ISSN: 2358-8829

TECNOLOGIA ASSISTIVA E O ENSINO DE QUÍMICA: PROPOSTA DE UM DIAGRAMA DE LINUS PAULING PARA ESTUDANTES COM DEFICIÊNCIA VISUAL

Robson Francisco do Carmo [1]
Simone de Melo Oliveira [2]

INTRODUÇÃO

Ao longo da trajetória civilizatória, pessoas nascidas com deficiência foram frequentemente submetidas à marginalização social, sendo mantidas isoladas pelo núcleo familiar ou direcionadas a funções subalternas destinadas a afastá-las do convívio comunitário devido ao desvio dos padrões normativos vigentes. Em paralelo a dinâmicas históricas de exploração a exemplo da subjugação de populações escravizadas que sustentavam as bases produtivas sob forte desvalorização, frequentemente os indivíduos com deficiência eram interpretados sob uma ótica estritamente utilitária, sendo marginalizados pela sociedade, mas tolerados caso pudessem cumprir alguma função ainda que seja um tanto desvalorizada. (Aranha, 2001, p.161).

A superação dessa perspectiva excludente exige uma reformulação consistente das estruturas educacionais, assim, a educação inclusiva propõe que as instituições de ensino adaptem seus sistemas e metodologias para acolher a diversidade de necessidades dos alunos, o que implica uma ruptura deste paradigma frente aos modelos tradicionais de escolarização (Mantoan, 2003). Essa diretriz encontra respaldo na Declaração de Salamanca (1994), que postula a educação como um direito fundamental de todas as crianças, ainda de acordo com este documento enfatiza que as escolas regulares, orientadas por uma pedagogia centrada no estudante, representam o meio mais eficaz para combater atitudes discriminatórias, consolidar comunidades acolhedoras e assegurar uma educação efetiva e de custo-benefício otimizado para a totalidade dos discentes.

REFERENCIAL TEÓRICO

Apesar das diretrizes internacionais, a efetivação da inclusão na rede regular de ensino ainda enfrenta barreiras estruturais que comprometem a equidade dentro do espaço escolar.

[1] Graduado do Curso de Licenciatura em Química do Instituto Federal de Pernambuco - IFPE, robsoncarmo19@gmail.com;
[2] Professor orientador: Mestre, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – IFPE, simonemelo@ipojuca.ifpe.edu.br.

ISSN: 2358-8829

Como ponderam Burci, Santos e Costa (2017), a equidade pressupõe tratar as individualidades de maneira diferenciada, uma vez que a igualdade formal perante a lei muitas vezes mascara desigualdades substanciais que necessitam de intervenção ativa para não gerarem novas injustiças. Rodrigues (2014) corrobora ao destacar que o princípio da equidade demanda uma compreensão conceitual clara para transformar hábitos pedagógicos consolidados, evitando ações superficiais e garantindo que o educando se sinta plenamente integrado ao coletivo escolar (Rosa, 2011).

No âmbito específico das Ciências da Natureza, o aprendizado de Química constitui um pilar essencial para o exercício da cidadania, ele capacita o indivíduo para a manipulação segura de substâncias, a utilização de aparatos que viabilizem a compreensão de composições da matéria e a avaliação de riscos associados a determinados produtos. Para tanto, é imperativo que o conhecimento científico seja contextualizado e articulado com o cotidiano, visto que a química fundamenta o desenvolvimento tecnológico e econômico contemporâneo (Silva e Bandeira, 2006).

Tecnologia Assistiva e os Desafios no Ensino de Química

Com o progressivo ingresso de estudantes com deficiência visual nas escolas regulares, o uso de tecnologias assistivas tornou-se indispensável, contudo, apesar da crescente demanda e das inseguranças manifestadas por docentes e instituições, a literatura aponta uma lacuna expressiva na aplicação desses recursos voltados especificamente para as disciplinas científicas, com destaque para a Química (Gasparetto *et al*., 2012). Enquanto a compreensão de temáticas abstratas, como a distribuição eletrônica, já representa um obstáculo significativo para estudantes videntes, essa dificuldade é acentuada exponencialmente para o público-alvo com deficiência visual.

A inclusão escolar transcende a mera inserção física do aluno, exigindo o reconhecimento de que a diferença é parte inerente da condição humana e que todos possuem o direito de construir saberes conjuntamente na escola regular (Fernandez, 2011). Para preencher essas lacunas, os recursos didáticos e pedagógicos acessíveis assumem uma relevância sem precedentes na educação especial (Cerqueira e Ferreira, 1996). Sejam ferramentas de mobilidade ou dispositivos táteis como: diagramas, tabelas e representações espaciais, o objetivo maior é instrumentalizar o estudante para a compreensão conceitual e espacial dos fenômenos abordados.

Diante dos desafios supracitados no ensino de química para discentes com deficiência visual, este estudo buscou responder ao seguinte questionamento: De que maneira a tecnologia

ISSN: 2358-8829

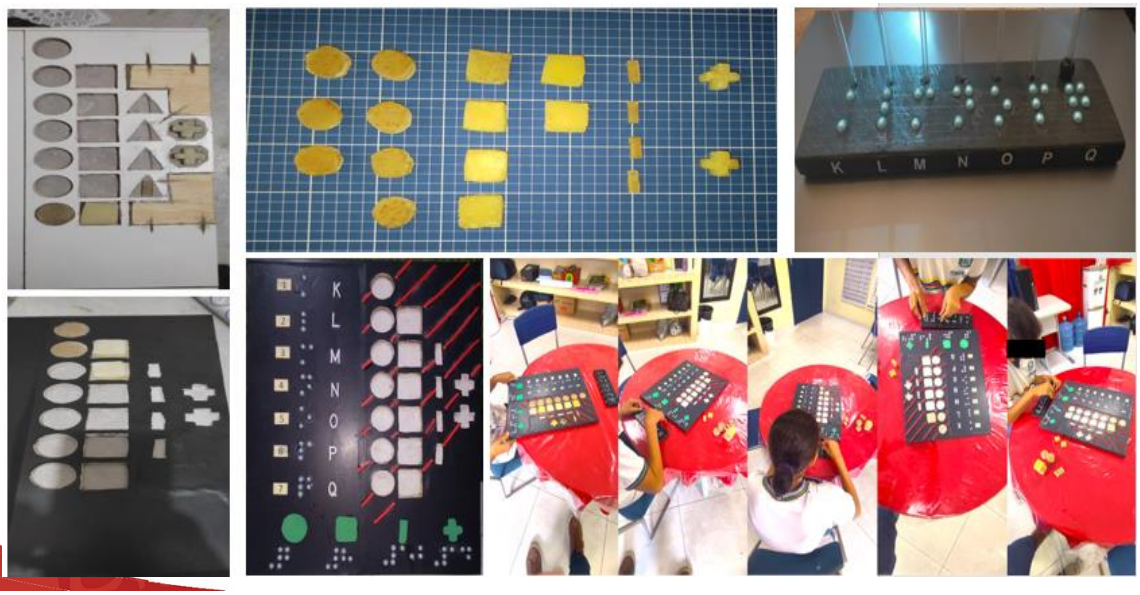
assistiva pode contribuir efetivamente para o processo de ensino-aprendizagem de estudantes com deficiência visual na disciplina de Química?

MATERIAIS E MÉTODOS

A confecção do protótipo envolveu o emprego de insumos de baixo custo e ampla acessibilidade, compreendendo desde suporte e tábua de madeira, chapa de papelão, folhas de vinil adesivo na cor preta, folhas de EVA (emborrachado), canudos plásticos rígidos, meias-miçangas, fragmentos de condutores elétricos (fios), elementos tipográficos em relevo (letreiro) e impressões em papel. Para a montagem, fixação e acabamento das estruturas táteis, foram utilizados bastões de adesivo termoplástico (cola quente), rejunte cimentício e espátula.

A escolha dessa composição de materiais fundamentou-se na viabilidade técnica e na reprodutibilidade do recurso pedagógico, buscando assegurar que o modelo possa ser facilmente replicado por outros educadores sem requerer insumos de alta complexidade.

Figura 1 - Protótipo diagrama de Linus Pauling adaptado



Fonte: O Autor 2026.

A operacionalização do modelo tátil de distribuição eletrônica obedeceu a um protocolo sequencial estruturado, desenvolvido para viabilizar a autonomia do estudante com deficiência visual na interpretação dos orbitais:

1. **Percurso energético:** A disposição dos níveis e subníveis energéticos mantém a tradicional orientação diagonal, sinalizada no protótipo por meio de filamentos avermelhados que atuam como guias direcionais.

ISSN: 2358-8829

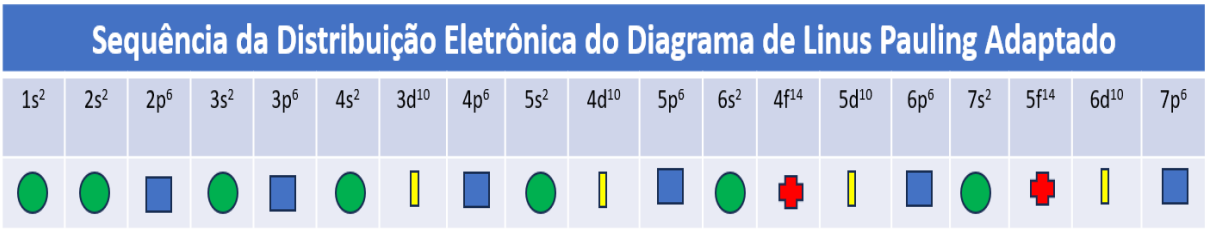
2. **Ponto de partida:** O rastreamento tátil inicia-se no orbital de menor energia ($1s$), o qual é destacado por um elemento circular texturizado (disco).
3. **Progressão sequencial:** Orientando-se pelas setas indicativas representada neste protótipo, o usuário avança progressivamente para o subnível $2s$, passando em seguida para o $2p$ e sucessivamente até alcançar a extremidade do subnível correspondente à sétima camada ($7p$).
4. **Tratamento de preenchimentos parciais:** Nos cenários em que o último subnível apresenta uma configuração incompleta, o ajuste e a validação do número de elétrons são realizados por meio de um marcador integrado a um ábaco adaptado, permitindo a identificação exata do arranjo final.

Preservando integralmente os fundamentos teóricos propostos por Linus Pauling, a distribuição eletrônica dos átomos obedece à sequência padrão de preenchimento energético crescente:

$$\mathbf{1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^{10}\ 4p^6\ 5s^2\ 4d^{10}\ 5p^6\ 6s^2\ 4f^{14}\ 5d^{10}\ 6p^6\ 7s^2\ 5f^{14}\ 6d^{10}\ 7p^6}$$

Desse modo, o aparato adaptado traduz as diretrizes do diagrama clássico para uma linguagem de acessibilidade tátil, mantendo o rigor científico exigido pelo conteúdo.

Figura 2 – Sequência da distribuição eletrônica do Diagrama de Linus Pauling adaptado



Fonte: O Autor 2026.

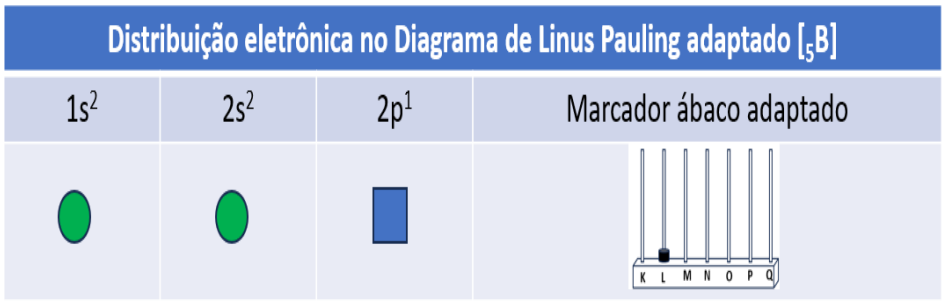
O recurso tátil desenvolvido contempla os sete níveis energéticos do átomo (K, L, M, N, O, P e Q). Em cada um desses níveis, há um limite máximo de subníveis, orbitais e, por conseguinte, de elétrons suportados. Para orientar o preenchimento na sequência crescente de energia, utilizou-se um fio condutor vermelho que demarca o trajeto das diagonais, indicando o avanço progressivo do discente à medida que cada camada é completada.

A identificação dos subníveis e seus respectivos orbitais é realizada por meio de formas geométricas em relevo: o círculo, o quadrado, o retângulo e a cruz, que correspondem às capacidades máximas de 2, 6, 10 e 14 elétrons, respectivamente. Essas estruturas codificam a quantidade total de elétrons que podem ser alocados em cada subnível de um determinado elemento químico. Por fim, nos casos em que a distribuição resulta em subníveis parcialmente

ISSN: 2358-8829

preenchidos, o dispositivo conta com um marcador no formato de ábaco adaptado, permitindo que o estudante o identifique e registre com precisão o orbital em que a alocação eletrônica foi finalizada.

Figura 3: Esquema da Distribuição de eletrônica realizada no protótipo adaptado



Fonte: O Autor (2026).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Coleta de dados e perfil dos participantes

A etapa de construção dos dados foi precedida pela anuência formal dos participantes ou de seus responsáveis legais mediante a assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), assegurando o cumprimento dos preceitos éticos e o sigilo de identidade. A amostra, caracterizada como não probabilística por conveniência Gil (2010), no qual foi composta por um docente especialista na área de Química e por uma estudante com deficiência visual congênita. Essa amostragem justifica-se pela baixa representatividade desse segmento no contexto das escolas regulares, alinhando-se à perspectiva de Gil (2010), tal qual a seleção intencional por atributos específicos mostra-se preemente em investigações de natureza qualitativa.

Avaliação docente e usabilidade do protótipo

Sob a ótica do docente participante, a implementação do Diagrama de Linus Pauling adaptado evidenciou contribuições expressivas. O professor destacou a compatibilidade do modelo como recurso de tecnologia assistiva, salientando sua facilidade de manuseio e a capacidade de proporcionar autonomia aos discentes durante a execução tátil da distribuição eletrônica. Essa avaliação corrobora as premissas de Cerqueira e Ferreira (1996) e Bersch (2017), as quais postulam que tecnologias assistivas bem projetadas otimizam o desempenho e garantem independência nas tarefas cotidianas e escolares.

ISSN: 2358-8829

A investigação reiterou a relevância de democratizar a ciência por meio da eliminação de barreiras metodológicas no ensino de conteúdos abstratos da Química. A estratégia articulou o uso de representações táteis, materiais acessíveis e uma minuciosa descrição verbal. A inclusão dessa abordagem compensou a falta de experiência prévia da docente na mediação com estudantes com deficiência visual e amenizou as lacunas metodológicas enfrentadas pela discente na rotina escolar regular.

Percepção da estudante e impacto sócio emocional

Na perspectiva da estudante, a utilização do material adaptado promoveu ganho de autonomia e elevação da autoimagem. Ao ser desafiada a realizar a configuração eletrônica do elemento Boro ($5B$), a aluna demonstrou domínio do conteúdo e expressou entusiasmo pelo êxito alcançado. O relato verbal evidenciou que a fiel representação tátil da ferramenta não apenas facilitou a resolução de exercícios, como também despertou maior interesse pelas ciências. Essa experiência ratifica os apontamentos de Bersch (2017) de que os recursos pedagógicos inclusivos transcendem a função didática, atuando como catalisadores da integração social e do bem-estar emocional do estudante.

Cabe ressaltar uma divergência perceptiva entre os sujeitos da pesquisa: enquanto a análise do docente pautou-se em critérios funcionais e pedagógicos, a experiência da discente revelou uma dimensão cinestésica e multissensorial mais acentuada. Como aponta Amiralian (1997), na ausência do canal visual, o indivíduo cego mobiliza os demais sentidos (tato, audição, olfato e paladar) como vias primárias para a apreensão conceitual e a estruturação do conhecimento.

Estruturação das categorias analíticas

Para o cumprimento dos objetivos específicos propostos, as evidências empíricas foram organizadas em cinco eixos categoriais de análise:

1. **Experiências discentes:** Compreensão das vivências do estudante com deficiência visual no processo de ensino-aprendizagem de Química;
2. **Experiências docentes:** Mapeamento da prática pedagógica do professor(a) frente ao ensino de Química para pessoas com deficiência visual;
3. **Contribuições do recurso tátil (adaptado):** Identificação dos impactos do Diagrama de Linus Pauling adaptado a partir do olhar convergente de docentes e discentes;
4. **Funcionalidade sob a ótica da discente:** Análise da usabilidade e aplicabilidade do protótipo adaptado segundo a percepção do aluno com deficiência visual;
5. **Funcionalidade sob a ótica docente:** Avaliação das potencialidades do protótipo como ferramenta didática segundo a percepção do professor.

ISSN: 2358-8829

Análise e discussão dos dados

1. Vivências Discentes no Ensino de Química

Na categoria voltada às experiências dos estudantes, a aluna reportou que a apreensão dos conteúdos em sala de aula ocorre de forma esporádica e descontínua. A discente sinalizou que, embora o conteúdo de distribuição eletrônica já houvesse sido abordado em momentos anteriores, a compreensão conceitual estava inviabilizada, uma vez que as ilustrações contidas nos livros didáticos se fundamentam exclusivamente no canal visual, apresentando caráter abstrato e inacessível (Cerqueira e Ferreira, 1996). A estudante sintetizou esse isolamento ao declarar que:

"Raramente compreendia, porque muitas vezes não me chamam para participar, daí prefiro ficar no meu lugar mesmo, também fico com muita vergonha em perguntar na sala, porque na sala fica um monte de barulho, muitas vezes fico com muita dor de cabeça."

Esse relato evidencia a fragilidade dos laços interpessoais no ambiente escolar, revelando um quadro de segregação velada. Conforme pondera Glat (1997), alunos com deficiência no ensino regular frequentemente permanecem isolados do ponto de vista social no cotidiano da sala de aula, restringindo suas interações interpessoais. Sob essa ótica, reafirma-se a necessidade de transformar a presença do discente com deficiência em uma oportunidade efetiva de inclusão escolar, promovendo simultaneamente o desenvolvimento cognitivo e a sociabilidade.

2. Vivências docentes e o princípio da equidade

Em relação à experiência do professor com discentes que possuem deficiência visual, a docente relatou pouca vivência prévia na área, dada a sua atuação recente de três anos com esse público. Esse dado corrobora a premissa de que a formação continuada constitui um pilar indispensável para o aperfeiçoamento das práticas pedagógicas e para o suporte adequado à construção do conhecimento.

A ausência de capacitação específica ou de flexibilidade metodológica frequentemente faz com que os docentes se restrinjam ao uso passivo das ilustrações impressas nos manuais didáticos. Essa prática compromete o princípio da equidade (Rodrigues, 2014), uma vez que a mera presença física do aluno na escola regular não assegura o aprendizado inclusivo se não houver a construção conjunta do saber pautada pelo respeito às especificidades individuais (Fernandez, 2011).

3. Contribuições do diagrama de Linus Pauling adaptado

No que tange às contribuições do protótipo, os achados foram amplamente favoráveis. Sob a perspectiva da professora, o dispositivo mostrou-se plenamente alinhado aos conceitos de tecnologia assistiva, viabilizando o desenvolvimento de atividades curriculares de Química com maior eficiência e independência (Bersch, 2017).

A docente avaliou que o recurso *"contribui bastante"*, justificando que *"o protótipo dele é muito fácil de manusear ficando mais fácil a aprendizagem dos alunos, pois podem sentir e realizar a distribuição eletrônica"*, o que valida as recomendações técnicas formuladas por Cerqueira e Ferreira (1996).

Para a estudante, o manuseio direto do material tátil proporciona sentimentos de satisfação e equidade. A representação gráfica fiel e adequada aos padrões de representação

tátil (Cerqueira e Ferreira, 1996) fortaleceu sua autoconfiança e autonomia, conforme externado em seu relato:

"Eu acho que me proporcionou uma maior autonomia em resolver as atividades propostas em sala, porque depois eu acho que consigo com outros exemplos se não for muito difícil (risos...)"

Esses depoimentos reiteram que a inclusão escolar ultrapassa a dimensão da integração física, consistindo em um processo de reparação e pertencimento socioeducacional para grupos historicamente marginalizados.

4. Avaliação da funcionalidade pelo estudante

Ao examinar a funcionalidade do protótipo sob a perspectiva discente, constatou-se que a ferramenta atendeu às exigências de facilidade e manuseio destacadas pela literatura especializada (Cerqueira e Ferreira, 1996; Bersch, 2017). A estudante ressaltou que a utilização do recurso despertou um renovado interesse pela disciplina, enfatizando ter tido *"uma oportunidade de aprendizado em sala de aula"*. O resultado ilustra a premissa de Bersch (2017), segundo a qual os recursos de tecnologia assistiva promovem eficiência e autonomia, acompanhando o usuário na realização de suas atividades.

Questionada sobre a assimilação da distribuição eletrônica após a mediação com o recurso adaptado, a aluna classificou o processo como *"muito fácil"*, complementando que:

"Às vezes quando dá exemplo de coisas que já conheço, fica mais fácil lembrar, porque é algo que já conheço, exemplo palito de pirulito, cordão de barbante, as miçangas que são parecidas com as bolinhas quando estou estudando braile aqui na sala de AEE (Atendimento Educacional Especializado)."

Com base no estímulo multissensorial promovido pelos materiais concretos, a discente realizou com êxito a configuração eletrônica do elemento Boro ($5B \rightarrow 1s^2\ 2s^2\ 2p^1$), demonstrando expressiva satisfação ao atingir a resolução do exercício proposto pelo pesquisador.

5. Avaliação da funcionalidade pelo docente e convergência de percepções

A avaliação da docente acerca da funcionalidade do protótipo convergiu com as impressões da aluna, ratificando que o aparato facilitou a mediação didática do conteúdo e estimulou a autonomia da aluna para a resolução dos exercícios, em sintonia com os pressupostos teóricos de Bersch (2017).

Contudo, a análise comparativa entre as respostas revela uma nuance importante: a percepção do professor tende a ser menos cinestésica se comparada à da pessoa com deficiência visual. Conforme destaca Amiralian (1997), enquanto o indivíduo vidente ancora sua apreensão predominantemente no canal visual, a pessoa com deficiência visual mobiliza o conjunto dos sentidos remanescentes — tato, audição, olfato e paladar — para construir e reorganizar constantemente suas estruturas cognitivas e memórias. Assim, a experiência tátil da aluna conferiu-lhe uma leitura perceptiva mais detalhada e profunda sobre a funcionalidade do protótipo adaptado.

ISSN: 2358-8829

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo investigou a contribuição de um Diagrama de Linus Pauling adaptado no processo de ensino-aprendizagem de Química para estudantes com deficiência visual, com foco na compreensão das configurações da camada de valência. Os dados obtidos indicam o cumprimento do objetivo geral, demonstrando que a associação entre descrição verbal detalhada e materiais táteis proporciona uma experiência pedagógica satisfatória, participativa e equitativa.

Embora o protótipo tenha demonstrado eficácia e baixo custo de produção, a aplicação empírica permitiu diagnosticar pontos de aperfeiçoamento técnico indicados pela própria estudante para futuras reiterações do recurso:

1. **Delimitação tátil:** Aplicação de cordão/barbante nos contornos das figuras em alto-relevo para melhor definição de bordas;
2. **Indexação:** Inserção de identificadores numéricos adjacentes aos elementos em relevo;
3. **Fixação e durabilidade:** Reforço na colagem das peças numéricas para evitar desgaste ou descolamento com o uso contínuo;
4. **Dimensionamento de encaixes:** Ampliação das aberturas nos retângulos e nas cruzes para facilitar o acoplamento manual;
5. **Reorganização estrutural:** Posicionamento do ábaco adaptado na região superior do painel do diagrama para otimizar a ergonomia de leitura.

Em síntese, os resultados obtidos oferecem subsídios para o desenvolvimento de novas mídias e metodologias inclusivas no ensino de ciências. O aprimoramento contínuo deste dispositivo tátil visa consolidar um material didático funcional tanto para estudantes videntes quanto para pessoas com deficiência visual, fortalecendo a construção de um ambiente escolar verdadeiramente democrático e inclusivo.

REFERÊNCIAS

AMIRALIAN, Maria. **Compreendendo o cego: uma visão psicanalítica da cegueira por meio de desenhos-estórias**. São Paulo: Casa do Psicólogo. 1997.

ARANHA, M. S. F. **Paradigmas da relação da sociedade com as pessoas com deficiência**, Revista do Ministério Público do Trabalho, Ano XI, nº 21, março, 2001, p. 160-173.

BERSCH, Rita. **Introdução à tecnologia assistiva**, Porto Alegre: Assistiva, 2017. p. 2.

BURCI, Taissa; SANTOS, Annie; COSTA, Maria. **Inclusão com igualdade ou com equidade**: Primeiras reflexões. Colloquium Humanarum, v. 14, n. Especial, jul./dez. 2017, p. 444-450.

CERQUEIRA, J. B.; FERREIRA, M. A. **Os recursos didáticos na educação especial**. Rio de Janeiro: Revista Benjamin Constant, nº 5, dezembro de 1996. p. 15-25.

FERNANDES, Sueli. **Fundamentos para educação especial**. Curitiba: 2. ed. Ibpex, 2011. p. 139.

GASPARETTO, M.E.R.F.; MONTILHA, R.C.I.; ARRUDA, S.M.C.P.; SPERQUE, J.; AZEVEDO, T.L. e NOBRE, M.I.R**. Utilização de recursos de Tecnologia Assistiva por escolares com deficiência visual.** Informática na Educação: teoria & prática, v.15, n.2, 2012. p. 113-130.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010. p. 128.

GLAT, Rosana. **Um olhar sobre a integração do deficiente**. In: MANTOAN. Maria Teresa Eglér. (org.). **A integração da Pessoa com Deficiência**: Colaborações para uma Reflexão sobre o Tema. São Paulo: Memnon, 1997. p. 196-209.

MANTOAN, Maria. **Inclusão escolar: o que é? por quê? Como fazer?** São Paulo: Moderna, 2003. p.12.

RODRIGUES, David. **Os desafios da Equidade e da Inclusão na formação de professores**. Revista nacional e internacional de educación inclusiva, v. 7, n. 2, junio 2014, p. 05-21.

ROSA, Emiliana Faria. **Educação de surdos e inclusão: caminhos e perspectivas atuais.** Rev. **Reflexão e Ação**, v. 19, n. 2, jul./dez. 2011, p. 146-157.

SILVA, A. M.; BANDEIRA. J. A. **A Importância em relacionar a parte teórica das aulas de química com atividades práticas que ocorrem no cotidiano**. In: IV Simpósio Brasileiro de Educação Química. Fortaleza (CE), 2006. p. 22.

UNESCO. **Declaração de Salamanca.** Salamanca: Castela e Leão, Declaração de Salamanca sobre os Princípios, Política e Práticas na Área das Necessidades Educativas Especiais, 1994 – UNESCO Biblioteca Digital. Disponível em: http://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000139394. Acesso em 18 de out. 2026.