

Aprendizagem Baseada em Problemas Utilizando a Avaliação da Qualidade da Água para o Ensino dos Conceitos de Teoria Ácido-Base e Soluções

Problem Based Learning Using the Water Quality Evaluation to Teach Acid-Base and Solutions Concepts

Ezequiel Luiz da Silva,^a Simone Pereira da Silva Ribeiro,^a Roseli Martins de Souza,^{a,*}  Michelle Jakeline Cunha Rezende^a

^a Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Química, Cidade Universitária, CT, Bloco A, CEP 21941-909, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI)

*E-mail: roselimartins@iq.ufrj.br

Recebido: 28 de Março de 2021

Aceito: 28 de Março de 2021

Publicado online: 24 de Maio de 2021

The results of the National System of Basic Education Assessment (Saeb) in 2017 indicate that high school has contributed little to the cognitive development of Brazilian students. In Chemistry, a way to improve this situation is the application of methods that integrate theoretical concepts to the daily lives of students. This work used the Problem Based Learning method to teach acid-base theory and solutions using the water quality as a contextualizing theme. Based on the chemical concepts inherent to the water disinfection process and the importance of the issue regard to its quality, two chemical parameters of the potability of the water consumed in Colégio Estadual Professor Alfredo Balthazar da Silveira and in areas close to the school were investigated. The parameters were the chlorine content and pH. It was observed that the dynamics of experimental classes, together with the collect of water samples by students in their homes, led to greater engagement by the class, who left the spectator position of their learning, and became protagonist of the process. Regarding the results, all water samples showed pH within the range recommended by the Ministry of Health (MS). From eleven samples tested, two presented chlorine content according to the determination of MS, one of them was the cistern of the school. The other nine points showed chlorine concentration below the detectable limit by the colorimetric method of *o*-tolidine ($<0.5 \text{ mg L}^{-1}$), making it impossible to affirm if the samples are in compliance or not, in relation to the limits established by MS.

Keywords: Water quality; residual chlorine; pH; high school

1. Introdução

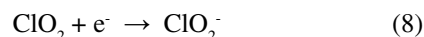
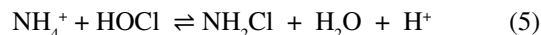
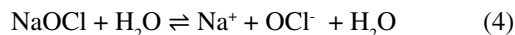
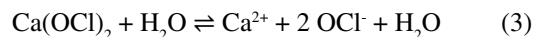
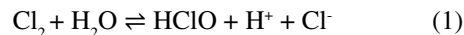
O ensino de química tem sido alvo de constantes reflexões e traz consigo um grande desafio que é tornar essa disciplina atraente e interessante para os alunos. Cada vez mais tem se pensado em um modo de aproximar a realidade do aluno das práticas pedagógicas em sala de aula, de estimular os educandos, auxiliando-os a perceberem, discutirem e buscarem soluções para a realidade social na qual estão inseridos. Com 20 anos de sala de aula, o primeiro autor desse artigo tem verificado que a aprendizagem dos conteúdos relacionados ao pH e à concentração de soluções, tem se mostrado deficiente, seja pelo baixo domínio da matemática, seja pela dificuldade dos estudantes em assimilar termos técnicos inerentes a disciplina. A abordagem do tema “qualidade da água” como meio de contextualização para o ensino desses conteúdos emerge como uma alternativa interessante, visto o protagonismo que o assunto tem alcançado no noticiário nacional. Algumas reportagens publicaram, por exemplo, sobre o desperdício no consumo, a falta de água em algumas localidades e o racionamento em alguns estados brasileiros em virtude do baixo nível dos reservatórios de água.¹ Outras reportagens evidenciaram a contaminação dos recursos hídricos ocasionando a perda da qualidade da água no âmbito da potabilidade. Desde janeiro de 2020, essa questão vem sendo muito discutida especialmente no Rio de Janeiro, pois a qualidade da água vem sendo muito prejudicada devido à presença da geosmina, substância produzida por algas que precisam de condições específicas para se proliferar.² Mais recentemente, reportagens denunciaram a inexistência ou ineficiência de redes de distribuição de água nas comunidades carentes, em plena pandemia de covid-19.³⁻⁴ Do ponto de vista do processo ensino-aprendizagem, a associação desse assunto ao método da Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) pode ser uma ferramenta importante para a construção do conhecimento científico, instigando no aluno a curiosidade e o espírito investigativo. No Brasil ainda existem poucos projetos relacionados ao conceito de Aprendizagem Baseada em Problemas.⁵

1.1. A importância do tratamento da água

Desde a antiguidade, a água tem sido vista como um elemento vital para a sobrevivência da humanidade. As primeiras civilizações emergiram às margens de grandes rios. Na antiga mesopotâmia (cerca de 4000 a. C.), foram feitos os registros das primeiras formas de saneamento e abastecimento de água.⁶ Em 2000 a. C., tubos de cobre já eram utilizados pelos egípcios. Vários desses tubos de cobre foram encontrados no palácio do Faraó Cheóps. O sulfato de alumínio também era utilizado pelos egípcios para clarificar a água, e, por volta de 1500 a. C., eles já utilizavam o processo de decantação. Na Índia, documentos de 2000 a. C. aconselhavam o uso de leitos de areia e cascalho.⁶

A água contaminada é um poderoso veículo de transmissão de doenças, causadas principalmente por bactérias, vírus ou protozoários. No meio hídrico, as bactérias patogênicas são as responsáveis pelo grande número de casos de enterites, diarreia infantil e doenças epidêmicas, resultando em um considerável número de mortes. Os vírus mais encontrados nas águas contaminadas por fezes humanas são os da poliomielite e da hepatite A e B. Dentre os protozoários que podem ser ingeridos através da água destaca-se a *Entamoeba histolytica*, responsável pela amebíase, que causa diarreia, abscessos no fígado e intestino delgado.^{7,8}

A eliminação dos microrganismos nocivos à saúde se dá pela desinfecção da água. O cloro é o agente químico mais usado na desinfecção de águas de abastecimento e residuárias, e pode ser empregado na forma líquida ou gasosa, como gás cloro, hipoclorito de sódio ou hipoclorito de cálcio.⁶ No Brasil, o método mais comum de desinfecção usa o cloro gasoso (Cl_2 (g)).⁹ A dissolução do cloro na água é expressa por uma reação de equilíbrio de fases (Cl_2 (g) \rightleftharpoons Cl_2 (aq)). Quando o cloro é adicionado à água, ocorre a formação de ácido hipocloroso (HClO) (Equação 1), que é um ácido fraco e se dissocia na água gerando íons hidrogênio e hipoclorito (Equação 2). O ácido hipocloroso e o íon hipoclorito são os principais responsáveis pela oxidação da matéria orgânica e a soma de suas concentrações é conhecida como cloro residual livre, que varia com a temperatura e pH da água, atuando na inibição do crescimento bacteriano.¹⁰ Na Equação 3 é mostrada a dissociação do hipoclorito de cálcio em água e na Equação 4 a dissociação do hipoclorito de sódio em água. Quando o cloro é adicionado à água em que amônia e compostos amoniacais estão presentes, são formadas as cloraminas (Equações 5, 6 e 7). O cloro presente sob a forma de cloraminas (NH_2Cl , NHCl_2 e NCl_3) é denominado cloro residual combinado.¹¹ Já o dióxido de cloro (ClO_2), que pode ser obtido a partir da oxidação de clorito (ClO_2^-) em presença de ácido hipocloroso, gás cloro ou ácido clorídrico, por exemplo, é um composto neutro com o átomo de cloro no estado de oxidação +IV. O dióxido de cloro é um desinfetante de ação oxidante rápida e seletiva devido ao seu mecanismo de transferência de somente um elétron, em que é reduzido ao íon clorito (Equação 8).¹²



A água para consumo humano deve ser potável, ou seja, deve atender ao padrão de potabilidade estabelecido pela portaria de consolidação nº 5 do Ministério da Saúde, e não oferecer riscos à saúde.¹³ Uma das referências para a garantia da qualidade da água é a concentração de cloro residual. O tratamento, no caso a desinfecção, é obrigatório assim como a manutenção da concentração mínima de cloro (de 0,2 mg L⁻¹ de cloro residual livre, de 2 mg L⁻¹ de cloro residual combinado ou de 0,2 mg L⁻¹ de dióxido de cloro) em toda a extensão do sistema de distribuição (Portaria MS/GM 2914/2011, Art. 34). O Ministério da Saúde recomenda que o teor máximo de cloro residual livre em qualquer ponto do sistema de abastecimento de água seja de 2 mg L⁻¹ (Portaria MS/GM 2914/2011, Art. 39, § 2º). Nas estações de tratamento de água, é feita a dosagem do teor de cloro residual. Mas, as tubulações de água sofrem excessiva corrosão e, portanto, é normal constatar furos nas linhas de distribuição, o que ocasiona a contaminação da água tratada com águas pluviais e em alguns casos até com água de esgoto.

No estado do Rio de Janeiro, a principal Estação de Tratamento de Água (ETA) é a Estação de Tratamento do Guandu. Atualmente, a ETA Guandu é a maior estação de tratamento do mundo, foi inaugurada em 1955 e produz cerca de 43.000 litros por segundo para atender a uma população de 9 milhões de pessoas em 8 cidades, incluindo o Rio de Janeiro.¹⁴ O processo de tratamento na ETA Guandu é completo, constando de coagulação química, floculação, decantação, filtração, desinfecção e correção de pH. O pH é um parâmetro importante e que deve ser acompanhado para aprimorar o processo de tratamento e preservar as tubulações contra corrosões ou entupimentos, uma vez que as águas ácidas são corrosivas e as águas alcalinas incrustantes. Além disso, o pH tem um papel relevante no processo de cloração, pois vai determinar a predominância da espécie clorada.¹¹ Em pH abaixo de 6, o ácido hipocloroso (HClO) predomina na solução e em pH próximo a 10, o íon hipoclorito (ClO^-) é predominante, abaixo de pH 2 prevalece o Cl_2 .¹¹ Uma acidez elevada pode ser indicativo de contaminação, tornando a água inapropriada para consumo,

daí a importância de se controlar o pH final da água, sendo este também, um indicador de qualidade e potabilidade da mesma.¹⁵ O Ministério da Saúde recomenda que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5 (Portaria MS/GM 2914/2011, Art. 39, § 1º).¹³

1.2. O tema “qualidade da água” no ensino

O tema “água” é muito rico e vem sendo empregado em disciplinas do ensino médio a partir de diversas abordagens.¹⁶⁻²² Com relação especificamente à qualidade, foi realizada a análise da água saneada para a cidade de Montadas, no estado da Paraíba, com a participação de alunos do terceiro ano do ensino médio da Escola Estadual Maria José de Souza, situada na mesma cidade.²³ Parâmetros como cor, turbidez, pH e condutividade elétrica foram medidos através de instrumentos; os demais parâmetros (alcalinidade total, acidez total, acidez residual, dureza total, dureza de cálcio, dureza de magnésio, cloretos e análise bacteriológica) pelo método titulométrico. O trabalho correlacionou a teoria com a prática, focando a importância da experimentação. Os estudantes tomaram conhecimento da qualidade da água que consomem e apresentaram alternativas para melhorar essa questão.²³ Um outro trabalho, utilizando-se do conceito da Aprendizagem Baseada em Problemas, abordou a potabilidade da água como tema gerador envolvendo uma pesquisa bibliográfica e a coleta de água por 22 alunos da segunda série do ensino médio do período matutino de uma escola pública de Rondonópolis, em Mato Grosso.²⁴ As amostras foram coletadas em bebedouros e torneiras localizados em duas escolas estaduais e em uma escola particular da cidade. Os parâmetros analisados foram: cloro livre, pH, ferro, amônia, sólidos suspensos, oxigênio consumido, cloretos, dureza total, alcalinidade, coliformes totais, cor e turbidez. As amostras da escola “A” apresentaram todos os parâmetros dentro dos limites estabelecidos pela Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde. As amostras da escola “B” apresentaram valores fora dos limites para sólidos suspensos em dois dos oito bebedouros analisados. Na escola “C”, foram encontrados valores fora dos padrões especificados para ferro em um bebedouro e para a cor em outro. A partir dos resultados obtidos durante o estudo, pode-se afirmar que a ABP é uma metodologia efetiva para a aprendizagem. Segundo os autores, houve avanços em relação à aquisição de hábitos e atitudes, os alunos aprenderam a planejar cooperativamente as ações, a trabalhar em equipe e a aceitar as diferenças.²⁴ No mesmo ano, utilizou-se dessa temática da água para analisar a água do ribeirão “Vai e Vem” com uma turma de terceira série do ensino médio do Colégio Estadual Normal Professor César Augusto Ceva, situado no município de Ipameri, em Goiás.²⁵ As amostras de água foram coletadas em três pontos distintos, em dois dias, com intervalo de uma semana entre eles. O primeiro ponto de coleta foi antes do curso d’água entrar na cidade, o segundo no centro, e o

último na saída da cidade. As amostras foram levadas ao laboratório da Universidade Federal de Goiás (UFG) para realizar os testes de condutividade elétrica e pH. Os testes de oxigênio dissolvido, turbidez, matéria orgânica e nitrito foram realizados no laboratório da empresa de saneamento de Goiás (SANEAGO). Todos os testes foram feitos pelos alunos. Antes de entrar na cidade, o pH da água do ribeirão foi 7,3. No centro da cidade o pH subiu para 7,9 e mais um discreto aumento foi observado no último ponto de coleta (pH 8,1). O trabalho desenvolvido foi apresentado para as outras turmas de terceiro ano e na mostra interdisciplinar do colégio. Os autores consideraram que o trabalho foi positivo, pois houve um aumento no interesse pela disciplina de Química, em relação às outras turmas.²⁵

O presente trabalho teve como objetivo reforçar os conceitos de acidez e basicidade, pH, indicadores ácido-base e concentração de soluções para uma turma de ensino médio, usando a qualidade da água consumida pelos alunos como tema gerador e o método da Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) como referencial para a condução do projeto. O foco consistiu nos discentes reconhecerem os métodos de determinação de pH e da concentração de cloro na água potável, relacionando-os com os conteúdos ministrados em sala de aula. Com efeito, a participação direta dos alunos na coleta e análise da água pode favorecer a compreensão dos aspectos químicos relevantes para a garantia da potabilidade da água e, ao mesmo tempo, a assimilação dos conteúdos relacionados a esses aspectos químicos, contribuindo assim com o processo de ensino-aprendizagem.

2. Metodologia

O projeto foi realizado em uma turma do segundo ano do ensino médio do Colégio Estadual Professor Alfredo Balthazar da Silveira, situado em Magé, Rio de Janeiro. O projeto envolveu duas aulas teóricas e duas aulas práticas, ministradas de forma alternada, cada uma com dois tempos de 50 minutos. Estas aulas foram voltadas para o reforço dos conceitos de teoria ácido-base e concentração de soluções, que foram apresentados no bimestre anterior. A proposta incluiu a determinação do pH e da concentração de cloro em amostras de água coletadas pelos próprios alunos, tanto na escola como em suas casas.

A primeira aula foi teórica e os conteúdos abordados foram o conceito ácido-base, cálculo de pH e pOH, escala de pH, os principais indicadores ácido-base e as cores desses indicadores em presença de uma solução ácida e de uma solução básica. A segunda aula foi experimental, realizada no laboratório de ciências do colégio, e teve como objetivo colocar em prática os conceitos apresentados na aula anterior. Os 18 alunos da turma foram divididos em grupos de no máximo 4 componentes e os experimentos envolveram a determinação do pH de produtos do cotidiano

(água sanitária, bicarbonato de sódio, adoçante de aspartame e vinagre) usando o extrato aquoso de repolho roxo,²⁶ o azul de bromotimol e o vermelho de fenol como indicadores de pH. Cada grupo registrou seus resultados e após o término da prática, os alunos analisaram os resultados obtidos e elaboraram um relatório. Na terceira aula, expositiva, e na quarta aula, experimental, foram trabalhados os conceitos de soluções, unidades de concentração, incluindo a análise do teor de cloro em amostras de água e a importância do cloro para a desinfecção e garantia da qualidade da água. As seções 2.1 e 2.2 detalham os procedimentos relacionados à quarta aula. O experimento realizado na quarta aula foi repetido, de forma mais objetiva, ao final da aula de Química nas duas semanas seguintes. No âmbito da ABP, o problema apresentado à turma foi “verificar se a água fornecida à comunidade escolar e ao seu entorno atende aos padrões de qualidade especificados pelo Ministério da Saúde”. A culminância do trabalho se deu com a apresentação dos resultados obtidos pela turma na Feira de Ciências e Tecnologia do colégio. O projeto contou com a participação ativa dos alunos.

2.1. Coleta das amostras de água pelos alunos

Dos 18 alunos integrantes da turma, 10 alunos foram selecionados para a coleta das amostras de água. Os critérios adotados para a escolha desses alunos foram: não residirem em uma mesma rua; serem voluntários e que o abastecimento de água em suas casas fosse da CEDAE. Os

endereços das coletas realizadas no município de Magé estão descritos no Quadro 1.

Os alunos receberam treinamento adequado para a amostragem de água em suas respectivas casas. Um protocolo foi criado, visando uma padronização desta execução por todos os participantes (Quadro 2). As coletas foram realizadas por três semanas consecutivas, no dia da aula de Química e momentos antes de ir para o colégio. Os alunos entregavam as amostras ao professor assim que chegavam ao colégio, e as mesmas eram mantidas sob refrigeração até o horário da aula de Química, no último tempo escolar.

2.2. Análise das amostras de água

As medidas de teor de cloro e de pH nas amostras de água coletadas foram executadas no laboratório do colégio, na presença de todos os alunos da turma, propiciando aos mesmos, um maior contato e interação com as amostras, análises e resultados. Para determinar o pH e o teor de cloro das amostras de água foi utilizado o estojo de teste Netuno, que contém uma solução aquosa de vermelho de fenol 0,03% e uma solução aquosa de cloridrato de *o*-tolidina 0,05% em meio ácido. O estojo foi adquirido em uma loja que vende produtos para piscina e vem acompanhado também de duas cubetas para colocação da amostra e dos respectivos reagentes. As medições de teor de cloro e pH foram realizadas simultaneamente. Adicionou-se à cubeta do lado esquerdo do aparelho medidor, a amostra de água até a marca de 5,0 mL

Quadro 1. Endereços dos locais das coletas de água

Amostra	Endereço de coleta
1	Rua Japonês - Centro
2	Rua Sergipe - Centro
3	Rua Municipal - Centro
4	Rua Quinze - Maurimácia
5	Rua Norte - Horácio
6	Rua Dona Corina - Vila Carvalho
7	Rua São Paulo - Horácio
8	Rua Um - Japonês
9	Cozinha do C.E. Professor Alfredo Balthazar da Silveira
10	Cisterna do C.E. Professor Alfredo Balthazar da Silveira
11	Bebedouro do C.E. Professor Alfredo Balthazar da Silveira

Quadro 2. Procedimento para amostragem da água nas residências

1. Lavar as mãos com sabão antes de fazer a coleta.
2. Escolher um ponto da casa em que a água venha direto da rua, sem passar por caixa d'água.
3. Coletar sempre no mesmo ponto.
4. Abrir a torneira e deixar correr a água por 3 minutos antes de fazer a coleta.
5. A coleta deve ser realizada no momento de ir para o colégio.
6. Ao chegar ao colégio entregar as amostras imediatamente ao professor, para acondicioná-las em geladeira, a fim de evitar perda significativa de cloro.

e 4 gotas da solução 0,05% de *o*-tolidina. Para medir o pH, encheu-se a outra abertura (lado direito) do medidor com 5,0 mL da amostra de água e 4 gotas da solução de vermelho de fenol 0,03%. Agitou-se e comparou-se com as escalas colorimétricas do kit (Figura 1). Os resultados foram anotados pelos alunos. O kit tem uma faixa de medição de teor de cloro que vai de 0,5 a 5,0 mg L⁻¹, e a faixa de pH vai de 6,8 até 8,2. Em se tratando de medição em água de uso doméstico, as duas faixas atendem. A determinação de pH também foi realizada com o medidor de pH modelo PH-009(I)A. Todas as leituras de pH foram realizadas a 25 °C, medida por um termômetro digital marca Led Aquario.

3. Resultados e Discussão

Os conceitos envolvidos na teoria ácido-base, no cálculo de pH e de concentração das soluções são considerados de difícil assimilação pelo corpo discente, assim como vários outros conceitos da Química, dada a sua abstração. A abordagem desses conteúdos utilizando o método da ABP e a potabilidade da água como tema gerador pode minimizar essas dificuldades, além de contemplar a nova formatação do ensino básico apresentada pela Base Nacional Comum

Curricular (BNCC).²⁷ O trabalho foi realizado com um kit colorimétrico comercial para determinação do teor de cloro com *o*-tolidina e de pH com vermelho de fenol. O kit apresenta valor acessível e pode ser facilmente adquirido por qualquer professor que tenha interesse em realizar o projeto com seus alunos.

3.1. Determinação do pH das amostras de água

O vermelho de fenol foi o indicador de pH escolhido para a análise devido ao ponto de viragem ser próximo ao pH neutro. O vermelho de fenol tem viragem de 6,8 a 8,4, onde em pH ácido a cor predominante é o amarelo e conforme o pH aumenta, a solução passa a apresentar uma coloração laranja até chegar ao vermelho em pH acima de 8,4.²⁸ A Figura 2 mostra o equilíbrio ácido-base do vermelho de fenol. O pH também foi determinado através de um medidor de pH digital, que foi considerado como um método de referência, visto que o aparelho foi calibrado com duas soluções tampão (pH 4 e pH 7) antes da realização das leituras e entre cada medida.

As coletas de água foram realizadas por três semanas consecutivas nas residências dos alunos voluntários. Os alunos receberam o treinamento adequado e os recipientes



Figura 1. Leitura do teor de cloro e pH com as soluções de *o*-tolidina e vermelho de fenol, respectivamente

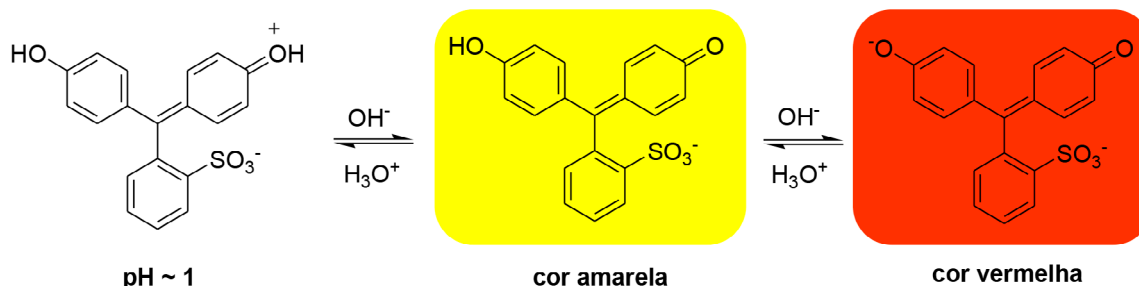


Figura 2. Equilíbrio ácido-base do vermelho de fenol. Adaptação da referência 29

para a coleta apropriada das amostras de água. A Tabela 1 mostra os resultados da determinação do pH nas amostras de água na primeira, segunda e terceira semanas. A portaria de consolidação nº 5 do Ministério da Saúde estabelece um valor de pH entre 6,0 e 9,5 na água distribuída para consumo humano.¹³ Todas as amostras estão dentro do padrão preconizado pelo Ministério da Saúde, com exceção das amostras coletadas nos pontos 1, 4 e 7 na primeira semana. Ao analisar os dados obtidos para a segunda coleta, observou-se um aumento do pH pelo aparelho digital em relação às medidas feitas na primeira coleta. Uma hipótese é que esse parâmetro tenha sido ajustado na ETA para garantir que o pH esteja na faixa estabelecida pelo Ministério da Saúde.

Além disso, na segunda coleta, os valores de pH apontados pelo medidor de pH digital se aproximaram mais dos valores obtidos a partir do comparador colorimétrico. Este fato pode ser explicado pelo aprimoramento na visualização da cor da solução e sua comparação com a escala colorimétrica do kit. Repetidas leituras devem, com o tempo, melhorar a qualidade da medida. Em relação aos valores de pH no terceiro dia, percebe-se que o aumento do pH medido pelo aparelho continuou persistindo, como

observado na segunda amostragem. Para metade das amostras, verificou-se um ligeiro aumento do pH pela medição realizada através do medidor de pH digital. O kit colorimétrico utilizado nesse trabalho permite a leitura de pH com o uso do indicador vermelho de fenol na faixa de pH de 6,8 a 8,2. A sutil diferença de cor entre uma unidade de pH pode induzir a um erro de exatidão. Isto explicaria a diferença entre o valor de pH determinado pela solução do indicador vermelho de fenol e pelo medidor de pH digital.

A partir dos resultados obtidos, a razão entre o valor de pH determinado pela solução do indicador e pelo medidor de pH digital foi calculada. Quanto mais próxima de 1 (um) for a razão das medidas pelos dois métodos, mais exata é a leitura feita com o vermelho de fenol. Na Tabela 2 está apresentada a razão entre os valores de pH das amostras coletadas.

Com essa estratégia, pode-se indicar que a leitura de pH a partir do indicador vermelho de fenol mostrou-se satisfatória nos três dias de coleta, pois a razão pH com vermelho de fenol/pH com aparelho se mostrou próximo de 1 para todas as amostras. O vermelho de fenol é, portanto, um indicador adequado para determinação de pH em águas de distribuição para consumo humano.

Tabela 1. Resultados das medidas de pH

Amostra	pH com aparelho digital			pH com indicador vermelho de fenol		
	1ª semana	2ª semana	3ª semana	1ª semana	2ª semana	3ª semana
1	5,6	7,1	7,3	6,8	6,8	6,8
2	6,2	7,0	7,4	6,8	6,8	6,8
3	6,3	7,2	7,6	6,8	7,6	7,6
4	5,2	7,0	7,0	<6,8	<6,8	<6,8
5	6,0	7,3	7,3	6,8	6,8	6,8
6	6,0	7,4	7,4	6,8	6,8	6,8
7	5,4	7,0	7,1	6,8	6,8	6,8
8	6,2	7,2	7,2	6,8	6,8	6,8
9	7,3	7,3	7,4	6,8	6,8	7,6
10	7,4	7,4	7,8	7,4	7,6	7,6
11	7,3	7,3	7,6	6,8	6,8	6,8

Tabela 2. Resultados da razão entre os valores de pH medido pelos dois métodos

Amostra	Razão (pH com indicador) / (pH com aparelho)		
	1ª semana	2ª semana	3ª semana
1	1,2	0,9	0,9
2	1,1	0,9	0,9
3	1,1	1,1	1,0
4	1,1	0,8	0,8
5	1,1	0,9	0,9
6	1,1	0,9	0,9
7	1,2	0,9	0,9
8	1,1	0,9	0,9
9	0,9	0,9	1,0
10	1,0	1,0	0,9
11	0,9	0,9	0,9

Os resultados de pH (Tabelas 1 e 2) indicaram que todas as amostras estavam dentro dos limites permitidos para consumo, ou seja, da faixa de pH 6,0 a 9,0, conforme preconizado pelo Ministério da Saúde.¹³ Somente três amostras apresentaram valor um pouco abaixo de 6,0 na primeira semana, mas nas semanas seguintes os valores de pH apresentaram-se dentro da faixa adequada. Esses resultados são muito próximos aos valores de pH obtidos da análise da água da caixa d'água, de um bebedouro e de torneiras localizadas na cozinha e nos banheiros de uma escola municipal em Timbé do Sul, Santa Catarina, usando um potenciômetro, cujos valores foram entre 6,5 e 7,5.³⁰ Em um outro trabalho avaliou-se diversos parâmetros da água destinada ao consumo em 31 escolas de ensino fundamental e creches municipais da cidade de São Carlos (SP).³¹ A coleta foi realizada por duas vezes em cada unidade e das amostras coletadas diretamente da rede, 19% apresentaram pH inferior a 6,0.³¹ Em Mossoró (RN), foi analisada a qualidade da água dos bebedouros de cinco escolas públicas utilizando um kit colorimétrico e um pHmetro como referência.¹⁵ Os autores sugerem que o uso do kit colorimétrico pode se constituir uma alternativa rápida e preliminar, e que pode apontar a necessidade de uma avaliação mais criteriosa dependendo do resultado obtido.¹⁵

3.2. Determinação do teor de cloro nas amostras de água

A determinação do teor de cloro pelo método da *o*-tolidina, reagente que compõe o kit colorimétrico, em aulas experimentais de química tem como atrativo o fato

do kit apresentar baixo custo e fácil aquisição. A reação envolve a rápida oxidação da *o*-tolidina pelo cloro em meio ácido, formando a imino-quinona correspondente (Figura 3).

Inicialmente, uma solução de hipoclorito comercial foi diluída em diferentes concentrações. A concentração de cloro das soluções padrão foi determinada com o kit colorimétrico como um meio de testar sua eficiência. Depois desse teste, os alunos realizaram a análise das amostras de água coletadas. A Tabela 3 apresenta os resultados das medidas do teor de cloro. O método da *o*-tolidina apresenta limite de detecção de 0,5 mg L⁻¹. Quando se observou a tonalidade mais clara do que a cor esperada para essa concentração, o resultado expresso na tabela foi < 0,5 mg L⁻¹. Os resultados do primeiro dia de amostragem mostram que a concentração de cloro residual na água foi inferior a 0,5 mg L⁻¹ para a maioria das amostras. Pela portaria de consolidação n° 5 do Ministério da Saúde, a água quando submetida ao tratamento de desinfecção, deve ter a concentração mínima de cloro residual livre de 0,2 mg L⁻¹, e o teor máximo em qualquer ponto do sistema de abastecimento de 2,0 mg L⁻¹. Logo, para essas amostras não se pode assegurar que o teor de cloro está, ou não, dentro do limite estabelecido pelo Ministério da Saúde, uma vez que a faixa de 0,2 a 0,5 mg L⁻¹ não é detectável pelo método da *o*-tolidina. Do ponto de vista do ensino, esse resultado mostrou a importância do estudo de concentração em soluções.

O ponto 10 apresentou concentração de cloro de 1 mg L⁻¹. Este ponto corresponde à cisterna do colégio, de onde a água é posteriormente transferida para a caixa d'água por intermédio de uma bomba. Com isso, pode-se afirmar

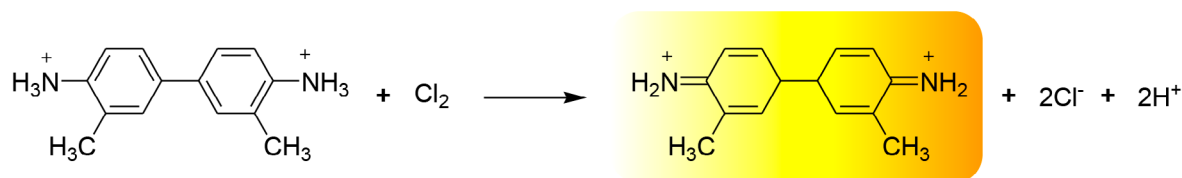


Figura 3. Oxidação da *o*-tolidina a imino-quinona em presença de cloro. Adaptação da referência 32

Tabela 3. Resultados das medidas do teor de cloro

Amostra	Teor de Cl ₂ (mg L ⁻¹)		
	1ª semana	2ª semana	3ª semana
1	< 0,5	< 0,5	< 0,5
2	< 0,5	< 0,5	< 0,5
3	< 0,5	< 0,5	< 0,5
4	< 0,5	< 0,5	< 0,5
5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
6	0,5	0,5	0,5
7	< 0,5	< 0,5	< 0,5
8	< 0,5	< 0,5	< 0,5
9	< 0,5	< 0,5	< 0,5
10	1,0	1,0	2,0
11	< 0,5	< 0,5	< 0,5

que a água tratada pela CEDAE chega à escola com o teor de cloro em conformidade com a portaria de consolidação nº 5. O ponto 11 é o bebedouro do colégio e apresentou concentração de cloro inferior a $0,5 \text{ mg L}^{-1}$. Este resultado estaria dentro do esperado, pois, segundo o infectologista Caio Rosenthal e a química especializada em filtros Kátia Nakau, “os purificadores e filtros não tratam a água, esses aparelhos melhoram a qualidade da água ao reduzir o cloro e reter partículas e micro-organismos”.³³ Um outro trabalho, também usando kit colorimétrico para análise da água de bebedouros de escolas públicas de Mossoró, encontrou 93% das amostras com teor de cloro inferior a $0,5 \text{ mg L}^{-1}$. Os autores também atribuíram esse resultado à presença de filtro nos bebedouros, que remove o cloro da água.¹⁵

Analisando os dados obtidos para a segunda coleta, observa-se que a concentração de cloro residual livre se manteve igual em relação à primeira amostragem. No terceiro dia, observa-se que a concentração de cloro se manteve em relação às obtidas na primeira e segunda amostragens, com exceção do ponto 10, que aumentou de 1 mg L^{-1} (primeira e segunda amostragens) para 2 mg L^{-1} .

A presença mínima de $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ de cloro residual livre na água assegura a qualidade bacteriológica.³⁴ É importante ressaltar que se a caixa d'água não estiver limpa, a água pode não mais apresentar os parâmetros de potabilidade ao acessar a tubulação interna da residência. Uma caixa d'água suja pode diminuir a concentração de cloro residual e pode ser foco de contaminação. No Quadro 3 são apresentadas as recomendações da CEDAE para manter a qualidade da água.

3.3. Avaliação do processo de ensino-aprendizagem

Durante a Feira de Ciências e Tecnologia, os alunos da turma apresentaram dois cartazes produzidos por eles. Com um dos cartazes, uma parte da turma apresentou a definição de ácido e base de Arrhenius e como se relaciona a acidez e a basicidade com a escala de pH, que foram temas abordados na primeira aula do projeto. Com o outro cartaz, os alunos explicaram a escala de pH e deram exemplos de substâncias ácidas e básicas do cotidiano. Este grupo ainda expôs a importância do cloro para a desinfecção e garantia da qualidade da água, bem como a relevância da determinação do pH e do teor de cloro para a avaliação da potabilidade da água, que foram temas tratados na terceira aula do projeto.

Outro grupo de alunos ficou responsável pela medição, ao vivo, do pH de amostras de vinagre, refrigerante, hipoclorito de sódio e bicarbonato de sódio (comprimido efervescente solubilizado em água), conforme foi apresentado a eles na segunda aula do projeto. O pH foi medido com o medidor de pH e usando os indicadores vermelho de fenol e extrato aquoso de repolho roxo. Além disso, os alunos determinaram o teor de cloro de amostras de água coletadas na própria escola, durante o evento, usando a solução de *o*-tolidina do estojo comercial. O ponto de coleta das amostras analisadas foi o bebedouro do colégio, onde já fora constatado anteriormente que a concentração de cloro ficou abaixo de $0,5 \text{ mg L}^{-1}$. O procedimento foi realizado em duas etapas: primeiro os alunos analisavam a amostra de água do bebedouro. Depois, adicionavam 10 mL da água do bebedouro em um béquer de 100 mL contendo 10 mL de solução padrão de cloro a 2 mg L^{-1} previamente preparada. A solução resultante era então analisada, apresentando um valor próximo a 1 mg L^{-1} . Desta forma, os alunos e a comunidade escolar puderam constatar que o método empregado era eficaz.

A cada grupo de visitantes que chegava ao *stand*, todo o processo era repetido, ou seja, tanto a explicação dos cartazes quanto a experimentação. Vale destacar que os alunos utilizaram luvas durante os experimentos, a fim de evitar o contato dos reagentes com a pele.

A desenvoltura dos alunos, observada durante o evento, mostrou que eles dominavam os conceitos de acidez e basicidade e da escala de pH, já que foram capazes de explicar tais conceitos aos outros alunos do colégio e aos professores. Além disso, eles conseguiram demonstrar quais substâncias tinham pH ácido e quais tinham pH básico e transmitiram habilmente os conceitos relacionados ao teor de cloro na água e a sua desinfecção. Os alunos mostraram grande motivação e entusiasmo durante a feira.

O fato dos alunos terem coletado as amostras de água e terem manuseado o kit na Feira de Ciências e Tecnologia os colocaram na posição de protagonistas, e a associação do assunto ao método da Aprendizagem Baseada em Problemas favoreceu o processo de ensino-aprendizagem. Assim, as atividades desenvolvidas durante o projeto e o evento se mostraram eficazes para o processo de ensino-aprendizagem, pois permitiram que os alunos conseguissem transmitir os novos conhecimentos, e demonstrar habilidades que em uma avaliação tradicional em sala de aula não poderiam ser notadas.

Quadro 3. Recomendações da CEDAE para manutenção da qualidade da água³⁵

1. Limpar as caixas d'água e cisternas a cada seis meses;
2. Não misturar água de poço ou de qualquer outra fonte com a água da CEDAE;
3. Não utilizar nenhum produto químico na água da CEDAE;
4. Elevar um pouco a borda da entrada de acesso da cisterna de modo a evitar entrada de água contaminada ou qualquer outro líquido, por exemplo, de lavagem de piso, e mantê-la fechada para maior proteção;
5. As caixas d'água superiores também devem ser equipadas com tampas.
6. Não aceitar ligações clandestinas de água. Elas são fontes de contaminação. Solicitar à CEDAE a ligação de água.

4. Conclusão

O projeto proporcionou uma nova dinâmica em sala de aula, onde os conceitos de acidez e basicidade, pH, soluções e concentração foram apresentados dentro do contexto da Aprendizagem Baseada em Problemas, utilizando a qualidade da água como tema contextualizador. As duas aulas teóricas e as duas aulas práticas, ministradas de forma alternada, em conjunto com as coletas e análises de água, levaram ao maior engajamento dos alunos, que saíram da posição de meros espectadores da sua aprendizagem, e tornaram-se protagonistas desse processo. Através da Feira de Ciências e Tecnologia da escola, os alunos puderam explicar e demonstrar os conhecimentos abordados durante o projeto. Essa atividade mostrou que uma prática pedagógica, que torna os alunos atores ativos do processo de ensino-aprendizagem, neste caso a Aprendizagem Baseada em Problemas, tem a tendência de ser mais efetiva no que se refere à construção conceitual.

Em relação aos resultados das coletas, nove pontos de coleta apresentaram concentração de cloro abaixo do limite detectável ($<0,5 \text{ mg L}^{-1}$), não sendo possível concluir se a água chega nessas residências com o teor mínimo de cloro residual livre requerido ($0,2 \text{ mg L}^{-1}$). Dois pontos apresentaram conformidade em relação a concentração de cloro, com $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ e $2,0 \text{ mg L}^{-1}$. Um desses pontos é a cisterna do C.E. Professor Alfredo Balthazar da Silveira. Todas as amostras apresentaram pH dentro do limite estabelecido pelo Ministério da Saúde.

A utilização de um kit comercial para o monitoramento do pH e do teor de cloro residual na água consumida pelos próprios estudantes mostrou-se satisfatória para aplicação didática. Além disso, favoreceu a assimilação da importância da concentração do cloro para a garantia da potabilidade da água.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI) e à Direção do Colégio Estadual Professor Alfredo Balthazar da Silveira. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Referências Bibliográficas

1. Brito, D.; A água no Brasil: da abundância à escassez. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2018-10/agua-no-brasil-da-abundancia-escassez>>. Acesso em: 1 abril 2021.
2. Jannuzzi, F.; Testes revelam que quantidade de geosmina na água da Cedaie aumentou em fevereiro. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2020/02/08/testes-revelam-que-quantidade-de-geosmina-na-agua-da-cedaie-aumentou-em-fevereiro.ghtml>>. Acesso em: 1 abril 2021.
3. Casazza, I. F.; O acesso à água e os excluídos da prevenção à Covid-19. Disponível em: <<http://coc.fiocruz.br/index.php/pt/todas-as-noticias/1789-o-acesso-a-agua-e-os-excluidos-da-prevencao-a-covid-19.html#.XIEGwtQrLDc>>. Acesso em: 1 abril 2021.
4. Ferreira, L.; ‘Somos excluídos’: prevenção ao corona ‘esquece’ favelas sem saneamento, Disponível em: <<https://noticias.uol.com.br/saude/ultimas-noticias/redacao/2020/03/17/somos-excluidos-prevencao-ao-corona-esquece-favelas-sem-saneamento.htm>>. Acesso em: 1 abril 2021.
5. Lopes, R. M.; Silva Filho, M. V. S.; Alves N. G.; *Aprendizagem baseada em problemas: fundamentos para a aplicação no ensino médio e na formação de professores*, 1a. ed., Publki: Rio de Janeiro, 2019. [Link]
6. Alves, C.; Tratamento de águas de abastecimento, 3a. ed., Publindústria: Portugal, 2010.
7. Almeida, A. A.; Leite, T. S. A.; Entamoeba histolytica como causa da amebíase. *Revista Saúde e Meio Ambiente* **2020**, *10*, 133. [Link]
8. Vieira, P. B.; Brandelli, C. L. C.; Veríssimo, C. M.; Tasca, T.; Mecanismos específicos de patogenicidade de protozoários de mucosa: Entamoeba histolytica, Giardia lamblia e Trichomonas Vaginalis. *Revista HCPA* **2012**, *32*, 58. [Link]
9. Daniel, L. A.; Métodos Alternativos de Desinfecção da Água: Processos de Desinfecção e Desinfetantes Alternativos na Produção de Água Potável. 1a. ed., Rima artes e texto: São Carlos, 2001. [Link]
10. Soares, S. S.; Arruda, P. N.; Lóbon, G. S.; Scalize, P. S.; Avaliação de métodos para determinação de cloro residual livre em águas de abastecimento público. *Revista Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas* **2016**, *37*, 119. [CrossRef]
11. Meyer, S. T.; O Uso de Cloro na Desinfecção de Águas, a Formação de Trihalometanos e os Riscos Potenciais à Saúde Pública. *Caderno de Saúde Pública* **1994**, *10*, 99. [CrossRef]
12. Lapolli, F. R.; Hassemer, M. E. N.; Camargo, J. G.; Damásio, D. L.; Lobo-Recio, M. Á.; Desinfecção de efluentes sanitários através de dióxido de cloro. *Engenharia Sanitária e Ambiental* **2005**, *10*, 200. [CrossRef]
13. Sítio do Ministério da Saúde. Portaria de consolidação MS nº 5, de 28 de setembro de 2017. Anexo XX. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html#ANEXOXX>. Acesso em: 01 abril 2021.
14. Sítio da Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE). Disponível em: <https://www.cedae.com.br/portals/0/livreto_guandu.pdf>. Acesso em: 01 abril 2021.
15. Queiroz, A. M.; Pinheiro, C. G. M. E.; Souza, L. B.; Silva, J. B. A.; Qualidade da água de bebedouros em escolas públicas de Mossoró. *Revista Biociências* **2017**, *23*, 46. [Link]
16. Bacci, D. C.; Patata, E. M.; Educação para a água. *Estudos Avançados* **2008**, *22*, 211. [Link]
17. Torralbo, D.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade de São Paulo, 2009. [Link]
18. Zuin, V. G.; Ioriatti, M. C. S.; Matheus, C. E.; O Emprego de Parâmetros Físicos e Químicos para a Avaliação da Qualidade de Águas Naturais: Uma Proposta para a Educação Química e Ambiental na Perspectiva CTSA. *Química Nova na Escola* **2009**, *31*, 3. [Link]

19. Duarte, M. S. B.; Mendonça, A. M. G. D.; Pereira, D. L.; Ramos, A. M. C.; Mendonça, J. J.; *Resumos do 1º Encontro Nacional de Educação, Ciência e Tecnologia*, Campina Grande, Brasil, 2012. [Link]
20. Anacleto, R. G.; Bilotta, P.; Uma Abordagem Interdisciplinar sobre Qualidade da Água como Estratégia para o Ensino de Ciências. *Revista Virtual de Química* **2015**, *7*, 2622. [CrossRef]
21. Kakisako, M.; Nishikawa, K.; Nakano, M.; Harada, K. S.; Tatsuoka, T.; Koga, N.; Stepwise Inquiry into Hard Water in a High School Chemistry Laboratory. *Journal of Chemical Education* **2016**, *93*, 1923. [CrossRef]
22. Kaiser, A.; Stark, W. J.; Grass, R. N.; Rapid production of a porous cellulose acetate membrane for water filtration using readily available chemicals. *Journal of Chemical Education* **2017**, *94*, 483. [CrossRef]
23. Figueirêdo, G. J. A.; Nóbrega, P. B. S.; Silva, A. S.; *Resumos do Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación*, Buenos Aires, Argentina, 2014. [Link]
24. Martins, V. J.; Ozaki, S. K.; Rinaldi, C.; Prado, E. W.; A aprendizagem baseada em projetos (ABPr) na construção de conceitos químicos na potabilidade da água. *Revista Prática Docente* **2016**, *1*, 79. [Link]
25. Pedroso, A. C.; Silva J. C.; Costa, M. S.; *Anais do 4º Ciclo de Debates e Palestras em Química – CIDEQUI*, Urutaí, Brasil, 2016.
26. GEPEC - Grupo de Pesquisa em Educação Química. Estudando o equilíbrio ácido-base. *Química nova na escola* **1995**, *1*, 32. [Link]
27. Sítio da Base Nacional Comum Curricular. Disponível em: <<http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>>. Acesso em: 1 abril 2021.
28. Jeffery, G. H.; Bassett, J.; Mendham, J.; Denney, R. C.; *Vogel's Textbook of Quantitative Chemical Analysis*, 5th. ed., Longman Scientific & Technical: England, 1989.
29. Thomas, O.; Brogat, M.; Em *UV-Visible Spectrophotometry of Water and Wastewater*; Thomas, O.; Burgess, C., eds.; Elsevier Science, 2017, cap. 3. [CrossRef]
30. Pezente, A. W.; *Trabalho de Conclusão de Curso*, Universidade do Extremo Sul Catarinense, 2009. [Link]
31. Scuracchio, P. A.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Estadual Paulista, 2010. [Link]
32. Salami, F. H.; Bonifácio, V. G.; Fatibello-Filho, O. F.; Marcolino-Jr, L. H.; Determinação espectrofotométrica em fluxo de cloro em água usando célula de longo caminho óptico e multicomutação. *Química Nova* **2009**, *32*, 112. [CrossRef]
33. Sítio do G1. Disponível em: <<http://g1.globo.com/bemestar/noticia/2012/12/filtros-purificadores-e-caixas-dagua-devem-ser-limpos-com-frequencia.html>>. Acesso em: 01 abril 2021.
34. Teixeira, I. S. C.; Peresi, J. T. M.; Silva, S. I. L.; Ribeiro, A. K.; Graciano, R. A. S.; Povinelli, R. F.; Santos, C. C. M.; Solução alternativa coletiva de abastecimento de água (SAC): avaliação da qualidade bacteriológica e da cloração. *Rev Inst Adolfo Lutz* **2012**, *71*, 514. [Link]
35. Sítio da Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE). Disponível em: <<https://www.cedae.com.br/mantendoqualidade>>. Acesso em: 1 abril 2021.