

Viviane Tavares

Caracterização e processamento de telas de cristal líquido visando a
reciclagem

São Paulo

2006

Viviane Tavares

CARACTERIZAÇÃO E PROCESSAMENTO DE TELAS DE
CRISTAL LÍQUIDO VISANDO A RECICLAGEM

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para a
obtenção do título de Mestre em Engenharia

Área de Concentração:

Engenharia Metalúrgica e de Materiais

Orientador:

Prof. Dr. Jorge Alberto Soares Tenório

São Paulo

2006

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, de dezembro de 2006.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Tavares, Viviane

**Caracterização e processamento de telas de cristal líquido visando a reciclagem / V. Tavares. -- São Paulo, 2006.
90 p.**

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais.

1.Reciclagem 2.Tela de cristal líquido I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais II.t.

Aos meus pais José e Lourdes, que
sempre me apoiaram e incentivam.

As minhas irmãs Clarissa e Aline pelo
apoio moral e compreensão.

Ao meu querido Jefferson, amigo,
companheiro, namorado, que mesmo
com seus problemas de saúde sempre
me fez seguir em frente e não me
deixou desistir jamais. Te amo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Grande Criador, por ter permitido que eu conquistasse mais uma etapa de minha existência.

Ao Prof. Dr. Jorge Tenório, que aceitou me orientar dando-me total apoio, colaborando com o meu crescimento acadêmico e pessoal. Hoje posso dizer que tenho um orientador e amigo.

Ao Prof. Dr. Arthur que através de seus conhecimentos contribuiu para a finalização deste trabalho. Aos professores Dr^a. Clarisse do PMT, Dr. Omar e Dr. Yoshio do IQ, que me ajudaram com alguns ensaios.

A todos os funcionários do PMT, em especial ao Danilo, que me ajudou em alguns ensaios de caracterização. Aos funcionários do PMI, que me acolheram com carinho, permitindo que utiliza-se todos as suas dependências, em especial ao Sr. Alfredo que me auxiliou gentilmente nos ensaios de caracterização e processamento das telas.

Aos bibliotecários, Gilberto e Clélia do PMT e Maria Cristina e Adalberto do PMI, por sempre me atender com dedicação e experiência, mesmo quando eu entregava as obras atrasadas.

Ao pessoal da secretaria que com profissionalismo e educação sempre me auxiliaram, me direcionando e resolvendo todas as minhas dúvidas administrativas.

Gostaria de registrar neste momento o agradecimento a todos meus colegas do LAT e a todas as pessoas que de alguma forma me apoiaram e a Capes pela bolsa concedida.

A minha família e ao meu namorado Jefferson, que sempre me apoiaram mesmo quando eu não tinha um “tempinho” para eles. Amo muito vocês.

“Não se pode ensinar tudo a alguém, pode-se
apenas ajudá-la a encontrar por si mesmo”

(Galileu Galilei)

Resumo

As telas de cristal líquido (LCD) são usadas em TVs, calculadoras, telefones celulares, computadores (laptop e palm), vídeo games e agendas eletrônicas. O aumento e a rápida obsolescência tecnológica desses dispositivos eletrônicos causa o descarte excessivo de LCDs usados, diminuindo a vida útil de aterros. Por isso é necessário o desenvolvimento de uma metodologia de reciclagem de LCDs, que deve ser iniciada pela caracterização de LCDs, seguida do processamento das telas com objetivo de separar os materiais, utilizando algumas técnicas de Tratamento de Minérios. Os ensaios realizados para caracterização dos componentes da tela foram: solubilização em solvente; chama; infravermelho; DSC; MEV com EDS; difração de raios-X; e perda ao fogo. A seqüência identificada dos materiais de fora para dentro foi: triacetato de celulose, poli (álcool) vinil dopado com iodo, triacetato de celulose, cristal líquido, vidro com ITO, triacetato de celulose, poli (álcool) vinil dopado com iodo, triacetato de celulose, polímero não identificado com mica. Após a caracterização foi realizada a etapa de liberação de materiais, utilizando-se de moinhos de rolos, de disco, de martelos, de bolas, separação por álcool, imersão em nitrogênio líquido, e solubilização em água, para separação dos materiais recicláveis. A operação de Tratamento de Minérios que apresentou cerca de 98% de separação dos materiais foi com o moinho de martelos. Este material pode ser usado eventualmente como substituto da areia. Para viabilizar a separação dos materiais existe a necessidade de alteração no projeto das LCDs.

Palavras-chave: Reciclagem. Tela de cristal líquido. LCD.

Abstract

Liquid crystal displays (LCD) are used in TVs, calculators, mobiles, computers (laptop and palm), video games and electronic agendas. The increasing and fast technological obsolescence of these electronic devices causes their extreme discard, decreasing the landfills useful life. Therefore it is necessary the development of a LCD recycling methodology which must be started by the LCDs characterization, followed by the displays processing with the objective of separating materials, using some Ore Treatment techniques. The characterization tests of the LDC components: solvent solubilization, flame, infrared, DSC, MEV with coupled EDS, X-ray diffraction and loss on fire. The sequence of the identified materials were: cellulose triacetate, poly vinyl alcohol with iodine, cellulose triacetate, liquid cristal, ITO glass, cellulose triacetate, poly vinyl alcohol with iodine, cellulose triacetate, polymer with muscovite. Following the characterization, the materials releasing step was performed. Firstly the LCDs were grinded using different kinds of mills, then the grinded materials were passed through several separation tests: separation on alcohol, immersion in liquid nitrogen and solubilization in water. Hammer milling present the best results. The project of the LCDs should be improved in order to allow the materials separation.

Keyword: Recycling. Liquid crystal display. LCD.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação das fases sólida, líquida cristalina e líquida	5
Figura 2 – Mesofase Esmética A.....	7
Figura 3 – Mesofase Esmética C	7
Figura 4 – Mesofase Nemática.....	7
Figura 5 – Mesofase Colestérica	8
Figura 6 – Seqüência de imagens da separação dos componentes da LCD	16
Figura 7 – Esquema simplificado do funcionamento da tela de cristal líquido ...	17
Figura 8 – Aplicação do polarizador	20
Figura 9 – Representação esquemática dos procedimentos usados para a caracterização dos componentes das LCDs.....	32
Figura 10 – Modelos das telas.....	33
Figura 11 – Esquema simplificado dos componentes das LCDs.....	34
Figura 12 – Esquema geral dos componentes da tela desmantelada.....	36
Figura 13 – Seqüência dos componentes da LCD.....	43
Figura 14 – Análise de infravermelho do polímero transparente.....	47
Figura 15 – Análise de infravermelho do polímero acinzentado.....	48
Figura 16 – DSC do polímero transparente.....	49
Figura 17 – Difração de raios-X do polímero perolado.....	51
Figura 18 –Espectro de EDS e imagem de elétrons do secundários do polímero acinzentado.....	52
Figura 19 –MEV com EDS da carga do polímero perolado.....	53
Figura 20 – Esquema simplificado de materiais e métodos de ensaios utilizados para a quantificação dos componentes da LCD 1.....	56
Figura 21 – Fração em peso dos modelos de LCD.....	57
Figura 22 – Fração em peso dos componentes da tela.....	59

Figura 23 – Porcentagem em peso de cada componente da tela.....	60
Figura 24 – Esquema simplificado dos materiais e métodos utilizados na liberação dos materiais.....	61
Figura 25 – LCD passado pelo britador de dois rolos.....	67
Figura 26 – LCD passado pelo moinho de disco.....	68
Figura 27 – LCD passado no moinho com bolas de ferro com imersão em água.....	69
Figura 28 – LCD passado em moinho com bolas de cerâmica com água.....	70
Figura 29 – Aspecto da LCD após a moagem em moinho de martelos.....	71
Figura 30 – Esquema simplificado das etapas de moagem e caracterização dos materiais passados em moinho de martelos.....	72
Figura 31 – Curva de ensaio granulométrico de LCD após moagem em moinho de martelos.....	76
Figura 32 – Espectro de difração de raios-X típico do material após moagem em moinho de martelos.....	77
Figura 33 - Fração em peso das cinzas de cada fração granulométrica após ensaio de perda ao fogo.....	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações básicas para cacos de vidro	27
Tabela 2 – Solubilidade e amolecimento de polímeros em solventes	45
Tabela 3 – Ensaio de chama.....	46
Tabela 4 – Caracterização dos componentes da tela de cristal líquido.....	50
Tabela 5 – Quantidade de LCDs	57
Tabela 6 – Fração em peso dos componentes desmantelados da tela	58
Tabela 7 – Moagem em Moinho de martelos	75
Tabela 8 – Análise granulométrica.....	76
Tabela 9 – Fração em peso da perda ao fogo de cada fração granulométrica .	78

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1. Tela de cristal líquido (LCD)	2
2.1.1. Descrição dos componentes das telas de cristal líquido	2
2.1.1.1. Cristal líquido.....	2
2.1.1.2. Vidro laminado.....	9
2.1.1.3. Polarizador e analisador.....	12
2.1.1.3.1. Triacetato de celulose	13
2.1.1.3.2. Poli (álcool) vinil	14
2.2. Funcionamento da LCD	15
2.3. Reciclagem do vidro.....	21
2.3.1. Tipos de vidro.....	22
2.3.2. Vantagens de reciclar o vidro	23
2.3.3. Formas de reciclagem.....	25
2.3.4. Contaminantes e padrão de qualidade para o vidro.....	25
2.3.5. Aplicação do vidro em concretos.....	28
3. OBJETIVOS.....	30
4. CARACTERIZAÇÃO DOS COMPONENTES.....	31
4.1. METODOLOGIA.....	33
4.1.1. Desmantelamento da sucata.....	34
4.1.2. Ensaio de caracterização	37
4.1.2.1. Ensaio com solventes	37
4.1.2.2. Ensaio da chama.....	38
4.1.2.3. Infravermelho de transformada de Fourier	39

4.1.2.4. Calorimetria exploratória diferencial	39
4.1.2.5. Difração de raios-X.....	40
4.1.2.6. Microscopia eletrônica de varredura (MEV) com espectroscopia por dispersão de energia (EDS)	40
4.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.2.1. Desmantelamento da sucata.....	42
4.2.2. Ensaio de caracterização	44
4.2.2.1. Ensaio com solventes	44
4.2.2.2. Ensaio da chama.....	46
4.2.2.3. Infravermelho.....	46
4.2.2.4. DSC.....	49
4.2.2.5. Difração de raios-X.....	50
4.2.2.6. Microscopia eletrônica de varredura	51
5. QUANTIFICAÇÃO DOS COMPONENTES.....	55
5.1. METODOLOGIA.....	55
5.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
6. ENSAIOS PARA LIBERAÇÃO DE MATERIAIS	61
6.1. METODOLOGIA.....	62
6.1.1. Imersão em água	62
6.1.2. Imersão em álcool	62
6.1.3. Imersão em nitrogênio líquido	63
6.1.4. Moinho de rolos.....	64
6.1.5. Moinho de disco	64
6.1.6. Moinho de bolas.....	64
6.1.6.1. Moinho com bolas de ferro.....	64
6.1.6.2. Moinho com bolas de cerâmica.....	65

6.1.7. Moinho de martelos.....	65
6.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
6.2.1. Imersão em água	66
6.2.2. Imersão em álcool	66
6.2.3. Imersão em nitrogênio líquido	66
6.2.4. Moinho de rolos.....	67
6.2.5 Moinho de disco	68
6.2.6. Moinho de bolas.....	68
6.2.6.1. Moinho de bolas com ferro com água	68
6.2.6.2. Moinho de bolas com cerâmica com água	69
6.2.7. Moinho de martelos.....	70
7. MOAGEM EM MOINHO DE MARTELOS.....	72
7.1. METODOLOGIA.....	73
7.1.1. Moagem.....	73
7.1.2. Caracterização do material moído.....	73
7.1.2.1. Análise granulométrica	73
7.1.2.2. Difração de raios-X.....	74
7.1.2.3. Perda ao fogo.....	74
7.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO	75
7.2.1. Moinho de martelos.....	75
7.2.2. Caracterização do material moído.....	75
7.2.2.1. Análise granulométrica	75
7.2.2.2. Difração de raios-X.....	77
7.2.2.3. Perda ao fogo.....	77
8. CONCLUSÕES.....	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81

