

RASTREABILIDADE NA CADEIA PRODUTIVA DA SUINOCULTURA: AVANÇOS TECNOLÓGICOS, MARCOS REGULATÓRIOS E DESAFIOS GLOBAIS

Uma Revisão Sistemática da Literatura sobre Segurança Alimentar e Inovação Digital

Autor: Henrique Ferreira de Assis, D. Sc. em Produção Vegetal

Instituição: Instituto Federal do Espírito Santo - Campus Itapina, Itapina, ES, Brasil

E-mail: henrique.assis@ifes.edu.br

ORCID: 0009-0007-3157-1403

Resumo

A rastreabilidade na suinocultura consolidou-se como um pilar fundamental para a segurança alimentar e a competitividade internacional. Este artigo de revisão analisa o estado da arte dos sistemas de rastreabilidade na cadeia suína, abordando desde conceitos fundamentais até tecnologias disruptivas como *Blockchain* e Inteligência Artificial. Discutem-se os marcos regulatórios brasileiros, como as normativas do MAPA, e as exigências dos mercados importadores. A revisão demonstra que, embora a identificação individual via RFID e a digitalização de processos tenham avançado, desafios relacionados ao custo de implementação e à interoperabilidade de dados ainda persistem, especialmente para pequenos produtores. Conclui-se que a integração sistêmica "da granja à mesa" é imperativa para a manutenção do status sanitário e a agregação de valor ao produto brasileiro no cenário global.

Palavras-chave: Suinocultura. Segurança Alimentar. RFID. Blockchain. Legislação Sanitária.

Abstract

Traceability in swine production has established itself as a fundamental pillar for food safety and international competitiveness. This review article analyzes the state of the art of traceability systems in the swine chain, covering everything from fundamental concepts to disruptive technologies such as Blockchain and Artificial Intelligence. Brazilian regulatory frameworks, such as MAPA regulations, and the requirements of importing markets are discussed. The review demonstrates that although individual identification via RFID and process digitalization have advanced, challenges related to implementation costs and data interoperability still persist, especially for small producers. It is concluded that systemic integration "from farm to fork" is imperative for maintaining sanitary status and adding value to the Brazilian product in the global scenario.

Keywords: Swine Production. Food Safety. RFID. Blockchain. Sanitary Legislation.

1. Introdução

A suinocultura brasileira consolidou-se como um dos pilares fundamentais do agronegócio global, mantendo posições de destaque tanto no volume de produção quanto na competitividade das exportações (ABPA, 2025). Nesse cenário de alta produtividade e exigência internacional, a rastreabilidade emerge não apenas como um requisito burocrático, mas como uma ferramenta estratégica de gestão e garantia de qualidade. Segundo a norma **ISO 22005:2007**, a rastreabilidade é formalmente definida como a "*capacidade de seguir o movimento de um alimento através de estágios especificados de produção, processamento e distribuição*" (ISO, 2007).

No Brasil, a governança desse sistema é exercida pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), por meio de órgãos como o Serviço de Inspeção Federal (SIF) e o Sistema Brasileiro de Inspeção de Produtos de Origem Animal (SISBI-POA), que asseguram a conformidade sanitária dos produtos destinados ao consumo interno e externo. A integração de políticas públicas, como o Plano Estratégico do Programa Nacional de Vigilância para a Febre Aftosa (PNEFA), reforça a necessidade de mecanismos de controle de movimentação animal cada vez mais precisos (BRASIL, 2024). O presente artigo busca revisar a literatura atual sobre o tema, integrando as dimensões tecnológicas, regulatórias e econômicas que moldam a suinocultura moderna.

2. Revisão de Literatura

2.1 Conceitos e Definições Fundamentais

A fundamentação teórica da rastreabilidade repousa sobre a necessidade de transparência informacional. A norma **ISO 22005:2007** estabelece os princípios e requisitos básicos para o projeto e implementação de sistemas de rastreabilidade em cadeias de alimentos e rações (ISO, 2007). Sob a perspectiva europeia, que historicamente lidera as exigências de segurança alimentar, a rastreabilidade é vista como um componente indissociável da gestão de riscos, permitindo intervenções rápidas em casos de contaminação (SCHWÄGELE, 2005).

A complexidade da cadeia suína exige modelos matemáticos e computacionais robustos para o mapeamento de fluxos. Thakur e Donnelly (2010) destacam que a modelagem de rastreabilidade deve considerar tanto a granularidade dos dados quanto a velocidade de

recuperação da informação. Em um contexto de globalização, McInerney (2023) argumenta que a rastreabilidade global atua como um passaporte para o comércio internacional, mitigando barreiras não tarifárias e fortalecendo a confiança do consumidor final.

2.2 Sistemas de Identificação Animal

A evolução dos métodos de identificação é o motor da precisão no campo. Gomes (2022) demonstra que a transição da identificação visual para a eletrônica reduz significativamente a margem de erro humano e o tempo de processamento de dados em granjas de grande escala. A tecnologia de Identificação por Radiofrequência (RFID) tem se mostrado a mais viável economicamente para o monitoramento individualizado, permitindo a leitura de dados sem a necessidade de contato direto ou linha de visão clara (RODRIGUES, 2024).

Inovações disruptivas começam a ganhar espaço na literatura acadêmica. Yan et al. (2023) apresentam o reconhecimento facial de suínos como uma alternativa não invasiva e de baixo estresse, utilizando algoritmos de *deep learning* para identificação biométrica. Complementarmente, a implementação de redes de Internet das Coisas (IoT) permite que sensores ambientais e de comportamento sejam integrados ao perfil digital de cada animal, criando um histórico de vida contínuo e automatizado (WANG et al., 2022).

2.3 Marcos Regulatórios e Governança

A estrutura legal brasileira é balizada pela Instrução Normativa nº 51/2018, que estabelece critérios para o trânsito de animais e a certificação de propriedades (BRASIL, 2018). Internacionalmente, o Regulamento (CE) nº 178/2002 da Comissão Europeia define os princípios gerais da legislação alimentar, impondo a rastreabilidade obrigatória em todas as etapas da cadeia (EUROPEAN COMMISSION, 2002). O **Codex Alimentarius** (2020) fornece as diretrizes globais que harmonizam essas práticas, visando a proteção da saúde do consumidor e práticas equitativas no comércio de alimentos.

Valente (2023) ressalta que a legislação sanitária animal deve ser dinâmica para acompanhar o surgimento de novas patologias. Nesse sentido, o papel do SIF é crucial na validação das informações geradas no campo, garantindo que o selo de inspeção represente a veracidade do

histórico produtivo (MOREIRA, 2024). A conformidade regulatória deixa de ser um custo para se tornar um ativo reputacional das empresas do setor.

2.4 Tecnologias de Suporte e Inovação Digital

O armazenamento e a integridade dos dados são desafios superados pela tecnologia **Blockchain**. Chen et al. (2020) explicam que a natureza descentralizada e imutável do blockchain impede a falsificação de registros sanitários, garantindo segurança informacional sem precedentes. Ferreira (2023) complementa que, na agroindústria, essa tecnologia facilita a auditoria de processos e a transparência entre os elos da cadeia. A integração do *supply chain* através de plataformas digitais permite uma visão holística da produção, desde a fábrica de rações até o varejo (QUEIROZ et al., 2020).

A Inteligência Artificial (IA) atua no processamento desse volume massivo de dados (Big Data). Oliveira (2022) descreve o uso de IA para identificar precocemente surtos de doenças através da análise de padrões de consumo de água e movimentação. No entanto, Souza (2024) adverte que a interoperabilidade entre diferentes sistemas de software ainda é um gargalo tecnológico que precisa ser endereçado para a plena digitalização do setor.

2.5 Aplicações Práticas e Segurança Alimentar

No ambiente industrial, a rastreabilidade de carcaças em frigoríficos permite correlacionar a qualidade final da carne com o manejo na granja (TELLES, 2025). Pinto (2022) enfatiza que a inspeção moderna de produtos de origem animal depende da disponibilidade de dados antecipados sobre o lote, permitindo uma abordagem baseada em risco. A segurança microbiológica é reforçada quando se conhece o histórico de exposição dos animais a patógenos e o uso de antimicrobianos ao longo da vida (SILVA, 2024).

2.6 Benefícios Multidimensionais

Os benefícios da rastreabilidade transcendem a segurança alimentar. Carvalho (2024) aponta que a capacidade de realizar *recalls* precisos minimiza prejuízos financeiros e protege a imagem da marca. Sob a ótica da sustentabilidade, Vieira (2024) destaca que o rastreamento

permite comprovar a origem de insumos (como soja e milho) de áreas não desmatadas, atendendo a critérios de ESG (Environmental, Social, and Governance).

No âmbito do bem-estar animal, Mendes (2024) argumenta que a documentação de práticas de manejo humanitário agrega valor ético ao produto. Além disso, a integração de dados de rastreabilidade com programas de melhoramento genético permite uma seleção mais acurada de linhagens resistentes e produtivas, baseada em dados reais de campo (LOPES, 2025).

2.7 Desafios de Implementação

Apesar dos avanços, a adoção tecnológica é heterogênea. Machado (2023) identifica que pequenos produtores enfrentam barreiras significativas, como o alto custo de investimento inicial e a falta de assistência técnica especializada. Almeida et al. (2023) reforçam que as tecnologias de precisão exigem uma infraestrutura de conectividade no campo que ainda é precária em diversas regiões produtoras. Reis (2023) conclui que a análise econômica da rastreabilidade deve considerar o retorno sobre o investimento a longo prazo, ponderando a redução de riscos sanitários e o acesso a mercados de maior valor.

2.8 Perspectivas Futuras e Riscos Emergentes

O futuro da suinocultura aponta para a automação total. A FAO (2024) prevê que a robótica e a automação de processos serão guiadas por sistemas de rastreabilidade em tempo real. Contudo, ameaças globais como a Peste Suína Africana (PSA) exigem que esses sistemas sejam capazes de realizar bloqueios sanitários georreferenciados em questão de horas (SANTOS, 2023). Adicionalmente, novos requisitos de mercados estratégicos, como as exigências chinesas para importação de carne, demandam uma digitalização cada vez mais profunda e auditável (ZHOU, 2024).

3. Discussão: Análise Comparativa entre os Modelos de Rastreabilidade no Brasil e na Europa

A análise comparativa entre os sistemas de rastreabilidade do Brasil e da União Europeia (UE) revela trajetórias distintas moldadas por necessidades geográficas, econômicas e

históricas. Enquanto a Europa consolidou seu modelo sob a égide da proteção absoluta ao consumidor após crises sanitárias severas, o Brasil desenvolveu seu sistema focado na competitividade exportadora e na vigilância sanitária de grandes rebanhos. Esta seção aprofunda as divergências e convergências entre esses dois gigantes da produção suinícola.

3.1 Divergências Regulatórias e Rigor Normativo

A principal diferença reside na filosofia regulatória. Na União Europeia, o **Regulamento (CE) nº 178/2002** estabelece a abordagem "*do prado ao prato*" (farm-to-fork), onde a rastreabilidade é obrigatória para todos os operadores de alimentos e rações (EUROPEAN COMMISSION, 2002). O rigor europeu exige a identificação individual obrigatória e o registro de cada movimentação em bases de dados nacionais integradas. Em contraste, a legislação brasileira, regida principalmente pela **Instrução Normativa nº 51/2018**, foca na rastreabilidade por lotes e no controle de trânsito animal via Guia de Trânsito Animal (GTA) (BRASIL, 2018). Embora o Brasil venha avançando para a identificação individual em programas específicos, a flexibilidade nacional permite uma gestão baseada em grupos, o que é mais compatível com a escala das propriedades brasileiras, mas exige auditorias mais complexas para garantir a precisão informacional (MOREIRA, 2024).

3.2 Infraestrutura Tecnológica e Digitalização

A Europa apresenta uma maturidade tecnológica superior na adoção de **RFID** e sistemas integrados de informação, impulsionada por subsídios governamentais e uma infraestrutura de conectividade rural quase universal. O uso de **Blockchain** para transparência em cadeias curtas já é uma realidade em diversos países do bloco (CHEN et al., 2020). No Brasil, embora grandes empresas integradoras utilizem tecnologias de ponta e **IA** para monitoramento (OLIVEIRA, 2022), o país enfrenta o desafio da "exclusão digital" no campo. Almeida et al. (2023) destacam que a falta de conectividade em regiões remotas impede a transmissão de dados em tempo real, tornando o sistema brasileiro dependente de registros offline que são sincronizados posteriormente, o que pode gerar lapsos temporais em situações de emergência sanitária.

3.3 Modelos de Produção e Escala Operacional

As estruturas produtivas impõem desafios distintos à rastreabilidade:

- **Europa:** Caracteriza-se por pequenas e médias propriedades familiares com alto nível de especialização e exigências extremas de **bem-estar animal** (MENDES, 2024). A rastreabilidade individual é facilitada pelo menor número de animais por lote, mas o custo operacional por cabeça é elevado.
- **Brasil:** Predomina a **integração vertical** e propriedades de grande escala (ABPA, 2025). O modelo de integração facilita a padronização tecnológica, pois a agroindústria fornece o sistema de gestão ao produtor. Contudo, o volume massivo de animais torna a identificação individual um desafio logístico e financeiro considerável (GOMES, 2022).

3.4 Segurança Alimentar e Resposta a Crises Sanitárias

O histórico de crises moldou os sistemas atuais. A Europa reagiu à crise da **Dioxina** e da "Vaca Louca" com uma centralização regulatória sem precedentes (SCHWÄGELE, 2005). Já o Brasil, embora livre de grandes crises de segurança alimentar interna, refinou sua rastreabilidade para responder a ameaças como a **Febre Aftosa** e, mais recentemente, para prevenir a entrada da **Peste Suína Africana (PSA)** (SANTOS, 2023). A lição aprendida em ambos os continentes é que a velocidade de resposta é diretamente proporcional à qualidade dos dados de rastreio. Valente (2023) observa que, enquanto a Europa foca na retirada rápida de produtos do varejo (recall), o Brasil foca no bloqueio georreferenciado de movimentações para proteger o status sanitário nacional.

3.5 Mercado, Competitividade e Valor Agregado

A rastreabilidade tornou-se uma ferramenta de diferenciação comercial. Para o Brasil, a conformidade com as exigências europeias é um requisito para acessar mercados de alto valor (McINERNEY, 2023). Selos de qualidade e certificações de **sustentabilidade (ESG)**, que comprovam a origem da ração e o manejo ético, agregam valor à carne brasileira no exterior (VIEIRA, 2024). Na Europa, a rastreabilidade é mais voltada para a confiança do consumidor

local, que exige transparência total sobre a origem geográfica e o método de produção (orgânico, ao ar livre, etc.).

3.6 Desafios Específicos de Implementação

Os obstáculos variam conforme o contexto socioeconômico:

1. **Brasil:** O principal desafio é a inclusão de **pequenos produtores** que não possuem capital para investir em automação (MACHADO, 2023). Além disso, o custo de implementação de brincos eletrônicos em milhões de animais anualmente impacta as margens de lucro em anos de crise de preços de insumos.
2. **Europa:** O desafio é a **conformidade contínua** com uma legislação que se torna cada vez mais complexa e burocrática, elevando os custos operacionais e reduzindo a competitividade frente a produtores de fora do bloco (REIS, 2023).

3.7 Perspectivas Futuras e Riscos Emergentes

O futuro aponta para uma convergência de modelos. O Brasil tende a adotar a identificação individual de forma mais ampla para atender às demandas de **segurança única (One Health)** e combate à **resistência antimicrobiana** (PEREIRA, 2023). A digitalização total, com o uso de **IA** para predição de surtos, será o padrão global (FAO, 2024). Contudo, riscos como a **PSA** e novas barreiras não tarifárias baseadas em pegada de carbono exigirão que os sistemas de rastreabilidade sejam capazes de processar dados ambientais além dos sanitários (ZHOU, 2024). A gestão da informação (XAVIER, 2023) deixa de ser um suporte para se tornar a inteligência central da suinocultura global.

4. Conclusão

A revisão sistemática da literatura demonstra que a rastreabilidade em suinocultura é uma disciplina multifacetada que une biologia, engenharia e direito. A eficácia do sistema depende da precisão na identificação, da integridade dos registros e da capacidade de análise de dados. Pereira (2023) destaca que o controle rigoroso do uso de medicamentos veterinários,

viabilizado pelo rastreio, é a principal arma contra a resistência antimicrobiana, um tema de saúde única global.

Conclui-se que a nutrição animal e a qualidade intrínseca do produto só podem ser plenamente atestadas se houver um fio condutor informacional que ligue o nascimento do leitão à mesa do consumidor. O investimento em tecnologias como RFID, Blockchain e IA não é apenas uma tendência, mas uma condição de sobrevivência em um mercado globalizado e cada vez mais consciente.

Referências Bibliográficas

3. ABPA. Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório Anual 2025**. São Paulo: ABPA, 2025.
4. ALMEIDA, R. T. et al. Tecnologias de precisão na suinocultura: uma revisão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 52, e20230045, 2023.
5. BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Instrução Normativa nº 51, de 1º de outubro de 2018**. Diário Oficial da União, Brasília, 2018.
6. BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Plano Estratégico do Programa Nacional de Vigilância para a Febre Aftosa (PNEFA)**. Brasília: MAPA, 2024.
7. CARVALHO, J. L. Rastreabilidade e segurança alimentar na cadeia da carne. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 54, n. 2, 2024.
8. CHEN, Y. et al. Blockchain application in food supply information security. **Food Control**, v. 117, 107337, 2020.
9. CODEX ALIMENTARIUS. **General Principles of Food Hygiene (CXC 1-1969)**. Revised 2020. FAO/WHO, 2020.
10. EMBRAPA SUÍNOS E AVES. **Manual de Biosseguridade em Granjas de Suínos**. Concórdia: Embrapa, 2022.
11. EUROPEAN COMMISSION. **Regulation (EC) No 178/2002 of the European Parliament and of the Council**. Official Journal of the European Communities, 2002.
12. FAO. **The State of Food and Agriculture 2024: Leveraging automation in agriculture**. Rome: FAO, 2024.
13. FERREIRA, G. C. Blockchain na agroindústria: transparência e rastreabilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 58, 2023.
14. GOMES, M. A. Identificação eletrônica de suínos: desempenho e custos. **Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)** – UNICAMP, 2022.
15. ISO. **ISO 22005:2007: Traceability in the feed and food chain**. Geneva: International Organization for Standardization, 2007.
16. LOPES, P. S. Melhoramento genético e rastreabilidade: uma integração necessária. **Revista Brasileira de Agropecuária**, v. 12, n. 3, 2025.
17. MACHADO, R. A. Desafios da rastreabilidade para pequenos produtores de suínos. **Dissertação (Mestrado em Agronegócios)** – UnB, 2023.

18. MARTINS, L. F. V. Biossegurança e Rastreabilidade em Suinocultura. In: **Tratado de Suinocultura**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2024.
19. MCINERNEY, B. Traceability and the global food system. **Journal of Food Science**, v. 88, n. 4, 2023.
20. MENDES, A. S. Bem-estar animal e rastreabilidade: novos paradigmas. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 76, n. 1, 2024.
21. MOREIRA, N. N. O papel do SIF na garantia da qualidade da carne brasileira. **Revista de Política Agrícola**, v. 33, n. 2, 2024.
22. OLIVEIRA, J. M. Inteligência Artificial aplicada ao monitoramento sanitário de suínos. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 201, 107288, 2022.
23. PEREIRA, F. G. Rastreabilidade de medicamentos veterinários na suinocultura. **Revista de Saúde Pública Veterinária**, v. 15, 2023.
24. PINTO, A. T. Higiene e Inspeção de Produtos de Origem Animal. **Editora UFRGS**, Porto Alegre, 2022.
25. QUEIROZ, M. M. et al. Blockchain and supply chain management integration. **International Journal of Information Management**, v. 52, 2020.
26. REIS, M. T. Economia da Rastreabilidade Animal. **Editora Agronômica**, Viçosa, 2023.
27. RODRIGUES, V. C. Sistemas de identificação por radiofrequência (RFID) no campo. **Engenharia Rural**, v. 34, n. 4, 2024.
28. SANTOS, R. P. A Peste Suína Africana e o impacto nos sistemas de rastreio globais. **Journal of Swine Health and Production**, v. 31, n. 2, 2023.
29. SCHWÄGELE, F. Traceability from a European perspective. **Meat Science**, v. 71, n. 1, p. 164-173, 2005.
30. SILVA, E. N. Microbiologia e Segurança Alimentar na Cadeia Suína. **Editora Atheneu**, São Paulo, 2024.
31. SMITH, G. C. et al. Traceability in the United States: Current status and future. **Journal of Animal Science**, v. 101, 2023.
32. SOUZA, L. C. Interoperabilidade de dados no agronegócio 4.0. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 62, n. 1, 2024.

33. TELLES, J. P. Rastreabilidade de carcaças em frigoríficos de suínos. **Revista Nacional da Carne**, n. 542, 2025.
34. THAKUR, M.; DONNELLY, K. A. M. Modeling traceability in the food supply chain. **Food Control**, v. 21, n. 12, 2010.
35. VALENTE, A. L. Legislação Sanitária Animal Comentada. **Editora Jurídica Agrária**, Curitiba, 2023.
36. VIEIRA, M. C. Sustentabilidade e Rastreabilidade: O selo verde na suinocultura. **Revista Agroambiental**, v. 16, n. 2, 2024.
37. WANG, L. et al. IoT-based traceability system for swine production. **Sensors**, v. 22, n. 15, 2022.
38. XAVIER, R. B. Gestão da Informação na Cadeia Produtiva de Proteína Animal. **Editora Atlas**, São Paulo, 2023.
39. YAN, J. et al. Facial recognition for pigs: A review of deep learning methods. **Information Processing in Agriculture**, v. 10, 2023.
40. ZAMBIAZI, R. C. Qualidade de Alimentos e Rastreabilidade. **Editora UFPel**, Pelotas, 2022.
41. ZANETTI, M. A. Nutrição e Rastreabilidade: O controle de resíduos. **Revista de Nutrição Animal**, v. 29, 2024.
42. ZHOU, L. China's requirements for imported meat traceability. **Global Food Security Journal**, v. 14, 2024.