômeno em si ou uma cópia dele. Nesse aspecto

notou-se, como pode ser observado no Gráfico 3 (ANEXO Y), que 87% das analogias não apresentaram os limites da analogia, deixando a cargo do leitor, apenas 13% apresentaram pelo menos uma limitação ou semelhança. Delimitar os limites da analogia é importante para que o leitor perceba até onde a analogia explica o fenômeno, caso contrário fica aberto quais são os aspectos mais relevantes, e cada aluno selecionará os seus, podendo não selecionar os mais relevantes ou não estabelecer com clareza os limites da analogia. Em contraposição incluir limites demais como foi feito na analogia 08, correlacionando o modelo de Rutherford com o modelo planetário, como foi mencionado na analogia, faz parecer que a analogia pouco contribui para o entendimento.

As analogias são importantes para a construção de conhecimentos, quando utilizam os conhecimentos prévios dos estudantes, atuando como ponte, promovendo mudança conceitual naquele indivíduo, porém pode trazer mais malefícios que benefícios, se utilizada sem planejamento, fazendo generalizações exageradas, criando mais obstáculos do que caminhos para a aprendizagem. A partir dessa óptica, considerou a primeira analogia abortada neste texto, aquela tem o intuito de realmente explicar a utilização desse método nas ciências, e compara a moléculas de um gás com um globo de sorteio, como a que melhor atende os critérios propostos, caso os alunos não tenham conhecimento do análogo, há uma imagem para ajudá-los, demonstra as semelhanças e as limitações da analogia e explica o fenômeno com clareza e objetividade.

No quadro 1, é apresentado uma visão geral das analogias, onde é apontado, resumidamente, uma descrição da analogia, o análogo utilizado e alvo que se deseja explicar, também levanta-se os pontos positivos da analogia e os pontos de melhoria, na visão da autora, e ainda, pensando no professor que irá utilizar essas analogias, sugere-se algumas adaptações que possam vir a ser úteis para melhor entendimento da analogia.

6 – CONCLUSÃO

Foi possível realizar as análises das analogias presentes nos livros selecionados, sem grandes erros, através do modelo TWA. Os objetivos secundários também foram contemplados, e a evolução nos cuidados a serem tomados enquanto docente, foi parte importante da formação inicial para a Licenciatura em Química. Observou-se que todas as obras analisadas apresentam metodologias semelhantes com relação ao emprego de análogos para exemplificar os conceitos químicos previstos para a discussão aos leitores. Nota-se que muitas vezes, apesar do análogo não fazer sentido em seu uso, tornou a parte gráfica e visual da obra mais suave e interessante ao leitor. O uso correto de analogias, se empregado corretamente seguindo o modelo de TWA, pode ser uma ferramenta importante e eficaz no processo de ensino e aprendizagem aos alunos no ensino médio em se tratando de um tema fortemente abstrato, como a teoria atômica e a periodicidade química.

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, H. A. de. *Planejamento para o Uso de Analogias no Ensino: Reflexões de Professores de Ciências e Biologia em um Contexto de Formação Continuada Colaborativa*. Tese de Doutorado para a Faculdade de Ciências da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru. 2020.

AMARAL, L. DE O.; SOARES, S. M.; MELO, M. S. *Utilização De Analogias Em Seis Livros Didáticos De Química Aprovados No Programa Nacional Do Livro Didático 2018: Uma Análise Sobre Estrutura Atômica*. **Revista Prática Docente**, v. 5, n. 2, p. 1019-1039, 31 ago. 2020.

CARMO, E. A. *As analogias como instrumentos úteis para o Ensino do conteúdo Químico no Ensino Médio*. 2006, Dissertação de Mestrado à Universidade Federal do Pará, Núcleo de Apoio ao Desenvolvimento Científico, 2006.

CISCATO, C. A. M.; PEREIRA, L. F.; CHAMELLO, E.; PROTI, P. B. *Química*. v. 1, 1ª Edição. São Paulo: Editora Moderna, 2016.

CURTIS, R. V.; REIGELUTHE, C. M. *The Use of Analogies in Written Text*. **Instructional Science** 13, p.99-117,1984.

DUIT, R. *On The Role Of Analogies And Metaphors In Learning Science*. **Science Education**, 75(6): p.649-672, 1991.

FONSECA, J. J. S. *Metodologia da pesquisa científica*. Fortaleza/CE: UEC, 2002.

FREITAS, L. P. da S. R. *O Uso de Analogias no Ensino de Química: Uma Análise das Concepções dos Licenciandos do Curso de Química da UFRPE*. 2011, Dissertação de Mestrado Para a Universidade Rural de Pernambuco, Recife, 2011.

HARRISON, A.G.; TREAGUST, D. F. *Teaching with analogies: A case Study in Grade 10 optics*. **Journal of Research in Science Teaching**, v.30, n.10, p.1291-1307. 1993.

LISBOA, J. C. F.; BRUNI, A. T.; NERY, A. L. P.; LIEGEL, R. M.; AOKI, V. L. M. *Ser Protagonista. Química*, v. 1, 3ª Edição. São Paulo: Edições SM, 2016.

MELO, M. R; NETO, Edmilson G. de L. *Dificuldades de Ensino e Aprendizagem dos Modelos Atômicos em Química. Química Nova na Escola*, Vol. 35, Nº 2, p. 112-122, MAIO 2013.

MELZER, E. E. M.; AIRES, J. A. *A História do desenvolvimento da teoria atômica: um percurso de Dalton a Bohr. Revista de Educação em Ciências e Matemática*, v.11 (22) Jan-Jun. 2015. p.62-77.

MARQUES, D. M.; CALUZI, J. J. *Ensino de Química e História da Ciência: O Modelo Atômico de Rutherford. IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*. Disponível em: <http://www.abrapecnet.org.br/enpec/iv-enpec/Arquivos/Painel/PNL134.pdf> Acessado em OUT 2020.

Ministério da Educação. Guia de Livros Didáticos Ensino Médio 2018. Brasília, 2017

MORTIMER, E. F. *Concepções Atomistas dos Estudantes. Química Nova na Escola*, n.1 MAIO 1995.

NAGEM, R. L., et al. *Uma Proposta de Metodologia de Ensino com Analogias. Revista Portuguesa de Educação*, v.14, n.1, 2001.

NOVAIS, V. L. D. de; ANTUNES, M. T. *Vivá Química*. v. 1, 1ª Edição. Curitiba: Editora Positivo, 2016.

RAMOS, T. C; MOZZER, N. B. *Análise do Uso da Analogia com o “Pudim de Passas” Guiado pelo TWA no Ensino do Modelo Atômico de Thomson: considerações e recomendações. Química Nova na Escola – São Paulo - SP, BR*. Vol. 40, Nº 2, p. 106-115, MAIO 2018. Acessado em SET 2020.

REIS, M. *Química*. v. 1, 2ª Edição. São Paulo: Editora Ática, 2016.

SANTOS, W..; MOL, G. *Química Cidadã*. v. 1, 3ª Edição. São Paulo: Editora AJS, 2016.

Anexo A – Analogia 01 “O que é mesmo um modelo?”

DIVULGAÇÃO

próton (p ⁺)	$1,67 \cdot 10^{-27}$	1	+1
nêutron (n ⁰)	$1,67 \cdot 10^{-27}$	1	0
elétron (e ⁻)	$9,11 \cdot 10^{-31}$	1/1840	-1

Fonte: LIDE, David R. (Ed.). *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 89th ed. (Internet Version). Boca Raton, FL: CRC/Taylor and Francis. 2009. p. 1-1. Disponível em: <<http://www.fptl.ru/biblioteka/spravo4niki/handbook-of-Chemistry-and-Physics.pdf>>. Acesso em: 4 nov. 2015.

O que é mesmo um modelo?

Até aqui falamos de alguns modelos que tratam de algo distante de nossa percepção visual. Talvez você tenha ficado com a impressão de que alguns deles deveriam ser abandonados, já que se mostram incompletos considerando descobertas mais recentes. Vale esclarecer um pouco mais essa questão.

Os modelos adotados no estudo da Física e da Química servem para entendermos fenômenos e, por isso, são bem diferentes, por exemplo, da maquete de um barco ou de uma casa, que representam algo visível e estático. No estudo da Química, os modelos devem ajudar a compreender como um sistema se comporta.

Ao estudar átomos, moléculas – que são conjuntos de átomos – e outras unidades que estruturam a matéria, temos que, de alguma forma, “**ver o que é invisível**”.

Para facilitar a compreensão e a explicação do maior número possível de propriedades de um sistema é que os cientistas recorrem a **analogias**.

As analogias valem-se do que há em comum entre objetos totalmente diferentes; elas não podem ser confundidas com cópias aumentadas do sistema em estudo, isto é, o modelo não tem caráter fotográfico. Na verdade, valemo-nos de um sistema conhecido que tem comportamentos semelhantes àquele que queremos estudar. Um modelo será tanto melhor quanto maior for o número de semelhanças que possamos apontar.

Por exemplo, para explicar o comportamento de um gás podemos fazer uma analogia entre o que ocorre com suas unidades invisíveis e as esferas que colocamos dentro de um globo para fazer um sorteio. Que tipo de comparação pode ser feita?

Com esse modelo, poderemos ter uma ideia mais clara de que, quanto mais gás é colocado num recipiente, maior será o número de choques possíveis entre suas partículas e as paredes do recipiente, ou seja, maior será a pressão exercida pelo gás, o que é semelhante ao que ocorre com as esferas dentro do globo.

Da mesma forma, quando giramos a manivela do globo com mais intensidade, ocorre algo que se assemelha às moléculas do gás quando aumentamos sua temperatura.

Essa analogia, como qualquer outra, tem muitas limitações. Por exemplo, os choques entre as unidades que constituem um gás “não reduzem” a velocidade dessas partículas; o mesmo não ocorre com esferas que se chocam.

Um modelo pode ser chamado de teoria quando reúne uma série de hipóteses mais gerais ou uma série de equações matemáticas, permitindo a melhor compreensão de um fenômeno.

Como a ciência se transforma, o modelo utilizado para descrever determinado comportamento de um sistema pode ser substituído por outro. Isso ocorre quando o modelo primitivo não serve para explicar novas propriedades que foram percebidas em novos estudos sobre o fenômeno.

É isso que faz com que um modelo seja provisório e temporário, sujeito a alterações. Não perca de vista, porém, que ele é sempre uma representação da realidade e não a realidade – não é uma cópia do sistema em estudo.



O comportamento das esferas durante o giro do globo pode ser uma analogia ao que acontece com moléculas de gás em um recipiente.

Não escreva neste livro.

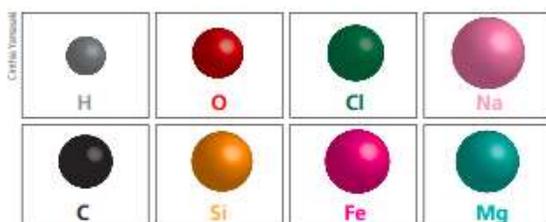
(Vivá, Novais e Antunes, p. 92 e 93, 2016)

Anexo B – Analogia 02: Modelo atômico de Dalton

ter aparência contínua, ela é constituída por bilhões de partículas. Essas, estando juntas, parecem um todo contínuo quando observadas pelos nossos olhos, que não percebem os pequenos espaços vazios entre elas. Por exemplo, uma folha de papel possui diversos espaços vazios, que podem ser facilmente visualizados em um microscópio.

As substâncias possuem o mesmo tipo de partículas; portanto, substâncias distintas possuem diferentes partículas. A partícula da substância pode ser o átomo, como no caso de muitas substâncias simples, pode ser a combinação de mais de um átomo do mesmo tipo (átomos do mesmo elemento químico) ou pode ser a combinação de átomos de diferentes tipos (átomos de elementos químicos diversos).

De acordo com o modelo de Dalton, os átomos seriam indivisíveis, pois se eles se conservam e se as proporções nas combinações químicas são fixas e em números inteiros, isso significava que o átomo é uma entidade fixa.



▲ Para Dalton, os átomos seriam partículas indivisíveis e indestrutíveis. Normalmente, utilizamos cores diferentes para representar átomos de elementos diferentes.

Estudos mais avançados demonstram que os átomos não são indivisíveis, mas nem por isso esse modelo é invalidado. Afinal, todo modelo é uma representação que explica parte do objeto em estudo, mas não tudo. Assim, o modelo de Dalton conseguiu, exemplarmente, explicar a ocorrência das reações químicas e, de fato, todos os modelos até hoje desenvolvidos na química continuam a evidenciar que nas reações químicas a entidade atômica se conserva.

Em síntese, a teoria atômica de Dalton baseava-se nas seguintes hipóteses:

1. A matéria é constituída por átomos, que são partículas indivisíveis e indestrutíveis.
2. Todos os átomos de um elemento químico são idênticos em massa e propriedades. Os átomos de diferentes elementos químicos são diferentes em massa e em propriedades.
3. As substâncias são formadas pela combinação de variados átomos na proporção de números inteiros e pequenos.
4. As reações químicas envolvem somente combinação, separação e rearranjo dos átomos, não havendo, em seu curso, nem a criação nem a destruição de átomos.

A partir dessa teoria, pôde-se idealizar um modelo para o átomo que, indestrutível, seria como uma bola maciça, como uma bola de bilhar. Esse modelo de bola maciça ficou conhecido como modelo de Dalton, o qual contribuiu para dar uma nova direção aos estudos das transformações químicas e dos processos que ocorrem com as unidades estruturais da matéria. Essas unidades ainda hoje são denominadas átomos, apesar de, como apontamos, estudos posteriores demonstrarem que elas não são indivisíveis como sugere o nome.



▲ Historicamente, o **modelo atômico de Thomson** ficou conhecido como um bolo inglês, chamado **pudding de ameixas**, representado acima.



PARE E PENSE

O que é energia elétrica? O que é eletricidade?

Modelo atômico de Thomson

No primeiro volume desta obra, aprendemos que a matéria é constituída por partículas, que historicamente foram denominadas por átomos. Uma forma adequada de representar os átomos é a do modelo atômico de Dalton, que se mostrou bastante eficiente para explicar e até prever quantidades químicas na ocorrência de uma reação. Com os cálculos estequiométricos, conseguimos estabelecer a quantidade de um produto que será obtido a partir de uma determinada quantidade de reagente. Com o modelo de Dalton, foi possível, ainda, fazer previsões sobre propriedades dos gases e até fazer cálculos de concentração de soluções.

Agora, vamos avançar nossos estudos de Química, compreendendo as propriedades das substâncias, fazendo previsões sobre o seu comportamento. Isto é fundamental, pois os químicos estão interessados em utilizar as substâncias para aplicações cotidianas, que estão relacionadas às propriedades das substâncias, e é por meio dessas que ele identifica a ocorrência de uma reação química.

O modelo atômico de Dalton não é suficiente para dar conta do estudo das propriedades das substâncias, as quais estão relacionadas às forças de atração entre as partículas constituintes das substâncias. A natureza dessas forças, por sua vez, está relacionada à natureza elétrica da matéria.

Assim, neste capítulo, vamos avançar nossos estudos sobre novos modelos atômicos, que explicam fenômenos relativos à natureza elétrica da matéria. Para compreender esses modelos, vamos ver, historicamente, como eles foram desenvolvidos, da mesma forma que estudamos como o modelo atômico de Dalton foi elaborado. Compreender a história da Ciência nos ajuda a entender as limitações da Ciência, bem como a refletir sobre o mundo que vivemos e pensar em novos modelos para explicá-lo. Afinal é para isso que estudamos ciência na escola, para que possamos compreender o mundo e busquemos novas formas de viver, construindo uma sociedade baseada em princípios de igualdade e justiça, e não em valores que consideram alguns já predeterminados a serem melhores que outros. Vamos a este estudo!

(Química Cidadã, Santos e Mol, p.158 , 2016)

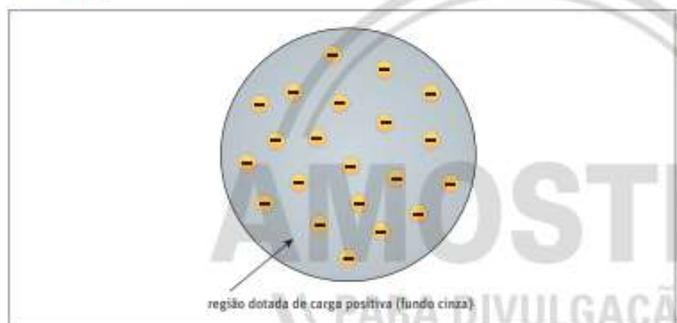
O modelo atômico de Thomson

Como os corpos são eletricamente **neutros**, a descoberta dos elétrons (de carga negativa) levou Thomson a propor a existência de carga positiva no átomo. Ele elaborou um modelo de átomo constituído por uma esfera maciça, de carga elétrica positiva, que continha "corpúsculos" de carga negativa (elétrons) nela dispersos. Esse modelo ficou conhecido por **modelo do pudim de passas** (nome que não foi dado por Thomson).

Segundo Thomson, o número de elétrons no átomo deveria ser suficiente para anular a carga positiva da esfera. Assim, se um átomo perdesse um ou mais elétrons, ficaria carregado positivamente, pois haveria uma carga total positiva superior à negativa, transformando-se em um átomo positivamente carregado. Caso o átomo ganhasse um ou mais elétrons, ficaria negativamente carregado. Thomson denominou esses átomos, respectivamente, "eletropositivos" e "eletronegativos".

Atualmente, dá-se o nome de **íons** aos átomos que ficam positiva ou negativamente carregados.

Íons com carga elétrica positiva são denominados **cátions**, e com carga elétrica negativa, **ânions**.

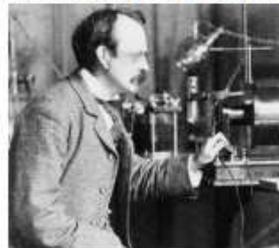


Modelo atômico proposto por Thomson: Representação em cores-fantasia e fora de escala.

Fonte de pesquisa: The discovery of the electron. Disponível em: <<http://chemed.chem.purdue.edu/genchem/history/raisin.html>>. Acesso em: 19 abr. 2016.

QUÍMICA TEM HISTÓRIA

Corpúsculos de carga negativa



Thomson no Laboratório Cavendish, na Universidade de Cambridge, em 1909.

A descoberta do elétron, anunciada por Thomson em 1897, resultou do trabalho de diversos pesquisadores. Até então, não havia consenso entre os pesquisadores sobre a natureza dos raios catódicos. Enquanto a maioria dos físicos os caracterizava como "ondas que se propagavam no éter", Thomson e Crookes atribuíam natureza corpuscular a esses mesmos raios.

Após realizar diversos experimentos, Thomson confirmou a natureza corpuscular e determinou a razão entre a carga e a massa de tais partículas. Ele também levantou a hipótese de que tais partículas deveriam estar presentes em todos os átomos e que eram, portanto, constituintes universais da matéria. Essa seria a base da re-

(Química, Lisboa et al, p. 81, 2016)

O experimento de Rutherford e seu modelo atômico

Em 1909, o inglês Ernest Marsden [1889-1970], um estudante de graduação de Física, em Manchester, junto com o físico inglês Johannes Hans Wilhelm Geiger [1882-1945], estudando a interação da radioatividade com diferentes metais, observaram que algumas partículas alfa retornavam, enquanto a maioria atravessava os materiais.

Geiger e Marsden realizaram muitos experimentos e investigaram a quantidade relativa de reflexão, a partir de metais de espessura variável, e a fração de partículas alfa incidentes que eram refletidas. Em suas observações, puderam identificar que a maioria das partículas alfa atravessava as lâminas metálicas, quando estas eram muito finas, mas que uma quantidade muito pequena dessas partículas retornava com grandes ângulos de desvio, que poderia retornar na mesma direção de incidência das partículas alfa ou variar o desvio até 90°.

Rutherford, que trabalhava com os dois, ao tomar conhecimento desses resultados supôs que a deflexão com grande ângulo fosse devida a um único encontro atômico e que a possibilidade de um segundo encontro desse tipo, na maioria dos casos, deveria ser extremamente pequena.

De acordo com o modelo atômico de Thomson, as deflexões seriam improváveis: sendo muito mais leves que as partículas alfa, os elétrons teriam tanta dificuldade para desviar suas trajetórias quanto bolas de gude para desviar balas de canhão.

Para perceber as possíveis deflexões, utilizou-se uma placa de material fosforescente que emite luz quando colidida pela radiação alfa. Dessa maneira, ao colocar uma fina lâmina de ouro entre a chapa fosforescente e o material radioativo, a luminosidade na chapa deveria cessar, pois a lâmina de ouro bloquearia a passagem da radiação.



▲ Sob orientação de Rutherford, Hans Geiger e Ernest Marsden trabalharam no experimento de **espalhamento de radiação alfa**. Para isso, ficaram várias horas em um quarto escuro observando lampejos emitidos por filmes de sulfeto de zinco quando atingidos por partículas alfa, que eram desviadas ao atravessar uma fina lâmina de ouro. Esse experimento está representado esquematicamente acima.

(Química Cidadã, Santos e Mol, p. 163, 2016)

Anexo F – Analogia 06: Modelo atômico de Rutherford I



bloco de
chumbo

<http://www.acervodigital.unesp.br/bitstream/123456789/40431/6/2ed_qui_m1d2.pdf>. Acesso em: fev. 2016.) Representação sem escala; cores fantasia.

Constatou-se que, quando a folha metálica era muito fina, a maioria das partículas α (emitidas de uma amostra de rádio colocada no interior do bloco de chumbo) a atravessava sem desvios, o que poderia ser explicado pela grande velocidade das partículas e estaria de acordo com o previsto com base no modelo atômico de Thomson.

Mas por que apenas uma ou outra partícula em alguns milhares apresentavam grandes desvios de trajetória ou eram até ricocheteadas pela lâmina? Não havia como conciliar essa observação com o modelo atômico descrito por Thomson, pois o desvio de trajetória é causado por repulsão elétrica. Após muito refletir sobre uma explicação para essa observação, Rutherford considerou que a maior parte da massa do átomo deveria estar concentrada em uma região esférica positiva muito menor que o próprio átomo.

Nesse meio-tempo, Rutherford entrou em contato com as ideias do físico japonês Hantaro Nagaoka (1865-1950). Na tentativa de explicar os resultados observados em seus estudos sobre a interação da radiação com a matéria, Nagaoka propôs, em 1904, um modelo atômico diferente do proposto por Thomson. Segundo ele, os elétrons estariam situados fora da esfera positivamente carregada, descrevendo órbitas circulares ao redor dela. Ou seja, o volume total do átomo não seria ocupado pela esfera positiva nesse modelo, chamado de saturniano em alusão ao planeta Saturno e seu sistema de anéis.

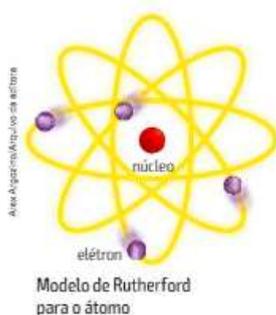
Destaque que o objetivo de Rutherford e seus colaboradores com essa série de experimentos não era investigar a natureza dos átomos, e que ele planejou esse aparato experimental considerando que o modelo de Thomson era válido.

Alerte os alunos que eles vão estudar as bases matemáticas dessa discussão durante o curso de eletromagnetismo na disciplina de Física.

89 ◆

(Química, Ciscato et al, p. 89, 2016)

Anexo G – Analogia 07: Modelo atômico de Rutherford II



As ilustrações estão fora de escala. Cores fantasia.

Ao variar a posição do alvo em volta da lâmina de metal, Rutherford e seus colaboradores puderam observar que algumas cintilações surgiam para ângulos muito diferentes, alguns deles próximos de 180° .

Essas cintilações indicavam que algumas partículas alfa haviam colidido frontalmente com um “objeto” extremamente denso.

Vários experimentos permitiram reunir as observações em três pontos principais:

- 1) A maioria das partículas α atravessou a placa de ouro sem sofrer desvio considerável em sua trajetória.
- 2) Algumas partículas α (poucas) foram rebatidas na direção contrária ao choque.
- 3) Certas partículas α (poucas) sofreram um grande desvio em sua trajetória inicial.

Interpretando os resultados de uma grande série de experimentos, a equipe de Rutherford chegou à conclusão de que o átomo não se parecia com uma esfera positiva com elétrons incrustados (como um “pudim de passas”).

Os resultados das observações mostravam que:

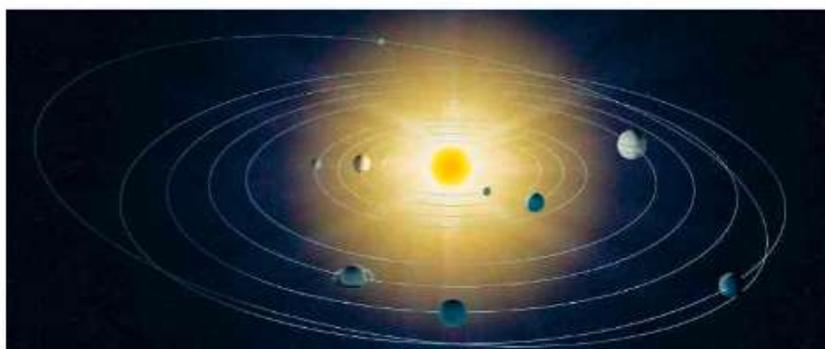
- o átomo contém imensos espaços vazios;
- no centro do átomo existe um núcleo muito pequeno e denso;
- o núcleo do átomo tem carga positiva, uma vez que as partículas alfa (positivas) foram repelidas ao passar perto do núcleo;
- para equilibrar essa carga positiva, existem elétrons ao redor do núcleo orbitando numa região periférica denominada eletrosfera.

Rutherford elaborou então um modelo de átomo semelhante a um minúsculo **sistema planetário**, em que os elétrons se distribuíam ao redor do núcleo como planetas em torno do Sol.

Esse modelo foi útil em 1911 e até hoje pode explicar determinados fenômenos físicos. Mas, mesmo na época em que foi criado, apresentava contradições consideráveis, que impediam sua total aceitação:

- O Sistema Solar é gravitacional e o sistema atômico é elétrico. As leis físicas que regem esses dois sistemas são diferentes.
- Além disso, como partículas de cargas opostas se atraem, os elétrons, percorrendo uma espiral em direção ao núcleo, perderiam energia gradualmente e, à medida que isso ocorresse, emitiriam energia na forma de luz.

Como os elétrons se mantêm em movimento ao redor do núcleo sem que os átomos entrem em colapso, os cientistas se viram diante de um impasse que só foi solucionado a partir de descobertas feitas com o estudo da natureza da luz, que veremos na sequência.



6 Modelo atômico planetário e as partículas do átomo



Alguns cientistas representaram o átomo com uma **estrutura parecida com a do sistema solar**. Será que a estrutura do átomo é como a representada na ilustração acima?

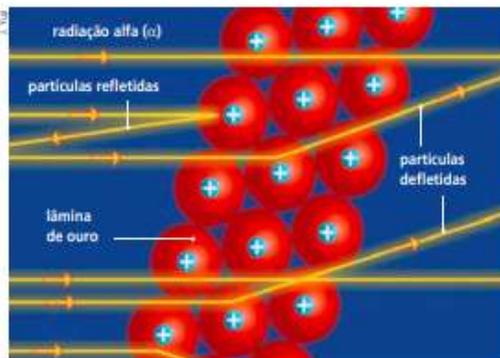
Vejamos, agora, fatos que contribuíram para a elaboração de um novo modelo atômico para explicar o arranjo de suas partículas.

DIVUL

O modelo de Rutherford é uma ferramenta básica para o estudo da Química no Ensino Médio. De forma simples e clara, ele permite explicar uma série de processos químicos. Por isso, é importante que você compreenda as suas principais características. Por diversas vezes, ele será representado em figuras. Lembre-se, no entanto, que você estará vendo um modelo e, como tal, constitui uma representação e não um átomo como ele é de fato. Por exemplo, o modelo atômico de Rutherford foi comparado com o Sistema Solar, pelo fato de o seu modelo considerar que os elétrons giram ao redor do núcleo do átomo em órbitas (trajetórias fechadas), assim como no Sistema Solar os planetas giram em órbitas ao redor do Sol. Embora essas comparações (analogias) sejam muito comuns nas Ciências, sempre devemos ter cuidado, pois comparamos coisas diferentes.

O sistema idealizado por Rutherford não é exatamente como o Sistema Solar, afinal dimensões, formatos e trajetórias das órbitas dos planetas no Sistema Solar são completamente diferentes dos elétrons! Além disso, os elétrons são todos do mesmo tamanho e não diferentes como os planetas de nosso Sistema Solar e nem existem partículas ao redor dos elétrons como existem os satélites ao redor dos planetas. Parece que essa analogia pouco contribuiu para entender o átomo, mas, por razões históricas, assim o modelo atômico de Rutherford ficou conhecido. Devemos lembrar, ainda, que, conforme veremos adiante, essa ideia de os elétrons girarem em órbitas ao redor do núcleo foi desconsiderada pelos dados obtidos posteriormente, embora a sua ideia de um núcleo extremamente pequeno continue válida até hoje.

Observe também que qualquer ilustração que representarmos o átomo não será possível ilustrar o núcleo atômico na proporção de tamanho à eletrosfera.



Representação esquemática do **desvio da radiação alfa** pelos núcleos positivos (azuis com sinal positivo) dos átomos (vermelhos) de ouro.

164

(Química Cidadã, Santos e Mol, p 164, 2016)

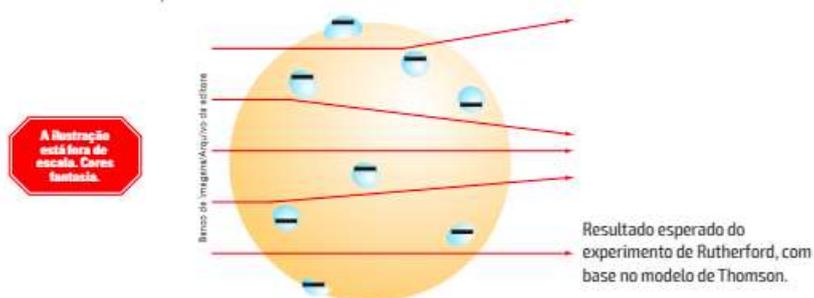
Anexo I – Analogia 09: Experimento de Rutherford I

Rutherford trabalhou junto com outros cientistas, como o físico alemão Johannes Wilhelm Geiger (1882-1945) e o físico inglês Ernest Marsden (1889-1970).

Modelo atômico de Rutherford

Em 1893, o físico neozelandês Ernest Rutherford (1871-1937) foi estudar na Inglaterra, sob a orientação de Thomson, e começou a investigar as propriedades dos raios X e das emissões radioativas. Chegou à conclusão, junto com outros cientistas, de que seria interessante usar as partículas alfa (de massa elevada em comparação às partículas beta) para bombardear átomos de outros elementos, como ouro, alumínio e cobre.

Inicialmente o ouro foi o escolhido por ser um material inerte (pouco reativo). Esperava-se que a grande energia cinética das partículas alfa as faria atravessar uma finíssima folha metálica de ouro (de aproximadamente 10^{-4} mm de espessura), tal como uma bala de espingarda atravessa uma folha de papel sem ser rebatida por ela.



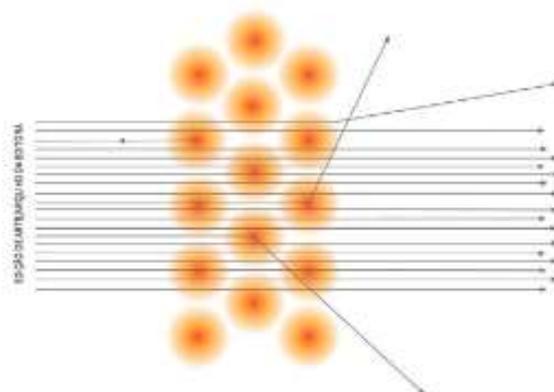
O máximo que se previa era que algumas partículas alfa sofreriam pequenos desvios em suas trajetórias, já que o átomo era uma esfera carregada positivamente com elétrons distribuídos uniformemente por todo o seu volume (modelo de Thomson).

(Química, Reis, p 148, 2016.)

ANEXO J - Analogia 10: Experimento de Rutherford II

DIVULGAÇÃO PNL/D

Mais de 99% das partículas α atravessaram a finíssima lâmina de ouro que ficava entre o orifício de onde saíam as partículas e o anteparo fluorescente; elas eram responsáveis pela luminosidade intensa que aparecia no anteparo. Observe:



Cores fantasia, sem escala.

O que ocorreu: a maioria (mais de 99,9%) das partículas atravessou a lâmina sem desviar, como se ela não existisse; pouquíssimas a atravessaram com algum desvio e raríssimas voltaram em direção à fonte.

Fonte: KOTZ, J. C.; TREICHEL, JR., P. *Chemistry & Chemical Reactivity*, 3rd ed. Orlando: Saunders College, 1996. p. 69.

Com base no modelo de Thomson, Rutherford e sua equipe esperavam que as partículas atravessassem a lâmina metálica sem sofrer desvios expressivos. Observando as marcas detectadas no material fluorescente, concluíram que quase todas as partículas atravessavam a lâmina sem sofrer desvio. Isso indicava que havia regiões "vazias" nos átomos. Entretanto também notaram que algumas partículas atravessavam a lâmina desviando um pouco da trajetória inicial e que poucas não a atravessavam.

O que mais surpreendeu nesse experimento foi o fato de que essas poucas radiações que não atravessavam a lâmina metálica voltavam em direção à fonte de radiação. Rutherford descreveu seu espanto afirmando que isso tinha sido a coisa mais incrível que havia acontecido, que era quase tão inacreditável quanto se atirássemos uma granada de 15 polegadas contra uma folha de papel e a granada voltasse e nos atingisse.

Capítulo 4 Estrutura atômica: conceitos fundamentais

89

(Vivá, Novais e Antunes, p 89, 2016)

Foi para explicar os resultados desses experimentos que Rutherford propôs um novo modelo de átomo. De que forma?

- ▶ O átomo deveria ter sua carga positiva concentrada (núcleo), de forma que as partículas α (também de carga positiva) que passassem próximo do núcleo seriam repelidas por ele e teriam sua trajetória desviada (cargas elétricas de mesmo sinal se repelem).
- ▶ O núcleo do átomo conteria quase toda a massa do átomo; por isso as partículas α que se chocassem com o núcleo (uma pequeníssima parte delas) voltariam no sentido da fonte que as emitira.
- ▶ O elétron, com carga negativa, teria massa desprezível em relação à das partículas α ; por isso as partículas α que atravessassem a região ao redor do núcleo onde estariam os elétrons não mudariam de direção. Isso porque essas partículas α têm grande energia cinética, e o elétron tem massa desprezível em relação a elas.

Vale destacar que uma partícula α tem massa quase 8 000 vezes maior que a do elétron. Fazendo uma analogia, poderíamos imaginar algo como um caminhão (partícula α) em alta velocidade atropelando uma lata de ferro (o elétron).

O modelo de átomo proposto por Rutherford representou grande inovação em relação aos anteriores por supor a existência do núcleo atômico; o átomo seria uma esfera cujo raio teria dimensões da ordem de 10^{-8} cm, no centro da qual estaria o núcleo, cujas dimensões seriam da ordem de 10^{-12} cm. Para que você tenha ideia da relação entre as dimensões do raio do átomo e do núcleo, imagine que, se o núcleo "crescesse" até atingir 1 cm de diâmetro, o átomo teria de 100 m a 1 km de diâmetro.

Segundo o cientista, os elétrons estariam espalhados ao redor do núcleo, movendo-se em torno dele em uma região de baixa densidade – pequena massa ocupando um grande volume: a eletrosfera. No núcleo estariam todas as cargas positivas do átomo.

Para reforçar o que vimos, imagine um depósito de petróleo, cuja massa seja da ordem de $2 \cdot 10^8$ kg, isto é, 200 000 000 kg ou 200 mil toneladas; se, magicamente, pudéssemos remover todas as eletrosferas dos átomos nele existentes, ele passaria a ocupar um volume menor que o de uma gota. Ou seja, a matéria é constituída de diminutos núcleos, com carga positiva, extremamente densos, cercados por uma região praticamente "vazia", na qual estão os elétrons, de carga negativa.

Em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:3D_animation_of_the_Rutherford_atom.ogv> (acesso em: 16 dez. 2015), você pode ver a representação do modelo de Rutherford em três dimensões.

TEMA

2

Uma das ferramentas mais importantes da Química: a tabela periódica

É possível que um ou mais alunos mencione a consulta à tabela periódica. Caso contrário, você pode iniciar a discussão questionando os alunos como eles encontram os produtos em um supermercado, por exemplo.

A manutenção de altas correntes elétricas nos materiais supercondutores permite a geração de campos magnéticos intensos capazes de fazer um trem flutuar sobre seus trilhos.

Com o uso dessa tecnologia, trens podem passar dos 500 km/h. Elementos como o ítrio e o nióbio são usados na produção desses materiais supercondutores. Como encontrar mais elementos químicos que permitam produzir materiais com essas características?

Retorne a principal diferença entre substância simples e substância composta abordada no Tema 1.



CHRIS VILJONNA-LAPOSTOLAN IMAGES

O ser humano tem por hábito organizar por categorias praticamente quaisquer conjuntos de objetos. Os químicos organizam os elementos químicos em uma tabela conhecida como **tabela periódica**. A forma como ela é construída permite encontrar com facilidade elementos químicos cujas propriedades são semelhantes. Como se chegou a essa estrutura tão organizada?

(Química, Ciscato et al, p.98, 2016)

livros. Art. 181 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de Janeiro de 1998.

ANEXO M – Analogia 14: Periodicidade e Coleção



Observe o que está estampado no ônibus da imagem acima. Esse ônibus e também alguns táxis com a mesma estampa fazem parte de uma campanha de divulgação do Parque de Ciência e Tecnologia de Oxford, na Inglaterra. Você sabe o que representam essas estampas?

Este capítulo irá ajudá-lo a compreender:

- a classificação periódica;
- propriedades periódicas;
- a ligação metálica.

Para situá-lo

Você já colecionou algum tipo de objeto? Se não, talvez conheça alguém que faça alguma coleção, como de camisetas de times de futebol, miniaturas de automóveis, ingressos de shows, discos de vinil, CDs, etc.

Agora imagine que um colecionador de selos (filatelista) tenha uma coleção de cerca de 2 mil selos e queira mostrar a uma pessoa alguns de seus exemplares raros. Se a coleção dele estiver bem organizada, conseguirá achá-los rapidamente, mas, se ela estiver desorganizada, não será nada fácil localizar um deles em especial.

Mesmo alguém que não tenha o hábito de fazer coleções, se contar com uma biblioteca particular numerosa, sentirá dificuldade de localizar determinado livro caso não tenha estabelecido alguma maneira organizada de guardá-los.

Para que o armazenamento de selos ou de livros seja organizado, é necessário estabelecer critérios de classificação.

Mas o que é classificar? Para começar a pensar sobre esse assunto, leia o texto a seguir, retirado de um ensaio do escritor argentino Jorge Luis Borges (1899-1986). Segundo esse autor, uma antiga enciclopédia chinesa classificava os animais de acordo com os seguintes critérios:

- [...]
- a) pertencentes ao imperador;
 - b) embalsamados;
 - c) domesticados;
 - d) leitões;
 - e) sereias;
 - f) fabulosos;
 - g) cães em liberdade;
 - h) incluídos na presente classificação;
 - i) que se agitam como loucos;
 - j) inumeráveis;
 - k) desenhados com um pincel muito fino de pelo de camelo;
 - l) et cetera;
 - m) que acabam de quebrar a bilha;
 - n) que de longe parecem moscas.
- [...]

BORGES, Jorge Luis. *Otras inquisiciones*. Madrid: Alianza Editorial, 1976. (Tradução dos autores.)



Esse é um dos selos conhecidos por "barba branca" – nome dado aos selos emitidos entre 1877 e 1888, com a imagem de dom Pedro II. Imagine como seria difícil encontrá-lo em uma coleção de 2 mil selos caso ela não fosse organizada.

ESCRITORES BRASIL, REPRODUÇÃO

100 Unidad

NLD

(Vivá, Novais e Antunes, p.100-101, 2016)

ANEXO N - Analogia 15: Periodicidade e Acervo de Livros

Periódica atual.
Propriedades químicas e físicas dos grupos da Tabela Periódica.
Propriedades periódicas e aperiódicas.



Assim como na organização de bibliotecas, livrarias ou sebos, a comunidade científica busca a organização e a classificação de seus objetos de estudo.

O que ocorreria se não houvesse um critério na organização do acervo de livros de uma biblioteca, de uma livraria ou de um sebo? Se os livros não estivessem catalogados e devidamente dispostos nas respectivas prateleiras, tanto o bibliotecário ou livreiro quanto o cliente certamente teriam grande dificuldade em encontrar determinado exemplar em meio a tantos outros. Será que há um único modo de organizar os livros para facilitar a vida de quem pretende encontrá-los ou as opções de organização podem considerar outros critérios?

Por meio de pesquisas e experimentações, os cientistas perceberam que muitos elementos químicos apresentavam propriedades químicas semelhantes, ou seja, comportavam-se de maneira parecida. Eles então procuraram agrupar os elementos de acordo com a semelhança de propriedades. Dessas tentativas surgiram os primeiros modelos de Tabela Periódica, uma ferramenta de estudo importante no universo da Química. Ela fornece informações de como os elementos químicos se comportam.

Neste capítulo, você vai estudar a evolução histórica da classificação dos elementos, como eles são dispostos e por que eles apresentam propriedades que se repetem periodicamente.

(Química, Lisboa et al, p. 100, 2016)

Anexo O – Analogia 16: Periodicidade e Eventos Cotidianos

Fonte: LIDE, David R. (Ed.). Ionization Energies of Atoms and Atomic Ions. In: *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 89th ed. (Internet Version). Boca Raton, FL: CRC/Taylor and Francis, 2009. p. 10-203.

Nota: Os valores foram arredondados para facilitar a elaboração do gráfico.

- a) Construa um gráfico de primeira energia de ionização em função do número atômico, com base nos valores fornecidos. Utilize papel quadriculado ou um computador.
 - b) O que você nota sobre a forma do gráfico?
 - c) A que grupo pertencem os elementos de maior energia de ionização? E os de menor energia de ionização?
3. Você analisou duas propriedades periódicas – raio atômico e energia de ionização. Procure explicar, com suas palavras, o que é uma propriedade periódica.

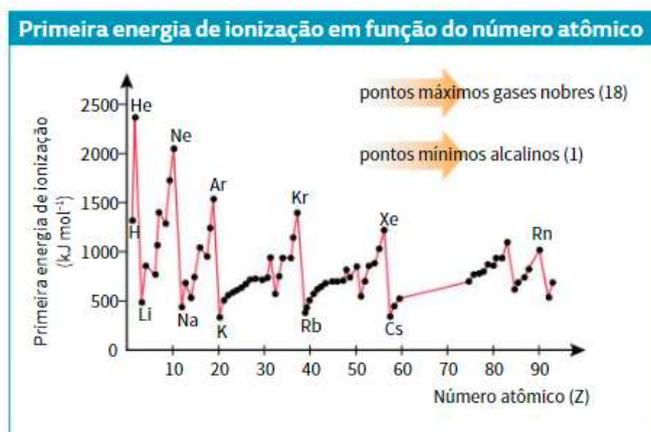
de ionização, isto é, à energia necessária para retirar um único elétron por átomo. Trata-se do elétron que é mais facilmente removido do átomo.

Você teve a oportunidade de analisar exemplos e de construir gráficos que relacionam uma propriedade periódica com o número atômico. O que é um fenômeno periódico?

Reflita sobre a frequência com que se repetem certos fatos: a data de seu aniversário, as estações do ano, o dia e a noite, o pingar de uma torneira, a publicação de uma revista ou de um jornal. São episódios que se repetem com certa regularidade, isto é, são periódicos.

Apesar de as propriedades periódicas dos elementos não variarem de modo perfeito ao longo da Tabela Periódica, com base nessas variações é possível fazer previsões sobre o comportamento químico e os valores aproximados de algumas propriedades físicas dos elementos, de acordo com a posição que ocupam na tabela.

Compare o gráfico que você construiu com o que está ao lado:



Fonte: RUSSELL, J. B. *Química geral*. 2. ed. São Paulo: Makron Books, 1994. v. 1. p. 336.

(Vivá, Novaes e Antunes, p. 111, 2016)



Viagem no tempo

A Tabela Periódica: um trabalho de muitos cientistas

Entre as inúmeras tentativas de organização dos elementos químicos que antecederam a atual, podemos destacar:

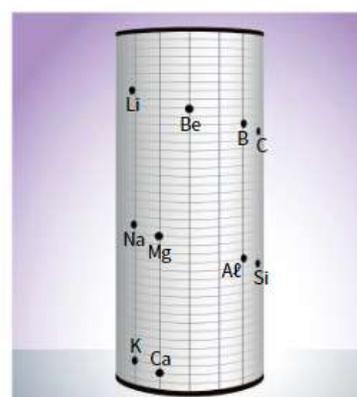
- **As tríades de Döbereiner:** quando o químico alemão Johann Wolfgang Döbereiner (1780-1849) fazia suas pesquisas, eram conhecidos perto de 50 elementos. Agrupando elementos que tinham propriedades químicas semelhantes, Döbereiner acabou por perceber que a massa atômica de um correspondia, aproximadamente, à média aritmética de outros dois. Assim, propôs a formação de tríades (grupos de três elementos), tais como:

Li 7	Cl 35,5
Na 23	Br 80
K 39	I 127

Note que a massa atômica do sódio (23) é a média aritmética das massas do lítio (7) e do potássio (39). Fato semelhante ocorre quando somamos as massas atômicas do iodo (127) com a do cloro (35,5) e dividimos por 2: obtemos um valor próximo de 80, massa atômica do bromo.

- **O parafuso telúrico de Chancourtois:** em 1862, o geólogo e mineralogista francês Alexandre-Émile Béguyer de Chancourtois (1820-1886) propôs uma organização dos elementos em ordem crescente de suas massas atômicas, dispostas em uma estrutura tridimensional, conforme mostra o esquema ao lado. Os elementos com propriedades semelhantes eram posicionados na mesma linha vertical.
- **A lei das oitavas de Newlands:** assim como seus antecessores, o químico inglês John Alexander Reina Newlands (1837-1898) estudou a periodicidade das propriedades dos elementos químicos e em 1864 propôs uma organização dos elementos químicos, em ordem crescente das massas atômicas, sugerindo que as semelhanças se repetiam de modo análogo às notas musicais (em oitavas).

Embora as propostas descritas tenham contribuído para se chegar à tabela atual, elas foram abandonadas por suas inúmeras limitações.



Esboço de parte do parafuso telúrico de Chancourtois.

PAULA RODRIGUES DE EDITORA

Anexo Q – Analogia 18: Periodicidade: as Oitavas de Newlands II

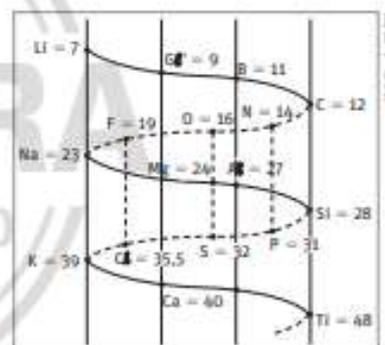
As tríades de Döbereiner

Johann Wolfgang Döbereiner (1780-1849), químico alemão, tentou estabelecer, em 1817, uma correlação entre a massa atômica e as propriedades de alguns elementos. Inicialmente, ele percebeu que cálcio, estrôncio e bário se apresentavam em ordem crescente de massa atômica e com propriedades químicas semelhantes. Em 1829, Döbereiner já havia registrado o mesmo comportamento para outros conjuntos de três elementos: cloro, bromo e iodo; lítio, sódio e potássio. A cada um desses conjuntos ele deu o nome de **tríade**.

Outros cientistas, contudo, perceberam que essas relações químicas se estendiam além das tríades. O maior mérito de Döbereiner foi tentar agrupar os elementos seguindo um critério lógico.

O parafuso telúrico de Chancourtois

O geólogo e mineralogista francês Alexandre-Émile Béguyer de Chancourtois (1820-1886) também fez tentativas de organizar os elementos. Em 1862, colocou-os em ordem crescente de massa atômica, em uma espiral conhecida como **parafuso telúrico**^{*}. Em cada volta do parafuso, elementos com diferença de, aproximadamente, 16 unidades de massa eram verticalmente alinhados. Chancourtois foi quem primeiro percebeu que as propriedades eram comuns a cada sete elementos. Por meio de seu parafuso telúrico, ele foi capaz de prever as fórmulas de diversas substâncias.



Representação do parafuso telúrico de Chancourtois. Os elementos químicos presentes em uma linha vertical (contínua ou tracejada) possuem propriedades semelhantes, como o lítio (Li), o sódio (Na) e o potássio (K).

Lei das Oitavas de Newlands

Em 1863, o químico inglês John Alexander Reina Newlands (1837-1898) reuniu 56 elementos em 11 grupos. Ele usou como base propriedades físicas semelhantes. Notou que existiam muitas propriedades similares em pares de elementos que diferiam em oito unidades de massa atômica. Essa observação resultou na Lei das Oitavas e levou Newlands a publicar, em 1864, sua versão da Tabela Periódica. No entanto, por associar as oitavas com intervalos de escala musical e por haver muitas exceções a essa "regra", suas ideias não foram bem aceitas pela comunidade científica.

H 1	FB	Cl 15	Co/Ni 22	Br 29	Pd 36	I 42	Pt/Ir 50
Li 2	Na 9	K 16	Cu 23	Rb 30	Ag 37	Cs 44	Tl 53
Gf 3	Mg 10	Ca 17	Zn 25	Sr 31	Cd 34	Ba/V 45	Pb 54
Bo 4	Al 11	Cr 18	Y 24	Ce/La 33	U 40	Ta 46	Th 56
C 5	Si 12	Ti 19	In 26	Zr 32	Sn 39	W 47	Hg 52
N 6	P 13	Mn 20	As 27	Di/Mo 34**	Sb 41	Nb 48	Bi 55
O 7	S 14	Fe 21	Se 28	Ra/Ru 35	Te 43	Au 49	Os 51

Tabela Periódica proposta por Newlands em 1865. Os elementos conhecidos na época estão dispostos sequencialmente de 1 a 51, em ordem crescente de massa atômica. Portanto, a numeração ao lado de cada símbolo não indica a massa atômica, mas a sua ordem. Elementos químicos com propriedades semelhantes foram dispostos horizontalmente. Observe que alguns espaços na tabela são ocupados por dois elementos químicos, por exemplo, o cobalto (Co) e o níquel (Ni).

Fonte de pesquisa: TOLEDO, M.; ROSA-FRANCO, R. C.; CHAGAS, A. P. Alguns aspectos históricos da classificação periódica dos elementos químicos. *Química Nova*, São Paulo, v. 20, n. 1, fev. 1997. Disponível em: <http://www.scielo.br/quim/nova/pdf/50100-80421097000100014&script=sci_arttext>. Acesso em: 4 mar. 2016.

* Gf = 9, pois é quando o elemento Gf aparece pela primeira vez.

** Em 1885, foi descoberto que o elemento químico conhecido como dalmanite (Dl) era na verdade uma mistura de dois outros elementos químicos, praseodímio (Pr) e neodímio (Nd).

Não escreva no livro.

101

(Química, Lisboa et al, p. 101, 2016)

Anexo R – Analogia 19: Periodicidade e o Calendário

Reprod

Para chegar ao nível de acerto alcançado por suas previsões, Mendeleev considerou em seu raciocínio a variação periódica das propriedades dos elementos químicos em função das massas atômicas, o que deu origem à expressão **tabela periódica**.

Mendeleev dispôs os elementos químicos em uma tabela de maneira que se pudessem fazer previsões sobre eles com base na variação periódica de determinadas características. Esse princípio de organização pode ser visto mesmo no cotidiano. Por exemplo, se alguém apontar para o mês de janeiro em um calendário e perguntar qual é a temperatura média no Brasil nessa época do ano, a resposta será "alta, é verão no Brasil". Isso ocorre porque a periodicidade das estações ao longo do ano é bem conhecida. Voltando ao caso dos elementos químicos, se alguém indicar o potássio em uma tabela periódica e perguntar sobre suas propriedades, a resposta será que se trata de um metal acinzentado, mole, de baixa densidade, de altas temperaturas de fusão e de ebulição, como todos os outros elementos químicos do grupo dos atualmente chamados metais alcalinos.

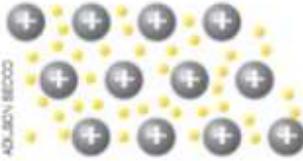
Muitas razões foram apontadas pelos historiadores da ciência para explicar a primazia do trabalho de Mendeleev em relação, por exemplo, ao trabalho de Meyer. Além das previsões sobre a existência de elementos químicos posteriormente confirmadas, destaca-se o fato de Mendeleev ter baseado sua proposta de organização não só nas propriedades físicas, como fez Meyer, mas também na reatividade e nos tipos de compostos formados pelos elementos químicos.

Mostre esse grupo na primeira tabela proposta por Mendeleev (linha 14) e enfatize que a essência da ideia de periodicidade já havia sido proposta anteriormente por outros cientistas, mas nenhum atingiu o nível de detalhamento e a abrangência de propriedades químicas que a proposta de Mendeleev.

Aproveite este momento para discutir a natureza da contribuição de Mendeleev: teria ele proposto uma teoria interpretativa ou uma lei empírica? Não há um consenso entre os historiadores e filósofos da ciência acerca desse ponto, o que demonstra a natureza controversa do progresso científico.

(Química, Ciscato et al, p.101, 2016)

Ligação metálica



Modelo submicroscópico proposto para explicar a ligação metálica em um fio de metal. As esferas de carga positiva representam os cátions, e as esferas amarelas, os elétrons. Representação sem escala; cores fantasia.

Explique aos alunos que "nuvem eletrônica" é o nome dado ao modelo que relata como os elétrons estão distribuídos na estrutura metálica.

Se a atividade prática tiver sido realizada, peça aos alunos que comparem essas informações com os resultados da atividade referentes à moeda, que é constituída geralmente por uma liga metálica (de composição variável, dependendo do seu valor).

Para explicar a condução de corrente elétrica pelos metais no estado de agregação sólido, uma hipótese é considerar que, como os metais têm baixas energias de ionização e baixos valores de eletronegatividade, seus elétrons de valência são pouco atraídos por seus núcleos, de tal forma que os metais têm tendência em perder elétrons e formar cátions. Assim, propõe-se que a estrutura dos metais consiste num conjunto de cátions e elétrons que, por sua vez, podem se movimentar nessa estrutura. A repulsão entre os cátions é neutralizada em razão da presença dos elétrons, dando estabilidade ao sistema. A boa condutibilidade elétrica desses materiais pode ser explicada por uma hipótese bastante plausível: a presença desses elétrons de valência pouco atraídos pelos núcleos, que se movem dentro da estrutura metálica. O conjunto de elétrons proveniente de muitos átomos formaria, segundo essa hipótese, uma "nuvem eletrônica" capaz de se movimentar ao ser aplicada uma diferença de potencial elétrico no material metálico.

Na "nuvem eletrônica", o movimento dos elétrons é desordenado; porém, conectando o fio metálico a uma fonte de potencial elétrico (uma pilha, por exemplo), eles passam a se movimentar ordenadamente, de um extremo ao outro do fio, formando uma corrente de elétrons.

Portanto, a passagem da corrente elétrica pelos metais pode ser atribuída ao deslocamento de elétrons, e não ao deslocamento de íons, como ocorre nas substâncias iônicas, como o cloreto de sódio no estado de agregação líquido ou em solução aquosa, por exemplo.

Os metais possuem a capacidade de formar ligas. As ligas metálicas são materiais que contêm átomos de dois ou mais elementos químicos, sendo que pelo menos um deles é metal. Geralmente, as propriedades de uma liga metálica são bastante diferentes das propriedades dos metais que a compõem em suas formas puras, daí a importância de seu uso. Veja alguns exemplos na tabela a seguir.

(Química, Ciscato et al, p.124, 2016)

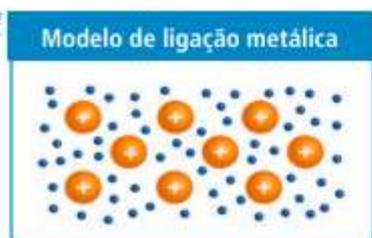
Anexo T – Analogia 21: Mar de Elétrons

Assim, um possível modelo teórico para explicar a ligação metálica tem como fundamento o fato de os elétrons da camada de valência de átomos de metais serem fracamente atraídos por seu núcleo. Com isso, esses elétrons apresentam um grau de liberdade que permite a eles transitar facilmente entre os átomos do material. Isso ocorre por conta do padrão de organização dos átomos dos metais em seus retículos cristalinos e do alto valor de raio atômico, que permite aos átomos metálicos compartilharem os elétrons de suas camadas de valência com átomos vizinhos, caracterizando, assim, a ligação metálica. Como esse compartilhamento não é direcional e ocorre com todos os átomos, ele acaba permeando todo o retículo cristalino do metal, como se fosse uma única camada de valência contendo todos os elétrons das camadas de valências dos átomos desses metais, permitindo, assim, que esses elétrons possam fluir por todo retículo cristalino. Essa característica explica a alta condutibilidade elétrica que, geralmente, os metais apresentam.

Cl	1255 kJ·mol ⁻¹	Al	577 kJ·mol ⁻¹
S	1000 kJ·mol ⁻¹	Na	494 kJ·mol ⁻¹

Se os elétrons de valência estão livres para movimentar-se entre os átomos, podemos concluir que os átomos a que esses elétrons estavam ligados ficam com carga positiva. Assim, teremos, segundo esse modelo de ligação, uma grande quantidade de elétrons movimentando-se livremente entre átomos com cargas positivas. São os elétrons livres ao redor dos átomos positivos que mantêm a sua coesão.

Para designar os elétrons livres, geralmente são usadas as expressões “mar de elétrons” ou “nuvem de elétrons”, no sentido apenas de indicar a existência de uma grande quantidade de elétrons que se movimenta livremente. Assim, embora os elétrons estejam livres, quimicamente consideramos que esses átomos são neutros.



▲ O modelo que melhor explica a **ligação metálica** considera que o metal sólido é constituído por átomos com cargas positivas (bolinhas grandes), rodeados de elétrons livres (bolinhas pequenas), que se movimentam por todo o metal. Observe que este esquema busca demonstrar a existência de vários elétrons entre os átomos; átomos e elétrons não estão representados em tamanho proporcional correto.

Concluindo: enquanto certas substâncias apresentam elétrons de valência bem presos aos átomos, nos metais esses elétrons podem mover-se livremente por toda a rede cristalina.

Esse modelo teórico, denominado “mar de elétrons”, explica a ligação entre átomos de metais e justifica a diferença entre metais e substâncias iônicas com relação à condutibilidade elétrica e outras propriedades físicas, como a maleabilidade.

Um sólido iônico parte-se ao receber uma martelada porque há rompimento de sua estrutura cristalina, conforme mostra a figura a seguir.

No caso dos metais, diferentemente dos sólidos iônicos, a interação entre os átomos não apresenta caráter direcional no espaço, ou seja, ocorre igualmente entre quaisquer átomos vizinhos.

Anexo U – Analogia 22: Proporção

O **diâmetro do núcleo** de um átomo varia conforme o número de partículas, prótons e nêutrons que ele possui, porém, em média, podemos dizer que o núcleo atômico tem um diâmetro em torno de 10^{-14} m e 10^{-15} m (10^{-5} nm e 10^{-6} nm). Como a massa de um próton e de um nêutron é aproximadamente 1836 vezes maior que a massa de um elétron, concluímos que a massa do átomo se concentra basicamente em seu núcleo.

O núcleo localiza-se no centro do átomo e é uma região compacta, maciça e muito densa, embora não seja indivisível.

Uma unidade de medida que já foi muito utilizada em referência ao átomo, mas que atualmente está em desuso, é o Angström, simbolizado por Å:
 $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$

O **diâmetro da eletrosfera** também varia conforme o número de elétrons que o átomo possui e o estado de energia desses elétrons (fundamental ou ativado), porém, em média, o diâmetro da eletrosfera de um átomo fica em torno de 10^{-10} m (10^{-1} nm).

Comparando os diâmetros do núcleo e da eletrosfera do átomo, obtemos a seguinte relação:

$$\frac{\text{diâmetro da eletrosfera}}{\text{diâmetro do núcleo}} = \frac{10^{-1}}{10^{-5}} \text{ até } \frac{10^{-1}}{10^{-6}}$$

A eletrosfera é uma região imensa em relação ao núcleo e de densidade muito baixa (rarefeita); isso significa que a maior parte do átomo é um grande vazio.

Para termos uma ideia mais exata do que esses valores significam, podemos convertê-los em unidades com as quais estamos mais acostumados. Assim, se o núcleo do átomo tivesse o diâmetro de 1 centímetro, por exemplo, a eletrosfera teria um diâmetro entre 100 metros e 1 quilômetro.

O quadro a seguir fornece as conversões de medidas do SI (Sistema Internacional de Unidades).

(Química, Reis, p. 164, 2016)

Anexo V – Analogia 23: Substância

DI

Substância

Substância é uma palavra largamente usada em Química. No próximo capítulo vamos analisar mais detidamente seu significado; em todo caso, vale fazer um esclarecimento inicial.

Pense no significado da frase abaixo:

“Eles discutiram e até brigaram, mas, do que eu ouvi, não havia diferença na substância do que disseram.”

Nesse caso, poderíamos substituir “na substância” por “na essência”, isto é, no que é básico, no que é fundamental; enfim, apesar da aparente divergência, as ideias centrais das duas pessoas eram semelhantes. Concorda?

Vamos agora fazer um paralelo entre esse significado e aquele que é usado em Química.

No capítulo anterior, vimos alguns exemplos de mudança de estado, um tipo de transformação física. Por exemplo, quando a água é aquecida até entrar em ebulição, ela muda de estado físico (de líquido para gasoso). No século VI a.C., o filósofo grego Tales de Mileto afirmava que, ao passar por essa mudança, a essência da água não era alterada. Essa ideia permanece válida, pois, apesar de diferentes quanto ao aspecto, em ambas as formas ela continua sendo a mesma substância: água.

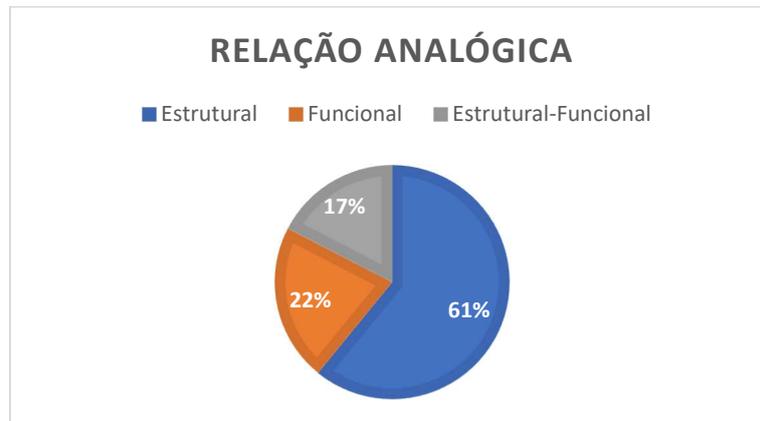
Na prática, se tivermos um líquido incolor e quisermos saber se se trata de água, teremos de analisar uma série de propriedades desse líquido e comparar com as que estão registradas em livros de referência.

42

Unidade 1 Introdução ao estudo da Química

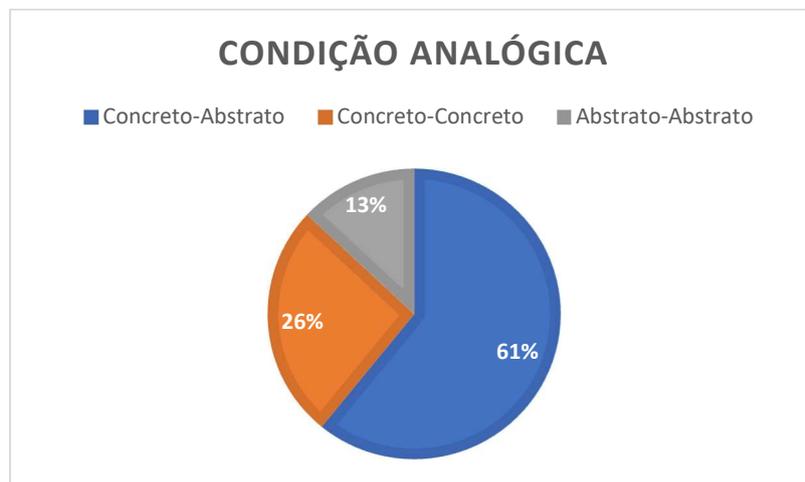
(Vivá, Novaes e Antunes, 2016, p.42)

Anexo W – Gráfico 1: Relação Analógica



Fonte: Próprio da autora

Anexo X – Gráfico 2: Condição



Fonte: Próprio da autora

Anexo Y – Gráfico 3: Nível de Abstração



Fonte: Próprio da autora

Anexo Z – Quadro 1: Levantamento Geral das características principais das analogias.

ID	Tema	Conceito (Análogo-Alvo)	Descrição (Análogo-Alvo)	Itens que facilitam o entendimento da Analogia	Itens que dificultam o entendimento da Analogia	Para o professor:
1	Modelo	Análogo: Aumento da Velocidade e Globo. Alvo: Aumento da Temperatura. e recipiente que comporta o gás.	Bolas em um globo de sorteio representam os átomos. Aumento da velocidade do globo, referindo-se ao aumento da temperatura, impactando no número de choques das partículas. Limitação: O impacto não reduz a velocidade da partícula do gás.	Identifica a analogia e salienta que se trata de uma ferramenta para compreender melhor o fenômeno. Identifica claramente as semelhanças e limitações entre alvo e análogo. Utilização de imagem.	Não Aplicável	Não requer adaptações
2	Modelo atômico de Dalton	Análogo: Bola de Bilhar. Alvo: Modelo atômico de Thomson	O texto descreve as características do Modelo proposto e compara com a Bola de bilhar.	As características descritas	Não apresenta as limitações, não descreve movimento, não identifica que é uma analogia. Não possui orientação pré tópico.	Requer adaptações, principalmente expor as limitações.
3	Modelo atômico de Thomson	Análogo: Bolo Inglês. Alvo: Modelo atômico de Thomson	A analogia é utilizada como abertura de capítulo. Apresentação histórica de como o modelo ficou conhecido. Não é feita relação entre as "passas" e os "elétrons"	Apresenta imagem.	Não apresenta claramente as semelhanças e limitações, não descreve movimento, não identifica que é uma analogia. Não possui orientação pré tópico.	Requer adaptações, principalmente orientação pré tópico para que garantir que o análogo esteja consolidado.
4	Modelo atômico de Thomson	Análogo: Pudim de passas. Alvo: Modelo atômico de Thomson	A analogia é utilizada como abertura de capítulo. Menciona como o modelo ficou conhecido. Não é feita relação entre as "passas" e os "elétrons"	Não Aplicável	Não apresenta claramente as semelhanças e limitações, não descreve movimento, não identifica que é uma analogia. Não possui orientação pré tópico.	Requer adaptações, principalmente orientação pré tópico para garantir que o análogo esteja consolidado.
5	Modelo atômico de Thomson	Análogo: Bola de Gude-Bola de Canhão. Alvo: Elétrons - Partículas alfa.	"Os elétrons teriam tanta dificuldade para desviar suas trajetórias quanto bolas de gude para desviar bolas de canhão."	Análogo possivelmente conhecido.	Não apresenta claramente as semelhanças e limitações, não identifica a analogia. Requer imaginação do aluno.	Requer adaptações, principalmente apontando as relações de semelhança entre alvo e análogo.
6	Modelo atômico de Rutherford	Análogo: Anéis de Saturno. Alvo: órbita do elétron	Há a descrição do experimento e das constatações e é feita alusão ao Planeta Saturno e seus anéis	Análogo possivelmente conhecido.	Não apresenta claramente as semelhanças e limitações, não identifica a analogia. Requer imaginação do aluno.	Requer adaptações, principalmente apontando as relações de semelhança entre alvo e análogo.

ID	Tema	Conceito (Análogo-Alvo)	Descrição (Análogo-Alvo)	Itens que facilitam o entendimento da Analogia	Itens que dificultam o entendimento da Analogia	Para o professor:
7	Modelo atômico de Rutherford	Análogo: Sistema Planetário. Alvo: Modelo atômico de Rutherford	Apresenta as características antes de propor a analogia: espaços vazios, núcleo no centro com elétrons orbitando ao seu redor; e limitações: forças gravitacionais x elétricas, o elétron cairia no núcleo.	Análogo possivelmente conhecido. Descrição clara das semelhanças e analogias. Apresenta imagem do sistema solar.	Poderia ter sido apresentada a analogia primeiro, depois as características.	Não requer adaptações
8	Modelo atômico de Rutherford	Análogo: Sistema Planetário. Alvo: Modelo atômico de Rutherford	Antes de apresentar a analogia salienta que o modelo não representa o fato, em seguida propõe a analogia e as semelhanças: elétrons possuem órbitas fechadas. Discute as limitações: Dimensões, formatos e trajetórias são diferentes. Elétrons possuem o mesmo tamanho e os planetas não, não existem outras partículas ao redor dos elétrons como os satélites dos planetas.	Análogo possivelmente conhecido. Descrição clara das semelhanças e analogias. Apresenta imagem do sistema solar.	Apresenta limitações em excesso. Apresenta uma imagem com os planetas em série.	Requer pequenas adaptações. Enfatizar mais as semelhanças.
9	Modelo atômico de Rutherford	Análogo: Bala de espingarda atravessando folha de papel. Alvo: Partículas alfa atravessando a fina folha de ouro.	Rápida comparação entre o alvo e o análogo.	Análogo possivelmente conhecido.	Não apresenta claramente as semelhanças e limitações, não identifica a analogia. Requer imaginação do aluno.	Requer adaptações, principalmente relacionar alvo e análogo e estabelecer as limitações.
10	Modelo atômico de Rutherford	Análogo: Atirar uma granada de 15 poelgadas contra uma folha de papel e ela voltar. Alvo: Partículas alfa sofrendo desvio no experimento.	Rápida comparação entre o alvo e o análogo.	Análogo possivelmente conhecido.	Não apresenta claramente as semelhanças e limitações, não identifica a analogia. Requer imaginação do aluno.	Requer adaptações, principalmente relacionar alvo e análogo e estabelecer as limitações.
11	Modelo atômico de Rutherford	Análogo: Caminhão em alta velocidade atropelando uma lata. Alvo: Partículas alfa em choque com os elétrons.	Há prévia descrição do alvo.	Correlação entre análogo e alvo.	Não apresenta claramente as semelhanças e limitações, não identifica a analogia. Requer imaginação do aluno.	Requer adaptações, principalmente relacionar alvo e análogo com o fenômeno observado no experimento e estabelecer as limitações.
12	Proporção	Análogo: Depósito de petróleo de 200 mil toneladas ser reduzido a uma gota pela remoção da eletrosfera. Alvo: Existência de vazios nos átomos.	Utilizando-se da premissa que os elétrons estão se movendo em uma região de baixa densidade, busca-se mostrar que a eletrosfera ocupa a maior parte do átomo.	Não Aplicável	Requer abstração do aluno para compreender a presença do espaço vazio nos átomos. Analogia não é clara no seu intuito. Não apresenta claramente as semelhanças e limitações	Requer adaptações para torná-la mais clara.
13	Periodicidade	Análogo: Organização de um Supermercado. Alvo: Tabela Periódica	Não há descrição.	Analogia pertence ao Manual do Professor. Só será mencionada se o professor optar.	Por ser uma sugestão, cabe ao professor desenvolvê-la	Requer total inferência do professor na explicação da analogia.

ID	Tema	Conceito (Análogo-Alvo)	Descrição (Análogo-Alvo)	Itens que facilitam o entendimento da Analogia	Itens que dificultam o entendimento da Analogia	Para o professor:
14	Periodicidade	Análogo: Coleção. Alvo: Tabela Periódica	Relaciona a funcionalidade da organização de uma coleção a partir de critério pré-estabelecidos.	Análogo possivelmente conhecido. Orienta sobre classificação.	Requer que o aluno faça as relações entre o análogo e o alvo.	Requer pequenas adaptações, por exemplo, retomar o alvo e o análogo.
15	Periodicidade	Análogo: biblioteca. Alvo: Tabela Periódica	Relaciona a funcionalidade da organização de um acervo de livros a partir de critério pré-estabelecidos.	Análogo possivelmente conhecido.	Requer que o aluno faça as relações entre o análogo e o alvo.	Requer pequenas adaptações, por exemplo, retomar o alvo e o análogo.
16	Periodicidade	Análogo: Eventos Cotidiano. Alvo: Propriedades periódicas.	Relaciona a periodicidade dos eventos com as propriedades químicas dos elementos	Análogo possivelmente conhecido. Explicita que não variam de modo perfeito.	Não Aplicável	Não requer adaptações
17	Periodicidade	Análogo: Oitavas Musicais. Alvo: Propriedades periódicas.	Relaciona a periodicidade das notas musicais com as propriedades químicas dos elementos	Análogo pode não ser conhecido de todos.	Analogia sem discussão, o aluno vai possivelmente não vai compreender as relações de semelhança e as limitações sozinho.	Requer adaptações, principalmente orientação pré tópico para garantir que o análogo esteja consolidado, relacionar alvo e análogo e estabelecer as limitações.
18	Periodicidade	Análogo: Oitavas Musicais. Alvo: Propriedades periódicas.	Relaciona a periodicidade das notas musicais com as propriedades químicas dos elementos	Análogo pode não ser conhecido de todos.	Analogia sem discussão, o aluno vai possivelmente não vai compreender as relações de semelhança e as limitações sozinho.	Requer adaptações, principalmente orientação pré tópico para garantir que o análogo esteja consolidado, relacionar alvo e análogo e estabelecer as limitações.
19	Periodicidade	Análogo: Oitavas Musicais. Alvo: Propriedades periódicas.	Disposição dos elementos na tabela com o intuito de prever padrões, como feita as estações através de um calendário.	Análogo pode não ser conhecido de todos.	Pode levar a entender que as propriedades mudam de acordo com a região do planta.	Requer poucas adaptações, apenas aparar algumas arestas e sanar dúvidas que possam aparecer.
20	Mar de Elétrons	Análogo: Nuvem Eletrônica. Alvo: Distribuição dos elétrons	Explica o alvo e em seguida propõe a analogia.	Análogo conhecido. Deixa o termo em aspas. Explica o movimento dos elétrons.	Não apresenta Limitações	Requer poucas adaptações, apresentar as limitações.
21	Mar de Elétrons	Análogo: Mar de Elétrons ou Nuvem eletrônica. Alvo: Distribuição dos elétrons	Explica o alvo e em seguida propõe a analogia.	Análogo conhecido. Deixa o termo em aspas. Explica o movimento dos elétrons.	Não apresenta Limitações	Requer poucas adaptações, apresentar as limitações.

ID	Tema	Conceito (Análogo-Alvo)	Descrição (Análogo-Alvo)	Itens que facilitam o entendimento da Analogia	Itens que dificultam o entendimento da Analogia	Para o professor:
22	Proporção	Análogo: Medidas conhecidas. Alvo: Tamanho da eletrosfera.	Descreve a eletrosfera e em seguida propõe a comparação com tamanhos mais paupáveis.	Análogo possivelmente conhecido.	Requer imaginação do aluno.	Requer verificação do que o aluno está imaginando para compartilhamento de significados.
23	Substância	Análogo: Essência. Alvo: Substância	Relaciona a "essência" do que se é dito, com a "essência" dos elementos químicos.	Análogo possivelmente conhecido. Deixa os termos em aspas e relaciona análogo e alvo.	Não apresenta Limitações e pode ser um pouco confusa se o termo "substância" na química for completamente novo.	Requer poucas adaptações, por exemplo, deixar a analogia mais clara.

Fonte: Própria da Autora