

ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL PROF. ARMANDO JOSÉ FARINAZZO  
CENTRO PAULA SOUZA

Eloy Businaro Masquio  
Gabriel Siqueira do Espírito Santo  
Gabriel Vicente Fernandes  
Gustavo Pereira Donadon Dutra

EXTRAÇÃO E DETERMINAÇÃO DO POTÁSSIO PRESENTE NA  
VINHAÇA UTILIZANDO TETRAFENILBORATO DE SÓDIO E  
CROMATOLOGRAFIA DE TROCA-IÔNICA

Fernandópolis  
2023

Eloy Businaro Masquio  
Gabriel Siqueira do Espirito Santo  
Gabriel Vicente Fernandes  
Gustavo Pereira Donadon Dutra

## EXTRAÇÃO E DETERMINAÇÃO DO POTÁSSIO PRESENTE NA VINHAÇA UTILIZANDO TÉTRAFENILBORATO DE SÓDIO E CROMATOLOGRAFIA DE TROCA-IÔNICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção da Habilitação Profissional Técnica de Nível Médio de Técnico em **Química Integrado ao Ensino Médio**, no Eixo Tecnológico de **Produção Industrial**, à Escola Técnica Estadual Professor Armando José Farinazzo, sob orientação do Professor **Alex de Lima**.

Fernandópolis  
2023

Eloy Businaro Masquio  
Gabriel Siqueira do Espirito Santo  
Gabriel Vicente Fernandes  
Gustavo Pereira Donadon Dutra

EXTRAÇÃO E DETERMINAÇÃO DO POTÁSSIO PRESENTE NA  
VINHAÇA UTILIZANDO TETRAFENILBORATO DE SÓDIO E  
CROMATOGRAFIA DE TROCA-IÔNICA

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como exigência parcial  
para obtenção da Habilitação  
Profissional Técnica de Nível Médio de  
Técnico em **Química Integrado ao  
Ensino Médio**, no Eixo Tecnológico de  
**Produção Industrial**, à Escola Técnica  
Estadual Professor Armando José  
Farinazzo, sob orientação do Professor  
**Alex de Lima.**

Examinadores:

---

Alex de Lima

---

Fernanda Carnielo Garcia Seixas

---

Marília Almeida Chinet Novelini

Fernandópolis  
2023

## DEDICATÓRIA

As nossas queridas famílias que nos apoiaram na passagem desta etapa tão importante de nossas vidas.

## AGRADECIMENTO

Agradecemos aos nossos pais, irmãos, amigos e professores, que contribuíram sobremaneira para a realização dos nossos estudos e para nossa formação como seres humanos.

## EPÍGRAFE

"Não pergunte se somos capazes. Dê-nos a missão" - BOPE

# EXTRAÇÃO E DETERMINAÇÃO DO POTÁSSIO PRESENTE NA VINHAÇA UTILIZANDO TETRAFENILBORATO DE SÓDIO E CROMATOGRAFIA DE TROCA-IÔNICA

Eloy Businaro Masquio  
Gabriel Siqueira do Espirito Santo  
Gabriel Vicente Fernandes  
Gustavo Pereira Donadon Dutra

**RESUMO:** Ao longo dos anos, a vinhaça tem sido objeto de destaque nos meios de comunicação, em virtude de sua significativa contribuição para a poluição ambiental. Como subproduto resultante do processo de produção de etanol nas usinas sucroalcooleiras, a vinhaça desempenha um papel preponderante na eutrofização de corpos d'água, devido à sua elevada Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) durante o processo de decomposição, além de contaminar os solos com sua concentração acentuada de potássio. Nesse contexto, a presente conjuntura visa mitigar de maneira substancial tais impactos ambientais, por meio da extração do potássio presente na vinhaça e sua destinação a vetores que não agravem o ambiente, como a produção de fertilizantes, cuja concentração de potássio seja conhecida. O projeto será desenvolvido mediante a precipitação do referido elemento por meio do Tetrafenilborato de Sódio e sua subsequente retenção através de resina catiônica, transformando seu eluente em cloreto de potássio (KCl). Dessa forma, as problemáticas anteriormente mencionadas poderiam ser eficazmente atenuadas, proporcionando uma abordagem sustentável para o destino dessa matéria-prima, que é abundantemente encontrada na região noroeste do país.

**Palavras-chaves:** Vinhaça. Extração. Potássio, Tetrafenilborato de Sódio. Cloreto de Potássio.

**ABSTRACT:** Over the years, vinasse has been prominently featured in the media due to its significant contribution to environmental pollution. As a byproduct resulting from the ethanol production process in sugarcane-alcohol plants, vinasse plays a pivotal

role in the eutrophication of water bodies, owing to its high Biochemical Oxygen Demand (BOD) during the decomposition process, in addition to contaminating soils with its pronounced potassium concentration. In this context, the current situation aims to substantially mitigate such environmental impacts by extracting the potassium present in vinasse and directing it towards vectors that do not exacerbate the environment, such as fertilizer production, where the potassium concentration is known. The project will be developed through the precipitation of the said element using Sodium Tetraphenylborate and its subsequent retention through cationic resin, transforming its eluent into potassium chloride (KCl). Thus, the previously mentioned issues could be effectively alleviated, providing a sustainable approach to the fate of this raw material, which is abundantly found in the northwest region of the country.

**Keywords:** Vinasse. Extraction. Potassium. Sodium Tetraphenylborate. Potassium chloride.

**RESUMEN:** A lo largo de los años, la vinaza ha sido objeto de destacada atención en los medios de comunicación, debido a su significativa contribución a la contaminación ambiental. Como subproducto resultante del proceso de producción de etanol en las plantas sucroalcoholeras, la vinaza desempeña un papel crucial en la eutrofización de cuerpos de agua, debido a su elevada Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) durante el proceso de descomposición, además de contaminar los suelos con su concentración acentuada de potasio. En este contexto, la presente situación busca mitigar de manera sustancial tales impactos ambientales, mediante la extracción del potasio presente en la vinaza y su destino hacia vectores que no agraven el ambiente, como la producción de fertilizantes, cuya concentración de potasio sea conocida. El proyecto se desarrollará mediante la precipitación del mencionado elemento a través del Tetrafenilborato de Sodio y su subsiguiente retención mediante resina catiónica, transformando su eluente en cloruro de potasio (KCl). De esta manera, los problemas mencionados anteriormente podrían ser atenuados eficazmente, proporcionando un enfoque sostenible para el destino de esta materia prima, que se encuentra abundantemente en la región noroeste del país.



**Palabras clave:** Vinaza. Extracción. Potasio, tetrafenilborato de sodio. Cloruro de potasio.

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o setor sucroalcooleiro se mostra em ascensão. Por conseguinte, com a alta demanda da produção de etanol, a geração de subprodutos e resíduos tem um crescimento diretamente proporcional a tal. A vinhaça (subproduto do etanol) é, comumente, utilizada por indústrias como fertilizante nas áreas agrícolas, por meio da fertirrigação (SILVA; BONO; PEREIRA, 2013). Ela é constituída por uma mistura de água, nutrientes, compostos orgânicos e inorgânicos, e possui elevada carga poluente. Este resíduo é gerado nas indústrias em grande quantidade - na produção de 1L de etanol são formados 13L de vinhaça – têm um grande potencial de poluição hídrica, subterrânea e superficial, devido aos índices de potássio (CRUZ et al., 2008). Neste horizonte, Basso e colaboradores (2013) descrevem “A vinhaça [...] é rica em potássio (K) e sua aplicação ao solo pode aumentar a disponibilidade do nutriente, mas também provocar alterações nas propriedades químicas do solo”.

Ademais, cumpre ressaltar uma faceta adicional associada à problemática supramencionada. Nesse sentido, Silva (2018) expõe acerca dos índices exacerbados de matéria orgânica presentes na vinhaça, os quais propiciam a atração de uma variedade de insetos, seja para fins alimentares, seja para fins reprodutivos, ocasionando o transporte de certas enfermidades por algumas espécies. Um exemplo eloquente é a mosca do estábulo, que se sente irresistivelmente atraída pelo referido resíduo, constituindo-se portadora de doenças tais como anemia infecciosa equina (AIE), doença do carrapato e habronemose, entre outras. Tais patologias impactam diversos setores da agroindústria, notadamente a produção de bovinos, tornando-os, posteriormente, impróprios para o consumo humano.

Até a década de 1970, o descarte da vinhaça era feito nas chamadas “áreas de sacrifício” e mananciais. A fertirrigação foi adotada como um método de

descarte da vinhaça por volta da década de 1980 (CORRAZA, 2006). Conforme as conclusões de um estudo, a vinhaça manifesta-se como um agente contaminante de magnitude descomunal quando comparada ao esgoto de natureza domiciliar, aproximando-se de uma proporção centesimal. Tal fenômeno deve-se, primordialmente, à marcante exacerbação de matéria orgânica inerente a esse composto, cuja presença estabelece um relevante fator contributivo para o acelerado processo de eutrofização - complexo mecanismo pelo qual corpos d'água, sob a influência de altas concentrações de nutrientes, notadamente nitrogênio e fósforo, são submetidos a um desequilíbrio ecológico. Esse fenômeno acarreta uma exorbitante proliferação de organismos aquáticos, como algas e plantas, resultando em consequências danosas, como a redução do oxigênio dissolvido, mortandade de peixes, alterações na cadeia trófica e comprometimento da qualidade hídrica. Outrossim, a vinhaça apresenta um pH baixo o que a torna ainda mais preocupante, pois possui a capacidade de desestabilizar o potencial hidrogeniônico de solos e corpos hídricos tornando-os ácidos ( $\text{pH} < 7$ ). Ademais, este resíduo também possui uma alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO), esta designa-se ao índice de oxigênio preciso para causar a oxidação da matéria orgânica no processo de decomposição. (CABALLERO, 2019)

A vinhaça possui em sua composição um elemento em vigor, sendo ele o potássio que oferece tanto benefícios, quanto malefícios. Primordialmente, a nutrição vegetal é favorecida pelo potássio, dado que figura como um dos nutrientes preponderantes para o desenvolvimento sadio das plantas. O mesmo exerce influência na regulação da abertura e fechamento dos estômatos, potencializando a fotossíntese e aprimorando a capacidade das plantas em resistir a doenças, o que, por conseguinte, se traduz em maior qualidade e rendimento das colheitas. Outrossim, a utilização de fertilizantes ricos em potássio representa um notório benefício ambiental. Tal prática promove a elevação da fertilidade do solo, conferindo-lhe maior produtividade e a capacidade de acolher uma diversidade de culturas, mesmo em áreas previamente consideradas improdutivas. (BONINI, 2019)

O equilíbrio iônico, por sua vez, é um fator relevante no contexto dos ecossistemas aquáticos. O potássio contribui para a manutenção do referido equilíbrio nas células de organismos aquáticos, reforçando, assim, a vitalidade e a estabilidade destes ecossistemas.

Por fim, o uso adequado de fertilizantes potássicos pode ser encarado como um trunfo para o desenvolvimento sustentável. Este enfoque promove práticas agrícolas mais ecológicas, com a vantagem de reduzir a pressão sobre os recursos naturais e minimizar a necessidade de desmatamento.

Contudo, também há malefícios na aplicação do potássio tendo de antemão a poluição da água que emerge como um desafio quando o excesso de potássio é aplicado em áreas agrícolas, sendo suscetível de lixiviar para corpos d'água próximos. Tal fenômeno pode induzir à eutrofização, processo que se caracteriza pelo aumento desmedido da concentração de nutrientes na água, culminando em um crescimento descontrolado de algas que prejudica de sobremaneira a vida aquática.

Adicionalmente, a salinização do solo representa um agravante, sobretudo em regiões onde o uso excessivo de fertilizantes potássicos promove o acúmulo de sais. Este acúmulo culmina na salinização do solo, tornando-o infértil e prejudicando a vegetação. No âmbito das atividades de mineração de potássio, observa-se que estas podem acarretar danos ambientais consideráveis, que abrangem desde a degradação do solo à poluição da água e à alteração das paisagens naturais. Por último, o consumo de recursos naturais não deve ser subestimado. A produção de fertilizantes potássicos requer a extração de minerais de potássio, o que pode resultar na exaustão desses recursos em determinadas áreas, com impactos adversos para a biodiversidade. (CABALLERO, 2020)

Faz-se mister, portanto, a busca por novas metodologias a fim de solucionar a problemática em questão - a redução dos índices de potássio torna-se a medida mais eficaz. Neste sentido, a utilização do Tetrafenilborato de Sódio (TFBS) mostra-se como a técnica de maior aplicabilidade e viabilidade para a extração do potássio sobressalente na vinhaça, uma vez que é um dos únicos regentes aptos a precipitar o íon potássio - componente altamente solúvel em grande parte desses.

De acordo com a presente conjuntura, a resolução da problemática supracitada demandará a redução da concentração de potássio, de modo a abolir sua nocividade para o solo. Dessa maneira, o procedimento tornará a vinhaça consentânea a ser utilizada como fertilizante, por conseguinte, proporcionando uma finalidade mais proveitosa para esse subproduto e evitando sua disposição inadequada. O aludido processo será executado mediante a aplicação de Tetrafenilborato de Sódio (TFBS) em uma solução de vinhaça, uma vez que resultará na precipitação dos íons potássio presente na mencionada solução em forma de

Tetrafenilborato de Potássio (TFBP). Após a obtenção deste, o antedito precipitado, que posteriormente solubilizado em propanona, será submetido a uma coluna de troca iônica, esperando-se, no findar do processo, a quelação do íon potássio na resina.

O presente trabalho se justifica em virtude da imperatividade de abordar a problemática da poluição gerada pela vinhaça e explorar novas metodologias visando otimizar a adequação desse subproduto para sua utilização na agricultura, já que métodos tradicionais não provaram sua eficiência, seja pelo alto custo ou por gerar outras problemáticas como é o caso das áreas de sacrifício que contaminam o solo ao redor. A implementação da técnica de Tetrafenilborato de Sódio (TFBS), uma técnica revolucionária e vanguardista, seguida da subsequente mitigação dos teores de potássio presentes na vinhaça, revela-se como uma solução eficaz para evitar a disposição inadequada desse resíduo, haja vista ser um dos poucos reagentes capazes de provocar a precipitação desse íon, fomentando, desse modo, seu aproveitamento sustentável. Tal abordagem, contribuirá para a preservação ambiental e para a segurança alimentar, de forma a perenizar a consonância entre a atividade produtiva e a preservação dos recursos naturais. O objetivo do presente trabalho, baseia-se em remover a maior quantidade possível de potássio presente na vinhaça, para que assim seja possível atribuir a ele novos destinos, tais como: elaborar fertilizantes com níveis conhecidos de potássio, evitando assim a contaminação do meio ambiente, mas empregando sua principal função ao ambiente que é a nutrição de vegetais.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1. INDÚSTRIAS SUCROALCOOLEIRA**

A indústria sucroalcooleira, intrinsecamente vinculada à produção de açúcar e álcool a partir da cana-de-açúcar, constitui-se como um setor de magnânima relevância econômica e social em diversos países, notadamente naqueles dotados de climas tropicais e subtropicais propícios ao cultivo desse valioso vegetal, tal qual o

padrão brasileiro. Alicerçada historicamente nas raízes coloniais pátrias, nas quais a cana-de-açúcar foi introduzida pelos lusitanos, a indústria sacarina moldou-se como um dos pilares da economia brasileira ao longo de séculos. Subsequentemente, com o advento automobilístico e a busca por opções alternativas aos combustíveis fósseis, o destaque alcoolífico derivado da cana-de-açúcar emergiu de forma proeminente (GOMES; SEABRA, 2015).

Nesse contexto, a indústria sucroalcooleira desempenha uma função sine qua non na geração de postos de trabalho e no dinamismo econômico. Englobando uma vasta cadeia produtiva que abarca desde o plantio e o cultivo da cana-de-açúcar até o processamento industrial e a distribuição dos produtos finais, essa indústria concorre para a arrecadação tributária e promove o desenvolvimento das regiões onde se faz presente. No que concerne aos procedimentos produtivos, a indústria sucroalcooleira foi agraciada com significativos avanços tecnológicos ao longo dos tempos. Atualmente, vale-se de maquinário contemporâneo e técnicas agrícolas eficientes, objetivando incrementar a produtividade e reduzir os custos. O processo produtivo abarca a colheita da cana, a extração do caldo, a fermentação para a obtenção do álcool, o tratamento do caldo para a obtenção do açúcar, dentre outras etapas conexas (MACEDO; SEABRA, 2017). A sustentabilidade consubstancia-se numa inquietação crescente na indústria sucroalcooleira. As empresas têm direcionado esforços no sentido de adotar práticas sustentáveis em suas operações, tais como a implementação de energias renováveis, a gestão criteriosa dos recursos hídricos, a gestão apropriada dos resíduos e a preservação do ecossistema. Ademais, programas de certificação e boas práticas agrícolas têm sido postos em prática com vistas à mitigação dos impactos ambientais e sociais. (GOLINSKI; SALLES, 2016, p.171-202)

Não obstante, a indústria sucroalcooleira defronta-se com desafios, a exemplo da competitividade no mercado global, a volatilidade dos preços, as questões inerentes à segurança e saúde ocupacional, bem como os impactos ambientais decorrentes do cultivo massivo da cana-de-açúcar, como o conspícuo consumo hídrico e a emissão de gases de efeito estufa (JUNQUEIRA; FILHO, 2014). Por conseguinte, a indústria sucroalcooleira ostenta um papel relevante na economia e matriz energética de diversas nações, compreendendo o Brasil. Urge, contudo, a imperiosa adoção de práticas responsáveis no intuito de preservar o equilíbrio entre

os aspectos econômicos, sociais e ambientais intrinsecamente relacionados a essa atividade. (LEAL; CUNHA, 2014, p.129-152)

### **2.1.1 DESAFIOS DO SETOR**

A indústria sucroalcooleira, de magnitude indiscutível em relação à economia e à provisão energética no território brasileiro, enfrenta obstáculos de significativa envergadura quando se aborda a problemática do descarte da vinhaça, um subproduto gerado no decurso do processo de fabricação de açúcar e etanol a partir da cana-de-açúcar. Tais desafios estão intrinsecamente ligados à gestão ambiental, à aderência aos ditames regulatórios e à exploração sustentável dos recursos naturais. Neste contexto, podemos elencar algumas dessas complexidades.

No que tange à contaminação ambiental, a vinhaça, por sua vez, assume a qualidade de uma substância notoriamente contaminante, ostentando sua alta concentração de matéria orgânica, sua propensão à emissão de odores pungentes e, de forma especial, a presença de quantidades substanciais de potássio. O despejo negligente desse subproduto em corpos hídricos ou em zonas contíguas acarreta o potencial de provocar a eutrofização, um processo que concorre para danos consideráveis em ecossistemas aquáticos, manifestando-se mediante o crescimento descontrolado de algas e a redução da oxigenação, que se reverbera no ecossistema aquático. (TORRES, N. H. et. al., pg. 229, 2012)

A severidade dos requisitos regulamentares, por outro lado, demanda das indústrias sucroalcooleiras a estrita conformidade com as disposições legais que disciplinam o despejo da vinhaça no ambiente. O não acatamento dessas prescrições frequentemente se traduz em pesadas sanções, que invariavelmente implicam a necessidade de investimentos substanciais na melhoria do tratamento e na disposição adequada desse resíduo.

O volume massivo de produção e a complexa questão de armazenamento da vinhaça constituem desafios logísticos intrincados, dada a grande quantidade desse subproduto gerado diariamente nas usinas. Uma armazenagem inadequada acarreta o risco de vazamentos e a contaminação de solos e águas, além de potencialmente expor os trabalhadores a perigos que afetam a segurança e saúde.

Também se depara com a necessidade premente de investimentos em tecnologia, pois a gestão da vinhaça de forma mais sustentável implica em recorrer a tecnologias de ponta, como sistemas de evaporadores, lagoas de evaporação, dentre outras soluções avançadas de tratamento e disposição. Tais tecnologias, embora eficazes, acarretam custos consideráveis e demandam manutenção constante.

Por último, a exploração limitada da vinhaça como recurso valioso na agricultura se deve a preocupações pertinentes à potencial contaminação do solo e das águas subterrâneas. A busca por formas eficazes de tirar proveito da vinhaça na agricultura, sem causar impactos prejudiciais, perdura como um desafio constante. (TORRES, N. H. et. al., pg. 229, 2012)

Em suma, a gestão da vinhaça representa um complexo quebra-cabeça a ser decifrado pela indústria sucroalcooleira. A busca de soluções que habilitem o tratamento adequado, o descarte responsável e o aproveitamento sustentável desse resíduo revela-se imperativa, não apenas para atender às obrigações regulatórias, mas também para preservar o meio ambiente e assegurar a viabilidade a longo prazo deste setor de primordial importância na economia brasileira.

## **2.2. VINHAÇA**

A vinhaça, resultante do processo de produção de etanol a partir da cana-de-açúcar na indústria sucroalcooleira, é um subproduto líquido complexo e altamente nutritivo, composto por água, matéria orgânica, macronutrientes (NPK) e compostos orgânicos voláteis, caracterizados por sua cor escura e odor peculiar, sua obtenção é observado na figura 1. (SILVA; GRIEBELER; BORGES, 2007). Já seus principais componentes podem ser observados no quadro 1.

**Figura 1.** Fluxograma da produção de etanol e açúcar.



Fonte: (SEABRA, 2008).

**Quadro 1:** Composição da vinhaça nas condições do preparo do mosto com diferentes misturas.

Características da Vinhaça			
Parâmetro	Melão	Caldo	Misto
pH	4,2 - 5,0	3,7 - 4,6	4,4 - 4,6
Temperatura (°C)	80 - 100	80 - 100	80 - 100
DBO (mg O <sub>2</sub> /l)	25000	6000 - 16500	19100
DQO (mg O/l)	65000	15000 - 33000	45000
Sólidos totais (mg/l)	81500	23700	52700
Sólidos voláteis (mg/l)	60000	20000	40000
Nitrogênio (mg/l)	450 - 1600	150 - 700	480 - 710
Fósforo (mg/l)	100 - 290	10 - 210	9 - 200
Potássio (mg/l)	3740 - 7830	1200 - 2100	3340 - 4600
Cálcio (mg/l)	450 - 5180	130 - 1540	1330 - 4570
Magnésio (mg/l)	420 - 1520	200 - 490	580 - 700
Sulfato (mg/l)	6400	600 - 760	3700 - 3730
Carbono (mg/l)	11200 - 22900	5700 - 13400	8700 - 12100

Fonte: (TechSolo agricultura de precisão, 2020)



Essa substância desperta interesse como fonte de nutrientes e matéria orgânica para a agricultura, mas também representa um desafio ambiental devido à sua carga poluente. A aplicação adequada da vinhaça como fertilizante pode beneficiar o solo, ao fornecer nutrientes essenciais para o crescimento vegetal e contribuir para a reciclagem de nutrientes, quando tratada. Além disso, o uso da vinhaça como adubo contribui para a retenção de água e a melhoria da estrutura do solo (FERNANDES, F. et al., 2005). Entretanto, é necessária cautela em relação à aplicação da vinhaça, pois seu uso excessivo ou inadequado pode resultar na contaminação do solo e dos recursos hídricos. A elevada concentração de potássio, fósforo, nitrogênio e outros elementos na vinhaça pode levar a absorção excessiva pelas plantas, ocasionando desequilíbrios nutricionais e impactos ambientais negativos. Ademais, a vinhaça corresponde a uma matéria orgânica e durante sua decomposição, nas áreas de sacrifício (observado na figura 2), ela emite um forte cheiro. Esse odor atrai diversos insetos, como por exemplo as moscas de estábulo, essas moscas por sua vez, é conhecida por ser uma transmissora de diversos agentes patogênicos como o vírus da anemia infecciosa equina, habronemose e o mal de cadeiras também conhecida como surra. Além disso, a carga orgânica presente na vinhaça contribui para a eutrofização de corpos d'água – provocando o crescimento excessivo de algas e a diminuição do oxigênio dissolvido – prejudicando a fauna aquática. (MARCATO, A. C. et al., 2010)

**FIGURA 2.** Vinhaça depositada na área de sacrifício.



**Fonte:** (G1 – Reprodução TV TEM, 2020).

## 2.3. POTÁSSIO

O potássio, elemento de número atômico 19 e símbolo K de acordo com a tabela periódica, encontra sua denominação na etimologia latina "*Kalium*". Este notável metal pertence à família dos alcalinos terrosos, especificamente à família 1 A na classificação periódica dos elementos. As propriedades que o caracterizam abrangem sua maleabilidade, sua tonalidade esbranquiçada e o lustro prateado que apresenta. De maneira histórica, essa substância primordial revelou-se como a primeira a ser descoberta por intermédio da eletroquímica, um procedimento não espontâneo onde a transferência contínua de energia elétrica dá origem à reação redox. Este feito remonta a outubro de 1807, quando o eminente químico britânico Humphry Davy, através da configuração de uma bateria voltaica composta por 250 placas, submeteu uma corrente elétrica a uma solução de potassa. A potassa, oriunda das cinzas de madeira ricas em potássio, é conhecida na atualidade como hidróxido de potássio. Adicionalmente, vale ressaltar que o potássio é dotado de notável reatividade, capaz de instigar reações inclusive com a água. Sobretudo, quando uma ínfima quantidade desse metal é disposta na superfície da água, observa-se um movimento agitado e a emissão de um característico som sibilante. Este fenômeno se justifica pela superior reatividade do potássio em relação ao hidrogênio, possibilitando seu deslocamento da água mediante uma reação de deslocamento. Como produtos dessa reação, destacam-se a liberação de gás hidrogênio, que, ao inflamar-se, propaga calor, culminando em um espetáculo pirotécnico.

Outrossim, o potássio exibe uma notável reatividade, inclusive em relação à água. Quando uma pequena quantidade desse metal é depositada na superfície da água, observa-se um movimento agitado acompanhado de uma emissão sonora sibilante. Este fenômeno se justifica pela elevada reatividade do potássio em relação ao hidrogênio, permitindo-o deslocar o hidrogênio da molécula de água por meio de uma reação de deslocamento. Isso resulta na formação de produtos como o gás hidrogênio, que se inflama em virtude do calor liberado na reação.

Entretanto, é imperativo salientar que o elemento em questão, presente na vinhaça, corresponde ao seu íon potássio ( $K^+$ ), que ostenta uma alta importância tanto para a biosfera quanto para os organismos humanos. O mencionado cátion

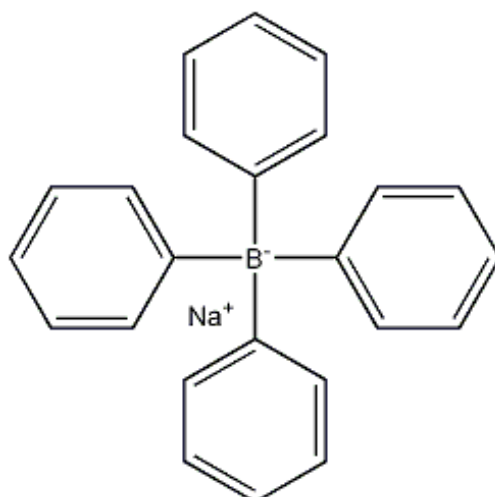
permeia todas as esferas do corpo humano, encontrando-se em maior abundância nas hemácias, nos músculos e nos tecidos encefálicos, desempenhando uma função primordial na regulação das atividades celulares e no funcionamento do sistema nervoso. Em um contexto ambiental, o potássio exerce um papel significativo na preservação dos ecossistemas e na promoção do crescimento de espécies vegetais.

Por esta razão, é amplamente empregado na agricultura, visto que sua aplicação no solo estimula a ativação de mais de 60 enzimas cruciais para o metabolismo vegetal, incluindo o processo fotossintético. Ademais, este elemento contribui para o equilíbrio hídrico das plantas e otimiza a absorção de nitrogênio. Como parte integrante do grupo de nutrientes essenciais denominado NPK (nitrogênio, fósforo e potássio), o potássio assume um papel preponderante na fertilização, sendo a proporção apropriada dessa mistura de nutrientes de 15% de potássio, 61% de nitrogênio e 24% de fósforo (FOGAÇA, 2019). No entanto, não obstante os inúmeros benefícios do potássio para o ambiente e a agricultura, é fundamental considerar que um excesso desse elemento pode acarretar diversos danos à biodiversidade (CABELLERO, 2020).

## 2.4. TETRAFENILBORATO DE SÓDIO

O Tetrafenilborato de Sódio ( $\text{NaBPh}_4$ ), conhecido como um importante composto químico na química inorgânica e síntese de compostos organometálicos, é um sal de sódio com a fórmula química  $\text{Na}[\text{BPh}_4]$ . Ele é constituído por um íon sódio ( $\text{Na}^+$ ) associado a quatro grupos fenilborato ( $\text{BPh}_4^-$ ), compostos por um átomo de boro (B) central ligado a quatro anéis fenila ( $\text{C}_6\text{H}_5^-$ ), sua molécula pode ser aclamada na figura 3. (DÖTZ, et al., 1983)

**Figura 3.** Representação da molécula de Tetrafenilborato de Sódio.



Fonte: ChemWhat

Sua ampla utilização em laboratórios e pesquisas se dá principalmente como reagente para a síntese e isolamento de compostos organometálicos. A natureza iônica do íon tetrafenilborato permite fácil transferência entre reagentes, facilitando a formação de diversos compostos complexos. A baixa solubilidade em solventes orgânicos também é vantajosa em muitas reações, possibilitando o isolamento dos compostos desejados.

#### 2.4.1 APLICAÇÕES DO TETRAFENILBORATO DE SÓDIO

O NaBPh<sub>4</sub> é frequentemente utilizado na síntese de sais de metal organometálicos, agindo como reagente de partida. A reação com um composto organometálico de metal, como NiCl<sub>2</sub>, resulta no sal de níquel organometálico. Esses compostos têm aplicação em catálise, síntese de materiais avançados e outras áreas da química. Outra aplicação relevante do NaBPh<sub>4</sub> é como agente precipitante, reagindo com íons metálicos, como Ag<sup>+</sup>, para formar precipitados insolúveis de tetrafenilborato de prata (AgBPh<sub>4</sub>). Essa propriedade é amplamente utilizada na separação e determinação de íons metálicos em solução. Adicionalmente, o NaBPh<sub>4</sub> é empregado como padrão de referência em análises químicas, devido à sua pureza

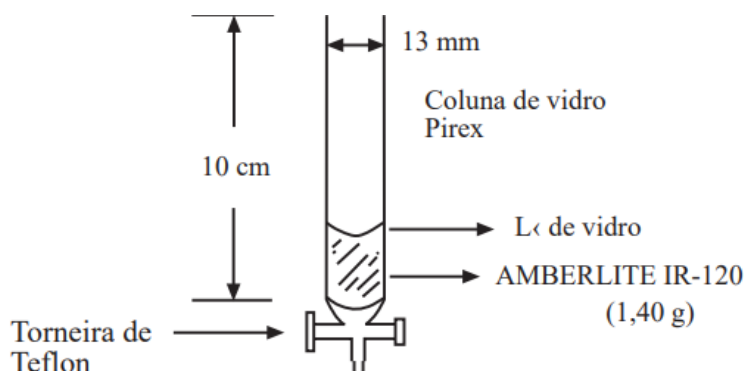
e características bem estabelecidas, tornando-o um material confiável para esse propósito. (ZANELLO, et al., 1988)

Destarte, o Tetrafenilborato de Sódio é um composto químico com múltiplas aplicações na química inorgânica e síntese de compostos organometálicos. Sua versatilidade e propriedades únicas conferem grande valor como reagente em laboratórios de pesquisa e em diversas aplicações químicas.

## 2.5. COLUNA DE TROCA-IÔNICA

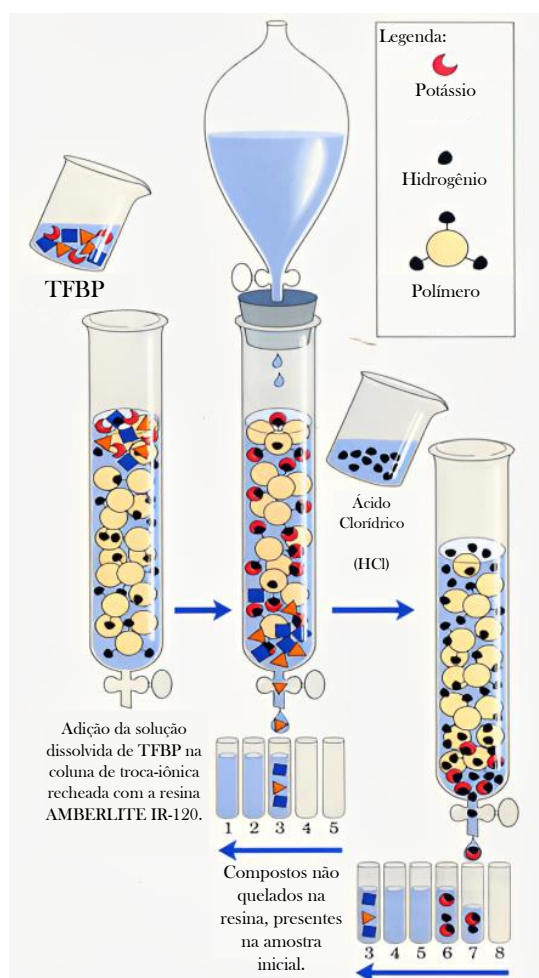
A coluna de troca iônica é um dispositivo amplamente utilizado em processos de separação e purificação de íons e moléculas carregadas em solução. Essa técnica cromatográfica é fundamentada nos princípios da afinidade seletiva entre os íons presentes na amostra e os grupos funcionais imobilizados na matriz da coluna. A matriz da coluna de troca iônica consiste em uma resina polimérica, na qual estão ancorados grupos funcionais carregados eletricamente, como grupos sulfônicos ou grupos quaternários de amônio. Esses grupos interagem com os íons presentes na solução, promovendo sua retenção seletiva ou sua eluição, dependendo das condições de operação. O esquema pode ser observado na figura 4. (BHUSHAN, R., 2011)

**Figura 4.** Coluna recheada com seus respectivos materiais



**Fonte:** (próprios autores, 2023).

**Figura 5.** Representação da coluna a ser reproduzida.



Fonte: (próprios autores, 2023).

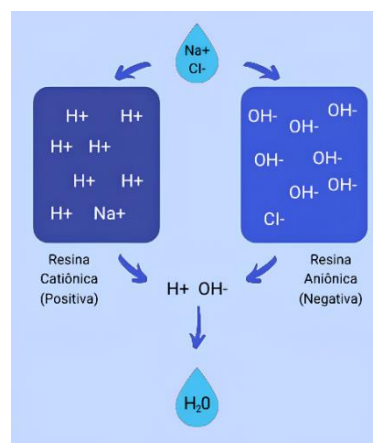
A cromatografia de troca iônica permite a retenção seletiva de íons de cargas opostas aos grupos funcionais imobilizados, enquanto íons de mesma carga são eluídos mais rapidamente. A eluição dos íons retidos pode ser obtida alterando as condições do sistema, como a concentração de sal na solução de eluição ou o pH do eluente. Essa técnica tem aplicação diversificada em análise de íons em águas, purificação de proteínas, separação de compostos farmacêuticos e purificação de ácidos nucleicos, entre outras áreas da ciência e tecnologia. As colunas de troca iônica podem ser classificadas em colunas de troca iônica aniônica e colunas de troca iônica catiônica. As colunas aniônicas retêm e separam íons negativos, enquanto as colunas catiônicas atuam sobre íons positivos. As propriedades das resinas, como tamanho dos poros, capacidade de troca iônica e seletividade, podem ser ajustadas conforme a aplicação desejada. A cromatografia de troca iônica pode ser realizada em

diferentes modos, como cromatografia de leito fixo ou cromatografia de leito móvel, oferecendo versatilidade e adaptabilidade a diversas necessidades experimentais. Portanto, a coluna de troca iônica desempenha um papel crucial na análise e purificação de íons e moléculas carregadas, contribuindo significativamente para o avanço das ciências biológicas, químicas, farmacêuticas e ambientais, entre outras áreas. Sua aplicação abrange desde a pesquisa científica até a indústria, possibilitando a obtenção de produtos de alta pureza e a compreensão dos processos químicos e biológicos envolvendo íons e moléculas carregadas. (FINI, P., 1990)

## 2.6. RESINA CATIÔNICA

A resina catiônica, inserida na tecnologia de troca iônica, destaca-se por sua matriz polimérica contendo grupos funcionais carregados positivamente, ou catiônicos. Esses grupos desempenham papel crucial ao atrair e reter íons de carga negativa, possibilitando a seletiva troca iônica. Nessa perspectiva eletroquímica, a interação entre os íons catiônicos da resina e os ânions presentes na solução obedece à lei de Guldberg e Waage, que governa o equilíbrio entre ambos, e à lei de Langmuir, que regula a capacidade de adsorção dos íons na matriz da resina em função da concentração iônica na solução. O evento da troca de íons pode ser observado na Figura 5. (DUDKA, et al., 2008)

**Figura 6.** esquema da resina catiônica e aniônica.



Fonte: (Snatural ambiente, 2020)

Amplamente empregada em diversas aplicações industriais e laboratoriais, a resina catiônica desempenha importante papel na purificação de água, tratamento de efluentes, remoção de íons metálicos tóxicos, produção de água desmineralizada e deionização de soluções. A eficiência da resina é intrinsecamente relacionada à adequada seleção do tipo e grupo catiônico de resina conforme os íons alvo a serem retidos ou removidos, além de fatores como tamanho de partícula, capacidade de troca iônica, seletividade e resistência mecânica que impactam seu desempenho em aplicações específicas.

É válido enfatizar a relevância do processo de regeneração da resina, mediante lavagem com solução apropriada, após a saturação por íons. Essa etapa possibilita a reutilização da resina em múltiplas ocasiões, traduzindo-se em alternativa sustentável e economicamente viável. Diante disso, a resina catiônica apresenta-se como valioso recurso na tecnologia de troca iônica, proporcionando solução eficiente e versátil para remoção seletiva de ânions em variadas aplicações industriais e ambientais, fomentando a purificação e tratamento de soluções aquosas. (BEHIN, et al., 2011)

### **2.6.1. AMBERLITE IR-120**

O princípio fundamental da resina catiônica Amberlite IR-120 e de outras resinas de troca iônica é a capacidade de substituir íons em solução por íons presentes na matriz da resina. Isso ocorre devido à afinidade dos grupos funcionais da resina por íons de carga oposta. No caso da Amberlite IR-120, que é uma resina catiônica, os grupos carboxilato (-COOH) interagem preferencialmente com íons metálicos catiônicos. Usualmente, uma das aplicações comuns da Amberlite IR-120 é na desmineralização da água. Essa resina é capaz de remover íons metálicos, como cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), que causam a formação de incrustações em sistemas de água, prejudicando tubulações e equipamentos. Diante dessa análise, a resina Amberlite IR-120 também é utilizada na recuperação e purificação de metais a partir de soluções aquosas. Ela pode ser usada em processos industriais para concentrar e isolar metais valiosos. Por sua vez, na indústria farmacêutica, a resina é empregada



para remover íons metálicos indesejados de produtos químicos, garantindo a pureza dos compostos. (RIBEIRO, C. et. al., 2019)

## **2.7. FOTOMETRIA DE CHAMA**

A fotometria de chama é uma técnica analítica consagrada, amplamente disseminada e de elevada sofisticação científica, utilizada para a quantificação de elementos metálicos alcalinos, alcalino-terrosos e de alguns metais de transição em amostras diversas. Baseia-se na excitabilidade atômica de compostos metálicos durante a combustão em uma chama, gerando emissão de radiação luminosa que é subsequentemente analisada, permitindo a estimativa da concentração dos elementos presentes. Essa metodologia demanda o emprego de um espectrofotômetro de chama, equipamento de alta sensibilidade projetado para avaliar as características espectrais da luz emitida durante o processo de excitação atômica. Essa abordagem possibilita a identificação e quantificação precisa das linhas espectrais características de cada elemento metálico em análise. Os fundamentos teóricos da fotometria de chama residem nas transições eletrônicas de átomos excitados, quando elétrons transitam para níveis de energia mais elevados e, subsequentemente, retornam aos seus estados fundamentais, emitindo energia na forma de radiação eletromagnética. As linhas espectrais resultantes são características e específicas para cada elemento, sendo utilizadas como indicadores para a quantificação. A escolha adequada da chama utilizada é crucial para a eficiência e sensibilidade da análise. Chamas oxidantes são empregadas para determinação de elementos alcalinos, como sódio e potássio, enquanto chamas redutoras são mais indicadas para elementos alcalino-terrosos, como cálcio e magnésio. Elementos de transição frequentemente requerem chamas especiais que permitem excitações mais efetivas. (ZAGATTO, et al., 2001)

Contudo, a fotometria de chama apresenta algumas limitações, incluindo a interferência de espécies químicas coexistentes na amostra, o que pode demandar tratamentos prévios ou uso de chamas mais seletivas. Ademais, amostras complexas podem exigir curvas de calibração para a adequada quantificação. Essa técnica

espectroscópica possui ampla aplicação em diversas áreas, como análises clínicas, controle de qualidade industrial, pesquisas ambientais e análises farmacêuticas. Sua notável resposta analítica, facilidade operacional e vasta faixa de detecção conferem-lhe uma posição de destaque entre as técnicas analíticas aplicadas à química. Em suma, a fotometria de chama é uma ferramenta analítica valiosa, fornecendo informações confiáveis e precisas em uma diversidade de amostras, contribuindo para avanços científicos e tecnológicos em diferentes campos de atuação. (WELZ, B; SPERLING, M., 2017)

### **3. METODOLOGIA**

O presente estudo envolve um contexto de pesquisa baseado em extensa revisão bibliográfica, centrado na abundante concentração de potássio contida na vinhaça, cuja incorreta disposição pode resultar na contaminação do solo. Este estudo assume, ademais, um caráter experimental, abrangendo uma série de ensaios envolvendo o uso do tetrafenilborato de sódio com o intuito de precipitar o elemento em análise. Para a realização desses ensaios, foram coletadas múltiplas amostras de vinhaça nas instalações da indústria sucroalcooleira Alcoeste Destilaria S/A, de Fernandópolis-SP. As etapas de precipitação do potássio presente na vinhaça foram conduzidas nas dependências do laboratório de química da ETEC Professor Armando José Farinazzo, seguidas pela dissolução do precipitado em propanona e a subsequente passagem da solução por meio de uma coluna de troca iônica.

## 4. DESENVOLVIMENTO

O presente trabalho, visa combater os efeitos negativos causado pelo excesso de potássio presente na vinhaça por intermédio da remoção desse elemento, destinando-o para aplicações de formas não nociva ao meio ambiente. A proposta supracitada, foi elaborada e desenvolvida no laboratório de química da instituição ETEC Prof.º Armando José Farinazzo, localizada no município de Fernandópolis-SP.

### 4.1. OBTENÇÃO DE AMOSTRAS

Foram analisadas 3 alíquotas obtidas através de uma amostra de vinhaça coletada na usina sucroalcooleira Alcoeste, localizada no município de Fernandópolis, interior de São Paulo, demonstrada na figura 6.

**Figura 7.** Alcoeste Fernandópolis

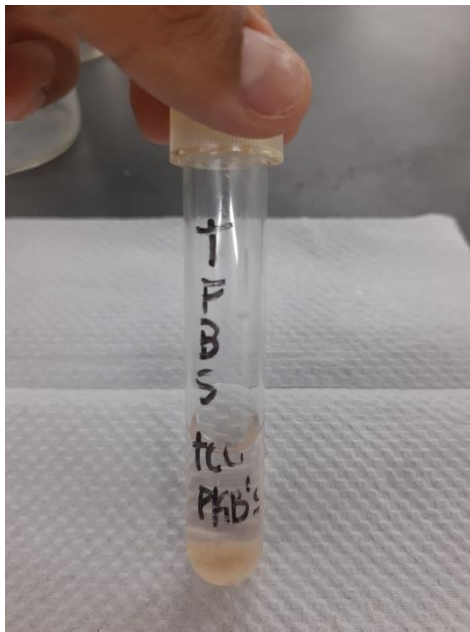


**Fonte:** (Grupo Arakaki, 2023).

### 4.3. REAGENTES

Todos os reagentes empregados foram de natureza analítica, e as soluções foram meticulosamente preparadas mediante o uso de água destilada. Uma solução de magnitude  $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$  do agente precipitante, ou seja, o tetrafenilborato de sódio, foi obtida mediante a solubilização de 0,342 g do composto em um volume de 10,0 mL de água destilada (como mostrado na figura 7). É válido ressaltar que a aludida solução deve ser acomodada em um ambiente de frescor, não excedendo o período de duas semanas. (AZEREDO, M.; AZEREDO, L.; SOARES, 1997).

**Figura 8.** Solução de Tetrafenilborato de Sódio.

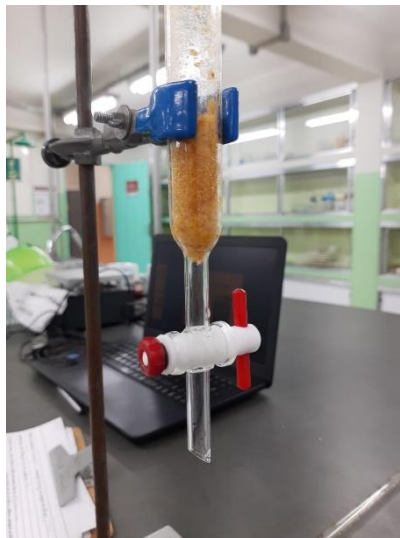


**Fonte:** (próprios autores, 2023).

#### 4.4. COLUNA DE TROCA-IÔNICA

Inicialmente, a resina sofreu uma etapa de ativação por meio da adição de ácido clorídrico (HCl) de concentração  $2 \text{ mol.L}^{-1}$ , correspondente ao volume intrínseco do leito colunar de 5 ml, no decorrer de um intervalo temporal de 10-15 minutos (conforme demonstrado na figura 8). Posteriormente, o excedente ácido residente no seio da coluna foi sujeito a uma sequência de lavagens com água destilada até que o eluente atingisse um estado de pH neutro. Esta etapa, em geral, consome um volume aquoso excedendo, em magnitude, dez vezes o volume intrínseco do leito colunar. (AZEREDO, M.; AZEREDO, L.; SOARES, 1997).

**Figura 9.** Coluna já montada e ativada com ácido clorídrico.



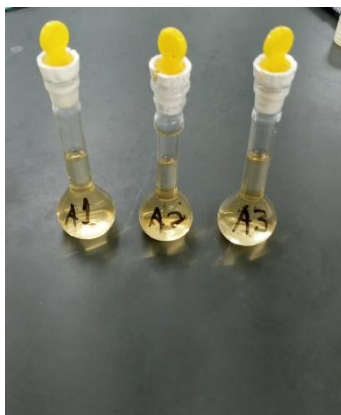
Fonte: (próprios autores, 2023.)

#### 4.5. PREPARAÇÃO DE SOLUÇÃO-AMOSTRA

Foi procedida a transferência de 50 mL de uma solução de vinhaça (figura 9) para um recipiente béquer de capacidade 150 mL, ajustando-se o pH para o valor de 2,0 mediante a adição gradual de solução de HCl de concentração  $6 \text{ mol.L}^{-1}$

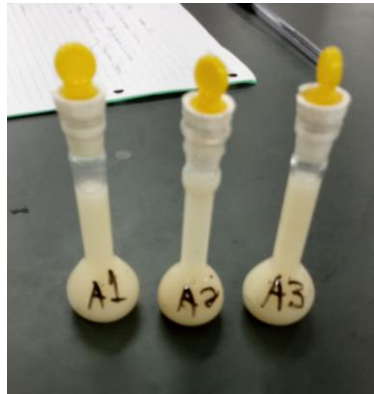
1. Logo após, a vinhaça nas condições supracitadas foi submetida a 20 minutos de centrifuga e posteriormente, foi filtrada utilizando um sistema de filtração simples. A subsequente etapa envolveu a incorporação de um volume de 1mL da solução de tetrafenilborato de sódio (figura 10), no âmbito de uma agitação contínua mantida ao longo de 30 minutos, com o béquer imerso em um banho refrigerado a temperatura inferior a 20°C. A solução obtida foi deixada em repouso durante um período de uma hora e, após essa etapa, submetida a uma operação de centrifugação por 30 minutos. O precipitado assim obtido recebeu uma lavagem subsequente, utilizando uma solução de tetrafenilborato de sódio a 0,1 mol.L<sup>-1</sup> em uma quantia de 1 mL, preservando a temperatura abaixo de 20°C. A dissolução do precipitado então formado foi executada empregando-se 2,5 mL de propanona (figura 11), a solução resultante recolhida em um balão volumétrico de capacidade 10 mL, sendo o volume completado com água destilada até o nível volumétrico adequado (figura 12). (AZEREDO, M.; AZEREDO, L.; SOARES, 1997)

**Figura 10.** Amostras antes da adição do TFBS.



**Fonte:** (próprios autores, 2023).

**Figura 11.** Amostras após adição de TFBS



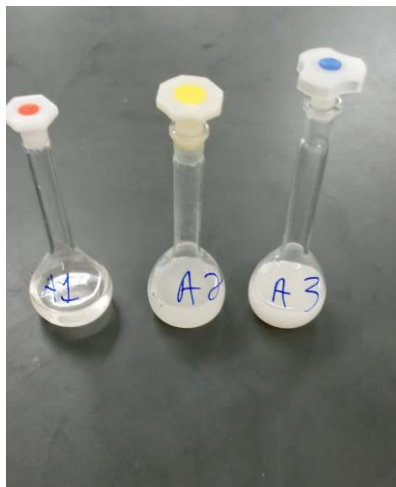
Fonte: (próprios autores, 2023).

**Figura 12.** Diluição do precipitado em propanona.



Fonte: (próprios autores, 2023).

**Figura 13.** Precipitados após sua diluição em propanona, já destinadas a passar pela coluna de troca iônica.



Fonte: (próprios autores, 2023.)

#### **4.6. PASSAGEM DA SOLUÇÃO-AMOSTRA PELA COLUNA**

Uma porção quantitativa de 10,0 mL proveniente da solução-amostra, obtida por meio do balão volumétrico de 10,0 mL, foi direcionada através da coluna de resina catiônica, com o eluato resultante sendo coletado diretamente em um erlenmeyer de 125 mL. Tal protocolo experimental foi replicado em três iterações para assegurar a verificação da precisão do método proposto, em que, de maneira prévia a cada determinação, foi executada a regeneração da coluna por meio do emprego de HCl de concentração  $2 \text{ mol.L}^{-1}$ , conforme delineado previamente, observado na figura 11. (AZEREDO, M.; AZEREDO, L.; SOARES, 1997).

#### **4.7. ANÁLISE FOTOMÉTRICA**

A partir de todas as etapas realizadas, foi necessário a realização de análises fotométricas para quantificar todo o potássio presente em cada etapa, mostrado na figura 13, a fim de ter a ciência de possíveis perdas e se a metodologia estava tendo sucesso. É válido ressaltar, que na última análise de cada amostra, o cloreto de potássio indicou níveis elevados de potássio extrapolando o nível de calibração do aparelho, os resultados podem ser observados nos quadros 1, 2, 3, 4 e 5.



**Figura 14.** Fotômetro de chama utilizado para as análises



**Fonte:** (próprios autores, 2023).

**Quadro 1.** Resultados da análise da vinhaça pura e filtrada.

<b>AMOSTRA</b>	<b>POTÁSSIO</b>
Vinhaça	330ppm
Vinhaça filtrada	320ppm

**Fonte:** (próprios autores, 2023).

Nota-se que entre as duas amostras, obteve-se a discrepância de 10ppm de potássio, indicando desta forma, uma possível perda durante o procedimento de filtragem.

**Quadro 2.** Resultado do eluente restante após a precipitação do potássio

<b>AMOSTRA</b>	<b>POTÁSSIO</b>
Amostra 1	150ppm
Amostra 2	117ppm
Amostra 3	114ppm

**Fonte:** (próprios autores, 2023).

É observado, portanto, que após a precipitação com Tetrafenilborato de Sódio, o produto restante não solidificado indicou a presença de potássio, todavia em

quantidade menor da vinhaça pura e filtrada, indicando desta forma que parte do potássio presente, foi precipitado.

**Quadro 3.** Resultados do potássio precipitado e separado na amostra 1.

<b>AMOSTRA 1</b>	<b>POTÁSSIO</b>
Ativação da coluna	0ppm
Passagem da solução de TFBP	43ppm
Regeneração da coluna (KCl)	+100ppm

**Fonte:** (próprios autores, 2023).

Diante desse quadro, é possível aclamar que após a passagem do ácido clorídrico, o eluente coletado não apresentou nenhuma quantidade de potássio indicando que não haveria interferência nas demais análises, observou-se também que após a passagem do precipitado diluído o eluente coletado apresentou 43ppm de potássio, demonstrando dessa forma que a resina não quelou totalmente o potássio presente na amostra. Por fim após a regeneração da coluna e coletado o eluente KCl, foi identificado uma alta concentração de potássio extrapolando a calibração do aparelho de 100ppm de potássio, sendo então um eluente saturado de potássio.

**Quadro 4.** Resultado do potássio precipitado e separado na amostra 2.

<b>AMOSTRA 2</b>	<b>POTÁSSIO</b>
Passagem da solução de TFBP	13ppm
Regeneração da coluna (KCl)	+100ppm

**Fonte:** (próprios autores, 2023).

Nesse quadro é observado as análises da amostra 2, indicando uma baixa passagem de potássio da amostra após a coluna, mostrando-se uma maior eficiência da resina nessa amostra, demonstra também que o KCl coletado mostrou quantidades saturadas de potássio.

**Quando 5.** Resultado do potássio precipitado e separado na amostra 3.

<b>AMOSTRA 3</b>	<b>POTÁSSIO</b>
Passagem da solução de TFBP	2ppm
Regeneração da coluna (KCl)	+100ppm

**Fonte:** (próprios autores, 2023).

Por fim, na última amostra, observou-se novamente uma maior eficiência da coluna no quesito sequestrar o potássio se comparado as anteriores, isso pode ser justificado devido ao fato da coluna passar por duas outras ativações durante sua regeneração tornando-a cada vez mais carregada com íons hidrogênio, consequentemente, mais íons potássio poderia ficar retido na coluna. Todavia, tal tese pode ser justificada também pela contaminação da coluna pelas outras amostras. Contudo, observou-se novamente a saturação de potássio no cloreto de potássio indicando novamente que o objetivo foi alcançado com satisfação.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A atual conjuntura propiciou resultados altamente satisfatórios, evidenciando que a metodologia subjacente se revelou eficaz e passível de aplicação. Preliminarmente, observa-se que o propósito da pesquisa foi plenamente atingido, uma vez que a extração de potássio excedente, mediante a precipitação com Tetrafenilborato de Sódio e a aplicação da cromatografia de troca-iônica, foi executada com êxito, evidenciando, nas análises fotométricas, quantidades substanciais de potássio em cada fase do procedimento. Entretanto, é pertinente salientar que no processo de precipitação do potássio por intermédio do Tetrafenilborato de sódio, tem como resultado o Tetrafenilborato de potássio, composto este com valor mercantil quatro vezes maior que a do precipitante. Ademais, o método supracitado é passível de adaptação industrial, uma vez que os procedimentos bases para a precipitação do excesso do potássio na vinhaça, tornando-a utilizável e benéfica ao solo, são

facilmente reproduzidos em indústrias, uma vez que fundamentalmente é necessário agitação constante e refrigeração com temperatura abaixo de 20°C. Outrossim, o resíduo resultante após a passagem do ácido clorídrico, na etapa de regeneração, pode apresentar métodos para sua recuperação e conversão para seu estado fundamental, restituindo-o à forma de Tetrafenilborato de Sódio; no entanto, são necessárias investigações adicionais para validar tal possibilidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SILVA; BONO; FERREIRA. **Aplicação de vinhaça na cultura da cana-de-açúcar: Efeito no solo e na produtividade de colmos**. In: Contexturas: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.18, n.1, p.38-43, 2014.

CRUZ et al. **Deteção de contaminação de solo por vinhaça através de análise de dados de eletrorresistividade**. In: Contexturas: Revista Brasileira de Geofísica, 2008.

CORRAZA, R.I. **impactos ambientais da vinhaça: controvérsias científicas e lock-in na fertirrigação**. Fortaleza, CE, 2006.

CABALLERO, Luiza. **Vinhaça: o que é, impactos e usos**. São Paulo, SP, 2019

CRUZ, Raimundo Leite. **Efeito da aplicação de vinhaça sobre o solo e água subterrânea**. 1991. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991. Acesso em: 12 abr. 2023.

VELOSO, Emanuel. **Redução das perdas de potássio no solo**. 2016. Artigo Científico – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Acesso em: 12 abr. 2023.

SILVA, Alana M. **Mosca-do-estábulo e o bem-estar animal – Manejo Integrado de Pragas (MIP)**. 2018. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, 2018. Acesso em: 12 abr. 2023

BASSO et al. **Vinhaça como fonte de potássio: resposta da sucessão aveia-preta/milho silagem/milho safrinha e alterações químicas do solo na Região Noroeste do Rio Grande do Sul.** Ci. Rural., Santa Maria, v. 43, n.4, p.596-602, abr, 2013.

SILVA, N. A. S; GRIEBELER, N. P; BORGES. **Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental., Campo Grande, v.11, n.1, p.108-114, 2007.

FERNANDES, F. et al. **Uso da vinhaça na fertirrigação: avaliação de impactos ambientais e sugestões para seu gerenciamento.** Cadernos de Ciência & Tecnologia, v. 22, n. 2, p. 453-466, 2005.

MARCATO, A. C. et al. **A vinhaça como condicionante na qualidade ambiental de mananciais hídricos: estudo de caso na região de Araraquara (SP).** Revista Ambiente & Água, v. 5, n. 1, p. 105-117, 2010.

ZANELLO, P.; LAGRANGE, J.; PLA-QUINTANA, A.; AMARDEIL, R.; HOFMANN, P. **Estudos Termodinâmicos e Cinéticos sobre a Hidroboração e Dihidroboração. Parte 5: Hidroboração de Acetilenos com Tetrafenilborato de Sódio.** Journal of the Chemical Society, Perkin Transactions 2, v. 1, p. 63-67, 1988. Acesso em: ago. 2023.

DÖTZ, K. H.; NUBER, B.; WERNER, C.; HEINZE, J. **A síntese do Tetrafenilborato de Sódio.** Journal of Organometallic Chemistry, v. 257, n. 1, p. 47-50, 1983. Acesso em: ago. 2023.

DUDKA, I. O.; POLITI, L. R.; DUARTE, F. A.; LASSALLE, V. L. A.; LAURINDO, J. B.; QUEIROZ, L. F.; BAZZOLI, N. N.; OLLER DO NASCIMENTO, C. A. **Caracterização de resinas catiônicas para remoção de metais pesados em efluentes**

**industriais.** Journal of Hazardous Materials, v. 160, n. 1, p. 33-39, 2008. Acesso em: ago. 2023.

BEHIN, J.; NOURI, J.; AZIZI, A.; YAGHMAEIAN, K. **Aplicação de troca iônica e adsorventes para remoção de metais pesados de água e efluentes.** Em: Anais da Conferência Internacional de Engenharia Ambiental e Aplicações (ICEEA), Cingapura, 2011. p. 80-84. Acesso em: ago. 2023.

BHUSHAN, R. **Química Inorgânica e Metalorgânica Avançada Prática.** S. Chand Publishing, 2011. Acesso em: ago. 2023.

FINI, P. **Cromatografia por Troca Iônica: Princípios Básicos e Aplicações.** Journal of Chromatography A, v. 503, p. 129-154, 1990. Acesso em: ago. 2023.

WELZ, B.; SPERLING, M. **Espectrometria de Absorção Atômica.** John Wiley & Sons, 2017. Acesso em: ago. 2023.

ZAGATTO, E. A. G.; LIMA, J. L. F. C.; GUARDA, H. V. C. **Métodos Espectrométricos de Análise.** Editora Edgard Blücher Ltda, 2001. Acesso em: ago. 2023.

RIBEIRO, C. et. al. **Avaliação do potencial da resina Amberlite IR-120 na remoção de íons.** Disponível em: <<https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2019/II-014.pdf>> Acesso em: nov. 2023.

RIBEIRO, C. A. S.; SANTOS, S. A.; SABADINI, E. **Radiação eletromagnética: uma ferramenta fundamental para a química analítica.** Química Nova, v. 31, n. 7, p. 1863-1875, 2008. Acesso em: ago. 2023.

SKOOG, D. A.; WEST, D. M.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. **Fundamentos de Química Analítica**. Thomson Learning, 2007. Acesso em: ago. 2023.

FOGAÇA, Jennifer R. V. **Potássio**. Disponível em: <<https://www.preparaenem.com/quimica/potassio.htm#:~:text=O%20%C3%ADon%20pot%C3%A1ssio%20%C3%A9%20realmenteo%20funcionamento%20do%20sistema%20nervoso>> Acesso em: jun. 2023.

FERNANDES, Ruan. **Processo químico não espontâneo**. Disponível em: <https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/quimica/eletrolise>. Acesso em: jun. 2023.

CABALLERO, Luiza. **Potássio: entenda a sua importância e os seus impactos**. <<https://www.ecycle.com.br/potassio/>>. Acesso em: jun. 2023.

AZEREDO, M.; AZEREDO, L.; SOARES. **Determinação de potássio em méis após precipitação com tetrafenilborato de sódio e separação em coluna de troca iônica**. Química Nova, p. 651-654. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/gRRYJBy75wG7RgJHLbDsRTF/>>. Acesso em: ago. 2023.

BONINI, Flavio G. **Benefícios do potássio na adubação**. Disponível em: <<https://revistacultivar.com.br/noticias/beneficios-do-potassio-na-adubacao>> Acesso em: nov. 2023.

CABALLERO, Luiza. **Potássio: entenda sua importância e os seus impactos**. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/potassio/>> Acesso em: nov. 2023.

TORRES, N. H. et. al. **Indústria sucroalcooleira: gestão de subprodutos**. p.229. Disponível em: <[http://www.unemat.br/revistas/rcaa/docs/vol10-2/11\\_modelo\\_artigo\\_rcaa\\_v10n2a2012\\_nadia.pdf](http://www.unemat.br/revistas/rcaa/docs/vol10-2/11_modelo_artigo_rcaa_v10n2a2012_nadia.pdf)>, Acesso em: nov. 2023.