

## Proposta e Aplicação de um Experimento Investigativo para a Construção de Curvas de Titulação com Extrato de Repolho Roxo

### *Proposal and Application for an Investigative Experiment for Construction of Titration Curves with Purple Cabbage Extract*

Fabio Augusto do Amaral,<sup>a,\*</sup> Rafael Martins Mendes,<sup>a,b</sup> Camille Nunes Leite,<sup>a</sup> Ana Gabriela Tomé Alves,<sup>c</sup> Ricardo Francisco Brocenschi,<sup>a</sup> Sheila Cristina Canobre<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Química, Campus Santa Mônica, Rua João Naves de Ávila 2121, bloco 1D, CEP 38408-100, Uberlândia-MG, Brasil.

<sup>b</sup> Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-graduação da Faculdade de Educação, Campus Santa Mônica, Rua João Naves de Ávila 2121, bloco 1G, CEP 38408-100, Uberlândia-MG, Brasil.

<sup>c</sup> Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Ciências Agrárias, Campus Santa Mônica, Rua João Naves de Ávila 2121, bloco 1H, CEP 38408-100, Uberlândia-MG, Brasil.

\*E-mail: [fabioamaral@ufu.br](mailto:fabioamaral@ufu.br)

Recebido em: 21 de Outubro de 2021

Aceito em: 11 de Fevereiro de 2022

Publicado online: 7 de Julho de 2022

The proposal presents the discussion and application of an investigative experiment for the construction of acid-base titration curves from the variation of the visual appearance of the colors when using red cabbage extract as an indicator. The research was carried out with undergraduate students, involving the problematization of the steps, raising hypotheses and, at the end, a dialogued conversation between students and professors, stimulating thinking in a scientific way, developing observation and reflection skills. Based on observations of the titrator's color variations at each titrant increment and by comparison with a standard color scale, that the effects of the dilutions of both can be evaluated in the different profiles of the titration curves. In this investigation, we understand that the color variations established by the different anthocyanin structures are crucial for a better understanding of the observed profiles of the titration curves, correlating the limiting and excess reagents with each point of the analyzed curve. This methodological proposal of investigative experimentation, with active student participation, contributed to improve the learning of undergraduate students, regarding the construction of titration curves involving acids and bases of different concentrations from the visualization of the colors of the red cabbage extract.

**Keywords:** Chemistry education; investigative experiment; titration curves; red cabbage extract.

### 1. Introdução

O presente trabalho parte da discussão de uma proposta experimental de cunho investigativo e a sua aplicação com estudantes do Ensino Superior, de uma titulação ácido-base, que tem como principal finalidade a identificação das quantidades de matéria de uma substância ácida ou básica em distintos momentos da reação. Por meio das curvas de titulação propostas, de aspecto visual, buscamos que o estudante consiga estabelecer e assim, compreender o significado do ponto de equivalência numa reação ácido-base, além de acompanhar o perfil, do início ao fim, de como a reação se processa, desde a zona em que há titulado em excesso quanto a que há titulante em excesso. A operação prática da titulação e seus cálculos geralmente é compreendida pelos estudantes, porém o entendimento destes sobre como as mudanças de concentração das espécies envolvidas afetam ou deslocam as curvas não demonstram clareza.

Numa breve introdução sobre o tema, temos que a Volumetria, Análise Volumétrica, Titulação, Titulometria ou Titrimetria são nomes diferentes que designam uma mesma metodologia. Neste caso, uma solução de concentração ou quantidade de matéria desconhecida (titulado) é combinada, lenta e cuidadosamente, com uma solução de concentração exatamente conhecida e padronizada (titulante), até que ocorra a variação da cor do indicador usado, ou seja, as quantidades de matéria do titulado e do titulante estão equivalentes.<sup>1</sup> Neste sentido, a análise volumétrica corresponde a todo procedimento no qual se mede o volume de um reagente (titulante) usado para reagir com um analito (titulado) cuja concentração é desconhecida. O reagente padrão (titulante), por sua vez, é adicionado ao analito até que a sua quantidade de matéria seja completamente consumida na reação.

Um dos principais requisitos para a ocorrência adequada de uma titulação é que a reação entre titulado e titulante proceda rápida e irreversivelmente, de tal forma que a cada adição do titulante, o analito (titulado) seja capaz de consumi-lo rápido e completamente até o final, gerando uma curva de titulação que reflete o comportamento na escala logarítmica da concentração do analito antes e após o ponto de equivalência da reação em questão.<sup>2</sup> Dentre as titulações mais comuns, temos

aquelas que se baseiam nas reações ácido-base, oxidação-redução, complexação e precipitação.<sup>3</sup>

Na titulação ácido-base é necessário usar um indicador adequado para cada zona de viragem, que seja capaz de atuar de forma eficiente em meios ácidos ou básicos, cujas diferentes espécies, quando protonadas, apresentem colorações distintas em momentos específicos do processo.<sup>2</sup> O indicador ideal, é aquele “cuja faixa de viragem se sobrepõe ao intervalo onde se verifica a região de maior inflexão em uma curva de titulação” (p. 234).<sup>2</sup>

O indicador ácido-base é uma substância que apresenta uma variação de cor dentro de uma região determinada de pH, conhecida como zona de viragem ou zona de transição. O ponto final da titulação, que não coincide necessariamente com o ponto de equivalência, apresenta uma diferença entre estes dois pontos que constitui o erro da titulação. Esse erro será tanto menor quanto mais próximo for o ponto final ao ponto de equivalência. A proximidade entre o ponto final e o ponto de equivalência depende do indicador utilizado. Por esta razão é de grande importância para precisão do método titulométrico a escolha conveniente do indicador por meio das curvas de titulação.

Com relação aos indicadores empregados nas titulações ácido-base podemos classificá-los em artificiais ou naturais. Os naturais, que são de nosso interesse, referem-se àqueles extraídos de frutos, flores, casca de árvore.<sup>4</sup> A literatura tem identificado o emprego dos diversos extratos com vistas a determinação da variação pH nas soluções. Alguns autores já utilizaram o extrato de repolho roxo<sup>5</sup>; extrato da beterraba<sup>6,7</sup> e extrato de açaí<sup>8</sup> como indicadores ácido-base. Ademais, outros investigadores empregaram misturas de variados extratos naturais.<sup>4,9</sup>

Nesse caminho, compostos que fazem parte da classe dos flavonóides são responsáveis pela produção das cores dos produtos naturais.<sup>10</sup> Os flavonóis e as antocianidinas são as classes mais importantes dos flavonóides, sendo que os pigmentos ocorrem na forma de antocianinas derivados das antocianidinas.

Assim, o emprego da volumetria envolvendo reações ácido-base já foi alvo de pesquisas. Alguns investigadores utilizaram extratos brutos de flores para análise quantitativa de conceitos da volumetria, visando despertar o interesse nos discentes dos cursos de química geral.<sup>11</sup> Com o intuito de superar a fragmentação do conhecimento no processo de ensino-aprendizagem utilizou-se a volumetria de ácido-base articulada aos conceitos matemáticos.<sup>12</sup> Já para compreender o contexto histórico dos usos da volumetria aplicou-se a titulação ácido-base em seus estudos<sup>13</sup>; em outro trabalho utilizou-se o ácido acetilsalicílico e o bicarbonato de sódio manipulados para a padronização de reagentes.<sup>14</sup> Demais autores discutiram a viabilidade de se utilizar materiais alternativos, no lugar de vidrarias, demonstrando por meio da titulação ácido-base a padronização de uma substância ácida.<sup>15</sup>

Há trabalhos em que se identificaram as antocianinas em extratos de plantas, por cromatografia e titulação

ácido-base<sup>16</sup>; e relatos em que utilizou-se a prática da volumetria com vistas a um ensino interdisciplinar entre os professores do ensino médio.<sup>17</sup> Já com o intuito de verificar a aplicabilidade do extrato de amêndoas de cacau como indicador realizou-se a comparação entre a titulação potenciométrica e a ácido-base.<sup>18</sup> Também foi possível determinar a alcalinidade dos extratos das cinzas por sua análise volumétrica<sup>19</sup> e a acidez da manteiga artesanal por meio da titulação ácido-base.<sup>20</sup>

Estes trabalhos supracitados demonstraram a importância da experimentação como parte integrante do processo de ensino-aprendizagem, uma vez que, estas atividades ao mediar as demais práticas docentes em sala de aula possibilitam aos estudantes a sensibilização sobre o mundo de forma científica, melhorando seu aprendizado ao estimular suas habilidades de observação e reflexão.<sup>21</sup> Neste sentido, a relação teoria-prática permite aos estudantes associarem com maior facilidade o aprendizado com o seu cotidiano de forma que esse processo investigativo resulte na produção de sentidos e no aprofundamento do conhecimento teórico dos envolvidos nas práticas laboratoriais.

Em nenhum destes casos o foco foi o acompanhamento sistemático e, conseqüente descrição qualitativa, em relação à mudança de cor do titulado devido à presença do indicador, para a construção da curva de titulação ácido-base. Portanto, nesta pesquisa faremos o uso do extrato de repolho roxo (*Brassicaoleracea var. capitata*), considerado um indicador natural de baixo custo amplamente empregado em processos laboratoriais, com a intencionalidade de se observar as alterações momentâneas das cores em função da variação do pH, por meio da construção da curva de titulação de diversas concentrações de pares ácido-base. Isto é, pretendemos construir curvas de titulação, por meio das mudanças de cores, baseado nos efeitos das variações das concentrações de titulado e titulante, com foco no aspecto visual.

Neste sentido, com o intuito de propor práticas futuras aos profissionais de ensino de Ciências/Química e áreas correlatas do nível Superior perante o estabelecimento do perfil das curvas de titulação ácido-base, nesta proposta, defendemos a realização do experimento com caráter investigativo. Para tanto, aplicamos a proposta para uma turma no Ensino Superior em uma sequência de 3 etapas: problematização antes de cada etapa do experimento; proposição de hipóteses (pela turma) durante a realização de cada etapa da investigação a respeito da construção de curvas para as titulações ácido-base contendo concentrações diferentes; e a realização de um diálogo entre estudantes e professor para compreender a construção do conhecimento após a prática realizada. Após a experimentação investigativa, como forma de validação experimental, empregamos o método potenciométrico para um dos pares ácido-base, a partir dos dados coletados por um grupo de estudantes. Dessa maneira, o tópico a seguir apresenta, com maiores detalhes, as etapas realizadas para a construção e aplicação da proposta investigativa.

## 2. Caminho Metodológico

Esta pesquisa foi realizada durante uma disciplina ofertada no sétimo período em um curso de Licenciatura em Química. As pessoas da pesquisa que compuseram a investigação foram o professor e 7 estudantes, sendo 3 mulheres e 4 homens. A dinâmica da disciplina foi estruturada a partir da realização de aulas teóricas e práticas, sendo que já no segundo encontro o professor planejou o experimento como etapa inicial de apresentação do conteúdo de eletroquímica bem como para recordar conceitos de titulação ácido-base com os estudantes. No desenvolvimento das etapas do experimento investigativo, a participação tanto do professor quanto dos estudantes é fundamental, e assim identificamos suas narrativas escritas em maiúsculo e itálico para o (*PROFESSOR*) e maiúsculo, itálico e com um traço seguido por numeração de 1 a 7 (*ESTUDANTE-X*) para indicar as falas estudiantis.

Nesse caminho, o ensino por investigação apresenta três pressupostos básicos para a sua realização:<sup>22</sup>

(...) o primeiro diz respeito aos alunos sentirem-se interessados em participar da investigação e, para tanto, sugere-se iniciar a atividade com uma ou mais questões que sejam do interesse dos alunos. O segundo pressuposto se refere aos aprendizes terem oportunidades de elaborar hipóteses para explicar o fenômeno que está sendo estudado. O terceiro é relativo à troca de ideias entre os alunos e o professor, por meio do diálogo, tendo o professor o papel de orientador. (p. 48, 2013)<sup>22</sup>

Dessa maneira, promover atividades investigativas requer compreender que esse tipo de prática é diferente da tradicional, em que a atuação do professor deixa de ser a de transmitir informações e que os estudantes começam a participar ativamente do processo de ensino-aprendizagem. O professor ao organizar esta atividade busca apresentar uma situação problema de seu interesse para o aluno e orientar as discussões em prol da resolução do problema. Em complemento a essa autora, outros investigadores relatam que uma pesquisa dessa forma, de caráter qualitativo, apresenta os movimentos de cada pessoa dentro da investigação destacando suas dificuldades ou mesmo facilidades, sentimentos e descobertas.<sup>23,24</sup> E assim as interações discursivas entre aqueles presentes na prática deflagram como acontece a organização do conhecimento no processo investigativo.

Nesse caminho, a etapa inicial do processo investigativo deu-se com a problematização\* do experimento, e para tanto

sugerimos alguns questionamentos iniciais que poderiam compor cada problematização nas etapas realizadas:

- A) Como preparar uma escala de acidez/basicidade a partir do extrato de repolho roxo?
- B) Como construir uma curva de titulação, a partir da titulação de um ácido e de uma base em diferentes concentrações?
- C) Como validar o uso do extrato de repolho roxo como indicador ácido-base, mediante a titulação potenciométrica, a partir da curva de ácido-base obtida?

Esses questionamentos nortearam tanto a construção da proposta do experimento investigativo quanto a sua aplicação. No item “Resultados e Discussão” serão apresentados trechos que ilustram essa iniciativa dialógica entre professor e estudantes.

Na sequência, o professor destacou com os estudantes a necessidade de elaborar hipóteses durante a realização do experimento. Essas hipóteses foram apresentadas ao professor em cada etapa investigativa. Por fim, uma discussão em grupo foi realizada para avaliar se os objetivos da aula experimental investigativa foram alcançados.

A metodologia de ensino foi organizada pelos autores do trabalho, no qual algumas etapas do experimento foram realizadas em conjunto com os estudantes, sendo elas: a preparação das soluções; a construção da escala padrão de pH utilizando o extrato do repolho roxo; a produção das curvas “coloridas” de titulação e a validação potenciométrica. Como a turma era pequena o manuseio do aparato da titulação ficou a cargo do professor. Um pequeno grupo dos estudantes foram responsáveis por anotarem as variações do pH do titulado conforme o volume de titulante adicionado (mediante a variação de concentração de titulante e titulado estipulados no item 2.3.1), enquanto que outro grupo realizou o monitoramento da mesma titulação pela comparação entre o padrão de cores e a variação de cores observadas durante a titulação. Contou-se também com a participação de um estagiário para tirar fotos das cores da solução titulada a cada adição de titulante. Esperamos que este protótipo poderá auxiliar outros profissionais das áreas de ensino de Ciências/Química e cursos correlatos, a nível do Ensino Superior, para o desenvolvimento de suas aulas e a elucidação do fenômeno da titulação por meio das respectivas curvas que ilustram esse processo, em função da mudança de cor.

Reconhecida a sua relevância para a área, o presente estudo poderá contribuir para o entendimento da essencialidade do papel da curva de titulação nas análises volumétricas sendo uma ferramenta utilizada para explicar de forma sucinta o comportamento e as variações da curva quando realizadas combinações entre ácidos e bases contendo graus de ionização distintos. Dessa forma, o

\*Sobre o termo “problematização” Freire e Faundez, em seu livro *Pedagogia da Pergunta* (1985) compreendem que problematizar, dentro de um universo investigativo, é construir conhecimento por meio do diálogo fazendo com que a pessoa se torne autônoma e livre. Assim, problematizar implica perguntar como ato de existência humana, o que neste caso requer ao/à estudante ser protagonista das ações que orientam a aula.

intuito é discutir o processo de preparação das soluções empregando o extrato de repolho roxo, e assim construir uma curva de titulação, baseado na variação das cores, resultante da mudança do pH em função da adição do titulante ao titulado, no intervalo de 1-13, das soluções produzidas a cada adição do titulado. Recomenda-se que os estudantes utilizem papel milimetrado para a construção das curvas de titulação ácido-base em função da modificação das cores, por comparação com a escala padrão de pH. Para tanto, a produção dos gráficos que serão apresentados contou com etapas descritas a seguir.

### 2.1. Etapa 1: Preparação do extrato de repolho roxo como indicador de acidez/basicidade

Inicialmente, cinco folhas de repolho roxo foram picadas em pequenos pedaços e colocadas dentro de um recipiente. Em seguida, água filtrada foi acrescentada até ocupar o dobro do volume de repolho roxo picado. O recipiente foi aquecido promovendo a fervura até que o volume total fosse reduzido à metade do volume inicial. Esta solução foi resfriada e coada em um filtro de papel comum. O extrato do repolho roxo foi armazenado em geladeira até 30 minutos antes da realização dos experimentos, e pode ser utilizada por um período máximo de 2 dias.

### 2.2. Etapa 2: Preparação das escalas de acidez/basicidade com extrato do repolho roxo

Para tanto foram empregados os seguintes reagentes/materiais: a solução do extrato de repolho roxo; solução de ácido clorídrico (HCl)  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ , (pH 1); solução de hidróxido de sódio (NaOH)  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  (pH 13); 13 tubos de ensaio e 2 pipetas de 10,00 mL. Na sequência, os tubos foram numerados de 1 a 13. Para a construção da escala ácida; ao tubo de número 1, foi adicionado 2 mL de solução  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  de HCl e 20 gotas de extrato de repolho. Ao tubo número 2, foi realizada uma diluição da solução do tubo 1 numa proporção 1:10 com água (1 parte da solução do tubo 1 para 9 partes de água) e a partir desta diluição, foram transferidos 2 mL da solução do tubo 2 e 20 gotas

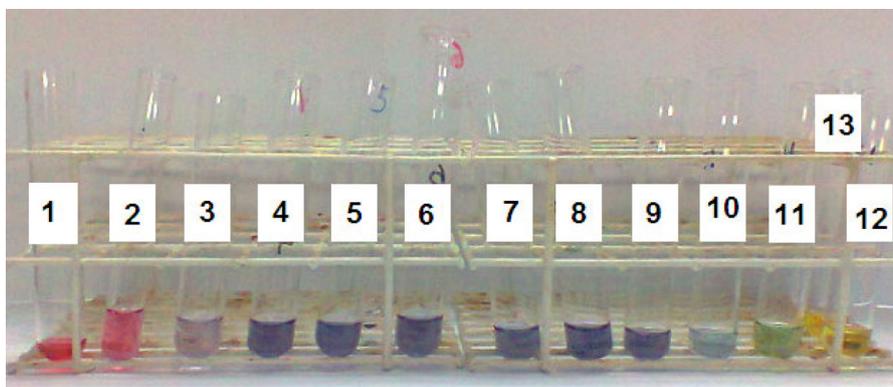
de extrato de repolho roxo. As soluções dos tubos 3, 4, 5 e 6 foram preparadas a partir das diluições das soluções anteriores, conforme o procedimento realizado no tubo número 2, mantendo-se a proporção de 1 para 10.

Por sua vez, para a construção da escala básica, a solução do tubo de número 13 foi preparada adicionando-se 2 mL de solução NaOH  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  e 20 gotas de extrato de repolho roxo. Ao tubo 12 foi realizada uma diluição da solução do tubo 13 numa proporção 1:10 com água e a partir desta, foram transferidos 2 mL da solução do tubo 13 e 20 gotas de extrato de repolho roxo. Já as soluções dos tubos 11, 10, 9 e 8 foram preparadas a partir das diluições das soluções dos tubos com número imediatamente superior. Para a escala de pH neutro (pH 7), ao tubo 7 foram adicionados 2 mL de água destilada e 20 gotas do extrato de repolho roxo.

Em resumo, os estudantes organizaram a disposição dos tubos em ordem numérica crescente e assim, os estabeleceram como escala padrão de cores para a construção das curvas de titulação que estão esquematizadas na Figura 1. Neste momento, o **questionamento (A)** foi solucionado com os estudantes participando ativamente do processo de construção da escala de cores com o extrato de repolho roxo.

### 2.3. Etapa 3: Construção das curvas de titulação em função das cores das soluções

A escala de cores do extrato de repolho roxo entre pHs 1-13 foi utilizada como padrão e os seguintes materiais/soluções foram empregados durante as volumetrias: erlenmeyers de 250 mL; bureta de 50,00 mL; extrato de repolho roxo; haste universal; pipetas de 10,00 mL; balões volumétricos de 50 mL e água destilada. As soluções de NaOH  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  e HCl  $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  foram preparadas mediante a adição de extrato de repolho como solvente para completar o volume dos balões. Como esperado, as soluções preparadas apresentaram colorações adequadas a sua escala de pH, como exposto na Figura 2. Para a sequência das titulações, foram empregadas alíquotas de 6 mL dos titulantes.



**Figura 1.** Escala de referência das cores das soluções com extrato de repolho roxo entre pH 1 e 13. As numerações nos tubos indicam os pHs aproximados das soluções indicadoras.

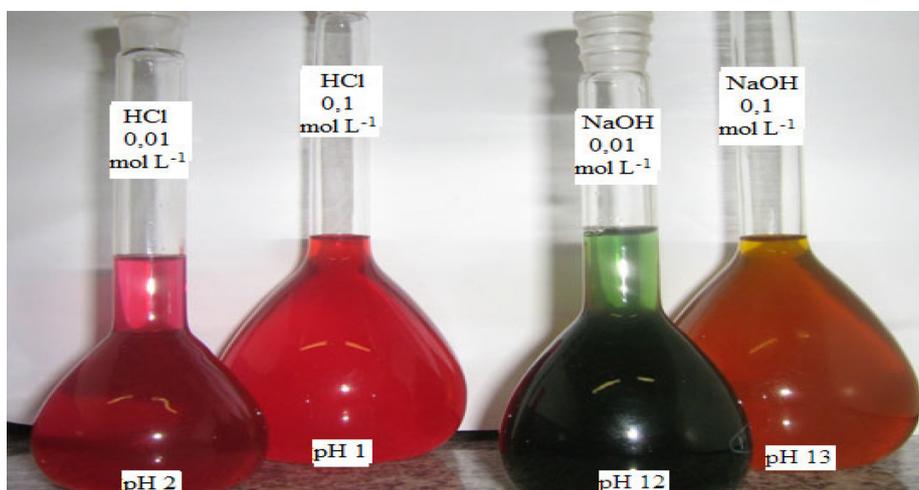


Figura 2. Fotos das soluções preparadas de HCl e NaOH 0,01 mol L<sup>-1</sup> e 0,1 mol L<sup>-1</sup>, respectivamente, com extrato do repolho roxo.

### 2.3.1. O caminho percorrido na construção das curvas de titulação

Em um primeiro momento propusemos a caracterização das curvas por meio de estudos com as soluções monoproticas e monobásicas de concentração 0,1 mol L<sup>-1</sup>, ou seja, em quantidades equimolares. Assim procedemos a titulação do ácido pela base de mesma concentração e, posteriormente, o titulante e o titulado foram trocados de posições na bureta e erlenmeyer, respectivamente. Na sequência, com vistas a observar o efeito da diluição sobre as variações de pH e de volumes equivalentes, soluções **equimolares** (0,01 mol L<sup>-1</sup>) foram empregadas. Em suma, buscou-se avaliar a titulação do ácido diluído pela base também diluída por um fator de 10 vezes, assim como o procedimento inverso.

E por fim, a sugestão seria verificar as mudanças de perfis dos gráficos em função da constituição das cores promovidas na titulação de soluções **não equimolares**, ou seja, o ácido (0,1 mol L<sup>-1</sup>) pela base (0,01 mol L<sup>-1</sup>) e vice-versa. Deste modo, ora o titulante (ácido/base) era 10 vezes mais diluído que o titulado, ora o titulado era 10 vezes mais diluído que o titulante.

### 2.4. Etapa 4: Validação das curvas de titulação em função das cores por titulação potenciométrica

Para a validação do método visual, uma possibilidade seria a monitoração das medidas de pH realizadas em um Equipamento multiparâmetros. Para a nossa investigação empregamos um equipamento da marca Hanna modelo Edge, com resolução de 0,01 unidade de pH calibrado com soluções tampão padrão da marca Hanna (pH 4,0 e 10,0); agitador magnético; solução de HCl 0,10 mol L<sup>-1</sup>; bureta (50,0 mL); solução de NaOH 0,10 mol L<sup>-1</sup>; extrato de

repolho roxo como indicador; e tubos de ensaio.

A escala de cores das soluções HCl e NaOH em diferentes pH's (1,0 - 13,0) com extrato de repolho roxo foi mantida para observação durante a titulação potenciométrica. Em nossa proposta de validação escolhemos apenas uma condição de par ácido-base (HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> titulado por NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>) utilizando-se um volume maior de titulado (30,00 mL) para que o eletrodo do pHmêtro ficasse todo submerso durante o experimento e assim o pH foi monitorado ao longo do experimento.

Somente para a validação do método proposto, uma alíquota de 30,00 mL da solução HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> (solução vermelha da Figura 2) foi transferido para um béquer de 250,0 mL e o sistema foi agitado com auxílio de agitador magnético. Posteriormente, o ácido foi titulado com solução de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> (solução amarela da Figura 2). Nesta etapa, parte dos estudantes anotaram o pH do titulado a cada adição de 2 mL de titulante, enquanto outro grupo realizou o monitoramento da mesma titulação pela comparação entre o padrão de cores e a variação de cores observadas durante a titulação.

Durante a adição do titulante pode-se anotar concomitantemente as variações de cor (comparando com a escala padrão de cores) e do pH do sistema (monitorado pelo pHmetro).

## 3. Resultados e Discussão

A escola normalmente trabalha com problemas fechados, bem definidos e delimitados que, na maioria das vezes, apresenta uma resposta única.<sup>25</sup> Além disso, para resolvê-los, o estudante tem que seguir um raciocínio algorítmico. Tudo isso faz parte da cultura da escola e, a utilização

\*\*Em 1909, Sören P. T. Sørensen (1868-1939), bioquímico dinamarquês, buscou expressar a acidez utilizando o logaritmo negativo da concentração do íon hidrogênio:  $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$ . Ele o denominou de expoente dos íons hidrogênio representado por pH “*pondus hydrogenii* - potencial de hidrogênio”, conforme Gama e Afonso (2007).

de experimentos com características de investigação são importantes para quebrar certas visões tradicionalistas com relação ao funcionamento escolar.

Como toda produção científica, a volumetria também passou por aperfeiçoamento ao longo dos anos, sendo a introdução da escala de pH (definido como o logaritmo negativo da concentração dos íons hidrogênio) proposta pelo dinamarquês Sørensen em 1909. A escala de pH é um bom exemplo dessa evolução, que possibilita relacionar a mudança do pH em função da variação gradativa da concentração do titulante\*\*, obtendo a curva (senoidal) característica e essencial para compreender titulações. Nesse caminho é válido questionarmos: **como construir uma curva de titulação?**

Para tanto, é necessário calcular os valores de pH para cada adição de titulante. É importantíssimo compreender os estágios da titulação, para que se realize adequadamente os cálculos de pH. Suas etapas podem ser identificadas a partir de duas situações: a titulação envolvendo apenas espécies fortes concentradas ou diluídas. Com o intuito de construir a nossa proposta investigativa, e respondendo ao **questionamento (B)** inicial, o corpo docente poderá desenvolver as reflexões que se seguem para o entendimento das variações das cores em função da construção da curva de titulação ácido-base.

### 3.1. Elucidando as cores da titulação de HCl com NaOH ponto a ponto

Nesse caminho iniciaremos a construção das curvas de titulação para soluções ácidas e básicas variando as posições destes no erlenmeyer (titulado) e bureta (titulante), bem como suas concentrações iniciais. As primeiras curvas representam titulações com ácido/base forte e ácido/base (variando as posições do titulante e titulado); e as demais titulações apresentadas serão de ácidos/bases fortes e ácidos/bases variando, em todas as situações as concentrações iniciais dos titulados e titulantes. Nossa proposta, como metodologia de ensino, ao iniciar com as questões problematizadoras, apresentadas no Caminho Metodológico, visa estimular os alunos a formular hipóteses e assim promover a troca de saberes entre corpo docente e a turma, na busca pelo conhecimento científico.<sup>2</sup>

Assim, esperamos que outras perguntas possam também ser colocadas no decorrer do processo, tais como: **Qual seria a finalidade** de uma curva de titulação ácido-base? **Como construir** uma curva de titulação ácido-base? Com a utilização do extrato do repolho roxo, como indicador, o que o estudante imagina que acontecerá com as curvas mediante a aplicação de concentrações variadas de ácidos e bases? E mediante a **troca da posição** dos ácidos e bases como titulante e titulado? Esse movimento inicial, que conta com a problematização e questões pertinentes ao assunto a ser tratado contribuem para os próximos passos do corpo docente ao compreender aquilo que a turma já sabe sobre o tema em análise, suas lacunas e como progredir no

processo investigativo. Para ilustrar essa etapa de aplicação apresentamos o trecho do diálogo inicial em que acontece a problematização com os estudantes sobre a titulação ácido-base fortes:

[PROFESSOR] *Vocês vão acompanhar uma titulação ácido-base através da potenciometria. Vocês sabem fazer titulação ácido-base? Já fizeram?*

[ESTUDANTES] *Sim.. uma ou duas vezes.*

[PROFESSOR] *Vocês já fizeram a titulação acompanhando o pH?*

[ESTUDANTE-2] *Eu já fiz algo parecido.*

[PROFESSOR] *Qual é o perfil da curva de titulação (pode fazer no ar) ao se colocar ácido forte no erlenmeyer? Ele será o titulante ou titulado?*

[ESTUDANTE-5] *Titulado...*

[PROFESSOR] *E uma base forte como titulante. Como é o perfil da curva ao longo da titulação? Ácido forte e base forte os dois monoprotônicos e ambos na mesma concentração.*

[ESTUDANTE-1] *Anda um pouco depois estabiliza... sobe... sobe de novo e depois estabiliza. Imagino que seja algo meio contínuo...*

[PROFESSOR] *Vocês não têm que ter medo de acertar ou errar tudo bem? E agora, caso eu invertesse?*

[ESTUDANTES] *Vai ser ao contrário, não é?*

[PROFESSOR] *Então, não é a mesma curva? Agora começa lá em cima cai drasticamente e depois continua...é isso? Todos concordam?*

[ESTUDANTES] *Sim professor.*

Nos trechos destacados observamos que as interações discursivas demonstram que o professor busca interagir a todo instante com a turma fazendo com que eles rememorem aprendizados anteriores que podem ser úteis na prática em questão. Neste processo é importante que o corpo docente proponha problemas e questione os comentários e as informações trazidos pelos/as estudantes.<sup>24</sup> Suas respostas, muitas vezes podem vir em palavras faladas, e na sua ausência, os gestos (como mostrar o perfil da curva de titulação) também auxiliam na expressão das ideias.

A partir daí passamos a investigar a titulação das soluções para a construção de suas respectivas curvas, sempre a partir da **evidência de mudanças de cores** durante todo o processo, comparando-se com a escala padrão de cores.

Nessa perspectiva, a titulação acompanhada por meio da adição controlada de volume do titulante, como mostra a Figura 4, nos permite compreender que o fenômeno analisado é realmente um processo lento, mas que envolve conceitos que auxiliam na compreensão das **proporções estequiométricas entre titulante e titulado** e do comportamento das soluções em análise.

A primeira mudança de coloração só foi obtida depois de certo volume vazado pela bureta e correspondeu a um intervalo próximo ao pH 7 (cor roxo escuro) considerado o pH neutro (nem ácido, nem básico). Por esta observação, pode-se inferir aos discentes que as curvas são subdivididas em duas regiões distintas.

### 3.1.1. A região da curva antes do Ponto de Equivalência (P.E.)

Para valores antes do ponto de equivalência (ou seja, para  $\text{pH} < \text{P.E.}$ ), significa que existe um excesso de ácido no meio, após reação com a base. Então, o cálculo se resume a descobrir de quanto é este excesso de  $\text{H}^+$  e calcular o pH resultante após a reação.

#### O Ponto de Equivalência (P.E.)

O ponto de equivalência é aquele em que:  $n^\circ \text{ de Eq}_{(\text{ácido})} = n^\circ \text{ de Eq}_{(\text{base})}$ . No caso específico, se a reação de neutralização ocorrer completamente, ocorrerá a formação de água e os íons espectadores  $\text{Na}^+_{(\text{aq})}$  e  $\text{Cl}^-_{(\text{aq})}$ . Assim, o pH do meio será neutro ( $\text{pH} = 7$ ), proveniente da autoionização da água.

### 3.1.2 A região da curva após o Ponto de Equivalência (P.E.)

Para valores após o ponto de equivalência (ou seja, para  $\text{pH} > \text{P.E.}$ ), significa que existe um excesso de base no meio, após a reação com o ácido. Assim, o cálculo se resume a descobrir de quanto é este excesso de  $\text{OH}^-$  e calcular o pH resultante após a reação.

## 3.2 O caso da titulação ácido/base das soluções de titulante e titulado equimolares $0,1 \text{ mol L}^{-1}$

Nesta titulação foi empregado um erlenmeyer de 250 mL contendo 6,00 mL da solução concentrada de HCl e ambientada a bureta com a solução concentrada de NaOH. Ao início da titulação foi testada uma vazão adequada para o processo ao qual foi mantido até a obtenção da primeira mudança de coloração, sendo que na variação do pH de 1 a 14 as cores observadas estão indicadas no Quadro 1.

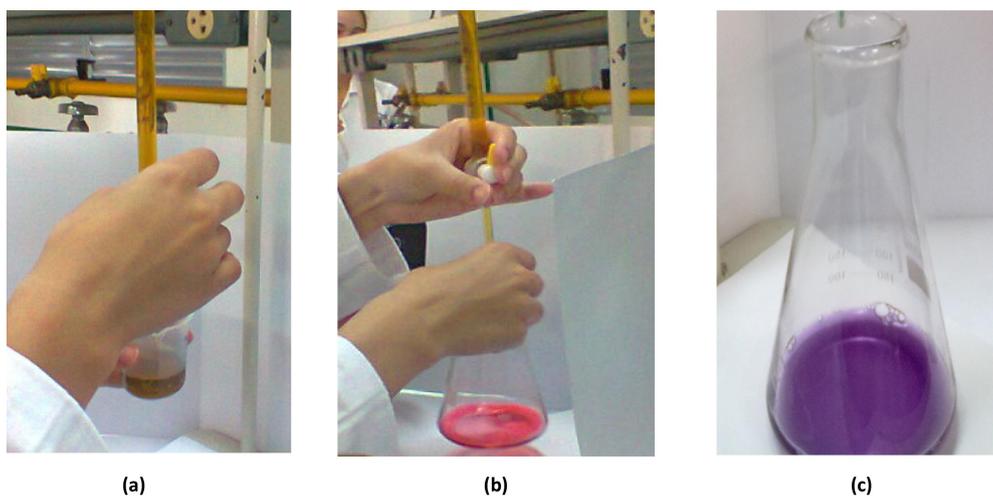
No decorrer da titulação do HCl com NaOH, em pH entre 1 e 2 há predominância de cátions flavílicos – Quadro **1a** de coloração vermelha. Com a elevação do pH próximo a pH 3, as antocianinas perdem sua coloração, até ficarem incolores, devido a predominância de carbinol - Quadro **1b**. A ionização da anidrobases (anidrobases neutra) – Quadro **1c** - em pH alcalino (pH 8) produz anidrobases ionizadas (anidrobases aniônicas) - Quadro **1d** e pseudobases chalconas – Quadro **1e**, com coloração entre azul e verde que passa para amarelo em pH 12. Estas mudanças de equilíbrio das cianodinas em meio ácido-base explicam as alterações de cor do indicador de repolho roxo nas diferentes etapas de titulação.<sup>10,26</sup>

A partir do levantamento das variáveis (mudança de cor, variação do pH) observadas por meio da Figura 3 é possível verificar com maior lucidez as diferenças entre uma atividade puramente demonstrativa daquela com caráter investigativo.<sup>22</sup>

**Quadro 1.** Variação de cores em função do pH das soluções contendo indicador de extrato do repolho roxo

	Escala de pH													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Cor	Red	Pink	Light Purple	Dark Purple	Dark Purple	Dark Purple	Dark Purple	Dark Purple	Dark Purple	Blue	Light Blue	Green	Yellow	Orange
Estruturas*	Cátions flavílicos ( <b>1a</b> )		Carbinol ( <b>1b</b> )		Anidrobases neutras ( <b>1c</b> )			Anidrobases aniônicas ( <b>1d</b> )			Pseudobases Chalconas ( <b>1e</b> )			

**Fonte:** Adaptado de Guimarães, Alves e Filho.<sup>16</sup> \*Equilíbrio de estruturas de uma antocianina em diferentes pHs.



**Figura 3.** Fotos ilustrativas da titulação do ácido forte monoprotônico ( $\text{HCl } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$ ) por base forte monobásica ( $\text{NaOH } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$ ) equimolares. (a) ambientação da bureta com  $\text{NaOH } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$ ; (b) início da titulação de  $\text{HCl } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$  por  $\text{NaOH } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$  e (c) titulado no ponto de equivalência.

Na montagem do Quadro 1 podemos identificar como acontece uma experimentação demonstrativa, de modo que basta seguir um procedimento para conseguirmos montar a escala de cores, sem se preocupar em investigar como a coloração é modificada pelo efeito da adição de titulante. Já quando a atividade experimental é de caráter investigativo compete ao estudante um olhar mais cuidadoso e crítico além de propor soluções para o problema em questão. Durante a realização do experimento destacamos o diálogo entre o professor e estudantes a seguir:

[PROFESSOR] *Nós vamos aqui agora criar a escala de pH. Ela é a escala em que vocês vão visualmente, a cada adição, marcar com uma cruz o pH: olhou o pH aí comparou com a cor da escala feita e toma a decisão de qual pH é.*

[ESTUDANTE-3] *Mas se as cores estiverem muito parecidas professor?*

[PROFESSOR] *Não tem problema se pra você que olhou está mais pra roxo estou achando que é 3 ponha o 3. Na escala com o x somente números inteiros. Mesmo que achar que é vermelho alaranjado tome qualquer decisão.*

[ESTUDANTE-1] *E qual vai ser a escala do eixo x?*

[PROFESSOR] *Eu vou falar 1 mL e vocês vão visualmente olhar a cor da escala e olhar a cor que esta aqui e anotou. Eu vou te falar a cada mL da bureta.*

[ESTUDANTE-7] *20,0 mL pH 5,76 cor violeta.*

[PROFESSOR] *36, 0 mL pH 9,79 já passou do ponto de equivalência.*

[ESTUDANTES] *De acordo com o pHmetro... (risos) a cor já passou aqui já faz tempo.*

Observamos que as interações discursivas fizeram-se presentes já que a cada momento de adição do titulante no erlenmeyer um dado era requerido para ser anotado e a dúvida ou mesmo o erro estava presente, já que faz parte do processo de construção do conhecimento.<sup>23</sup> É muito difícil acertar de primeira; é preciso refletir, pensar, refazer a pergunta e depois tentar um acerto. Um erro quando é superado ensina mais do que aulas expositivas quando a turma segue o raciocínio do corpo docente e não o seu próprio. E assim, contribui para que o estudante comece a dar créditos ao que aprende quando adquire maior segurança ao realizar as suas escolhas.

Nesse debate em que ocorre reflexões entre as pessoas envolvidas na pesquisa, as dúvidas e inquietações provisórias constituem possíveis explicações para os fenômenos que vão ser observados. Assim, algumas hipóteses foram levantadas pelos estudantes no decorrer do experimento:

[ESTUDANTE-1] *O volume gasto de titulante é o mesmo para ambos os casos.*

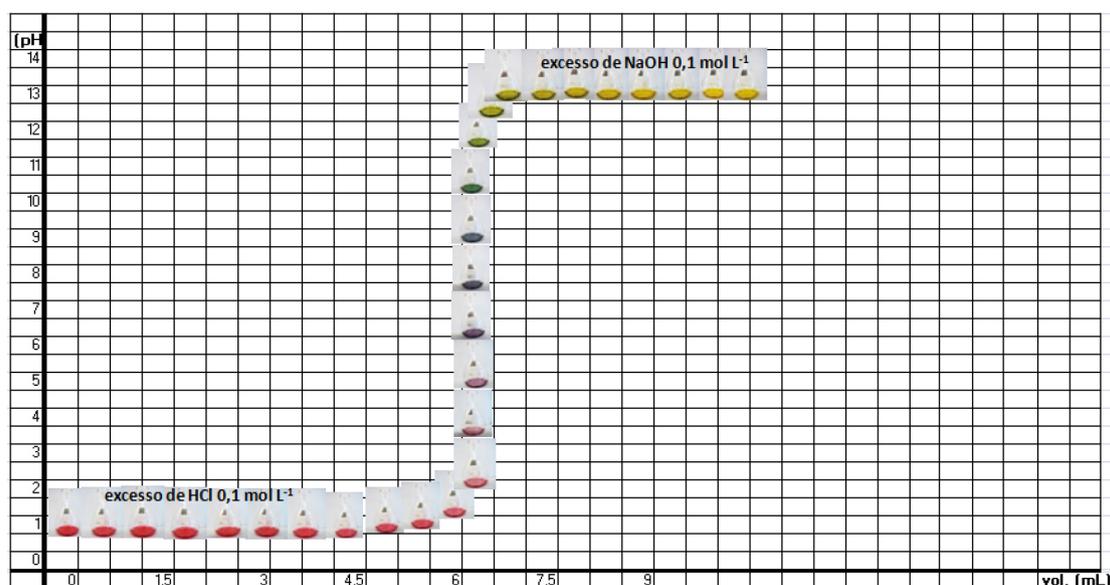
[ESTUDANTE-6] *Na titulação do ácido pela base a solução fica amarela por volta do pH 12-13.*

[ESTUDANTE-4] *Na titulação da base pelo ácido a solução não muda mais de cor (rosa) próximo a pH 1.*

[ESTUDANTE 3] *As curvas de titulação ácido-base têm um comportamento exponencial.*

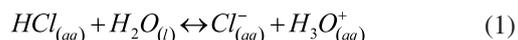
Assim sendo, após o término da titulação foi construída a Figura 4 que representa a curva característica da titulação com concentrações equimolares  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  em que o ácido era o titulado.

Na construção da curva, inicialmente observa-se um pH inicial baixo, próximo de 1, que ocorre devido a presença

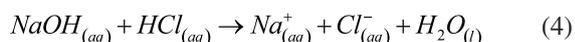
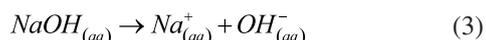
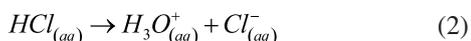


**Figura 4.** Fotos ilustrativas da curva de titulação do ácido monoprotico ( $\text{HCl } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$ ) por base monobásica ( $\text{NaOH } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$ ) em concentrações equimolares.

exclusiva de ácido clorídrico ionizado, mostrado pela Equação 1:



À medida que a base forte foi adicionada, ocorreu um aumento lento de pH, porém imperceptível em mudança de cores, e neste caso tem-se uma solução com excesso de ácido em quantidades cada vez menores a cada adição da base, e íons expectadores  $Na^+_{(aq)}$  e  $Cl^-_{(aq)}$ , conforme mostram as Equações 2 a 4:



O ponto de equivalência ocorre em pH 7, mostrado na curva de titulação experimental (Figura 6), visualizado pela alteração de cor do indicador natural de repolho roxo de incolor para roxo (com variação de tons). Após o ponto de equivalência, o meio reacional apresentará excesso de base e a tonalidade verde do indicador de repolho roxo passará para amarelo, já que a solução original do titulante apresentava tal coloração.

Neste sentido, a adição de titulante ao titulado requer o consumo de quantidades equivalentes de quantidade de matéria. Isto nos ajuda a constatar que a partir das gotas de titulante adicionadas ao titulado é possível associar a quantidade de matéria (mol) de íons  $OH^-$  que reagem com a de íons  $H_3O^+$ . Essa adição de  $OH^-$  diminui a concentração de  $H_3O^+$  que é fixa, e altera o pH da solução uma vez que este é dependente da concentração de íons  $H_3O^+$ .

O fato da escala de pH ser definida por uma função

logarítmica ( $pH = -\log [H_3O^+]$ ), as concentrações de  $H_3O^+$  que determinavam o pH ácido da solução inicialmente eram da ordem de  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  (concentração de  $H_3O^+$  do pH 1);  $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  (do pH 2). Em cada gota de titulante contendo  $OH^-$  adicionado, há uma importante contribuição na diminuição da concentração de  $H_3O^+$  livre pelo seu consumo, mas que não é suficientemente elevado para ser representado na escala logarítmica até próximo do ponto de equivalência, condição em que o que determinará o pH será a autoionização da água. Posteriormente, haverá apenas a influência dos íons  $OH^-$  adicionados e que se encontram em excesso após o ponto de equivalência.

As mesmas observações procedimentais e conceituais desenvolvidas até aqui se aplicam se invertermos a ordem da titulação, ou seja, ao erlenmeyer adicionarmos a base e à bureta o ácido (Figura 5). Então, se a solução do titulado for de uma base (portanto, de pH elevado), ao se gotejar o titulante (neste caso um ácido), deverá haver uma diminuição gradativa do pH. Assim, outra pergunta possível ao estudante neste momento seria: quais aspectos desta nova curva assemelham-se aos da curva anteriormente proposta? E quais seriam as diferenças?

A partir das Figuras 4 e 5, corpo docente estimulou os alunos a identificar, em cada uma delas, quem seria o titulado e o titulante por meio da observação de seu comportamento. E por fim, caracterizaram a variação das cores em ambos os casos. Neste processo investigativo, com a troca de saberes entre aluno e professor, o que se busca no final do processo é compreender que essas soluções quando misturadas consomem o equivalente molar do titulado e titulante, e que este não sofrerá variação se as concentrações de titulante e titulado forem as mesmas, proporcionando a variação do pH somente antes e após do ponto de equivalência. É saliente a observação de que em ambas as situações, o ponto de equivalência mante-se inalterado.

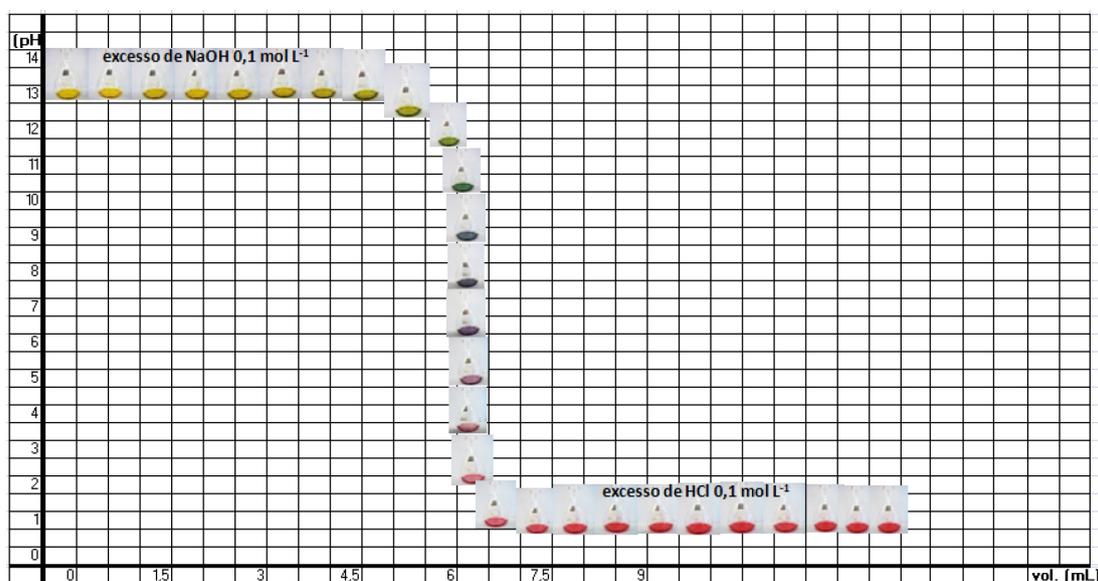


Figura 5. Fotos ilustrativas da curva de titulação da base monobásica ( $NaOH \text{ } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$ ) por ácido monoprotico ( $HCl \text{ } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$ ) em concentrações equimolares.

### 3.3. O efeito da diluição na titulação das soluções ácido/base equimolares $0,1 \text{ mol L}^{-1}$

A fim de analisar o efeito da diluição sobre as curvas de titulação, uma alíquota de  $6,00 \text{ mL}$  da solução de  $\text{HCl } 0,01 \text{ mol L}^{-1}$  foi adicionada a um erlenmeyer de  $250 \text{ mL}$  e a bureta foi ambientada com a solução diluída de  $\text{NaOH } 0,01 \text{ mol L}^{-1}$ . Como na primeira titulação, a vazão adequada foi mantida até o final da titulação. A Figura 6 ilustra este processo, mostrando a imagem do titulado antes e após a titulação.

A metodologia pedagógica empregada foi testada também para a investigação do comportamento da variação do pH frente às diluições das soluções do titulado e do titulante. Nessa proposta também realizamos a problematização com um diálogo similar ao proposto para a titulação de ácidos-bases fortes. Segue uma parte da narrativa:

[PROFESSOR] *Realizamos a discussão das curvas de titulação para ácidos e bases fortes. Agora qual seria o perfil da curva de titulação caso ocorra a diluição tanto do titulado quanto do titulante?*

[ESTUDANTE-2] *Eu acho que vai se parecer com o mesmo formato dos ácidos/bases fortes.*

[PROFESSOR] *Certo, mas e a diluição vai fazer alguma diferença neste caso?*

[ESTUDANTE-6] *Vai sim professor, agora o pH inicial não vai ser mais 1 se for o ácido diluído titulado...*

[PROFESSOR] *Então qual será o pH inicial?*

[ESTUDANTE-4] *Acho que é 2!*

O diálogo inicial proposto pelo docente, partindo-se de soluções ácido-base equimolares e diluídas demonstram que os estudantes conseguiram associar por meio do experimento anteriormente realizado com a nova situação

proposta e, assim fazendo as primeiras inferências. Podemos destacar algumas hipóteses elencadas pelos estudantes:

[ESTUDANTE-2] *A curva da titulação, em que a base será titulada não vai iniciar com pH 13.*

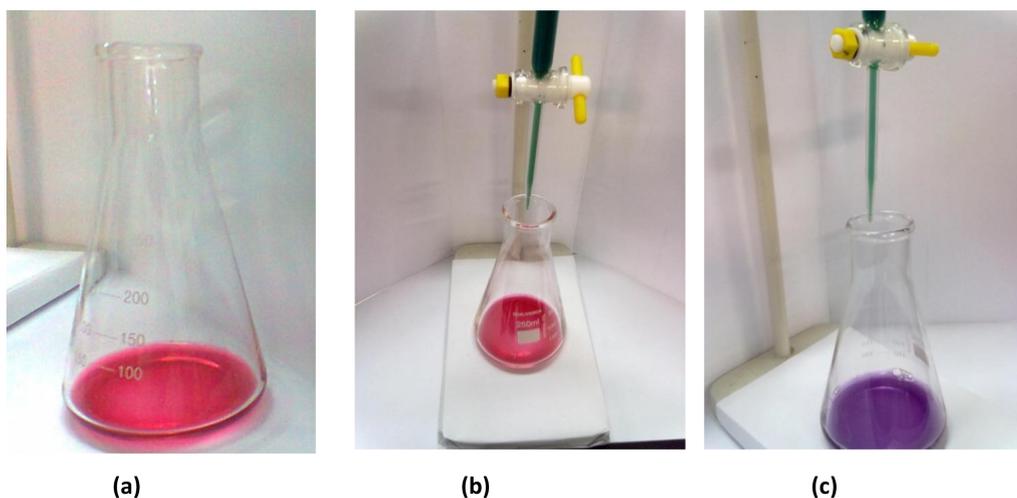
[ESTUDANTE-4] *O perfil das curvas de titulação vai continuar obedecendo escalas logarítmicas.*

[ESTUDANTE-6] *O pH do ponto de partida e final serão os mesmos que os das titulações de ácidos/bases fortes.*

Salientamos que, como são hipóteses, as afirmações apresentadas pelos estudantes podem ser positivas, negativas ou ainda não testadas (condicional) sobre determinado fenômeno. No entanto são válidas, pois demonstram suas tentativas de elucidar a atividade investigativa. Dessa forma, como o pH é dependente das concentrações de  $\text{H}^+$  e  $\text{OH}^-$ , ao diluirmos em 10 vezes uma solução de concentração  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  sua concentração passa a ser  $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  o que leva a um novo valor de pH, pois a concentração de  $\text{H}^+$  foi alterada. O incremento de uma unidade para cada diluição de 10 vezes ocorre pelo fato de a escala ser logarítmica e explica a curva obtida em sua titulação (Figuras 7 e 8). Novamente, os volumes equivalentes permaneceram inalterados visto que a proporção entre ambos, em quantidade de matéria manteve-se constante.

À medida que o professor passa a instigar a participação estudantil, dentro do processo investigativo, isto faz com que o corpo docente adquira também um papel de questionador, conduzindo a perguntas e desafios aos alunos de tal modo que eles mesmos possam construir suas próprias hipóteses e propor possíveis soluções aos problemas elencados.<sup>22</sup>

Dessa maneira, ao realizar a titulação com as soluções diluídas percebe-se que a única alteração evidenciada serão os pHs do ponto de partida e final (o que de fato contradiz a afirmação realizada pelo ESTUDANTE 6), mantendo-se



**Figura 6.** Fotos da titulação do ácido monoprótico ( $\text{HCl } 0,01 \text{ mol L}^{-1}$ ) por base monobásica ( $\text{NaOH } 0,01 \text{ mol L}^{-1}$ ) em concentrações equimolares. (a) **Titulado:**  $\text{HCl } 0,01 \text{ mol L}^{-1}$  antes da titulação ( $v = 6 \text{ mL}$ ); (b) início da titulação de  $\text{HCl } 0,01 \text{ mol L}^{-1}$  por  $\text{NaOH } 0,01 \text{ mol L}^{-1}$  e (c) titulado no ponto de equivalência.

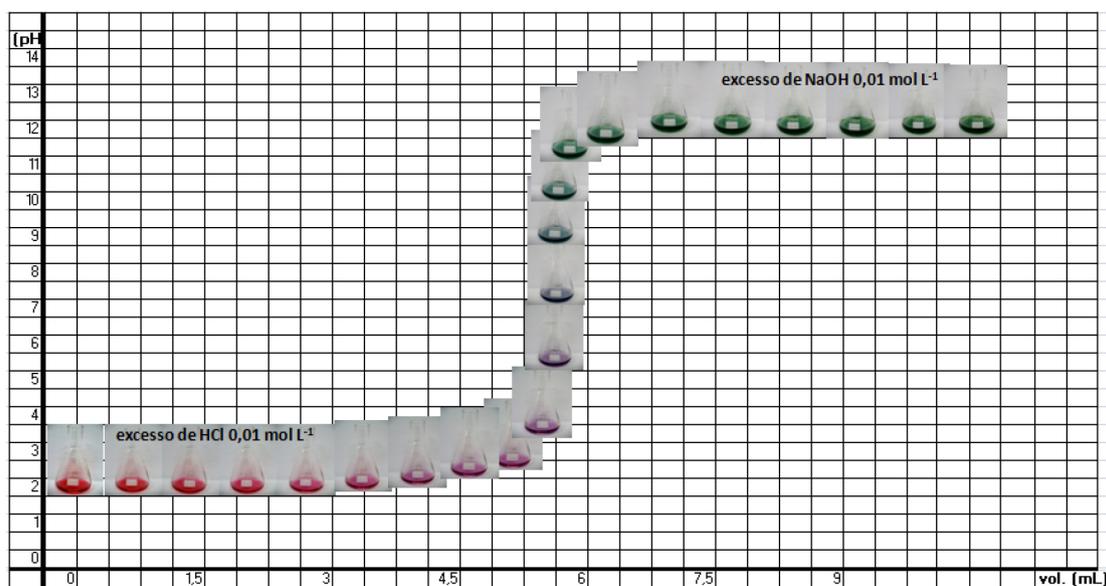


Figura 7. Fotos ilustrativas da curva de titulação do ácido monoprotico ( $\text{HCl } 0,01 \text{ mol L}^{-1}$ ) por base monobásica ( $\text{NaOH } 0,01 \text{ mol L}^{-1}$ ) em concentrações equimolares.

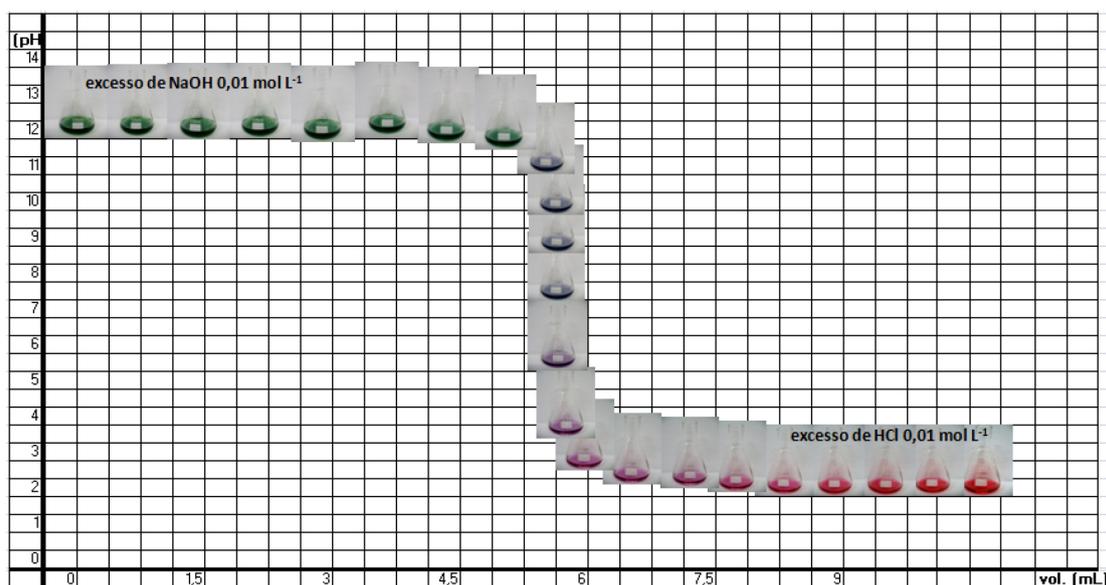


Figura 8. Fotos ilustrativas da curva de titulação da base monobásica ( $\text{NaOH } 0,01 \text{ mol L}^{-1}$ ) por ácido monoprotico ( $\text{HCl } 0,01 \text{ mol L}^{-1}$ ) em concentrações equimolares.

o mesmo volume equivalente, pois as reações e reagentes envolvidos são os mesmos e ambas as soluções foram diluídas igualmente (pelo mesmo fator), exigindo a mesma proporção entre o volume de titulante e titulado. Neste contexto, a principal característica sobre a variação no perfil da curva de titulação é que soluções ácidas do titulado ao serem diluídas por um fator de 10 vezes aumentam o pH em uma unidade; devido o  $\text{H}^+$  estar mais disperso em solução. Por sua vez, soluções básicas ao serem diluídas por um fator de 10 vezes diminuem o pH em uma unidade, sem, contudo, promover variações nos volumes equivalentes caso estas diluições de titulante e titulado ocorram na mesma proporção.

### 3.4. O caso da titulação das soluções ácido-base não equimolares

Mediante a variação das concentrações tanto do ácido quanto da base também podemos promover investigações do comportamento das curvas de titulação. Nesse caminho realizamos a nossa última problematização:

[PROFESSOR] Por fim, chegamos no caso de ácidos e bases não equimolares. O que aconteceria com a curva se apenas o ácido fosse diluído por um fator de 10 vezes?

[ESTUDANTE-3] Eu penso que vai acontecer

uma diminuição de volume gasto.

[PROFESSOR] Ok. Mas o volume do titulante ou do titulado que vai diminuir?

[ESTUDANTE-6] Eu estou achando que é o volume do titulado porque ele está diluído não é?

[PROFESSOR] Eu é que pergunto. É ou não é?

[ESTUDANTES] É!

[PROFESSOR] E agora o que aconteceria com a curva caso acontecesse a titulação de uma base por um ácido 10 vezes diluído?

[ESTUDANTE-1] Essa eu não sei professor...

[PROFESSOR] Ninguém arriscaria?

[ESTUDANTE-7] Eu acho que iria gastar bastante ácido para titular essa base...

O trecho destacado desse último processo investigativo demonstrou que a turma provavelmente teria maiores dificuldades na interpretação e construção dos gráficos uma vez que se tratavam da titulação de soluções não equimolares. As hipóteses na sequência demonstram algumas afirmações realizadas pelos estudantes:

[ESTUDANTE-2] Na titulação do ácido diluído será gasto menor quantidade de titulante  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$

[ESTUDANTE-3] Quando o titulante é diluído, para a titulação do ácido mais concentrado, vai ser gasto um maior volume de titulante até atingir o ponto de equivalência.

[ESTUDANTE-4] O volume gasto para essas titulações dependem do fator de diluição das soluções envolvidas.

Sendo assim, a partir das hipóteses elencadas pelos estudantes outros questionamentos podem ser provocados

no momento da discussão dos resultados, a saber: qual foi o comportamento de uma curva de titulação em que o ácido ou a base encontraram-se diluídos? De acordo com o desenho da curva apresentado quem era o titulado? Titulante? O que aconteceu com o volume equivalente? Observando a variação do volume gasto nas titulações, qual foi o motivo da diferença mediante o deslocamento dos gráficos apresentados? Para tentar responder esses questionamentos solicitamos que os estudantes fizessem comparações, voltassem às suas hipóteses e assim organizassem a construção do conhecimento por meio da validação (ou não) de suas hipóteses na direção de seu completo entendimento.

Na Figura 9 observamos a variação do pH por meio da titulação de um ácido forte diluído ( $\text{HCl } 0,01 \text{ mol L}^{-1}$ ) e uma base forte mais concentrada ( $\text{NaOH } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$ ); e na Figura 10 a titulação de um ácido forte concentrado ( $\text{HCl } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$ ) e uma base forte diluída ( $\text{NaOH } 0,01 \text{ mol L}^{-1}$ ). Ambas as figuras 9 e 10 apresentam, respectivamente, as curvas quando somente o titulado foi diluído ou somente o titulante foi diluído por um fator de 10 vezes.

As curvas de titulação com perfil logarítmico apresentadas demonstram o aumento do volume gasto de titulante na titulação do ácido em diferentes concentrações. Nesse caminho, pode-se questionar aos estudantes o motivo de ter sido empregado um volume 10 vezes maior da base que o apresentado na titulação do ácido que se encontrava diluído. Similar problematização pode ser investigada quando o processo inverso acontece, ou seja, ao realizarmos a titulação das bases em concentrações  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  e  $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ , respectivamente, apresentadas pelas curvas das Figuras 11 e 12.

### 3.5. O diálogo para a construção do conhecimento

A última etapa do processo investigativo é o momento da organização do conhecimento por meio do diálogo entre

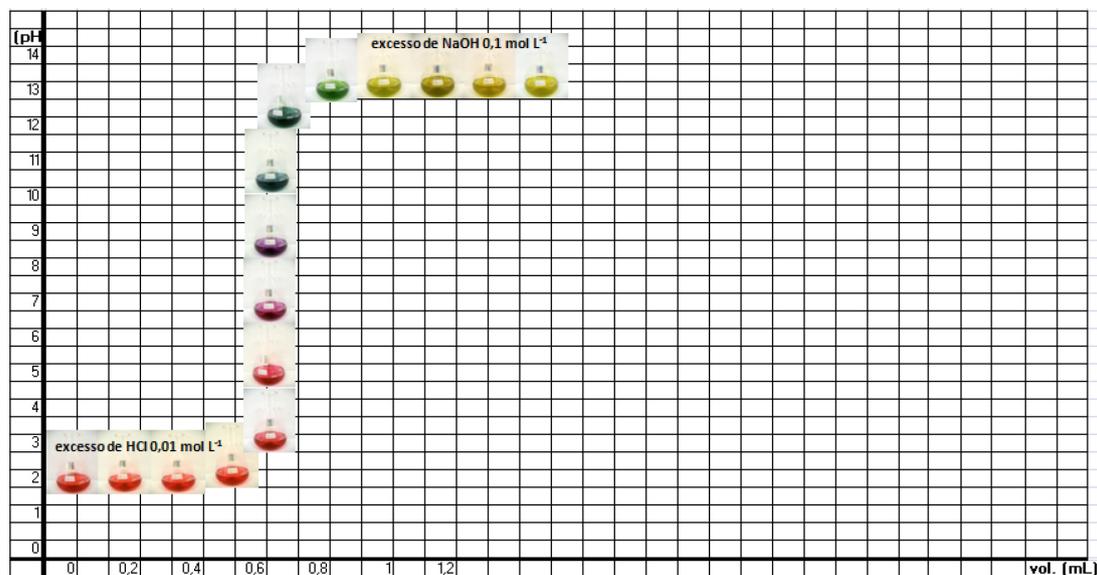
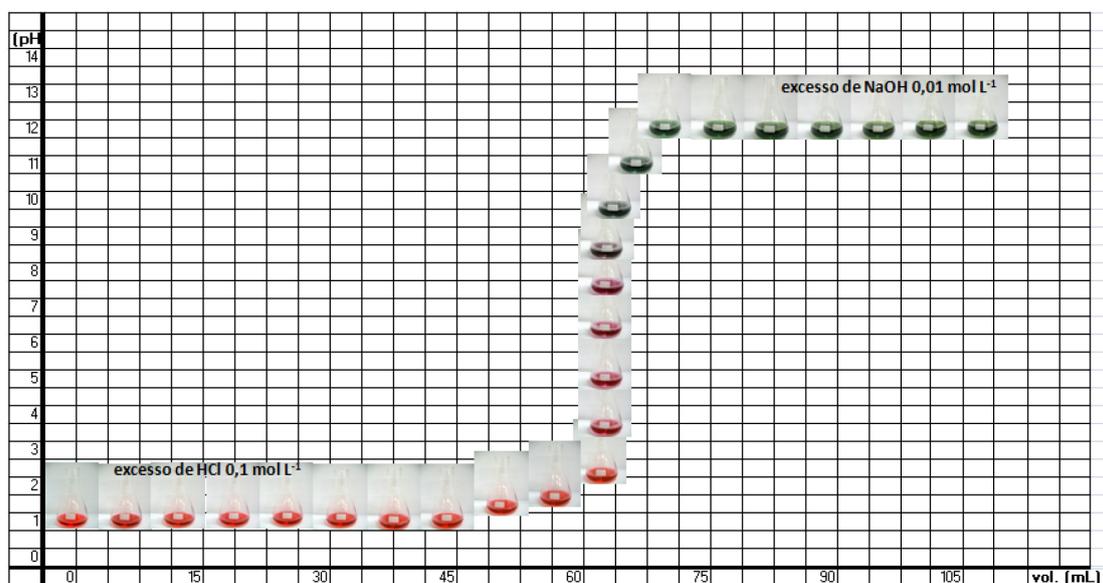


Figura 9. Fotos ilustrativas da curva de titulação de ácido monoprótico ( $\text{HCl } 0,01 \text{ mol L}^{-1}$ ) por base monobásica ( $\text{NaOH } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$ ) em concentrações não equimolares em que somente o titulado foi diluído por um fator de 10 vezes.



**Figura 10.** Fotos ilustrativas da curva de titulação de ácido monoprótico (HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup>) por base monobásica (NaOH 0,01 mol L<sup>-1</sup>) em concentrações não equimolares em que somente o titulante foi diluído por um fator de 10 vezes.

estudantes e professor. Como a metodologia proposta e a sua aplicação envolveu diversas etapas e, para cada um dos casos investigados realizamos problematizações e o levantamento de hipóteses, apresentamos a seguir um trecho de apenas uma das etapas que se relaciona à investigação do comportamento das curvas mediante a titulação de ácidos e bases fortes.

*[PROFESSOR] E agora vamos construindo juntos partindo do ponto de vista particular de vocês. Cada um levantou algumas hipóteses durante as etapas do experimento. Elas se confirmaram ou serviram para corrigir alguns apontamentos?*

*[ESTUDANTE-7] Algumas se confirmaram, mas a distinção das cores foi a parte mais complicada.*

*[PROFESSOR] E sobre o comportamento da curva? Teve gente que disse que crescia constante...*

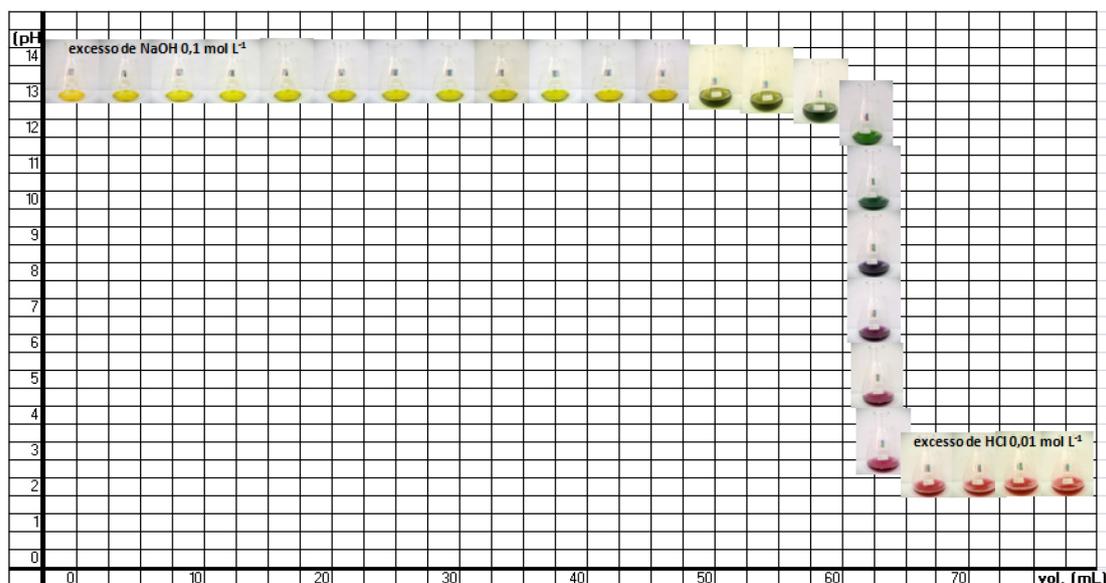
*[ESTUDANTES] Não...*

*[PROFESSOR] E como é que cresce o pH ao adicionar o titulante?*

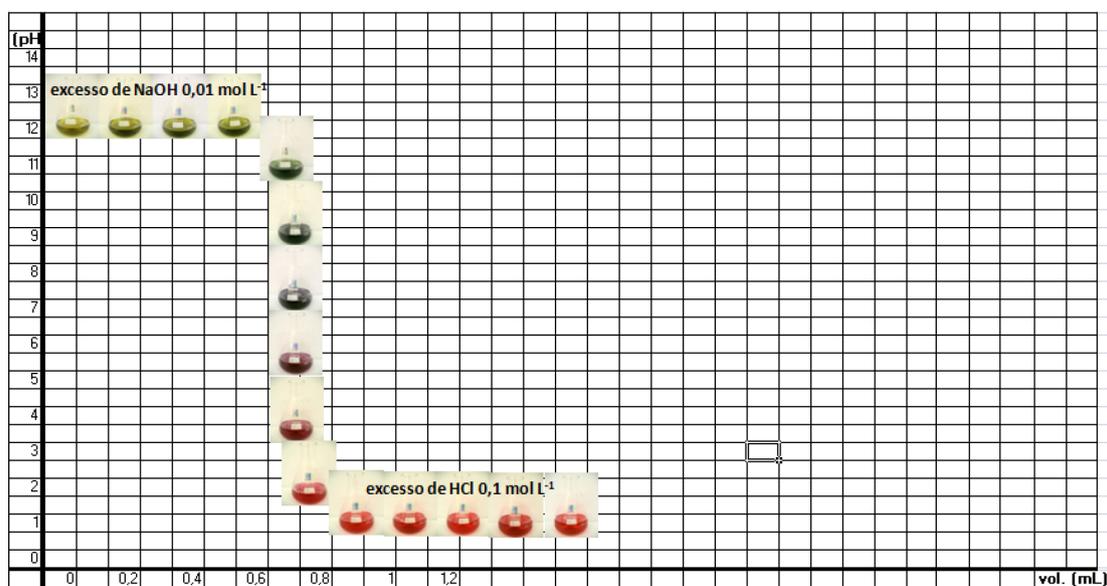
*[ESTUDANTE-5] Ele começa bem lentamente...*

*[PROFESSOR] Ele começa praticamente inalterado até por volta de quê?*

*[ESTUDANTE-2] Até próximo do ponto de equivalência...*



**Figura 11.** Fotos ilustrativas da curva de titulação de base monobásica (NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>) por ácido monoprótico (HCl 0,01 mol L<sup>-1</sup>) em concentrações não equimolares em que somente o titulante foi diluído por um fator de 10 vezes.



**Figura 12.** Fotos ilustrativas da curva de titulação de base monobásica ( $\text{NaOH } 0,01 \text{ mol L}^{-1}$ ) por ácido forte monoprótico ( $\text{HCl } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$ ) em concentrações não equimolares em que somente o titulado foi diluído por um fator de 10 vezes.

[PROFESSOR] Até este ponto, ele não permaneceu sem a mudança de cor? E quando daí começa a chegar perto do ponto de equivalência?

[ESTUDANTE-1] Começa a subir

[PROFESSOR] Qual o perfil da curva agora, depois do experimento se você tivesse que falar pra mim... faz com a mão... O perfil da curva é algo parecido com isto? (O professor fez um desenho na folha)

[ESTUDANTES] Não exatamente.

[PROFESSOR] E o que você registrou do pH?

[ESTUDANTE-1] Ai ele vai aumentando gradativamente.

[PROFESSOR] Então não é este (desenho na folha) o que a gente viu no pH?

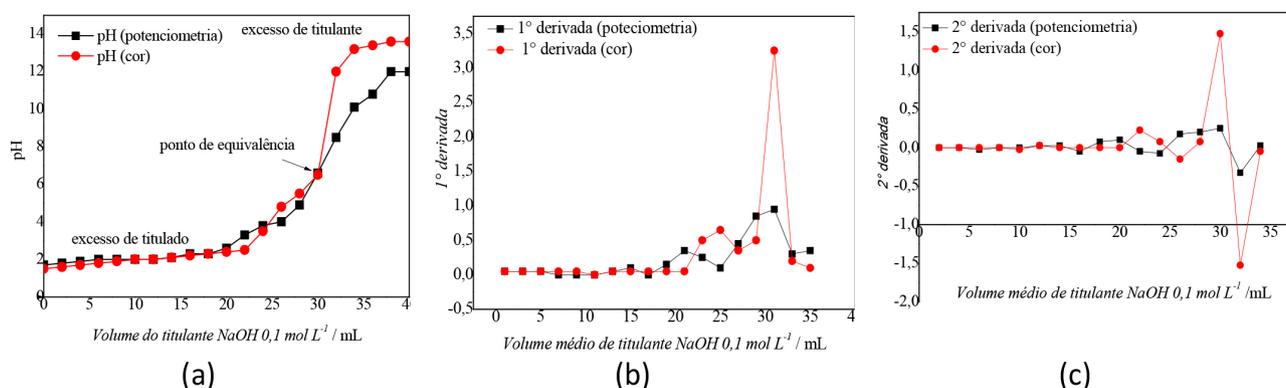
[ESTUDANTES] Não...

Conforme o trecho apresentado observamos que, após os experimentos investigativos propostos este momento é essencial para promover os ajustes finais sobre o observado/vivido e assim confirmar (ou não) as hipóteses elencadas em cada etapa analisada. A discussão em grupo permite que tanto o professor como os estudantes possam refletir sobre as etapas realizadas de modo que todos se sintam parte deste movimento. Destacamos também o papel da linguagem científica no qual observamos que ela não se encerra dentro das formas verbal e escrita.<sup>23</sup> O professor também valorizou o emprego de desenhos com seus estudantes, o que nos permite caracterizar a química como uma ciência que consegue expressar suas construções científicas por diversas formas, sendo elas escrita, por figuras, gráficos, tabelas, a linguagem matemática e até mesmo pelas variações das cores como a proposta desta investigação para a compreensão do comportamento das curvas de titulação.

### 3.6. A validação das curvas de titulação em função das cores por titulação potenciométrica

Com o intuito de responder ao **questionamento (C)** inicial que poderia compor as problematizações de cada etapa do processo investigativo, a partir dos dados coletados de um grupo de estudantes foi proposto a validação da titulação utilizando as cores observadas durante a adição do titulante ao titulado por potenciometria direta. Neste sentido, foi monitorado tanto a mudança de potencial da solução analisada (titulado), quanto as mudanças de cores, a cada adição do titulante; e também investigamos a mudança de potencial da solução analisada (titulado), quanto as mudanças de cores, a cada adição do titulante. As curvas de titulação obtidas experimentalmente pelo acompanhamento da cor (vermelho) e do pH (preto) são apresentadas na Figura 13, que exemplificam as regiões da titulação em que há excesso do titulado, equivalência entre titulante e titulado e excesso de titulante. Aplicando-se o método de derivadas é possível identificar o volume exato da solução aquosa de  $\text{NaOH}$  no ponto de equivalência da titulação. Como as variações de pH's representadas nas curvas de titulação podem, por vezes, não serem tão nítidas para se determinação dos pontos de equivalência, determinou-se as primeiras e segundas derivadas das curvas, pontos de máximo e de intercepto ao eixo x, respectivamente, cujos perfis são mostrados nas Figuras 13b e 13c.

O docente ao dialogar com os estudantes pode inferir que as primeiras derivadas poderão apresentar um ponto de máximo que representa com mais precisão este ponto de equivalência. Nos casos em que tal ponto de máximo não se apresente tão nítido, as curvas de segundas derivadas apresentarão um ponto de máximo e outro de mínimo, cujo ponto de equivalência será o intercepto no



**Figura 13.** Validação das curvas de titulação obtidas das cores do extrato do repolho roxo (vermelho) por titulação potenciométrica direta (preto) (a). Valores de primeiras derivadas (b) e segundas derivadas (c).

**Tabela 1.** Volumes equivalentes extraídos da primeira e segunda derivadas

Derivada	Volume equivalente (mL) pela cor	Volume equivalente (mL) por potenciometria direta
1° derivada (Figura 13-b)	31,0	31,0
2° derivada (Figura 13-c)	31,0	30,9

eixo x. Os valores de volumes equivalentes obtidos foram semelhantes (31,0 mL) para ambos os métodos utilizados (pela visualização da mudança da cor do extrato de repolho roxo e por potenciometria direta) o que comprova que a metodologia empregada (a partir da visualização da mudança da cor do extrato de repolho roxo) é eficaz e precisa para a determinação dos volumes equivalentes, conforme mostrados na Tabela 1.

#### 4. Conclusão

O presente trabalho teve como interesse propor uma metodologia de ensino e a sua aplicação, para a análise da volumetria ácido/base empregando o extrato de repolho roxo (como indicador) para a construção das curvas de titulação de soluções equimolares/não equimolares aquosas de hidróxido de sódio e ácido clorídrico, aplicando uma experimentação investigativa.

A proposição permite aos docentes realizarem inferências que partem da observação das variações de cores do titulado a cada incremento de titulante, pela comparação com uma escala padrão de cores, bem como a avaliação dos efeitos das diluições sobre os diferentes perfis das curvas de titulação. Assim sendo, observamos que o professor e a turma conseguiram constatar as variações de cores estabelecidas pelos equilíbrios das estruturas de antocianinas, de maneira eficaz, além da construção e o entendimento dos perfis observados nas curvas de titulação.

Pelas discussões apresentadas em cada etapa do processo investigativo e após a realização do experimento, no momento do diálogo acerca dos resultados obtidos,

professor e estudantes constataram em conjunto que as diluições equivalentes de titulante/titulado têm efeito somente nos pHs antes e após o ponto de equivalência por manterem a mesma proporção estequiométrica em quantidade de matéria.

Quanto à metodologia pedagógica investigativa empregada, consideramos que a sua escolha tem o intuito de proporcionar o conhecimento necessário sobre a fundamentação da titulação volumétrica ácido/base partindo-se da problematização, o questionamento e a criação de hipóteses, direcionando o entendimento teórico por vias práticas para os estudantes de nível superior. Com a aplicação dessa metodologia investigativa e os diálogos apresentados no processo concluímos que foi possível minimizar os problemas de aprendizagem enfrentados pelos alunos de Ensino superior quanto a construção de curvas de titulação envolvendo ácidos e bases de diferentes concentrações a partir da visualização das várias cores do extrato de repolho roxo.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem a FAPEMIG [APQ-02249-14 e APQ-03219-14], CNPq e CAPES.

#### Referências Bibliográficas

- Russel, J. W.; Brady, J. E.; Holum, J. R. *Química: matéria e suas transformações*. LTC: Rio de Janeiro, 2002.
- Harris, C. D. *Análise química quantitativa*. LTC: Rio de Janeiro, 2005.

3. Skoog, D. A.; West, D. M.; Holler, F. J. *Fundamentos de química analítica*, 9a. ed., Cengage Learning: São Paulo, 2015.
4. Terci, D. B. L.; Rossi, A. V.; Indicadores naturais de pH: usar papel ou solução? *Química Nova* **2002**, 25, 684. [[Link](#)]
5. a) Silva, J. D. da.; Silva, A. S. S.; Antero, R. V. P.; Borges, E. C. L.; Estudo da eficácia do extrato de repolho roxo como indicador ácido-base. *Centro Científico. Conhecer – Enciclopédia Biosfera* **2009**, 7, 1; [[Link](#)] b) Perdigão, C. H. A.; Lima, K. da S.; *Resumos do 4º Colóquio Internacional Educação e Contemporaneidade*, Sergipe, Brasil, 2010; c) Medeiros, E. F. de.; Santana, A. L. B. D.; *Resumos da 13ª Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão*, Recife, Brasil, 2013; [[Link](#)] Zapp, E.; Nardini, G. S.; Coelho, J. C.; Sangiogo, F. A.; Estudo de ácidos e bases e o desenvolvimento de um experimento sobre a “força” dos ácidos *Química Nova na Escola* **2015**, 37, 278. [[Crossref](#)]
6. Lucas, M.; Chiarello, L. M.; Silva, A. R. da; Barcellos, I. O.; Indicador natural como material instrucional para o ensino de química *Experiências em Ensino de Ciências* **2013**, 8, 61. [[Link](#)]
7. Silva, C. S. da.; Clemente, A. D.; Pires, D. A. T.; Uso da experimentação no ensino de química como metodologia facilitadora do processo de ensinar e aprender *Revista CTS IFG* **2015**, 1,1. [[Link](#)]
8. Brito, A. C. F. de; Almeida, A. C. B.; Bezerra, I. A. R.; Silva, N. C.; *Resumos do 51º Congresso Brasileiro de Química. São Luis, Brasil, 2011*. [[Link](#)]
9. a) Lopes, J. E. M.; Rojas, M. O. A. I.; Rangel, J. H. G.; Oliveira, M. M.; *Resumos do 3º Congresso Norte-Nordeste de Química*, São Luis, Brasil, 2009; b) Marques, J. A.; Biazoto, K.; Biasi, L. H.; Domingui, L.; *Resumos do 1º Seminário de Pesquisa, Extensão e Inovação do IF–SC*, Criciúma, Brasil, 2011; [[Link](#)] c) Firmino, E. S.; Araújo, V. P.; Teixeira, J. B.; Rodrigues, M. R. S.; Paula, N. L. M.; *Resumos do 2º CONEDU Congresso Nacional de Educação*, Campina Grande, Brasil, 2015.
10. Março, P. H.; Poppi, R. J.; Procedimentos analíticos para identificação de antocianinas presentes em extratos naturais *Química Nova* **2008**, 31, 1218. [[Link](#)]
11. Soares, M. H. F. B.; Cavalheiro, E. T. G.; Aplicação de extratos brutos de flores de quaresmeira e azaleia e da casca de feijão preto em volumetria ácido-base. Um experimento para cursos de análise quantitativa *Química Nova* **2001**, 24, 408. [[Link](#)]
12. Silva, E. O.; Explorando as bases matemáticas da volumetria: uma proposta didática *Química Nova na Escola* **2001**, 13, 13. [[Link](#)]
13. Terra, J.; Rossi, A. V.; Sobre o desenvolvimento da análise volumétrica e algumas aplicações atuais *Química Nova* **2005**, 28, 166. [[Link](#)]
14. Suarez, W. T.; Ferreira, L. H.; Fatibello-Filho, O.; Padronização de soluções ácida e básica empregando materiais do cotidiano *Química Nova na Escola*. **2007**, 25, 36. [[Link](#)]
15. Assumpção, M. H. M. T.; Freitas, K. H. G.; Souza, F. S.; Fatibello-Filho, O.; Construção e adaptação de materiais alternativos em titulação ácido-base *Eclética Química* **2010**, 35, 133. [[Crossref](#)]
16. Guimarães, W.; Alves, M. I. R.; Filho, N. R. A.; Antocianinas em extratos vegetais: aplicação em titulação ácido-base e identificação via cromatografia líquida/espectrometria de massas *Química Nova* **2012**, 35, 1673. [[Link](#)]
17. Pierini, M. F.; Rocha, N. C.; Filho, M. V. S.; Castro, H. C.; Lopes, R. M.; Aprendizagem baseada em casos investigativos e a formação de professores: o potencial de uma aula pratica de volumetria para promover o ensino interdisciplinar *Química Nova na Escola*. **2015**, 37, 112. [[Crossref](#)]
18. Costa, V. C.; Gramacho, R. S.; Santos, A. S.; Amorim, F. A. C.; Aplicação do extrato de amêndoa de cacau (*Theobroma Cacao L.*) como um novo indicador em titulações ácido-base *Revista Virtual de Química* **2015**, 7, 1496. [[Crossref](#)]
19. Venquiaruto, L. D.; Dallago, R. M.; Antunes, A.; Ficanha, A. M. M.; Bustamante, C.; Mores, R.; *Resumos do 18º ENEQ Encontro Nacional de Ensino de Química*, Florianópolis, Brasil, 2016. [[Link](#)]
20. Zanatta, R. C.; Venquiaruto, L. D.; Dallago R. M.; Scolari, H.; Santos, D. *Resumos do 4º CIECITEC Congresso Internacional de Educação Científica e Tecnológica*, Santo Ângelo, Brasil, 2017. [[Link](#)]
21. a) Guimarães, C. C.; Experimentação no ensino de química: caminhos e descaminhos rumo à aprendizagem significativa *Química Nova na Escola* **2009**, 31, 198; [[Link](#)] b) Silva, C. M.; Mertins, S.; Robaina, J. V. L.; *Resumos do 34º EDEQ Inovação no ensino de Química: metodologias, interdisciplinaridade e politécnica*, Santa Cruz do Sul, Brasil, 2014; c) Silva, W. A. da; Moura, F. J. de. A.; França, C. R. G. de; Oliveira, B. C. de M.; Lira, M.; *Resumos do 4º CONEDU Congresso Nacional de Educação*, João Pessoa, Brasil, 2017; d) Lins, J. H. D.; Lira, M. *Resumos do 4º CONEDU Congresso Nacional de Educação*, João Pessoa, Brasil, 2017. e) Gouveia, J. V. V. S.; Oliveira, A. A.; Santos, P. C.; Belisario, C. M.; Correlacionando a teoria com a prática usando experimentação no ensino de química *Ciclo Revista: experiências em formação no IF Goiano* **2018**, 3, 1. [[Link](#)]
22. Lima, V. A. de.; *Tese de Doutorado*, Universidade de São Paulo, 2013. [[Link](#)]
23. Carvalho, A. M. P.; Em *Ensino de Ciências por Investigação*: condições para implementação em sala de aula; Carvalho, A. M. P. São Paulo: Cengage Learning, 2019, cap. 1.
24. Sasseron, L. H.; Em *Ensino de Ciências por Investigação*: condições para implementação em sala de aula. Carvalho, A. M. P. São Paulo: Cengage Learning, 2019. cap. 3.
25. Silva, P. S.; Mortimer, E. F.; O projeto água em foco com uma proposta de formação no PIBID *Química Nova na Escola* **2012**, 34, 240. [[Link](#)]
26. Guimarães, W.; Alves, M. I. R.; Antoniosi Filho, N. R.; Antocianinas em extratos vegetais: aplicação em titulação ácido-base e identificação via cromatografia líquida/espectrometria de massas *Química Nova* **2012**, 35, 1673. [[Link](#)]