

## EXTRAÇÃO DE ÍNDIO DE TELAS DE LCD\*

Gabrielle Luana Jimenez<sup>1</sup>  
Viviane Tavares de Moraes<sup>2</sup>  
Jorge Alberto Soares<sup>3</sup>  
Denise Croce Romano Espinosa<sup>4</sup>

### Resumo

Aparelhos eletroeletrônicos como computadores e televisões são constituídos por telas de cristal líquido, que ao se tornarem obsoletos são classificados como resíduos, e dispostos em aterros sanitários. Entretanto, na composição das telas de cristal líquido há metais de valor agregado, como o índio (In). Com a fundamentação no processo de reciclagem de telas de LCD, este estudo propõe a recuperação e quantificação desse metal que é encontrado na forma de ITO (óxido de índio e estanho). Para tal feito, foram empregadas rotas hidrometalúrgicas, tendo como principal etapa a lixiviação. Como parâmetros de controle, os ensaios de extração sólido-líquido foram realizados em temperaturas que variam de 50 a 80°C. Com isso, foi obtido resultado de extração do índio em cerca de 60% em massa, nas condições de 60°C e após 4 horas de lixiviação.

**Palavras-chave:** Liquid crystal display; Índio; Extração.

### INDIUM EXTRACTION FROM LCD SCREENS

### Abstract

Electro electronic devices such as computers and televisions are made up of liquid crystal displays, which by becoming obsolete are classified as waste and disposed in landfills. However, the composition of the liquid crystal displays contents value metals such as indium (In). With the statement on the LCD screens and its recycling process, this study proposes to recovery and quantification of the metal that is found in the form of ITO (indium tin oxide). For this goal, hydrometallurgical routes were employed, with the main stage leaching. As control parameters, the solid-liquid extraction tests were performed at temperatures ranging from 50 to 80°C. Thus was obtained indium extraction results in about 60% by weight, under conditions of 60°C and after 4 hours of leaching.

**Keywords:** Liquid crystal display; Indium; Extraction.

<sup>1</sup> *Graduanda em Processos Ambientais, da Faculdade de Tecnologia Ambiental SENAI Mario Amato, São Bernardo do Campo, São Paulo, Brasil.*

<sup>2</sup> *Engenheira Ambiental, Doutora em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Departamento de Engenharia Química, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, Brasil.*

<sup>3</sup> *Engenheiro Metalurgista, Doutor em Engenharia Metalúrgica, Professor Titular, Departamento de Engenharia Química, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, Brasil.*

<sup>4</sup> *Engenheira Metalurgista, Doutora em Engenharia Metalúrgica, Departamento de Engenharia Química, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.*

## 1. INTRODUÇÃO

O setor de tecnologia de desenvolvimento de equipamentos eletroeletrônicos (EEE) é o mais crescente no mundo. O alto índice de inovação nesta área incentiva a troca de tais aparelhos, mesmo que ainda não sejam obsoletos. Devido a isso, o desenvolvimento sustentável é comprometido com o alto índice de geração de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos. Os principais REEE são provenientes de aparelhos televisores, computadores, telefones celulares e eletrodomésticos. Sendo assim, a lei de nº: 13.576 de 06 de julho de 2008 do estado de São Paulo considera que resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) sejam aparelhos eletrodomésticos e componentes de uso doméstico, industrial, comercial ou no setor de serviços que estejam em desuso sujeitos à disposição final como: componentes e periféricos de computadores; monitores e televisores; acumuladores de energia (baterias e pilhas) e produtos magnetizados. Desse modo, podem-se avaliar as possibilidades de tratamento de resíduos, como os eletroeletrônicos, reaproveitando-os em novos produtos. De acordo com o relatório de 2015 do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), anualmente são geradas 41 milhões de toneladas de resíduos eletroeletrônicos, como computadores e telefones celulares. É estimado que até 2017 sejam geradas 50 milhões de toneladas de REEE. Para quantificar precisamente a composição de cada resíduo de equipamentos eletroeletrônicos é necessário identificar o equipamento, para isso tem-se a Tabela 1:

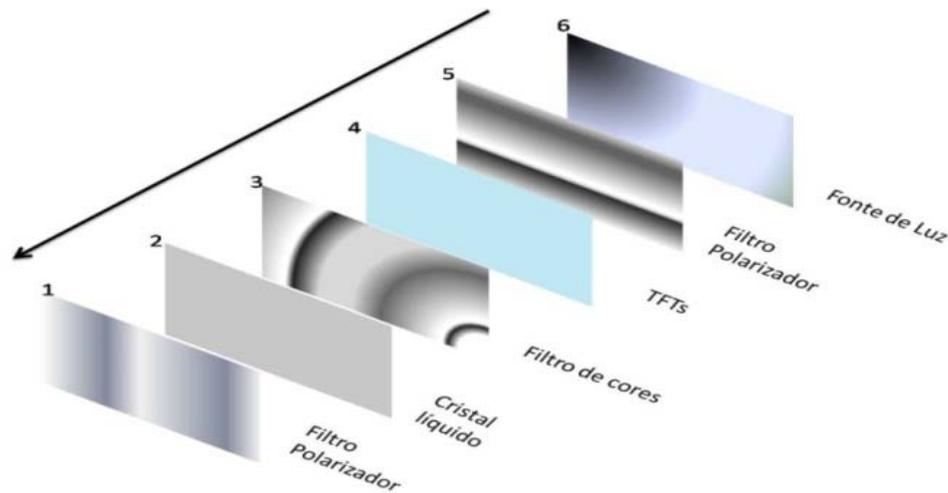
**Tabela 1- Composição de telas de LCD de computadores, celulares e TVs [10]**

<b>Materiais</b>	<b>% Média</b>
<b>Vidro, cristal líquido e ITO</b>	61,6
<b>Espelho de fonte de luz</b>	1,8
<b>Filtro de cores</b>	20,0
<b>Guia de Luz</b>	1,5
<b>Filme polarizador 1</b>	1,6
<b>Filme polarizador 2</b>	1,9
<b>Carcaça</b>	11,6

A porcentagem da composição das telas de LCD pode ser variada dependendo do ano de fabricação, marca e modelo.

Em sua composição ainda tem-se o cristal líquido e a camada de ITO (óxido de índio e estanho), que em geral ficam localizados em contato com a face interna do vidro da tela.

A função das telas de LCD é fornecer o retorno de imagens, sejam eles textos ou gráficos, por isso, estão presentes em variados utilitários domésticos. Para tanto, as telas de LCD tem-se a seguinte composição ilustrada na Figura 1:



**Figura 1- Estrutura das telas de LCD**

1. Filme polarizador 1 (polímero)
2. Cristal líquido e camada de ITO
3. Filtro de cores
4. TFTs (*thin-film transistor*)
5. Filme polarizador 2 (polímero);
6. Espelho de fonte de luz (fonte de luz)

O ITO é composto de óxido de índio ( $\text{In}_2\text{O}_3$ ) e óxido de estanho ( $\text{Sn}_2\text{O}$ ) nas proporções de 9:1 em massa, isto é, em uma tela de LCD com massa de aproximadamente 1kg, tem-se cerca de 0,35g de ITO.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

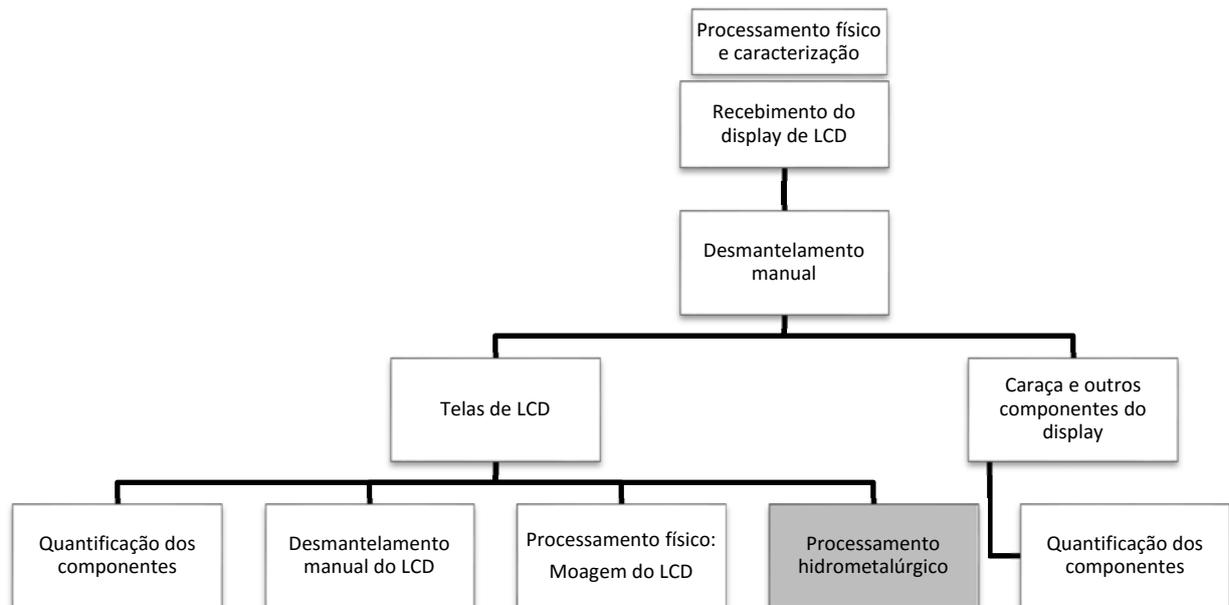
### 2.1. Caracterização e desmantelamento

Para o processo de reciclagem das telas de LCD visando à extração de índio (In) para sua reutilização, foi realizado o processo de desmantelamento manual da tela para que seus componentes fossem segregados a fim de caracterizá-los quanto sua estrutura interna. Para tanto utilizou-se de diferentes marcas, tipos e tamanhos de telas de LCD, provenientes de computadores e televisores, isto devido aos estudos de caracterização de telas de cristal líquido concluir que há variação em sua composição influenciando assim as rotas hidrometalúrgicas de extração.

### Fluxograma do processamento das LCDs

Na Figura 2, é apresentado o fluxograma do processo utilizado na rota física e de caracterização, e na Figura 3 o fluxograma da rota hidrometalúrgica.

Esta rota ocorre em paralelo, pois são ensaios complementares que compõem a caracterização dos materiais.



**Figura 2- Fluxograma da rota física [11]**

## 2.2. Processamento hidrometalúrgico: extração sólido-líquido

O processamento hidrometalúrgico envolve processo de extração sólido-líquido das LCDs cominuídas com a ação de um agente lixiviante ácido.

Os ensaios foram conduzidos em balões de 5 bocas com capacidade para 5 litros e agitação magnética. Utilizou-se amostra de tela de cristal líquido de aproximadamente 500g com relação sólido/líquido fixa de 1/10, sendo o agente lixiviante uma solução de ácido sulfúrico.

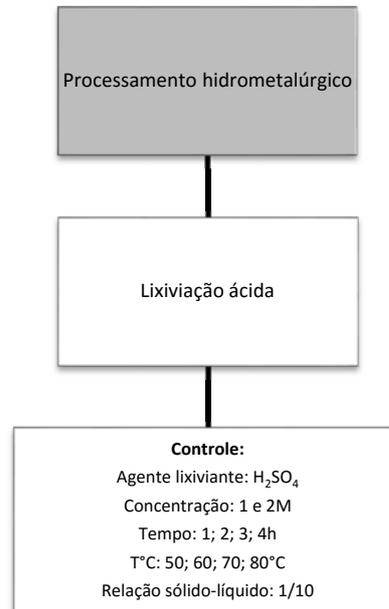
Foram estudadas duas variáveis e a influência de cada uma delas entre si conforme Tabela 2:

- tempo: 1h; 2h; 3h e 4h;
- temperatura 50°C, 60°C, 70°C e 80°C;
- concentração do agente lixiviante: ácido sulfúrico 1,0M e 2,0M

**Tabela 2- Ensaio de lixiviação com ácido sulfúrico com variação de concentração de ácido, temperatura e tempo [11]**

Concentração da solução de ácido sulfúrico (M)	1,0		2,0	
	50	60	70	80
Temperatura (°C)				
Tempo (h)				

Foram coletadas alíquotas nos intervalos de tempo, assim foram filtradas em papel de filtro quantitativo de velocidade lenta. A fração sólida secou em estufa a temperatura de 60°C por 24h e então pesada, enquanto o filtrado foi encaminhado para análise química por fluorescência de raios-X (EDXRF) para quantificação da extração de índio. A rota hidrometalúrgica foi apresentada na Figura 3.



**Figura 3- Fluxograma da rota hidrometalúrgica de extração e purificação de índio de LCD [11]**

As análises químicas de caracterização e quantificação do índio foram feitas por fluorescência de raios-x (FRX).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Caracterização e desmantelamento

Neste processo foram identificados e quantificados os seguintes componentes, na seguinte ordem conforme a Tabela 4:

**Tabela 4- Componentes da tela de LCD [11]**

Componentes	Quantificação (g)
Filme polarizador 1	17,8
Cristal líquido e camada de ITO	172,4
Filtro de cores	10,0
TFTs ( <i>thin-film transistor</i> )	13,1
Filme Polarizador 2	11,7
Espelho de fonte de luz (fonte de luz)	102,1

Portanto para 327,1 de LCD e 172,4g de vidro tem-se 0,431g de índio

### 3.2. Processamento hidrometalúrgico: extração sólido-líquido

No ensaio anterior onde se obteve a variação do agente lixiviante, tempo e temperatura, assim determinou-se que o ácido sulfúrico foi o agente lixiviante com melhor desempenho na extração de índio, sendo que a variação de temperatura foi relevante para esta determinação, portanto, ele foi utilizado para o estudo a ser desenvolvido nesta etapa. Os resultados da extração sólido-líquido foram apresentados na Tabela 5 em porcentagem de extração, calculada a partir da quantificação realizada em FRX.

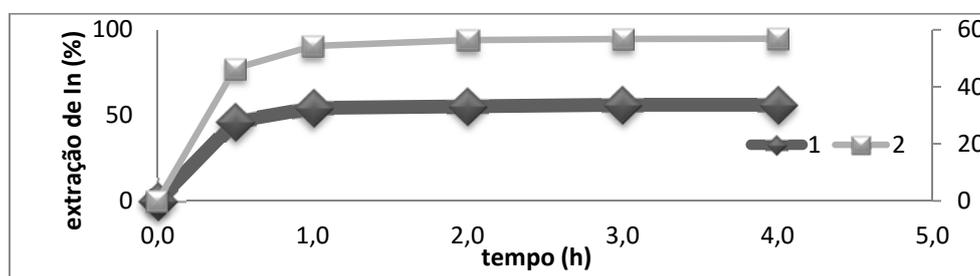
**Tabela 5 – Porcentagem de extração de índio através da lixiviação com ácido sulfúrico variando tempo, temperatura e concentração de ácido [11]**

Temp.	50°C		60°C		70°C		80°C	
Conc. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (M)	1,0	2,0	1,0	2,0	1,0	2,0	1,0	2,0
Tempo	% extração							
1h	54,3	54,3	51,5	59,3	51,8	55,4	58,0	58,4
2h	55,3	56,4	55,9	59,9	56,6	60,0	60,1	61,0
3h	56,2	56,8	56,8	59,9	56,8	60,0	61,0	61,0
4h	<b>56,2</b>	<b>56,9</b>	<b>61,0</b>	<b>61,3</b>	<b>61,0</b>	<b>61,3</b>	<b>61,0</b>	<b>63,2</b>

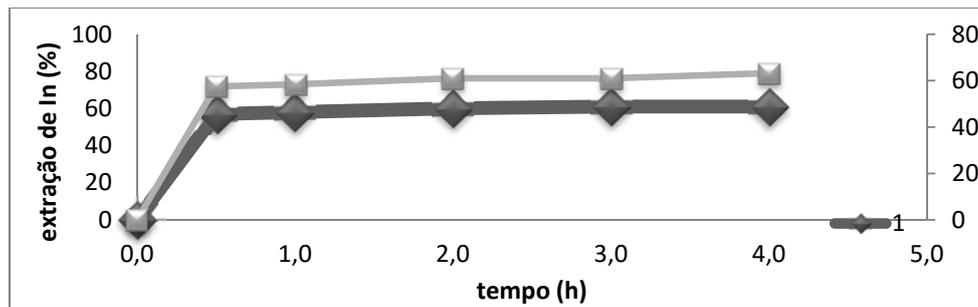
Como pode-se observar na Tabela 5 a extração máxima de índio foi de 63,2%, sendo que os resultados consistentes obtidos com a concentração 1M a temperatura a partir de 60°C e tempo de 4h, e com a concentração 2M a temperatura 80°C e tempos a partir de 4h.

Não se obteve 100% de extração de índio, devido a que o processo original de fabricação de LCD é feito por sputtering (pulverização catódica), sendo assim o processo de cominuição dever ser focado para a pulverização do LCD a fim de aumentar a área superficial do ITO assim como melhorar a sua exposição aos agentes lixiviantes.

Os valores obtidos nesses ensaios estão resumidos na Figura 4 cujos dados foram utilizados para construção das curvas presentes na Figura 5



**Figura 4- Efeito da temperatura e do tempo de lixiviação ácida em H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 60°C, em diferentes concentrações, sobre a dissolução de índio de telas de LCD cominuídas [11]**



**Figura 5– Efeito da temperatura e do tempo de lixiviação ácida em H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 80°C, em diferentes concentrações, sobre a dissolução de índio de telas de LCD cominuídas [11]**

Verifica-se com os resultados obtidos para a concentração de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> de 1M e 2M, que a variação da extração de índio para uma mesma temperatura e tempo, foi menor que 7% em relação ao que demonstrou maior extração.

Analisando o efeito da temperatura e do tempo, têm-se como esperado, as maiores porcentagens de extração foram para as temperaturas mais elevadas e para os tempos mais longos, no entanto verifica-se que essa variação para uma determinada concentração em temperaturas acima de 60°C e tempo acima de 2h, é superior.

Portanto conclui-se que a melhor condição para fazer a extração de índio é utilizando H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1M à temperatura de 60°C por um tempo mínimo de 4 horas.

#### 4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos permitem concluir que:

- A tela de cristal líquido representa cerca de 20% da massa total do *display* de televisores de LCD;
- A tela de cristal líquido é composta por aproximadamente 10% em massa de polímeros e 90% de vidro com o óxido de índio e estanho (ITO e cristal líquido);
- A porcentagem em massa de índio nas telas de cristal líquido é de 0,024% em massa da LCD;
- Os parâmetros escolhidos para realizar o processamento hidrometalúrgico das LCDs visando à extração de índio são:
  - Ácido sulfúrico
  - Concentração 1M
  - Temperatura mínima de 60°C
  - Tempo mínimo 4h
  - Relação sólido/líquido 1/10

A extração de índio a partir de LCDs descartadas foi aproximadamente de 63,2%

#### REFERÊNCIAS

- Associação brasileira de normas técnicas. NBR 100004: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004, 76p.
- BRASIL. Lei n. 12.305 de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Lex: Diário Oficial da União de 03 de agosto de 2010, página 2.
- Associação brasileira de normas técnicas. NBR 10005: Procedimento para obtenção de lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004, 16p.
- Associação brasileira de normas técnicas. NBR 10006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004, 3p.

- 5 WIDMER, R.; KRAPF, H. O.; KTHETRIWAL. D. S.; SCHNELLMANN, M.; BONI, H. Global perspective on e-waste. Environmental Impact assessment review. v. 25, p. 436-458. 2005.
- 6 ESPINOSA, D. C. R. Reciclagem de baterias de níquel-cádmio. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- 7 UNIÃO EUROPEIA. Diretiva Européia 2002/95/CE do Parlamento e do Conselho, 27 de janeiro de 2003. Relativa aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos(REEE).Lex: Jornal Oficial da União Europeia, 13 de fevereiro de 2003.
- 8 JUCHNESKI, N. C. F. et al. Disassembly and characterization of liquid crystal screens. Waste management & research : the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA, v. 31, n. 6, p. 549–58, 2013.
- 9 KRUEGER, H.; MENOZZI, M. e NA, U. CRT versus LCD : A pilot study on visual performance and suitability of two display technologies for use in office work. v. 20, p. 3–10, 1999.
- 10 TAVARES, V. Caracterização e processamento de telas de cristal líquido visando a reciclagem. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) - Universidade de São Paulo, São Paulo.
- 11 HASHIMOTO, Hugo et al. Indium Recovery from Discarded Light Emitting Diode (LED) Liquid Crystal Display (LCD) TV: Influence of Leaching Reagents. In: EPD Congress 2014. John Wiley & Sons, Inc., 2014. p. 99-103.
- 12 BRASIL. São Paulo. Decreto-lei nº 13.576, de 6 de junho de 2009. Institui normas e procedimentos para a reciclagem, gerenciamento e destinação final de lixo tecnológico. Disponível em: <http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2009/lei-13576-06.07.2009.html>. Acesso em 17 de maio de 2015