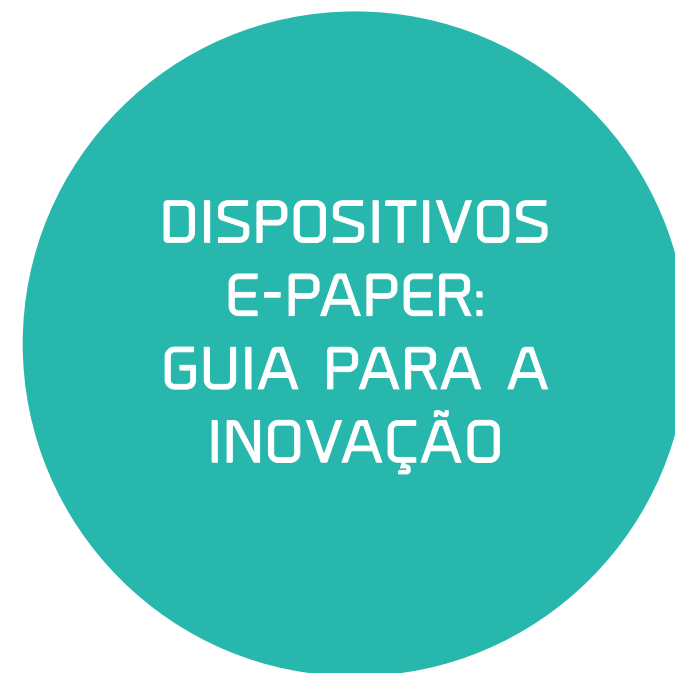


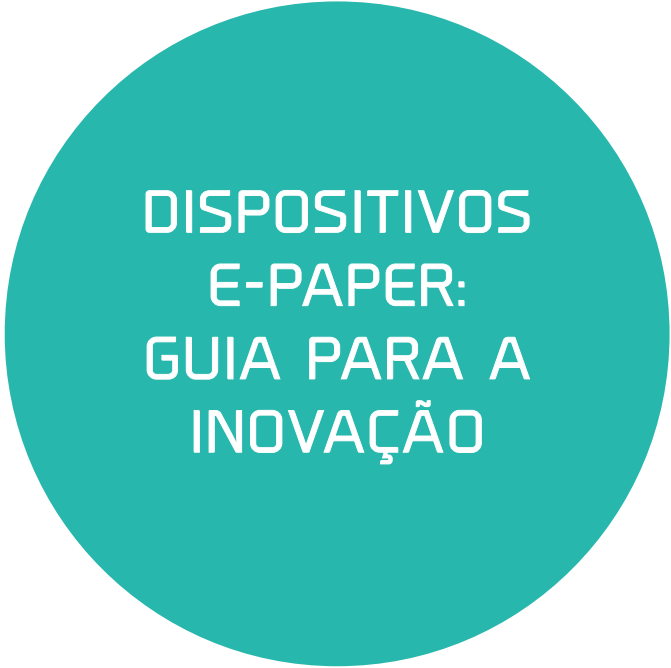
DISPOSITIVOS E-PAPER: GUIA PARA A INOVAÇÃO



DISPOSITIVOS E-PAPER: GUIA PARA A INOVAÇÃO

Ficha Técnica

Título	Dispositivos <i>e-paper</i> . Guia para a Inovação
Coordenação	Cristina Marques Vânia Pacheco
Textos	Maria Fernandes Luís Rocha Gonçalo Costa
Apoio	AIDUST, Consultadoria e Apoio à Indústria S.A.
Data	Dezembro 2022



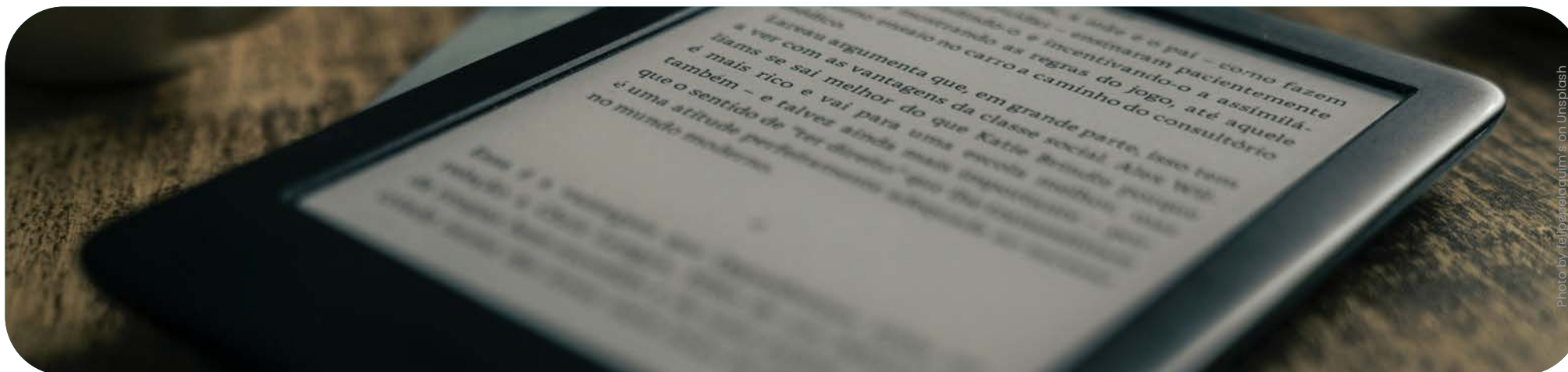
DISPOSITIVOS E-PAPER: GUIA PARA A INOVAÇÃO

ÍNDICE

Enquadramento	4
Do papel às novas tecnologias digitais	6
• Tecnologia e-paper	8
– Display eletroforético	10
– Display electrocrómico	11
– Display (Bi)estável LCD	13
• Vantagens da tecnologia <i>e-paper</i>	14
Aplicações da tecnologia <i>e-paper</i>	15
Casos de sucesso	18
Conclusões	20
Referências	22

A person's hands are holding a curved, flexible plastic logic display. The display is dark blue with white text and graphics. The text includes "PLASTIC LOGIC" at the top, "OVER 12 MILLION" in large letters, "ORGANIC TRANSISTORS" in a curved path, and "INSIDE" with a large white arrow pointing to the left. A teal circle is overlaid on the center of the display.

Enquadramento



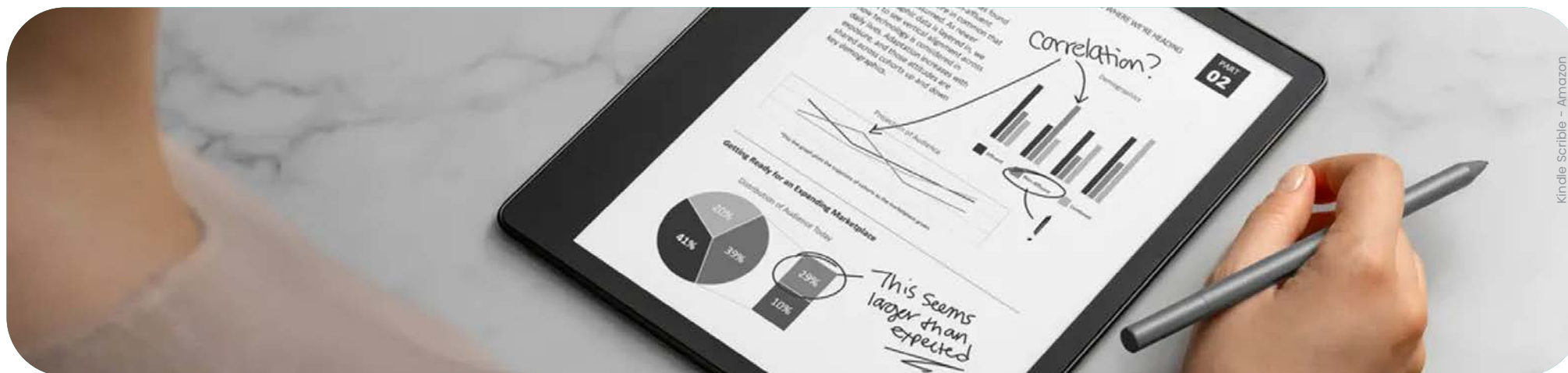
O presente Guia está integrado num conjunto de quatro Guias para a Inovação a disponibilizar no âmbito do projeto *MetalShoe FabLab Network* [1]. O projeto *MetalShoe FabLab Network*, apoiado pelo NORTE2020 e promovido pelo Centro Tecnológico do Calçado de Portugal (CTCP) e pelo Centro de Apoio Tecnológico à Indústria Metalomecânica (CATIM), surge num contexto marcado pela emergência de um novo paradigma associado ao desenvolvimento de produtos inovadores, quer por via dos materiais que incorporam, quer por via das tecnologias que utilizam. O projeto tem como objetivo capacitar e acompanhar as empresas na resposta aos novos desafios que se colocam aos seus processos, produtos e serviços, permitindo-lhes acompanhar as ten-

dências, criar valor acrescentado e, sobretudo, manter/aumentar a sua competitividade.

Os Guias para a Inovação incluem informação técnica diversa destinada a complementar o objetivo de capacitação das empresas ao nível das tecnologias e áreas de conhecimento, incluindo testemunhos, casos de sucesso, boas práticas. O presente Guia centra-se nos dispositivos *e-paper* (papel eletrónico), e tem como principal objetivo disponibilizar ao tecido empresarial uma breve descrição sobre a tecnologia *e-paper*, e uma reflexão sobre a sua importância para o tecido empresarial.

A close-up photograph of a person's hand holding a black tablet. The tablet screen displays a page of text, which appears to be a chapter from a book. The text is in English and discusses a dream that began in October 9, 2002. The person holding the tablet has pink nail polish. The background is blurred, showing what looks like a bed with grey and white bedding. A teal-colored circle is overlaid on the right side of the image, containing the text 'Do papel às novas tecnologias digitais' in white.

Do papel às novas tecnologias digitais

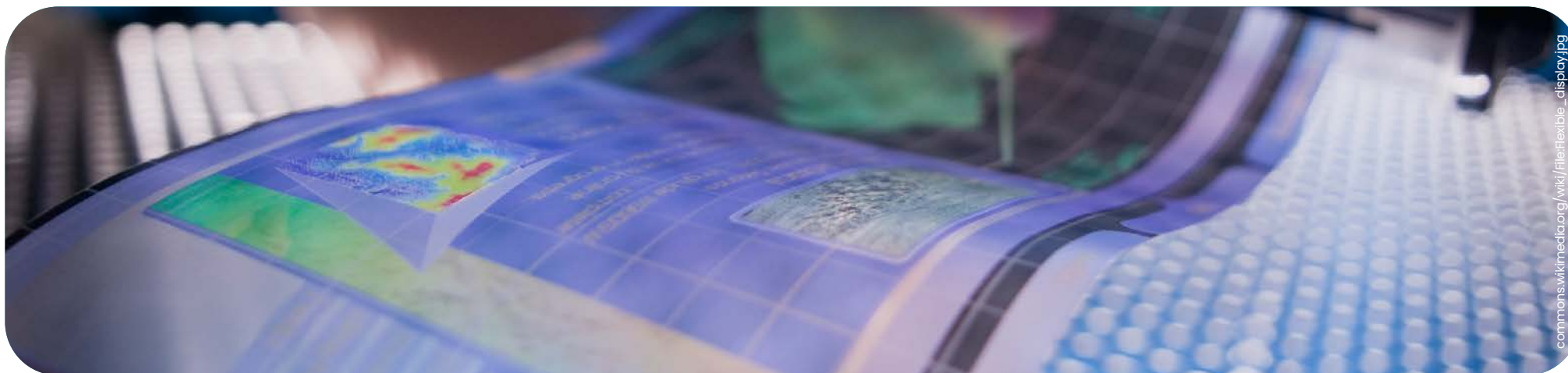


A forma como comunicamos e transferimos conhecimento está em constante mudança, não só impulsionada pelo aparecimento de novas tecnologias como pela própria evolução das já existentes. Numa sociedade em que o digital é algo “inato”, o acesso desenfreado a novos suportes tecnológicos é cada vez maior. É devido a esse avanço tecnológico que assistimos a uma espécie de morte lenta do papel tradicional (impresso). A velocidade com que as tecnologias evoluem impõe que se questione a importância do papel tradicional como suporte de informação e a sua situação privilegiada durante tantos séculos como principal meio de comunicação e informação. É neste contexto que surge o conceito de papel eletrônico, também conhecido como

e-paper. A tecnologia de papel eletrônico tenta alcançar a clareza, o contraste e facilitar a visualização de papel “normal” num display eletrônico. Tal como o nome sugere, é uma representação eletrônica do papel e tinta (e-ink) convencional, em que a impressão eletrônica de textos e imagens pode ser apagada, alterada ou reutilizada a qualquer momento sem necessidade de um novo papel [2]. Ao contrário de uma tela plana convencional que utiliza a luz de fundo para iluminar os pixels, o *e-paper* reflete a luz ambiente, assim como o papel impresso tradicional. O *e-paper* display exibe claramente os textos/imagens sob luz natural, não requer luz de fundo e apresenta até quase 180° Viewângulo de ing. (Figura 1).



Figura 1. Comparação entre o *e-ink*, papel impresso e um monitor LCD (adaptado de [3]).



A tecnologia *e-paper* permite armazenar um conjunto indefinido de textos e imagens, bem como a alteração das mesmas a qualquer momento, sem a necessidade de consumo de energia. O conceito *e-paper* obteve maior popularidade nos últimos anos, no entanto este conceito teve as suas raízes algumas décadas atrás.

• Tecnologia *e-paper*

O primeiro *e-paper*, denominado Gyricon, foi desenvolvido em 1974, por Nicholas K. Sheridan no Xerox Palo Alto Research Center (PARC) [4]. O Gyricon (palavra grega que significa “imagem que gira”) basea-

va-se numa folha transparente e flexível constituída por uma camada fina de microesferas de polietileno com 75-106 μm de diâmetro. As esferas apresentavam duas cores (branco e preto) correspondendo a cargas elétricas opostas (Figura 2). Estas esferas encontravam-se embutidas numa folha de silicone e suspensas em óleo, permitindo a sua rotação [5,6]. Aplicando-se um campo elétrico apropriado à superfície, as esferas giravam até expor o lado branco ou preto à visão do espectador criando, desse modo, uma imagem que pode ser renovada indefinidamente.

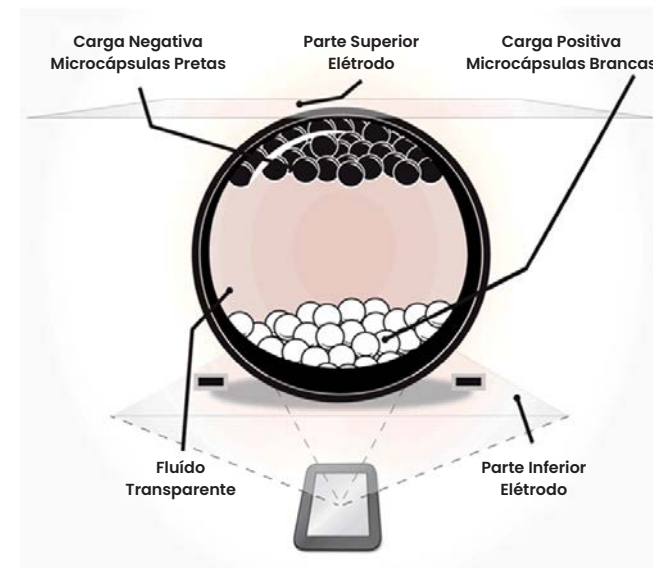


Figura 2. Representação esquemática do funcionamento da tecnologia *e-paper* (esquema adaptado de [6]).

Apesar do primeiro dispositivo *e-paper* ter surgido em 1974, a publicação digital tornou-se uma prática corrente apenas na década de 90, altura marcada pela transição do papel para o digital. Começaram a surgir inovações ao nível da impressão, as quais tiveram um impacto significativo na redução dos custos, na componente ambiental e sustentabilidade. O processamento de textos e imagens com recurso à tecnologia digital passou a ser uma prática comum, outrora dividida em indústrias distintas, como é o caso da impressão, publicação, design gráfico, multimédia, áudio e vídeo. Todas elas convergiram numa única indústria baseada na informação como principal produto [7].

A década de 90 é marcada também pelo aparecimento de outro tipo de *e-paper* - display eletroforético mico-encapsulado - comumente utilizado em dispositivos eletrônicos como *e-readers* [8]. O *e-paper* eletroforético foi criado por Joseph Jacobson, professor no Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT, na sigla em inglês) e cofundador da empresa *E Ink Corporation*. No processo de eletroforese podem existir duas situações distintas: (1) microcápsulas brancas e pretas eletricamente carregadas com carga positiva ou negativa; (2) microcápsulas preenchidas com partículas brancas ou pretas eletricamente carregadas e imersas em parafina líquida colorida. Os circuitos eletrônicos possibilitam controlar a posição das partículas

brancas no topo da microcápsula (pixel branco) ou no fundo da microcápsula (pixel da cor do óleo). Em ambos os casos, a formação da imagem é similar ao processo do Gyricon: a distribuição de voltagens é que define a imagem. Esta tecnologia é similar à dos visores baseados em eletroforese, mas o recurso a microcápsulas com base polimérica em vez do vidro permitiu a flexibilidade do papel tradicional. A técnica de eletroforese permite obter e-inks com melhores propriedades quando comparada com a tecnologia de Gyricon.

Atualmente existem diversas tecnologias que possibilitam a produção de *e-papers*: eletroforese, eletromedecimento, eletrocromismo, etc. Todas elas seguem uma linha de funcionamento parecida. Microcápsulas magnéticas colocadas em contacto com algum tipo de óleo ou líquido, e através de uma folha de polímero semiconductor transparente que envolve o líquido, as esferas são estimuladas eletronicamente, criando os pixels do display, brancos ou pretos dependendo da carga utilizada (negativa e positiva). Qualquer *e-paper* apresenta parte frontal e parte traseira. A parte frontal é constituída pela *e-ink* e a parte traseira é constituída pelos circuitos eletrônicos. Para formar o display eletrónico, a *ink* é impressa no filme/folha polimérica que é laminado para formar a camada juntamente com circuitos eletrónicos.

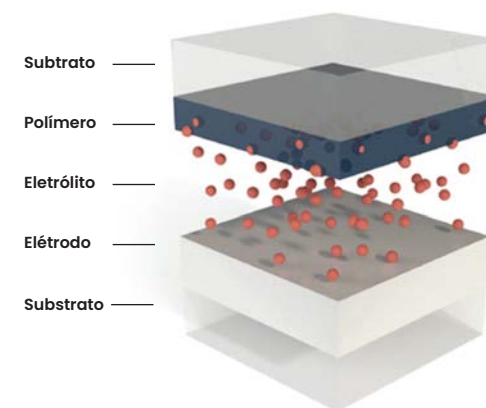


Figura 3. Display electrocrómico (esquema adaptado de [6]).



- Display Eletroforético

Um display eletroforético é um tipo de display fino de baixa potência, que permite criar *e-papers* finos, flexíveis e facilmente visíveis mesmo sob o brilho. Os displays eletroforéticos mais comuns são constituídos por milhões de micropartículas ($\pm 1\mu\text{m}$ de diâmetro) de dióxido de titânio (TiO_2) que estão suspensas numa solução portadora de hidrocarbonetos e corante preto. Essas partículas são cobertas com agentes de carga para configurar a cada uma destas partículas uma carga elétrica (Figura 4). As partículas são colocadas entre duas placas condutoras paralelas com cerca de 10 a 100 μm de distância e estão suspensas, normalmente, num óleo. As placas condutoras paralelas são conectadas a circuitos que permitem a sinais externos manipularem a carga elétrica em diferentes pontos específicos do display [9]. Ao manipular a carga, as partículas

migram para a superfície do display ou ficam perto da parte de trás (efeito eletroforese). Na superfície as partículas de TiO_2 espalham luz, enquanto que na parte de trás a solução de tinta faz o pixel parecer preto. Ao manipular a carga em todo o display, uma imagem pode ser criada. O uso de filtros de cores

(matriz de filtros) permite a exibição de todo o espectro visível. O sistema pode ter quatro campos elétricos para cada microcápsula permitindo ter três níveis de cinza além do branco e do preto: 100% branco; 75% branco e 25% preto; 50% branco, 50% preto; 25% branco, 75% preto e 100% preto.

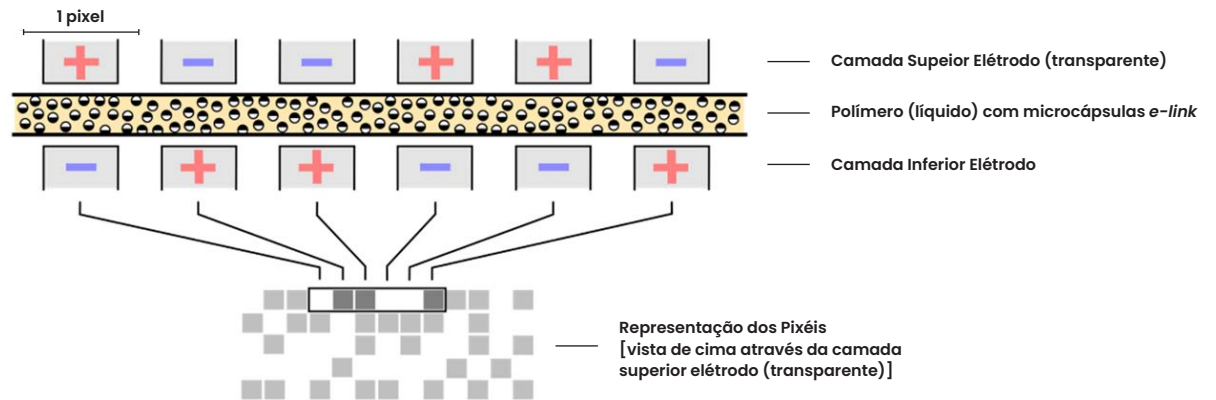


Figura 4. Representação esquemática do *e-paper* eletroforético (esquema adaptado de [10]).



- Display Electrocrômico

Displays electrocrômicos são produzidos através do eletrocromismo. O eletrocromismo consiste na mudança das propriedades óticas de um determinado material após a aplicação de um estímulo elétrico na forma de corrente ou potencial [11]. A mudança de coloração neste tipo de material ocorre devido à presença de grupos ou moléculas cromogêneas, que absorvem a perturbação elétrica e como resposta, alteram suas propriedades óticas. Materiais podem ser considerados eletrocrômicos quando apresentam mudanças distintas de coloração reversíveis perante uma reação de oxidação ou redução, sejam estas mudanças de transparente para colorido, ou mesmo a mudança entre cores [12,13]. O funcionamento deste tipo de dispositivos sugere uma composição de vários materiais, cujas propriedades electroquímicas,

quando conjugadas, permitem o controlo da transmissão de luz através deles (Figura 5).

Os displays baseados na tecnologia de eletrocromismo são compostos por vários materiais sobrepostos em camadas, conforme ilustrado na figura 5. Existem duas camadas de vidro nas extremidades, entre elas o TCO (Transparent Conductive Oxide), um material condutor e transparente, imediatamente ao TCO existe uma película electrocrômica, cuja função é possibilitar o transporte e armazenamento de iões entre as camadas anexas. O fluxo de cargas elétricas ao longo destes materiais possibilita a alteração das propriedades óticas do condutor iónico (eletrólito). Visto o funcionamento da unidade de imagem que o dispositivo electrocrômico possibilita (pixel electrocrômico), conceptualmente, é fácil de entender que um ecrã que utilize

esta tecnologia será uma matriz destas unidades electrocrômicas em tamanho muito reduzido. O que efetivamente distingue estes displays dos clássicos

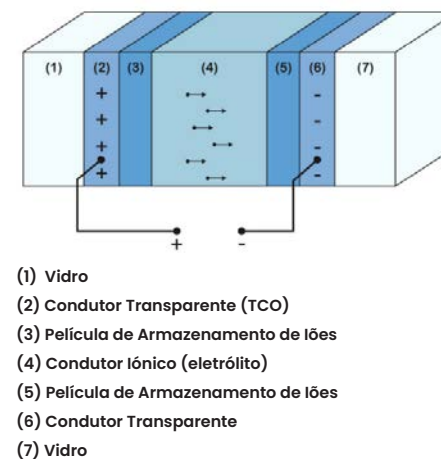


Figura 5. Funcionamento básico de um display electrocrômico [14].

displays electrocrômicos é a deposição de electrónica transparente (dispositivos ativos) em cada uma das unidades de imagem (pixel). Esta capacidade permite que estes displays funcionem tal e qual como os atuais displays TFT2 (em termos de velocidade de refrescamento dos pixels), sendo que este novo tipo de dispositivos electrocrômicos pode ser totalmente transparente.

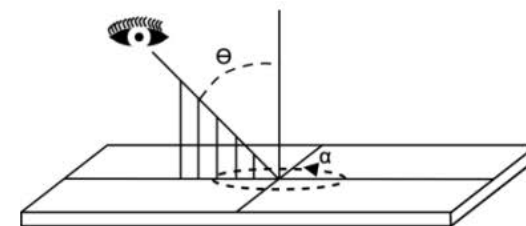
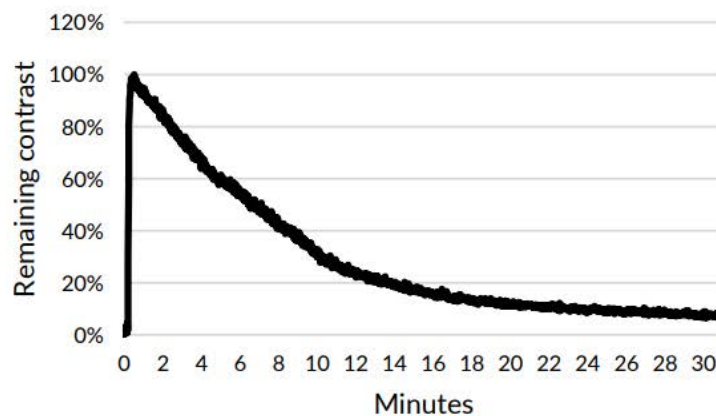
Um exemplo de displays que utilizam esta tecnologia são os *Ynvisible E-Paper Display* [15]. Os displays da *Ynvisible* (denominados ECD “Electrochromic Display”) apresentam uma dependência de ângulo muito baixa, são semi-estáveis, o que significa que o monitor consome energia principalmente durante as trocas de monitor, mas requer um pulso de atualização curto (aproximadamente 1x a cada 2 min). O monitor pode ser conectado e controlado por quase todos os microcontroladores (MCUs). Abaixo estão listadas as principais características destes displays [16]:

Características Gerais:

- Consumo de energia ultrabaixo;
- Baixa voltagem de operação;
- Reflexivo;
- Não dependente do ângulo de visualização;
- Tempo de atualização elevado;
- Flexível;
- Amigo do ambiente.

Características Óticas:

Parâmetro	Condições de teste	% min.	%	% max.	Unidade
Reflexividade	Brilhante, 25°C	38%	40%	45%	Y-value
Reflexividade	Escuro, 25°C	8%	12%	14%	Y-value
Viewângulo (Θ_v)			89%		°
Intervalo de atualização	n.a		2.5%		Minutos



Características Mecânicas:

Parâmetro	Valor médio	Unidade
Espessura	0.35	mm
Peso	0.04	g/cm2
Raio de Curvatura	10	mm

Características Elétricas:

Parâmetro	Condições de teste	min.	médio	max.	Unidade
Consumo de Energia (transição)	10 mm ² segmento, 25°C, 30-50% RH		1		mJ/cm ²
Corrente de Alimentação (média)	10 mm ² segmento, 25°C, 30-50% RH		1.1		μA/cm ²
Pico de Corrente	10 mm ² segmento, 25°C, 30-50% RH		0.4		mA
Voltagem ON Recomendada	10 mm ² segmento, 25°C, 30-50% RH	1	1.5	1.65	V
Voltagem OF Recomendada	10 mm ² segmento, 25°C, 30-50% RH	0	-1.5	-1.65	V

Sincronização:

Parâmetro	Condições de teste	médio	Unidade	Notas
ON	10 mm ² segmento, 25°C, 30-50% RH	0.25	s	1.5V "driving voltage"
OF	10 mm ² segmento, 25°C, 30-50% RH	0.25	s	- 1.5V "driving voltage"

- Display (Bi)estável LCD

Também existem os displays biestáveis. Estes displays são os que oferecem menor consumo de energia, ou mesmo zero consumo (zero power). Um display LCD recorre à tecnologia baseada no princípio único denominado "falha da âncora de superfície". Com recurso a essa tecnologia, o cristal líquido tem dois estados estáveis: o estado "uniforme" ("U") e o estado "torcido" ("T"), cada um selecionado por aplicação simples de um sinal elétrico. Uma vez que um ou outro estado tenha sido selecionado (branco ou preto), ele é preservado sem consumir energia. Um impulso elétrico puxa as moléculas para longe da superfície, quebrando a âncora fraca. A forma da borda descendente do pulso define a organização das moléculas no estado "U" ou "T". Assim, o display biestável LCD pode reter uma imagem sem necessidade de energia (Zero Power). Os cristais podem existir em uma das duas orientações estáveis e a energia é necessária apenas para alterar a imagem. O LCD biestável pode mudar de cor e manter essa cor mesmo quando a energia é cortada.



- **Vantagens da tecnologia e-paper**

Todos os dispositivos acima mencionados apresentam características e formas de funcionamento distintas, no entanto todos eles têm na sua base o recurso à tecnologia *e-paper*, o que faz que qualquer um deles apresente as vantagens inerentes a esta tecnologia, nomeadamente:

Baixo consumo energético: nos dispositivos *e-paper* uma vez “configurada” a sua visualização não consomem mais energia, ao contrário dos monitores dos computadores e smartphones que necessitam constantemente de energia para exibirem o seu conteúdo. A luz emitida por *e-papers* provém de pigmentos, os quais têm sua cor originária da reflexão de luz externa – luz ambiente. Assim, e como só necessitam de energia para ativar o campo elétrico no momento da troca de imagem, um *e-paper* pode ficar semanas sem a necessidade de recarregar a bateria;

Possibilidade de visualização sob luz solar direta: devido à sua tecnologia de funcionamento um *e-paper* display pode ser lido sob luz solar direta sem que a imagem fique ofusca;

Não dependente do ângulo de visualização: displays *e-paper* têm excelente legibilidade devido ao seu ângulo de visibilidade amplo e alto contraste, tornando-os ideais para anúncios importantes, como indicações de trânsito, etc;

(Bi)Estabilidade: displays *e-paper* têm vários níveis de (bi)estabilidade, o que significa que o display retém uma imagem sem exigir uma fonte de alimentação. Por exemplo, o Ynvisible display pode reter uma imagem por 15 min antes que um pequeno pulso de atualização seja necessário – denominado semi-biestabilidade;

Possibilidade de displays flexíveis e maleáveis: uma vez que esta tecnologia recorre a materiais poliméricos para a sua construção, permite oferecer flexibilidade ao produto final muito semelhante à obtida por papel tradicional;

Amigo do ambiente: produzir papel implica atividade industrial de base, com tecnologia de ponta, consumo de matéria-prima e de energia em quantidades elevadas e, como não podia deixar de ser, produção de resíduos e poluição. O recurso a alternativas como o *e-paper* são soluções para a redução do consumo do papel;

Fino e leve;

Disponível em vários tamanhos.



ações tecnologia paper



A evolução da tecnologia *e-paper* permitiu o desenvolvimento de diferentes tipos de displays *e-paper*, e com esse avanço a sua utilização em diferentes setores. Como exemplo de aplicações, selecionou-se apenas alguns casos que evidenciam de forma clara o potencial desta tecnologia, sobretudo no tecido empresarial:

Gestão da Cadeia de Abastecimento: amplamente utilizados no gerenciamento da cadeia de abastecimento nomeadamente no rastreamento de produtos e monitorização das mercadorias em tempo real. A tecnologia *e-paper* oferece maior visibilidade e transparência no monitoramento logístico;

Retailo (etiquetas comerciais): utilizados em etiquetas comerciais como alternativa mais barata aos métodos tradicionais que utilizam as etiquetas de papel. Permite a adoção de etiquetas inteligentes para divulgação promocional, alertas de produtos, etc;

Propriedade Industrial (proteção das marcas): utilizado para combater a imitação de marcas. Os displays *e-paper* são compatíveis com a tecnologia NFC, permitindo fornecer recursos de segurança adicionais e garantir a autenticidade e proteção das marcas;

Sinalização Digital: utilizado para a exibição de informações públicas, como por exemplo sinalização da estrada, transportes públicos, sinalização dos postos de gasolina, etiquetas de identificação de preços, etc;

“Status” Display: existem dispositivos como por exemplo dispositivos de armazenamento USB que recorrem às tecnologias de *e-paper* para exibir informações de capacidade de armazenamento, etc;

Revistas e Jornais: o primeiro jornal eletrónico surgiu em fevereiro de 2006. O Jornal De Tijd distribuiu uma versão eletrónica do jornal para assinantes selecionados em um estudo de marketing limitado, usando uma versão de pré-lançamento do iRexi. Lad. Esta foi a primeira aplicação registada de *e-ink* para publicação de jornais;

E-books: em 2007 a AMAZON começou a produzir os primeiros e-books com display *e-paper* que se fizeram acompanhar dos primeiros leitores de livros digitais (e-readers), como por exemplo o Kindle2TM, Kindle DXTM, etc);



Telemóveis: a marca Motorola, por exemplo, oferece displays que utilizam a tecnologia de eletroforese. O telemóvel Alias2TM (Samsung) incorpora *e-ink* no teclado permitindo que o teclado altere os conjuntos de caracteres e a orientação em diferentes modos de exibição;

Relógios de pulso: em 2005 a Seiko lançou o relógio de pulso Spectrum SVRDOOITM, que possui um display eletroforético; em março de 2010 lançaram a 2ª geração deste famoso relógio *e-ink* com exibição de matriz ativa.

CLIENT WEEK

☐ TASK

☒ IN PROGRESS

☒ COMPLETE

☒ CANCELED

☒ DUE DATE

☒ IMPORTANT

**Casos de
sucesso**

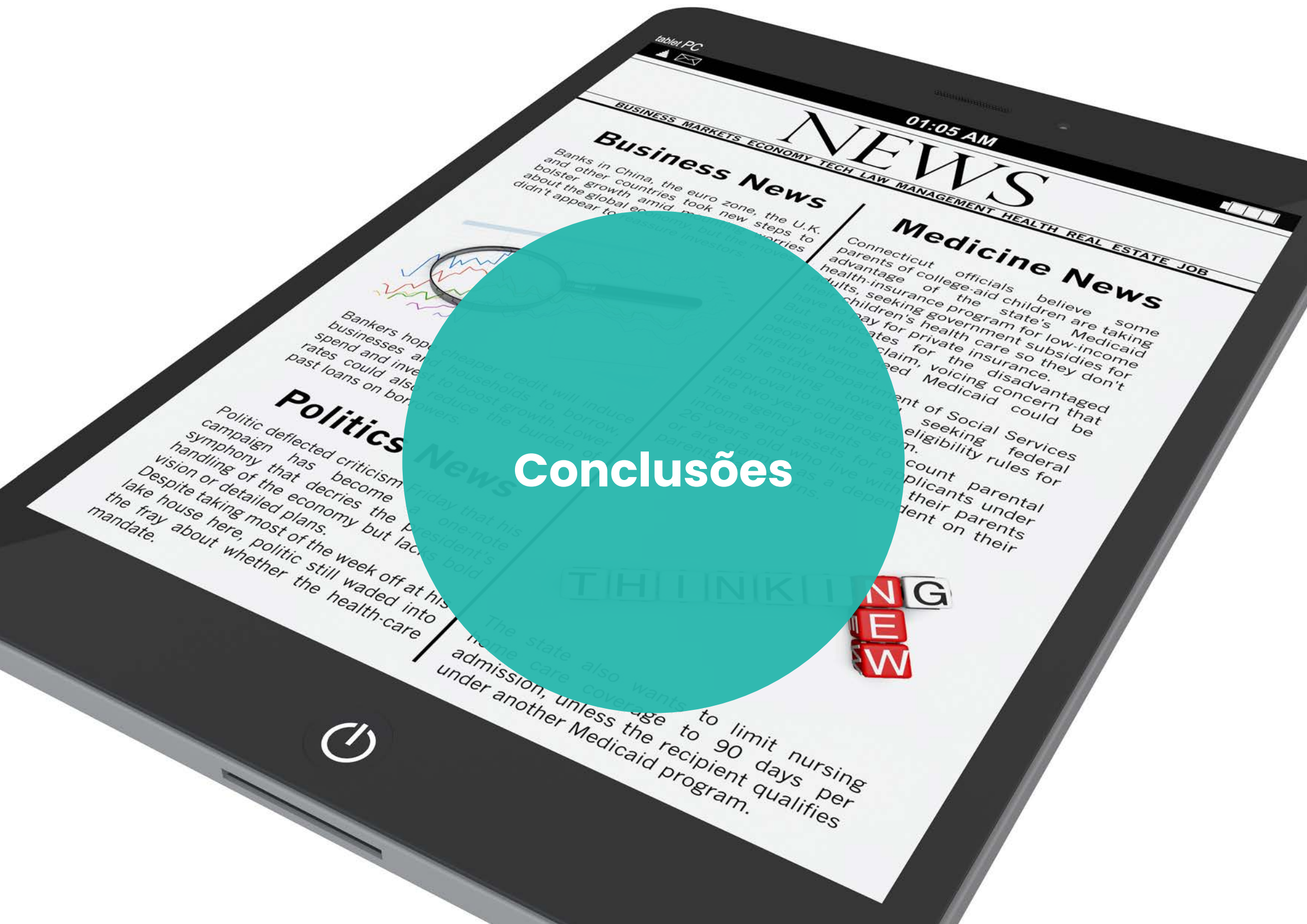


“ Deixámos de imprimir 1,5 milhões de folhas A4 por ano. São mais de 200 árvores preservadas.

Volkswagen Autoeuropa

Com o recurso à tecnologia *e-paper*, a Volkswagen Autoeuropa conseguiu dar resposta à necessidade de eliminar a impressão e manuseamento de listas de material sequenciado nos “supermercados” de abastecimento à linha de produção na montagem. No passado as listas eram impressas em papel, o que originava não só um grande consumo de papel como também um consumo de tempo elevado sem valor acrescentado à construção dos veículos. As listas eram necessárias para o acompanhamento do material de produção à linha de montagem e assegurar a rastreabilidade e sequencialidade da entrega do material. A tecnologia *e-paper* permitiu que as peças fossem recolhidas, sequenciadas e rastreadas corretamente com recurso a tablet PCs e scanners sem fios de dedo (ring scanner)

para garantir que o material é posicionado na mesma sequência dos carros que chegam à linha de montagem [17]. Segundo Miguel Redmont (Coordenador de Planeamento Logístico da Volkswagen Autoeuropa) houve uma redução significativa do consumo de papel impresso – *“Deixámos de imprimir 1,5 milhões de folhas A4 por ano. São mais de 200 árvores preservadas”*. A redução significativa no consumo de papel e a redução do tempo de processo despendido pelo operador foram os principais benefícios com a utilização desta tecnologia nos processos de logística da Volkswagen. Este é um bom exemplo de como a transformação digital, em particular a tecnologia *e-paper* aplicada na indústria, em particular nos processos produtivos, poderá contribuir de forma significativa para a redução do impacto ambiental.



Conclusões



A sociedade atual que vivemos é caracterizada pela abundância como símbolo de modernidade. Baseada no conceito do crescimento económico contínuo, temos vindo a promover um desenvolvimento que por vezes não é sustentável. É necessário adotar medidas para combater a escassez de matéria-prima e conservação dos recursos naturais. Se no passado o papel impresso era a nossa principal fonte de informação e saber, atualmente com o avanço tecnológico deixou de fazer sentido. Como

qualquer outra tecnologia digital, também para a tecnologia *e-paper* prevê-se uma crescente utilização. Num mundo globalizado, inserido na era digital, prevê-se que a forma como comunicamos será realizada, cada vez mais, de maneira diferenciada, total ou parcialmente desvinculada do papel tradicional (impresso). Como tal é importante refletir sobre o futuro dos suportes físicos e todo o seu contexto atual, que transformou o paradigma papel nos novos ambientes digitais. O *e-paper* é uma prática

cada vez mais recorrente, e as empresas necessitam de acompanhar esses avanços e identificar novas oportunidades na utilização desta tecnologia. Segundo um estudo realizado, o valor de mercado dos displays *e-paper* chegará a US\$ 3,9 bilhões até 2027 [18]. A utilização do *e-paper* estender-se-á a outros setores e tornar-se-á uma tecnologia promissora não só pela sua aplicabilidade como pelas vantagens que apresenta.

Referências

- [1] MetalShoe FabLab, August 2022, (n.d.). <https://www.metalshoefablab.pt/> (accessed August 11, 2022).
- [2] M.E. Howard, E.A. Richley, R. Sprague, N.K. Sheridan, Gyricon electric paper, J. Soc. Inf. Disp. 6 (1998) 215–217. <https://doi.org/10.1889/1.1985241>.
- [3] Nowe monitory E Ink Waveshare konkurencją dla Dasunga? – NaCzytniku.pl, (n.d.). <https://www.naczytniku.pl/nowe-monitory-e-ink-waveshare-konkurencja-dla-dasunga/> (accessed December 2, 2022).
- [4] Method of making a twisting ball panel display, (1976).
- [5] A. Ludovico, Post-digital print : the mutation of publishing since 1894, (2013) 190.
- [6] A. Gunasekaran, H.B. Marri, R.E. McGaughey, M.D. Nebhwani, E-commerce and its impact on operations management, Int. J. Prod. Econ. 75 (2002) 185–197. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(01\)00191-8](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(01)00191-8).
- [7] M. Lebert, A Short History of eBooks, (2009).
- [8] What is E-Paper Display Technology & How Does It Work? | Ynvisible, (n.d.). <https://www.ynvisible.com/news-inspiration/what-is-e-paper> (accessed November 18, 2022).
- [9] A. Joseph, E-Paper Technology, (n.d.). http://www.webopedia.com/TERM/E/electronic_paper.html (accessed November 14, 2022).
- [10] P. Howarth, F. Redgrave, “METROLOGY – IN SHORT” 3rd Edition, (2008) 1–84. www.fadenodesign.dk (accessed May 13, 2022).
- [11] Handbook of Inorganic Electrochromic Materials, Handb. Inorg. Electrochromic Mater. (1995). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-89930-9.X5000-4>.
- [12] R.C. Quintanilha, I. Rocha, R.B. Vichessi, E. Lucht, K. Naidek, H. Winnischofer, M. Vidotti, Eletrocromismo: Fundamentos e a aplicação de nanomateriais no desenvolvimento de eletrodos de alto desempenho, Quim. Nova. 37 (2014) 677–688. <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20140112>.
- [13] P.R. Somani, S. Radhakrishnan, Electrochromic materials and devices: present and future, Mater. Chem. Phys. 77 (2002) 117–133.
- [14] G. Martins, Miguel; Capela, DISPLAYS BASEADOS EM ELECTROCROMIA: DA TECNOLOGIA AOS SERVIÇOS, (n.d.).
- [15] Printed E-Paper Displays | The More Cost-Effective E-Paper, (n.d.). <https://www.ynvisible.com/segment-displays?datasheet-popup-close=1> (accessed November 18, 2022).
- [16] Gen, Ynvisible E-Paper Display Ynvisible E-paper Display Gen. 2, (n.d.).
- [17] Da impressão ao E-paper | Volkswagen Autoeuropa, (n.d.). <https://www.volkswagenautoeuropa.pt/da-impressao-ao-epaper/> (accessed November 18, 2022).
- [18] Electronic Paper Display Market Size |2022 – 27 | Industry Growth, (n.d.). <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/electronic-paper-market> (accessed November 18, 2022).



METALSHOE

FABLAB NETWORK