

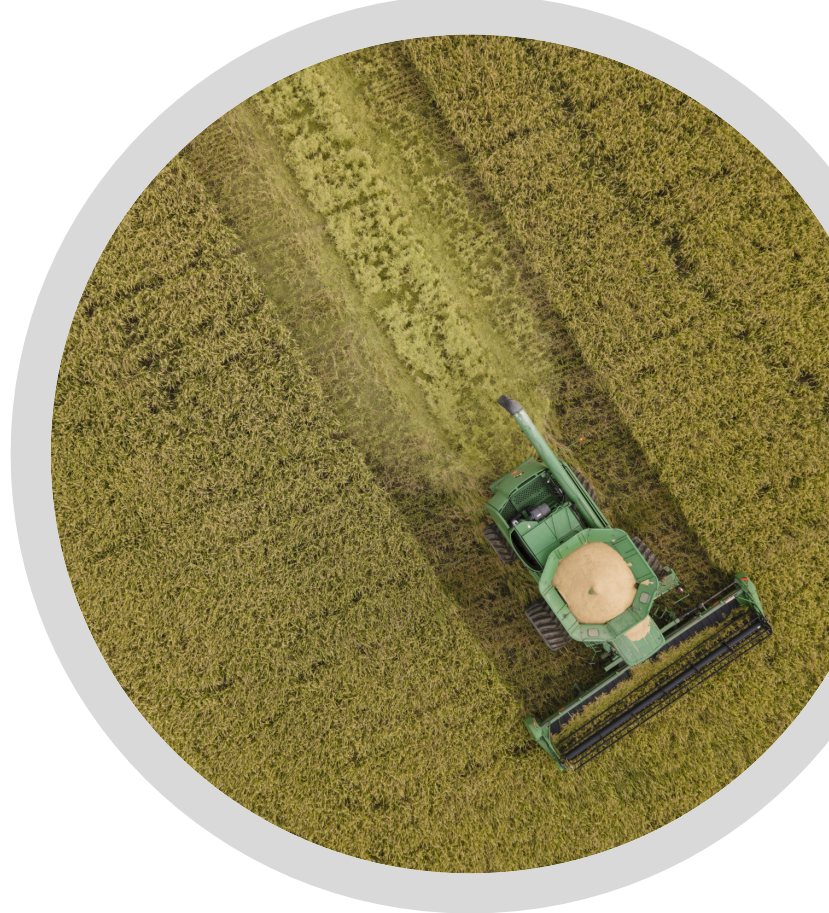


O Potencial da Rastreabilidade: Uma Ferramenta Estratégica para a Responsabilização na Gestão da Cadeia de Suprimentos

REPENSANDO CAMINHOS PRÁTICOS PARA UMA AGRICULTURA E SISTEMAS ALIMENTARES MAIS SUSTENTÁVEIS

Introdução

As pressões interligadas das mudanças climáticas, do crescimento populacional e da degradação ecológica estão exercendo uma pressão sem precedentes sobre os sistemas alimentares globais¹. A agricultura precisa passar por uma transformação fundamental. A era das cadeias de suprimentos opacas e não rastreáveis está chegando ao fim rapidamente, como demonstra uma simples realidade: alegações de sustentabilidade sem verificação carecem de credibilidade. A rastreabilidade pode ajudar a resolver essa lacuna. Ao criar uma conexão verificável e baseada em dados entre um produto e seu percurso da origem ao destino, os sistemas de rastreabilidade sustentam a governança ambiental, social e econômica moderna. Quando tratada como uma ferramenta estratégica, e não como uma solução independente, a rastreabilidade pode ajudar a permitir a validação de compromissos de desmatamento zero e práticas regenerativas, fortalecer a responsabilidade global e ajudar a garantir um futuro mais resiliente e sustentável.



© RORY DOYLE

Principais conclusões

1. A rastreabilidade é um facilitador, não uma solução definitiva

Embora a rastreabilidade tenha evoluído para um instrumento crítico para a governança ambiental, como a aplicação de mandatos de desmatamento zero, a tecnologia de rastreabilidade por si só não resolve a degradação ecológica². A rastreabilidade é apenas uma ferramenta que fornece infraestrutura para ações com foco ambiental. Os atuais sistemas de rastreabilidade funcionam principalmente como esquemas de certificação pontuais, em vez de sistemas de rastreamento contínuo de ponta a ponta.

2. A tecnologia está pronta, mas os sistemas mais abrangentes não

Embora ferramentas como monitoramento por satélite de alta Resolução, sensores da Internet das

Coisas (IoT) e registros em blockchain ofereçam soluções avançadas e comercialmente disponíveis para rastreabilidade de ponta a ponta, essas iniciativas falham invariavelmente no nível sociotécnico. Por exemplo, estruturas digitais sofisticadas frequentemente tropeçam devido à falta de letramento digital entre os pequenos agricultores, à conectividade inadequada de banda larga rural e aos padrões de dados fragmentados entre plataformas corporativas concorrentes¹. O sistema em geral é prejudicado por cadeias de suprimentos fragmentadas, incentivos financeiros desalinhados e graves problemas de interoperabilidade, criando uma dinâmica em que a infraestrutura digital sofisticada se torna inviável devido a dados de entrada fragmentados, não verificados ou falsificados.

3. A maturidade do setor é extremamente desigual

A adoção e a sofisticação da tecnologia de rastreabilidade variam significativamente entre os setores agrícolas, com base nas pressões do mercado e da regulamentação. A pesca se beneficia de quadros internacionais que visam a pesca ilegal³; a pecuária e os produtos ligados às florestas estão adotando rapidamente a verificação espacial devido a mandatos rigorosos de combate ao desmatamento (por exemplo, o Regulamento da União Europeia sobre a Desmatamento (EUDR))⁴; entretanto, a agricultura regenerativa está muito atrasada devido à falta de incentivos de mercado e de políticas públicas e à elevada complexidade do monitoramento contínuo dos resultados ambientais.

4. Restrições de rastreabilidade decorrentes da agregação de mercadorias

A mistura de produtos, especialmente nas cadeias de suprimento de culturas agrícolas, representa um desafio significativo para a rastreabilidade. Com a agregação de produtos em diversas fazendas, a ligação direta entre uma mercadoria e sua origem torna-se mais difícil de manter, o que complica os esforços para verificar as práticas de produção e garantir a transparência. Essa agregação também introduz limitações práticas: o

rastreamento de entradas em diversas fontes pode gerar conjuntos de dados grandes e difusos, difíceis de gerenciar e conciliar, muitas vezes deslocando a rastreabilidade para abordagens de massa em vez de rastreamento discreto em nível de produto⁵.

5. A cultura influencia a rastreabilidade

As exigências por transparência absoluta frequentemente entram em conflito com as realidades culturais e econômicas tanto dos grandes quanto dos pequenos produtores. O compartilhamento obrigatório de dados pode violar normas profundamente enraizadas, expondo bens pessoais, comprometendo a vantagem competitiva ou gerando uma profunda desconfiança na fiscalização. A política de rastreabilidade deve levar em consideração as nuances culturais.

6. Um impacto significativo requer um alinhamento triplo

Para que a rastreabilidade consiga desvincular com sucesso a produção agrícola da degradação ambiental, ela deve ser apoiada por uma abordagem ecossistêmica: fiscalização regulatória criteriosa, demanda consistente do consumidor, instrumentos financeiros com incentivos e apoio concreto e prático aos agricultores.

Principais considerações para os formuladores de políticas

Rastreabilidade vs. Transparência

Embora frequentemente usados como sinônimos, rastreabilidade e transparência são conceitos distintos, porém relacionados.

- A rastreabilidade vincula quais dados são coletados — os elementos-chave de dados (KDEs) — e quando esses dados são coletados — os eventos críticos de rastreamento (CTEs) — para mapear o

movimento de um produto ao longo da cadeia de suprimentos⁶.

- Transparência refere-se à visibilidade dos KDEs, frequentemente no nível de produção, sem necessariamente conectá-los entre atores ou etapas.

Simplificando, a transparência expõe práticas ou comportamentos, enquanto a rastreabilidade é a prática de rastrear vários eventos, comportamentos e

resultados em vários estágios da cadeia de suprimentos⁷. Essa distinção é particularmente importante para o monitoramento ambiental em cenários onde a rastreabilidade é, por diversos motivos, impraticável.

Determinando a eficácia da rastreabilidade

Embora a rastreabilidade seja frequentemente apresentada como o principal mecanismo para verificar a cadeia de custódia, incluindo os resultados ambientais, sua eficácia depende do tipo, volume e estrutura dos dados coletados. Em contextos como a

agricultura regenerativa, onde os dados são contínuos, variáveis e específicos ao contexto, as exigências impostas aos sistemas de rastreabilidade aumentam significativamente. Isso contrasta com o monitoramento do desmatamento, que geralmente se baseia em indicadores mais binários e, portanto, é comparativamente mais simples de rastrear. Como resultado, surgem questões sobre se a rastreabilidade de ponta a ponta é sempre o objetivo mais viável ou imediato, ressaltando a necessidade de distinguir entre rastreabilidade e transparência como abordagens relacionadas, mas distintas, para a gestão de informações ambientais⁸.

Rastreabilidade em contexto

A rastreabilidade dos alimentos foi originalmente, e continua sendo em grande parte, impulsionada por preocupações com a segurança alimentar⁹. Os surtos de doenças transmitidas por alimentos levaram ao reforço dos requisitos de rastreabilidade nacionais e internacionais para permitir o recolhimento rápido de produtos e atribuição de responsabilidade¹⁰. No entanto, à medida que os regulamentos ambientais,

como o EUDR e o Acordo da Organização Mundial do Comércio sobre Subsídios à Pesca (WTOAFS), entram em vigor, os requisitos de rastreabilidade estão se expandindo além dos quadros de rastreabilidade alimentar e seus KDEs e CTEs convencionais para verificar se os produtos não estão ligados a resultados ambientais negativos, como desmatamento ou pesca ilegal, não declarada e não regulamentada (IUU)¹¹.

Rastreabilidade básica vs. rastreabilidade de ponta a ponta

Tabela 1: Rastreabilidade básica vs. rastreabilidade de ponta a ponta*

Recurso	Rastreamento básico	Rastreabilidade de ponta a ponta
Escopo	Localização anterior/Localização atual	Fazenda/Processadores/Armazenamento/Mercearia
Foco em dados	Localização e status (O que é isso? Onde está? Quando chegou?)	Identidade, origem, eventos e atributos (Quem o fez? Como foi processado? Foi obtido de terras desmatadas? Quais práticas regenerativas estão associadas a isso?)
Meta	Logística, gestão de estoque e segurança alimentar	Conformidade ambiental

* Tabela baseada na tabela comparativa da TraceX.

A tecnologia de rastreabilidade em todos os setores – pesca, pecuária, produtos florestais e culturas agrícolas – já existe e está relativamente avançada. A implementação dessas tecnologias, no entanto, está bastante atrasada, e o nível de maturidade varia conforme o setor. De forma geral, as razões para isso são:

- **Pressão de mercado limitada:** A procura do consumidor por produtos livres de desmatamento, pesca anti-IUU e agricultura regenerativa é comparativamente menor em relação a outras preocupações, como carne não OGM, orgânica ou alimentada a pasto¹².
- **Lacunas de interoperabilidade e compartilhamento de dados:** Embora existam alguns padrões, como o Diálogo Global sobre Rastreabilidade de Frutos do Mar (GDST), a sua adoção continua a ser opcional, e as bases de dados nacionais e internacionais que contêm informações abrangentes sobre rastreabilidade ambiental ou não existem ou funcionam isoladamente¹³. Por exemplo, no Brasil, os comerciantes de commodities frequentemente obtêm mais de 40% das commodities indiretamente por meio de intermediários locais, e esse fornecimento indireto é um grande ponto cego para o rastreamento holístico de dados¹⁴.
- **Limitações tecnológicas no rastreamento de produtos granulados (por exemplo, grãos de arroz) resultantes da mistura, homogeneização ou moagem do produto:** A agregação de produtos é um elemento fundamental da gestão moderna da cadeia de suprimentos que a rastreabilidade de ponta a ponta tem dificuldade em superar. Ao avaliar as exigências de rastreabilidade, os legisladores devem distinguir claramente entre o que é tecnicamente possível e o que é operacionalmente viável em grande escala.

Para culturas de fileiras altamente agregadas, como milho, soja ou trigo, a rastreabilidade precisa é tecnicamente alcançável por meio da Preservação de Identidade (PI), onde as culturas são mantidas fisicamente segregadas da fazenda ao produto final¹⁵. No entanto, a adoção em larga escala do método de







© DILEEP SS/TNC PHOTO CONTEST 2021

Preservação de Identidade (PI) é economicamente e logisticamente inviável: requer infraestrutura dedicada de armazenamento, transporte e processamento, aumentando significativamente os custos, enquanto a demanda de mercado limitada e os preços premium para commodities a granel totalmente rastreáveis não justificam a adoção em larga escala. Por exemplo, no setor de cacau do Oeste Africano, os grãos são provenientes de milhões de pequenas propriedades rurais dispersas e não registradas. Esses grãos são frequentemente misturados por intermediários informais antes mesmo de chegarem a uma cooperativa ou instalação de exportação, tornando o rastreamento exato da origem quase impossível sem custos exorbitantes¹⁶.

Para lidar com a verificação e agregação de rastreabilidade, a indústria atualmente depende do balanço de massa, que estima a proporção de um produto originário de uma fonte verificada com base na composição de volume em uma instalação. As culturas agrícolas em fileiras não possuem restrições geográficas nem gargalos de processamento, o que torna sua natureza granular e misturada difícil de rastrear em comparação com unidades discretas e altamente visíveis, como o gado.

Rastreabilidade baseada em setor

Table 2: Rastreabilidade baseada em setor

Setor	Pressão regulatória	Implantação de tecnologia padrão	Oportunidades futuras
 Pesca	Quadros internacionais vinculativos, como o PSMA da FAO e o AFS da OMC	Os sistemas de VMS, AIS e/ou documentação de captura em papel ou digital são comuns	Sistemas EM orientados por IA que fornecem dados para registros blockchain
 Pecuária	Pressão do EUDR influencia o acesso ao mercado com base em práticas agrícolas	Etiquetas RFID, monitoramento geoespacial, observação por drones	Esquemas de dados e registros interoperáveis
 Produtos ligados às florestas	Pressão do EUDR influencia o acesso ao mercado com base em práticas agrícolas	Registros em papel ou digitais relacionados ao rastreamento básico por meio de códigos de barras e auditorias de balanço de massa	Ampliação do uso de sensoriamento remoto e maior granularidade geoespacial; registro ou banco de dados automatizado
 Agricultura regenerativa	Não existem acordos substanciais; as fracas forças de mercado e as certificações privadas são o único fator motivador; os acordos de segurança alimentar são sólidos	Registros em papel ou digitais relacionados ao rastreamento básico por meio de códigos de barras	Sensores de IoT, imagens multiespectrais, análises isotópicas, DNA ambiental, etc., podem lançar as bases para práticas agrícolas e pecuárias transparentes

Pescas globais: sistemas interoperáveis em escala[‡]

A pesca representa o setor mais consolidado em termos de cooperação internacional, impulsionada pela necessidade urgente de combater a pesca ilegal, não declarada e não regulamentada (IUU) e as violações dos direitos humanos no mar.

- *Pressão regulatória:* alta. O setor é regido por estruturas internacionais vinculativas (por

exemplo, o Acordo sobre Medidas do Estado do Porto da FAO e o Acordo sobre Serviços Públicos da OMC). A partir de 2026, sistemas como o portal EU CATCH tornaram os certificados digitais de captura uma "licença para operar" obrigatória para importações globais¹⁷.

- *Implantação de tecnologia:* atualmente, utiliza uma abordagem em camadas. A tecnologia básica inclui VMS (rastreamento de satélite criptografado) e AIS (rastreamento público de embarcações) com

[‡] Embora este relatório se concentre em produtos agrícolas, a pesca global serve como um precedente essencial. Como as operações de pesca

frequentemente abrangem águas internacionais, o setor já foi obrigado a construir as estruturas de colaboração multinacional e rastreabilidade que atualmente faltam às commodities agrícolas terrestres.

esquemas de documentação de captura em papel ou eletrônicos¹⁸.

- *Oportunidades futuras:* embora a documentação esteja cada vez mais digitalizada, a verificação de alta fidelidade é a nova fronteira. O monitoramento eletrônico (ME), usando câmeras a bordo e visão de máquina orientada por IA, está ganhando força para fornecer provas objetivas e transparentes de dados importantes, como volume de captura e identificação de espécies, que podem ser carregados em registros baseados em blockchain^{17, 19}.

Pecuária: conformidade com o desmatamento de alto risco

A rastreabilidade do gado, com foco principal no bovino, está passando de um simples controle sanitário e de doenças para uma conformidade rigorosa com o uso da terra. Embora a dissociação da produção de carne bovina do desmatamento ilegal continue sendo um foco global primordial, variações regionais significativas nas estruturas da cadeia de suprimentos e nos riscos ecológicos ditam como a rastreabilidade é aplicada.

- *Pressão regulatória:* alta/em crescimento. Impulsionada por exigências como o prazo iminente do EUDR, a atenção internacional se voltou para o fechamento da brecha dos fornecedores indiretos, exigindo comprovação de que um animal não foi criado em terras desmatadas em nenhum momento de seu ciclo de vida. Entretanto, em regiões como os Estados Unidos, Austrália e Nova Zelândia, as pressões regulatórias e de mercado estão cada vez mais focadas na conversão de pastagens nativas e na saúde do solo, em vez da perda da cobertura tropical²⁰.
- *Implantação de tecnologia:* a rastreabilidade do gado depende de etiquetas auriculares com RFID, que têm ampla adoção global, embora sua aplicação para monitoramento ambiental seja bastante variável. Na América do Sul, o mapeamento com GIS (Sistemas de Informação Geográfica) e bancos de dados nacionais

centralizados (como o CAR, no Brasil) são frequentemente usados para cruzar informações sobre a movimentação de animais com mudanças ambientais detectadas por satélite. Por outro lado, nos EUA e na Oceania, os dados de rastreabilidade muitas vezes residem em sistemas privados fragmentados, focados em métricas de produção e saúde, em vez de monitoramento ambiental integrado²¹.

- *Oportunidades futuras:* a implementação de tecnologia em áreas de alta prioridade, como a Selva Maya, é necessária. Mesmo com os avanços tecnológicos, a lavagem de gado, uma enorme brecha legal onde o gado criado em terras desmatadas ilegalmente é transferido para fazendas em conformidade legal pouco antes do abate para limpar seu impacto ambiental, continua sendo um problema prevalente mesmo em locais com fortes programas e políticas de implementação de tecnologia (por exemplo, Pará, Brasil)^{22, 23}.

© KEVIN ARNOLD



Produtos relacionados com florestas: solucionando a primeira etapa da cadeia

Embora geograficamente concentradas, as commodities ligadas às florestas são os principais impulsionadores do desmatamento global, mas sua rastreabilidade varia bastante de acordo com as estruturas da cadeia de suprimentos. O óleo de palma atinge um alto grau de rastreabilidade devido às restrições biológicas que criam pontos de estrangulamento de processamento naturais em fábricas locais registradas²⁴. Por outro lado, produtos como cacau e borracha, apesar da alta densidade geográfica de produtores, enfrentam graves gargalos de rastreabilidade causados pela extrema fragmentação dos pequenos agricultores, redes opacas de intermediários e transformações físicas dos produtos que obscurecem os dados de origem.

- *Pressão regulatória:* alta/em crescimento. Historicamente, a madeira esteve sujeita a regulamentos rigorosos por unidade (por exemplo, a Lei Lacey[§]), enquanto o cacau está agora sob intensa pressão do EUDR para comprovar que as bases de fornecimento estão desvinculadas da invasão dos parques nacionais. A borracha, que antes sofria pouca pressão do mercado, está sendo cada vez mais incluída nesses amplos mandatos internacionais de desmatamento. Nos três casos, os reguladores exigem transparência em relação às redes opacas.
- *Implantação de tecnologia:* a viabilidade tecnológica é extremamente fragmentada entre essas commodities. Para madeira bruta, o rastreamento individual de toras de alto valor, desde o toco até o porto, utilizando códigos de barras ou etiquetas RFID, é extremamente prático. Por outro lado, para o cacau, produzido em grande parte por milhões de pequenos agricultores em economias informais, as ferramentas digitais enfrentam severas barreiras de adoção¹⁶. Nesses

[§] Promulgada em 1900 e substancialmente alterada em 2008, a Lei Lacey dos EUA é uma lei de conservação que proíbe a importação, exportação e venda de fauna silvestre, peixes e plantas obtidos ilegalmente. A emenda de 2008 teve como alvo específico a exploração madeireira ilegal, exigindo que os importadores de madeira e produtos derivados

setores, as matérias-primas (grãos de cacau, borracha granulada) são agregadas e misturadas com centenas de microparcelsas registradas e não registradas antes mesmo de a primeira unidade de processamento receber o produto.

- *Oportunidades futuras:* a principal brecha que afeta essas mercadorias é a agregação por intermediários e a lavagem física. Para alcançar uma conformidade realista em larga escala, as políticas devem dissociar a transparência da rastreabilidade e impor consequências para o não cumprimento das normas. Em vez de exigir um padrão altamente inviável de uma cadeia de

© RAFAEL ARAÚJO



declarassem formalmente a espécie e o País de origem, estabelecendo uma das primeiras estruturas legais rigorosas do mundo para a rastreabilidade global da madeira.

custódia física ininterrupta através de redes informais e serrarias, as políticas deveriam impor transparência básica no nível de produção (por exemplo, estabelecendo identidades digitais e mapeamento poligonal para pequenos produtores), juntamente com auditorias rigorosas de balanço de massa, auxiliadas por tecnologia, nos níveis de agregadores regionais e fábricas.

Agricultura regenerativa: a fronteira emergente

A agricultura regenerativa, que inclui a pecuária regenerativa, bem como práticas regenerativas para todas as culturas, incluindo produtos ligados à floresta, é atualmente o setor menos maduro, uma vez que a rastreabilidade ainda é amplamente construída para a segurança alimentar (por exemplo, aderindo às regras de segurança alimentar da FDA focadas em recalls rápidos) em vez de resultados de sustentabilidade de ponta a ponta²⁵.

- *Pressão regulatória:* baixa. Os incentivos de mercado são atualmente impulsionados por

créditos de carbono voluntários e certificações regenerativas privadas fracas, em vez de mandatos governamentais rígidos²⁶.

- *Implantação de tecnologia:* a adoção de ferramentas avançadas permanece limitada. A maior parte da rastreabilidade ainda consiste em registros em papel de baixa tecnologia ou planilhas digitais básicas usadas para auditorias simples de certificação de segurança alimentar, sem relação com a agricultura regenerativa. A agregação de produtos e a falta de definições padronizadas para práticas regenerativas complicam ainda mais a rastreabilidade^{27, 28, 29}.
- *Oportunidades futuras:* para alcançar uma verdadeira "verificação baseada na prática", o setor requer incentivos políticos e econômicos para implementar tecnologias existentes capazes de medir práticas e resultados regenerativos, como sensores IoT, imagens multiespectrais, análise isotópica, eDNA, etc., que podem lançar as bases para práticas agrícolas e pecuárias transparentes^{30, 31, 32, 33}.

Recomendações de políticas para a expansão da tecnologia de rastreabilidade em sistemas agroalimentares

Para ampliar a rastreabilidade ambiental, é necessário que governos, atores da indústria e parceiros incorporem padrões, incentivos e tecnologia aos sistemas de produção de alimentos e commodities. Para garantir uma adoção bem-sucedida, os formuladores de políticas devem evitar exigir conformidade imediata e integral, optando, em vez disso, por uma abordagem faseada: estabelecendo as bases por meio da Transparência e da padronização, seguidas por uma expansão a longo prazo e uma aplicação rigorosa.

Fase 1: ações imediatas (estabelecendo a base)

- *Priorizar a transparência ao nível da propriedade rural antes da rastreabilidade completa:* em commodities agregadas (por exemplo, milho, trigo, cacau ou borracha), a integração completa da cadeia de suprimentos é atualmente muito cara e tecnicamente complexa. As políticas devem priorizar, em primeiro lugar, a visibilidade e a verificabilidade dos principais dados ambientais no nível das propriedades rurais em locais prioritários, utilizando relatórios de campo, drones ou sensores

in situ. Isso proporciona verificação rápida e estabelece as bases para a rastreabilidade futura³¹.

- *Estabelecer definições e padrões específicos para cada região:* os governos devem desenvolver em conjunto com agricultores e pesquisadores critérios regenerativos adaptados aos contextos ecológicos e de produção locais. Simultaneamente, devem exigir Elementos-Chave de Dados (KDEs), Eventos Críticos de Rastreamento (CTEs) e protocolos de relatórios digitais padronizados em todos os setores para garantir a interoperabilidade entre as futuras plataformas de auditoria.
- *Oferecer incentivos direcionados e apoio à implementação:* os incentivos financeiros (por exemplo, empréstimos subsidiados, subsídios) devem estar explicitamente vinculados à adoção de tecnologias de rastreabilidade e à verificação de resultados regenerativos, como o sequestro de carbono no solo ou o uso da terra livre de desmatamento. A vinculação de subsídios ao desempenho ambiental mensurável pode ajudar a compensar os custos iniciais associados aos equipamentos de monitorização e os potenciais declínios de rendimento a curto prazo durante a transição para práticas regenerativas³⁴. Esses esforços devem ser complementados por centros de apoio regionais que ofereçam treinamento técnico prático e orientação aos produtores que estejam realizando a conversão de suas práticas.
- *Direcionar os esforços para os pequenos agricultores com vias de conformidade inclusivas:* para evitar a exclusão do mercado, os requisitos de reporte devem levar em conta a limitada capacidade técnica dos pequenos produtores. Ferramentas de relatório simplificadas, modelos cooperativos de compartilhamento de dados e auditoria em nível de grupo reduzem o ônus administrativo e garantem a participação equitativa³⁵.
- *Harmonizar as regulamentações em todos os mercados consumidores:* os países consumidores devem acelerar a implementação de políticas (por exemplo, o EUDR) e, ao mesmo tempo, promover a cooperação internacional. A harmonização dos

requisitos globais de rastreabilidade ajudará a colmatar as lacunas regulamentares, a promover a partilha de boas práticas e a garantir percursos de conformidade justos e equitativos para os pequenos produtores.

Fase 2: objetivos de longo prazo (escalonamento e implementação)

- *Centralizar as bases de dados de rastreabilidade sob gestão governamental:* para reduzir o atrito administrativo e reforçar o controle de qualidade, os governos devem eventualmente possuir e manter bases de dados de rastreabilidade nacionais ou regionais interoperáveis (semelhantes ao registo pecuário do Uruguai), removendo o fardo da gestão de dados dos produtores individuais³⁶.
- *Reduzir os riscos das tecnologias de ponta por meio de investimentos públicos:* os governos têm um histórico consolidado de financiamento de tecnologias de alto risco para impulsionar a inovação do setor privado (como os programas do Departamento de Energia dos EUA). As instituições públicas devem subsidiar programas piloto para ferramentas de ponta, como DNA ambiental (eDNA), sensores avançados de drones e registros em blockchain, a fim de preencher a lacuna entre o que é tecnicamente possível e operacionalmente viável para commodities agregadas.
- *Ampliar o acesso a soluções comerciais existentes e de alto potencial:* plataformas de satélite compartilhadas e dados geoespaciais de acesso aberto devem ser expandidos para tornar a verificação do uso da terra acessível. Em cadeias de suprimentos discretas, o rastreamento em nível de unidade (como RFID para gado ou monitoramento eletrônico com inteligência artificial para pesca) deve ser reforçado e integrado com análises baseadas em nuvem para alertas de conformidade em tempo real.
- *Adotar regulamentações voltadas à verificação e que exijam o uso de tecnologia:* os relatórios manuais de registros deverão ser gradualmente eliminados. Os regulamentos de importação, as

políticas de aquisição e os padrões de fornecimento dos varejistas devem ser modelados segundo estruturas como o EUDR, exigindo legalmente o uso de tecnologias de monitoramento

verificáveis e incorporando requisitos de rastreabilidade diretamente no acesso ao mercado global.

Interpretações culturais da privacidade de dados

A rastreabilidade de ponta a ponta pode contradizer interpretações culturais locais sobre privacidade e propriedade de dados. Para muitos produtores, dados agrícolas como limites de propriedades, tamanho do rebanho, métricas de rendimento e práticas de gestão não são meramente operacionais; estão profundamente interligados com direitos de propriedade e segurança econômica. Em regiões como os Estados Unidos, os pecuaristas independentes muitas vezes encaram as bases de dados ambientais centralizadas e geridas pelo governo com profundo ceticismo, interpretando-as como um precursor do excesso de regulamentação ou da vigilância

punitiva³⁸³⁷. Por outro lado, no Sul Global, os pequenos agricultores marginalizados podem temer que a rastreabilidade de alta fidelidade possa ser usada como arma por atores estatais ou corporativos para facilitar penalidades ou justificar a exclusão dos mercados. Os legisladores devem reconhecer que a privacidade de dados na agricultura não é simplesmente um obstáculo técnico a ser resolvido com criptografia. É uma questão fundamental de confiança. Garantir que os processos reflitam as preferências e os valores locais relacionados à propriedade e à segurança dos dados é importante para iniciativas de rastreabilidade sustentáveis e justas.

Conclusão

A rastreabilidade é uma ferramenta essencial para promover a responsabilidade ambiental em todos os sistemas agroalimentares globais. Quando implementada de forma eficaz, permite que governos, proprietários de terras e consumidores verifiquem cadeias de suprimentos livres de desmatamento, apoiem práticas regenerativas e alinhem a produção com metas de sustentabilidade. No entanto, suas limitações não são primordialmente tecnológicas, mas estruturais, enraizadas em cadeias de suprimentos fragmentadas, incentivos desalinhados e nas complexidades dos sistemas de produção do mundo real.

Para desbloquear todo o seu potencial, os formuladores de políticas devem tratar a rastreabilidade como um instrumento estratégico dentro de uma Estrutura de Governança mais ampla, em vez de uma solução isolada. Isso exige uma abordagem faseada e

pragmática: priorizar a Transparência ao nível da exploração agrícola, estabelecer normas claras e relevantes a nível regional e investir nos sistemas e no apoio necessários para permitir uma adoção generalizada. Com o tempo, essas bases podem apoiar uma maior interoperabilidade, uma aplicação mais rigorosa da lei e uma rastreabilidade mais abrangente em todos os setores.

Um impacto significativo depende do alinhamento entre as exigências regulatórias, os incentivos de mercado e o apoio aos produtores. Sem esse alinhamento, os sistemas de rastreabilidade correm o risco de baixa adesão, qualidade de dados inconsistente e exclusão não intencional, particularmente entre pequenos agricultores e produtores que atuam em contextos informais ou com recursos limitados.

À medida que as regulamentações ambientais continuam a se expandir e a remodelar os mercados globais, a rastreabilidade determinará cada vez mais tanto a conformidade quanto a competitividade. Os formuladores de políticas têm agora uma oportunidade crucial para moldar seu papel, garantindo que os sistemas sejam não apenas tecnicamente robustos,

mas também equitativos, escaláveis e fundamentados na realidade operacional. Quando incorporada de forma eficaz, a rastreabilidade pode servir como uma poderosa alavanca para impulsionar sistemas agrícolas mais sustentáveis e responsáveis.

FONTES

- 1 World Economic Forum (WEF), *Innovation with a Purpose: Traceability in Food Value Chains* (Geneva: World Economic Forum, 2019).
- 2 E. F. Lambin et al., "The Role of Supply-Chain Initiatives in Reducing Deforestation," *Nature Climate Change* 8 (2018): 109-116, <https://doi.org/10.1038/s41558-017-0061-1>.
- 3 Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), *Agreement on Port State Measures (PSMA) to Prevent, Deter and Eliminate Illegal, Unreported and Unregulated Fishing* (Rome: FAO, 2016).
- 4 European Parliament and Council, "Regulation (EU) 2023/1115 of the European Parliament and of the Council on the Making Available on the Union Market and the Export from the Union of Certain Commodities and Products Associated with Deforestation and Forest Degradation," *Official Journal of the European Union* L 150 (2023): 206-247.
- 5 A. C. Tagarakis et al., "Bridging the Gaps in Traceability Systems for Fresh Produce Supply Chains: Overview and Development of an Integrated IoT-Based System," *Applied Sciences* 11, no. 16 (2021): 7596, <https://doi.org/10.3390/app11167596>.
- 6 U.S. Food and Drug Administration (FDA), *FSMA Rule for Food Traceability: Critical Tracking Events and Key Data Elements* (Silver Spring, MD: FDA, 2024), <https://www.fda.gov/files/food/published/FSMA-Rule-for-Food-Traceability-2024-0520-CTEs-KDEs.pdf>.
- 7 Center for Food Demand Analysis and Sustainability (CFDAS), *The Future of Traceability and Transparency in the Food System*, white paper (West Lafayette, IN: Purdue University, 2023).
- 8 T. A. Gardner et al., "Transparency and Sustainability in Global Commodity Supply Chains," *World Development* 121 (2019): 163-177, <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2018.05.025>.
- 9 P. Olsen and M. Borit, "The Components of a Food Traceability System," *Trends in Food Science & Technology* 77 (2018): 143-149, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.004>.
- 10 U.S. Food and Drug Administration (FDA), *Food Safety Modernization Act (FSMA) Final Rule on Requirements for Additional Traceability Records for Certain Foods* (Silver Spring, MD: FDA, 2022). See also EU General Food Law, <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2002/178/oj>; China's Food Safety Law, https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/report/downloadreportbyfilename?filename=amended%20food%20safety%20law%20of%20china_beijing_china%20-%20peoples%20republic%20of_5-18-2015.pdf; and Canada's Safe Food for Canadians Regulations, <https://inspection.canada.ca/en/food-safety-industry/traceability/traceability>.
- 11 World Trade Organization (WTO), *Agreement on Fisheries Subsidies* (Geneva: WTO, 2022).
- 12 S. Shaikh, A. P. Yamim, and C. O. C. Werle, "Are All-Encompassing Better Than One-Trait Sustainable Labels? The Influence of Eco-Score and Organic Labels on Food Perception and Willingness to Pay," *Appetite* 203 (2024): 107670, <https://doi.org/10.1016/j.appet.2024.107670>.
- 13 Global Dialogue on Seafood Traceability (GDST), *GDST Standards and Guidelines for Interoperable Seafood Traceability Systems* (Washington, DC: GDST, 2023).
- 14 E. K. H. J. zu Ermgassen et al., "Addressing Indirect Sourcing in Zero Deforestation Commodity Supply Chains," *Science Advances* 8, no. 17 (2022): eabn3132, <https://doi.org/10.1126/sciadv.abn3132>.
- 15 U.S. Department of Agriculture (USDA), *Guidance Framework: Identity Preserved Farmers* (Washington, DC: USDA, 2016), <https://www.usda.gov/sites/default/files/documents/guidance-framework-identity-preserved-farmers-june-2016.pdf>.
- 16 Trase, *Smallholder Cocoa Farmers Need Support as EUDR Compliance Nears* (Trase, 2024).
- 17 Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), *The State of World Fisheries and Aquaculture 2024* (Rome: FAO, 2024).
- 18 Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), *Seafood Traceability for Fisheries Compliance: Country-Level Support for Catch Documentation Schemes* (Rome: FAO, 2017), <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/0466ac36-4d7d-45da-adb9-997fd717f18a/content>.
- 19 The Nature Conservancy and productOps, *Fisheries Report: On the Edge* (The Nature Conservancy, 2024), https://www.nature.org/content/dam/tnc/nature/en/documents/Edge-based-risk-assessment_Final6-28_digital.pdf.
- 20 World Wildlife Fund (WWF), *Plowprint Report* (Washington, DC: WWF, 2024).
- 21 V. Dedeoglu, R. Jurdak, and A. Dorri, *Global Scan of Technologies and Systems Enabling Data Capture and Transfer Across Red Meat Supply Chains: Final Report* (North Sydney: Meat & Livestock Australia, 2020).
- 22 M. Candino et al., "Protected Areas in the Brazilian Amazon Threatened by Cycles of Property Registration, Cattle Ranching, and Deforestation," *Land* 13, no. 7 (2024): 901, <https://doi.org/10.3390/land13070901>.
- 23 B. Slob, G. Rijk, and M. Piotrowski, *JBS, Marfrig, and Minerva: Material Financial Risk from Deforestation in Beef Supply Chains* (Chain Reaction Research, 2020).
- 24 M. Eggen et al., "Smallholder Participation in Zero-Deforestation Supply Chain Initiatives in the Indonesian Palm Oil Sector: Challenges, Opportunities, and Limitations," *Elementa: Science of the Anthropocene* 12 (2024), <https://doi.org/10.1525/elementa.2023.00099>.
- 25 U.S. Food and Drug Administration (FDA), *Food Safety Modernization Act (FSMA) Final Rule on Requirements for Additional Traceability Records for Certain Foods* (Silver Spring, MD: FDA, 2022).
- 26 World Economic Forum (WEF), *100 Million Farmers: Breakthrough Models for Financing a Sustainability Transition* (Geneva: World Economic Forum, 2024).
- 27 A. Caveen, M. Archer, and M. Platt, *The Impact of Improved Traceability on the Safety of Food* (Belfast: RS Standards; London: Lloyd's Register Foundation, 2021), https://theqdst.org/wp-content/uploads/2024/01/impact_of_improved_traceability_on_the_safety_of_food_full_report.pdf.
- 28 World Bank Group, *Digital Technology for Traceability in Vietnam's Fruit and Vegetable Value Chains* (Washington, DC: World Bank, 2022), https://www.wbqkqgtf.org/sites/kgqtf/files/publications/Digital%20Technology%20for%20Traceability_0.pdf.
- 29 S. Vijayakumar et al., "Opportunities, Challenges, and Interventions for Agriculture 4.0 Adoption," *Discover Food* 5 (2025): 265, <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00576-3>.

-
- 30 S. Wu et al., "Environmental DNA (eDNA) Technology in Biodiversity and Ecosystem Health Research: Advances and Prospects," *Ecology and Evolution* 16, no. 1(2026): e72891, <https://doi.org/10.1002/ece3.72891>.
- 31 V. S. C. D. Reddy et al., "Drone-Based Multispectral Imaging for Precision Monitoring of Crop Growth Variables," *Biology and Life Sciences Forum* 41, no. 1 (2025): 10, <https://doi.org/10.3390/blsf2025041010>.
- 32 S. Mansoor et al., "Integration of Smart Sensors and IoT in Precision Agriculture: Trends, Challenges and Future Prospectives," *Frontiers in Plant Science* 16 (2025): 1587869, <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1587869>.
- 33 J. Lozano-Castellón et al., "Proven Traceability Strategies Using Chemometrics for Organic Food Authenticity," *Trends in Food Science & Technology* 147 (2024): 104430, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104430>.
- 34 V. Piñeiro et al., "A Scoping Review on Incentives for Adoption of Sustainable Agricultural Practices and Their Outcomes," *Nature Sustainability* 3 (2020): 809-820.
- 35 Stockholm Environment Institute (SEI), *Finding a Place for Smallholder Farmers in EU Deforestation Regulation* (Stockholm: SEI, 2024).
- 36 A. Rius, *Mandatory Livestock Traceability as a Catalyst for Knowledge Intensive Services in Uruguay* (Washington, DC: Inter-American Development Bank, 2015), <https://doi.org/10.18235/00000005>.
- 37 R. Skaggs, "The U.S. National Animal Identification System (NAIS) & the U.S. Beef-Cattle Sector: A Post-Mortem Analysis of NAIS," in *Deploying RFID: Challenges, Solutions, and Open Issues* (Rijeka: InTech, 2011), <https://doi.org/10.5772/16581>.

CITAÇÃO SUGERIDA

The Nature Conservancy. *O Potencial da Rastreabilidade: Uma Ferramenta Estratégica para a Responsabilização na Gestão da Cadeia de Suprimentos*. Nota Técnica N.º 6. Arlington, VA: The Nature Conservancy, Julho 2026.

AGRADECIMENTOS

Autores: Aurora Zaytoun, Andrew Gorovoy

Revisores: Ginya Truitt Nakata, Horacio Rodríguez Vázquez, Dong Ke

Colaboradores: Robert Manes, Nancy Labbe, Hazel Wong, Ben Gilmer, Ryan Stockwell, Melissa Brito, Candace Teems, Guilherme Prezotti, Andrés Prieto, Rebekah Mawson, Alejandra Castro, Martha Rogers, Dong Ke, Leandro Baumgarten, McKenna Hayes, Annie Broad



© ANDREW KORNYLAK