

**CEETEPS - CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA
PAULA SOUZA
ETEC TRAJANO CAMARGO
Curso Técnico Profissionalizante em Química**

**ADREAN ARAUJO DE SOUZA
ANA BEATRIZ DE SOUZA SALES
GEOVANA ALVES TENCATTI**

**BAFÔMETRO ECOLÓGICO: ECONOMICAMENTE MAIS VIÁVEL E
COM MENOR TAXA DE EFLUENTES GERADOS**

**Limeira - SP
2023**

**Adrean Araujo de Souza
Ana Beatriz de Souza Sales
Geovana Alves Tencatti**

**BAFÔMETRO ECOLÓGICO: ECONOMICAMENTE MAIS VIÁVEL E
COM MENOR TAXA DE EFLUENTES GERADOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso Técnico em Química da ETEC Trajano Camargo, orientado pela Profa. Me. Jéssica Carolina Paschoal de Macedo e coorientado pelo Prof. Dr. Ricardo Francischetti Jacob, como requisito parcial para obtenção do título do técnico em Química.

**Limeira - SP
2023**

Dedicamos este trabalho a nossa orientadora Profa. Me. Jéssica Macedo, nosso orientador Prof. Dr. Ricardo Jacob, a nossa família e a todos amantes de química que tem a intenção de tornar o planeta mais sustentável.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nossa profunda gratidão às seguintes pessoas, cujo apoio e incentivo foram fundamentais para o sucesso deste projeto:

A todos vocês, nossa família e amigos, expressamos profunda gratidão. O apoio, amor e crença em nós foram pilares essenciais para a conclusão deste projeto. Somos verdadeiramente gratos por tê-los em nossas vidas.

Não nos esquecendo de nossa orientadora Profa. Me. Jéssica Carolina Paschoal de Macedo, pelo apoio, confiança e persistência em nosso trabalho, e também de nosso coorientador Prof. Dr. Ricardo Francischetti Jacob pelo suporte que nos ajudou a continuar.

Finalizamos agradecendo a Profa. Me. Ingrid Capuano pelo conhecimento e inteligência agregados em nosso projeto, que foram cruciais para a fundamentação dele.

Com sincera gratidão,

Adrean Araujo de Souza

Ana Beatriz de Souza Sales

Geovana Alves Tencatti

RESUMO

Sabemos que uma pessoa sob efeito do álcool se torna incapacitada de conduzir veículos, uma vez que a bebida alcoólica afeta diretamente o cérebro, prejudicando a coordenação motora, a rapidez dos reflexos e até mesmo a visão. Diante esse fato, e especialmente após a Revolução Industrial, o preço de bebidas e carros reduziram, acarretando também de forma linear no aumento das quantidades de acidentes de trânsito. Com isso, surgiu a necessidade de elaborar um equipamento algo que detectasse o álcool no organismo do motorista, deste modo, podendo comprovar que não estava apto a dirigir por estar alcoolizado, sendo assim punido pela infração. Assim, após muitas pesquisas, Robert Borkenstein desenvolveu o protótipo do equipamento que hoje chamamos de bafômetro, também conhecido como etilômetro. Atualmente, o bafômetro descartável mais utilizado tem em sua composição o dicromato de potássio (K_2CrO_4) fortemente acidificado com ácido sulfúrico (H_2SO_4) e a célula de combustível. No entanto, é de conhecimento geral que o cromo ou cromo (Cr) é um metal pesado que traz efeitos negativos tanto para a saúde humana e animal quanto para o meio ambiente, além do fato de que os metais não são biodegradáveis, e conseqüentemente se acumulam no ambiente evidenciando sua toxicidade, que por sua vez, resulta no processo de bioacumulação. Com base nas discussões apresentadas acima, o objetivo desta pesquisa é elaborar um bafômetro ecológico, sem o emprego do dicromato como reagente da reação, fato este que seria potencial para reduzir os poluentes descartados no meio ambiente, além de baratear seu custo de produção.

Palavras-chave: Álcool. Cromo. Bafômetro. Sustentabilidade.

ABSTRACT

We know that a person under the influence of alcohol becomes incapacitated to drive vehicles, as it directly affects the brain, impairing motor coordination, reflex speed, and even vision. In light of this fact, and especially after the Industrial Revolution, the prices of both alcoholic beverages and cars decreased, leading to a linear increase in traffic accidents. Consequently, there arose the need to develop a device that could detect alcohol in a driver's system, thus being able to prove their incapacity to drive due to intoxication and subsequently penalize them for the offense. After extensive research, Robert Borkenstein developed the prototype of the device we now call the breathalyzer, also known as the breathalyzer. Currently, the most widely used disposable breathalyzer contains potassium dichromate (K_2CrO_4) strongly acidified with sulfuric acid (H_2SO_4) and a fuel cell. However, it is widely known that chromium (Cr) is a heavy metal that has negative effects on both human and animal health and the environment. Additionally, metals are non-biodegradable and consequently accumulate in the environment, highlighting their toxicity, which, in turn, results in the process of bioaccumulation. Based on the discussions presented above, the aim of this research is to develop an eco-friendly breathalyzer, eliminating the use of dichromate as a reagent in the reaction, which would have the potential to reduce pollutants in the environment and lower production costs.

Keywords: Alcohol. Chromium. Breathalyzer. Sustainability.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. OBJETIVO GERAL	10
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
4. METODOLOGIA	20
Figura 3: Fluxograma das etapas da pesquisa	21
REFERÊNCIAS	28

1. INTRODUÇÃO

É de conhecimento geral que o consumo de bebidas alcóolicas traz malefícios ao organismo humano, com isso, ressaltamos que a ingestão dela prejudica a coordenação motora e a rapidez dos reflexos. A partir disso, podemos concluir que uma pessoa sob efeito do álcool (Etanol – C_2H_5OH) se torna incapacitada de conduzir veículos (BRAATHEN, 1997).

Levando esses dados em consideração o Código de Trânsito Brasileiro (CONTRAN) sancionou a conhecida “Lei Seca” (BRASIL, Lei nº 11.705/2008), que no Artigo 165 determina:

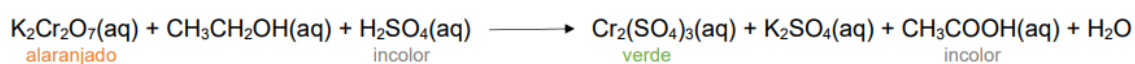
Art.165 Dirigir sob influência de álcool ou de qualquer outra substância psicoativa que determine dependência:
Infração – Gravíssima; (BRASIL, Lei nº 11.705, de 2008)
Penalidade – Multa (dez vezes) e suspensão do direito de dirigir por 12 (doze) meses (BRASIL, Lei nº 12.760, de 2012).

No entanto, antes dessa lei (BRASIL, Lei nº 11.705/2008) não se caracterizava como “Lei Seca”, conforme constatado na Lei nº 11.275/2006, visto que só era considerado infração quando o nível de álcool no organismo fosse superior a 0,6 gramas de álcool por litro de sangue (FONSECA, 2022).

Dado que o etanol faz com que tenhamos uma decaída do funcionamento do cérebro, alterando a ação de neurotransmissores (HOSPITAL SANTA MÔNICA, 2018), vemos que um grande número de mortes e acidentes no trânsito é devido a embriaguez ao volante. De acordo com dados da Polícia Rodoviária Federal (PRF), de janeiro a maio de 2021, 1.738 acidentes foram cometidos por motoristas que dirigiam sob influência do álcool (FOLHA WEB, 2022).

Partindo-se deste contexto, observamos a importância do bafômetro, inventado em 1954 pelo Dr. Robert Borkenstein da Polícia do Estado Indiana (ASHWINI; PRITI; PRATIKSHA, 2019), o qual foi desenvolvido com o objetivo de mensurar a quantidade de etanol no corpo de um indivíduo (ANDRADE; COSCIONE, 2001).

Desse modo, sob a ótica da Química, conseguimos entender o funcionamento de um bafômetro, visto que a detecção do excesso de álcool pelo instrumento é visual, uma vez que ocorre oxidação do álcool (C_2H_5OH), o transformando em um aldeído ($C_nH_{2n}O$), que ocorre devido a redução do dicromato a cromo (II) ou a cromo (III), como podemos observar na equação a seguir:



Dito isso, esse exemplo é uma referência de bafômetros descartáveis, que apresentam em sua composição uma mistura sólida de solução aquosa de dicromato de potássio e sílica, umedecida com ácido sulfúrico (BRAATHEN, 1997).

No entanto, é certo que o cromo ou cromo (Cr) é um metal pesado que traz efeitos negativos tanto para a saúde humana quanto para o meio ambiente (BULEGON *et al.*, 2019), tendo em vista que os metais não são biodegradáveis, assim como os compostos orgânicos tóxicos, estes se acumulam no ambiente o que evidencia sua toxicidade (VOIGT; SILVA; CAMPOS, 2016), que por sua vez, acarreta um processo de bioacumulação.

Diversos autores sinalizam que o cromo (Cr) pode ser lançado ao ambiente em vários estados de oxidação, variando de Cr^{+2} a Cr^{+6} (JAISHANKAR; *et al.*, 2014). Porém, os mais encontrados são o Cromo Trivalente (Cr^{+3}) e o Cromo Hexavalente (Cr^{+6}). No entanto, devido ao excesso de gás oxigênio no ambiente, o Cr^{+3} é oxidado a (Cr^{+4}), sendo ambos nocivos a humanos, animais e plantas (JAISHANKAR; *et al.*, 2014). A partir do estudo sobre o cromo optamos por elaborar um bafômetro que substitua esse composto a fim de minimizar os danos ambientais causados por ele, tais como apresentamos acima.

2. OBJETIVO GERAL

O objetivo desse trabalho é a elaboração de um bafômetro sustentável, visando a preservação ambiental e a diminuição de custo em sua produção.

2.1 Objetivos Específicos

- Elaborar um bafômetro de menor impacto ambiental;
- Elaborar novas metodologias com intuito da possibilidade de substituição do dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) e do ácido sulfúrico (H_2SO_4), além de causar menos danos ambientais;
- Redução de gastos na produção do bafômetro.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Desde os primórdios da humanidade, a cevada e as uvas eram fermentadas para produzir cerveja e vinho. O homem consumia bebidas alcoólicas como forma de buscar prazer e desinibição, seja por seu efeito no corpo ou para fins religiosos ou medicinais. Entretanto, só a partir da Revolução Industrial o consumo de bebidas alcoólicas aumentou pela sua drástica redução no preço. Contudo, após esse período os veículos ficaram mais acessíveis, fato esse que têm acarretado o aumento cada vez maior do número de acidentes de trânsito, em especial em decorrência à mistura do álcool com direção, surgindo assim a necessidade de se criar um instrumento detector da presença de álcool no corpo do motorista (REIS, 2020).

Partindo-se disto, temos como informações que as primeiras pesquisas sobre o assunto foram realizadas por Widmark na Suécia entre 1914 e 1932 para definir o alcoolismo em motoristas. Este trabalho continuou em duas direções: Inicialmente os motoristas foram testados por meio de testes psicossensoriais e psicomotores específicos para detectar deficiências físicas no motorista, bem como testes químicos simultâneos de materiais biológicos tais como, monitoramento por imagem do sistema nervoso, urina ou sangue do corpo para medir os níveis de álcool. Esses métodos bem conhecidos foram adaptados para explorar o problema do alcoolismo com mais detalhes, mas não foram desenvolvidos para esse fim específico, mas sim como ferramentas neurológicas utilizadas especificamente neste caso (BORKENSTEIN; TRUBITT; LEASE, 1963).

Sendo assim, coube a Widmark compilá-los com testes químicos, com o único propósito de diagnosticar conclusivamente os efeitos do álcool. Uma desvantagem de usar apenas o exame neurológico para esse fim era que, embora mostrasse dano ao sistema nervoso central, a presença do dano não podia ser definitivamente atribuída ao álcool (BORKENSTEIN; TRUBITT; LEASE, 1963).

Em seguida, foram então elaborados testes químicos, os quais também eram conhecidos antes de 1900, e visavam medir os níveis de álcool no sistema nervoso central (SNC), analisando substâncias corporais. Métodos competentes para a determinação quantitativa de álcool em substâncias biológicas como cérebro, sangue e urina foram desenvolvidos no último quartel do século XIX. E assim, mais uma vez,

coube a Widmark relacionar esses dois métodos com o objetivo de criar o que ele denominou de Síndrome de Influência do Álcool.

Frente esses estudos, durante 1914-1932, as discussões desenvolvidas por Widmark se assemelharam ao trabalho do Dr. Herman Heise, uma vez que ambos buscavam associar o comportamento do motorista após a detecção do álcool em amostras de urina (BORKENSTEIN; TRUBITT; LEASE, 1963). Desse modo, tanto Widmark quanto Heise originalmente usavam urina como amostra para análise devido sua facilidade de coleta e amostragem. Porém, Widmark reconheceu a dificuldade em identificar a quantidade de álcool em amostras de urina, uma vez que a maior parte de álcool é metabolizado no fígado, cerca de 90% a 95%, de acordo com o Centro de Informações sobre Saúde e Álcool - CISA¹. Contudo, preferiu usar sangue, mas enfrentou a problemática de obter uma amostra com volume insuficiente para os métodos analíticos utilizados na época (BORKENSTEIN; TRUBITT; LEASE, 1963).

Foi então que, no início da década de 1930, outro investigador viu a possibilidade de usar a respiração exalada, facilmente obtida como material corporal para determinação de álcool no organismo humano. O Dr. Rolla N. Harger, da Escola de Medicina da Universidade de Indiana, desenvolveu o primeiro teste prático de álcool no sangue. Seu método é baseado na relação fixa entre respiração alveolar e sangue, estabelecida por Cushny no Reino Unido, e o método de análise da respiração por Bogen nos EUA, bem como de Liljestrand e Linde na Suécia (BORKENSTEIN; TRUBITT; LEASE, 1963).

Apenas em 1938 o Drunkometer®, nome apelidado na época que acabou prevalecendo, começou a ser utilizado pelos policiais de Indiana (BORKENSTEIN; TRUBITT; LEASE, 1963). Por mais que isso tenha substituído a análise laboratorial do sangue coletado, o motorista tinha que soprar em um balão que era levado para o laboratório. Isso era um processo demorado e tedioso que dependia das habilidades visuais do técnico que realizava a análise, abrindo assim precedentes para que os advogados de defesa tivessem sucesso em apontar brechas e falhas neste processo (REED, 2002).

¹ O Centro de Informações sobre Saúde e Álcool (CISA) é uma das principais referências no Brasil sobre o tema e, ao longo dos 18 anos de atividades, tem contribuído para a ampliação do debate sobre a relação álcool-saúde e para a conscientização e prevenção do uso nocivo de bebidas alcoólicas.

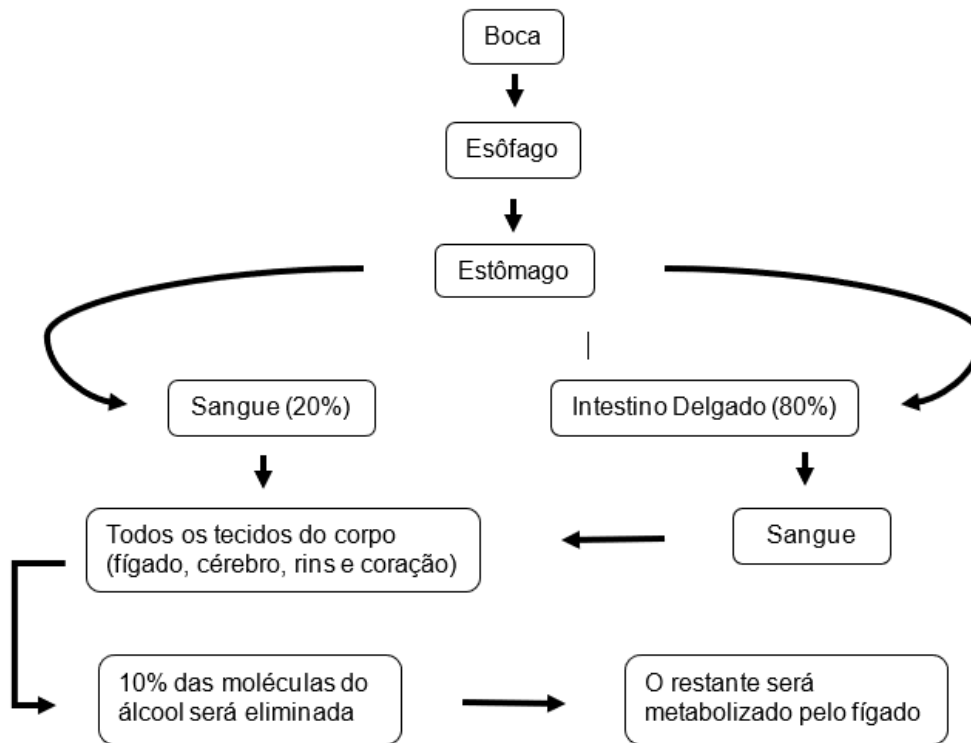
A partir deste fato, Robert Borckenstein, um pesquisador americano, desenvolveu em 1954 seu próprio aparelho de quantificar álcool, antes mesmo de concluir sua faculdade. Ele substituiu o balão por um tubo de borracha e adicionou um dispositivo automático para avaliar comparações de cores feitas que anteriormente não eram possíveis serem vistas a olho nu. Esse equipamento foi comercializado pela primeira vez em 1958 e Borckenstein deteve a patente durante a maior parte de sua vida, eventualmente vendendo-a para a empresa do Colorado que o comercializa até hoje, conhecido como bafômetro (REED, 2002).

Atualmente no Brasil o bafômetro é um acessório de uso corriqueiro da polícia na inspeção de festas, bares e baladas. Também chamado de etilômetro, o dispositivo pode medir o nível de álcool no sangue de um usuário em segundos, determinando qualitativamente se um motorista pode se sentar ao volante, atendendo as normativas do CONTRAN (RIBEIRO; *et al.*, 2013; LEI nº 11.705/2008).

Ao ser transportado pelo sangue, o etanol chega ao cérebro estimulando-o para que os neurônios liberem quantidades extras de serotonina, neurotransmissor que regula o prazer, humor e ansiedade, conseqüentemente manifestando os primeiros sintomas da ingestão do álcool: a euforia desenfreada. Ao continuar a ingestão mais neurotransmissores são ativados, além de estimular a liberação do glutamato, substância responsável por modular seu GABA² que quando liberado de forma descontrolada deixa os neurônios menos ativos, fazendo com que a pessoa perca desde a coordenação motora (RIBEIRO; *et al.*, 2013). A Figura 1 elucida o caminho que o álcool faz em nosso organismo:

² Ácido gama-aminobutírico, também conhecido pela sigla inglesa GABA, é um ácido aminobutírico em que o grupo amina está na extremidade da cadeia carbônica. É o principal neurotransmissor inibidor no sistema nervoso central dos mamíferos.

Figura 1: Trajeto do álcool no organismo



Fonte: Costa; Melo (2014), adaptado por Souza; Sales; Tencatti (2023).

Em vista disto, um indivíduo sob efeito do álcool, mesmo que em pequena quantidade, terá uma redução em seus reflexos e conseqüentemente afetará seu estado de direção. As principais áreas afetadas pelo consumo de álcool são o córtex frontal, responsável pela coordenação motora e o cerebelo, responsável pela leitura espacial e pelo equilíbrio tornando ainda mais claro que o consumo de álcool faz com que os motoristas percam as habilidades básicas de direção (GALLASSI, 2020). Somado a todos esses efeitos, ainda há o fato de que os reflexos relacionados ao álcool e a falta de atenção ao dirigir colocam em risco a própria vida e a dos demais (ELAINA, 2019). Com isso, a figura 2 evidencia os efeitos que o álcool traz, de acordo com suas respectivas dosagens no corpo humano:

Figura 2: Efeitos que o etanol traz de acordo com suas dosagens

NÍVEL DE ÁLCOOL NO SANGUE (mg/dL de sangue)	EFEITOS DO ÁLCOOL NO ORGANISMO
30mg (1 ou 2 doses)	Hálito alcóolico, desinibição, mudanças sutis no estado de espírito. Sensação de euforia e excitação.
50mg (3 ou 4 doses)	Perda da coordenação motora, menor capacidade de processar informações. Proibido dirigir.
60mg (5 ou 6 doses)	Comprometimento das atividades motoras, visivelmente bêbado, andar cambaleante.
100mg (7 ou 8 doses)	Náuseas, vômito, fala arrastada, visão dupla.
200mg (mais de 9 doses)	Lapsos de memória, sonolência, sensação de anestesia.
300 a 400mg (10 doses)	Insuficiência respiratória, coma e até possibilidade de morte.

Fonte: Costa; Melo (2014), adaptado por Souza; Sales; Tencatti (2023).

Podemos observar, em consonância aos dados da Polícia Rodoviária Federal (PRF), que nos dois primeiros meses de 2023 o número de acidentes por embriaguez foi alarmante, somando mais de 539 acidentes em todo país. Outros dados da Secretaria Nacional de Trânsito nos indicam que nos últimos dois anos o número de mortes ocasionadas pela combinação de álcool com direção chega a mais de 2.400 mortes no Brasil. Para finalizar, outro dado preocupante frente a temática em relação ao ano passado, é de que mais de 14.300 condutores foram penalizados por estarem dirigindo sob influência do álcool, além de mais de 41 mil motoristas se recusaram a fazer o teste do bafômetro (LIMA, 2023).

Em contrapartida, a aprovação da Lei nº 13.281, de 2016 do Código de Trânsito Brasileiro (CONTRAN) modificou o Artigo 277 e inseriu o Artigo 165-A na jurisdição:

Art. 165-A. Recusar-se a ser submetido a teste, exame clínico, perícia ou outro procedimento que permita certificar influência de álcool ou outra substância psicoativa, na forma estabelecida pelo art. 277: Infração - gravíssima; Penalidade - multa (dez vezes) e suspensão do direito de dirigir por 12 (doze) meses; Medida administrativa - recolhimento do documento de habilitação e retenção do veículo,

observado o disposto no § 4º do art. 270. Parágrafo único. Aplica-se em dobro a multa prevista.

Art. 277 [...] § 3º Serão aplicadas as penalidades e medidas administrativas estabelecidas no art. 165-A deste Código ao condutor que se recusar a se submeter a qualquer dos procedimentos previstos no caput deste artigo (BRASIL, Lei nº 13.281/2016).

Entretanto nem sempre foi assim, conforme discutimos na introdução dessa pesquisa, a lei que deu origem a tudo isso foi a Lei nº 9.503, de setembro de 1997, que impôs multa apenas aos motoristas com determinado nível de alcoolemia no organismo, permitindo a liberação de motoristas com alcoolemia inferior a 6 decigramas por litro no sangue (JORNAL JURID, 2023). Todavia, essa lei passou por diversas modificações com o passar do tempo, começando em 2006 onde a Lei nº 11.275 passou a modificar os artigos 165, 277 e 302 da Lei nº 9.503, permanecendo as determinações de tolerância mínima de álcool por litro de sangue (FONSECA, 2023).

Contudo, em 2008 surgiu uma nova normativa, conhecida como “Lei Seca” (Lei nº 11.705/2008), que introduziu tolerância zero para dirigir, criminalizando tal delito (FRAGOSO, 2022) visto que, segundo o Código de Trânsito Brasileiro (CONTRAN):

Art.165. Dirigir sob a influência de álcool ou de qualquer outra substância psicoativa que determine dependência:

Infração - gravíssima;

Penalidade - multa (cinco vezes) e suspensão do direito de dirigir por 12 (doze) meses;

Medida Administrativa - retenção do veículo até a apresentação de condutor habilitado e recolhimento do documento de habilitação.

Art. 276. Qualquer concentração de álcool por litro de sangue sujeita o condutor às penalidades previstas no art. 165 deste Código.

Parágrafo único. Órgão do Poder Executivo federal disciplinará as margens de tolerância para casos específicos (BRASIL, Lei nº 12.760/2012).

Desde então, mais mudanças foram feitas, como em 2012 por meio da Lei nº 12.760, onde trata especialmente de penalidades mais graves, como a duplicação do valor das multas. A Lei Seca inserida em 2008 permanece até hoje, entretanto com uma mudança no Artigo 302, incluído pela Lei nº 13.546, de 2017, observamos que:

[...] § 3º Se o agente conduz veículo automotor sob a influência de álcool ou de qualquer outra substância psicoativa que determine dependência:

Penas - reclusão, de cinco a oito anos, e suspensão ou proibição do direito de se obter a permissão ou a habilitação para dirigir veículo automotor (BRASIL, Lei nº 13.546, de 2017).

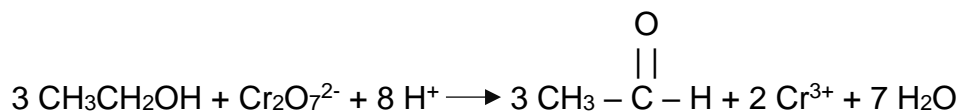
Ainda que haja as leis supracitadas para regulamentar a infração de dirigir sob efeito do álcool, existe uma margem de erro de quantidades muito pequenas de álcool, sendo elas, 0,04 miligramas por litro de sangue, que deve ser levada em consideração antes que as autoridades possam determinar um delito. Portanto, uma infração por embriaguez só deve ser registrada se o teor de álcool estiver acima do nível, dentro dessa margem de erro (FONSECA, 2023).

Desse modo, para medir o teor de álcool, de acordo com a concepção de Robert Borkestein, o ar soprado pelo suspeito é bombeado em uma solução de dicromato de potássio fortemente acidificada com ácido sulfúrico, assim o etanol introduzido na solução reage com os íons dicromato para produzir os íons acetaldeído e Cr^{3+} . Como consequência, a cor laranja característica desta solução muda para um tom esverdeado quando o etanol reage. Na prática, alguns cuidados devem ser tomados para poder quantificar o etanol no ar que o suspeito respira (ANDRADE; COSCIONE, 2001).

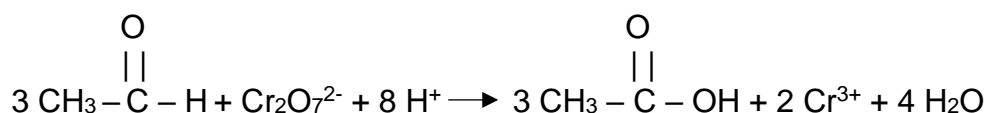
O primeiro diz respeito ao ar de amostra, que deve corresponder ao ar alveolar dos pulmões em equilíbrio com o sangue envolvido no transporte de gases no metabolismo humano. Portanto, o ar soprado pelo tubo deve primeiro encontrar um amostrador do tipo pistão que introduz no sistema apenas a última parte da respiração do suspeito formada por ar alveolar. Além disso, a reação de oxidação do etanol por íons dicromato requer o uso de nitrato de prata como catalisador mesmo em meio fortemente ácido, e a reação é retardada porque deve ser mantida a 50°C . Nestas condições a reação está completa após aproximadamente 90 segundos (ANDRADE; COSCIONE, 2001).

Do ponto de vista da química orgânica, agentes oxidantes podem ser usados para oxidar álcoois a aldeídos, cetonas ou ácidos carboxílicos. O rendimento final e a velocidade da reação dependem da estrutura do álcool de partida e do poder de oxidação do oxidante usado. Um exemplo de agente oxidante forte amplamente utilizado nessas reações é o Cr^{6+} , que se encontra em várias formas químicas. Esses elementos incluem trióxido de cromo, cromato e dicromato. A reação de oxidação de álcoois primários como o etanol por íons dicromato envolve pelo menos duas etapas (ANDRADE; COSCIONE, 2001).

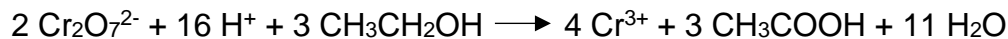
Na primeira etapa, o etanol introduzido na solução reage com o íon dicromato para formar um aldeído, neste caso o acetaldeído (ANDRADE; COSCIONE, 2001). Como observamos na equação abaixo:



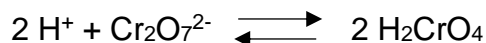
O aldeído produzido também é suscetível à oxidação, então o acetaldeído é consumido em uma segunda etapa para produzir ácido acético (ácido carboxílico) com redução do íon Cr^{6+} correspondente a íon Cr^{3+} . Como podemos observar abaixo (ANDRADE; COSCIONE, 2001):



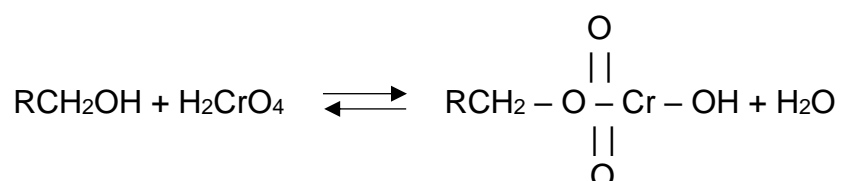
A reação entre etanol e dicromato pode ser amplamente descrita como mostrado a seguir (ANDRADE; COSCIONE, 2001):



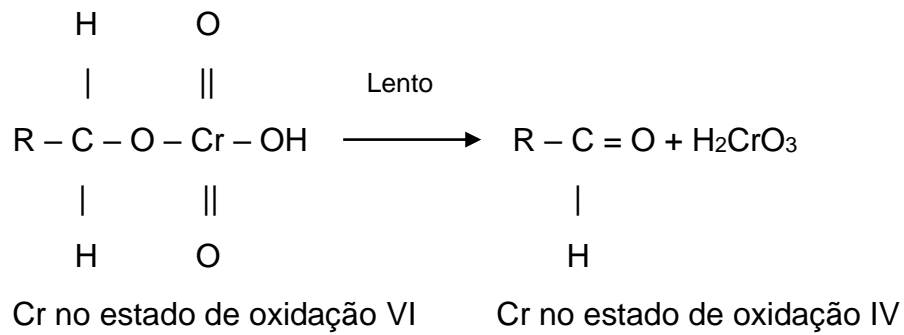
Vários mecanismos foram propostos tentando explicar como o íon dicromato oxida um álcool. O mecanismo mais aceito é o proposto em 1949 por Weistheimer. Onde um íon dicromato formaria duas moléculas de ácido crômico (H_2CrO_4) em uma solução ácida (ANDRADE; COSCIONE, 2001), como podemos ver no equilíbrio abaixo:



A etapa seguinte, visto que é rápida e reversível, a partir do íon cromato com o álcool traria a formação de um éster (ANDRADE; COSCIONE, 2001), como a seguir:



E por fim, haveria a quebra de uma ligação C – H, isso na etapa lenta da reação (ANDRADE; COSCIONE, 2001):



O H_2CrO_3 formado é reduzido a Cr^{3+} reage com outros íons cromo em diferentes estados oxidação e reage com outras moléculas de álcool, em uma série de respostas rápidas (ANDRADE; COSCIONE, 2001).

4. METODOLOGIA

Para elaboração de nossa metodologia nos baseamos no trabalho de Braathen (1997), visto que este se propõe a simular a reação química que ocorre em um bafômetro, com a finalidade de determinar qualitativamente a presença de álcool no organismo do motorista. Desse modo, em seu artigo Braathen (1997), dedica-se a elaborar um mecanismo composto por um Erlenmeyer tampado com uma rolha que possui dois furos, de modo que sai deles dois canudos. Com isso, um canudo ficava imerso na solução de álcool presente no Erlenmeyer e o outro acima da solução e dentro de um tubo de ensaio com uma solução de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$), embebida em ácido sulfúrico (H_2SO_4).

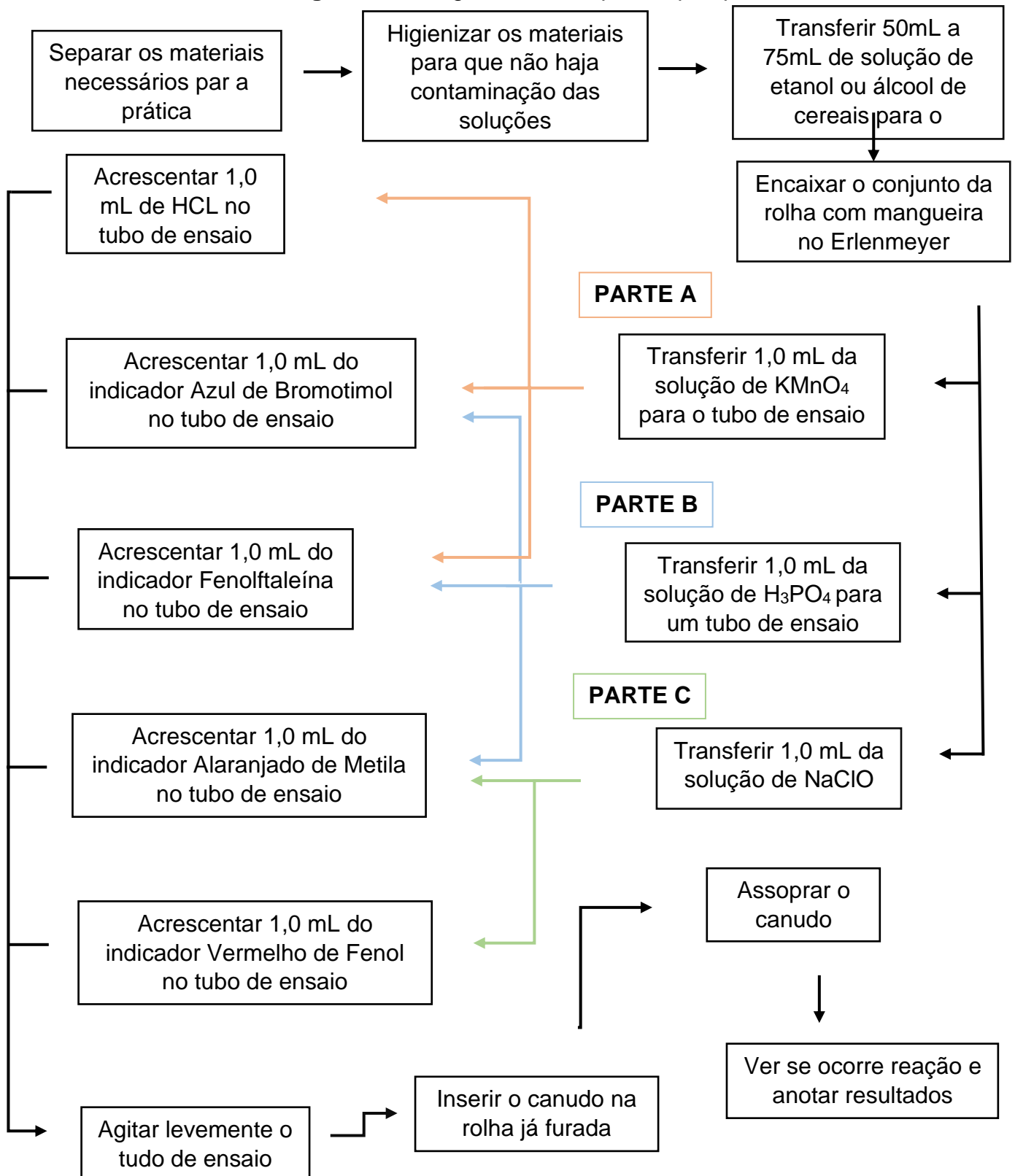
Com isso, ao se assoprar no canudo fixo no Erlenmeyer que possui apenas álcool se tornava visível a mudança de cor do dicromato, concluindo assim a ocorrência da reação. Diante esses resultados obtidos por ele, bem como de nossas investigações a respeito da toxicidade do dicromato quando descartado, sobretudo de forma incorreta, nos dedicamos nessa pesquisa a investigar três metodologias para substituição do dicromato, sendo elas: hipoclorito de sódio ($NaClO$), permanganato de potássio ($KMnO_4$) e ácido fosfórico (H_3PO_4). Desse modo buscaremos identificar qual composto apresenta melhor eficiência e menor geração de resíduos (BRAATHEN, 1997).

4.1 Materiais Necessários

- Erlenmeyer de 125mL;
- Conjunto de rolha e mangueira;
- Canudo de refrigerante;
- Tudo de Ensaio;
- Béqueres;
- Tubos de Ensaio;
- Etanol ou álcool de cereais;
- Solução de Permanganato de Potássio;
- Solução de Ácido Fosfórico;
- Solução de Hipoclorito de Sódio;
- Solução de Ácido Clorídrico;
- Azul de Bromotimol;
- Vermelho de Fenol;
- Alaranjado de Metila;
- Fenolftaleína;

4.2 Fluxograma

Figura 3: Fluxograma das etapas da pesquisa



Fonte: Os autores (2023).

O fluxograma acima norteia a forma como se dará o método onde primeiramente haverá a separação dos materiais que serão utilizados para fazer o procedimento, em seguida higienizá-los para que não tenham risco de contaminação em nenhuma parte do processo. A próxima etapa é transferir cerca de 50mL a 75mL da solução de etanol ou de álcool de cereais para o Erlenmeyer de 125mL. Fazer um furo no conjunto com rolha e mangueira do tamanho do canudo de refrigerante e fechar o Erlenmeyer com ele.

Prosseguindo para parte A, transferimos 1,0 mL de permanganato de potássio (KMnO_4) em três tubos de ensaio diferentes, em cada um deles adicionamos 1,0 mL de diferentes indicadores, sendo eles, ácido clorídrico (HCl), azul de bromotimol e fenolftaleína e, agitamos levemente para homogeneizar a solução.

Já na parte B, transferimos 1,0 mL de ácido fosfórico (H_3PO_4) também em três tubos de ensaios diferentes e adicionamos em cada um deles 1,0 mL de diferentes indicadores, sendo eles: azul de bromotimol, fenolftaleína e alaranjado de metila, em seguida agitamos levemente.

E por fim na parte C transferimos 1,0 mL de hipoclorito de sódio (NaClO), em 2 tubos de ensaios diferentes, em cada um deles adicionamos 1,0 mL de diferentes indicadores, sendo eles: fenolftaleína e vermelho de fenol. Agitamos levemente.

Ambos os passos culminaram em encaixar a mangueira em um dos tubos de ensaio e assoprar o canudo. Em seguida se buscamos analisar se a ocorrência da reação se processa de forma visível a olho nu.

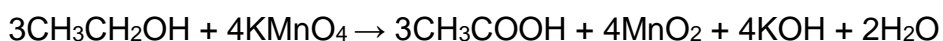
5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

De início, tivemos uma problemática no processo, devido a não conseguirmos deixar a cor evidente da reação do álcool com a solução contendo os indicadores por mais de 5 segundos. A partir disto, observamos uma grande necessidade de identificarmos o ponto de viragem dos indicadores, ou seja, o quanto de indicador deveríamos colocar para que ocorresse uma mudança nítida e semipermanente. Desse modo utilizamos um processo de inicial de análise de cada indicador com as soluções de etanol e, com isso, obtivemos os seguintes resultados:

5.1 Análises e observações efetuadas na Parte A

Nesta etapa realizamos a análise do ponto de viragem das soluções de Permanganato de potássio (KMnO_4) com diferentes indicadores, sendo eles: azul de bromotimol, fenolftaleína e ácido clorídrico (HCl). Todavia, não obtivemos êxito na visualização da mudança de cor ao reagir com o álcool, por conta da forte coloração desta solução, que acarretou a dificuldade da visualização de cor ao reagir com o álcool.

Inicialmente, podemos observar a reação química entre o Permanganato de potássio (KMnO_4) e o etanol:



De acordo com pesquisas o indicador mais indicado para o composto seria a fenolftaleína, uma vez que o ponto de viragem da mesma é entre o pH 8,2 e 10,0. Tendo em vista que o Permanganato de potássio tem pH entre 7 - 9 em 20°C. Contudo, mesmos após essa hipótese decorrente do ponto de viragem do indicador, não conseguiríamos alcançar nosso objetivo, ou seja, a drástica mudança de cor, para que fosse fácil visualizar a presença de álcool na reação, devido a cor roxa intensa do permanganato que apenas migrava para um marrom escuro. Assim, ele não seria o composto que precisaríamos para seguir adiante com nosso projeto, então decidimos descartar essa hipótese.

5.2 Análises e observações efetuadas na Parte B

Nesta etapa realizamos a análise do ponto de viragem das soluções de Ácido fosfórico (H_3PO_4) com diferentes indicadores, sendo eles: azul de bromotimol, fenolftaleína e alaranjado de metila. Todavia, não obtivemos sucesso no seu ponto de viragem, em razão de seu pH ser ácido, tornando-o descartável de nosso trabalho pela dificuldade da visualização de cor ao reagir com o álcool.

Assim, podemos compreender esse fato inicialmente a partir da reação química entre o Ácido fosfórico (H_3PO_4) e o etanol:



Desse modo, observamos que nessa reação três moléculas de etanol reagem com uma molécula de ácido fosfórico para formar três moléculas de fosfato de etila e liberar três moléculas de água como subproduto.

Desse modo, é ainda importante mencionarmos que essa é uma reação é uma esterificação, onde o grupo hidroxila (-OH) do etanol reage com o ácido fosfórico, resultando na formação de ésteres fosfóricos. Estes ésteres fosfóricos podem ter aplicações em síntese orgânica e em processos químicos industriais (CAMACHO; CARVALHO; BRITTO; SANTOS; DONATO, 2005).

Com isso, devido a sua reação com um ácido fraco, tal como o ácido fosfórico, a solução de fosfato de etila apresenta caráter ácido, e por essa razão não conseguimos encontrar o ponto de viragem, pois independentemente do indicador utilizado, ele já indicaria a existência de caráter ácido.

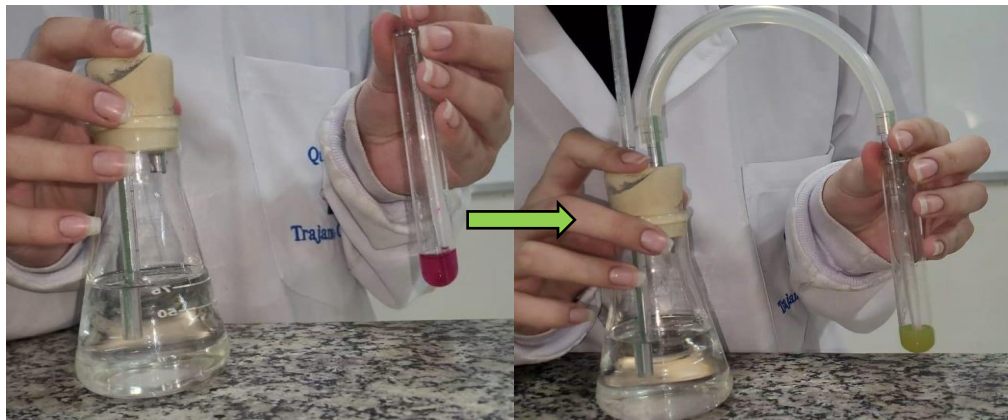
5.3 Análises e observações efetuadas na Parte C

Nesta etapa realizamos a análise do ponto de viragem das soluções de hipoclorito de sódio com diferentes indicadores. Conforme apresentamos abaixo:

Hipoclorito de sódio (NaClO) + fenolftaleína:

Neste caso observamos a viragem com 20,1 mL de indicador, apresentando uma mudança de tonalidade do rosa para um amarelo-esverdeado após a baforada alcoólica, conforme demonstrado na figura abaixo:

Figura 4: Reação entre Hipoclorito de sódio (NaClO) e etanol com utilização do indicador fenolftaleína

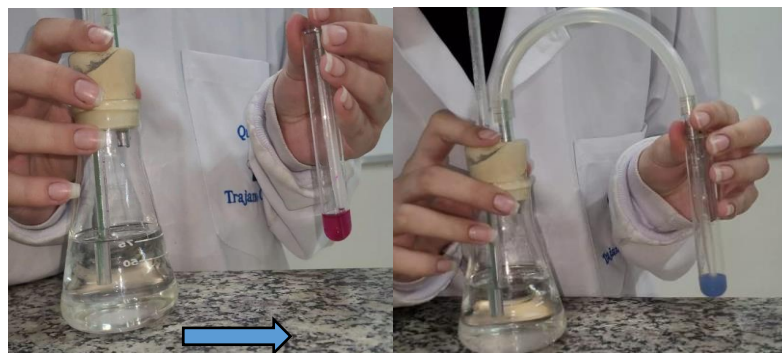


Fonte: Os autores (2023).

Hipoclorito de sódio (NaClO) + vermelho de fenol:

Neste caso observamos a viragem com 0,3 mL (6 gotas) de indicador, transitando do rosa para azul, após o bafo alcoólico, conforme demonstrado na figura abaixo:

Figura 5: Reação entre Hipoclorito de sódio (NaClO) e etanol com utilização do indicador vermelho de fenol



Fonte: Os autores (2023).

Hipoclorito de Sódio + Alaranjado de Metila:

Neste caso não foi possível identificarmos à olho nu a viragem da solução, devido ao seu ponto de viragem que ocorre em pH inferior a 3,2 assumindo uma coloração rosa-avermelhada, e em pH superior a 4,4 adquirindo uma tonalidade amarela. Portanto, sua faixa de viragem é limitada a valores ácidos, resultando a não eficácia para detecção do álcool.

Frente esses dados, até o momento, podemos ressaltar que o Hipoclorito de Sódio com os indicadores, fenolftaleína e vermelho de fenol, é o mais eficaz para nosso projeto, pelo fato de ocorrer a mudança de cor visível a olho nu.

Desse modo, a partir do presente estudo a respeito de novas metodologias para a substituição do dicromato de potássio, esperamos obter êxito na troca do $K_2Cr_2O_7$ por alguma das substâncias apresentadas no trabalho, das quais: permanganato de potássio ($KMnO_4$), ácido fosfórico (H_3PO_4) e hipoclorito de sódio ($NaClO$). Em virtude de ter o mesmo ou melhor desempenho em relação ao bafômetro convencional.

6. CONCLUSÃO

Diante as discussões apresentadas, o presente estudo abordou o estudo de diferentes reagentes, tais como: Permanganato de Potássio, Ácido Fosfórico e Hipoclorito de Sódio, bem como diferentes indicadores ácido-base para substituição do Dicromato de Potássio nos bafômetros convencionais.

Nesse sentido, a partir das análises efetuadas defendemos que o Hipoclorito de Sódio se destacou como uma alternativa promissora para substituir o Dicromato de Potássio, especialmente quando utilizado em conjunto com os indicadores fenolftaleína e vermelho de fenol, visto que a observação visual da mudança de cor proporcionada por esses indicadores oferece uma abordagem eficaz e facilmente perceptível a olho nu. Para além disso, a substituição do Dicromato de Potássio por Hipoclorito de Sódio mostra-se promissora não apenas pela eficácia, mas também pela mitigação de preocupações ambientais associadas ao uso de substâncias tóxicas, tais como o Dicromato de Potássio.

Desse modo, este método não apenas atende aos requisitos de sustentabilidade propostos inicialmente, mas também apresenta vantagens notáveis em termos de simplicidade e acessibilidade aos recursos e reagentes utilizados. Com isso, temos por hipótese que a substituição do Dicromato de Potássio proposta, contribua significativamente para aprimorar a segurança e a sustentabilidade do método, sem comprometer a eficiência, visto que com base nos resultados obtidos, defendemos que a transição para o hipoclorito de sódio como agente oxidante principal proporcionará um desempenho igual ou superior ao bafômetro convencional. Dessa forma, esse avanço metodológico representa um passo importante em direção à utilização de alternativas mais seguras e ecologicamente conscientes no contexto do nosso projeto.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, J. C.; COSCIONE, A. R. Simulação de um bafômetro. *Revista Chemkeys*, Campinas, SP, n. 5, p. 1–14, 2018. DOI: 10.20396/chemkeys.v0i5.9620. Acesso em: 09 maio 2023.

ASHWINI, K, *et al.* Alcohol Detector. *JournalNX*, 2019, p. 326-330. Disponível em: <https://www.neliti.com/publications/342335/alcohol-detector> Acesso em: 29 abr. 2023.

BORKENSTEIN, Robert F.; TRUBITT, Hillard J.; LEASE, Richard J. Problems of Enforcement and Prosecution. Capítulo 6. In: FOX, Bernard H.; FOX, H. James. *Alcohol and Traffic Safety*, p. 137-188. National Institutes of Health. U.S. Department of health, Education and Welfare, Public Health Service. Bethesda, Maryland. Maio: 1963. Acesso em: 26 abr. 2023.

BRAATHEN, Christian. Hálito Culpado: O Princípio Químico do Bafômetro. *Revista Química Nova na Escola*, Química Sociedade, 05, maio de 1997, p 3-5. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc05/quimsoc.pdf> Acesso em: 26 abr. 2023.

BRASIL, Artigo 302 da Lei nº 9.503 de 23 de Setembro de 1997. Dispõe sobre praticar homicídio culposo na direção de veículo automotor. Disponível em: <https://www.ctbdigital.com.br/artigo/art302>. Acesso em: 29 abril 2023.

BRASIL, Lei nº 11.705, de 19 de Junho de 2008. Dispõe sobre inibir o consumo de bebida alcoólica por condutor de veículo automotor, e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/lei/l11705.htm. Acesso em: 27 abril 2023.

BULEGON, J. K. et al. Intoxicação por Cromo e seus efeitos no organismo. UNICRUZ, 2019. Disponível em: <https://home.unicruz.edu.br/seminario/anais/anais-2019/XXIV.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2023.

CAMACHO, Luciana; CARVALHO, Leonard G.; BRITTO, Patrícia P.; SANTOS, Rafael T. P.; DONATO, Aranda A. G. Efeito da natureza e concentração de ácidos homogêneos na esterificação de ácidos graxos. 3º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás. Disponível em: https://www.portalabpg.org.br/PDPetro/3/trabalhos/IBP0613_05.pdf Acesso em: 26 nov. 2023.

Centro de Informações sobre Saúde e Álcool (CISA). *Metabolismo do Álcool*. [S.l.]: CISA, 25 maio 2015. Disponível em: <https://cisa.org.br/sua-saude/informativos/artigo/item/47-metabolismo-do-alcool>. Acesso em: 9 jun. 2023.

COSTA, B. O.; MELO, T. M. *Metabolismo do álcool em humanos*. UNIVAS, 2014. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/thalitamaciel353/metabolismo-do-lcool-no-organismo-humano>. Acesso em: 08 maio 2023.

ELAINA, Jeniffer. Dirigir embriagado não gera apenas multa. Veja o que pode acontecer!. Portal do Trânsito e mobilidade, [s. l.], 2019. Disponível em: <https://www.portaldotransito.com.br/noticias/dirigir-embriagado-nao-gera-apenas-multa-veja-o-que-pode-acontecer-2/>. Acesso em: 30 abr. 2023

FOLHA WEB. Acidentes causados por uso de álcool ocupam a 1º colocação este ano em RR. Cidades, 13/05/2022. Disponível em:

<https://folhabv.com.br/noticia/CIDADES/Capital/Acidentes-causados-por-uso-de-alcool-ocupam-a-1--colocacao-este-ano-em-RR-/86736>. Acesso em: 26 abr. 2023.

FONSECA, Gustavo. Limites de teste do bafômetro não vão além da margem de erro considerada para o aparelho. Jusbrasil, 2019. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/artigos/limites-de-teste-do-bafometro-nao-vaio-alem-da-margem-de-erro-considerada-para-o-aparelho/729884002>. Acesso em: 03 maio 2023.

FONSECA, Gustavo. Quem Criou a Lei Seca no Brasil e No Mundo (+ Como Funciona). Doutor Multas, 2022. Disponível em: <https://doutormultas.com.br/lei-seca-brasil-mundo-funciona/>. Acesso em: 28 abr. 2023.

FRAGOSO, Roberto. Código de Trânsito Brasileiro completa 25 anos com controle cada vez mais severo do álcool na direção. Rádio Senado, [s. l.], 2022. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/radio/1/noticia/2022/09/22/codigo-de-transito-brasileiro-completa-25-anos-com-controle-cada-vez-mais-severo-do-alcool-na-direcao>. Acesso em: 01 abr. 2023.

GALLASSI, Juliana. Os perigos de dirigir alcoolizado. Trimble, 2020. Disponível em: <https://tl.trimble.com/blog/os-perigos-de-dirigir-alcoolizado/>. Acesso em: 28 abr. 2023.

HOSPITAL SANTA MÔNICA. Conheça 8 dos principais feitos do álcool no organismo. Categoria dependência química, 08/05/2018. Disponível em: <https://hospitalsantamonica.com.br/conheca-8-dos-principais-efeitos-do-alcool-no-organismo/#:~:text=Em%20n%C3%ADveis%20muito%20altos%20>. Acesso em: 27 abr. 2023.

JAISHANKAR, M. et al. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. PMC: PubMed Central, 2014. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4427717/>. Acesso em: 01 abr. 2023.

JORNAL JURID. “Lei Do Bafômetro: O Que Mudou Em 2023.” Jornal Jurid, 6 Mar. 2023. Disponível em: <https://www.jornaljurid.com.br/blog/jurid-web/lei-do-bafometro-o-que-mudou-em-2023>. Acesso em: 05 maio 2023.

LIMA, Suzana. Acidentes causados por motoristas embriagados somam 539 em 2 meses. Radioagencia Nacional, 2023. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/radioagencia-nacional/geral/audio/2023-04/acidentes-causados-por-motoristas-embriagados-somam-539-em-dois-meses>. Acesso em: 29 abr. 2023.

REED, Christopher. Robert Borkenstein: The man who invited the Breathalyser. The Guardian, 2002. Disponível em: <https://amp.theguardian.com/news/2002/aug/20/guardianobituaries.obituaries>. Acesso em: 05 maio 23.

RIBEIRO, A, *et al.* Álcool: o que você realmente sabe sobre as drogas?. LAPEQ, 2023. Disponível em: <http://www.labeleduc.fe.usp.br/wp-content/uploads/Minicurso-%C3%81lcool.pdf>. Acesso em: 02 maio 2023.

RODRIGUES, I. F. F. A Recusa ao teste do barômetro e a violabilidade ao princípio da não autoincriminação (Nemo Tenetur se Detetegere). UNICEUB, 2020. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/prefix/14690/1/lvan.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2023.

