

## Recycling chemical waste in the manufacture of printed circuit boards: report of an academic research project (Program of Scientific Initiation Voluntary)

## Reciclagem de resíduos químicos na fabricação de placas de circuito impresso: relato de um projeto de pesquisa acadêmico (Programa de Iniciação Científica Voluntária)

Article Info:

Article history: Received 2020-08-15 / Accepted 2020-11-26 / Available online 2021-10-13

doi: 10.18540/jcecv17iss4pp12902-01-13e

**Máira de Paula Nunes**

Universidade Federal de Viçosa, UFV, Brasil

E-mail: [mairadepaula.nunes@gmail.com](mailto:mairadepaula.nunes@gmail.com)

**Antonio Marcos de Oliveira Siqueira**

<http://orcid.org/0000-0001-9334-0394>

Universidade Federal de Viçosa, UFV, Brasil

E-mail: [antonio.siqueira@ufv.br](mailto:antonio.siqueira@ufv.br)

### Resumo

Propõe-se neste artigo um método de recuperação de uma solução de cloreto férrico, que, após uso constante para corrosão de placas de circuito impresso, produz uma solução corrosiva contendo cobre. Esse processo de corrosão de placas é bastante comum na área da eletrônica, sendo realizado nos laboratórios e no ambiente doméstico, em decorrência disso, é descartado inadequadamente na rede de esgoto. O estudante de engenharia tem em vista o método mais eficaz, porém, o que menos impacta no meio ambiente ao estudar um processo. Assim, este estudo proporciona um crescimento profissional do graduando de engenharia ao reciclar a solução de cloreto férrico, que o descarte inapropriado danifica o sistema de esgoto e gera prejuízos à saúde humana e ao meio ambiente, e reduziria gastos na instituição, onde a solução é usada nos laboratórios do Departamento de Engenharia Elétrica e seria tratada por uma empresa terceirizada ao fim de sua vida útil. Ao apresentar três métodos de recuperação, o projeto estuda qual método é o mais eficiente e oferece menos riscos ao operador, visto que esses métodos são realizados, também, em ambiente doméstico. Os testes realizados com as soluções recuperadas a partir dos métodos apresentados permitem a comparação e o entendimento da importância de cada etapa dos processos de recuperação, desse modo, é possível propor um novo método sintetizando as etapas dos outros processos que realmente importam na reciclagem da solução e que permita a recuperação do cobre em solução para outros estudos, como agregar valor a esse resíduo, possivelmente aumentando a vida útil da solução reciclada. O novo método pode ser realizado em ambiente doméstico, pois utiliza materiais de fácil acesso e não oferecem grandes riscos aos operadores. No laboratório, utilizando materiais com um nível de pureza maior e em altas concentrações, é possível obter uma corrosão mais eficiente e absorver a produção de solução desgastada de perclorato dos laboratórios do Departamento de Engenharia Elétrica da instituição.

**Palavras-chave:** Cloreto férrico. Corrosão. Circuito Impresso.

### Abstract

This article proposes a method of recovering a ferric chloride solution, which, after constant use for corrosion of printed circuit boards, produces a corrosive solution containing copper. This process of plate corrosion is quite common in the electronics area, being carried out in laboratories and in the domestic environment, as a result, it is improperly disposed of in the sewage system. The engineering student aims at the most effective method, however, which has the least impact on the

environment when studying a process. Thus, this study provides a professional growth of engineering undergraduates by recycling the ferric chloride solution, which inappropriate disposal damages the sewage system and causes harm to human health and the environment, and would reduce expenses in the institution, where the solution is used in the laboratories of the Electrical Engineering Department and would be handled by a third party at the end of its useful life. By presenting three recovery methods, the project studies which method is the most efficient and offers the least risk to the operator, since these methods are also carried out in a domestic environment. The tests performed with the solutions recovered from the methods presented allow the comparison and understanding of the importance of each step of the recovery processes, thus, it is possible to propose a new method synthesizing the steps of the other processes that really matter in the recycling of the solution and that allows the recovery of copper in solution for further studies, how to add value to this residue, possibly increasing the useful life of the recycled solution. The new method can be performed in a domestic environment, as it uses easily accessible materials and does not pose great risks to operators. In the laboratory, using materials with a higher level of purity and in high concentrations, it is possible to obtain a more efficient corrosion and absorb the production of spent perchloride solution from the laboratories of the Institution's Electrical Engineering Department.

**Keywords:** Ferric chloride (Trichloroiron). Corrosion. Printed circuit.

## 1. Introdução

O circuito impresso é uma placa de materiais plásticos e fibrosos com trilhas metálicas, como o cobre, que conduzem a corrente elétrica. Assim, viabiliza o funcionamento de peças e sistemas de componentes eletrônicos (Daquino, 2012). Assim, essas placas otimizam o espaço e facilitam a ligação dos componentes, o que as tornaram comuns na área da eletrônica (Mehl, 2013). Seu processo de produção foi realizado em laboratório e consiste em uma placa virgem coberta com uma camada de cobre metálico, essa placa é recoberta com uma película fina de óleo de modo que o cobre não entre em contato com o ar e ocorra uma oxidação. Primeiramente, as trilhas do circuito são impressas em uma folha de papel podendo ser com uma impressora a laser. Antes de aplicar a imagem do circuito na placa, é realizada a limpeza do óleo com uma palha de aço e álcool isopropílico, podendo ser outro álcool como o utilizado no ambiente doméstico, tendo devido cuidado para não remover a camada de cobre (Figura 1).



Figura 1: Placa de cobre sem a camada de óleo

Logo, o papel é aplicado na placa por meio de aquecimento e depois é lavado com água restando apenas as trilhas impressas. Com auxílio de um agitador (Figura 2), a placa de circuito entre em contato com uma solução corrosiva de cloreto férrico que irá oxidar todo o cobre que estiver exposto restando assim somente as trilhas. Assim, ao remover a trilha em papel, tem-se a trilha de cobre.



Figura 2: Agitador do Laboratório de Engenharia Elétrica – UFV.

Após vários processos de corrosão, a solução perde sua eficiência, ou seja, torna-se desgastada. Quando descartado inadequadamente, a solução desgastada de cloreto férrico danifica o sistema de esgoto ao entrar em contato com sua estrutura metálica e afeta o funcionamento de estações de tratamento devido a interação com os fungos que atuam no tratamento biológico do esgoto (Silveira, 2013). De acordo com a empresa Politécnica Química Ltda, no ambiente, o cloreto férrico causa desequilíbrio do pH da água, alterando a fauna local e em contato com o solo ocorre a queima da flora local devido a sua acidez, na saúde humana, o contato com os vapores são irritantes aos olhos, nariz e boca, com a solução é irritante para a pele e a ingestão pode causar vômitos, diarreia, dores abdominais e pulsação fraca ou baixa.

Na Universidade Federal de Viçosa (UFV), são produzidas placas de circuito impresso usando o método da corrosão por cloreto férrico nos Laboratórios de Engenharia Elétrica. As placas são produzidas por alunos de graduação em Engenharia Elétrica durante as aulas práticas com fins exclusivamente didáticos. As práticas produzem por volta de 200 mL por mês de solução desgastada de cloreto férrico que são armazenadas em galões de plástico (Figura 3).



Figura 3: Galão com solução de cloreto férrico desgastada.

Os galões seguem para o Departamento de Química (UFV), onde recebem o mesmo destino de outros resíduos dos laboratórios do próprio departamento. Os resíduos são armazenados em um coletor e, depois de acumulado, são recolhidos por uma empresa de São Paulo contratada pela UFV para dar destino a esse descarte.

## 2. Objetivos e Justificativas

O graduando em Engenharia deve ser preparado para proporcionar o equilíbrio entre a produtividade e o meio ambiente. Os projetos pedagógicos dos cursos de Engenharia devem levar em conta a pesquisa tecnológica, visando a redução dos impactos ambientais causados pelas atividades de engenharia (Pereira, 2005). Assim, esse projeto possibilitou o crescimento profissional do graduando, que, ao reciclar e estudar a reciclagem, gera menos custos, menos rejeitos e menos impactos no ambiente. Como foi mencionado anteriormente, na UFV, o trabalho de tratamento de resíduos de atividades ficou a cargo de uma empresa privada, gerando mais gastos à instituição. Logo, além de contribuir para a formação profissional dos alunos, projetos como esses poderiam representar redução de gastos dentro da própria instituição, de modo que recursos poderiam ser reaproveitados em outros investimentos, como equipamentos de laboratório, etc.

## 3. Metodologia

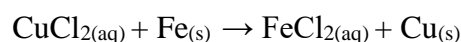
### 3.1. Experimento I

#### Materiais:

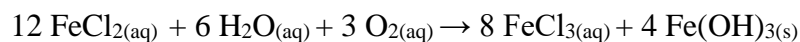
- 2 Béqueres;
- 1 bastão de vidro;
- 1 funil de vidro;
- Papel filtro;
- 3 unidades de palha de aço ou ferro metálico;
- Solução desgastada de percloroato de ferro;

#### Justificativa:

O cloreto de cobre II é tóxico, porém na presença de ferro metálico é reduzido formando cobre metálico.



A solução de cloreto de ferro II deverá ser oxidada para cloreto de ferro III na presença de oxigênio que pode ser o ar atmosférico.



#### Procedimento:

Ao adicionar ferro metálico ou palha de aço, preferencialmente da marca Bombril (algumas palhas de aço não possuem ferro em sua composição) em um béquer contendo 100mL de solução desgastada de percloroato de ferro, produz-se cobre metálico que irá se depositar no fundo do recipiente.

Com ajuda de um bastão de vidro, mistura-se a solução com a palha de modo a acelerar a reação (Figura 4) até que a solução pare de consumir a palha (Figura 5), nesse ponto é observado um ligeiro aumento da temperatura da solução.

Após a reação, o cobre será filtrado duas vezes utilizando um funil de vidro e um filtro de papel (Figura 6) obtendo-se a solução de coloração verde clara sem cobre em um novo béquer e o cobre metálico que poderá ser guardado para outros estudos de recuperação (Figura 7).

Depois de separado o cobre, a solução de cloreto de ferro II será oxidada a cloreto de ferro III na presença de oxigênio que pode ser o ar atmosférico. Para tal, basta colocar a solução em um recipiente de plástico de grandes dimensões de modo que uma área maior da solução entre em contato com o ar atmosférico por um dia. Obteve-se uma solução de coloração amarela ao final do procedimento (Figura 8).

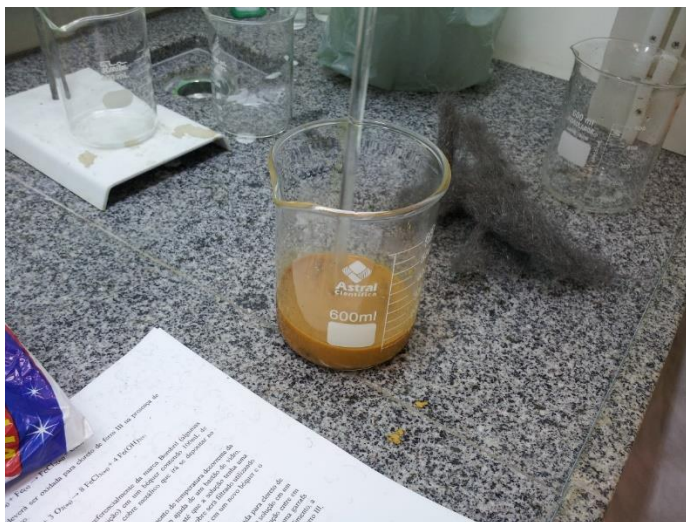


Figura 4: Adição de palha de aço em solução



Figura 5: Palha de aço não consumida pela solução





Figura 6: 1ª Filtração da solução

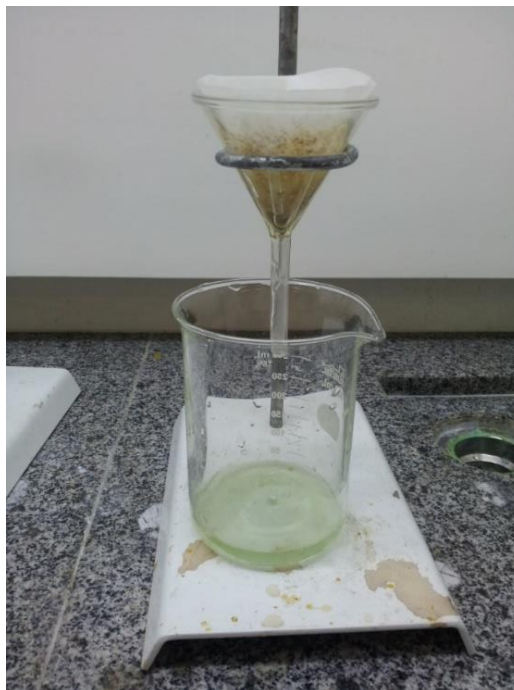


Figura 7: 2ª Filtração da Solução



Figura 9: Cobre retido no filtro de papel e Solução Final

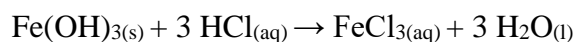
### 3.2. Experimento II

#### Materiais:

- Solução do experimento I;
- Solução aquosa de ácido clorídrico;
- 1 béquer;
- Balança semianalítica;
- 1 espátula de plástico;
- 1 bastão de vidro.

#### Justificativa:

Após o experimento I, observa-se a formação de um corpo de fundo de aparência argilosa, hidróxido de ferro III. O ácido clorídrico dissolve esse corpo de fundo e fornece o cloro necessário para a formação do cloreto férrico.



#### Procedimento:

Adiciona-se a solução aquosa de ácido clorídrico à solução obtida no experimento I. Com auxílio de um bastão de vidro, dissolve-se a massa depositada no fundo do recipiente. Observa-se que após o repouso, forma-se novamente o corpo de fundo que é dissolvido novamente com o bastão ou a agitação manual.

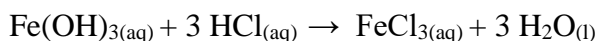
### 3.3 Experimento III

#### Materiais:

- Solução de percloroato de ferro desgastada;
- Solução aquosa de ácido clorídrico;
- Peróxido de hidrogênio;
- 1 béquer;
- 1 bastão de vidro;
- pHmetro.

#### Justificativa:

Em presença de ácido clorídrico, o hidróxido de ferro III, tanto em solução como precipitado, forma cloreto de ferro III.



Com o abaixamento do pH, a água oxigenada oxida o cloreto de ferro II para cloreto de ferro III.



#### Procedimento:

Em um béquer contendo solução desgastada, é medido o pH da solução que esperasse ser baixo na faixa de. Em seguida, adiciona-se ácido clorídrico (Figura 10) e, depois de observada a diminuição do pH, adiciona-se peróxido de hidrogênio.

Com ajuda do bastão de vidro, a solução é homogeneizada e, observada a mudança da coloração, coloca-se a solução em repouso para que a água produzida evapore e aumente a concentração de cloreto férrico em solução. Essas reações ocorrem rapidamente, gerando um grande aumento de temperatura.



Figura 10: Adição de ácido clorídrico na solução desgastada





Figura 11: Adição de peróxido de hidrogênio e monitoramento do pH

#### 4. Resultados

Após a recuperação da solução por meio dos três experimentos propostos, foi realizado alguns testes para estudar melhor os resultados obtidos. Primeiramente, foi observado o tempo de corrosão de cada solução. Utilizando placas de cobre com dimensões iguais (Figura 12) e as soluções à 60°C (Figura 13) acompanhadas de agitação manual, foi cronometrado o tempo de corrosão para cada solução incluindo a solução original preparada em laboratório. Foi observado que o experimento I e II não foram eficazes (Figura 14), visto que houve uma corrosão superficial da camada de cobre, indicando o esgotamento do ferro III em solução.

O experimento III se mostrou muito eficaz levando cerca de 29 minutos para correr uma placa, o que é um tempo bom em relação aos 15 minutos que a solução original levou para corroer (Figura 15). Foi realizado, também, a medição do pH das soluções com auxílio de um pHmetro e os resultados foram exibidos na Tabela 1.

Para observar as concentrações de ferro e cobre nas soluções foi utilizado os métodos de espectrometria por absorção atômica e espectrofotometria. De acordo com The Linde Group, o método da espectrometria por absorção atômica consiste no conceito de que os átomos livres podem absorver a luz a um certo comprimento de onda específico para cada elemento, no caso do experimento determinou-se a quantidade de ferro e cobre em solução (Tabela 2).

Na espectrometria, ocorre a determinação de compostos corados (cromóforo) resultante da reação da espécie a ser analisada e o reagente (reagente cromogênico), originando um composto corado, assim esse composto pode ser identificado por seus espectros característicos ao ultravioleta, visível e infravermelho, no caso da determinação, foi usado fenantrolina e um agente redutor que reduzia o ferro III em ferro II, assim, pela diferença de concentrações determinou-se a quantidade de cada espécie de ferro (Tabela 3), o que não foi possível discriminar na absorção atômica.



Figura 12: Placa revestida de cobre



Figura 13: Chapa de Aquecimento – soluções à 60° C



Figura 14: Corrosão ineficaz do experimento II, mesmo resultado da corrosão do experimento I



Figura 15: Comparação entre a corrosão com a solução original e a solução do experimento III

Solução	pH
Solução Original	0,73
Solução Desgastada	1,86
Solução Exp. I	1,25
Solução Exp. II	1,86
Solução Exp. III	- (Abaixo da faixa de leitura – muito ácido)

Tabela 1: Medidas de pH das soluções

Soluções Diluídas de um mesmo fator	[Fe] mg/L	[Cu] mg/L
Solução Original	7,884	0,069
Solução Desgastada	5,186	2,448
Solução Exp. I	14,88	0,030
Solução Exp. II	17,86	0,018
Solução Exp. III	1,516	0,951

Tabela 2: Concentrações de ferro e cobre nas soluções diluídas

<b>Soluções Diluídas de um mesmo fator</b>	<b>[Fe<sup>2+</sup>] mg/L</b>	<b>[Fe<sup>3+</sup>] mg/L</b>
<b>Solução Original</b>	5,77	741,12
<b>Solução Desgastada</b>	167,57	198,82
<b>Solução Exp. I</b>	1.670,95	132,59
<b>Solução Exp. II</b>	114,78	51,48
<b>Solução Exp. III</b>	0,089	149,7

Tabela 3: Concentrações de ferro II e ferro III nas soluções diluídas

## 5. Discussão e Conclusão

Os resultados de número 3 e 4 obtidos na Tabela 2 e o número 3 na Tabela 3 não correspondem com a realidade, visto que as soluções antes das diluições possuem precipitado que acidentalmente acabou sendo transferido e diluído nas diluições provocando resultados absurdos. Esses resultados, porém, não comprometem a interpretação dos dados. Com base nos resultados das análises, observa-se que a oxidação promovida pelo ar atmosférico nos experimentos I e II é ineficaz, visto que o experimento III praticamente todo o ferro se encontra na forma de ferro III. Logo, conclui-se que a oxidação pelo ar atmosférico é bastante superficial e a água oxigenada exerce melhor o papel de oxidante do ferro. Observando a quantidade de ferro III na solução original e a solução do experimento III, percebe-se que a quantidade é bem inferior o que indica que o peróxido de hidrogênio em excesso e em alta concentração colabora diretamente para a corrosão da placa, outro fato que justifica a concentração menor é o fato da reação do peróxido produz água o que diminui a concentração da solução.

O experimento I e II apresentaram menor quantidade de cobre, o que era esperado visto que o cobre em solução foi precipitado em uma reação de oxirredução com o ferro sólido da palha de aço. O procedimento de retirada do cobre da solução é vantajoso, levando-se em conta o conceito de equilíbrio, o cobre em altas concentrações na solução desfavoreceria a reação de corrosão das placas, visto que esta aumenta a concentração de cobre na solução e o equilíbrio tende-se a se deslocar no sentido contrário desfavorecendo a reação. Outra vantagem é que esse cobre pode ser usado em outros estudos visando o seu beneficiamento.

Assim, é possível formular um novo método de recuperação levando-se em conta os resultados obtidos. O novo método consiste em realizar a recuperação do cobre, como realizada no experimento I e, após a filtração, adicionar à solução aquosa de ácido clorídrico e peróxido de hidrogênio como no experimento III. Desse modo, será possível a corrosão efetiva da placa de cobre por um tempo maior de utilização.

Após os estudos realizados, verificou-se que o experimento III é o mais eficaz em corrosão de placas. As análises realizadas permitiram a elaboração de um novo método que seria a complementação do experimento III, aumentando sua vida útil. Esses métodos podem atender a demanda dos Laboratórios de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Viçosa bem como no ambiente doméstico, porém utilizando quantidades maiores de reagentes com menores concentrações. Outro ponto que também foi contemplado pelo projeto, foi o crescimento profissional do aluno, logo no início da graduação, ao ter contato com métodos de preparação de soluções e diluições, espectrometria de absorção atômica e espectrofotometria.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio por parte da Universidade Federal de Viçosa (UFV). O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

## Referências

- DAQUINO, F. Como as placas de circuito impresso são produzidas. *TECMUNDO*, Viçosa, MG, v. 27, n. 6, p. 855-869, janeiro. 2012. Disponível em: <<http://www.tecmundo.com.br/pdf/18501-como-as-placas-de-circuito-impresso-sao-produzidas.pdf>>. Acesso em: 09 de julho de 2014.
- Espectrofotometria de Emissão. Disponível em: <[http://hiq.lindgas.com.br/international/web/ig/br/like35lgspgbr.nsf/docbyalias/anal\\_emis](http://hiq.lindgas.com.br/international/web/ig/br/like35lgspgbr.nsf/docbyalias/anal_emis)>. Acesso em: 13 de agosto de 2018.
- Espectrofotometria. Disponível em: <[http://www.ufrgs.br/leo/site\\_espec/index.html](http://www.ufrgs.br/leo/site_espec/index.html)>. Acesso em: 13 de agosto de 2019.
- FICHA de Informações de Segurança de Produto Químico. POOLTÉCNICA QUÍMICA LTDA.
- MEHL, E.L.M. Conceitos Fundamentais Sobre Placas de Circuito Impresso. Disponível em: <[http://www.eletrica.ufpr.br/mehl/te232/textos/PCI\\_Conceitos\\_fundamentais.pdf](http://www.eletrica.ufpr.br/mehl/te232/textos/PCI_Conceitos_fundamentais.pdf)> Acesso em: 09 de julho de 2020.
- PEREIRA, N.C.; MIRANDA, L.F.; MUNHOZ, A. H.; GAUBER, I.; CARRIÓ, J.A.G. Motivação dos Alunos de Engenharia para a Reciclagem de Materiais. In: COBENGE, 33, 2005, Campina Grande.
- Recuperando Percloroeto de Ferro. Disponível em: <<http://www.handmades.com.br/forum/index.php?PHPSESSID=2b117ev9b4gqmnqu574j4sd062&topic=1192.0>> Acesso em: 17 de fevereiro de 2020.
- SILVEIRA, R.L.; DIAS, T.A.; RODRIGUES, T. V.; BELO, E.M.; BARBOSA, H.C.S. Reciclagem de Percloroeto de Ferro. In: COBENGE, 41, 2013, Gramado.