



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE EDUCAÇÃO E SAÚDE – CES
UNIDADE ACADÊMICA DE SAÚDE – UAS
CURSO DE BACHARELADO EM FARMÁCIA**

**DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ÁCIDO FOSFÓRICO EM
REFRIGERANTES COLA**

KALINNE D'AVILA APOLINARIO DE MORAES

CUITÉ – PB

2015

KALINNE D'AVILA APOLINARIO DE MORAES

**DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ÁCIDO FOSFÓRICO EM
REFRIGERANTES COLA**

Monografia apresentada ao Curso de Farmácia da Universidade Federal de Campina Grande, como forma de obtenção do Grau de Bacharel em Farmácia.

Orientador: Prof. Dr. Wellington Sabino Adriano

CUITÉ – PB

2015

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA NA FONTE
Responsabilidade Msc. Jesiel Ferreira Gomes – CRB 15 – 258

M827d Moraes, Kalinne D'avila Apolinario de.

Determinação do teor de ácido fosfórico em refrigerantes cola. / Kalinne D'avila Apolinario de Moraes. – Cuité: CES, 2015.

54 fl.

Monografia (Curso de Graduação em Farmácia) – Centro de Educação e Saúde / UFCG, 2015.

Orientador: Dr. Wellington Sabino Adriano.

1. Refrigerantes cola. 2. Ácido fosfórico. 3. Potenciometria.
I. Título.

CDU 663

KALINNE D'AVILA APOLINARIO DE MORAES

Monografia apresentada ao Curso de Farmácia da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), para obtenção do grau de Bacharel em Farmácia.

Aprovada em ___/___/___

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Wellington Sabino Adriano (Orientador)

Prof.. Dr. Carlos Márcio Moura Ponce de Leon

Prof. Dr. Wylly Araújo de Oliveira

MENSAGEM

“Aquele que habita no esconderijo do altíssimo, à sombra do onipotente descansará. Direi ao Senhor ele é meu Deus em quem confio, a minha fortaleza, e nele confiarei.”

Salmos 91:1

DEDICÁTORIA

Dedico a Deus e a minha família por ajudar nas dificuldades, dando força e por acreditar na minha capacidade de chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me dar sabedoria e força para que eu siga meus caminhos e enfrente todos os obstáculos.

Agradeço ao meu tio Antônio por me proporcionar financeiramente à possibilidade de estudar nesta instituição de ensino superior.

A minha mãe, tios e minha avó pelo apoio, pelas orações a mim dedicadas para que eu nunca desistisse dos meus sonhos.

A meus amigos pelas brincadeiras, confiança, ensinamentos, uma vez que nos tornamos uma família.

Ao prof. Dr. Wellington Adriano Sabino, meu orientador, por aceitar me orientar e pela ajuda dada para a realização deste trabalho.

Aos membros da banca examinadora pela disponibilidade em participar.

RESUMO

O refrigerante é uma das bebidas mais consumidas mundialmente, sendo comum desde a metade do século XIX, no qual eram encontrados em farmácias como xarope carbonatado. Pode ser definido como bebida não alcóolica, não fermentada, produzida com água, açúcar, suco natural ou extrato vegetal, corante, acidulante, antioxidante, aromatizante, conservante e gás carbônico. Os acidulantes são empregados com a função de regular a doçura do açúcar, realçar o paladar e baixar o pH da bebida, inibindo a proliferação de microorganismos. Portanto, este trabalho teve como objetivo determinar a concentração de ácido fosfórico presente em refrigerantes tipo cola por meio da titulação potenciométrica, uma vez que há estudos que indicam uma correlação entre o consumo de refrigerantes de cola com a baixa densidade óssea e danos severos à dentição. Esta titulação consiste em acompanhar os vários estágios e determinar o ponto final de um processo de titulação por intermédio da medida do pH. Com os resultados obtidos foi possível construir gráficos e determinar a concentração do ácido indicado, verificando que todas as amostras apresentaram-se dentro dos limites de aceitabilidade de acordo com a legislação da ANVISA RDC nº 05, de 15 de janeiro de 2007, não podendo se ter uma certeza com a correlação entre o consumo do refrigerante com a baixa densidade óssea e os danos à dentição, além dos ensaios demonstrarem uma uniformidade entre seus lotes de fabricação, o que as qualificam como produtos adequados para o consumo.

PALAVRAS – CHAVE: Refrigerantes cola, Ácido fosfórico, Potenciometria.

ABSTRACT

The refrigerant is one of the most consumed beverage worldwide and is common since the mid-nineteenth century, in which were found in pharmacies as carbonated syrup. Can be set to not drink alcoholic, unfermented, produced with water, sugar, natural juice or vegetable extract, dye, acidulant, antioxidant, flavoring, preservative and carbon dioxide. The acidulants are used with the function of regulating the sweetness of sugar, enhance flavor and lower the pH of the beverage by inhibiting the proliferation of microorganisms. Therefore, this study aimed to determine the concentration of phosphoric acid present in soft drinks colas by potentiometric titration, since there are studies that indicate a correlation between consumption of cola and low bone density and severe damage to teeth . This titration is to monitor the various stages and determine the end point of a titration process through the measurement of pH. With the results we build graphs and determine the concentration of the acid indicating that all samples were within the limits of acceptability according to ANVISA RDC law No. 05 of January 15, 2007 and can not get an certainly the correlation between soda consumption with low bone density and damage to teeth, in addition to the tests prove uniformity among its manufacturing batches, which qualify them as products suitable for consumption.

KEYWORDS: Soft drinks cola, Phosphoric acid, Potentiometry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma da elaboração do refrigerante.....	22
Figura 2 – Esquema de um eletrodo	24
Figura 3 – Fluxograma simplificado do procedimento realizado no experimento.....	29

LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1** - Curva de titulação potenciométrica do refrigerante A_1 , lote A_1' e de sua primeira derivada.....32
- Gráfico 2** - Curva de titulação potenciométrica do refrigerante A_2 , lote A_2' e de sua primeira derivada.....33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Acidulantes empregados na manufatura de refrigerantes.....	21
Tabela 2 – Características físico – químicas no refrigerante sabor cola.....	23
Tabela 3 – Dados obtidos na titulação potenciométrica do refrigerante A_1 , lote A_1'	32
Tabela 4 – Dados obtidos na titulação potenciométrica do refrigerante A_2 , lote A_2'	33
Tabela 5 – Concentração do ácido fosfórico, média aritmética, desvio padrão e coeficiente de variância.....	34

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Dissociação do ácido fosfórico em solução aquosa.....31

Equação 2 – Neutralização das espécies ácidas na adição de hidróxido de sódio.....31

Equação 3 – Ionização do ácido fosfórico.....31

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABIR – Associação Brasileira de Industrias de Refrigerantes

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

CO₂ – Gás carbônico

C_v – Coeficiente de variância

D_p – Desvio padrão

E_{cel} – Eletrodo da célula

E_{ind} – Eletrodo indicador

E_{ref} – Eletrodo referencial

EUA – Estados Unidos da América

H₂SO₄ – Ácido fosfórico

H₂CO₃ – Ácido carbônico

INS – International Number System ou Sistema Internacional de Numeração de Aditivos Alimentares

M – Molaridade

N - Normalidade

Mg – Miligramas

NaOH – Hidróxido de sódio

\bar{X} – Média aritmética

LISTA DE SÍMBOLOS

% - Porcentagem

°C - Graus Celsius

± - Mais ou menos

= - Igual a

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
2. OBJETIVO.....	18
2.1 Objetivo geral.....	18
2.2 Objetivos específicos.....	18
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
3.1 História do refrigerante.....	19
3.1.1 Composição do refrigerante.....	20
3.1.2 Elaboração do refrigerante.....	22
3.1.3 Refrigerante tipo cola.....	23
3.2 Ácido fosfórico.....	23
3.3 Titulação potenciométrica.....	24
4. MATERIAL.....	26
4.1 Amostras.....	26
4.2 Equipamentos.....	26
4.3 Reagente e soluções.....	26
4.4 Vidrarias e acessórios.....	26
5. METODOLOGIA.....	28
5.1 Seleção das amostras.....	28
5.2 Padronização do hidróxido de sódio.....	28
5.3 Degaseificação dos refrigerantes.....	28
5.4 Preparo do equipamento.....	28
5.5 Preparo e titulação da amostra.....	29
5.6 Cálculos realizados.....	29
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
7. CONCLUSÃO.....	36
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	37
ANEXOS.....	39

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a legislação brasileira, refrigerante é “ bebida gaseificada, obtida pela dissolução em água potável de suco ou extrato vegetal de sua origem, adicionada de açúcares”, devendo obrigatoriamente ser saturado de dióxido de carbono industrializado puro (BRASIL, 2009).

Conforme a definição da Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes e de Bebidas Não Alcoólicas (ABIR) os refrigerantes em sua formulação básica contêm o gás carbônico (CO₂), não há presença de álcool e devem ser adoçados. Portanto, o grupo que engloba os refrigerantes é constituído por bebidas concentradas para serem consumidas em domicílio ou em estabelecimentos comerciais que forneçam a bebida.

Segundo a ABIR, o Brasil, é o terceiro maior produtor de refrigerantes do mundo, seguido apenas dos Estados Unidos e do México. O surgimento do setor de refrigerantes no Brasil esta datado de 1906, mas somente na década de 1920 é que o refrigerante entrou definitivamente no cotidiano dos brasileiros, tendo a primeira indústria sido instalada na cidade do Rio de Janeiro – RJ, em 1942. Entre 1988 e 2004, o mercado nacional cresceu 165%, verificando-se também um aumento da participação de refrigerantes regionais (de 9% para 32%).

Um dos principais componentes utilizados na manufatura de refrigerantes é o ácido fosfórico, usado como acidulante, especialmente em refrigerantes do tipo cola. O ácido fosfórico se apresenta sob fórmula molecular H₃PO₄ e é usado por indústrias para acidificar alimentos como refrigerantes e xaropes. O fósforo inorgânico é um elemento chave em todas as formas de vida conhecidas, além disso, desempenha papel importante em moléculas biológicas, tais como DNA e RNA, onde se comporta como componente estrutural. Células vivas usam o fosfato para via de transporte de energia, já os fosfolipídios são componentes fundamentais da estrutura das membranas das células. O ácido fosfórico, entretanto, se consumido em excesso pode provocar alguns malefícios à saúde, como, por exemplo, interferir na absorção e utilização do cálcio pelos ossos, prejudicando sua formação e levando futuramente a uma osteoporose. Os sais de cálcio são excretados no sangue, logo podem se acumular nos rins sob a forma de pedras. Por isso a ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), estabelece através da legislação um limite de 0,07% para a concentração desse aditivo.

Com base na possibilidade do ácido fosfórico causar malefícios a saúde quando em excesso, este trabalho tem como finalidade analisar o teor de ácido fosfórico nos diferentes

refrigerantes tipo cola, verificando se o teor deste ácido encontra-se dentro dos limites previstos na legislação determinada pela ANVISA.

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Determinar qual é o teor de ácido fosfórico existente nas diferentes bebidas à base de cola, e se estas apresentam o teor dentro dos limites determinado pela legislação da ANVISA.

2.2 Objetivos específicos

- Conceituar a respeito de titulação potenciométrica;
- Determinar o teor de ácido fosfórico em amostras de refrigerantes cola;
- Plotar curva de titulação e sua primeira derivada;
- Avaliar se as amostras estão dentro dos valores estabelecidos pela ANVISA.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 História do refrigerante

O refrigerante é uma bebida rica em corantes e conservantes que contém grande quantidade de açúcar, exceto nas versões light e diet que apresentam menor quantidade de açúcar. Possui aroma sintético de fruta e gás carbônico. O refrigerante surgiu em 1676 em Paris, numa empresa que misturou água, sumo de limão e açúcar. Esta "limonada" ainda não levava água gaseificada (água + gás carbônico) na sua composição, mistura essa que só passou a ser utilizada a partir de 1773, após ser desenvolvida por Joseph Priestley e Antoine Lavoisier, com a finalidade de adicionar ingredientes medicinais e curativos à bebida.

Em 1794, o suíço Jacob Schweppe inventou uma bebida altamente gaseificada, que logo ganhou fama e aceitação na Europa. A bebida, que recebeu e continua com o nome *Schweppees*, sendo inicialmente de gengibre e, depois, de limão.

Com extratos das sementes de noz cola, oriundo de árvores africanas, extrato de folha de coca boliviana e outros ingredientes como o caramelo, o farmacêutico John Stith Pemberton, em Atlanta, preparou, em 1886, uma bebida concebida a princípio para ser um tônico para o cérebro, que recebeu o nome de Coca-Cola idealizado por Frank Mason Robinson (ALLEN, 1994).

Em 1896, surge a Pepsi-cola desenvolvida pelo farmacêutico Caled Bradham na Califórnia do Norte (EUA). Inicialmente foi chamado de Brad's Drink, com o intuito de suavizar o mal estar causado pelo desequilíbrio do ácido péptico no estômago (RILEY, 1958).

No Brasil, os primeiros registros remontam a 1906, mas somente na década de 1920 é que o refrigerante entrou definitivamente no cotidiano dos brasileiros (ABIR, 2007). .

Os refrigerantes podem ser classificados como:

- Refrigerante à base de sumo de frutas com quantidade mínima de sumo de uma ou de várias frutas.
- Refrigerante à base de extratos vegetais dissolvidos em água com aromatizantes podendo haver ou não sumo e outros ingredientes vegetais.
- Refrigerante à base de aromatizantes onde são dissolvidos os aromas, sumos, açúcares, dióxido de carbono, acidulantes e antioxidantes.

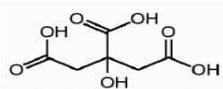
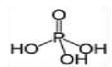
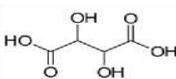
3.1.1 Composição do refrigerante

A fórmula do refrigerante contém ingredientes com finalidades específicas que devem estar enquadrados em padrões pré estabelecidos pelos regulamentadores de processos industriais: Qualidade da água, quantidades de açúcares, concentrado (sabores), Acidulantes, os antioxidantes, Edulcorantes, conservantes e dióxido de carbono (gás carbônico). São eles:

- Água: Constitui cerca de 88% do produto final. Ela precisa preencher certos requisitos para ser empregada na manufatura de refrigerante (LIMA; AFONSO,2009).
- Baixa alcalinidade: Carbonatos e bicarbonatos interagem com ácidos orgânicos, como ascórbico e cítrico, presentes na formulação, alterando o sabor do refrigerante, pois reduzem sua acidez e provocam perda de aroma (LIMA; AFONSO,2009).
- Sulfatos e cloretos: Auxiliam na definição do sabor, porém o excesso é prejudicial, pois o gosto ficará demasiado acentuado (LIMA; AFONSO,2009).
- Cloro e fenóis: O cloro dá um sabor característico de remédio e provoca reações de oxidação e despigmentação, alterando a cor original do refrigerante. Os fenóis transferem seu sabor típico, principalmente quando combinado com o cloro (clorofenóis) (LIMA; AFONSO,2009).
- Metais: Ferro, cobre e manganês aceleram reações de oxidação, degradando o refrigerante (LIMA; AFONSO,2009).
- Padrões microbiológicos: É necessário um plano de higienização e controle criterioso na unidade industrial, que garantam à água todas as características desejadas: límpida, inodora e livre de microorganismos (LIMA; AFONSO,2009).
- Açúcar: É o segundo ingrediente em quantidade (cerca de 11%). Ele confere o sabor adocicado, “encorpa” o produto, juntamente com o acidulante, fixa e realça o paladar e fornece energia. A sacarose (dissacarídeo de fórmula $C_{12}H_{22}O_{11}$ - glicose + frutose) é o açúcar comumente usado (açúcar cristal) (LIMA; AFONSO,2009).
- Concentrados: Conferem o sabor característico à bebida. São compostos por extratos, óleos essenciais e destilados de frutas e vegetais (LIMA; AFONSO,2009).
- Acidulante: Regula a doçura do açúcar, realça o paladar e baixa o pH da bebida, inibindo a proliferação de microorganismos. Todos os refrigerantes possuem pH ácido (2,7 a 3,5 de acordo com a bebida). Na escolha do acidulante (Tabela 1), o fator mais importante é a capacidade de realçar o sabor em questão. O ácido cítrico (INS1 330) é obtido a partir do microorganismo *Aspergillus niger*, que transforma diretamente a glicose em ácido cítrico. Os refrigerantes de limão já o contêm na sua composição normal. O ácido fosfórico (INS

338) apresenta a maior acidez dentre todos aqueles utilizados em bebidas. É utilizado principalmente nos refrigerantes do tipo cola. O ácido tartárico (INS 334) é usado nos refrigerantes de sabor uva por ser um dos seus componentes naturais (LIMA; AFONSO,2009).

Tabela 1 - Acidulantes empregados na manufatura de refrigerantes.

Acidulante	Estrutura	pK _a
Ácido cítrico (Ácido 2-hidroxi-1,2,3-propanotricarboxílico) (C ₆ H ₈ O ₇)		pK _{a1} = 3,09 pK _{a2} = 4,74 pK _{a3} = 5,41
Ácido fosfórico (H ₃ PO ₄)		pK _{a1} = 2,15 pK _{a2} = 7,20 pK _{a3} = 12,36
Ácido tartárico (Ácido 2,3-diidroxi-butanodioico) (C ₄ H ₆ O ₆)		pK _{a1} = 2,98 pK _{a2} = 4,34

Fonte: <http://qnint.sbg.org.br>

- **Antioxidante:** Previne a influência negativa do oxigênio na bebida. Aldeídos, ésteres e outros componentes do sabor são susceptíveis a oxidações pelo oxigênio do ar durante a estocagem. Luz solar e calor aceleram as oxidações. Por isso, os refrigerantes nunca devem ser expostos ao sol. Os ácidos ascórbico e isoascórbico (INS 300) são muito usados para essa finalidade. Quando o primeiro é utilizado não é com o objetivo de conferir vitamina C ao refrigerante, e sim servir unicamente como antioxidante (LIMA; AFONSO,2009).
- **Conservante:** Os refrigerantes estão sujeitos à deterioração causada por leveduras, mofos e bactérias (microorganismos acidófilos ou ácido-tolerantes), provocando turvações e alterações no sabor e odor. O conservante visa inibir o desenvolvimento desses microorganismos. Os conservantes encontrados nos refrigerantes são o benzoato de sódio e o sorbato de potássio (LIMA; AFONSO,2009).
- **Edulcorante:** É uma substância que confere sabor doce às bebidas em lugar da sacarose. As bebidas de baixa caloria (diet) seguem os padrões de identidade e qualidade das bebidas correspondentes, com exceção do teor calórico (LIMA; AFONSO,2009).
- **Dióxido de carbono:** A carbonatação dá “vida” ao produto, realça o paladar e a aparência da bebida. Sua ação refrescante está associada à solubilidade dos gases em líquidos, que diminui com o aumento da temperatura. Como o refrigerante é tomado gelado, sua temperatura aumenta do trajeto que vai da boca ao estômago. O aumento da temperatura e

o meio ácido estomacal favorecem a eliminação do CO₂, e a sensação de frescor resulta da expansão desse gás, que é um processo endotérmico (LIMA; AFONSO,2009).

3.1.2 Elaboração do refrigerante

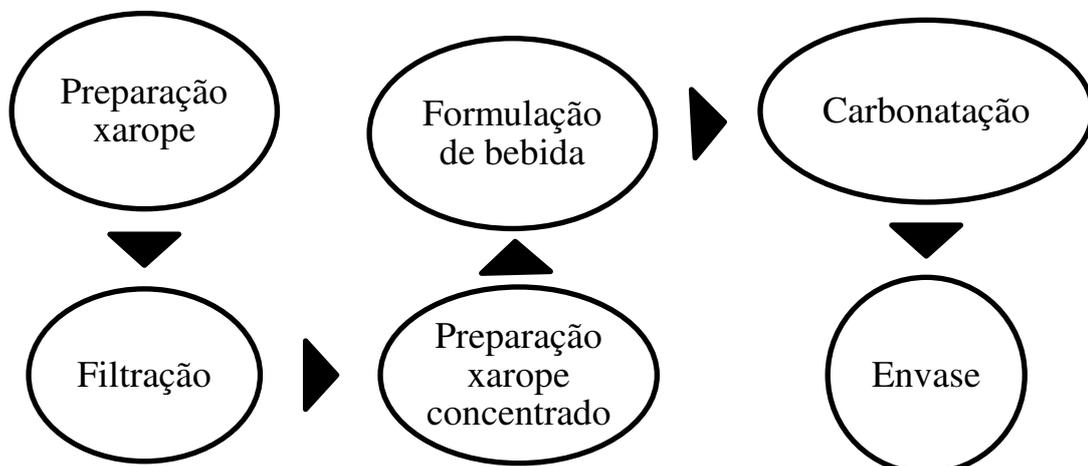
O processo inicia com a elaboração do xarope por meio da dissolução de açúcar cristalino em água potável isenta de cloro e com concentrações médias de íons de cálcio, sendo usados tanques de inox com camisas de vapor para evitar o fogo direto que provoca escurecimento. A concentração de sólidos solúveis varia de 55° a 57° BRIX. Em seguida ocorre a filtração para eliminação das impurezas do xarope, sendo esse xarope a base do concentrado(LIMA; FILHO, 2011).

O xarope final é elaborado pela adição dos demais ingredientes ao xarope frio, ou seja, tudo o que vai dar gosto, aroma e sabor ao refrigerante, sendo a mistura realizada em tanques de inox com agitação. Esse xarope é diluído a 15% com água e segue para a carbonatação (LIMA; FILHO, 2011).

O gás carbônico, incolor e atóxico, é submetido à desaeração para remoção do oxigênio que provoca oxidação e desenvolvimento de microorganismos aeróbios no refrigerante. Na desaeração o gás carbônico é incorporado a água e pela sua facilidade de dissolução o oxigênio é expulso. Após a desaeração, a água com gás carbônico é misturada ao xarope final. O refrigerante é envasado (garrafas de vidro, latas de alumínio ou garrafas PET), rotulado e lacrado(LIMA; FILHO, 2011).

As etapas do processo encontram-se na figura abaixo:

Figura 1 - Fluxograma da elaboração do refrigerante.



3.1.3 Refrigerante tipo cola

Refrigerante de cola é uma bebida carbonatada doce, normalmente com corante de caramelo, ácido fosfórico e contém cafeína. O sabor do refrigerante muitas vezes contém a mistura de baunilha, canela e sabores cítricos. O nome vem da castanha de cola, que é originalmente usada para obter a cafeína.

Bebidas de cola podem ser adoçadas com açúcar, xarope de milho ou um adoçante artificial dependendo do produto e da marca.

Os refrigerantes de cola devem conter obrigatoriamente ter noz de cola ou extrato de noz de cola (BRASIL, 1998).

A tabela 2 mostra as características físico-químicas exigidas pela legislação para refrigerante de cola.

Tabela 2 - Características físico químicas no refrigerante sabor cola.

Refrigerante de cola	Máximo		Mínimo
Semente de noz de cola ou extrato de noz de cola mg/100mL		qsp	
Açúcar		qsp	
Ácidez titulável em ácido cítrico, g/100ml			0,065
Cafeína em mg/100mL	20		

Fonte: (BRASIL, 1998).

3.2 Ácido fosfórico

Ácido fosfórico ou ácido ortofosfórico, é um ácido trivalente, com três hidrogênios ácidos que podem ser convertidos por substituição gradual a fosfatos primários, secundários e terciários. Portanto é um ácido que varia de fraco a medianamente forte. Possui fórmula molecular H_3PO_4 .

É o principal ácido inorgânico utilizado em alimentos, sendo largamente empregado na indústria de refrigerantes, principalmente em refrigerantes, tipo “cola”, pois causa alterações organolépticas em refrigerantes com polpa de frutas.

Tem como característica um custo muito baixo, sendo um ácido forte cujo valor do pH é o menor de todos os acidulantes, justificando-se assim sua ampla utilização na indústria (BARUFFALDI; OLIVEIRA, 1998). Porém quando ingerido em quantidades excessivas este

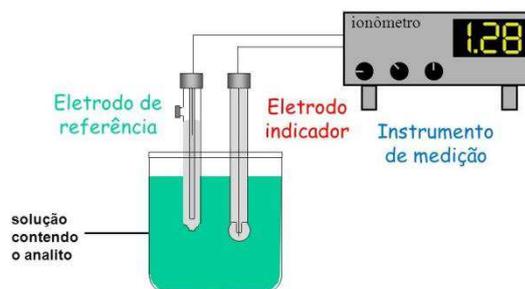
ácido, usado como acidulante nos refrigerantes eleva muito o teor de fósforo e esse nutriente acaba competindo com outros no organismo, impedindo a absorção de alguns nutrientes, entre eles o cálcio, essencial não só para manutenção de massa óssea, crescimento infantil, como também no metabolismo de hormônios que ajudam a controlar o acúmulo de gordura e, portanto, o ganho de peso.

3.3 Titulação potenciométrica

Os métodos potenciométricos de análises baseiam-se na medida da diferença de potencial entre dois eletrodos imersos em solução, sem consumo apreciável de corrente. Eletrodos e solução constituem a célula eletroquímica. O equipamento simples e de baixo custo inclui um eletrodo de referência (Eref), que possui um potencial conhecido, que permanece constante sob temperatura controlada, independente da composição da solução do analito e um eletrodo indicador (Eind) que desenvolve um potencial que depende da atividade (concentração) do analito (SKOOG; WEST; HOLLER; CROUCH, 2005).

O esquema mostrando os eletrodos de referência e indicador por ser visto na figura 2 abaixo:

Figura 2 - Esquema de um eletrodo.



Fonte: <http://slideplayer.com.br/slide/1609110/>

Nesta técnica, a limitação consiste no fato de que o eletrodo deve responder imediatamente às mudanças do potencial elétrico da solução, principalmente no ponto final da titulação (equivalência) e a solução tem que ser homogênea com frequência. Neste caso, o ponto de equivalência corresponde a uma variação brusca da medida do valor de potencial que está sendo lido (REY,D.).

O ponto de equivalência da titulação potenciométrica pode ser determinado de três maneiras fundamentais (REY,D.):

- Determinação direta que é a determinação direta e imediata, correspondendo ao salto de potencial que se observa no aparelho, ao se adicionar o agente titulante a gotas ou em volume definido. Normalmente esta leitura é feita em controles industriais, pois é fácil de se realizar mas apresenta o inconveniente de ter pouca precisão.
- Determinação Gráfica em que se realiza a titulação, adicionando-se quantidades definidas de agente titulante e os dados obtidos (potencial e volume) são colocados em um gráfico.
- Determinação instrumental, no qual existem fórmulas matemáticas que permitem calcular o ponto de equivalência em uma titulação potenciométrica. Por meio de sistemas integrados, existem equipamentos que realizam estes cálculos e apresentam o resultado do volume de equivalência ou mesmo apresentam o resultado esperado pelo operador.

A titulação potenciométrica apresenta uma série de vantagens sobre a técnica convencional (SKOOG; WEST; HOLLER; CROUCH, 2005):

- Maior sensibilidade, pode ser aplicada à soluções bem diluídas;
- Pode ser empregada para soluções coloridas ou turvas, pois dispensa o uso de indicadores visuais;
- Pode ser aplicada para certas reações que não disponham de indicadores visuais adequados;
- Pode-se determinar sucessivamente vários componentes;
- Pode ser aplicada em meio não aquoso;
- Pode ser adaptada a instrumentos automáticos.

4. MATERIAL

4.1 Amostras

Foram utilizadas amostras de quatro tipos diferentes de refrigerantes tipo cola, fazendo uso de dois lotes diferentes de cada, sendo estes de marcas mais caras, de preço médio e mais baratas, obtidos em um supermercado da cidade de Campina Grande – PB e da cidade de Cuité – PB.

4.2 Equipamentos

Balança analítica, Marte®, modelo AY220;

pHmetro, pHtek PHS-3B, modelo E-900;

Banho de ultra-som, Limp Sonic;

Afitador, Stirrer Hot Plate, LS Logea;

Barra Magnética (“peixinho”);

Ganchos.

4.3 Reagentes e Soluções

Solução de Ácido Sulfúrico 1M;

Solução de fenolftaleína 1%;

Solução padronizada de Hidróxido de Sódio 0,07M;

Água destilada;

Refrigerantes tipo cola;

Solução tampão (buffer) pH $4,00 \pm 0,02$ – CAS [77-92-9] – Dinâmica;

Solução tampão (buffer) pH $7,00 \pm 0,02$ – CAS [7758-79-4] – Dinâmica.

4.4 Vidrarias e acessórios

Béqueres de 600mL, 250mL e 100mL;

Bureta de 25mL;

Espátula;

Garra;

Pipetas automáticas Digipet;

Provetas graduadas de 10mL e 20mL;

Suporte Universal.

5. METODOLOGIA

5.1 Seleção das amostras

Para realização deste estudo foram obtidas seis amostras de refrigerantes tipo cola, no qual quatro destas eram de marcas diferentes, uma vez que duas delas possuíam dois lotes diferentes. Entre as amostras são encontradas marcas mais caras e mais baratas.

Para escolha das amostras foi observado nos rótulos das embalagens a presença de ácido fosfórico, que pode estar discriminado como ácido fosfórico ou INS 338, que é a terminologia internacional para esse acidulante.

As amostras foram adquiridas em supermercados das cidades de Campina Grande – PB e Cuité – PB.

As amostras foram designadas como A, B, C e D.

5.2 Padronização do Hidróxido de Sódio

Inicialmente foi preparada a solução de NaOH, para isto mediu-se 2g do NaOH e o diluiu para 500mL de água deionizada.

Para padronizar esta solução, transferiu-se uma solução de H₂SO₄ 0,1M para uma bureta ate completar o seu volume total, e para um erlenmeyer foram transferidos 20mL de NaOH e gotas de fenolftaleína, ficando esta solução com uma coloração rósea. A titulação foi realizada ate a viragem da solução rósea para incolor. O volume resultante foi anotado para cálculos posteriores.

5.3 Degaseificação dos refrigerantes

Para degaseificar os refrigerantes, cada amostra foi colocada em um béquer de 600mL e em seguida coladas no banho de ultra-som durante 90 minutos.

Após degaseificar cada amostra foi colocada em uma garrafa e identificada com a marca do refrigerante e o lote respectivamente, para facilitar a identificação.

5.4 Preparo do equipamento

A bureta de 25mL foi rinsada inicialmente com água deionizada e depois foi rinsada com a solução titulante NaOH 0,07M. Em seguida o volume da bureta foi completada com a solução titulante.

Calibrou-se o medidor de pH com uma solução tampão utilizando os padrões de pH 4,00 e 7,00.

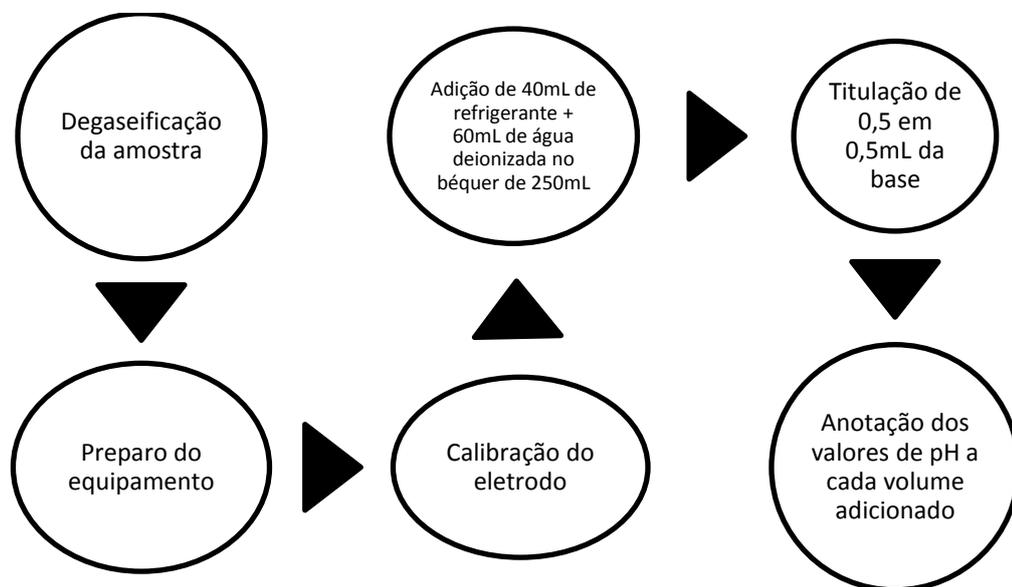
5.5 Preparo e titulação da amostra

Retirou-se uma alíquota de 40mL de refrigerante e colocou-a num béquer de 250mL contendo a barra magnética e adicionou 60mL de água deionizada.

Para iniciar a titulação o eletrodo de vidro foi mergulhado na solução com a junção mantida sempre imersa na solução. Após essa imersão ligou-se o agitador magnético com cuidado para que a barra magnética não tocasse na membrana do eletrodo para que este não fosse danificado. Com a agitação mantida constante, foi feita a titulação da amostra com a solução de NaOH 0,07M adicionando de 0,5mL em 0,5mL e fazendo a leitura do pH a cada volume adicionado.

O mesmo procedimento foi realizado para todas as amostras, fazendo duas repetições de cada. Abaixo pode-se visualizar o esquema com procedimento realizado.

Figura 3 - Fluxograma simplificado do procedimento realizado no experimento.



5.6 Cálculos realizados

- Determinação da concentração

$$C_a \times V_a = C_b \times V_b$$

- Média aritmética

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

- Desvio padrão

$$Dp = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + (X_n - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

- Coeficiente de variância

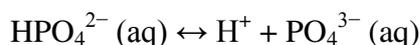
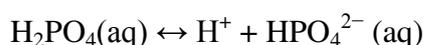
$$Cv = 100 \times \frac{Dp}{\bar{X}}$$

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A potenciometria tem por base uma diferença de potencial entre um eletrodo indicador e um eletrodo de referência. Esta diferença de potencial deve-se às concentrações das espécies que entram em reações redox que se processaram no eletrodo do aparelho medido de pH. Pode-se assim obter facilmente a concentração hidrogeniônica em solução obtendo uma medição de pH muito mais rigorosa. A medição do pH é assim feita através de um eletrodo de vidro combinado. Esse eletrodo é constituído por um eletrodo indicador e um eletrodo de referência e a sua operação depende do potencial elétrico que se desenvolve quando a membrana de vidro fica imersa numa solução, sendo o potencial uma função linear da concentração hidrogeniônica para soluções diluídas.

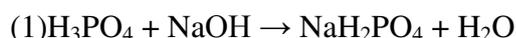
Muitos dos ácidos são polipróticos, ou seja, tem a capacidade de doar mais de que um próton e um exemplo é o ácido fosfórico. Quando este ácido esta em solução aquosa, ele sofre as seguintes dissociações (SCHNEIDER; OLIVEIRA; AZEVEDO, 2010):

Equação 1 – Dissociação do ácido fosfórico em solução aquosa.



Quando adiciona o hidróxido de sódio na solução, ocorrerá a neutralização das espécies ácidas conforme a equação 2 (SCHNEIDER; OLIVEIRA; AZEVEDO, 2010):

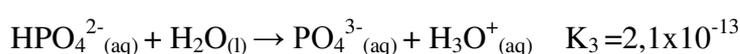
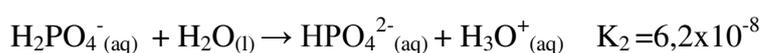
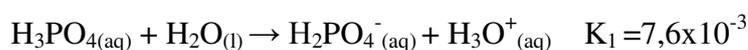
Equação 2 – Neutralização das espécies ácidas na adição de hidróxido de sódio.



A adição sucessiva de base vai fazer com que o ácido passe as formas iônicas com cargas cada vez mais negativas, até que surja uma espécie aniônica que não se comporte como ácido(SCHNEIDER; OLIVEIRA; AZEVEDO, 2010).

No caso dos refrigerantes tipo cola, após a ebulição temos presente o ácido fosfórico o qual se ioniza da seguinte forma (ONARA; OLIVEIRA; CAMBRAIA; SANTOS, 2010):

Equação 3 – Ionização do ácido fosfórico.



O valor da concentração do ácido foi obtido pelo método gráfico, através da leitura dos volumes gastos de NaOH na titulação, quando são obtidos os diferentes pontos de equivalência. Quando começamos a adicionar a base, os íons OH^- reagiram com os íons H^+ provenientes do ácido, mas o pH apresenta pequena variação por estarmos na presença de uma solução tampão, mas à medida que aproximamos do ponto de equivalência notamos uma variação mais brusca do pH.

Iniciou-se a titulação, com os valores de pH sempre anotados a partir do volume da base do titulado. Os resultados obtidos seguem as tabelas e os gráficos abaixo:

- Refrigerante A_1 , lote A_1' .

Tabela 3 - Dados obtidos na titulação potenciométrica do refrigerante A_1 , lote A_1' .

V(mL)	pH
0	2,48
0,5	2,58
1	2,81
1,5	3,27
2	4,59
2,5	5,47
3	5,89
3,5	6,21
4	6,48
4,5	6,76
5	7,04
5,5	7,43
6	8,01
6,5	8,8
7	9,34
7,5	9,65
8	9,82
8,5	10

Fonte: Dados da pesquisa.

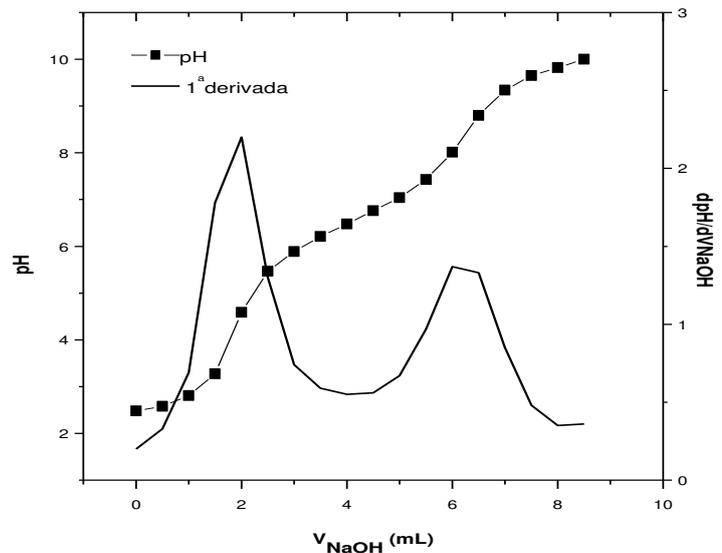


Gráfico 1 - Curva de titulação potenciométrica do refrigerante A_1 , lote A_1' e de sua primeira derivada.

A partir dos dados da tabela foi possível construir o gráfico com as curvas de titulação potenciométrica do refrigerante e de sua primeira derivada, como pode ser verificado no gráfico 01.

➤ Cálculo de concentração do teor de ácido fosfórico

Primeira virada = 2,00 mL

Volume do ácido = 40,0 mL

Concentração NaOH = 0,07M

$$\text{Cácido} \times V_{\text{ácido}} = C_{\text{base}} \times V_{\text{base}}$$

$$\text{Cácido} = 0,07 \times 2 / 40$$

$$\text{Cácido} = 0,0035 \text{ molL}^{-1}$$

- Refrigerante A₂, lote A₂'

Tabela 4 - Dados obtidos na titulação potenciométrica do refrigerante A₂, lote A₂'.

V(mL)	pH
0	2,32
0,5	2,42
1	2,56
1,5	2,83
2	3,4
2,5	4,85
3	5,42
3,5	5,77
4	6,04
4,5	6,3
5	6,58
5,5	6,79
6	7,07
6,5	7,46
7	7,9
7,5	8,64
8	9,22
8,5	9,53
9	9,75
9,5	9,89
10	10,02

Fonte: Dados da pesquisa.

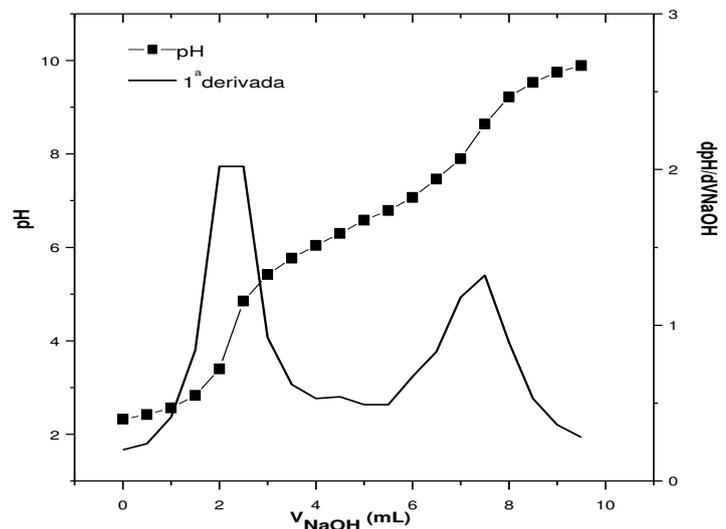


Gráfico 2 - Curva de titulação potenciométrica do refrigerante A₂, lote A₂' e de sua primeira derivada.

➤ Cálculo da concentração do ácido fosfórico:

Primeira virada = 2,24 mL

Volume do ácido = 40,0 mL

Concentração NaOH = 0,07M

$$\text{Cácido} \times \text{Vácido} = \text{Cbase} \times \text{Vbase}$$

$$\text{Cácido} = 0,07 \times 2,24 / 40$$

$$\text{Cácido} = 0,0039 \text{ molL}^{-1}$$

A partir do gráfico de titulação construído, pode-se gerar uma nova curva, que é a 1ª derivada em que consiste na razão entre a variação de pH e a variação de volume titulado. Esta auxilia na visualização dos pontos de virada, já que é diretamente proporcional aos valores de pH, portanto, se há uma mudança muito grande no valor de pH, haverá um aumento no valor da derivada.

A partir das derivadas, podem-se visualizar os pontos de virada e também calcular a quantidade de ácido fosfórico contido nas duas amostras analisadas.

Teoricamente, é esperado que o volume titulado para a retirada do segundo hidrogênio do ácido fosfórico fosse o dobro do volume utilizado para a primeira desprotonação. Isso pôde se observado, uma vez que os primeiros pontos de virada foram 2,0mL e os outros resultados foram equivalentes a este.

A tabela 5 mostra os resultados provenientes de todas as amostras, assim como outras análises além da concentração do ácido fosfórico.

Tabela 5 - Concentração (concentração versus resolução) média, desvio padrão e coeficiente de variância.

Amostra	H ₃ PO ₄ mol/L	X	Dp	Cv
A ₁ '	0,0035			
A ₁ ''	0,0035	0,0035	0,00042	
A ₂ '	0,0039			11,05%
A ₂ ''	0,0043	0,0041	0,00063	
B ₁ '	0,0043			
B ₁ ''	0,0052	0,0047	0,00064	
B ₂ '	0,0043			6,22%
B ₂ ''	0,0043	0,0043	0	
C'	0,0035			
C''	0,003	0,0032	0,00036	11,25%
D'	0,0043			
D''	0,0043	0,0043	0	0%

Fonte: Dados da pesquisa.

De acordo com a RDC nº 05, legislação vigente da ANVISA, órgão governamental que fiscaliza a produção de bebidas não-alcoólicas, o teor de ácido fosfórico numa bebida não deve ultrapassar o valor de 0,07%. A concentração de ácido fosfórico variou de 0,0030N a 0,0052N, estando assim permitido pela legislação. Com o cálculo dos outros padrões como a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação pode-se afirmar que não houve uma variação entre os resultados, uma vez que o desvio padrão baixo indica que os dados tendem a estar próximos da média e um coeficiente de variância baixo indica que há uma precisão no experimento e também em comparação à outros estudos pode-se perceber uma semelhança nos resultados, o que mostra a fidelidade do estudo realizado, como por exemplo um estudo realizado na Universidade Unicruz em que os valores obtidos da concentração do ácido fosfórico variavam entre 0,0029N a 0,0030N ,percebendo-se também que há padronização na fabricação dos refrigerantes, uma vez que houve uniformidade dentre os resultados obtidos mesmo as amostras sendo de lotes diferentes.

7. CONCLUSÃO

Através deste método de titulação potenciométrica, foi possível determinar as inflexões ocorridas na titulação do ácido fosfórico e com isso determinar sua concentração. Portanto, todos os experimentos foram preparados com o mesmo volume de solução a ser titulada e com substâncias que possuíam ácido fosfórico (H_3PO_4).

Esta técnica foi escolhida por não ser necessário o uso de indicadores, pois o volume da viragem que seria detectado pela mudança de cor da solução, pode ser visualizado pelo salto no pH nos pontos de equivalência.

Todavia, este método apresenta falhas no sentido de erros sistemáticos do aparelho, erros do analista, devido a estas possibilidades de erros são calculadas as derivadas referidas aos pontos obtidos e qualquer variação de pH pode ser detectada e os cálculos se tornam mais precisos.

Com a realização do experimento pode-se perceber que todas as amostras de refrigerantes cola apresentaram a concentração de ácido fosfórico dentro dos limites, de acordo com a legislação da ANVISA e uma uniformidade dos valores entre os lotes. Como também pode-se concluir que a titulação de um ácido poliprótico é mais complexa que a de um ácido monoprótico. Isso acontece porque a titulação do ácido poliprótico apresenta vários pontos de equivalência e dissociações do ácido.

Outro ponto a ser destacado é que os refrigerantes foram degaseificados porque o gás carbônico poderia reagir com a água gerando H_2CO_3 , o que seria responsável pela diminuição de pH.

Apesar de todas as amostras apresentarem o valor da concentração do ácido fosfórico dentro dos limites permitidos pela legislação, não significa dizer que pode consumir refrigerantes a vontade, uma vez que esse tipo de bebida não possui nenhum valor nutricional, e com o consumo excessivo pode causar outros danos à saúde além da osteoporose, como diabetes, obesidade, câncer do cólon, problemas cardiovasculares, entre outros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIR – Associação Brasileira de Industria de Refrigerantes e de Bebidas Não Alcoólicas. Histórico do setor, disponível em: http://www.abir.org.br/rubrique.php3?id_rubrique=178. Acessado em Novembro 2014.

ÁCIDO FOSFÓRICO, disponível em: <https://sites.google.com/site/scientiaestpotentiaplus/acido-fosforico>. Acesso em Novembro 2014.

BARCAROL, L.; DUTRA, C.; BECK, G.; SCHERER S.; BRUSCO, I.; FOGLIARINI, B.; VIANA, C. **Determinação de ácido fosfórico em amostras de refrigerantes de cola**. Disponível em: http://www.unicruz.edu.br/16_seminario/artigos/saude/TEOR%20DE%20ACIDO%20FOSF%20C3%93RICO%20EM%20REFRIGERANTES%20A%20BASE%20DE%20COLA.pdf. Acessado em Outubro de 2014.

BARUFALDI, R; OLIVEIRA, M.N. **Fundamentos de Tecnologia de Alimentos**. São Paulo, Atheneu, 1998, v.3, 316p.

BRASIL. **Decreto nº 6871, de 04 de junho de 2009**. Bebidas: normas sobre padronização, classificação, registro, inspeção, produção e fiscalização – regulamentação. D.O.U., Brasília, 14 de junho de 2009.

BRASIL. **RDC nº 5, de 15 de janeiro de 2007**. Aprova o Regulamento Técnico sobre Atribuição de aditivos e seus Limites Máximos para a Categoria de Alimentos 16.2: Bebidas Não Alcoólicas, Subcategoria 16.2.2: Bebidas Não Alcoólicas gaseificadas e Não Gaseificadas. D.O.U. Brasília, 17 de janeiro de 2007.

BRASIL. **Portaria nº 540, de 27 de outubro de 1997**. Aprova o Regulamento Técnico: Aditivos Alimentares – definições, classificação e emprego. D.O.U., Brasília 28 de outubro de 1997.

CHEMELLO, E. **Falando sobre ciência com uma latinha de refrigerante!** Química Virtual, setembro (2006).

CRUZ, G.F.B. **Dossiê técnico: Fabricação de Refrigerantes**, Rede de Tecnologia e Inovação do Rio de Janeiro – REDETEC, 18/10/2012.

D. Skoog, D. West, J. Holler e S. Crouch. **Fundamentos de Química Analítica**, tradução da 8a ed. norte americana, Thomson, Brasil, 2005.

FOOD INGREDIENTS BRASIL nº 19 – 2011, p. 24-30, disponível em: www.revista-fi.com/materias/196.pd. Acesso em Novembro 2014;

REY,D. **Análises instrumentais: titulação potenciométrica**. p. 27 a 29. Disponível em: <http://www.ateneusantista.com.br/images/quimica-analitica.doc>. Acesso em Outubro 2014.

LIMA, A.C.S.; AFONSO, J.C. **A Química do Refrigerante**. Química Nova Escola, vol. 31, nº 3, ago. 2009.

LIMA, L.L.A.; FILHO, A.B.M. **Tecnologia de bebidas: Refrigerantes**. e-TecBrasil, UFPRE/CODAI, p. 64 – 67, 2011.

MORAIS, G.Q.; BURGOS, M.G.P.A. **Impacto dos nutrientes na saúde óssea: novas tendências**, Rev Bras Ortop. 2007;42(7):189-94;

ONARA, C.; OLIVEIRA, L.; CAMBRAIA, R.; SANTOS, R. **Determinação do teor de ácido fosfórico em refrigerante por titulação potenciométrica**. DCNAT/UFSJ, 2010.

SCHNEIDER,C.; OLIVEIRA, G.B.; OLIVEIRA, M.S.; AZEVEDO, P.H.D; **Titulação Potenciométrica do Ácido Fosfórico**. Unesp, Presidente Prudente, nov., 2010.

SILVA, A.M.; KEMMERICH, C.; MARTINS, M.M. **Explorando a química do refrigerante**. UNIFRA, Santa Maria, 2010.

ANEXOS

ANEXO A – Resolução RDC nº 05, de 15 de janeiro de 2007. Destaque para a concentração de ácido fosfórico.

ANEXO			
ASIGNACIÓN DE ADITIVOS CATEGORÍA 16.2 - BEBIDAS NO ALCOHÓLICAS			
ATRIBUIÇÃO DE ADITIVOS CATEGORÍA 16.2 - BEBIDAS NÃO ALCOOLICAS			
ADITIVO			
Numero	FUNCION/Nombre	FUNÇÃO / NOME	Concentración máxima / Limite máximo
INS	Español	Português	g/100 ml (*)
16.2.2 BEBIDAS NO ALCOHÓLICAS GASIFICADAS Y NO GASIFICADAS			
16.2.2 BEBIDAS NÃO ALCOÓLICAS GASEIFICADAS E NÃO GASEIFICADAS			
16.2.2.1 Listas para consumo			
16.2.2.1 Prontas para o consumo			
	ACIDULANTE	ACIDULANTE	
	Todos los autorizados como BPF en MERCOSUR	Todos os autorizados como BPF no MERCOSUL	quantum satis
334	Acido Tartárico (L(+)-)	Acido Tartárico (L(+)-)	0,5
338	Ácido Fosfórico, Ácido Orto-Fosfórico	Ácido Fosfórico, Ácido Orto-Fosfórico	0,07 (como P2O5)

ANEXO B – Resultados obtidos no experimento.

- Refrigerante A₁, lote A₁''

Tabela 6 - Dados obtidos na titulação potenciométrica do refrigerante A₁, lote A₁''.

V(mL)	pH
0	2,53
0,5	2,66
1	2,9
1,5	3,45
2	5,03
2,5	5,65
3	6,02
3,5	6,38
4	6,66
4,5	6,94
5	7,24
5,5	7,76
6	8,48
6,5	9,18
7	9,58
7,5	9,78
8	9,96
8,5	10,09

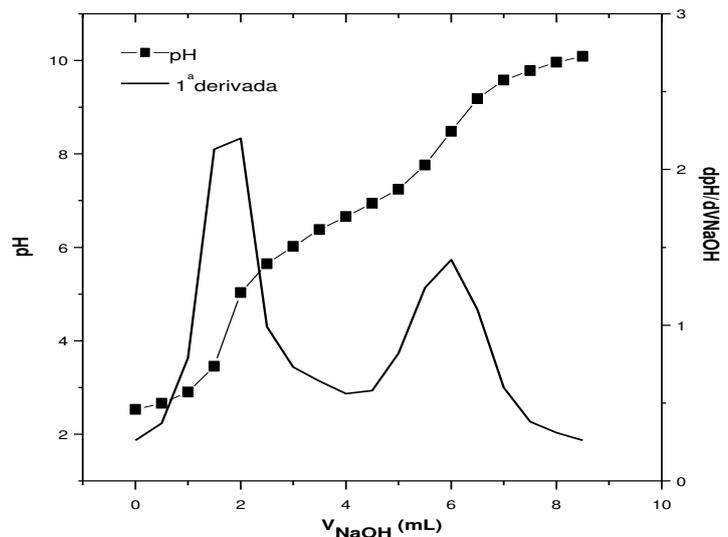


Gráfico 3 - Curva de titulação potenciométrica do refrigerante A₁, lote A₁'' e de sua primeira derivada.

Fonte: Dados da pesquisa.

- Cálculo da concentração de ácido fosfórico:

Primeira virada = 2,00 mL

Volume do ácido = 40,0 mL

Concentração NaOH = 0,07M

$$\text{Cácido} \times V_{\text{ácido}} = C_{\text{base}} \times V_{\text{base}}$$

$$\text{Cácido} = 0,07 \times 2 / 40$$

$$\text{Cácido} = 0,0035 \text{ molL}^{-1}$$

- Refrigerante A₂, lote A₂''

Tabela 7 - Dados obtidos na titulação potenciométrica do refrigerante A₂, lote A₂''.

V(mL)	pH
0	2,33
0,5	2,41
1	2,51
1,5	2,74
2	3,21
2,5	4,79
3	5,45
3,5	5,84
4	6,1
4,5	6,44
5	6,7
5,5	6,98
6	7,26
6,5	7,64
7	8,37
7,5	9,05
8	9,39
8,5	9,67
9	9,85
9,5	10,01

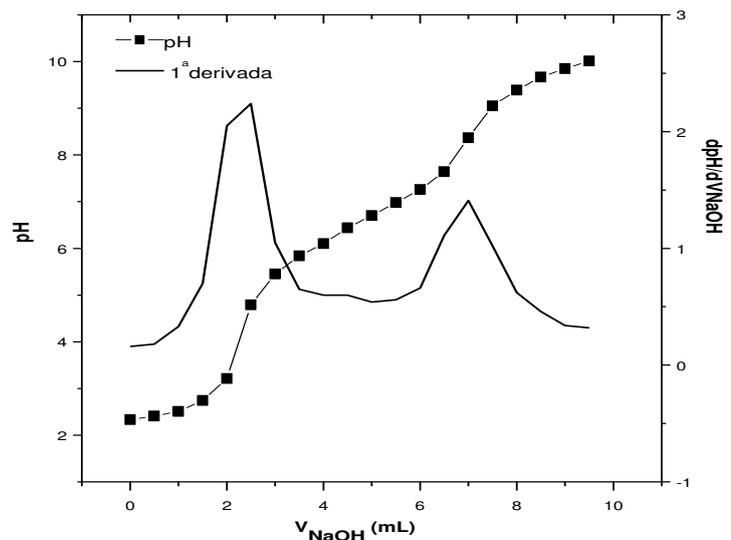


Gráfico 4 - Curva de titulação potenciométrica do refrigerante A₂, lote A₂'' e de sua primeira derivada.

Fonte: Dados da pesquisa.

- Cálculo da concentração de ácido fosfórico:

Primeira virada = 2,50 mL

Volume do ácido = 40,0 mL

Concentração NaOH = 0,07M

$$\text{Cácido} \times \text{Vácido} = \text{Cbase} \times \text{Vbase}$$

$$\text{Cácido} = 0,07 \times 2,50 / 40$$

$$\text{Cácido} = 0,0043 \text{ molL}^{-1}$$

- Refrigerante B₁, lote B₁'

Tabela8 - Dados obtidos na titulação potenciométrica do refrigerante B₁, lote B₁'.

V(mL)	pH
0	2,35
0,5	2,46
1	2,6
1,5	2,87
2	3,3
2,5	4,03
3	5,23
3,5	5,8
4	6,2
4,5	6,48
5	6,75
5,5	7,04
6	7,33
6,5	7,77
7	8,58
7,5	9,2
8	9,52
8,5	9,75
9	9,93
9,5	10,04

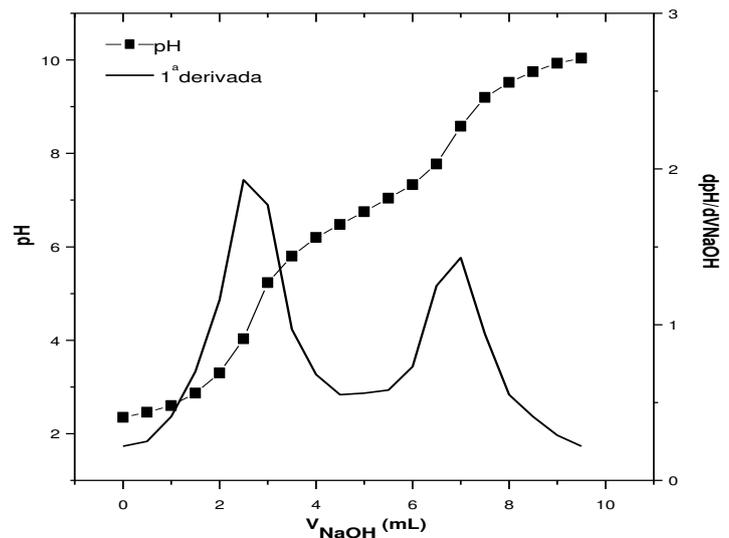


Gráfico 5 - Curva de titulação potenciométrica do refrigerante B₁, lote B₁' e de sua primeira derivada.

Fonte: Dados da pesquisa.

- Cálculo da concentração de ácido fosfórico:

Primeira virada = 2,50 mL

Volume do ácido = 40,0 mL

Concentração NaOH = 0,07M

$$\text{Cácido} \times V_{\text{ácido}} = C_{\text{base}} \times V_{\text{base}}$$

$$\text{Cácido} = 0,07 \times 2,50 / 40$$

$$\text{Cácido} = 0,0043 \text{ molL}^{-1}$$

- Refrigerante B₁, lote B₁''

Tabela 9 - Dados obtidos na titulação potenciométrica do refrigerante B₁, lote B₁''.

V(mL)	pH
0	2,39
0,5	2,46
1	2,61
1,5	2,85
2	3,31
2,5	4,12
3	5,28
3,5	5,85
4	6,24
4,5	6,5
5	6,8
5,5	7,08
6	7,4
6,5	7,83
7	8,61
7,5	9,23
8	9,54
8,5	9,76
9	9,92
9,5	10,05

Fonte: Dados da pesquisa.

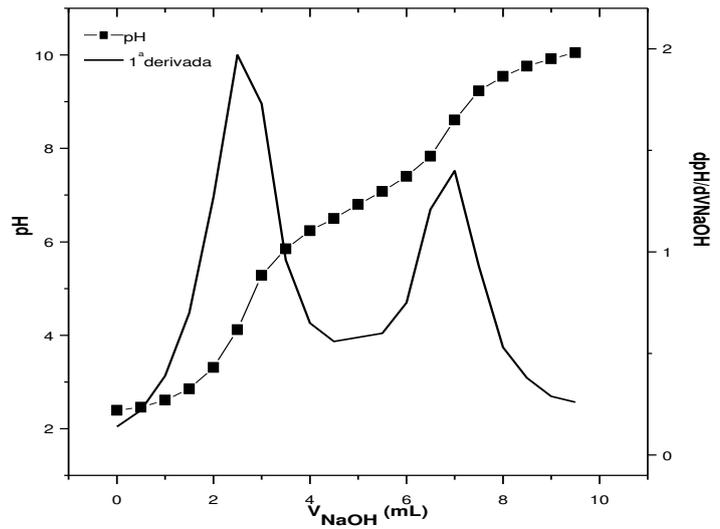


Gráfico 6 - Curva de titulação potenciométrica do refrigerante B₁, lote B₁'' e de sua primeira derivada.

- Cálculo da concentração de ácido fosfórico:

Primeira virada = 3,00 mL

Volume do ácido = 40,0 mL

Concentração NaOH = 0,07M

$$\text{Cácido} \times \text{Vácido} = \text{Cbase} \times \text{Vbase}$$

$$\text{Cácido} = 0,07 \times 3,00 / 40$$

$$\text{Cácido} = 0,0052 \text{ molL}^{-1}$$

- Refrigerante B₂, lote B₂'

Tabela 10 - Dados obtidos na titulação potenciométrica do refrigerante B₂, lote B₂'.

V(mL)	pH
0	2,31
0,5	2,42
1	2,56
1,5	2,82
2	3,3
2,5	4,29
3	5,37
3,5	5,99
4	6,43
4,5	6,71
5	7,03
5,5	7,4
6	7,88
6,5	8,78
7	9,42
7,5	9,7
8	9,9
8,5	10,05

Fonte: Dados da pesquisa.

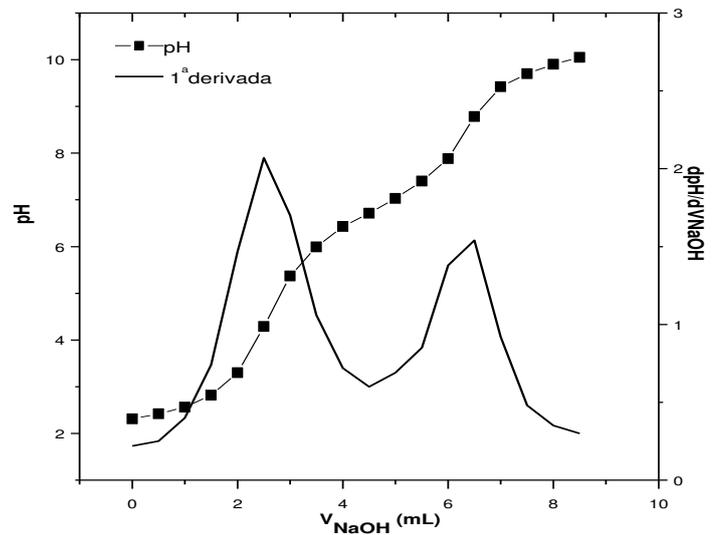


Gráfico 7 - Curva de titulação potenciométrica do refrigerante B₂, lote B₂' e de sua primeira derivada.

- Cálculo da concentração de ácido fosfórico:

Primeira virada = 2,50 mL

Volume do ácido = 40,0 mL

Concentração NaOH = 0,07M

$$\text{Cácido} \times V_{\text{ácido}} = C_{\text{base}} \times V_{\text{base}}$$

$$\text{Cácido} = 0,07 \times 2,50 / 40$$

$$\text{Cácido} = 0,0043 \text{ molL}^{-1}$$

- Refrigerante B₂, lote B₂''

Tabela 11 - Dados obtidos na titulação potenciométrica do refrigerante B₂, lote B₂''.

V(mL)	pH
0	2,35
0,5	2,39
1	2,55
1,5	2,76
2	3,11
2,5	3,82
3	4,92
3,5	5,84
4	6,3
4,5	6,62
5	6,95
5,5	7,24
6	7,68
6,5	8,42
7	9,18
7,5	9,54
8	9,78
8,5	9,95
9	10,08

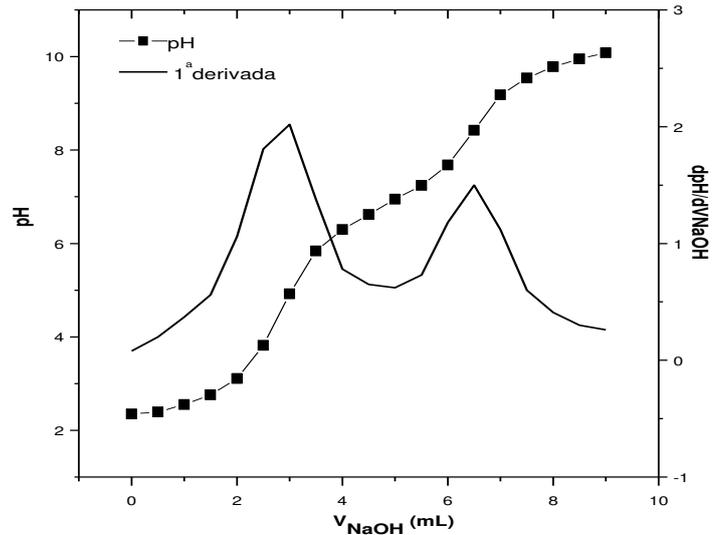


Gráfico 8 - Curva de titulação potenciométrica do refrigerante B₂, lote B₂'' e de sua primeira derivada.

Fonte: Dados da pesquisa.

- Cálculo da concentração de ácido fosfórico:

Primeira virada = 2,50 mL

Volume do ácido = 40,0 mL

Concentração NaOH = 0,07M

$$\text{Cácido} \times V_{\text{ácido}} = C_{\text{base}} \times V_{\text{base}}$$

$$\text{Cácido} = 0,07 \times 2,50 / 40$$

$$\text{Cácido} = 0,0043 \text{ molL}^{-1}$$

- Refrigerante C, lote C'

Tabela 12 - Dados obtidos na titulação potenciométrica do refrigerante C, lote C'.

V(mL)	pH
0	2,46
0,5	2,58
1	2,85
1,5	3,45
2	4,65
2,5	5,35
3	5,71
3,5	5,98
4	6,24
4,5	6,47
5	6,73
5,5	6,94
6	7,25
6,5	7,6
7	8,26
7,5	8,93
8	9,27
8,5	9,54
9	9,72
9,5	9,88
10	10,01

Fonte: Dados da pesquisa.

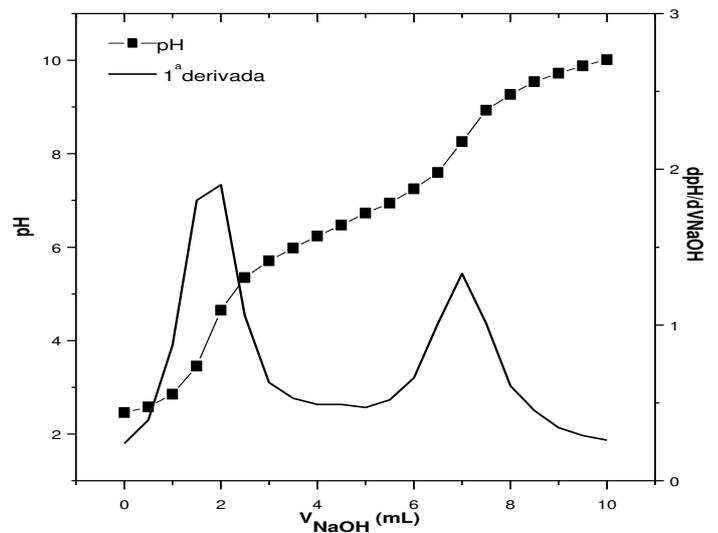


Gráfico 9 - Curva de titulação potenciométrica do refrigerante C, lote C' e de sua primeira derivada.

- Cálculo da concentração de ácido fosfórico:

Primeira virada = 2,00 mL

Volume do ácido = 40,0 mL

Concentração NaOH = 0,07M

$$\text{Cácido} \times \text{Vácido} = \text{Cbase} \times \text{Vbase}$$

$$\text{Cácido} = 0,07 \times 2,00 / 40$$

$$\text{Cácido} = 0,0035 \text{ molL}^{-1}$$

- Refrigerante C, lote C''

Tabela13 - Dados obtidos na titulação potenciométrica do refrigerante C, lote C''.

V(mL)	pH
0	2,5
0,5	2,64
1	2,85
1,5	3,6
2	4,75
2,5	5,47
3	5,85
3,5	6,12
4	6,4
4,5	6,66
5	6,96
5,5	7,22
6	7,63
6,5	8,27
7	8,88
7,5	9,32
8	9,59
8,5	9,75
9	9,92
9,5	10,02

Fonte: Dados da pesquisa.

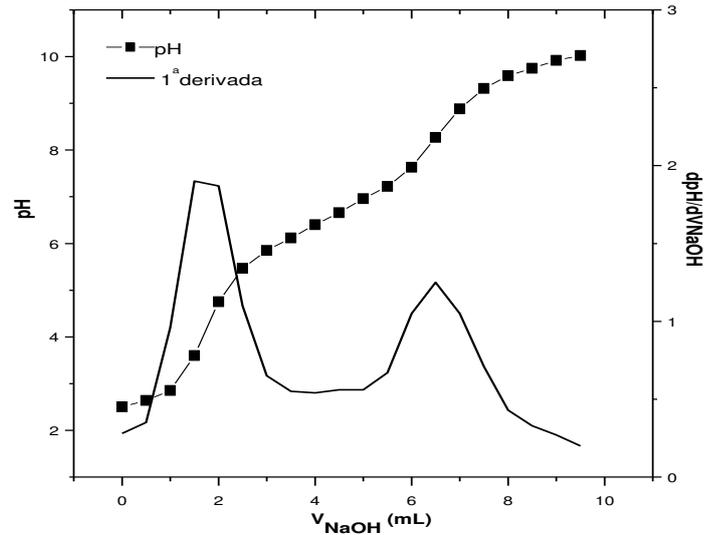


Gráfico 10 - Curva de titulação potenciométrica do refrigerante C, lote C'' e de sua primeira derivada.

- Cálculo da concentração de ácido fosfórico:

Primeira virada = 1,74 mL

Volume do ácido = 40,0 mL

Concentração NaOH = 0,07M

$$\text{Cácido} \times \text{Vácido} = \text{Cbase} \times \text{Vbase}$$

$$\text{Cácido} = 0,07 \times 1,74 / 40$$

$$\text{Cácido} = 0,0030 \text{ molL}^{-1}$$

- Refrigerante D, lote D'

Tabela 14 - Dados obtidos na titulação potenciométrica do refrigerante D, lote D'.

V(mL)	pH
0	2,32
0,5	2,38
1	2,51
1,5	2,7
2	3,11
2,5	4,13
3	5,19
3,5	5,7
4	5,99
4,5	6,26
5	6,52
5,5	6,78
6	7,03
6,5	7,32
7	7,82
7,5	8,47
8	9,11
8,5	9,48
9	9,71
9,5	9,86
10	10

Fonte: Dados da pesquisa.

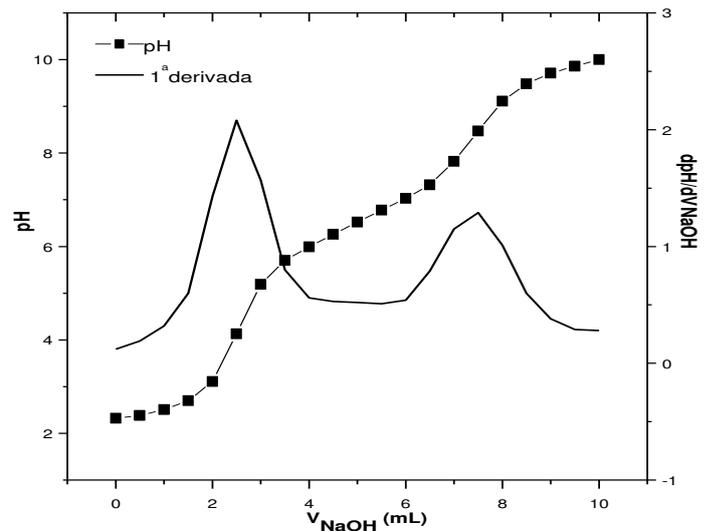


Gráfico 11 - Curva de titulação potenciométrica do refrigerante D, lote D' e de sua primeira derivada.

- Cálculo da concentração de ácido fosfórico:

Primeira virada = 2,50 mL

Volume do ácido = 40,0 mL

Concentração NaOH = 0,07M

$$\text{Cácido} \times \text{Vácido} = \text{Cbase} \times \text{Vbase}$$

$$\text{Cácido} = 0,07 \times 2,50 / 40$$

$$\text{Cácido} = 0,0043 \text{ molL}^{-1}$$

- Refrigerante D, lote D''

Tabela 15 - Dados obtidos na titulação potenciométrica do refrigerante D, lote D''.

V(mL)	pH
0	2,34
0,5	2,37
1	2,52
1,5	2,74
2	3,2
2,5	4,66
3	5,47
3,5	5,92
4	6,2
4,5	6,46
5	6,7
5,5	6,98
6	7,28
6,5	7,76
7	8,55
7,5	9,13
8	9,46
8,5	9,7
9	9,87
9,5	10,02

Fonte: Dados da pesquisa.

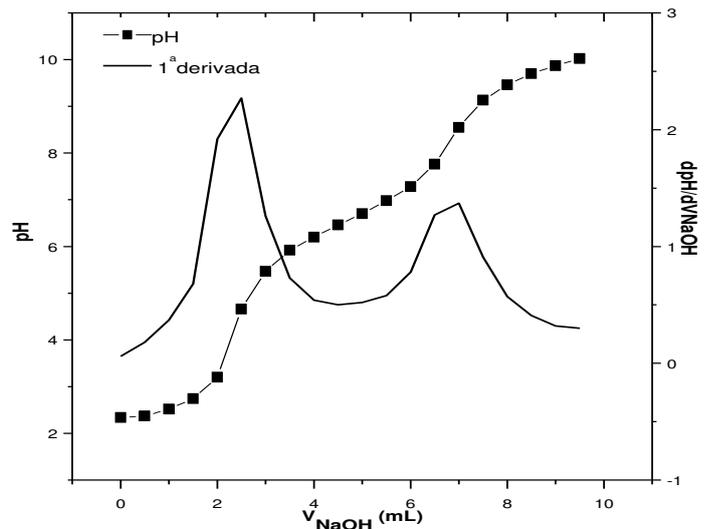


Gráfico 12 - Curva de titulação potenciométrica do refrigerante D, lote D'' e de sua primeira derivada.

- Cálculo da concentração de ácido fosfórico:

Primeira virada = 2,50 mL

Volume do ácido = 40,0 mL

Concentração NaOH = 0,07M

$$\text{Cácido} \times \text{Vácido} = \text{Cbase} \times \text{Vbase}$$

$$\text{Cácido} = 0,07 \times 2,50 / 40$$

$$\text{Cácido} = 0,0043 \text{ molL}^{-1}$$

ANEXO C – Cálculos realizados

- Determinação da concentração do NaOH

Volume gasto de H₂SO₄ = 1,4mL

Concentração H₂SO₄ = 1M

Volume NaOH = 20mL

Concentração NaOH = ?

$$C_{\text{NaOH}} \times V_{\text{NaOH}} = C_{\text{H}_2\text{SO}_4} \times V_{\text{H}_2\text{SO}_4}$$

$$C_{\text{NaOH}} \times 0,02 = 1 \times 0,0014$$

$$C_{\text{NaOH}} = 0,07\text{M}$$

- Cálculo da média aritmética, desvio padrão e coeficiente de variância.

➤ Refrigerante A

$$\begin{array}{l}
 A_1 \left\{ \begin{array}{l} A_1' [\text{H}_3\text{PO}_4] = 0,0035\text{N} \\ A_1'' [\text{H}_3\text{PO}_4] = 0,0035\text{N} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} X_1 = \bar{0,0038} \\ \\ \end{array} \right. \\
 \\
 A_2 \left\{ \begin{array}{l} A_2' [\text{H}_3\text{PO}_4] = 0,0039\text{N} \\ A_2'' [\text{H}_3\text{PO}_4] = 0,0043\text{N} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} X_2 = \bar{0,0041} \\ \\ \end{array} \right. \\
 \end{array} \left. \right\} \bar{X} = 0,0038$$

❖ Refrigerante A₁

$$D_p = \sqrt{\frac{(0,0035 - 0,0035)^2 + (0,0035 - 0,0035)^2}{2 - 1}} = 0$$

$$C_v = 100 \times \frac{0}{0,0035} = 0 \%$$

❖ Refrigerante A₂

$$D_p = \sqrt{\frac{(0,0039 - 0,0041)^2 + (0,0043 - 0,0041)^2}{2 - 1}} = 0,00028$$

$$Cv = 100 \times \frac{0,00028}{0,0041} = 6,83 \%$$

❖ Refrigerante A₁ e A₂

$$Dp = \sqrt{\frac{(0,0035 - 0,0038)^2 + (0,0041 - 0,0038)^2}{2 - 1}} = 0,00042$$

$$Cv = 100 \times \frac{0,00042}{0,0038} = 11,05 \%$$

➤ Refrigerante B

$$\begin{array}{l}
 B_1 \left\{ \begin{array}{l} B_{1'} [\text{H}_3\text{PO}_4] = 0,0043\text{N} \\ B_{1''} [\text{H}_3\text{PO}_4] = 0,0052\text{N} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} \bar{X}_3 = 0,0047 \\ \bar{X} = 0,0045 \end{array} \right. \\
 \\
 B_2 \left\{ \begin{array}{l} B_{2'} [\text{H}_3\text{PO}_4] = 0,0043\text{N} \\ B_{2''} [\text{H}_3\text{PO}_4] = 0,0043\text{N} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} \bar{X}_4 = 0,0043 \\ \bar{X} = 0,0045 \end{array} \right.
 \end{array}$$

❖ Refrigerante B₁

$$Dp = \sqrt{\frac{(0,0043 - 0,0047)^2 + (0,0052 - 0,0047)^2}{2 - 1}} = 0,00064$$

$$Cv = 100 \times \frac{0,00064}{0,0047} = 13,61 \%$$

❖ Refrigerante B₂

$$Dp = \sqrt{\frac{(0,0043 - 0,0043)^2 + (0,0043 - 0,0043)^2}{2 - 1}} = 0$$

$$C_v = 100 \times \frac{0}{0,0043} = 0 \%$$

❖ Refrigerante B₁ e B₂

$$D_p = \sqrt{\frac{(0,0047 - 0,0045)^2 + (0,0043 - 0,0045)^2}{2 - 1}} = 0,00028$$

$$C_v = 100 \times \frac{0,00028}{0,0045} = 6,22 \%$$

➤ Refrigerante C

$$C \left\{ \begin{array}{l} C' [\text{H}_3\text{PO}_4] = 0,0035 \text{ N} \\ C'' [\text{H}_3\text{PO}_4] = 0,0030 \text{ N} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} \bar{X}_5 = 0,0032 \end{array} \right.$$

$$D_p = \sqrt{\frac{(0,0035 - 0,0032)^2 + (0,0030 - 0,0032)^2}{2 - 1}} = 0,00036$$

$$C_v = 100 \times \frac{0,00036}{0,0032} = 11,25 \%$$

➤ Refrigerante D

$$D \left\{ \begin{array}{l} D' [\text{H}_3\text{PO}_4] = 0,0043 \text{ N} \\ D'' [\text{H}_3\text{PO}_4] = 0,0043 \text{ N} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} \bar{X}_6 = 0,0043 \end{array} \right.$$

$$D_p = \sqrt{\frac{(0,0043 - 0,0043)^2 + (0,0043 - 0,0043)^2}{2 - 1}} = 0$$

$$C_v = 100 \times \frac{0}{0,0043} = 0 \%$$

ANEXO D – Figuras do experimento

- Efeito do gás carbônico ao colocar o refrigerante no banho de ultra-som



- Esquema da aparelhagem utilizada no experimento

