

Software para Simulação de Titulações Potenciométricas

Roberto C. da S. PADILHA¹, Tiago FAVERO², Miroel FLESSAK JUNIOR³, Edílson FERREIRA⁴, Beatriz T. BORSOI⁵

^{1,2,3,4,5}Coordenação de Informática, grupo de pesquisa GETIC, Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Pato Branco, Paraná, 85501-970, Brasil

RESUMO

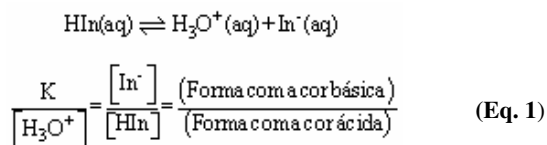
Uma titulação em química tem o objetivo de determinar a concentração de uma espécie química de concentração desconhecida por um procedimento analítico quantitativo. Esse trabalho tem o objetivo de apresentar o desenvolvimento de um sistema de software que permite obter o resultado de uma titulação, simulando um experimento em laboratório.

Palavras-chave: titulação, software, simulação com software, análise volumétrica.

1. INTRODUÇÃO

A análise volumétrica, também denominada volumetria, análise titrimétrica ou apenas titulação, consiste de um conjunto de procedimentos analíticos quantitativos, baseados na reação entre uma espécie com concentração conhecida (titulante) e outra desconhecida (titulado ou analito), por adições sucessivas do primeiro no segundo, usando uma bureta. O final da titulação é caracterizado pela reação estequiométrica entre o titulante e o titulado, atingido o ponto de equivalência (Pe) [1], [2], [3], [4], [5].

Existem dois métodos de análise volumétrica: o clássico e o instrumental [6]. No primeiro, emprega-se um indicador, um ácido fraco de Brønsted, que apresenta cores distintas de acordo com a faixa de pH do meio [1], [2], de acordo com a Eq. 1.



No método clássico ocorrem dois erros. O primeiro é a escolha do indicador, cuja faixa de viragem deve conter ou estar muito próxima do valor do pH no ponto de equivalência. O segundo, é a limitação da capacidade do olho humano de perceber com clareza o momento da transição de cor do indicador que ocorre quando $[\text{HIn}] = 10 [\text{In}^-]$ [3].

O método instrumental utiliza equipamentos (sensores ou eletrodos) que medem uma determinada propriedade química.

Uma mudança brusca nesta propriedade indica o final da titulação. A titulação potenciométrica, um dos métodos instrumentais mais usados, é realizada pela medida da mudança da força eletromotriz (fem) da célula durante a titulação. A partir dos resultados obtidos são construídos gráficos para encontrar o ponto de equivalência da reação e por fim determinar concentração do analito [5], [6], [7].

Os métodos instrumentais apresentam uma série de vantagens em relação aos métodos clássicos como: maior sensibilidade, aplicações em soluções bem diluídas, coloridas ou turvas; maior seletividade; aplicação em certas reações que não disponham de indicadores visuais adequados; determinação sucessiva de vários componentes na mesma amostra; pode ser aplicada em soluções não aquosas; possui a possibilidade de adaptação a instrumentos automáticos.

Estima-se atualmente que 17% dos métodos oficiais de análise química são volumétricos [5]. Estes são aplicáveis nas indústrias alimentícia, farmacêutica e fertilizantes, em laboratórios de pesquisa, dentre outros [5], [8].

Atualmente, ferramentas como planilhas de cálculo eletrônicas são usadas para facilitar a obtenção de gráficos para a aplicação da técnica potenciométrica de titulação. Sem o uso destes recursos, cálculos exaustivos e gasto de tempo são inevitáveis, muitas vezes limitando ou até inviabilizando o uso dessa técnica instrumental [9], [10].

Considerando a importância e a necessidade de desenvolver sistemas de software para facilitar e agilizar a realização de titulações, este trabalho tem o objetivo de apresentar um sistema de software desenvolvido com a finalidade aumentar a rapidez e a eficiência na realização de titulações potenciométricas. Este texto está organizado em seções, das quais esta é a primeira e apresenta a pesquisa. A Seção 2 contém o referencial teórico. Na Seção 3 estão materiais e métodos utilizados. Na Seção 4 está o sistema desenvolvido e os resultados obtidos com o mesmo. O trabalho é finalizado com a conclusão, na Seção 5.

2. CURVAS DE TITULAÇÃO

Uma titulação é caracterizada pelo tipo de reação química envolvida. Assim, é possível ter titulações de oxirredução, precipitação, complexação ou neutralização [11]. A volumetria de neutralização é baseada na reação entre ácido e base exposta

na Eq. 2.



Nessa equação, HA é o ácido e BOH a base (forte ou fraca) [12]. A localização do Pe depende do tipo de ácido e de base empregado e o produto formado sofrerá hidrólise [13].

Em uma amostra de ácido qualquer 'a' e o titulante uma base 'b' (Eq. 3), o número de mols do ácido (n_a) e da base (n_b) são representados por Eq. 3.1. Para calcular a quantidade em mol de ácido presente na amostra antes de iniciar a adição de titulante é usada a Eq. 3.2. A medida que titulante é adicionado os mols estequiométrico de ácido diminuem (Eq. 3.3) e o volume da solução final após a adição do titulante é dado por $V_a + V_b$, volume de ácido e de base respectivamente. A concentração do titulado é dada pela equação Eq. 3.4 [1], [14].

$$n_a = M_a \cdot V_a \quad n_b = M_b \cdot V_b \quad (1) \quad (\text{Eq. 3.1})$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{n_a}{V} \quad (2) \quad (\text{Eq. 3.2})$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{(M_a \cdot V_a) - (M_b \cdot V_b)}{V_a + V_b} \quad (3) \quad (\text{Eq. 3.3})$$

$$M_a \cdot V_a = M_b \cdot V_b \quad (4) \quad (\text{Eq. 3.4})$$

Por meio do método clássico, volumes de base podem ser adicionados através da Eq. 3.3 e estima-se o valor do pH da solução resultante ($\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$). No método instrumental usa-se um equipamento para obtenção dos dados (pH ou mV). Com esses valores constrói-se um gráfico do pH ou mV x V(ml), para então localizar o ponto de equivalência [14], [15].

Como alguns gráficos não apresentam uma definição adequada no Pe, são utilizadas operações matemáticas diferenciais para auxiliar na determinação do volume gasto do titulante (V_b) no ponto final da titulação. Pode-se obter gráficos da primeira derivada (dE/dV versus V_m (volume médio), onde Pe é o valor localizado no máximo ou mínimo da curva. O gráfico da segunda derivada (d^2E/dV^2 versus V), onde Pe é o ponto de interseção entre as abscissas e a curva. Por fim, é possível linearizar o gráfico de titulação usando o método de Gunnar Gran ($1/V \cdot dV/dpH$ versus V_m) [6], [16], [17], [18], [19].

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais estão relacionados aos experimentos químicos realizados e às ferramentas e tecnologias utilizadas para desenvolver o sistema de software. O método abrange as análises químicas realizadas, o projeto e a implementação do software, e os testes realizados com o software proposto.

Assim, inicialmente, foram realizados experimentos em laboratório para compreensão do processo de titulação, na sequência o software foi desenvolvido, por fim dados obtidos com o software foram confrontados com dados obtidos em laboratório e analisados para validação do software.

3.1 Materiais

As titulações potenciométricas para HCl, vinagre e refrigerante de cola foram realizadas conforme materiais e procedimentos descritos em Godinho [19].

Para o desenvolvimento do software foi utilizada a linguagem C#. Um problema identificado em linguagens de programação analisadas é a precisão de alguns cálculos devido ao modo como

o processador utiliza valores com ponto flutuante. Na linguagem C# foi possível contornar esse problema utilizando um dos seus tipos primitivos de dados. Além do tratamento adequado ao problema de precisão, a escolha da linguagem C# decorre das várias APIs disponíveis. Uma delas é a Microsoft Chart que permite criar gráficos altamente personalizáveis. Como ambiente de desenvolvimento para essa linguagem foi utilizado o Microsoft Visual Studio, que possui ampla documentação e diversos componentes disponíveis.

3.2 Método

O método baseou-se em três grandes etapas, cada uma empregando procedimentos e métodos específicos: a) experimentos em laboratório para compreender o processo de titulação; b) projeto e implementação do sistema; c) testes com o sistema desenvolvido e análise com resultados de laboratório.

a) Experimentos de titulações potenciométricas – utilizados para compreender o processo. Para esses experimentos, o objetivo era entender as diversas formas gráficas aplicadas à titulação potenciométrica para encontrar um dado valor de resposta em uma amostra. Os analitos usados foram ácidos forte (HCl e H_3PO_4) e fraco (CH_3COOH), os dois últimos de concentração desconhecida. Para o HCl foi utilizada uma solução 0,0125 M.

Para aquisição dos dados experimentais foi utilizado o aparelho medidor de pH Micronal modelo B474 com eletrodo Ag/AgCl em todas as titulações. A solução titulante usada, em todos os procedimentos (NaOH 0,1 M) apresentava fator de correção 1,015. Todos os procedimentos foram realizados em triplicata.

b) Análise e desenvolvimento do sistema - a análise, o projeto e o desenvolvimento do sistema basearam-se na metodologia de Pressman [20]. Analisando a forma como ocorre o processo de titulação em um laboratório de química, foram identificadas as seguintes funcionalidades para o software:

- Possuir interface de entrada das medições das soluções simples e de uso fácil;
- Possibilitar alteração e/ou eliminação dos valores das medições utilizadas na análise, de forma a permitir acompanhamento e comparação do comportamento dos resultados obtidos a partir destas alterações;
- Produzir resultados gráficos que mostrem, além da Curva de Titulação da solução, o cálculo da primeira e da segunda derivadas e o gráfico de Gran;
- Indicar, como resultado do processo, a concentração do titulante, o volume produzido da solução após o processo ou a concentração da solução.
- Indicar o volume de solução no ponto de equivalência da reação;
- Possibilitar o emprego de fatores de correção e diluição como forma de corrigir imperfeições e/ou imprecisões das medições de laboratório;
- Possibilitar a visualização dos cálculos utilizados na obtenção dos resultados;
- Possibilitar a exportação dos gráficos produzidos com flexibilidade de formato e de resolução da imagem;
- Permitir o armazenamento em meio persistente dos dados dos experimentos;
- Permitir a comparação de resultados de experimentos.

Para o gráfico da curva de pH x v(mL) foram utilizados valores da propriedade medida (pH ou mV) e do volume do titulante adicionado. Este gráfico não necessitou de cálculos para ser produzido.

No gráfico da primeira derivada foi utilizada a derivada da

relação entre a propriedade medida (pH ou mV) e o volume do titulante *versus* o volume médio do titulante (mL). Para o gráfico da segunda derivada foram utilizados os valores de uma segunda derivação da primeira derivada *versus* o volume do titulante (mL). Para o gráfico de Gran foi utilizado o valor da fórmula de Gran pelo volume médio do titulante.

Na produção do resultado final (concentração da solução, concentração do titulante ou volume produzido de solução) foi utilizada a equação da reta (Gran), a partir dos dados obtidos no gráfico da segunda derivada, da seguinte maneira:

- Identificação do ponto imediatamente anterior e do ponto imediatamente posterior à viragem e a partir deles traçar uma reta. A partir da equação geral da reta, obter o ponto de equivalência da solução, que é o ponto em que a curva intercepta o eixo x no gráfico.
- Durante os testes dos cálculos, verificou-se que as medidas produzidas em laboratório geram interferências, gerando pequenos pontos de viragem não significativos no gráfico. Assim, para efeitos de cálculo no sistema, é necessário identificar sempre a última viragem produzida no gráfico.

- Obtenção da equação da reta por fórmulas genéricas do coeficiente linear e angular entre os dois pontos destacados do gráfico conforme a fórmula do coeficiente angular (Eq. 4):

$$m = \{ [\sum (x) * \sum (y)] - [n * \sum (x*y)] \} / \{ [\sum (x)^2] - n[\sum (x^2)] \} \text{ (Eq. 4)}$$

Onde: coeficiente angular (m), valor no eixo x de cada ponto (x), valor no eixo y de cada ponto (y), quantidade de pontos (n).

e a fórmula do coeficiente linear (Eq. 5):

$$b = \{ [\sum (x*y) * \sum (x)] - [\sum (y) * \sum (x^2)] \} / \{ [\sum (x)^2] - [n * \sum (x^2)] \} \text{ (Eq. 5)}$$

Onde: coeficiente linear (b), valor no eixo x de cada ponto (x), valor no eixo y de cada ponto (y), quantidade de pontos (n).

- Com os valores dos coeficientes linear e angular da reta que interceptam os pontos destacados no gráfico, é possível aplicar a equação da reta (Eq. 6)

$$y = mx + b \text{ (Eq. 6)}$$

- Como o objetivo é obter o volume gasto do titulante no ponto de equivalência, em que a curva do gráfico intercepta o eixo x, tem-se $y = 0$, ou seja, $x = (-b)/m$. O ponto de equilíbrio corresponde ao volume consumido de titulante para atingir o equilíbrio da titulação.

- Para obter o produto final é utilizada como partida a seguinte equação (Eq. 7):

$$p = [(t*V_t) / V_p] * F_c * F_d \text{ (Eq. 7)}$$

Onde: concentração da solução (p), concentração do titulante (t), volume do titulante (V_t), volume da solução (V_p), fator de correção (F_c) e fator de diluição (F_d).

- Assim, isolando-se a variável a ser obtida, é possível, tendo-se os demais dados informados pelo usuário, obter o resultado desejado.

c) Testes do software proposto - para testar o software os experimentos realizados na primeira etapa do método foram repetidos utilizando o sistema proposto. A partir dos resultados inseridos no software foram gerados gráficos pH x v (mL), o gráfico da primeira e segunda derivada e linearização de Gran ([16], [17], [18]) no intuito de determinar o ponto de equivalência para calcular a concentração dos ácidos nos experimentos e comparar com o valor real da concentração.

4. RESULTADOS

A Figura 1 apresenta a tela principal do sistema de software desenvolvido como objeto desse trabalho.

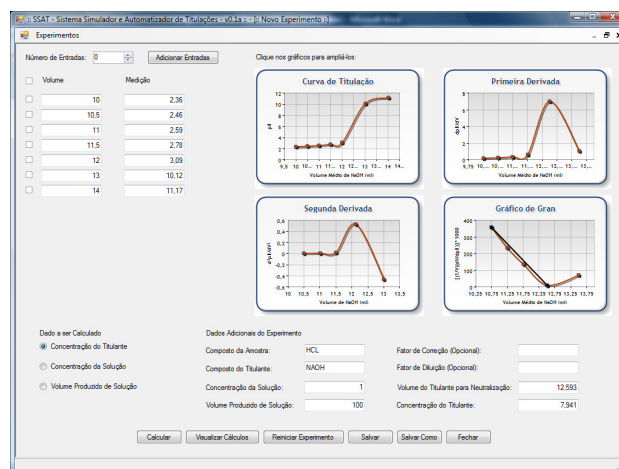


Figura 1 – Tela principal do sistema de software

O sistema foi desenvolvido com uma interface simples e objetiva. Uma única tela possibilita a entrada dos dados utilizados para o cálculo, além da seleção do resultado gerado e da entrada dos valores das demais variáveis associadas. Nesta mesma tela são apresentados os gráficos em tamanho reduzido e os resultados obtidos. Clicando sobre os gráficos, eles são maximizados e podem ser exportados em diferentes formatos.

O sistema permite, ainda, ao usuário fazer um comparativo entre experimentos salvos e é visualizada a sobreposição dos gráficos da curva de titulação, da primeira e da segunda derivadas, além de ser traçada uma média entre o volume produzido de solução, concentração do titulante, concentração da solução e fatores de correção e diluição.

Os gráficos gerados podem ser exportados em sete formatos diferentes: jpeg, bmp, png, gif, emf, tiff e wmf. Essa exportação é facilitada pelas propriedades do componente Microsoft Chart. O tamanho da imagem e se ela será colorida ou monocromática também são configuráveis.

Os dados apresentados nesta seção são aos obtidos com o sistema desenvolvido. Foram realizados três experimentos, em triplicate para analisar o software: a) Teste 1, com ácido forte por base forte; b) Teste 2, de teor de ácido acético no vinagre; c) Teste 3, de teor de ácido ortofosfórico em refrigerante de cola.

Com a realização do teste 1, com os dados do volume de titulante adicionado e as medições do pH da solução foi composta a Tabela 1 que permite a construção de gráficos diferenciais para localização do ponto de equivalência.

Tabela 1 - Dados de titulação potenciométrica de HCl 0,0125 mol/L com NaOH 0,1 mol/L

V (mL)	dV	V _m	pH	dpH	dpH/dV	d²pH/dV²	1/V.dV/dpH
10,00			2,36				
	0,50	10,25		0,10	0,20		4,88
10,50			2,46			0,06	
	0,50	10,75		0,13	0,26		3,58
11,00			2,59			0,12	

V (mL)	dV	V _m	pH	dpH	dpH/dV	d ² pH/dV ²	1/V · dV/dpH
	0,50	11,25		0,19	0,38		2,34
11,50			2,78			0,24	
	0,50	11,75		0,31	0,62		1,37
12,00			3,09			6,41	
	1,00	12,50		7,03	7,03		0,11
13,00			10,12			-5,98	
	1,00	13,50		1,05	1,05		0,71
14,00			11,17				

A Figura 2 apresenta um gráfico de pH *versus* volume médio de titulante. Como se trata da reação entre um ácido e uma base fortes é esperado que o ponto final da titulação seja atingido nas vizinhanças de pH = 7,0 e com uma mudança brusca da propriedade, permitindo uma clara visualização. Para confirmar isso foi feito o gráfico da primeira derivada (Figura 3) onde foi possível determinar o volume gasto traçando uma reta oblíqua às abscissas que vai do ponto de pico máximo até cortar o eixo das abscissas do plano cartesiano.

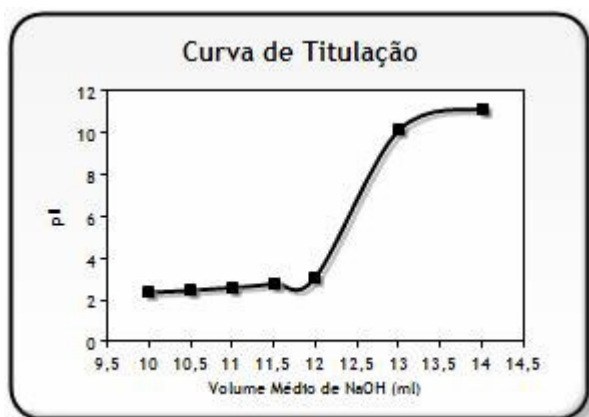


Figura 2 – pH x volume do titulante - teste 1

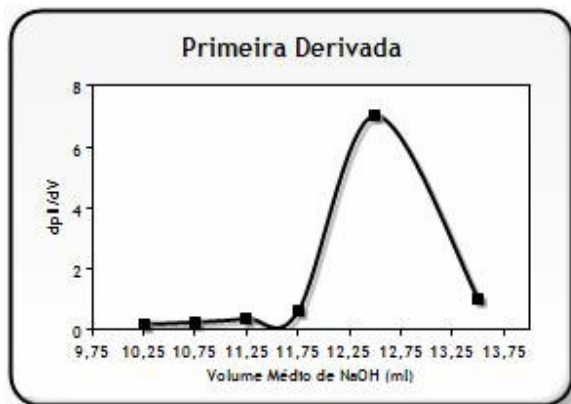


Figura 3 – Primeira derivada - teste 1

Outra forma de localizar o ponto de equivalência e o volume gasto é por meio da segunda derivada (Figura 4), em que existe uma reta que intercepta o eixo das abscissas e vai do ponto mínimo ao ponto máximo do gráfico no plano.

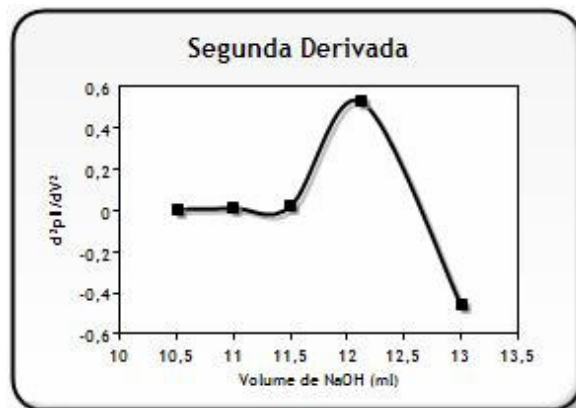


Figura 4 – Segunda derivada

E por último é feita a linearização do inverso da primeira derivada (método de Gran). O volume gasto corresponde ao ponto do eixo x no qual passa uma reta oblíqua ao eixo e intercepta o ponto mínimo da inflexão da curva (Figura 5).

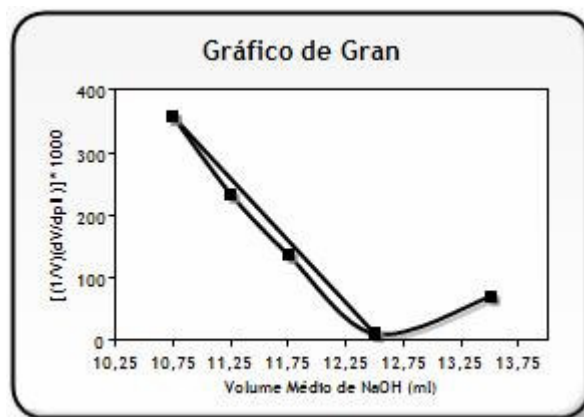
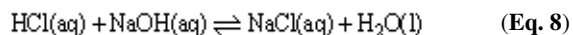


Figura 5 – Gráfico de Gran – teste 1

Seja qual for o gráfico escolhido para determinar o ponto de equivalência, o resultado deverá ser o mesmo. Nas Figuras 2 a 5, esse resultado corresponde a 12,593 mL gastos de NaOH. A reação entre o ácido e a base pode ser representada pela Eq. 8.



Sendo determinado pelos gráficos o volume de NaOH para atingir o ponto de equivalência, e sabendo que a reação entre HCl e NaOH é 1:1 mol pode-se calcular a concentração da amostra (M_{amostra}) pela equação 9.

$$M_{\text{amostra}} \cdot V_{\text{amostra}} = M_{\text{titulante}} \cdot V_{\text{titulante}} \cdot Fc$$

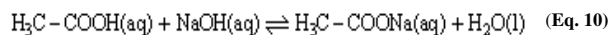
$$M_{\text{amostra}} = \frac{M_{\text{titulante}} \cdot V_{\text{titulante}} \cdot Fc}{V_{\text{amostra}}}$$

$$M_{\text{amostra}} = \frac{0,1 \text{ mol/L} \cdot 12,593 \text{ mL} \cdot 1,015}{100 \text{ mL}} = 0,0128 \text{ mol/L} \quad (\text{Eq. 9})$$

O resultado 0,0128 mol/L indica um erro percentual de $\pm 2,4\%$ do valor real indicado na Seção 3.2 para o HCl, mostrando a precisão do método potenciométrico de análise e do método gráfico na determinação do ponto de equivalência que são obtidos por meio do sistema proposto por este trabalho.

Para o teste 2, vinagre comercial foi utilizado como amostra. Esse vinagre possui ácido acético. A reação de neutralização de

ácido fraco por base forte nesse caso está na proporção de 1:1, o que é mostrado na equação 10.



O ácido acético apresenta forte resistência a mudar seu pH pela adição do NaOH (efeito tampão), pois sua ionização é apenas parcial devido a sua constante de ionização ser pequena ($K_a=1,8 \cdot 10^{-5}$). Logo o ponto de equivalência se dará em meio básico (Figura 6).

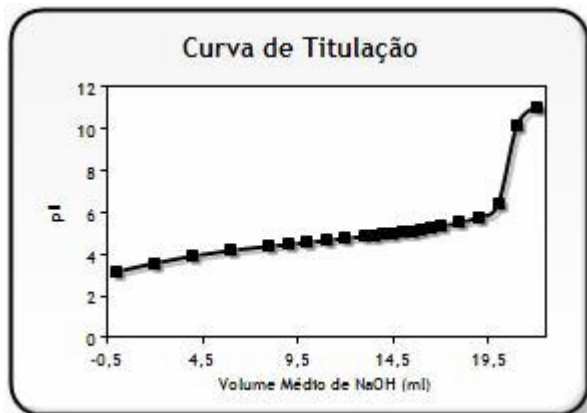


Figura 6 – Curva de titulação clássica – teste 2

Analogamente ao experimento anterior é possível fazer uma tabela e construir os gráficos necessários para determinação do volume gasto no PE. Optou-se pelo gráfico da segunda derivada por cruzar o eixo das abscissas (Figura 7).

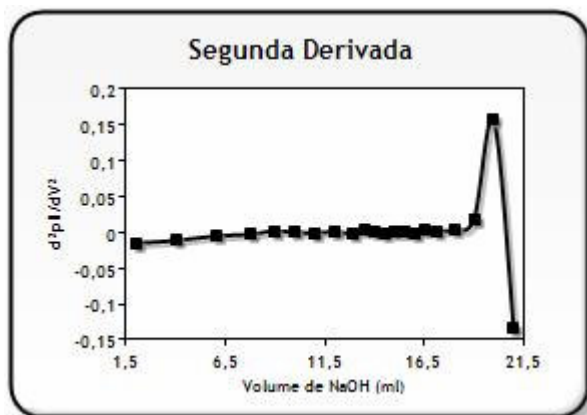


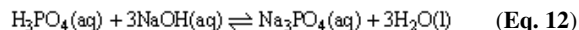
Figura 7 – Segunda derivada – teste 2

O volume de base gasto nesse caso é 16,032 mL, e com isso é possível calcular a concentração em mol/L do ácido presente na amostra representada na Eq. 11.

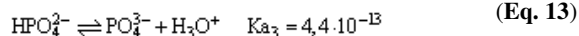
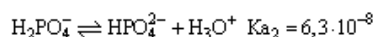
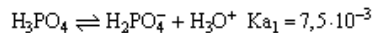
$$M_{\text{amostra}} = \frac{0,1 \text{ mol/L} \cdot 16,032 \text{ mL} \cdot 1,015}{100 \text{ mL}} = 0,0162 \text{ mol/L} \quad (\text{Eq. 11})$$

Considerando que foi efetuada uma diluição do vinagre para análise e que o valor procurado é o percentual de ácido acético v/v, deve-se calcular o valor a partir dos dados: densidade do ácido acético 99,8% = 1,053 g/mL, e o conteúdo total da embalagem 750 mL. Tratando-se cuidadosamente dos valores obteve-se o teor de ácido acético 4,63% v/v.

Para o teste 3, com refrigerante de cola, a equação global do processo de análise do ácido ortofosfórico pode ser descrito pela reação (Eq. 12):



Por essa equação verifica-se que 3 mols da base estão para um mol de ácido, isso porque o ácido ortofosfórico possui 3 hidrogênios ionizáveis, conforme explicitado na Eq. 13:



Na Figura 8 é possível verificar que há duas variações abruptas de pH em determinadas adições de titulante. Tais variações correspondem a viragem do primeiro e do segundo hidrogênio do ácido ortofosfórico. É possível, também, observar que o primeiro hidrogênio é neutralizado em pH ácido e o segundo em pH básico.

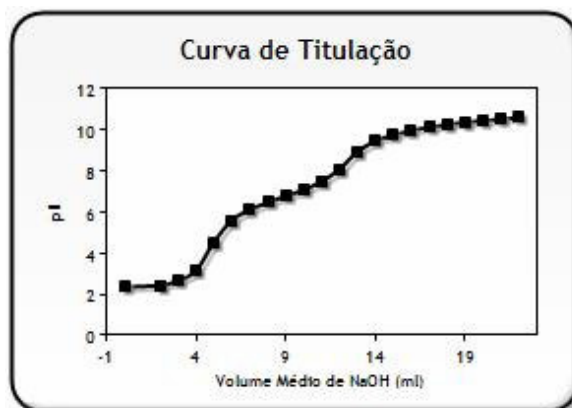


Figura 8 – Curva de titulação clássica – teste 3

Era previsível o surgimento de três pontos de equivalência, o que não ocorre devido à baixa constante de ionização K_{a3} . Analogamente ao experimento 1 é possível compor uma tabela e representar os resultados graficamente para obtenção do volume gasto de titulante no ponto de equivalência fazendo o gráfico da 1ª derivada (Figura 9).

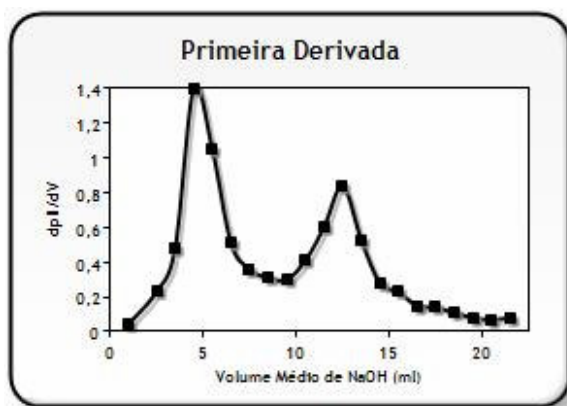


Figura 9 – Primeira derivada – teste 3

A Figura 9 indica que o volume gasto de titulante correspondente a 11,5 mL. Assim, a concentração de ácido ortofosfórico no refrigerante é igual a 0,0042 mol/L ou 0,41 g/L.

Como discussão dos resultados apresentados nesta seção tem-se que:

- No teste com titulação de ácido forte com base forte, o método instrumental foi de grande valia para validar os

resultados, pois a solução possui alta variação de pH com pequenos volumes de titulante.

- Na teste de titulação para determinar o teor de ácido acético no vinagre a análise é facilitada pelo método potenciométrico principalmente pelo fato deste ácido possuir a tendência de formar tampão. No caso do método potenciométrico foram utilizadas a 1ª e a 2ª derivadas, não gerando problemas de gráficos com curvas sem ponto de equilíbrio bem definido.
- Na titulação do refrigerante de cola foi verificada mais uma aplicação para a titulação potenciométrica em que a técnica clássica possui vários inconvenientes. E, nesse caso o software desenvolvido apresentou uso bem adequado.

5. CONCLUSÃO

O método potenciométrico gráfico possui uma precisão maior que o método clássico (com indicador) de titulação, pois com a plotagem gráfica dos dados obtém-se a primeira derivada ou a segunda derivada para a experiência e um ponto de equivalência bem definido.

As simulações realizadas pelo sistema de software desenvolvido neste trabalho permitiam obter os mesmos resultados que os experimentos em laboratório. Assim, em princípio, esse sistema pode ser utilizado para substituir testes laboratoriais de titulação. Outros testes são necessários e serão realizados para que esse sistema de software exposto neste trabalho possa ser considerado aplicável na substituição de uma análise química em laboratório. Contudo, esse é um primeiro passo para uso de um sistema de software para realizar titulações químicas, seja para a indústria ou para fins didáticos de ensino.

6. REFERÊNCIAS

- [1] N. BACCAN, et al., Química Analítica Quantitativa Elementar, 3. ed., São Paulo: Edgard Blucher, 2001.
- [2] D.C. HARRIS, Química Analítica Quantitativa, 5. ed., Rio de Janeiro: LTC, 2001.
- [3] D.A. SKOOG, et al., Fundamentos de Química Analítica, 8. ed. Cidade do México: Thomson, 2005.
- [4] A. VOGEL, Análise Química Quantitativa, 5. ed., Rio de Janeiro: LTC, 1992.
- [5] A.V. ROSSI, J. TERRA, “Sobre o Desenvolvimento da análise Volumétrica e Algumas Aplicações Atuais”, Química Nova, Vol.28, No.1, 2005, pp.166-171.
- [6] F. CIENFUEGOS, Análise Instrumental, Rio de Janeiro: Interciência, 2000.
- [7] J. WANG, Analytical Electrochemistry, 3. ed. New Jersey: Wiley Interscience, 2006.
- [8] G.W. EWING, Métodos Instrumentais de Análise Química. São Paulo: Edgard Blucher, 1990.
- [9] A.F. OLIVEIRA, “Titger - uma Planilha Eletrônica para Simulação de Titulação de Mistura de Compostos Polipróticos”, Química Nova, Vol.30, No.1, 2007, pp.166-171.
- [10] I.G.R. GUTZ, CurtiPot para Excel, disponível em: <http://allchemy.iq.usp.br/>, acesso em: 20/04/2009.
- [12] UFPA, Titulação Potenciométrica: Ácido Forte/ Base Forte

e Ácido Fraco/Base Forte, disponível em: <http://www.ufpa.br/ccen/quimica/potenciometria.htm>, acesso em: 23/11/2008.

- [13] M.G. CONSTANTINO, Fundamentos de Química Experimental, São Paulo: Edusp, 2004.
- [14] D. HARVEY, Modern Analytical Chemistry, New York: McGraw-Hill, 2000.
- [15] N.N. GOLOVNEV, O.S. ROMANOVA, N.V. BUSYGINA, “Potentiometric Determination of Weak Bases by Titration to a Fixed pH Value”, Journal of Analytical Chemistry. Vol. 55, No.5, 2000. pp. 457-460.
- [16] M.F. CAMÕES, C. FERREIRA, “Métodos de Representação Gráfica para Curvas de Gran – Linearização de Curvas de Titulação”, Química Nova, out. 1985. pp. 332-340.
- [17] C. PASQUINI, et. al., “Gran Method for End Point Anticipation in Monosegmented Flow Titration”, Jornal Brazilian Chemical Society, Vol. 15, No. 1, 2004. p. 111-115.
- [18] L.A. DEBONI, Volumetria de Neutralização, disponível em: <http://www.deboni.he.com.br/tq/analitica/neutra.htm>, acesso em: 26/11/2008.
- [19] M.I.C.C. GODINHO, Análise Instrumental II, Lisboa: Instituto de Engenharia de Lisboa, 2004.
- [20] R.S. PRESSMAN, Engenharia de software, 5ª ed., Rio Janeiro: McGraw-Hill, 2002.