



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS PAULISTANA
CURSO LICENCIATURA EM QUÍMICA**

FRANCIEL DA SILVA COSTA

**APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS EDUCOMÉTRICAS NA AVALIAÇÃO DO USO
DE SMARTPHONES E IMAGENS DIGITAIS EM AULAS DE QUÍMICA PARA O 2º
ANO DO CURSO TÉCNICO EM ADMINISTRAÇÃO DO IFPI - CAMPUS
PAULISTANA**

PAULISTANA

2025

FRANCIEL DA SILVA COSTA

APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS EDUCOMÉTRICAS NA AVALIAÇÃO DO USO DE
SMARTPHONES E IMAGENS DIGITAIS EM AULAS DE QUÍMICA PARA O 2º ANO DO
CURSO TÉCNICO EM ADMINISTRAÇÃO DO IFPI - CAMPUS PAULISTANA

Trabalho de Conclusão de Curso (artigo científico)
apresentado como exigência parcial para obtenção
do diploma do Curso de Licenciatura em Química
do Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Piauí, Campus Paulistana.

Orientadora: Prof. Dr. Tiago Corrêa Menezes.

Coorientador: Prof. Me. Francisco Fernando
Silveira.

PAULISTANA

2025

APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS EDUCOMÉTRICAS NA AVALIAÇÃO DO USO DE SMARTPHONES E IMAGENS DIGITAIS EM AULAS DE QUÍMICA PARA O 2º ANO DO CURSO TÉCNICO EM ADMINISTRAÇÃO DO IFPI - CAMPUS PAULISTANA

Franciel da Silva Costa¹
Tiago Corrêa Menezes²
Francisco Fernando Silveira³

RESUMO

A educometria se destaca como uma ferramenta essencial para a avaliação sistemática do impacto das estratégias pedagógicas no processo de ensino-aprendizagem, por meio de modelos estatísticos avançados. Ao integrar dados quantitativos e qualitativos, essa abordagem possibilita uma compreensão mais abrangente da relação entre as metodologias aplicadas e os resultados obtidos pelos alunos. Nesse contexto, esta pesquisa teve como objetivo avaliar a eficácia do uso de smartphones e imagens digitais na determinação da concentração comum em soluções, utilizando o aplicativo PhotoMetrix® como recurso tecnológico no ensino de Química. O estudo foi realizado com alunos do 2º ano do Curso Técnico em Administração Integrado ao Ensino Médio do IFPI – Campus Paulistana. A metodologia envolveu a aplicação de questionários antes e depois da intervenção pedagógica, a fim de medir a evolução do conhecimento dos estudantes. Os dados coletados foram organizados em matrizes no Excel e analisados por meio de técnicas estatísticas avançadas, utilizando a Análise de Componentes Principais (PCA) e a Análise de Agrupamentos Hierárquicos (HCA) na interface PLS_Toolbox 5.2 para MATLAB®. Os modelos gerados permitiram identificar padrões de aprendizagem, evidenciando que a metodologia aplicada favoreceu uma compreensão mais sólida dos conceitos de concentração comum. A PCA destacou mudanças significativas no conhecimento dos alunos entre os questionários inicial e final, enquanto a HCA revelou agrupamentos que indicam a consolidação do aprendizado. Os resultados demonstram o potencial das ferramentas educométricas na análise de dados e de dispositivos móveis para tornar o ensino de Química mais interativo, dinâmico e eficaz, reforçando a importância da inovação tecnológica no contexto educacional.

Palavras-chave: Ensino de Química; PhotoMetrix®; Educometria; Análise de componentes principais; Análise de Agrupamentos Hierárquicos.

ABSTRACT

Educometry stands out as an essential tool for systematically assessing the impact of pedagogical strategies on the teaching-learning process through advanced statistical models. By

¹ Franciel da Silva Costa, Licenciado em Química, Instituto Federal do Piauí.
capau.2021120lqui0125@aluno.ifpi.edu.br.

² Tiago Corrêa Menezes, orientador, Instituto Federal do Piauí.
tiago.menezes@ifpi.edu.br

³ Francisco Fernando Silveira, Coorientador, Instituto Federal do Piauí.
fernando.silveira@ifpi.edu.br

integrating quantitative and qualitative data, this approach enables a more comprehensive understanding of the relationship between applied methodologies and student outcomes. In this context, this research aimed to evaluate the effectiveness of using smartphones and digital images in determining the common concentration in solutions, employing the PhotoMetrix® app as a technological resource in Chemistry education. The study was conducted with second-year students of the Technical Administration course integrated with High School at IFPI – Campus Paulistana. The methodology involved administering questionnaires before and after the pedagogical intervention to measure students' knowledge progression. The collected data were organized into matrices in Excel and analyzed using advanced statistical techniques, including Principal Component Analysis (PCA) and Hierarchical Cluster Analysis (HCA) in the PLS_Toolbox 5.2 for MATLAB® interface. The generated models allowed the identification of learning patterns, highlighting that the applied methodology facilitated a more solid understanding of common concentration concepts. PCA revealed significant changes in students' knowledge between the initial and final questionnaires, while HCA showed clusters indicating learning consolidation. The results demonstrate the potential of educometric tools in data analysis and mobile devices in making Chemistry education more interactive, dynamic, and effective, reinforcing the importance of technological innovation in the educational context.

Keywords: Chemistry Education; PhotoMetrix®; Educometry; Principal Component Analysis; Hierarchical Cluster Analysis.

Data de apresentação do TCC: 26/02/2025

1 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, 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, 2024).

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, 2016; BARRETO, 2022).

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 como os de Souza et al. (2019), Lourenço et al. (2021), Baumann et al. (2019), Marcias et al. (2019) e Böck et al. (2021) demonstram a eficiência do aplicativo nesse tipo de análise.

Diante da aplicação de determinadas metodologias, 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 trabalho é de grande relevância, pois propõe 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. 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®. Dessa forma, busca-se compreender a relação entre a abordagem didática adotada e o desempenho dos alunos, identificando padrões de aprendizagem e fornecendo subsídios para ajustes pedagógicos que otimizem o processo de ensino e aprendizagem.

2 METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada através de um método quanti-qualitativo, pois, de acordo com Oliveira et al. (2020), a pesquisa qualitativa busca responder a perguntas altamente específicas e particulares, exigindo análises analíticas e descritivas para uma compreensão mais profunda. Por outro lado, conforme destacado por Rodrigues et al. (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 conduzido no laboratório de Química do IFPI – Campus Paulistana, com a participação de estudantes do 2º ano do Curso Técnico em Administração Integrado ao Ensino Médio. A metodologia adotada foi estruturada em seis etapas principais, conforme descrito a seguir.

2.1 APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO INICIAL

Inicialmente, os alunos responderam um questionário impresso composto por 10 perguntas objetivas, com o objetivo de identificar seus conhecimentos prévios sobre o conceito de concentração comum no contexto do ensino de Química e sua familiaridade com o uso de smartphones e aplicativos tecnológicos aplicados à disciplina.

2.2 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.

2.3 PREPARAÇÃO DAS SOLUÇÕES

No laboratório, cada grupo formado previamente em sala foi subdividido em dois. Um dos subgrupos ficou responsável pela preparação da solução de sulfato de cobre, enquanto o outro preparou a solução de suco em pó comercial, aplicando os cálculos necessários para obter as concentrações especificadas, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – 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		
6º	140 g/L		

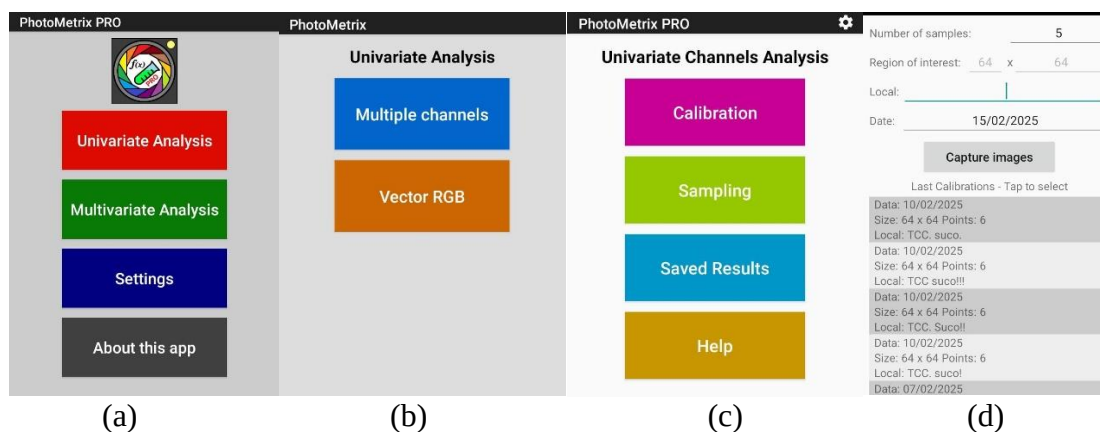
Fonte: autoria própria

2.4 USO DO APLICATIVO PHOTOMETRIX

Após a preparação das soluções, os estudantes instalaram o aplicativo Photometrix em seus smartphones. Em seguida, fotografaram as soluções e realizaram a calibração do aplicativo, utilizando 60% das amostras, nas quais a concentração real foi informada ao sistema. Posteriormente, com as outras 40% das amostras, os alunos capturaram novas imagens sem

fornecer a concentração previamente, permitindo que o aplicativo determinasse o valor real da concentração com base na calibração 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: autoria própria

2.5 APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO FINAL

Após a realização dos experimentos e da análise dos dados com o aplicativo Photometrix, os alunos responderam a um questionário final impresso composto por 10 perguntas objetivas. O objetivo dessa etapa foi avaliar a compreensão dos conceitos de concentração comum, a experiência com o uso do aplicativo e a percepção dos estudantes sobre a eficácia da metodologia empregada.

2.6 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:

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

3 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

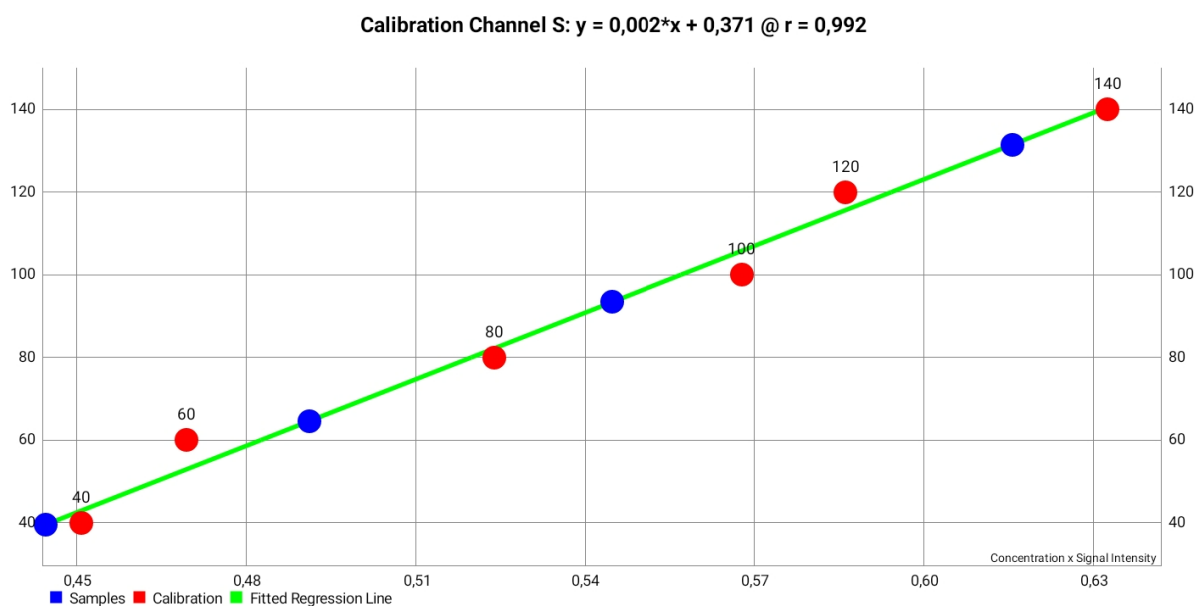
Hierárquicos (HCA), as quais foram desenvolvidas na interface PLS_Toolbox do MATLAB para identificar padrões e avaliar a eficácia da metodologia aplicada.

3.1 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 (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 quão bem o modelo se ajusta aos dados experimentais.

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: autoria própria

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 (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.

3.2 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).

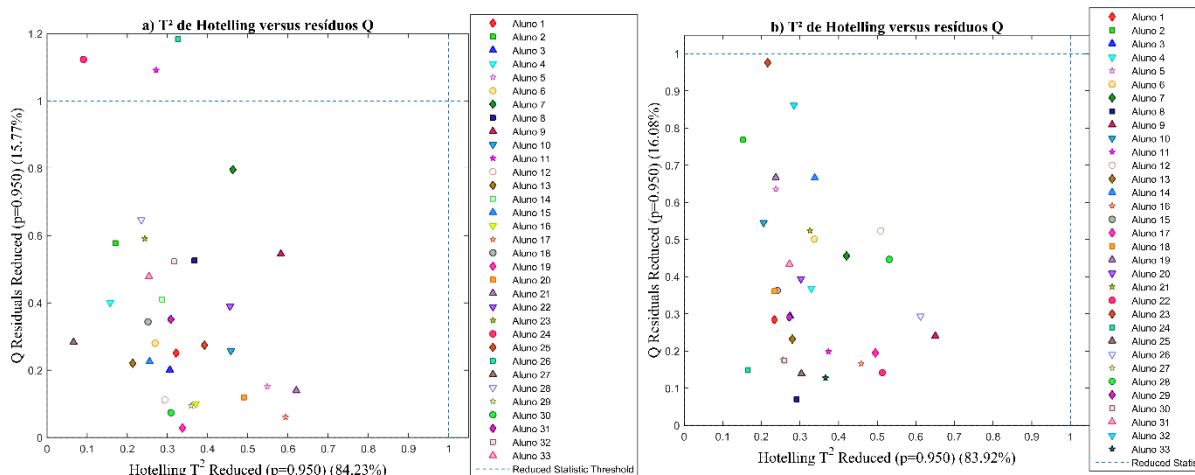
Os *scores* na PCA correspondem às novas coordenadas das amostras nos componentes principais, ou seja, são a projeção dos dados originais em um novo espaço dimensional, facilitando a identificação de padrões, agrupamentos e possíveis *outliers*. Já os *loadings* indicam a contribuição de cada variável 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, 2016).

3.2.1 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 et al., 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 (a), correspondente ao questionário inicial, apenas dois alunos apresentam respostas que se desviam significativamente, ultrapassando a linha azul. No gráfico (b), 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: autoria própria

3.2.2 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.

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.

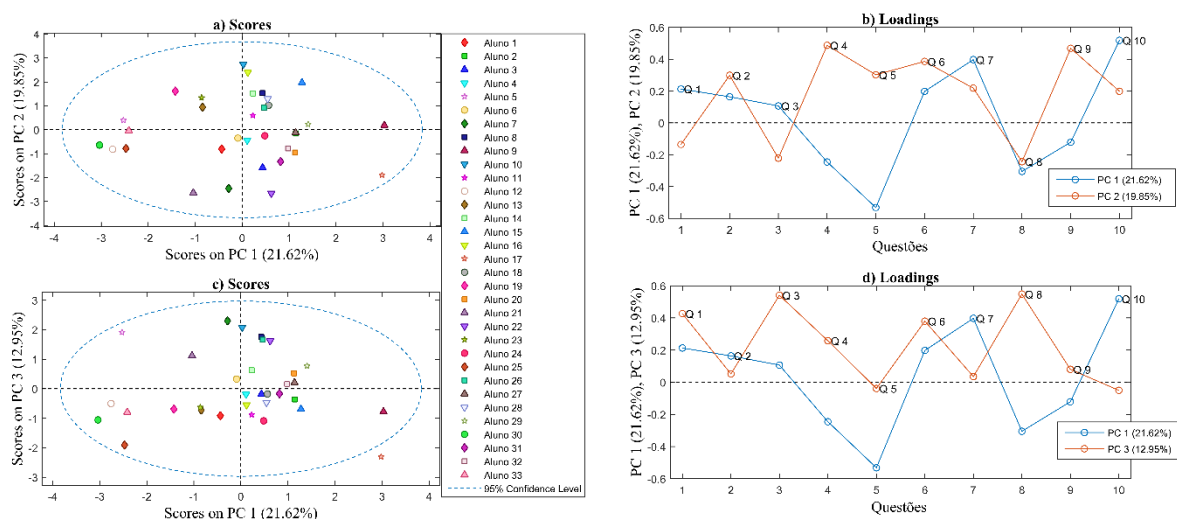
As questões Q4 e Q5 apresentam cargas mais significativas na PC2, um subespaço ortogonal à PC1. Isso indica que a familiaridade com a preparação de soluções químicas (Q4)

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: autoria própria

3.2.3 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

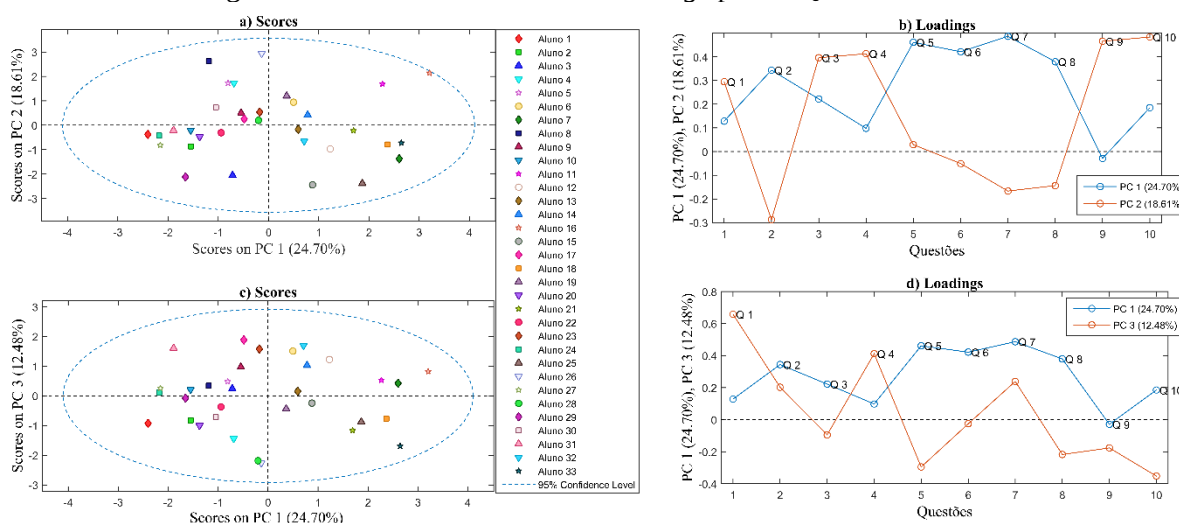
dos métodos digitais e tecnológicos no ensino de Química (Q7), e à satisfação geral com a metodologia usada (Q8), indicando que os estudantes avaliaram essas metodologias como muito eficazes.

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: autoria própria

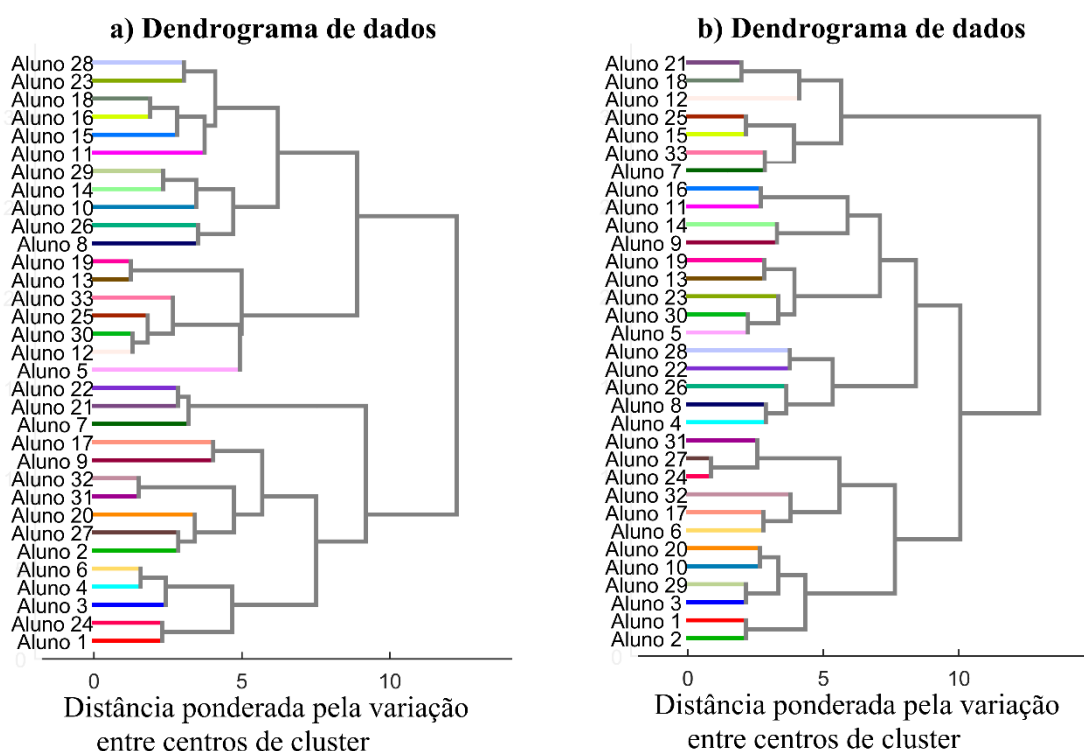
3.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS A PARTIR DA TÉCNICA HCA

A Análise de Agrupamento Hierárquico (HCA) é uma técnica eficiente para a organização de dados multidimensionais, permitindo sua representação gráfica em um esquema bidimensional. Os resultados são apresentados por meio de uma árvore hierárquica, conhecida como dendrograma, que ilustra a estrutura dos dados. Nesse gráfico, o comprimento dos ramos indica o grau de similaridade entre os objetos analisados (FERREIRA, 2015).

A Figura 6 apresenta os dendrogramas gerados a partir da Análise de Agrupamento Hierárquico (HCA) para os perfis de resposta dos alunos no questionário inicial (Figura 6a) e no questionário final (Figura 6b). No questionário inicial, observa-se uma maior dispersão entre os grupos, sugerindo uma heterogeneidade nas percepções e conhecimentos prévios dos alunos. Já no questionário final, há uma maior coesão nos agrupamentos, indicando uma convergência nas respostas. Esse resultado sugere que os alunos passaram a apresentar padrões de resposta

mais similares após a intervenção, o que pode estar associado a um entendimento mais homogêneo sobre o tema abordado.

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



4 CONCLUSÃO

De acordo com a análise realizada por meio das ferramentas quimiométricas aplicadas ao ensino (Educometria), foi possível identificar padrões distintos nos perfis de resposta dos alunos antes e depois da intervenção metodológica. A análise por PCA evidenciou mudanças significativas na percepção dos alunos em relação ao uso de tecnologias digitais no ensino de Química, indicando um aumento na confiança e na compreensão dos conceitos abordados. Além disso, a aplicação da HCA revelou uma maior homogeneidade nos agrupamentos de respostas no questionário final, sugerindo uma consolidação do conhecimento adquirido ao longo do estudo.

A utilização de técnicas quimiométricas como PCA e HCA na avaliação do ensino-aprendizagem demonstrou-se relevante, pois possibilitou uma caracterização detalhada do impacto da metodologia aplicada, permitindo discriminar diferentes padrões de assimilação de conteúdo entre os estudantes. Essas informações fornecem elementos valiosos para a melhoria do ensino de Química, auxiliando na adaptação de estratégias pedagógicas mais eficazes e no desenvolvimento de abordagens inovadoras para a educação científica.

Dessa forma, a pesquisa contribuiu significativamente para a compreensão dos fatores que influenciam o aprendizado da Química, fornecendo uma base sólida para futuras intervenções educacionais e aprimoramentos metodológicos, com vistas à promoção de um ensino mais dinâmico e alinhado às necessidades dos alunos.

REFERÊNCIAS

BARRETO, A. C. et al. Realidade aumentada no ensino de química: o uso da tecnologia como metodologia educacional. *Scientia Naturalis*, Rio Branco, v. 4, n. 1, p. 174-185, 2022. DOI: <https://doi.org/10.29327/269504.4.1-13>. Acesso em: 14 fev. 2025.

BAUMANN, L. et al. Uso do aplicativo PhotoMetrix no monitoramento da concentração de flúor em sistemas alternativos de abastecimento de água. *Águas Subterrâneas*, [S. l.], v. 33, n. 2, 2019. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v33i2.29539> . Acesso em: 13 fev. 2025.

BÖCK, F. C. et al. Low-cost method for copper determination in sugarcane spirits using Photometrix UVC® embedded in smartphone. *Food Chemistry*, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130669>. Acesso em: 14 fev. 2025.

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

GRUNEWALD NICHELE, A. et al. Ensino de Química com Smartphones e Tablets. *RENOTE*, Porto Alegre, v. 14, n. 1, 2016. DOI: 10.22456/1679-1916.67380. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/renote/article/view/67380>. Acesso em: 14 fev. 2025.

HEFLER, G. A. et al. 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. DOI: <https://doi.org/10.5935/0103-5053.20160182>. Acesso em: 14 fev. 2025.

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. DOI: <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>. Acesso em: 23 fev. 2025.

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. Disponível em: <https://www.sbembrasil.org.br>. Acesso em: 13 fev. 2025.

LOURENÇO, E. C. et al. 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. Disponível em: <http://rvq.s bq.org.br>. Acesso em: 14 fev. 2025.

MARCIAS, C. P. et al. 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. DOI: <https://doi.org/10.30744/brjac.2179-3425.TN-25-2019>. Acesso em: 15 fev. 2025.

MENDES, T. F.; SOUZA, D. L. de. Application of principal component analysis method (PCA) for fault detection in chemical plants. *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 9, n. 8, p. e957986335, 2020. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i8.6335>. Acesso em: 17 fev. 2025.

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. et al. Grupo Focal: uma técnica de coleta de dados numa investigação qualitativa? In: *Cadernos da Fucamp*, UNIFUCAMP, v. 19, n. 41, p. 1-13, Monte Carmelo, MG, 2020. Disponível em: <https://revistas.fucamp.edu.br/index.php/cadernos/article/view/2208>. Acesso em: 14 fev. 2025. Acesso em: 15 fev. 2025.

PINHO, J. da S. A. et al. 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*, [S. l.], v. 7, n. 9, p. 89944–89956, 2021. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n9-247>. Acesso em: 14 fev. 2025.

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. Disponível em: <https://unifesspa.edu.br/noticias/3067-aluna-da-unifesspa-apresentara-primeira-defesa-do-mestrado-em-quimica>. Acesso em: 15 fev. 2025.

RODRIGUES, T. D. F. F. et al. As pesquisas qualitativas e quantitativas na educação. *Revista Prisma*, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p. 154-174, 2021. Disponível em: <https://revistaprisma.emnuvens.com.br/prisma/article/view/49/41>. Acesso em: 15 fev. 2025.

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

SOUZA, D. M. et al. 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, 2019. Disponível em: <https://seer.faccat.br/index.php/redin/article/view/1560>. Acesso em: 15 fev. 2025.

VELOSO, B. G. et al. Educação híbrida e cultura digital: reflexões sobre docência, aprendizagem e tecnologias na contemporaneidade. *Dialogia*, [S. l.], n. 44, p. e24294, 2023. Disponível em: <https://periodicos.uninove.br/dialogia/article/view/24294>. Acesso em: 13 fev. 2025.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Questionário Inicial

1. **Você já ouviu falar sobre o conceito de concentração comum em soluções?**
 1. ☐ Sim, definitivamente.
 2. ☐ Sim, em certa medida.
 3. ☐ Não sei dizer.
 4. ☐ Não muito.
 5. ☐ Não, definitivamente não.
2. **Você acredita que atividades práticas facilitam a compreensão de conceitos químicos?**
 1. ☐ Concordo totalmente.
 2. ☐ Concordo.
 3. ☐ Neutro.
 4. ☐ Discordo.
 5. ☐ Discordo totalmente.
3. **Você já utilizou smartphones ou aplicativos para aprender conceitos de Química?**
 1. ☐ Sim, frequentemente.
 2. ☐ Sim, algumas vezes.
 3. ☐ Não sei dizer.
 4. ☐ Não muito.
 5. ☐ Nunca.
4. **Qual é a sua familiaridade com a preparação de soluções químicas?**
 1. ☐ Muito familiarizado.
 2. ☐ Familiarizado.
 3. ☐ Indiferente.
 4. ☐ Pouco familiarizado.
 5. ☐ Nada familiarizado.
5. **Qual a sua confiança ao calcular a concentração de uma solução?**
 1. ☐ Muito confiante.
 2. ☐ Confiante.
 3. ☐ Indiferente.
 4. ☐ Pouco confiante.
 5. ☐ Nada confiante.
6. **Qual é sua percepção inicial sobre aulas práticas em laboratório?**

1. ☐ Muito positiva.
 2. ☐ Positiva.
 3. ☐ Neutra.
 4. ☐ Negativa.
 5. ☐ Muito negativa.
7. **Você acredita que o uso de tecnologias, como smartphones, torna as atividades práticas de Química mais dinâmicas e eficientes?**
1. ☐ Sim, sem dúvida.
 2. ☐ Sim, até certo ponto.
 3. ☐ Não tenho certeza.
 4. ☐ Não muito.
 5. ☐ Não, de jeito nenhum.
8. **Como você avalia os métodos tradicionais de ensino no aprendizado de Química?**
1. ☐ Muito eficazes.
 2. ☐ Eficazes.
 3. ☐ Neutro.
 4. ☐ Pouco eficazes.
 5. ☐ Ineficazes.
9. **Qual tipo de aula você considera mais eficaz para aprender conceitos químicos?**
1. ☐ Aula tradicional em sala de aula.
 2. ☐ Aula experimental.
 3. ☐ Uma combinação de ambas.
 4. ☐ Depende do conteúdo abordado.
 5. ☐ Não tenho opinião formada.
10. **Qual é sua percepção inicial sobre o uso de smartphones e imagens digitais na análise química?**
1. ☐ Muito positiva.
 2. ☐ Positiva.
 3. ☐ Neutra.
 4. ☐ Negativa.
 5. ☐ Muito negativa.

- 1. Após a aula prática, como você avaliaria seu entendimento sobre o conceito de concentração comum?**
 1. ☐ Muito bom.
 2. ☐ Bom.
 3. ☐ Regular.
 4. ☐ Ruim.
 5. ☐ Muito ruim.
- 2. O uso de smartphones para capturar imagens digitais foi eficaz na determinação da concentração das soluções preparadas?**
 1. ☐ Muito eficaz.
 2. ☐ Eficaz.
 3. ☐ Neutro.
 4. ☐ Pouco eficaz.
 5. ☐ Ineficaz.
- 3. A atividade prática contribuiu para consolidar seu conhecimento sobre a preparação de soluções químicas?**
 1. ☐ Sim, definitivamente.
 2. ☐ Sim, em certa medida.
 3. ☐ Não sei dizer.
 4. ☐ Não muito.
 5. ☐ Não, definitivamente não.
- 4. Como você avalia sua confiança ao calcular e preparar soluções após a prática?**
 1. ☐ Muito confiante.
 2. ☐ Confiante.
 3. ☐ Indiferente.
 4. ☐ Pouco confiante.
 5. ☐ Nada confiante.
- 5. O uso do aplicativo Photométrix aliado ao smartphone facilitou a compreensão do tema estudado?**
 1. ☐ Sim, definitivamente.
 2. ☐ Sim, em certa medida.
 3. ☐ Não sei dizer.
 4. ☐ Não muito.
 5. ☐ Não, definitivamente não.

6. Você acha que as imagens digitais capturadas pelos smartphones são úteis para análises químicas?

1. ☐ Concordo totalmente.
2. ☐ Concordo.
3. ☐ Neutro.
4. ☐ Discordo.
5. ☐ Discordo totalmente.

7. Após a prática, como você avalia o uso de métodos digitais e tecnológicos no ensino de Química?

1. ☐ Muito eficazes.
2. ☐ Eficazes.
3. ☐ Neutro.
4. ☐ Pouco eficazes.
5. ☐ Ineficazes.

8. Qual foi sua satisfação geral com a metodologia utilizada (aula prática e uso de smartphones)?

1. ☐ Muito satisfatória.
2. ☐ Satisfatória.
3. ☐ Neutra.
4. ☐ Pouco satisfatória.
5. ☐ Nada satisfatória.

9. Você percebe alguma relação entre o tema estudado e a sua futura atuação profissional?

1. ☐ Sim, definitivamente.
2. ☐ Sim, em certa medida.
3. ☐ Não sei dizer.
4. ☐ Não muito.
5. ☐ Não, definitivamente não.

10. A aula ajudou a melhorar sua percepção sobre a importância da Química no cotidiano e na vida profissional?

1. ☐ Sim, muito.
2. ☐ Sim, em parte.
3. ☐ Neutro.
4. ☐ Não muito.

5. ☐ Não, de forma alguma.