

Embalagem do Futuro: quando o cartão ganha inteligência

Durante décadas, a embalagem foi vista sobretudo como uma resposta prática a uma necessidade essencial: proteger, transportar e apresentar um produto. No caso da alimentação, essa função tornou-se ainda mais exigente, porque a embalagem deve garantir segurança, preservar qualidade, resistir a cadeias logísticas complexas e responder às preocupações ambientais. Hoje, porém, o setor está perante uma transformação mais profunda. A embalagem já não é apenas o invólucro que acompanha o produto; começa a ser também uma plataforma de informação, rastreabilidade, interação e confiança.



Código gráfico híbrido aplicado a embalagens inteligentes, combinando uma componente pública compatível com leitores convencionais e uma componente privada criptografada para acesso seguro a informação.

É neste contexto que surge a Agenda **Embalagem do Futuro +Ecológica +Digital +Inclusiva**, integrada no **Plano de Recuperação e Resiliência (PRR)** e nas Agendas para a Inovação Empresarial. O projeto mobiliza empresas, centros de investigação e entidades do sistema científico e tecnológico para responder a um desafio estratégico: desenvolver soluções de embalagem mais sustentáveis, mais inteligentes e mais alinhadas com uma economia circular e digital. Entre os vários subprojectos da Agenda, destaca-se o **PPS10** – “New cardboard packages with unique properties for food contact and e-commerce”, orientado para novas embalagens cartonadas com propriedades diferenciadas para contacto alimentar e comércio eletrónico.

A ambição é clara: criar embalagens de cartão capazes de proteger melhor, informar melhor e circular de forma mais eficiente ao longo da cadeia de valor. Isto significa combinar conhecimento em materiais, design, produção industrial, logística, sensores, codificação,

eletrónica impressa e software. Significa também aproximar a inovação tecnológica de problemas muito concretos: como por exemplo saber se um produto foi exposto a temperaturas inadequadas? Como garantir que determinadas informações só são acedidas por entidades autorizadas? Como tornar a embalagem mais útil para produtores, distribuidores, autoridades, retalhistas e consumidores? Como acrescentar inteligência sem comprometer custo, sustentabilidade e escalabilidade? Uma das contribuições centrais neste domínio vem do **Instituto de Sistemas e Robótica (ISR) Centro de Excelência da Universidade de Coimbra**, parceiro científico com competências nas áreas da eletrónica, sensorização, comunicação, sistemas inteligentes e microeletrónica. No âmbito do PPS10, o ISR tem trabalhado em soluções de baixo custo que permitem transformar a embalagem numa interface ativa entre o produto físico e o mundo digital. Essa transformação passa por três linhas fundamentais: a codificação segura da

embalagem, a integração de dispositivos de sensorização com comunicação NFC (Near Field Communication) e o desenvolvimento de circuitos eletrónicos ultrafinos, extensíveis e recicláveis para embalagens inteligentes. A primeira linha de trabalho centra-se nas tecnologias de codificação. Códigos de barras, QR codes, RFID e NFC já fazem parte da logística moderna, mas a embalagem inteligente exige mais do que identificação. Exige autenticação, controlo de acessos, segurança da informação e capacidade de interação em diferentes momentos da cadeia. No caso do projeto desenvolvido, a solução aponta para um código gráfico híbrido, assente num QR code com uma mensagem pública e uma componente privada e criptografada. A parte pública mantém a compatibilidade com os leitores tradicionais e com a cadeia de distribuição existente. A componente privada permite guardar informação protegida, acessível apenas por utilizadores autorizados, incluindo chaves necessárias para desbloquear a leitura dos sensores presentes na embalagem.

Esta abordagem é particularmente relevante porque nem sempre existe ligação a uma base de dados ou a um sistema remoto quando a informação precisa de ser consultada. Em certas etapas da distribuição, no transporte, em armazéns ou em contextos de fiscalização, a conectividade pode ser limitada. Ao prever mecanismos de desbloqueio seguro em modo offline, a embalagem torna-se mais autónoma e resiliente. A solução permite que diferentes perfis de utilizador tenham diferentes níveis de acesso: consumidor final, produtor, retalhista, transportador ou autoridade competente. A embalagem passa assim a funcionar como um objeto físico com identidade digital própria, mas também com regras de privacidade e segurança incorporadas.

Para tornar esta visão operacional, foi desenvolvida uma biblioteca de geração e descodificação de códigos com mensagem pública e privada. A mensagem pública pode remeter para informação geral do projeto ou do produto, enquanto a região privada do código inclui sequências específicas destinadas ao desbloqueio seguro de dados. A existência desta biblioteca é um passo importante porque aproxima a investigação de uma futura integração industrial: em vez de uma solução meramente conceptual, começa a existir uma ferramenta capaz de gerar códigos únicos, adaptáveis e potencialmente integráveis em processos de impressão, etiquetagem e gestão de produto.



Seqüência de interação com a embalagem inteligente: tentativa de acesso não autorizado, leitura do código por um utilizador autorizado e desbloqueio da informação após autenticação.

A segunda linha de trabalho incide sobre a sensorização. Uma embalagem inteligente deve ser capaz de registar aquilo que acontece ao produto. No setor alimentar, esta capacidade pode ser determinante. Temperatura, humidade, choque mecânico/vibração, exposição à luz ou eventos de manuseamento incorreto são fatores que podem afetar a qualidade, a segurança e a vida útil dos produtos. A sensorização permite recolher dados objetivos sobre esses eventos, criando uma memória do rastreamento da embalagem. Esta memória não substitui os sistemas de controlo já existentes, mas acrescenta uma camada de evidência: a embalagem pode passar a testemunhar parte da história do produto.

O desenvolvimento iniciou-se com uma versão de testes em protoboard, recorrendo a sensores de temperatura, humidade, acelerómetros, tags (etiquetas) NFC e microcontroladores. Esta fase permitiu testar componentes, avaliar consumos, perceber limitações e selecionar a arquitetura mais adequada. A partir daí, a equipa avançou para o desenho de uma placa eletrónica própria, ou PCB, com o objetivo de miniaturizar o dispositivo e reunir num espaço reduzido os componentes necessários. A evolução do projeto mostra a passagem de uma primeira montagem de maiores dimensões para versões progressivamente mais compactas (metade de um cartão de crédito), já orientadas para futura integração em contexto de embalagem.

O dispositivo de sensorização inclui sensores de temperatura e humidade, um acelerómetro e um sensor de luz ambiente. O sensor de temperatura e humidade permite acompanhar condições ambientais relevantes, distinguindo períodos dentro de intervalos normais de situações de alerta. O acelerómetro permite detetar eventos como a inversão da embalagem durante mais de determinado período, um dado potencialmente útil em produtos que exigem orientação específica, assim como choque mecânico/vibração excessivo. O sensor de luz permite identificar exposição luminosa excessiva, relevante para produtos sensíveis. A recolha de dados é pensada de forma

eficiente: nem tudo precisa de ser registado com a mesma frequência, e os eventos críticos merecem tratamento distinto dos dados de rotina.

A comunicação com o dispositivo é feita por NFC, tecnologia amplamente presente em smartphones, de baixo consumo energético e adequada a interações de proximidade. Esta escolha evita soluções complexas e dispendiosas para todos os cenários. Em vez de uma embalagem permanentemente ligada à internet, o projeto explora uma lógica mais equilibrada: a embalagem regista dados e estes podem ser lidos por aproximação, quando necessário, através de uma aplicação móvel. Esta opção combina simplicidade, segurança e viabilidade económica, fatores essenciais quando se pensa numa solução que possa sair do laboratório e chegar a cadeias reais de produção e distribuição.

O armazenamento dos dados é feito numa tag NFC dinâmica com memória não volátil, o que significa que a informação se mantém mesmo sem alimentação do dispositivo. A memória é organizada em áreas protegidas por passwords, permitindo separar dados de configuração, medições de temperatura e humidade, eventos de movimento e eventos de luz. Esta arquitetura traduz uma preocupação essencial: uma embalagem inteligente deve ser informativa, mas não vulnerável. A informação sensível tem de ser protegida, e o acesso aos dados deve respeitar níveis de autorização. A ligação entre codificação segura e sensorização torna-se, por isso, um dos elementos mais inovadores do projeto.

A terceira linha de trabalho desenvolvida pelo ISR introduz uma dimensão complementar: a eletrónica impressa sustentável. A equipa criou circuitos eletrónicos ultrafinos, extensíveis e recicláveis para aplicações em embalagens inteligentes. Estes circuitos são impressos sobre filmes plásticos ultrafinos através de técnicas de impressão digital, recorrendo a compósitos proprietários desenvolvidos no Instituto de Sistemas e Robótica (ISR) da Universidade de Coimbra. A sua reduzida espessura e flexibilidade permitem imaginar a integração em superfícies de embalagem sem alterar significativamente a sua forma, peso ou utilização.

Num dos exemplos demonstrados, estes circuitos foram utilizados para monitorizar a temperatura de uma embalagem ao longo da cadeia logística. Quando as condições térmicas deixam de ser mantidas durante o transporte, um LED é ativado e permanece ligado de forma irreversível, funcionando como um indicador visual simples e fiável de quebra da cadeia de frio. Esta solução tem uma vantagem evidente: permite que qualquer interveniente, mesmo sem equipamento especializado, perceba de imediato que ocorreu uma anomalia relevante. A tecnologia transforma um evento invisível, como uma exposição térmica inadequada, num sinal físico direto.



Sistema de sensorização para embalagens inteligentes, com monitorização por NFC ao longo da cadeia logística.



Circuitos impressos recicláveis para monitorização contínua da temperatura de embalagens ao longo de toda a cadeia logística

A sustentabilidade é uma das principais vantagens desta abordagem. Tanto os materiais constituintes como as tintas condutoras podem ser reciclados e reutilizados na fabricação de novos circuitos, contribuindo para uma lógica de economia circular no setor da eletrónica impressa. Além disso, a equipa do ISR desenvolveu versões de dispositivos sem bateria, na forma de etiquetas ou patches inteligentes, capazes de monitorizar parâmetros críticos das embalagens, como a temperatura e a orientação durante o transporte. Estas soluções reduzem custos, minimizam impacto ambiental e simplificam a integração em sistemas logísticos existentes, abrindo caminho para uma nova geração de embalagens inteligentes, mais seguras, eficientes e sustentáveis.

A inovação aqui não está apenas em colocar sensores ou códigos numa embalagem. Está em pensar o sistema integrado como um todo: embalagem, código, sensor, memória, aplicação, eletrónica impressa, níveis de acesso e cadeia de valor. Uma solução deste tipo só é relevante se responder simultaneamente a requisitos técnicos, económicos e ambientais. O projeto tem, por isso, de equilibrar miniaturização, autonomia energética, custo dos componentes, robustez, facilidade de leitura, compatibilidade com processos industriais e sustentabilidade dos materiais. Esta combinação é exigente, mas é também aquilo que torna a Agenda Embalagem do Futuro particularmente estratégica para o setor.

No plano económico, as aplicações são evidentes. No comércio eletrónico, onde as embalagens atravessam redes logísticas dispersas e muitas vezes pouco controláveis, a possibilidade de registar eventos

relevantes pode ajudar a resolver disputas, melhorar processos e aumentar a confiança entre vendedor, operador logístico e consumidor. No setor alimentar, a monitorização de condições ambientais pode acrescentar valor em produtos sensíveis, contribuindo para reduzir perdas e desperdício. Na distribuição, a rastreabilidade reforçada pode melhorar a gestão de qualidade. Para o consumidor, a embalagem pode oferecer maior transparência sobre o percurso do produto. Para as autoridades, pode facilitar processos de verificação e fiscalização.

Mas o impacto potencial vai além da eficiência. A Agenda Embalagem do Futuro procura responder a uma mudança cultural e regulatória: a embalagem do século XXI tem de ser mais responsável. Não basta proteger o produto; é preciso reduzir impacto ambiental, facilitar reutilização ou reciclagem, melhorar informação, combater desperdício e integrar princípios de circularidade. A dimensão **+Ecológica +Digital +Inclusiva** traduz precisamente essa visão. O digital não surge como adorno tecnológico, mas como ferramenta para tornar a embalagem mais eficiente, segura e transparente. A sustentabilidade não é apenas uma questão de material, mas também de informação e gestão ao longo do ciclo de vida.

O papel do Instituto de Sistemas e Robótica no desenvolvimento de soluções inovadoras a nível internacional é particularmente relevante porque demonstra como a investigação científica pode ser transferida para desafios industriais concretos. A integração de eletrónica, comunicação NFC, sensores, códigos seguros, software e circuitos impressos numa embalagem cartonada exige competências

multidisciplinares. Não se trata de desenvolver um dispositivo isolado, mas de criar conhecimento aplicável a produtos reais, sujeitos a constrangimentos de custo, produção e utilização. É precisamente nesse espaço entre laboratório e indústria que projetos apoiados pelo PRR podem gerar valor: aproximando empresas e ciência, criando protótipos, testando soluções e abrindo caminho para novos produtos e serviços.

O PPS10, desenvolvido em articulação com vários copromotores, mostra também a importância do trabalho colaborativo. A embalagem do futuro não nascerá apenas de uma empresa, de um laboratório ou de uma aplicação digital. Nascerá da convergência entre produtores de embalagem, empresas utilizadoras, centros de investigação, especialistas em materiais, equipas de design, programadores e gestores de projeto. Cada parceiro acrescenta uma peça ao sistema. O resultado esperado é uma embalagem mais preparada para os desafios da alimentação, da logística e do comércio eletrónico.

Naturalmente, há desafios a ultrapassar. A integração de eletrónica em embalagens deve ser pensada com cuidado para não criar novos problemas ambientais. O custo unitário é decisivo para a adoção em larga escala. A robustez dos dispositivos tem de ser comprovada em condições reais. A proteção de dados deve ser assegurada desde a conceção. E a experiência do utilizador tem de ser simples: uma tecnologia só será adotada se acrescentar valor sem criar complexidade excessiva. Ainda assim, os avanços já alcançados mostram que é possível construir uma embalagem cartonada que combine propriedades físicas, identidade digital, capacidade de monitorização e soluções eletrónicas sustentáveis.

No fundo, o projeto Embalagem do Futuro mostra que a inovação no setor das embalagens não se limita a mudar formatos ou materiais. Passa por repensar a função da embalagem numa economia mais exigente, em que consumidores, empresas e reguladores pedem mais informação, mais sustentabilidade e mais confiança. Uma caixa de cartão pode continuar a ser uma caixa de cartão, mas pode também tornar-se um ponto de contacto digital, um registo de qualidade, uma ferramenta de rastreabilidade e um elemento ativo de proteção do produto.

Ao integrar o conhecimento do Instituto de Sistemas e Robótica e o enquadramento estratégico do Plano de Recuperação e Resiliência, a Agenda Embalagem do Futuro posiciona Portugal num debate decisivo para a indústria europeia: como produzir melhor, desperdiçar menos e usar a tecnologia para acrescentar valor aos produtos mais comuns do quotidiano. A resposta começa, neste caso, por um objeto aparentemente simples. Uma embalagem. Mas uma embalagem capaz de comunicar, registar, proteger e informar. Uma embalagem que aponta para o futuro.