

Aplicação de ferramentas educométricas na avaliação do uso de imagens digitais em aulas de química

Franciel da Silva Costa¹, Francisco Fernando Silveira², Tiago Correa Menezes³

¹Licenciado em Química pelo Instituto Federal do Piauí (IFPI) – Campus Paulistana, Paulistana, Brasil.

²Mestre em Química pela Universidade Federal do Ceará (UFC), Brasil, professor do Instituto Federal do Piauí (IFPI) – Campus Paulistana, Paulistana, Brasil.

³Doutor em Química Analítica pelo Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal do Pará (PPGQ/UFPA), professor do Instituto Federal do Piauí (IFPI) – Campus Paulistana, Paulistana, Brasil.



Application of educometric tools in the assessment of the use of digital images in chemistry classes.

Informações do Artigo

Palavras-chave:

Ensino de Química; Educometria; PhotoMetrix®; PCA; HCA.

Key words:

Chemistry teaching; Eduometrics; PhotoMetrix®; PCA; HCA.

E-mail:

costafranciel2025@gmail.com



ABSTRACT

This research investigated the potential of eduometrics to assess the impact of smartphone and digital image use in Chemistry teaching, applying the PhotoMetrix® app as an experimental analysis tool. The quantitative-qualitative approach involved administering questionnaires before and after a pedagogical intervention on solution concentration, with data analyzed using Principal Component Analysis (PCA) and Hierarchical Cluster Analysis (HCA). The results revealed a significant improvement in students' conceptual understanding and greater uniformity in responses after the experimental activity, indicating learning consolidation. The integration of mobile technology and eduometric tools proved effective in promoting a more interactive and evidence-based teaching approach, reinforcing the role of digital innovation as an ally in the development of contemporary pedagogical practices.

INTRODUÇÃO

A educação, ao longo de sua história, tem se transformado constantemente, acompanhando as evoluções sociais e as mudanças culturais. No cenário atual, em meio a uma revolução educacional impulsionada pela cultura digital e pelas tecnologias emergentes, surgem propostas inovadoras que desafiam e remodelam os paradigmas tradicionais da educação (VELOSO et al., 2023). As tecnologias digitais têm promovido mudanças significativas no cenário educacional, ressignificando as formas de ensinar e aprender. Dispositivos móveis, como smartphones, tablets e notebooks, se destacam como ferramentas essenciais nesse processo, pois facilitam o acesso à informação, promovem a interatividade e oferecem mobilidade. O uso dessas tecnologias na educação não se limita à adaptação às demandas contemporâneas, mas também atende à

necessidade de engajar os alunos de maneira interativa e eficaz, aproveitando os recursos tecnológicos disponíveis (LIMA; SILVANO, 2024).

Nesse contexto, Freire (1996) defende que ensinar é um ato dialógico e libertador, que deve promover a autonomia e a conscientização do estudante diante da realidade em que vive; logo, a tecnologia deve servir como instrumento de emancipação e não de alienação. Pimenta (2012), corroborada por Santos e Andrade (2024) e por Silva e Mesquita (2024), reforça que a docência é uma prática social complexa, construída na articulação entre teoria e prática, exigindo do educador reflexão constante sobre sua ação pedagógica e a ressignificação de seus métodos diante das novas demandas educacionais. Nessa mesma perspectiva, Tardif (2014) destaca que os saberes docentes são múltiplos e resultam da experiência e da formação profissional, sendo continuamente reconstruídos no exercício da prática.

Araújo (2018) discute o papel do professor como mediador no uso das tecnologias digitais, destacando que o docente deve repensar suas estratégias didáticas de forma intencional e planejada, reconhecendo-se também como aprendiz na era digital. Çelik e Baturay (2024) destacam que uma abordagem equilibrada, que valorize a integração tecnológica aliada à inovação pedagógica, é essencial para preparar os alunos para alcançar o sucesso em um mundo cada vez mais dinâmico e desafiador, afirmação corroborada por Dunn e Ramnarain (2024) e por Ardyansyah e Rahayu (2024), que evidenciam os benefícios do uso de tecnologias móveis e digitais no ensino de Química, favorecendo o engajamento dos estudantes e a ampliação da compreensão dos conceitos científicos.

Uma estratégia para despertar o interesse dos estudantes é integrar os experimentos laboratoriais à sua vivência cotidiana. Por exemplo, a seleção de amostras reais e o uso de tecnologias atuais, como aplicativos, aliados ao planejamento pedagógico do professor, podem transformar a percepção dos alunos nas aulas práticas, promovendo uma abordagem mais dinâmica e significativa para o ensino e a aprendizagem (GRUNEWALD; ZIELINSKI, 2016; BARRETO; FERREIRA; SANTOS, 2022; GAUDÊNCIO, 2025).

Helfer et al. (2017) desenvolveram o aplicativo *PhotoMetrix*, uma ferramenta gratuita para iPhone e smartphones com capacidade de capturar imagens digitais por meio da câmera de um dispositivo móvel e analisá-las utilizando modelos matemáticos univariados e multivariados. Baseado no modelo de cores RGB (*Red, Green, Blue*), o software separa os valores individuais de cada canal de cor, permitindo a extração de informações específicas sobre a composição da amostra analisada. A intensidade de cada componente cromático é quantificada e pode ser correlacionada com a concentração da substância em estudo, proporcionando uma abordagem acessível e eficaz para a determinação da concentração em soluções. Estudos recentes demonstram a eficiência do aplicativo nesse tipo de análise (SOUZA et al., 2019; LOURENÇO et al., 2021; BAUMANN et al., 2019; MARCIAS et al., 2019; BÖCK et al., 2021; JIN et al., 2024).

Diante da aplicação de determinadas metodologias não-convencionais, surge a necessidade de uma análise mais aprofundada para verificar sua eficácia. Nesse contexto, a educometria se destaca como uma ferramenta essencial, pois permite avaliar, de forma sistemática e baseada em modelos estatísticos, o impacto das estratégias pedagógicas no processo de ensino e aprendizagem. Ao considerar tanto dados quantitativos quanto qualitativos, essa abordagem possibilita uma compreensão mais ampla da relação entre a metodologia aplicada e os resultados obtidos pelos

alunos. Dessa forma, a educometria auxilia os educadores na identificação de pontos fortes e desafios das práticas adotadas, promovendo ajustes e melhorias contínuas para otimizar a experiência educacional (SILVA, 2017).

Dessa forma, a educometria permite uma análise aprofundada dos padrões de aprendizagem e do desempenho dos alunos por meio de técnicas estatísticas avançadas. Entre essas técnicas, destacam-se os métodos de análise não supervisionada, que são abordagens estatísticas utilizadas para explorar e identificar padrões ocultos em conjuntos de dados sem a necessidade de um resultado previamente definido. Diferente da análise supervisionada, que utiliza dados rotulados para treinar um modelo preditivo, a análise não supervisionada organiza as informações de maneira autônoma, reduzindo a complexidade dos dados e agrupando-os com base em suas semelhanças e diferenças. Entre as principais técnicas dessa abordagem, destacam-se a Análise de Componentes Principais (PCA) e a Análise de Agrupamentos Hierárquicos (HCA) (RIBEIRO, 2018).

A Análise de Componentes Principais (PCA) é um método usado para reduzir a complexidade de conjuntos de dados multivariados, mantendo suas relações. Consequentemente, as informações relevantes serão separadas e ampliadas pelo “microscópio” de dados, tornando-se mais evidentes a inspeção visual. Essa técnica permite identificar, comparar e interpretar diferenças entre variáveis, além de analisar as conexões entre os dados. A PCA também ajuda a detectar dados que representam componentes atípicos distintos, tornando-os evidentes na projeção dos dados (FERREIRA, 2015).

A análise de agrupamentos por métodos hierárquicos (HCA) é útil para reduzir a complexidade de grandes conjuntos de dados. Por exemplo, permite representar milhares de genes por poucos grupos com comportamentos semelhantes, além de identificar amostras com padrões distintos ou anômalos. Essa técnica é especialmente interessante porque o agrupamento hierárquico de dados multidimensionais pode ser visualizado graficamente em um esquema bidimensional, facilitando a interpretação dos resultados. Consequentemente, as informações relevantes serão separadas e ampliadas pelo microscópio de dados tornando-se mais evidentes a inspeção visual (FERREIRA, 2015).

Este estudo se destaca por propor a aplicação de ferramentas educométricas para avaliar a eficácia do uso de smartphones e imagens digitais na determinação de concentração comum, contribuindo para a modernização do ensino de Química. Ao integrar tecnologias acessíveis ao ambiente educacional, busca-se tornar o aprendizado mais interativo e alinhado às novas demandas pedagógicas. Nesse contexto, questiona-se: de que forma a aplicação de ferramentas educométricas pode evidenciar a eficácia do uso de imagens digitais e dispositivos móveis no ensino de Química? O principal objetivo é analisar, por meio da educometria aliada a técnicas estatísticas como a PCA e a HCA, o impacto da metodologia aplicada, que utiliza smartphones e o aplicativo PhotoMetrix®, buscando compreender a relação entre a abordagem didática adotada e o desempenho dos alunos, de modo a identificar padrões de aprendizagem e fornecer subsídios para ajustes pedagógicos que otimizem o processo de ensino e aprendizagem.



METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada fazendo-se uso de um método quanti-qualitativo, pois, de acordo com Oliveira et al. (2020), a pesquisa qualitativa busca responder a perguntas específicas e particulares, exigindo análises detalhadas e descritivas para uma compreensão mais profunda. Por outro lado, conforme destacado por Rodrigues, Oliveira e Santos (2021), a pesquisa quantitativa visa quantificar fenômenos, permitindo análises objetivas ao dimensionar sua intensidade e aplicabilidade de recursos.

Antes do início da coleta de dados, todos os participantes receberam um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), garantindo que estivessem cientes dos objetivos da pesquisa, dos procedimentos envolvidos e da confidencialidade das informações fornecidas. O termo foi apresentado de forma clara e acessível, assegurando que a participação fosse voluntária e que os estudantes pudessem se retirar do estudo a qualquer momento, sem prejuízo.

Este estudo foi realizado no laboratório de Química do Instituto Federal do Piauí (IFPI) – Campus Paulistana, localizado na região sudeste do estado do Piauí, a aproximadamente 470 km de Teresina, capital do estado. Participaram da pesquisa 33 estudantes do 2º ano do Curso Técnico em Administração Integrado ao Ensino Médio, com faixa etária entre 15 e 18 anos. A escolha dessa turma se deu em virtude do elevado número de reprovações em Química, fato associado à carga de conteúdos que exigem raciocínio matemático e ao uso recorrente de cálculos de concentração, que servem de base para a compreensão de diversos temas abordados ao longo do ano letivo.

Foram aplicados dois questionários, sendo o primeiro antes da aplicação da metodologia, com o objetivo de identificar os conhecimentos prévios dos alunos, e o segundo após a execução das atividades, visando avaliar os avanços e percepções dos participantes. A metodologia adotada foi estruturada em seis etapas principais, conforme descrito a seguir.

ETAPA 1: APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO INICIAL

Inicialmente, os alunos responderam um questionário estruturado composto por 10 questões, aplicadas antes da intervenção metodológica. As perguntas foram organizadas em uma escala Likert de cinco pontos, na qual os participantes indicaram seu grau de concordância ou percepção em relação às afirmações apresentadas, variando de 1 (discordo totalmente) a 5 (concordo totalmente). O instrumento abordou aspectos como conhecimento prévio sobre concentração de soluções, percepção sobre aulas práticas e uso de tecnologias digitais no ensino de Química. A estrutura geral do questionário é apresentada no Tabela 1.



Tabela 1 – Estrutura do questionário inicial aplicado aos estudantes.

Nº	Exemplo de questão	Tipo de resposta
1	Você já ouviu falar sobre o conceito de concentração comum em soluções?	Escala Likert (5 pontos)
2	Você acredita que atividades práticas facilitam a compreensão de conceitos químicos?	Escala Likert (5 pontos)
3	Você já utilizou smartphones ou aplicativos para aprender conceitos de Química?	Escala Likert (5 pontos)
4	Qual é a sua familiaridade com a preparação de soluções químicas?	Escala Likert (5 pontos)
5	Qual a sua confiança ao calcular a concentração de uma solução?	Escala Likert (5 pontos)
6	Qual é sua percepção inicial sobre aulas práticas em laboratório?	Escala Likert (5 pontos)
7	Você acredita que o uso de smartphones torna as aulas práticas mais dinâmicas?	Escala Likert (5 pontos)
8	Como você avalia os métodos tradicionais de ensino no aprendizado de Química?	Escala Likert (5 pontos)
9	Qual tipo de aula você considera mais eficaz para aprender conceitos químicos?	Múltipla escolha
10	Qual é sua percepção inicial sobre o uso de smartphones e imagens digitais na análise química?	Escala Likert (5 pontos)

Fonte: Elaboração própria (2025).

ETAPA 2: INTRODUÇÃO TEÓRICA E REVISÃO CONCEITUAL

Em seguida, a turma foi dividida em dois grupos, que foram conduzidos separadamente ao laboratório de Química. No laboratório, cada grupo recebeu uma breve revisão teórica sobre o cálculo de concentração comum, com enfoque em seus principais conceitos e aplicações no ensino de Química.

ETAPA 3: PREPARAÇÃO DAS SOLUÇÕES

No laboratório, os grupos previamente organizados em sala de aula foram subdivididos em dois subgrupos. Um deles ficou responsável pela preparação das soluções de calibração, enquanto o outro preparou as soluções destinadas à predição, realizando os cálculos necessários para alcançar as concentrações previamente estabelecidas, conforme apresentado na Tabela 2. O reagente utilizado no experimento foi o sulfato de cobre (II) pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), disponível no acervo do laboratório.

Tabela 2 – Soluções utilizadas para calibração e predição no aplicativo Photometrix.

Soluções para Calibração	Concentrações	Soluções para Predição	Concentrações
1º	40 g/L	7º	30 g/L
2º	60 g/L	8º	70 g/L
3º	80 g/L	9º	90 g/L
4º	100 g/L	10º	130 g/L
5º	120 g/L		

Fonte: Elaboração própria (2025).

ETAPA 4: USO DO APLICATIVO PHOTOMETRIX

Após a preparação das soluções, os alunos instalaram o aplicativo PhotoMetrix PRO® em seus smartphones e iniciaram o processo conforme ilustrado na Figura 1. Primeiramente, ao abrir o aplicativo, os estudantes acessaram o menu principal (Figura 1a), onde estão disponíveis as opções *Univariate Analysis*, *Multivariate Analysis*, *Settings* e *About this app*. A partir desse menu, selecionaram a opção *Univariate Analysis*, utilizada para a construção da curva analítica e posterior leitura das amostras. Em seguida, na tela de Análise Univariada, os alunos escolheram o modo *Multiple Channels* (Figura 1b), que permite a análise das intensidades de cor nos canais RGB obtidos das imagens das soluções.

Posteriormente, acessaram a aba *Calibration* (Figura 1c) para realizar a calibração do aplicativo. Nessa etapa, foram fotografadas seis amostras padrão (40 g/L, 60 g/L, 80 g/L, 100 g/L, 120 g/L e 140 g/L), cujas concentrações reais eram conhecidas e informadas ao sistema. Essa calibração possibilitou ao aplicativo estabelecer uma curva analítica relacionando a resposta obtida (valores RGB) com a concentração.

Na sequência, utilizando a opção *Sampling* (Figura 1c) e a tela de captura de imagens (Figura 1d), os estudantes analisaram as quatro amostras restantes (30 g/L, 70 g/L, 90 g/L 130 g/L), sem informar previamente suas concentrações. O aplicativo, então, determinou automaticamente os valores estimados de concentração com base na calibração previamente realizada.

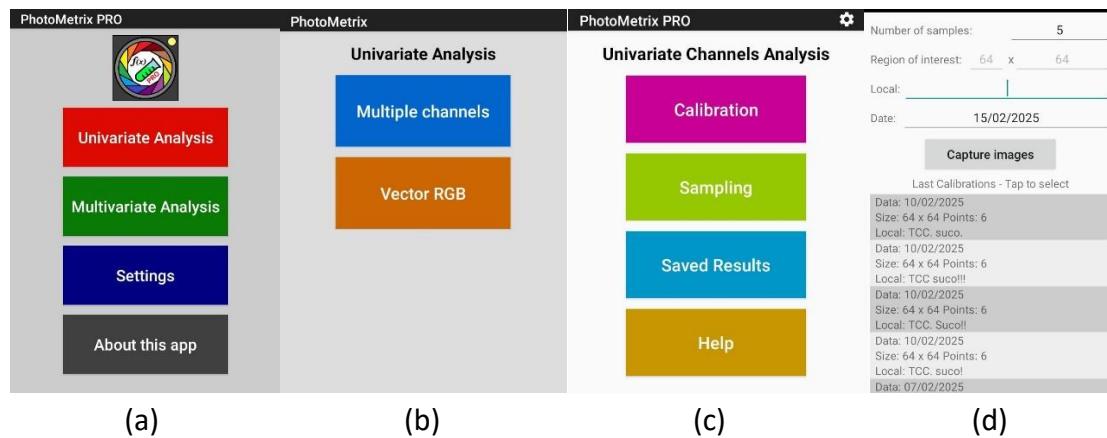


Figura 1. Telas para utilização do aplicativo PhotoMetrix PRO®: (a) *Settings* (para configurações do aplicativo) e *Univariate Analysis* (para construção de curva analítica e leitura de amostras); (b) *Multiple Channels*; (c) *Calibration* (para calibração da curva analítica) ou *Sampling* (para análises das amostras); (d): Captura de imagens das amostras.

Fonte: Elaboração própria (2025).

ETAPA 5: APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO FINAL

Após a aplicação da metodologia proposta, os estudantes responderam a um segundo questionário impresso, composto por 10 questões objetivas, com o intuito de avaliar os impactos da intervenção pedagógica no processo de aprendizagem. As questões foram organizadas em uma escala Likert de cinco pontos, variando de 1 (avaliação muito negativa) a 5 (avaliação muito positiva),

permitindo mensurar o grau de satisfação, compreensão e percepção dos participantes em relação às atividades desenvolvidas. A estrutura geral do questionário é apresentada no Tabela 3.

Tabela 3 – Estrutura do questionário final aplicado aos estudantes.

Nº	Exemplo de questão	Tipo de resposta
1	Após a aula prática, como você avaliaria seu entendimento sobre o conceito de concentração comum?	Escala Likert (5 pontos)
2	O uso de smartphones para capturar imagens digitais foi eficaz na determinação da concentração das soluções preparadas?	Escala Likert (5 pontos)
3	A atividade prática contribuiu para consolidar seu conhecimento sobre a preparação de soluções químicas?	Escala Likert (5 pontos)
4	Como você avalia sua confiança ao calcular e preparar soluções após a prática?	Escala Likert (5 pontos)
5	O uso do aplicativo Photométrix aliado ao smartphone facilitou a compreensão do tema estudado?	Escala Likert (5 pontos)
6	Você acha que as imagens digitais capturadas pelos smartphones são úteis para análises químicas?	Escala Likert (5 pontos)
7	Após a prática, como você avalia o uso de métodos digitais e tecnológicos no ensino de Química?	Escala Likert (5 pontos)
8	Qual foi sua satisfação geral com a metodologia utilizada (aula prática e uso de smartphones)?	Escala Likert (5 pontos)
9	Você percebe alguma relação entre o tema estudado e a sua futura atuação profissional?	Escala Likert (5 pontos)
10	A aula ajudou a melhorar sua percepção sobre a importância da Química no cotidiano e na vida profissional?	Escala Likert (5 pontos)

Fonte: Elaboração própria (2025).

ETAPA 6: MODELAGEM MATEMÁTICA DOS DADOS

A modelagem quimiométrica aplicada aos dados dos questionários foi realizada por meio de rotinas em ambiente MATLAB® (The Math Works, Inc). Os modelos PCA e HCA foram desenvolvidos na interface PLS_Toolbox 5.2 (Eigenvector Research, Inc.) para MATLAB.

Recursos:

- Recursos humanos: O pesquisador foi responsável pela coleta de dados, aplicação da metodologia e análise dos resultados.
- Recursos materiais: Questionários impressos, smartphones, tampa de plástico, aplicativo photometrix, programa MATLAB®.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados coletados por meio dos questionários aplicados antes e depois da metodologia foram organizados em uma matriz no Excel, onde cada linha representa um aluno e cada coluna corresponde a uma variável, ou seja, uma questão do questionário. No total, 33 alunos participaram da pesquisa, respondendo a 10 questões em cada aplicação, resultando em duas matrizes de dimensões 33x10 (uma para o questionário inicial e outra para o final). Essa organização permite que os dados sejam analisados estatisticamente, possibilitando a aplicação de técnicas como Análise

de Componentes Principais (PCA) e Análise de Agrupamentos Hierárquicos (HCA), as quais foram desenvolvidas na interface PLS_Toolbox do MATLAB para identificar padrões e avaliar a eficácia da metodologia aplicada.

OBTENÇÃO DA CONCENTRAÇÃO A PARTIR DA CURVA GERADA PELO PHOTOMETRIX PRO.

Embora o ideal seja a realização dos experimentos em um ambiente fechado, com iluminação controlada (LOURENÇO et al., 2021), a metodologia adotada neste estudo foi aplicada em um ambiente aberto, sujeito à variação de luz natural. Apesar dessa limitação, os resultados obtidos apresentaram um alto coeficiente de determinação (R^2), como ilustrado na Figura 2.

O coeficiente de determinação (R^2) é uma medida estatística usada na quimiometria para avaliar o ajuste de um modelo matemático aos dados experimentais. Ele varia de 0 a 1, onde $R^2 = 1$ indica que o modelo se ajusta perfeitamente aos dados, $R^2 = 0$ significa que o modelo não apresenta ajuste algum, e valores intermediários indicam um ajuste parcial aos dados (MOREIRA, 2018). No contexto da análise química, softwares como o **Photometrix** são utilizados para processar dados espectroscópicos e construir modelos de calibração, permitindo a determinação da concentração de substâncias com base em sinais espectrais (SOUZA et al., 2019). A relação entre a intensidade do sinal e a concentração é analisada por regressão linear, e o valor de r ajuda a verificar o quanto bem o modelo se ajusta aos dados experimentais.



Calibration Channel S: $y = 0,002*x + 0,371$ @ $r = 0,992$

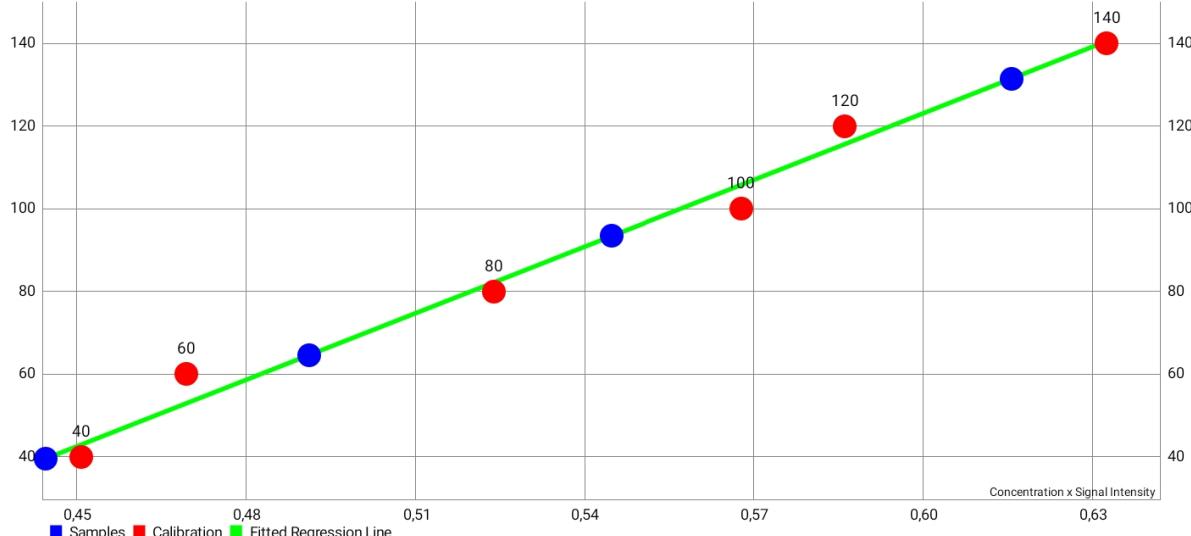


Figura 2. Curva analítica do $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ obtida com o uso do **Photometrix PRO®**, com a imagem extraída diretamente do aplicativo. A faixa de concentração de Cu^{2+} utilizada na calibração variou de **40 a 140 g/L**.

Fonte: Elaboração própria (2025).

A Figura 2 apresenta a curva analítica gerada diretamente pelo aplicativo Photometrix PRO®. O coeficiente de correlação ($r = 0,992$), calculado pelo aplicativo, indica uma relação linear forte entre a concentração e a intensidade do sinal. Isso significa que o modelo de regressão linear se ajusta muito bem aos pontos experimentais. As concentrações de 40 g/L, 60 g/L, 80 g/L, 100 g/L, 120 g/L e 140 g/L (indicadas pelos pontos no gráfico) mostram uma tendência crescente ao longo

da linha verde de regressão, confirmando que o aumento da concentração está diretamente relacionado ao aumento da intensidade do sinal.

O coeficiente de determinação (R^2) representa a proporção da variabilidade na intensidade do sinal que é explicada pelo modelo de regressão linear. Como $r = 0,992$, o valor de R^2 é aproximadamente 0,984, indicando que 98,4% da variação na intensidade do sinal pode ser explicada pelas mudanças na concentração. Esse alto valor sugere que o método utilizado é altamente confiável para prever concentrações desconhecidas com base na resposta espectral.

O aplicativo demonstrou ser uma ferramenta eficiente e de fácil utilização na coleta e análise de dados, permitindo a obtenção da curva de calibração e a validação dos resultados. Mesmo em um ambiente aberto, onde fatores externos podem influenciar as medições, o software conseguiu gerar um coeficiente de determinação R^2 elevado, reforçando a precisão e a confiabilidade do modelo.



Com esse alto grau de correlação, foi possível determinar com precisão concentrações não diretamente usadas na calibração, como 30 g/L, 70 g/L, 90 g/L e 130 g/L. Essas previsões confirmam que o aplicativo pode ser utilizado de forma confiável para estimar concentrações a partir da resposta espectral, mesmo em condições variáveis, tornando-se uma alternativa viável para análises rápidas e eficientes. Estudos como os de Souza et al. (2019), Lourenço et al. (2021) e Pinho et al. (2021) também destacam a aplicação dessa ferramenta na área educacional, reforçando sua relevância no ensino de química.

ANÁLISE DOS RESULTADOS A PARTIR DA TÉCNICA PCA

Na Análise de Componentes Principais (PCA), as componentes principais têm duas propriedades muito importantes: elas são não correlacionadas e ortogonais entre si, o que significa que a informação contida em uma não está presente em outra. Além disso, cada componente principal é capaz de descrever a quantidade máxima de informação dos dados originais. A primeira delas, PC1, é definida pela direção que captura a máxima variância dos dados originais. A segunda componente principal, PC2, captura a máxima variância dos dados no subespaço ortogonal a PC1, e as componentes subsequentes são ortogonais às anteriores, descrevendo uma a uma a máxima variância restante dos dados (FERREIRA, 2015).

Os *scores* na PCA correspondem às novas coordenadas das amostras nos componentes principais, ou seja, são a projeção dos dados originais em um novo espaço dimensional, facilitando a identificação de padrões, agrupamentos e possíveis *outliers* (amostras foras do padrão e que devem ser retiradas dos modelos). Já os *loadings* indicam a contribuição de cada variável original na formação dos componentes principais, destacando quais variáveis influenciam mais cada componente e permitindo interpretar as relações entre elas. Enquanto os *scores* ajudam a visualizar a distribuição das amostras no novo sistema de coordenadas, os *loadings* fornecem *insights* sobre a importância relativa de cada variável na construção dos componentes. Ambos são essenciais para compreender a variabilidade dos dados e interpretar os resultados da PCA (JOLLIFE; CADIMA, 2016).

Gráficos de T^2 de Hotelling versus Resíduos Q

Na análise por componentes principais (PCA), o T^2 de Hotelling e os resíduos Q são representados graficamente para facilitar a identificação de *outliers*, que são observações que se desviam significativamente do padrão esperado nos dados. Geralmente, uma linha azul traçada é utilizada para indicar o limite de confiança estatístico. No gráfico do T^2 de *Hotelling*, essa linha define o limite superior esperado para a variabilidade das amostras dentro do modelo PCA, ajudando a identificar pontos que apresentam um comportamento discrepante. Já no gráfico dos resíduos Q, a linha azul traçada representa o limiar acima do qual uma amostra pode ser considerada um possível outlier, pois possui variabilidade não explicada pelo modelo. Esses limites são fundamentais para a interpretação dos dados e a detecção de anomalias (MOREIRA, 2018; MENDES; SOUZA, 2020).

Na Figura 3, observa-se uma concordância geral nas respostas dos alunos, com a maioria permanecendo dentro dos limites estabelecidos pela linha azul, indicando consistência nas respostas em relação às questões avaliadas. No gráfico 3a, correspondente ao questionário inicial, apenas três alunos apresentam respostas que se desviam significativamente, ultrapassando a linha azul. No gráfico 3b (Figura 3), referente ao questionário final, todos os alunos estão dentro dos limites definidos pela linha azul, evidenciando uma maior uniformidade e conformidade com os parâmetros estabelecidos.

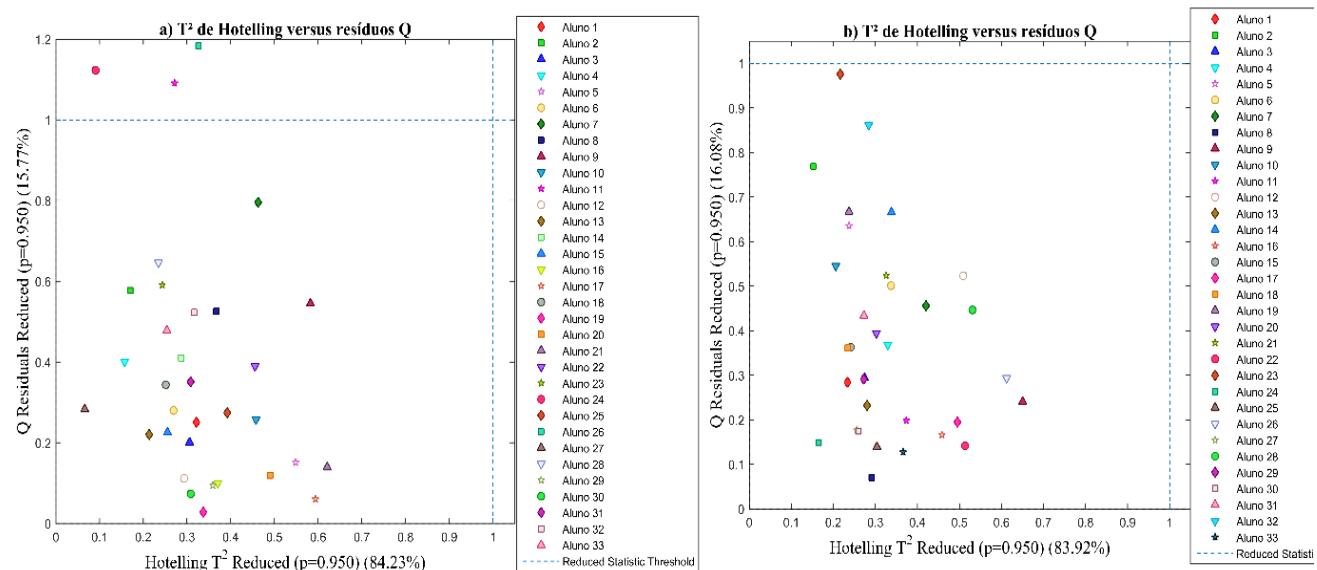


Figura 3: Distribuição dos alunos nos gráficos para os questionários inicial (a) e final (b)
Fonte: Elaboração própria (2025).

Análise dos dados de *scores* e *loadings* para questionário inicial

A Figura 4 apresenta os *scores* e *loadings* da PCA que diz respeito aos 33 alunos e as 10 questões do questionário inicial. A Figura 4a apresenta os scores do modelo para o perfil de respostas dos alunos, permitindo uma distinção entre os grupos estudados. A primeira componente principal (PC1), responsável por 21,62% da variabilidade total dos dados, demonstra que os alunos apresentam padrões distintos de conhecimento. A segunda componente principal (PC2), que explica 19,85% da variabilidade, complementa essa análise ao separar os alunos com base em variações menos dominantes, mas ainda relevantes. A Figura 4c exibe a distribuição dos alunos em relação à

terceira componente principal (PC3), que responde por 12,95% da variabilidade, adiciona mais uma dimensão. A distribuição dos alunos nos gráficos de scores sugere uma tendência de agrupamento conforme a afinidade com determinados temas, indicando que alguns estudantes compartilham dificuldades semelhantes em aspectos específicos do conteúdo analisado. Observa-se que essas dificuldades concentram-se principalmente em três eixos: compreensão conceitual de concentração e preparo de soluções, uso de tecnologias digitais no ensino de Química e percepção sobre metodologias de ensino. Esses padrões apontam para a existência de subgrupos na turma, nos quais parte dos estudantes demonstra maior domínio conceitual e familiaridade com o uso de *smartphones* e experimentos práticos, enquanto outros ainda apresentam desafios em integrar teoria, prática e tecnologia no processo de aprendizagem.

A Figura 4b apresenta os *loadings* das questões em relação às componentes principais PC1 e PC2. As questões Q1, Q3, Q7 e Q10 apresentam correlações significativas com a PC1, indicando que esses fatores desempenham um papel importante na principal direção de variabilidade dos dados. Essas questões estão associadas ao conhecimento prévio sobre concentração comum (Q1), ao uso de *smartphones* no aprendizado de Química (Q3), à percepção da tecnologia na dinâmica das atividades práticas (Q7) e à visão inicial sobre imagens digitais na análise química (Q10). Os resultados indicam uma tendência positiva, sugerindo que os alunos reconhecem a importância dessas ferramentas no aprendizado químico.

As questões Q4 e Q5 apresentam cargas mais significativas na PC2, um subespaço ortogonal à PC1. Isso indica que a familiaridade com a preparação de soluções químicas (Q4) e a confiança no cálculo da concentração (Q5) contribuem para uma variação específica no conjunto de dados. Esses resultados mostram que, inicialmente, os alunos se classificavam como pouco familiarizados e pouco confiantes nesses aspectos.

Além disso, as questões Q2 e Q8 também são explicadas principalmente pela PC2. A questão Q2 apresenta uma relação positiva tanto com a PC1 quanto com a PC2, indicando que os alunos concordam que atividades práticas facilitam a compreensão dos conceitos químicos. Já a questão Q8, que avalia a percepção dos alunos sobre a eficácia dos métodos tradicionais de ensino, apresenta valores negativos tanto na PC1 quanto na PC2, o que sugere que as respostas variam entre uma percepção neutra e a classificação dos métodos tradicionais como pouco eficazes.

A questão Q6, que aborda percepção inicial sobre aulas práticas em laboratório, apresenta uma relação moderada tanto com a PC1 quanto com a PC3 (Figura 4d), indicando uma percepção positiva sobre essa abordagem. Já a questão Q9, que investiga a preferência dos alunos quanto ao tipo de aula mais eficaz para o aprendizado de conceitos químicos, demonstra uma variação entre PC1 e PC3, indicando que, enquanto alguns preferem aulas experimentais, outros consideram mais eficaz uma combinação entre aulas teóricas e práticas.



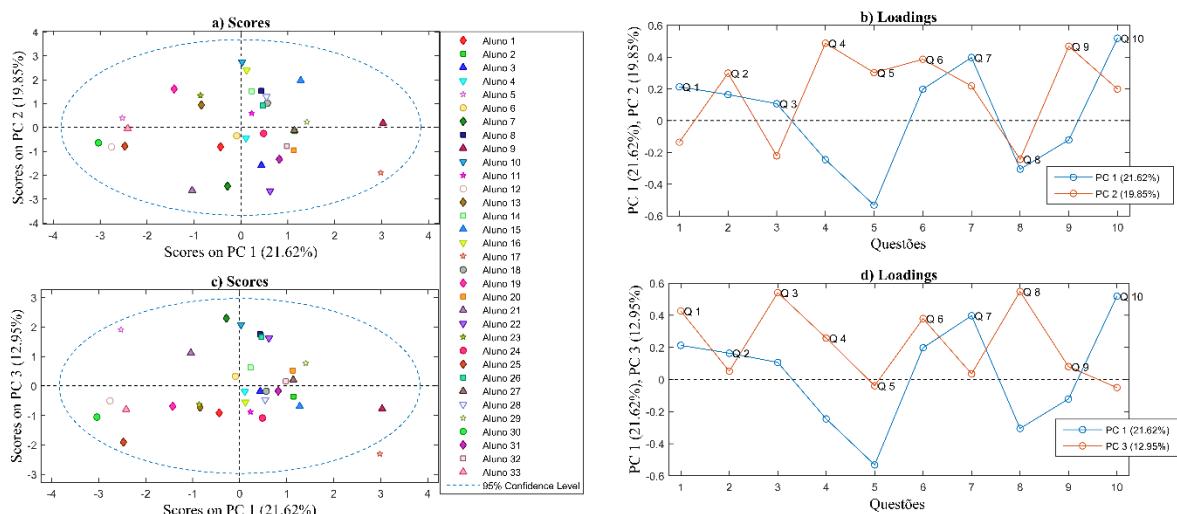


Figura 4: Modelo PCA - Scores e Loadings para o Questionário Inicial

Fonte: Elaboração própria (2025).

Análise dos dados de *scores* e *loadings* para questionário final

A Figura 5 apresenta os *scores* e *loadings* da PCA que diz respeito aos 33 alunos e as 10 questões do questionário Final. A Figura 5a exibe as pontuações do modelo para o perfil de respostas dos alunos, permitindo a identificação de possíveis agrupamentos. A primeira componente principal (PC1), responsável por 24,70% da variabilidade total dos dados, indica o grupo de alunos que apresentam padrões de resposta sobre o uso da tecnologia. O segundo componente principal (PC2), que explica 18,61% da variabilidade, está relacionado às questões sobre concentrações. A terceira componente principal (PC3), representada na Figura 5c, explica 12,48% da variabilidade dos dados e confirma a existência de um padrão relacionado ao tipo de questões respondidas pelos alunos.

Na Figura 5b, são apresentados os *loadings* das questões em relação às componentes principais PC1 e PC2. As questões Q2, Q5, Q6, Q7 e Q8 apresentam correlações significativas com a PC1. Estas questões estão associadas à eficácia do uso de smartphones na determinação da concentração (Q2), à facilidade na compreensão do tema com o uso do aplicativo Photométrix (Q5), à utilidade das imagens digitais para análises químicas (Q6), à efetividade dos métodos digitais e tecnológicos no ensino de Química (Q7), e à satisfação geral com a metodologia usada (Q8), indicando que os estudantes avaliaram essas metodologias como muito eficazes.

As questões Q1, Q3, Q4 e Q10 apresentam correlações significativas com a PC2. Estas questões estão relacionadas à avaliação do entendimento sobre concentração comum após a prática (Q1), à atividade prática e consolidação do conhecimento sobre soluções (Q3), à confiança ao calcular e preparar soluções após a prática (Q4), e à importância da Química no cotidiano e na vida profissional (Q10), indicando que os estudantes se sentem mais confiantes nos cálculos e na preparação de soluções, além de reconhecerem a importância da Química no dia a dia.

A questão Q9, que se relaciona à percepção da relação entre o tema estudado e a atuação profissional futura, mostra uma variação positiva em PC2 e negativa em PC1, indicando que os alunos têm menos interesse na área da Química como profissão.

Na Figura 5d, que são apresentados os *loadings* das questões em relação às componentes principais PC1 e PC3. As questões Q1 e Q4 apresentam correlações significativas com a PC3, confirmando que, após a prática, os estudantes melhoraram o entendimento sobre concentração comum e se sentem mais confiantes na preparação de soluções. Além disso, a Q9 apresenta variação negativa nas duas PCs, confirmando que os alunos não têm muito interesse na área da Química como profissão.

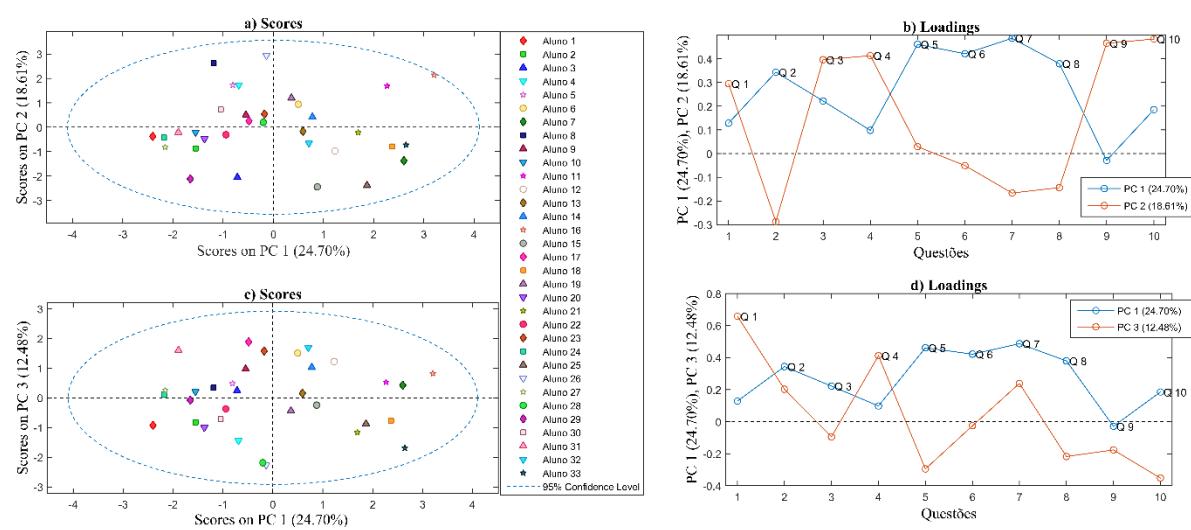


Figura 5: Modelo PCA - Scores e Loadings para o Questionário final

Fonte: Elaboração própria (2025).

ANÁLISE DOS RESULTADOS A PARTIR DA TÉCNICA HCA

A Análise de Agrupamento Hierárquico (HCA) é uma técnica eficiente para a organização e visualização de dados multidimensionais, permitindo identificar padrões de similaridade entre as amostras e agrupá-las de acordo com suas características. Os resultados são apresentados em forma de dendrograma, uma árvore hierárquica que representa graficamente o grau de proximidade entre os objetos analisados. Nesse gráfico, quanto menor o comprimento horizontal dos ramos que unem dois objetos, maior é a semelhança entre eles, enquanto ramos mais longos indicam maior dissimilaridade (FERREIRA, 2015).

A Figura 6 exibe os dendrogramas obtidos para os perfis de resposta dos alunos no questionário inicial (Figura 6a) e no questionário final (Figura 6b). No dendrograma inicial, observa-se uma dispersão mais acentuada entre os grupos, evidenciada pelos ramos mais longos e múltiplos níveis de separação, o que revela heterogeneidade nas percepções e conhecimentos prévios dos participantes. Alguns subgrupos se formam de maneira isolada, indicando diferenças significativas de compreensão sobre o tema antes da intervenção pedagógica.

Em contraste, o dendrograma correspondente ao questionário final apresenta ramos mais curtos e conexões mais próximas entre os elementos, o que demonstra maior coesão nas respostas. Essa redução na distância euclidiana entre os agrupamentos sugere que, após a aplicação da metodologia, os alunos passaram a responder de maneira mais uniforme, compartilhando percepções semelhantes sobre os conceitos de concentração e o uso de tecnologias digitais. O surgimento de um grande agrupamento principal, contendo a maioria dos estudantes, é um forte indicativo da consolidação do aprendizado e da homogeneização do entendimento conceitual promovida pela prática com o aplicativo *PhotoMetrix®*.

Portanto, a análise hierárquica permite concluir que a intervenção pedagógica não apenas favoreceu a aproximação dos padrões de resposta, mas também evidenciou uma evolução coletiva na compreensão dos conteúdos, refletida na maior densidade e compactação dos agrupamentos observados após a prática.

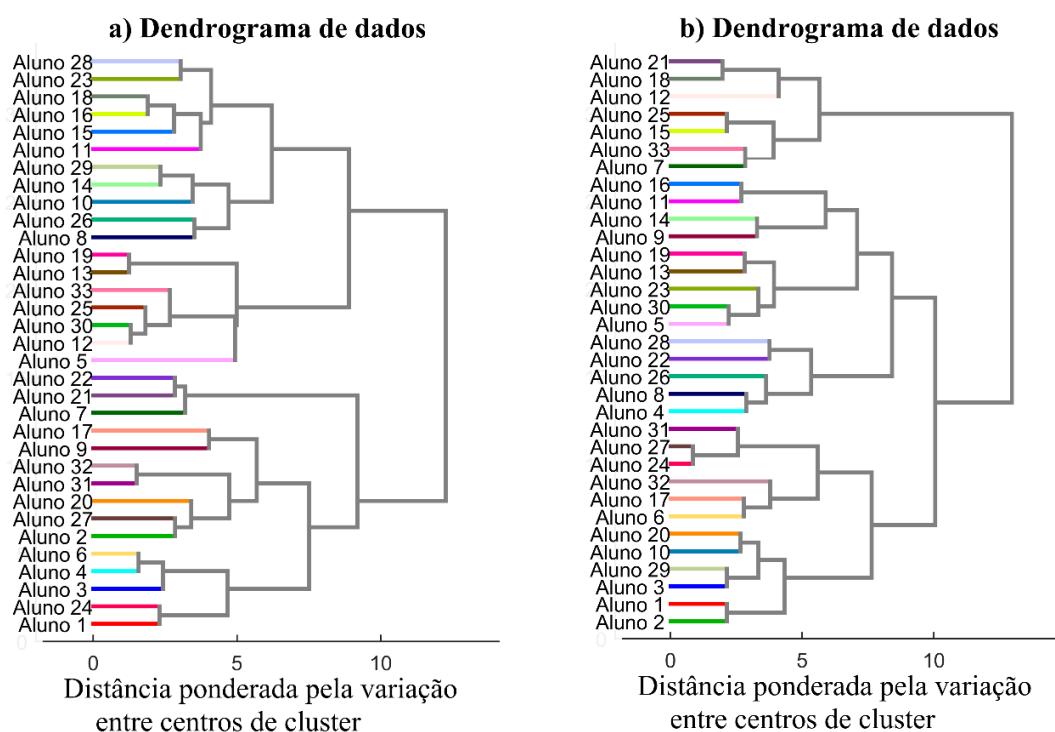


Figura 6: Modelo HCA – Dendrograma para os questionários inicial (a) e final (b)

Fonte: Elaboração própria (2025).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise por meio das ferramentas educométricas, baseadas nas técnicas de PCA e HCA, permitiu identificar padrões distintos nos perfis de resposta dos alunos antes e depois da intervenção metodológica. A PCA revelou mudanças na percepção dos estudantes quanto ao uso de tecnologias digitais no ensino de Química, com aumento da confiança na preparação e no cálculo

de soluções. A HCA evidenciou maior homogeneidade nas respostas no questionário final, indicando maior uniformidade de compreensão após a prática experimental.

Os resultados mostraram que o uso do aplicativo *PhotoMetrix®* associado à experimentação favoreceu uma aprendizagem mais prática e contextualizada. A integração entre coleta e análise de dados contribuiu para uma abordagem pedagógica mais interativa, na qual o aluno assume papel ativo e visualiza o conhecimento de forma concreta. A utilização de técnicas estatísticas como PCA e HCA mostrou-se útil como instrumento de avaliação educométrica, auxiliando o professor na interpretação objetiva da evolução da aprendizagem. Esses aspectos configuraram os principais elementos e estratégias pedagógicas observados, reforçando o potencial das tecnologias acessíveis para o aprimoramento do ensino de Química.

Sob o ponto de vista pedagógico, os achados indicam que o uso de metodologias apoiadas em recursos digitais promove uma mudança na prática docente, incentivando o professor a atuar como mediador do processo de aprendizagem. Essa abordagem contribui para o desenvolvimento profissional docente ao estimular o planejamento de aulas mais investigativas, reflexivas e voltadas à autonomia dos alunos. Em longo prazo, tais práticas podem inspirar políticas educacionais que estimulem o uso consciente das tecnologias digitais no ensino de Ciências.

Ressalta-se, contudo, que o número reduzido de participantes limita as inferências possíveis, sendo necessário ampliar o tamanho amostral e diversificar os contextos escolares em estudos futuros. Assim, os resultados devem ser entendidos como indicativos promissores e não conclusivos. Em síntese, o estudo demonstrou a aplicabilidade e a confiabilidade do uso combinado do *PhotoMetrix®* e das técnicas PCA e HCA como instrumentos de apoio ao ensino de Química, evidenciando seu potencial para tornar as aulas práticas mais dinâmicas e quantitativas, ao mesmo tempo em que promove reflexões sobre o papel do professor e sobre novas possibilidades metodológicas na educação científica contemporânea.

Referências

- ARAÚJO, M. S. Ensino-aprendizagem com tecnologias digitais na formação inicial de professores de inglês. *Trabalhos em Linguística Aplicada*, Campinas, v. 57, n. 3, p. 1590–1614, 2018.
- ARDYANSYAH, A.; RAHAYU, S. Technology-enhanced learning influence on chemical literacy: a systematic review. *Eclética Química Journal*, São Paulo, v. 49, e1534, 2024.
- BARRETO, A. C.; FERREIRA, L. C.; SANTOS, A. L. Realidade aumentada no ensino de química: o uso da tecnologia como metodologia educacional. *Scientia Naturalis*, v. 4, n. 1, p. 174-185, 2022.
- BAUMANN, L.; LIBRELOTTO, M.; PAPPIS, C.; SANTOS, R. B. dos; SANTOS, R. O.; HELFER, G. A.; LOBO, E. A.; COSTA, A. B. Uso do aplicativo PhotoMetrix no monitoramento da concentração de flúor em sistemas alternativos de abastecimento de água. *Águas Subterrâneas*, v. 33, n. 2, p.23-52, 2019.
- BÖCK, F. C.; HELFER, G. A.; DA COSTA, A. B.; DESSUY, M. B.; FERRÃO, M. F. Low-cost method for copper determination in sugarcane spirits using Photometrix UVC® embedded in smartphone. *Food Chemistry*, v.367, 2021.
- ÇELİK, F.; BATURAY, M. H. Technology and innovation in shaping the future of education. *Smart Learning Environments*, v. 11, art. n. 54, 2024.
- CELESTINO SOUZA SANTOS, G.; OLIVEIRA DE ANDRADE, E. A dimensão reflexiva do educador. *SAPIENS – Revista de Divulgação Científica*, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 191–204, 2023.



DUNN, M.; RAMNARAIN, U. The use of mobile technology in abductive inquiry-based teaching and learning of chemical bonding. **Chemistry Education Research and Practice**, Cambridge, v. 25, n. 3, p. 668–682, 2024.

FERREIRA, M. M. C. **Quimiometria: conceitos, métodos e aplicações**. Campinas: Editora da Unicamp, 2015.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. 25. ed. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

GRUNEWALD NICHELE, A.; ZIELINSKI DO CANTO, L. Ensino de Química com Smartphones e Tablets. **RENOTE**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, 2016.

GAUDÊNCIO, J. S. Ensino de Química na era digital: inovações tecnológicas que redefinem a sala de aula. **Revista da FAEEBA – Educação e Contemporaneidade**, Salvador, v. 34, n. 78, p. 168–190, 2025.

HEFLER, G. A.; MAGNUS, V. S.; BÖCK, F. C.; TEICHMANN, A.; FERRÃO, M. F.; COSTA, A. B. PhotoMetrix: An Application for Univariate Calibration and Principal Components Analysis Using Colorimetry on Mobile Devices. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 28, n. 2, p. 328-335, 2017.

JIN, Y.; YU, X.; WANG, L.; LI, J.; ZHANG, X. A smartphone digital image colorimetric method based on nanoparticles for determination of lamotrigine. **Microchemical Journal**, Amsterdam, v. 199, p. 108733, 2024.

JOLLIFE, I. T.; CADIMA, J. Principal component analysis: a review and recent developments. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 374, n. 2065, p. 20150202, 2016.

LIMA, L. S.; SILVANO, A. M. C. O uso do celular como ferramenta pedagógica: uma análise do aplicativo GeoGebra no ensino de matemática. **Revista Cearense de Educação Matemática – RCeEM**, v. 3, n. 7, p. 1–16, 2024.

LOURENÇO, E. C.; DE PAULA, S.; SETTI, G. O.; TOCI, A. T.; DA SILVA, E. M.; PADILHA, J.; BOROSKI, M. Determinação do teor de ferro utilizando o aplicativo PhotoMetrix PRO®: a tecnologia a favor do ensino de Química. **Revista Virtual de Química**, v. 13, n. 1, p. 192-206, 2021.

MARCIAS, C. P.; LIBRELOTTO, M.; BAUMANN, L.; PARCKERT, A. B.; SANTOS, R. O.; TEIXEIRA, I. D.; HELFER, G. A.; LOBO, E. A.; DA COSTA, A. B. Point-of-use determination of fluoride and phosphorus in water through a smartphone using the PhotoMetrix® app. **Brazilian Journal of Analytical Chemistry**, v. 6, n. 25, p. 58-66, 2019.

MENDES, T. F.; SOUZA, D. L. de. Application of principal component analysis method (PCA) for fault detection in chemical plants. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. e957986335, 2020.

MOREIRA, A. C. de O. **Espectroscopia NIR, CG-EM e Quimiometria para o controle de qualidade do Óleo de Copaíba (Copaifera spp.)**. 2018. Tese (Doutorado em Tecnologias Química e Biológica) – Universidade de Brasília, Instituto de Química, Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Química e Biológica, Brasília, 2018.

OLIVEIRA, G. S.; CUNHA, A. M. O.; CORDEIRO, E. M.; SAAD, N. S. Grupo Focal: uma técnica de coleta de dados numa investigação qualitativa? In: **Cadernos da Fucamp, UNIFUCAMP**, v. 19, n. 41, p. 1-13, 2020.

PINHO, J. da S. A.; SEABRA, J. de A.; SILVA, R. V. da; COSENZA, C. A. N. Aplicação da análise de imagem digital como ferramenta no ensino de química analítica / Application of digital image analysis as a tool for teaching analytical chemistry. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 9, p. 89944–89956, 2021.

PIMENTA, S. G. **Saberes pedagógicos e atividade docente**. 8. ed. São Paulo: Cortez, 2012.

RIBEIRO, F. C. P. **Métodos alternativos assistidos por quimiometria no controle de qualidade do óleo lubrificante de motor no ciclo diesel**. 2018. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá, 2018.

RODRIGUES, T. D. F. F.; SARAMAGO DE OLIVEIRA, G.; ALVES DOS SANTOS, J. AS PESQUISAS QUALITATIVAS E QUANTITATIVAS NA EDUCAÇÃO. **Revista Prisma**, v. 2, n. 1, p. 154-174, 2021.

SILVA, T. E. V. da. **Eduometrics: from theory to application**. 2017. 82 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Teleinformática) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

SILVA, L. S.; MESQUITA, S. S. de A. Articulação teoria-prática na formação docente: as estratégias pedagógicas de professores nos cursos de licenciatura em Química. **Revista Interinstitucional Artes de Educar**, Rio de Janeiro, v. 10, p. 73–91, 2024.

SOUZA, D. M.; NASCIMENTO, V. R.; KLEIN, V.; SANTOS, C. V.; BOSS, R. Uso do aplicativo PhotoMetrix® para determinação de fosfato em fertilizantes: um recurso didático para o ensino de Química Analítica. **Revista Redin**, v. 8, n. 1, p. 34-49, 2019.

TARDIF, M. **Saberes docentes e formação profissional**. 17. ed. Petrópolis: Vozes, 2014.

VELOSO, B. G.; SESTITO, C. D. O.; MALHEIRO, C. A. L.; PARESCHI, C. Z.; MILL, D.; ROCHA, K. G. H. da; CHAQUIME, L. P. Educação híbrida e cultura digital: reflexões sobre docência, aprendizagem e tecnologias na contemporaneidade. **Dialogia**, n. 44, p. e24294, 2023.



RESUMO

Esta pesquisa investigou o potencial da educometria para avaliar o impacto do uso de smartphones e imagens digitais no ensino de Química, aplicando o aplicativo PhotoMetrix® como ferramenta de análise experimental. A abordagem quantitativo-qualitativa envolveu a aplicação de questionários antes e depois de uma intervenção pedagógica sobre concentração de soluções, com os dados analisados por meio da Análise de Componentes Principais (PCA) e da Análise Hierárquica de Agrupamentos (HCA). Os resultados revelaram uma melhora significativa na compreensão conceitual dos estudantes e maior uniformidade nas respostas após a atividade experimental, indicando consolidação da aprendizagem. A integração da tecnologia móvel e das ferramentas educométricas mostrou-se eficaz na promoção de uma abordagem de ensino mais interativa e baseada em evidências, reforçando o papel da inovação digital como aliada no desenvolvimento de práticas pedagógicas contemporâneas.

Palavras-chave: Ensino de Química; Educometria; PhotoMetrix®; PCA; HCA.

RESUMEN

Esta investigación investigó el potencial de la educometría para evaluar el impacto del uso de teléfonos inteligentes e imágenes digitales en la enseñanza de Química, aplicando la aplicación PhotoMetrix® como herramienta de análisis experimental. El enfoque cuantitativo-cualitativo implicó la aplicación de cuestionarios antes y después de una intervención pedagógica sobre la concentración de soluciones, con los datos analizados mediante Análisis de Componentes Principales (PCA) y Análisis Jerárquico de Clústeres (HCA). Los resultados revelaron una mejora significativa en la comprensión conceptual de los estudiantes y una mayor uniformidad en las respuestas después de la actividad experimental, lo que indica una consolidación del aprendizaje. La integración de la tecnología móvil y las herramientas educométricas demostró ser eficaz para promover un enfoque de enseñanza más interactivo y basado en evidencias, reforzando el papel de la innovación digital como aliada en el desarrollo de prácticas pedagógicas contemporáneas.

Palabras clave: Enseñanza de la Química; Educometría; PhotoMetrix®; PCA; HCA.