

## I. A TECNOLOGIA DOS MOSTRADORES DE CRISTAL LÍQUIDO: UMA AVALIAÇÃO CRÍTICA \*

A.P.MAMMANA, S.KOBAYASHI, A. PAVANI FILHO E  
C.A.PISANI

Setor de Instrumentos e Componentes  
DEE/FEC/UNICAMP  
C.P. 6176, 13100 CAMPINAS SP

A importância crescente dos mostradores de cristal líquido do tipo nemático torcido (LCD-TN) motivou-nos a estudar alguns de seus aspectos tecnológicos com a preocupação de entendermos de que depende o domínio dessa tecnologia tendo em vista sua futura incorporação à cultura industrial do País. A partir de uma revisão dos princípios de funcionamento de um LCD-TN e de seus parâmetros mais importantes, procuramos identificar os fatores limitantes de uma tecnologia de fabricação, seu estado presente e perspectivas futuras.

### LCD-TN, Tecnologia, Avaliação

#### 1. Introdução

Apesar dos cristais líquidos serem conhecidos desde o fim do século passado, o interesse em sua utilização na confecção de mostradores eletrônicos só apareceu por volta de 1968 quando se demonstrou que a luz pode ser espalhada numa fina camada desses líquidos por aplicação de uma tensão elétrica sobre eles (1). A possibilidade de se controlar a transmissão ou reflexão da luz emitida por uma fonte externa, com muito menos potência do que a necessária para a emissão de luz por materiais luminescentes, foi o principal incentivo para a pesquisa e o desenvolvimento desses dispositivos a cristal líquido.

Embora os esforços iniciais tenham se baseado no efeito do espalhamento dinâmico em cristais líquidos do tipo nemático, o desenvolvimento efetuado nos anos subsequentes levou à descoberta de novos efeitos, com vantagens nas aplicações práticas.

Dos vários tipos de mostradores desenvolvidos o mais importante é o chamado nemático torcido, descoberto em 1971 (2), cuja tecnologia evoluiu no sentido de lhe conferir características como: bom contraste, baixa corrente e

\*Este trabalho foi realizado no Instituto de Microeletrônica do Centro Tecnológico para Informática através do Convênio CTI/UNICAMP, Termo Aditivo 008/85 do Contrato SEI/CTI 126.25.50.

tensão de acionamento, baixo consumo de potência, operação em grandes intervalos de temperatura, alta qualidade e confiabilidade, longa vida, portabilidade, alta versatilidade quanto às configurações a serem exibidas e a possibilidade de ser produzido em série, além do baixo custo e conforto de operação sob alta luminosidade ambiente.

A evolução dos mostradores de cristal líquido tende para a obtenção de sistemas com maior capacidade de exibição de informação, o que implica em maiores áreas. Por outro lado, a busca por uma maior portabilidade implica em se tentar obter sistemas de menor espessura, menor peso e menor consumo de potência. Apesar de intensos esforços internacionais de pesquisa e desenvolvimento, a tecnologia de mostradores de cristal líquido vem encontrando fortes obstáculos na corrida por estes objetivos.

A importância crescente dos mostradores de cristal líquido em face aos demais mostradores de informações motivou-nos a estudar alguns de seus aspectos tecnológicos com a preocupação de entendermos de que depende o domínio dessa tecnologia e como ela pode ser incorporada à cultura industrial de um país como o Brasil, que apenas se inicia na produção de componentes e materiais eletrônicos de alta tecnologia. Realizamos então, no CTI, um estudo da viabilidade de se desenvolver, no país, esses mostradores, abrangendo desde as questões técnicas de desenvolvimento e fabricação até os aspectos estratégicos de uma política industrial nesse sentido.

Neste artigo, o primeiro da série decorrente daquele estudo (3,4), discutimos alguns aspectos referentes ao estado presente da tecnologia de mostradores de cristal líquido do tipo nemático torcido (LCD-TN), suas limitações e perspectivas, procurando identificar quais são seus fatores limitantes. Como um primeiro trabalho, ele apresenta uma revisão sobre os princípios de funcionamento e os parâmetros mais importantes de um LCD-TN, os quais servirão de base para a análise pretendida.

## 2 - Princípio de funcionamento de um LCD-TN

Os mostradores de cristal líquido são dispositivos passivos que operam pelo controle da reflexão ou absorção da luz que neles incide graças ao emprego de substâncias orgânicas, que possuem a propriedade de alterar a direção de polarização da luz pela ação de um campo elétrico. São conhecidos como cristais líquidos por possuírem propriedades dos líquidos e suas moléculas apresentam uma orientação ordenada como nos cristais.

Uma célula de cristal líquido compõe-se de duas placas de vidro com um pequeno espaçamento entre si, contendo em suas superfícies internas camadas condutoras e transparentes que constituem seus eletrodos, gravadas com as configurações desejadas para a exibição de informação. As superfícies mais internas, que estão em contato com o cristal líquido, são ainda tratadas de forma a provocar a ancoragem das moléculas do cristal paralelamente às suas faces e em direções ortogonais entre estas, provocando assim a rotação de 90 graus do eixo óptico das moléculas através da célula. Pela presença de polarizadores nas

superfícies externas das placas, segundo eixos ortogonais e coincidentes com a direção de ancoragem, a luz que penetra no mostrador poderá ser absorvida ou não pela ação de um campo elétrico aplicado entre eletrodos selecionados.

A figura 1 ilustra uma célula de LCD-TN em seus dois estados de funcionamento. Na ausência de campo elétrico (estado "off"), a luz linearmente polarizada pelo primeiro polarizador penetra no mostrador, sofrendo uma rotação no seu eixo de polarização segundo a orientação torcida das moléculas do cristal. Neste caso ela atravessará o segundo polarizador atingindo o observador que verá uma região clara. No estado "on" uma pequena voltagem é aplicada entre os eletrodos desejados, o que provoca entre eles o alinhamento vertical das moléculas do cristal líquido acompanhando a orientação do campo aplicado. Neste caso os eletrodos escolhidos delimitam uma região escura para o observador.

A aplicação de uma camada refletora ou semi-refletora sobre o polarizador posterior possibilita a utilização dos mostradores nos modos reflexivo ou transreflexivo, de forma a aproveitar a iluminação ambiente como fonte de luz ou possibilitando a introdução de uma fonte de luz auxiliar no caso em que aquela seja deficiente.

Define-se o brilho de um LCD reflexivo como sendo a relação entre as intensidades da luz refletida  $L_r$  e da luz incidente  $L_i$ , ou seja,  $B = L_r/L_i$ . A legibilidade de um LCD é determinada pela razão entre o brilho das regiões claras e o brilho das regiões escuras, expressa pela razão de contraste  $C_r$ , definida por  $C_r = B_{claro}/B_{escuro}$ . Define-se também  $C = 1 - 1/C_r$  como simplesmente o contraste entre uma região clara e uma escura, com valores entre 0 e 1. Chama-se ainda contraste relativo a relação entre o contraste medido em determinadas condições de observação para o contraste máximo em condições ideais. O brilho e o contraste dependem do tipo de polarizadores usados, da tensão aplicada, do tipo de acionamento (direto ou multiplexado) e do ângulo de visada, além de ser determinado pelo tipo de cristal líquido utilizado e pela qualidade dos processos e materiais empregados na fabricação das células.

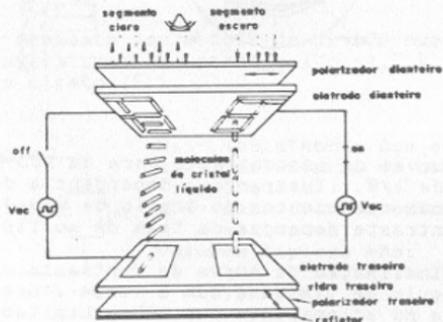


Fig.1. Uma célula de LCD-TN em operação no modo reflexivo.  
A figura 2 ilustra o comportamento do contraste rela-

tivo com a tensão aplicada, para três diferentes ângulos de visada. Na tensão de limiar  $V_l$  mudam as características de transmissividade óptica em 10%, enquanto que na voltagem de saturação  $V_s$  o contraste atinge 90%. Tanto as tensões de limiar e de saturação como a forma da curva do contraste variam consideravelmente com o ângulo de visada e com a temperatura, a tensão de limiar decrescendo quando a temperatura aumenta. A variação do contraste, com o ângulo de visada para uma determinada condição de acionamento é expressa nas chamadas curvas de isocontraste das quais um exemplo típico é mostrado na figura 3.

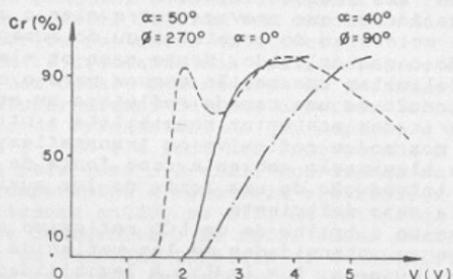


Fig. 2. Comportamento do contraste em função da tensão de acionamento para três ângulos de visada diferentes.

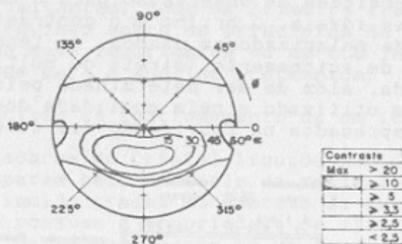


Fig. 3. Curvas de isocontraste para um LCD-TN multiplexado à razão de 1/8, ilustrando a dependência do contraste com as duas componentes do ângulo de visada (5). As curvas de isocontraste dependem da taxa de multiplexação.

A inclinação da curva de contraste e sua dependência com o ângulo de visada e com a temperatura impõem sérias restrições no acionamento dos LCDs. Limitam por exemplo seu desempenho num grande intervalo de temperaturas, para uma dada tensão de operação e um cone de visada constante.

Também os tempos de resposta "on" e "off" são dependentes da temperatura, aumentando quando esta diminui, pois com ela aumenta a viscosidade do cristal líquido. Na figura 4 é mostrada a variação dos tempos de resposta ton e toff num grande intervalo de temperaturas de operação.

Os LCDs devem ser acionados com tensão alternada de modo a se evitar reações eletroquímicas que reduzam sua vida útil. Além disso a amplitude da tensão aplicada não deve exceder em muito a tensão de saturação admitindo-se 100mV como um limite máximo permissível para a componente DC. O limite inferior de frequência da tensão de acionamento é determinado pelos tempos de resposta ton e toff das moléculas do cristal. Para tensões alternadas com frequências muito baixas (menores que 30 Hz aproximadamente) as moléculas terão tempo suficiente para acompanhar as alternâncias do campo, oscilando com este (flickering). Por que o cristal líquido tem tempos finitos de resposta, ele responde ao valor RMS das tensões que lhe são aplicadas para frequências acima de 30 Hz. Entre 30Hz e 1KHz o LCD se comporta como uma carga capacitiva sendo que o consumo de corrente estabelece um limite superior de frequência em cerca de 200Hz. Na figura 5 é mostrado um circuito equivalente simplificado de um LCD.

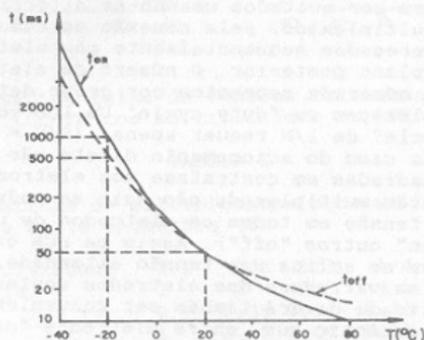
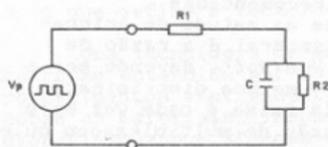


Fig.4. Tempo de resposta ton e toff de um LCD num grande intervalo de temperaturas de operação ( $V_{op}=4,5$  V em 100 Hz para acionamento direto (5)).



$R_1$  - resistência dos eletrodos  
 $R_2$  - resistência do cristal líquido  
 $C$  - capacitância entre eletrodos.

Valores típicos são:  
 $R_1 = 10K / cm^2$ ,  $R_2 = 1M / cm^2$   
 $C = 1,5nF/cm^2$ .

Fig.5. Circuito equivalente simplificado de um LCD.

Na operação por acionamento direto o eletrodo

posterior é comum e cada segmento do mostrador é ligado diretamente ao terminal correspondente do circuito de acionamento. Uma onda quadrada é aplicada ao eletrodo posterior enquanto que em cada segmento do eletrodo anterior é aplicado o mesmo sinal, em fase ou em contrafase com o posterior, dependendo do sinal de comando. Este sinal de comando determina se o segmento deve ou não ser acionado através de uma porta "ou exclusiva". Se o sinal de controle está alto, as tensões entre eletrodos estão em oposição de fase e o segmento está "on". Se o sinal de controle está baixo, as tensões entre eletrodos estão em fase e o segmento está "off".

O modo de operação por acionamento direto é o mais versátil com respeito à tensão de acionamento, ao intervalo de temperaturas e ao ângulo de visada, uma vez que ou se aplicam zero volts ou se aplica Vop ao LCD. No entanto são necessários tantos contatos, circuitos de acionamento e conexões, quantos forem os segmentos a serem exibidos. Dependendo do tamanho e complexidade dos mostradores esse número poderá ser muito grande. Um grande número de contatos externos estará limitado pelo pequeno espaçamento entre eles ou por inviabilizar o roteamento das interconexões internas no "lay-out". Estes problemas podem ser evitados usando-se a técnica de acionamento multiplexado, pela conexão em comum de grupos de segmentos endereçados sequencialmente por eletrodos múltiplos no plano posterior. O número de eletrodos posteriores, ou o número de segmentos por grupo, determina a razão de multiplexagem ou "duty cycle". Um LCD com S segmentos e um "duty cycle" de  $1/N$  requer apenas  $(S/N + N)$  conexões externas. Se no caso do acionamento direto são aplicadas duas ondas quadradas em contrafase nos eletrodos "off", no caso da operação multiplexada não mais se pode anular simultaneamente a tensão em todos os eletrodos de um grupo (alguns estão "on" outros "off"). Assim se num grupo de eletrodos dianteiros se aplica uma tensão alternada, de grande valor de pico, na varredura dos eletrodos posteriores a tensão alternada aplicada deverá também ser convenientemente elevada para garantir que, entre eletrodos "off" a tensão RMS fique aquém de  $V_l$  ( $V_{off} < V_l$ ) mantendo esses segmentos invisíveis. Com uma tensão muito alta os segmentos "off" ficam visíveis enquanto que com uma tensão muito baixa o contraste fica prejudicado. A figura 6 ilustra a faixa de tensões recomendada para taxas de multiplexagem de  $1/2$  e de  $1/8$ , observando-se que quanto maior a taxa de multiplexagem escolhida menor a área de tensões recomendadas.

A variável de maior interesse no estudo do acionamento dos LCDs por multiplexagem temporal é a razão de discriminação D, definida por  $D = V_{on}/V_{off}$ , devendo ser a maior possível de forma a garantir uma boa discriminação entre os estados "on" e "off". Esta faixa é cada vez mais estreita quanto mais alta for a razão de multiplexagem ou, em outras palavras, quanto maior a taxa de multiplexagem, mais próximas ficam as tensões  $V_{on}$  e  $V_{off}$ , conforme ilustra a Tabela I.

Resumindo o que foi exposto até agora, a taxa de multiplexagem está limitada pela inclinação finita da curva de contraste e por seu comportamento com a temperatura. Quan-

o maior for sua inclinação melhor será o contraste para uma dada taxa de multiplexagem. O comportamento em temperatura e o ângulo de visada impõem restrições ainda maiores a este desempenho, sendo definidos pela qualidade do cristal líquido empregado, e pela tecnologia de fabricação das células. A taxa de multiplexagem está limitada também pelo tempo de resposta do cristal, que deve ser pelo menos uma ordem de grandeza maior do que o intervalo entre os pulsos de acionamento. Quanto maior for a taxa de multiplexagem mais garantida estará esta condição para o tempo de decaimento.

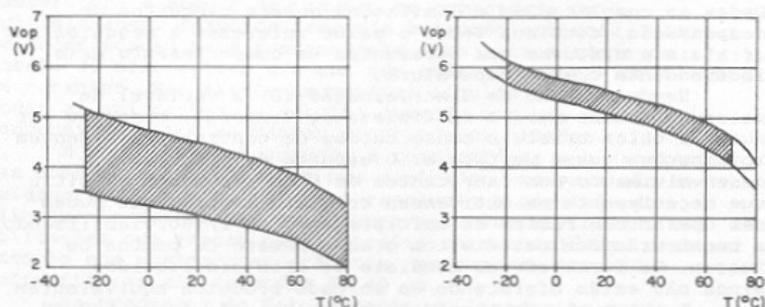


Fig.6. Ilustração da faixa de tensões recomendadas para a operação de um LCD-TN com multiplexagem de 1/2 e de 1/8 (5).

TABELA I

Características de multiplexagem para um LCD DE 16 caracteres de 16 segmentos (6)

Razão de multiplexagem	1/1	1/2	1/3	1/4	1/8	1/16
Número de níveis	1	2	3	4	8	16
Voff(RMS)/Vop	0	0,35	0,33	0,33	0,30	0,24
Von(RMS)/Vop	1	0,79	0,64	0,57	0,43	0,32
Von/Voff	∞	2,24	1,92	1,73	1,45	1,29
Número de conexões	257	130	89	68	40	32

Foram utilizados três níveis de tensão no caso 1/2, quatro níveis nos casos 1/3 e 1/4 e seis níveis nos casos 1/8 e 1/16.

### 3. O que define a tecnologia de LCDs.

Uma tecnologia de mostradores de cristal líquido, conforme entendida por nós, é o conjunto de conhecimentos efetivamente vivenciados experimentalmente, sobre os materiais, insumos e processos de fabricação de dispositivos que atendam a determinadas especificações de desempenho. Dentro desse enfoque uma tecnologia pode ser considerada como definida pelo tipo de cristal líquido empregado, capacidade de multiplexagem do mostrador, temperaturas de operação e armazenagem, complexidade e

densidade das configurações exibidas, dimensões (área e espessura) e cor, entre outros parâmetros.

O tipo de cristal líquido empregado na confecção de uma célula determina a maior parte desses parâmetros, conforme já discutimos ao expor os princípios de funcionamento de um LCD. Naquela análise apontamos ser a dependência da curva de contraste com a tensão aplicada, com a temperatura e com o ângulo de visada, o fator mais restritivo em se alcançar altas taxas de multiplexagem. O efeito da temperatura nas tensões de limiar e de saturação pode ser contornado utilizando-se circuitos de compensação que corrijam a amplitude da tensão aplicada de forma a neutralizar a variação dessas tensões com a temperatura. Dadas as complicações e limitações desses circuitos de compensação, continua tendo o maior interesse a pesquisa por cristais e misturas que apresentem um comportamento mais independente com a temperatura.

Sendo a razão de discriminação (D) a variável de maior interesse para a multiplexagem temporal, busca-se por sua vez obter cristais cujas curvas de contraste apresentem inclinações quase verticais. O esforço de pesquisa e desenvolvimento dos fabricantes de LCDs japoneses permitiu que recentemente se obtivessem cristais líquidos que pudessem operar com razões de multiplexagem de 1/100, viabilizando a construção dos painéis com grande número de pontos de imagem. Os fornecedores mundiais de cristais líquidos ainda não estão oferecendo ao mercado produtos equivalentes.

O intervalo de temperatura de operação de um LCD-TN é estabelecido pelos limites de temperatura da fase nemática do cristal líquido, o limite superior (clearing point) correspondendo à temperatura em que o alinhamento molecular desaparece, e o limite inferior sendo o ponto de fusão do cristal líquido. Este último é difícil de determinar uma vez que a maioria dos cristais líquidos pode ser facilmente super-resfriada. O limite inferior é definido em função de quão lento pode ser o tempo de resposta à tensão aplicada, uma vez que, conforme já discutimos, decorre do aumento da viscosidade. Considera-se como normal o intervalo de temperaturas de operação entre -10 C e 60 C, classificando-se como especiais os mostradores que podem operar entre -25 C e 80 C, como é o caso para as aplicações externas e automotivas. Apesar de comprometer o desempenho, a ultrapassagem desses limites não danifica os mostradores. Quanto às temperaturas de armazenagem, seus limites são normalmente -25 C e 70 C e para os especiais, -40 C e 90 C. Esses valores não podem ser ultrapassados sob pena de se danificar irreversivelmente o cristal.

No que se refere ao comportamento com o ângulo de visada enormes esforços vêm sendo empreendidos na busca de novos cristais nemáticos que possam sofrer torções maiores do que os 90 graus convencionalmente obtidos. Nesse sentido alguns fabricantes japoneses já anunciaram mostradores que empregam cristais que sofrem torção de 270 graus, os chamados super-torcidos, com desempenho sensivelmente melhor do contraste com o ângulo de visada.

A cor é uma limitação da tecnologia dentro das perspectivas mais recentes do emprego de corantes dicróicos (guest-host). Em suspensão na solução de cristal

líquido, as moléculas do corante acompanham o alinhamento do cristal, absorvendo a luz na ausência do campo elétrico, ou deixando-a passar na presença deste. Dispensam assim o emprego de polarizadores, com vantagens no brilho, independentemente do ângulo de visada. A busca por novas misturas e seus corantes configura-se como uma das grandes linhas de pesquisa de hoje, tendo em vista as vantagens que apresentam, além do atributo cor, importante em muitas aplicações.

Existem muitos tipos de cristal líquido no mercado, os quais se distinguem pelo comportamento em temperaturas de operação e armazenagem, curva de contraste com a tensão, temperatura e ângulo de visada, na capacidade de multiplexagem, tempo de resposta à tensão aplicada, além de propriedades mais fundamentais como a capacidade de torção do eixo óptico e a cor que pode apresentar pelo uso de corantes. Não existe um cristal líquido ideal para todas as aplicações, a escolha devendo ser uma solução de compromisso entre as várias propriedades citadas.

A medida em que aumenta a complexidade e a densidade das configurações exibidas num mostrador, maiores são as exigências no que se refere à resolução e precisão do alinhamento nas etapas de fotogração dos eletrodos. Nas aplicações que exigem configurações mais complexas, como por exemplo nos mostradores gráficos, as menores dimensões entre figuras são da ordem de 40  $\mu\text{m}$ .

Os processos de fotogração utilizados na produção de LCDs são semelhantes aos empregados na confecção de circuitos integrados, nos seus aspectos químico e fotográfico, envolvendo a preparação das máscaras, a sensibilização e exposição das placas a serem gravadas e a remoção seletiva do filme transparente e condutor. Como tal exigem ambientes especiais com condições ambientais controladas, apesar de que as dimensões mínimas mencionadas não impõem restrições tão sérias de alinhamento e resolução. Este não é o caso da tecnologia de matrizes ativas de transistores e capacitores construídos diretamente sobre as placas de quartzo (no caso da tecnologia de polisilício) e de vidro (na de silício amorfo), em que as exigências de processos passam a ser semelhantes às da Microeletrônica. Nessa tecnologia inúmeros têm sido os esforços de desenvolvimento dos fabricantes japoneses em dominar os processos fotolitográficos para placas de quartzo e de vidro de grandes dimensões, com todas as dificuldades inerentes à confecção dos transistores e capacitores, em grandes escalas de produção e com alto rendimento de fabricação.

Ainda no que se refere à complexidade e densidade das configurações, nos casos em que estas são muito altas, faz-se necessária a introdução de uma camada de isolamento que evitará os efeitos do campo elétrico entre eletrodos muito próximos, os quais comprometem não só o desempenho dos mostradores como também sua durabilidade.

As dimensões do LCD (comprimento e largura) definem o material e o método de obtenção da camada condutora e transparente que recobre o vidro. Dois materiais são normalmente empregados, o dióxido de estanho ( $\text{SnO}_2$ ) e o óxido misto de índio e estanho (ITO), ambos apresentando as

propriedades de elevada condutância elétrica e transmitância óptica. Estas propriedades são altamente dependentes do método de obtenção empregado, sendo os mais comuns os métodos de deposição química por vapor (CVD) no caso do SnO<sub>2</sub>, e a evaporação térmica por canhão de elétrons e a pulverização catódica (sputtering), no caso do ITO.

Apesar do SnO<sub>2</sub> ser um material de baixo custo e seu processo de obtenção menos dispendioso, sua resistência pelicular, em camadas cuja espessura não comprometam a transmitância (30 a 300 Å), atinge valores elevados, na faixa de 300 a 500 Ω/□. Em decorrência, fica limitado seu emprego a mostradores de pequenas dimensões, uma vez que resistências tão elevadas nos eletrodos, comprometem não só o tempo de resposta do mostrador como também sua capacidade de multiplexagem, pela limitação, ao longo da placa, da amplitude da tensão aplicada. Esse efeito compromete uma vez que aproxima os valores RMS de Von e Voff. Em consequência, a produção dos grandes mostradores exige o emprego do ITO, de custo muito maior do que o SnO<sub>2</sub>, e cujos processos de deposição, evaporação ou "sputtering", também são muito mais dispendiosos do que o CVD por exigirem equipamentos de alto vácuo.

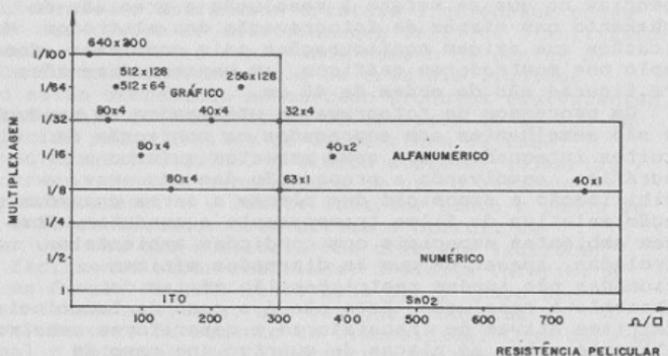


Fig.7. Ilustração dos limites da tecnologia de fabricação de LCDs, mostrando as restrições impostas pela resistividade dos eletrodos e a capacidade de multiplexagem.

Na figura 7 procuramos sintetizar essa análise efetuada sobre os limites da tecnologia de LCDs, através de seus aspectos mais restritivos, quais sejam, a resistividade do filme condutor e a capacidade de multiplexagem. Este gráfico mostra que na fabricação de painéis cada vez maiores, não só resistividades menores devem ser buscadas como também taxas de multiplexagem mais elevadas, subentendendo a escolha do tipo de cristal adequado e do material e processo de obtenção da camada condutora.

#### 4. Conclusões

A partir da revisão dos princípios de operação dos mostradores de cristal líquido procuramos identificar os parâmetros que definem uma tecnologia de fabricação.

estabelecendo seus limites e discutindo as ações que devem ser empreendidas para superá-los.

Os limites estabelecidos pelo tipo de cristal líquido mostram que são perspectivas importantes para o desenvolvimento da tecnologia a síntese de novos cristais líquidos e suas misturas em que se busquem alcançar elevadas taxas de multiplexagem, curvas de contraste mais inclinadas e menos dependentes com a temperatura e com o ângulo de visada, e a síntese de corantes que lhes configurem o atributo cor e dispensem o uso de polarizadores. O domínio das técnicas de obtenção de filmes de elevada condutância elétrica e transmitância óptica é imprescindível para que se possa construir mostradores de grandes áreas e com alta densidade de configurações, e que devem ser operados com elevadas taxas de multiplexagem.

As técnicas fotolitográficas impõem, por sua vez, um limite importante principalmente em face às perspectivas da incorporação das matrizes ativas de transistores e capacitores de filmes finos sobre as placas de vidro ou quartzo, visando a obtenção de painéis planos de alta resolução e que substituirão os CRTs nas aplicações em televisores portáteis, computadores e painéis de informações gráficas.

Não foram discutidas neste artigo, por problemas de espaço, as questões relativas aos circuitos de acionamento elétrico, seu caráter dedicado, ou suas versões incorporadas aos próprios mostradores como é o caso da tecnologia "chip on glass". Tampouco foram discutidas as perspectivas que se apresentam das novas aplicações em impressoras, mostradores flexíveis ou outras.

#### Agradecimentos

Agradecemos ao Dr. Miguel Teixeira de Carvalho, Diretor Geral do CTI, pelo apoio e incentivo na realização deste trabalho. Agradecemos ainda ao Dr. Carlos Ignácio Zamitti Mammana, Diretor do Instituto de Microeletrônica por ter viabilizado a sua realização ao colocar recursos materiais e humanos à nossa disposição. Agradecemos ainda, ao Dr. Nicolau Januzzi, Economista Virginia Guanaes, e aos demais pesquisadores do IM que, em profícuas discussões contribuíram com valiosas sugestões.

#### 5. Referências

- (1) G.H.Heilmeyer, J.A.Castellano and L.A.Zanoni, "Guest-Host interactions in Nematic Liquid Crystals", *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 8, 293-304, 1969.
- (2) M.Schadt and W.Helfrich, "Voltage dependent optical activity off a Twisted Nematic Liquid Crystal", *Appl. Phys. Lett.* 18 (4), 127-128, 1971.
- (3) A.P.Mammana, S.Kobayashi, A.Pavani Filho e C.A.Pisani, "A tecnologia de fabricação de mostradores de cristais líquidos, a publicar.
- (4) A.P.Mammana, S.Kobayashi, A.Pavani Filho e C.A.Pisani, "A tecnologia dos mostradores de cristal líquido: História de seu desenvolvimento", a publicar.
- (5) A.D.Schelling, "Liquid Crystal Displays", *Electronic Components and Applications*, Vol. 5, No. 4, Sept. 1983.