

CARACTERIZAÇÃO DE TELAS INSERVÍVEIS DE CRISTAL LÍQUIDO PARA DESENVOLVIMENTO DE RECICLAGEM DE LCDS ¹

V. Tavares ²
J. A. S. Tenório ³
D. C. R. Espinosa ⁴

Resumo

As telas de cristal líquido (LCD) estão presentes em TVs, calculadoras, telefones celulares, computadores (laptop e palm), vídeo games e agendas eletrônicas. A aplicação de dispositivos eletrônicos causa o acúmulo de LCDs usados. O estabelecimento de uma metodologia de reciclagem de LCDs é necessário para evitar a disposição de materiais em aterros. Assim, a caracterização de LCDs usados é o primeiro passo para um processo de reciclagem. O objetivo deste trabalho é caracterizar os LCDs de telefones pós-consumo. Os métodos analíticos tais como o método de solubilização em solvente, teste de chama, infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) e análise de diferencial térmico/ microscopia eletrônica de varredura (DSC/MEV) são usados para identificar as principais camadas de polímeros dos LCDs. Duas camadas de acetato de celulose e uma camada de poli (álcool) vinil foram identificados.

Palavras-chave: Cristal líquido; Telas; LCD

CHARACTERIZATION OF USELESS LIQUID CRYSTAL DISPLAY FOR DEVELOPMENT OF LCDS RECYCLING

Abstract

The liquid crystal displays (LCDs) are present in TVs, calculators, mobile telephones, computers (laptop and palm), video games and electronic agendas. The application of electronic devices causes the accumulation of used LCDs. The establishment of a recycling methodology for LCDs is necessary to avoid the disposal of worth materials in landfills. Thus, the characterization of used LCDs is the first step to draw a recycling process. The goal of this work is to characterize LCDs from post-consumer mobile telephones. Analytical methods such as solvent dissolution method, flame test, FTIR and MEV/DSC were used to identify the main polymers layers of LCDs. Two layers of cellulose acetate and one layer of poly (alcohol) vinyl were identified.

Key words: Liquid crystal; Display; LCD

¹ Contribuição técnica apresentada na 61º Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ

² Mestranda em Engenharia de Materiais, Tecnólogo em Meio Ambiente.

³ Professor Titular da Escola Politécnica - Departamento de Engenharia de Materiais.

⁴ Doutora em Engenharia de Materiais.

1 INTRODUÇÃO

Os cristais líquidos presentes nas telas são nanomateriais com aplicação principalmente na área eletrônica. Estes são empregados na construção das telas de TV, calculadora, celular, computadores (*laptop e palm*).^(1,2)

As telas de cristal líquido foram introduzidas ao mercado, principalmente, a partir de 1997, com um custo de U\$ 4 mil por unidade, o que dificultava a aquisição do produto. Em 1998 a tecnologia foi aprimorada e o interesse pelas telas de cristal líquido aumentou.

Devido a sua principal vantagem de não emitir radiação e apresentar melhor desempenho na economia de energia com relação às telas de tubo de raios catódicos, essas telas tiveram uma redução dos custos em 50% do seu valor inicial.⁽³⁾ Em 2005 foi estimado o descarte de 40.000 toneladas de telas de cristal líquido, sendo estas parte de 2 milhões de toneladas de resíduo eletroeletrônico na Europa; presentes em laptops, agendas eletrônicas, calculadoras, celulares, vídeo games, equipamentos de áudio e telas de computadores e televisão.⁽⁴⁾

As telas de cristal líquido, tanto de computadores, calculadoras como de celulares, possuem os mesmos componentes básicos para seu funcionamento. Estas telas possuem uma camada externa de polarizador, uma placa de vidro laminado, um filme de ITO polímero dopado com óxidos de índio e titânio, filtros de cores, moléculas de cristal líquido, placa de vidro laminado, e uma camada externa de analisador.

O polarizador e analisador possuem a função de proteger o cristal líquido da tela de raios ultravioleta além de promover a seleção de luz que passa pela tela. Estes são formados de triacetato de celulose e poli (álcool) vinílico dopado com iodo.^(5,6)

O vidro laminado é formado de camadas delgadas do tipo soda-cal, com resistência ao impacto, dificultando a sua ruptura.

Os filmes de ITO dopados com óxidos de índio e titânio são filmes poliméricos onde foi adicionado óxido na sua estrutura para produção de um polímero condutor de eletricidade e ao mesmo tempo transparente.

Os filtros de cores são ativados pela tensão aplicada ao ITO, e podem ser verde, vermelho e azul.

O cristal líquido é uma substância cujas moléculas podem ser alinhadas quando sujeitas a campos elétricos. No caso dos monitores, quando alinhado, o cristal líquido permite a passagem da luz, para que a imagem seja gerada.⁽⁷⁾

A montagem das telas de cristal líquido (LCD) consiste de duas placas de vidro, seladas em seu perímetro, com uma camada de cristal líquido entre elas. Os eletrodos transparentes e condutivos são depositados nas superfícies internas da placa de vidro.

A Figura 1 apresenta um esquema simplificado dos componentes e funcionamento das telas de cristal líquido.

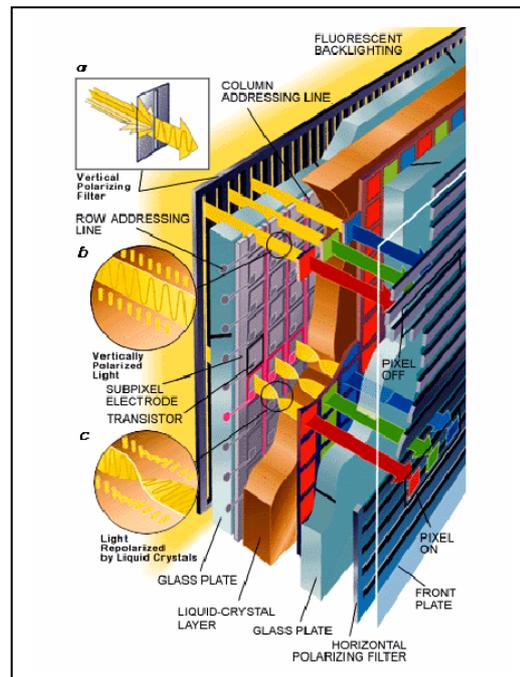


Figura 1. Esquema simplificado do funcionamento da tela de cristal líquido.⁽⁸⁾

Nas superfícies da placa de vidro estão os filtros polarizadores e analisadores. Os filmes polarizadores e analisadores são laminados, um a 90° do outro. Normalmente, filmes polarizados e analisadores a 90° fazem com que não haja passagem de luz e o display fica escuro, prevenindo qualquer transmissão de luz.⁽⁹⁾

Quando um *pixel* está desligado, as luzes passam através do filtro analisador, o cristal (b) na Figura 1 e os filtros de cores, somente são bloqueados (absorvidos) pelo filtro polarizador. A visualização desses *pixels* é escura. Quando um *pixel* é ligado, o cristal líquido se reorienta em sua posição, e eles se tornam repolarizados na luz, e podem passar pelo polarizador (c) da Figura 1.⁽⁸⁾

Quando há um campo elétrico aplicado às moléculas, a direção do raio de luz vai sendo alterada à medida que passa pelo cristal até encontrar o analisador, cuja direção das ranhuras coincidirá com a do raio de luz.⁽⁹⁾

Quando uma estrutura de cristal líquido está presente entre esses polarizadores, a luz polarizada sofre uma reflexão da luz; dependendo do tipo de cristal líquido utilizado a luz polarizada necessita de um polarizador horizontal ou vertical para permitir a visualização da imagem através da tela.

1.1. Descrição dos Componentes

Triacetato de celulose

O triacetato de celulose (TAC) é produzido a partir do acetato e da celulose e suas características químicas são similares ao acetato de celulose, com uma diferença de pelo menos 92% dos grupos hidroxilas acetilados, por esta razão o triacetato de celulose apresenta maior resistência térmica do que o acetato de celulose.

É um termoplástico resistente a óleos, graxas, hidrocarbonetos aromáticos, e solventes, possui ótimo brilho e excelente transparência, tem facilidade em ser laminado, cortado e dobrado.⁽¹⁰⁾

- Poli (álcool) vinil (PVA ou PVOH)

O poli (álcool) vinil (PVA ou PVOH) é um termoplástico sintético, produzido através do acetato de vinila.⁽¹¹⁾

Este polímero apresenta resistência a óleos, graxas, hidrocarbonetos aromáticos e solventes apolares, porém é solúvel em água. Sua importância na composição dos polarizadores das telas de cristal líquido é a sua adesividade, flexibilidade resistência à abrasão, permeabilidade a gases e biodegradabilidade.^(12,13)

Vidro laminado

O vidro laminado é um tipo de vidro constituído por duas ou mais lâminas delgadas de vidro, com espessura de 0,2 a 0,25 cm, e uma ou mais lâminas de plásticos. As propriedades físicas e químicas deste vidro são as mesmas do vidro soda-cal, com composição básica de 70% de sílica (SiO₂), 0,1% de ferro (Fe), 14% de sódio e potássio (Na e K), 13,5% de cálcio e magnésio (Ca e Mg), 0,7% de alumina (Al₂O₃) e 0,23 a 0,25% de óxido de enxofre (SO₃).⁽¹⁴⁾

Os plásticos utilizados para este tipo de vidro são o polivinil butiral (PVB) e o álcool polivinílico (PVOH ou PVA), que proporcionam resistência mecânica, além de permanecerem invisíveis sem causar qualquer interferência para a visão e não ter suas características alteradas com a luz solar. O vidro laminado pode se quebrar, porém quando associado a um plástico de resistência ao impacto, como o polivinil butiral e o poli (álcool) vinílico, os cacos de vidro não se desprendem do polímero; facilitando a utilização desta combinação em pára-brisas de carros e telas de cristal líquido.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A sucata de telas de cristal líquido foi fornecida por empresa do ramo de telefonia celular. Essas telas foram geradas através do uso dos celulares pela população.

Para o estudo de um processo de reciclagem de telas de cristal líquido é necessária a caracterização da sucata de LCD.

Inicialmente, as telas foram desmanteladas manualmente e seus principais componentes foram caracterizados pelo método de solubilização em solventes e teste de chama.

Para separação dos componentes do polarizador e analisador as amostras foram deixadas em imersão de água a temperatura ambiente, por duas horas. Do polarizador foi removido um polímero transparente e insolúvel em água, que foi chamado de Placa 1; em seguida foi retirado um polímero cinza translúcido que solubiliza em água, que foi chamado de Placa 2; o último polímero é um polímero transparente insolúvel em água, com adesivo na superfície de contato com o vidro, chamado de Placa 3.

Do analisador foi removido o adesivo em contato com o vidro, com auxílio de uma pinça, pois o adesivo amolece com a água, chamado de Placa 1A; em seguida foi removido um polímero transparente que foi nomeado de Placa 1; depois foi feita a remoção do polímero cinza translúcido que é solúvel em água, que foi chamado de Placa 2; foi separado da última placa dois polímeros, um transparente chamado de Placa 3 e outro branco perolizado, chamado de Placa 3P.

O teste com solvente teve como objetivo verificar os componentes do polarizador e do analisador da LCD que se solubilizavam em etanol, acetona, acetato de etila, tetracloreto de carbono, ácido acético, tolueno, nitrobenzeno, ácido sulfúrico, e água, para identificar os polímeros.⁽¹⁵⁾

O teste de chama teve como objetivo verificar o comportamento dos componentes do polarizador e do analisador da tela de cristal líquido com a chama, para posterior identificação. O comportamento é verificado pela coloração da chama, odor, e permanência da chama. A técnica laboratorial utilizou-se de uma vela e amostras de cada componente do polarizador e analisador do LCD (placa 1,2 e 3).

As análises de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) e análise de diferencial térmico (differential thermal analysis - DSC) tiveram como objetivo verificar os grupos funcionais das cadeias carbônicas e a temperatura de transição vítrea de cada polímero do polarizador e analisador (placa 1, 2 e 3).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 relaciona os solventes utilizados em cada placa do polarizador e analisador e seu respectivo comportamento.

Tabela 1. Solubilidade de polímeros em solventes

Solvente\ Polímeros	POLARIZADOR			ANALISADOR				
	Placa 1	Placa 2	Placa 3	Placa 1A	Placa 1	Placa 2	Placa 3	Placa 3P
Etanol	I	I	I		I	I	I	
Acetona	S	I	S		S	I	S	
Acetato de etila	S	I	S		S	I	S	
Tetracloreto de carbono	I	I	I		I	I	I	
Ácido acético	S	I	S		S	I	S	
Tolueno	M	I	M		M	I	M	
Nitrobenzeno	I	I	I		I	I	I	
Ácido sulfúrico	S	S	S		S	S	S	
Água	I	S	I	M	I	S	I	

I = insolúvel; S = solúvel; M = amolece

Com os dados fornecidos na Tabela 1 pode-se comparar com resultados de solubilidade de polímeros existentes na literatura.⁽¹⁵⁾ Para polímeros solúveis em acetona, acetato de etila, e ácido acético (placa 1 e 3 do polarizador e analisador), pode-se identificar o poliestireno (PE), estireno butadieno acetonitrila (ABS), acetobutirato de celulose (CAB), polimetilmetacrilato (PMMA), triacetato de celulose (TAC) e acetato de celulose (AC); para os polímeros que amolecem com tolueno pode-se identificar o acetobutirato de celulose (CAB), o polimetilmetacrilato (PMMA), e triacetato de celulose (TAC).

A placa 1A do analisador não passou pelos testes com solvente, pois este teste não é aplicável para identificar adesivo. A placa 3P não pode ser analisada, pois não foi separado 100% do polímero da placa 3 do analisador.

Comparando as placas 1 e 3 do polarizador e analisador apresentaram as mesmas características de solubilidade nos mesmos solventes, além de apresentar o mesmo aspecto físico.

A Tabela 2 mostra as observações feitas durante o teste da chama.

Tabela 2. Teste de chama

Polímeros\ Parâmetros	Cor da chama	Cheiro	Chama
Polarizador Placa 1	Amarela	Ácido acético	Sustentável
Polarizador Placa 2	Amarela/Fuligem	Nenhum	Sustentável
Polarizador Placa 3	Amarela/Fuligem	Ácido acético	Sustentável
Analizador Placa 1A	Azul/Amarela	Nenhum	Sustentável
Analizador Placa 1	Amarela/Fuligem	Ácido acético	Sustentável
Analizador Placa 2	Amarela/Fuligem	Nenhum	Sustentável
Analizador Placa 3	Amarela	Ácido acético	Sustentável
Analizador Placa 3P	Amarela	Nenhum	Sustentável

Com os dados fornecidos na Tabela 2 pode-se comparar com resultados encontrados na literatura.⁽¹⁵⁾ A placa 1 e 3 do polarizador e analisador são do mesmo material, porém a placa 3 do polarizador e a placa 1 do analisador além de apresentarem coloração amarela na chama, apresentaram fuligem, isto se dá devido ao adesivo ainda presente nestes materiais.

Os polímeros que apresentam cor de chama amarela, cheiro de ácido acético e chama sustentável podem ser identificados como acetato de celulose (AC) e o triacetato de celulose (TAC).

Com os testes de solvente e de chama pode-se identificar os polímeros como: placa 1 e 3 do polarizador e analisador sendo polímero de acetato de celulose ou triacetato de celulose; e placa 2 do polarizador e analisador sendo o poli (álcool) vinil.

Os espectros do FTIR e suas respectivas análises DSC estão representados nas Figuras 4, 5 e 6.

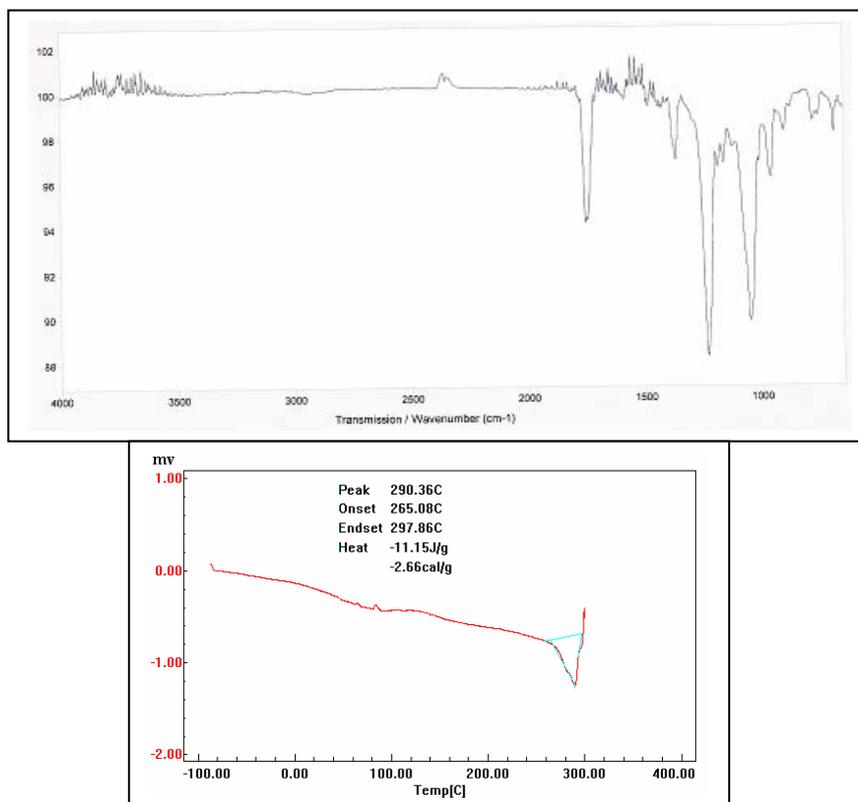


Figura 4. Placa 1 do polarizador e analisador (IR e DSC)

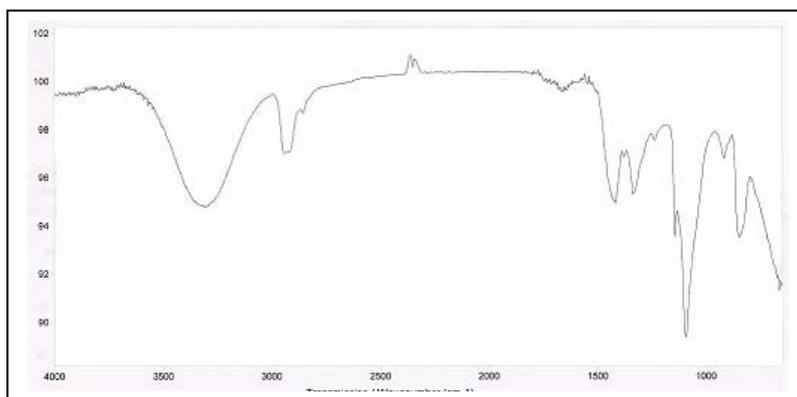


Figura 5. Placa 2 do polarizador e analisador (IR)

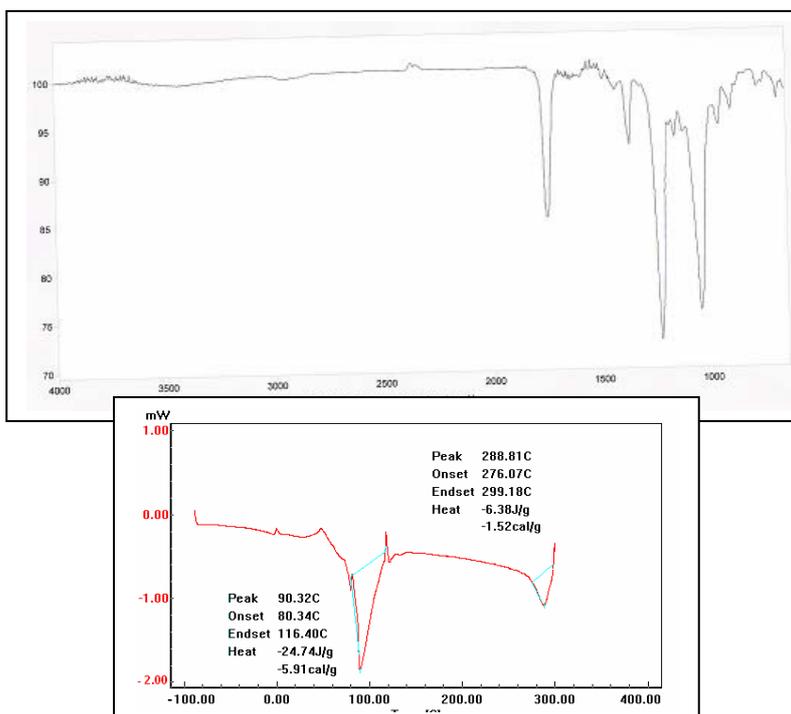


Figura 6. Placa 3 do polarizador e analisador (IR e DSC)

Comparados com os espectros de IR já conhecidos através da literatura,⁽¹⁶⁾ podem ser identificados como acetato de celulose ou triacetato de celulose as placas 1 e 3 do polarizador e analisador; e poli (álcool) vinil para a placa 2 do polarizador e analisador. O DSC da placa 1 e 3 do polarizador e analisador é praticamente o mesmo, pois a temperatura de transição vítrea foi de 290,3 e 288,8°C para placas 1 e 3 respectivamente, com exceção do pico a 90,3°C da placa 3, que corresponde à interferência do adesivo existente nesta placa.

Analisando o DSC observa-se que o único polímero de acetato de celulose resistente à temperatura de aproximadamente 280°C é o triacetato de celulose.

Não foi realizada análise de DSC na placa 2, pois o polímero apresenta iodo dopado em sua estrutura, causando interferência nos resultados.

Para complementar a caracterização da placa 2 e 3P do polarizador e analisador se sugere a análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) para identificação de iodo no poli (álcool) vinil e identificação do componente perolizado da Placa 3P do analisador.

4 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi possível obter algumas conclusões a respeito da caracterização das telas de cristal líquido, utilizando o método de solubilização em solventes e teste de chama:

A placa 1 e 3 do polarizador e analisador são feitos do mesmo material, triacetato de celulose. A placa 2 do polarizador e analisador são feitas do mesmo material, poli (álcool) vinil.

REFERÊNCIAS

- 1 BECHTOLD, I. H. **Efeitos de superfície e de confinamento na ordem orientacional de cristais líquidos**. 2004. Tese (Doutorado em física) Instituto de Física da Universidade de São Paulo. São Paulo.
- 2 GOMES, L. S. **Avaliação da tensão superficial de polímeros líquido-cristalinos**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e dos Materiais) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.
- 3 AnInformática. **A onda do cristal líquido: monitores com tela plana são uma das novas tendências do mercado, mas o preço elevado ainda é empecilho**. Disponível em: <<http://an.uol.com.br/1998/out/13/0inf.htm>>, Acesso em: 11/01/06.
- 4 GAIKER Technological Centre. **Recycling liquid crystal display screens**. Disponível em: <http://www.innovations-report.com/html/reports/environment_sciences/report-36773.html>, Acesso em: 11/01/06.
- 5 United States Patent Application. Yongcai Wang et al. **Polarizing plate laminated with an improved glue composition and a method of manufacturing the same**. USA A1 – 20050249932, 10 novembro 2005.
- 6 Patent abstracts of Japan. Konica Minolta Opto Inc. Sugitani Shoichi. **Cellulose ester film, method for producing the same, polarizing plate produced by using the film and liquid crystal display device produced by using the polarizing plate**. JP A - 2005-239916, 08 setembro 2005.
- 7 GRAY, G. W. **Thermotropic liquid crystals**. New York, Biddles, 1987, p. 10-33.
- 8 LUNDSTRÖM, D.; YILBAR, J. **Liquid crystal materials: experimental material physics**. 1998. Disponível em: <<http://www.kth.se>>, Acesso em: 30/03/05.
- 9 COLLINGS, P. J.; PATEL, J. S. **HANDBOOK of liquid crystal research**. Oxford University Press. New York 1997, p. 25-51.
- 10 STANNETT, Vivian. **Cellulose acetate plastics**. New York, Chemical Publishing, 1951, p. 1-20, 256-258, 267-268.
- 11 ARANHA, I. B., LUCAS, E. F.. Poli(álcool vinílico) modificado com cadeias hidrocarbônicas: avaliação do balanço hidrófilo/lipófilo. **Polímeros**, São Carlos. Vol.11, no.4, p 2001.
- 12 MARTEN, F. L. Vinyl alcohol polymers, in: **Encyclopedia of Polymer Science and Engineering**. Vol. 17. H. F. Mark, N. M. Bikales, C. G. Overberger & G. Menges, John-Wiley, New York, 1985.
- 13 VASSALO, J. C. **Álcool polivinílico na indústria têxtil: álcool polivinílico em engomagem de fios têxteis**. Disponível em: <<http://orbita.starmedia.com/~engomagem/pvA.htm>>, Acesso em: 12/01/06.
- 14 SHAND, E. B. **Glass engineering handbook**. 2ª Ed. New York, McGraw-Hill, 1958, p. 3- 9, 183, 207 – 225.
- 15 WIEBECK, H.; PIVA, A. M. **Reciclagem do plástico: como fazer da reciclagem um negócio lucrativo**. São Paulo, Artiber, 2004. p.29-56.
- 16 POUCHERT, C. J. **The Aldrich library of infrared spectra**. 3º Ed. Aldrich Chemical Company, 1981, p. 1570 – 1604.