

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

VINICIUS AUGUSTO DE MELO GOMES

**ESTADO DA ARTE SOBRE “A CONSTRUÇÃO DE
POTENCIOSTATOS DE BAIXO CUSTO” PARA O ENSINO DE
QUÍMICA**

**CAMPO MOURÃO, PR
2022**

VINICIUS AUGUSTO DE MELO GOMES

**ESTADO DA ARTE SOBRE “A CONSTRUÇÃO DE
POTENCIOSTATOS DE BAIXO CUSTO” PARA O ENSINO DE
QUÍMICA**

**Art State in “the construction of low cost Potentiostats” for Science
teaching**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do
título de Licenciado em Licenciatura em
Química da Universidade Tecnológica Federal
do Paraná (UTFPR).

Orientador: Professor Dr. Marcos Antônio Piza.

CAMPO MOURÃO, PR

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos.

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

VINICIUS AUGUSTO DE MELO GOMES

**ESTADO DA ARTE SOBRE “A CONSTRUÇÃO DE POTENCIOSTATOS DE
BAIXO CUSTO” PARA O ENSINO DE QUÍMICA**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Licenciado em Licenciatura em Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 08/fevereiro/2022

Marcos Antônio Piza
Doutor
Universidade Tecnologia Federal do Paraná

Marcilene Ferrari Barriquello Consolin
Doutora
Universidade Tecnologia Federal do Paraná

Patrícia Appelt
Doutora
Instituição Federal do Paraná

CAMPO MOURÃO, PR

2022

Agradecimentos

Primeiramente gostaria de agradecer à Deus por tudo em minha vida.

Agradeço aos meus professores de graduação por me ensinarem a ser um químico, um professor de Química e um ser humano melhor.

Agradeço as professoras (Marcilene e Patrícia) que compõe a banca do meu TCC, por aceitarem fazer parte desse momento ofertando suas contribuições e sugestões.

Agradeço meu orientador Marcos Antônio Piza e as professoras Paula e Patrícia por acreditarem e investirem no meu potencial. Vocês marcaram minha vida, estarão sempre em minha memória.

Quero agradecer meus pais, Valdecir, Cida Melo e meu irmão Gustavo Henrique por sempre me apoiarem e estarem comigo nos momentos difíceis que passei durante a graduação. Agradeço por toda ajuda e por terem priorizado meus estudos. Vocês são importantes, muito importantes, para mim. AMO VOCÊS!

Agradeço meus familiares, minha avó (Maria), minhas tias (são muitas), meus tios (muitos também), primos e primas (mais pessoas ainda) por sempre depositarem confiança nos meus estudos e torcerem pelo meu sucesso. Vocês foram importantes no período de graduação, sempre me ouvindo, me animando e me dando os melhores conselhos.

Agradeço minhas amigas (Lary, Camila, Jenifer, Denise e Amanda) por entenderem que às vezes me ausentava das nossas comemorações (peço desculpas) para estudar, mesmo assim, nunca se esqueceram de mim. Sempre estão ao meu lado me apoiando. Nunca se esqueçam, amo vocês!

Quero mencionar também, as amigas que conquistei na graduação, as meninas do carro da Ste, a Gabi (integrante do meu trioquinho do lab e os surtos dos relatórios), a Thay, Evelyn, Nay, Andressa, David, João e os demais que são tantos. Também incluo as novas amigas que fiz durante o tempo da graduação. Vocês foram luz no meu caminho.

Agradeço ao Matheus (pelaaa) (ele sabe o porquê), que foi quem me auxiliou no processo de entrada na UTFPR, lá em 2017, uma eterna amizade e gratidão.

Por fim, agradeço à todas as professoras da educação básica que vivenciei, foram vocês que me incentivaram buscar o conhecimento.

Don't stop believin'
Hold on to that feelin'
Don't Stop Believin' – Journey, 1981

RESUMO

A voltametria cíclica é um campo próspero em novidades e diferentes métodos de análises são empregados na determinação qualitativa e quantitativa de analitos em estudos, como a detecções de metais tóxicos e adulteração de produtos. O potenciostato utilizado na voltametria cíclica, compõe-se em 03 eletrodos, eletrodo de trabalho; eletrodo de referência e o contra eletrodo/ eletrodo auxiliar. Infelizmente as universidades públicas (maiores produtoras de ciência no país) enfrentam a desvalorização e a deficiência em infraestrutura da educação. O que impacta na aquisição de aparelhos, assim, limitando pesquisas e o uso em laboratórios em aulas práticas de disciplinas de Química. Assim, este projeto tem por objetivo realizar uma pesquisa de categoria do Estado da arte sobre a construção de potenciostatos de baixo custo em trabalhos de conclusão de curso, dissertações e teses, em diferentes plataformas de base de dados do território brasileiro. Foram selecionadas 20 plataformas para realização da pesquisa das palavras-chaves, “potenciostato” e “desenvolvimento de um potenciostato” de modo em encontrar trabalhos de conclusão de curso, dissertações e teses que apresentassem o desenvolvimento de potenciostatos de baixo custo e portáteis para uso em pesquisas específicas. Em seguida, definiu-se algumas questões-problemas para embasamento das discussões e interpretações das obras, como: “Quais/qual foram/é a/s justificativa/s do trabalho?”; “Quais/qual foram/é o/o objetivo/s do trabalho?” “Como foi definida a metodologia e os materiais utilizados?” e “Quais foram os resultados e as conclusões das pesquisas?”. Encontrou-se e discutiu-se 6 trabalhos, sendo 4 dissertações; 1 tese e 1 trabalho de conclusão de curso, nos anos 2007; 2013; 2016; 2019 e 2021, nas regiões sudeste (4 trabalhos); norte (1 trabalho) e centro-oeste (1 trabalho). Pode-se ousar em dizer que a construção de um potenciostato não é de fácil realização, alguns desses autores encontrados foram importantes ao mencionarem seus erros, demonstrando que tal pesquisa necessita de muito embasamento teórico e conhecimento interdisciplinar das áreas da Física, Eletrônica e Química. É possível de se expressar que estudo do Estado da Arte possibilita ao pesquisador ir no “íntimo” das obras que está verificando, tomando como base as questões-problemas para estruturar seus percursos e realizar uma interpretação de acordo com seus objetivos.

Palavras-chave: eletroquímica; voltametria cíclica; potenciostato; estado da arte.

ABSTRACT

Cyclic voltammetry is a thriving field in novelties and different analysis methods are employed in the qualitative and quantitative determination of analytes in studies, such as the detection of toxic metals and product adulteration. The potentiostat used in cyclic voltammetry is composed of 03 electrodes, a working electrode; reference electrode and counter electrode/auxiliary electrode. What impacts the acquisition of devices, thus limiting research and use in laboratories in practical classes of Chemistry discipline. Thus, this project aims to carry out state-of-the-art research on the construction of low-cost potentiostats in course completion works, dissertations and theses, in different database platforms in Brazil. Twenty platforms were selected to carry out the research of the keywords, "potentiostat" and "development of a potentiostat" in order to find course conclusion works, dissertations and theses that presented the development of low-cost and portable potentiostats for use in specific searches. Then, some problem-questions were defined to support the discussions and interpretations of the works, such as: "Which/what were/is the justification/s of the work?"; "What/what were/is the objective/s of the work?" "How was the methodology and materials used defined?" and "What were the results and conclusions of the research?". It was found and discussed 6 works, being 4 dissertations; 1 thesis and 1 course conclusion work, in 2007; 2013; 2016; 2019 and 2021, in the Southeast regions (4 works); north (1 job) and midwest (1 job). One can dare to say that the construction of a potentiostat is not easy to perform, some of these authors found were important to mention their mistakes, demonstrating that such research needs a lot of theoretical foundation and interdisciplinary knowledge in the areas of Physics, Electronics and Chemistry. It is possible to express that the study of the State of the Art allows the researcher to go into the "intimate" of the works he is verifying, based on the problem-questions to structure their paths and carry out an interpretation according to their objectives.

Keywords: electrochemistry; cyclic voltammetry; potentiostat; state of art.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação do voltograma.	16
Figura 2 - Ilustração das camadas em relação eletrodo/solução.....	18
Figura 3 - Representação do potenciostato.....	20
Figura 4 - Fluxograma metodologia D1	30
Figura 5 - Esquema do circuito	31
Figura 6 - Circuito desenvolvido para o potenciostato opto-acoplado	32
Figura 7 – Resultados da calibração dos potenciostatos.....	33
Figura 8 - Voltamograma do multipotenciostato	34
Figura 9 - Comparação com potenciostato comercial	34
Figura 10 - Voltamogramas analisados	35
Figura 11 - Circuito do potenciostato desenvolvido	36
Figura 12 - Comparação dos voltamogramas.....	38
Figura 13 - Voltograma do potenciostato construído sem ruídos	38
Figura 14 - Representação do sistema voltamétrico de microfluido	39
Figura 15 - Voltamograma do microfluido.....	40
Figura 16 – Circuito do trabalho T1	41
Figura 17 - Comparação dos resultados obtidos	42
Figura 18 – Blocos do potenciostato AOP_CCI- V1	43
Figura 19 - Esquema de dois blocos	44
Figura 20 - Voltamogramas das diferentes concentrações	45
Figura 21 - Testes com o potenciostato AOP_CCI- V2	46
Figura 22 - Comparação dos voltamogramas do AOP_CCI- V3.....	46
Figura 23 - Circuito impresso.....	48
Figura 24 - Voltamograma do trabalho D4	48
Figura 25 - Circuito empregado no potenciostato.....	49
Figura 26 - Valores experimentais do TCC1.....	50
Figura 27 - Estrutura do ferricianeto de potássio.....	51
Figura 28 - Circuito montado no projeto	52

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS	11
2.1	Objetivo Geral	11
2.2	Objetivos específicos.....	11
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
3.1	História da eletroquímica.....	12
3.2	Reações de oxidação/redução	14
3.3	Voltametria, voltametria cíclica e voltograma	15
3.4	Potenciostato.....	19
4	METODOLOGIA	21
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5.1	Categorização inicial dos resultados	24
5.2	Justificativa e objetivos das pesquisas	27
5.3	Metodologia e resultados das pesquisas.....	29
5.4	Andamento do potenciostato construído	52
6	CONCLUSÃO	53
	REFERÊNCIAS.....	54

1 INTRODUÇÃO

Os estudos na área da Eletroquímica tem sido muito promissor e propiciados muitas contribuições para nossa sociedade, Zoski (2007) descreve que a Eletroquímica permite a investigação em novas fontes de energias limpas, exploração em compostos inorgânicos e orgânicos, avanços nas áreas da bioquímica e biologia, corrosão entre outros campos do saber.

A voltametria é um campo próspero em novidades e diferentes métodos de análises são empregados na determinação qualitativa e quantitativa de analitos em estudos, como a detecções de metais tóxicos e adulteração de produtos. Esses estudos são possíveis graças à propensão das espécies químicas envolvidas a transferirem elétrons.

Dentre as técnicas eletroquímicas mais utilizadas está a voltametria. Ela baseia-se na medida da corrente em uma célula eletroquímica sob condições de completa polarização de concentração, na qual a velocidade de oxidação ou redução do analito é limitada pela velocidade de transferência de massa do analito para a superfície do eletrodo (SOUZA, 2016; CANTASINI, 2019).

Com o aperfeiçoamento dos pesquisadores da área da voltametria e os avanços tecnológicas, os aparelhos foram se modernizando, na Voltametria Cíclica (VC), utiliza-se um potenciostato com três eletrodos que resultam em melhores resultados analíticos para as pesquisas realizadas (GARDIN; GAZZONI FILHO; KILLNER, 2019).

É evidente que as universidades públicas (maiores produtoras de ciência no país) enfrentam a desvalorização e a deficiência em infraestrutura da educação. A falta de investimentos tem impacto na aquisição de aparelhos sofisticados para pesquisa, como por exemplo, potenciostatos para suporte em pesquisas e para utilização didática em disciplinas de Química.

Essa limitação, impede o contato dos universitários com a maioria dessas técnicas, restringindo os aparelhos (quando comprados) apenas para utilizações nas pesquisas dentro da academia, ofuscando então o potencial didático das mesmas e interferindo no nível de aprendizagem dos estudantes que acabam desconhecendo os métodos de análises práticos, apenas baseando-se em teorias apresentadas em livros didáticos.

Embora esse quadro seja persistente e de difícil resolução, existem meios de diminuir esse impacto para o aluno. Portanto a dificuldade que os centros de ensino têm na utilização de instrumentos de análise, como o potenciostato, na formação de alunos de nível médio e superior, torna-se crucial o desenvolvimento de equipamentos com baixo custo, aproveitando-se da disponibilidade de componentes eletrônicos.

Dentro deste contexto, este projeto teve por objetivo realizar uma pesquisa de categoria do Estado da arte sobre a construção de potenciostatos de baixo custo em trabalhos de conclusão de curso, dissertações e teses, em diferentes plataformas de base de dados do território brasileiro.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

- Realizar a pesquisa do Estado da arte sobre a construção de aparelhos potenciostatos de baixo custo para a utilização em práticas experimentais em trabalhos de grau acadêmicos.

2.2 Objetivos específicos

- Pesquisar em 20 plataformas o termo “Potenciostato”;
- Utilizar a metodologia do Análise do conteúdo para discussão dos resultados,
- Apresentar a metodologia de cada autor encontrado;
- Discutir e comparar os resultados dos potenciostato produzido pelos autores das pesquisas selecionadas;
- Divulgar o estudo dos pesquisadores.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

É preciso entender os fatos históricos, para compreender o andamento da ciência atual. Para isso, as seções 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4 a seguir correspondem ao entendimento completo do assunto abordado na monografia.

3.1 História da eletroquímica

A observação e a vivência dos fenômenos naturais motivaram o ser humano, e ainda os motiva, em decifrá-los por meio dos estudos, reprodução, investigação, entre outros meios e metodologias utilizadas na busca de respostas que proporcionam o conhecimento sobre o determinado fato. Desde o estudo de átomos, compostos moleculares, origem da vida, manuseio de calor e energia para sobrevivência foram fatores de importantes para o desenvolvimento e evolução humana, que ainda tendem a evoluir.

De acordo com Gonçalves; Tamiasso-Martinhon (sem data), no século XVIII, o físico e médico italiano, Luigi Galvani, realizava estudos do uso da eletricidade como tratamento terapêutico. Galvani em um desses estudos manuseava materiais metálico energizado e rãs em processo de dessecação, ao tocar o anfíbio com seu bisturi notou uma contração do tecido nervoso do animal (GONÇALVES; TAMIASSO-MARTINHON; SOUSA, s. d.).

Ainda de acordo com os autores, ao se aprofundar nos estudos, Galvani publicou em sua monografia o fenômeno observado e denominou como “eletricidade animal”. Os autores Atinks; Jhones (2012), complementam que, Luigi Galvani “[...] acreditava que a eletricidade provinha dos músculos” (p. 515).

Tal fato, mais tarde fora contestado por Alessandro Volta, desacreditando que tecidos nervosos produziram energia, testou o experimento utilizando placas metálicas condutoras conectadas ao membro do animal (GONÇALVES; TAMIASSO-MARTINHON; SOUSA, s. d.). Ao reproduzir a contração como esperado, defendeu que a corrente produzida pela aparelhagem que gerava o movimento do músculo,

Para ele, o par de condutores metálicos quando conectado ao condutor úmido (neste caso, o líquido ácido contido nos músculos do animal), permitia o fluxo de uma corrente de eletricidade de um para o outro (GERMANO; LIMA; SILVA, 2012, p. 148).

Essa nova definição da eletricidade e aparelhagem utilizada no estudo de origem da primeira pilha/célula eletroquímica. O dispositivo tratava-se de,

[...] discos de prata e zinco ou prata e chumbo ou prata e estanho ou, ainda, cobre e estanho. Cada par metálico era separado do seguinte por um disco de um material poroso – papelão, couro ou outro material absorvente similar – embebido em uma solução de sal (GERMANO; LIMA; SILVA, 2012, p. 148).

Tal fenômeno foi fundamental para a origem da primeira pilha/célula eletroquímica. Alessandro Volta acreditava que o contato dos diferentes metais utilizados em seu experimento explicava a existência da eletricidade, e definiu o que mais tarde chamou de “série eletroquímica”, eram necessários para gerar estímulo elétrico (GONÇALVES; TAMIASSO-MARTINHON; SOUSA, s.d.). Indicada como “pilha voltaica”, o dispositivo construído por Alessandro Volta, foi o primeiro aparelho a armazenar eletricidade (ATKINS; JONES, 2012). Assim, ao longo de séculos diferentes cientistas foram aprimorando o que hoje conhecemos como pilhas e baterias (GONÇALVES; TAMIASSO-MARTINHON; SOUSA, s. d.).

Hoje os estudos na eletroquímica, tem como objetivo o melhoramento de materiais elétricos que permitam ao usuário uma maior praticidade e conforto. Como por exemplo, o aprimoramento de pilhas e baterias, recentemente que os cientistas John B. Goodenough, M. Stanley Whittingham e Akira Yoshino desenvolveram seus estudos sobre baterias de lítio na forma iônica (Li^+), tornando o objeto mais potente e com uma maior segurança em relação a reatividade, inovação que concebeu aos pesquisadores o prêmio Nobel de Química em 2019 (CURY, 2019).

Ainda mais, os avanços na busca de meios não poluentes, como carro elétrico, qual segundo Freitas (2012), contribuem na dependência de fontes energéticas não oriundas do petróleo, e utilizam de combustível a corrente elétrica, construídos com baterias carregáveis em fontes externas, contribuindo em não emitirem poluição sonora e química.

Como complemento, Freitas (2012) comenta ainda que a nova tecnologia evita a liberação exacerbada de poluentes a atmosfera, pois não

realizam a queima do combustível fóssil no seu funcionamento, fator que contribui no decaimento da poluição nas grandes metrópoles com seus milhares de veículos em funcionamento.

Direcionando os olhares para o campo das análises que envolva eletroquímica, novos estudos buscam “sofisticar” e minimizar os aparelhos a voltametria, potenciometria, amperometria, eletroforese entre outros que se tornaram viáveis e “econômicos” que utilizam a eletroquímica em prol do meio ambiente e bem-estar social.

3.2 Reações de oxidação/redução

Desde o século XIX, o entendimento dos termos oxidação e redução presentes nas reações eletroquímica, sofreram algumas mudanças conceituais, Rozenberg, (2002) define que “o vocábulo oxidação era usado para designar qualquer processo de oxigenação, isto é, reação de qualquer substância com oxigênio; o termo redução qualificava a reação que provoca desoxigenação” (p. 479). Com os avanços das teorias eletrônicas, novos conceitos foram empregados nas reações de oxirredução são embasadas pelos conceitos da “troca” de elétrons” das espécies envolvidas (ROZENBERG, 2002).

Quando uma das espécies envolvidas na reação perde seus elétrons é chamado de processo de oxidação e a espécie que ganhou esses elétrons é definida como como processo de redução (SHRIVER; ATKINS, 2008). Os autores ainda complementam que o sentido da migração dos elétrons acontece da espécie (átomo ou íon) que tende a oxidar, para o elemento que tende a reduzir, ganhar esses elétrons.

Estudar as reações de oxirredução podem parecer um tanto quanto complexas para se identificar qual espécie está oxidada ou reduzida, assim, de acordo com Atkins e Jhones (2012), as reações de oxirredução devem ser representadas em semi-reações que facilitam na determinação da espécie que ganhou elétrons, como também a espécie que perdeu elétrons, qual denomina de par oxirredutor.

Os autores ainda afirmam que existe uma correlação dos elétrons representados antes (reação de redução) e depois (produto da reação de

oxidação) da seta não estão livres na reação, mas sim comprometidos no par redox.

3.3 Voltametria, voltametria cíclica e voltagrama

As reações mencionadas na seção 3.2 ocasionam uma determinada corrente elétrica em função do potencial de redução/oxidação de cada espécie envolvida. E dentre as técnicas de análises do ramo da Química Analítica, “os métodos eletroanalíticos que dependem da medida da corrente, em função do potencial aplicada, são chamados métodos voltamétricos (SKOOG *et al.*, 2012, p. 627). Esses métodos resultam em “informações qualitativas e quantitativas de uma espécie química são obtidas a partir do registro de curvas corrente-potencial, feitas durante a eletrólise dessa espécie” (ALEXO, 2003, p. 01).

A técnica de voltametria, incita de quantidades mínimas de reagentes e sua facilidade proporcionou variáveis aplicações na química. São exemplos de métodos voltamétricos as técnicas de Voltametria de Pulso Diferencial; Onda Quadrada; Varredura Linear e VC.

A voltametria abordada na pesquisa é a cíclica, que se baseia na aplicação de um diferencial de potencial (ddp) aos eletrodos submersos a solução, existe um requisito fundamental para a técnica, o analito necessita de espécies eletroatrativas. Os autores Shriver e Atkins (2008) explicitam que o método de VC “é um método poderoso para investigar as reações de oxirredução que uma molécula é capaz de sofrer” (p. 212).

As interações físicas e químicas que acontecem entre os eletrodos de trabalho e a superfície da solução analítica, permitem diversas atribuições na seletividade e especificidade no resultado da eletrolise do analito (PACHECO *et. al.*, 2013). Conforme abordado por Aleixo (2003), os resultados analíticos da técnica estão relacionados com a corrente elétrica entre os eletrodos, estimulada pelo o potencial aplicado.

No que diz respeito aos procedimentos de VC, a análise deve partir de um potencial que não afetará a molécula em estudo, conforme a variação do potencial (varredura) decaindo no sentido negativo, a espécie atraída sofrerá redução, causando um pico na corrente elétrica, denominado graficamente o

pico catódico (PC) (SHRIVER; ATKINS, 2008, PACHECO *et. al*, 2013, SOUZA, 2016).

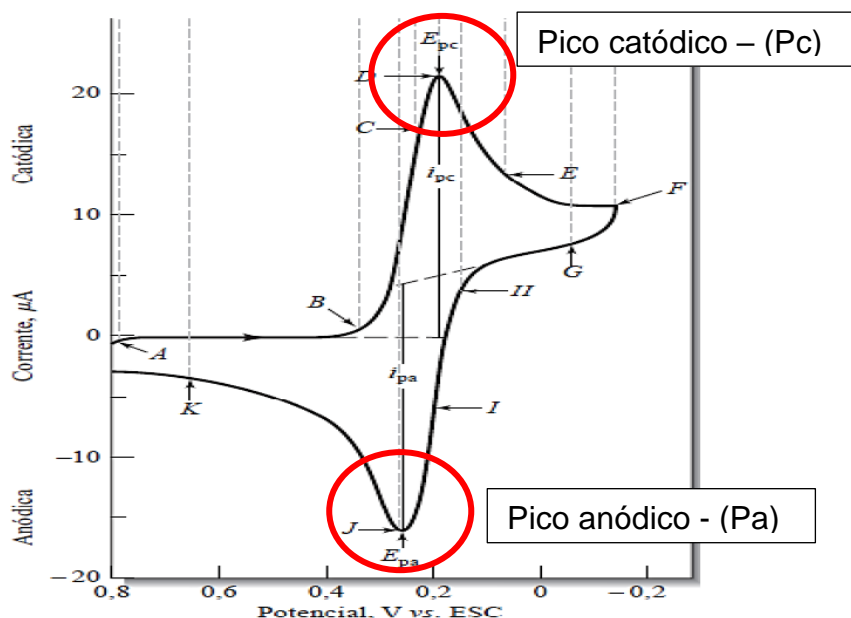
Os autores ainda descrevem que após atingido o potencial máximo de redução, a espécie não sofrerá mais nenhuma ação do potencial, então é realizado a varredura inversa no sistema até a chegada no potencial de partida.

Com relação à varredura inversa, o potencial aplicado é revertido e segue a análise no sentido positivo (crescente) e o analito em estudo tende a perder elétrons e se tornarem espécies oxidadas, que graficamente resulta em um segundo pico, nomeado, pico anódico de corrente, sendo inversamente proporcional ao pico catódico (SHRIVER; ATKINS, 2008, PACHECO *et. al*, 2013, SOUZA, 2016). Skoog *et.al* (2012) apresentam melhores definições para as varreduras,

A direção da varredura inicial pode tanto ser negativa, quanto positiva, dependendo da composição da amostra. Uma varredura na direção de potenciais mais negativos é denominada varredura direta, enquanto uma varredura na direção oposta é chamada varredura inversa (p. 655).

E os gráficos gerados das análises de VC relacionam corrente em função do potencial aplicado são denominados como voltograma, representado de forma geral na Figura 1, com os picos anódico e catódico indicados.

Figura 1 – Representação do voltograma.



Fonte: Adaptado de Skoog *et al.* (2012, p.656).

Sobre as explicações físico-químicas da voltametria, é importante frisar dois conceitos de acordo com Pacheco *et al.* (2013), o primeiro é que os íons

são atraídos pela superfície do eletrodo de trabalho (processo de transporte de massa) qual deve ser manuseado de forma que seja continua durante o estudo ocasionando as reações de redox.

O segundo conceito: a velocidade da reação, dependente da transferência de massa/carga e reações antecessores ou sucessores ao redox (PACHECO *et al.*, 2013). E alguns fatores devem ser condicionados, como o transporte de massa (difusão, migração e convecção) e transporte de carga.

A difusão, é definida como o movimento de forma espontânea de um gradiente da concentração das espécies químicas envolvidas, que são resultados da interação entre o eletrodo e a solução, essa relação promove uma corrente, que é importante e útil para quantificação do analito (SKOOG; HOLLER; NIEMAN, 2002, COSTA, 2021).

Os autores Brett; Brett (1996) descrevem que o transporte por migração dos íons é ocasionado pelo efeito de repulsão/atração das espécies presentes na solução, “a migração afeta só espécies carregadas (efetivamente, devido à existência de dipolos, ou dipolos induzidos em espécies neutras, observa-se um pequeno efeito do campo elétricos” (p. 26).

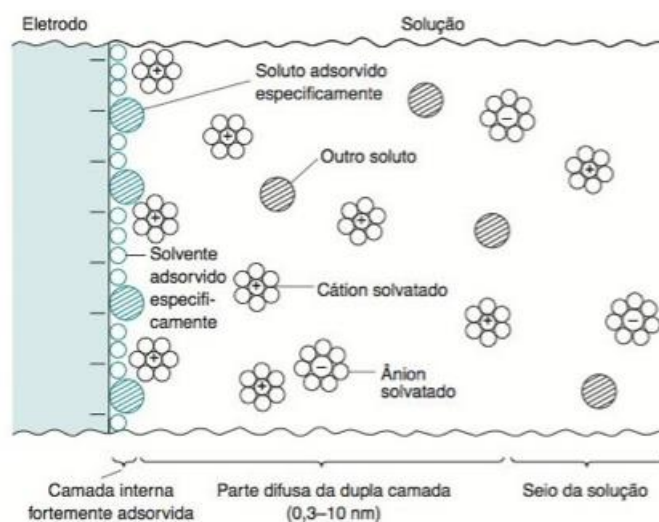
A metodologia adotada para evitar a migração, segundo Pacheco, *et al.* (2013), é o uso em excesso de eletrólito suporte com concentração de 50 a 100 vezes maior que do analito em pesquisa, qual inerte a solução garante a condutividade elétrica e a força iônica no meio, e em alguns casos, utilizado como tamponante em algumas situações. E o transporte por convecção,

[...] provém do movimento molecular no seio da solução devido a energia cinética, e deve ser minimizado esperando um tempo de acomodação, chamado quiescência, após agitação da solução para que as moléculas dissipem essa energia extra e se estabilizem no meio (COSTA, 2021, p. 18).

No que concerne ao transporte de carga, a interação e troca de elétrons das espécies presentes na superfície do eletrodo gera uma corrente elétrica relativa, denominada como faradáica (PACHECO *et al.*, 2013). Se faz presente também, uma segunda corrente, a capacitiva, qual gerada pelo carregamento das camadas elétricas presentes na relação eletrodo/solução, região (camada difusa) com maior diferencial de potencial da solução toda, descrita na síntese de Stern dos modelos de Helmholtz, Gouy e Chapman (PACHECO *et al.*, 2013).

Em suma, o postulado é definido por Costa (2021) como as camadas elétricas formadas no procedimento de voltametria cíclica. De acordo com as afirmações do autor, “o eletrodo é o centro de uma região elétrica imediatamente rodeada por cargas opostas ao eletrodo (camada interna) e após elas uma camada difusa gerada por cargas residuais, que é o seio da solução” (p.18). A dupla camada elétrica pode ser representada conceitualmente conforme a Figura 2 a seguir.

Figura 2 - Ilustração das camadas em relação eletrodo/solução



Fonte: Harris (2012, p. 403).

Na primeira camada, denominada como camada interna, a camada superficial do eletrodo/solução, onde os íons ou moléculas do soluto estão adsorvidos por forças eletrostáticas e forças de *Van der Waals* (PACHECO *et al.*, 2013, HARRIS, 2012). Harris (2012) ainda explica que na camada interna as espécies positivas “não conseguem balancear completamente a carga do eletrodo. Por isso, são necessários cátions em excesso na parte difusa da dupla camada para que exista a eletroneutralidade” (p.403).

Na segunda camada, nomeada de difusa, inicia-se da fronteira da camada interna e estende-se até o seio da reação (região onde o eletrodo não interage com as moléculas), é composta por cátions solvatados que são atraídos pelo eletrodo, no entanto, impedidas de serem adsorvidas pelo eletrodo, em função da camada interna adsorvida sem mobilidade (PACHECO *et al.*, 2013).

3.4 Potenciostato

Partindo do princípio do estudo eletroquímico utilizando metais condutores e soluções salinas na verificação de corrente e potenciais, muitas técnicas se aprimoraram como mencionados na seção 2.3. Esses avanços influenciaram e tendem a influenciar novos aparelhos para otimizar as pesquisas, como por exemplos o potenciostato. “O dispositivo potenciostato foi desenvolvido por A. Hickling em 1942, em forma de circuito eletrônico com o objetivo de controlar a DDP entre três eletrodos (referência e auxiliar)” (CANTASINI, 2019, p.15).

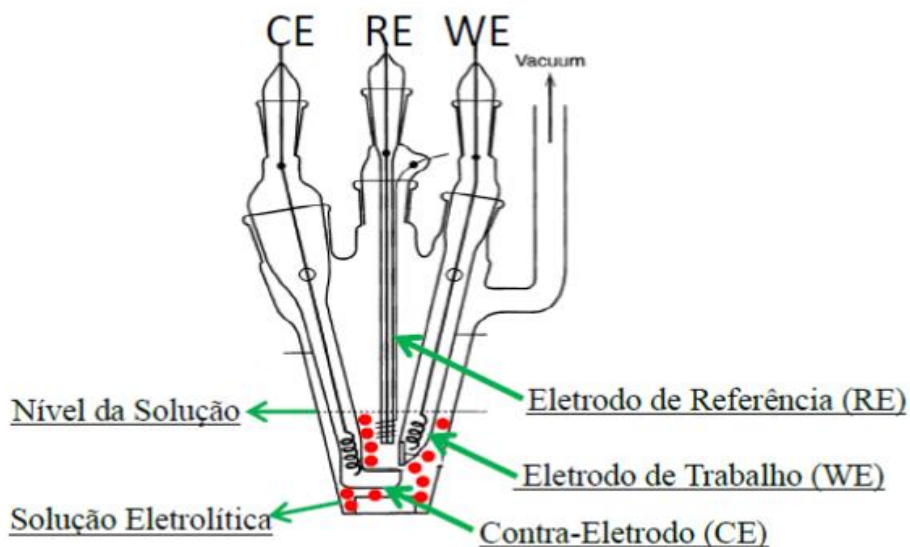
Segundo Souza (2016) o equipamento eletrônico tem a finalidade de medir e controlar a diferença de potencial entre os 3 eletrodos submersos na célula eletroquímica e medir a corrente analítica que flui no meio. Ainda complementa que o aparelho realiza “estímulos de tensões a entrada dos sistemas eletroquímicos, monitorando os sinais de potencial e corrente que surgem nos eletrodos de uma célula eletroquímica” (SOUZA, 2016, p. 18).

O potenciostato utilizado na VC, compõe-se em 03 eletrodos, eletrodo de trabalho (WE); eletrodo de referência (RE) e o contra eletrodo/ eletrodo auxiliar (CE). O WE conectado a corrente torna-se polarizado e segundo Cantasini (2019), atua como papel do cátodo, cujo responsável pela reação de redução e oxidação do analito.

O segundo eletrodo, RE, assume posição “[...] como ânodo, sendo que os elétrons se movimentam do cátodo para solução, atraídos pelo ânodo” (CANTASINI, 2019, p.14). E o CE, que frequentemente é um fio de platina enrolado que fornece um fluxo de corrente até o WE e evita o decaimento da tensão (CANTASINI, 2019).

A Figura 3, em seguida, representa o sistema potenciométrico, equipado com os 3 eletrodos conectados ao monitor de leitura e suporte de solução.

Figura 3 - Representação do potenciostato.



Fonte: Souza (2016, p. 16).

Em síntese, a função geral do potenciostato é de controlar a diferença de potencial entre os eletrodos. Souza (2016), descreve que,

Basicamente o potenciostato possui duas funções principais: (a) Regular a diferença de potencial entre WE e RE; (b) Fazer a medida da corrente que flui através de CE e WE. Cada uma destas funções pode ser executada com diferentes disposições dos circuitos de Potenciostatos (p. 18).

A quantificação da corrente que flui no sistema é quantificada pelos amplificadores operacionais presentes no sistema do aparelho (SOUZA, 2016). E no que diz respeito a aplicação do potenciostato, Aleixo (2003), apresenta as seguintes vantagens do aparelho:

- Adequada para soluções diluídas;
- Usada para soluções de alta resistência (solventes orgânicos, mistura água mais solvente orgânico);
- Ser usada com eletrólitos de suporte mais diluídos.

Devido a grandes vantagens de sua utilização, muito se tem pesquisado sobre potenciostatos portáteis e de baixo custo.

4 METODOLOGIA

A pesquisa teórica realizada tem como “*status*” um “estado da arte” (EA) sobre a produção de potenciostatos portáteis e de baixo custo. Tal *status* tem como objetivo segundo Ferreira (2002), de

[...] mapear e de discutir uma certa produção acadêmica em diferentes campos do conhecimento, tentando responder que aspectos e dimensões vêm sendo destacados e privilegiados em diferentes épocas e lugares, de que formas e em que condições têm sido produzidas (p. 258).

O formato do estudo propicia aos leitores informação e divulgação científica, visto que inúmeros trabalhos são produzidos e dialogados apenas entre os pares no interior das Instituições de Ensino Superior. Ferreira (2002) reforça que as pesquisas acadêmicas não são pensadas para ficarem restritas às prateleiras das bibliotecas universitárias, mas sim, para a sociedade.

A metodologia utilizada é com base em Bardin (2016), na análise do conteúdo, tal procedimento tem por objetivo “[...] passar de um documento primário (bruto) para um documento secundário (representação do primeiro)” (p. 45). A autora ainda define uma sequência para tal análise, começando com o pré-análise; seguindo para a exploração do material; tratamento dos resultados e a interpretação. Para Gaspi; Maron e Magalhães Júnior (2021), o pré-análise “é onde ocorre a organização inicial dos dados, em que se organizam as ideias iniciais que possam direcionar para as próximas análises” (p. 292). As etapas posteriores se definem de análises de acordo com as concepções do pesquisador.

De acordo com Ferreira (2002) no estudo do “estado da arte” é comum pesquisadores utilizarem “os catálogos de faculdades, institutos, universidades, associações nacionais e órgãos de fomento da pesquisa” (p.259). Deste modo, foram selecionadas 20 plataformas para realização da pesquisa, quais estão denominados no Quadro 1 em ordem alfabética.

Quadro 1 - Plataformas selecionadas para pesquisa

Plataformas pesquisadas
BANCO DE DISSERTAÇÕES E TESES
BIBLIOTEC
CATÁLOGOS DE TESES E DISSERTAÇÕES
GOOGLE ACADÊMICO
REPOSITÓRIO UEL
REPOSITÓRIO UEM
REPOSITÓRIO UERGS
REPOSITÓRIO UFB
REPOSITÓRIO UFBA
REPOSITÓRIO UFMG
REPOSITÓRIO UFRGS
REPOSITÓRIO UFRR
REPOSITÓRIO UFRN
REPOSITÓRIO UFSC
REPOSITÓRIO UFSCar
REPOSITÓRIO UFU
REPOSITÓRIO UFV
REPOSITÓRIO UNESP
REPOSITÓRIO UNICAMP
ROCA – DISSERTAÇÕES E TESES

Fonte: Autoria própria (2022).

É importante informar que não existiu requisito para escolha dos repositórios, apenas realizado uma pesquisa no *Google* utilizando a palavra “repositório” e os 15 primeiros que surgiram, foram selecionados. Para a consulta nas plataformas mencionadas, foram utilizadas as palavras-chaves, “potenciostato” e “desenvolvimento de um potenciostato” de modo em encontrar trabalhos de conclusão de curso (TCC), dissertações e teses que apresentassem o desenvolvimento de potenciostatos de baixo custo e portáteis para uso da Universidade ou para uso de alguma pesquisa específica.

Com a finalidade de melhorar e refinar a pesquisa, foram selecionados apenas trabalhos no idioma português e no período de 21 anos, sendo os anos 2000 até 2021. É importante salientar que os artigos científicos e resumos de eventos não foram incluídos para as análises, pois as discussões desses trabalhos é curta por ser comum em algumas revistas de impacto e eventos exigirem limites de páginas.

Limitou-se em apenas aceitar os três níveis de trabalhos citados anteriormente. Em posse dos trabalhos encontrados, organizou-se de acordo com seu grau acadêmico, ano de publicação e de qual instituição foi apresentado. Após primeira organização dos dados mencionados e repetidas leituras, definiu-se algumas questões-problemas para embasamento das

discussões e interpretações das obras, como: “Quais/qual foram/é a/s justificativa/s do trabalho?”; “Quais/qual foram/é o/o objetivo/s do trabalho?” “Como foi definida a metodologia e os materiais utilizados?” e “Quais foram os resultados e as conclusões das pesquisas?”.

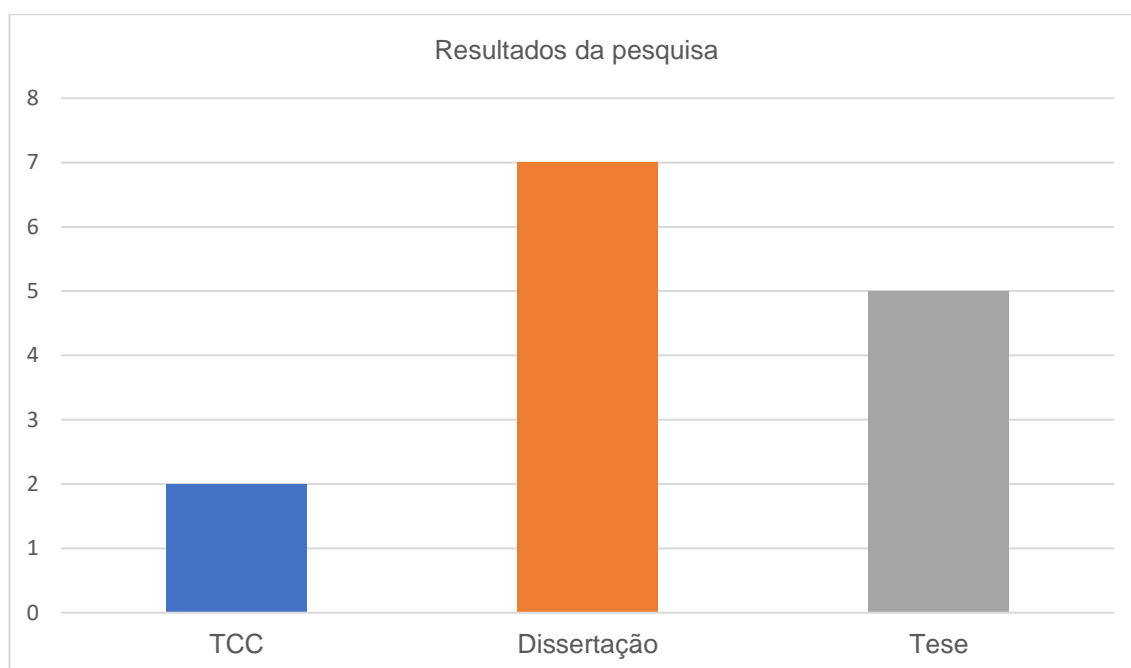
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para melhor entendimento das discussões dos resultados, organizamos a seção 5 em subseções, sendo 5.1 categorização inicial dos resultados; 5.2 justificativa e objetivos das pesquisas; 5.3 metodologias e resultados das pesquisas e 5.4 andamento do potenciostato construído.

5.1 Categorização inicial dos resultados

Com base nas palavras-chaves mencionadas na metodologia desse trabalho, foram encontrados somente 14 publicações no período de 21 anos. Esses trabalhos, estão organizados no Gráfico 1 de acordo com a quantidade e grau acadêmico.

Gráfico 1 - Resultados coletados



Fonte: Autoria própria (2022).

Do total de 14 trabalhos, 6 eram repetidas, ou seja, foram encontrados o mesmo trabalho em diferentes plataformas e 2 teses que achamos nos catálogos de teses e dissertações estavam indisponíveis para leitura. Assim, o número real do universo da pesquisa é de 6 trabalhos, sendo 4 dissertações; 1 tese e 1 TCC.

Foram localizados esses trabalhos em 6 das 20 bases de dados escolhidas, porém, algumas continham trabalhos similares e foram descartadas.

O panorama geral da relação de publicações e plataformas está presente na Tabela 1, a seguir.

Tabela 1 - Relação das publicações por plataformas

Plataforma	Nº de publicações encontradas
BANCO DE DISSERTAÇÕES E TESES	2
1 – Dissertação e 1 – Tese	
BIBLIOTEC	0
CATÁLOGOS DE TESES E DISSERTAÇÕES	2
2 – Dissertações	
GOOGLE ACADÊMICO	2
1 – Dissertação e 1 – TCC	
REPOSITÓRIO UEL	0
REPOSITÓRIO UEM	0
REPOSITÓRIO UERGS	0
REPOSITÓRIO UFB	0
REPOSITÓRIO UFBA	0
REPOSITÓRIO UFMG	0
REPOSITÓRIO UFRGS	0
REPOSITÓRIO UFRR	0
REPOSITÓRIO UFRN	0
REPOSITÓRIO UFSC	0
REPOSITÓRIO UFSCAR	0
REPOSITÓRIO UFU	0
REPOSITÓRIO UFV	0
REPOSITÓRIO UNESP	0
REPOSITÓRIO UNICAMP	0
ROCA – DISSERTAÇÕES E TESES	0

Fonte: Autoria própria, 2022.

As plataformas descartadas dos resultados, foram o repositório UNICAMP, o repositório UNESP e o repositório UFSCAR, pois os trabalhos encontrados nessas bases de dados, foram localizados nas plataformas pesquisadas anteriormente. Assim, apenas 3 bases de dados foram proveitosas para o estudo.

No que se refere aos títulos dos trabalhos e ano de publicação, esquematizou-se os resultados no Quadro 2, a seguir, de acordo com a data em ordem crescente de publicação. Denominou-se os códigos **TCC1** para indicar o TCC; **D1...** até **D4** para as dissertações e **T1** para indicar a tese, o uso de códigos é para a substituição dos títulos ao longo das discussões.

Quadro 2 - Listagem dos resultados coletados

Grau Acadêmico	Ano	Título	Universidade
Dissertação - D1	2007	DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS PORTÁTEIS DE MONITORAMENTO ELETROQUÍMICO	UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Dissertação - D2	2007	DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA VOLTAMÉTRICO MICROFLUIDICO	UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Tese - T1	2013	DESENVOLVIMENTO DE UM POTENCIOSTATO/GALVANOSTATO PORTÁTIL E ELETRODOS IMPRESSOS PARA DETERMINAÇÕES IN SITU EM ANÁLISES EM FLUXO COM TRANSMISSÃO DE DADOS EM TEMPO REAL	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
Dissertação - D3	2016	DESENVOLVIMENTO DE POTENCIOSTATOS PARA CARACTERIZAÇÃO DE CÉLULAS ELETROQUÍMICAS	UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
Dissertação - D4	2019	DESENVOLVIMENTO DE UM MINI POTENCIOSTATO PARA ANÁLISES VOLTAMÉTRICAS E AMPEROMÉTRICAS	INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO
Trabalho de conclusão de curso – TCC1	2021	POTENCIOSTATO DE BAIXO CUSTO COM TRANSMISSÃO DE DADOS SEM FIO	UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Fonte: Autoria própria (2022).

É importante salientar que entre os anos 2000 – 2021 as publicações não foram contínuas, as primeiras publicações encontradas foram no ano de 2007, e só depois de 6 anos, outra publicação foi divulgada pelo pesquisador da Universidade Federal de São Carlos.

Mesmo com essas lacunas temporais, reitera-se que o estudo sobre o desenvolvimento de potenciostatos há 14 anos vem sendo discutidas por

pesquisadores das universidades públicas brasileiras, se dividindo nas regiões sudeste (4 trabalhos); norte (1 trabalho) e centro-oeste (1 trabalho).

5.2 Justificativa e objetivos das pesquisas

Todo trabalho acadêmico é movido por problemas que justificam sua pesquisa, e apresentar tais descrições são importantes para o estudo do EA. O cenário da pesquisa realizada indica que a maioria dos trabalhos são pautados em justificativas a determinação de componentes químicos tóxicos.

Como notado no trabalho **D1**, a autora apresenta em suas justificativas o avanço tecnológico nas análises eletroquímicas e o interesse em estudos que realize monitoramento de compostos que apresentem riscos à saúde do corpo humano e meio ambiente (CARDOSO, 2007). A pesquisadora descreve que seu objetivo de pesquisa foi,

[...] desenvolver sistemas portáteis de detecção eletroquímica capazes de medir correntes da ordem de nano-ampères e, deste modo, atender a alguns interesses das áreas ambiental e biomédica (CARDOSO, 2007, p. 28).

É mencionado por Cardoso (2007) detalhadamente quais são esses compostos que preocupam pesquisadores da área, como o óxido nítrico (NO) nos processos biológicos/metabólicos e os metais tóxicos que contaminam os lençóis freáticos, solos, plantas e conseqüentemente nossa saúde.

Com justificativa similar (preocupação ambiental), o autor do trabalho **D2** descreve a problematização de efluentes com metais de alta toxicidade, em correspondência, define ser necessário a construção de um aparelho de baixo custo e acessível para otimizar as pesquisas em *campus*. Posterior a essas discussões, o autor do **D2** estipulou dois objetivos para sua pesquisa, iniciando no

[...] desenvolvimento e avaliação de um sistema voltamétrico microfluídico, utilizando em sua construção ftopolímeros e eletrodo de trabalho de dimensões reduzidas (ultramicroeletrodo). Além disso, foi também objetivo deste trabalho o desenvolvimento de um potenciostato de baixo custo e de um programa computacional para o seu controle e aquisição de dados (KILLNER, 2007, p.22).

Ao elaborar um aparelho portátil e de baixo custo, os pesquisadores otimizam tempo e praticidade em suas pesquisas indica Killner (2007). Não se

limitando apenas em potenciostatos, diferentes pesquisas na área da Química Instrumental estão buscando minimizar aparelhos e apresentar portabilidade para realização das análises no local da coleta de amostra.

A certificação dessa afirmativa, está presente no trabalho **T1**, o pesquisador reconhece que o tempo gasto para analisar componentes tóxicos utilizando aparelhos convencionais (comerciais) podem levar horas e até mesmo dias, assim, pondera o uso de aparelhos que possibilite estudar as amostrar *in situ*, preservando a temperatura e conservando os condições físico-química das alíquotas. A problematização descrita, reforça que o uso de potenciostatos com microprocessadores tem se destacado em estudos para a conservação de temperaturas e agilidade nas amostras (SANTOS, 2013)

No que concerne sua justifica, Santos (2013) descreve os problemas ambientais em relação aos íons metálicos (chumbo (Pb); cádmio (Cd) e zinco (Zn)) e outros compostos tóxicos presentes na água, solo e no ar. Logo, o objetivo de sua pesquisa é o

[...] desenvolvimento um potenciostato/galvanostato (PG004) para determinação *in situ* de cátions metálicos eletroativos em amostras de águas naturais de modo automatizado. (SANTOS, 2013, p. 11).

Além do desenvolvimento do aparelho, faz parte do trabalho a construção dos eletrodos, controle termoelétrico e captação de energia limpa proveniente de placa solares (não serão incluídas nas discussões, o foco maior da pesquisa é sobre potenciostato).

Já no trabalho **D3** o autor descreve uma justificativa central, unir as áreas de Química e Eletrônica em um único trabalho, diferenciando dos trabalhos mencionados até o momento. O pesquisador apresenta como objetivo,

[...] realizar a abordagem e implementação de topologias de circuitos eletrônicos voltados para análise de um composto químico específico, aplicando-se métodos de voltametria cíclica a um determinado sistema eletroquímico (SOUZA, 2016, p.12).

É notável que o pesquisador autor do **D3**, utiliza em sua pesquisa uma linguagem mais direcionada para o público da área da Eletrônica, assim, sua estimativa é desenvolver topologias em placas de circuitos digitais para potenciostatos, sem muita preocupação com os fenômenos químicos e físicos que as reações procedem. Na última dissertação encontrada, o autor da **D4**, aborda como justificativa os avanços que os software e hardware sofreram, assim, possibilitaram a miniaturização dos aparelhos eletrônicos e em

específico o potenciostato, qual pode ser empregado para monitoramentos ambientais; medicinais/farmacêuticos e alimentícios (CANTASINI, 2019).

Dessa forma, seu objetivo geral é,

[...] Desenvolver um potenciostato simples, controlado por *Raspberry Pi* e com interface, usando linguagem *python*, para realização de medidas voltamétricas e amperométricas” (CANTASINI, 2019, p.25-26).

Dentre as dissertações e teses apresentadas até o momento, a **D4** é o trabalho mais curto, com 56 páginas, o autor é bem sucinto em suas discussões, tendo como foco apenas contribuições para sua área afins (eletrônica). E analisando as justificativas do último trabalho, o **TCC1**, o autor descreve em sua pesquisa a justificativa da otimização de tempo, explicando que os potenciostatos portáteis possibilitam aos seus usuários conforto em relação a duração das análises de suas amostras. Portanto, seu objetivo de pesquisa é,

[...] desenvolver um potenciostato de baixo custo e com transmissão de dados sem fio, bem como uma interface de plotagem gráfica em tempo real com opção de armazenamento de dados, destinado à análises em campo e coleta de dados utilizando um eletrodo impresso modificado (SOUSA, 2021, p.13).

Igualmente ao trabalho **D4**, o autor do trabalho **TCC1**, utiliza uma linguagem apropriada para o público de áreas afins da Eletrônica, porém, emprega uma forma de escrita acessível para um público leigo. É importante o formato da linguagem desses textos, em virtude que as pesquisas universitárias são para a sociedade (composta por muitos leigos) e não somente para seus pares.

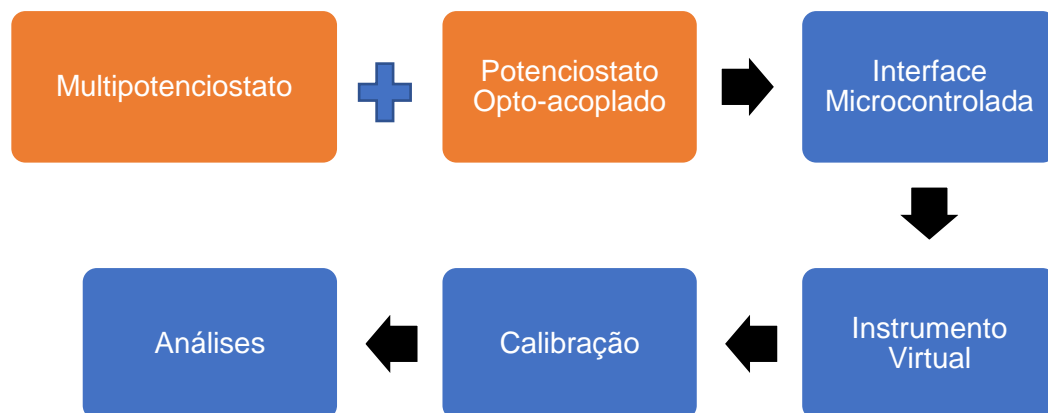
Após definições dos objetivos das obras encontradas, salientamos que os trabalhos estão em concordância em buscar uma sofisticação nas pesquisas voltamétricas, com intuito de otimizar e aprimorar o tempo dos resultados investigados. E também, os temas de meio ambiente, saúde e alimentação foram os problemas centrais quais as pesquisas desejam estudar.

5.3 Metodologia e resultados das pesquisas

Por ser texto extenso, optou-se em apresentar a metodologia do trabalho **D1** em formato de fluxogramas para melhor e maior entendimento dos

processos utilizados durante cada pesquisa. Na Figura 4, apresenta-se a metodologia adotada pelo autor.

Figura 4 - Fluxograma metodologia D1

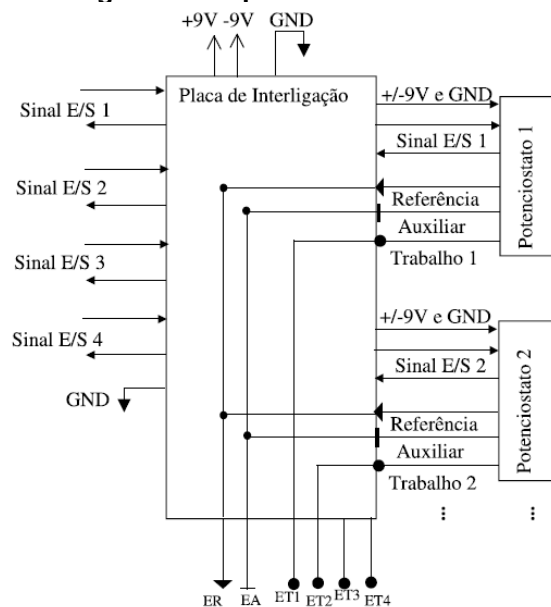


Fonte: Autoria própria (2022).

Em primeiro momento, a construção do multipotenciostato, o procedimento é resumido na otimização de um circuito com a inclusão resistores de ganho para obter 1mA/V; 100 μ A/V; 10 μ A/V; 1 μ A/V e 100 n A/V e uma tensão de alimentação \pm 9 V, valor padrão de baterias comerciais (CARDOSO, 2007). Posteriormente, a autora mencionada, preparou os leiautes das placas de circuito impresso, tanto para os potenciostatos individuais como para o multipotenciostato e utilizou o editor EAGLE¹ (Easily Applicable Graphical Layout Editor) para geração do circuito no formato impresso. Na Figura 5, em seguida, está indicado o esquema do circuito disponível no trabalho.

¹Disponível em: <https://www.autodesk.com/products/eagle/overview>

Figura 5 - Esquema do circuito

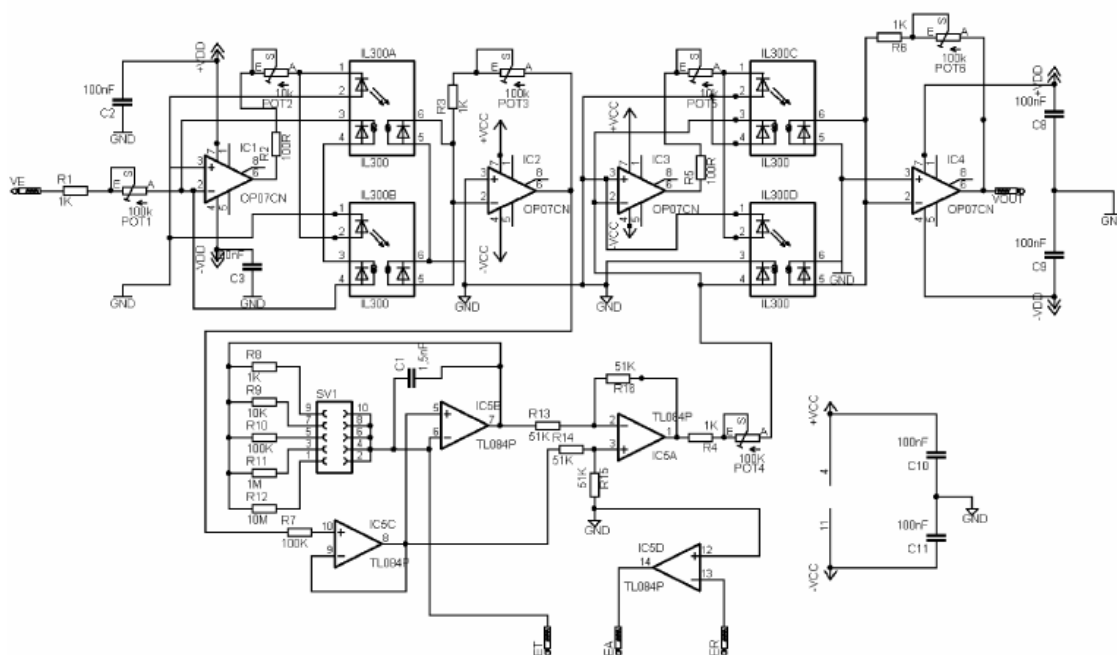


Fonte: Cardoso (2007, p. 67).

O procedimento foi igual para todas as placas dos potenciostatos envolvidos no estudo, ao final da montagem o tamanho do módulo (placas e placa-base do multipotenciostato) é de 19 cm X 11 cm X 10 cm (CARDOSO, 2007). Toda a sistemática do circuito tem potencial em trabalhar com a escala micro-ampères.

Para obter uma detecção da corrente com ordem de nano-ampères, Cardoso (2007) construiu um potenciostato opto-acoplado (acoplador óptico de entrada e de saída), de modo em evitar ao máximo ruídos que impossibilita a detecção de baixas concentrações dos analitos em estudo. Apresenta-se na Figura 6, o circuito do potenciostato opto-acoplado.

Figura 6 - Circuito desenvolvido para o potenciostato opto-acoplado



Fonte: Cardoso (2007, p. 71).

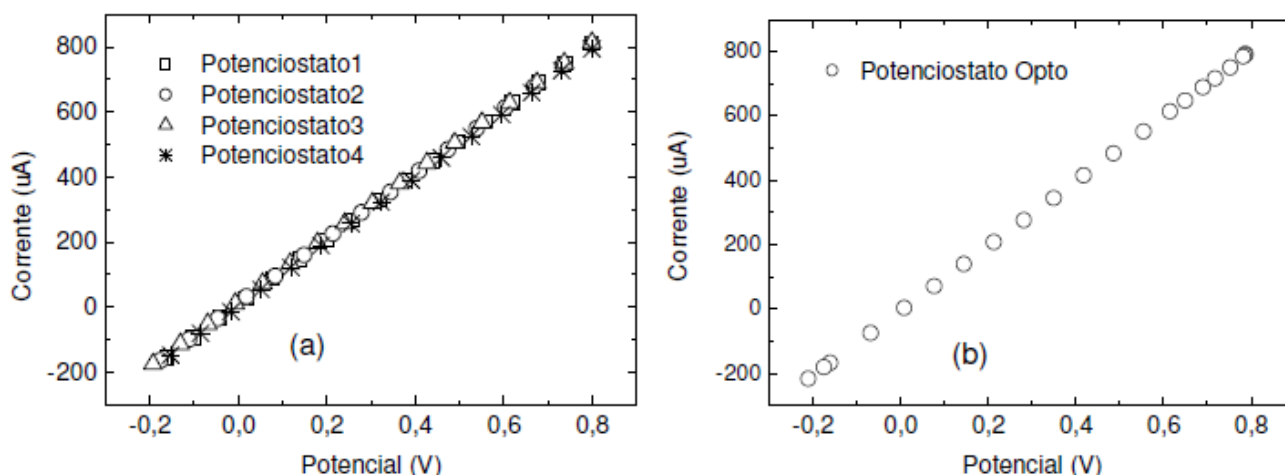
Para aquisição da portabilidade do aparelho, Cardoso (2007) utilizou o microcontrolador da marca PIC16C773, o multiplexador MC74HC4051 da Philips e o conversor D/ALTC1451 da Linear Technology para aquisição e visualização dos dados. Em sequência, o autor citado utilizou o programa LabVIEW^{®2} para desenvolvimento de interfaces, controles e os cálculos da onda correspondente à análise com base no potenciostato comercial Analisador Voltamétrico CV-50W – Bioanalytical Systems, Inc. (BASi).

Após construção, o multipotenciostato e o opto-acoplado foram submetidos a uma calibração com variação do potencial de 800 a -200 mV/V para plotagem da curva de calibração, coeficiente linear e desvio-padrão. O eletrodo de referência também foi calibrado, utilizando uma solução de 3 mol/L de NaCl, com varredura de 100 mV/s e o potencial entre os dois eletrodos variando -500 mV a 500 mV. É importante afirmar que os eletrodos utilizados na pesquisa foram comerciais (CV50-W). Por final, testou os aparelhos com analitos de ferricianeto de potássio ($K_3[Fe(CN)_6]$) em cloreto de potássio (KCl).

Após apresentado a metodologia do trabalho **D1**, os potenciostatos construídos foram calibrados para variação do potencial de 800 a -200mV, a curva de calibração obtida apresentados na Figura 7.

² Disponível em: <https://www.ni.com/pt-br/shop/labview.html>

Figura 7 – Resultados da calibração dos potenciostatos



Fonte: Cardoso (2007, p. 92).

No primeiro gráfico (esquerdo) apresentado na Figura 7, indica os resultados referentes ao multipotenciostato (formado por 4 aparelhos), afirma-se que os resultados dos 4 potenciostatos são similares, indicando eficiência do aparelho. Ao que se refere do coeficiente lineares e valores de regressão, estão indicados na Tabela 2 em seguida.

Tabela 2 - Valores experimentais

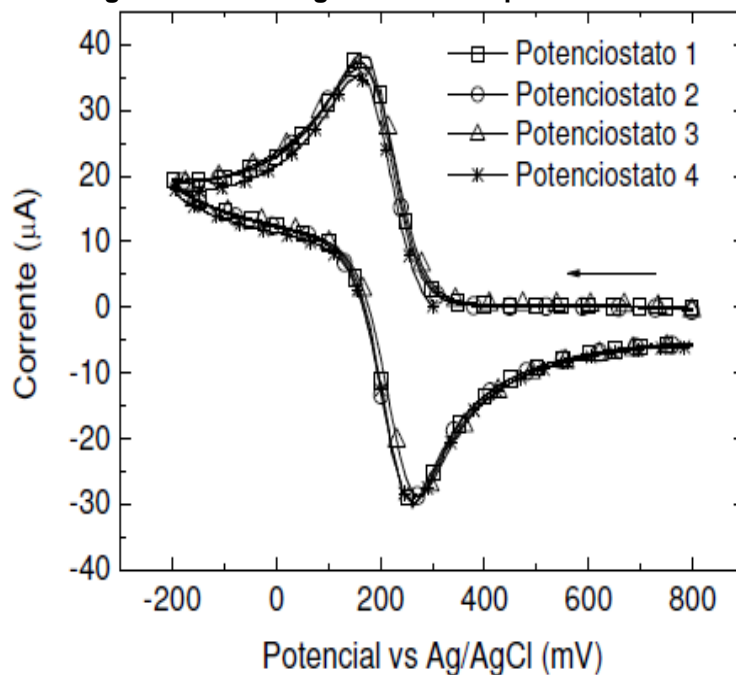
Multipotenciostato	Coefficiente Linear	Regressão (R ²)
Potenciostato 1	1,0E-3	0,9999
Potenciostato 2		0,9990
Potenciostato 3		0,9977
Potenciostato 4		0,9999

FONTE: Adaptado de Cardoso (2007, p. 93).

Todos os potenciostatos apresentaram valores do coeficiente linear iguais a 1,0E-3, apenas se diferenciaram nos valores do R², com valor mínimo de 0,9977 (potenciostato 3). Sobre o potenciostato opto-acoplado, os valores foram semelhantes, coeficiente linear de 1,0E-3 e R² de 0,9999.

Os valores de parâmetros tanto para o multipotenciostato e o potenciostato opto-acoplado em relação ao potencial se limita ente -5000 a 5000 mV e velocidade de varredura de 1 a 100 mV/s. A respeito da calibração do eletrodo de referência, Cardoso (2007) afirma que o eletrodo apresentou variação de varredura de ordem micro-ampéres, tanto no sentido positivo quanto negativo. Ao empregar o multipotenciostato as análises eletroquímicas utilizando o analito ferricianeto de potássio nos 4 seguimentos, demonstra-se na Figura 8, o voltamograma respectivo da análise.

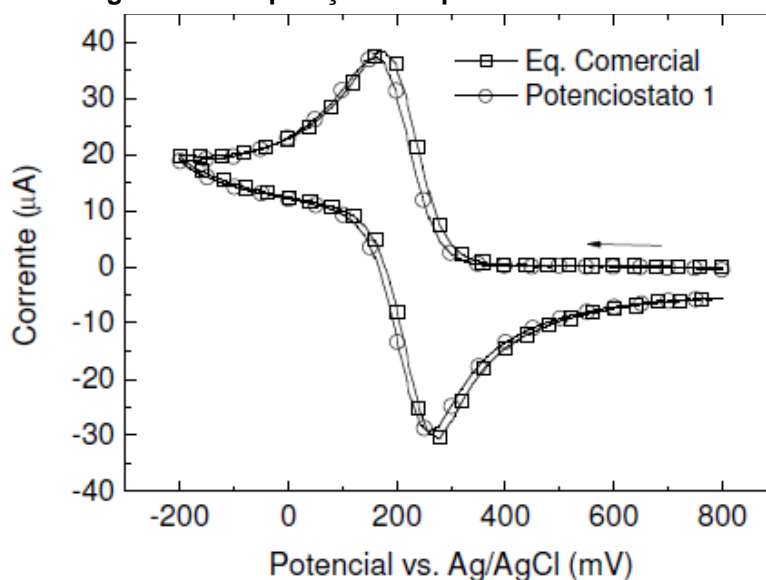
Figura 8 - Voltamograma do multipotenciostato



FONTE: Cardoso (2007, p. 99).

Após plotagem dos pontos e definição dos picos anódico (próximo de 300 mV) e catódicos (próximo de 150 mV), a autora comparou um dos potenciostatos que compõe o multipotenciostato com o voltamograma gerado de um potenciostato comercial (Figura 9), utilizando o mesmo analito e as condições de análises.

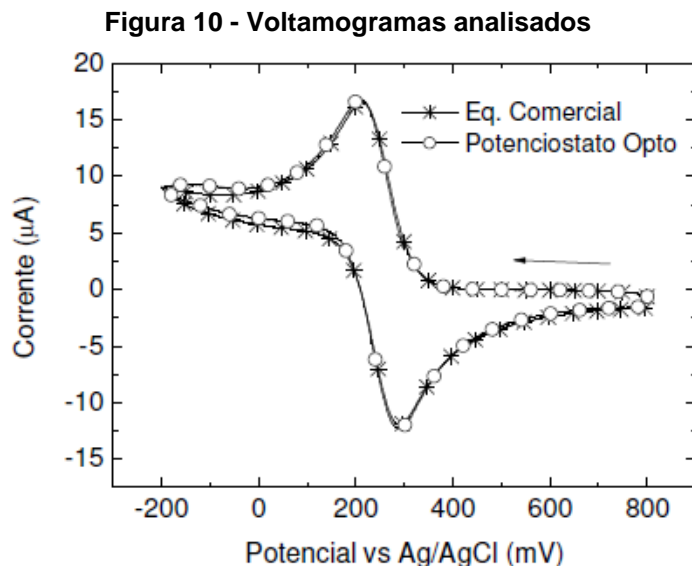
Figura 9 - Comparação com potenciostato comercial



FONTE: Cardoso (2007, p. 100).

Concorda-se com Cardoso (2007) ao afirmar que os valores são próximos (150 mV para o pico catódico e próximo de 300 mV para o anódico), indicando assim, que o multipotenciostato se mostrou eficiente e apto para

análises de VC. Seguindo as análises propostas, o potenciostato opto-acoplado e o potenciostato comercial foram submetidos aos mesmos parâmetros e o mesmo analito mencionados anteriormente. Os picos eletroquímicos estão apresentados na Figura 10.



FONTE: Cardoso (2007, p. 103).

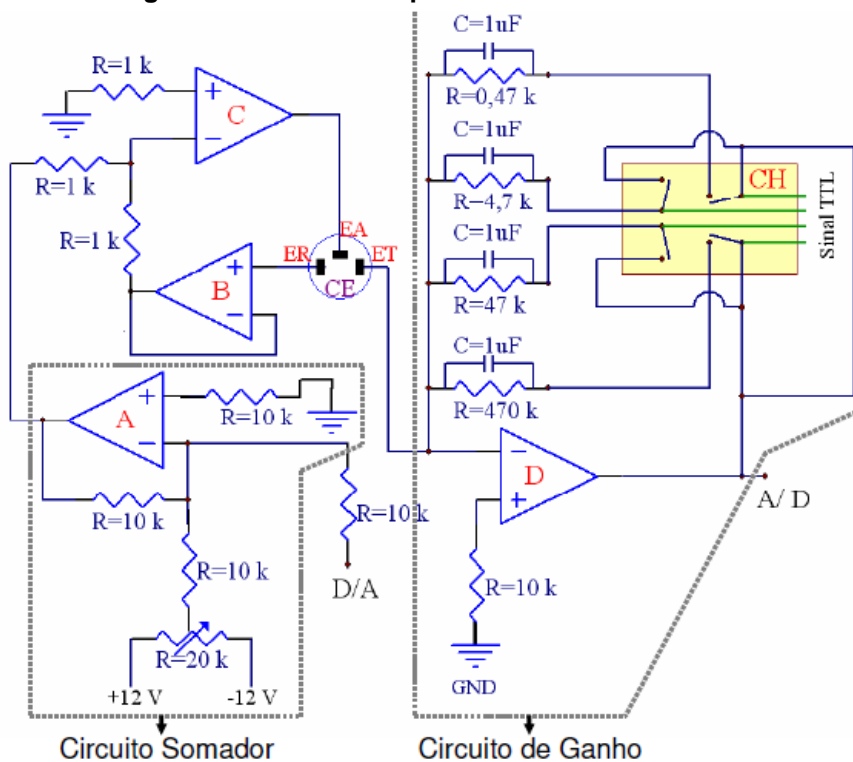
Ao olhar para os dois voltamogramas, pode-se com certeza afirmar que os aparelhos construídos estão similares ao comercial, não apresentando nenhuma extrapolação ou apresentação de regiões diferentes. Por final, a pesquisadora realizou análises com a voltametria por pulso diferencial, mas não cabe apresentação dos resultados nesse trabalho. Assim, Cardoso (2007), conclui sua pesquisa, afirmando que

Os resultados apresentados por este sistema, utilizando técnicas eletroquímicas de voltametria cíclica e voltametria de pulso diferencial, demonstraram sinais comparáveis aos obtidos por equipamentos comerciais, porém com limites de detecção de correntes em torno de micro-âmperes (p. 122).

De fato, os resultados apresentados foram promissores e ao retomarmos os objetivos mensurados pela autora, o trabalho **D1** alcançou as finalidades planejadas e é importante comentar também, que ao longo dos resultados a autora cita alguns erros experimentais, tal abordagem é importante para os estudos futuros, visto que fazer pesquisa é um processo de erros e acertos. Ao longo de sua pesquisa a autora menciona os valores que cada procedimento custou, no final, os aparelhos custaram R\$ 300,00, de fato sua pesquisa é de suma importância e de baixo custo comparados com os preços comerciais (indicados na tabela na seção Introdução)

De acordo com a metodologia datada do autor do trabalho **D2**, o potenciostato foi construído no próprio laboratório de pesquisa com o circuito definido na Figura 11 em seguida.

Figura 11 - Circuito do potenciostato desenvolvido



FONTE: Killner (2007, p. 35).

O sistema é formado por 4 amplificadores ligados em uma fonte de ± 12 V e controlado pelo microcomputador *Pentium® II* em *VisualBasic 5.0®* com interface *Adlink®* (ADC 8111) (KILLNER, 2007). Os eletrodos WE, CE e RE foram construídos no laboratório pelo autor com os materiais indicados no Quadro 3 a seguir.

Quadro 3 - Composição dos eletrodos utilizados

Eletrodo	Composição e dimensões
Trabalho – WE	Platina – 76 μm de diâmetro e 1,5 cm de comprimento
Referência – RE	Prata/Cloreto de prata – dupla junção da marca <i>Orion®</i> 900200
Contra-eletrodo – CE	Platina – disco de 20 mm^2

FONTE: Adaptado de Killner (2007, p. 24).

Apenas o RE não foi construído no laboratório e utilizado o comercial e para as análises de VC, o autor utilizou um potenciostato construído e um

aparelho comercial (PGSTAT12) para comparação dos dados, utilizando o mesmo analito ferrocianeto de potássio $[\text{FeK}_4(\text{CN})_6]$ com concentrações diferentes de 0,5 mol/L a 2,0 mol/L em nitrato de sódio (NaNO_3) a 1,0 mol/L (KILLNER, 2007).

No que se refere a construção do sistema de microfluído, Killner (2007) utilizou 3 materiais para teste, sendo 2 fotopolímeros (sólido e líquido (elastômero a base de uretano-acrilato) e 1 resina acrílica (Resina Cristal 440-C, Glasspercil Resinas), os microcanais para passagem da amostra foram produzidos pela técnica de fotolitografia UVA em outro departamento de pesquisa. Após o procedimento descrito, os eletrodos foram inseridos e submetidos aos testes de avaliação de funcionamento e calibração descritos no Quadro 4.

Quadro 4 - Testes com os sistemas de microfluídos realizados

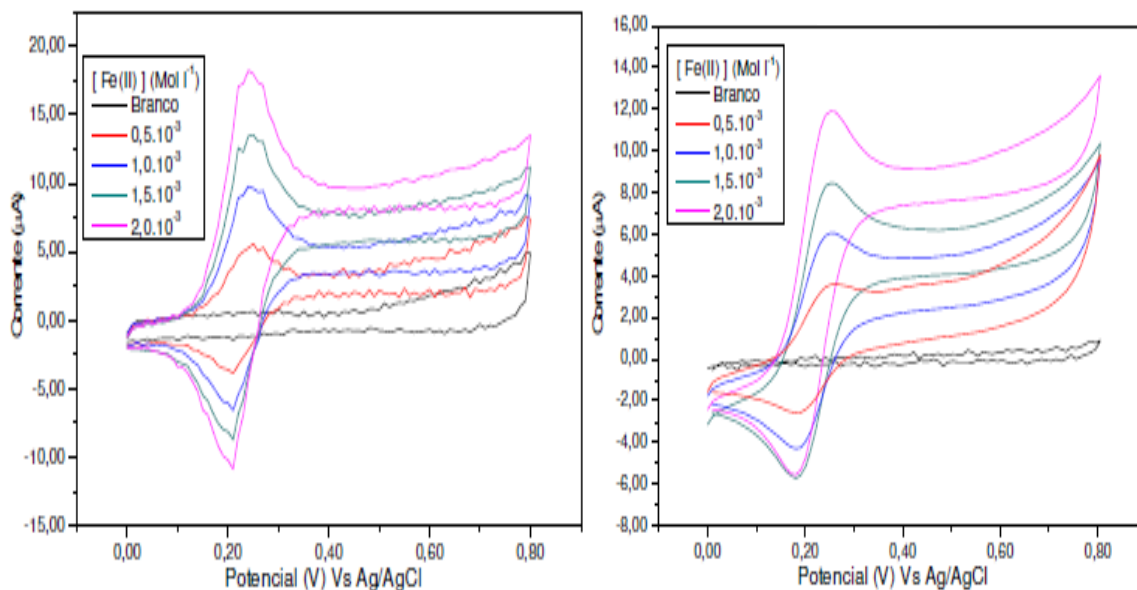
Material	Teste
Fotopolímero sólido	Avaliação da variação da corrente de oxidação do Pb em função do tempo de decomposição de Pb(II) sobre o eletrodo de filme de mercúrio.
Fotopolímero líquido	Avaliação em diferentes concentrações de $[\text{FeK}_4(\text{CN})_6]$ de 0,5 mmol/L a 2,0 mmol/L.
	Reprodutibilidade da deposição do filme de mercúrio.

Fonte: Adaptado de Killner (2007, p. 27).

Os testes tem como finalidade conhecer as limitações dos microcanais e verificar suas propriedades em função de possíveis vazamentos, não se faz presente na metodologia do trabalho os testes de avaliação da resina acrílica.

O que abrange os resultados da avaliação do potenciostato construído no trabalho **D2**, os valores dos picos anódicos e catódicos são similares aos concebidos no potenciostato comercial, na região de 0,20 - 0,25 V, ilustra-se a comparação dos voltamogramas na Figura 12.

Figura 12 - Comparação dos voltamogramas



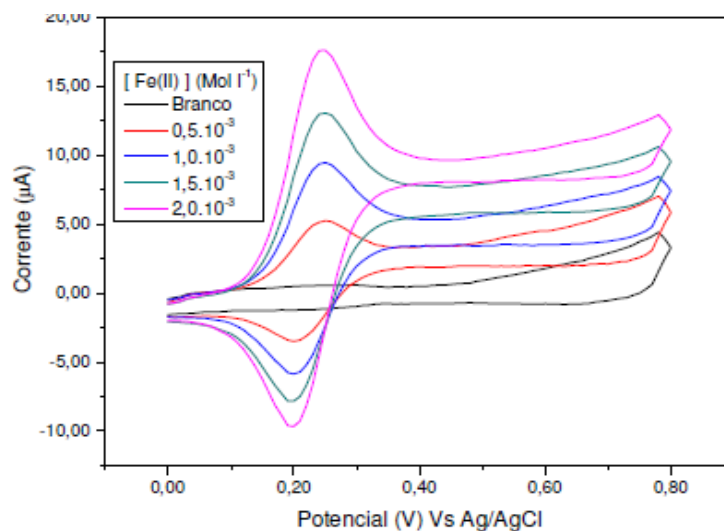
Potenciostato construído

Potenciostato comercial

FONTE: Adaptado de Killner (2007, p. 45).

Para ambos potenciostatos foram utilizadas 4 concentrações diferentes de $[\text{FeK}_4(\text{CN})_6]$, sendo em 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 mmol/L em 1,0 mol/L de NaNO_3 em um potencial variando de 0,00 a 0,80 V com varredura de 25 mV/s. É evidente notar ruídos no voltamograma com o potenciostato construído, Killner (2007) justifica essas interferências no sinal a falta de filtros analógicos e digitais de alta complexidade, como no caso do potenciostato comercial empregado, porém, utilizando cálculos matemáticos é possível a “limpeza” dos ruídos, como mostra a Figura 13.

Figura 13 - Voltograma do potenciostato construído sem ruídos

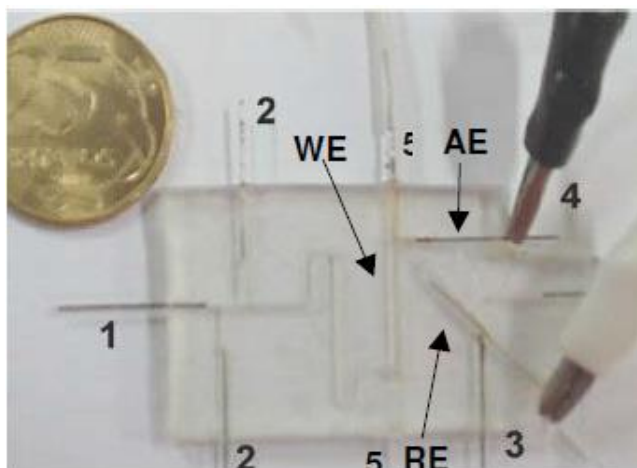


FONTE: Killner (2007, p. 46).

O tratamento matemático como mencionado pelo autor, melhora a visualização e nos permite concluir que os picos gerados pelas interações eletroquímicas do potenciostato confeccionado é semelhante com o padrão comercial, indicando que o aparelho possui padrão para futuras pesquisas eletroanalíticas.

De acordo com a metodologia, o próximo passo do estudo se deu na confecção do sistema voltamétrico de microfluído. Após incansáveis testes considerando o tempo e quantidade de vazamento do analito sobre os canais, o único material que se mostrou eficiente para um sistema de microfluído foi Fotopolímero líquido. O sistema construído está presente na Figura 14.

Figura 14 - Representação do sistema voltamétrico de microfluído

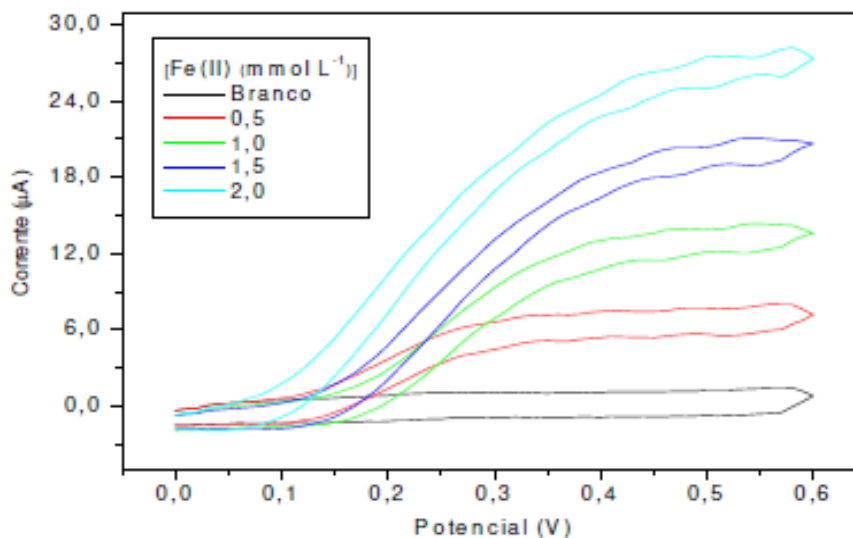


1- Entrada do canal; 2 - Canal da amostra; 3 - Entrada da solução de KCl para o RE; 4 - AE (Contra-Eletrodo); 5 - Fio de nylon.

FONTE: Adaptado de Killner (2007, p. 61).

O pesquisador indica próximo do sistema uma moeda de R\$ 0,25 centavos para mensurar o tamanho do aparato e após montagem, o mesmo foi verificado experimentalmente nos parâmetros já mencionados anteriormente (solução de $[\text{FeK}_4(\text{CN})_6]$ e NaNO_3) com auxílio de uma bomba peristáltica. O voltograma após tratamento matemática está apresentado na Figura 15.

Figura 15 - Voltamograma do microfluído



Fonte: Killner (2007, p. 63).

A justificativa em relação ao formato das curvas, Killner (2007), explica que o bombeamento de $[\text{FeK}_4(\text{CN})_6]$ no sistema influencia negativamente diminuindo a camada de difusão, tornando propício o aumento do transporte de massa, assim, limitando a corrente e impedindo que cresça.

Os valores do segundo teste aplicado no sistema de microfluído sobre a deposição de Hg, o pesquisador obteve experimentalmente valores inferiores a 2% do desvio amostral do tempo de deposição, comparando com a célula eletroquímica convencional o valor é de 1,5%. Desse modo, afirma ser bons resultados também.

Por fim, Killner (2007) conclui sua pesquisa, afirmando que seu sistema “[...] apresenta um grande potencial para o desenvolvimento de um sistema eletroquímico para análises em campo, devido ao seu pequeno tamanho, baixo custo e possibilidade de integração com um microcontrolador...” (p.75).

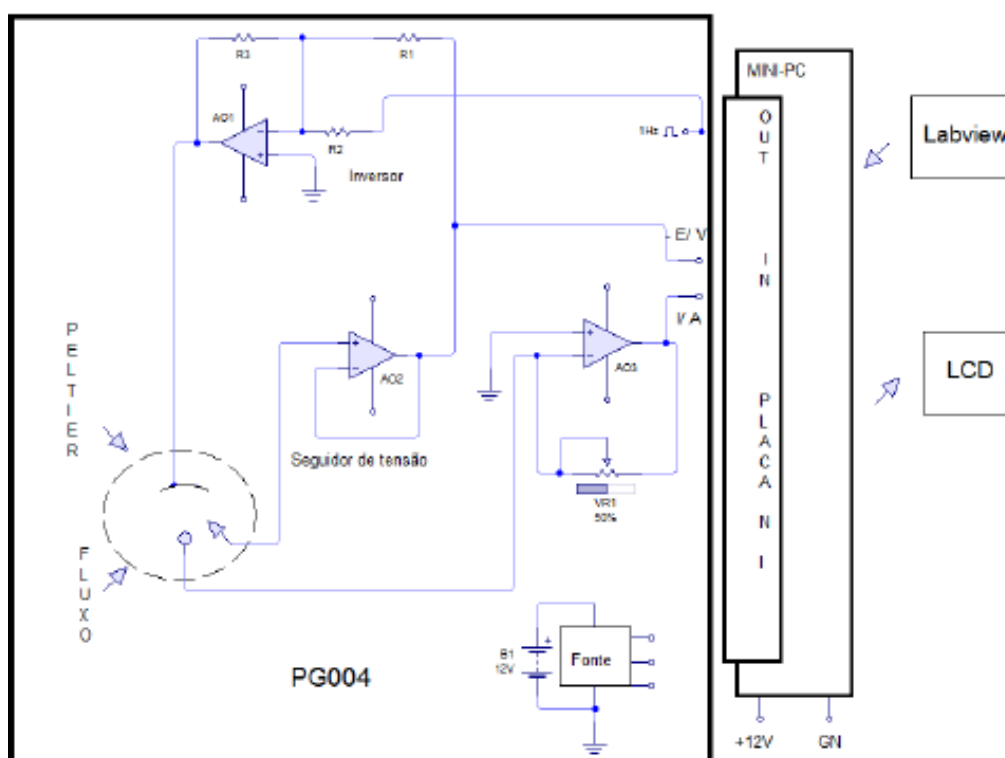
No que diz respeito ao custo do aparelho, no trabalho não é mencionado qual o custo total da montagem, mas de certa forma, concluímos que o pesquisador atingiu seu objetivo de construir um sistema portátil.

Sobre a metodologia do trabalho **T1**, anterior a construção do potenciostato, o autor realizou preparo de um sistema de célula eletroquímica termostatizada e dopagem de eletrodos (mas não compete ao trabalho descrever tais metodologias). Em seguida, o potenciostato construído desenvolve as seguintes funções de acordo com Santos (2013), controlar de potencial/corrente e a temperatura das soluções; ter procedimentos em fluxo e

transmitir os dados *wireless*, indicando as coordenadas geográficas com receptor de GPS.

Para tal fim, o autor utilizou o microprocessador como CPU do aparelho de linguagem gráfica *Labview*® com resoluções para obtenção de sinais de ordem $153\mu\text{V}$, propicia para análises de analitos em baixas concentrações (SANTOS, 2013). O circuito utilizado no estudo está representado na Figura 16.

Figura 16 – Circuito do trabalho T1



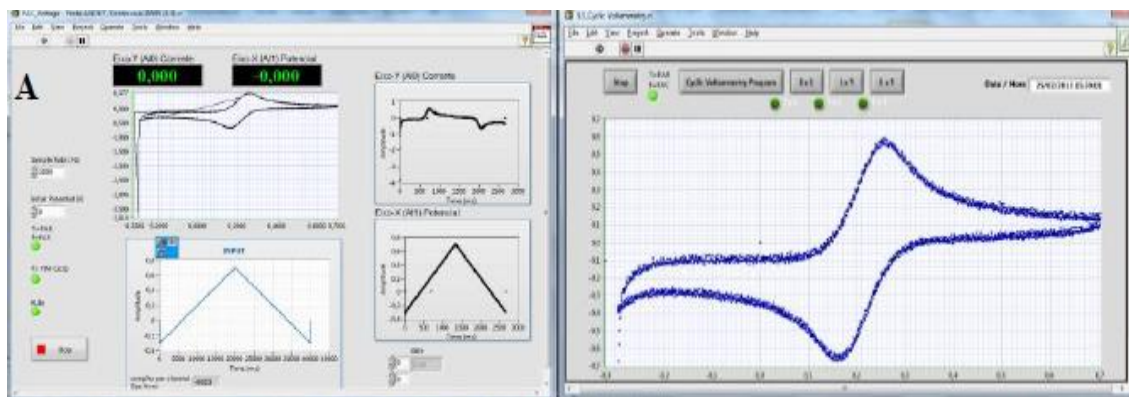
Fonte: Santos (2013, p. 139).

Após montagem, os testes foram utilizando ferrocianeto de potássio $\text{K}_3[\text{FN}(\text{CN})_6]$ e os resultados comparados com aparelhos comerciais, com intuito de conhecer a precisão e exatidão (SANTOS, 2013).

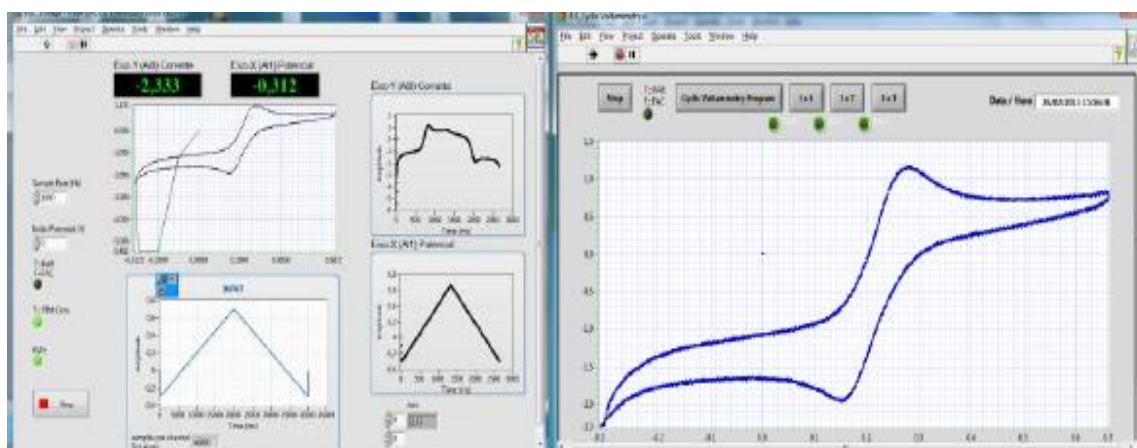
No tocante aos resultados apresentados no trabalho **T1**, após calibração, Santos (2013) afirma que seu aparelho obteve “[...] correntes de ordem de 2 A. Para os propósitos desse trabalho, o potencial de trabalho foi de $\pm 8\text{ V}$ ” (p. 147). Em seguida, o pesquisador mencionado realizou testes para indicação da melhor para solar para recarregar a bateria de chumbo-ácida para funcionamento do potenciostato, obtendo valores satisfatório para a placa de 20 W, que conseguiu carregar a bateria em 1 h e 30 minutos de 3,8 V a 12,7 V.

Posterior a definição da placa solar, os testes com ferricianeto de potássio com o potenciostato construído e o comercial resultaram em voltamogramas indicados na Figura 17.

Figura 17 - Comparação dos resultados obtidos



Potenciostato



Potenciostato construído

Fonte: Adaptado de Santos (2013, p. 157 e 160).

É evidente que os picos anódico/catódicos são similares ao compararmos os potenciostato construído e o comercial, sendo o pico catódico em próximo de 0,3 V e anódico próximo de 0,15V.

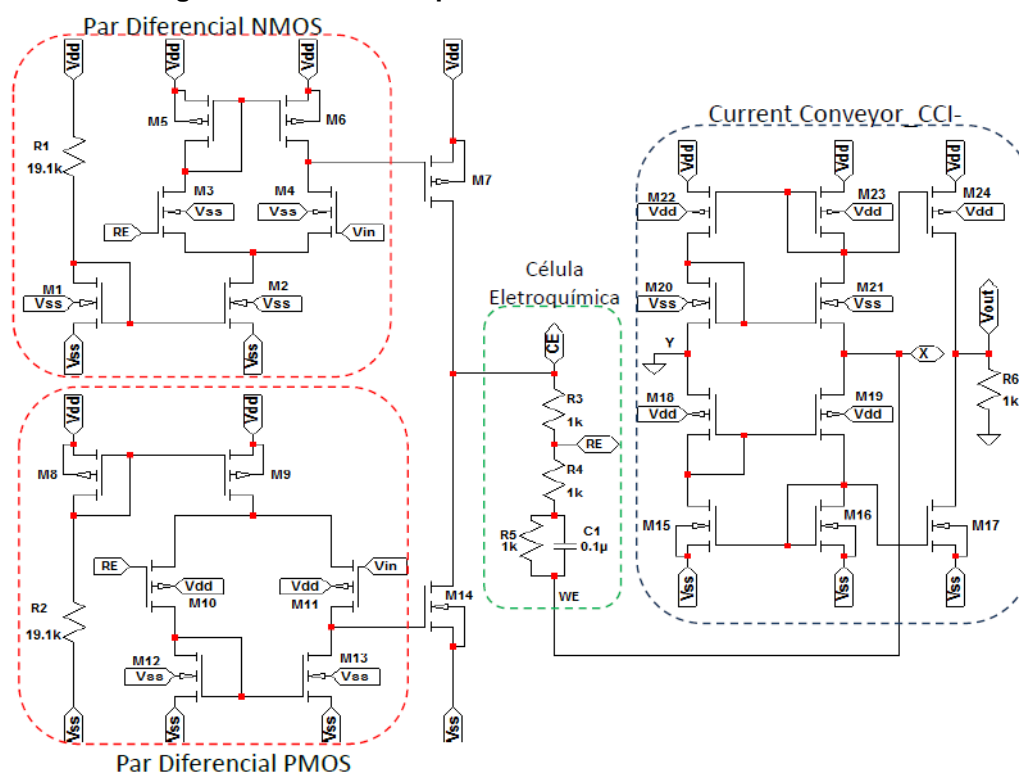
Para Santos (2013) seu potenciostato “apresentou voltamogramas com baixo nível de ruídos e perfis próximos aos obtidos pelos equipamentos comerciais...” (p.161). Não somente a VC, mas, outras técnicas da voltametria foram testadas na pesquisa e também se enquadraram com os resultados do aparelho comercial.

Em síntese, a conclusão apresentada pelo pesquisador, indica que o potenciostato construído apresentou boa portabilidade, pesando 7 kg, com sinal de Bluetooth® até 10 m, sinal de Wifi® ou moldem com boa transmissão

de dados e autonomia de 18 h para funções potenciométricas, tornando-se uma ferramenta útil para pesquisas *in situ* para analisar íons metálicos como também outros compostos orgânicos (SANTOS, 2013). Contemplando seus objetivos mencionados no início de sua pesquisa.

No trabalho **D3**, Souza (2016) construiu 3 circuitos de potenciostatos diferentes (Potenciostato AOP_CCI-V1; Potenciostato AOP_CCI-V2 e Potenciostato AOP_CCI-V3). O circuito Potenciostato AOP_CCI-V1 possui uma alimentação de $\pm 5V$ e é composto por três blocos unidos na célula, indicados na Figura 18, a seguir.

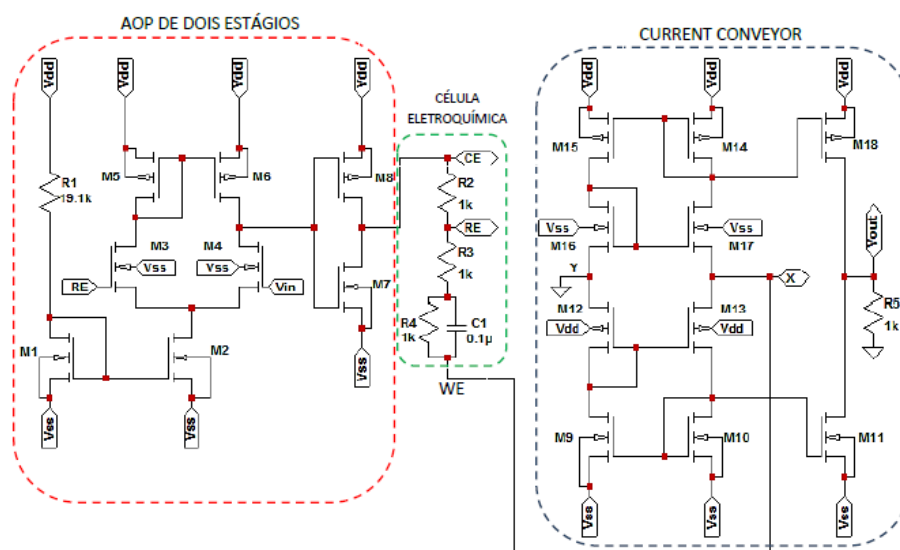
Figura 18 – Blocos do potenciostato AOP_CCI-V1



Fonte: Souza (2016, p. 36).

Esses blocos foram construídos em conjunto formado com amplificadores (pares diferenciais) e fornecimento de corrente para a célula (transistores M25 e M26 e o circuito Current Conveyor) (SOUZA, 2016). O potenciostato AOP_CCI-V2, apresentado na Figura 19, é composto por dois blocos (AOP DE DOIS ESTÁGIOS e CURRENT CONVEYOR) conectados a célula eletroquímica.

Figura 19 - Esquema de dois blocos



FONTE: Souza (2016, p. 43).

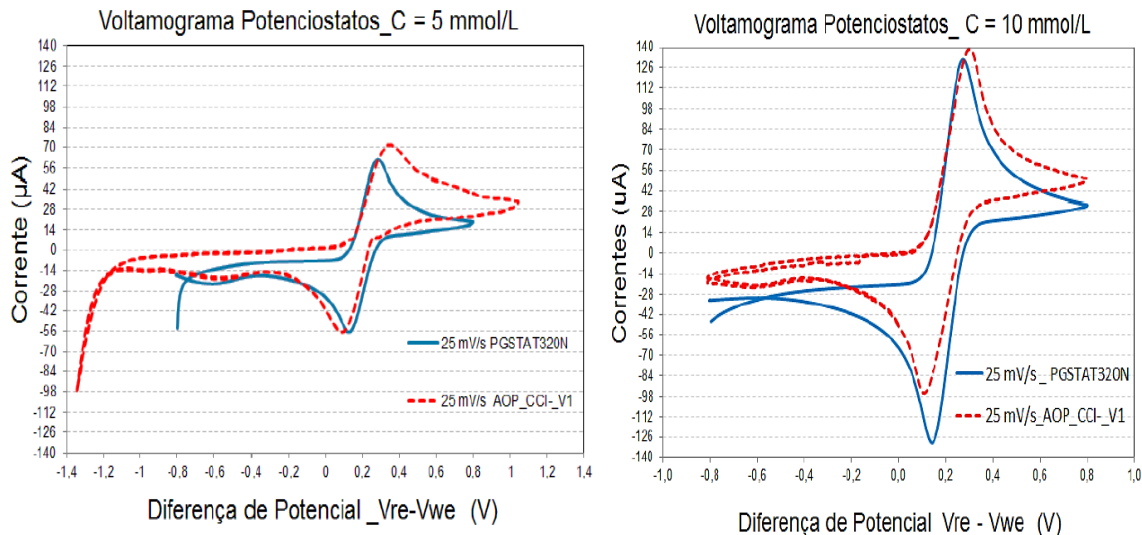
O bloco AOP DE DOIS ESTÁGIOS é um amplificador operacional com finalidade de controlar os potenciais dos eletrodos presentes na célula e o segundo bloco, CURRENT CONVEYOR é referente a leitura da corrente. O terceiro potenciostato, nomeado AOP_CCI_V3, também é formado por dois blocos (AOP DE DOIS ESTÁGIOS e CURRENT CONVEYOR), porém se difere do segundo circuito na modificação de um dos estágios do amplificador, de acordo com Souza (2016) “[...] sua polarização sendo efetuada no mesmo ponto polarização do par diferencial do circuito, tendo assim um ramo comum de polarização no AOP” (p. 48).

Após preparo dos circuitos e placas, os potenciostatos foram submetidos a testes com diferentes concentrações de Ferricianeto de Potássio $K_3[Fe(CN)_6]$ conectado a um gerador de sinal (TEKTRONIX AFG3252C) e um osciloscópio (TEKTRONIX MDO4104B-6) (SOUZA, 2016).

A respeito dos resultados presentes no trabalho **D3**, o pesquisador realizou testes para os 3 sistemas de potenciostatos construídos (Potenciostato AOP_CCI_V1; Potenciostato AOP_CCI_V2 e Potenciostato AOP_CCI_V3). Aplicando potencial entre -800 mV a 800 mV em 3 velocidades de varreduras diferentes (10 mV/s; 25 mV/s e 100 mV/s) com ferricianeto de potássio em 5 mmol/L e 10 mmol/L, a célula era composta por eletrodos comerciais, o WE de ouro; RE de prata/cloreto de prata e o CE de platina (SOUZA, 2016).

Apresenta-se na Figura 20 a comparação dos voltamogramas gerados pelo potenciostato construído (AOP_CCI-_V1) e o comercial (@AUTOLAB_PGSTAT320N).

Figura 20 - Voltamogramas das diferentes concentrações



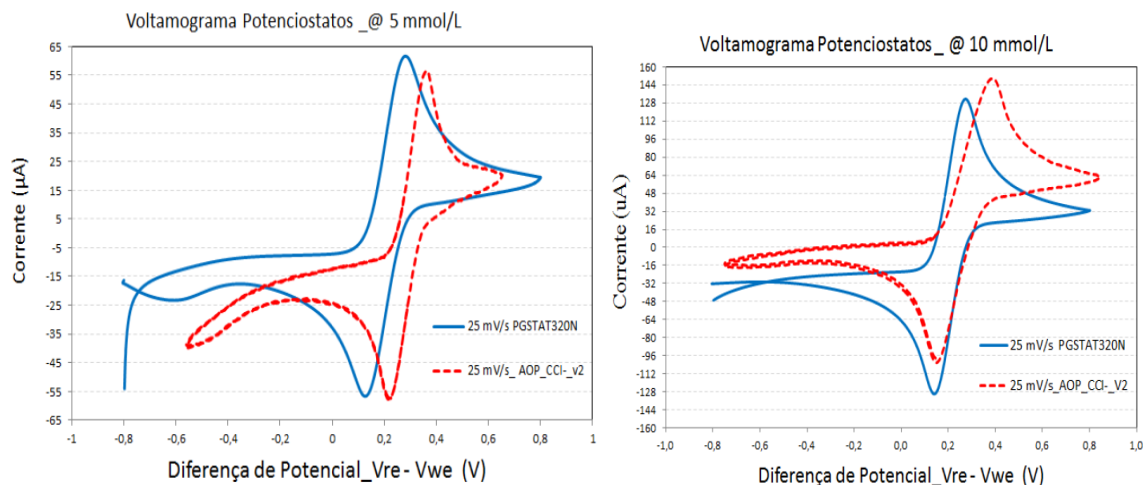
FONTE: Adaptado de Souza (2016, p. 56).

Pode-se notar que no voltamograma de concentração 5 mmol/L e 10mmol/L os picos são próximos de acordo com o potenciostato comercial (região de 0,15 V pico anódico e 0,3-0,4 V pico catódico). Para plotagem da curva de calibração, Souza (2016) selecionou os pontos da corrente do pico positivo para realização da tendencia de linearidade da calibração, atingindo valores de corrente de pico de 13,931 e R^2 0,9995 para o AOP_CCI-_V1 e para o comercial os valores de 12,986 a corrente de pico e R^2 0,9984.

O pesquisador afirma após plotagem de mais 2 novos voltamogramas variando a velocidade de varredura (10 mV/s; 25 mV/s e 100 mV/s) e mantendo a concentração fixa (10 mmol/L), “[...] que a medida que a velocidade de varredura é incrementada nota-se um aumento nas regiões onde ocorrem os picos dos voltamogramas” (p. 60).

Os parâmetros de potencial entre -800 mV a 800 mV em 3 velocidades de varreduras diferentes (10 mV/s; 25 mV/s e 100 mV/s) com ferricianeto de potássio em 5 mmol/L e 10 mmol/L, também foram adotados para as análises do potenciostato 2, o AOP_CCI-_V2, os voltamogramas apresentamos na Figura 21.

Figura 21 - Testes com o potenciostato AOP_CCI-_V2

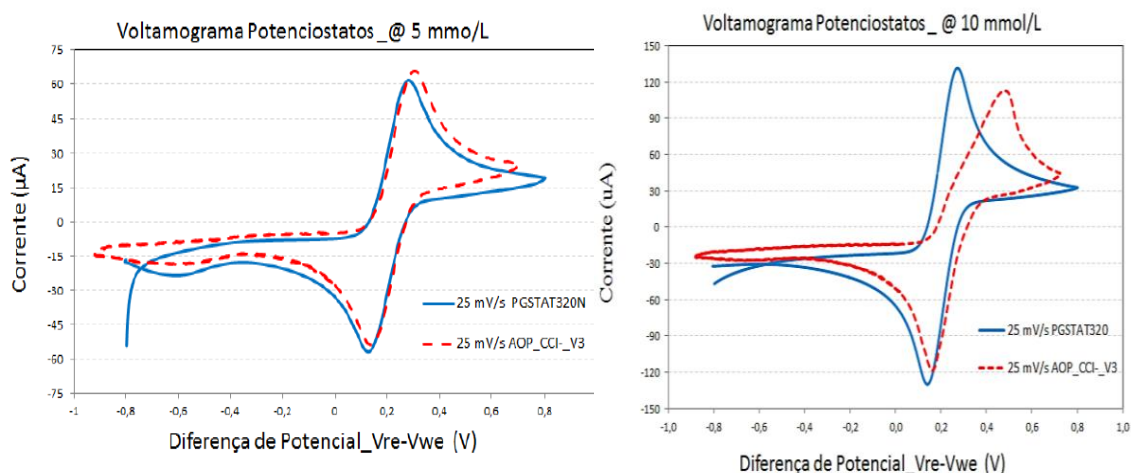


FONTE: Adaptado de Souza (2016, p. 63).

Para o segundo potenciostato, pode-se afirmar que os picos anódicos/catódicos para a concentração 5 mmol/L são em regiões diferentes, apenas no pico anódico da concentração 10 mmol/L são aproximados. Porém, o autor defende que os valores são aproximados, demonstrando resultados satisfatórios.

Ao estudar a curva de calibração, Souza (2016) descreve o valor do R^2 0,9767 para AOP_CCI-_V2 e R^2 0,9984 para o comercial, e similar ao potenciostato anterior, ao verificar diferentes velocidades de varredura e uma única concentração, conforme aumentando a velocidade, diferentes regiões a formação dos picos. Finalizando seus resultados, foram apresentados os voltamogramas referentes as análises com o terceiro potenciostato AOP_CCI-_V3 na Figura 22 com base nos semelhantes parâmetros de análises.

Figura 22 - Comparação dos voltamogramas do AOP_CCI-_V3



FONTE: Adaptado de Souza (2016, p. 68-69).

Os picos no voltamograma de 5 mmol/L estão em harmonia, o pico catódico na região de 0,3-0,35 V e o pico anódico próximos de 0,2 V, mas, ao analisar o pico catódico no voltamograma de 10 mmol/L existe uma diferença de 0,2 V do potenciostato construído com o comercial, o autor não menciona uma possível justificativa. Os valores de R^2 foram 0,9984 para o comercial e 0,9891 para o AOP_CCI-_V3, e semelhante as discussões sobre a variação de velocidade de varredura é presente nas análises do terceiro potenciostato (aumentar velocidade de varredura aumenta a região dos picos).

Com bases nos resultados, Souza (2016), conclui que sua pesquisa,

[...] proporciona a realização de análises em compostos químicos de interesse denominados como analito, podendo ser estimados parâmetros de concentrações das amostras químicas em análise, através de sinais elétricos adquiridos e processados (p.74).

É presente que os objetivos foram alcançados com os resultados expostos, pode-se confirmar que as regiões dos picos nos três potenciostatos produzidos são de certa forma similares. E a comparação dos picos na relação comercial construído, os que mais se aproximaram foram o AOP_CCI-_V1 em 10 mmol/L o AOP_CCI-_V3 em 5 mmol/L. Porém, independente da configuração do circuito, a pesquisa beneficia a utilização de tal aparato para estudos futuros.

De acordo com Cantasini (2019) autor do trabalho **D4**, em primeiro momento de sua pesquisa, foi a utilização de simulações no *Proteus*³, tal software possibilita ao usuário conhecer o circuito programado, testar diferentes faixas de correntes e minimizar medidas errôneas com ruídos. Na Figura 23, demonstra-se o circuito montado.

³ Disponível em:

https://componentsearchengine.com/library/proteus?gclid=CjwKCAiA0KmPBhBqEiwAJqKK4_0DjELLLc1VGHYU63eziunmT1bgwefwmBIZgQu1ecVpPK7AJE4uxoCbxQQAvD_BwE

Figura 23 - Circuito impresso

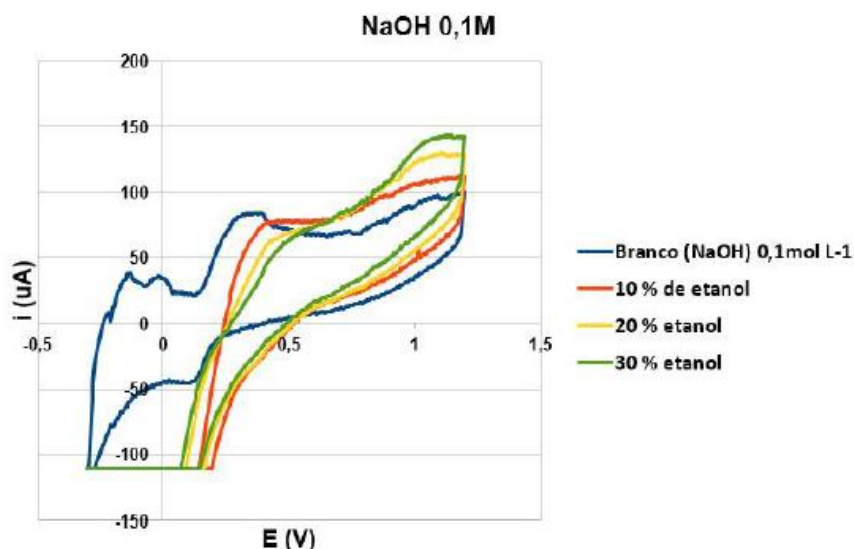


Fonte: Cantasini (2019, p. 16).

Após montagem, Cantasini (2019), menciona ser de $\pm 12\text{ V}$ o valor de entrada e a inclusão de placas de entradas (ADS1115) e saídas (MCP4725) analógicas com comunicação via rede. Nesse estudo, o microcomputador foi o Raspberry Pi modelo B+ (com bluetooth e wifi integrado na placa) e o software desenvolvido em linguagem python. Subsequente aos preparos, o aparelho foi submetido a calibração e aos testes de VC na medição da corrente em relação a oxidação do etanol ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$) (concentrações de 10%, 20% e 30%) em meio básico de hidróxido de sódio (NaOH).

Sobre os resultados do trabalho **D4**, o autor foi um tanto quanto breve na apresentação de seus dados, na Figura 24 demonstra-se o voltamograma da oxidação do etanol em 0,1 mol/L de NaOH.

Figura 24 - Voltamograma do trabalho D4



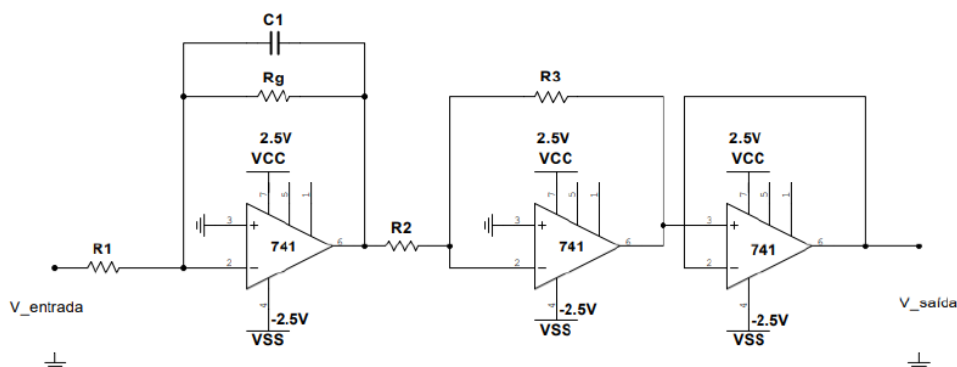
FONTE: Cantasini (2019, p. 36).

O voltamograma é um pouco complexo para analisar e definir os picos catódico/anódico, porém, Cantasini (2019) descreve que o analito utilizado oxidou em 0,15 V. E ao ler suas considerações finais, sua pesquisa tem foco de contribuir para a área de eletrônica, por esse motivo, não apresentou discussões químicas sobre o processo de análise estudada. Mas de certa forma, atingiu os objetivos esperado e apresentados no texto.

No último trabalho encontrado, o **TCC1**, o autor em primeiro momento descreve a modificação da superfície do eletrodo impresso com nanoporos de níquel tridimensionais e o amplificador operacional utilizado (modelo LM741) (SOUSA, 2021).

Em seguida, realizou a montagem do circuito utilizando o *software* Multisim® 14.2⁴, que oportuniza seus usuários a simulação de circuitos (equivalente as simulações dos trabalhos já mencionados). Apresenta-se em seguida na Figura 25 o circuito utilizado na montagem.

Figura 25 - Circuito empregado no potenciostato



FONTE: Sousa (2021, p. 37).

O circuito tem dimensões para uma tensão de 2,5 V e -2,5 V e é organizada em 3 blocos, o primeiro responsável pela amplificação e filtragem do sinal; o segundo, na amplificação inversa e o terceiro conecta um estágio de entrada com o de saída (SOUSA, 2021). O autor ainda descreve ter utilizado a plataforma de prototipagem Módulo NodeMCU-32ESP32 composto pelo microcontrolador ESP32 (com *Wifi* e *Bluetooth*) para possibilitar o acesso remoto e o *Arduino* para programação. Para calibração do aparelho, o pesquisador utilizou 50 μ L de soluções de ferri/ferrocianeto entre 1,0 mM a 5,0

⁴ Disponível em: <https://www.multisim.com/>

mM e comparado com os resultados do potenciostato comercial *Autolab PGSTAT30*.

A cerca dos resultados e discussões do último trabalho encontrado, o **TCC1**, de primeira ordem, Sousa (2021), descreve que o circuito planejado não resultou em êxito como esperado, sendo necessário diferentes ajustes e estudos nos amplificadores para conseguir o objetivo.

Configurado o sistema, a validação foi utilizando o gotejamento da solução de ferri/ferrocianeto em concentrações de 1,0 mmol/L; 2,0 mmol/L; 3,0 mmol/L; 4,0 mmol/L e 5,0 mmol/L e em seguida realizado o mesmo procedimento com um potenciostato comercial (Autolab PGSTAT30). Na Figura 26 a seguir, é indicado os valores obtidos das análises dos potenciostatos.

Figura 26 - Valores experimentais do TCC1

	Corrente de pico (μA)	Concentração				
		1,0 mM	2,0 mM	3,0 mM	4,0 mM	5,0 mM
Potenciostato comercial	Valor médio da corrente	0,39366	0,58560	0,9390	1,06386	1,43523
Potenciostato desenvolvido	Valor médio da corrente	0,40997	0,59147	0,9640	1,07529	1,45320
Desvio padrão		0,01153	0,00415	0,01698	0,00808	0,01271
Distinção (%)		3,9780	0,9924	2,555	1,0740	1,2520

Fonte: Sousa (2021, p. 49).

A interpretação dos valores apresentados vai de encontro com a do autor, entre as concentrações 2,0 mmol/L a 5,0 mmol/L a variação da corrente é mínima ao comparar os valores de ambos potenciostatos, porém, a concentração de 1,0 mmol/L foi a que mais apresentou diferença, logo maior desvio padrão e distinção próxima a 4%.

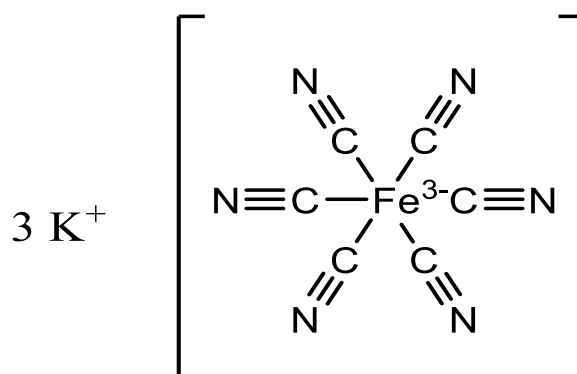
Sousa (2021), afirma em sua discussão que “juntamente com a tabela de comparações, comprova-se a funcionalidade do dispositivo desenvolvido, que consegue ser uma solução de baixo custo, além de possuir comunicação sem fio” (p.50).

Diferente dos demais pesquisadores, o autor de **TCC1** não apresentou voltamogramas indicativos dos picos catódico e anódico, apenas demonstrou o que nomeou de curva de corrente (plotagem de corrente X tempo).

Ao final das discussões com base nos resultados de cada trabalho selecionados, atestam-se que todos as pesquisas foram satisfatórias em seus resultados, por mais que os erros estivessem presentes, os pesquisadores se sobressaíram e apresentaram uma pesquisa de qualidade. Por conta da maioria dos pesquisadores utilizarem ferricianeto de potássio, os valores dos picos devido as reações eletroquímicas foram similares, certamente esses valores apresentados nos voltamogramas serão utilizados como base em futuras pesquisas.

Contesta-se ao final da discussão das metodologias encontradas, que o reagente ferricianeto de potássio foi o mais utilizado dentre as pesquisas (com exceção o **D4**, ao utilizar etanol), o complexo possui estrutura indica na Figura 27.

Figura 27 - Estrutura do ferricianeto de potássio



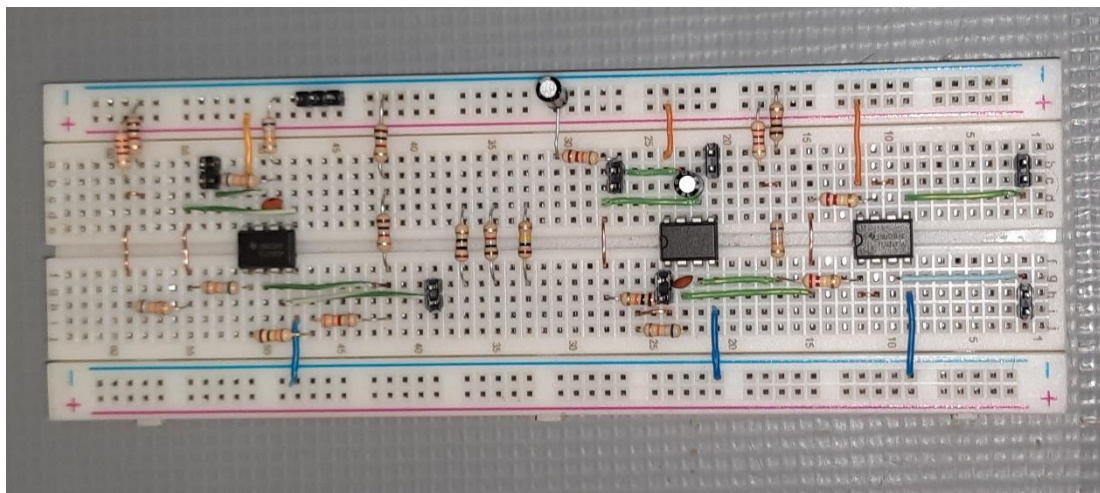
Fonte: Autoria própria (2022).

O composto apresentado possui coloração avermelhada e o átomo de ferro no estado de oxidação (III), 6 moléculas de cianeto (CN^-) e o contra-íon potássio (K^+), o composto também é conhecido como hexacianatoferrato (III). É um dos analitos mais utilizados em pesquisas eletroquímicas, por apresentar padrões dos potenciais conhecidos, possibilitando seu uso como padrão para validações. E a interface de programação mais empregada é o LabVIEW®, por proporcionar ao usuário melhores praticidades em seus estudos.

5.4 Andamento do potenciostato construído

A pesquisa central desse trabalho de conclusão de curso consistia na montagem de um potenciostato de baixo custo, conforme esses apresentados anteriormente. Iniciou-se a montagem do circuito para o dispositivo, de configuração presente na Figura 28, a seguir.

Figura 28 - Circuito montado no projeto



Fonte: Autoria própria (2021).

A placa montada é composta por capacitores, amplificadores e está programada para uma faixa de $-2,5\text{ V}$ a $2,5\text{ V}$, faixa qual abrange variados potenciais de redução das substâncias tabeladas e estudadas de acordo com os referencias teóricos disponíveis nas plataformas de bases. Por exemplo, o analito ferricianeto de potássio (como os trabalhos apresentados) e o ácido ascórbico.

Porém, devido ao avanço da pandemia, diferentes fatores foram limitando o tempo para o desenvolvimento do software, interface do aplicativo para geração dos gráficos e as análises de VC. Cabe agora, os trabalhos futuros finalizar o que já foi construído e ofertar o aparelho para o departamento de Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Campo Mourão.

6 CONCLUSÃO

Quando se pensa em pesquisa experimental, diferentes fatores podem influenciar na resolução do estudo, não foram todos os autores que mencionaram os erros em suas obras, pode-se ressaltar que é importante a explicação do erro, auxiliando pesquisadores que utilizar esses trabalhos como base para uma nova pesquisa.

Pode-se ousar em dizer que a construção de um potenciostato não é de fácil realização, alguns desses autores encontrados foram importantes ao mencionarem seus erros, demonstrando que tal pesquisa necessita de muito embasamento teórico e conhecimento interdisciplinar das áreas da Física, Eletrônica e Química.

O que nos incomoda é o pequeno universo de pesquisas brasileiras sobre o desenvolvimento de potenciostato de baixo custo, ao olhar as referências dos trabalhos, diferentes autores estrangeiros são mencionados, seja de artigos ou livros, tal verdade é indicativo que a pesquisa sobre novos potenciostatos não é o ponto forte das pesquisas brasileira voltadas para essa área. Podem existir pesquisas em realização ou que já foram concluídas, mas não estão publicadas nas plataformas pesquisadas.

Ao estudar e pesquisas sobre as análises que a Eletroquímica rege, evidenciamos que não se limita em detectar metais, mas sim, uma infinidade de áreas, como os próprios autores selecionados descrevem, na área da medicina, alimentação e fármacos.

É possível de se expressar que estudo do Estado da Arte possibilita ao pesquisador ir no “íntimo” das obras que está verificando, tomando como base as questões-problemas para estruturar seus percursos e realizar uma interpretação de acordo com seus objetivos. Além de aproximar a pesquisa para seus pares, divulga a pesquisa para os demais públicos da sociedade.

Por fim, conclui-se que os objetivos apresentados foram alcançados e estudar sobre voltametria cíclica, possibilitou o entendimento de diferentes assuntos interdisciplinares, reforçando que o conhecimento é construído com base em pilares de diferentes áreas do saber.

REFERÊNCIAS

- ALEIXO, L. M. Voltametria: Conceitos e Técnicas. **Chemkeys** - Liberdade para aprender. 2003. Disponível em: <https://econtents.bc.unicamp.br/inpec/index.php/chemkeys/article/view/9609>. Acesso em: 03 out. 2020.
- ATKINS, P.; LORETTA, J. **Princípios de Químicas: Questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 5º ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. 1º ed. São Paulo: Edições 70, 2016.
- BRETT, A. M. O.; BRETT, C. M. A. **Electroquímica princípios, métodos, e aplicações**. 1º ed. Coimbra: Livraria Almedina, 1996.
- CANTASINI, A. B. **Desenvolvimento de um mini potenciostato para análises voltamétricas e amperométricas**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia aplicada e Sustentabilidade) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Goiás, Rio Verde, 2019. Disponível em: https://sistemas.ifgoiano.edu.br/sgcursos/uploads/anexos_14/2021-08-19-03-19-50Disserta%C3%A7%C3%A3o_Allan%20Barros%20Cantasini_reposit%C3%B3rio.pdf. Acesso em: 26 jan. 2022.
- CARDOSO, J. L. **Desenvolvimento de sistemas portáteis de monitoramento eletroquímico**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3140/tde-06072007-161054/pt-br.php>. Acesso em: 26 jan. 2022.
- COSTA, J. H. **Desenvolvimento de um novo eletrodo modificado à base de maghemita e ferritas para detecção de chumbo**. 2021. Relatório parcial da disciplina - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/228431>. Acesso em: 26 jan. 2022.
- CURY, M. E. Entenda a descoberta sobre baterias que venceu o prêmio Nobel de Química. **Exame**. 2019. Disponível em: <https://exame.com/ciencia/entenda-a-descoberta-sobre-baterias-que-venceu-o-premio-nobel-de-quimica/>. Acesso em: 26 jan. 2022.
- FERREIRA, N. S. de A. As pesquisas denominadas “estado da arte”. **Revista Educação e Sociedade**, São Paulo, n. 79, p. 257-272, ago. 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/es/a/vPsyhSBW4xJT48FfrdCtqfp/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 26 jan. 2022.
- FREITAS, J. C. N. **Projeto e análise ao funcionamento de carros elétricos**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade do Minho, Guimarães, 2012. Disponível em: https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/22557/1/Tese_VF_a52762_Pdf.pdf. Acesso em: 26 jan. 2022.

GARDIN, G. T. O.; GAZZONI FILHO, D. L.; KILLNER, M. H. M. Desenvolvimento de um potenciostato de baixo custo empregando um computador de placa única para o ensino de eletroquímica. *In: Encontro Anual de Iniciação Científica*, 28., 2019. [...] **Anais de resumos**. Disponível em: http://www.uel.br/eventos/eaic/anais/?content=2019/anais_resumo.php&cod_artigo=338. Acesso em: 26 jan. 2022.

GASPI, S.; MARON, L. H. P.; MAGALHÃES JÚNIOR, C. A. O. Análise De Conteúdo numa perspectiva de Bardin. *In: MAGALHÃES JÚNIOR, C. A. O.; BATISTA, M. C. (org). Metodologia da Pesquisa em Educação e Ensino de Ciências*. 1º ed. Maringá: Gráfica e Editora Massoni, 2021.

GERMANO, M. G.; LIMA, I. P. C.; SILVA, A. P. B. Pilha voltaica: entre rãs, acasos e necessidades. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. 1, p. 145-155, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2012v29n1p145>. Acesso em: 26 jan. 2022.

GONÇALVES, A. C. S.; TAMIASSO-MARTINHON, P.; SOUZA, C. **NOS PASSOS DA ELETROQUÍMICA: CIENTISTAS E SEUS LEGADOS**. Grupo Interdisciplinar de Educação, Eletroquímica, Saúde, Ambiente e Arte (GIEESAA) - Departamento de Físico-Química – IQ - UFRJ. SEM DATA. Disponível em: <http://www.hcte.ufrj.br/downloads/sh/sh8/SH/trabalhos%20posterres%20completos/NOS-PASSOS-DA-ELETROQUIMICA-CIENTISTAS-E-SEUS-LEGADOS.pdf>. Acesso em: 03 out. 2020.

HARRIS, D. C. **Análise Química Quantitativa**. 8ª edição, LTC – Livros Técnicos e Científicos. Editora S.A., Rio de Janeiro – RJ, 2012.

JOURNEY. **Don't Stop Believin'**. Columbia: 1981. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=1k8craCGpgs&ab_channel=journeyVEVO. Acesso em: 22 abr. 2022.

KILLNER, M. H. M. **Desenvolvimento de um Sistema Voltamétrico Microfluídico**. 2007. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007. Disponível em: http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/CAMP_56aa521bd94d062719c5053d9fe65781. Acesso em: 26 jan. 2022.

PACHECO, W. F. *et. al.* Voltametrias: Uma Breve Revisão Sobre os Conceitos. **Revista Virtual de Química**, v. 5, n. 4, p. 561-537, jul. /ago. 2013. DOI: 10.5935/1984-6835.20130040. Disponível em: <http://static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/v5n4a02.pdf>. Acesso em: 03 out. 2020.

ROZENBERG, I. M. **Química Geral**. 1º ed. São Paulo: Blucher, 2002.

SANTOS, V. B. **Desenvolvimento de um potenciostato/galvanostato portátil e eletrodos impressos para determinações in situ em análises em fluxo com transmissão de dados em tempo real**. 2013. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/6273>. Acesso em: 26 jan. 2022.

SHRIVES, D. F.; ATKINS, P. **Química Inorgânica**. 4^o ed. Porto alegre: Bookman, 2008.

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; NIEMAN, T. A; **Princípios de Análise Instrumental**. 5^o ed., São Paulo: Bookman, 2002.

SKOOG. *et al.* **Fundamentos de Química Analítica**. Tradução da 8^o ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

SOUSA, L. R. **Potenciostato de baixo custo com transmissão de dados sem fio**. 2021. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Controle de Automação) – Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2021. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/215517>. Acesso em: 26 jan. 2022.

SOUZA, A. K. P. **Desenvolvimento de potenciostatos para caracterização de células eletroquímicas**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2016. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/5527>. Acesso em: 26 jan. 2022.

ZOSKI, G. Cynthia. **Handbook of Electrochemistry**. 1. ed. Amsterdam: Elsevier, 2007.