



Centro Universitário UNA

## RECUPERAÇÃO DE SOLVENTE ORGÂNICO DE SOLUÇÃO COLOIDAL DE PRATA

Ana Carolina Anunciação Oliveira, Gabriel Pettersen, Giovanna Bordone, Maria Paula Corrêa de Faria, Richard Brayan Vaz de Castro

[anacarolinaanunciacaooliveira@gmail.com](mailto:anacarolinaanunciacaooliveira@gmail.com), [pett.gabriel@gmail.com](mailto:pett.gabriel@gmail.com), [giovanna.bordone12@gmail.com](mailto:giovanna.bordone12@gmail.com), [mariapaulacf26@gmail.com](mailto:mariapaulacf26@gmail.com), [richardbrayan53@gmail.com](mailto:richardbrayan53@gmail.com))

Professor orientador: Denílson de Jesus Assis

Coordenação de curso de Engenharia Química

### RESUMO

Os filmes fotovoltaicos orgânicos (OPV) são a terceira geração da tecnologia de células solares, que se destacam pelo caráter sustentável. Entretanto, durante a sua produção um solvente aromático é empregado para remover resíduos de prata, sendo necessário sua recuperação no efluente gerado. Diante do potencial tóxico do solvente e dos custos do processo, o desafio desse trabalho foi desenvolver um método para separar a prata do solvente e reutilizá-lo no processo. Para isso, foi utilizado a floculação com polímero catiônico. Foi possível obter o solvente livre de prata, em quantidade significativa, e com integridade química, oferecendo assim uma base sólida para considerar sua implementação em escala industrial, além da reutilização da prata recuperada, o que contribui para a sustentabilidade do processo industrial, redução de custos e minimização de impactos ambientais.

Palavras-chave: Efluente, solvesso, prata, coagulação, reciclagem.

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria é, por definição, um conjunto de atividades econômicas cujo objetivo é extrair, manipular ou transformar substâncias simples e agregar um valor a ela (GUITARRARA, 2023). Essa alteração da substância pode gerar a produção de materiais secundários sem valor ou com valor menor ao produto primário. Essas substâncias com menor valor, são chamadas de resíduos ou efluentes.

O valor de um resíduo é regido pela situação econômica e viabilidade de matéria prima utilizada. Em 2021, substâncias de classe dos metálicos foram responsáveis por cerca de 89% da produção mineral brasileira (Agência Nacional de Mineração, et al., 2023, p.8), indicando um alto volume de matéria prima disponível. O valor de um minério depende da viabilidade econômica para sua extração e subsequente concentração.

Com o aumento da escassez de matéria prima, o crescimento da economia sustentável e o avanço tecnológico, materiais com baixa viabilidade econômica se transformaram no foco do mercado. Pode-se observar o valor em materiais descartados conforme descrito:

“Em 2013, estima-se que haviam 6,8 bilhões de aparelhos celulares em uso. Dado uma vida útil desses aparelhos de 1,5 ano nós temos uma tremenda quantidade de minerais críticos entubados em gavetas e aterros. Um celular típico em 2005 continha 16 gramas de cobre, 0,35 gramas de prata, 0,034 gramas de ouro, 0,015 gramas de paládio e 0,00034 gramas de platina.” (POULTON. et al., 2013, p. 10).

Essas quantidades, por mais que pequenas, representam quando multiplicadas mais de 108,8 toneladas de cobre, 2,38 toneladas de prata, 0,231 toneladas de ouro, 0,102 toneladas de paládio e 2,312 quilos de platina considerados como resíduos; resíduo esse cujo valor, se considerarmos somente a prata, supera 3 milhões de dólares utilizando o preço de mercado da prata em 2010 (NEWMAN. et al. 2017).

Tendo como base o possível valor agregado a um resíduo produzido de maneira secundária, torna-se viável o estudo de rentabilidade de transformar tais resíduos em uma fonte de renda alternativa; seja por meio de recuperação, extração de componente de interesse ou até mesmo destinação alternativa. Além disso, na

produção de produtos ambientalmente corretos, como painéis solares, carros elétricos, copos biodegradáveis, etc. encontram-se resíduos de produção não reaproveitáveis.

No processo de fabricação de filmes fotovoltaicos, na impressão da camada de prata (o eletrodo superior), há a limpeza do tambor de serigrafia que realiza a deposição da mesma no painel OPV (Organic PhotoVoltaic). Durante a limpeza, o solvente aromático Solvesso 200 ND é empregado para remover resíduos de prata, sendo necessária sua recuperação efetiva no efluente gerado. Uma vez que a prata se encontra na mistura de colóides suspensos no efluente, é essencial empregar métodos que permitam a separação desses colóides do solvente.

A principal forma de descarte é a incineração, com esse processo o resíduo pode emitir gases tóxicos para o ambiente criando riscos para a poluição atmosférica (Lima, 1995). Há várias desvantagens associadas ao descarte de solventes, sendo a mais proeminente o impacto ambiental que engloba toda a cadeia de utilização dessas substâncias, desde a quantidade inicial requerida na produção de OPVs, até a sua forma de eliminação. Adicionalmente, o desperdício de recursos, a perda de matérias-primas valiosas e os encargos financeiros decorrentes do descarte sem reaproveitamento podem representar custos significativos para as empresas. Portanto, a adoção de estratégias mais sustentáveis na gestão de solventes se torna imperativa, não apenas para mitigar esses impactos negativos, mas também para otimizar a eficiência operacional e econômica das organizações (SIQUEIRA, 2001).

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um processo de reciclagem do efluente da produção de filmes voltaicos, visando separar a prata do solvente a partir de um método de floculação. Isso não apenas contribui para a sustentabilidade do processo industrial, minimizando a geração de resíduos e reduzindo custos com a aquisição de novos solventes, mas também reduz o impacto ambiental.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Produção da célula solar da terceira geração**

A energia fotovoltaica é uma energia limpa que é proveniente do sol para produzir energia elétrica. Becquerel no ano de 1839 pegou duas placas de latão e adicionou

em um líquido condutor e logo após uma luz se fez presente, com essa descoberta se deu início ao desenvolvimento da tecnologia. Ao longo do tempo, as pesquisas continuaram até que, em 1873, um cientista observou que o elemento selênio reagiria a luz, dando início à construção da primeira célula solar por Charles Fritts. Quase um século depois foi descoberto que se o silício fosse tratado, poderia ser o principal material para ser utilizado nas placas. A célula solar é feita a partir de uma pastilha fina de silício, contendo duas camadas: uma superior bem fina com átomos de fósforo e uma camada inferior bem grossa composta por átomos de boro (BALFOUR, 2016).

O OPV (do inglês "organic photovoltaic") é uma célula solar de terceira geração, orgânica, portanto não leva o silício em sua composição, possuindo um maior potencial de eficiência da luz solar, contribuindo para um baixo custo. São constituídas de materiais abundantes e de baixa toxicidade, sendo fabricadas com técnicas avançadas de síntese química para se obter os nanocristais semicondutores (Pontos Quânticos - PQs). Assim, devido ao tamanho e a composição dos PQs é possível controlar a absorção da luz nas células (ELY, SWART, 2014).

### 2.1.1 Tela de serigrafia nas células fotovoltaicas

O início da serigrafia começou com moldes em papel em goma que foram pulverizados e colados em algodão que foram costurados a uma tela. A mesma consiste em uma armação onde é colocado uma tela e logo em cima aplica-se a uma substância e assim quando pressionada resulta-se em na aparição de uma imagem com a ajuda de uma ferramenta. (BELMIRO, 1979).

A serigrafia é um modo de acrescentar a prata no processo de produção nas células fotovoltaicas por meio de telas de serigrafia, que consiste na adição da prata em cima da tela e com a ajuda de uma espátula a mesma é uniformizada, formando a célula (GREEN, 2011).

Uma tela de serigrafia apresenta três componentes, uma moldura, uma tela e uma emulsão fotossensível, assim juntos podem dar a quantidade de uma substância que será utilizada, além disso o desgaste da tela podem se dar pela perda da emulsão e o entupimento das aberturas presentes, com isso a tensão da mesma leva a redução na quantidade de substâncias depositadas (SANZ., 1999).

É utilizado algumas exigências para melhor escolha da tela que são: quantidade de substância que será colocado sob a tela, obtenção de um resultado satisfatório e a durabilidade da tela, com isso a abertura mais utilizada de tela é de 70mm variando apenas a densidade e assim sendo proporcional a abertura da malha (SANZ.,1999).

### 2.1.2 A prata nas placas fotovoltaicas

Um dos primeiros metais a ser descoberto foi a prata, um elemento puro com características singulares como: maleabilidade, ductibilidade e condutividade elétrica, o que a torna pouco reativa e bastante resistente à corrosão. Uma de suas extrações pode ser por meio de seus minérios em forma de cianos complexos solúveis. Uma das maiores justificativas para a variedades das aplicações da prata. De acordo com Sartori (2005), o potencial de redução padrão positivo não é suscetível à oxidação (SOUZA, 2013).

Em 1839, o francês Becquerel notou um efeito fotovoltaico que ocorria em alguns materiais semicondutores com a característica de absorver a energia que era contida nos fótons, gerando eletricidade. Os materiais semicondutores são produzidos mais comumente por silício monocristalino, policristalino e amorfo; arseneto de gálio; disseleneto de cobre e índio, e telureto de cádmio (ZILLES, 2012).

Nas placas fotovoltaicas a prata é utilizada amplamente na tecnologia devido a sua alta condutividade. No processo de produção das placas, a prata é usada na metalização das células, sendo aplicadas na forma de fios sobre uma superfície frontal. Devido à grande demanda de novas tecnologias renováveis, a prata vem sido inserida em novos módulos fotovoltaicos como os DSSC (Dye-sensitized solar cell), OPV, CSP (Concentrated solar power) (GRANDELL e THORENZ, 2014).

### 2.1.3 Limpeza do tambor da serigrafia com o solvente orgânico.

O processo de limpeza em tambores de serigrafia é indispensável pelo acúmulo de resíduos de tintas. A execução é feita por meio de solventes orgânicos capazes de dissipar os materiais contidos no tambor, porém sua alta volatilidade permite facilmente sua migração para o ambiente (VIEGAS, 2011).

Os solventes são armazenados em um recipiente onde é transferido manualmente para os cilindros, uma ou várias vezes ao dia. O processo pode contar com a atuação de solventes orgânicos neutros, reativos e a base de água, quando tem o

essencial para a atividade, deve saber que o mesmo serve com um guia para limpeza. Assim, avaliando a aplicação, os riscos envolvidos e os resultados esperados (MENESES, 2018).

## **2.2 Descarte do resíduo gerado**

Os resíduos industriais são aqueles que surgem dos procedimentos industriais e podem assumir a forma sólida, líquida, gasosa ou uma combinação dessas formas. Distinguem-se dos resíduos domésticos devido a suas propriedades físicas, químicas ou microbiológicas singulares é o que estabelece a NR 25 Portaria MTb n.º 3.214, de 08 de junho de 1978 “RESÍDUOS INDUSTRIAIS” (Brasil, 1978).

De acordo com a FISPQ (Ficha de segurança de produtos químicos) da empresa responsável pelo Solvesso 200, Exxonmobil (2010), a recomendação é descartar o produto de duas maneiras: queima em um incinerador controlado para recuperação de combustíveis de valor ou incineração supervisionada à temperaturas elevadas para evitar a formação de produtos indesejáveis.

A incineração de produtos químicos pode emitir gases tóxicos para o ambiente criando riscos para a poluição atmosférica (Lima, 1995).

## **2.3 Recuperação do solvente orgânico**

O resultado mais desejável num processo de recuperação de solvente é ter o produto recuperado substituindo a entrada de solventes novos no mesmo processo que foi utilizado. Isso não implica que o material recuperado tenha que ter as mesmas características do material virgem (SMALLWOOD, 2002).

Para que isso ocorra, é necessário seguir o fundamento da Lei de Coulomb, juntamente da aplicação de um polímero catiônico, que segundo Libânio e Richter (2008), tem como principal efeito no tratamento de água, ou de efluentes no geral, o aumento do tamanho das partículas floculadas, além do aumento de sua resistência e densidade.

As partículas eletricamente desestabilizadas (coágulos) são fisicamente aglutinadas para formar outras partículas maiores (flocos), suscetíveis de remoção por decantação e filtração (MACEDO, 2001).

### **2.3.1 Coagulação**

É importante notar que a efetividade de uma coagulação/floculação é definida por condições do meio a que estão presentes, a concentração do floculante e o pH. Diversos mecanismos estão envolvidos, como a neutralização de cargas, a adsorção do material pelo floculante e a precipitação dos coágulos insolúveis (GOUDJIL et al., 2020).

Todas as partículas em um meio líquido possuem características conectadas à interface a que se localizam. Esse fenômeno inclui o efeito de cargas superficiais das partículas e o nível de solvatação ou hidratação das partículas superficiais (BRATBY, 2016)

Em uma suspensão, os flóculos ou coágulos de partículas finas são as bases estruturais e, em um processo de baixa tensão cisalhante, como a sedimentação por gravidade, a taxa de deposição e o volume de sedimento dependem primordialmente da concentração volumétrica do flóculo e das forças entre as partículas (RICHARDSON et al, 2002).

### 2.3.2 Centrifugação

De modo geral, a centrifugação é um processo amplamente utilizado em indústrias, para separar sólidos suspensos do líquido utilizando aceleração centrífuga das partículas em suspensão direcionadas à parte mais externa do eixo de rotação. Tal uma força de aceleração inicia o movimento da partícula para o extremo do perímetro da centrífuga onde ela é presa pela parede do equipamento (BEVERIDGE, 2000). Como em uma suspensão, muitas vezes não é de interesse mudar a concentração de seus sólidos suspensos e uma decantação gravitacional levaria um tempo muito elevado, a utilização de força centrípeta como mecanismo de separação pode acelerar o processo.

## 2.4 Análise Espectrométrica

Em um espectrofotômetro a luz se divide em seus comprimentos de ondas a qual a constituem por meio de um prisma. Com uma lâmpada de deutério para a faixa ultravioleta e uma lâmpada halógena para o espectro visível, esse instrumento permite medições contínuas durante toda a faixa da região espectral. (PERKAMPUS, 1992). Por meio do uso de tal função torna-se possível identificar possíveis substâncias em uma amostra de maneira contínua por meio da análise de faixa em todo comprimento de onda em que um analito pode se encontrar.

## 2.5 Análise de matéria seca

Métodos gravimétricos baseados na secagem por calor são mais frequentemente usados por testes laboratoriais de matéria seca, com resultados representados pela diferença da massa final e da massa inicial. Técnicas destes testes são aplicadas em uma grande abrangência de materiais devido ao seu baixo custo, elevada disponibilidade de equipamento e alta capacidade de amostragem (QUIRINO, et al, 2023). Por meio de métodos simples se torna possível a definição de material particulado contido em determinada solução por meio da remoção do solvente da mesma.

## 3. METODOLOGIA

### 3.1 Amostragem

O material para teste foi extraído do recipiente principal, onde o efluente é estocado ao fim do processo de lavagem, conforme mostrado nas Figuras 1 e 2.

Figura 1: Sistema de lavagem

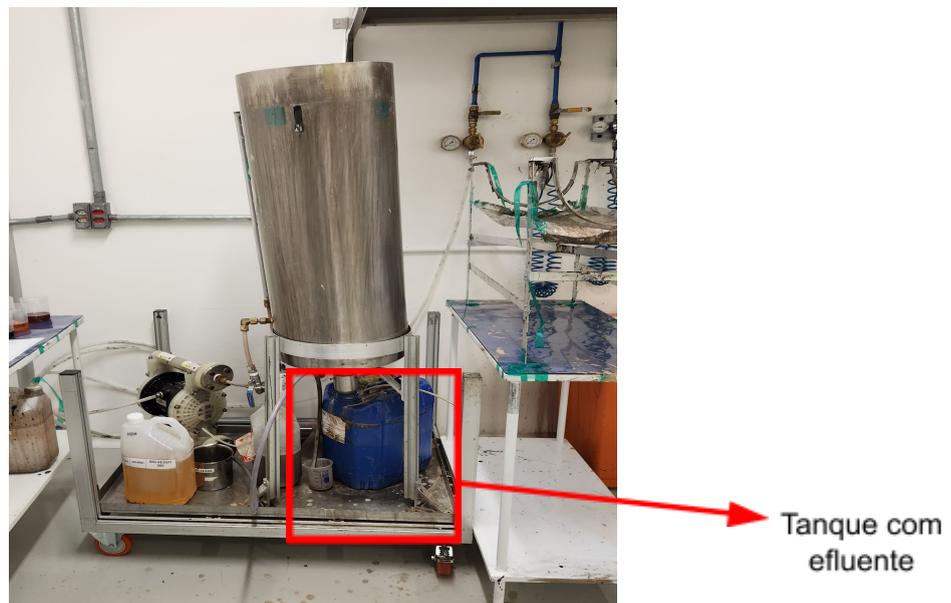
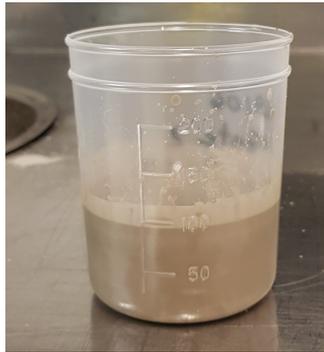


Figura 2: Efluente bruto



Não houve pré-tratamento do resíduo antes do processo de recuperação ser iniciado.

### 3.2 Coagulação

Para separar as partículas coloidais de prata do solvente, foi solicitado para a empresa Pro-Inmec Processos químicos, quatro coagulantes utilizados no tratamento de água, o polímero aniônico em pó e em emulsão e o catiônico em pó e em emulsão. Para este trabalho foi utilizado o polímero catiônico em emulsão (Figura 3),

Figura 3: Polímero catiônico



A proporção utilizada para o experimento foi de 1:10 (volume/volume, sendo uma parte de polímero para 10 partes de efluente). Para o teste de bancada, a mistura de efluente com o polímero catiônico foi conduzida e controlada em Speed mixer,

que pode ser configurado para homogeneizar líquidos e depois, como centrífuga para separar as fases.

Para a homogeneização, step “a” (Figura 4-a), a mistura foi utilizada rotação no nível 9 (1283 rpm) e revolução também no nível 9 (1000 rpm) por 2 minutos. Nesta etapa, o objetivo é que o polímero entre totalmente em contato com a solução.

Figura 4: Condições das fases de: (a) homogeneização, (b) intermediária e (c) centrifugação

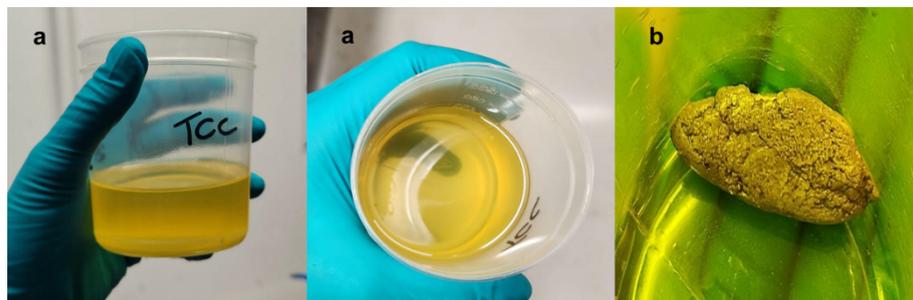


Na etapa seguinte, a fase intermediária, step “b” (Figura 4-b) foi utilizada rotação no nível 2 (397 rpm) e revolução também no nível 2 (72 rpm) por 2 minutos. Nesta etapa, o objetivo é a formação de coágulos.

Para a separação de fases por centrifugação, step “c”, (Figura 4-c) a rotação foi zerada e a revolução colocada no nível 8 (1157 rpm) por 1 minutos 40 segundos. Nesta etapa, o objetivo foi que os cogumelos formados no step anterior, sedimentassem.

A Figura 5 mostra os produtos da coagulação do efluente.

Figura 5: Solvente restaurado (a) e goma de prata e polímero (b).



### 3.3 Absorbância no UV-vis

Para conferir as características originais do solvente, as soluções foram analisadas por espectrofotometria, para avaliar a absorbância dos compostos por espectrofotômetro de UV-vis com uma varredura de 400 a 900nm, Figura 6.

Figura 6: Espectro Fotômetro com cubeta exposta ao feixe de radiação UV-vis

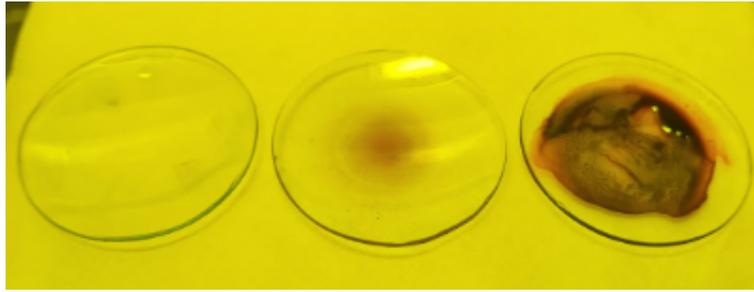


Para a conferência, foram feitas espectro de varredura do solvente puro (Solvesso), de efluente (Solvesso + Prata); do solvente recuperado (Solvesso tratado) e do polímero catiônico (Composto catiônico).

### 3.4 Avaliação qualitativa do tratamento

Para a análise de matéria seca, os três componentes (solvesso virgem, solvesso tratado e efluente) foram levados para a secagem, posicionados no hot plate (placa aquecida) a 150°C por 10 minutos, para avaliar de forma visual resquícios sólidos de cada um deles, Figura 7.

Figura 7: 1º vidro de relógio: Solvesso virgem; 2º vidro de relógio: Solvesso restaurado; 3º vidro de relógio: efluente.

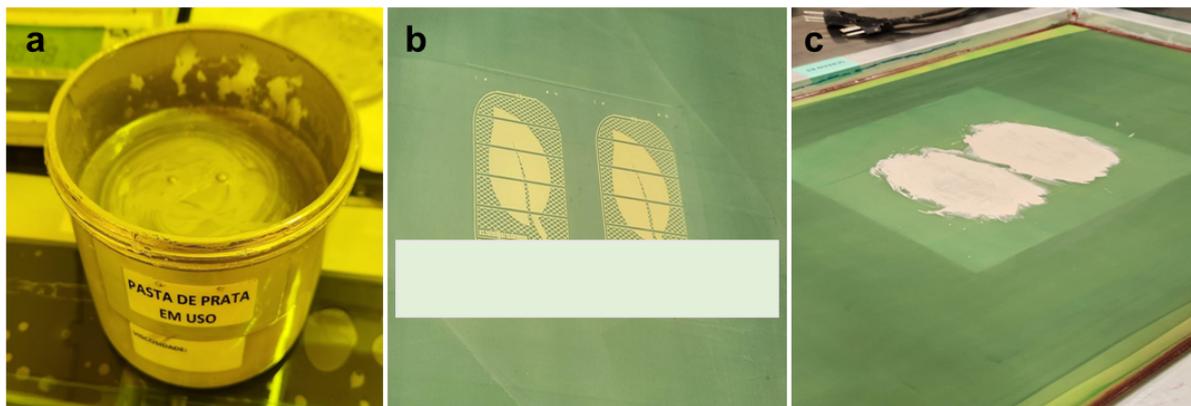


### 3.5 Eficácia

Por fim, para comprovar a eficácia da limpeza, um teste prático foi realizado com uma tela suja, onde foi utilizado o solvente restaurado para sua higienização.

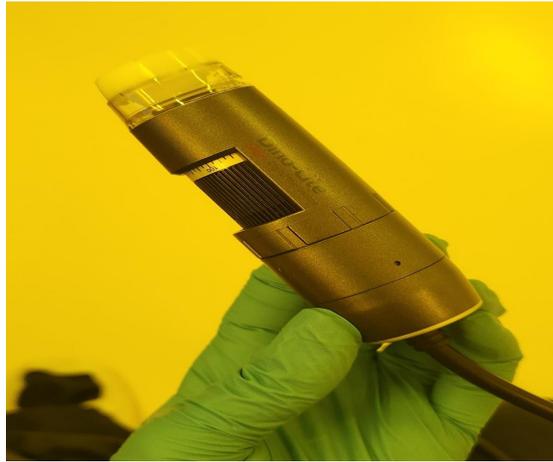
Foi utilizada uma tela de serigrafia mais antiga, para simular um processo. Ela foi suja com a pasta de prata normalmente utilizada nas etapas de fabricação do OPV e depois limpa com o solvente restaurado para avaliar a eficácia da limpeza (Figura 8).

Figura 8: (a) Pasta de prata, (b) Tela de prata e (c) Tela após o uso



A limpeza foi realizada como de costume, com o uso do wiper e solvente. Após o processo de higienização, uma câmera com aumento de 500x (Figura 9) foi utilizada para verificar se os meshes da tela ainda estavam desobstruídos ou foram danificados.

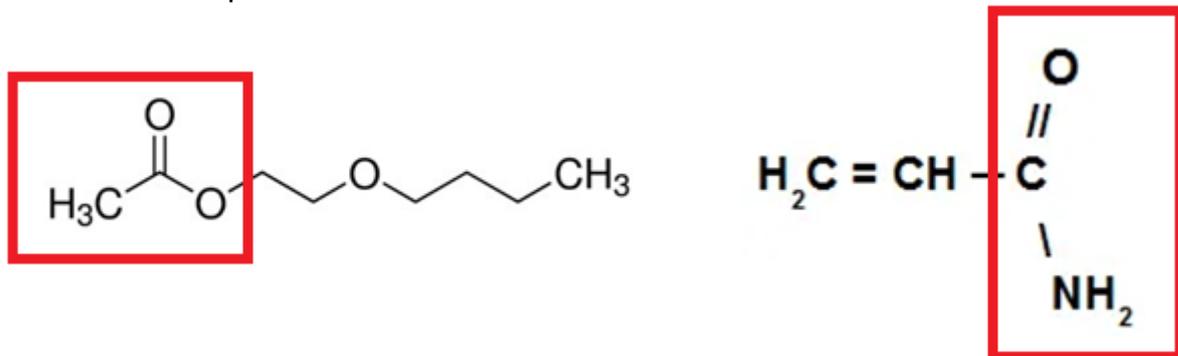
Figura 9: Câmera de zoom



#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O polímero catiônico da PRO-IMEC possui propriedades coagulantes e é usado na indústria para clarificação de águas. Na composição da pasta de prata existe de 10 a 20% (de acordo com a FISPQ) de surfactante, o acetato de éter monobutílico dietileno glicol, que contém o grupo acetato, rico em elétrons.

Figura 10: zonas polarizadas do acetato de éter monobutílico dietileno glicol e acrilamida respectivamente.



A acrilamida, substância base do polímero catiônico, por ser positiva, pode atuar como eletrófilo, atraindo o acetato de éter monobutílico dietileno glicol (negativo), desestabilizando o complexo que mantém a prata em sua forma coloidal, portanto a prata fica exposta.

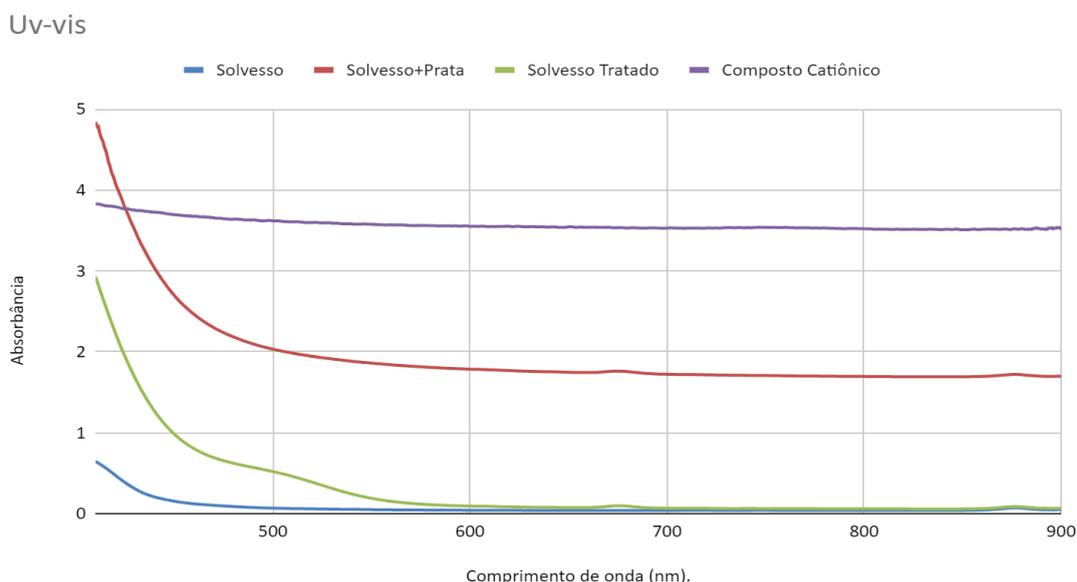
1) Se a prata estiver em sua forma de cátion na solução ( $\text{Ag}^+$ ) agora livre de seu solvente orgânico, ela tenderá a precipitar na forma de sal ou reagirá com a luz e vai reduzir a prata metálica.

2) Se a prata estiver já em sua forma metálica mantida em suspensão via interação com solvente orgânico, agora que este solvente não tem mais a capacidade de interagir com a prata, a mesma está livre para precipitar devido a sua insolubilidade no meio.

Mais estudos são necessários para entender a forma na qual a prata se encontra na pasta e definir o mecanismo pela qual a mesma precipita. Esse denso aglomerado tende a ir para o fundo do recipiente com maior facilidade.

Foi feita uma espectrofotometria com o equipamento UV-VIS com uma varredura de 400 a 900nm de comprimento de onda, para as 4 composições estudadas: Solvesso, Solvesso+Prata (efluente), Solvesso Tratado e o Composto Catiônico. Como é possível observar nos espectros da Figura 11, o Solvesso restaurado apresentou características similares ao Solvesso virgem.

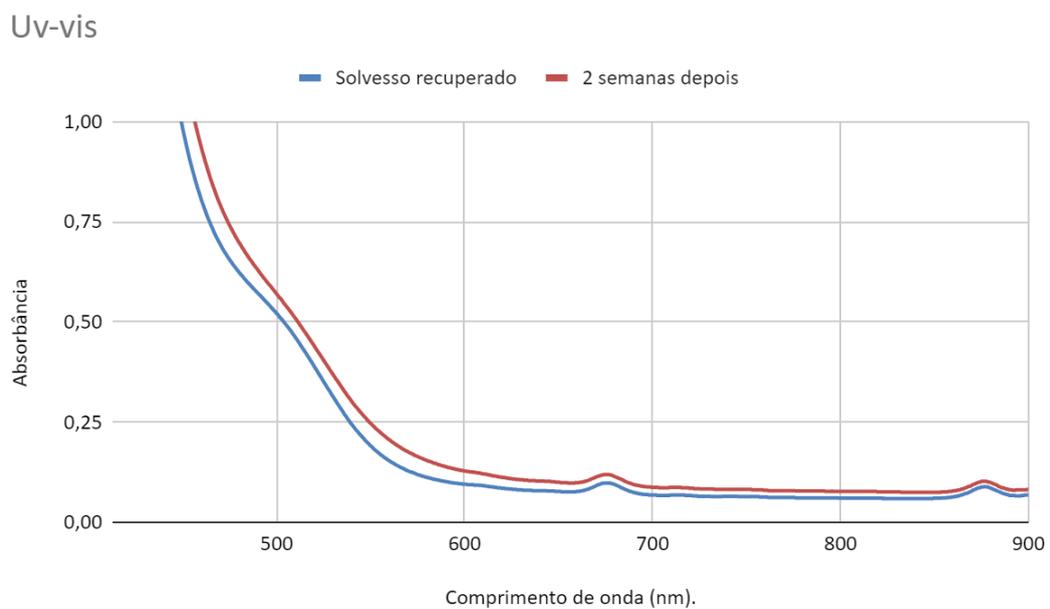
Figura 11: Espectro de absorvância dos componentes em análise.



A característica do Solvente tratado que se difere do limpo no comprimento de 600 nm, se deve a questão da oxidação do produto, propriedade comum do Solvesso.

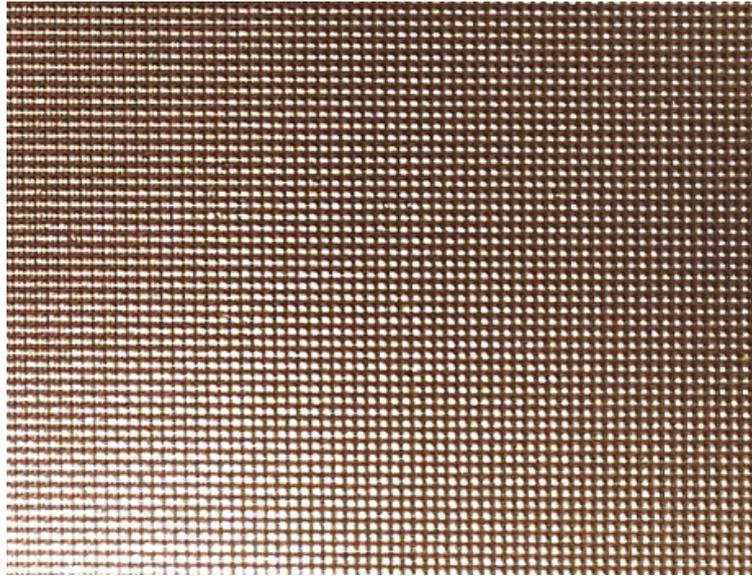
Para comprovar a oxidação, a substância do solvente puro foi deixada mais tempo de repouso e depois medida novamente, para que fosse possível ver o mesmo deslocamento da curva de forma mais acentuada, conforme Figura 12.

Figura 12: Espectrometria de absorvância dos componentes em análise.



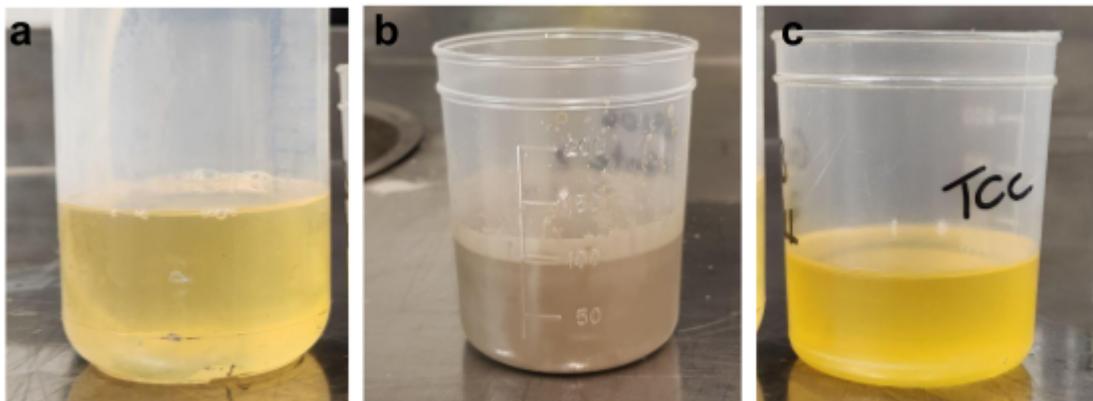
Para comprovar a eficácia do processo de limpeza da tela de serigrafia, foi utilizado uma câmera com aumento de 500x para verificar a desobstrução do material. Para manter o padrão de verificação da limpeza, foi utilizado o mesmo método. A Figura 13 mostra a tela após a limpeza.

Figura 13: Mesh da tela após a limpeza



Nenhuma diferença foi notada entre o solvente limpo, utilizado usualmente pela Sunew, pelo solvente recuperado. Visualmente verificado nas imagens da Figura 14.

Figura 14: Comparação visual, respectivamente, entre o Solvesso virgem (a), Efluente (b) e Solvesso tratado (c).



## 5. CONCLUSÕES

Diante das análises conduzidas ao longo deste estudo, desde a etapa de limpeza da tela de serigrafia até o processo de restauração do solvente, os resultados obtidos revelaram que o processo foi eficiente e atendeu às expectativas.

Os testes realizados, com destaque para a espectrofotometria de absorvância, forneceram dados importantes para o desfecho do trabalho. Ao analisar a estrutura

química do Solvesso após o uso no polímero catiônico 35E, concluiu-se que não houve alteração química significativa, além disso, a prata foi extraída em quantidades consideráveis, o que possibilita a reutilização desse solvente para as etapas futuras de limpeza do tambor.

Dessa forma, os resultados obtidos corroboram a eficácia da solução proposta, oferecendo uma base sólida para a consideração de sua implementação em escala industrial, ponto que pode ser estudado em trabalhos futuros. Além disso, também é possível analisar a concentração de prata na solução restaurada, para possível separação visando uma produção de receita alternativa.

As descobertas deste trabalho, colaboram para entendimento mais profundo da interação entre os solventes orgânicos e produtos destinados a tratamento de água, com potencial em diversas áreas para o tratamento de resíduos industriais.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALFOUR, John. **Introdução ao Projeto de Sistemas Fotovoltaicos**. Grupo GEN, 2016.

BELMIRO, A. Serigrafia ( Silk-Screen). Rio de Janeiro: Ediouro -1979

BERNÈDE, J.C. Organic photovoltaic cells: history, principle and techniques, **Journal of the Chilean Chemical Society**, n. 3, p. 1549-1564, 2008. Disponível em:

[https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-97072008000300001&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-97072008000300001&script=sci_arttext).

Acesso em: 11 de outubro de. 2023.

BEVERIDGE, T. **Centrifugação em larga escala**, p. 320, 2000. Disponível em [https://www.thevespiary.org/library/Files\\_Uploaded\\_by\\_Users/Sedit/Chemical%20Analysis/Encyclopedia%20of%20Separation%20Science/Level%20II%20-%20Methods%20and%20Instrumentation/CENTRIFUGATION/Large-Scale%20Centrifugation.pdf](https://www.thevespiary.org/library/Files_Uploaded_by_Users/Sedit/Chemical%20Analysis/Encyclopedia%20of%20Separation%20Science/Level%20II%20-%20Methods%20and%20Instrumentation/CENTRIFUGATION/Large-Scale%20Centrifugation.pdf).

Acesso em: 08 de novembro de 2023.

BRASIL. NR 25, **Resíduos Industriais** de 08 de junho de 1978. Portaria MTb n.º 3.214, 05 de dezembro de 2022.

BRASIL. ABNT NBR 10004 **Resíduos Sólidos** – Classificação, de 30 de novembro de 2004.

BRATBY, John. **Coagulação e floculação no tratamento de água e esgoto**. 3. ed. IWA Publishing, p. 4 2016.

**Curso de serigrafia completo.** Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/43435031/Curso-de-Serigrafia-Completo>. Acesso em: 07 de novembro de 2023.

DUARTE DE SOUZA, G. et al. **Prata: Breve histórico, propriedades e aplicações**. Educación química, v. 24, n. 1, p. 14–16, 2013.

DELMONICO, Eduardo Luiz; CONSTANTINO, Arcioni Ferrari; CARNEIRO, Charles. **Uso de polímeros catiônicos e aniônicos como produtos auxiliares no tratamento de água**, 2020. Disponível em <https://www.revistamosaicosaebrazil.com.br/index.php/EGS/article/view/48/32>. Acesso em: 07 de novembro de 2023.

ELY, F.; SWART. **Energia solar fotovoltaica de terceira geração**. IEEE, out. 2014.

**Entenda o que é serigrafia, como é o processo de impressão + obras de artistas**. LAART, 2019. Disponível em: <https://laart.art.br/blog/o-que-e-serigrafia/> Acesso em: 8 de novembro de 2023.

**Ficha de informação de segurança de produto químico FISPQ**. Solvesso 200 FLUID. Disponível em: <https://silo.tips/download/ficha-de-informacoes-de-segurana-de-produtos-quimicos-13> Acesso em: 02 de novembro de 2023.

FERREIRA, Fabiana da Gama. **Princípios básicos de eletromagnetismo e termodinâmica**. 1. ed. Curitiba: Intersaberes, 2019.

GOUDJIL, Sarah, et al. **Efeitos de parâmetros reacionais na eliminação de “Congo Red” por combinação de coagulação-floculação com sulfato de alumínio**. Janeiro, 2020. Disponível em: [https://www.deswater.com/DWT\\_articles/vol\\_209\\_papers/209\\_2021\\_429.pdf](https://www.deswater.com/DWT_articles/vol_209_papers/209_2021_429.pdf). Acesso em: 02 de novembro de 2023.

GRANDELL, L.; THORENZ, A. **Silver supply risk analysis for the solar sector**. Renewable Energy, set. 2014. v. 69, p. 157–165.

**Incineração de resíduos: quais os cuidados e riscos no processo?**. Silcon, 2020. Disponível em: <https://silcon.com.br/incineracao-de-residuos-quais-os-cuidados-e-riscos-no-processo/#:~:text=Contudo%2C%20%20%20preciso%20lembrar%20que,a%20queima%20deve%20ser%20controlada>. Acesso em: 02 de novembro de 2023.

GREEN, M. A. et al. Solar cell efficiency tables (Version 38). **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, v. 19, p. 565–572, 2011

GUITARRARA, Paloma. **Indústria**. Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/tipos-industrias.htm>. Acesso em 29 set. 2023.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 2. Ed. Campinas: São Paulo, 2008.

LIMA, L.M.Q., 1995, **Lixo Tratamento e Biorremediação**. 3a ed. Hemus. São Paulo.

MACEDO, J.A.B. **Águas & águas**. São Paulo: Livraria Varela, 2001

MACIEL, Eugênio Bastos. **Metodologia de ensino de física: reflexões e práticas**. 1. ed. Curitiba: Intersaberes, 2022.

MENESES, M. F. S. **Estudo da exposição ocupacional à mistura de solventes orgânicos e dos efeitos para a saúde – Estudo de caso numa Indústria Química Portuguesa**. 2018. 143 f. – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2018. Disponível em:

<https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/10197/1/Disserta%c3%a7%c3%a3o.pdf>.

Acesso em: 08 de novembro de 2023

NEWMAN, Philip. *et al.* **Metals Focus World Silver Survey 2017**. The Silver Institute e Thomson Reuters, Washington, mai. 2017. Disponível em: <https://www.silverinstitute.org/WSS2017.pdf>. Acesso em 18 de outubro de 2023.

PERKAMPUS, Heinz H. **Espectrofotometria de UV VIS e suas aplicações**, Springer 1992, p. 12, 2000.

POULTON, Mary M. *et al.* **State of the World's Nonfuel Mineral Resources: Supply, Demand, and Socio-Institutional Fundamentals**. Annual Reviews, [S. l.], v. 38:345-371, p. 10, 7 ago. 2013. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev-environ-022310-094734>

Acesso em: 13 de setembro de 2023.

QUIRINO, Daiana, et al. **Avaliação da perda de tempo de aquecimento em secagem a 105°C para estimação em matéria seca de ração animal em laboratório**, p. 2, janeiro, 2023. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/30923/1/texto%20completo.pdf>.

Acesso em: 09 de novembro de 2023.

Regulação Econômica e Governança Regulatória (Brasil). Agência Nacional de Mineração (ANM) *et al.* **Anuário mineral brasileiro 2022: Principais substâncias metálicas**. Anuário mineral brasileiro, [S. l.], n. 1, p. 8, 1 jan. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/PreviaAMB2022.pdf>.

Acesso em: 11 de setembro de 2023.

RICHARDSON. J.F et al. CONSTANTINO, **Engenharia Química**. 5. ed. Elsevier, p 251 2002. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5464081/mod\\_book/chapter/23386/Particle%20Technology%20and%20Separation%20Processes%20-%20Richardson-Harker-Backhurst.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5464081/mod_book/chapter/23386/Particle%20Technology%20and%20Separation%20Processes%20-%20Richardson-Harker-Backhurst.pdf). Acesso em: 07 de novembro de 2023.

RICHTER, C.A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. Ed. Edgard Blücher: São Paulo, 2008.

SANZ, V. et al. **Influência da Serigrafia sobre a Variação de Tonalidade de Revestimentos Cerâmicos**. Disponível em: <<https://host-article-assets.s3.amazonaws.com/ci/587657027f8c9d6e028b460a/fulltext.pdf>>. Acesso em: 5 de novembro de 2023.

SIQUEIRA, A. **Resíduos sólidos: da classificação à disposição final**. Revista Fármacos & Medicamentos. Editorial Racine. Jan/fev 2001; 10 – 16.

SOUSA, Nelson M; OLIVEIRA, Clóvis B; CUNHA, Darliane. Photovoltaic electronic waste in Brazil: **Circular economy challenges, potential and obstacles**. Social Sciences & Humanities Open Volume 7, n. 1, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S259029112300061X>. Acesso em: 10 de outubro de 2023.

STRACHALA, Dávid *et al.* **Methods for recycling photovoltaic modules and their impact on environment and raw material extraction**. Acta Montanistica Slovaca, n. 3, p. 257-269, 2017. Disponível em:

<https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/187727/4strachala.pdf?sequence=1>.

Acesso em: 02 de outubro de 2023.

SMALLWOOD, Ian M. **Guia de mão de recuperação de solvente**. 2. ed. Blackwell Science, p. 3, 2002.

TELLES, Dirceu Dalkmin; MONGELLI NETTO, João (org.). **Física com aplicação tecnológica eletrostática, eletricidade, eletromagnetismo e fenômenos de superfície**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2016.

VIEGAS, S. **Occupational exposure to volatile organic compounds in the Portuguese printing industry**. WIT Transactions on Environmental Health and Biomedicine. Wessex: WIT Press, v. 15 p. 233-239, 2011. DOI: 10.2495/EHR110211.

Disponível em:

<https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-biomedicine-and-health/15>

Acesso em: 8 de novembro de 2023

ZILLES, Roberto et al. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. São Paulo: Oficina de texto, 2012.