

# Percepção de Erros Experimentais em Análises Químicas Quantitativas por Alunos de Graduação

## Perception of Experimental Errors in Quantitative Chemical Analyzes by

Victor Valentim Gomes<sup>\*a</sup>; Paulo Sérgio Taube<sup>b</sup>; Dairlane da Rosa Taube<sup>c</sup>; Arthur Abinader Vasconcelos<sup>b</sup>; Marcia Mourão Ramos Azevedo<sup>b</sup>; Jéssica Tayanne Ramos Azevedo<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Ciência dos Alimentos. SC, Brasil.

<sup>b</sup>Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Biodiversidade e Florestas. PA, Brasil.

<sup>c</sup>Universidade de Uberaba, Campus Santarém. PA, Brasil.

<sup>d</sup>Centro Universitário e Faculdades UNIFTEC, Pós-Graduação Lato Sensu em Direito Penal.

\*E-mail: victorvalentimgomes@gmail.com

---

### Resumo

O ensino de química não deve se basear no isolamento de informações definidas, separadas e tomadas como verdadeiras, mas sim possibilitar o processo construtivo do estudante que passa por constante mudança. O elo entre a teoria e a prática poderá despertar a criatividade, a percepção e a compreensão do cotidiano, contribuindo para que o aluno aprimore o seu conhecimento e suas habilidades. Este estudo teve como foco o desenvolvimento teórico-prático sobre os principais erros envolvidos em análises titulométricas. Para isso, os discentes determinaram os teores de vitamina C, ácido acetilsalicílico e acidez do vinagre balsâmico em produtos comerciais, através da titulação clássica, com uso de indicadores, e pela titulação potenciométrica. Durante a realização dos experimentos, os discentes puderam relacionar os conhecimentos teóricos com os práticos, bem como identificar os principais erros envolvidos nessas técnicas analíticas: os erros aleatórios e sistemáticos. Os teores de ácidos encontrados através das duas técnicas analíticas não mostraram diferença estatística, no entanto, os resultados obtidos pela titulação potenciométrica apresentaram maior precisão. Durante a graduação é extremamente importante que as aulas experimentais envolvendo métodos de análises quantitativas sejam ministradas de modo que o discente seja capaz de interpretar os resultados e identificar todos os possíveis erros envolvidos no processo. Além disso, é importante que os estudantes de graduação possam ingressar na iniciação científica a fim de se aperfeiçoarem nas práticas laboratoriais.

**Palavras-chave:** Erros Experimentais. Titulação Volumétrica. Ensino de Química. Ensino Superior. Interdisciplinaridade.

### Abstract

*The teaching of chemistry shouldn't be based on the isolation of information defined, separated and taken as true, but rather make possible the constructive process of the student who undergoes constant change. The link between theory and practice can awaken creativity, perception and understanding of everyday life, helping the student to improve his knowledge and skills. This study focused on the theoretical-practical development on the main errors involved in titration analysis. For this, the students determined the levels of vitamin C, acetylsalicylic acid and acidity of balsamic vinegar in commercial products, through the classical titration using indicators and potentiometric titration. During the realization of the experiments the students could relate the theoretical knowledge to the practical one, as well as to identify the main errors involved in these analytical techniques: random and systematic errors. The levels of acids found through the two analytical techniques showed no statistical difference, however, the results obtained by potentiometric titration were more accurate. During graduation it is extremely important that experimental classes involving quantitative analysis methods are given so that the student is able to interpret the results and identify all possible errors involved in the process. In addition, it is vital that undergraduate students be able to enter into scientific initiation in order to be perfected in laboratory practices.*

**Keywords:** *Experimental Errors. Volumetric Titration. Chemistry Teaching. Higher Education. Interdisciplinary.*

---

## 1 Introdução

O ensino de química não deve se basear no isolamento de informações definidas, separadas e tomadas como verdadeiras, mas sim deve possibilitar o processo construtivo do estudante que passa por constante mudança (SILVA; MARTINS JUNIOR, 2017). Pautado nisso, torna-se fundamental o elo entre teoria e prática para que os conhecimentos de química possam ser explorados e compreendidos com eficiência (HODSON, 1985; BAZIN, 1987; FREIRE, 1996; BORGES, 2002; ALMEIDA; JESUS, 2013; ANDRADE, 2020). Por tanto, segundo Gomes *et al.* (2016), a experimentação nas aulas de química desperta a criatividade, a percepção e a compreensão do cotidiano, contribuindo para que o aluno

aprimore o conhecimento e suas habilidades

Para Cudmani e Sandoval (1991) a interação ocorre por meio da averiguação de erros experimentais, concedendo a adequação entre o referencial empírico e o referencial teórico. Entretanto, de acordo com Oliveira (2010), a aula experimental nem sempre deve ficar atrelada à aula expositiva prévia do conteúdo, que no decorrer da própria atividade experimental os conceitos podem ser abordados em respostas aos questionamentos dos alunos, consistindo em um espaço de construção de novos conhecimentos.

Nesse sentido, o laboratório torna-se o local onde o estudante alcança o significado do que está exercendo (PRAIA *et al.*, 2002). Contudo, fatores como a capacitação

dos professores e as perícias dos alunos são interferentes na eficácia de uma atividade experimental concreta, uma vez que a instrumentação a ser aplicada precisa estar de acordo com a atividade didática, com o método e com os resultados obtidos (AFFONSO, 1970).

No ensino médio, as dificuldades mais encontradas nos alunos em aulas experimentais são: o desconhecimento de teorias para o acompanhamento da aula, impasses ao relacionar teoria e prática, tempo abaixo do necessário para a realização do experimento, dúvidas na compreensão dos fenômenos e problemas no manuseio do material laboratorial (LÔBO, 2012). Para o ensino superior, essas dificuldades também podem ocorrer e serem intensificados, visto a necessidade de capacitar profissionais para o mercado de trabalho (HUET *et al.*, 2004; SATO, 2011).

Em química analítica quantitativa diversos métodos e técnicas podem ser empregados para a determinação das quantidades de analito (componente analisado) em uma amostra. Dentre esses métodos inclui-se a titulação ácido-base, utilizada para determinar teores de ácidos ou bases em diversas matrizes (*e.g.* solo, água, alimentos) (GUIMARÃES; ALVES; ANTONIOSI FILHO, 2012; SKOOG *et al.*, 2005).

De acordo com Osawa e Gonçalves (2006), análises de amostras contendo elevado teor de pigmentos e/ou concentrações baixas de analito fazem com que a titulação ácido-base com indicador seja pouco confiável. Nesses casos, os mesmos autores sugerem, a utilização do método potenciométrico como uma alternativa viável. No entanto, Terra e Rossi (2005) relataram que é inegável a relevância dos métodos clássicos de análise para o processo de ensino e aprendizagem dos alunos.

Sendo assim, o presente estudo objetivou avaliar a percepção do conhecimento teórico-prático de alunos do ensino superior da Universidade Federal do Oeste do Pará, em disciplinas de química, através de aulas experimentais de titulações volumétricas clássica e instrumental em amostras ácidas coloridas a fim de compreenderem os principais erros envolvidos em análises químicas quantitativas.

## 2 Material e Métodos

Este trabalho foi realizado com dois grupos de discentes: um com 15 discentes do segundo semestre de graduação do curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Oeste do Pará (Ufopa), os quais cursaram apenas a disciplina de química geral (Grupo I) e; outro com 3 discentes do curso de Licenciatura Integral em Biologia e Química da Ufopa, os quais cursaram as disciplinas de química geral e química analítica, tanto teórica como experimental (Grupo II). Os alunos do Grupo I tiveram aulas teóricas apenas sobre estequiometria, soluções e titulação ácido-básica clássica.

Para ambos os grupos foi solicitado que determinassem os teores de vitamina C (ácido ascórbico) (1 g/comprimido), ácido

acetilsalicílico (100 mg/comprimido) e acidez do vinagre balsâmico (6%, ácido acético) em produtos comerciais. Para a realização das análises químicas quantitativas, o Grupo I, utilizou a titulação ácido básica clássica, com a fenolftaleína como indicador. Enquanto o Grupo II utilizou e a titulação potenciométrica.

Para a realização desta titulação, seguiu-se a metodologia descrita por Taube *et al.* (2014). O Grupo I preparou 500 mL de solução aquosa grosseira de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> para titular todas as amostras. O Grupo II preparou 3 soluções aquosa contendo 100 mL de NaOH com concentrações de 0,0365; 0,0432 e 0,1150 mol L<sup>-1</sup> previamente padronizada com solução aquosa de biftalato de potássio (C<sub>8</sub>H<sub>5</sub>O<sub>4</sub>K), para titular as soluções comerciais de vinagre balsâmico, ácido acetilsalicílico e vitamina C, respectivamente (VOGEL, 2002).

Para a obtenção da solução, pesou-se o biftalato de potássio e levou-se à estufa a 110°C por 2 horas. Posteriormente, foi resfriado em dessecador e pesado. O biftalato de potássio foi diluído em água deionizada fervida, para a eliminação de CO<sub>2</sub> dissolvido, e a solução foi deixada resfriar à temperatura ambiente.

### 2.1 Preparo das amostras

Para a análise do teor de ácido acético do vinagre balsâmico, foi retirada uma alíquota de 2 mL de vinagre o qual foi diluído com 20 mL de água deionizada. Para a determinação do teor de ácido acetilsalicílico, comprimidos de aspirina foram triturados e diluídos em uma solução alcoólica 1:3 (v/v, 5 mL de etanol e 15 mL de água deionizada). Para determinar a concentração do ácido ascórbico em comprimidos de vitamina C, eles foram triturados e diluídos em 20 mL de água deionizada. Para a titulação convencional utilizou-se como indicador 3 gotas de solução alcoólica de fenolftaleína (0,1%, m/v). Para a titulação potenciométrica utilizou-se um pHmetro modelo mPA-210 (MS Tecnopon, Piracicaba, Brasil) previamente calibrado em pH 4; 7 e 10. Todas as titulações foram realizadas em triplicata, sendo que no método clássico cada integrante do grupo fez uma réplica e no método potenciométrico apenas um discente realizou todas as análises.

### 2.2 Análise dos resultados

Ao final dos experimentos, foram calculados as médias dos teores de cada ácido, os desvios padrões absolutos e relativos, os erros experimentais, o intervalo de confiabilidade (95%) e os resultados entre as duas técnicas foram comparadas e os valores indicados pelo fabricante.

Durante o experimento, avaliou-se também a forma como os alunos conseguiam associar o conhecimento que obtiveram com as aulas teóricas em relação à técnica que estavam empregando. Durante a realização da atividade experimental, desde os cálculos prévios para a preparação dos experimentos,

o preparo das soluções e a titulação ácido-básica em si, os alunos e o professor dialogaram a fim de corrigir erros e avaliar o grau de assimilação dos conteúdos por parte dos alunos.

Sendo que as observações serviram para explicar algumas diferenças obtidas entre as duas técnicas empregadas.

### 3 Resultados e Discussão

Nas aulas teóricas sobre soluções, os alunos aprenderam a utilização das fórmulas para determinação de concentrações e os cálculos envolvidos no preparo de soluções. Além disso, noções sobre utilização de vidrarias, erros de medição e erros experimentais foram dadas. Dentre estes erros, foram destacados o erro volumétrico e a necessidade de calibração de equipamentos volumétricos.

Vale destacar que nenhum dos grupos aferiram os volumes das vidrarias utilizadas durante os experimentos, sendo esse erro sistemático comum aos dois grupos e desprezado durante as análises dos dados obtidos. Pois a falta de aferição da vidraria utilizada implica em erros. Além disso, ambos os grupos foram orientados a utilizarem as vidrarias com maiores precisões (vidrarias volumétricas) para o preparo e quantificação das soluções.

O Grupo I preparou uma solução medindo a massa de NaOH necessária para preparar 500 mL de uma solução 0,1 mol L<sup>-1</sup>, e calculou previamente os volumes dessa solução necessários para alcançar os pontos de equivalência (ponto onde o número de mols de ácido e base são iguais) com base nos valores predeterminados pelo fabricante. No entanto, como os alunos desse grupo ainda não tinham cursado a disciplina de química analítica, não levaram em conta vários fatores que poderiam resultar em erros na determinação dos teores de ácidos presentes nas amostras. Dentre os principais fatores não levados em conta destacaram-se: o uso de solução de NaOH sem padronização posterior com um padrão primário (biftalato de potássio, por exemplo), uma vez que o NaOH é higroscópico e não é considerado um padrão primário e a falta de experiência durante o manuseio das vidrarias (CAR; HAGE, 2011).

O Grupo II, além de ter cursado as disciplinas teóricas de química geral e química analítica, possuía experiência de dois anos na iniciação científica, o que permitiu aos alunos optar pelo uso da titulação potenciométrica. Vale ressaltar que este grupo após o preparo das soluções de NaOH, padronizou as concentrações destas com padrão primário de biftalato de potássio e que o uso dessa metodologia facilitou a identificação do volume de equivalência com uma maior precisão e exatidão (HARRIS, 2013).

Após o preparo das soluções, durante o planejamento das titulações os discentes puderam compreender melhor quais conteúdos estão envolvidos na volumetria ácido-base, tais como a estequiometria, a qual foi utilizada para planejar o experimento; o equilíbrio ácido-base e a força de ácidos e bases para previsão do pH no ponto de equivalência e a solubilidade

de compostos, uma vez que o ácido acetilsalicílico é pouco solúvel em solução aquosa e muito solúvel em solução alcoólica (SOLOMONS; FRYHLE, 2009).

Além dessas observações, os discentes puderam perceber melhor outros tipos de erros que podem ocorrer durante uma titulação, dentre eles os erros sistemáticos: erros pessoais, uma vez que cada integrante do Grupo I realizou uma das replicatas; erros instrumentais, uma vez que todas as vidrarias volumétricas não foram aferidas antes das análises e a calibração do pHmetro gera um grau de confiabilidade (em torno de 98%) e; erro de método, uma vez que a precisão e exatidão entre os dois métodos de titulação foram comparadas (SKOOG *et al.*, 2005). Além disso, foi possível verificar diferenças existentes entre as concentrações teóricas, presentes nos rótulos dos fabricantes, e as concentrações experimentais da solução de NaOH, determinadas experimentalmente.

Carr e Hage (2011) também expõem alguns fatores que podem causar erros de análise na titulometria de neutralização: a não realização de uma limpeza eficaz na bureta, fazendo com que, no momento da titulação, bolhas fiquem retidas na parede da vidraria enquanto o titulante é despejado; falta de prática do analista ao realizar a leitura do menisco na bureta, inexperiência ao verificar a mudança de cor causada pelo indicador no ponto de viragem e a falta de controle no gotejo de titulante, fazendo com que passe do ponto final.

Os teores de ácido acético no vinagre balsâmico, ácido acetilsalicílico na aspirina e ácido ascórbico no comprimido de vitamina C foram determinados tanto pelo método volumétrico clássico como pelo método potenciométrico (Quadro 1), com média  $\pm$  desvio padrão e média  $\pm$  intervalo de confiança (95%). Além disso, são mostrados o desvio padrão relativo e o teste t *student* entre os dois métodos com 5% de significância.

**Quadro 1** - Resultados experimentais para determinação dos teores de ácidos em amostras reais

Amostra	Parâmetro	Clássica	Potenciometria
Vinagre (6%)	Média $\pm$ DP <sup>1</sup>	4,72 $\pm$ 1,69%	6,45 $\pm$ 0,11%
	Média $\pm$ IC <sup>2</sup> (95%)	4,72 $\pm$ 4,19%	6,45 $\pm$ 0,28%
	Sr <sup>3</sup>	0,36	0,02
	Er <sup>4</sup> (%)	-21,39	7,5
	Teste t <i>student</i>	-1,77	
Aspirina (100mg/comprimido)	Média $\pm$ DP <sup>1</sup>	102 $\pm$ 20,78mg	77,95 $\pm$ 3,86mg
	Média $\pm$ IC <sup>2</sup> (95%)	102 $\pm$ 51,59mg	77,95 $\pm$ 9,58mg
	Sr <sup>3</sup>	0,20	0,05
	Er <sup>4</sup> (%)	2	-22,05
	Teste t <i>student</i>	0,73	
Vitamina C (1g/comprimido)	Média $\pm$ DP <sup>1</sup>	1,18 $\pm$ 0,36g	1,21 $\pm$ 0,006g
	Média $\pm$ IC <sup>2</sup> (95%)	1,18 $\pm$ 0,89g	1,21 $\pm$ 0,015g
	Sr <sup>3</sup>	0,3	0,005
	Er <sup>4</sup> (%)	0,18	0,21
	Teste t <i>student</i>	-0,06	

<sup>1</sup>Desvio Padrão; <sup>2</sup>Intervalo de Confiança com um nível de confiança a 95%; <sup>3</sup>Desvio padrão relativo; <sup>4</sup>Erro relativo percentual.

Fonte: Dados da pesquisa.

No que diz respeito a exatidão dos dados nesta pesquisa, percebe-se que houve maior concordância com o valor de referência pelos estudantes que analisaram as amostras de aspirina e vitamina C pelo método clássico. Para a amostra de vinagre, o método potenciométrico apresentou menor porcentagem de erro relativo. Essa inexatidão do método potenciométrico nas amostras em comprimido pode ser explicada pela calibração do pHmetro, visto que as soluções tampão não estavam em bom estado prejudicando a sensibilidade do eletrodo, caracterizando-se, assim, como sendo um erro de método (VOGEL, 2002).

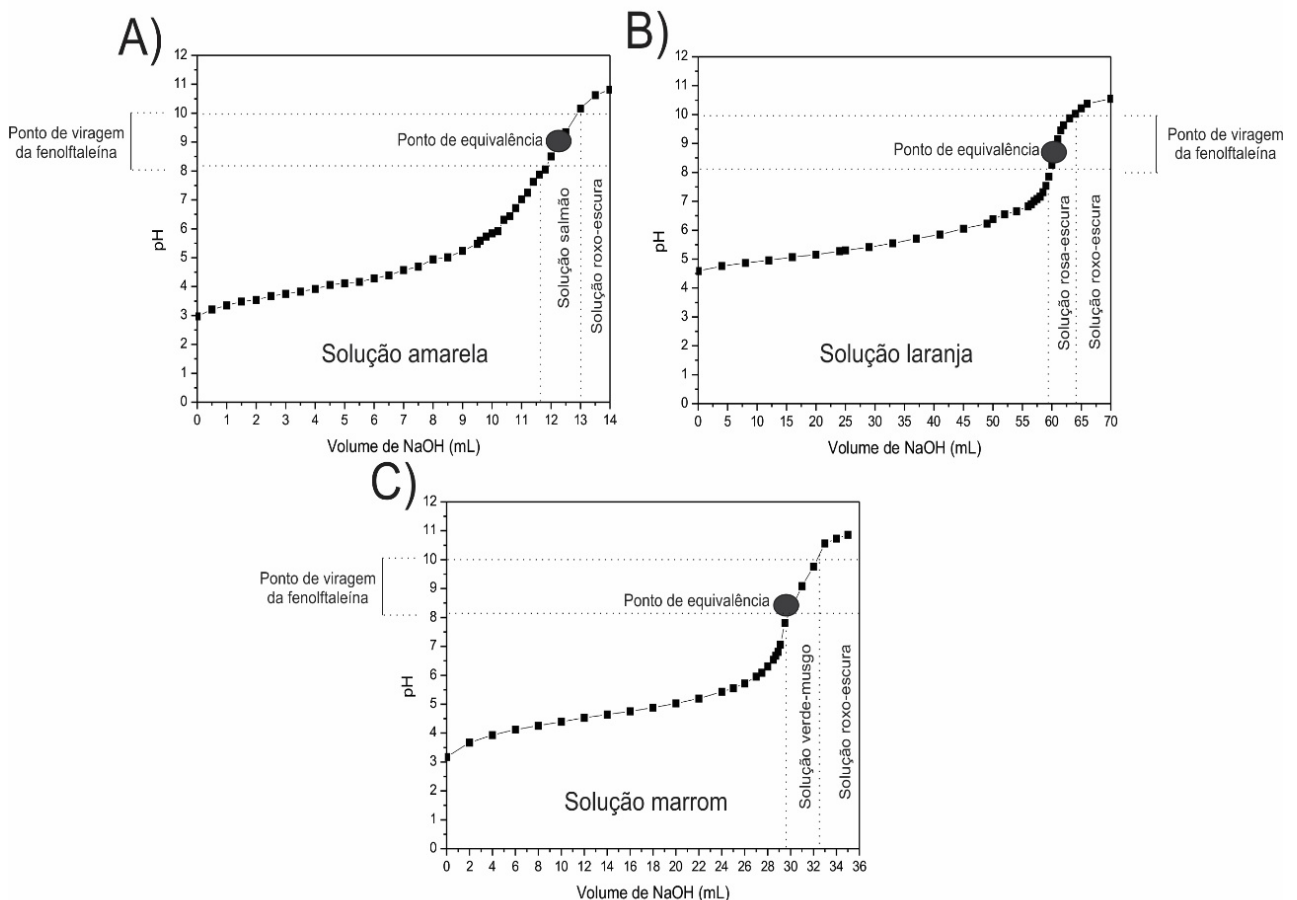
É possível observar que, para todas as amostras, não houveram diferenças significativas entre os dois métodos realizados. No entanto, a partir do desvio padrão, intervalo de confiança e desvio padrão relativo, é visível a maior precisão do método potenciométrico ao ser comparado com o método colorimétrico. Desta forma, pode-se inferir que o método clássico realizado por estudantes do 2º semestre apresentou mais erros aleatórios ou também denominados de incertezas (BACCAN; ANDRADE, 2001).

As curvas de titulação potenciométrica do ácido acético,

ácido acetilsalicílico e ácido ascórbico com solução de hidróxido de sódio, estão apresentadas na Figura 1. Os pontos de equivalência foram obtidos sem levar em conta a coloração das soluções, sendo uma das vantagens deste método em comparação à titulação clássica, que necessita do ponto de viragem para obter a quantidade de analito presente em uma amostra. Além disso, como as amostras analisadas eram coloridas, para a titulação clássica, implicou em dificuldade adicional, em que o ponto de viragem apresentou uma coloração diferente da esperada (incolor-rosa-rosa) e, na maioria das vezes, difícil de ser visualizada. Muitas vezes nesses tipos de amostras mesmo com o uso de uma retrotitulação (titulação reversa) inviabiliza a distinção do ponto de viragem (SKOOG *et al.*, 2005). Essa dificuldade na visualização do ponto de viragem diminui a precisão da análise.

Para Ribani *et al.* (2004), é necessário haver qualidade nas medições químicas por meio da comparação, rastreabilidade e confiabilidade, uma vez que a exigência destas qualidades analíticas está cada vez maior. A falta de confiança em dados analíticos pode levar a deliberações malsucedidas e danos financeiros.

**Figura 1** - Curva para a titulação de A) ácido acetilsalicílico em aspirina com solução de NaOH 0,042 mol L<sup>-1</sup>, B) ácido ascórbico na vitamina C com solução de NaOH 0,115 mol L<sup>-1</sup> e C) ácido acético no vinagre balsâmico com solução de NaOH 0,037 mol L<sup>-1</sup>



**Fonte:** Os autores.

Em contrapartida, os erros experimentais e teóricos dos discentes durante uma aula podem ser uma importante

ferramenta de aprendizagem (BORGES, 2002). Essas falhas devem ser expressas, dado que muitas vezes os estudantes

tratam essas suas ideias como corretas. Portanto, não deve se restringir em apenas corrigir o erro, o docente deve dar subsídios para que o educando compreenda a causa dessas incertezas, procurando assimilar o raciocínio do aluno por meio de questionamentos sobre o procedimento empregado. Com isto posto, concebem-se aportes para que o próprio aprendiz compreenda o seu erro e/ou que o docente retifique os conceitos desajustados (OLIVEIRA, 2010).

Diante do exposto, é inegável a importância dos métodos volumétricos para o aprendizado de Química. Paiva (1984) afirma que o método é a união de regras e normas predefinidas que visam elucidar o ensino. É por meio deste que há uma direção para conseguir um propósito instituído. Ademais, Skoog *et al.* (2005) ressalta o uso de técnicas de química analítica não somente para as outras áreas da química, como também é relevante para outras áreas de conhecimento. Desta forma, verifica-se a presença da análise química em laboratórios médicos, industriais, governamentais e acadêmicos, tornando-se uma ferramenta substancialmente interdisciplinar.

Em relação a aplicação do método titulométrico, vários exemplos podem ser descritos no qual ressaltam a importância dessa técnica para várias áreas de conhecimento: uso do método da titulação para determinar a taxa de respiração de sementes de soja (CRISPIM *et al.*, 1994), emprego da titulação potenciométrica para avaliar o comportamento eletroquímico de solos (BOFF; PARAGUASSU, 1999) ou utilização de métodos titulométrico para a análise de alimentos, tais como para determinação da acidez em mel de abelha (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2005).

Aulas experimentais como essa são fundamentais para enaltecer o processo de ensino-aprendizagem de química em uma perspectiva da didática moderna, onde o docente torna-se somente o orientador, um organizador de eventos de ensino (PIMENTA; ANASTASIOU, 2005) e o aluno é o sujeito principal de desenvolvimento do próprio conhecimento ao participar da colaboração, detecção dos conteúdos a ele apresentados, análise, localização, busca e interação entre novas e antigas informações além do redirecionamento de conclusões (RODRIGUES; MOURA; TESTA, 2011).

#### 4 Conclusão

A volumetria ácido-base apesar de ser uma técnica bastante simples, a mesma requer que a pessoa que a realize possua uma boa experiência laboratorial, além de, um bom conhecimento teórico para que os resultados obtidos na técnica sejam os mais confiáveis possíveis.

Mesmo não havendo diferença estatística entre o método clássico e o potenciométrico, a experiência do analista mostra-se clara neste estudo a partir do desvio padrão e intervalo de confiança serem maiores nas titulações feitas por estudantes de Bacharelado Interdisciplinar em Ciências Agrárias, revelando que os erros aleatórios são minimizados por estudantes com

conhecimentos teórico-práticos mais aprimorados.

Durante a graduação o tempo das aulas é curto e as técnicas experimentais, muitas vezes pré-prontas acabam fazendo com que os discentes apenas as repitam, seguindo procedimentos pré-estabelecidos, sem serem capazes muitas vezes de assimilar o que realmente está ocorrendo no processo.

Além do desenvolvimento psicomotor e cognitivo do graduando para obter confiabilidade nos resultados experimentais e aprender de maneira significativa, eleva-se o grande valor do ensino de técnicas analíticas para a formação de profissionais das Ciências Agrárias (Agronomia, Zootecnia, Biotecnologia, Engenharia Florestal, etc.) mais bem capacitados para o mercado, já que as aplicações destes procedimentos laboratoriais são abrangentes.

#### Referências

- AFFONSO, A. *Experiências de Química*. São Paulo: Didática Irradiante, 1970.
- ALMEIDA, D.C.M.N.; JESUS, C.D. *Teoria x prática no ensino de ciências: uma união fundamental no processo ensino-aprendizagem*. In: FÓRUM INTERNACIONAL DE PEDAGOGIA, Vitória da Conquista, Brasil. 2013.
- ANDRADE, J.C. Química Analítica Básica: volumetria de neutralização - conceitos e curvas de titulação. *Rev. Chemkeys*, v.2, e020002, 2020. doi: 10.20396/chemkeys.v2i.13737
- BACCAN, N. *et al. Química Analítica Quantitativa Elementar*. Campinas: Blucher, 2001.
- BAZIN, M. Three years of living science in Rio de Janeiro: learning from experience. *Scie. Literacy Papers*, p.67-74, 1987.
- BOFF, F.E.; PARAGUASSU, A.B. Aplicação da titulação potenciométrica na avaliação das possibilidades de uso de solos lateríticos como liners. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL, 1999, São José dos Campos. REGEO'99. *Anais*. São José dos Campos: Planalto, 1999, v.1, p.362-366.
- BORGES, A.T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. *Cad. Bras. Ensino Fis.*, v.19, p.291-313, 2002.
- CARR, J. D.; HAGE, D. *Química analítica e análise quantitativa*. Rio de Janeiro: Pearson, 2011.
- CRISPIM, J. E. *et al.* Determinação da taxa de respiração em sementes de soja pelo método da titulação. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.29, p.1517-1521, 1994.
- CUDMANI, L.C.; SANDOVAL, J.S. Modelo físico e realidade. Importância epistemológica de sua adequação quantitativa. Implicações para a aprendizagem. *Cad. Catarinense de Ensino Fis.*, v.8, p.193-204, 1991.
- FREIRE, P. *Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa*, São Paulo: Paz e Terra, 1996.
- GOMES, P.W.P. A experimentação como instrumento para o ensino de titulometria para uma turma de graduandos em licenciatura em Química. *Scie. Plena*. v.12, n.6, 069911, 2016. doi: 10.14808/sci.plena.2016.069911
- 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. *Quím. Nova*, v.35, n.8, p.1673-1679, 2012.
- HARRIS, D. C. *Análise química quantitativa*. Rio de Janeiro:

LTC, 2013.

HODSON, D. Studies in Science Education, *Philosophy of Science, Science and Science Education*. v.12, p.25-57, 1985.

HUET, I. et al. New Challenges in Teaching Introductory Programming Courses: a Case Study. *Papers of 34th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*, Savannah, Geórgia, 2004.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. *Métodos físico-químicos para análise de alimentos*. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2005.

LÔBO, S.F. O trabalho experimental no ensino de química. *Química Nova*, v.35, p.430-434, 2012.

OLIVEIRA, J.R.S. Contribuições e abordagens das atividades experimentais no ensino de ciências: reunindo elementos para a prática docente. *Acta Scie.*, v.12, p.139-156, 2010.

OSAWA, C.C.; GONÇALVES, L.A.G. Titulação potenciométrica aplicada na determinação de ácidos graxos livres de óleos e gorduras comestíveis. *Quím. Nova*, v.29, n.3, p.593-599, 2006. doi: 10.1590/S0100-40422006000300031

PAIVA, V. *Perspectivas e dilemas da educação popular*. Rio de Janeiro: Graal, 1984.

PIMENTA, S.G.; ANASTASIOU, L.G.C. *Docência no Ensino Superior*. São Paulo: Cortez, 2005.

PRAIA, P.; CACHAPUZ, A.; GIL-PÉREZ, D. A Hipótese e a experiência científica em educação em ciência: contributos para uma reorientação epistemológica. *Ciênc. Educ.*, v.8, p.253-262,

2002. doi:10.1590/S1516-73132002000200009

RIBANI, M. et al. Validação em métodos cromatográficos e eletroforéticos. *Quím. Nova*, v.27, p.771-780, 2004.

RODRIGUES, P. L.; MOURA, L. S.; TESTA, E. O tradicional e moderno quanto à didática no ensino superior. *Rev. Cient. ITPAC*, v.4, n.3, Pub. 5, 2011.

SATO, M.S. *A aula de laboratório no ensino superior de química*. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2011.

SILVA, A.M.; MARTINS JÚNIOR, F.R.F. *Prática x teoria: o ensino de química no ensino médio através de práticas investigativas*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO QUÍMICA, 2009, Salvador.

SKOOG, D. A. et al. *Fundamentos de Química Analítica*. São Paulo: Thomson, 2005.

SOLOMONS, T.W.G.; FRYHLE, C.B. *Química Orgânica*. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

TAUBE JÚNIOR, P.S.; CASTRO, K.C.F.; BARATA, L.E.S. *Experimentos de Química*, Santarém: UFOPA, 2014.

TERRA, J.; ROSSI, A.V. Sobre o desenvolvimento da análise volumétrica e algumas aplicações atuais. *Quím. Nova*, v.28, n.1, p.166-171, 2005.

VOGEL, A. I. *Análise química quantitativa*. Rio de Janeiro: LTC, 2002.