



Mens Agitat 17 (2022) 1-8

ISSN 1809-4791

1

A importância do uso das Metodologias ativas de ensino no Curso de Enfermagem em tempos de pandemia da Covid-19

Maria Lizarb de Souza Cardozo¹, Aline A. Moraes Hayd³, Dalila Marques Lemos³,
Ramão Luciano Nogueira Hayd⁴

¹ Acadêmica de Enfermagem da UFRR

² Publicitária. Especialista em Visão Estratégica Empresarial e PNL

³ Técnica em assuntos educacionais da UFRR

⁴ Professor do Curso de Enfermagem da UFRR. Doutor em Ciências

Endereço para correspondência: Av. Ene Garces, 2413 Bairro Aeroporto - Campus do Paricarana – UFRR Curso de Enfermagem - Laboratório de Monitoramento de Artrópodes Vetores da Amazônia e-mail: lucianohayd@gmail.com

Abstract

With the emergence of the Covid19 Pandemic, there was a need for social distance imposed as an intervention measure to face Covid-19, which caused activities in various sectors to be suspended in order to avoid agglomerations. In Brazil, schools and universities had face-to-face classes interrupted and replaced by remote classes, that is, classes that used digital information and communication technologies (TDICs). At the Federal University of Roraima, Emergency Remote Teaching was established as a teaching resource applied remotely and temporarily in order to continue academic activities during the pandemic period. Active methodologies come as a way of transforming education by placing the student as the protagonist of their teaching-learning, leaving the role of just a listener and transforming themselves into students who are actively linked to the process of knowledge construction and the teacher starts to be an advisor who seeks to involve his students through innovative teaching methodologies, thus, the teaching and learning process becomes more captivating while the research is continuous, with questions, instigating creativity, curiosity, knowledge sharing, reflection and critical thinking.

Keywords: Problem-based learning, Fishbowl, Flipped Classroom, World Café, Coronavirus, learning, Roraima

1. INTRODUÇÃO

A pandemia pela Covid-19, causada pelo agente SARS-CoV-2, deu-se no Brasil com o surgimento do primeiro caso em 26 de fevereiro de 2020, logo estratégias de segurança foram tomadas imediatamente afim de evitar a disseminação da doença no país [1].

A transmissão do vírus de pessoa para pessoa pode ocorrer, principalmente, pelas gotículas respiratórias produzidas por humanos contaminadas ao tossir ou espirrar e através do contato próximo [2]. Também é possível que haja a transmissão do SARS-CoV-2 por meio de aerossóis em ambientes fechados com grande fluxo de pessoas e má ventilação e por superfícies contaminadas com as gotículas respiratórias [3].

Diante do cenário pandêmico estratégias para conter a propagação do vírus são recomendadas a população tais como: higienização das mãos, uso de máscaras, distanciamento social, etiqueta respiratória e entre outras sugestões não farmacológicas [4]. O distanciamento social aliado as outras medidas de controle do contágio da Covid-19 é a orientação mais eficaz para o controle e prevenção da doença e cabe as autoridades governamentais restringirem o deslocamento de pessoas em locais não essenciais [5].

A necessidade do distanciamento social imposta como medida de intervenção para o enfrentamento da Covid-19 fez com que atividades de diversos setores fossem suspensas afim de evitar aglomerações. No Brasil, as escolas e universidades tiveram as aulas presenciais interrompidas e substituídas por aulas remotas, ou seja, aulas que utilizassem as tecnologias digitais da informação e comunicação (TDICs) [4].

Na Universidade Federal de Roraima, o Ensino Remoto Emergencial foi instituído como um recurso de ensino aplicado de forma remota e temporária afim de dar continuidade as atividades acadêmicas durante o período de crise [6].

Com a mudança rápida e emergencial, medos e incertezas cercam toda a comunidade acadêmica, mas traz a oportunidade de inovar o modo de ensinar com a implementação das tecnologias digitais da informação e comunicação, os recursos educacionais e as metodologias ativas de ensino, que juntos formam o arsenal para o dito “novo normal” [7].

As metodologias ativas vêm como uma forma de transformar a educação colocando o discente como o protagonista do seu ensino-aprendizado, saindo do papel de apenas ouvinte e transformando-se em alunos que estão ativamente ligados ao processo de construção do conhecimento e o docente passa a ser um orientador que busca envolver seus alunos através de metodologias inovadoras de ensino, assim, o processo de ensinar e aprender se torna mais cativante ao passo que as pesquisas sejam contínuas, com questionamentos, instigando a criatividade, a curiosidade, o compartilhamento de conhecimentos, reflexão e o pensamento crítico. [7; 8].

Há uma complexidade progressiva existente no mundo na qual exige o desenvolvimento de competências humanas cada vez mais amplas e profundas e, portanto, o aluno da educação básica ou superior, deve entender seu

dever como aluno assim como as atribuições do professor e da instituição de ensino e quando inseridos em uma metodologia ativa é necessário sensibilizar o aluno para que ele entenda as suas responsabilidades no processo de aprendizagem afim de desenvolver as habilidades do exercício profissional da futura profissão [7; 9].

As Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Enfermagem definem que o discente egresso possua aptidões no qual as metodologias ativas proporcionam durante a formação: ser crítico, reflexivo e capaz de resolver situações/problemas [10].

O Curso de Bacharelado em Enfermagem da Universidade Federal de Roraima já tem como uma de suas metodologias o PBL (Problem Based in Learning) ou Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP). A ABP tem como ideia fundamental a utilização de situações-problemas com o objetivo de estimular processos cognitivos que são úteis no processo de aprendizagem [7; 11; 12].

A metodologia ativa é um método inovador de aprendizado e o presente estudo mostrará tanto para os alunos quanto para professores os benefícios desse novo meio de educação. O interesse de conhecer novos meios de ensino-aprendizagem é de suma importância tendo em vista que os tempos estão mudando, o docente, hoje, é um facilitador do conhecimento e os discentes precisam de motivação e de dinâmicas que o façam questionar, procurar e solucionar o problema e assim, assimilar verdadeiramente o que foi proposto. Além disso, as pesquisas voltadas para o ensino de enfermagem são escassas e, nota-se a necessidade de exploração nessa área para proporcionar uma formação de qualidade aos futuros profissionais de enfermagem.

O tema discutido é exposto devido as mudanças decorrentes não só pela pandemia, mas também pelo fato de hoje existirem as tecnologias digitais da informação e comunicação que auxiliam na compreensão de estudos e usá-los ao nosso favor é indispensável em um momento que precisamos manter o distanciamento social. A inovação do ensino é uma pauta extremamente importante e deve ser discutida amplamente afim de adequar as práticas educacionais a nova realidade, de forma que os alunos engajem e o ensino seja de sucesso. Considerando o novo cenário de pandemia da Covid-19 e os processos de ensinar e aprender em iniciativas orientadas que utilizam metodologias ativas de ensino-aprendizagem evidenciaremos como essas práticas auxiliam no desenvolvimento do processo de ensino-aprendizagem entre estudantes de graduação em Enfermagem da UFRR.

1.1 O remoto em tempos de pandemia

A Covid-19 é uma doença respiratória aguda com grave potencial, de alta propagação e apresenta uma distribuição mundial. Diante dessa emergência sanitária provocada pela pandemia, as universidades brasileiras tiveram as aulas temporariamente suspensas, logo, houve a substituição de aulas presenciais para aulas remotas com o auxílio das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) [4; 5] e então, grandes desafios e consequências foram geradas: o estresse e confusão nos professores devido

a rápida transição para um ensino remoto; em relação aos discentes as questões financeiras e ao acesso à internet geraram aflição; e a elevação da evasão escolar [13].

As TICs são classificadas como um conjunto de meios tecnológicos que unidos entre si possibilitam a automação e/ou a comunicação em diversos seguimentos nos negócios, na educação, pesquisa científica e entre outros. Essas tecnologias servem para armazenar, distribuir e compartilhar informações [14].

No Brasil, o Ministério da Educação desenvolveu diversas ações de enfrentamento a covid-19 para que a educação mantivesse a equidade e qualidade. Um impasse levantado pelas Instituições de Ensino Superior (IES) foi em questão do acesso à internet para o desenvolvimento das atividades remotas por alunos com situação socioeconômica vulnerável, e tendo em vista que 74% das matrículas são de alunos com renda Familiar per capita de até 1,5 salário mínimo, o Projeto Alunos conectados foi desenvolvido para dar oportunidade a mais de 100 mil alunos (TABELA 1) de acessar as atividades propostas pelas IES de forma remota [2].

Tabela 1 – Distribuição de chips para acesso à internet pelo Programa Alunos conectados.

| CHIPS ENTREGUES | QUANTIDADE |
|-----------------|------------|
| REGIÃO | |
| Centro-Oeste | 7.321 |
| Nordeste | 60.401 |
| Norte | 47.249 |
| Sudeste | 24.536 |
| Sul | 6.361 |
| TOTAL | 145.868 |

Fonte: Adaptado de BRASIL (2020).

Por meio do Projeto Alunos Conectados, 386 alunos da UFRR foram selecionados para receber os chips com franquias de internet durante o período de Ensino Emergencial Remoto (ERE) [14].

Além disso, a UFRR também ofereceu aos discentes o Auxílio inclusão Digital, que de acordo com o Edital nº 35/2020 - PRAE/UFRR, apoio financeiro aos discentes de situação socioeconômica vulnerável a adquirir dispositivos móveis e pacotes de internet. As ações deram suporte aos estudantes a continuar o processo de formação durante a pandemia e foram essenciais para que o ERE pudesse de fato funcionar, afinal, essa modalidade de ensino conta com o uso de TICs [2].

Estudam apontam o Ensino Remoto Emergencial (ERE) como um tipo de ensino em que há necessidade do distanciamento provisório entre professores e alunos com o objetivo de não interromper as atividades escolares, portanto, o ERE se apresenta como uma solução em tempos de pandemia [7; 11].

O ERE apresenta aulas organizadas através de plataformas de ensino online, como exemplo o SIGAA ou Moodle, a incorporação de instrumentos auxiliares e a inserção de métodos inovadores [15], com aulas transmitidas com horários específicos das disciplinas dos docentes por meio de lives, que permitem uma interação dos participantes

de forma síncrona, mas também existe a possibilidade de proporcionar atividades assíncronas como fóruns de discussão e vídeo-aulas pré-gravadas [7; 16].

Estudos revelam que aprender é uma habilidade que deve ser desenvolvida assim como a tomada de iniciativas, criatividade, responsabilidade e compromisso tem de ser construídas e estimuladas e no Ensino Remoto, o discente precisa ser constantemente instigado a aprendizagem [15]. Neste método é exigido dos professores transformações bastante significativas no modo de ensinar, tendo em vista as mudanças advindas não só pela covid-19, mas também pela sociedade está inserida em uma era digital, algumas competências e habilidades são requisitadas na adesão e execução de práticas modernas e metodologias ativas [7; 11].

1.2 Metodologias Ativas na educação

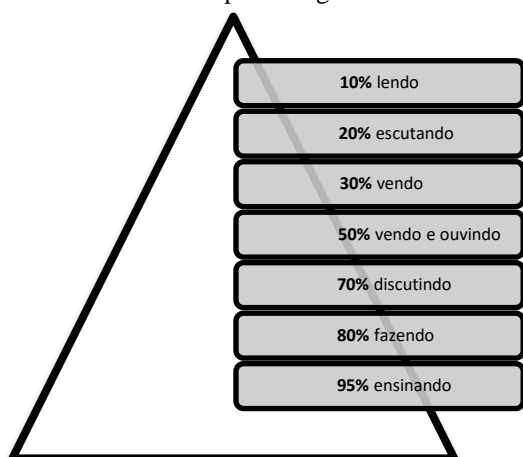
As formas de ensino-aprendizagem prevalentes são as dedutivas, o professor transmite o conteúdo e apenas depois o aluno aplica em algum contexto específico [8]. As relações entre docente-discente, seja em qualquer nível, tem como característica marcante a narração de conteúdo, o professor é o agente transmissor e o aluno é um ouvinte no qual memoriza, repete e não há instigação da criatividade, da transformação e do saber [17].

Esse estilo educacional tradicional traz muitas insatisfações: há um grande desinteresse e falta de envolvimento da parte dos discentes, diante disso, é necessário a inovação da educação e para isso é preciso criar estratégias voltadas a mudança na pratica e no desenvolvimento de um processo de ensino mais interativo e ligado a realidade para que se tenha alunos ativamente envolvidos na sua aprendizagem [18].

As metodologias ativas proporcionam formas de ensino que utilizam experiências reais ou fictícias objetivando resolver as adversidades provenientes das atividades essenciais das práticas sociais em diversas situações e além disso estimula a curiosidade e contribuem para o engajamento dos alunos [20], que nesta metodologia passam a ser protagonistas do seu ensino-aprendizagem apresentando o envolvimento participativo, direto e reflexivo nesse processo [7; 8].

A aprendizagem ativa acontece ao passo que o aluno é instigado a interagir com o conteúdo seja escutando, falando, perguntando, discutindo, praticando ou ensinando e assim constrói o seu conhecimento sem recebe-lo do professor que, inserido em uma metodologia ativa, passa a ter um papel de orientador ou facilitador do processo de aprendizado [7; 21]. Isso corrobora com o pensamento do psiquiatra William Glasser no qual propõe que o professor é um guia e não um chefe e apresenta uma Pirâmide de Aprendizagem no qual representa como aprendemos (FIGURA 1) [18].

Figura 1 – Pirâmide de Aprendizagem de William Glasser.



Fonte: Adaptado de LIMA E SANTOS (2020)

Pesquisas afirmam que a aprendizagem através da transmissão é importante, porém quando aprendemos através da experimentação e por questionamento, se torna mais significativa devido a uma melhor compreensão e consideram importante a escolha de metodologias que possibilitem discussões, questionamentos e práticas durante a jornada acadêmica, garantindo uma melhor aprendizagem pelo estudante [7; 15; 18].

1.3 Aprendizagem baseada em problemas

A Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) ou *Problem Based Learning* (PBL) desenvolveu-se nos anos 60 na McMaster University, situada no Canadá, e na Maastricht University, na Holanda adotado especialmente em escolas de medicina [8]. Essa metodologia ativa tem como premissa a utilização de um problema ou situações-problemas com o objetivo de estimular processos cognitivos que são necessários no processo de aprendizagem [22].

A APB tem a essência da escola ativa, do método científico, de um ensino integrado e integrador dos conteúdos, dos ciclos de estudo e das diferentes áreas vinculadas e assim, os discentes aprendem de fato como estudar e absorver os tópicos propostos e se capacitam para solucionar qualquer questão relativa à sua futura profissão, ou seja, a APB garante que o discente realmente aprenda a resolver situações reais de sua profissão ao estimular a aprendizagem ativa e conseqüentemente torna-lo capaz de ser crítico, reflexivo e tomar decisões [20; 23].

Os assuntos a serem aprendidos são percebidos a partir da explanação do problema para um grupo de alunos, a resolução do problema é proporcionada com conhecimentos preexistentes e obtendo novos conhecimentos e então agrega-los para que, aliados as práticas, possibilitem a conservação do conhecimento que pode ser resgatado no momento em que o discente tiver diante de um novo problema [24].

A execução do método APB é promovida através de grupos de tutoriais com aproximadamente 8 ou 10 alunos. Na primeira etapa anuncia-se o problema que será discutido entre o grupo onde será explorado conhecimentos

preexistentes, a segunda etapa se dá pela identificação dos termos desconhecidos seguido pela terceira etapa: definição dos problemas por meio do conhecimento prévio do grupo; e a quarta etapa através da sistematização de objetivos afim de solucionar os problemas. Em um segundo momento, durante o estudo individual os estudantes vão em busca de preencher as lacunas de conhecimento para sanar as dúvidas referentes ao primeiro encontro com o intuito de voltar ao grupo de tutorial afim de rediscutir o problema frente aos novos conhecimentos adquiridos (quinta e sexta etapa) e por último cria-se uma proposta diante as discussões levantadas através das informações trazidas aos tutoriais [9;23].

Essa metodologia ativa objetiva a promoção de habilidades nos discentes de responsabilidade pelo próprio conhecimento, agregar os conhecimentos e identificar e descobrir novos saberes tendo em vista que é um método voltado a aprendizagem autodirigida. [24]. Sendo assim, o docente apresenta-se como um suporte no qual acompanha o aluno no processo de ensino-aprendizagem criando uma ponte entre os conhecimentos já existentes e os novos fazendo com que o estudante se desafie a pensar criticamente [7; 23].

1.4 O Ensino híbrido

O modelo de ensino híbrido surge como uma forma de inovar a sala de aula tradicional, ou seja, oferta as vantagens da educação online juntamente com as da educação tradicional permitindo que os alunos possam estudar online combinada aos benefícios da supervisão física e até mesmo da orientação presencial [25]. Estudos apontam que a educação sempre foi híbrida, misturada devido à combinação dos espaços, tempos, atividades, metodologias e públicos e associada ao avanço da TICs torna-se mais perceptível o processo híbrido. Ainda de acordo com os autores, o ensino é híbrido em razão de que o aprendizado não se dá apenas no que é instituído nas escolas através de processos organizados, mas também por meio dos informais sendo assim, aprende-se com o professor, sozinho, com amigos e até com desconhecidos seja de forma intencional ou espontaneamente [26].

Na educação pode ocorrer vários processos híbridos: de metodologias (atividades, desafios, games, projetos, grupais ou individuais, colaborativos e personalizados); tecnologias híbridas que englobam as aulas tradicionais com as digitais, presenciais ou online; um currículo personalizado no qual é flexível e visa estabelecer o que é essencial e básico para todos, porém permitindo diversos caminhos para atender as necessidades individuais de cada discente [8]. Estudos apontam a necessidade da adaptação da sala de aula à de rotinas associadas as TICs que proporcionam meios tecnológicos como programas e aplicativos que asseguram a operacionalização da comunicação e dos processos conseqüentes de plataformas de ensino virtuais e através desses programas professores e alunos podem ter um contato ao trocar experiências e conhecimentos, fazer atividades individuais ou em grupos, debates ou fóruns tornando o aprendizado mais significativo [5; 7; 15].

Os modelos para a aplicação do ensino híbrido estão categorizadas em quatro modelos: modelo de Rotação no qual há subcategorias (modelo de rotação por estações, modelo de laboratório rotacional, modelo de sala de aula invertida e modelo rotacional individual); modelo Flex e modelo A La Carte. Diante as diversas categorias escolhemos o modelo de Rotação, dando ênfase no modelo de Sala de Aula Invertida [7; 22; 26].

Estudos que utilizam a taxonomia de Bloom (FIGURA 2) para explicar a definição da Sala de Aula invertida: na sala de aula tradicional vemos que o professor apenas transmite o conteúdo, ou seja, é trabalhado os níveis inferiores da taxonomia de Bloom (recordar e entender) e só depois é aplicado algum tipo de avaliação ou atividade para mostrar o que foi assimilado, deixando para depois processos cognitivos superiores (aplicar, analisar, avaliar e criar). Na Sala de Aula Invertida é o contrário, o discente vai em busca do conhecimento antes de chegar a sala de aula, tornando-se mais ativo e o professor trabalha os processos cognitivos mais complexos ao invés de apresentar o conteúdo a turma [5; 7; 8].

Figura 2 – Definição da Sala de Aula invertida e a Taxonomia de Bloom



Fonte: LILIAN BACICH (2021)

Para a aplicação da metodologia de Sala de Aula Invertida é necessário a produção ou aquisição de materiais e vídeos com boa qualidade e preparar atividades para o tempo de aula presencial. O docente ao produzir seus próprios vídeos pré-gravados ou usar vídeos pré-gravados de outros professores ganhará um aumento no tempo da aula evidenciando um ótimo benefício da sala de aula invertida, pois esse tempo pode ser explorado da melhor forma possível de acordo com a especificidade de cada matéria (TABELA 2) [27].

Quadro 1 – Utilização do tempo de aula adicional na Sala de Aula Invertida

| DISCIPLINA | USO DO TEMPO ADICIONAL NA SALA DE AULA INVERTIDA |
|--------------------|--|
| Língua estrangeira | Prática do idioma; |
| Matemática | Análises profundas dos conceitos matemáticos; |
| Ciências | Atividades inquisitiva (experiências e práticas); experimentos mais profundos |
| Ciências sociais | Discussões e análises de textos; escrever, analisar e discutir trabalhos |
| Educação Física | Participação dos alunos as atividades físicas sem interrupções para explicar regras de jogos e técnicas específicas. |

Fonte: Adaptado de BERGMANN E SAMS (2018)

Um colégio localizado em São Paulo desfruta dos benefícios do Ensino Híbrido, principalmente da utilização da metodologia de Sala de Aula Invertida, os alunos desenvolveram autonomia e a percepção da tecnologia digital como uma abordagem de sucesso [28].

1.5 WORLD Café

Uma reunião entre líderes empresariais e acadêmicos em 1995 na casa de Juanita Brown e David Isaacs em Mill Valley na Califórnia foi o ponto de partida para a criação do World Café [29]. Eles haviam planejado uma manhã para conversação em círculo, mas a chegada da chuva fez com que duas dúzias de pessoas se reunissem espontaneamente em pequenos grupos ou rodas íntimas à mesa para dialogar sobre o motivo no qual os uniram naquele momento e foram registrando seus pensamentos ou *insights* em guardanapos de papéis de forma improvisada e com o tempo as pessoas demonstraram curiosidade de saber o que estava acontecendo em outras mesas e então as ideias e insights que permaneciam com eles puderam circular e conectar ideias [30].

As conversas à mesa possibilitaram a percepção de um padrão pensamentos que surgiam durante as discussões e tornavam as próximas conversas ainda mais ricas de conhecimento. A partir de então, o fruto da improvisação, World Café surge como uma estratégia de diálogo coletivo e colaborativo sobre questões relevantes de situações reais tanto do trabalho quanto da vida [7; 29].

The World Cafe Community [31] apresenta uma diretriz para conduzir um excelente dialogo durante um World Café (QUADRO 1). A motivação para a realização das reuniões deve estar esclarecida para que possa decidir quais pessoas devem comparecer e definir os parâmetros para alcançar os objetivos do World Cafe [32]. O espaço escolhido para recepção dos convidados precisa ser acolhedor com a intenção de proporcionar um ambiente

seguro e convidativo de forma que todos se sintam confortáveis e além disso, explorar ou estruturar perguntas que sejam relevantes pode trazer ótimos resultados e promover a participação dos envolvidos estimulando e encorajando-os e assim conectando todas as pessoas através da mudança de mesas de forma que todos contribuam ativamente com o compartilhamento de ideias, ideias-chaves e temas e possivelmente o surgimento de *insights* que devem ser ouvidos e por fim compartilhar as descobertas para o grupo geral [30].

Quadro 2 – Diretrizes da metodologia ativa de ensino World Café.

| OS 7 PRINCÍPIOS DO WORLD CAFÉ | |
|-------------------------------|--|
| 1. | Definir o propósito do World Café |
| 2. | Criar um ambiente receptivo e hospitaleiro |
| 3. | Explorar e estruturar perguntas relevantes |
| 4. | Estimular a participação de todos |
| 5. | Conectar diversas perspectivas |
| 6. | Ouvir os insights e percepções |
| 7. | Compartilhar as descobertas |

Fonte: Adaptado de THE WORLD CAFE COMMUNITY (2002)

O World Café é organizado por 4 a 5 pessoas à mesa ou em grupos de conversação que farão rodadas progressivas de diálogo (geralmente 3) com duração de 20 a 30 minutos cada e todos os participantes devem ser instigados através de perguntas ou questões relevantes e estimulados a escrever, rabiscar ou desenhar seus pensamentos-chaves em seu papel toalha, post-it ou descanso de prato no centro da mesa [33]. Ao fim da rodada inicial é estabelecido um anfitrião para permanecer na mesa enquanto as outras pessoas migrarão para outra mesa e atuarão como viajantes ou “embaixadores do significado” no qual são encarregados de levar as ideias-chaves, temas e perguntas para os novos diálogos. O anfitrião é encarregado de dá as boas-vindas aos que chegaram e falar brevemente sobre o que foi falado na rodada anterior e incentivar a ligação e conexão de ideias advindas da última conversa [30]. Com a mudança de pessoas entre as mesas nas rodadas de conversas as ideias, temas e perguntas se conectam e ao final da segunda rodada todas as mesas estarão compartilhando os *insights* de diálogos anteriores [34]. Na terceira rodada, as pessoas podem retornar as suas mesas do início e sintetizar os novos conhecimentos ou podem continuar mudando de grupos e após várias rodadas, um momento de compartilhamento de descobertas e *insights* é iniciado através de uma conversação com todos [31].

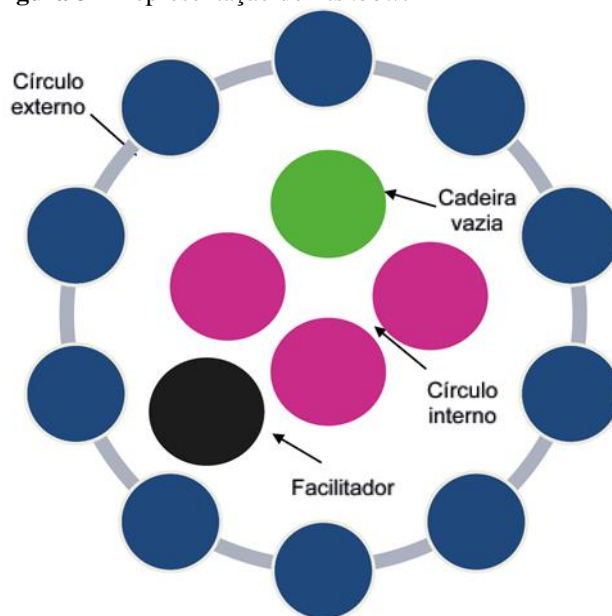
1.6 FISHBOWL

O *Fishbowl* é uma metodologia ativa desenvolvida por Renate Fruchter, esse método de discussão promove o

diálogo participativo entre o grupo e propicia troca de experiências afim de tornar o processo de aprendizado mais dinâmico para que todos possam discutir um determinado tema e estimular a expressão das opiniões sobre o que está sendo abordado [35]. Estudos afirmam que o método é um meio para fomentar a colaboração e interatividade dos participantes na escuta e na fala durante a discussão [36].

Para promover um *Fishbowl* é necessário organizar uma sala dispoendo cadeiras em círculos concêntricos e situar cinco ou mais cadeiras no centro de acordo com quantidade de alunos, estas serão o *Fishbowl* ou aquário [37]. O docente ou o mediador propõe um tema ou questões para que sejam abordadas pelo grupo sendo assim, a primeira sessão será com apenas quatro pessoas no aquário e uma cadeira ficará livre sendo a participação privativa aqueles que estão no círculo interno enquanto os demais estarão observando e escutando ativamente as argumentações. Se alguém quiser entrar no aquário, deve-se sentar na cadeira vazia e automaticamente um participante interno deverá sair e ocupar uma cadeira no círculo externo [38]. O aquário propõe uma dinâmica de entrada e saída no qual não se faz necessário interrupções na discussão, os alunos podem entrar a qualquer momento [35; 36]. Na finalização do *Fishbowl*, o mediador vai ao centro do aquário e encerra o diálogo podendo abrir espaço para uma breve avaliação do desenvolvimento da metodologia [36]. A organização para o *Fishbowl* está ilustrada na Figura 3.

Figura 3 – Representação do *Fishbowl*



Fonte: FARIA e AMARAL (2021)

CONCLUSÃO

O aluno percebe que o docente/professor se importa com seu conhecimento adquirido e começa a ver seu professor com empatia e altruísmo. Duas palavras pequenas que revelam um sentimento nobre que devemos semear no coração de nossos alunos, para que possamos deixar nosso legado em suas vidas, não como um professor que somente ensinava o conteúdo de sua matéria/disciplina/módulo de ensino, mas que ensinou a ser um transformador da sociedade com hábitos saudáveis de convivência e amor ao próximo.

O aluno aprende a aprender com o erro. O erro lhe tira da zona de conforto. Gosto da história da ostra: Ela produz a pérola porque um grão de areia entrou e fica incomodando-a, então, ela reveste com madrepérola. Resultado: forma a pérola. Então as vezes algo vai precisar incomodar você, vai precisar tirar você da sua zona de conforto. E aprenda uma coisa: Tudo o que te agrada te engana, tudo que te seduz e te conduz a zona de conforto te faz um sujeito mediano. Quanto mais tiver desafios, mais você vai responder a esses desafios.

Zona de conforto significa fim da luta. Saiam da zona de conforto e lutem para comemorar suas vitórias.

Esse é o sentimento que despertamos em nossos alunos após cada aula utilizando as metodologias ativas de ensino.

Durante essa pandemia da COVID-19 buscamos desenvolver algumas habilidades como professor/profissional, dentre elas cito a paciência e a perseverança.

Paciência é a habilidade de parar, analisar, refletir e planejar, para uma ação mais efetiva e pontual.

Charles Darwin elaborou a teoria da evolução. Em sua teoria, evoluir não significa avançar para melhor, mas em grego significa mudar, para melhor ou pior não sei. É aí que entra o ponto de vista de cada um, e se trata de um ponto de vista particular. Evoluir ou mudar está impresso na vida do professor.

Perseverança é a outra habilidade que busquei aprimorar, constância em todos os momentos do processo de ensino-aprendizagem, perseverar em todas as situações, pois sabemos das dificuldades que aparecem, mas somente com esse sentimento é que poderemos alcançar os objetivos propostos.

O ser humano é dotado de inteligência, mas precisamos sair de nossa zona de conforto para alcançarmos a mudança que almejamos, e quando saímos de nossa zona de conforto sabemos que vamos partir para essa mudança, e toda mudança dói, mas não há vitória sem batalhas, e quanto maiores as batalhas, mais saborosas serão as vitórias.

Lembre-se que você é o protagonista da sua história de vida!

Protagonismo é perceber que você mudou/evoluiu/ou se adaptou, mas de uma forma ou de outra você agiu de forma a se tornar uma pessoa diferente, fez uma mudança necessária para alcançar seu objetivo.

Aqui nos despedimos de vocês que se debruçaram nessa leitura no mundo das metodologias ativas de ensino e que refletiu, e ressignificou. Esperamos ter deixado aqui essa

mensagem de que a educação transforma, aprimora, melhora, estimula o ser humano a ser uma melhor pessoa e contribuir na sociedade de forma saudável sendo este um agente de transformação e incentivo a outros seres humanos.

REFERÊNCIAS

- [1] FRENTE PELA VIDA. Plano nacional de enfrentamento à pandemia da covid-19. Brasil, 2020. 30 p.
- [2] BRASIL. Ministério da Educação. Relatório de Atividades. Ações do MEC em resposta à pandemia de Covid-19: março/2019 a março/2020. Mai, 2020. 80 p.
- [3] OPAS. Transmissão do SARS-CoV-2: implicações para as precauções de prevenção de infecção. 2020.
- [4] BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Análise em Saúde e Doenças não Transmissíveis. Guia de vigilância epidemiológica Emergência de saúde pública de Importância nacional pela Doença pelo coronavírus 2019 – covid-19. Brasília. 2021.
- [5] CONASS et al. Estratégia de Gestão Instrumento para apoio à tomada de decisão na resposta à Pandemia da COVID-19 na esfera local. Brasília, 2020.
- [6] UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA. Estabelece e regulamenta, em caráter excepcional e temporário, o Ensino Remoto Emergencial (ERE), interrompe o Calendário Universitário 2020 e institui os Calendários Universitários Suplementares 2020 e 2021 na UFRR. Resolução CEPE/UFRR No 012, de 18 de agosto de 2020, Boa Vista, 18 ago. 2020.
- [7] HAYD, et al. O quarteto fantástico: metodologias ativas de ensino. 1 ed. Boa Vista, RR: Ed. dos Autores, 2021.
- [8] BACICH, L.; MORAN, J. Aprender e ensinar com foco na educação híbrida. Revista Pátio, nº 25, junho, 2015, p. 45-47. Disponível em: <http://www.grupoa.com.br/revista-patio/artigo/11551/aprender-e-ensinar-com-foco-na-educacao-hibrida.aspx>. Acesso em: 26/09/2021.
- [9] CAMPOS, L.R.G.; RIBEIRO, M.R.R.; DEPES, V.B.S. Autonomia do graduando em enfermagem na (re)construção do conhecimento mediado pela aprendizagem baseada em problemas. Rev. Bras. Enfermagem. v. 67, n. 5, p. 818-24, set-out. 2014.
- [10] BRASIL. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. Câmara de Educação Superior. Resolução CNE/CES N. 3, de 07 de novembro de 2001. Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Enfermagem. Diário Oficial da República Federativa da União. Brasília, 09 nov. 2001. Seção 1, p.37. Brasília (DF): Ministério da Educação e cultura; 2001.
- [11] BEHAR, P.A. Artigo: O Ensino Remoto Emergencial e a Educação a Distância. UFRGS. 2020. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/coronavirus/base/artigo-o-ensino-remoto-emergencial-e-a-educacao-a-distancia/>. Acesso em: 24/08/2021
- [12] BERBEL, N.A.N. As metodologias ativas e a promoção da autonomia de estudantes. Semina: Ciências Sociais e Humanas, Londrina, v. 32, n. 1, p. 25-40, jan./jun. 2011.
- [13] UNESCO. COVID-19 e educação superior: dos efeitos imediatos ao dia seguinte. Análises de impactos, respostas políticas e recomendações. França. 2020. 48 p.
- [14] UFRR. Alunos Conectados – UFRR convoca alunos selecionados para receberem os chips. 2021. Disponível em: <<https://ufr.br/ultimas-noticias/6803-alunos-conectados-ufr-convoca-alunos-selecionados-para-receberem-os-chips>> . Acesso em: 23/08/2021
- [15] GARCIA et al. Ensino Remoto Emergencial: propostas de desing para organização de aulas. SEDIS/UFRN. Natal. 2020. 18 p.

- [16] ARRUDA, E.P. Educação remota emergencial: elementos para políticas públicas na educação brasileira em tempos de Covid-19. EmRede - Revista de Educação a Distância, v.7, n, 1, 2020.
- [17] FREIRE, P. Pedagogia do Oprimido. 17ª ed. Rio de Janeiro. Paz e Terra, 1987.
- [18] LIMA, L.K.O.S.; SANTOS, E, M. Metodologias ativas e suas contribuições para os processos de ensino e aprendizagem. Conedu, 2020.
- [19] FARIA, B.C.D.; AMARAL, C.G. O uso de metodologias ativas de ensino-aprendizagem em pediatria: uma revisão narrativa. Revista Brasileira de Educação Médica, 45 (2) : e076, 2021.
- [20] BERBEL, N.A.N. A problematização e a aprendizagem baseada em problemas: diferentes termos ou diferentes caminhos?. Interface — Comunicação, Saúde, Educação, v.2, n.2, 1998.
- [21] BARBOSA, E.F; MOURA, D.C. Metodologias ativas de aprendizagem na Educação Profissional e Tecnológica. B. Tec. Senac, Rio de Janeiro, v. 39, n.2, p.48-67, maio/ago. 2013.
- [22] MARQUES, L.M.N.S.R. As metodologias ativas como estratégias para desenvolver a educação em valores na graduação em enfermagem. Esc. Anna Nery. v. 22, n. 3, p. 01-06, 2018.
- [23] BOROCHOVICIUS, E.; TORTELLA, J.C.B. Aprendizagem Baseada em Problemas: um método de ensino-aprendizagem e suas práticas educativas. Aval. pol. públ. Educ., Rio de Janeiro, v.22, n. 83, p. 263-294, abr./jun. 2014
- [24] RODRIGUES, M.L.V; FIGUEIREDO, J.F.C. Aprendizado centrado em problemas. Medicina, Ribeirão Preto, 29:396-402, out./dez. 1996. Disponível em: < <https://www.revistas.usp.br/rmrp/article/view/774>>. Acesso em: 13/09/2021
- [25] CHRISTENSEN et al. Ensino Híbrido: uma Inovação Disruptiva? Uma introdução à teoria dos híbridos. 2013, 52 p. Disponível em: < <https://www.christenseninstitute.org/publications/ensino-hibrido/>> Acesso em: 25/09/2021.
- [26] HORN, M. B.; STAKER, H. Classifying K–12 Blended Learning. Innosight Institute. 2012, 22 p. Disponível em: < https://www-christenseninstitute-org.translate.google/publications/classifying-k-12-blended-learning-2/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt-BR&_x_tr_pto=nui,sc>. Acesso em: 26/09/2021
- [27] BERGMANN, J.; SAMS, A. Sala de Aula Invertida: uma metodologia ativa de aprendizagem. Tradução Afonso Celso da Cunha Serra. - 1. ed. - Rio de Janeiro: LTC, 2018.
- [28] TRIADE. Autonomia dos estudantes e bom uso das tecnologias impulsionam ensino híbrido no Colégio Bandeirantes, em São Paulo. 2021. Disponível em: <https://www.triade.me/2021/04/15/ensino-hibrido-no-colegio-bandeirantes-sao-paulo/>. Acesso em: 27/09/2021
- [29] THE WORLD CAFÉ. Um guia simplificado para auxiliar os diálogos durante um World Café. 2002. The World Café Community. Disponível em: < <http://www.theworldcafe.com/>>. Acesso em: 13/09/2021
- [30] BROWN, J. et al. The world café: living knowledge thorough conversations that matter. Pegasus, vol 12, n 5, 2001.
- [31] The World Café Community Foundation. History. 2015. Disponível em: <http://www.theworldcafe.com/about-us/history/> . Acesso em: 13/09/2021
- [32] SCHIEFFER et al. The World Cafe: Part One. World Business Academy Transformation. Vol 18. 2014.
- [33] HURLEY, T.J; BROWN, J. Conversational Leadership: Thinking Together for a change. Pegasus. Vol 20, n 9, 2009.
- [34] BROWN et al. A Resource Guide for Hosting Conversations That Matter at The World Café. 2002. Disponível em: <http://www.theworldcafe.com/>. Acesso em: 13/09/2021
- [35] MERIGUETE, et al. Formação, ação e reflexão: um curso sobre o uso de metodologias ativas para professores da educação profissional e tecnológica. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo. Vitória, 2019. 90p
- [36] SCRAMIN, P.M. Como facilitar um Aquário? Aquário é uma metodologia de conversa que auxilia grupos a explorarem temas complexos e urgentes. 2018. Disponível em: < <https://medium.com/@paulamanzottiscramin/como-facilitar-um-aqu%C3%A1rio-f1a3d6549ded>>. Acesso em: 24/09/2021
- [37] AGILE TREND. Fishbowl. 2021. Disponível em: <https://agiletrendsbr.com/fishbowls/>. Acesso em: 24/09/2021
- [38] FRUCHTER, R. The FishbowlTM: Degrees of Engagement in Global Teamwork. IN: SMITH, I. F. C. Intelligent Computing in Engineering and Architecture, Springer Berlin Heidelberg, pp 241-257, 2006.



De Re Metallica e De la Pirotechnia: a metalurgia na química práticas dos séculos XVI-XVII

Robson Fernandes de Farias

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Cx. Postal 1524, 59078-970 Natal-RN, Brasil.

Abstract In the present article, a parallel between the works "De Re Metallica" (1556), by Georgius Agricola and "De la Pirotechnia" (1540) by Vannoccio Birigunccio, is established, highlighting the importance of metallurgy for the practical chemistry of the centuries XVI-XVII and for the subsequent development of modern chemistry.

Keywords: Georgius Agricola; De Re Metallica; Vannoccio Birigunccio; De la Pirotechnia; Chemistry history

A obra *De Re Metallica* (Da Natureza dos Metais), de autoria de Georgius Agricola¹ (1494-1555), foi publicada, em latim (língua que representava, à época, o que hoje representa o inglês: a língua internacional, de largo emprego no comércio, ciência e cultura em geral) em 1556.

Destaque-se que no começo do século XVI, dois outros livros *Nützliches Bergbüchlein* ("Livro útil da montanha") e *Probierbüchlein* ("livreto de amostra", numa tradução livre) já haviam sido publicados. O primeiro, editado em 1510, com ambos dedicados à metalurgia e mineração, e ambos escritos em alemão e não em latim, o que seria um indicativo de que foram escritos por profissionais praticantes e não por acadêmicos, segundo Leiscester².

¹ George Pauer ou George (Georg) Bauer.

² H.M. Leicester, *The historical background of chemistry*, Dover, New York, 1971.

O *Probierbüchlein* traz uma série de ensaios químicos "a seco", que seriam (são) válidos ainda hoje. E mais: os métodos são quantitativos, com o largo emprego da balança.

Agricola, como muitos sábios da idade média e da renascença, foi um erudito em diversas áreas, como medicina, mineralogia, filosofia e química (até porque, por essa época, a divisão entre os diversos ramos científicos e entre esses e a filosofia, não estava ainda devidamente, ou completamente, estabelecida). Seu nome está indissociavelmente ligado à *De Re Metallica*.

Seu livro seria considerado a melhor obra sobre técnicas de metalurgia e mineração³ publicado no Ocidente

³ Em 1556, de 11 minerais de prata então conhecidos, sete houveram sido descobertos e nomeados por Agricola.

desde o começo da era Cristã, quando, em torno do ano 77 Plínio (O velho) publicou sua *História Natural*.



Agricola

De Re Metallica seria ainda obra pioneira no que chamaríamos modernamente de medicina do trabalho ou medicina ocupacional⁴:

A relação entre as exposições ocupacionais e o aparecimento de doenças já é conhecida desde a antiguidade. A primeira publicação descrevendo a associação entre o trabalho de mineração e a manifestação de doença respiratória data de 1556, a obra De Re metálica, de Georg Bauer.

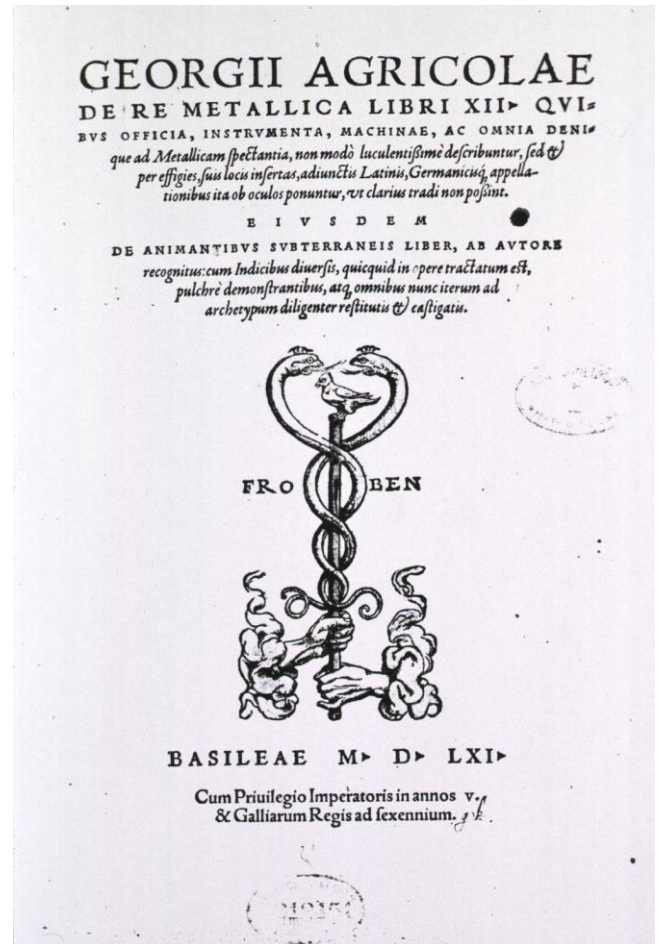
Mas, qual a relevância dessa obra para a história da química ?

De maneira mais restrita, *De Re Metallica*⁵ pode ser considerada como uma obra dedicada à metalurgia. Não obstante, sabemos que a metalurgia envolve, necessariamente, práticas químicas, como no isolamento e purificação dos metais.

Em sua obra, Agricola descreve, por exemplo, a obtenção do antimônio, da prata e do ouro, dentre outros, além de descrever as ferramentas e materiais necessários para sua adequada purificação.

Embora *De Re Metallica* tenha se tornado mais conhecida⁶, já em 1540, obra de mesma envergadura houvera sido publicada: *De la Pirotechnia*, de autoria de Vannoccio

Biriguncchio (1480-c.1539; nome de batismo: Vannoccio Vincenzio Austino Luca), metalúrgico e engenheiro militar italiano.



Folha de rosto da edição de 1561 de *De Re Metallica*

Versado em alquimia e na fundição de metais, Biriguncchio foi administrador de diversas minas, e em Siena atuaria como fabricante de canhões e pólvora.

Uma cópia digitalizada de *De la Pirotechnia*, (edição de 1540) está disponível na Smithsonian Libraries⁷, havendo, ainda, uma boa tradução para o inglês⁸. A obra é um muito detalhado manual prático sobre mineração e metalurgia, inserindo-se, assim, no escopo da química técnica que então se praticava. Conta com muitas e detalhadas ilustrações.

Publicada em Veneza, *De la Pirotechnia* foi escrita em italiano (não em latim), o que nos faz inferir que não era obra dedicada aos eruditos, mas tendo como público alvo

⁴ E.S. Bagatin, S. Kitamura, *História ocupacional*, J. Bras. Pneumol. 2005; 32(Supl 1): S12-S16.

⁵ Uma curiosidade: a revista britânica Mining Magazine publicaria, em 1912, uma tradução inglesa do De Re Metallica, tradução essa feita por Herbert Hoover (1874-1964) e sua esposa. Hoover seria o 31º presidente dos Estados Unidos.

⁶ Em verdade, o grande sucesso de De Re Metallica terminaria, ao longo dos anos, por ofuscar a obra de Biringuccio.

⁷ <https://ia600701.us.archive.org/0/items/delapirotechnial00biri/delapirotechnial00biri.pdf>.

⁸ Tradução de Cyril Stanley Smith e Martha Teach Gnudi, publicada pelo The American Institute of Mining and Metallurgical Engineers, New York, 1943.

mineiros, metalurgistas e todos os envolvidos com essas atividades.

De la pirotechnia era, assim, dedicada às chamadas “Artes em chamas”. A obra traz uma descrição analítica de minerais e metais com base em fontes clássicas e na experiência profissional de Biringuccio. Nela, discute-se as teorias tradicionais de geração de metais, as quais são contrastadas com a posição alquímica. A obra de Biringuccio tornar-se-ia referência padrão para artesãos e todos os interessados em processos tecnológicos.



Biringuccio

Em *De la Pirotechnia*, as técnicas de fundição de bronze para esculturas, sinos e artilharia são descritas detalhadamente, dando a primeira descrição clara dos processos de moldagem direta e indireta⁹.

Biringuccio descreve ainda uma bancada de trefilação¹⁰, para a produção contínua de fio de ferro. A produção de pólvora e preparações pirotécnicas em geral também são contempladas na obra.

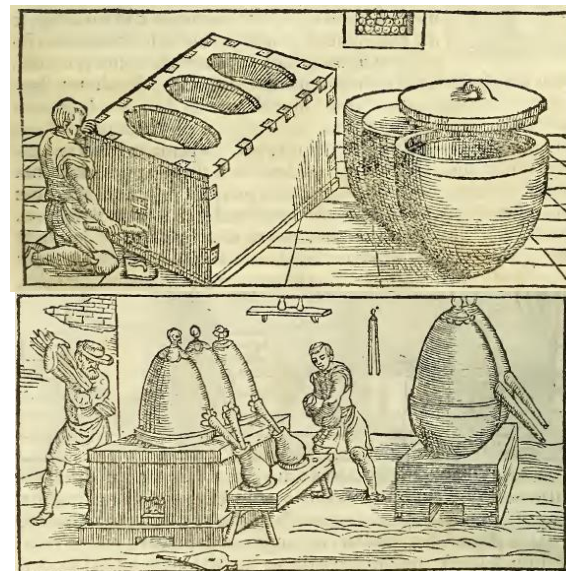
Smith e Gnudi, em sua tradução para o inglês da obra de Biringuccio¹¹ fazem um resumo/análise que aqui reproduzimos:

Entre os artesãos altamente qualificados do Renascimento estavam aqueles que trabalharam com minérios e metais. O autor deste livro, Vannoccio Biringuccio, foi um mestre artesão nas práticas de fundição e metalurgia. Ao contrário dos costumes de um comerciante, Biringuccio foi movido a transmitir seus conhecimentos a todos e, portanto,

⁹ Encyclopedia os Renaissance Philosophy. https://doi.org/10.1007/978-3-319-02848-4_715-1

¹⁰ Processo mecânico que confere ao material precisão dimensional e melhores propriedades mecânicas, tendo por finalidade a obtenção de fios de dimensões, acabamento superficial e propriedades mecânicas controladas.

ele nos deu o primeiro manual de metalurgia, o primeiro livro impresso lidando com as artes do metal aplicado e os processos de redução de minério. Devemos nos lembrar que a metalurgia é uma arte milenar e, então, pode-se dizer que Biringuccio procurou descrever as técnicas que estavam em desenvolvimento desde a Idade do Bronze da civilização ocidental. Não sabemos se Biringuccio foi um polímata¹² ou um erudito segundo os padrões de seu tempo, mas hoje o reconhecemos como um homem de ciência que deu sua sabedoria às gerações seguintes.



Duas das ilustrações de *De la Pirotechnia*

Ainda da tradução de Smith e Gnudi¹³:

Poucas obras do século dezesseis são tão desprovidas de superstição. Biringuccio reconhece que o azar nada mais é do que ignorância ou descuido e diz que o fundidor pode garantir que a fortuna o favoreça com uma atenção cuidadosa aos detalhes. Ele ri daqueles que usam a vara de adivinhação e despreza a pseudo-magia dos alquimistas. Sua avaliação da alquimia é surpreendentemente moderna.

Embora ridicularize sua abordagem geral, ele admite que os alquimistas práticos produziram uma série de coisas úteis e acredita que se iludem mais do que os outros.

¹¹ Op. Cit.

¹² Me pareceu uma tradução adequada para o original “man of learning”.

¹³ Op. Cit.

Ele compartilha a perplexidade do homem moderno quando vê como o conhecimento científico pode ser usado para o bem ou para o mal, e se pergunta se os homens fazem invenções no desejo de servir à humanidade, ou por alguma necessidade interna ou externa. Ele se refere sarcasticamente aos bons e elevados homens de inteligência que, não saturados com canhões e disparos, planejam meios ainda mais eficazes para ferir seus semelhantes.

As mesmas pesquisadoras¹⁴, ao efetuarem uma análise do livro de Biringuccio, terminam por tecer considerações que, em verdade, aplicam-se à toda a química prática dos séculos XVI-XVII, motivo pelo aqui as reproduzimos:

A abordagem de Biringuccio é amplamente experimental; isto é, ele está preocupado com as operações que funcionaram sem muita preocupação com o porquê. O estado de conhecimento químico da época não permitia nenhuma outra abordagem sólida. Embora Biringuccio tenha várias hipóteses de trabalho, ele não segue os alquimistas em sua aceitação cega da teoria, o que os leva a descartar a evidência experimental se ela não estiver em conformidade.

Foram homens como Biringuccio, os metalúrgicos práticos, tintureiros, ceramistas, caldeireiros de alúmen e artesãos afins, que acumularam os fatos básicos para uma ciência química durante o período em que homens eruditos da igreja e da universidade estavam envolvidos em uma longa mas árida disputa teológica. Os artesãos foram os verdadeiros cientistas desse período, e se eles careciam do lampejo de gênio para produzir uma obra de arte teórica consistente, deve ser lembrado que mesmo o gênio nada poderia fazer sem um reservatório de fatos estabelecidos. Muitas reações

químicas foram descobertas e colocadas em uso na prática muito antes que suas inter-relações e significância fossem apreciadas. Se o desenvolvimento da química dos metais nesse período foi lento, isso foi resultado do pequeno número de homens interessados nessas coisas, da falta de incentivo que recebiam e das dificuldades de comunicação entre si, aumentadas por uma certa relutância para compartilhar o conhecimento que desse possível vantagem para um concorrente. (grifos nossos).

Ainda como contribuição para a química metalúrgica prática do período, podemos destacar o emprego de amálgamas como forma de extrair-se e purificar-se metais, como no caso da prata¹⁵:

A descoberta do Novo Mundo, em 1492, foi seguida pela abertura de grandes minas de prata no México, Bolívia e Peru, e isso ocasionou um rápido aumento na produção mundial de prata. Quando os colonizadores espanhóis descobriram a grandiosa mina de prata em Potosi, na Bolívia, logo migraram para o local, estabelecendo rotas, impostos, cidades, instituições etc. Durante o período áureo da produção argentífera em Potosi, séculos XVI-XVII, esta foi a cidade mais populosa de todo novo mundo. A grande evolução na tecnologia de extração do elemento deveu-se ao desenvolvimento do processo de amálgama de mercúrio que possibilitou um aumento na extração da prata a partir de seus minérios e ampliou tanto a qualidade quanto a quantidade de metal explorado.

¹⁴ Op. Cit.

¹⁵ G.D. de Souza, M.A. Rodrigues, P.P. Silva, W. Guerra, *Prata: Breve histórico, propriedades e aplicações*, Educ. quím., 24(1) (2013) 14-16.



A descoberta do fósforo

Robson Fernandes de Farias

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Cx. Postal 1524, 59078-970 Natal-RN, Brasil

Abstract A historical summary of the discovery of phosphorus by Hennig Brandt is presented.

Keywords: Phosphorus; Hennig Brandt; Chemistry history.

O fósforo [símbolo: P, do grego *phosphoros*, ou seja, aquele que traz a luz, uma alusão à fosforescência (propriedade de muitos compostos desse elemento, e substantivo que deriva, justamente, de fósforo)] foi descoberto em 1669, por Hennig Brandt (c. 1630-c. 1710), o qual manteria a descoberta em segredo até 1775.

Atanassova e Angelov¹ assinalam que o fósforo foi o primeiro elemento a ser quimicamente descoberto, isto é, ele não foi encontrado “pronto” (como o ouro, por exemplo), mas foi preparado (isolado) por meio de reações químicas.

A descoberta do fósforo por Brandt deu-se “ao estilo alquimista”, (enquanto buscava a pedra filosofal), e acidentalmente, quando ele tentava obter ouro a partir da urina

(!). Brandt teria utilizado 50 galões (aproximadamente 190 litros) de urina, misturados a uma série de compostos químicos, esperando, após destilação e resfriamento, obter ouro. Em função dos produtos adicionados, etc., bem como pela composição química da urina, o que ele obteve foi um fosfito sódico, do qual obter-se-ia o fósforo².

A descoberta do fósforo teria, posteriormente, consequências transcendentais para a história da química. Sumariza Krafft³:

Exatamente 300 anos atrás, na cidade de Hamburgo, um certo Hennig Brand, autodenominado médico e

¹ M. Atanassova, R. Angelov, *chronology of chemical elements discoveries*, Chemistry: Bulgarian Journal of Science Education, 23 (2) (2014) 275-290.

² Brandt obteve o chamado fósforo branco. O fósforo possui vários alótropos, sendo os mais comuns o fósforo branco (P₄, com uma estrutura tetraédrica, sendo o menos estável dos alótropos) e o fósforo vermelho (com uma estrutura polimérica, em cadeia). O fósforo branco é pirofórico (ignita

espontaneamente em contato com o ar, motivo pelo qual é empregado na confecção de artefatos bélicos: bombas incendiárias, napalm, etc.).

³ F. Krafft, *Phosphorus. From Elemental Light to Chemical Element*, Ang. Chem., 8 (9) (1969) 660-671. <https://doi.org/10.1002/anie.196906601>.

químista, descobriu uma estranha substância na urina humana, que mais tarde foi chamada de fósforo (portador de luz), nome então comum a várias substâncias luminosas, e que criou muita agitação nos últimos anos do século XVII por causa de suas propriedades. No entanto, não foi Brand quem lucrou com a descoberta, mas outros: Johann Daniel Krafft, Johann Kunckel e Gottfried Wilhelm Leibniz, homens que sabiam muito bem como explorar as fraquezas do descobridor. “Fogo frio”, o próprio nome de Brand para a nova substância, foi originalmente considerado luz elementar ou fogo, e não foi até a concepção da teoria antiflogística por Antoine Laurent Lavoisier que a posição adequada do fósforo entre os elementos químicos foi reconhecida. Na verdade, o elemento desempenhou um papel decisivo na derrubada da doutrina do flogisto, pouco mais de cem anos após sua descoberta e quase duzentos anos atrás.

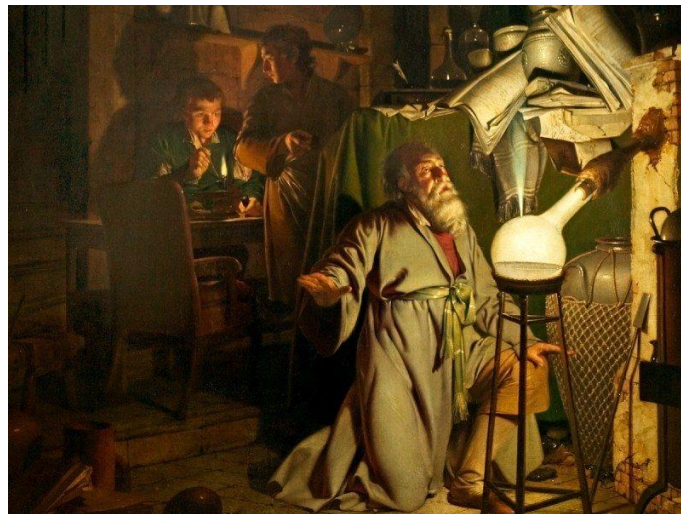


Brandt

Sobre o experimento de Brandt que culminaria na preparação/isolamento do fósforo, nos informa Whitten⁴:

Um dos relatos mais românticos da atividade química durante esse período [a revolução industrial] é The Alchemist in Search of the Philosophers 'Stone Discovers Phosphorus (1771), do pintor inglês Joseph Wright of Derby (1734-1797). Na descrição de Wright, um alquimista barbudo e majestoso acaba de isolar um novo

elemento por destilação. Conforme a substância se acumula no frasco, ela começa a brilhar no escuro, iluminando o laboratório com uma luz branca assustadora e deixando o cientista imaginário de joelhos, maravilhado. O elemento fósforo foi, na verdade, nomeado devido a esta propriedade - fosforescência - com ambas as palavras derivando do grego fósforo, ou "dando luz".



The Alchemist in Search of the Philosophers 'Stone Discovers Phosphorus (Joseph Wright of Derby 1771.)

A descoberta real de fósforo elementar foi provavelmente não tão dramática quanto Joseph Wright imaginou. Foi isolado pela primeira vez da urina pelo químico alemão Henning Brand em 1669, por um processo muito mais trabalhoso do que aquele representado pelo aparato de destilação organizado na pintura de Wright. A primeira etapa da preparação, conforme descrito em um tratado de 1726 intitulado “Phosphorus Elemental”, na verdade envolveu a imersão de 50 ou 60 baldes de urina em cubas por duas semanas “. . . até que apodreça e crie vermes ”- um tema dificilmente adequado para a arte do século XVIII !

O material brilhante era tão novo que dois dos contemporâneos científicos de Brand se ofereceram para encontrar um comprador real para seu processo. Esperando uma recompensa maior no futuro, Brand deu aos dois a receita do fósforo em troca de alguns pequenos presentes. No entanto, um homem, em vez disso, reivindicou a descoberta para si mesmo depois de repetir o trabalho de Brand em seu próprio laboratório. Por meio do outro, Brand recebeu um contrato com o duque de Hanover para a preparação de fósforo; no entanto, ele estava

⁴ K.W. Whitten, R.E. Davis, M.L. Peck, G.G. Stanley, *Chemistry*, 9th ed., Cengage Learning, Belmont, 2010.

insatisfeito com seu pagamento e foi somente depois de escrever uma série de cartas de reclamação (e convocar sua esposa para fazer o mesmo) que finalmente recebeu o que considerou ser uma compensação justa por sua descoberta.



Adaptações de experimentos históricos com materiais acessíveis para o ensino da óptica newtoniana

Adaptations of historical experiments with affordable materials for teaching Newtonian optics

Jorge Fernando Silva de Menezes^{1*}, Rodrigo Galvão dos Santos², Andrei Marcelino Sá Pires Silva¹

¹*Centro de Formação de Professores, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Amargosa, Bahia, Brasil*

²*Departamento de Física, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil*

Resumo

Neste artigo discute-se o uso de adaptações de experimentos históricos com materiais acessíveis ou de baixo custo para o ensino da óptica newtoniana, em especial a relação entre o conceito de raios de luz e a dispersão luminosa. A história das ciências é apontada como uma alternativa para o ensino de conteúdos específicos da Física e de aspectos referentes à natureza das ciências.

Abstract

In this article we discuss the use of adaptations of historical experiments with affordable or low cost materials for teaching Newtonian optics, especially the relationship between the concept of light rays and light dispersion. The history of science is pointed as a possibility for teaching specific physics' content and aspects related to the nature of science.

Palavras-chave: história das ciências, óptica newtoniana, experimentos históricos.

Key-words: history of science, Newtonian optics, historical experiments.

1. Introdução

A literatura específica em Ensino de Ciências aponta diversas dificuldades nos alunos da educação básica na compreensão de conteúdos curriculares e de aspectos referentes à natureza das ciências. Dentre esses problemas destacam-se: concepções ingênuas acerca do processo de construção do conhecimento científico e do papel desempenhado pela ciência ao longo da história; excessiva memorização de conceitos físicos aplicados em situações limitadas e com tratamento essencialmente matemático, além de dificuldades de generalização dos conhecimentos adquiridos (JUSTI; GILBERT, 1999, p. 163-4). Em determinados conteúdos da Física a resolução quase automática de problemas de lápis e papel fica ainda mais evidente, como a dinâmica e a óptica, áreas que também acumulam as mais diversas concepções alternativas nos

alunos. A abordagem Histórico-Filosófica (HF) vem sendo apontada como uma possibilidade para a superação de tais dificuldades, embora exista carência de material didático adequado, principalmente nos livros-texto comumente adotados na Educação Básica (HÖTTECKE; SILVA, 2011, p. 304).

Neste artigo, propomos um conjunto de experimentos históricos com “materiais acessíveis”¹ abordando elementos da concepção newtoniana para a luz e cores. Os experimentos são adaptados do livro *Óptica*, no qual Newton propõe o estudo da luz por meio do conceito de raios. Tal conceito é aplicado à óptica geométrica, que é intuitivamente compatível com o modelo balístico para a luz, no qual a luz seria formada por corpúsculos de diferentes propriedades associadas às cores, ainda que este modelo não seja defendido diretamente por Newton. O último dos experimentos propostos, por outro lado, aborda uma limitação

do modelo newtoniano para a luz, a explicação da difração por obstáculo. Este tema foi explorado pelos pesquisadores em óptica no século XVIII.

O artigo é estruturado em sete seções: na seção 2 faz-se uma discussão geral sobre o papel da história das ciências no ensino; na seção 3 discute-se a possibilidade de utilização de experimentos históricos, em especial adaptações com materiais acessíveis, como exemplificado na seção 4 para o caso dos prismas de vidro; na seção 5 apresentamos uma revisão dos principais elementos que compõem a concepção newtoniana para a óptica no intuito de situar o leitor para as adaptações de experimentos históricos descritos na seção 6 e finalizamos o trabalho com algumas considerações finais na seção 7.

2. A história das ciências e o ensino de ciências

No ensino de ciências costuma-se valorizar somente os resultados encontrados pelos pesquisadores. Os modelos científicos adotados atualmente são vistos como verdadeiros, definitivos e associados a figuras emblemáticas ou episódios pontuais. São omitidos os contextos históricos em que se desenvolveram as teorias científicas, os possíveis fatores que levaram cada pesquisador a determinadas conclusões ou, ainda, a proposta original apresentada pelos mesmos, prejudicando, desta forma, a visão dos alunos acerca dos eventos que levaram a adoção dos atuais modelos e conceitos trabalhados em sala de aula (ANDREOU; RAFTOPOULOS, 2011, p. 1008).

A simples observação dos resultados científicos prontos mostra-se insuficiente para se compreender a ciência de forma aprofundada e crítica. Dessa forma, a história das ciências pode complementar o estudo da “ciência pura” além de trazer reflexões próprias, nos diversos níveis educacionais. É possível compreender as relações entre ciência, tecnologia e sociedade², (MARTINS, 2006; KRAGH, 1992), uma vez que a pesquisa científica não é algo atemporal e concluído, mas um canal sempre aberto a discussões e contribuições, desde que bem fundamentadas. A história das ciências também remete aos elementos que contribuíram para a atual herança cultural, (MATTHEWS, 1995), como as contribuições da astronomia no estudo da posição da Terra no universo ou, ainda, a participação de filósofos árabes no estudo da óptica durante a idade média (GALILI, 2012, p. 1300-1). De um modo geral, podem ser sistematizados os argumentos a favor da abordagem histórico-filosófica da ciência:

A tradição contextualista assevera que a história da ciência contribui para o seu ensino porque: (1) motiva e atrai os alunos; (2) humaniza a matéria; (3) promove uma compreensão melhor dos conceitos científicos por traçar seu desenvolvimento e

aperfeiçoamento; (4) há um valor intrínseco em se compreender certos episódios fundamentais na história da ciência - a Revolução Científica, o darwinismo, etc.; (5) demonstra que a ciência é mutável e instável e que, por isso, o pensamento científico atual está sujeito a transformações que (6) se opõem a ideologia científicista; e, finalmente, (7) a história permite uma compreensão mais profícua do método científico e apresenta os padrões de mudança na metodologia vigente (MATTHEWS, 1995, p. 172-3).

Tais argumentos ficam mais evidentes levando em conta uma população heterogênea de alunos na sala de aula, com diferentes habilidades e aptidões, e que em sua maioria, não seguirão uma carreira científica (GALILI; HAZAN, 2001b, p. 9), mas que podem fazer uso do conhecimento científico na tomada de decisões individuais e coletivas (GALILI; HAZAN, 2001a, p. 348). Nota-se a importância de garantir uma formação de qualidade para os alunos que terão apenas o curso básico de Ciências e ao mesmo tempo fornecer subsídios para aqueles que desejam continuar a formação em cursos superiores específicos. Kragh (1992, p. 350) ainda chama a atenção para o fato de que a história das ciências pode ser usada de diversas formas, desde a manutenção da visão ingênua acerca da construção do conhecimento científico; defender um relativismo radical de métodos ou, ainda, demonstrar a dinâmica e complexidade do pensamento científico, a depender de como ela é utilizada em situações concretas.

Um dos fatores mais evidentes quando se começa a estudar de forma mais detalhada a história das ciências é o processo gradativo da construção dos conceitos. Os livros didáticos, muitas vezes trazem, por exemplo, a “descoberta” da gravitação universal por Newton como causada pela queda de uma maçã em sua cabeça. O ensino de tais “episódios” atribui à ciência um caráter pontual, quase ao acaso, fruto da mente dos gênios (KIPNIS, 2007, p. 884). Costuma-se ainda apresentar essas informações por meio de recortes ou seções anexas ao texto, de modo bastante resumido. A falsa crença em resultados definitivos fortalece o discurso de autoridade atribuído à ciência, uma vez que essas “descobertas” levariam ao modelo aceito atualmente, portanto, imutáveis, não cabendo questionamentos ou novas contribuições. Segundo Cavicchi (2008), quanto às diferenças entre a ciência apresentada em livros texto e em materiais históricos:

Há um grande contraste entre os relatos históricos e manuais didáticos de uma mesma ciência. Em relatos históricos, os

fenômenos ainda estão enredados com as ações originais dos exploradores, pensamentos e emoções. Tratamentos instrucionais e avanços na tecnologia (compostos subsequentes à história) fragmentam fenômenos e calcificam as fronteiras entre experimentador e fenômenos, para distanciar os alunos dos materiais (ver Venville et al. (2000), Venville et al. (2002)) (CAVICCHI, 2008, p. 743).

A pesquisa científica é longa, baseada em hipóteses, observações, experimentos, conhecimentos prévios, adquiridos das mais diversas formas, podendo culminar em um modelo para determinado fenômeno, que por sua vez, deve ser testado. Uma proposta possível para discutir esses falsos episódios históricos presentes nos livros didáticos seria comparar descrições distorcidas às pesquisas mais detalhadas e obras originais, identificando suas falhas. A ciência é produzida de uma forma não linear e coletiva, podendo haver coexistência de diferentes ideias ou modelos bem como a substituição de um por outro (GALILI; HAZAN, 2001b, p. 8). Também podem ser identificados na história das ciências exemplos de “erros” praticados pelos cientistas, que podem ser utilizadas em diferentes estratégias para o ensino sobre a natureza das ciências.

Kipnis (2011) define o erro como resultado de uma ignorância inevitável do cientista ao se desviar da “verdade”, diferente de um equívoco, que pode ser evitado. O erro só pode ser identificado após um dado tempo de publicação de uma teoria ou trabalho científico, quando são submetidos ao estudo pela comunidade científica³: “um julgamento após-o-fato de um desvio da verdade desconhecida no momento da descoberta e estabelecida a seguir”. No caso da óptica, podem ser citados como exemplos de “erros” científicos: as medidas dos diâmetros dos anéis coloridos obtidos por Isaac Newton para grandes ângulos de incidência e a sua crença na impossibilidade de se construir uma lente livre da aberração cromática. Quanto aos equívocos na mesma área, podem ser citados: o favorecimento da teoria e medidas de Isaac Newton quanto à natureza da luz, tendo como base sua autoridade como filósofo natural; seleção dos melhores resultados experimentais por Thomas Young com o objetivo de corroborar sua teoria ondulatória e confiança de Étienne-Louis Malus em apenas uma medida do ângulo de polarização total da luz. (KIPNIS, 2011, p. 668-70). Tais “erros” e equívocos, identificados ao longo da história das ciências, podem ser trabalhados no Ensino de Física evidenciando-se o caráter humano e falível do conhecimento científico (KIPNIS, 2007, p. 884). Em reproduções de experimentos históricos na sala de aula, erros cometidos pelos alunos podem ser comparados com os feitos pelos cientistas e analisadas suas implicações (KIPNIS, 2011, p. 675).

A história e filosofia das ciências ainda mostra que as teorias científicas nunca podem ser provadas (MARTINS,

2006) (KIPNIS, 2007, p. 887) (MARTINS; SILVA, 2003, p. 54). Entende-se como provada a verdade pura, imutável, que não deve constituir a ciência, já que ela muda e se aperfeiçoa. Dessa forma, não se deve desprezar uma teoria antiga, quando comparada a uma recente. A comparação com o modelo atual, cotejar os argumentos favoráveis e contrários à cada uma delas fornece amplas possibilidades de se trabalhar os conteúdos no ensino de ciências. Tais discussões quando aplicadas no ensino podem motivar os alunos, uma vez que todos poderiam fazer ciência e contribuir com a mesma, desde que sejam tomados os devidos cuidados com os métodos de pesquisa e seja feito um trabalho sério e com dedicação (GALILI, 2012, p. 1293-4).

As concepções que um aluno possua sobre o mundo em que vive também não devem ser desprezadas quando comparadas com a abstração ou idealização que a ciência possa vir a trazer (MATTHEWS, 1995). Um bom exemplo ocorre com o estudo das teorias Aristotélicas, em especial a sua explicação para o movimento. Nota-se certa aproximação entre a ideia de que não pode haver movimento sem a aplicação de uma “força” ou causa motora contínua, presente na teoria de Aristóteles, e o senso comum do movimento (PEDUZZI, 1996). A discussão das ideias de Aristóteles no Ensino Médio é uma proposta interessante, pois permite a análise dos diferentes modelos da mecânica. Por outro lado, ao comparar personagens de momentos históricos distintos, com diferentes bagagens conceituais, deve ser tomado o cuidado de não se valorizar apenas o modelo aceito atualmente. O aspecto mais importante a ser abordado é o processo evolutivo da ciência e até que ponto determinada teoria possui fundamentação.

Não se espera que o estudo da história das ciências leve um aluno, seja de nível médio ou superior, a se tornar um pesquisador em história das ciências. A história das ciências pode, em um primeiro momento, permitir uma visão mais crítica do avanço da ciência, pois além da simples resposta para as perguntas propostas, ela também prima pela análise das evidências que sustentam essas respostas (MATTHEWS, 1995). Dessa forma, a discussão da história das ciências contribui para uma compreensão ampla e concreta do conhecimento científico. Sua aplicação coerente no ensino médio é viável, desde que tomados os devidos cuidados com a seleção e aplicação dos materiais, corrigindo imprecisões históricas e conceituais. Estudos de casos ou episódios históricos⁴ são estratégias interessantes de aplicação da abordagem HF, tendo em vista as condições de contorno típicas da modalidade de ensino, como a grande quantidade de conteúdos a ser trabalhados no ano letivo (KIPNIS, 1996, p. 277) (KRAGH, 1992, p. 350). Outra opção é dada por Galili (2012, p. 1291-2), por meio de digressões históricas ao longo do currículo, baseadas nas seguintes premissas: (a) foco em tópicos relevantes; (b) flexibilidade, permitindo aplicações com diferentes propósitos; e (c) conservadorismo, fortalecendo o currículo adotado sem substituí-lo.

3. Os experimentos históricos e o ensino de ciências

Este artigo não tem como objetivo fazer uma revisão de atividades experimentais para o ensino de óptica, já que existem diversas pesquisas desse tipo, como (SOUSA, 1999) e (RIBEIRO; VERDEAUX, 2012). Os experimentos propostos são algumas adaptações de experimentos históricos encontrados ao longo da pesquisa bibliográfica. Do ponto de vista historiográfico, as adaptações de experimentos originais podem levar a perda de elementos importantes e condições específicas da pesquisa histórica, conforme aponta Höttecke (2000, p. 344) ao defender a reprodução fiel de aparatos experimentais conforme descritos em fontes primárias. Por esse motivo, os experimentos obtidos em fontes históricas citados neste trabalho são descritos como adaptações, com o intuito de explorar o fenômeno físico em condições análogas às propostas originalmente, podendo ser tratados como experimentos de *replicação física* (CHANG, 2011, p. 320). Julgamos que a simplificação adotada facilita a montagem e execução dos experimentos, e isto justifica e subsidia a construção de adaptações:

Física para todos os alunos com ênfase em laboratórios requer muitos instrumentos, o que significa que o custo de um único aparato deve ser muito baixo. A história da ciência pode ajudar com isso também. Não estou falando de reproduzir réplicas exatas dos instrumentos históricos. Isso seria muito demorado, dispendioso, e não estaria disponível para as modificações dos alunos. Em vez disso, eu mantenho a ideia de em um instrumento, utilizar materiais modernos, e às vezes, simplificar o *design*. Eu também preservo a sequência histórica de experimentos e limito o uso de aparatos modernos (KIPNIS, 1996, p. 284).

Outra característica importante da replicação física é a sua capacidade de explorar os limites de validade dos aparatos experimentais originalmente propostos, ou seja, até que ponto os resultados são reprodutíveis quando alguma característica ou material é modificado.

... se os resultados ópticos de Newton só fossem replicáveis usando vidro Inglês, em vez de vidro Veneziano, então eles poderiam ser suspeitos de serem artefatos de instrumentação específica. Portanto, por mais improvável que possa parecer, uma replicação histórica completa é inferior a uma

replicação física ousada, para efeitos de recuperação do conhecimento perdido. Se determinados resultados anômalos puderem ser replicados com sucesso, então teremos aprendido algo novo (embora velho) sobre a natureza, e não apenas sobre a história da ciência (CHANG, 2011, p. 324).

Os experimentos históricos têm como vantagens promover avanços no entendimento do passado das ciências, melhorando nossas concepções acerca da produção do conhecimento científico; permitem acessar as intenções deixadas pelos cientistas para nós e contribuem para o aprendizado de conhecimentos científicos propriamente ditos (CHANG, 2011, p. 322-3). Uma proposta interessante é fazer reproduções de experimentos esquecidos na história, ou ainda cujos resultados soem controversos do ponto de vista moderno, como no caso da Alquimia. Por outro lado, é comum em atividades experimentais com caráter histórico no Ensino Médio a escolha de experimentos, pelos professores ou, ainda, apresentados nos livros texto de maneira a verificar as teorias científicas da forma menos ambígua possível. Costuma-se primeiro apresentar uma teoria geral e, em seguida, aplicá-la a fenômenos específicos (método dedutivo) (KIPNIS, 1996, p. 285). Essa atitude pode levar os alunos a acreditarem que a ciência é sempre produzida de forma linear, além de reduzir a curiosidade dos estudantes acerca da origem do pensamento científico⁵ (ANDREOU; RAFTOPOULOS, 2011, p. 1008) (CHANG, 2011, p. 334) (KLASSEN, 2011, p. 730) (KRAGH, 1992, p. 349). Portanto, também é interessante apresentar aos alunos situações de impasse na história das ciências, argumentos a favor de teorias que não são aceitas atualmente e o contexto onde os experimentos foram realizados ao longo da história (KIPNIS, 2001, p. 33).

Determinados experimentos históricos podem ser utilizados de uma forma totalmente desvinculada de sua origem, perdendo, de certo modo, seu potencial de explorar a natureza das ciências e determinadas consequências dos modelos teóricos propostos pelos pesquisadores (MIHAS; ANDREADIS, 2005, p. 692). Além disso, corre-se o risco de se cometer anacronismos quando um aparato é aplicado fora de seu contexto. Por outro lado, caso os experimentos sejam utilizados como elementos problematizadores no início de sequências didáticas, comparando-se as previsões dos alunos com os resultados experimentais, como discutem Dedes e Ravanis (2009), os objetivos e conclusões dos pesquisadores não estarão explícitos neste primeiro momento, mas podem ser trabalhados em seguida. Os experimentos foram pensados de maneira a requerer materiais de fácil acesso e aparatos simples, que possam ser reaproveitados em diferentes experimentos. Essa prática é comum mesmo nos experimentos históricos originais, que em grande parte não necessitam de aparatos sofisticados, conforme descreve

Thomas Young em seu artigo: “*Experiments and Calculations Relative to Physical Optics*”:

A proposição que eu quero insistir neste momento é simplesmente esta - que franjas de cores são produzidas pela interferência de duas porções de luz; e eu acho que não vai ser negado pelo mais preconceituoso que a afirmação é comprovada pelas experiências que estou prestes a relatar, que podem ser repetidas com grande facilidade, sempre que o sol brilha, e sem qualquer outro aparelho que esteja à mão de todos (HUYGENS; YOUNG; FRESNEL, 1900, p. 68).

As atividades experimentais propostas também fornecem uma dimensão experimental aos elementos discutidos na seção 5, estendendo as ciências naturais além de um trabalho puramente teórico (HÖTTECKE, 2000, p. 343). Técnicas específicas de aplicação em sala de aula não serão discutidas neste trabalho, embora uma proposta interessante para os experimentos propostos seja o método histórico-investigativo, como propôs Kipnis (1996, p. 280), baseado em investigações que simulam problemas reais sem perder de vista a obtenção de resultados “verdadeiros”⁶. O método tem como objetivo tornar o ensino mais agradável intelectualmente e emocionalmente, explorando as diferentes habilidades de cada aluno. Por outro lado, assim como nos demais métodos de ensino, este é tão bom quanto o professor que o emprega.

Os experimentos podem ser classificados em sua maioria como qualitativos, no sentido que não levam à formulação de leis matemáticas e a ênfase está direcionada aos fenômenos físicos (KIPNIS, 1996, p. 287). Os experimentos qualitativos exploram de forma mais evidente as relações entre as variáveis, requerem menos tempo para coleta e tratamento dos dados e favorecem a manipulação dos aparatos pelos alunos.

4. Sobre a aquisição de prismas de vidro

Um problema recorrente em atividades experimentais para o ensino de óptica é a dificuldade de se encontrar materiais para experimentos de baixo custo, como lentes e prismas. Uma opção seria construir modelos de resina, como os descritos em (VUOLO; FURUKAWA, 1999), ou,

ainda, fazer moldes plásticos preenchidos por água. Analisando opções de compra de prismas, no site <<http://www.ebay.com/>>, foram encontrados prismas de vidro de base triangular regular, de 5,0 por 3,0 cm com custo unitário R\$9,25, já incluso o frete⁷. Os prismas possuem qualidade excelente para os experimentos propostos, bom polimento e bases foscas, figura 1, evitando que se acumulem impressões digitais nas demais superfícies.

5. A natureza da luz segundo Isaac Newton

5.1 Introdução

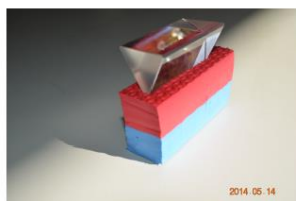
Isaac Newton sempre será lembrado por sua contribuição no que hoje é conhecida como mecânica clássica. As famosas “leis de Newton”, a gravitação universal e os diversos problemas que carregam o Newton como unidade de medida são alguns exemplos trabalhados nos livros didáticos. Por outro lado, pouco se fala dos trabalhos de Newton sobre óptica.

O estudo da óptica, geralmente começa com as chamadas propriedades ou “leis” mais básicas da luz, que são a propagação retilínea, a independência e a reversibilidade. A luz é então tratada como uma reta geométrica, que percorre o espaço sem perder energia e, às vezes, desvia sua trajetória pela ação de espelhos ou outros objetos. A luz também tem uma velocidade de propagação, ou seja, não sai dos objetos luminosos e instantaneamente chega aos nossos olhos e demais corpos, mas viaja com uma velocidade determinada dependendo de onde esteja. No vácuo essa velocidade é máxima e aproximadamente igual a $3 \cdot 10^8$ m/s. É possível aplicar esse modelo de um modo similar à cinemática, estimando-se o tempo que a luz gastaria para percorrer uma lâmina de vidro ou a distância entre a Terra e o Sol.

Acontece que a luz possui propriedades que ultrapassam os limites desses raios geométricos ou leis mais básicas. Quando a luz do Sol incide sobre uma vidraça, por exemplo, ela atravessa facilmente o vidro, mas não consegue atravessar a madeira. Esses e outros fenômenos da óptica foram observados por diversos pesquisadores, como Newton. Na verdade, os estudos de Newton em óptica são tão antigos quanto seus trabalhos em mecânica. A concepção da luz como segmentos geométricos já era conhecida antes de Newton, mas não explicava a origem desses fenômenos, muito menos a composição da luz e sua relação com a matéria.

5.2 A óptica de Newton

Figura 1 – Exemplo de prisma de vidro adquirido para os experimentos

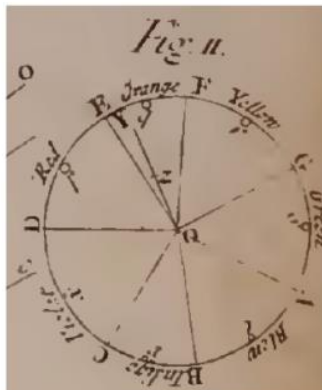


Fonte: os autores

5.2.1 Metodologia e estrutura dos trabalhos

Newton foi um grande observador da natureza e de

Figura 3 – Dispositivo proposto por Newton para calcular a cor resultante de uma mistura (No sentido horário tem-se: Laranja, Amarelo, Verde, Azul, Anil, Violeta e Vermelho).



Fonte: adaptado de (NEWTON, 1730)

seus fenômenos, relatando um grande número de experiências e proposições. Seus estudos em Filosofia Natural, o que hoje é mais conhecido como Ciências da Natureza ou Física, Química e Biologia, possuem diversos exemplos e analogias, que mostram como o conhecimento científico se apresenta de várias formas. Para Newton, a argumentação a partir das observações é a forma mais legítima de se desenvolver uma

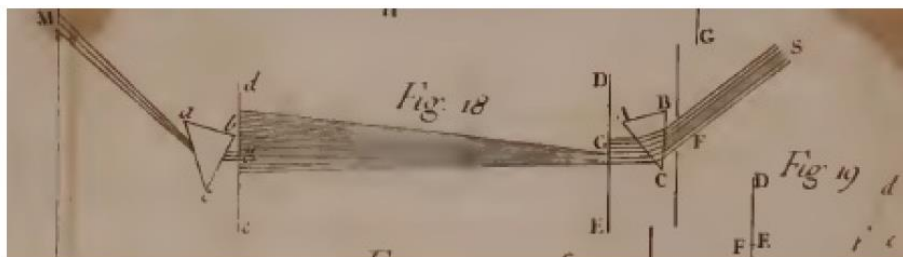
justificar alguns aspectos do seu modelo para a luz, assim como a causa dos fenômenos observados.

5.2.2 Os problemas da luz

Os diversos fenômenos e características da luz observados por Newton foram utilizados como ponto de partida para suas teorias e como justificativa para suas proposições. Os seguintes argumentos estão relacionados aos conhecimentos e percepções disponíveis na época de Newton, assim como algumas considerações formuladas por ele.

A luz excita o sentido da visão, nos permitindo

Figura 2 – Exemplo das experiências realizadas por Newton.



Fonte: adaptado de (NEWTON, 1730)

teoria científica, não sendo apropriado, por exemplo, o uso de hipóteses ou especulações (SILVA; MOURA, 2012, p. 1320). A partir das observações, da repetição de um episódio conhecido e da conformidade dos resultados, seria possível a formação de considerações gerais⁸. Newton ainda adverte que as teorias demonstradas experimentalmente só poderiam ser corrigidas ou complementadas por meio de novos experimentos. A própria estrutura utilizada por ele para os estudos de óptica traz as chamadas “demonstrações por experiências”, ou seja, a apresentação de um conceito ou propriedade da luz é seguida de uma experiência que descreva e exemplifique seu funcionamento, figura 2. Entretanto, o próprio Newton utilizou hipóteses e outros elementos para

interagir com o mundo à nossa volta. As plantas, animais e os diversos objetos visíveis geralmente apresentam cores fixas. Um arco-íris, por exemplo, traz uma grande quantidade de cores, disposta numa mesma ordem. Quando misturamos algumas tintas de cores diferentes como o amarelo e o azul e encontramos o verde, observamos que ele parece estar justamente no meio do amarelo e azul encontrados no arco-íris, podendo ser uma cor intermediária, não sendo necessariamente única, mas um conjunto de tons de verde, dependendo da quantidade de azul e amarelo⁹, figura 3.

O som também é capaz de produzir sensações, como a música. Entretanto, a experiência cotidiana¹⁰ mostra

que o som e a luz diferem em alguns pontos. Assim como existem as sete notas musicais, que se repetem nas chamadas oitavas, podemos considerar sete as cores do arco íris. A analogia entre luz e som ou entre ver e ouvir é bastante comum na história da óptica, remetendo a ideia da transmissão de uma ação ou de um feixe de partículas através de um meio (DARRIGOL, 2010a, p. 117). Para os antigos atomistas como Lucrécio, tanto a luz como o som são constituídos por feixes de partículas, embora as partículas sonoras sejam capazes de interagir com o ar, diferente das partículas luminosas (DARRIGOL, 2010a, p. 123). Huygens (1986, p. 16-7) chamou a atenção para diferenças observadas entre a luz e o som, como: a velocidade de propagação, sendo muito maior a da luz; a primeira produção do movimento que os causa; a matéria em que o movimento se propaga e a forma como ele se comunica. Para Newton, as diferenças entre o comportamento da luz e do som sugeriam que estes não deveriam ter a mesma constituição, ideias estas já sugeridas por Descartes.

A luz é capaz de se misturar e produzir tons intermediários perceptíveis, mas quando tocamos simultaneamente duas notas musicais, uma mais grave e uma mais aguda, o resultado não é um tom intermediário, mas uma mistura de sons. Uma orquestra ao executar uma música, envolve vários instrumentos tocando simultaneamente, às vezes, acompanhada do canto, mas ainda podemos distinguir a voz dos violinos e dos instrumentos de sopro, que não se misturam para produzir um único tom ou monotonia, mas se juntam para produzir a música (COHEN; WESTFALL, 2002, p. 46-7) (MARTINS; SILVA, 1996, p. 321).

Outra diferença observada entre o som e a luz é a propagação. Assim como a luz parece sair dos objetos ditos “luminosos” ou que emitem luz de alguma forma, o som é produzido pelo movimento de cordas ou outros objetos. Se imaginarmos uma igreja com um grande sino cercada de montanhas e nos posicionarmos atrás de uma dessas montanhas não muito distante da igreja, não será possível ver o sino, pois o mesmo será coberto pelo topo da montanha, mas ainda sim será possível ouvi-lo tocar, como se o pulso sonoro tivesse contornado a montanha, algo que a luz não consegue fazer. Se em um quarto escuro for feito um pequeno orifício na janela ou no teto de modo a entrar a luz do sol, o quarto não ficará totalmente iluminado, mas será apenas observado um pequeno círculo de luz, equivalente ao diâmetro aparente do Sol (MARTINS; SILVA, 1996, p. 324), evidenciando uma

tendência da luz de se propagar em linhas retas. Se esse círculo de luz for direcionado para um prisma numa posição conveniente, será observada uma faixa alongada e colorida. Isso não acontece, por exemplo, com os pulsos propagados na água de um lago. Se um ou mais pulsos em um líquido forem interceptados por um anteparo com um orifício, o resultado não será uma propagação retilínea, mas um conjunto de pulsos que tomarão todo o espaço ao redor da fenda, como na figura 4.

Nas palavras do próprio Newton em duas obras distintas, os Principia, em que discute a mecânica e o Óptica: “Uma pressão não se propaga através de um fluido em direções retilíneas, exceto quando as partículas do fluido estão em linhas retas¹¹”. Como a luz aparenta sempre se propagar em linhas retas, ela não pode consistir apenas em ação, ou seja, diferente do som, que é constituído de compressões e distensões sucessivas das camadas de ar (COHEN; WESTFALL, 2002, p. 34), a luz deve ter outro tipo de constituição. No *Óptica*, ele ainda complementa:

Questão 28. Não são errôneas todas as hipóteses segundo as quais a luz consistiria em pressão ou movimento propagado através de um meio fluido? ... Se consistisse num movimento propagado a todas as distâncias num instante, requereria uma força infinita a todo momento, em toda partícula brilhante, para gerar esse movimento. E se consistisse em pressão ou movimento propagado ou num instante ou no tempo, ela se curvaria para a sombra. Pois pressão ou movimento não podem ser propagados em um fluido em linhas retas além de um obstáculo que intercepta parte do movimento, mas se curvarão e se espalharão em todas as direções do meio quiescente¹² que está além do obstáculo. ... Mas nunca se soube da luz seguir passagens curvas nem se curvar para a

Figura 4 – Aspecto dos pulsos ao passar por um orifício.



Fonte: adaptado de <http://www.mundoeducacao.com/upload/conteudo_legenda/56dcbbc1d469ef203c05c249f0a672e8.jpg>. Acesso em 30 de abril de 2015.

sombra¹³ (NEWTON, 2002, p. 265).

Além de se posicionar contrário à ideia de que a luz é constituída apenas por uma sucessão de pulsos, Newton ainda deixa implícito que a luz deveria ter materialidade, ou seja, ter algum componente, como partículas ou corpúsculos¹⁴, responsáveis por suas propriedades. Observa-se ainda como a estrutura de sua argumentação está ligada aos dados experimentais: “Mas nunca se soube da luz seguir passagens curvas nem se curvar para a sombra”. Ou seja, conforme as observações, todos os relatos contrários deveriam estar incorretos. Partindo da concepção corpuscular da luz, o problema da incapacidade de contornar objetos e a formação de sombras seria resolvido pelas colisões dos corpúsculos luminosos com os materiais sólidos. Acontece que surgem outros problemas, uma vez que a luz atravessa o vidro, reflete nos metais e aparenta ser absorvida pelos corpos escuros, como o asfalto. Se a luz fosse realmente composta por corpúsculos, eles não deveriam fazer distinção entre os materiais. Uma esfera de metal ou borracha, por exemplo, se for atirada contra uma chapa de metal polida, como um espelho, terá seu movimento refletido e será atirada de volta de um modo similar ao que seria se fosse lançada contra o chão. Nesse aspecto, Newton sugere outros elementos, que serão vistos a seguir.

No começo da citação do *Óptica*, Newton aponta a existência de outras hipóteses formuladas para a luz. Outro cientista inglês, Robert Hooke (o mesmo que apresentou a expressão da força elástica diretamente proporcional à distensão de uma mola), contemporâneo a Newton, entre diversos outros trabalhos, compreendia a luz como uma sucessão de pulsos, que se propagariam no éter, um meio que preencheria os espaços vazios da matéria, inclusive do ar¹⁵. Os experimentos e teorias de Hooke, além de algumas referências ao seu livro *Micrographia*, um conjunto de descrições fisiológicas feitas em microscópios e lentes de aumento, são citados no *Óptica*. No *Micrographia*, Hooke traz algumas considerações sobre a natureza da luz:

... em um meio homogêneo este movimento é propagado em todos os sentidos com a mesma velocidade, de onde necessariamente cada pulso ou vibração do corpo luminoso irá gerar uma Esfera, que irá aumentar continuamente, e crescer mais, logo depois da mesma maneira (embora indefinidamente rápido) como o ondas ou anéis na superfície da água crescem em círculos cada vez maiores sobre um ponto da mesma, onde, pelo afundamento de uma Pedra o movimento foi iniciado, de onde segue-se

necessariamente, que todas as partes destas Esferas que ondulavam através de um meio homogêneo cortam os raios em ângulos retos (HOOKE, 1665, Observação 9).

Hooke compara a propagação da luz ao movimento causado pela queda de uma pedra na água. Para ele, a propagação se dá por meio de esferas crescentes cujas superfícies são perpendiculares aos raios de luz, mesmo que esses pulsos não sejam visíveis. Esses pulsos, segundo Hooke, poderiam entrar em conflito, alterando a percepção da luz.

Newton aceitava a ideia do éter como meio suporte¹⁶ para a propagação da luz (COHEN; WESTFALL, 2002, p. 31), uma vez que era preciso explicar a transparência dos materiais e outros fenômenos que apenas a atribuição do caráter material não resolviam. Para Newton, algumas substâncias ou regiões do espaço têm uma concentração maior ou menor de poros de éter, logo são responsáveis por diferentes comportamentos da luz (COHEN; WESTFALL, 2002, p. 35). O éter iria interagir com a matéria dos corpos em toda sua dimensão, como em toda a área de um espelho retangular, agindo à distância nos raios de luz¹⁷. Os raios de luz ou os corpúsculos luminosos por sua vez, interagiriam no éter, produzindo vibrações. Tais conceitos constituem hipóteses, que o próprio Newton não admitia como legítimos verificadores de uma teoria, mas compõe alguns de seus artigos e estão presentes em parte no *Óptica*. Como nenhuma dessas hipóteses pode ser demonstrada experimentalmente, Newton direcionou o foco de seu livro na descrição dos fenômenos, evitando fazer proposições nesse sentido.

Newton teve acesso aos estudos de diversos pesquisadores, desde a base da teoria geométrica da luz até a proposta vibracional de Huygens e Hooke, permitindo a proposição de seu modelo. Sobre a composição da luz branca, a partir de uma série de experimentos e utilizando um termo proveniente de Francis Bacon e Hooke, o *experimentum crucis* (MARTINS; SILVA, 1996, p. 318)¹⁸, Newton demonstra que a luz branca do Sol é composta por diversas cores, associadas a diferentes propriedades imutáveis e que a soma de todas as cores separadas por um prisma novamente retorna a “brancura” da luz do Sol (COHEN; WESTFALL, 2002, p. 179). Observa-se, ainda, que essa conclusão de Newton não é exclusivamente experimental. Para Newton, essa solução é logicamente mais simples do que assumir que os corpos modifiquem os raios de luz ou que a reunião de todas as cores formasse um segundo branco diferente do branco da luz do Sol (MARTINS; SILVA, 2003, p. 60). Hooke não era favorável à ideia de que uma infinidade de raios imutáveis compõe a luz, pois a luz do Sol naturalmente, ou seja, sem passar por algum meio material não se mostra colorida. Nota-se como os resultados experimentais podem ser interpretados de diferentes formas, levando os cientistas a fazer escolhas, muitas vezes subjetivas.

O conflito entre o modelo vibracional e o modelo material da luz persistiu até depois da publicação do *Óptica*, que curiosamente, só acontece em 1704, um ano após a morte de Hooke. Aliado a um grande respeito atribuído a Newton por seus demais trabalhos, sua teoria material ou corpuscular para a luz teve maior aceitação e recebeu maiores atenções ao ser relacionada com a mecânica em geral, embora determinados conceitos tenham sido ignorados (SILVA; MOURA, 2012, p. 1324) (MOURA; SILVA, 2008, p. 1602-4). No decorrer do tempo, novas pesquisas em Óptica mostraram alguns problemas não observados por Newton.

5.2.3 Críticas ao modelo corpuscular da luz

Retomando o argumento utilizado por Newton de que “nunca se soube da luz seguir passagens curvas nem se curvar para a sombra”, essa afirmativa pode ser interpretada como: é impossível que a sombra de um objeto seja diferente da projeção geométrica dos raios de luz que interceptam suas partes opacas (que não permitem a passagem da luz), uma vez que, se a luz sempre se propagasse em linhas retas, as sombras não deveriam ser maiores ou menores que o previsto geometricamente.

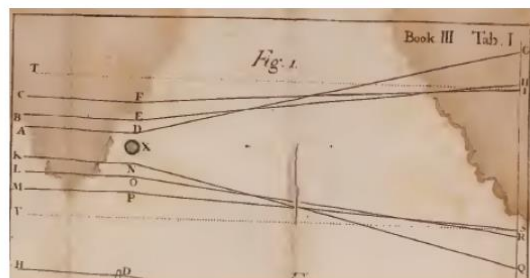
Realizando algumas experiências com fios de cabelo e outros objetos delgados, Newton observou que as sombras desses objetos apareciam maiores que deveriam, ou seja, a luz teria se curvado a partir da sombra, figura 5. Ele atribui esse fenômeno a uma interação repulsiva entre os raios de luz e os objetos delgados, principalmente os de dimensão reduzida. Acontece que em outros textos¹⁹, ele apresenta o efeito contrário, com a luz se curvando para a sombra, tornando as sombras dos objetos menores do que deveriam, como se a luz tivesse contornado um obstáculo. A interação repulsiva poderia então ser substituída por uma interação atrativa, mas esse efeito não é mencionado no *Óptica*, o que poderia entrar em contradição com seus argumentos. Além disso, até mesmo no século XVII, já fora observado por outros pesquisadores que a luz se curvava para a sombra.

Utilizando outras considerações que também não são mais aceitas atualmente, Newton apresentou juntamente com Descartes o chamado modelo dinâmico para a refração.

Descartes propôs que a refração era análoga ao movimento de uma bola de tênis cruzando uma fronteira que separa meios diferentes. A componente paralela do movimento é conservada, mas a componente perpendicular em relação à fronteira sofre uma aceleração em direção ao meio mais refringente (DARRIGOL, 2010b, p. 208), figura 6. Descartes compreendia a luz como um movimento ou ação recebida na matéria sutil (éter) que preenche os poros dos objetos, propagando-se de forma instantânea, muito rápida para ser detectada pelos sentidos, porém com velocidade finita (DESCARTES, 2004, p. 82-3) (LAUGINIE, 2013, p. 1542).

Segundo Newton, quando um raio de luz muda de meio, ou atravessa um material, ele tem sua velocidade alterada, mais precisamente, se um raio de luz²⁰ sai do ar e entra num copo com água, por exemplo, como a luz aparenta se afastar da interface ar/água, sua velocidade na água deve ser maior do que no ar. Newton não dispunha de uma maneira eficiente de medir a velocidade da luz²¹, tendo que assumir como verdadeira essa afirmação com base apenas em suas considerações. Outra velocidade maior que a da luz proposta por Newton no texto “A Hipótese da luz” é a das vibrações do éter que seriam causadas pela passagem dos raios de luz. Para Newton, essas vibrações ultrapassariam os raios de luz que as produziram, sendo responsáveis por alguns fenômenos ópticos²², mas novamente sem demonstração experimental (COHEN; WESTFALL, 2002, p. 48).

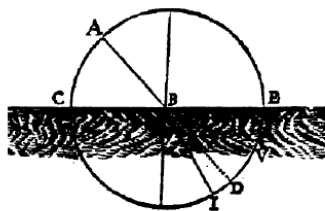
Figura 5 – Desenho do *Óptica* para os raios de luz se curvando a partir da sombra, resultando numa sombra maior do que a esperada. Em X (à esquerda na figura) há um fio de cabelo ou outro objeto delgado.



Fonte: adaptado de (NEWTON, 1730)

Atualmente, esse fenômeno é chamado difração e realmente é observado na luz, desde que os orifícios ou obstáculos tenham uma dimensão muito reduzida. Naturalmente, Newton não tinha acesso a essas informações.

Figura 6 – Modelo dinâmico para a refração. Se uma bola de tênis em A é arremessada em direção à água em B, esta terá seu movimento desviado em direção à V, por ter sua componente de velocidade perpendicular à superfície da água reduzida. No caso da luz, o efeito é inverso, ou seja, a componente perpendicular sofre um incremento e a luz se dirige à I.



Fonte: adaptado de (DESCARTES, 2004).

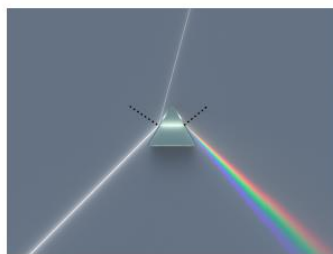
Depois de Newton, pesquisadores como Thomas Young apontaram outros problemas na teoria corpuscular, como a dificuldade de explicar o fenômeno da difração. Apesar do modelo dinâmico para a refração representar uma diferença significativa para o valor da velocidade da luz com relação ao que é aceito atualmente, ao afirmar que a velocidade da luz nos meios mais refringentes deve ser maior do que nos meios menos refringentes, o índice de refração relativo entre os meios ainda pode ser mantido (MARTINS; SILVA, 1996, p. 316) (NEWTON, 2002, p. 85-6). Dessa forma, os resultados experimentais obtidos por Newton representam corretamente o fenômeno da refração e os desvios obtidos quando se incide um feixe de luz do Sol em um prisma de vidro, figura 7.

$$\theta_e(\theta_i, n) = \arcsin \left(n * \cos \left(\frac{\pi}{6} + \arcsin \left(\frac{\sin(\theta_i)}{n} \right) \right) \right); 0 \leq \theta_i \leq \frac{\pi}{2}, n > 1$$

(1)

onde θ_e é o ângulo de emergência, θ_i é o ângulo de incidência e n é o índice de refração relativo entre o prisma e o ar.

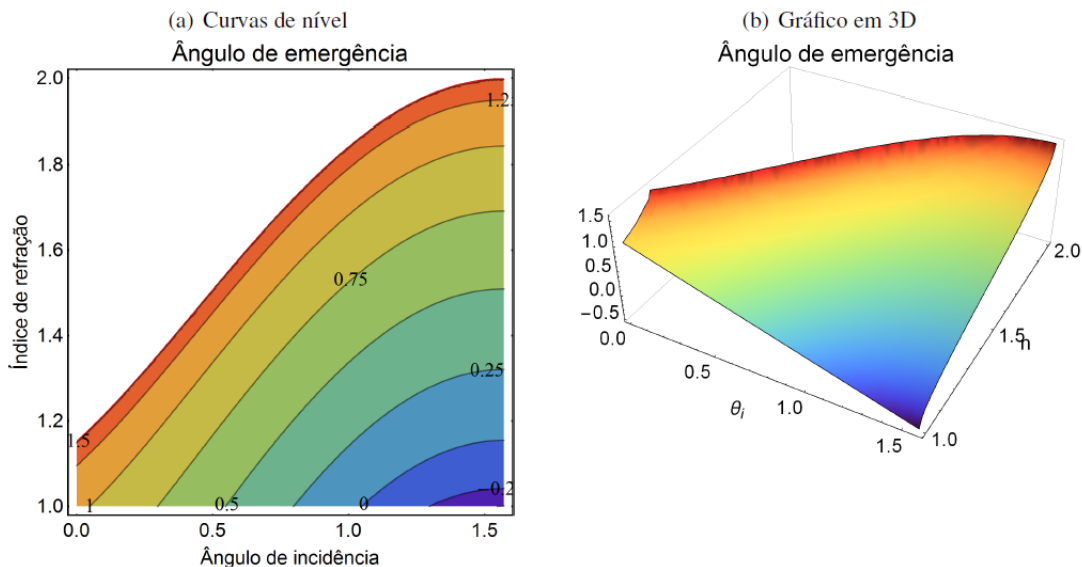
Figura 7 – Aspecto da luz branca ao passar por um prisma.



Fonte: adaptado de (WIKIPEDIA, 2014)

Se construirmos um modelo²³ para a refração de um prisma com base nas ideias de Newton e em algumas propriedades da geometria plana, não é necessário fazer considerações acerca da velocidade da luz, apenas das dimensões do prisma, da cor da luz (que influencia no índice de refração) e da direção do ângulo de incidência. Na figura 8, podemos ver um conjunto de curvas de nível que representam diferentes ângulos de emergência. Considerando um prisma triangular regular, a expressão para o ângulo de emergência será:

Figura 8 – Representação matemática para a refração do prisma



Fonte: os autores

Por esse modelo, observamos que se um feixe de luz de índice de refração 1,4 atingir o prisma num ângulo de 1,0 radiano ($57,3^\circ$), este deixará o prisma num ângulo de 0,58 radianos ($33,2^\circ$). Se o índice de refração passar para 1,5, o mesmo raio deixaria o prisma num ângulo de 0,71 radianos ($40,9^\circ$). Dessa forma, os raios mais refringentes emergem do prisma em ângulos maiores, o que explica a separação das cores que compõem a luz do Sol e é compatível com um modelo geométrico para a luz, como o proposto por Newton. Na figura 8, a ausência de valores de θ_e maiores que $\pi/2$ é consequência da função \sin^{-1} . Fisicamente, este resultado está associado à reflexão total mais expressiva em ângulos θ_i pequenos.

Deve ser dado o devido mérito a Newton pela discussão de diversos fenômenos da luz de um modo inédito, além da sistematização de diversos conceitos existentes e a utilização de uma vasta experimentação com grande precisão nas medidas, usadas inclusive por Young. Por outro lado, o método estritamente indutivo não é uma maneira apropriada de se desenvolver pesquisas. As teorias científicas estão sempre sujeitas a contribuições e estão limitadas a condições de contorno e seus contextos históricos, que devem ser analisados apropriadamente. Atualmente, a luz é tratada como tendo um comportamento dual, somente compreendido a partir da teoria quântica, diferente da proposta material de Newton e da proposta vibracional de Hooke, mas o resultado de uma série de pesquisas nas diversas áreas da Física, o que por sua vez, não descarta a possibilidade de haver erros ou que um dia esse modelo seja substituído. O próprio Newton, no final do *Óptica*, antes de apresentar as questões, afirma: “E, como não terminei essa parte do meu projeto, concluirei propondo apenas algumas questões, na expectativa de que uma pesquisa adicional seja feita por outros” (NEWTON, 2002, p. 250).

6. Experimentos

6.1 Considerações gerais

Com base na discussão histórica desenvolvida na seção anterior, apresentamos um conjunto de cinco experimentos com materiais alternativos, sendo quatro experimentos extraídos da obra *Óptica* de Newton e um experimento de difração luminosa, famoso por seu papel na corroboração da teoria ondulatória. Experimentos com difração são facilmente realizados com lasers, por possuírem luz monocromática, coerente e colimada, o que favorece a observação das linhas de difração.

6.2 Experimentos com materiais acessíveis

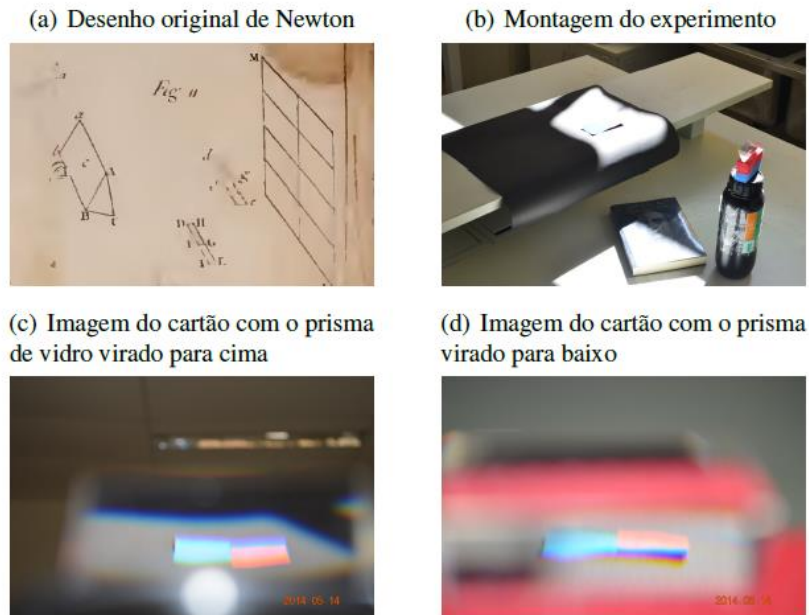
6.2.1 Experimento 1: Refração desigual em uma cartolina

Materiais utilizados:

- 01 Folha de cartolina preta
- 01 Prisma regular de vidro de abertura 60°
- 01 Frasco de tinta guache azul
- 01 Frasco de tinta guache vermelha
- 01 Pincel médio
- 01 Lápis
- 01 Régua de 30 cm
- 01 Tesoura

Este experimento é uma adaptação da primeira experiência descrita por Newton no seu livro *Óptica* (NEWTON, 2002, p. 51-2). A experiência consiste em observar a imagem de um cartão pintado de vermelho e azul através de um prisma de vidro, conforme a figura 9(a).

Figura 9 – Montagem do experimento 1



Fonte: os autores

Seguindo os procedimentos de Newton, recortou-se uma tira de papel preto (cartolina) de 10x5 cm e a mesma foi dividida por uma linha perpendicular de um lado a outro, em duas partes iguais. Em seguida, um lado da tira foi pintado de tinta vermelha e o outro foi pintado de tinta azul, ambos com tinta guache em camadas espessas. O cartão foi colocado no interior de uma sala com uma janela bem iluminada sobre o restante da cartolina preta, com a parte azul à esquerda e a parte vermelha à direita. O prisma de vidro de abertura 60° foi ordenado de forma que os lados do papel ficassem paralelos ao prisma e esses dois lados e o prisma ficassem paralelos ao horizonte, figura 9(b).

Uma vez preparado o aparato, quando o cartão é observado através do prisma, a parte vermelha e azul do cartão aparentam estar separadas. Quando o ângulo de abertura do prisma é girado para cima, figura 9(c), a parte azul aparece mais elevada que a parte vermelha e quando o ângulo de abertura é girado para baixo, figura 9(d), o lado azul aparece mais baixo que o lado vermelho. Conclui-se que a metade azul do papel sofre uma refração maior do que a parte vermelha nas mesmas condições, desviando-se mais, conforme o observado por Newton.

6.2.2 Experimento 2: Dispersão luminosa

Materiais utilizados:

- 01 Folha de cartolina preta
- 01 Prisma regular de vidro de abertura 60°
- 01 Tesoura
- 01 Suporte de borracha ou espuma

Este experimento é uma adaptação da terceira experiência descrita por Newton no seu livro *Óptica* (NEWTON, 2002, p. 54-5). A experiência consiste em observar a faixa colorida que se forma quando a luz do Sol passa por um prisma de vidro.

O prisma foi colocado sobre um suporte de borracha de maneira que fosse possível ajustar sua posição em relação ao Sol, figura 10(a). Em seguida, fez-se incidir sobre o prisma um feixe de raios do Sol em uma de suas faces, sendo observado um espectro colorido na parede, figura 10(b), partindo do violeta até o vermelho. Para ajustar o prisma numa posição próxima ao desvio mínimo, foi adotada a sugestão dada por Newton:

Do mesmo modo, também nas outras experiências, sempre que obtive refrações iguais em ambos os lados do prisma, anotei sempre o lugar em que a imagem

do sol formada pela luz refratada se mantinha imóvel entre seus dois movimentos contrários, no período comum de avanço e de regresso; e quando a imagem incidia sobre esse lugar eu fixava o prisma. E nessa posição, por ser a mais conveniente, deve-se entender que todos os prismas são colocados nas experiências seguintes, a não ser quando alguma outra posição é descrita (NEWTON, 2002, p. 55)

Mesmo sem restringir à luz do Sol por um pequeno orifício, como Newton fez em suas experiências, a faixa colorida é observada (com menor nitidez e maior intensidade). Também foi utilizado um pedaço de cartolina preta com sete furos para isolar as diferentes cores do espectro. Para isso, foram feitos sete furos, separados por cerca de 1 cm e o espectro foi projetado na cartolina, figura 10(d).

6.2.3 Experimento 3: Refração da luz em dois prismas

Materiais utilizados:

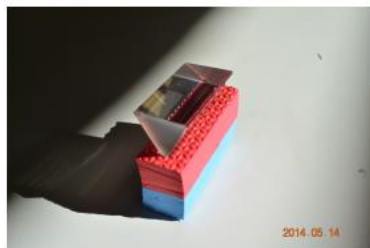
- 02 Prismas regulares de vidro de abertura 60°
- 01 Suporte de borracha ou espuma

Este experimento é uma adaptação da quinta experiência descrita por Newton no seu livro Óptica (NEWTON, 2002, p. 59-60). A experiência consiste em observar a faixa colorida que se forma quando a luz do Sol que passa por um prisma de vidro é interceptada por outro prisma, situado em uma posição cruzada em relação ao primeiro.

O objetivo de Newton com esse experimento é verificar se a dilatação que ocorre da imagem do Sol e a consequente separação em diferentes cores que acontece no primeiro prisma são devidas à dilatação de cada raio. Se essa hipótese fosse verdadeira, era esperado que a faixa de luz

Figura 10 – Montagem do experimento 2

(a) Prisma de vidro sobre o suporte de borracha



(b) Faixa colorida observada



(c) Cartolina isolando os diferentes comprimentos de onda



(d) “Sete cores” do arco-íris

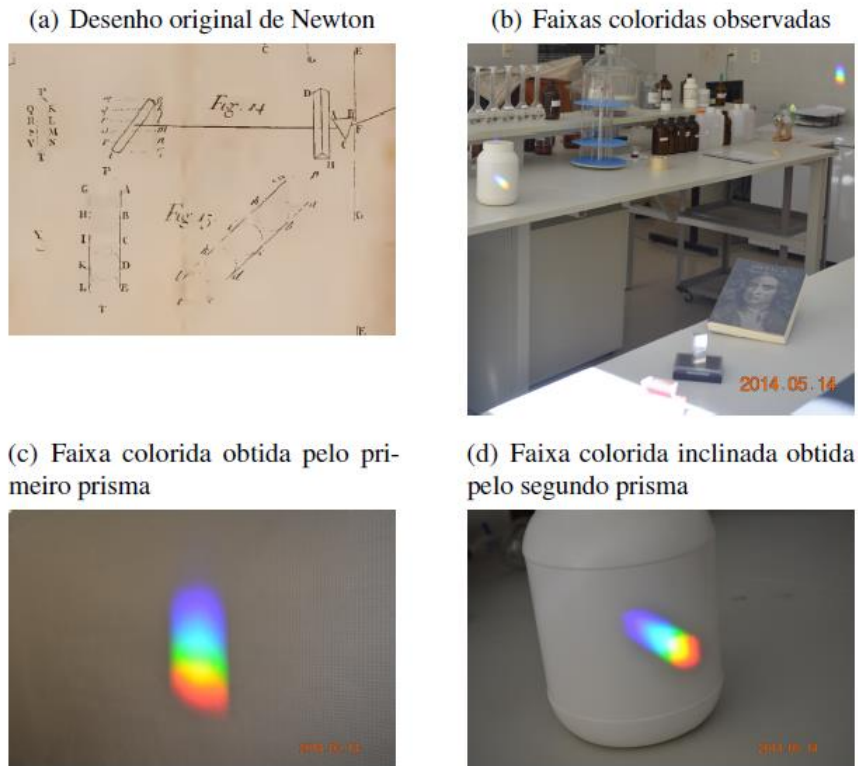


Fonte: os autores

O experimento confirma os resultados do ensaio anterior, uma vez que as diferentes cores sofrem diferentes refrações. Como o vermelho e o azul são cores bastante separadas da faixa colorida, estas devem ser as escolhidas para pintar a tira de cartolina, facilitando a visualização da separação das cores. Observa-se também como a faixa colorida é alongada, o que não é explicado se todas as cores tivessem o mesmo índice de refração (em linguagem atual).

colorida obtida pelo primeiro prisma também aparecesse alongada ao passar pelo segundo, formando um quadrado em que todas as cores seriam vistas tanto na vertical quanto na horizontal. O que é observado, por outro lado, é que a faixa interceptada aparece inclinada, figura 11(b), evidenciando que cada cor presente na luz do Sol sofre uma refração diferente e não adquire as demais cores.

Figura 11 – Montagem do experimento.3



Fonte: os autores

6.2.4 Experimento 4: Reflexão total em um prisma

Materiais utilizados:

- Folhas de papel ofício
- 01 Caneta laser
- 01 Prisma regular de vidro de abertura 60°
- 01 Lápis
- 01 Transferidor
- 01 Compasso

Este experimento é uma adaptação de uma experiência descrita por Newton no artigo “A Hipótese da luz” (COHEN; WESTFALL, 2002, p. 41-2) e no livro *Óptica*. A experiência consiste em observar a reflexão total que ocorre quando a luz passa de um meio mais refringente para um meio menos refringente em um prisma. Nesse experimento, será dada uma ênfase quantitativa, no sentido de verificar os resultados experimentais por meio de modelos matemáticos. Por outro lado, serão traçados paralelos entre as medidas realizadas e as considerações de Newton quanto às causas da reflexão total.

No desenho de Newton, figura 12, os raios FM saem do vidro para o ar, inclinando-se em direção à superfície refratora à medida que o ângulo em M aumenta, até se tornarem infinitamente oblíquos, quando todos são refletidos. Newton propõe que a densidade do éter varia para cada material. Nos meios mais densos como o vidro, a densidade de éter é menor, devida a menor quantidade de poros de éter. Dessa forma, ocorreria uma espécie de pressão em direção aos meios de menor densidade de éter. Newton também propôs que as vibrações no éter causadas pelos raios luminosos também contribuem para a refração e reflexão total (SILVA; MOURA, 2012, p. 1321-2).

A figura 13 representa um modelo do experimento. Seja α o ângulo de incidência na face do prisma, δ o ângulo de emergência e n o índice de refração, tem-se:

$$\delta(\alpha, n) = \arcsin \left(n * \cos \left(\frac{\pi}{6} + \arcsin \left(\frac{\sin(\alpha)}{n} \right) \right) \right); 0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2}, n > 1$$

(2)

de um modo análogo à equação (1), para um prisma triangular regular, dada a simetria do problema.

Nota-se que à medida que diminuimos o ângulo de incidência α , para um dado índice de refração, o ângulo de

emergência δ aumenta, até que acontece a reflexão total. A mesma equação ainda pode ser resolvida para $\pi/2$, encontrando-se o valor de α_r onde passa a ocorrer reflexão total em δ .

$$\alpha_r = -\arcsin\left(\cos\left(\frac{\pi}{3} + \arccos\left(\frac{1}{n}\right)\right) * n\right) \quad (3)$$

Com o prisma de vidro colocado verticalmente sobre uma folha de papel ofício, foram realizadas medidas do índice de refração do LASER da caneta a partir do método do desvio mínimo e do ângulo de reflexão total α_r , reproduzidas na tabela 1. As retas normais à superfície do prisma foram traçadas com régua e compasso, enquanto os ângulos foram medidos com um transferidor simples.

Com base nos resultados da tabela 1, o índice de refração pode ser calculado a partir do valor do ângulo de desvio mínimo Δ e da abertura do prisma A , por meio da equação 4, sendo obtido o valor $n = (1,520 \pm 0,018)$. Com base no valor do índice de refração e na equação 3, o ângulo de incidência α_r no qual passa a ocorrer a reflexão total será de $(29,43 \pm 1,36)^\circ$, que está de acordo com a medida desse ângulo na tabela 1.

$$n = \frac{\sin\left(\frac{A+\Delta}{2}\right)}{\sin\frac{A}{2}} \quad (4)$$

de índice de refração maiores sofreriam reflexão total em ângulos de incidência maiores. Dessa forma, começando o experimento com um ângulo α_r grande, como 45° , por exemplo, e girando gradualmente o prisma de modo que o ângulo de incidência diminua, é esperado que as cores violeta e azul sofram reflexão total primeiro enquanto as cores vermelha e laranja ainda sofram a refração por mais tempo. Este é o mesmo resultado observado por Newton experimentalmente²⁴:

E girando o prisma lentamente ao redor de seu eixo, até que toda a luz que atravessou um de seus ângulos e foi refratada por ele começou a ser refletida pela base, onde até então ela saía do vidro, observei que os raios que tinham sofrido a maior refração foram refletidos antes do restante. Supus, portanto, que os raios da luz refletida que eram mais refratáveis se tornam primeiro, por uma reflexão total, mais abundantes nessa luz do que o restante, e que depois o restante também, por uma reflexão total, tornou-se tão abundante quanto estes (NEWTON, 2002, p. 71-2).

É importante destacar que, do ponto de vista da “física atual”, o estudo da reflexão e transmissão de ondas eletromagnéticas não é tão trivial, sendo necessário levar em consideração as equações de Maxwell. Uma das

Tabela 1 – Tabela de medidas para o experimento 4

| Medidas | Ângulo de desvio mínimo (graus) | Ângulo de reflexão total α_r (graus) |
|---|---------------------------------|---|
| 1 | 36 | 30 |
| 2 | 42 | 30 |
| 3 | 39 | 29 |
| 4 | 38 | 26 |
| 5 | 38 | 27 |
| 6 | 40 | 26 |
| 7 | 40 | 29 |
| 8 | 38 | 28 |
| 9 | 39 | 27 |
| 10 | 38 | 29 |
| <i>Média e desvio padrão: $(38,9 \pm 1,6)^\circ$</i> | | <i>Média e desvio padrão: $(28,1 \pm 1,5)^\circ$</i> |

Fonte: Os autores.

Observa-se novamente a dependência entre o índice de refração e a cor da luz incidente. Se fosse utilizado um feixe de luz policromático, como a luz do Sol, cada componente da luz teria um ângulo α_r , de maneira que as cores

consequências não previstas pela óptica geométrica é a presença da onda evanescente, que origina a reflexão total frustrada quando uma segunda interface é colocada próxima à primeira (GRIFFITHS, 1999, p. 414).

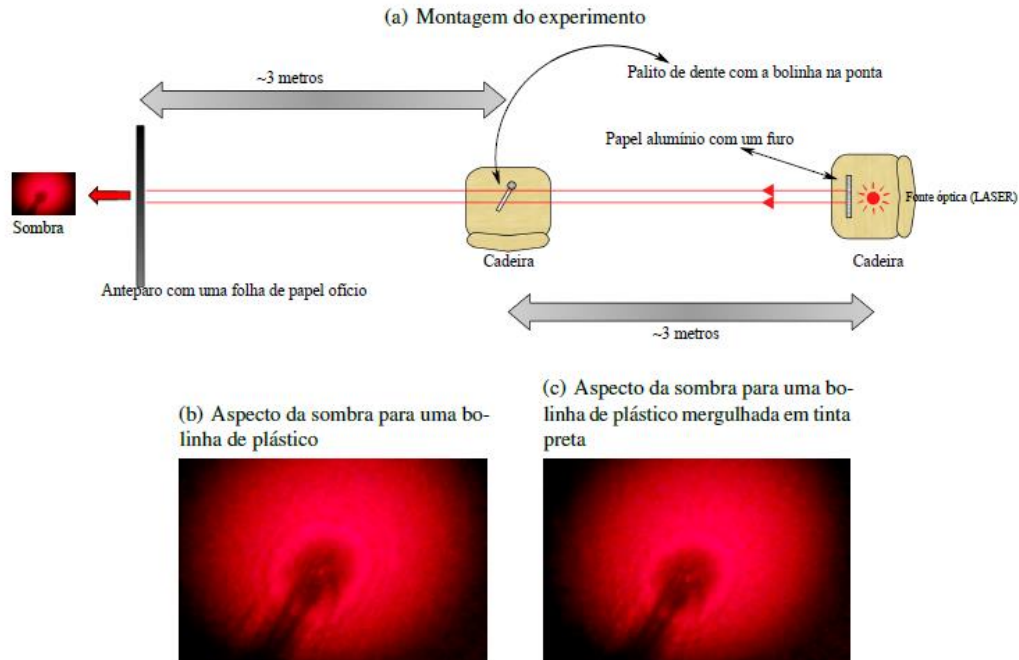
6.2.5 Experimento 5: Observação da mancha de Poisson

Materiais utilizados:

- 01 Caneta laser
- Palitos de dente
- Pedacos de filme plástico PVC ou similar

papel ofício, onde será projetada a sombra do palito, figura 14(a).

São observadas na sombra linhas de difração dentro e fora da região mais escura, com destaque para a Mancha de Poisson no centro da sombra da bolinha de plástico, figura 14(b). As ondas luminosas formadas na borda da bolinha de plástico combinam-se simetricamente no centro,



Fonte: os autores

- Papel alumínio
- 01 Folha de papel ofício

Este experimento explora a difração por um obstáculo esférico, gerando a chamada mancha de Poisson, descrita primeiramente por M. Maraldi (PRIESTLEY, 1772, p. 521) (Académie des Sciences, 1723, p. 111-42). A caneta LASER acesa é colocada em uma cadeira ou suporte qualquer e o laser direcionado para um pedaço de papel alumínio, distante cerca de cinco centímetros da fonte, onde é feito um pequeno furo com o intuito de limitar o diâmetro angular do LASER. A cerca de três metros da fonte é colocado um palito de dente com uma bolinha de plástico na ponta com cerca de três milímetros de diâmetro. A bolinha foi feita enrolando-se uma tira de filme plástico similar ao PVC. Também podem ser utilizadas bolinhas de papel alumínio, isopor ou qualquer outro material que forme uma bolinha razoavelmente esférica e pequena. Palitos de fósforo também atendem ao experimento, mas a visualização da mancha de Poisson pode ficar comprometida já que a ponta dos palitos de fósforo não é esférica. Distante outros três metros do palito de dente com a bolinha de borracha na ponta, foi colocada uma folha de

gerando um ponto luminoso. Augustin Fresnel demonstrou que o fenômeno da difração não pode ser explicado de forma satisfatória pela teoria corpuscular e explica o fenômeno a partir da soma de ondas luminosas com deslocamento de fase, de um modo análogo à resultante de um sistema de forças (HUYGENS; YOUNG; FRESNEL, 1900, p. 105). Na sombra do palito de dente é observada uma linha clara no centro, análoga à mancha de Poisson, só que para um obstáculo cilíndrico. A utilização de diferentes materiais para compor a bolinha na ponta do palito de dente sugere que a reflexão da luz na superfície da bolinha não contribui de forma decisiva para o fenômeno, assim como a refração. Em um teste, a bolinha de borracha foi mergulhada em tinta preta, reduzindo a reflexão da luz na superfície. Mesmo assim, o padrão de difração é conservado, figura 14(c).

7. Considerações finais

Neste artigo foi descrito um conjunto de experimentos com materiais acessíveis para o ensino de óptica newtoniana. O material foi produzido a partir de elementos discutidos na literatura específica em Ensino de Ciências e de obras clássicas da história da óptica. O contato dos alunos com materiais históricos de fonte primária ou secundária pode reduzir a divulgação dos chamados modelos híbridos de determinados fenômenos físicos, ou seja a fusão ou mistura de elementos de diferentes modelos históricos tratados como se pertencessem à um mesmo corpo teórico (JUSTI; GILBERT, 1999, p. 173). No caso da Óptica, por exemplo, o comportamento dual da luz pode ser abordado de forma incorreta ao se atribuir ao fóton o caráter de partícula a partir da óptica Newtoniana e de onda clássica a partir da teoria de Maxwell. Tais modelos híbridos geralmente são presentes em livros texto ou no discurso dos professores da educação básica por facilitarem a compreensão dos alunos de determinados tópicos, adicionando-se partes de diferentes modelos históricos na medida em que eles são convenientes (JUSTI; GILBERT, 1999, p. 174).

A discussão de situações de impasse e controvérsias na história da óptica pode ser desenvolvida a partir de propostas construtivistas, por exemplo, ao se levar em conta os conhecimentos prévios dos alunos; promover momentos de discussão e tornar os alunos responsáveis pelo aprendizado (CARVALHO; VANNUCCHI, 2000, p. 429). O uso da abordagem HF pode fomentar discussões calorosas entre os alunos porque questiona as imagens ingênuas sobre a produção do conhecimento científico por meio de exemplos históricos, como a neutralidade dos pesquisadores e desenvolvimento científico sempre linear e progressivo. Dessa forma, promove-se a aprendizagem do conhecimento conceitual científico; dos processos de construção da ciência e permite-se o envolvimento dos alunos em atividades similares às empregadas pelos cientistas na produção de conhecimento científico, como o uso de experimentos.

8. Notas

¹Neste trabalho, os materiais empregados nos experimentos são considerados como “acessíveis” ou de “baixo custo”.

²Uma ideia comum nos alunos da educação básica é que o desenvolvimento científico sempre precede o desenvolvimento tecnológico. Em uma pesquisa com alunos do Ensino Médio de escolas Israelenses, Galili e Hazan (2001b) observaram que em um curso de Física orientado historicamente, os alunos conseguiram identificar casos em que o desenvolvimento tecnológico e instrumental pode preceder o desenvolvimento científico. Por exemplo, a utilização de lentes ópticas para correção de problemas da visão. Outra conclusão importante é que os alunos do grupo experimental foram capazes de identificar o caráter provisório dos modelos científicos, a importância de se estudar a história da ciência não apenas como curiosidades e a influência de fatores externos na pesquisa científica.

³Kipnis (2007) aponta que a aprovação pela comunidade científica pode se constituir em um mito, já que é comum que revisores de periódicos não reproduzam os experimentos descritos nos artigos, podendo aprovar trabalhos com considerações incorretas. Os cientistas também tendem a estudar somente os tópicos diretamente relacionados com seus interesses, com o intuito de realizar novas publicações (KIPNIS, 2007, p. 898-9).

⁴McComas (2008, p. 257) apresenta uma coleção de exemplos de episódios históricos relevantes para o estudo na Natureza das Ciências extraídos de livros sobre Filosofia das Ciências. Para a Física foram catalogados vinte e oito exemplos.

⁵Tal atitude também é presente em obras históricas. Isaac Newton, por exemplo, durante a escrita de seu livro *Óptica*, reconstrói sua metodologia de maneira a convencer seus leitores da verdade de sua teoria, em vez de apresentar o processo de formulação na sequência real (RAFTOPOULOS; KALYFOMMATOU; CONSTATINOU, 2005, p. 659).

⁶Por verdadeiro entende-se um resultado que é de consenso entre todos os grupos de alunos, um análogo à aceitação pela comunidade científica.

⁷Buscou-se também fornecedores de equipamentos de laboratório de caráter profissional como <<https://www.thorlabs.com/>>, embora tais alternativas acarretem aumento significativo de custos para os experimentos.

⁸O processo de formular conclusões gerais a partir de episódios singulares ou observações é chamado de indução.

⁹Na verdade, a mistura de cores é diferente da mistura das luzes. Nas diferentes tintas, existem pigmentos que quando reunidos subtraem da luz incidente algumas cores e emitem outras. Se as sete cores de tintas que compõem o arco-íris forem misturadas, o resultado é uma cor escura, pois a mistura absorverá grande parte da luz incidente (MARTINS; SILVA, 1996, p. 322).

¹⁰A experimentação ou observação pode ser chamada de dado empírico.

¹¹Principia, Livro II, proposição 41, teorema 32.

¹²Quiescente: que está em repouso.

¹³Essa citação não faz parte da estrutura principal do livro, onde estão presentes os axiomas, demonstrações e proposições, pertencendo às chamadas Questões, que trazem problemas em aberto. Dessa forma, essa citação não deve ser entendida como uma afirmação ou convicção de Newton.

¹⁴Newton não defende explicitamente que a luz é composta por um feixe de partículas dado seu caráter hipotético, preferindo trabalhar com o conceito de raio de luz (SILVA; MOURA, 2012, p. 1320-1)(MOURA; SILVA, 2008, p. 1602-3). Os raios de luz podem ser compreendidos como as menores partes da luz que são sucessivas nas mesmas linhas e simultâneas em várias linhas (NEWTON, 2002, p. 39). No século XVII, por outro lado, filósofos atomistas como Gassendi e Charleton defendiam a ideia de partículas luminosas assim como partículas sonoras (DARRIGOL, 2010b, p. 229).

¹⁵Christiaan Huygens também realizou trabalhos defendendo a natureza “ondulatória” da luz. Seu trabalho mais importante sobre o tema foi o livro *Tratado sobre a Luz*. Newton fez

referências diretas aos trabalhos de Huygens, concordando com algumas observações e medidas, mas discordando das explicações.

¹⁶Ou seja, a luz não se propagaria nos meios materiais como o ar, mas no éter contido neles.

¹⁷No caso de um espelho ou metal polido, por exemplo, a reflexão não seria causada pelas partes do espelho em si, mas por uma superfície etérea que se espalha uniformemente sobre a superfície levemente irregular do espelho. (COHEN; WESTFALL, 2002, p. 45)

¹⁸Experiência crucial ou mais importante para se chegar a uma conclusão, que para Newton pode ser definitiva. Na figura 2, numerada por Newton como Fig. 18 é representado esse experimento.

¹⁹Principia, Livro 1, Seção XIV, proposição 96.

²⁰Newton sugere ainda que essa demonstração é “geral, sem determinar o que é a luz ou por que tipo de força ela é refratada” (NEWTON, 2002, p. 89) (RAFTOPOULOS; KALYFOMMATOU; CONSTATINOU, 2005, p. 661).

²¹Existia na época um cálculo aproximado do tempo gasto para a luz percorrer a distância da Terra ao Sol, cerca de sete ou oito minutos.

²²No *Óptica*, essas vibrações do éter são substituídas pelo conceito de estados de fácil transmissão e reflexão (SILVA; MOURA, 2012, p. 1323).

²³Representação matemática e gráfica do modelo Newtoniano para uma dada condição de contorno.

²⁴Embora Newton tenha usado um prisma de base isósceles com cada ângulo da base igual a 45°, os resultados são análogos para o prisma de base triangular regular usado neste experimento.

Referências:

Académie des Sciences. *Histoire de l'Académie royale des sciences ... avec les mémoires de mathématique & de physique... tirez des registres de cette Académie*. Paris: [s.n.], 1723.

ANDREOU, C.; RAFTOPOULOS, A. Lessons from the History of the Concept of the Ray for Teaching Geometrical Optics. *Science & Education*, v. 20, p. 1007–1037, 2011.

CARVALHO, A. M. P.; VANNUCCHI, A. I. History, Philosophy and Science Teaching: Some Answers to “How”? *Science & Education*, v. 9, p. 427–448, 2000.

CAVICCHI, E. M. Historical Experiments in Students’ Hands: Unfragmenting Science through Action and History. *Science & Education*, v. 17, p. 717–749, 2008.

CHANG, H. How Historical Experiments Can Improve Scientific Knowledge and Science Education: The Cases of Boiling Water and Electrochemistry. *Science & Education*, v. 20, p. 317–341, 2011.

COHEN, I. B.; WESTFALL, R. *Newton: textos, antecedentes, comentários*. Rio de Janeiro: Contraponto, 2002.

DARRIGOL, O. The Analogy between Light and Sound in the History of Optics from the Ancient Greeks to Isaac Newton. Part 1. *Centaurus*, v. 52, n. 2, p. 117–155, 2010.

DARRIGOL, O. The Analogy between Light and Sound in the History of Optics from the ancient Greeks to Isaac Newton. Part 2. *Centaurus*, v. 52, p. 206–257, 2010.

DEDES, C.; RAVANIS, K. History of Science and Conceptual Change: The Formation of Shadows by Extended Light Sources. *Science & Education*, v. 18, p. 1135–1151, 2009.

DESCARTES, R. *The World and Other Writings*. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.

GALILI, I. Promotion of Cultural Content Knowledge Through the Use of the History and Philosophy of Science. *Science & Education*, v. 21, p. 1283–1316, 2012.

GALILI, I.; HAZAN, A. Experts’ Views on Using History and Philosophy of Science in the Practice of Physics Instruction. *Science & Education*, v. 10, p. 345–367, 2001.

GALILI, I.; HAZAN, A. The Effect of a History-Based Course in Optics on Students’ Views about Science. *Science & Education*, v. 10, p. 7–32, 2001.

GRIFFITHS, D. J. *Introduction to electrodynamics*. 3. ed. New Jersey: Prentice–Hall, 1999.

HOOKE, R. *Micrographia*. 1665. Disponível em: <<http://www.gutenberg.org/files/15491/15491h/15491-h.htm>>. Acesso em: 03 jul. 2012.

HÖTTECKE, D. How and What Can We Learn From Replicating Historical Experiments? A Case Study. *Science & Education*, v. 9, p. 343–362, 2000.

HÖTTECKE, D.; SILVA, C. C. Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge: An Analysis of Obstacles. *Science & Education*, v. 20, p. 293–316, 2011.

HUYGENS, C. Tratado sobre a Luz. Tradução e notas de Roberto de Andrade Martins. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, Suplemento 4, p. 1–99, 1986.

HUYGENS, C.; YOUNG, T.; FRESNEL, A.-J. *The wave-theory of light: memoirs by Huygens, Young and Fresnel*. New York: American Book Company, 1900.

JUSTI, R.; GILBERT, J. A cause of ahistorical science teaching: Use of hybrid models. *Science Education*, v. 83, n. 2, p. 163–177, 1999.

KIPNIS, N. The ‘Historical–Investigative’ Approach to Teaching Science. *Science and Education*, v. 5, p. 277–292, 1996.

KIPNIS, N. Scientific Controversies in Teaching Science: The Case of Volta. *Science & Education*, v. 10, p. 33–49, 2001.

KIPNIS, N. Discovery in Science and in Teaching Science. *Science & Education*, v. 16, p. 883–920, 2007.

KIPNIS, N. Errors in Science and their Treatment in Teaching Science. *Science & Education*, v. 20, p. 655–685, 2011.

- KLASSEN, S. The Photoelectric Effect: Reconstructing the Story for the Physics Classroom. *Science & Education*, v. 20, p. 719–731, 2011.
- KRAGH, H. A Sense of History: History of Science and the Teaching of Introductory Quantum Theory. *Science & Education*, v. 1, p. 349–363, 1992.
- LAUGINIE, P. How did Light Acquire a Velocity? *Science & Education*, v. 22, p. 1537–1554, 2013.
- MARTINS, R. A. Introdução: a história das ciências e seus usos na educação. In: CELESTINO, C. (Ed.). *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006. p. XVII–XXX.
- MARTINS, R. A.; SILVA, C. C. A “Nova Teoria sobre Luz e Cores de Isaac Newton”: Uma tradução comentada. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 18, n. 4, p. 313–327, 1996.
- MARTINS, R. A.; SILVA, C. C. A teoria das cores de Newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula. *Ciência & Educação*, v. 9, n. 1, p. 53–65, 2003.
- MATTHEWS, M. R. História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 12, n. 3, p. 164–214, 1995.
- MCCOMAS, W. F. Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of science. *Science & Education*, v. 17, p. 249–263, 2008.
- MIHAS, P.; ANDREADIS, P. A Historical Approach to the Teaching of the Linear Propagation of Light, Shadows and Pinhole Cameras. *Science & Education*, v. 14, p. 675–697, 2005.
- MOURA, B.; SILVA, C. C. A natureza da ciência por meio de estudos históricos: o caso da popularização da óptica Newtoniana. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 30, n. 1, p. 1602–1–1602–10, 2008.
- NEWTON, I. *Opticks: or, A treatise of the reflections, refractions, inflections and colours of light*. London: [s.n.], 1730.
- NEWTON, I. *Óptica / Sir Isaac Newton; tradução, introdução e notas de André Koch Torres Assis*. 1. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002.
- PEDUZZI, L. O. Q. Física Aristotélica: Por que não considera-la no ensino da mecânica? *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 13, n. 1, p. 48–63, 1996.
- PRIESTLEY, J. *The history and present state of discoveries relating to vision, light, and colours*. London: Johnson, 1772.
- RAFTOPOULOS, A.; KALYFOMMATOU, N.; CONSTATINOU, C. P. The Properties and the Nature of Light: The Study of Newton’s Work and the Teaching of Optics. *Science & Education*, v. 14, p. 649–673, 2005.
- RIBEIRO, J. L. P.; VERDEAUX, M. F. S. Atividades experimentais no ensino de óptica: uma revisão. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 34, n. 4, p. 4403–4403–10, 2012.
- SILVA, C. C.; MOURA, B. Science and Society: The Case of Acceptance of Newtonian Optics in the Eighteenth Century. *Science & Education*, v. 21, p. 1317–1335, 2012.
- SOUSA, A. A. L. S. *Experiências Demonstrativas de Óptica*. Dissertação (Mestrado) — Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, 1999.
- VENVILLE, G. J. et al. Bridging the Boundaries of Compartmentalized Knowledge: Student Learning in an Integrated Environment. *Research in Science & Technological Education*, v. 18, p. 23–35, 2000.
- VENVILLE, G. J. et al. Curriculum Integration: Eroding the High Ground of Science as a School Subject? *Studies in Science Education*, v. 37, n. 1, p. 43–83, 2002.
- VUOLO, J. H.; FURUKAWA, C. H. Modelos de componentes óticos em resina. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 21, n. 2, p. 280–288, 1999.
- WIKIPEDIA. *Isaac Newton*. *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. 2014. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Isaac_Newton&oldid=605480459>. Acesso em: 15 abr. 2014.



Mens Agitat 17 (2022) 35-40

ISSN 1809-4791

APERFEIÇOAMENTO DE PROTÓTIPO PARA MOAGEM DE CAVACOS DE ALUMÍNIO

Samuel Matos do Nascimento^{1*}, Alexandre Mateus Mendonça Bezerra², Harim Revoredo³, Juliano Fernandes Dias Taveira de Brito⁴, George Santos Marinho⁵

¹Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 59078-970, Natal-RN-Brasil. samuel.matos100@hotmail.com

²Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 59078-970, Natal-RN-Brasil. alexmateus11@yahoo.com.br

³Programa de pós-graduação em Engenharia dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 59078-970, Natal-RN-Brasil. haimmacedo@gmail.com

⁴Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 59078-970, Natal-RN-Brasil. britojuliano99@gmail.com⁴⁵

⁵Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 59078-970, Natal-RN-Brasil. gmarinho@ct.ufrn.br

RESUMO

A técnica de moagem é amplamente utilizada na engenharia, sendo indispensável em áreas como metalurgia do pó. Em geral, exige máquinas de grandes dimensões. Neste trabalho é descrito o aperfeiçoamento de um protótipo de moedor de cavacos, de pequeno porte e baixo custo, destinado à produção de pó de alumínio a partir de cavacos descartados em processos de usinagem. Após reavaliação do projeto original e a introdução de modificações para sanar problemas, o dispositivo passou a funcionar em conformidade com o previsto. O protótipo foi idealizado, projetado, construído e testado para atender demandas específicas de uma equipe de desenvolvimento de foguetes acadêmicos, interessada em produzir pó de alumínio com granulometrias específicas para adição em misturas de propelentes.

Palavras-chave: alumínio; reaproveitamento; protótipo; moagem; granulometria.

ABSTRACT

The grinding technique is widely used in engineering, being indispensable in areas such as powder metallurgy. In general, it requires large machines. This work describes the improvement of a small and low cost chip mill prototype, intended for the production of aluminum powder from chips discarded in machining processes. After reassessing the original design and introducing changes to solve problems, the device started to work as expected. The prototype was conceived, designed, built and tested to meet the specific demands of an academic rocket development team, interested in producing aluminum powder with specific granulometries for addition to propellant mixtures.

Keywords: aluminum; reuse; prototype; milling; granulometry.

1. INTRODUÇÃO

A metalurgia do pó é uma técnica que permite transformar material granuloso em peças resistentes por meio de compressão e aquecimento, sem fusão do material [1]. O processo de moagem para obtenção do pó é realizado em moinhos e prensas, onde é possível reaproveitar resíduos da usinagem do material original [2].

A moagem industrial requer máquinas de grande porte, com grande capacidade de processamento. Essas máquinas são adaptadas, modificadas e aperfeiçoadas para atender às demandas de produção de diversos setores produtivos [1]. Em geral, são caras e consomem muita energia.

Construir máquinas de moagem para atender micro demandas, como no caso da produção de pó de alumínio para propelentes de foguetes acadêmicos, pode ser uma opção economicamente inviável. Contudo, é viável adaptar a essa função máquinas já existentes em qualquer laboratório de ensino de universidade pública. Além disso, é possível aproveitar resíduos de processos de usinagem como matéria prima para produção do material desejado.

Neste trabalho apresentam-se os resultados obtidos na adaptação de uma máquina elétrica (furadeira de bancada) para produção de pó de alumínio, capaz de gerar material com granulometria específica para uso como aditivo em misturas de nitrato de potássio e açúcar para propulsão de foguetes.

2. ANTECEDENTES

Com o objetivo de atender demanda da Diretoria de Propulsão da equipe de desenvolvimento de foguetes acadêmicos *Potiguar Rocket Design*, Bezerra et al. [4] projetaram e construíram um dispositivo (Fig. 1) para moagem de cavacos resultantes de processos de usinagem realizados em oficinas da UFRN, especialmente adaptado a uma máquina furadeira elétrica.



Fig. 1 - Protótipo de dispositivo de moagem adaptado à máquina furadeira de topo: (a) furadeira elétrica; (b) mandril; (c) pino de transmissão; (d) castanha; (e) disco abrasivo; (f) cavacos; (g) câmara para depósito de cavacos; (h) mesa-base.

Fonte: Bezerra et al. [4]

Durante os testes do conjunto máquina–moedor, realizados no Laboratório de Transferência de Calor da UFRN, foram identificados os seguintes problemas: sobreaquecimento, vazamento do pó resultante da moagem e quebra de peças do dispositivo. Desse modo, foi necessário reavaliar o projeto original e planejar a inserção de modificações no dispositivo.

Observou-se que, devido à falta de fixação ou apoios, eram induzidas vibrações de elevadas amplitude e frequência na câmara de moagem interna, resultando em danos ao dispositivo. Além disso, tratando-se de uma peça submetida a giro, havia o risco intrínseco à segurança do operador.

A fuga do pó pela abertura superior da câmara reduzia a eficiência do dispositivo, especialmente no caso de produção de material com granulometrias menores.

O sobreaquecimento da câmara de moagem é um fator preocupante, pois limita o tempo de execução do processo. Reduzir a velocidade, por outro lado, aumenta o tempo de processamento do material, reduzindo a produção dos pós.

Após análise detalhada dos resultados obtidos nos testes, identificou-se que os problemas possuíam origem comum – o tipo de material utilizado para compor o dispositivo.

Estudando alternativas, descobriu-se que o ácido poliático (PLA) tem sido amplamente empregado na fabricação de peças e componentes. Por ser um material de baixo custo, excelente trabalhabilidade e facilidade de acabamento superficial, pode ser processado em impressoras 3D. Trata-se de um material biodegradável cujas propriedades comparam-se às propriedades de outros polímeros comumente utilizados em manufatura aditiva [3]. Assim, decidiu-se adaptar o projeto original para utilização de PLA na fabricação de peças do dispositivo de moagem em impressora 3D.

3. MATERIAL E PROCEDIMENTOS

Problemas identificados por Bezerra et al. [4] nos testes do dispositivo original foram solucionados utilizando-se os recursos do laboratório LTC / UFRN. As peças do dispositivo foram projetadas em software *SolidWorks* e fabricadas em impressoras 3D, por meio de serviços contratados.

3.1. Mesa-base

A mesa-base de suporte à câmara para cavacos foi fabricada a partir de uma chapa de aço, com 5 mm de espessura, 250 mm de comprimento, 250 mm de largura e 5 mm de espessura, dotada de rebaixo para acoplamento à câmara e quatro rasgos para fixação do conjunto na furadeira de bancada (Fig. 2).

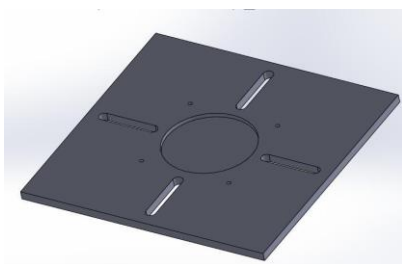


Fig. 2 – Projeto da mesa-base.

3.2. Tampa, pino e castanha de fixação

Para estancar o vazamento do pó durante o processo de moagem, constatado durante os testes realizados por Bezerra et al. [4], propôs-se a inserção de uma tampa, com acoplamento solidário ao pino de transmissão (“c”, Fig. 1). Isso exigiu refazer as medições das dimensões do dispositivo original, utilizando-se paquímetro com resolução de 0,05 mm.

A tampa foi projetada por meio do software *SolidWorks* e fabricada em impressora 3D. Adotou-se um diâmetro interno acrescido de 0,05 mm além do diâmetro externo da câmara de moagem (“g”, Fig. 1), configurando um sistema de fixação por deslizamento. Para evitar deformações decorrentes de aquecimento, a peça foi projetada com espessura de 5 mm. Na Fig. 3 observa-se a peça de PLA fabricada em impressora 3D.



Fig. 3 – Tampa da câmara para cavacos.

Nos testes do dispositivo desenvolvido por Bezerra et al. [4] ocorreu a quebra do pino de transmissão (“c”, Fig.1) da rotação da furadeira (“a”, Fig.1) ao disco abrasivo (“e”, Fig.1).

Realizaram-se simulações computacionais para análise dos esforços de cisalhamento, tração e compressão a que seriam submetidos o pino de transmissão de rotação da furadeira ao disco abrasivo. O PLA foi utilizado para fabricação do pino. Na Fig. 4 observa-se a peça de PLA fabricada em impressora 3D.

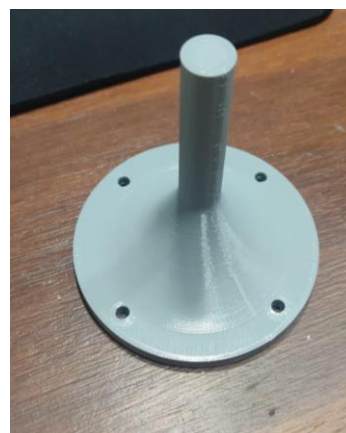


Fig. 4 – Pino de transmissão.

Empregou-se o software *SolidWorks* no projeto das castanhas de fixação da câmara para cavacos à mesa-base. As peças também foram fabricadas em impressora 3D, tendo PLA como matéria-prima.

Foram abertos dois furos na base de cada castanha, destinados à introdução de parafusos de fixação da castanha à mesa-base. Escolheu-se parafuso métrico, com diâmetro de 10 mm, passo de rosca de 1,5 mm (M 10 X 1,5) e comprimento útil de 30 mm. Após a fabricação das castanhas, foram abertas roscas por meio das seguintes ferramentas: macho M4, vira macho e morsa. Em seguida, foi introduzido um parafuso allen com cabeça M4 em cada uma das castanhas, totalizando 4 parafusos. Na Fig. 5 podem ser vistos a castanha e a representação do conjunto.



Fig. 5 – (a) castanha de fixação da câmara para cavacos à mesa-base; (b) representação do conjunto mesa-base / castanhas / câmara para cavacos.

3.3. Controle térmico

Bezerra et al. [4] tentaram controlar a temperatura do dispositivo por meio de resfriamento com circulação de água. Contudo, observaram que os pós obtidos durante as moagens se apresentavam úmidos. Assim, durante a revisão do projeto, optou-se pelo controle de temperatura das peças por meio de um secador, ajustado ao modo “resfriamento” e acoplado à lateral da câmara para cavacos.

Na Fig. 6 pode ser observado o equipamento utilizado no controle de temperatura do dispositivo de moagem.



Fig. 6 - Sistema de refrigeração proposto.

3.4. Procedimento experimental

Os experimentos de teste do dispositivo de moagem foram realizados no laboratório LTC / UFRN. Na Tab.1 está discriminado o material utilizado durante os testes.

Tab. 1 – Material utilizado durante os testes do moedor.

| MATERIAL | APLICAÇÃO |
|---------------------------------|----------------------|
| Protótipo | Moagem |
| Pincel | Limpeza da câmara |
| Secador | Controle térmico |
| Parafuso M10 | Fixação da mesa-base |
| Luvas, máscara e óculos | EPI |
| Furadeira de bancada | Motor de torque |
| Peneiras mesh 50, 100, 200, 325 | Separação de grãos |

Na Fig. 7 observam-se as peneiras utilizadas para separação dos pós e a placa com especificações de funcionamento da furadeira de bancada empregada como motor.



a)

b)

Fig. 7 – (a) Peneiras de separação; (b) especificações da furadeira de bancada.

A câmara para cavacos foi montada no rebaixo central da mesa-base. Por meio de parafusos, as castanhas em formato de “L” foram acopladas à câmara e, em seguida, à mesa. Parafusos M10 foram passados através dos rasgos e presos a porcas, fixando a mesa-base à mesa da furadeira de bancada.

Uma amostra de 23 g de cavacos de alumínio (Fig. 8) foi inserida na câmara de moagem. O pino foi fixado ao mandril da furadeira. O disco abrasivo foi acoplado à câmara para cavacos e a tampa foi ajustada para vedação da câmara.



Fig. 8 – Cavacos de alumínio obtidos de resíduos de processos de usinagem.

Na Fig. 9 observa-se a amostra de cavaco no interior da câmara de moagem, enquanto na Fig. 10 vê-se o dispositivo em sua montagem final.



Fig. 9 – Amostra de cavacos de alumínio no interior da câmara de moagem.



Fig. 10 – Conjunto protótipo – motor pronto para moagem.

A máquina foi acionada e o tempo de processamento foi monitorado. Também foi feito monitoramento da temperatura do dispositivo.

Mesmo empregando o jato de ar do secador para controle térmico do dispositivo, visando preservar a integridade do dispositivo, foram estabelecidas pausas (com duração de 5 min) para resfriamento natural.

O pó produzido no processo foi submetido a peneiras de diferentes mesh e submetidas à vibração, de modo a favorecer a separação. O pó resultante foi guardado em potes com etiquetas para identificação de granulometria.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base na análise dos resultados obtidos nos testes em laboratório, constatou-se significativa melhoria em relação ao equipamento original, conforme se descreve a seguir.

A utilização do conjunto mesa-base resultou na eliminação de problemas associados à fixação da câmara de moagem, proporcionando redução de excentricidades, desnivelamentos, ruídos e vibrações, além de preservar a segurança do operador.

Graças à firmeza conferida ao acoplamento entre a mesa-base e a câmara de moagem, a transmissão da rotação do motor ao disco abrasivo tornou-se mais eficiente. Essa firmeza foi consequência do uso de parafusos “allen com cabeça”, que, ao exercer uma força de contato axial sobre o cilindro, evitou seu deslocamento. Além disso, a fixação das castanhas à mesa-base por meio de dois parafusos eliminou a possibilidade de rotação, aumentando a força de fixação da câmara.

O expediente (trivial) de utilizar uma tampa acoplada ao pino de transmissão para vedar da câmara de moagem, não interferiu na rotação do pino e evitou a perda de material.

O aumento repentino da temperatura na câmara de moagem, causado pelo atrito entre o disco de granito e a parede interna, foi evitado por meio do jato de ar direcionado, proporcionado

pelo secador. Desse modo, a temperatura na superfície externa da câmara de moagem manteve-se abaixo dos valores verificados por Bezerra et al. [4].

A substituição de metal por PLA mostrou-se uma alternativa viável, permitindo economia de tempo na fabricação das peças. Uma vez que a tensão de escoamento dos polímeros é inferior a dos metais, as mudanças de geometria introduzidas nas peças foram relevantes para aumentar a resistência às cargas impostas no processo de moagem. Para peças que não sofrem cargas relevantes, como as castanhas e a tampa, a impressão 3D pode ser utilizada sem restrições, por meio do software CAE, resultando em economia de tempo e material.

As 23 g de cavaco de alumínio foram inseridas na câmara de moagem e o dispositivo foi colocado para operar a 360 RPM do seguinte modo: 5 min de funcionamento, uma parada de 5 min para resfriamento e outros 5 min de funcionamento. O uso das peneiras de mesh 30, 50, 100, 200 e 325 resultaram em pós com as granulometrias especificadas na Tab. 2.

Tab. 2 – Resultados dos peneiramentos.

| Mesh # | Granulometria mm | Massa g |
|--------|------------------|---------|
| 30 | 0,595 | 14,06 |
| 50 | 0,297 | 6,97 |
| 100 | 0,149 | 0,39 |
| 200 | 0,074 | 0,32 |
| 325 | 0,044 | 0,30 |

Analisando-se os resultados mostrados na Tab. 2 nota-se que a massa total resultante do processo foi de 22,04 g, ou seja, uma perda de 0,96 g, atribuída ao manuseio do equipamento. Isso equivale a cerca de 4 % da massa original da amostra de cavacos, justificando o uso da tampa para contenção do pó (em forma de névoa) resultante do processo de moagem.

Na Tab. 3 comparam-se os resultados obtidos nos processos executados nos modelos antigo [4] e atual (otimizado).

Tab. 3 – Resultados da moagem.

| Versão | Antigo [4] | Atual |
|--|----------------|--------------------|
| Tempo de operação | 20 min | 10 min |
| Massa inicial | 50,0 g | 23,0 g |
| Quantidade de limalhas produzido com mesh # 30 | 40,0 g 80 % | 14,06 g 61,13 % |
| Quantidade de limalhas produzido com mesh # 50 | 5,0 g 10 % | 6,97 g 30 % |
| Quantidade de pó produzido com mesh # 100 | 1,0 g 2 % | 0,39 g 1,7 % |
| Quantidade de pó produzido com mesh # 200 | - 0% | 0,32 g 1,4 % |
| Quantidade de pó produzido com mesh # 325 | - 0 % | 0,30 g 1,3 % |

Observando-se os dados da Tab. 3 percebe-se que o tempo de operação e a massa utilizada nos experimentos com o modelo atual foram menores do que aqueles considerados no modelo antigo. Deste modo, pode-se inferir que, se fossem adotados os mesmos parâmetros de entrada, o modelo atual do dispositivo de moagem apresentaria valores ainda maiores.

Na Tab. 3 nota-se que menos limalha foi obtida com a peneira de mesh # 30 no modelo aperfeiçoado, indicando redução na presença de fitas e cavacos finos, i.e., a moagem foi mais eficiente, resultado que se repete com a peneira de mesh # 50.

Ainda na Tab. 3, a partir do mesh # 100, foram obtidos pós ao invés de limalhas. Os pós produzidos com peneiras de mesh # 100 apresentam granulometria de 0,149 mm, percentualmente semelhante ao obtido no processo no modelo antigo. Mais pós foram produzidos com peneiras de mesh # 200 no modelo otimizado, inclusive representando pós bem finos, com granulometria de 0,074 mm. Com peneiras de mesh # 325, em termos percentuais, mais pós foram produzidos pelo modelo atual – foram pós extremamente finos, com granulometria de 0,044 mm. Na Fig. 11 vê-se a armazenagem dos pós.

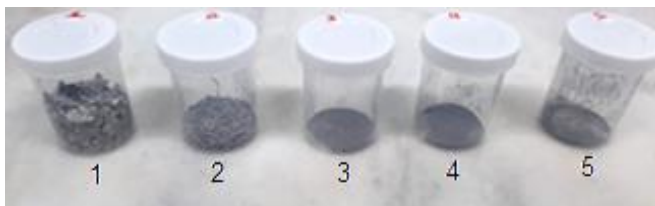


Fig. 11 – Evolução morfológica do cavaco durante o processo de obtenção dos pós.

A partir da Fig. 11 é possível constatar que as amostras 1 e 2 não apresentam pós, mas apenas limalhas ou fitas, que

passaram pelas peneiras de mesh # 30 e # 50. Por isso, nesses casos, foi necessário avaliar características geométricas dos grãos, além do que foi obtido via peneiramento.

As amostras 3, 4 e 5 apresentam pós com granulometrias muito pequenas, superam o resultado obtido por Bezerra et al. [4] e por outros [5], que conseguiram peneirar apenas com mesh # 30.

Pode-se afirmar com segurança que o dispositivo otimizado permitiu atingir o objetivo geral da proposta, i.e., desenvolver um protótipo de equipamento para moagem de cavacos de alumínio, eficiente e de baixo custo, capaz de produzir pós com diferentes granulometrias, necessárias às demandas das diversas aplicações.

5. CONCLUSÕES

O equipamento desenvolvido atendeu às expectativas do projeto, permitindo solucionar problemas identificados no equipamento que o precedeu, eliminando fuga de pó, ruídos, vibrações e riscos, contornando o sobreaquecimento e economizando material (substituição de metal por PLA) e tempo de processo, estando apto à produção de pós a partir de cavacos descartados em processos de usinagem.

Para próximos trabalhos sugere-se que sejam considerados experimentos em velocidades e tempos de processamento maiores, além do uso de técnica de difração de raios x para aperfeiçoar a análise do material resultante da moagem.

REFERÊNCIAS

- [1] CHIAVERINI, V. *Tecnologia Mecânica: Processos de fabricação e tratamento*. Volume II, 2ª edição. Universidade de São Paulo, São Paulo, 315p.,1986.
- [2] SOUZA, J. R. P. *Efeito da sinterização e da moagem de alta energia na microestrutura e nas propriedades mecânicas em ligas de alumínio recicladas a partir de latas de bebidas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Materiais- Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 71p., 2017.
- [3] SANTANA, L.; ALVES J. L.; NETTO, A. C. S.; MERLINE, C. *Estudo comparativo entre PETG e PLA para Impressão 3D através de caracterização térmica, química e mecânica*. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620180004.0601>. *Matéria* (Rio J.) 23 (4), 2018.
- [4] BEZERRA, A. M. M., LUCENA, A. L., GOMES, M. S., BRITO, J. F. T., MARINHO, G. S. *Desenvolvimento de um moedor de cavacos de alumínio de baixo custo*. Congresso Nacional de Engenharia Mecânica e Industrial - CONEMI (virtual), 2020.
- [5] FAGUNDES, J. G. F.; VENTRELLA, V. A.; GALLEGOS, J. *Reciclagem de cavacos de titânio para a deposição de revestimentos duros por soldagem*. Artigo técnico, Soldagem & Inspeção. The Development of Zonal Models for Turbulence. Proceedings of the 10th Brazilian Congress of Mechanical Engineering, Vol.1, Rio de Janeiro, Brazil, pp. 41-44, 2015.



O novo normal e o uso das metodologias ativas de ensino na educação:

Relato de caso

The new normal and the use of active teaching methodologies in education: case report

Ramão Luciano Nogueira Hayd¹ Maria Lizarb de Souza Cardoso² Aline A. Moraes Hayd³

1 Doutor em Ciências, Curso de Enfermagem, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista-RR, Brasil

2 Acadêmica de Enfermagem, Universidade Federal de Roraima

3 Publicitária, Especialista em PNL

RESUMO

A metodologia ativa é um método inovador de aprendizado e o presente estudo mostrará tanto para os alunos quanto para professores os benefícios desse novo meio de educação. O interesse de conhecer novos meios de ensino-aprendizagem é de suma importância tendo em vista que os tempos estão mudando, o docente, hoje, é um facilitador do conhecimento e os discentes precisam de motivação e de dinâmicas que o façam questionar, procurar e solucionar o problema e assim, assimilar verdadeiramente o que foi proposto. Além disso, as pesquisas voltadas para o ensino de enfermagem são escassas e, nota-se a necessidade de exploração nessa área para proporcionar uma formação de qualidade aos futuros profissionais de enfermagem. O tema discutido é exposto devido as mudanças decorrentes não só pela pandemia, mas também pelo fato de hoje existirem as tecnologias digitais da informação e comunicação que auxiliam na compreensão de estudos e usá-los ao nosso favor é indispensável em um momento que precisamos manter o distanciamento social. A inovação do ensino é uma pauta extremamente importante e deve ser discutida amplamente afim de adequar as práticas educacionais a nova realidade, de forma que os alunos engajem e o ensino seja de sucesso.

Descritores: Aprendizagem. Aprendizagem Baseada em Problemas, metodologia ativa, Fishbowl

ABSTRACT

The active methodology is an innovative method of learning and the present study will show both students and teachers the benefits of this new means of education. The interest in knowing new ways of teaching-learning is of paramount importance considering that times are changing, the teacher, today, is a facilitator of knowledge and students need motivation and dynamics that make them question, seek and solve the problem and thus truly assimilate what was proposed. In addition, research aimed at nursing education is scarce and there is a need for exploration in this area to provide quality training to future nursing professionals. The topic discussed is exposed due to the changes resulting not only from the pandemic, but also from the fact that today there are digital information and communication technologies that help in the understanding of studies and using them in our favor is indispensable at a time when we need to maintain the social distancing. Teaching innovation is an extremely important agenda and must be discussed widely in order to adapt educational practices to the new reality, so that students engage and teaching is successful.

Descriptors: Learning. Problem-Based Learning, Active Methodology, Fishbowl

INTRODUÇÃO

As metodologias ativas proporcionam formas de ensino que utilizam experiências reais ou fictícias objetivando resolver as adversidades provenientes das atividades essenciais das práticas sociais em diversas situações e além disso estimula a curiosidade e contribuem para o engajamento dos alunos [1], que nesta metodologia passam a ser protagonistas do seu ensino-aprendizagem apresentando o envolvimento participativo, direto e reflexivo nesse processo [2].

A aprendizagem ativa acontece ao passo que o aluno é instigado a interagir com o conteúdo seja escutando, falando, perguntando, discutindo, praticando ou ensinando e assim constrói o seu conhecimento sem recebe-lo do professor que, inserido em uma metodologia ativa, passa a ter um papel de orientador ou facilitador do processo de aprendizado [3, 4]. Isso corrobora com o pensamento de William Glasser no qual propõe que o professor é um guia e não um chefe e apresenta uma Pirâmide de Aprendizagem no qual representa como aprendemos [4,5].

Com base nessa linha de raciocínio podemos analisar algumas questões:

1. O processo de ensino aprendizagem avançou com o passar dos tempos, e hoje o docente está “rodeado/cercado/cingido” por diversas metodologias de ensino. E a pergunta que não quer calar: Metodologia de ensino Tradicional ou Ativa? Qual a melhor estratégia para o professor utilizar na sala de aula? Em tempos de pandemia e distanciamento social, qual metodologia devo utilizar? Essas e outras perguntas vamos buscar responder ao longo deste estudo. E em tom de conversa vamos lá, “olho no olho!”

2. Creio que o ponto de partida não seria nem a metodologia a ser utilizada, mas sim: Que profissional docente/professor eu me tornei? Eu sou acomodado e espero que soluções sejam apontadas? Eu sou resistente a mudanças de metodologias na educação? Eu sou um profissional que busco viver o aprendizado permanente em minha vida?

Mas antes podemos refletir acerca do processo educacional que desejo influenciar para uma educação brasileira eficiente, pelo menos do ponto de partida de lançar uma semente em seu coração com quebrantamento suficiente para as “mudanças/evoluções” estratégicas na educação.

Ao contrário do que muitos dizem, o “docente” procura sempre melhorar sua performance/metodologia em sala de aula.

Estudos apontam que a sala de aula é o “palco” onde podemos reger uma orquestra ou sinfonia, é o ambiente onde encontramos motivação para seguir em frente, pois quando olhamos olho no olho de nossos alunos podemos enxergar novos Albert Einstein, Louis Pasteur, Machado de Assis, Monteiro Lobato, Charles Darwin, William Shakespeare, Henry Ford e a lista segue..., são tantos nomes que ficaríamos horas escrevendo, mas imaginamos sim, imaginamos que estamos lapidando mentes brilhantes, alunos que sonham, ou quem não tiver um sonho, como docentes apaixonados pela educação e construção de

conhecimento em nossos estudantes acabamos por inspirar a buscar o seu sonho [4].

Na verdade, os professores são portas da vida. A esperança do mundo está sobre os ombros da educação, e para promover a educação em pleno século 21 são necessárias novas metodologias e novas técnicas para melhorar o rendimento escolar e facilitar o processo ensino-aprendizagem.

Os professores precisam ser e estar seguros, olhar nos olhos de seus alunos e com capacidade de provocar a pergunta; pois a dúvida estimula a pensar. Sempre é bom lembrar quando em nosso tempo de infância fomos ótimos perguntadores.

O termo olho no olho nesse ponto nos revela que o professor-educador encoraja a participação de seus alunos em sua aula e valoriza cada gesto, atitude de interesse por uma nova ideia, e eis que se apossam do novo e fazem dele parte de sua bagagem conceitual e cultural. Olhar no olho nos aproxima de nossos alunos e transmitimos a eles a sensação que estamos nos importando com o seu aprendizado e estamos nos esforçando ao máximo para que isso aconteça.

O que é experimentado não necessita ser ensinado nem repetido para ser memorizado. A paixão pelo que realiza é o segredo do sentido da vida.

Bom, vamos falar mais um pouco de sonhos que inspiram! Nós fazemos parte desse processo, nós semeamos a semente nos corações de nossos alunos, e quando ela já está semeada, nós adubamos essa semente para que ela cresça cada vez mais forte e dê os frutos desejados no coração de nossos alunos.

Portanto, cada docente tem esse papel fundamental na construção do sonho do seu aluno, se ainda não olhou por esta ótica o convido a começar a navegar nesse mundo dos que ajudam a realizar e inspirar sonhos.

Quais foram os desafios da educação no período de pandemia da Covid-19?

O ano letivo de 2020 foi o surgimento de algo incerto, uma pandemia, tudo parou, surgiu um termo novo para muitos: o isolamento social. Mortalidades em evidência, pessoas aterrorizadas e atemorizadas em suas casas devido ao vírus Sars-CoV-2.

Se tudo parou, como faríamos com a educação? Será que era o fim da sala de aula? Questionamentos que surgiram na mente de muitos professores. Será que vou sobreviver para continuar minha carreira docente? Deixei meu legado na educação?

Perguntas chocantes, de forte impacto que acredito que passou na sua mente também. O professor é por si um sonhador! E isso nos diferencia de outras profissões, pois em diversos momentos exercitamos o altruísmo. Somos profissionais de carne e osso, mortais e dessa forma choramos, sorrimos, pensamos, refletimos, vivemos, corremos, nos divertimos, sonhamos, sentimos dor, e muitas vezes não demonstramos isso em sala de aula, pois lá é o palco principal do docente, é o local onde nos fortalecemos e demonstramos essa força a nossa plateia, no processo ensino-aprendizagem, embora muitas vezes estamos

passando pelos mesmos problemas que rodeiam/cercam toda a população.

Na sala de aula o professor é um profissional estratégico: ele sempre está buscando soluções para garantir uma melhor aprendizagem, embora na maioria das vezes chega na sala de aula com seus problemas, mas nesse momento que ele entra pela porta e adentra o recinto/sala entra no palco do ensino, ele demonstra sua capacidade de transformação/evolução interna e num esforço busca e encontra as forças necessárias para mais um dia exercer seu profissionalismo e ensinar, ensinar e ensinar. Quanto orgulho de um professor! Desde o ensino infantil ao superior, este profissional demonstra sua força e semeia sonhos/ensinamentos na vida de seu aluno.

Estratégica sim, pois em tempos de pandemia e isolamento social, não temos nosso “palco físico” (sala de aula), concluímos que fomos pegos de surpresa por um vírus que não avisou que viria. Sem a sala de aula que atuávamos/ensínávamos caminhando de um lado para o outro, olhando nos olhos de nossos alunos, chamando atenção de quem estava desatento, como seria esse novo cenário?

O professor, por sua vez, não é mais aquela figura que fica na frente da sala, apenas com a responsabilidade de expor o conteúdo e lidar com o comportamento dos alunos. Nessa metodologia, ele atua também como um mediador entre o conhecimento e seus estudantes.

A frase escrita acima pela revista educação me fez refletir ainda mais, pois, percebi que o mundo já estava buscando a ressignificação e ajustamento para esse “novo normal” e a responsabilidade agora precisava ser compartilhada, e não apenas o professor como protagonista, mas sim dividir essa atuação com o aluno [6].

O aluno na metodologia ativa de ensino passa a ser visto como o “novo protagonista no palco da educação”, e agora o docente atua como facilitador/tutor, sendo este ainda o grande incentivador do estudante na busca pelo conhecimento. Podemos chamar esse processo de “mentoria individualizada”.

Cheguei também a uma conclusão: “Neste processo de mentoria individualizada utilizando as metodologias ativas de ensino o professor precisa entender o real significado de sua atuação, caso contrário ele fracassará neste propósito”.

Após muita reflexão sobre o assunto ensino remoto coloquei mãos à obra no processo, com os seguintes passos:



Separar um espaço em minha casa para instalar mesa, impressora, ajustar o caderno de notas, folhas de lembretes e livros;



Organizar horários para estas atividades de forma a não sacrificar o tempo em família com trabalho; (abrindo um parêntese aqui, quando se trata de ensino remoto/home-office, o tempo precisa ser muito bem administrado, senão quando percebemos já estamos fazendo mais de 60 horas de trabalho por semana);



Montar um cronograma das atividades diárias e procurar seguir essas atividades em dias e horários programados; (caso se atrase um dia, procure repor essas atividades gradativamente sem ultrapassar os limites estabelecidos) importante esse cuidado com a saúde mental;



Listar o conteúdo da aula e estabelecer o método a ser aplicado;



Esquematizar os conteúdos de acordo com cronograma previsto de aulas e montar as aulas de acordo com formato estabelecido pela metodologia proposta seguindo protocolo;



Formular os problemas propostos a cada conteúdo a ser trabalhado para estimular a discussão entre os alunos;



Para o dia da aula escolher uma plataforma online que melhor atenda os interesses de todos os participantes;



Prepare-se para aula, escolha uma roupa adequada e sente-se na frente do computador como se estivesse dentro da sua sala de aula física;



Procure seguir a metodologia proposta e faça anotações de participação ativa dos alunos;



Não fale demais, procure estimular a participação dos alunos através da metodologia ativa de ensino escolhida para aquela atividade. Lembre-se que na metodologia ativa de ensino o aluno é o protagonista.

“Estudos revelam que quando o professor fala menos, orienta mais e o aluno participa de forma ativa, a aprendizagem é mais significativa” [7].

No processo de aprendizagem utilizando metodologias ativas de ensino o docente sempre precisa ser o mediador/facilitador deste conhecimento. O professor precisa desenvolver essa habilidade de atuar agora de forma a integrar os alunos na discussão sobre o assunto (discussão inter-pares). Para nós, professores, é um grande desafio, pois gostamos de falar e ensinar através de exemplos clássicos, e agora esse processo se inverte, o professor precisa ser um questionador afim de manter a discussão em direção ao objetivo de estudo proposto para a aula.

Podem ser utilizadas diferentes técnicas e métodos com o objetivo de facilitar o processo de ensino-aprendizagem. Essas técnicas, seguem um protocolo metodológico, favorecem a aprendizagem e aumentam a flexibilidade cognitiva, facilitando a adaptação do aluno a realização de diferentes tarefas de forma mais eficiente [7].

Cada metodologia ativa de ensino segue um protocolo de estudo, e é importante que o professor se mantenha firme nesse propósito e não substitua ou avance nenhuma etapa a qual garante o sucesso para que os alunos alcancem os objetivos propostos para o estudo [4, 8].

Para nós professores, é desafiador manter o foco nos protocolos, mas quando utilizamos a disciplina em nós mesmos acabamos superando nossas expectativas e vislumbramos algo maravilhoso, que é observar o aluno atingir o objetivo de forma clara apenas com nosso direcionamento [4, 9].

Com o passar das aulas, observamos que nossos alunos se tornaram protagonistas no processo de ensino-aprendizagem, e que nosso papel foi fundamental para eles obterem esse sucesso. Se em algum momento falharmos, pularmos algumas etapas, explicarmos/falando demais o aluno se sentirá retraído e o objetivo acabará se distanciando dele.

Portanto, o professor precisa manter o foco e a disciplina na metodologia escolhida, com a finalidade de caminhar a algo novo, a realização pessoal de seu aluno, que agora começa a caminhar em direção a uma educação permanente sendo ele o ator principal/protagonista.

Escolhendo as metodologias ativas de ensino

Aqui se configura uma etapa muito importante da atividade pedagógica proposta. Trata-se de uma decisão importante, a escolha da metodologia ativa de ensino que melhor se encaixe aquela atividade proposta.

Na verdade, quando digo a melhor metodologia para a atividade proposta, quero dizer que a cada conteúdo você escolhe qual metodologia ativa de ensino deseja utilizar. Esse é o segredo: “integração entre elas”.

A própria Base Nacional Comum Curricular (BNCC) recomenda: “escolher e aplicar metodologias didático-pedagógicas diversificadas e aqui listamos as ativas, buscando integrar conteúdos complementares, se necessário, com objetivo de trabalhar com as necessidades de diferentes grupos de alunos. Precisamos entender que a sala de aula é um ambiente onde a diversidade científica e cultural é evidenciada, então devemos usar nossa sensibilidade para escolher o método que teremos um melhor resultado no processo de ensino-aprendizagem.

Porém, sabemos que o aprendizado ocorre quando o aluno assume seu protagonismo e entra na discussão, na verdade ele não entra, ele cria a discussão para o assunto e dessa forma ele se torna um construtor direto do seu conhecimento.

Um intelectual que faz duras críticas à educação tradicional é Paulo Freire, que em um de seus trabalhos afirma que o professor é o transmissor do conhecimento e os alunos são passivos no processo educacional, denominado por ele de educação bancária, por ser um ensino baseado na transmissão de informações. Na aprendizagem ativa, ressalta-se a importância de colocar o aluno no centro do processo, ele passa a assumir uma postura mais ativa [7].

Contextualizando com William Glasser e seu modelo de pirâmide de aprendizagem (ver fig. 01), verificamos que o aprendizado eficiente ocorre na base da pirâmide, isto é, quando o aluno entende o processo e ele estuda a ponto de ensinar aos outros o que aprendeu por meio de uma ampla discussão acerca dos objetivos de aprendizagem propostos.

Estudos têm evidenciado que a aprendizagem é mais significativa quando o professor assume o papel de mediador e o aluno participa de forma ativa do processo [7, 10].

Dale (1969) corrobora em seu estudo quando constatou que após duas semanas o aluno reteve de 10 a 20% daquilo que leu ou ouviu. Mas, quando participou ativamente do seu aprendizado, assumindo seu protagonismo, conseguiu relembrar de 70 a 90% do que foi abordado em sala de aula após o mesmo período.

O uso de metodologias ativas de ensino promove a aprendizagem significativa nos estudantes e essas metodologias acabam dando ênfase ao envolvimento do aluno sendo este mais participativo e reflexivo em todas as etapas do processo [7, 8, 9, 11].



Figura 01: Pirâmide de aprendizagem de William Glasser. Fonte: <https://www.ativaaprendizagem.com.br/nossa-metodologia>

A pirâmide de William Glasser (ver Fig. 01) me chamou atenção profundamente nesse momento de isolamento social. Eu em minha casa no tal “home-office” buscando alternativas de como trabalhar os conteúdos de forma remota sem parecer uma educação a distância (EAD). Por diversos momentos refleti que o ensino remoto não é EAD, é apenas uma alternativa para um momento de pandemia e isolamento social, e que nós, professores, não podemos perder o contato mais próximo com nossos alunos. Daí pensei: “Por que não trabalhar a mentoria individualizada?” Percebi que tinha encontrado uma solução, ainda que momentânea, mas me senti mais aliviado e estava disposto a fazer dar certo. Essa frase falou muito comigo: “Fazer dar certo”!

Percebi que apesar de trabalhar uma metodologia ativa de ensino centrada no estudante, eu também como professor precisava estar nessa mesma visão. Sabia que dependia de mim, de meu esforço o sucesso dessa desafiadora empreitada.

A educação passa por transformações e atualizações ao longo dos anos. As metodologias ativas de ensino-aprendizagem compreendem uma implantação de novas formas de ensino na prática escolar, alterando a forma do processo de aprendizagem do aluno. Este se torna menos passivo para começar a participar ativamente da aula, se envolvendo no próprio processo educacional, tornando-se o verdadeiro protagonista.

Avaliando esse processo educacional no mundo contemporâneo, leva a reflexão da necessidade de romper com a postura de transmissão de informações, na qual os alunos assumem o papel passivo no processo, focados apenas em buscar as respostas solicitadas pelo professor [3].

Apropriando-se de conceitos desenvolvidos por Paulo Freire, ressaltamos a necessidade de conceber a educação como prática de liberdade, em oposição a uma educação como prática de dominação do ser humano [3, 7, 8].

Colocando o ser humano como um sujeito ativo no processo, ensinando este, a ser um futuro profissional que busca a aprendizagem permanente em sua vida. Com as metodologias ativas de ensino formamos um indivíduo/profissional crítico, reflexivo e resolutivo em problemas do dia a dia.

A implantação das metodologias ativas de ensino modificaram o contexto da educação. Em 1965 na Escola de Medicina de McMaster o então reitor John Evans deu início a mudança na forma como a medicina era ensinada, sua ideia central se baseava no pensamento de que era necessário se distanciar totalmente do ensino tradicional [3, 4, 7, 9, 12].

Com a metodologia ativa de ensino seria proporcionado o desenvolvimento da autonomia e forma de lidar com o aprendizado, construindo o seu próprio conhecimento [3, 7, 12, 13].

Percebe-se que as metodologias ativas estão intimamente ligadas com as diversas competências do aluno. Compreende-se que o método não só modifica a forma de pensar e agir dos alunos, mas também os instiga a buscar novos conhecimentos, a não aceitar as dificuldades que surgem no seu cotidiano [12, 13, 14].

E seguindo essa visão de não aceitar as dificuldades que surgem no dia a dia, e na busca da metodologia ativa de ensino mais adequada para trabalhar durante as aulas remotas, surgiram alguns questionamentos:

Quais seriam as metodologias a serem adotadas?

Poderia utilizar mais de uma metodologia ativa de ensino para uma aula?

Como avaliar meus alunos de forma remota?

Após identificar essas perguntas comecei a respondê-las da seguinte forma:

Para a pergunta 1 buscamos listar quais metodologias ativas de ensino eu conhecia e já havia trabalhado em algum momento com meus alunos. A metodologia Ativa de Ensino Aprendizado Baseado em Problemas eu já trabalhava desde 2004; A Sala de Aula Invertida já trabalhava desde 2014, porém as metodologias ativas de ensino World Café (Café Mundial) e Fishbowl (Aquário) tinha pouca experiência, mas estava disposto a

mergulhar fundo nessa experiência. A decisão de fazer dar certo partiu primeiramente de dentro de meu coração.

A partir de uma busca de publicações científicas e acabei selecionando algumas para esse primeiro momento. Foram vários dias estudando uma a uma e procurando identificar as fragilidades e fortalezas de cada. Com minha experiência em PBL desde 2004, em formulações de problemas e protocolo de tutoriais, busquei nesse momento integrar com as outras três metodologias propostas formando “O QUARTETO FANTÁSTICO”.

Percebi nesse momento que acabava de responder a questão 2 e 3.

Um grande desafio é a forma de avaliar o aluno, mas sabemos que o processo de avaliação cognitivo segue padrões diferenciados e uma singularidade. Isso me deixou mais à vontade com o tema, pois já trabalhava essas avaliações há um bom tempo, e se tornou fácil nesse momento a integração das metodologias ativas e a forma de avaliar os alunos.

Nesse sentido, busquei escolher sempre duas metodologias para trabalhar em cada aula, e percebi que isso me ajudaria na avaliação formativa do meu aluno.

Um projeto desafiador!!! Isso me alegrou!!! Me senti útil buscando garantir um aprendizado significativo a meus alunos que agora se encontravam em suas residências atrás de um computador/smartphone.

Eu imaginava o anseio desses alunos que estavam agora em uma sala de aula virtual, distantes do contato físico, do olho no olho, causado pelo distanciamento por causa da COVID-19. Tive empatia nesse momento e me alegrei em acreditar ou mesmo ter esperanças que utilizando algumas metodologias inovadoras eu conseguiria melhorar essa aprendizagem durante a atividade proposta no ensino remoto.

Mão na massa: utilizando “O Quarteto fantástico” no ensino remoto

A primeira frase que me lembro quando me deparei com o desafio de ensinar em plena pandemia da Covid-19 foi: “Como vou fazer agora para ensinar meus alunos de forma remota?” Mario Sergio Cortella diz: “Sempre tem alguém que aparece e diz: não dá pra dar um jeitinho?” Frase interessante! Mas do ponto de vista ético, sem dúvida nenhuma, demonstra uma situação que surge como desafio e o ser humano acaba buscando uma alternativa paliativa e talvez ineficiente: “dar um jeitinho!”

Me lembro de uma outra frase dita por Wendell Carvalho em uma de suas palestras disponíveis no YouTube: “O herói da sua história é você.” A grande ideia aqui é que você consiga mostrar a sua vulnerabilidade/problema, pois somente depois que tiver o problema você poderá aplicar as metodologias ativas de ensino (“Quarteto Fantástico”) na resolução desse problema e achar a solução proposta, no nosso caso, como somos professores, encontraremos os objetivos de estudo acerca daquele tema a que se refere aquela aula.

Quando ouvimos falar de “novo normal” entendemos que de novo não há nada, pois quando paramos para refletir sobre a vida, observamos que ela é mutante,

vivemos num ciclo que uma hora finaliza uma etapa para que outra etapa ou ciclo se inicie em nossas vidas.

Comecei a compreender que essa pandemia me fez parar/desacelerar e me levou para essa reflexão muito mais íntima acerca de minha vivência como ser humano.

Podemos observar (ver fig. 02) que o aluno está localizado ao centro e cercado pelas metodologias ativas de ensino (quarteto fantástico). Essa ilustração demonstra que as metodologias ativas de ensino seja qual for utilizada tem por objetivo central o estudante. Este, passa a exercer o papel protagonista nesse processo e agora as metodologias devem ser exploradas com a finalidade de proporcionar ao estudante um ensino prático e construir hábitos que serão úteis por toda a vida. Rego (2001, p. 276), ao sugerir a ideia de Lee Iacocca, segundo o qual “[...] a competitividade/educação/desenvolvimento de um país começa na sala de aula”, pois quando utilizamos as metodologias ativas de ensino como estratégias pedagógicas, proporcionamos aos nossos alunos aprenderem por meio de suas experiências de vida, por meio da problematização. Ensinamos através de técnicas/protocolos o valor do questionamento e do fazer pensar/refletir e não do memorizar.

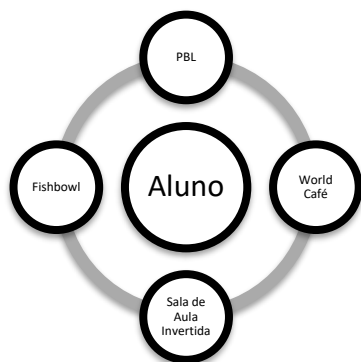


Figura 2: Ilustração demonstrando o aluno como parte integrada nesse processo de ensino-aprendizagem.

Nesse momento me deparei com a esperança de que utilizando “O Quarteto Fantástico” no ensino de maneira correta eu poderia proporcionar aos meus alunos um momento de aprendizagem real e satisfatório.

Mas sabia também que precisava deixar esse legado na educação, logo eu que aprendi com meus pais que um homem em sua vida deve construir uma família, plantar uma árvore e escrever um livro. Construir uma Família é continuar obedecendo um princípio de Deus para nossas vidas; Plantar uma árvore é proporcionar uma sombra de descanso aos que estão cansados na caminhada da vida, e dessa forma descansar na sombra de uma árvore e também refletir sobre a vida, e digo que todos nós precisamos em algum momento desse tempo para se sentar embaixo de uma árvore, contemplar suas folhas, flores e quem sabe frutos e refletir internamente.

Escrever o livro seria, disseminar conhecimento que recebi/adquiri ao longo de minha jornada e compartilhar com outros professores que estão nessa caminhada da vida profissional e pessoal.

Um professor sempre será um professor, não importa se está dentro de uma sala de aula cercado de quatro

paredes ou se está em sua casa na frente do computador em sua aula remota, ele nunca perde a essência de ensinar. Mario Sergio Cortella diz: “ensinar o que se sabe, praticar o que se ensina e perguntar o que se ignora”. Que frase impactante!!! Percebi que precisava compartilhar o que eu estava aprendendo, e buscar aprender mais a cada dia, pois o aprendizado na metodologia ativa de ensino é permanente, e isso deve começar conosco através de nossos hábitos, pois ninguém ensina o que não sabe, e o mais interessante é que nossos alunos vão aprender ainda mais pelos nossos exemplos. O nosso exemplo vai inspirar futuros profissionais brilhantes que se sentarão numa cadeira e ouvirão e testemunharão nossas ações durante a nossa jornada nesse mundo da educação, onde o palco é nossa sala de aula.

Aprendi que é praticando o que sabemos que nos tornamos mais eficiente/humano/profissional e conseguimos atingir o olhar intrigante e curioso de nossos alunos.

Aprendi que precisamos ter humildade intelectual e para que eu não me torne um ser medíocre eu preciso admitir que preciso aprender a cada dia, e que não sei o suficiente, pois nosso mundo é mutável, que se adapta quando necessário e que busca evoluir quando encontra oportunidade nas dificuldades.

Passo a relatar aqui um momento ímpar nesse processo de ensino-aprendizagem da vida real.

Percebi que as vezes é importante prestar atenção em quem não concorda com nossa opinião. Pois, quando presto atenção em algo que impede que eu me acomode, muda o patamar, isso é positivo, pois uma oposição muito bem feita, com críticas claras e objetivas, que não seja negligente, acaba me forçando a fazer melhor e não fazer apenas o que eu posso.

Isso mesmo, fazer da melhor forma, refinar/reavaliar o que planejei e melhorar ainda mais. Isso me tira da minha zona de conforto e me desafia a subir o nível inclusive da minha aula, ou de minha postura profissional frente a uma oposição bem feita.

Então agradeça quando aparecer a oposição, ela te tirará da zona de conforto e fará você subir de nível. Lembre-se, que é na pressão do fogo que são forjadas as melhores espadas!

Quando o professor entender que para ele crescer profissionalmente/intimamente ele vai precisar compartilhar suas ideias e aceitar a opinião contrária e somente dessa forma ele terá oportunidade de se tornar alguém melhor e gerar melhores resultados.

Podemos dizer que será um processo doloroso, mas que valerá a pena, pois não existe vitórias sem batalhas.

O processo de Avaliação nas metodologias ativas de ensino

A avaliação cognitiva auxilia nos processos de aprendizagem e incentivam o pensamento crítico dos discentes (CARBOGIM et al, 2017). O simples ato de depositar informações resultará na ausência do desenvolvimento crítico necessário para inserção de transformadores no mundo e quando transferimos essa

responsabilidade ao aluno podemos perceber que estamos corroborando para a formação de um profissional crítico, reflexivo e que busca o aprendizado permanente durante sua vida profissional pós-sala de aula (Freire, 2011).

Há um despertar/reavivamento acerca do processo de aprendizagem, pois o aluno utiliza as ferramentas de acordo com os protocolos exigidos para seguirem o estudo individual, que por muitas vezes segue através da mentoria individualizada pelo tutor/facilitador/mediador do conhecimento.

Em todo processo de avaliação cognitiva precisamos entender duas óticas: Avaliação Formativa e Somativa, e ambas são diferentes e necessárias na construção do conhecimento do aluno.

A avaliação formativa segue alguns critérios que podem ser pactuados em cada instituição de ensino de acordo com suas particularidades, dentre eles podemos citar alguns como:



- Habilidade em identificar e esclarecer termos desconhecidos no problema proposto;
- Levantar questões problemas e propor respostas com base em seu conhecimento prévio;
- Capacidade de gerar hipótese,
- Habilidade em elaborar objetivos de aprendizagem;
- Responsabilidade e compromisso com o método proposto;
- Saber ser crítico e reflexivo e propor soluções estratégicas;
- Participação ativa na discussão inter-pares.

Bom, passaríamos horas escrevendo aqui critérios de avaliação formativa, mas precisamos entender que cada instituição apresenta um projeto político pedagógico construído a muitas mãos e nada melhor do que fomentar a participação colegiada dos professores na construção de critérios de avaliação formativa garantindo amplo diálogo.

Com relação a avaliação somativa propomos da seguinte forma:



- Prova escrita;
- Relatórios manuscritos (para que o aluno possa escrever de próprio punho);
- Atividades em grupo e entrega dessa atividade ao tutor;
- Prova oral para que o aluno possa expor seu ponto de vista acerca do problema.

Essas são algumas sugestões que podemos seguir quando avaliar nossos alunos.

Mas cabe ressaltar que o processo de avaliação precisa ser 50% para cada uma das formas seja formativa ou somativa.

A construção do conhecimento precisa obedecer a critérios singulares direcionando a percepção do professor para cada aluno. Precisamos observar como cada aluno se comporta frente as atividades propostas e através da mentoria individualizada direcionamos uma melhor forma de avaliar o desempenho deste.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante essa pandemia da COVID-19 buscamos desenvolver algumas habilidades como professor/profissional, dentre elas cito a paciência e a perseverança.

Paciência é a habilidade de parar, analisar, refletir e planejar, para uma ação mais efetiva e pontual.

Charles Darwin elaborou a teoria da evolução. Em sua teoria, evoluir não significa avançar para melhor, mas em grego significa mudar, para melhor ou pior não sei. É aí que entra o ponto de vista de cada um, e se trata de um ponto de vista particular. Evoluir ou mudar está impresso na vida do professor.

Perseverança é a outra habilidade que busquei aprimorar, constância em todos os momentos do processo de ensino-aprendizagem, perseverar em todas as situações, pois sabemos das dificuldades que aparecem, mas somente com esse sentimento é que poderemos alcançar os objetivos propostos.

O ser humano é dotado de inteligência, mas precisamos sair da nossa zona de conforto para alcançarmos a mudança que almejamos, e quando saímos de nossa zona de conforto sabemos que vamos partir para essa mudança, e toda mudança dói, mas é necessário fazer, pois chega um momento que não há escolhas. Nesse instante você se depara com duas opções, ficar onde está com as dificuldades, ou percorrer o caminho da mudança de visão e alcançar um voo mais alto como águia. E digo com certeza que valerá a pena!

Lembre-se que você é o protagonista da sua história de vida!

Protagonismo é perceber que você mudou/evoluiu/ou se adaptou, mas, de uma forma ou de outra você agiu em busca de se tornar uma pessoa diferente, resiliente, fez uma mudança necessária para alcançar seu objetivo.

Quando deixamos nossa zona de conforto, partimos para um novo nível de aprendizagem, isso significa que compreendemos o significado de aprender. A vida é uma constante aprendizagem, e nós como professores precisamos estar focados com esta visão, e não deixarmos ela morrer, mas sim semear em novos corações, de forma que a longo prazo teremos frutos para colher na vida de nossos alunos.

Me despeço de você que se debruçou nessa leitura no mundo encantado do “Quarteto Fantástico” do ensino e que refletiu, e ressignificou, e espero ter deixado aqui essa mensagem de que a educação transforma, desenvolve, aprimora e estimula o ser humano a ser uma pessoa melhor e

contribuir na sociedade de forma saudável, sendo este um agente de transformação e incentivo a outros seres humanos.

O professor é essa pessoa, que sempre buscará a ressignificação/transformação e mesmo com poucas condições sabemos que fará a diferença na vida de seu aluno.

Referências

[1] BACICH, L.; MORAN, J. Metodologias Ativas para uma Educação Inovadora: Uma Abordagem Teórico-Prática. Penso Editora, 2017

[2] BENDER, W. N. Aprendizagem baseada em projetos: educação diferenciada para o século XXI [recurso eletrônico]. Porto Alegre: Penso, 2014.

[3] BORDENAVE JD, PEREIRA AM, organizadores. O que é ensinar. In: Estratégias de ensino-aprendizagem. Petrópolis: Vozes; 2000. p. 39-5

[4] BOROCHOVICIUS, E.; TORTELLA, J.C.B. Aprendizagem Baseada em Problemas: um método de ensino-aprendizagem e suas práticas educativas. Aval. pol. Públ. Educ., Rio de Janeiro, v.22, n. 83, p. 263-294, abr-jun. 2014.

[5] CAMPOS, L.R.G.; RIBEIRO, M.R.R.; DEPES, V.B.S. Autonomia do graduando em enfermagem na (re)construção do conhecimento mediado pela aprendizagem baseada em problemas. Rev. Bras. Enfermagem. v. 67, n. 5, p. 818-24, set-out. 2011.

[6] DOLAN, E. L.; COLLINS, J. P. We must teach more effectively: here are four ways to get started. *Molecular Biology of the Cell*, v. 26(12), 2015. Disponível em: <<https://www.molbiolcell.org/doi/abs/10.1091/mbc.e13-11-0675>>.

[7] FREIRE, P. Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa. 31. ed. São Paulo: Paz e Terra, 2005.

[8] FREIRE, P. Pedagogia do Oprimido. 50ª ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2011, 253p.

[9] GRANT, M. M. Getting a grip on project-based learning: Theory, cases and recommendations. *Meridian, A Middle School Computer Technologies Journal*, v. 5, n. 1, 2002. Disponível em: <<https://projects.ncsu.edu/meridian/win2002/514/>>.

[10] LARMER, J.; MERGENDOLLER, J. R. Seven essentials for project-based learning. *Educational leadership*, v. 68, n. 1, p. 34-37, 2010.

[11] MARKHAM, T.; LARMER, J.; RAVITZ, J. Aprendizagem baseada em projetos: guia para professores de ensino fundamental e médio [recurso eletrônico]. 2 ed. Porto Alegre: Artmed [versão impressa], 2008. RIBEIRO, L. R. C. Aprendizagem baseada em problemas (PBL): uma experiência no ensino superior. São Carlos: EDUFSCAR, 2008.

[12] HAYD, R.L.N.; BARBOSA, I.N.; HAYD, A.A.M.; O Quarteto Fantástico: Metodologias Ativas de Ensino. 1. Edição. Editora dos Autores. , 2021.

[13] LEMOS, D.L.; PIRES, B.H.V.; MELO, A.M.R.; SIQUEIRA, P.E.L.; HAYD, R.L.N. A Relação da Aprendizagem Baseada em Problemas na Formação Integrativa do Enfermeiro. *Revista Mens Agitat*, vol. 14 (2019) 20-24. ISSN 1809-4791.

[14] REGO, A. Eficácia comunicacional na docência universitária: a perspectiva de estudantes e professores. *Psicologia: Teoria e Pesquisa*, v. 17, n. 3, p. 275-284, 2001.



Escolarização e Desafios da Inclusão de Pessoas Portadoras de Esquizofrenia

Augusto Luís dos Santos Costa¹, Lyvia Rafaelle Martins Serra Costa², Cícero Wellington Brito Bezerra^{3*}

¹*Departamento de Química, Universidade Federal do Maranhão, Av. dos Portugueses, 1966 - Vila Bacanga, São Luís - MA, 65080-805*

²*Bacharel em Enfermagem*

Abstract

The real cause of schizophrenia is not known for certain in the scientific field, there are theories. What is known, and this is a fact, is that it is an incapacitating illness that worsens over time. However, the advances in treatment have changed the perspective of the sufferer's life. Therefore, this article aims to analyze the educational perspective and the dilemmas and challenges to guaranteeing an inclusive education for people with schizophrenia. The method used was a descriptive, exploratory, and retrospective bibliographic review. Among the main results found, the stigma presents itself as the primary factor that hinders the inclusion of these people, followed by the lack of education and training of teachers. We conclude that new didactic approaches are essential for the educational development of people with schizophrenia.

Keywords: Schizophrenia, Difficulty, Learning, Cognitive, Inclusion, Mental disorder, Psychosis

1. INTRODUCTION

A Organização Mundial da Saúde - OMS, define a esquizofrenia como um transtorno mental grave, caracterizado por alterações do pensamento, linguagem, emoções, capacidade de percepções, etc (OMS, 2022)^[1]. Trata-se de uma doença que pode levar ao comprometimento cognitivo, emocional e comportamental do indivíduo (Afonso et al., 2020)^[2].

Epidemiologicamente sabe-se que no ano de 2016, estimavam-se 21 milhões de portadores da esquizofrenia em

todo o mundo. No Brasil a prevalência equivale a 1,6 milhões de pessoas. Sua etiologia é desconhecida, e o diagnóstico é estritamente clínico, sendo realizado conforme os numerosos sinais e sintomas apresentados, dentre os quais incluem: sintomas positivos, também denominados de psicóticos; sintomas negativos; sintomas cognitivos e alterações no humor, tornando as pessoas apáticas e depressivas. Pela cronicidade e gravidade da doença, a OMS considera a esquizofrenia entre as 10 maiores causas possíveis de tornar uma pessoa incapaz. (Gadelha et al, 2021)^[3].

* Autor correspondente: cwb.bezerra@ufma.br

Todavia durante os últimos anos com a evolução do tratamento, através do descobrimento de novos fármacos e o desenvolvimento das terapias, os sintomas têm sido minimizados e o transtorno estabilizado, transformando a vida das pessoas com esquizofrenia, que deixaram de viver em manicômios e puderam ser inseridos na sociedade em geral, permitindo até a continuidade de estudos e atividades laborais. Contudo esse desenvolvimento não foi acompanhado por transformações sociais que garantisse a participação dos indivíduos com esquizofrenia na vida cotidiana, sendo um grande desafio até os dias atuais. (Wagner & Borba & Silva, 2015)^[4].

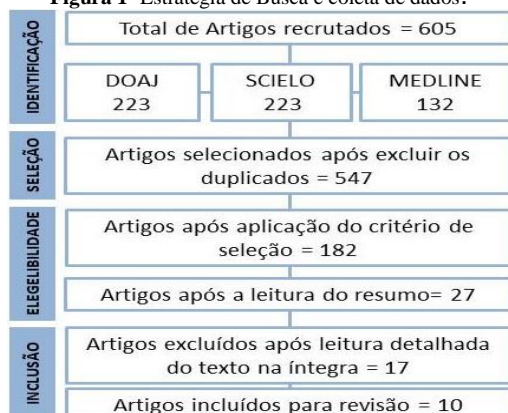
Frente ao exposto e no âmbito educacional, buscou-se neste estudo analisar as principais dificuldades de aprendizagem de pessoas com diagnóstico de esquizofrenia, assim como conhecer quem é o portador de esquizofrenia e o que pode ser feito para promover o direito de educação, garantido pela Constituição de 1988, a qual diz que a educação é um direito de todos.

2. METODOLOGIA

O presente artigo trata-se de uma revisão bibliográfica do tipo descritiva, exploratória e retrospectiva. A questão norteadora desta pesquisa foi: Quais as principais dificuldades de aprendizagem de pessoas com diagnóstico de esquizofrenia e como superá-las. A busca pelos artigos ocorreu na plataforma Periódicos Capes através das seguintes bases de dados: Directory of Open Access Journals (DOAJ), Scientific Electronic Library Online (SciELO), Medical Literature Analysis and Retrieval System Online (MEDLINE). Foram utilizados as seguintes palavras chaves: “Esquizofrenia”, “Dificuldade”, “Aprendizagem”, “Cognitivo” e os seguintes operadores booleanos: AND/OR.

Foram adotados os seguintes critérios de inclusão: indexação nas bases de dados já mencionadas, artigos disponibilizados na íntegra, no idioma português e inglês e publicação entre janeiro de 2012 a maio de 2022. A amostra da pesquisa foi composta por 605 artigos (Figura 1). Contudo realizou-se a aplicação dos critérios e elegibilidade, obtendo uma amostra final de 182 artigos. Realizou-se ainda a exclusão dos artigos de acordo com os seguintes critérios: artigos cujo título ou resumo fugiram do objetivo do presente trabalho. Após leitura detalhada foram escolhidos para compor o rol de 10 artigos por terem extrema relevância para o estudo.

Figura 1- Estratégia de Busca e coleta de dados.



Fonte: COSTA; COSTA; BEZERRA, 2022.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A amostragem desse estudo foi composta por 10 artigos, escolhidos por atender os objetivos propostos na pesquisa, os quais estão representados no Quadro 1, de acordo com as seguintes variáveis: autor(es), tipo de estudo e ano.

Quadro 1 – Apresentação da amostra do estudo.

| Nº | Autor(es) | Título | Tipo de Estudo | Ano |
|----|--|---|---|------|
| 1 | Cícero et al ^[5] | Déficits de aprendizado por reforço em pessoas com esquizofrenia persistem após testes prolongados. | Pesquisa probabilística qualitativa. | 2014 |
| 2 | Lima; Espíndola. ^[6] | Esquizofrenia: Funções Cognitivas, Análise do Comportamento e Propostas de Reabilitação. | Revisão Sistemática da Literatura. | 2014 |
| 3 | Vasconcelos. ^[7] | A relação entre sintomas negativos e cognição social na esquizofrenia. | Revisão Sistemática da Literatura. | 2014 |
| 4 | Boff; Forchesatto; Ravasio. ^[8] | Estudo cognitivo em sujeitos com esquizofrenia de um Centro de Atendimento Psicossocial (CAPS). | Pesquisa qualitativa, descritiva e transversal. | 2018 |
| 5 | Macedo et al. ^[9] | Esquizofrenia, atividades instrumentais de vida diária e funções executivas: uma abordagem qualitativa. | Análise Fenomenológica Interpretativa. | 2018 |
| 6 | Assis. ^[10] | A Inclusão de estudante com o transtorno da esquizofrenia: Um estudo de caso realizado em uma escola municipal de Recife. | Estudo de caso. | 2020 |
| 7 | Bombassaro. ^[11] | Perfil neuropsicológico de pacientes com esquizofrenia. | Estudo Bibliográfico. | 2020 |
| 8 | Monteiro. ^[12] | Esquizofrenia e o Processo Educacional. | Estudo Bibliográfico. | 2020 |
| 9 | Santos; Santana. ^[13] | Inclusão de crianças e adolescentes com esquizofrenia ou psicoses a partir do olhar do professor e de equipe terapêutica. | Estudo Bibliográfico. | 2020 |
| 10 | Tostes et al. ^[14] | Esquizofrenia e cognição: entendendo as dimensões atencionais, perceptuais e mnemônicas da esquizofrenia. | Estudo Bibliográfico. | 2020 |

Fonte: COSTA; COSTA; BEZERRA, 2022

Pode-se observar que dentre os artigos selecionados o tipo de pesquisa prevalente é o estudo bibliográfico e que todos eles versam sobre a questão de escolarização de pessoas portadoras de esquizofrenia, como ocorre a inclusão e, sobretudo, acerca das principais dificuldades enfrentadas por essas pessoas no contexto educacional. O que pode ser visto no Quadro 2, o qual refere o objetivo de cada estudo e os principais resultados, a seguir.

Quadro 2 - Apresentação da amostra do estudo por objetivo e principais resultados.

| Nº | Objetivo | Resultados |
|----|--|---|
| 1 | O estudo teve como objetivo examinar se pessoas com esquizofrenia apresentam déficits na aprendizagem quando recebem mais tempo para aprender contingências, avaliando tempo de execução das tarefas e resposta ao <i>feedback</i> . | Após aplicação de inúmeros questionários em pessoas com esquizofrenia e não esquizofrênicos, observou-se que: <ul style="list-style-type: none"> • a aprendizagem dos portadores de esquizofrenia ocorre de maneira mais lenta; • pessoas com esquizofrenia tem um déficit no aprendizado por recompensas; e • que a escolaridade dos pais de pessoas com esquizofrenia não interfere no déficit de aprendizagem por reforço. |
| 2 | Fazer um levantamento sobre os prejuízos cognitivos encontrados na esquizofrenia e indicar estratégias de reabilitação a partir da análise do comportamento. | As funções cognitivas mais afetadas, são: velocidade de processamento, memória (de trabalho, de aprendizagem e de aprendizagem visual), raciocínio, soluções de problemas, cognição social e atenção/vigilância. A reabilitação deve estar focada na cognição e na análise do comportamento. |
| 3 | Verificar quais conhecimentos já foram levantados a respeito da associação entre a severidade dos sintomas negativos e os déficits em cognição social em pacientes com esquizofrenia e transtornos associados. | Os resultados trazem relações regulares entre cognição social e sintomas negativos, como o embotamento afetivo, alergia, avolição, anedonia e isolamento social. Os quais se demonstraram resistentes a ações farmacológicas. Outro aspecto revelado é a relação com os déficits cognitivos e esses sintomas negativos. Em média 85% das pessoas esquizofrênicas apresentam déficits cognitivos graves, e mesmo naqueles não tão prejudicados, as funções cognitivas estão diminuídas em relação aos níveis educacionais da população em geral. |
| 4 | Identificar os principais déficits cognitivos com relação a aprendizagem de matemática. | Os sujeitos que participaram do estudo apresentaram baixa capacidade de raciocínio lógico matemático e de formulação de conceitos, ou seja, dar significado ao problema. Fato evidente, pois apesar dos resultados demonstrarem que muitos conseguiram responder algumas questões mais simples, mostrando algum conhecimento na infância, ao reconhecer numerais, a medida que as questões foram aumentando o nível de complexidade, foi diminuindo o percentual de acertos, ficando evidente o déficit na vida autônoma. |
| 5 | Identificar os potenciais e dificuldades de | O estudo revela que, a execução de atividades instrumentais de vida diária por pessoas com esquizofrenia é |

| | | |
|---|--|---|
| | pessoas com esquizofrenia diante da realização de atividades instrumentais da vida diária. | prejudicada, atividades consideradas básicas do ser humano, como arrumar a casa, andar de ônibus, cozinhar, entre outras que dão autonomia e qualidade de vida, são prejudicadas principalmente, pela falta de vontade e significado do porque fazer. Percebeu-se ainda, que quando as tarefas são realizadas, a pessoa com esquizofrenia não consegue monitorar a qualidade do seu serviço, como também a necessidade de fazer a partir de uma ordem, decisão já tomada, evidenciando mais uma vez a perda da autonomia. As principais dificuldades encontradas foram: <ul style="list-style-type: none"> • Diminuição da capacidade de decisão; • Incapacidade de mudar de opinião, ou seja, pensamento inflexível; e • Dificuldade em realizar o planejamento ou organização de atividades. |
| 6 | Expor e refletir sobre a inclusão de estudantes com Deficiência Intelectual com o diagnóstico de transtorno da Esquizofrenia no sistema regular de ensino em uma escola pública municipal de Recife, Pernambuco. | O estudo evidenciou que a instituição de ensino, enquanto espaço de formação humana, enquanto promotora de vivências e experiências, de trocas e interações, é carente continuamente de fomentar o direcionamento e redirecionamento de ações que completam as variedades humanas. Constatou-se, também, que nem todos os profissionais incorporam as complexidades que envolvem o processo de inclusão para além da absorção no contexto educacional, frisando a necessidade de se apresentar processos formativos em serviço aos professores e técnicos envolvidos, com a intenção de ampliar a promoção, diversificação e adequação dos artifícios pedagógicos, fomentando estratégias e metodologias diferenciadas que possam trazer uma melhor intervenção pedagógica possível. |
| 7 | O objetivo deste estudo foi realizar uma revisão sistemática da literatura sobre o dinamismo de adultos com esquizofrenia para manifestar o quadro de funcionamento cognitivo e apontar quais funções cognitivas encontram-se comprometidas nesta população. | Foi avaliada a relação entre os traumas vivenciados pelas pessoas com esquizofrenia e os prejuízos no desempenho cognitivo, sendo as principais áreas afetadas a: memória, sobretudo a visual; déficits na velocidade de processamento e funções executivas. |
| 8 | Pesquisar as dificuldades de desenvolvimento, de aprendizagem e de relacionamento dos esquizofrênicos diagnosticados na infância, investigando meios para a melhoria do processo educacional e integrá-los à sociedade, sem que sejam discriminados. | Foi possível observar que o aluno com esquizofrenia demanda uma série de profissionais capacitados, atuando com criação de programas de aprendizagem focados nas reais necessidades do aluno. Entre as metodologias, relatou-se a proposição de metas de aprendizagem e desempenho, incentivando o interesse do aluno, atuando nos sintomas negativos como na avolição. |

| | | |
|----|---|---|
| 9 | Descrever acerca da inclusão de crianças e adolescentes com esquizofrenia ou psicoses a partir do olhar do professor e de equipe terapêutica. | Foi observada a carência de informações por parte dos profissionais de educação acerca de crianças e adolescentes na condição de portadores de esquizofrenia. |
| 10 | Argumentar que há importantes disfunções cognitivas com severas consequências na atenção, na função executiva, em memória operacional e de trabalho, entre outras tanto nas dimensões atencionais, perceptuais e mnemônicas da esquizofrenia. | Os resultados da pesquisa mostram que tais déficits podem estar presentes antes dos sintomas positivos ou mesmo, de maneira subsindrômica, desde o início da vida dessas pessoas. Diz também que a hipótese dopaminérgica é a mais aceita na gênese das disfunções neuroquímicas, mas que há cada vez mais evidência o envolvimento de outros sistemas, como o glutamatérgico e o serotoninérgico. No que se refere especificamente aos déficits cognitivos, destacam-se disfunções em córtex pré-frontal, especialmente sua porção dorsolateral e suas conexões com o hipocampo. |

Fonte: COSTA; COSTA; BEZERRA, 2022

O objetivo deste estudo foi identificar quais os principais fatores desencadeadores de déficits no desempenho da pessoa com esquizofrenia; abordar alternativas que norteiem o trabalho do professor e identificar como anda a inclusão dessas pessoas em sua escolarização.

Nesse contexto, foi realizada leitura e análise criteriosa dos artigos selecionados e em seguida, foram organizados em 4 categorias: 1) Perfil sociodemográfico do aluno esquizofrênico 2) que dificultam o desempenho acadêmico e 3) Intervenções que promovam a inclusão e auxiliem na aprendizagem do aluno com esquizofrenia.

3.1. Perfil sociodemográfico do estudante esquizofrênico

A primeira análise foi referente ao perfil sociodemográfico da pessoa com esquizofrenia, sendo etapa importante para a compreensão sobre a vida do esquizofrênico e nortear ações a serem desenvolvidas com esse grupo.

Dentre os 10 artigos selecionados, apenas 5 trouxeram um panorama com os seguintes dados: idade, sexo, escolaridade e estado civil. Constatou-se que, no critério idade os participantes apresentavam entre 25 a 50 anos; já com relação ao sexo, a predominância foi para indivíduos do sexo masculino tendo uma baixa fração de participantes do sexo feminino; sobre a escolaridade, esta foi avaliada de acordo com a quantidade dos anos de estudo, durando em média 12 anos, sugerindo uma escolaridade de nível fundamental ao médio, o que pode ser explicado pelas primeiras manifestações da doença, que ocorre por volta dos 18 anos, dificultando a progressão dos estudos no nível superior.

Por fim, foi avaliado o estado civil dos participantes, sendo em grande parte pessoas solteiras, apesar de existir uma parcela ínfima de pessoas casadas e divorciadas, o que pode ser explicado pela dificuldade do convívio, da interação e comunicação social, e devido a própria sintomatologia da doença. (Tabela 1)

Tabela 1 – Dados sociodemográficos.

| Variáveis | Descrição | Total |
|--------------|--------------|---|
| Idade | 10 – 17 anos | 0% |
| | 18 – 25 anos | 10% |
| | 26 – 35 anos | 90% |
| | (ou acima) | |
| Sexo | Masculino | Predominância do sexo Masculino. |
| | Feminino | |
| Escolaridade | - | Em média 12 anos de estudo. |
| Estado civil | Solteiro | Predominância do estado civil Solteiro. |
| | Casado | |
| | Divorciado | |

Fonte: COSTA; COSTA; BEZERRA, 2022

Os achados estão consoantes ao dito pelos estudiosos da área, inclusive Alvarenga & Andrade (2008)^[15] afirmam que os homens possuem uma maior susceptibilidade a desenvolver esquizofrenia, versando entre 1,4 a 2,3 vezes, em comparação com as mulheres. Cujas a idade de manifestação varia entre 15 a 25 anos para homens e 25 a 35 anos para mulheres.

Alvarenga & Andrade (2008)^[15], reiteram que casos de esquizofrenia na infância são raros, assim como após os 50 anos. Todavia, no segundo grupo, sabe-se que a prevalência é em mulheres, o que pode ser explicado pela perda da proteção estrogênica.

Crepalde et al (2016)^[16], corroboram com esses achados ao pautarem que os portadores de esquizofrenia em grande parte não possuem parceiros, tem um baixo nível de escolaridade e não possuem vínculo empregatício, fatores que são reflexo da dificuldade apresentada em manter relações interpessoais e pelo processo evolutivo da doença, que acaba afetando a cognição do portador.

3.2. Principais fatores que dificultam o desempenho acadêmico

As principais características afetadas pela esquizofrenia, relevantes para o desempenho educacional e para qualidade de vida do portador, são as características cognitivas e funcionais. Os artigos selecionados para essa pesquisa, elencam uma série de alterações perceptíveis desde a fase mórbida ou seja, antes dos primeiros sintomas surgirem, podendo perdurar por toda a vida, se não houver reabilitação efetiva. Sendo que a reabilitação não depende somente de uma equipe multiprofissional, mas de todo um contexto familiar, escolar e pessoal.

Dos 10 artigos selecionados, 6 artigos listam como principais déficits cognitivos: a memória, atenção/vigilância, solução de problemas e raciocínio, função executiva, cognição social e velocidade de processamento (Tabela 2).

Tabela 2 – Principais déficits cognitivos

| Déficits | Significação |
|--------------------|---|
| Memória | Pode ser memória de trabalho, visual, auditiva ou verbal, referindo-se à capacidade de recordar informações verbais, visuais e auditivas, e manipular informações para utilização imediata. |
| Atenção/Vigilância | Capacidade de manter-se focado em algo ou alguma atividade. Divide-se em: seletividade (manter-se atento a um estímulo e outro concorrente); sustentação (manter-se atento |

| | |
|-----------------------------------|--|
| | numa única atividade repetida sem perda da qualidade). |
| Solução de problemas e Raciocínio | Capacidade de solucionar e responder questões que revertam um problema, procurando entender atos e fatos, formulando ideias e elaborando juízos. |
| Função Executiva | Capacidade de trabalhar com informações, deixar os pensamentos focados e verificar distrações. |
| Cognição Social | Conjunto de operações mentais que estabelecem relações sociais. Exemplo: interpretação, percepção e respostas a intenções de terceiros. |
| Velocidade de Processamento | Rapidez em executar tarefas simples que possam demandar o funcionamento de processos executivos. |

Fonte: COSTA; COSTA; BEZERRA, 2022

Outros fatores que causam prejuízo significativo no desempenho acadêmico e nas atividades cotidianas da pessoa com esquizofrenia referem-se ao próprio quadro de sintomas manifestos pela doença, com ênfase para os chamados sintomas negativos, pois são mais resistentes a ação medicamentosa e estão presentes de maneira sutil, antes da manifestação da doença. São eles: alolia, embotamento afetivo, avolição, anedonia e isolamento social (Tabela 3).

Tabela 3 – Principais déficits cognitivos

| Déficits | Significação |
|---------------------|--|
| Alogia | Pobreza de expressão, redução no acervo do discurso e da fala, escassez da fluência conversacional. |
| Embotamento afetivo | Diminuição da intensidade e da abrangência de expressões emocionais (entonação da voz, expressão facial, gestos e movimentos corporais). |
| Avolição | Perda da capacidade em expressar emoções e sentimentos, Indiferença, deficiência na iniciação e manutenção de comportamentos direcionados a objetivos determinados (trabalho, estudo, esportes, atividades cotidianas, higiene pessoal, etc.) especialmente quando requerem esforço. Déficit no desejo de se engajar nesses comportamentos. Relacionada à apatia e à falta de energia. |
| Anedonia | A antecipação de uma recompensa ou de qualquer outra atividade prazerosa ou recreacional (anedonia antecipatória) é mais marcada e consistentemente prejudicada do que a apreciação da experiência em si (anedonia consumatória). |
| Isolamento social | Diminuição do interesse, motivação e apreciação de interações sociais com terceiros, como família e amigos. Perda de interesse em relações íntimas (sexuais) independente de problemas somáticos. Em crianças, pode corresponder à perda de interesse em brincar com os outros. |

Fonte: COSTA; COSTA; BEZERRA, 2022

Portanto, a soma desses fatores afeta consideravelmente a execução de tarefas rotineiras e indispensáveis na vida do ser humano, como andar de ônibus, fazer compras, pagar contas, organizar suas finanças, realizar atividades domésticas, etc. Atingindo dentre outras questões, a capacidade de manter relacionamentos, e principalmente, a autonomia dessas pessoas, pois demonstram necessitar de constante orientação.

Beck (2009)^[17] expôs que de fato ocorre um empobrecimento do funcionamento tanto social quanto ocupacional, relacionados ao grau de manifestação de sintomas negativos, resultando numa qualidade de vida

inferior. Ademais, o estudo demonstrou que a sintomatologia negativa se estabiliza ou aumenta com o passar dos anos, enquanto os sintomas positivos (delírios, mania de perseguição, ouvir vozes, etc.) tendem a diminuir, porém, essa diminuição não significa o desaparecimento dos sintomas positivos. Este fato nos auxilia na conclusão de que os sintomas negativos são aspectos primários da esquizofrenia.

Outra contribuição de Beck (2009)^[17] diz respeito a dificuldade de relacionar-se com o outro, pois a pessoa com esquizofrenia manifesta uma sensação de perda de controle dos seus pensamentos (sintomas positivos – mania de perseguição), sendo difícil por exemplo, manter uma conversa, ou no âmbito acadêmico, participar de um debate grupal. Todavia, muitos possuem forte o desejo de suprir as expectativas sociais, e este fato é determinante para desencadear o isolamento social diante das dificuldades, como em comunicar-se, e por terem o sentido aguçado a rejeição.

Pessoas com esquizofrenia distraem-se facilmente, possuem dificuldade em planejar e produzir algo, como também na solução de problemas cujas questões possuem textos com soluções implícitas. Para eles, tudo tem que estar da maneira mais clara possível, seja na resolução de uma atividade acadêmica a uma simples conversa, o contexto deve ser o mais claro e objetivo possível (Beck, 2009).^[17]

Pontes & Elkis (2013)^[18] reforçam que é difícil fazer uma estimativa precisa do quanto é comum a presença de déficits cognitivos, mas que cerca de 40% a 60% das pessoas com esquizofrenia apresentam algum prejuízo cognitivo. Porém, afirmam que os déficits não devem ser analisados de maneira isolada, pois a esquizofrenia possui uma diversidade de fatores, com grande variação dos sintomas, empobrecimento funcional e pelo próprio curso da doença.

Amorim et al. (2017)^[19] corroboram ao afirmarem que a avaliação da capacidade funcional sozinha, não é suficiente para explicar a funcionalidade do dia-a-dia, devendo avaliar ainda, fatores pessoais como a atitude e motivação, e os fatores ambientais e culturais (como o local de convívio). Logo, a pessoa com esquizofrenia necessita de um suporte que considere toda a gama de problemas, para que ocorra a readaptação e reinclusão do esquizofrênico na sociedade.

3.3. Intervenções que promovam a inclusão e auxiliem na aprendizagem do aluno com esquizofrenia

Concernente a inclusão de pessoas com esquizofrenia, mostra-se ser algo muito desafiador. Fato que ficou evidente, pela escassez de trabalhos que envolvem o tema, principalmente quando se trata do ensino superior.

Dos trabalhos que compõem os resultados dessa pesquisa, 04 artigos socializam sobre o aspecto inclusão escolar, dentre estes, todos focaram na inclusão durante o ensino básico.

Apesar de existirem inúmeras políticas públicas, como a Lei Brasileira de Inclusão de 2015, a Portaria nº 3.284/2003 e o Decreto nº 3.298/1999, mecanismos legais utilizados para nortear o dever da Instituição de Ensino Básico ao Superior em oferecer o acesso, mas sobretudo a adaptação escolar e o suporte necessário para a permanência das pessoas com deficiência de modo global. O estudante com deficiência, em

especial a deficiência intelectual/mental, convive com a exclusão (Freitas & Baqueiro, 2014).^[20]

Freitas & Baqueiro (2014)^[20] demonstram essa exclusão ao coletarem dados em 2013, do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira – INEP, onde comprovam que a representatividade da população em estudo é mínima, pois dentre 24% da população brasileira que convive com algum tipo de deficiência, menos de 1% dessa população chega ao ensino superior. Isso sem citarmos a permanência desses alunos. O que nos leva a indagar, se entram menos de 1%, quantos chegam de fato a se formar no ensino superior?

Para Fachinetti & Carneiro (2020)^[21] esses dados são reflexos da falta de informação da população da possibilidade de processo seletivo adaptado; da falta de ações institucionais que não consideram as especificidades do aluno; do despreparo dos alunos pelos professores, para a realização de provas de vestibular; e, da própria inércia institucional frente ao que pode ser feito para garantir a educação inclusiva, para que saiam do âmbito das políticas públicas e ideais de inclusão, e de fato se iniciem as ações, dando perspectivas de qualidade de vida para o aluno. Como nos casos de se respaldarem em laudos pelo insucesso do aluno diante da aquisição de um conteúdo, promovendo-o a passar de ano sem as devidas intervenções e adaptações. Problema que vai cada vez mais aumentando e se enraizando na educação, especialmente nas escolas públicas.

Precisamos dar voz a essa população, e principalmente, para as pessoas que sofrem com esquizofrenia, pois além de todos os desafios da doença em si e da superação em ter uma vida dentro do que a sociedade considera normal, existem barreiras entranhadas nesta mesma sociedade, dentre elas o lidar com o preconceito, e aqui citamos o primeiro elemento a ser trabalhado pelas instituições para garantir que a inclusão escolar de pessoas com esquizofrenia aconteça, a derrubada de estigmas.

Noto & Bressan (2012)^[22] potencializam a importância de se combater o estigma contra a doença, ao afirmarem que as pessoas com esquizofrenia enfrentam uma luta com duas vertentes, onde de um lado esta o fato de lidar com a incapacidade oriunda da doença e das manifestações de sintomas, e do outro, o lidar com as estereotípicas, com preconceitos e discriminação social. Tendo um agravante, frente a tudo de negativo que o preconceito pode trazer, ele é um dos maiores obstáculos para a adesão ao tratamento indispensável para o portador de esquizofrenia. Os autores contribuem ainda, ao afirmarem que, a nível mundial, não existe nenhum país, nenhuma cultura, que considere que uma pessoa com doença mental tenha o mesmo valor que pessoas sem nenhum problema mental.

Torna-se extremamente necessário o planejamento e aplicação de estratégias de ensino que mirem no respeito ao indivíduo, compreendendo e sabendo lidar com possíveis dificuldades e comportamentos considerados inapropriados (Ferreira et al., 2011)^[23]. A falta de informação é o fator mais importante para propagar os mitos acerca da esquizofrenia, portanto ações formativas para todos os profissionais fazem-se necessárias (Noto & Bressan, 2022).^[22]

Fideles et al. (2020)^[24] corroboram ao enfatizarem sobre a necessidade de criar estratégias para envolver todo o corpo de profissionais da instituição de ensino, desde profissionais de suporte, como técnicos administrativos, profissionais da limpeza até ao corpo docente, pois o aluno pertence a escola e não somente a um professor.

A inclusão escolar além de assumir o papel terapêutico faz como que ela seja para todos os alunos, auxiliando no aprendizado e enfrentamento das dificuldades para a pessoa com esquizofrenia, como também para incentivar o respeito e cooperativismo para os demais alunos.

A estruturação de uma Instituição de ensino voltada para alunos com necessidades de aprendizagem peculiares, faz-se da carência de profissionais e professores capacitados para atender a individualidade de cada aluno, com efeito, torna-se indispensável a adoção de uma equipe multiprofissional, como psiquiatra, psicólogo, assistente social, educadores físicos e terapeutas ocupacionais, a nível extramurais, e institucionalmente, além do professor, o psicopedagogo e o professor de suporte pedagógico (professor tutor), qualificados para a educação especial, traçando meios para que a aprendizagem seja despertada e o desenvolvimento do aluno seja alcançado (Ferreira et al., 2011).^[23]

Neste ponto, os artigos demonstraram que para os professores regulares das disciplinas, a inclusão do aluno com esquizofrenia é possível, porém muito obscura no cenário atual. Dias (2017)^[25] revela que o sentimento dos professores é de frustração, pois alegam a falta de discussão sobre o tema na academia, durante o seu processo de formação. Muitos relatam não terem sido preparados para o lidar com pessoas com necessidades especiais. Além da falta de estrutura e suporte de muitas escolas, ficando claro o compromisso e vontade desses profissionais em fazer a inclusão acontecer, porém perdidos diante do processo de ensino e aprendizagem, por não existirem alternativas e recursos disponíveis, e não possuírem ao menos a noção do que seja a doença.

Considerando o curso de Licenciatura em Química, Sampaio (2017)^[26] evidencia que a Educação Inclusiva, no que se refere ao ensino da química, consiste na quebra de barreiras para a aprendizagem, por ser uma disciplina de difícil compreensão. Portanto, ao preparar professores para atuação no Ensino Médio, faz-se necessário além do estudo de temas específicos da Química, estudar conteúdos referente a educação, como processos de ensino e aprendizagem de Química, currículo, didática, entre outras. Contudo, assim como em Dias (2017)^[25], os professores investigados mostraram-se despreparados diante da realidade de uma sala de aula inclusiva. Reforçando a necessidade de se trabalhar o tema de Inclusão na grade curricular de Licenciatura em Química.

Desde dezembro de 1994, com a Portaria nº 1793, é recomendada a inclusão de disciplinas que contemplem a educação inclusiva, todavia, a maioria dos cursos de graduação em licenciatura não oferecem (Sampaio, 2017).^[26] Portanto sugere-se que as instituições de ensino superior façam a previsão da organização curricular à formação de docentes capacitados para lidar com a diversidade, incluindo programa de estágios em escolas inclusivas (Dias, 2017).^[25]

Referente a prática docente, os estudos que compõem a grade de resultados desta pesquisa, recomendam que a aprendizagem das pessoas com esquizofrenia ocorra por reforço ou recompensa, ou seja, que se estabeleçam metas de aprendizagem. Como já vimos, dentre diversos fatores que prejudicam a aprendizagem de alunos diagnosticados com esquizofrenia, destaca-se a desmotivação, a falta de interesse por algo, além da concentração e atenção prejudicadas. Traçar metas com os conteúdos a serem trabalhados e alcançados, como também determinar uma recompensa, instiga o aluno a querer aprender, motivando-o.

Tavares et al (2020)^[27] enfatizam que o uso de jogos didáticos auxiliam na melhor compreensão e assimilação do conteúdo pelos indivíduos com esquizofrenia, citando o jogo de tabuleiro, onde muitos dos alunos que participaram dos jogos atingiram um bom desempenho. Dessa forma percebe-se que as intervenções que considerem atividades lúdicas como jogos, brincadeiras, experimentos, criação de maquetes, uso de softwares em locais onde seja possível, desenhos, atividades que estimulem o raciocínio e dinâmicas, contribuem significativamente para o aprendizado do aluno com esquizofrenia (Ferreira et al., 2011).^[23]

De acordo com Dias (2017)^[25] é essencial o uso de aulas práticas, pois elas despertam o interesse e estimulam a curiosidade do aluno, facilitando o entendimento dos conteúdos dados em sala de aula. Contudo, é importante que a realização dessas práticas, sejam desenvolvidas com materiais de baixo custo, trabalhando a sustentabilidade e contextualizando o dia-a-dia do aluno com os temas a serem estudados. Vale lembrar, que a utilização desses recursos não só podem, mas devem ser realizados por todos os alunos, pois todos podem revelar algumas dificuldades que podem ser sanadas com a utilização desses recursos didáticos (Sampaio, 2017).^[26]

Diante de tudo o que já foi mencionado, percebe-se que o trabalho do professor tem exigido cada vez mais especialização e capacitação. A adaptação das estratégias de ensino é indispensável no ambiente da sala de aula.

4. CONCLUSÃO

O presente estudo deu ênfase às necessidades de intervenções para que ocorra o aprendizado de pessoas com esquizofrenia, sobretudo no que concerne ao ensino da Química.

Foi possível perceber as principais dificuldades de aprendizagem, e no quanto elementos como o preconceito, a falta de informação, conhecimento sobre a doença e o despreparo na formação acadêmica de professores, influenciam no baixo desenvolvimento do aluno. No entanto, quando as pessoas com essa doença, passam a ser atendidas por diversos profissionais, e vistos como seres humanos capazes de galgar voos altos, a perspectiva de vida muda.

Bressan & Grohs & Gadelha (2017)^[28] afirmam a cerca de estudos recentes, os quais tem demonstrado que grandes parcelas de portadores de esquizofrenia conseguem atingir uma melhora tão significativa, que tem mudado o rumo de suas vidas e conquistas pessoais.

Precisamos destacar ainda a relevância da família no processo de aceitação e conhecimento da doença, que quando bem orientadas funcionam como propulsores para que esse feito seja alcançado.

Reforçamos que o enriquecimento das abordagens didáticas em sala de aula, seja aplicada de maneira simples e objetiva. Para que possa potencializar o aprendizado do aluno com esquizofrenia, esse é um grande desafio. Porém, no exercício da profissão, desafios virão a todo o momento, sendo extremamente necessário que o professor compreenda a importância do seu papel em fomentar uma educação e uma sociedade inclusiva.

REFERENCIAS

[1] ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE - OMS. *www.paho.org*, 2022. Transtornos mentais. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/topicos/transtornos-mentais#:~:text=A%20esquizofrenia%20C3%A9%20um%20transtorno,d%20%20E2%80%9Ceu%20e%20%20comportamento..> Acesso em: 18 jun de 2022.

[2] AFONSO, Rute et al . Os sinais neurológicos motores discretos em indivíduos com e sem esquizofrenia. *Revista Portuguesa de Enfermagem de Saúde Mental*, Porto , n. 26, p. 21-39, dez. 2021 . Disponível em <http://scielo.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1647-21602021000200021&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 15 jul. 2022. Epub 30-Dez-2021. <https://doi.org/10.19131/rpsm.308>

[3] GADELHA, Ary da; NARDI, Antonio E.; SILVA, Antônio G. *Esquizofrenia: teoria e clínica. (Teoria e clínica)*. Porto Alegre: Artmed: Grupo A, 2021. 9786581335380. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786581335380/>. Acesso em: 19 jul. 2022.

[4] WAGNER, L. C., BORBA, E. C., SILVA, M. S. S. *Inclusão Ocupacional: Perspectiva de Pessoas com Esquizofrenia. Psicologia em Estudo*, vol. 20, núm. 1, pp. 83-94, 2015 - Departamento de Psicologia - Universidade Estadual de Maringá

[5] CÍCERO DC, Martin EA, Becker TM, Kerns JG. Reinforcement learning deficits in people with schizophrenia persist after extended trials. *Psychiatry Res*. 2014 Dec 30;220(3):760-4. doi: 10.1016/j.psychres.2014.08.013. Epub 2014 Aug 15. PMID: 25172610; PMCID: PMC4258127.

[6] LIMA, Amanda Barroso de; ESPINDOLA, Cybele Ribeiro. Esquizofrenia: funções cognitivas, análise do comportamento e propostas de reabilitação. *Rev. Subj., Fortaleza* , v. 15, n. 1, p. 105-112, abr. 2015 . Disponível em http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2359-07692015000100012&lng=pt&nrm=iso. acessos em 17 jul. 2022.

[7] VASCONCELLOS, P. C. (2014). A relação entre sintomas negativos e cognição social na esquizofrenia (Especialização em Neurociências do Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais). Recuperado de <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/VRNS9TDNTY/1/monografia.pdf>

[8] BOFF, E. T. de O.; FORCHESATTO, A. J.; RAVASIO, M. H. Estudo cognitivo em sujeitos com esquizofrenia de um Centro de Atendimento Psicossocial (CAPS). *ETD - Educação Temática Digital*, [S. l.], v. 22, n. 1, p. 253–274, 2020. DOI: 10.20396/etd.v22i1.8652820. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/etd/article/view/8652820>. Acesso em: 12 jul. 2022.

- [9] MACEDO, M., Marques, A., Queirós, C., & Mariotti, M. C. (2018). Esquizofrenia, atividades instrumentais de vida diária e funções executivas: uma abordagem qualitativa/Schizophrenia, instrumental activities of daily living and executive functions: a qualitative multidimensional approach. *Cadernos Brasileiros De Terapia Ocupacional*, 26(2), 287–298. <https://doi.org/10.4322/2526-8910.ctoAO1153>
- [10] ASSIS, Cristiane Sousa De. A inclusão de estudantes com o transtorno da esquizofrenia: um estudo de caso realizado em uma escola municipal do recife. *Anais IV CINTEDI...* Campina Grande: Realize Editora, 2020. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/72346>>. Acesso em: 18/07/2022 00:56
- [11] BOMBASSARO, Tatiane. Perfil neuropsicológico de pacientes com esquizofrenia. Dissertação (Mestrado em Psicologia) – Universidade Católica de Dom Bosco, Campo Grande – MS. 2020.
- [12] MONTEIRO, S. A. de S. et al. A educação em suas dimensões pedagógica, política, social e cultural: Esquizofrenia e o processo educacional. Ponta Grossa, PR: Atena, 2020. Disponível em: <https://www.atenaeditora.com.br/post-artigo/30233>. Acesso em: 16 de jun de 2022
- [13] SANTOS, Cilene de Araujo. SANTANA, Maria Luzia da Silva. Inclusão de crianças e adolescentes com esquizofrenia ou psicose a partir do olhar do professor e de equipe terapêutica. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*. Ano 05, Ed. 08, Vol. 12, pp. 159-170. Agosto de 2020. ISSN: 2448-0959, Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/educacao/esquizofrenia-ou-psicoses>.
- [14] TOSTES, Jorge Gelvane et al. Esquizofrenia e cognição: entendendo as dimensões atencionais, perceptuais e mnemônicas da esquizofrenia. *Psicol. pesq.*, Juiz de Fora, v. 14, n. spe, p. 102-119, 2020. Disponível em: http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1982-12472020000400008&lng=pt&nrm=iso. acessos em 19 jul. 2022. <http://dx.doi.org/10.34019/1982-1247.2020.v14.30284>
- [15] ALVARENGA, Pedro Gomes D.; ANDRADE, Arthur Guerra D. *Fundamentos em Psiquiatria*. Barueri, SP: Editora Manole, 2008. 9788520444115. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520444115/>. Acesso em: 19 jul. 2022.
- [16] CREPALDE, Rayce dos Santos et al, Perfil epidemiológico de portadores de esquizofrenia internados no Instituto Raul Soares, *Revista Médica de Minas Gerais*: 2016. Belo Horizonte – MG
- [17] BECK, Aaron T. *Terapia cognitiva da esquizofrenia*. Porto Alegre: Artmed, 2010. Grupo A, 2010. 9788536322377. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536322377/>. Acesso em: 11 jun. 2022.
- [18] PONTES, Livia Maria M.; ELKIS, Hélio. *Treinamento de Atenção e Memória na Esquizofrenia*. São Paulo – SP: Armazém editora, 2013. 9788565852333. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788565852333/>. Acesso em: 18 jul. 2022.
- [19] AMORIM, Luciana et al. Perspectivas conceituais e instrumentos para avaliação de funcionalidade em pacientes com esquizofrenia. *Aval. psicol.*, Itatiba, v. 16, n. 4, p. 478-488, out. 2017. Disponível em <http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1677-04712017000400012&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 15 jul. 2022. <http://dx.doi.org/10.15689/ap.2017.1604.13050>.
- [20] FREITAS, Meirielen Aparecida Gomes; BAQUEIRO, Dicíola Figueiredo Andrade. Políticas públicas e as pessoas com deficiência no ensino superior no contexto brasileiro. VIII Seminário Regional de Política e Administração da Educação do Nordeste, 6 a 8 de dezembro de 2014, Salvador, Brasil: Anais [Recurso Eletrônico- CD] Universidade Federal da Bahia. Faculdade de Educação. Programa de Pós-graduação em Educação. – Salvador, BA, 2014
- [21] FACHINETTI, Tamiris & Carneiro, Relma. (2020). Inclusão em uma universidade estadual do interior de São Paulo (Inclusion in the university state of the interior of São Paulo). *Revista Eletrônica de Educação*. 14. 3627098. 10.14244/198271993627.
- [22] NOTO, Cristiano de S. *Esquizofrenia: Avanços no Tratamento Multidisciplinar*. Porto Alegre: Artmed, 2012. 9788536327815. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536327815/>. Acesso em: 18 jul. 2022.
- [23] FERREIRA, Elizângela Fernandes, *Esquizofrenia e a intervenção do profissional de Educação Física*, 2011 EFDeportes.com, Revista Digital. Buenos Aires, Año 16, Nº 161, Octubre de 2011. Disponível em <https://efdeportes.com/efd161/esquizofrenia-e-educacao-fisica.htm> acesso em 17 jul. 2022
- [24] FIDELES, Fernanda Gomes et al.. O ensino de química e o aprendiz autista. *Anais VI CONEDU...* Campina Grande: Realize Editora, 2019. Disponível em: <<https://www.editorarealize.com.br/index.php/artigo/visualizar/61366>>. Acesso em: 18 jun. 2022
- [25] DIAS, Ane Maciel. A inclusão de alunos com Transtorno do Espectro do Autismo (Síndrome de Asperger): uma proposta para o ensino de Química. 2017.141f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017
- [26] SAMPAIO, Laura Firminio. *Educação inclusiva: uma proposta de ação na licenciatura em Química*. 2017. vii, 77 f., il. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Ensino de Ciências)—Universidade de Brasília, Brasília, 2017.
- [27] TAVARES, Gilberto Thiago Pereira et al. Trabalho a esquizofrenia na utilização de jogos como ferramenta pedagógica. *Anais VII CONEDU - Edição Online...* Campina Grande: Realize Editora, 2020. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/index.php/artigo/visualizar/69608>. Acesso em: 18 de jun de 2022.
- [28] BRESSAN, Rodrigo; GROHS, Geder; GADELHA, Ary. *Casos de Superação em Esquizofrenia*. Porto Alegre: Artmed, 2017. 9788582713693. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582713693/>. Acesso em: 18 jul. 2022



Mens Agitat 17 (2022) 57-60

ISSN 1809-4791

57

Average orbital electronegativity and lattice energy: the relationships for NaCl

Robson Fernandes de Farias

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Cx. Postal 1524, 59078-970, Natal-RN. robdefarias@yahoo.com.br

Abstract. In the present work, it is shown, by using NaCl as example, that there are very close relationships (in fact, a causality relationship) between lattice energy, hydration enthalpies and average orbital electronegativity, explaining the thermodynamic stability of ionic crystals. It is shown that, for NaCl, the $2I$ (the ionic strength-like term) that appears in the Glasser-Jenkins equations coincides with the average orbital electronegativity, as defined by L.M. Viting.

Keywords: Lattice energy, Glasser-Jenkins equation, average orbital electronegativity.

INTRODUCTION

Roughly speaking, ionic strength can be defined as the concentration of ionic charge in solution. This so paramount concept was introduced by G.N. Lewis in 1921 [1], in order to face the fact that solutions of weak electrolytes follow the law of mass action, but solutions of strong electrolytes do not, and that there was no adequate explanation for this discrepancy at that time. According to Coffey [2] this was considered the most pressing problem in physical chemistry at that time, until Lewis would define his concept of “ionic strength,” which would give a practical method for determining the activity of strong electrolytes.

Leslie Glasser and Donald Brooke Jenkins [3] had deduced/formulated an empirical equation with a ionic strength-like term that works very well to calculate the lattice enthalpies for ionic compounds. Recently [4] Glasser has revisited his main achievements regarding this equation and concluded that the ionic strength-like terms provide conveniently calculated coulomb sums for systems with finite collections of charges.

Glasser-Jenkins equation was, for example, employed to provide a thermochemical explanation for the stability of unusual compounds such as NaCl_3 and NaCl_7 [5].

The main goal of the present work is to show that there is a very close relationship (in fact, a causality relationship) between Glasser-Jenkins equation and the concept of average orbital electronegativity, as defined by L.M. Viting, explaining, therefore, the thermodynamic stability of NaCl.

METHODOLOGY

The quantum chemical calculations were performed by using Spartan [6]. The SE-PM6 approach was chosen, taking into account its minor computation time consuming and its reliability for calculations involving inorganic systems, as verified for PtF_6 [7].

RESULTS AND DISCUSSIONS

In terms of molar concentration, ionic strength is:

$$I = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n c_i z_i^2 \quad (1)$$

where c and z are the solute concentration (mol/L) and charge, respectively.

In pure water, the ionic strength of NaCl is, of course, zero. The solubility of NaCl in water at 25°C is 35.7 g/100 mL [8]. Taking the NaCl density as 2.165 g/cm³ and the water density as 1.00 g/cm³, we can calcite to a NaCl saturated aqueous solution, a concentration of 5.24 mol/L, and an ionic strength of the same value, since NaCl is a 1:1 electrolyte. Hence, $2I = 10.48$ mol/L.

In pure (solid) NaCl, taking the same density value, the “concentration” can be calculated as 37.01 mol/L and the ionic strength as 37.01 mol/L, and $2I = 74.02$ mol/L.

Summarizing, we have, to NaCl: pure water ($2I = 0$), in a 2.0 mol/L aqueous solution ($2I = 2.00$), saturated aqueous solution ($2I = 10.48$) and in the pure solid ($2I = 74.02$).

In The Glasser-Jenkins equation (a generalized version of the Kapustinskii equation) [3]:

$$U_{\text{POT}} = \frac{2AI}{\langle r \rangle} \left(1 - \frac{\rho}{\langle r \rangle} \right) \quad (2)$$

where $\langle r \rangle$ is the weighted-mean cation-anion sum and ρ is a compressibility constant (derived from Born-Mayer theory, usually chosen as 0.0345 nm). The term $A = (1/2N_A M e^2 / 4\pi\epsilon_0)$, where N_A /molecules mol⁻¹ is the Avogadro's constant and M is the Madelung constant of the rock salt -sodium chloride-type lattice = 121.4 kJ mol nm⁻¹. To NaCl, and using the Na⁺ and Cl⁻ ionic radii (coordination number six) as 0.102 nm and 0.181 nm, respectively [9] equation (2) provides a calculated U_{POT} value of 753.4 kJmol⁻¹ in very good agreement (-2.02%) with the reference value [3] of 769 kJmol⁻¹.

In equation (3) there is an ionic strength-like term:

$$\sum n_i z_i^2 = 2I \quad (3)$$

where n_i is the number of ions (not the mol/L or mol/kg concentration, as considered for solutions) with integer charge z_i ; and the summation is taken over all the types of ions, i , in the formula unit. To NaCl, $2I = 2$.

As previously shown [8] to a series of 1:1, 1:2, 1:3 and 1:4 (cation:anion) salts, the lattice and hydration

enthalpies are very closely related and a series of very simple empirical equations were obtained. To a 1:1 salt:

$$U_{\text{POT}} = (\Delta H_{\text{hyd}}^+ + \Delta H_{\text{hyd}}^-) \quad (4)$$

where ΔH_{hyd}^+ and ΔH_{hyd}^- are the hydration enthalpes of the respective cation and anion. To NaCl the percentage difference between calculated and reference values was of only +1,8 % [10].

Combining equations 2 and 4, we have:

$$(\Delta H_{\text{hyd}}^+ + \Delta H_{\text{hyd}}^-) = \frac{2AI}{\langle r \rangle} \left(1 - \frac{\rho}{\langle r \rangle} \right) \quad (5)$$

Taking the previously presented values to A , ρ and r :

$$2I = (\Delta H_{\text{hyd}}^+ + \Delta H_{\text{hyd}}^-) / 376.68 \quad (6)$$

To Na⁺ and Cl⁻ the hydration enthalpies are, respectively [11] 463.3 kJmol⁻¹ and 319.5 kJmol⁻¹. Hence, $2I = 2.08$. Proving the relationship/agreement between Equations (2) and (6), or, in other words, the relationship between solid state and diluted aqueous solution data.

As previously shown [12] the lattice energies for inorganic monohalides can be consistently calculated by using the cation radius and the halide average orbital electronegativity.

The average orbital electronegativity of molecules, as introduced by Viting [13] can be calculated by

$$\dot{X} = \sum n_i \chi_i / \sum n_i \quad (7)$$

where χ_i is the electronegativity of the i th atom and n_i is the number of this sort in the formula unit. To NaCl, $\dot{X} = 2.05$ [10]. The first point to be noted here is the coincidence (?) to NaCl, between the \dot{X} and $2I$ values.

Using the empirical equation [10]:

$$U_{\text{POT}} = (-2.739 r^+ + 650.676) \dot{X} + (3.796 r^+ - 370.851) \quad (8)$$

where r^+ = cation radius (in pm) and \dot{X} is the average orbital electronegativity for the considered monohalide, a calculated value of U_{POT} to NaCl in very good agreement with the reference value (+1.2%) was obtained [10].

Of course, combining Equations (2) and (8) a relationship between \dot{X} and $2I$ can be established,

$$(-2.739 r^+ + 650.676) \dot{X} + (3.796 r^+ - 370.851) = \frac{2AI}{\langle r \rangle} \left(1 - \frac{\rho}{\langle r \rangle} \right) \quad (9)$$

Making the proper substitutions, we found: $\dot{X}/2I = 0,97 \approx 1$. So, the fact that to NaCl $2I = \dot{X}$ is not a coincidence. Hence, It is show that, for NaCl, the $2I$ (the ionic strength-like term) that appears in the Glasser-Jenkins equations coincides with the e average orbital electronegativity, as defined by L.M. Viting [11].

By using a Semi-Empirical approach, gas phase NaCl was modeled as a linear molecule (Figure 1), with E_{homo} and E_{lumo} being calculated as -9.47 and 0.03 eV, respectively. Taking into account that by Koopmans' theorem $E_{\text{homo}} \approx E_i$ (first ionization energy) and $E_{\text{lumo}} \approx E_{\text{ea}}$ (electron affinity), we can, by using the equation (to convert Mulliken into Pauling electronegativity values):

$$X = 0.187 (E_i + E_{\text{ea}}) + 0,17 \quad (10)$$

calculate an (Pauling) electronegativity value of 1.997 to gas phase NaCl, in total agreement with the previous considerations to $2I$ values and its physicochemical meaning.

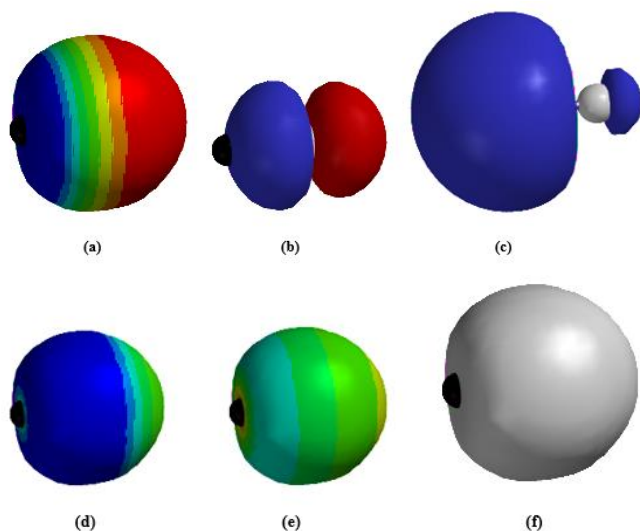


Figure 1. SE-PM6 calculated surfaces: electrostatic potential map (a) homo orbital (b), lumo orbital (c), local ionization potential map (d), lumo map (e) and electron density (f) to gas phase linear NaCl.

The fact that to NaCl, $2I = 2$ in Glasse-Jenkins equation, in L.M. Vitting average orbital electronegativity definition and in a 2.0 mol/L aqueous solution, shows that gas phase, solution phase and solid state phase thermochemistry of NaCl are closely related by the same physicochemical principles.

REFERENCES

- [1] G.N. Lewis, M. Randall, The Activity Coefficient of Strong Electrolytes, *Journal of the American Chemical Society*, 43 (1921) 1112-1154. <https://doi.org/10.1021/ja01438a014>.
- [2] P. Coffey, *Cathedrals of Science - The Personalities and Rivalries That Made Modern Chemistry*, Oxford University Press, Oxford, 2008.
- [3] L. Glasser, H.D.B. Jenkins, Lattice Energies and Unit Cell Volumes of Complex Ionic Solids, *J. Am. Chem. Soc.*, 122 (2000) 632. <https://doi.org/10.1021/ja992375u>.
- [4] L. Glasser, The Equivalence of the Charge Interaction Sum and the Ionic Strength, *Chemical Thermodynamics and Thermal Analysis* 6 (2022) 100059. <https://doi.org/10.1016/j.ctta.2022.100059>.
- [5] R.F. de Farias, A thermochemical explanation for the stability of NaCl₃ and NaCl₇, *Chem. Phys. Lett.*, 672 (2017) 97-98. <https://doi.org/10.1016/j.cpllett.2017.01.039>.
- [6] Wavefunction Inc., Irvine, California, USA.
- [7] R.F. de Farias, Computational Gas-Phase Formation Enthalpy and Electron Affinity for Platinum Hexafluoride: Is Gaseous PtF₆ Diamagnetic because of a Relativistic Effect?, *Inorg. Chem.*, 55 (23) (2016) 12126-12127. <https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.6b02618>.
- [8] P. Patnaik, *Handbook of Inorganic Chemicals*, McGraw-Hill, New York, 2003.
- [9] R. D. Shannon, Revised effective ionic radii and systematic studies of interatomic distances in halides and chalcogenides, *Acta Crystallographica*, A 32 (1976) 751-767. <https://doi.org/10.1107/S0567739476001551>
- [10] S. Kaya, R.F. de Farias, Lattice Energies from Hydration Enthalpies: Some acid-base and Structural Considerations, *IJAERS*, 5 (8) (2018) 317-323. <https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.5.8.39>.
- [11] C.E. Housecroft, H.D.B. Jenkins, Absolute ion hydration enthalpies and the role of volume within hydration thermodynamics, *RSC Advances*, 7 (2017) 27881-27894. DOI <https://doi.org/10.1039/C6RA25804B>.
- [12] R.F. de Farias, Lattice energies for metal halides from average orbital electronegativities, *Chem. Res. J.*, 2 (4) (2017) 188-190. <https://chemrj.org/download/vol-2-iss-4-2017/chemrj-2017-02-04-188-190.pdf>.

- [13] L.M. Viting, *Vysokotemperaturnye rastvory-rasplavy* (High-temperature Solutions Melts), Mosk. Gos. Univ., Moscow, 1991. in S. I. Lopatin, Regularities of the Vaporization of Oxygen-Containing Acid Salts, *Glass Physics and Chemistry*, 29 (4) (2003) 390-396.
<https://link.springer.com/content/pdf/10.1023/A:1025177027457.pdf>.



DISPOSITIVO DIDÁTICO PARA VERIFICAÇÃO DO PRINCÍPIO DA CONSERVAÇÃO DA MASSA / EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE

Ramon Carneiro^a, Renan da Silva Gadelha^b, Angelo Passaro^c, Paulo Gilberto de Paula Toro^d, George Santos Marinho^e

^a Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Espaciais / Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ramon_cgd@hotmail.com

^b Escola de Ciências e Tecnologia / Universidade Federal do Rio Grande do Norte – renan.gadelha.707@ufrn.edu.br

^c Instituto de Estudos Avançados – Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial – angelo@ieav.cta.br

^d Pós-Graduação em Engenharia Aeroespacial / Universidade Federal do Rio Grande do Norte - toro11pt@gmail.com

^e Departamento de Engenharia Mecânica / Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia, Natal RN Brasil, 59078-970 – george.marinho@ufrn.br

Resumo

Foi construído e testado um dispositivo didático para demonstrar o princípio de conservação de massa. Feito a partir de material de fácil aquisição, encontrado no comércio ou descartado, o dispositivo é portátil e pode ser utilizado em laboratório ou sala de aula para turmas de Mecânica dos Fluidos. Durante os testes, foi verificado desvio máximo de 12 % em relação aos cálculos teóricos (equação da continuidade). Com instrumentação adequada, o dispositivo também pode ser empregado em outros experimentos de Mecânica dos Fluidos, como, por exemplo, o princípio de Bernoulli.

Palavras-chave: Mecânica dos Fluidos; Conservação de Massa; Experimental; Aerodinâmica; Difusor.

Abstract

A didactic device was built and tested to demonstrate the principle of conservation of mass. Made from easily purchased material, found commercially or discarded, the device is portable and can be used in the laboratory or classroom for Fluid Mechanics classes. During the tests, a maximum deviation of 12% was verified in relation to the theoretical calculations (continuity equation). With adequate instrumentation, the device can also be used in other experiments in Fluid Mechanics, such as, for example, Bernoulli's principle.

Keywords: Fluid Mechanics; Mass Conservation; Experimental; Aerodynamics; Diffuser.

1. INTRODUÇÃO

Borgnakke e Sonntag (2009, p. 114) fizeram uma interessante discussão sobre a variação da massa de um sistema quando sua energia varia. Como ilustração, consideraram uma mistura com 1 kg de ar e gasolina, cuja queima gera ~ 2900 kJ de calor

e que, pela equação $E = m.c^2$, sendo E – energia do sistema (J), m – massa (kg) e c – velocidade da luz (m/s), resulta em uma variação da massa de $\sim 3 \times 10^{-11}$ kg. Finalizaram explicando que, nessa ordem de grandeza, a variação da massa é irrelevante em engenharia e, portanto, as leis da conservação da massa e da energia podem ser consideradas independentes.

Vê-se que, ao contrário do sugerido pelo “bom senso”, a conservação da massa não é uma questão trivial.

Alunos de engenharia que cursam a disciplina Mecânica dos Fluidos devem, obrigatoriamente, conhecer os princípios conservativos da massa, quantidade de movimento e energia. Quando acompanhado da prática em laboratório, acredita-se, o conhecimento pode se tornar perene.

Nesta comunicação teve-se por objetivo proporcionar ao professor de Mecânica dos Fluidos – matéria intrinsecamente experimental, uma alternativa barata para superar deficiências de recursos laboratoriais e, desse modo, transmitir ao Aluno conhecimentos práticos.

2. FUNDAMENTAÇÃO

O princípio da conservação de massa foi deduzido em 1760, por Mikhail Vasilyevich Lomonosov (1711 – 1775). Porém, na Europa ocidental, somente em 1773, com Antoine-Laurent de Lavoisier (1743 – 1794), passou-se a conhecer esse que, juntamente com os princípios da conservação da quantidade de movimento e da conservação da energia, se tornou um dos pilares da ciência.

Qualitativamente, a conservação da massa é expressa na forma do postulado de Lavoisier: “Na natureza, nada se cria, nada se perde, tudo se transforma”. Sua forma quantitativa pode ser deduzida matematicamente de modo fácil.

Considere-se um volume de controle fixo no espaço, correspondendo à superfície interna de uma tubulação cujos diâmetros de entrada e saída são diferentes. Um fluido escoando no interior dessa tubulação apresentará velocidade ϑ_1 ao cruzar a seção com diâmetro D_1 e velocidade ϑ_2 ao cruzar a seção com diâmetro D_2 . O princípio da conservação da massa pode ser demonstrado conforme se vê na Fig. 1.

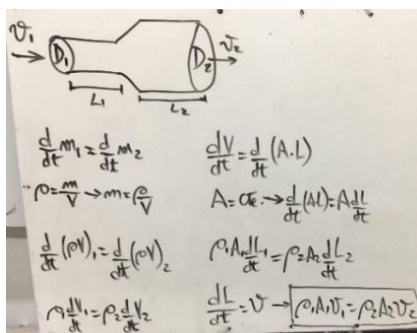


Fig. 1 – Dedução da equação da continuidade.

A equação da continuidade – forma quantitativa do princípio da conservação de massa, resulta em:

$$\rho \cdot A \cdot \vartheta = \text{constante} \quad (1)$$

ou

$$\frac{d}{dt} m = \rho \cdot A \cdot \vartheta \quad (2)$$

Sendo:

dm/dt = fluxo da massa no tempo (vazão mássica, kg/s)

ρ = massa específica do fluido (kg/m³)

A = área da seção reta da tubulação (m²)

ϑ = velocidade do escoamento do fluido (m/s).

Aplicada à tubulação representada na Fig. 1, a equação da continuidade pode ser reescrita na seguinte forma:

$$\rho_1 A_1 \vartheta_1 = \rho_2 A_2 \vartheta_2 \quad (3)$$

A hipótese de massa específica do ar constante ($\rho_1 = \rho_2$) é razoável para escoamentos subsônicos abaixo do número de Mach 0,3. Portanto, a Eq. (3) pode ser reescrita na forma como será utilizada na prática:

$$A_1 \vartheta_1 = A_2 \vartheta_2 \quad (4)$$

A partir da Eq. (4) percebe-se que, se a área na saída do difusor (A_2) é maior que a área na entrada (A_1), a conservação da massa estabelece que a relação entre as velocidades será:

$$\vartheta_2 < \vartheta_1 \quad (5)$$

3. MATERIAL E MONTAGEM

O dispositivo didático é um difusor, que consiste em dois tubos com diâmetros diferentes, unidos por uma seção cônica e acoplado a um ventilador – que, dependendo da posição em que é montado, funciona como exaustor ou insuflador.

O fluido de trabalho empregado foi ar atmosférico, porém outros gases podem ser utilizados. Neste trabalho, optou-se por montar o ventilador após a seção cônica – funcionando como exaustor (Fig. 2).

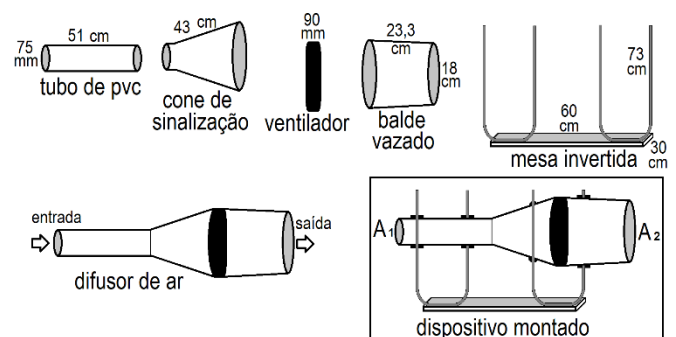


Fig. 2 – Dispositivo para prática de Mecânica dos Fluidos.

Utilizou-se um ventilador axial, modelo AK2582HB / Berflo, com 23,3 cm de diâmetro, alimentado com 220 V (Fig. 3).



Fig. 3 – Ventilador do difusor didático.

As junções entre tubo e seção cônica, saída da seção cônica e ventilador e entre ventilador e balde vazado foram vedadas com fita de teflon, tornando o conjunto estanque ao ar.

O difusor foi fixado às pernas de uma mesa escolar e o tampo da mesa serviu como base do dispositivo. Porém, qualquer estrutura pode ser utilizada para essa função, desde que a montagem proporcione alinhamento entre os centros das áreas de entrada (A_E) e de saída (A_S) e nivelamento horizontal.

As velocidades de escoamento de ar na entrada e saída do exaustor foram medidas por meio de um anemômetro de ventoinha (Fig. 4), modelo MDA – 10 / Minipa, com faixa de medição de 0,0 m/s a 45 m/s, resolução = 0,1 e incerteza = $\pm 3,0\%$ da leitura ou 0,1 – o que for maior (MINIPA, 2000).



Fig. 4 – Anemômetro de ventoinha.

Foi o item de maior custo desta proposta. Um anemômetro de ventoinha pode ser encontrado no comércio de eletrônicos e custar algo entre cem e duzentos reais. Outras opções também podem ser consideradas, como o anemômetro de fio quente (MARINHO et al., 1999).

Em função do anemômetro disponível para realizar os testes, o ajuste da posição para medir a velocidade do ar na região de entrada do difusor foi bastante simples, pois os diâmetros do tubo e do anemômetro eram praticamente coincidentes. As medições do fluxo de ar na saída do difusor, por sua vez, exigiram um ajuste cuidadoso entre o eixo da ventoinha do anemômetro e o centro da seção de saída (A_S).

O uso de um estabilizador de tensão não é imprescindível. Porém, quando essa não for uma opção viável, deve-se ficar atento para flutuações de energia da rede elétrica, que fazem variar a velocidade de rotação do ventilador e, desse modo, podem interferir na repetição dos resultados.

Na Fig. 3 observa-se o dispositivo em sua montagem final, pronto para ser utilizado em aula.



Fig. 3 – Difusor didático com anemômetro na saída (A_2).

4. PROCEDIMENTOS PARA USO DO DISPOSITIVO

Ao ser ligado à rede elétrica, o ventilador aspira o ar ambiente, que entra no tubo de PVC em A_E , atravessa a seção cônica, cruza as pás do ventilador e chega à saída em A_S .

Na Fig. 4 representam-se os pontos de instalação do anemômetro, na entrada e saída do difusor, respectivamente nos pontos a montante (esquerda) e a jusante (direita).

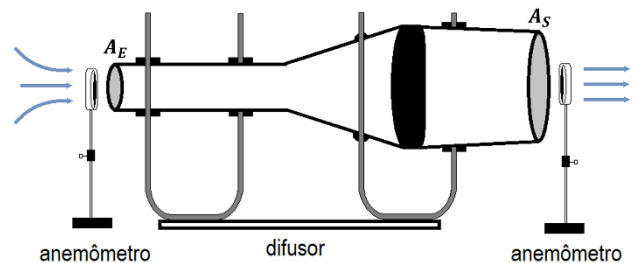


Fig. 4 – Pontos de instalação do anemômetro.

Obviamente, para manter os custos baixos, utiliza-se o mesmo anemômetro nas medições das velocidades de escoamento do ar nas duas extremidades do difusor.

O ajuste do anemômetro nos pontos de medição deve ser feito com extremo cuidado, para garantir o correto alinhamento aos respectivos centros das áreas de entrada (A_E) e de saída (A_S) do difusor. Sugere-se que os Alunos realizem pelo menos cinco medições da velocidade em cada seção.

A verificação do princípio da conservação da massa permite diferentes abordagens. Aqui, considerou-se a estimativa teórica (Eq. 4) da velocidade do ar na saída do difusor ($\vartheta_{S,teor}$) a partir da velocidade média do ar na entrada ($\bar{\vartheta}_{E,exp}$), obtida por meio do anemômetro. Acredita-se que esse procedimento pode estimular os Alunos a, trabalhando em grupos, realizar as atividades como em uma competição: quanto maior o empenho menor será o desvio relativo entre o resultado teórico ($\vartheta_{S,teor}$), da Eq. (4), e a média experimental ($\bar{\vartheta}_{S,exp}$).

5. RESULTADOS

Visando validar a proposta da presente comunicação, foram realizadas medições do fluxo de ar nas duas seções do difusor durante um intervalo de tempo de 60 minutos, a cada minuto, totalizando 120 medições, como pode ser visto na Tab.1.

Tab. 1 – Velocidades do ar obtidas com anemômetro.

| Medição | $\vartheta_{E,exp}$ m/s | $\vartheta_{S,exp}$ m/s | Medição | $\vartheta_{E,exp}$ m/s | $\vartheta_{S,exp}$ m/s |
|---------|----------------------------|----------------------------|---------|----------------------------|----------------------------|
| 1 | 7,6 | 1,2 | 31 | 7,7 | 1,4 |
| 2 | 7,6 | 1,1 | 32 | 7,7 | 1,1 |
| 3 | 7,5 | 1,3 | 33 | 7,6 | 1,0 |
| 4 | 7,5 | 1,2 | 34 | 7,6 | 1,3 |
| 5 | 7,9 | 1,3 | 35 | 7,6 | 1,1 |
| 6 | 7,7 | 1,1 | 36 | 7,9 | 1,3 |
| 7 | 7,8 | 1,1 | 37 | 7,7 | 1,1 |
| 8 | 7,7 | 1,4 | 38 | 7,9 | 1,5 |
| 9 | 7,6 | 1,1 | 39 | 7,7 | 1,0 |
| 10 | 7,6 | 1,3 | 40 | 8 | 1,1 |
| 11 | 7,9 | 1,2 | 41 | 8 | 1,1 |
| 12 | 8,0 | 1,1 | 42 | 7,9 | 1,1 |
| 13 | 7,4 | 1,1 | 43 | 7,7 | 1,2 |
| 14 | 7,7 | 1,0 | 44 | 7,9 | 1,2 |
| 15 | 7,7 | 1,1 | 45 | 7,4 | 1,0 |
| 16 | 7,5 | 1,2 | 46 | 8,3 | 1,1 |
| 17 | 7,8 | 1,1 | 47 | 7,5 | 1,6 |
| 18 | 7,7 | 1,2 | 48 | 7,7 | 1,3 |
| 19 | 7,7 | 1,4 | 49 | 7,6 | 1,2 |
| 20 | 7,7 | 1,1 | 50 | 7,8 | 1,0 |
| 21 | 7,8 | 1,1 | 51 | 7,7 | 1,0 |
| 22 | 7,9 | 1,2 | 52 | 7,6 | 1,2 |
| 23 | 7,7 | 1,0 | 53 | 7,9 | 1,2 |
| 24 | 7,8 | 1,2 | 54 | 7,9 | 1,2 |
| 25 | 7,8 | 1,2 | 55 | 8,1 | 1,3 |
| 26 | 7,7 | 1,3 | 56 | 7,5 | 1,1 |
| 27 | 8,0 | 1,4 | 57 | 7,6 | 1,0 |
| 28 | 7,7 | 1,5 | 58 | 7,8 | 1,1 |
| 29 | 7,7 | 1,0 | 59 | 7,7 | 1,2 |
| 30 | 7,6 | 1,4 | 60 | 8 | 1,0 |

Na Tab. 2 apresentam-se os valores médios das velocidades $\bar{\vartheta}_{E,exp}$ e $\bar{\vartheta}_{S,exp}$ e os respectivos desvios-padrões das medidas obtidas por meio do anemômetro.

Tab. 2 – Médias e desvios-padrões das velocidades do ar.

| | $\bar{\vartheta}_{E,exp}$ | $\bar{\vartheta}_{S,exp}$ |
|---------------|---------------------------|---------------------------|
| Velocidade | 7,7 m/s | 1,2 m/s |
| Desvio-padrão | $\pm 0,14$ m/s | $\pm 0,13$ m/s |

Na Tab. 3 apresentam-se os valores relativos à aplicação dos dados experimentais à Eq. (4) e o respectivo resultado teórico da velocidade na saída do difusor.

Tab. 3 – Dados do escoamento através do difusor didático.

| A_E | $\bar{\vartheta}_{E/exp}$ | A_S | $\vartheta_{S/teor}$ (Eq.4) |
|------------------------|---------------------------|------------------------|-----------------------------|
| 0,00442 m ² | 7,7 m/s | 0,02545 m ² | 1,34 m/s |

Na Tab. 4 comparam-se os resultados teórico (Eq. 4) e experimental para velocidade do ar na saída do difusor.

Tab. 4 – Velocidade do ar na saída do difusor.

| $\bar{\vartheta}_{S,experimental}$ | $\vartheta_{S,teórica}$ (Eq. 4) | $\Delta = \left \frac{\bar{\vartheta}_{S/exp} - \vartheta_{S/teor}}{\bar{\vartheta}_{S/exp}} \right \cdot 100$ |
|------------------------------------|---------------------------------|--|
| 1,2 m/s | 1,34 m/s | 11,6 % |

Comparando-se os resultados obtidos nos experimentos (Tab. 4), constatou-se um desvio máximo relativo entre teoria e prática de aproximadamente 12 %, que pode ser considerado dentro da faixa esperada para um dispositivo didático fabricado utilizando-se peças aproveitadas de descartes.

Foram observadas flutuações na velocidade do escoamento de ar indicadas pelo anemômetro, sendo as de maior magnitude verificadas na saída do difusor (A_S).

Além das flutuações de energia da rede elétrica, é possível que essas variações também tenham ocorrido devido a refluxos e turbulências causadas pelo ventilador na seção de saída do difusor didático.

Como previsto, na medida em que o número de medições aumentou, a amplitude dos desvios diminuiu. Desse modo, a diferença entre os valores calculado e medido na saída do difusor também diminuiu.

Na Tab. 5 apresentam-se os dados de estimativa de custo de montagem do dispositivo didático. Os valores em reais foram estimados com base em pesquisa de preço em fabricantes e revendedores disponíveis no comércio local ou nacional, estando sujeitos a flutuações.

Tab. 5 – Estimativa de custo do dispositivo didático.

| Componente | Valor R\$ |
|-----------------------------|---------------------|
| Ventilador axial AK2582HB | 466,40 |
| Anemômetro MINIPA MDA10 | 415,90 |
| Tubo de PVC (75 mm x 51 cm) | 8,50 |
| Cone de sinalização | 24,18 |
| Mesa de madeira | 227,90 |
| Balde de plástico | 12,55 |
| TOTAL | R\$ 1.155,43 |

6. CONCLUSÕES

O dispositivo desenvolvido é barato, prático (portátil) e pode ser totalmente operado por Alunos, mostrando-se adequado às aulas de Laboratório de Mecânica dos Fluidos ou para demonstrações em sala durante aulas teóricas.

Com instrumentação (e.g., manômetros ou sensores de pressão) e adaptações, o dispositivo pode ser empregado em outros experimentos de princípios da Mecânica dos Fluidos, como por exemplo a estimativa da pressão na saída do difusor (aplicação do Princípio de Bernoulli).

Sugere-se considerar a inserção de um elemento (*dimmer*) para regular a corrente elétrica de alimentação do motor do ventilador e, desse modo, dispor de diferentes valores de velocidade de escoamento do ar através do difusor didático.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior do Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, com apoio do Programa de Cooperação Acadêmica em Defesa Nacional (PROCAD-DEFESA), outorga 88881.387753/2019-01. O primeiro autor é financiado pela bolsa 88887.600747/2021-00 (CAPES). O terceiro autor é financiado pela bolsa 402673/2021-2, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). O quarto autor é financiado pela bolsa 306004/2020-8 Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Os autores agradecem à Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) pelo apoio concedido para realização de pesquisas sobre propulsão supersônica aspirada.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFRN, que, graças à intervenção de sua Coordenadora, Profa. Eve Maria Freire de Aquino, disponibilizou verba do CNPq para custear a aquisição do anemômetro de ventoinha pelo Laboratório de Transferência de Calor da UFRN.

À Chefe do Departamento de Material e Patrimônio da UFRN, Sra. Adriane Tramontin, pela autorização de acesso ao setor de descarte de material desta Instituição.

Ao Aluno que, anonimamente, doou o ventilador axial ao Laboratório de Transferência de Calor da UFRN.

REFERÊNCIAS

BORGNACKE, C.; SONNTAG, R. E. *Fundamentos da Termodinâmica*. São Paulo: Edgard Blücher, 2009, pp. 114.

MARINHO, G. S.; ROCHA, A. C. B.; HILDEBRAND JR, L.; ROMA, W. N. L. *Medición de bajas velocidades del flujo de aire en procesos de transferencia de calor por convección natural*. Información Tecnológica, La Serena, Chile, v. 10, n.1, p. 139-148, 1999.

MINIPA. *Manual de Instruções do Anemômetro MDA – 10*. São Paulo, Minipa Indústria e Comércio Ltda. [2000].



A Química na arte: composição, reações e o desenvolvimento de materiais artísticos

Bruna Duailibe Ferreira Pinheiro¹, Cícero Wellington Brito Bezerra¹

¹ *Departamento de Química, Universidade Federal do Maranhão, Av. dos Portugueses, 1966 - Vila Bacanga, São Luís - MA, 65080-805*

Resumo

Normalmente o ensino de ciências parte do concreto para o abstrato, do fenômeno para a causa, ressaltando os contextos em que os conteúdos farão sentido para os alunos. Como são poucos os textos que exploram a presença da Química na constituição dos materiais cotidianos, notadamente escolares e artísticos, este presente artigo busca preencher esta lacuna, recorrendo, por um viés químico, acerca dos materiais mais utilizados no meio artístico, como: lápis, óleos, resinas, pigmentos e papéis. Aspectos como composição, fabricação, interações e reações químicas destes materiais são descritos, utilizando-se argumentos que abrangem conceitos e conteúdos de interesse do Ensino Médio, a exemplo de: teorias atômicas, fórmulas moleculares, equações químicas, polaridade, ligações químicas. A relação entre a arte e a química é estreitada, e se apresenta como uma inusitada possibilidade de interdisciplinaridade no meio educacional.

Palavras - chave: Arte. Química. Materiais artísticos. Composição. Ensino de Química.

1. Introdução

Desde a descoberta e produção dos primeiros pigmentos a partir da natureza, o homem iniciou a atividade do desenho e da pintura. A partir dessa atividade, diversas representações foram feitas ao longo da história, simbolizando o cotidiano, alimentação, objetos, mitos e religião. O desenho, a pintura e o ideal de representação de imagens são ofícios que se apresentam de diversas formas e em diferentes idades nas sociedades atuais.

Durante o período escolar, a prática do desenho é incentivada principalmente nos anos iniciais, perdurando até aproximadamente o início da adolescência. Por volta de dez ou doze anos, a maioria das crianças se dedica a tentar reproduzir desenhos realistas, gerando frustrações e algumas desistências¹. Apesar disso, é comum que alguns estudantes

percebam e desenvolvam certa aptidão para atividades artísticas, levando esse conhecimento e prática por grande parte do ensino médio, se destacando positivamente em disciplinas que utilizem essas habilidades.

No meio educacional, as disciplinas de ciências da natureza apresentam a possibilidade de se comunicar com diferentes áreas, traçando paralelos entre assuntos presentes no cotidiano de alunos. Além disso, a própria BNCC elucida a importância de estudantes do ensino médio serem protagonistas no próprio processo de educação, reconhecendo a si mesmos como parte construtora de seus currículos². Nessa perspectiva, a proposta de escolas que aproximem a vivência de cada aluno aos conteúdos trabalhados em sala pode ser feita desenvolvendo metodologias capazes de envolver aprendizados de

conteúdos que se apliquem a diversas realidades e contextos dos alunos.

Nos últimos anos alguns exemplos de projetos relacionando conteúdos de química e arte foram publicados e apresentam atividades como extração de corantes naturais para criação de telas de arte africana³, criação de desenhos representando conceitos químicos⁴ e produção de quadros com reações de precipitação⁵. Esses tipos de projetos contribuem para a construção de conexões entre áreas diferentes que, à primeira vista, não possuem nada de semelhante. Nesse contexto, o tratamento realizado das ciências da natureza é esperado pela própria BNCC, relacionando-se principalmente com habilidades previstas como a EM13CNT307, que trata, resumidamente, da capacidade de analisar estruturas e propriedades de cada material avaliando seu uso e impactos².

Dessa forma, buscou-se reunir em um único material as principais contribuições da ciência (e mais especificamente a química) para a fabricação e desenvolvimento de materiais artísticos. Essas contribuições se relacionam principalmente com a composição, reações de obtenção, fenômenos ópticos que envolvam modelos atômicos e ligações intermoleculares. As referências realizadas para a produção desse artigo foram obtidas a partir da consulta as bases de dados Google Acadêmico e Periódicos da Capes, além de livros típicos da graduação.

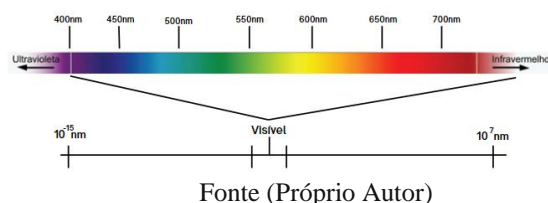
2. Tintas e pigmentos

2.1. O fenômeno da cor

A presença das cores no nosso dia-a-dia é evidenciada em todo ambiente que contenha alguma fonte de luz, afinal, a sua percepção só é possível por intermédio de luminosidade. Essa relação cor-luz foi estudada a fundo por Isaac Newton, no seu manuscrito “Sobre as cores”, onde descreve os diferentes experimentos realizados com prismas. Nesses experimentos, Newton elucida alguns aspectos importantes acerca da natureza da luz em relação as cores, tais como: a complementariedade das cores, dispersão cromática, dispersão luminosa em vários meios e até mesmo a relação desses fenômenos com o olho humano⁶.

As observações acerca da natureza da luz culminaram com a proposta da dualidade partícula-onda, generalizada para quaisquer partículas em movimento pelo físico francês Louis de Broglie, no ano de 1923⁷. Porém, em relação aos fenômenos que envolvem a participação da luz na formação da cor, o seu caráter ondulatório justifica melhor os fatos observados. Ao considerarmos suas propriedades ondulatórias, descrevemos a luz pelas características gerais das ondas, i. e., portadoras de frequência (ν) e comprimento de onda (λ)⁸. Todas as ondas identificadas possuem essas características, que são observadas em ordem no espectro eletromagnético da Fig. 1.

Fig. 1: Espectro Eletromagnético



Fonte (Próprio Autor)

De acordo com esse espectro, apesar de existirem comprimentos de onda de 10^7 nm a 10^{-15} nm, a parte que compreende as ondas responsáveis pelas cores (luz visível) é bem estreita, aproximadamente entre os limites de 400 a 700 nm. Portanto, todas as cores observadas no universo são resultado das ondas que podem ser captadas pelo olho humano. De forma geral, Newton descreve que essa percepção se dá por meio dos fenômenos ondulatórios de absorção e reflexão, ou seja, quando um objeto aparenta tonalidade azul sob uma luz branca, isso implica dizer que ocorreu uma absorção das ondas correspondentes aos tons opostos (laranja) e uma reflexão da onda correspondente a tonalidade azul^{8,9}. A essas cores opostas dá-se o nome de cores complementares, as quais podem ser visualizadas na Fig. 2:

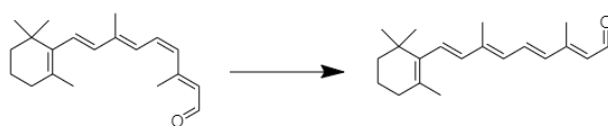
Fig. 2: Círculo Cromático



FONTE: (Próprio Autor)

A capacidade dos olhos captarem determinadas cores refletidas pelos objetos é devida as células presentes na retina: os cones (localizados na parte central da retina) e os bastonetes¹⁰. Em ambas as células ocorre a presença da molécula 11-cis-retinal, ligada a proteína opsina, que se isomeriza no formato trans-retinal pela ação de um fóton, mudando sua estrutura conformacional e produzindo um sinal visual¹¹. Essa mudança de conformação ocorre gerando uma estrutura mais rígida que leva a formação de uma série de oxidações e reduções de forma que o isômero retorne ao seu estado original^{9,11}. A Fig. 3 apresenta a conversão de um isômero a outro:

Fig. 3: Conversão do 11-cis-retinal ao trans-retinal



Fonte: (Próprio autor)

Esse mecanismo de recebimento e de interpretação das ondas eletromagnéticas ocorre através de uma cinética extremamente rápida, simultâneo à formação das imagens. Nesse contexto, as ligações químicas, assim como movimentação de elétrons estão intimamente ligados com esse processo.

Por volta dos anos 1900, o físico Max Planck desenvolveu uma equação buscando explicar a radiação de

um corpo negro, até então incoerente com a física clássica. A ideia de Planck demonstrava a existência de osciladores de energia que emitiam uma energia bem definida e descontínua (pacote de energia) do qual ele denominou de *quantum*¹². Posteriormente, em seu modelo atômico, Bohr introduziu a ideia de Planck de quantização da energia, relacionando-a com a transição de elétrons em camadas eletrônicas: ao serem excitados, absorvendo um *quantum* de energia, os elétrons saltam para uma camada mais externa, e ao retornarem emitem o mesmo *quantum* de energia^{8,12}. A equação de Planck está apresentada na Eq. 1, em que: E é a energia envolvida (no caso, emissão), h é a constante de Planck e ν é a frequência da radiação, a qual corresponde aos valores possíveis contemplados no espectro eletromagnético da Fig. 1. Quando esses valores de frequência se encontram dentro da faixa do visível, o *quantum* emitido pode promover o efeito visual da cor⁸.

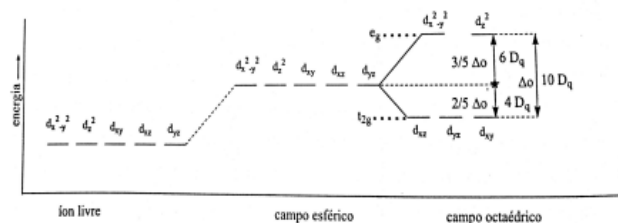
$$E = h\nu \quad (\text{Eq. 1})$$

A comprovação desse efeito pode ser facilmente realizada por um simples teste de chama, no qual uma variedade de sais de metais alcalinos e alcalino-terrosos são colocados em uma chama e a cor resultante é oriunda das transições eletrônicas naquele meio¹³.

O mesmo princípio de absorção/emissão de luz pode ser aplicado para justificar a diversidade de cores dos compostos envolvendo metais de transição. Em 1893, Alfred Werner estabeleceu que cada metal possui dois tipos de valência: a primária (número de oxidação) e a secundária (número de coordenação), de forma que possa fazer mais ligações do que o seu número de oxidação¹⁴. Posteriormente, a natureza dessas ligações foi pensada por Linus Pauling, através do modelo da teoria de ligações de valência (TLV), e por Mulliken, Hund, Sltter e Lennard-Jones, através do modelo da teoria dos orbitais moleculares (TOM). Hans Bethe e Van Vleck desenvolveram a teoria do campo cristalino (TCC), que considera o efeito nos orbitais d causado pela presença dos ligantes, considerados unicamente como cargas pontuais¹⁴.

A TCC é capaz de explicar as cores observadas nos complexos de coordenação, na medida em que considera que os orbitais d do centro metálico perdem a degenerescência em função do campo causado pela presença dos ligantes. Assim, para um número de coordenação 6, campo octaédrico, os ligantes se aproximam do centro metálico pelos eixos x , y e z , aumentando a energia dos orbitais que apontam sobre estes eixos, notadamente os orbitais $d_{x^2-y^2}$ e d_{z^2} (Fig. 4). diferença de energia dos orbitais: os orbitais nos eixos são mais energéticos que do plano (d_{xy} , d_{xz} e d_{yz})¹⁴.

Fig. 4: Diagrama do desdobramento dos orbitais d em campo octaédrico



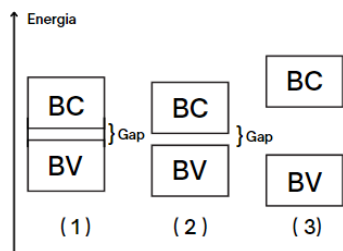
Fonte: (COSTA, 2004)

A diferença de energia entre os novos conjuntos de orbitais d (e_g e t_{2g}) é conhecida por parâmetro de desdobramento do campo, e é o que que permite a transição eletrônica para o surgimento da cor dos compostos. Essa variação de energia, por ser baixa, cai na faixa do visível do espectro eletromagnético. Isso significa que, quando a luz branca (solar, por exemplo ou a de uma lâmpada) incide sobre o complexo, ele absorve luz desta região, em frequência ou comprimento de onda específico, para a excitação eletrônica $e_g \leftarrow t_{2g}$. A cor resultante do complexo corresponderá à complementar desta frequência absorvida: se um elétron absorve luz com comprimento de onda de cor azul, então emitirá uma tonalidade alaranjada (cor oposta)^{14,15}. É importante mencionar que o parâmetro de desdobramento do campo depende da natureza do metal (quantidade de elétrons d , tamanho) e natureza e quantidade dos ligantes, que irão definir a simetria do campo. Daí a diversidade de cores observada¹⁴.

Em alguns compostos inorgânicos, porém, as colorações observadas não são resultantes das transições de elétrons dentro dos orbitais de um mesmo elemento, e sim por outros efeitos ópticos, como é o caso de alguns pigmentos utilizados para a pintura que serão mencionados posteriormente. A percepção da cor pode ser causada pela passagem de um elétron de um orbital mais externo de um elemento para o orbital de um outro elemento químico, como é o caso do azul da Prússia. Orna¹⁵ descreveu a coloração azulada deste complexo, pigmento utilizado a partir do século XVIII, como resultado de uma banda de intervalência: o composto $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ possui o ferro em dois estados de oxidação (Fe^{+3} e Fe^{+2}), de forma que ocorra uma oxidação e redução parcial desses dois centros levando a absorção de comprimentos de onda correspondentes a cor laranja.

Outras transições que podem provocar a presença de cor é a que ocorre em semicondutores: a transição de elétrons da banda de valência para a banda de condução. Nesse tipo de transição característica de sólidos metálicos, um elétron absorve energia e salta da banda de valência (orbitais preenchidos de elétrons) para uma banda de condução (orbital vazio)^{8,16}. Em condutores normais, essa variação de energia é muito pequena, de forma que a absorção de luz pode ocorrer em qualquer comprimento de onda, diferente dos semicondutores, que possuem transições específicas, como representa a Fig. 5. Um exemplo de compostos pigmentados que possuem esse tipo de transição é o cinábrio (HgS) de coloração vermelha e o atual amarelo de cádmio (CdS)¹⁵.

Figura 5: Diferença de gaps (energias de transição) da banda de valência (BV) para a banda de condução (BC) em 1 (condutores metálicos), 2 (semicondutores) e 3 (isolantes).



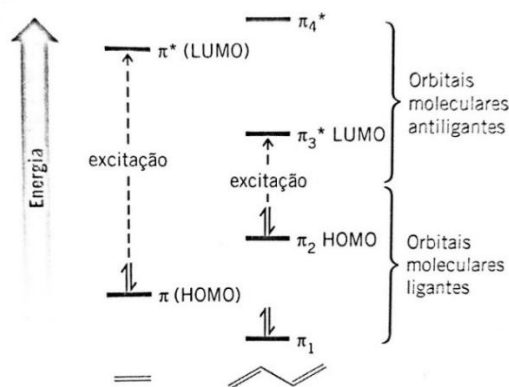
Fonte: (Próprio Autor)

Ocorre ainda a presença de cores iridescentes em alguns compostos inorgânicos como a opala, considerada um hidrato de sílica ($\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) de aspecto coloidal. O aspecto de iridescência desse composto nada tem a ver com transições eletrônicas, e sim, com a difração de Bragg, fenômeno no qual a luz difrata em diferentes direções, compondo diversas cores e alguns feixes não podem se propagar no interior do material¹⁷.

O fenômeno da cor também pode ser observado em compostos orgânicos. Neste caso, a cor se dá em função da presença de ligações π conjugadas, ou seja, ligações duplas intercaladas por ligações simples¹⁸.

Moléculas que apresentam sistemas conjugados na sua estrutura possuem a capacidade de absorver na região do visível, provocando transição eletrônica entre os orbitais de fronteira HOMO (orbitais moleculares ocupados de maior energia) e LUMO (orbitais moleculares desocupados de menor energia). A Fig. 6 apresenta, de forma simplificada, transições do tipo HOMO-LUMO^{9,18}. Como o gap de energia HOMO-LUMO varia de composto para composto, variam também as frequências de absorção e, conseqüentemente, as colorações das substâncias. Outro fator que interfere na coloração, para estes casos, é a quantidade de ligações π conjugadas. Como regra, quanto maior o número de ligações conjugadas em um composto, maior será o comprimento de onda em que ele irá absorver para a promoção eletrônica HOMO-LUMO¹⁸.

Fig. 6: Energias relativas dos orbitais π do eteno e do 1,3-butadieno



Fonte: (SOLOMONS, 2009)

O nome “cromóforo” é utilizado para designar um conjunto de conjugações em cadeias abertas ou fechadas que promovem a cor nos compostos orgânicos, assim como os “auxocromóforos”, que são estruturas ligadas as conjugações e podem modificar a absorção de cor^{9,18}. Em relação aos pigmentos utilizados no meio artístico, destacam-se os cromóforos do tipo azo, perilenos, quinacridonas, antraquinonas, dioxazinas e ftalocianinas⁹. Os cromóforos azo são caracterizados pela presença do agrupamento ($-\text{N}=\text{N}-$), enquanto as antraquinonas se destacam pelo hexano portador de duplas com oxigênios. Em outras estruturas é comum também a presença de anéis cíclicos e conjugações.

2.2. Pré-história

Os primeiros pigmentos utilizados para produção de pinturas datam da pré-história, período compreendido entre 3500 a.C e 3000 a.C, aproximadamente. As primeiras manifestações de pinturas em grutas, blocos e paredes apresentavam diferentes pigmentos e formas de fixação nesses suportes. Os pigmentos naturais identificados em grutas de diversas localidades possuem uma composição variada, predominando principalmente os tons de ocre, vermelho, amarelo, preto e branco¹⁹. Devido a ações exógenas, alguns pigmentos mudaram de composição e intensidade, não permanecendo na forma inicial, contudo, com o auxílio de análises químicas (FTIR, DRX, RMN, MEV) é possível identificar algumas composições químicas predominantes^{20,21,22}.

Os principais componentes químicos encontrados na composição dos pigmentos rupestres são: a hematita²⁰ (Fe_2O_3), de tom frequentemente avermelhado, goethita²⁰ ($\text{FeO}(\text{OH})$), de ocorrência em vários tons, caulinita²¹ ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), de tonalidade amarela e carvão²³, proveniente de matéria orgânica (inclusive capaz de auxiliar em datações da própria tinta¹⁹). Algumas colorações como roxo e azul são observadas em menor quantidade, e frequentemente são decorrentes de reações químicas ao longo dos anos de exposição^{20,21,24}.

Essas mudanças de coloração foram identificadas como decorrência da variação da própria morfologia de óxidos de ferro sob efeito térmico, formando outras cores. A presença da cor roxa nas amostras evidencia que houve modificação da estrutura do material, provocando até mesmo mudança no tamanho de partículas, de forma que o pigmento roxo tem maior granulometria e a hematita maior cristalinidade^{20,21}.

Em diferentes abrigos da Patagônia foram observadas ocorrência de colorações brancas e esverdeadas, indicando a presença de gipsita (CaSO_4) e calcita (CaCO_3)²². Os mesmos minerais foram encontrados em abrigos da região da Espanha²⁵. A coloração azul em pinturas também foi encontrada no Brasil, porém, a identificação revelou uma pintura preta anterior de carvão com deposição posterior de uma camada mineral rica em silício, causando o efeito azulado²⁴.

As análises dos componentes das pinturas rupestres revelaram, assim, pigmentos encontrados na natureza, de composição semelhante entre si, passíveis de deterioração e mudanças de coloração em função do intemperismo.

2.3. Idade Antiga

Com o avanço da tecnologia e mudanças nas atividades sociais, o objetivo da pintura modificou-se. Em consequência, a composição e performance das tintas utilizadas também aumentou. O Egito, considerado o epicentro dessa transformação, destacou-se com a produção de tintas para escrita. De modo geral, os egípcios utilizavam uma dispersão de partículas de carbono (carvão ou fuligem) na água para misturas de tintas pretas²⁶. Posteriormente, pigmentos vermelhos, róseos e azulados foram encontrados, revelando outras composições.

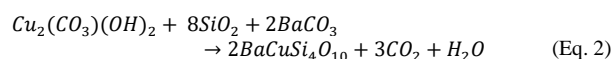
A análise desses pigmentos mostrou a ocorrência predominante de óxidos, principalmente hematita (Fe_2O_3), cinábrio (HgS) e realgar (As_2S_3) para a coloração vermelha. Esses pigmentos eram obtidos por meio dos seus respectivos minérios²⁷. Outro pigmento identificado, na tonalidade azul, foi o silicato de cobre e cálcio ($\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$), chamada de cuprovaíta ou “azul egípcio”. Esse é considerado um dos primeiros pigmentos sintéticos, devido a sua forma de obtenção por meio da calcinação de sais²⁸. A tonalidade de verde apresenta uma grande concentração de cuprovaíta aliada a outros minerais compostos por cobre, alumínio e cloretos (atacamita, caulinita e paratacamita) e a tonalidade roxa foi identificada como uma mistura de pigmentos azuis e vermelhos^{28,29,30}. A Fig. 7 apresenta um artefato egípcio que contém pedras de lápis-lazúli, outro pigmento utilizado com o azul egípcio para coloração azul²⁶.

Figura 7– Ornamento egípcio de pedras de lápis-lazúli



Fonte: (ATKINS, 2018)

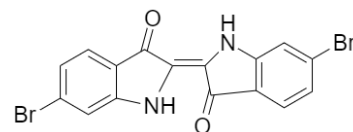
A cultura chinesa também foi marcada por uma diversidade na paleta de cores, incluindo a produção do “azul de han”, pigmento muito semelhante ao azul egípcio. O mineral era obtido por meio de calcinação de sais de bário, cobre e silício, produzindo o composto $\text{BaCuSi}_4\text{O}_{10}$, reação demonstrada na Eq.2²⁸. Outra tonalidade derivada do azul de han é o “roxo de Han”, que continha uma composição muito semelhante, porém, com adicionais de óxidos de cobre²⁸.



Outro pigmento produzido nessa época e de importante valor econômico foi o “púrpura tíria”, retirado de moluscos que habitavam o mar Mediterrâneo. Esse pigmento, inicialmente produzido pelos fenícios e posteriormente pelos romanos, apresentava uma tonalidade

roxa que se fixava bem no vestuário da época^{31,32}. A estrutura molecular do púrpura está representada na Fig.8:

Fig.8: Estrutura do corante “púrpura tíria”

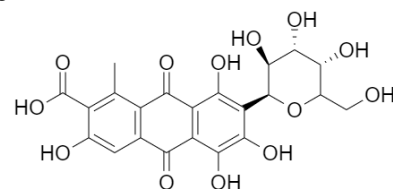


(Fonte: Próprio autor)

A arte grega e romana também apresentava uma gama de pigmentos, alguns produzidos por meio da calcinação, assim como o azul egípcio. O chumbo, formador de vários óxidos, deu origem aos pigmentos de tom amarelo, vermelho e branco, utilizados em pinturas e afrescos greco-romanos. Um dos pigmentos amarelados era o monóxido de chumbo (PbO), de cor semelhante ao enxofre e denominado “massicote” que era obtido a partir do aquecimento do carbonato básico de chumbo (PbCO_3). $\text{Pb}(\text{OH})_2$ de tonalidade branca³³. Para obtenção de tons alaranjados, era utilizado o mesmo monóxido de chumbo e o tetraóxido de chumbo (Pb_3O_4) de tom avermelhado³³. Esse material avermelhado, era denominado “litargírio” e posteriormente descobriu-se que era possível sua obtenção por meio do aquecimento do carbonato básico de chumbo a uma temperatura de 480 °C³³.

Os pigmentos utilizados nas civilizações pré-colombianas provinham de diferentes origens. Para formação de pigmentos de tonalidade azul e verde observadas nos murais, a civilização dos Maias, utilizava plantas da espécie *Indigofera*, assim como alguns minerais como malaquita ($\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$), pseudomalaquita ($\text{Cu}_5(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_4$ e veszelyta³⁴. O material produzido a partir das plantas *Indigofera* possui até hoje uma conservação extraordinária, mesmo com a ação do intemperismo ao longo dos anos³⁵. Ainda nesse contexto, a civilização Asteca desenvolveu tecnologia para a extração de um pigmento vermelho denominado “ácido carmínico”, obtido do inseto *Dactylopius coccus*. Esse composto (Fig.9) foi extremamente valorizado e comercializado para utilização na indústria têxtil e na produção de telas desde o período pré-hispânico até meados do século XIX devido ao seu alto poder de fixação^{36,37}.

Fig. 9: Estrutura do ácido carmínico

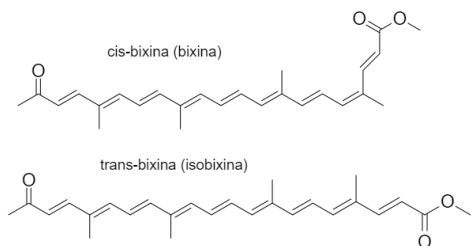


Fonte: (Próprio autor)

No Brasil, os pigmentos naturais eram utilizados pelos indígenas como pintura corporal e coloração de comidas e bebidas, como o “urucum”. Esse pigmento, proveniente de uma planta nativa da região (*Bixa orellana*), apresenta um aspecto avermelhado, e ainda é utilizado como

corante alimentício e cosmético devido as suas propriedades atóxicas³⁸. O seu componente que revela a cor avermelhada é a molécula de bixina, que é encontrada naturalmente na forma *cis* e no processo de extração se isomeriza na forma *trans* isobixina³⁹ (Fig.10)

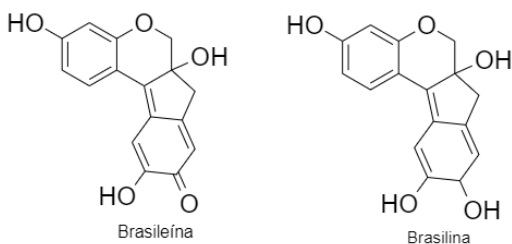
Fig. 10: Moléculas de bixina e isobixina



Fonte: (Próprio autor)

Nos primeiros anos da colonização das terras brasileiras, os franceses deram início a comercialização do pau-brasil (*Paubrasilia echinata*), uma árvore cujo extrato possui uma cor avermelhada, posteriormente utilizada como tinta de escrita e tingimento de tecidos. O extrato da planta possui a molécula “brasileína”, que após sofrer oxidação tem como produto a molécula “brasileína”⁴⁰ (Fig. 11).

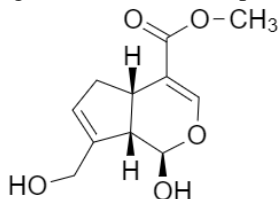
Fig. 11: Moléculas brasileína e brasilina



Fonte: (Próprio autor)

Além desses pigmentos naturais, os indígenas também utilizavam pigmentos extraídos das sementes de jenipapo (*Genipa americana*) para a produção da cor preta encontrada em suas tatuagens. A estrutura responsável pela coloração é a molécula “genipina”, que se torna escura em contato com as proteínas da pele⁴⁰ (Fig.12)

Fig. 12: Molécula Genipina



Fonte: (Próprio autor)

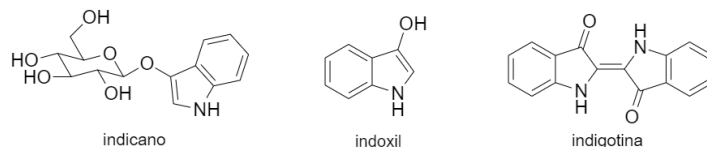
2.4. Período medieval e renascimento

Ao longo dos anos, a sociedade europeia cedeu a um modo de vida feudal e sob forte influência da igreja católica. Como símbolo desse poder religioso, em 1464 a igreja troca as cores roxas utilizadas na nobreza romana pela tonalidade vermelha, representada também em pinturas medievais. Para

a produção da cor vermelha, utilizou-se durante um curto período de tempo, o fluido extraído do inseto *Kermes vermilio*, que pouco tempo depois foi substituído pela comercialização de outro pigmento da américa espanhola denominado “chochonilla”⁴¹. O corante chochonilla também era proveniente de um fluido de origem animal do inseto *Dactylopius coccus*, extraído por meio da secagem dos insetos seguido da adição de solvente em meio alcalino⁴². A molécula responsável pela coloração do chochonilla é o ácido carmínico (Fig. 9) e sua coloração vermelha é obtida por meio da complexação do ácido com os metais alumínio, ferro ou estanho⁴². Outro pigmento que apresenta reações dinâmicas é o “sangue de dragão”, retirado de árvores, que em soluções ácidas se apresentam catiônicas (coloração amarelada) e em soluções menos ácidas apresentam sua tonalidade vermelha⁴³.

A utilização das tonalidades azuis na idade média também teve seu simbolismo sacro, sendo representados a partir do século XII no vestuário da Virgem Maria^{44,45}. Os pigmentos azuis produzidos na idade média provinham basicamente de duas origens diferentes: lápis-lazúli (comentado anteriormente, e uma pedra rara) e extrato de plantas da família *Indigofera*, assim como os Maias³⁵. O “azul ultramarino” era o nome dado ao pó retirado da pedra de lápis-lazúli, que corresponde ao complexo inorgânico $(Na,Ca)_8Al_6Si_6O_{24}(S,SO_4)$, e extremamente caro devido à escassez da pedra^{45,46}. O extrato retirado das plantas (indicano) passava por um processo de fermentação para obtenção do “indoxil” de cor esverdeada. Para a transformação que dá origem ao tom azulado, era necessário a agitação do recipiente provocando a oxidação do composto levando a formação da molécula de “indigotina”⁴⁷. As fórmulas do precursor e dos produtos desses processos estão representadas na Fig.13:

Fig 13 – Componente de plantas *Indigofera* antes e após processo de obtenção do azul



Fonte: (Próprio autor)

Os outros pigmentos utilizados eram a base de chumbo: carbonato básico de chumbo $(PbCO_3)_2 \cdot Pb(OH)_2$ e um óxido de chumbo contendo estanho (Pb_2SnO_4) para pigmentos brancos ou amarelados respectivamente, carbono puro (negro de fumo) para colorações negras, compostos formados por cobre para pigmentos esverdeados como é o caso do “verdigris”, uma mistura de acetatos de cobre^{35,45}.

Durante o período do renascimento, outros pigmentos foram sendo incorporados, como o “amarelo de Nápoles, fabricado por meio do aquecimento de nitrato ou óxido de chumbo com um composto de antimônio, dando origem ao $PbSbO_4 / Pb(SbO_3)_2$ ⁴⁵. A época do Renascimento foi marcada pela busca da arte da antiguidade clássica, e diversas técnicas foram desenvolvidas durante este período,

como a perspectiva, utilização da proporção áurea e esfumo⁴⁸.

Nesse contexto, a figura do artista, cientista e engenheiro Leonardo da Vinci é peça-chave para compreender a influência dos ideais renascentistas na pintura. Apesar de não existirem muitos registros acerca dos pigmentos utilizados nas suas pinturas, é possível identificar por meio de DRX e outras técnicas, certos pigmentos nas pinturas de Leonardo. Alguns desses pigmentos são: branco de chumbo (PbCO_3), Pb(OH)_2 em diferentes granulometrias (fato que muda o aspecto final da obra), azul ultramarino, cinábrio (HgS), além de alguns pigmentos modernos como azul de cobalto, demonstrando que houveram algumas tentativas de restauração das obras.^{49,50} Para suas técnicas de “sfumato”, contrariando o que era esperado, Leonardo não utilizava os pigmentos pretos comuns como “negro de fumo (carbono) ou negro de ossos, mas sim, alguns óxidos de manganês. Esse tipo de óxido reagia mal com os aglutinantes utilizados, mas Da Vinci produzia um pó fino por meio de moagem, de forma que o pigmento tivesse uma melhor aderência e homogeneidade na pintura⁵¹. A Fig 14 apresenta uma das famosas pinturas de Leonardo⁵².

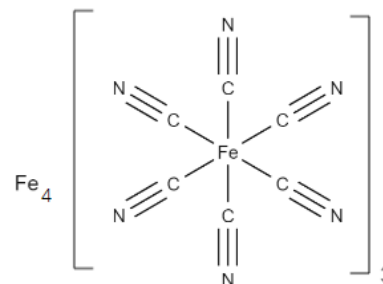
Figura 14 – Pintura de Leonardo da Vinci, Ginevra de’ Benci



(VINCI, 1474)

No ano de 1706, perto do fim do renascimento, um pigmento azul foi produzido acidentalmente na Alemanha pelo fabricante de tintas Diesbach. Durante o acidente, o produtor manipulava um pigmento vermelho com compostos de potássio, quando utilizou um lote de potássio contaminado com ferro^{45,51}. A sua coloração azulada é devido a transição de dois estados de oxidação do ferro (Fe^{3+} e Fe^{2+}), de forma que os elétrons se movimentem e absorvam energia na faixa do vermelho e laranja⁵³. A Fig. 15 apresenta o complexo de ferro que origina o azul da prússia, como ficou conhecido, ferrocianeto férrico ou hexacianoferato(II) de ferro(III). Como é possível observar no complexo, o ânion cianeto (CN^-) faz parte de sua composição. Em contato com meios ácidos, o complexo pode liberar HCN (cianeto de hidrogênio), um gás altamente tóxico, fato que só foi descoberto em 1782 pelo químico Carl Wilhelm Scheele, que faleceu após a síntese⁵³.

Fig. 15: Azul da prússia

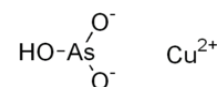


Fonte: (Próprio autor)

2.5. Da revolução industrial as tendências atuais

O cenário político e estrutural da Inglaterra do século XVIII propiciou o surgimento de um país industrial desenvolvido economicamente, fator que se alastrou nos anos seguintes por toda a Europa. A invenção das máquinas a vapor e o investimento na indústria têxtil acarretaram em um aprimoramento no setor de pigmentos. No ano de 1775, um pigmento verde a base de arsênio, (CuHAsO_3) foi desenvolvido e utilizado na pigmentação de papel de parede, vestidos e posteriormente na pintura. Esse pigmento era denominado “verde de Scheele” ou “verde de Schweinfurt”, e possuía uma pigmentação considerada extraordinária para os padrões da época, além de uma excelente resistência ao desbotamento, fator causado pelas ligações de hidrogênio presentes na molécula⁵³. Posteriormente, descobriu-se que esse pigmento foi responsável por diversos problemas de saúde decorrentes da época por meio da volatilização de arsina (AsH_3), trióxido de arsênio (AsO_3) e trimetilarsina $\text{CH}_3(\text{As})$ causada pela ação de fungos capazes de converter o composto original em gases tóxicos^{53,54}. A Fig. 16 apresenta a estrutura do verde de Scheele.

Fig. 16: Arsenito de cobre



Fonte: (Próprio autor)

A coloração amarela também passou por algumas mudanças a partir da descoberta dos minerais de cádmio no século XIX. No ano de 1817 o “amarelo de cádmio” foi introduzido e passou a ser utilizado como uma alternativa ao “amarelo de Nápoles” (antimoniato de chumbo) utilizado no século XVIII, substância considerada tóxica⁴⁸. O pigmento inorgânico original é o sulfeto de cádmio (CdS) e sofreu algumas mudanças na sua síntese e composição ao longo dos anos, incluindo a introdução de amostras de selenato de cádmio (CdSe) e sulfeto de zinco (ZnS)⁵⁵. Atualmente o pigmento ainda é comercializado e utilizado, mas com diferenças na composição. O amarelo de cádmio também foi utilizado para produção de pigmentos alaranjados e vermelhos e ainda é utilizado hoje em dia para a mesma finalidade. A Fig. 17 ilustra o amarelo de um tipo de tinta feita a base de sulfeto de cádmio, da marca Joules & Joules, retirada do próprio site de vendas da empresa⁵⁶.

Fig. 17: Amarelo de cádmio (sulfeto de cádmio)

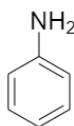


Fonte: (Joules & Joules)

A rápida continuidade da evolução industrial nos séculos XVIII e XIX levou a muitos comerciantes e químicos buscarem novas formas de pigmentação. Nesse contexto, no ano de 1856, o estudante de química alemão William Perkin, tentando sintetizar quinina por meio do alcatrão de carvão (resíduo indesejado do carvão), acabou por adicionar dicromato de potássio na substância, promovendo a oxidação da anilina^{45,57,58}. Perkin havia sintetizado o primeiro pigmento orgânico, que possuía uma cor roxa, posteriormente denominada de “malva”. O trabalho de Perkin foi patenteado e serviu como ponto de partida para uma nova produção de corantes.

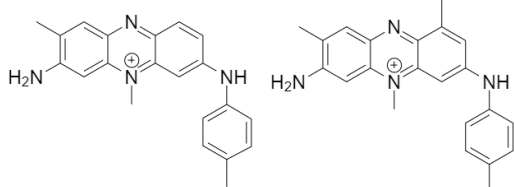
A própria “anilina” pura foi identificada como uma tonalidade azulada anos antes das descobertas de Perkin, pelo químico Friedrich Runge, ao perceber que o mesmo alcatrão ao ser tratado em meio básico com hidróxido de cálcio e hipoclorito, gerava uma coloração azulada que denominou de “cianol”. Porém, o composto não foi utilizado para pigmentação^{58,59}. Na Fig. 18 está representada a molécula de anilina e na Fig. 19 as moléculas responsáveis pela coloração roxa do pigmento “malve”.

Fig. 18: Anilina



Fonte: (Próprio autor)

Fig. 19: Moléculas presentes no pigmento “malve”



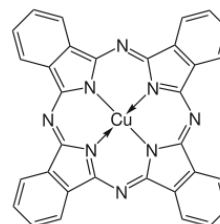
Fonte: (Próprio autor)

Após a descoberta da anilina, outros pigmentos já conhecidos foram sintetizados, como a popular “alizarina”, composto avermelhado que era retirado de raízes de garança (*Rubia tinctorum*)⁵⁹. As tonalidades de branco, até então produzidas com auxílio de branco de chumbo ($PbCO_3$)₂. $Pb(OH)_2$ foram substituídas pelo branco de zinco (ZnO), em 1850, pela calcinação de zinco metálico a 300°C e posteriormente pelo dióxido de titânio em 1918⁴⁸.

No século XX, a descoberta do “azul ftalo” levou a uma larga substituição do azul da prússia, devido a sua alta qualidade e estabilidade a altas temperaturas e luz intensa⁴⁸. Esse pigmento também foi produzido acidentalmente em

1928 por meio de ácido ftálico e amônia em um recipiente de cobre⁴⁵, resultando na molécula representada na Fig. 20:

Fig.20: Fitalocianina Cúprica



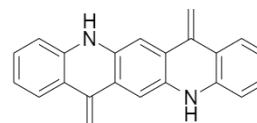
Fonte: (SMITH, 2003)

Por volta dos anos de 1950, com o avanço da indústria petroquímica e a busca pela síntese de pigmentos mais resistentes a ação do tempo e da luz, novos compostos foram introduzidos. Atualmente, a classificação de pigmentos que ainda são utilizados pode ser dividida em pigmentos inorgânicos, pigmentos orgânicos naturais e pigmentos orgânicos sintéticos⁴⁸.

Dentre os pigmentos inorgânicos mais utilizados na atualidade por artistas, podemos encontrar compostos mencionados anteriormente, como: o sulfeto de cádmio (CdS), lápis-lazúli (uma forma sintética do lápis lazúli foi obtido no século XIX e denominado ultramarino), óxido de zinco (de fórmula ZnO , atualmente vem sendo substituído pelo óxido de titânio para colorações brancas), ocre amarelo (óxido de ferro hidratado, aparece em pinturas de caverna), negro de fumo, etc⁴⁸.

Na década de 50, na área dos pigmentos orgânicos, o descobrimento das quinacridonas, moléculas de pigmentos altamente resistentes ao calor e de diversas cores (vermelho azulado, magenta-amarelo, escarlate) abriu caminho para a busca por tintas cada vez mais resistentes⁶⁰. As quinacridonas existem em diversos formatos e podem adquirir vários nomes de acordo com o tipo de produto vendido, mas todos os tipos possuem uma estrutura policíclica e predominantemente a cor avermelhada^{48,60}. A Fig. 21 apresenta um pigmento derivado de uma quinacridona (violeta 19):

Fig. 21: Quinacridona violeta 19



Fonte: (Próprio autor)

Na pigmentação amarela, os compostos orgânicos sintéticos mais utilizados são os denominados “azo”. Os pigmentos dessa classificação são caracterizados pela presença de um agrupamento $-N=N-$ como grupo cromóforo⁵⁹. Esse tipo de estrutura tende a ser resistente a degradação por luz e ação microbiana, fator que os leva a serem muito utilizados hoje em dia, ainda que estudos relatem a toxicidade de derivados da degradação desse compostos⁶¹. Algumas tintas do tipo “azo” utilizadas são: Amarelo Hansa, Amarelo Arolida RN e Amarelo AZO Níquel⁴⁸. Outras classes de compostos orgânicos são a D.P.P.

ou “dioxopyrrolopyrroles”, antraquinonas e perilenos. Os compostos D.P.P. apresentam alta eficiência e resistência a luz e são majoritariamente utilizados na indústria automobilística^{48,59}.

O avanço da indústria de pigmentos e corantes trouxe várias contribuições quanto a durabilidade e resistência das colorações. Porém, nesse contexto, cabe ressaltar que produção e utilização de forma intensa, pode levar a problemas ambientais, como no caso dos corantes têxteis⁵⁹. As principais problemáticas a respeito de corantes são relacionadas com efeitos toxicológicos em humanos e no ecossistema aquático (devido ao descarte sem tratamento), bem como quanto a redução da penetração da luz solar em corpos hídricos⁶². Em relação às tintas e pigmentos artísticos, o uso de componentes que possam levar a contaminação em humanos vem sendo reduzido ao longo do desenvolvimento de novos modelos.

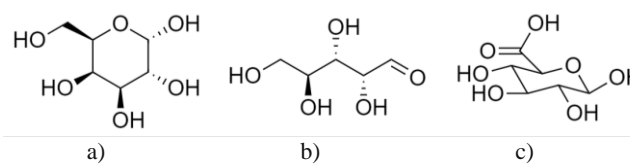
3. Diluentes e aglutinantes: gomas, óleos, resinas, emulsões e solventes

3.1. Os primeiros aglutinantes: gomas e a técnica de aquarela

A goma arábica, utilizada desde a Idade Antiga pelas civilizações dos egípcios e chineses como veículo para pinturas, é um material formado por sacarídeos encontrados em árvores de acácias⁶³. Uma das espécies capazes de produzir esse material é a *Acacia senegal*, cuja constituição polissacarídica apresenta alto peso molecular e boa solubilidade em água, como as gomas em geral⁶⁴. Por estas características, a goma arábica foi desde cedo empregada para produção de aquarelas (soluções com 30 a 40% de goma) e tintas guache^{48,63}. Outras gomas utilizadas na antiguidade e na atualidade são a goma tragacanto, obtida de árvores da espécie *Astragalus*, gomas de árvores frutíferas como cerejeira, ameixeiras, pessegueiras, gomas de alfarrobeira (*Ceratonia siliqua*) entre outras⁶⁴.

O grande diferencial das gomas no geral, principalmente a goma arábica, é a sua solubilidade em água, contribuindo para as técnicas de aquarela e guache, tintas feitas a base de água. As tintas de aquarela são feitas por meio da trituração de pigmentos em um meio solúvel na água, no caso a goma arábica⁴⁸. Essa particularidade desse tipo de goma é decorrente da sua composição, formada por sais de cálcio e magnésio, galactose, arabinose e ácido glicurônico (Fig. 22), substâncias que conferem fortes interações com a água (ligações de hidrogênio)⁶⁵. Após a aplicação de aquarela no suporte adequado, a água evapora e a goma se torna o ligante entre o pigmento e o suporte.

Fig. 22: Algumas moléculas presentes na composição da goma arábica: a) galactose, b) arabinose e c) ácido glicurônico, da esquerda para a direita.



Fonte: (Próprio Autor)

Além da goma arábica, outra goma utilizada como emulsões ou para fabricação de cartazes a prova d'água é a caseína, proteína de origem animal produzida por meio da acidificação do leite coalhado ou a partir da fervura de pele e ossos de animais. As técnicas de utilização de caseína se assemelham com as técnicas de têmpera à base de ovos.

3.2. Têmpera: emulsões de ovo

A técnica de têmpera foi muito utilizada nos séculos XV e XVI e consiste na utilização de emulsões naturais ou artificiais tais como ovos ou colas e gomas para a formação de diluentes para pigmentos^{48,66}. Na utilização da têmpera natural usa-se uma emulsão por meio de ovos, formando um material coloidal devida a suspensão de um líquido em outro⁴⁸. Assim como os óleos, os componentes dos ovos são formados em grande parte por lipídios como ácidos graxos, podendo sofrer as mesmas reações químicas que os óleos como oxidação lipídica, reticulação e cisão da cadeia, adquirindo assim a proteção desejada nas pinturas⁶⁶. A Fig. 23 representa uma das pinturas do artista renascentista Botticelli, que utilizou a técnica de têmpera⁶⁷.

Fig 23: O Nascimento de Vênus de Sandro Botticelli, pintura com técnica de têmpera do ano de 1482



BOTTICELLI(1484)

A presença de proteínas na técnica de têmpera de ovo também pode contribuir na formação de complexos com os componentes da tinta, que posteriormente podem ser identificados em análises. Duce et al⁶⁸ identificaram a presença de complexos de cinábrio (HgS) com caseína e albumina, esta última uma proteína encontrada na clara do ovo. Em outros estudos, já foi demonstrado que a interação da têmpera com o cinábrio pode acelerar os processos de oxidação dos lipídios, apesar do aglutinante ter surtido um efeito de proteção nas próprias telas⁶⁹.

3.3. Óleos e resinas: Procedimentos de secagem e composição

A utilização de óleos como veículos para pigmentos é datada desde o período medieval (século XIII), ao contrário do que normalmente se pensa, já que sua descoberta foi atribuída aos irmãos Eyck⁴⁸. No meio artístico, os óleos podem ser subdivididos em: óleos secantes (essenciais) e óleos semi-secantes (vegetais), sendo utilizados como protetores, veículos de pigmentos, adesivo entre pigmento e suporte e como realçador de efeitos visuais⁴⁸. Os óleos mais utilizados na Europa Ocidental para obtenção dessas finalidades foram: óleo de linhaça (extraído de sementes de

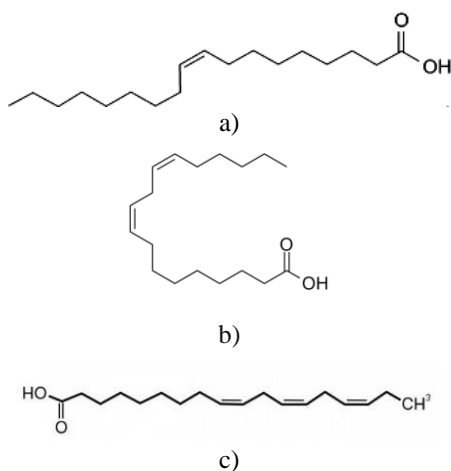
Linum usitatissimum), noz e de semente de papoula (*Papaver sonniferum*)⁶⁴. Atualmente, o uso de óleo de linhaça e papoula continua sendo frequente pela maioria dos artistas, assim como óleos de girassol, terebintina, lavanda, cravo, entre outros⁴⁸.

Dentre a diversidade dos óleos disponíveis para utilização, a terebintina ainda é muito utilizada pelos artistas, principalmente como diluente das tintas à óleo. Sua extração é feita a partir da destilação das resinas de árvores coníferas como o Pinheiro amarelo (*Pinus pinaster*) e Pinheiro marítimo (*Pinus Sylvestris*)⁴⁸. Apesar do seu alto índice de utilização, a terebintina é tóxica para o organismo humano e outros animais: sua inalação pode causar irritação de olhos, dor de cabeça, edema pulmonar, etc⁷⁰.

A composição dos óleos é muito semelhante às gorduras, sendo que a única diferença é o estado de agregação: óleos são líquidos e as gorduras formam estruturas sólidas⁶⁴. Essa diferença é relacionada com a quantidade de insaturações nas cadeias carbônicas dos ácidos graxos presentes, ou seja, quanto mais insaturações houver nas cadeias, maior interação entre carbonos, menor polaridade, menor ponto de fusão e, portanto, maior será a tendência do composto ser líquido⁶⁴.

Os componentes dos óleos são, portanto, ésteres de ácidos carboxílicos e ácidos graxos contendo ligações duplas em sua cadeia⁷¹. Essas ligações sofrem processos de oxidação que são responsáveis pela qualidade dos filmes de óleo formados sobre as pinturas, assim como as próprias ligações dos ésteres. Sobre estas últimas, caso sejam hidrolisadas antes da secagem dos filmes podem levar a uma acidificação do meio e a reações químicas com os pigmentos presentes na pintura⁷¹. A Fig. 24 apresenta as estruturas dos principais ácidos encontrados em óleos de secagem.

Fig. 24: Ácidos encontrados em óleos de secagem: a) Ácido oleico, b) Ácido linoleico, c) ácido linolênico.

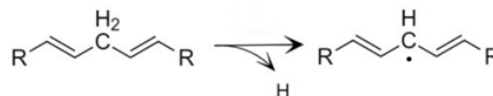


Fonte: (Próprio autor)

Sobre esses processos de oxidação que dão origem a estrutura final dos óleos, diversos caminhos de polimerização oxidativa podem ser elucidados. De acordo com Mills⁶⁴, o mecanismo pode ser descrito em algumas

possíveis etapas. A primeira etapa (Fig. 25) ocorre com a saída do hidrogênio de um carbono terciário com ligações duplas próximas, fator que contribui para uma baixa energia de quebra de ligação (cerca de 322 kJ.mol⁻¹) em comparação com hidrogênios em carbonos primários (427kJ.mol⁻¹).

Fig. 25 – Saída do hidrogênio do carbono terciário

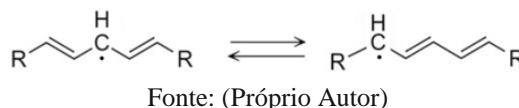


Fonte: (Próprio autor)

Após a saída do hidrogênio ocorre a estabilização do radical por meio da deslocalização eletrônica (ressonância), formando híbridos de ressonância representados na Fig. 26:

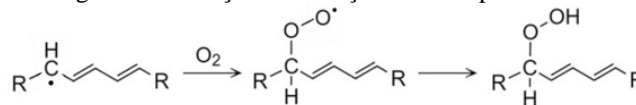
Como os radicais formados são muito reativos, diversos caminhos de reação podem ser seguidos e o mais favorável é a reação com o oxigênio presente no ar (produzindo peróxidos), seguida da captura de um hidrogênio pertencente a uma molécula de ácido graxo insaturado e a formação de um hidroperóxido (Fig. 27).

Fig. 26 – Formação de híbridos de ressonância



Fonte: (Próprio Autor)

Fig. 27 – Oxidação e formação de hidroperóxidos



Fonte: (Próprio Autor)

Após a formação de hidroperóxidos, ocorre a degradação desses compostos por meio de duas vias: pela via homolítica, com a formação de compostos de variadas funções (cetona, álcoois, éteres, etc), e pela via de oxidação induzida da cadeia, gerando clivagem da cadeia carbônica e formação de ácidos graxos^{63,64,72}. Essas reações também podem ser catalisadas por alguns metais capazes e formar peróxidos no meio e iniciar os processos oxidativos: essa propriedade foi verificada quando alguns pintores notaram que os óleos secavam mais rapidamente na presença de alguns pigmentos formados de cobalto, manganês e chumbo^{64,72}. Por fim, a recombinação de todos os radicais gerados promove o aumento da cadeia carbônica e do peso molecular formando estruturas tridimensionais e modificando o aspecto líquido do óleo para um aspecto endurecido⁶³.

Além desse processo de polimerização auto-oxidativa, alguns óleos de secagem passam por um processo de “pré-polimerização”, no qual o óleo é aquecido sem contato com o ar formando um aspecto mais encorpado. Essas reações são denominadas “reações de Diels-Alder” e

levam a transformação de um dieno conjugado e um composto insaturado formando um composto cíclico⁶⁴.

3.4. Solventes: Principais utilizações

A função do solvente na composição de uma pintura é essencialmente diluir e solubilizar os seus componentes (óleos, pigmentos, resinas), tornando-os mais líquidos e facilmente manuseáveis. Por isso são muito utilizados na restauração e conservação de obras de arte⁷³. O solvente mais utilizado e conhecido é a própria água, empregada em tintas de aquarela e acrílica, importando a sua composição e o nível de sais solúveis no preparo de tintas. Em alguns casos, como o das emulsões de têmpera, a água empregada deve ser destilada⁴⁸. Em relação aos solventes não aquosos, estes podem ser divididos em: hidrocarbonetos (aromáticos, halogenados e alifáticos), álcoois, éteres, ésteres, cetonas, aminas e amidas⁷³.

A utilização de diferentes solventes é em razão da natureza e solubilidade de cada composto: a regra do “semelhante dissolve semelhante” se aplica na produção de tintas e veículos adequados para o trabalho artístico. Nesse contexto, solventes apolares diluem bem componentes oleosos e solventes polares diluem bem componentes de características polares. Dentre os tipos de solventes mencionados, o “white spirit” ou “agarrás”, muito utilizado para remoção de tinta seca e diluição de óleos é conhecido por ser um substituto da terebintina. Sua obtenção se dá por meio da destilação fracionada na faixa entre o petróleo leve e o querosene (aproximadamente entre 155°C e 195°C)⁶⁴. Além do *white spirit*, a vaselina e parafina também são derivados do petróleo e utilizadas como solventes⁴⁸.

Solventes pertencentes a outras funções orgânicas também são utilizados extensivamente no meio artístico, principalmente para restauração de obras. Uma pintura é resultado de aplicações variadas de tintas de composições diferentes somadas a estrutura de triglicérides no veículo oleoso, portanto, a restauração de obras requer um conjunto de vários fatores para a escolha do solvente ideal⁷⁴. Baij et al⁷⁴ destacam que a aplicação de um solvente em pinturas de cavalete envolve “conhecimento de dissolução de vernizes, inchamento da tinta, difusão do solvente, evaporação, lixiviação e reações químicas com a tinta”. Como se constata, a arte não dispensa a ciência.

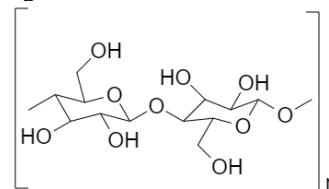
4. Suportes: Fabricação de papel

Dentre as diversas superfícies utilizadas pelos artistas para desenho e pintura a mais comum e de fácil acesso é o papel. O processo de fabricação depende essencialmente da finalidade e natureza da matéria-prima de cada componente, porém, as fibras que o constituem são tradicionalmente compostos aniônicos, enquanto que seus aditivos são compostos catiônicos (para melhor interação e retenção)⁷⁵. Essas fibras e aditivos também são importantes para a resistência do papel: fibras longas, aditivos, pH alcalino, adição de amido e outros polímeros são alguns dos elementos utilizados para esse fim⁷⁶. Assim, de acordo com o produto final desejado, i. e., tipo do papel, esses fatores são modificados e incorporados na fabricação.

A matéria-prima para fabricação de papéis é a celulose, um polissacarídeo estrutural encontrado na parede celular das plantas e em abundância no algodão, linho e cânhamo⁷⁷. Atualmente, a fibra mais utilizada são os “linters de algodão”, encontradas na semente da planta, além de fibras artificiais (nylon e rayon) e misturas entre algodão e outras fibras⁴⁸. A celulose possui importantes propriedades que a configuram como ideal para a fabricação de papéis, a exemplo da insolubilidade em água e formação de fibras de diferentes tamanhos, fornecendo diferentes aspectos^{48,77}. A Fig. 28 apresenta a fórmula estrutural do monômero constituinte da celulose:

Durante o processo de fabricação alguns compostos resinosos são acrescentados para tornar o papel mais resistente à água, de forma que o composto interage com água e com a fibra simultaneamente. Esses compostos devem ser hidrofílicos e catiônicos, permitindo assim a sua adsorção no papel (a parte hidrofílica se liga na celulose pelo hidrogênio e a parte hidrofóbica se localiza na superfície)^{48,78}. Nesse mecanismo, quando o papel entra em contato com a água, a reidratação da celulose é controlada pela camada de resina que se aderiu a folha, permitindo um inchaço controlado⁷⁸. É importante ressaltar que a celulose interage com a água devido a presença de hidroxilas, mas não é solúvel em meio aquoso em razão das interações serem predominantemente intramoleculares.

Fig. 28 – Monômero de celulose

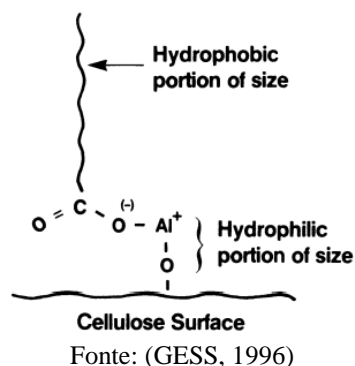


Fonte: (Próprio autor)

As particularidades do papel produzido também estão relacionadas ao seu próprio pH e sua interação com tintas e solventes. Durante o processo de fabricação, alguns componentes alcalinos, ácidos e neutros podem ser utilizados para modificar suas propriedades. Um dos compostos ácidos utilizados para colagem das fibras de celulose é o derivado de árvores coníferas (pinheiros) denominado “colofonia” formada majoritariamente por ácidos isomerizados⁷⁹. Esse processo de colagem previne o espalhamento das tintas sobre o papel, torna-o resistente a penetração de umidade aumenta a retenção de outros materiais aderidos ao papel.

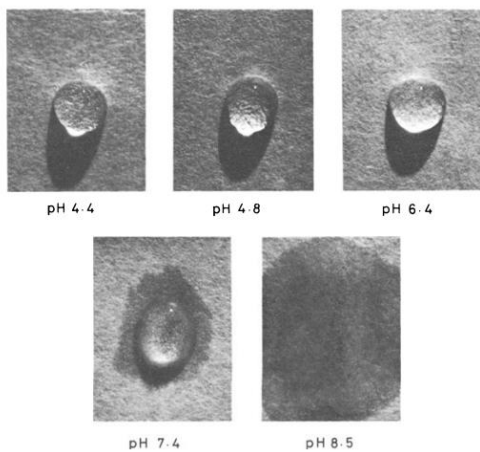
O mecanismo de deposição da colofonia sobre as fibras de celulose é realizado em faixa e pH de 4,2 e 5,5 e é auxiliada por um agente coagulante, frequentemente alumínio: sulfato de alumínio e potássio (AlKSO₄)⁷⁹. Segundo o modelo de reação mais aceito, o agente coagulante auxilia o agente colante a entrar em contato com a fibra por meio de uma reação entre o alumínio e a colofonia, formando um éster de alumínio, de acordo com o esquema representado na Fig. 29.

Fig. 29: Interação do agente coagulante com a fibra de celulose e a colofônia



Essa fixação deve ser realizada em meio ácido para a formação de cargas positivas no éster precipitado, se aderindo assim mais facilmente nas fibras naturalmente de característica aniônica. Um ponto interessante a respeito desse mecanismo de deposição é o fato do alumínio possuir a função de coagulante e fixador no pH de 4,2 a 5,5 e perder a capacidade de fixação em pH acima (5,5 – 6,5)⁷⁹. A Fig. 30 ilustra a representação da alta absorção de uma folha cujo pH sofreu variação durante a fabricação:

Fig. 30 – Absorção de água em papel produzido sob diferentes condições de pH



Fonte: (ROBERTS, 1996)

Apesar do mau desempenho com colofonias em pH alcalino, a busca por métodos de fabricação de papel em meio alcalino ganhou destaque devido a algumas vantagens, como a possibilidade do uso de carbonato de cálcio durante a fabricação, além de uma duração prolongada, corrosão de máquinas reduzida e maior resistência do papel⁸⁰. Para que pudesse ser utilizado esse método, novos agentes colantes foram desenvolvidos e estudados: o dímero de alquil ceteno (AKD), derivado de ácido graxo e os anidridos alquênico succínico (ASA)⁸⁰. Ambos os polímeros foram ligações covalentes diretamente com a celulose, sem necessitar de intermediários coagulantes como as resinas ácidas. A reação é representada nas Figs. 31 e 32:

Fig. 31: Reação entre celulose e AKD

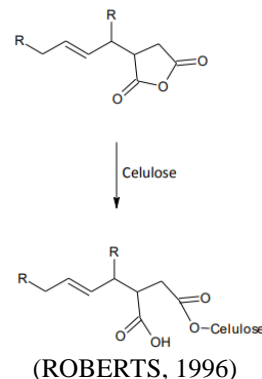
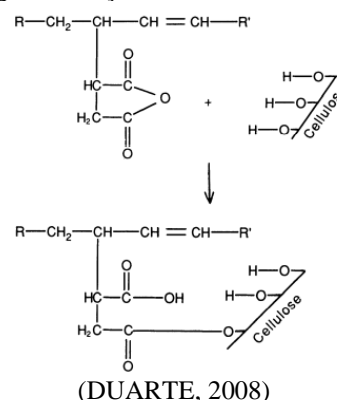


Fig. 32: Reação entre celulose e ASA



Apesar de apresentarem vantagens em relação aos agentes colantes de resina, os polímeros AKD e ASA possuem uma tendência de hidrolisar, produzindo compostos que não se configuram como agentes colantes⁸¹. Além dos agentes colantes, um componente também muito utilizado na composição de papéis é o carbonato de cálcio (CaCO₃), que cumpre funções de economia de energia e custo, melhoria em propriedades ópticas, adsorção de tintas e durabilidade, fornecendo um papel mais encorpado e adequado para o uso no desenho⁸². Outro componente adicionado a papéis que requerem grande resistência à água (papéis de aquarela) é a goma⁴⁸.

5. Lápis

O lápis é o instrumento de escrita e desenho mais utilizado no mundo inteiro desde sua criação. Apesar de existirem diversos modelos de suportes de escrita em diversas culturas, o lápis como o conhecemos hoje surgiu apenas no século XVII, com a ideia de colocar as minas de grafite entre filetes de madeira para suporte, (antes disso, o grafite era usado sem nenhum envoltório de suporte)⁸³. Já no século XVIII, o francês Jacques Conte idealizou um novo método de fabricação acrescentando argila como aglutinante para o grafite em pó⁸³.

De acordo com Encke⁸³, os principais componentes dos lápis são o grafite, cera, madeira, argila e pigmentos no caso dos lápis de cor. Como mencionado anteriormente, a argila atua como um aglutinante ao entrar em contato com o pó de grafite, interferindo diretamente na dureza do lápis e, conseqüentemente, na sua escrita. É comum que os lápis de

grafite apresentem graduações que classifiquem sua dureza, comumente variando de 9H a 8B, sendo os lápis H de maior número com maior percentual de argila e os lápis B de maior grau contendo maior percentual de grafite⁸⁴. Para incorporação de argila, o grafite é triturado até se tornar um material particulado muito fino e acrescentado a uma mistura de argila e água. Após esse procedimento, o material é comprimido, cortado em feixes do comprimento do lápis e aquecido a cerca de 1000 °C, para que no final do processo seja acrescentada cera derretida, ajustando assim a maciez do lápis⁴⁸. A Fig. 33 mostra o aspecto da mistura de grafite e argila na fábrica de lápis Faber-Castell⁸⁵:

Fig. 33: Mistura de água, grafite e argila na fábrica Faber Castell:



Fonte: (FABER-CASTELL, 2018)

O processo de fabricação de lápis coloridos se assemelha ao processo de fabricação dos lápis de grafite, com exceção de não serem aquecidos ao forno, devido a destruição dos pigmentos incorporados⁴⁸. Para a fabricação dos lápis coloridos os pigmentos mais utilizados são, preferencialmente, feitos de compostos atóxicos e livres de metais pesados solúveis como pigmentos de cromo, cádmio, sendo assim, se utilizam pigmentos orgânicos sintéticos⁴⁸. Além dos pigmentos, a cera é um material de grande importância incorporado na produção, devido a necessidade de uma maior fluidez no processo de pintura⁸⁶. Os lápis que possuem grandes quantidades do material espalham sua cor com mais facilidade, apesar do potencial surgimento de manchas opacas quando várias camadas são superpostas. Outro componente importante nos lápis aquareláveis são os veículos que solubilizam os pigmentos como a goma arábica⁴⁸.

6. Conclusão

Inegável a necessidade humana de comunicar-se e de se exprimir artisticamente. A estética está presente nas buscas e inquietações dos homens, em todas as suas atividades e desde as priscas eras. As cores e o belo, além do funcional e do prático, influenciam e constituem aspirações que nos acompanham desde sempre. Acreditava-se, nos idos da pré-história, que a representação de uma caça por meio de uma pintura favorecia a sua realização. Muitos idolatravam, como ainda idolatram, imagens e artefatos artísticos. A arte, portanto, seja como representação da realidade, seja como expressão mitológica, etc, tem a sua razão de ser e o seu imenso papel social. Esse contexto pode fazer parte da rotina escolar e conjugar-se com outras ciências, a exemplo da Química.

Neste artigo, também por um viés cronológico e histórico, buscou-se ressaltar os principais fatos ocorridos

quanto aos descobrimentos e desenvolvimentos dos materiais artísticos, bem como constituição química, reações e usos. Ao longo do texto, buscou-se estreitar relação entre a Química e a Arte, identificando a presença em peso desta ciência para o desenvolvimento do campo dos materiais artísticos. Identificação de pigmentos em obras antigas por meio de técnicas de laboratório, melhoria nos procedimentos de fabricação e investigação de toxicidade de produtos são alguns dos pontos de conexão observados. A partir desses pontos, foi possível a realização de um material que sirva de base para a formação de novas relações entre as duas áreas e permita possíveis projetos no meio educacional e acadêmico.

REFERÊNCIAS

- 1- EDWARDS, B. **Desenhando com o lado direito do cérebro**. Tradução de Ricardo Silveira.. 4 ed. [s.n.]: Ediouro, 2007, 299 p.
- 2- BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília, 2018
- 3- GOMES, F. COSTA, K. M. C. Interdisciplinaridade entre a química e a arte por meio dos corantes naturais. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, set. 2020, p. 72162 – 72173.
- 4- MOURA, C. B. de. Química & Arte: Explorando Caminhos Criativos em um Projeto com Estudantes de Ensino Médio. **Redequim**, v. 4, n. 2, 2018, p. 118 – 132.
- 5- CHINELLI, M. V. OLIVEIRA, A. P. C. de. TEIXEIRA, V. M. Química e Arte: “experienciando ou experimentando” em uma racionalidade aberta para o aprendizado da ciência. **Chem. Educ.** v.32, n.4,out. 2021, p. 23 – 33.
- 6- RIBEIRO, J. L. P. “Sobre as cores” de Isaac Newton – uma tradução comentada. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 39, n. 4, e4604 p. 2 – 18, 2017.
- 7- SANTOS, P. V. M. Parte I – História da teoria quântica – desenvolvimentos e fundamentos. In: FREIRE JR, O., PESSOA JR, O. BROMBERG, J. L (orgs.) Teoria Quântica: estudos históricos e implicações culturais. Campina Grande: EDUEPB. São Paulo: Livraria da Física, 2011. 456p
- 8- ATKINS, P. JONES, L. LAVERMAN, L. Princípios da Química: questionando a vida moderna e o meio ambiente. Tradução de Félix José Nonnenmacher. 7 ed. Porto Alegre: Bookman, 2018, 1062 p.
- 9- MARTINS, G. B. C. SUCUPIRA, R. R. SUAREZ, P. A. Z. A Química e as cores. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 4, p. 1508-1534, 2015

- 10- HELENE, O. HELENE A. F. Alguns aspectos de óptica do olho humano. **Revista Brasileira do Ensino de Física**, v. 33, n. 3, 2011.
- 11- WOLF, G. The Visual Cycle of the Cone Photoreceptors of the Retina. **Nutrition Reviews**, v. 62, n.7, p. 283-291, 2004
- 12- MARQUES, N. L. R. BULHÕES, L. O. S. Uma abordagem histórica sobre a interação da radiação com a matéria. **Revista Educar Mais**, v. 3, n. 2, p. 219-229, 2019.
- 13- MESSEDER, J. C. SANTOS, R. L. L. CASTRO, D. L. Variações de ensaios de chamas como propostas experimentais para o ensino de química. **Educação Química em ponto de vista**, v. 2, n.1, p. 144 – 160, 2018
- 14- COSTA, W. E. Aspectos básicos sobre compostos de coordenação e funções de onda angulares. 1 ed. São Luís: Ed UFMA, 2004, 203p.
- 15- ORNA, M. V. Chemistry and artist's colors: part II – Structural features of coloured compounds. **Journal of Chemical Education**, v. 57, n. 4, p. 264 – 267, 1980.
- 16- BACCARO, A. L. B. GUTZ, I. G. R. Fotoeletrocatalise em semicondutores: dos princípios básicos até sua conformação à nanoescala. **Quim. Nova**, v. 41, n. 3, p. 326 – 339, 2018.
- 17- PAPACÍDERO, A. T. **Propriedades ópticas em filmes de opala sintéticos**. Orientador: RIBEIRO, S. J. L. 2007. 69 p. Dissertação (Mestrado) – Química. Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2007.
- 18- SOLOMONS, T. W. G. Química Orgânica 1. Tradução de Maria Lúcia Godinho Oliveira. 9 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. 675p.
- 19- GASPAR, M. A Arte Rupestre no Brasil. 2 ed. Rio de Janeiro: Jorge ZAHAR, 2006.
- 20- HUNT, et al . The characterisation of pigments used in X-ray rock art at Dalakngalarr 1, central-western Arnhem Land. **Microchemical Journal**, v. 126, 2016, p. 524-529
- 21- KURNIAWAN, R. et al. Chemistry of prehistoric rock art pigments from the Indonesian island of Sulawesi, **Microchemical Journal**, v. 146, 2019, p. 227-233
- 22- ROUSAKI, On-field Raman spectroscopy of Patagonian prehistoric rock art: Pigments, alteration products and substrata, **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 105, 2018, p. 338-351,
- 23- ROSINA, P. Benquerencia (La Serena - Spain) rock art: An integrated spectroscopy analysis with FTIR and Raman, **Heliyon**, v. 5, n. 10, 2019.
- 24- LAGE, M. A Conservação de Sítios de Arte Rupestre. IN: LIMA, T. A. (org.). Patrimônio arqueológico: O desafio da preservação. Brasília: Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico, 2007, p. 95 a 107. OU LAGE, Maria Conceição S. M. A conservação de sítios de arte rupestre. Revista do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, v. 33, p. 95-107, 2007
- 25- RESANO, M. et al. Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry for the Characterization of Pigments in Prehistoric Rock Art. **Analytical Chemistry**, v. 79, n. 23, 2007, p. 8947-8955.
- 26- GHIGO, T., RABIN, I. BUZI, P. Black Egyptian inks in Late Antiquity: new insights on their manufacture and use. *Archaeol Anthropol Sci* v. 12, n. 70, 2020.
- 27- SCHIAVON, et al. A Multi-Analytical Study of Egyptian Funerary Artifacts from Three Portuguese Museum Collections. **Heritage**, v. 4, n.4, 2021, p. 2973-2995
- 28- BERKE, H.. The invention of blue and purple pigments in ancient times. *Chem. Soc. Rev*, v. 36, n.15, 2007, p. 15-30.
- 29- SCOTT, D. A. A review of ancient Egyptian pigments and cosmetics, *Studies in Conservation*, v. 61, n. 4, 2016, p.185-202.
- 30- CHRISTIANSEN, et al. Insights into the composition of ancient Egyptian red and black inks on papyri achieved by synchrotron-based microanalyses. *Pnas*, v. 117, n. 45, 2020, p. 27825–27835
- 31- SUKENIKI et al. Early evidence of royal purple dyed textile from Timna Valley. *PLoS ONE*, v. 16, n.1, 2021.
- 32- ZIDERMAN, I. I. Purple dye made from shellfish in antiquity. **Coloration Technology**, n. 16, p. 6-52, 1986
- 33- CABRAL, J. M. P. História Breve dos Pigmentos. 4. Das Artes Grega e Romana, **Química**, v.82, p. 57-64, 2001
- 34- MORENO, R. G. STRIVAY, D. GILBERT, B. Maya blue–green pigments found in Calakmul, Mexico: a study by Raman and UV-visible spectroscopy. *J. Raman Spectrosc.* v. 39, 2008, p. 1050–1056
- 35- CABRAL, J. M. P. História Breve dos Pigmentos. 4. Das Artes da Idade Média (2.ª parte), **Química**, v. 104, p. 39-50, 2007

- 36- CASANOVA-GONZÁLEZ, E. Surface-enhanced Raman spectroscopy spectra of Mexican dyestuffs. *Journal of Raman Spectroscopy*, v. 43, n. 11, 2012, p. 1551-1559
- 37- ANDERSON, B. C Evidence of Cochineal's Use in Painting. *Journal of Interdisciplinary History*, v. 45, n.3, p. 337-366, 2015
- 38- VILAR, D. et al. Usos tradicionais, constituintes químicos e atividades biológicas de *Bixa orellana* L.: uma revisão. **The Scientific World Journal**, v. 14, 2014.
- 39- ZECHMEISTER, L.ESCUE, R. A stereochemical study of methylbixin, **Journal of the American Chemical Society**, v. 66, n. 3, 1944
- 40- PINTO, A. C. O Brasil dos viajantes e exploradores e a química dos produtos naturais brasileira. *Química Nova*, v. 18, n.6, 1995, p. 608-615
- 41- COOKSEY, C. J. The red insect dyes: carminic, kermesic and laccaic acids and their derivatives, **Biotechnic & Histochemistry**, 2018
- 42- DAPSON, R. W. The history, chemistry and modes of action of carmine and related dye, **Biotechnic & Histochemistry**, v. 82, n.4-5, p. 173-187, 2007.
- 43- CABRAL, J. M. P., História Breve dos Pigmentos. 4. Das Artes da Idade Média (1.ª parte), **Química**, v. 103 p. 33-44, 2006
- 44- CÔRREA, V. Azul na história da arte. **Revista Seminário de História da Arte**, v. 1, n.7, 2018
- 45- BARNETT, J.R. MILLER, S. PEARCE, E. Color in art: a vrief history of pigments. **Optics e Lase Technology**, v. 38, p. 445 – 453, 2006.
- 46- CATALÃO, I. M. et al. Lapis lazuli usage for blue decoration of polychrome painted glazed pottery: a recurrent technology during the Middle Ages in Apulia (Southern Italy). *Journal of Archaeological Science*, v. 34, n.4, p. 503-511, 2007
- 47- CAMPBELL, T. V. Índigo: Resgate do azul vegetal para novas aplicações no design. Orientador: Fernando Betim Paes Leme. 2013. 110 f. Dissertação de Mestrado (Mestre em Design) – Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2013.
- 48- SMITH, R. Manual prático do artista: equipamentos, materiais, procedimentos e técnicas. Tradução de Luiz Carvalho e José Fracisco Vidigal. 2º ed. São Paulo: Ambientes & Costumes Editora, 2003, 384p
- 49- GONZALEZ, V. et al. Microchemical analysis of Leonardo da Vinci's lead white paints reveals knowledge and control over pigment scattering properties. **Scientific Reports**, v. 10, n. 21715, 2020.
- 50- CALIRI C, et al. In situ macro X-Ray fluorescence scanning on a Leonardo da Vinci Portrait, x-ray spectometry, v. 50, p. 332-340, 2021.
- 51- WALTER, P. Chemical Analysis and Painted Colours: the Mystery of Leonardo's Sfumato, *European Review*, v. 21, n. 2, p. 175-189, 2013.
- 52- VINCI, Leonardo da. **Ginevra de' Benci**. 1474. Óleo sobre tela. 38 x 37cm.
- 53- ABEL, A. The history of dyes and pigments: From natural dyes to high performance pigments. In: Woodhead Publishing Series in Textiles, 2ed: Janet Best, 2012, p. 557-587
- 54- WANG, P., et al. A review on completing arsenic biogeochemical cycle: Microbial volatilization of arsines in environment. *Journal of Environmental Science*, v. 26, p. 371-381, 2014
- 55- GHIRARDELLO, M. et al. Time-Resolved Photoluminescence Microscopy Combined with X-ray Analyses and Raman Spectroscopy Sheds Light on the Imperfect Synthesis of Historical Cadmium Pigments. **Anal. Chem**, v. 90, p. 10771-10779, 2018
- 56- Joules & Joules. Amarelo de Cádminio. Disponível em: <<https://www.joulesejoules.com/06t-amarelo-de-cadmio>>. Acesso em 20 jul. 2022.
- 57- COVA, T.F.G.G., PAIS, A.A.C.C. SEIXAS, J.S. Reconstructing the historical synthesis of mauveine from Perkin and Caro: procedure and details. **Scientific Reports**, v.7, n. 6806, 2017
- 58- JOHNSTON, W. T. The discovery of aniline and the origin of the term “aniline dye”. **Biotechnic & Histochemistry**, v. 83, n.2, p. 83-87, 2008
- 59- CARNEIRO, P. A., ZANONI, M.V.B. Corantes têxteis. In: ZANONI, M.V.B., YAMANAKA, H. (org.). Corantes: Caracterização química, toxicológica, métodos de detecção e tratamento. 1 ed. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2016, p. 13-36.
- 60- LOMAX, S. Q. Phthalocyanine and quinacridone pigments: their history, properties and use. **Studies in conservation**, v. 50, n.1, p. 19-29, 2005.
- 61- BAFANA, A. DEVI, S. S. CHAKRABARTI, T. Azo dyes: past, present and future. **Environmental Reviews**, v. 19, p. 350-370, 2011.
- 62- ROCHA et al. Toxicidade em humanos. In: ZANONI, M.V.B, YAMANAKA, H. (org). Corantes: Caracterização química, toxicológica, métodos de

- detecção e tratamento. 1 ed. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2016, p. 107-121.
- 63- MELLO, V. M. SUAREZ, P. A. Z. A formulação de tintas expressivas através da história. **Revista Virtual de Química**, v. 4, n. 1. p. 2 – 12, 2012.
- 64- MILLS, J. S. The organic chemistry of museum objects. 1 ed (s.n): Butterworth & Co, 1987.
- 65- MOHAMMED, E. M. I. **Comparative Study on some Physical and Chemical Properties of Gum Arabic (Acacia senegal L. and Acacia seyal L.)**. Orientador: : Dr. Mohammed Osman Babiker. 2000. 38 p. Dissertação (Mestrado) – Química. Departamento de Química aplicada e Tecnologia Química. Faculdade de Engenharia e Tecnologia, Universidade de Gezira, 2000.
- 66- CASOLI, A. BERZIOLI, M. CREMONESI, P. The Chemistry of Egg Binding Medium and Its Interactions with Organic Solvents and Water. In: *New Insights into the Cleaning of Paintings: Proceedings from the Cleaning 2010 International Conference*. n.3, 2013, Washington DC: Smithsonian Institution, p. 39-44
- 67- BOTTICELLI, Sandro. **O Nascimento da Vênus**. 1484. Têmpera sobre tela. 172 x 278 cm.
- 68- DUCE, C. et al. Physico-chemical characterization of protein-pigment interactions in tempera paint reconstructions: casein/cinnabar and albumin/cinnabar. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, v. 402, n. 6, p. 2183 – 2193, 2012
- 69- ELERT, K. MENDONZA, M. P. CARDELL, C. Direct evidence for metallic mercury causing photo-induced darkening of red cinnabar tempera paints. **Commun Chem**, v.4, n. 174, 2021
- 70- PANDE, T. K. et al. Turpentine poisoning: a case report. **Forensic Science International**, v. 65, n. 1, p. 47-49, mar. 1994.
- 71- TUMOSA C. S. MECKLENBURG, M. F... Oil Paints: The Chemistry of Drying Oils and the Potential for Solvent Disruption *In: New Insights into the Cleaning of Paintings: Proceedings from the Cleaning 2010 International Conference*. n.3, 2013, Washington DC: Smithsonian Institution, p. 51-58.
- 72- TUMAN, S. J. et al. Differential scanning calorimetry study of linseed oil cured with metal catalysts. **Progress in Organic Coating**, v. 28, P. 251 – 258, 1996.
- 73- CRUZ, A. J. O risco da arte:A toxicidade dos materiais utilizados na execução e conservação das pinturas de cavalete. IN: **A Conservação e o Restauro do Património – Riscos, Prevenção, Segurança, Ética, Lei**, Lisboa, ARP, p. 27-41, 2002
- 74- BAIJ, L. et al. A review of solvent action on oil paint. **Heritage Science**, v. 8, n. 1, 6 maio 2020.
- 75- LINDSTÖM, T. Electrokinetics of the papermaking industry. In: : ROBERTS, J. C. (ed.). *Paper chemistry*. London: Blackie Academic and Professional, 1996, p. 25 – 42.
- 76- MARTON, J. Dry-strength additives. . In: : ROBERTS, J. C. (ed.). *Paper chemistry*. London: Blackie Academic and Professional, 1996, p. 83 – 96.
- 77- LAVANYA, D. Sources of cellulose and their applications: a review. **International journal of drug formulation and research**, v. 2, n. 6, 2011.
- 78- DUNLOP-JONES, N.. Wet-strength chemistry In: : ROBERTS, J. C. (ed.). *Paper chemistry*. London: Blackie Academic and Professional, 1996, p. 98 – 117.
- 79- GESS, J. M. The sizing of paper with rosin and alum at acid pHs In: : ROBERTS, J. C. (ed.). *Paper chemistry*. London: Blackie Academic and Professional, 1996, p. 120 – 138.
- 80- ROBERTS, J.C. Neutral and alkaline sizing. In: : ROBERTS, J. C. (ed.). *Paper chemistry*. London: Blackie Academic and Professional, 1996, p. 140 – 160.
- 81- DUARTE, N. F. F. Síntese e caracterização de amostras de ASA. Orientador: João Paulo Nunes Cabral Telo. 2008. 102f. Dissertação de Mestrado (Mestre em Química) – Universidade Técnica de Lisboa, 2008.
- 82- JIMOH, O.A, et al. Synthesis of precipitated calcium carbonate: a review. **Carbonates Evaporites** v. 33, p. 331-346, 2018.
- 83- ENCKE, F. L. The chemistry and manufacturing of the lead pencil. **Journal of Chemical Education**, v. 47, n. 8, p. 575, ago. 1970.
- 84- SOUSA, M. C.; BUCHANAN, J. W. Observational Models of Graphite Pencil Materials. **Computer Graphics Forum**, v. 19, n. 1, p. 27-49, mar. 2000.
- 85- FABER-CASTELL. Como fazemos lápis. Youtube, 3 dez. 2018. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=OzgJXZTk09I>>
- 86- POULIN, B. A. The complete colored pencil book. 1ed (s.n): North Light, 1992.



Chemical Composition and Anticancer activity of the Essential Oil Extracted from Fresh Orange Peels of *Citrus sinensis*

Mosad A. Ghareeb¹ and Safyah B. Bakare² (Corresponding author: sbqri@su.edu.sa)

¹Department of Medicinal Chemistry, Theodor Bilharz Research Institute, Kornish El-Nile, 12661 Warrak El-Hadar, Giza, Egypt,

²Faculty of Education, Shaqra University, Al Muzahimiyah, Kingdom of Saudi Arabia

Abstract. Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) analysis of the essential oil (EO) separated from fresh orange peels (*Citrus sinensis* L.) revealed the presence of eight components and representing 99.33% of the total oil composition. Their identification was based on their retention times and mass spectral fragmentation patterns. D-limonene (40.45%), α -Terpineol (25.26%), γ -terpinene (16.28%), Geranyl acetate (5.80%) and Linalool (5.60%) represent major components. MTT assay was conducted to test the anticancer activity of the EO against four human tumor cell lines namely, Hepatocellular carcinoma (HEPG-2), Mammary gland breast cancer (MCF-7), Epitheliod Carcinoma (Hela) and Human prostate cancer (PC-3). IC₅₀ value of essential oil for HEPG-2 cell line was 41.44 μ g/ml, for MCF-7 cell line 53.23 μ g/ml, for PC-3 cell line was 63.32 μ g/ml while for Hela cell line was 36.52 μ g/ml. In conclusion, EO of *Citrus sinensis* may be a good natural anticancer agent and its major components may be responsible for the anticancer activity.

Keywords: Orange peels; *Citrus sinensis*; Essential oil; GC-MS; Anticancer activity.

1. INTRODUCTION

Cancer is the most leading cause of morbidity and mortality worldwide; it can be defined as a rapid uncontrolled growth of body cells and must be fight via surgery or chemotherapy [1-3]. Essential oils (EOs) are the volatile constituents that occur in plants and responsible for their characteristic odor. The chemical profile of the EOs is very complicated, it contained large number of mixed components i.e., monoterpenes, sesquiterpenes, diterpenes and their derivatives. Moreover, EOs possess wide spectrum of biological and pharmacological potentials including antioxidant, anticancer and antimicrobial [4,5]. The genus *Citrus*, belonging to the family (Rutaceae), comprises of about 140 genera and 1,300 species. Most *Citrus* are growing in tropical and subtropical regions around the world especially Mediterranean region [6,7]. *Citrus* as an edible plant have

numerous medicinal and nutritional benefits [8]. Orange peels commonly known as sweet oranges and its volatile constituents are mainly; esters, aldehydes, alcohols, terpenes, terpenols and ketones [9,10]. Essential oils from orange peels have a broad spectrum of uses like; aroma flavour in alcoholic and nonalcoholic beverages, marmalades, gelatins, sweets, soft drinks, ice creams, dairy products, candies, and cakes [11]. Therefore, the current study aims to the isolation and characterization of the essential oil from fresh peels of the *Citrus sinensis* L. growing in Egypt as well as to investigate its anticancer activity.

2. EXPERIMENTAL/MATERIALS AND METHODS

2.1. Plant material

Fresh sweet orange fruits (*Citrus sinensis* L.; Rutaceae) were purchased from market in Giza, Egypt country during November 2017. The plant was identified by Mrs. Threase Labib consultant of plant taxonomy at the Ministry of Agriculture; formerly, the head of taxonomist specialists at the garden. The fruits were stored at 4 °C, then washed and peeled within 2 days. The orange peels were fragmented into small pieces and stored at -20 °C before extraction.

2.2. Essential oil isolation

The fresh sweet orange peels (0.5 Kg) were subjected to hydrodistillation using Clavenger apparatus [5], to extract the essential oil which was determined as mean of triplicate. The chemical composition of the collected oil was determined qualitatively via GC-MS by comparing their retention times and mass spectral fragmentation patterns with the previously reported data [12].

2.3. GC/MS Analysis

The GC/MS analysis was performed using a Thermo Scientific, Trace GC Ultra/ISQ Single Quadrupole MS and TGSMs Fused Silica Capillary Column (30m, 0.251 mm, 0.1 mm Film thickness), National Research Center, Giza, Egypt. For GC/MS detection, an electron ionization system with ionization energy for 70 eV was used as the carrier gas at a constant flow rate of 1 ml/min. The injector and MS transfer line temperature was set at 280°C. The oven temperature was programmed at an initial temperature 40°C (hold 3 min) to 280°C was a final temperature at an increasing rate of 5°C/min (hold 5 min). The identified components were investigated using a percent relative peak area. A tentative identification of the compounds was performed based on the comparison of their relative retention time and mass spectra with those of the NIST, WILLY Library data of the GC/MS system [13].

2.4. Cell lines

Four human tumor cell line namely, Hepatocellular carcinoma (HEPG-2), Mammary gland breast cancer (MCF-7), Epitheliod Carcinoma (Hela) and Human prostate cancer (PC-3). The cell lines were obtained from ATCC via Holding company for biological products and vaccines (VACSERA), Cairo, Egypt. Doxorubicin was used as a standard anticancer drug for comparison.

2.5. Chemical reagents

The reagents RPMI-1640 medium, MTT and DMSO (sigma co., St. Louis, USA), Fetal Bovine serum (GIBCO, UK).

2.6. MTT assay

The cell lines mentioned above were used to determine the inhibitory effects of compounds on cell growth using the MTT assay. This colorimetric assay is based on the conversion of the yellow tetrazolium bromide (MTT) to a purple formazan derivative by mitochondrial succinate dehydrogenase in

viable cells. Cell lines were cultured in RPMI-1640 medium with 10% fetal bovine serum. Antibiotics added were 100 units/ml penicillin and 100 µg/ml streptomycin at 37°C in a 5% CO₂ incubator. The cell lines were seeds in a 96-well plate at a density of 1.0x10⁴ cells/well at 37°C for 48 h under 5% CO₂. After incubation the cells were treated with different concentration of compounds and incubated for 24 h. After 24 h of drug treatment, 20 µl of MTT solution at 5mg/ml was added and incubated for 4 h. Dimethyl sulfoxide (DMSO) in volume of 100 µl is added into each well to dissolve the purple formazan formed. The colorimetric assay is measured and recorded at absorbance of 570 nm using a plate reader (EXL 800, USA). The relative cell viability in percentage was calculated as (A₅₇₀ of treated samples/A₅₇₀ of untreated sample) X 100 [14,15].

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Identification of the EO constituents via GC-MS analysis

EOs are a diverse group of natural products that are composed of different classes of volatile constituents. The first class is constituted of terpenes and terpenoids, the second include phenolic (phenylpropanoids) constituents, the third one includes aliphatic components like alkanes, alkenes as well as their oxygenated derivatives (alcohols, aldehydes, and ketones) and other constituents such fatty acids, oxides, and sulfur derivatives [16,17].

Herein, qualitative investigation of the EO of *C. sinensis* resulted in the identification of eight components (**Table 1, Figure 1**) representing 99.33% of the total oil composition based on their retention times and mass spectral fragmentation patterns. D-limonene (40.45%), α -Terpineol (25.26%), γ -terpinene (16.28%), Geranyl acetate (5.80%) and Linalool (5.60%) were the major identified components.

Several *Citrus* species have been investigated for their essential oil content and evaluated for biological activity. Lin et al (2010) identified nine volatile constituents from the fresh sweet orange fruits (*Citrus sinensis*) namely, α -terpineol, β -pinene, myrcene, linalool, limonene, neryl acetate, α -pinene, γ -terpinene and geranyl acetate [18]. The GC-MS analysis of the volatile oil obtained from *Citrus sinensis* revealed the presence of chemical ingredients including α -terpineol (35.39%), D-limonene (17.74%), linalool (9.73%), citronellol (4.88%), γ -muurolene (4.44%) and isopiperitenone (3.58%) [19]. Also, the GC-MS investigations of citrus oil extracted from orange peels led to the identification of volatile constituents including α -Pinene (1.24%), Octanol (0.84%), β -Myrcene (3.79%) and D-limonene (94.13%) [20]. Moreover, fourteen components were identified in the volatile oil of *Citrus reticulata* by GC-MS analysis including monoterpene constituents (68.1%), monoterpene hydrocarbons i.e., α -thujene (3.1%), α -pinene (4.2%), α -camphene (1.8%), β -pinene (10.8%) and Sabinene (0.9%), monoterpene alcohol i.e., α -terpineol (0.8%), monoterpene ketones [21]. Colecio-Juárez et. al., [22] reported the identification of 46 components in the volatile oil of *Citrus limetta* including linalool, sabinene, and bergamot [22].

Table 1. Chemical compositions of the essential oil of fresh orange peels of *C. sinensis*

| Peak No. | RT (min) | Area (%) | M.wt. | M.F. | Identified compounds |
|----------|----------|----------|-------|--|----------------------|
| 1 | 6.62 | 1.25 | 136 | C ₁₀ H ₁₆ | α -Pinene |
| 2 | 11.53 | 3.75 | 136 | C ₁₀ H ₁₆ | β -Myrcene |
| 3 | 12.01 | 0.94 | 222 | C ₁₅ H ₂₆ O | Elemol |
| 4 | 13.0 | 5.60 | 154 | C ₁₀ H ₁₈ O | Linalool |
| 5 | 19.46 | 40.45 | 136 | C ₁₀ H ₁₆ | D-limonene |
| 6 | 22.32 | 25.26 | 154 | C ₁₀ H ₁₈ O | α -Terpineol |
| 7 | 26.27 | 16.28 | 136 | C ₁₀ H ₁₆ | γ -terpinene |
| 8 | 28.45 | 5.80 | 196 | C ₁₂ H ₂₀ O ₂ | Geranyl acetate |

RT: Retention time

M.wt.: Molecular weight

M.F.: Molecular formula

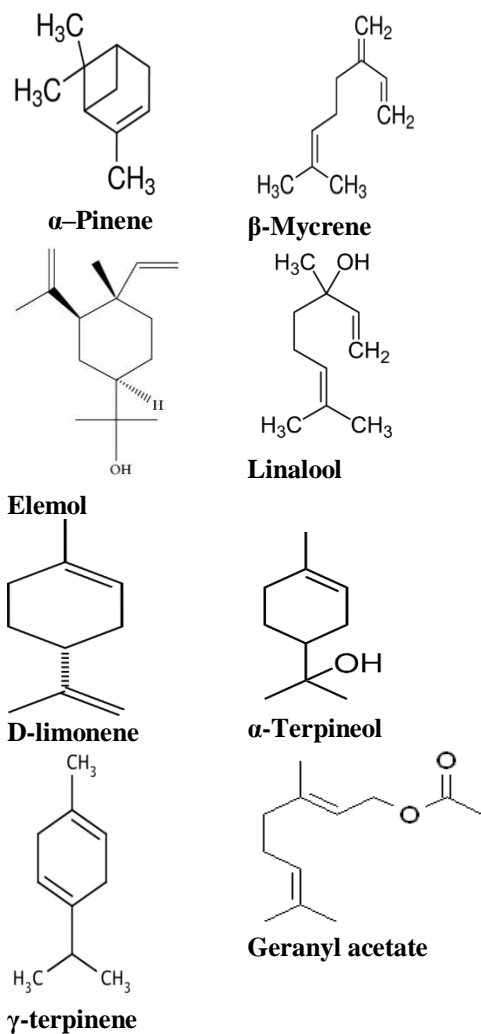


Figure 1. Chemical structures of the identified compounds.

3.2. Anticancer activity of EO

Essential oils have acquired increasing attention as potential sources for bioactive natural molecules. Several

studies revealed their possible use as alternative medications for the treatment of many health disorders like inflammations, infectious diseases, and cancer [23]. Our findings revealed that the essential oil isolated from fresh peels of the *C. sinensis* exhibited high anticancer activity against, Hela (IC₅₀= 36.52 μ g/ml), followed by HepG-2 (IC₅₀= 41.44 μ g/ml), MCF-7 (IC₅₀= 53.23 μ g/ml) and PC-3 (IC₅₀= 63.32 μ g/ml) (**Table 2, 3; Figure 2**).

Reviewing literature survey revealed that the anticancer activity of essential oil of Iranian *C. sinensis* peels was evaluated using two human tumor cell lines (MCF-7 and Hela). IC₅₀ value of essential oil for MCF-7 cell line was 0.5 μ g/ml, while for Hela cell line 3 μ g/ml [24]. The anticancer therapeutic potential of EOs includes two pathways, chemoprevention, and cancer suppression. In the same context, different modes of actions are possible like; activation of detoxification enzymes, modulation of DNA repair signaling, antimetastasis, and antiangiogenesis [23,25].

Table 2. Anticancer activity of the EO of *C. sinensis* against four human tumor cells

| Sample | <i>In vitro</i> Cytotoxicity IC ₅₀ ¹ | | | |
|------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|
| | HePG2 | MCF-7 | PC3 | Hela |
| DOX ² | 4.50 \pm 0.2 | 4.17 \pm 0.2 | 8.87 \pm 0.6 | 5.57 \pm 0.4 |
| EO | 41.44 \pm 2.6 | 53.23 \pm 3.0 | 63.32 \pm 3.4 | 36.52 \pm 3.1 |

¹IC₅₀ (μ g/ml): 1-10 (very strong), 11-20 (strong), 21-50 (moderate), 51-100 (weak) and above 100 (non-cytotoxic)

² DOX: Doxorubicin

Table 3. Average of relative viability of cells (%) using different concentrations from Doxorubicin and EO

| Conc. (μ g/ml) | HePG-2 | MCF-7 | PC-3 | Hela |
|--------------------------|--------|-------|------|------|
| DOX | | | | |
| 100 | 6.3 | 6.2 | 8.8 | 7.3 |
| 50 | 11.2 | 10.9 | 16.3 | 12.1 |
| 25 | 14.1 | 14.3 | 21.7 | 18.9 |
| 12.5 | 28.3 | 26.9 | 38.9 | 30.8 |
| 6.25 | 45.8 | 41.5 | 59.2 | 51.7 |
| 3.125 | 57.6 | 58.4 | 73.6 | 62.4 |
| 1.56 | 71.2 | 69.1 | 95.3 | 74.0 |
| EO of <i>C. sinensis</i> | | | | |
| 100 | 33.7 | 38.0 | 41.3 | 29.8 |
| 50 | 45.9 | 52.1 | 58.1 | 41.7 |
| 25 | 59.1 | 65.3 | 63.7 | 56.2 |
| 12.5 | 68.2 | 71.4 | 79.4 | 73.4 |
| 6.25 | 91.3 | 94.2 | 92.6 | 86.0 |
| 3.125 | 100 | 100 | 100 | 98.3 |
| 1.56 | 100 | 100 | 100 | 100 |

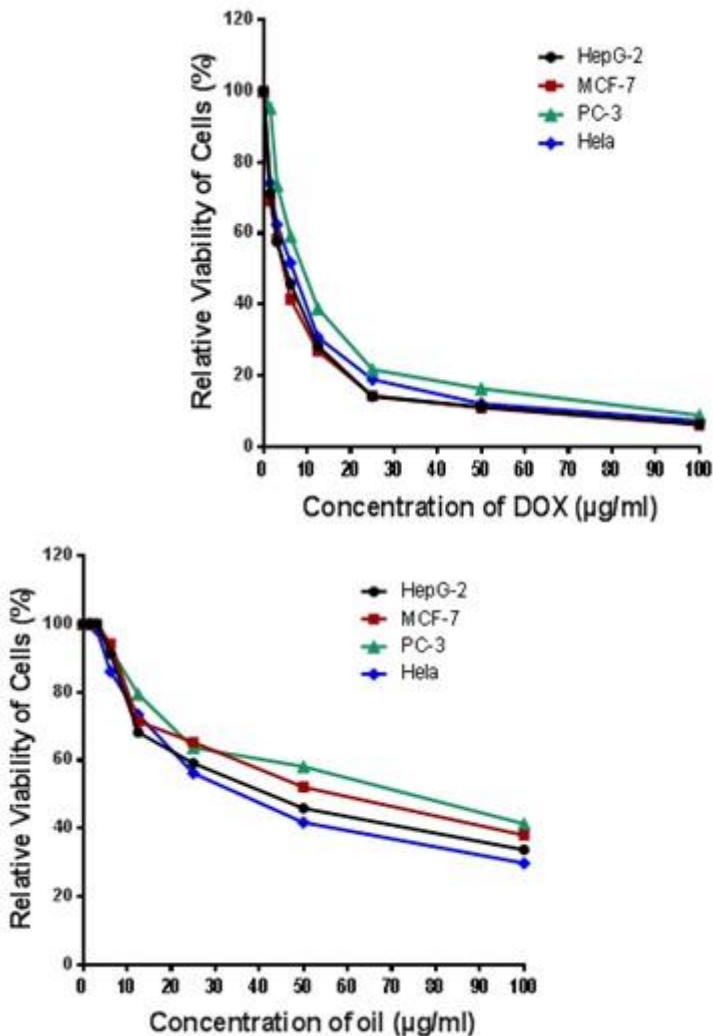


Figure 2. Relative viability cells (%) using different concentrations of Doxorubicin and EO of *C. sinensis* against four human tumor cells.

4. CONCLUSION

The essential oil extracted from the fresh orange peels of *Citrus sinensis* exhibited strong anticancer activity against three human tumor cell lines, which may be attributed to the presence of single major component viz., D-limonene (40.45%) or via the synergistic effect (Co-activity) between the overall constituents viz., D-limonene (40.45%), α -Terpineol (25.26%), γ -terpinene (16.28%), Geranyl acetate (5.80%) and Linalool (5.60%), therefore, EO from *C. sinensis* could be used as a natural source of anticancer agents.

5. CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare that there is no conflict of interests in this manuscript.

REFERENCES

- [1] Ghareeb, M.A., Shoeb, H.A., Madkour, H.M.F., Refahy, L.A., Mohamed, M.A., Saad, A.M., "Radical scavenging potential and cytotoxic activity of phenolic compounds from *Tectona grandis* (Linn.). *Global Journal of Pharmacology* 7, 486-497, 2013.
- [2] Ghareeb M.A., Shoeb, H.A., Madkour, H.M.F., Refahy, L.A., Mohamed, M.A., Saad, A.M., "Antioxidant and cytotoxic activities of flavonoidal compounds from *Gmelina arborea* (Roxb.)", *Global Journal of Pharmacology*, 8, 87-97, 2014.
- [3] Yang C, Chen H, Chen H, Zhong B, Luo X, Chun J. Antioxidant and anticancer activities of essential oil from Gannan Navel orange peel. *Molecules*. 2017; 22: 1391.
- [4] Ghareeb, M.A., Refahy, L.A., Saad, A.M., Ahmed, W.S., "Chemical composition, antioxidant and anticancer activities of the essential oil from *Eucalyptus citriodora* (Hook.) leaves," *Der Pharma Chemica*, 8, 192-200, 2016
- [5] Saad, A.M., Mohammed, M.M.D., Ghareeb, M.A., Ahmed, W.S., Farid, M.A., "Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of the leaves of *Cupressus macrocarpa* Hartweg. ex Gordon," *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 7, 207-212, 2017.
- [6] Anwar F, Naseer R, Bhangar MI, Ashraf S, Talpur FN, Aladedunye FA. Physico-chemical characteristics of *Citrus* seeds and seed oils from Pakistan. *Journal of American Oil Chemist Society*. 2008; 85: 321-330.
- [7] Kamal GM, Anwar F, Hussain AI, Sarri N, Ashraf MY. Yield and chemical composition of *Citrus* essential oils as affected by drying pretreatment of peels *International Food Research Journal*. 2011; 18(4): 1275-1282.
- [8] Saidani M, Dhifi W, Marzouk B. Lipid evaluation of some Tunisian *Citrus* seeds. *Journal of Food Lipids*. 2004; 11: 242-250.
- [9] Saad AM, Mohammed MMD, Ghareeb MA, Ahmed WS, Farid MA. Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of the leaves of *Cupressus macrocarpa* Hartweg. ex Gordon. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*. 2017; 7: 207-212.
- [10] Randhaw MA, Ahmad I, Javed MS, Sajid MW, Khan AA. Volatile flavor components of orange juice obtained from major citrus producing cities of Punjab. *Pakistan Journal of Food Sciences*. 2012; 22(1): 40-44.
- [11] Bourgou S, Rahali FZ, Ourghemmi I, Tounsi MS. Changes of peel essential oil composition of four Tunisian Citrus during fruit maturation. *The Scientific World Journal*. 2012; 1-10.
- [12] Adams RP. (1989). Identification of the essential oils by ion trap mass spectrometry. Academic press, INC, London, pp. 1-310.
- [13] Adams RP. Identification of essential oils by Gas Chromatography Quadrupole Mass Spectrometry. Carol Stream, Allured Publishing Co., Illinois, USA, 2001.
- [14] Mosmann T. Rapid colorimetric assay for cellular growth and survival: application to proliferation and cytotoxicity assays. *J. Immunol. Methods*. 1983; 65: 55-63.
- [15] Denizot F, Lang R. Rapid colorimetric assay for cell growth and survival. Modifications to the tetrazolium dye procedure giving improved sensitivity and reliability. *J. Immunol. Methods*. 1986; 22: 271-277.
- [16] Pichersky E, Noel JP, Dudareva N. Biosynthesis of plant volatiles: nature's diversity and ingenuity. *Science*. 2006; 311: 808-811.
- [17] Bakkali F, Averbeck S, Averbeck D, Idaomar M. Biological effects of essential oils-a review. *Food Chem Toxicol*. 2008; 46: 446-475.
- [18] Lin C, Sheu S, Hsu S, Tsai Y. Determination of bactericidal efficacy of essential oil extracted from orange peel on the food contact surfaces. *Food Control*. 2010; 21: 1710-1715.
- [19] Egharevba HO, Oladosun P, Izebe KS. Chemical composition and anti-tubercular activity of the essential oil of orange (*Citrus sinensis* L.) peel from North Central Nigeria. *International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research*. 2016; 8(1): 91-94.
- [20] Sikdar DC, Menon R, Duseja K, Kumar P, Swami P. Extraction of citrus oil from orange (*Citrus sinensis*) peels by steam distillation and its characterizations. *International Journal of Technical Research and Applications*. 2016; 4(3): 341-346.
- [21] Das DR, Sachan AK, Shuaib M, Imtiyaz M. Chemical characterization of volatile oil components of *Citrus reticulata* by GC-MS analysis. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. 2014; 3(7): 1197-1204.
- [22] Colecio-Juárez MC, Rubio-Núñez RE, Botello-Álvarez JE, Martínez-González GM, Navarrete-Bolaños JL, Jiménez-Islas H. Characterization of volatile compounds in the essential oil of sweet lime (*Citrus limetta* Risso). *Chilean Journal of Agricultural Research*. 2012; 72(2): 275-280.
- [23] Saad NY, Muller CD, Lobstein A. Major bioactivities and mechanism of action of essential oils and their components. *Flavour Fragr J*. 2013; 28: 269-279.

[24] Monajemi R, Oryan S, Haeri-Roohani A, Ghannadi A, Jafarian A. Cytotoxic effects of essential oils of some Iranian *Citrus* peels. Iranian Journal of Pharmaceutical Research. 2005; 3:183-187.

[25] Gautam N, Mantha AK, Mittal S. Essential oils and their constituents as anticancer agents: A mechanistic view. BioMed Research International. 2014; 1-23.



Análise Estrutural por métodos computacionais de um foguete acadêmico Experimental – Andrômeda I

Pietro Giovanni Moura e Maciel^{1*}, Alexandre Mateus Mendonça Bezerra², Evans Paiva da Costa Ferreira³

^{1*}*Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 59078-970, Natal-RN-Brasil. pietrogmem@gmail.com*

²*Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 59078-970, Natal-RN-Brasil. alexmatheus11@yahoo.com.br*

³*Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 59078-970, Natal-RN-Brasil. evans.ferreira@ufrn.br*

RESUMO

A engenharia é uma constante de aperfeiçoamentos e inovações, visando sempre obter o melhor desempenho possível. Explorando os componentes de um foguete acadêmico, a aleta tem um papel fundamental para a estabilização do voo, visto que a peça está submetida às forças de contato tanto do escoamento em seu entorno, quanto da deformação do corpo do foguete. Tendo isso em mente, torna-se imprescindível conhecer os esforços aos quais o conjunto está submetido. Esse trabalho trata-se da análise estática estrutural de três tipos geométricos de modelos de aletas de alumínio, com os reduzidos coeficientes de arrasto, do foguete acadêmico Andrômeda I através de simulação computacional. A análise estrutural utilizou-se o software ANSYS, onde foi modelado o escoamento e suas tensões, analisando-as pelo critério de Von Mises. Ao final, constatou-se que em todos os 3 casos as tensões máximas de todos os esforços encontram-se abaixo da tensão limite de escoamento do material. Por fim fica claro que os perfis geométricos analisados podem ser aplicados no desenvolvimento e construção dos próximos foguetes acadêmicos, sem comprometimento de seu desempenho de voo.

Palavras-chave: Foguete acadêmico; Aletas; Análise estrutural; Simulação; Von Mises.

ABSTRACT

Engineering is a field marked by frequent improvements and innovations, with a constant goal to obtain the best possible performance. In the context of academic rockets and its components, the fin plays a key role in stabilizing the flight, since the piece is subjected to both the air flow around it and the deformation of the rocket's body. With this in mind, it is essential to know the efforts to which the ensemble is submitted. This work is the structural static analysis of three geometric types of aluminum fin models, with the reduced drag coefficients, of the academic rocket Andrômeda I through computational simulation. The structural analysis used the ANSYS software, in which the flow and its stresses were modeled, analyzing them according to the von Mises criterion. In the end, it was observed that in all 3 cases the maximum stresses of all efforts are below the force yield limit stress. Finally, it is clear that the analyzed geometric profiles can be applied in the development and construction of other academic rockets, without compromising their flight performance.

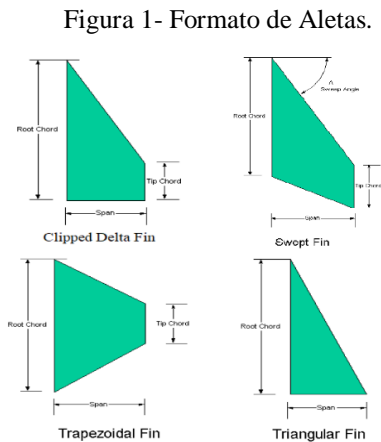
Keywords: Academic rocket; Fins; Structural analysis; Simulation; Von Mises.

1. INTRODUÇÃO

O profissional de Engenharia sempre teve extrema importância no desenvolvimento de tecnologias que otimizam a qualidade de vida da humanidade, sendo o seu campo de atuação muito amplo, e para que este profissional tenha uma formação completa, é necessário que a interdisciplinaridade esteja presente em toda a sua formação. [1].

A Universidade Federal do Rio Grande do Norte incentiva ações de pesquisas com grupos acadêmicos que buscam desenvolver engenharia e conhecimento. O *Potiguar Rocket Design (PRD)* é um desses grupos, e participa em competições de foguetes acadêmicos. Esse trabalho traz a discussão de um modelo de aleta de foguete projetado para a competição *Latin American Space Challenger (LASC)*.

O projeto do foguete é composto de diversos componentes, dentre eles as aletas, que são extensões do corpo com função principal de manter a estabilidade do projétil durante o período de voo. As aletas e os corpos dos foguetes existem em diversos formatos, [2] apresenta os principais tipos de aletas, mostrados na Fig. 1, objeto do estudo.



Fonte: Pektas *et al.*, 2019.

Análises estruturais são utilizadas para modelar o comportamento mecânico do corpo relacionando os carregamentos, restrições, propriedades mecânicas do material e geometria.

Essas análises são feitas por meio de softwares de engenharia. Para o presente trabalho os softwares utilizados foram licenças acadêmicas disponíveis no PRD.

Nesse trabalho foi analisado o comportamento estrutural de três modelos de aletas com geometrias distintas em um mesmo material predefinido. Foram analisadas as tensões e deformações impostas em cada um dos modelos, com o foco na implementação do melhor resultado nos foguetes do PRD.

2. MÉTODOS

Os métodos de análises foram baseados na utilização de sistemas computacionais para a resolução via análises lineares, já que a base do projeto está limitada na região elástica obedecendo a lei de Hooke do material.

A facilidade da importação dos arquivos modelados no Solidworks fez com que o ANSYS fosse o software escolhido para a simulação estrutural. Os efeitos da análise térmica foram desconsiderados.

2.1 Materiais

A Tabela 1 apresenta as propriedades mecânicas do material considerado no projeto do sistema. Os valores são fornecidos pelo banco de dados do software e são condizentes com os valores em [5].

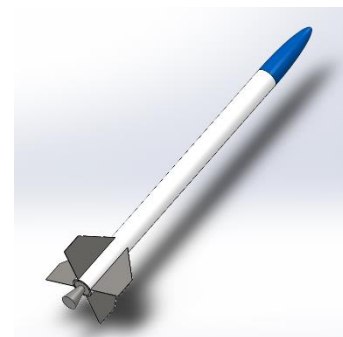
Tabela 1 - Propriedades do Alumínio.

| Alumínio | |
|---------------------------------------|------|
| Densidade (kg/m ³) | 2770 |
| Módulo de Elasticidade (Mpa) | 70 |
| Coefficiente de Poisson | 0,33 |
| Resistência à Tração (Mpa) | 280 |
| Resistência a Compressão (Mpa) | 280 |
| Resistência Máxima a Tração (Mpa) | 280 |
| Resistência Máxima a Compressão (Mpa) | 280 |
| Tensão de Escoamento (Mpa) | 225 |

2.2 Projeto Aerodinâmico

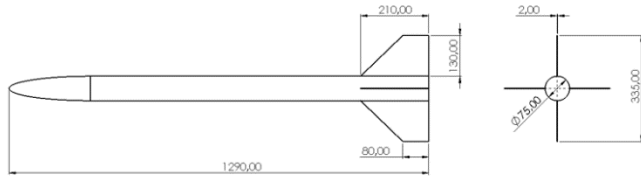
O foguete foi modelado utilizando o software *SolidWorks*. A Figura 2 mostra o corpo do foguete em uma vista 3D.

Figura 2 - Foguete 3D.



A Figura 3 ilustra as principais dimensões do foguete em milímetros (mm).

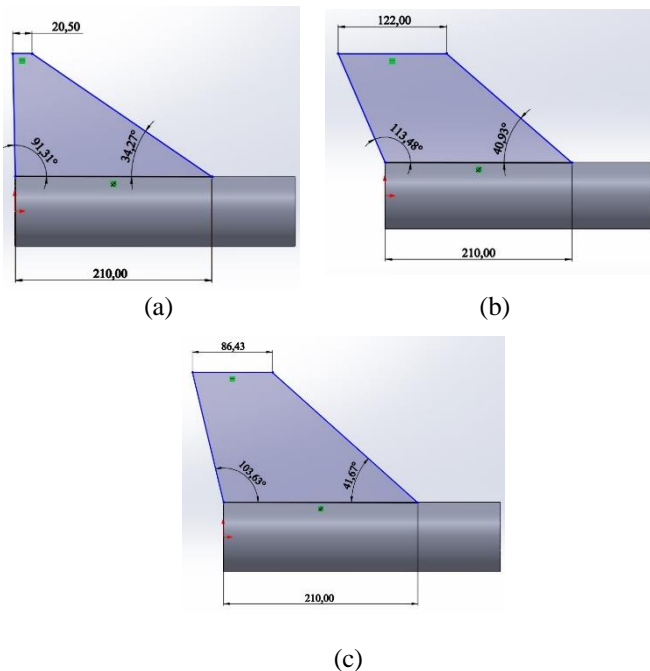
Figura 3 – Dimensões do foguete padrão.



Fonte: Potiguar Rocket Design.

As geometrias bases para a análise estrutural das aletas foram obtidas originalmente do resultado da simulação fluidodinâmica desenvolvida em [3], divididas em Aleta 1, Aleta 2 e Aleta 3, apresentadas na Figura 4.

Figura 4 - Aletas. (a) Tipo 1, (b) Tipo 2 e (c) Tipo 3.



2.3 Procedimento Computacional

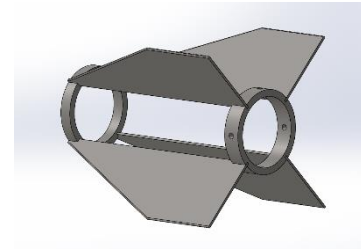
Como condição de contorno inicial, as aletas e a fuselagem são objetos de análise, portanto, componentes distintos destes foram desconsiderados por não induzirem esforços e nem restrições que impactem na simulação. A fuselagem e as aletas foram modelados com espessura de 1,8mm. A figura 5 ilustra o modelo computacional do foguete simplificado. Chama-se atenção da falta da ogiva devido ao corte do seguimento posterior do foguete, mas otimização dos números de elementos na malha de simulação.

Figura 5 - Modelo de Foguete com Aleta 1.



Para o contato entre as Aletas e o corpo do foguete foi considerado uma união solidária do tipo *Bonded*, caracterizando os corpos como “colados” e sem deslocamento relativo entre eles, visto que as aletas devem ser parte integrante e solidária da estrutura da fuselagem, como mostra a Figura 6. As aletas são fixadas pelo anel, por meio de colagem utilizando resinas termofixas rígidas. O anel de fixação, por sua vez, encontra-se então envolvido, parte integrante da fuselagem do foguete.

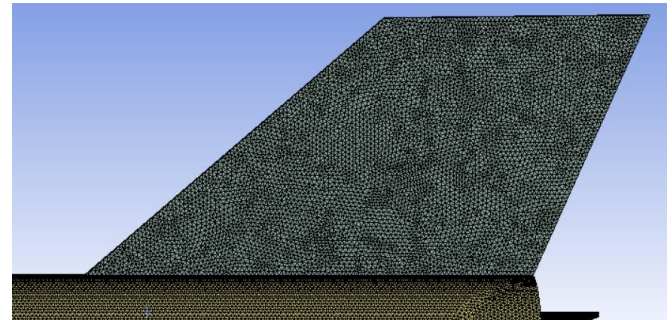
Figura 6 - Estrutura de fixação das aletas.



2.3.1 Estruturação da Malha

Para gerar a malha de análise utilizou-se o método dos elementos finitos, cuja configuração de elementos triangulares aplicados pelo próprio software, como mostra a Figura 7.

Figura 7 - Malha sobre Aleta 1.



A definição da malha torna-se importante na acuracidade e confiabilidade dos resultados. O tamanho, forma e quantidade de elementos infinitesimais possíveis, remete a qualidade dos resultados apresentados e essa preocupação foi atribuída à modelagem com o cuidado para traduzir em uma melhor convergência dos resultados da simulação [4]. Com isso, há uma melhor definição da modelagem que represente a aleta, logo, a opção pelos triângulos adjacentes é a configuração de geometria dos

elementos infinitesimais da malha deste componente mecânico do foguete. Já para a fuselagem, não houve refino, visto que não é o objeto de análise nesse trabalho.

2.3.2 Teste de Convergência de Malha

Para determinar o número mínimo de elementos na malha, a fim de alcançar resultados confiáveis, foram realizados testes de convergências.

A convergência consiste em analisar a variação da tensão máxima obtida, em todo o corpo da aleta, de acordo com o número de elementos finitos presentes na malha como feito em [6]. Sendo considerado convergente quando a variação se comporta como uma assíntota.

2.3.3 Análise Analítica e Numérica

Para construção do modelo simulado adotou-se, como condições de contorno, as forças de arrasto atuantes em todas as superfícies das aletas, juntamente com uma linha de carregamento na junta da aleta com o corpo do foguete. As forças de arrasto para as condições de voo foram obtidas através da simulação em *CFD* por [3], sendo as mesmas condições aplicadas nesse trabalho. O valor da força de arrasto para cada modelo de aleta é descrito na Tabela 2.

Tabela 2 – Arrasto por modelo de aleta.

| Modelo | Arrasto (N) |
|---------|-------------|
| Aleta 1 | -16,743 |
| Aleta 2 | -18,205 |
| Aleta 3 | -18,558 |

Para análise analítica da distribuição de tensão no corpo, utilizou-se o critério de *Von Mises* (Critério de energia de distorção máxima), o qual descreve que o escoamento, em um material dúctil, ocorre quando a energia de distorção por unidade de volume do material é igual ou superior à energia de distorção por unidade de volume do mesmo material quando submetido a vazão em um ensaio de tração simples [5]. Essa energia de distorção é subdividida em hidrostática (Mudança de volume) e distorção (Mudança de formato). O critério de *Von Mises* é moldado pela Equação 1, onde σ_1 , σ_2 e σ_3 representam as tensões circunferenciais, radiais e longitudinais e σ' representa a tensão equivalente de *Von Mises*.

$$\sigma' = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad (1)$$

Após indicar as condições de contorno e o método analítico de resolução, o software compila e calcula a tensão equivalente de *Von Mises*.

Posteriormente, desde que o corpo permaneça em regime elástico, a análise de deslocamento e deformação da aleta respeita a *Lei de Hooke*, descrita na Equação 2. Onde ϵ

representa a deformação e E representa o Módulo de Elasticidade do material.

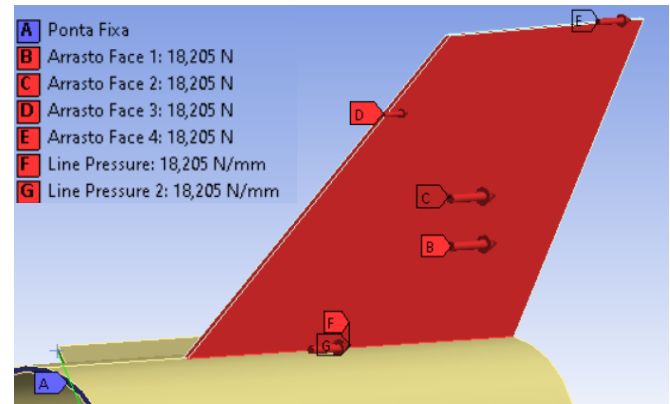
$$\sigma = E \cdot \epsilon \quad (2)$$

Por fim para a análise do deslocamento (δ) utilizou-se a Equação 3. Onde ΔL é a variação do comprimento e L_0 é o comprimento inicial.

$$\delta = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (3)$$

O deslocamento da aleta foi medido considerando a ponta do foguete como referencial (A). Por fim, todas as condições de contorno estão apresentadas na Figura 8.

Figura 8 - Condições de Contorno Aleta 2.



Pode-se observar que as forças B, C, D e E são os arrastos aplicados as faces da aleta. O referencial A é considerado como ponto fixo e as forças F e G são as forças de arrasto na interação da junta aleta fuselagem. Para todas as aletas as condições de contorno foram as mesmas, mudando apenas a geometria, conforme apresentadas na Tabela 2.

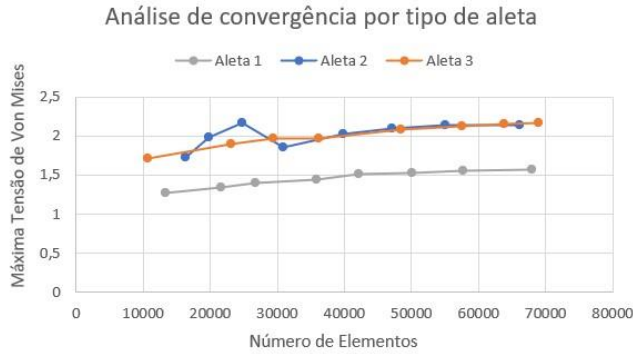
3. RESULTADOS E DISCURSÕES

Seguido os procedimentos computacionais, apresentam-se os gradientes de tensão e de para cada aleta.

3.1 Análise de Convergência de Malhas

Os resultados das máximas tensões de *Von Mises* variam em função do número de elementos que constituem a malha. O gráfico da Figuras 9 apresenta o comportamento de cada aleta.

Figura 9 – Convergência de Malhas.



Analisando o gráfico de convergência, pode-se perceber que após um número de 40.000 elementos, a variação da tensão máxima de *Von Mises* é baixa, adotando esse ponto como convergente. Sendo assim, a Tabela 3 indica o valor convergente da tensão para cada aleta abordada.

Tabela 3 – Tensão máxima convergente.

| Geometria | Tensão Máxima (MPa) |
|-----------|---------------------|
| Aleta 1 | 1,5683 |
| Aleta 2 | 2,1438 |
| Aleta 3 | 2,1638 |

A diferença de tensões se se justifica pela diferença das geometrias das aletas.

3.2 Análise Estrutural por Von Mises

Após o processamento computacional a distribuição de tensão no corpo das aletas, com base no critério de *Von Mises*, é apresentada nas figuras 10 a 12.

Figura 10 - Distribuição de tensão na aleta 1.

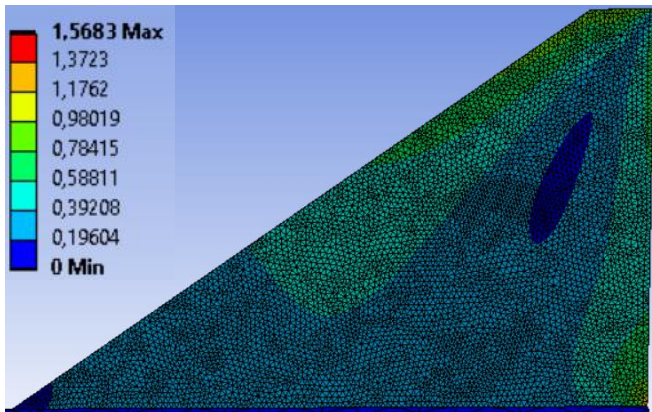


Figura 11 – Distribuição de tensão na aleta 2.

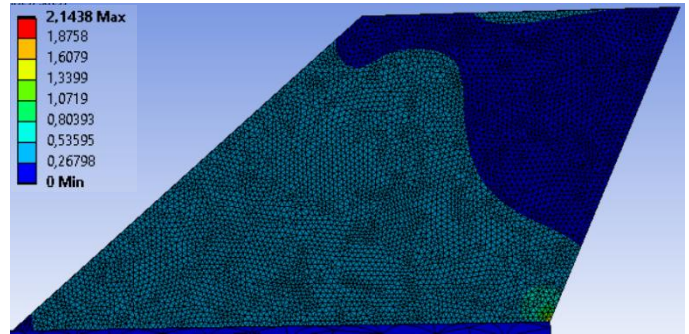
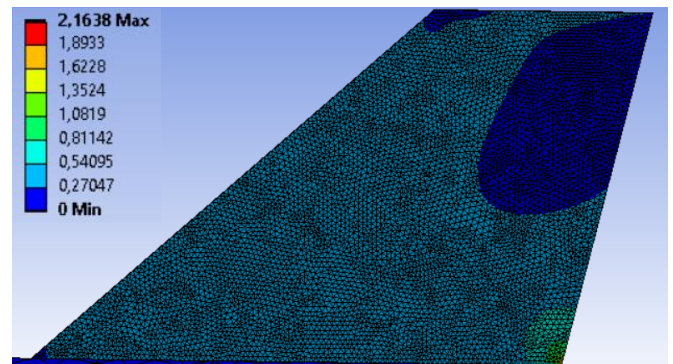


Figura 12 – Distribuição de tensão na aleta 3.



Analisando os resultados das simulações percebe-se que há uma pequena concentração de tensão nos cantos inferiores de cada aleta, localizadas justamente na interação da aleta com os anéis de fixação, ilustrado na Figura 6. Essa concentração de tensão é proveniente do torque resultante das forças na parte mais distantes da fuselagem. Além disso, a mudança de secção transversal na região da aleta-fuselagem, também gera uma concentração de tensão.

Por fim, as tensões máximas provenientes dos esforços solicitados são plenamente aceitáveis quando comparados com o limite de escoamento do material escolhido para o projeto (alumínio).

3.3 Análise de Deslocamento.

Calculadas as tensões máximas, o software também retorna o deslocamento, em milímetros, de todo perfil da aleta, que são representados nas Figuras 13, 14 e 15. Vale salientar que o deslocamento é baseado no referencial da ponta do foguete, visto na figura 8, com o eixo de análise sendo a própria fuselagem do foguete. Os valores dos deslocamentos máximos são descritos na Tabela 4.

Figura 13 – Deformação da aleta 1.

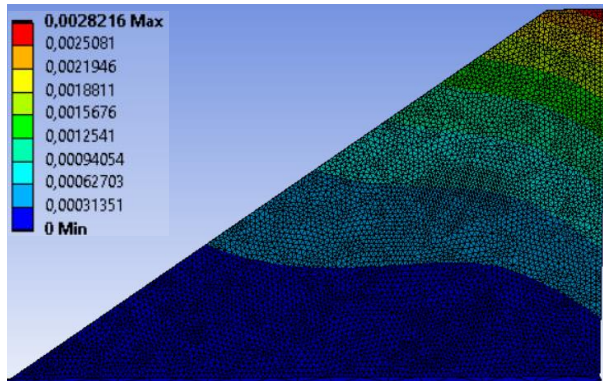


Figura 14 – Deformação da aleta 2.

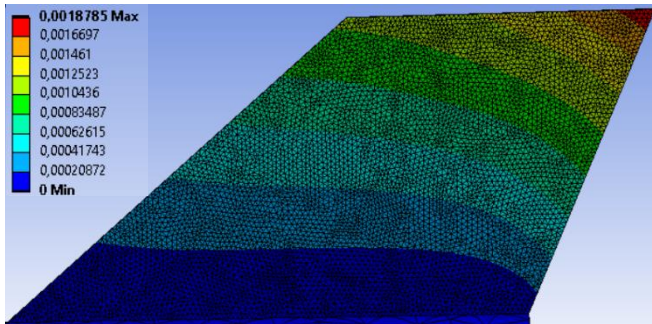


Figura 15 – Deformação da aleta 3.

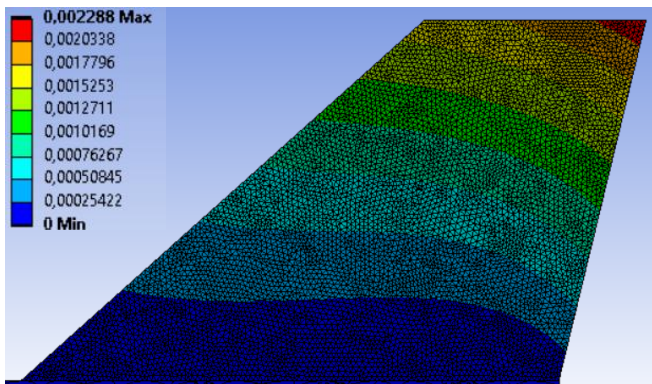


Tabela 4 – Máximo deslocamento.

| Geometria | Máxima Deformação (mm) |
|-----------|------------------------|
| Aleta 1 | 0,0028 |
| Aleta 2 | 0,0018 |
| Aleta 3 | 0,0022 |

Analisando o resultado é perceptível que o deslocamento tem um padrão, tendo sua variação de comportamento como se fosse por camadas. Esse comportamento é tão mais

acentuado quanto mais distante o ponto da aleta se encontra da fuselagem.

O maior valor de deslocamento é cerca de 0,028 mm, o que torna imperceptível grandeza do deslocamento desprezível, sendo resultado esperado, visto que para o alumínio na espessura utilizada induz tensões baixas.

4. CONCLUSÕES

Após as análises dos resultados obtidos as expectativas de projeto foram atendidas. As análises computacionais convergiram, demonstrando que os perfis analisados podem ser utilizados no projeto do foguete. Conclui-se que a influência do arrasto não é impeditiva para a construção dos modelos de aletas aqui discutidos. Observa-se ainda que os resultados de deslocamento (valor máximo sendo 0,0028 mm) e tensão (valor máximo sendo 2,16Mpa) envolvidos não se faz necessária a análise do coeficiente de segunda, haja visto que os limites do material (225Mpa) estão distantes de serem alcançados. A utilização do alumínio somado ao aperfeiçoamento das geometrias nas aletas demonstra um desempenho adequado ao foguete da missão Andromeda I. Sugere ainda que tais perfis possam ser mais delgados, aliviando peso na estrutura do foguete.

5. REFERÊNCIAS

- [1] RODRIGUES, et al. “Projeto interdisciplinar: foguete a propulsão de água e pressão de ar”. XLI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia - COBENGE 2013. Gramado, Brasil.
- [2] PEKTAS, A., HACIABDULLAHOGLU, U., EJDER, N., DEMIRCAN, Z. E TOLA, C., 2019. “Effects of Different Fin Shapes on Apogee and Stability of Model Rockets” - 9th International Conference on Recent Advances in Space Technologies - RAST 2019. Istanbul, Turquia.
- [3] LUCENA, A. L., BEZERRA, A. M. M., FERREIRA, E. P. C., JÚNIOR, J. C. A. C., CARVALHO, L. A. S., 2021. “Análise Fluidodinâmica e Otimização de Aletas em Foguete Acadêmico.” Graduação Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil.
- [4] SIQUEIRA, D.M.B., 2009. “Geração de malha adaptativa de superfícies paramétricas com controle de curvatura”. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, Brasil.
- [5] HIBBELER, R. C., 2010. “Resistência dos Materiais. 9 Ed. Book.” São Paulo, Brasil.
- [6] MAIA, F. P., MARINHO, G. S., 2018. *Analysis of heat transfer in an academic rocket engine using numerical methods*. 17 Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering - ENCIT.
- [7] ANSYS. 2021. “Ansys Academic”. 10 Nov. 2021. <<https://www.ansys.com/academic>>.
- [8] SOLIDWORKS. 2021. “SolidWorks Dassault Systemes”. 10 Nov. 2021. <<https://www.solidworks.com/pt-br>>.



Previsão e Descoberta das Ondas Gravitacionais

José Carlos Teixeira de Oliveira

Departamento de Física, Universidade Federal de Roraima, Campus do Paricarana, Av. Cap. Ene Garcez, 2413, Bairro Aeroporto, 69310-000, Boa Vista-RR. E-mail: jose.oliveira@ufrr.br

Abstract

In this article, we show how gravitational waves were predicted and discovered. We also show that the first direct detection of gravitational waves resulted from the merger of two black holes.

Keywords: Gravitational Waves; Theory of General Relativity; LIGO Observatory; Laser Interferometer.

1. INTRODUÇÃO

A formulação teórica das Ondas Gravitacionais (OG) foi proposta, em 1916, pelo físico alemão Albert Einstein (1879-1955) através da Teoria da Relatividade Geral (TRG). O cálculo matemático de Einstein mostrou que objetos supermassivos que se movem em acelerações extremas (como, por exemplo, estrelas de nêutrons ou buracos negros orbitando uns aos outros) perturbariam o espaço-tempo de tal forma que as ondas do espaço-tempo ondulante se propagariam em todas as direções, afastando-se da fonte. Essas ondulações cósmicas viajariam na velocidade da luz, levando consigo informações sobre suas origens, assim como pistas sobre a natureza da própria gravidade [1].

2. CONTEXTO HISTÓRICO E TEORIA DAS ONDAS GRAVITACIONAIS

A formulação da existência de OG e principalmente da sua elaboração como teoria passou por um processo árduo, principalmente devido às interrupções causadas pela eclosão tanto da Primeira Guerra Mundial (1914-1918), quanto da Segunda Guerra (1939-1945), fazendo com que boa parte das pesquisas da época entrasse no total esquecimento. Um caso, em particular, que praticamente entrou em parcial esquecimento foi justamente a Teoria da Relatividade Geral

de Einstein, por ser, na época, uma teoria especulativa, sem uma formulação matemática convincente e um pouco vazia de conteúdo físico. No entanto, devido à grande indagação por parte da comunidade científica, sobre a existência das ondas gravitacionais, a TRG, posteriormente, foi retomada [2].

Além da imposição das guerras nos países europeus, muitas discordâncias, até do próprio Einstein, ainda persistiam, possuindo porém, em contrapartida, muitas aprovações e crenças de sua existência, envolvendo um número de físicos empenhados em trazer para a comunidade científica algo tão vislumbrado pela sua ideia inicial de unificação e resolução de problemas que a mecânica newtoniana não era capaz de resolver.

Dessa forma, o conceito das ondas gravitacionais surgiu como resposta para algumas questões que a teoria gravitacional newtoniana não era capaz de prever e explicar como, por exemplo, o prolongamento do periélio do planeta Mercúrio.

Para os físicos que adentravam aos estudos gravitacionais, o problema do planeta Mercúrio sempre foi uma “pedra no sapato”. Por ser um sistema de dois corpos e Mercúrio o planeta mais próximo do Sol com órbitas de maior excentricidade (parâmetro adimensional que determina o quanto sua órbita em torno do Sol se desvia de um círculo

perfeito), exatamente 0,2056, as relações gravitacionais envolvidas nesse sistema são mais atenuantes do que em qualquer outro sistema de dois corpos, daí então a sua complexidade e visibilidade por parte de estudos.

Em 1908, o físico francês Jules Henri Poincaré (1854-1912) já mencionava a existência de ondas gravitacionais, sob a influência da teoria eletromagnética do físico e matemático escocês James Clerk Maxwell (1831-1879), como resposta para a discrepância no prolongamento do periélio do planeta Mercúrio em forma de perda energética, afirmando que “(...) a emissão de ondas gravitacionais a partir da órbita deste planeta interno que se deslocava rapidamente estava removendo energia suficiente de seu movimento para aparecer na forma do deslocamento do periélio” [2].

Vale mencionar também que a utilização do termo de ondas gravitacionais como resposta ao prolongamento do periélio do planeta Mercúrio foi debatido anos depois e desmistificado por Einstein em seus trabalhos de escolha de coordenadas para o estudo de ondas gravitacionais.

As ondas gravitacionais, também chamadas de ondas de aceleração, surgiram inicialmente com dois propósitos:

1. Explicar as adversidades nos estudos do planeta Mercúrio e seu periélio, como também explicar qualquer influência gravitacional que se propague pelo espaço, já que a ideia de uma força gravitacional instantânea do físico inglês Isaac Newton (1643-1727) estava perdendo sua concepção, dando a ideia de que se ondas gravitacionais se propagam, deveriam assim fazer com velocidade finita, pois nada poderia superar a velocidade da luz;

2. Conseguir fazer uma correlação entre gravidade e eletromagnetismo. A eletricidade e o magnetismo já haviam sido unificados anos atrás por James Clerk Maxwell, gerando então, o eletromagnetismo. Einstein também compartilhava dessa ideia de que era possível mensurar todo o nosso conhecimento físico em uma única força que pudesse explicar tudo. Morreu tentando fazer isso; e as ondas gravitacionais, como já mencionadas, nada mais são do que uma tentativa de fazer essa unificação entre o eletromagnetismo e a gravitação.

Através de Maxwell, não veio apenas o eletromagnetismo ou a quantização da velocidade da luz, mas também adentrou ao meio físico o ideal de campo. Campo como entidade física, mesmo com sua complexidade no quesito entendimento filosófico, pode ser bem aplicado em diversas situações físicas, dando novas explicações de funcionamento. Esse mesmo ideal, veio parar na gravitação, saindo do termo força e entrando no termo campo, e aí onde está a primeira base analógica entre eletromagnetismo e gravitação [2].

Tendo o conhecimento que campos eletromagnéticos podem gerar ondas eletromagnéticas, Maxwell, se pergunta: não poderia então campos gravitacionais gerar ondas gravitacionais? Essa é a pergunta primordial da sua fundamentação, fazendo uma analogia para então fundamentar as ondas gravitacionais.

O número de opositores à Teoria da Relatividade Geral sempre sucumbiu aqueles que a apoiavam, mesmo após anos de estudos e desenvolvimento da teoria. Muitos daqueles que eram opositores acabaram por se tornar fontes indispensáveis no desenvolvimento das ondas gravitacionais. Dentre eles, temos o físico e astrônomo alemão Karl Schwarzschild (1873-1916) com sua contribuição matemática, conhecida como solução de Schwarzschild, quanto ao entendimento mais profundo das ondas gravitacionais. A solução de Schwarzschild tem propriedades matemáticas que permitem a identificação e interpretação de propriedades físicas como momento e energia transportados pelas ondas gravitacionais, resolvendo de maneira inequívoca as questões acerca da realidade física destas ondas. São tão físicas como qualquer outro fenômeno ondulatório encontrado na Natureza, sendo caracterizadas pelas mesmas quantidades como frequência, comprimento de onda e velocidade de propagação [3].

Um dos grandes opositores da ideia da existência das ondas gravitacionais foi o astrofísico inglês Arthur Stanley Eddington (1882-1944), que questionava uma série de problemas que de fato existiam nos primórdios da idealização de Einstein, como a propagação de onda e energia, a “incapacidade” de demonstração experimental para a época e principalmente no que diz respeito à velocidade de propagação da onda proposta por Einstein. Eddington foi tão grande opositor, da ideia de onda gravitacional se propagando mediante corpos massivos no espaço-tempo, que formulou uma das frases mais irônicas na época da elaboração teórica das ondas gravitacionais, em mencionar que as referidas ondas se propagavam na “velocidade do pensamento”.

No decorrer de todo o processo de construção das ondas gravitacionais, a maior dificuldade se deu na sua comprovação experimental, processo crucial na validação teórica, onde a menção inicial seria de que o modelo proposto para supostamente irradiar as ondas mencionadas seria um sistema binário de estrelas, mas depois sendo mencionada a possibilidade de buracos negros também irradiarem, como proposto por Schwarzschild [2].

As estimativas iniciais, feitas pelo próprio Einstein, apontavam corretamente que as amplitudes típicas das ondas gravitacionais seriam minúsculas, talvez não detectáveis na prática [3].

3. A DESCOBERTA DAS ONDAS GRAVITACIONAIS

Segundo a definição do LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory), “as ondas gravitacionais são ‘ondinhas’ no tecido espaço-tempo causado por alguns dos processos mais violentos e energéticos do Universo” [1]. Em outras palavras, ondas gravitacionais são oscilações espaço-temporais ocasionadas por corpos supermassivos que ao colidirem por perda energética, liberam energia em forma de ondas que curvam o espaço-tempo e se propagam na velocidade da luz.

Na época do entendimento sobre as ondas gravitacionais, mesmo com todo avanço da teoria ondulatória da gravitação, o maior problema da passagem das ondas gravitacionais de “simples” teoria para se tornar algo aplicável e real, foi sempre

a sua experimentação. Era compreensiva a falta de preparo tecnológico para a detecção das ondas gravitacionais na época, sabendo que as revoluções tecnológicas somente tomaram impulso apenas na metade do século XX, mas mesmo assim se tornou um grande empecilho na fundamentação da teoria [2].

Essa problemática começa a ter outro rumo a partir das décadas de 1960 e 1970, com o físico americano Joseph Weber (1919-2000) pioneiro na tentativa de detecção das ondas gravitacionais, e seus alunos. Vale lembrar que nessa época as ondas gravitacionais já possuíam uma estrutura matemática e física bem construída, logo faltava apenas a sua detecção. Com a iniciativa de Weber, inicia-se uma verdadeira corrida tecnológica e científica na construção de dispositivos capazes de detectar as tão esperadas ondas gravitacionais.

Outro nome importante na busca pela detecção das ondas gravitacionais de Einstein, é o físico teórico americano Kip Thorne (1940-) um dos pioneiros e um dos maiores impulsionadores na criação e manutenção do LIGO, responsável atualmente pela detecção direta das ondas gravitacionais.

Desde 1992, o LIGO é implementado como um centro de pesquisa e detecção por Kip Thorne, Ronald Drever, físico escocês do CALTECH (California Institute of Technology), e Rainer Weiss, físico americano do MIT (Massachusetts Institute of Technology). Juntos e com o apoio da NSF (National Science Foundation) e de outros laboratórios como o VIRGO Interferometer, constroem um dos mais emblemáticos e promissores dispositivos experimentais de meio bilhão de dólares, com o objetivo de detectar as famosas ondas gravitacionais [2].

Após 100 anos da predição de Einstein da existência das ondas gravitacionais, e 24 anos de pesquisa e trabalho persistente, no dia 11 de fevereiro de 2016, o LIGO divulga para a mídia mundial a observação direta das ondas gravitacionais, em um artigo intitulado: “Observation of Gravitational Waves from Binary Black Hole Merger”, publicado na revista científica Physical Review Letters [4]. A divulgação das detecções ocorreu em 2016, mas as detecções em si ocorreram em duas épocas, a primeira em 14 de setembro de 2015 e a segunda em 26 de dezembro de 2015, trazendo uma segurança a mais na confirmação das ondas gravitacionais [2].

A detecção que o LIGO conseguiu captar teve como origem um processo já esperado entre buracos negros há 1,3 milhões de anos-luz da Terra. Tal momento na história do desenvolvimento científico e tecnológico, ofereceu não só à comunidade científica provas da existência das ondas gravitacionais, como também bases reais da ação e existência de buracos negros. Já era predito que os únicos entes, capazes de gerar ondas gravitacionais que possam se propagar pelo espaço, eram sistemas binários de estrelas ou de buracos negros, devido a sua elevada massa. No caso da detecção do LIGO, o fenômeno ocorreu devido à fusão entre dois buracos negros de massas respectivamente iguais a 36 e 29 vezes a massa do Sol.

Todo o processo de captação das ondas gravitacionais, desde a simulação do sistema binário de buracos negros até a prova concisa da existência das ondas gravitacionais, ocorreu por técnicas de interferômetros de luz instalados em Hanford, Washington, DC (ver Figura 1), e em Livingston, Louisiana, U.S.A. (ver Figura 2), com um equipamento similar ao interferômetro dos físicos americanos Michelson & Morley, construído em 1887, com espelhos suspensos em sistemas a vácuo em braços de 3 a 4 km de extensão que acabavam por gerar padrões de interferência [2].

As ondulações gravitacionais ao passarem pelo interferômetro mudam o padrão de interferência, informando que algo passou por aquela região. Como o sistema inteiro estava a vácuo e livre de qualquer influência externa, a mudança do padrão de interferência só poderia ocorrer em duas situações: pela mudança da fonte (feixe de luz), ou pela mudança dos braços, no quesito movimentação dos espelhos. Com essa logística, ficava mais clara a identificação das ondas gravitacionais.

Dados do artigo do LIGO, publicado em 11 de fevereiro de 2016, mostram que a primeira detecção, identificada por GW150914, chegou até o interferômetro com uma frequência de 35 a 250 Hz e uma amplitude muito baixa de aproximadamente $1,0 \times 10^{-21}$ m, como já era de se esperar, amplitudes muito baixas que invalidaram por muitos anos a sua detecção. Esse foi um ponto que comprovou que de fato se tratava de ondas gravitacionais. A segunda detecção, identificada por GW151226, apresentou parâmetros semelhantes, com uma frequência que variava de 35 a 450 Hz e uma amplitude de onda de aproximadamente $3,4 \times 10^{-22}$ m.



Figura 1: LIGO – Hanford, Washington DC. Fonte: <https://www.ligo.caltech.edu/WA/image/ligo20150731d>



Figura 2: LIGO – Livingston, Louisiana, U.S.A. Fonte: <https://www.ligo.caltech.edu/WA/image/ligo20150731c>

O gráfico da Fig. 3, apresenta as proporções de amplitudes e frequências captadas pelos dois laboratórios. Os detectores foram calibrados com frequências entre 35 a 350 Hz afim de filtrar o máximo as linhas espectrais observadas e suprimir as grandes flutuações não compatíveis com a calibração do equipamento. Segundo os dados, a onda gravitacional GW150914 chegou primeiro no detector de Louisiana (L1) e após, aproximadamente, alguns milissegundos, chegou ao detector de Hanford (H1), com comprimentos de onda na ordem de gerar os padrões de confirmação.

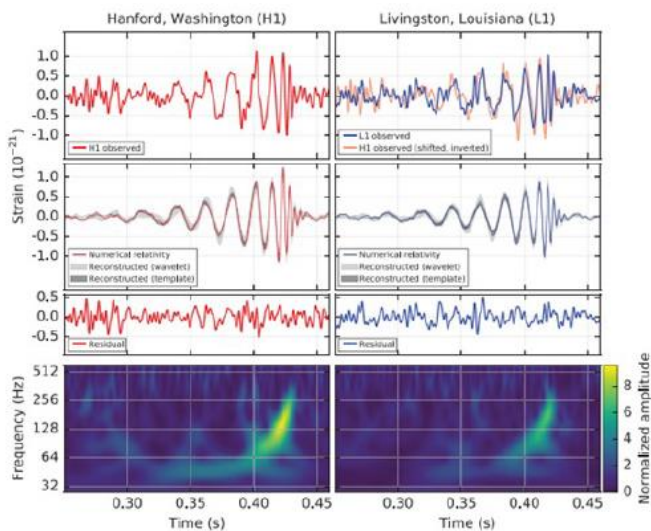


Figura 3: Gráficos das amplitudes e frequências das ondas gravitacionais detectadas pelo LIGO. Fonte: Ref. [4].

Os dois parâmetros (L1 e H1) são sobrepostos de forma invertida em termo de 94%, como é possível ver no primeiro gráfico do lado direito (parte superior), em L1, para que fossem subtraídas as formas das ondas e filtrado os resíduos

para melhor análise das curvas da onda, mostrados na terceira linha. A última linha dos gráficos mostra as ondas sendo compatíveis com a calibração do detector, mantendo sua frequência aumentada com o tempo [2,5].

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A detecção feita pelo LIGO demonstra a existência de sistemas binários de buracos negros. Esta é a primeira detecção direta de ondas gravitacionais e a primeira observação de uma fusão de uma binária de buracos negros.

Embora muitos astrofísicos já tivessem dado os buracos negros como existentes, o certo é que a comprovação de sua existência só ficou demonstrada através da detecção de ondas gravitacionais: *o que se confirmou foi a existência de buracos negros em pares, orbitando um em torno do outro. Isso a astrofísica ainda não havia confirmado. Agora está confirmado* [6].

Em 2017, os físicos Rainer Weiss do MIT (Massachusetts Institute of Technology), Barry Barish e Kip Thorne do Caltech (California Institute of Technology) foram laureados com o Prêmio Nobel de Física, pela então detecção das ondas gravitacionais.

Através da detecção das ondas gravitacionais se abriu caminho para novos estudos da Astronomia Gravitacional.

REFERÊNCIAS

- [1] LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory). <https://www.ligo.caltech.edu/page/what-are-gw>. Página acessada em 17 de dezembro de 2022.
- [2] Barros, B. S. M. e Souza, E. V., Estudo das ondas gravitacionais no ensino médio: uma abordagem teórica e experimental. arXiv: 2003.08543v1 [physics.ed-ph] 19 Mar 2020.
- [3] Saa, A., Cem anos de buracos negros: o centenário da solução de Schwarzschild. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 38, nº 4, e4201 (2016).
- [4] Abbott, B. P. et al., Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger. Physical Review Letters, 116, 061102 (2016).
- [5] Cattani, M. e Bassalo, J. M. F., Gravitational waves observation: brief comments. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 38, nº4, e4202 (2016).
- [6] Aguiar, O. D., Ondas gravitacionais existem: A grande descoberta do observatório LIGO. Palestra ministrada na Ciência às 19 horas, Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, em 16 de março de 2018. <https://ciencia19h.ifsc.usp.br/ondas-gravitacionais-existem-a-grande-descoberta-do-observatorio-ligo-2/> Página acessada em 19 de dezembro de 2022.